

多摩川流域の環境浄化に 関するシステム分析

— 費用・便益分析と多目的計画手法にもとづく実証的研究 —

1980年

北 島 能 房 宮 崎 忠 国 高 橋 三 雄
国立公害研究所 国立公害研究所 成蹊大学経済学部教授

後 藤 晃 杉 山 武 彦
成蹊大学経済学部助教授 一橋大学商学部助教授

目 次

I 理論編—公害の費用便益分析—

はじめに

1	公害抑止策の経済分析	3
2	費用便益分析の方法	9
2.1	費用便益分析の発想と目的	9
2.2	費用便益分析の理論的フレームワーク	11
2.2.1	支払容認額	11
2.2.2	計算価格	12
2.3	厚生経済学的うらづけ	13
2.4	費用便益分析の手続き	14
2.4.1	評価基準	14
2.4.2	社会的割引率	15
2.5	費用便益分析の問題点	16
2.5.1	所得分配の側面のとり扱い	16
2.5.2	便益の種類とそのとり扱い	17
3	水質保全の費用便益分析	18
3.1	水質保全のもたらす便益の推定について	18
3.1.1	便益の発生するプロセス	18
3.1.2	便益の評価方法	19
3.2	費用の推定	21
3.2.1	水質汚濁防止に関する費用について	21
3.2.2	技術生産関数と経済生産関数	22
3.2.3	費用関数の導出	26
4	事例研究の紹介	30
4.1	はじめに	30
4.2	米国未来資源研究所におけるデラウェア溪谷下岸流域環境質管理モデル	32
4.2.1	モデルの概要	32
4.2.1.1	理論的枠組	32
4.2.2	生産・消費活動モデル	35
4.2.2.1	LPモデルの枠組	35
4.2.2.2	数値例：製紙企業におけるリサイクリングと濃度規制	38

目 次

I 理論編 — 公害の費用便益分析 —

はじめに

1 公害抑止策の経済分析	3
2 費用便益分析の方法	9
2.1 費用便益分析の発想と目的	9
2.2 費用便益分析の理論的フレームワーク	11
2.2.1 支払容認額	11
2.2.2 計算価格	12
2.3 厚生経済学的うらづけ	13
2.4 費用便益分析の手続き	14
2.4.1 評価基準	14
2.4.2 社会的割引率	15
2.5 費用便益分析の問題点	16
2.5.1 所得分配の側面のとり扱い	16
2.5.2 便益の種類とそのとり扱い	17
3 水質保全の費用便益分析	18
3.1 水質保全のもたらす便益の推定について	18
3.1.1 便益の発生するプロセス	18
3.1.2 便益の評価方法	19
3.2 費用の推定	21
3.2.1 水質汚濁防止に関する費用について	21
3.2.2 技術生産関数と経済生産関数	22
3.2.3 費用関数の導出	26
4 事例研究の紹介	30
4.1 はじめに	30
4.2 米国未来資源研究所におけるデラウェア溪谷下岸流域環境質管理モデル	32
4.2.1 モデルの概要	32
4.2.1.1 理論的枠組	32

4.2.2	生産・消費活動モデル	35
4.2.2.1	LPモデルの枠組	35
4.2.2.2	数値例：製紙企業におけるリサイクリングと濃度規制	38
4.2.3	環境システムモデル	42
4.2.3.1	大気拡散モデル	42
4.2.3.2	水生生態系モデル	42
4.2.3.3	DOモデル	43
4.2.3.4	栄養段階モデル	46
4.2.4	費用負担判約式の導入	47
4.2.5	最適化手法について	48
4.2.6	デラウェア溪谷下岸流域の概況	50
4.2.7	モデルの特化	52
4.2.8	計算結果の要約	59
4.2.9	計算に要した費用及び将来課題	67
4.3	霞ヶ浦水環境保全モデル	70
4.3.1	モデルの構造	70
4.3.2	霞ヶ浦高浜入流域の概況	71
4.3.3	水質シミュレーション・モデル	74
4.3.4	廃水の処理・排出に関するDPモデル	76
4.3.5	費用負担公平化モデル	82
4.3.5.1	シャドー・プライスによる費用負担案	82
4.3.5.2	公平性指標にもとづく費用負担案	90
4.3.6	おわりに	97

はじめに

本研究は、主として多摩川水系およびその流域を念頭におきつつ、環境を望ましい水準に維持するための最適な経済的システムを求める一つの試みである。公害の抑止ないし補償のための政策はいくつかのタイプが提案され、わが国においても、公害対策基本法をはじめとする公害対策関係法によって実施されている。

しかし、どのような政策が望ましいのか、という点については、必ずしもコンスティテューショナルな合意が成立しているとはいえない。その理由の一つは、公害防止および補償のための政策の望ましさを判断する際には、必然的に所得分配を含む様々な観点を考慮せねばならないために、個々の政策の望ましさについて確定的で一義的な順序づけをするのが困難な点にある。そこには、必然的に価値判断の要素が侵入してくる。

このような局面に逢着したときに、経済学は問題を政治システムにあずけてしまうのが通例である。われわれも、基本的には、この問題は政治システムで解決すべきであると考えているが、公害の発生や、環境維持といった問題は経済活動と密接に関連しており、経済分析の立場から、政治システムへ一定の情報を提供するとは、じゅうぶんにおこなうだけの価値のあることだと考える。

われわれは、ここで、公害の防止や環境の維持のための様々な政策システムの評価をおこなう方法論として、費用便益分析を採用することとした。費用便益分析は、代替的な政策を評価するための一つの方法論であり、しかも、その性格を考慮にいれつつ用いれば、公害防止および環境維持のための政策の評価について有用な情報を提供することが可能な、きわめて有効な方法論である。いうまでもなく、費用便益分析もまた、基本的には先にのべたような問題をかかえている。しかし、その分析の諸前提をじゅうぶん念頭にいれ、かつ、その分析を精緻化することによって、われわれは、政治システムがリーズナブルな判断を導きだすことが可能となるような、じゅうぶん有用な情報を提供することが可能であると考えている。

本研究はその内容および研究プロセスの点において、大きく二つの部分から構成される。それは理論編および実証編である。まず、研究の初年度におこなわれた理論研究においては、北島、後藤、杉山が公害防止策を経済学的な視点から分析するとともに、有効な評価手法の一つとして、費用便益分析を位置づけた。さらに、そのような総論的な研究をふまえて、具体的な分析事例として、水質保全の問題をとりあげ我国の霞ヶ浦およびアメリカのデラウェア川流域を対象とする二つの分析事例を中心に検討をおこなった。

つづいて、第二年度は、以上の理論研究にもとずきながら、その成果を多摩川流域を対象とする分析に適用する試みをはじめることとした。具体的には、非線型計画モデルを用いた地域計画モデルの構築とその試行である。そのためには、モデルおよび分析ツールの開発（コンピュータ・プログラム）とデータ収集の作業が必要であった。この第二年度の成果は中間報告の形に加えて、英文誌、Environment & Planningに掲載されるとともに、西独で開催されたI R C学会において報告の機会をもつことになった（第三年度において実現）。なお、第二年度においては、後藤が在外研究に出たために高橋に代わり、また、

新たに宮崎が参加した。

さて、第三年度は本研究の最終年度ということで、前記モデルの精緻化と、より精度の高いデータ収集、そしてそれらにもとづく分析が中心であった。とくに、データ収集に関しては、東京都および各市町の担当部門の協力を得ることができ、新規にかなりのデータを収集することができた。これらのデータはこの分野の他の研究目的のためにも十分に役立つと思われるので、その有効な利用が望まれる。

この三年間の研究において、多摩川流域を対象とする地域計画モデルの構築および分析をおこなうことができ、当初のねらいは一応達せられたと考えてよいであろう。しかし、モデルの規模やデータ面の制約から、モデルに含めることのできなかつた要素や関係も少なくない。しかし、それだけに、現実の地域計画をとり巻く状況は複雑、多岐にわたっており、そうした状況のもとでの政策立案に際して、本研究で試みられたようなアプローチが有効な分析ツールであると考えられる。本研究が、今後のそうした研究のための一つの参考となれば幸いである。

最後に、本研究に参加したメンバーをリストしておくことにする。

北 晶 能 房 （国立公害研究所、プロジェクト・リーダー）

宮 崎 忠 国 （国立公害研究所）

後 藤 晃 （成蹊大学経済学部）

高 橋 三 雄 （成蹊大学経済学部）

杉 山 武 彦 （一橋大学商学部）

理 論 編

1 公害抑止策の経済分析

(1) 本章では、公害抑止のための諸方策を、経済学の立場から分析し、論点を整理することを通じて、公害の経済的側面を明らかにするとともに、より具体的、個別的な公害抑止のためのシステム設計にたいして、方法的基礎を提供することにその目的がある。まず、公害を経済学的な観点からどのように捉えていくか、という点を検討し、次に、その抑止策とその効果を検討する。最後に、それらの代替的な抑止策の評価の方法としての、費用便益分析 Cost-Benefit Analysis に言及する。

(2) 公害は、経済学的には、外部不経済の概念を用いて検討される（技術的）。外部不経済とは、ある経済主体の活動が、他の経済主体の効用水準ないし生産量に、市場を経由することなく直接的にマイナスの影響を与えることをいう。例えば、ある建物がたてられたことによって、隣の家の日あたりがわるくなった、という場合、建物の建築者のその建物を建てるという行動によって、隣の家の人々の効用水準は低下するが、両者の間にはこの件について市場を経由した取引は存在しない。あるいは、工場の煤煙によってクリーニング屋の洗たくものが汚れる、という場合には、煤煙の排出を伴う工場の生産活動が、クリーニング屋の生産活動の水準を低下させるが、この場合にも、両者の間には、煤煙について市場を経由した取引は存在しない。このような場合に、外部不経済が存在する、といわれる。

あるいは、さらに、次のように考えることもできる。すなわち、所与の所有権構造および取引環境の下でそれぞれの財がもつ外部性の程度に応じて、財を純粋公共財から、純粋私的財までの各スペクトラムに分類し、環境の質を公共財として把握し、公害の分析を進めることも可能である。このとき、環境は、例えば国防などと同様に、純粋公共財として位置づけられるが、その含意は、次のとおりである。

すなわち、環境は、ある一人の人に対して良好な環境を用意した場合、追加的な費用（限界費用）なしで、他の人々にもその環境は利用可能となる。きれいな大気や水、景観はある一人の人がそれを享受できる場合には、そのコミュニティの他の人々も同時に、これを享受することができるのである。一人の人がこれを享受したからといって、他の人々がその利用から除外されることはない（あるいは、排除するためには、禁止的に高い費用を負担せねばならない）。環境は、このように、一つの公共財としてとらえることができる。そうして、公害は環境という公共財について適切な管理がなされていないことによって発生するものとみるわけである。

公害に対して上述したいずれのアプローチをとるにせよ、そこで最も問題となるのは、われわれの経済における基本的な資源配分のメカニズムである市場機構のもつ性格である。すなわち、周知のごとく、市場経済においては、完全競争均衡によってパレート最適な資源配分が達成される。そこでは、個々の経済主体の分権的な経済計算が、市場機構によって集計されるが、その市場が完全競争的であれば、パレート最適な資源配分が達成される。

しかし、外部不経済が存在する場合には、パレート最適は競争均衡によっては達成されない。いま、企業1、2の2つが存在し、共に同じ生産要素を用いて生産をおこなっているとしよう。しかし、第1

企業の生産量は、第2企業の生産要素の投入量にも依存するとする。それぞれの企業の生産関数は次のようにあらわされるとする。

$$Q_1 = F_1(X_1, X_2)$$

$$Q_2 = F_2(X_2)$$

ここで、第2企業は第1企業に外部不経済を及ぼしているとする。すなわち

$$\partial Q_1 / \partial Q_2 < 0$$

生産要素市場、生産物市場ともに完全競争的であり、生産要素の価格を P_X 、生産物の価格をそれぞれ P_1 、 P_2 とする。各企業の利潤は

$$\pi_1 = P_1 \cdot F_1(X_1, X_2) - P_X \cdot X_1$$

$$\pi_2 = P_2 \cdot F_2(X_2) - P_X \cdot X_2$$

各企業はこれを最大にするよう生産要素の投入量および生産量を決定する。これから、

$$P_X = P_1 \frac{\partial F_1}{\partial X_1} = P_2 \frac{\partial F_2}{\partial X_2} \quad (1)$$

ところで、パレート最適が実現されるためには、2企業の結合利潤

$$\pi = \pi_1 + \pi_2 = P_1 \cdot F_1(X_1, X_2) + P_2 \cdot F_2(X_2) - P_X \cdot (X_1 + X_2)$$

が最大になっていなければならない。これから、

$$P_1 \frac{\partial F_1}{\partial X_1} = P_1 \frac{\partial F_1}{\partial X_2} + P_2 \frac{\partial F_2}{\partial X_2} = P_X \quad (2)$$

(1)式と(2)式から、パレート最適の条件(2)は競争均衡では成立しないことが明らかである。(注)

(注) 以上の説明は、「公害の経済分析：展望」工藤和久：藪下史郎、『季刊理論経済学』

1974年12月による。

このように、外部効果（この場合、外部不経済）が存在する場合には、競争均衡によってはパレート最適は達成しえない。

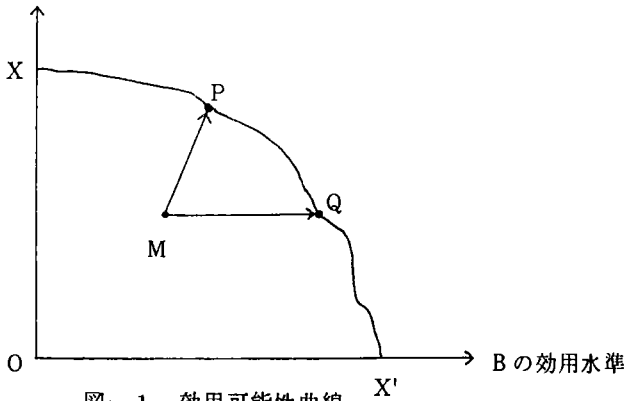
また、環境を公共財とみなすアプローチをとった場合には、まさにその公共財としての性格の故に、市場において適切な取引がおこなわれることは期待できない。

以上で明らかになるように、公害現象を含んだ経済においては、市場機構は資源の最適配分に失敗する。ここに、政府の公害に対する政策が要求される根拠が存在する。すなわち、公害のような外部不経済の存在の下では、市場機構は資源の最適配分に失敗するために、適切な政策的介入が求められるのである。

(3) 以上では、公害を外部不経済としてとらえ、市場機構は外部不経済を含めた外部効果が存在するときには資源の最適配分に失敗することを明らかにし、そこに政策的介入の必要性の根拠があることをのべた。しかし、より具体的に公害抑止のための政策を考えようとする場合には、さらに以下の点を考慮せねばならない。

第一に、所得分配の問題である。以上のようなロジックの上にとって公害に対する政策を考えるとき、そこで基本的に考慮されているのは、完全競争均衡によってパレート最適を達成しえなくなる、という点である。しかしいうまでもなく、パレート最適な資源配分の状態は、様々な所得分配の状態と両立しうる。

Aの効用水準



図一 1 効用可能性曲線

いま、A、B二人からなる社会を考え、A、Bの効用可能性曲線を図一1のX-X'としよう。このX-X'曲線上の点はパレート最適である。さて、なんらかの理由（例えば外部性の存在）によって市場が失敗し、市場での取引の結果、M点におけるようなA、B両者の満足水準しか達成できなかったとする。

このとき、パレート最適を回復させるための政策手段としてp、q二通りあり、いずれの手段によっても、パレート最適は回復できるとしよう。しかし、pの政策をとったときの最終的な二人の効用水準の組合せはPであり、qの政策をとったときにはQである。ここで、P、Qの二つの配分状態はともにパレート最適という点では、無差別である。しかし、図から明らかのように、両者の相対的な満足水準は大きく異っている。pの手段をとった場合、Aの効用水準は大きく上昇するのに対して、Bのそれはほとんど変化しない。qの手段をとったときは逆である。このように、資源配分の効率性という点では無差別であっても、とられる政策によって所得分配の状態は大きく変化する可能性がある。特に、公共抑止策を考える場合には、この点はきわめて重要な問題となる。

社会厚生関数といったものの構成が困難である以上、経済学の立場からどのような所得分配の状態が最も望ましいかを断定することはできない。ここで可能なことは、代替的な政策のもつ所得分配への効果をそれぞれ明らかにし、人々の公正な判断の素材を提供するということであろう。（注）

（注） なお、分配の公正の問題を、ロールズ John Rawls の『正義論』A Theory of Justice を基盤によりふみこんで検討しようとする試みは、注目すべきである。例えば青木昌彦編著『ラディカル・エコノミックス』1973、および浜田宏一『損害賠償の経済分析』1977をみよ。

第二に考慮すべきは、取引費用の問題である。公害が存在するとき、競争均衡によってはパレート最適を達成できないとなると、なんらかの補正的な政策によって、パレート最適へと経済を誘導していくことが考えられよう。しかし、公害現象には、因果関係には不確実性が多く、また、その情報も偏存しており、当事者間の交渉能力にも格差が大きいのが通常である。このとき、このような事情から多大の

取引費用が発生すると考えられ、完全競争の想定の下での議論は、この点で大きく修正されねばならない。このような状況の下での取引を媒介する制度として、市場機構がどの程度の有効性をもつか、という点が考慮されねばならないのである。

以上では、市場機構が、公害現象を含む経済においては資源の最適配分に失敗する、という点に、政策的介入の必要性の基礎が存することをのべた。しかし、第三には政策介入の主体たる政府、ないし政治システムもまた失敗する可能性が大いにある、という点にも注意せねばならない。(注)

(注) 以下の議論は、次に負っている。

J. J. Seneca & M. K. Taussig,

Environmental Economics, Prentice-Hall 1974.

政治ないし政治システムの失敗は、大別して次の二点で発生する。第一は、目標の設定の段階である。例えば、経済システムにおける市場機構によく対比される投票制においても、情報の収集、処理の費用と能力等を考慮すると、投票によって多数を得た案がwell-behavedな状況の下で、なされた選択と一致しないかもしれない。第二の政治システムないし政府の失敗は、設定された目標を達成すべく政策が実施される段階で発生する。これは、いうまでもなく、周知の官僚制のヒエラルキーのプロセスでは、情報の伝達がじゅうぶん正確かつ効果的におこなわれるような誘因のシステムを設計することは、きわめて困難である。

これらの点で、市場機構が失敗するように政治システムもまた失敗するのであり、両者の適切な組み合わせが必要となるのである。

公害抑止のための政策を検討するにあたって留意すべき第4のそして最後の問題点は、公害抑止策をより広いコンテキストでも考えるべきである、という点である。すなわち、直接的に公害規制を目的とした政策ではなく、産業構造の転換等によっても、環境の水準を回復することは可能である。その他にも立地の分散、公害抑止の技術の開発促進によっても、同様の効果を期待することができる。このようなより広い観点からの環境政策は、きわめて重要な意味をもつであろう。

(4) 以上の点を念頭におきつつ、公害抑止政策について検討してみよう。公害抑止政策を評価する基準としては、様々なものがあげられている。例えば、資源配分の効率性、所得分配の公正、社会正義、実施の難易度、政治上の実現可能性、理論的実現可能性等々が列挙される。(注)

(注) 宮本邦男「環境破壊と産業政策」『経済政策(3)日本の産業政策』昭和46年、有斐閣

ここでは、浜田(注)に従って、公害の社会的費用の低下、という観点から、政策を評価することにする。

(注) 浜田宏一『損害賠償の経済分析』1977、東大出版会

ここで、社会的費用とは、次の三つのタイプからなる。第一次の社会的費用は、公害にともなう直接的・物的損害と公害抑止のための費用を意味する。この第一次費用を最小にすることが、「効率性」の目標と呼ばれる。

さらに、第一次費用の負担を社会の各成員に分配し、また時間的に配分する仕方によって生ずる負担の増加、所得分配の公平性のゆがみを第二次費用とよぶ。そしてこの第二次費用低減の目標が「公平性」の目標とよばれる。

最後に、事故の紛争解決や被害者保護のためにかかるさまざまな司法行政上の費用、たとえば裁判費用、弁護士費用などや、損害保険の営業費などが、第三次費用である。その低下の目標は、「紛争処理費用低減」の目標と呼ばれる。

これらの目標を達成する政策手段としては通常、当事者間交渉の促進、課税ないし補助金交付、直接規制の三つのタイプがあげられる。しかし、ここでは、より原理的にその政策の根拠あるプリンシプルに従って、市場的抑止と規制的抑止とに分類し、検討することにする。(注)

(注) この分類は、浜田、前掲書による。

前の分類との対応でいえば、当事者間交渉による解決が市場的抑止に、直接規制が規制的抑止にあたり、課税および補助金による方法は市場的抑止と規制的抑止の混合された形態であるとみなすことができる。

市場的抑止とは、公害が基本的には外部不経済の問題であり、媒煙や排水に対する市場が欠落していることから生ずるのであれば、あるいは、環境という財が稀少化しているにもかかわらず、所有権が明確化されていないために、いぜんとして価格を支払わずに使用されておりそこに超過需要が(あるいは混雑が)発生していることから生ずるのであれば、このような外部性に対して市場での取引がおこなわれるような枠組を設定してやることで、市場による解決がはかられることが期待される。

例えば、河川に汚水を排出している工場と下流で漁を営んでいる漁民とを考えてみよう。このとき、よく知られているように、コースの定理によって工場の側に汚水を排出する権利を認めても、漁民の側に清浄な河川を使用する権利を認めても、この権利の取引される市場を競争的に運営することによって最も効率的な資源配分を達成することができる。このとき、政策的に必要なことは、工場もしくは漁民のいずれかに河川の使用権を法的に保障すること、およびその使用権の市場が競争的に運営されるようにすること、の二点である。

このようにして市場的な公害抑止が原理的には可能であると主張される。しかし、これには、いくつかの難点がある。まず第一に、この方法によって第一次費用の最小化、あるいは効率性ははかられるにしても、必ずしも第二次費用の最小化は保障されない、という点である。河川の使用権の例でいえば、工場と漁民のいずれに河川の使用権を認めるかで所得分配は大きく変化する。工場に使用権を認めた場合には、漁民は工場に生産量(=排出量)を減らしてもらおうべく一種の謝金をしはらうこととなり、逆に、漁民に使用権を認めた場合には、工場は漁民に補償金を支払うことになる。いずれのケースにしても、所得分配に大きな影響を与えることとなるのである。第二に、使用権をいずれに認めるにせよ、そのような市場が設定できたとして、この市場の性格から、これを完全競争的に維持することはきわめて困難となろう。というのは、もし、一つの工場と少数の漁民というケースであれば、いずれにせよ、この市場の売手もしくは買手の数は少数であり、完全競争的な水準に価格(すなわち、謝金ないし賠償金)

が決定されることはありそうにない。逆に、工場も漁民も多数、存在した場合には、交渉にあたって要する取引費用はきわめて高いものとなろう。この場合、第三次費用の節約は果せそうにないことになる。

このようにして、市場的抑止のみで社会的費用の低下をはかることは、きわめて困難であると考えられる。

もう一つの公害抑止の原理は規制である。規制的抑止とは「政治過程によってえられる集権的決定によって規制しようとするもの」であり、「公害を発生する企業の立地を禁止したり、一定以上の汚染物質を発生した企業に刑事罰や行政罰を科したり」する方法である（浜田宏一、前掲書）。この方法は、既に政治システムないし政府の失敗に言及したところでふれたような難点をもっている。規制的抑止の主体となる政治システムが、社会的費用を最小にするように機能すると信ずる理由もまたないのである。ただし、その排出が周辺の生態系に激甚な影響を与える場合には、その規制が求められることはいうまでもない。

- (5) 以上の如く、市場的抑止も、規制的抑止も、ともにそれ単独では公害抑止政策としては満足すべき成果を期待できないように思われる。そこで、両者の適切な混合が求められることになる。例えば、ビッグー以来の古典的な課税という方式は、課税水準の決定およびその実施は政治システムでおこなわれるが、これを所与とした市場機構の働きによってはじめて公害規制の効果がえられるという意味で、市場的抑止と規制的抑止の混合策として、典型的なものである。しかし、どのような形の混合が望ましいのか、という点については、一方では、規制しようとする公害の性格や環境によっても大きく変わるし、また、望ましさを判断規準によっても同時に変化するであろう。そこで、われわれは、以上の議論をふまえて、より現実的な政策評価の方法論として、費用便益分析をとりあげることにし、その方法論や、それを環境問題に適応する場合の問題点を以下で探ることにする。

2 費用便益分析の方法

ひとくちに費用便益分析といっても、その内容の細部に関する理解は、人によりあるいは適用対象により、かなりの差異がある。しかしながら、ひとまず、費用便益分析とは、「ある政策なりプロジェクトなりを、私的な収益性ではなく経済全体の資源配分の効率性という観点から評価しようとする分析」と解釈するならば、この費用便益分析の適用可能対象の範囲および実際の適用例は、近年ますます増大しつつあるとあって差し支えない。しかし、費用便益分析という考え方の必要性が認識され、また実施に移されるに伴い、それに関して数多くの問題点ないし論点が提起されるに至っている。本レポートは水質保全、汚染防止プログラムに関する費用便益分析の適用を詳細に検討しようとするものであるから、それに先立って、ここで費用便益分析の一般的な内容を要約し、併せて、その重要な問題点ないし論点を整理しておくこととしたい。費用便益分析をめぐる問題点は、通常(1) その理念ないし発想に関して、(2) 分析を支える経済理論的うらづけに関して、(3) 分析の実施において生じる実践上の諸問題に関して、の三種類に大別されるので、以下でも、この順序で検討することとする。

2.1 費用便益分析の発想と目的

いかなるプロジェクトあるいは政策も、それらが実施されることにより、社会を構成する個々の主体に対してさまざまな効果ないし影響をもたらす。それらの効果や影響の中には、望ましいものもあればそうでないものもある。場合によっては、ある特定の主体だけが望ましい効果のすべてを享受し、他の主体が望ましくない効果を受けることもあろう。ともあれ、費用便益分析のねらいとするところは、あるプロジェクトなり政策なりがもたらす利害得失を、特定の主体の立場からではなく、経済全体すなわち社会という観点から評価することにある。

費用便益分析の方法上の特色として、次の2点を挙げることができる。その第1は、評価を金額によって表示するという点である。すなわち、あるプロジェクトないし政策の実施によって社会が得るものを金額で表示して、それを便益と呼び、それによって社会が失うものをやはり金額で表示してそれを費用と呼ぶ。したがって、便益と費用とは金額という共通の単位によって測られ、相互に比較し、また合計することが可能である。いいかえれば、マイナスの便益（望ましい効果の逸失）は費用であり、マイナスの費用（望ましくない効果の回避や費用の節約）は便益として扱うことが可能である。

ついでながら触れておくならば、多岐にわたるプロジェクトの諸効果は、すべて金額換算することが容易なものばかりではない。特定のタイプのプロジェクトでは、金額換算にはきわめて大きな困難が伴い、したがって費用便益分析の適用は不可能となる。このような場合、かりに金額換算は不可能であっても他のなんらかの数量——プロジェクトの効果の大きさを反映しうるような数量——によって表示することが可能であれば、その数量をプロジェクトの有効度と呼び、その有効度と費用との関係を分析することが考えられる。これを費用有効度分析と呼ぶ。簡単な例を挙げれば、水質汚染防止プロジェクトに関して、そのプロジェクトのアウトプットを（たとえば）一定地域における健康被害者の減少数でとらえるならば、

それは費用有効度分析である。さらにその減少した健康被害をなんらかの方法によって金額換算する場合には、その分析は費用便益分析の段階へ進んだことになる。費用のとり扱いと計算に関しては、両者とも同一の内容をもっている。両者間の性格の差異は、費用有効度分析はその適用が相対的に容易である反面、アウトプットのタイプが異なるようなプロジェクトに対する分析結果は相互に比較することができないのに対して、費用便益分析ではそれが可能となるという点に求められる。

費用便益分析の方法上の第2の特色は、プロジェクトの実施から生じる利害得失の評価を、社会ないし経済全体という観点から行うことにある。水質保全プログラムのような公共プロジェクトのもたらす効果や費用負担は、通常は広範囲にわたって複数の主体に及ぶものであるから、そのプロジェクトの望ましさを特定の主体だけの立場から判断してしまうことは適切ではない。費用便益分析は、プロジェクトから発生する便益と費用とを、誰が受け取るものであれ誰が負担するものであれ、すべてを足して合わせて――その合計の仕方には後に指摘するような問題点があるが――総合的に評価をしようとする考え方である。また、費用便益分析の適用対象は公共プロジェクトのみとは限らない。たとえば、それは私企業が行う私的プロジェクトに対しても適用可能である。プロジェクトを実施する当該企業にとっての関心事はそのプロジェクトの財務的な収益性であっても、プロジェクトの効果や影響が当該企業以外にも及ぶことはごく一般的であるから、私的なプロジェクトを社会的な観点から評価するという行為は必要でありかつ重要である。

ところで、社会的な評価ということを考えるときには、いくつかの概念上の問題が登場せざるを得ない。第1は、「社会」という言葉の内容である。すなわち、どのような主体が「社会」を構成するのか、いいかえれば、費用と便益の計算の範囲をどこまで広げるかという問題がある。従来の費用便益分析は、すくなくとも理念の上では、国（国民全体）という広がりによって費用と便益の計算の範囲を限定してきた。そして、実際にはプロジェクトの規模や性格に応じて、一地域であるとか特定の主要な集団の範囲内で分析を行って来たといつてよい。しかしこの問題に対する解答は、原理的には、その費用便益分析の分析結果を利用しようとする政策決定者の立場および関心に依存するものと考えられる。特定の主体の立場を超えて、より広い立場からの資源配分の方法を考えることは、たとえば地域というレベルからも要請されようし、また国家というレベルからも必要とされよう。方法論としての費用便益分析は、そのいずれにも適用可能である。

第2に、「社会的な観点から評価する」ということの意味は、政府とか有識者とかの規範的な判断と評価を示すことなのか、あるいは、社会が示す選好を計測ないし確認することなのかという問題が生じよう。答は後者である。費用便益分析は、現在の社会を構成する各個人の選好を基礎として、後に示されているような考え方を通して社会全体の選好を判断する。したがって、かりに費用便益分析が規範的な判断（たとえば、将来世代の福祉に対する配慮）を含むとしても、それはあくまでも現在の社会を構成する各個人がもつ規範的判断をそのまま反映するものであって、費用便益分析自体は、社会が選好するものを決定する一つの方法であるにすぎない。

第3に、社会的評価ということと民主主義との関係が問題となる。すでに述べたように、費用便益分析は各個人の選好を基礎として社会全体の選好を確認する。その限りにおいて、費用便益分析の手続きは民主主義的である。しかしながら、費用便益分析において各個人の選好は金額によって表現される。そして後に述べるように、その金額としては競争的な市場において明示されるであろう金額が適用される。しかし、諸財やサービスに対して各人が市場において支払うであろう金額は各人の所得の大きさに依存するから、社会を構成する各個人の所得が均等でない限り、費用便益分析は1人1票の投票と同じプロセスではない。したがって、その意味においては、費用便益分析と民主主義的意思決定とが異なっていることに注意しなければならない。

2.2 費用便益分析の理論的フレームワーク

前節では費用便益分析の基本的な発想に関して若干の検討を加えた。本節では、そのような発想に基いてなされる費用便益分析が、従来の経済学の理論によってどのように正当化されるのか、あるいは、正当化されるためにはいかなる仮定が必要とされるのかを確認し、その後、費用便益分析の標準的な手続きを述べることにする。ここではまず、費用と便益の概念からスタートすることとしたい。

まず、費用とは、あるプロジェクトや政策を実行するために犠牲とされる資源（資本、労働力、原材料など）を意味する。一方、便益とは、あるプロジェクトや政策のアウトプット（発生する効果、生産される財やサービスなど）に対する消費者の評価額を意味する。すでに述べたように、費用も便益もともに金額で表示されなければならないのであるから、問題はインプットやアウトプットをどのような考え方で金額換算するかということである。そのための基本的な概念が、次に述べられる「支払容認額」というものである。

2.2.1 支払容認額

「支払容認額」という呼称は、willingness-to-pay に対する訳語であるが、必ずしも一般的に定着したものではない。文献によってはこれを「自発的支払」あるいは「負担意志」、「支払容認価格」と呼び、また頭文字をつなげてWTPと呼んでいるケースもある。いずれにせよ、その意味するところは、プロジェクトのアウトプットに対して消費者が支払ってもよいと考える金額である。この支払容認額がどのように把握されているかは、図2-1によって説明される。図2-1はプロジェクトのアウトプットに対して、標準的な右下りの需要曲線が描かれたことを仮定している。そのアウトプットに競争的な市場が存在するものとし、その価格が P 、需要量が Q であるとする。この場合、消費者は全体として図の $OPQD$ に相当する金額を実際に支払う。しかし、それは消費者が OQ の量に対して支払ってもよいと考えている金額ではない。消費者の支払容認額は、実

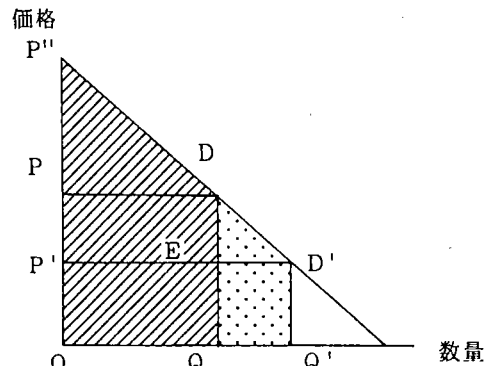


図2-1 支払容認額の算定

際の支払 $OPQD$ といわゆる消費者余剰 $P''PD$ とを加えたものである。なぜならば、消費者の中には、このアウトプット 1 単位に対して P 以上の金額の支払いを辞さない者がいたと考えられるからである。また 1 人の消費者について考える場合でも、そのアウトプットの最後の 1 単位に比べて、それより前に需要され消費される単位については、より高い価格が成立しえたと考えられるからである。かくして、支払容認額は、図の斜線部分によって与えられる。

ところで、通常の投資プロジェクトの効果は、すでに存在しているアウトプットの量をさらに変化させるという性格のものであることもあるから、その場合、アウトプットの評価に関連をもつものは支払容認額の変化分である。したがって、図 2-1 において、プロジェクトの実施が、この財ないしサービスの供給量を Q から Q' へ増加させるのであれば、そのアウトプットの便益は支払容認額の増加分 $DQ Q' D'$ (図中の点を打った部分) によって表わされる。この金額は

$$\begin{aligned} \Delta WTP &= \Delta Q \cdot P' + \frac{1}{2} \Delta P \cdot \Delta Q \\ &= \Delta Q \left(\frac{P+P'}{2} \right) \end{aligned}$$

となる。したがって便益の評価額は、産出量の増加分にプロジェクト実施前の価格と実施後の価格の単純平均を乗じたものとなる。もしプロジェクトの規模が相対的に小さいために価格の変化が小であるならば (あるいは変化しないならば) $\Delta WTP = \Delta Q \cdot P$ となる。このことは、競争的市場における市場価格はアウトプット 1 単位当たりの支払容認額についての適切な指標であることを意味している。アウトプットに関して市場が存在せず市場価格が利用できないとき、あるいは市場が存在してもそれが競争的でないときには、直接に支払容認額を推定しなければならない。いいかえれば、ある特定のアウトプットに関して、もし競争的市場が存在するならば成立するであろう価格、を推定する必要が生じる。

支払容認額は、たんに便益を評価するためだけの概念ではない。それは費用の評価の基礎でもある。それは次のようにして説明される。すなわち、あるプロジェクトに投入される特定の資源は、もしそのプロジェクトに投入されなければ、他の代替的な用途に向けられて、その用途を通じて、一定のアウトプットを生み出すであろう。そして、アウトプットについては、すでに述べたように支払容認額を考えることができる。したがって、ある特定の資源があるプロジェクトに投入されるとき、それと同時に、ある一定の支払容認額を付与されるアウトプットの実現が犠牲とされていることになる。その支払容認額をその特定の資源の社会的機会費用と呼び、資源の費用はその機会費用の額によって表わされる。そして、便益の場合と同様に、もし代替的用途から生じるアウトプットに関して競争的市場が存在するならば、そのアウトプットの市場価格による評価額がその支払容認額に等しく、したがって、それが当該資源の費用を示すこととなる。

2.2.2 計算価格

これまでに述べたことから判明するように、もしあらゆる種類のアウトプットおよびインプットに関して、競争的市場が存在するならば、費用便益分析の実施はきわめて容易となる。しかし、ほとんどのプロジェクトに関して、そのような状況を期待することは不可能である。その理由ないし原因にはいろいろな

ものが挙げられるが、それらを大別すれば、(1) 市場そのものが存在しない場合、(2) 市場が存在しても競争の不完全な場合、(3) その他、を考えることができる。(1)には、プロジェクトのアウトプットないしインプットが公共財である場合が相当する。また、財やサービスそのものには十分に競争的な市場が存在していても、それらの供給ないし消費に伴う外部効果を価格が反映しえない場合も多い。競争的な市場価格といえども、正の外部効果をもたらすような財ないしサービスに関しては過小評価、負の外部効果をもたらすような財ないしサービスに関しては過大評価となっていることが多い。これは、いいかえれば、それら外部効果の部分に関しての市場が存在しないことによるものである。(多くの公共財は、このような理由のゆえに公共財とされているにほかならない。) (2)には広範な例が含まれるが、費用逡減などの理由による独占者の存在、要素市場における不完全雇用の存在、などが代表的である。また、政府の市場介入として価格支持政策がとられているような場合も、ここに含められるであろう。一方、(3)として挙げられるのは、既存の市場の規模に対してプロジェクトの規模が相対的に大きく、プロジェクトの実施によって市場価格に変化が生じるような場合である。

いずれにせよ、アウトプットおよびインプットに関して市場価格が存在しないとき、あるいは、存在してもそれが競争的なものではないときには、すでに述べたように、なんらかの方法によってそれらの支払容認額や機会費用を推定し、それらを市場価格に代えて用いなければならない。そこで用いられる数値は現実の市場価格ではなく、あくまでも計算上の価格であるから、それらを計算価格と呼ぶ。それぞれに多少のニュアンスの相違はあるが、潜在価格あるいは陰の価格(*shadow price*)、帰属価格(*imputed price*)、などの用語もほぼ同義に用いられる。費用と便益の計算に直接に市場価格が適用可能であるときには、その計算は結果的には収入と支出の計算にほかならないから、結局、費用便益分析の特色はひとえに計算価格の使用にあるといっても過言ではない。ただし、計算価格の設定は、その原則こそ確立されているものの、後のケーススタディ等にも見られるように、その実践にはきわめて困難な点が多く、かなりの単純化や妥協を必要とすることがしばしばである。陰の価格の代わりに幻の価格(*ghost price*)と揶揄されるゆえんもここにある。

2.3 厚生経済学的うらづけ

これまでに述べたような考え方を背景としながら、費用便益分析は、ある政策やプロジェクトに関してそれらがもたらすすべてのアウトプットとインプットとを評価し、総便益と総費用という形で両者を対比させる。ここで問題となるのは、すべてのアウトプットやインプットを支払容認額ないし機会費用で評価し、それらを合計することは、果たして真に社会的な評価というものになっているのかどうか、また、そうであるためにはどのような前提を認める必要があるかということである。

結論的にいえば、費用便益分析は、まず、(1) パレート最適の達成をめざすものである。周知の如く、パレート最適とは「社会を構成する一人の人間の満足を高めるためには、すくなくとも一人の人間の満足を低下させなければならないような状況」と定義される。いいかえれば、この考え方に基いて状態 x と状態 y とを比較しようとするときには、社会を構成するすべての人々が状態 x を選好するとき、はじめて、

社会は状態 x を選好するということができる。したがって、ある人々が x を y より選好し、他の人々が y を x より選好するのであれば、パレート最適の考え方は、そのままでは、社会の選好に関してなんらの指針も提供しない。すなわち、それは、多数の人々が1つの状態を他の状態よりも選好するかどうかを知るために「選好の強さを集計すること」を認めない。その理由は、パレート最適概念の基礎にある厚生理論は、異なる個人の間での効用の比較可能性を否定しているからである。

明らかに、こうした基本的な性格は費用便益分析の現実への適用に際して、大きな利約となる。そこで費用便益分析は、パレート最適の考え方に、(2) カルドア=ヒックス補償原理と呼ばれる考え方を導入する。カルドア=ヒックス流の補償原理といわれるものの内容を簡単に述べれば、「状態 y へ移ることによって利益を得る人々が損失を蒙る人々を補償し、なおかついくらかの利益を手許に残しておくことが可能であれば、社会状態 y は現存する状態 x より社会的に選好される」とする考え方である。この考え方の要点は、補償の可能性に着目していることであり、現実には補償がなされるかどうかは問題としないことである。これによって、パレート最適の概念を基礎として比較することが可能な状況——パレートの意味での比較可能な状況——の範囲が大幅に拡大され、はじめて、費用便益分析に現実的な適用可能性が与えられることとなる。

パレート最適でない状態からパレート最適の状態へ向かっての変化を「パレートの意味における改善」と呼ぶならば、これまでの説明から、費用便益分析はパレートの意味における改善を社会的利益とみなすという基礎の上に立つものであるということができるであろう。ただし、すべての政策ないしプロジェクトは社会を構成するある一部の人々に厚生上の損失をもたらす傾向があるので、単純なパレート最適の概念に加えて、カルドア=ヒックス型の補償原理を導入する必要が生じたのであった。費用便益分析の考え方は、正の値の純便益 (= 総便益 - 総費用) をもたらすような政策ないしプロジェクトを是とするものであるが、それはすなわち、純便益が正であるならば、パレートの意味における改善を実現するような特定の補償が必ず存在すると考えるからにはかならない。

2.4 費用便益分析の手続き

2.4.1 評価基準

これまでの議論の中には、時間という視点はまったく含まれてこなかった。しかし、すくなくとも費用便益分析の対象となるようなプロジェクトないし政策のもつ効果は、ある程度の長さの時間にわたって発生するものと考えられる。しかし、その発生のパターンは、プロジェクトの良し悪しに関するわれわれの判断に、大きな影響をもっていると考えられる。したがって、プロジェクトの実施とその効果が持続する期間をプロジェクト・ライフと呼ぶことにすれば、発生する便益および費用は、プロジェクト・ライフの中の特定の第 t 期における便益と費用という形で——それぞれ B_t および C_t として——把握されかつ表現される必要がある。ところが、このような把握の仕方をするとき、1つの問題が生じる。すなわち、各期の便益や費用の全体としての総便益や総費用を算出するとき、異時点間の便益や費用を直接に足し合わせることは不合理である。そこで費用便益分析では、いわゆる割引現金フロー法の考え方を適用して、第

t 期の便益および費用に対しては、 $1/(1+d)^t$ という係数を乗じてとり扱うこととする。d は 1 期先の便益と費用を現在時点の価値に割引くために社会が用いる割引率であり、したがって、 $1/(1+d)^t$ は第 t 期の便益と費用とを評価時点における現在価値に換算する係数を意味する。一般的に言えば、割引率の値は各期間によって異なるものであるかもしれないが、正確には、割引の係数は $1/(1+d_1)(1+d_2)\dots(1+d_t)$ となるが、通常は上のように共通の 1 つの割引率が適用される。

このように、現在価値というものを費用便益計算の基本単位として用いることにすれば、費用便益分析の結果は、以下に示すような評価基準の数値を用いて集約的に表現される。すなわち、プロジェクト・ライフを n 期 — 通例は年単位で表現する — とすれば、総便益の現在価値 B と総費用の現在価値 C は、次のように表現される。

$$B = \sum_{t=1}^n \frac{B_t}{(1+d)^t}, \quad C = \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+d)^t}$$

この B と C を用いて、通常よく用いられる評価基準を示せば、次の 3 つである。

① 純便益の現在価値 $B - C$

プロジェクトは $B - C \leq 0$ であれば、棄却される。

② 便益費用比率 B/C

プロジェクトは $B/C \leq 1$ であれば、棄却される。

③ 内部利益率 d'

d' は $B = C$ を成立させるような割引率を意味し、 $d > d'$ であれば、プロジェクトは棄却される。

これらの評価基準は、特定のプロジェクトについての絶対的評価にも、複数のプロジェクト間の相対的評価にも、ともに適用可能である。しかし、いずれの評価基準にも弱点があり、実際に利用する場合には諸々の考慮を追加する必要がある。たとえば、規模の大きく異なる複数のプロジェクトのランキングに①あるいは②を一律に用いると、しばしば常識的に不合理な結論が導かれるし、また、①と③を同じく 2 つのプロジェクトの比較に適用すると、それらの相対的な望ましさに関して正反対の結論が導かれるような場合さえある。一般的に言えば、経済学においては①の純便益現在価値を評価基準として議論を進めることが多く、実務面では③の内部利益率が用いられることが多い。③が実務において多用されるのは、①と②の計算は割引率 d の値を確定した後でなければならないが、③はそれを必要としないということによるものであろう。③を評価基準として利用する場合でも、むしろ最終的にはそれと比較すべき d の値を必要とすることになる。しかし、現実の世界において意思決定者と分析者とは多くの場合異なっており、分析者にとっては意思決定者からの数値の指定をまっとうする①および②よりも、それを必要とせず分析を完結しうる③の方が望ましいということができよう。

2.4.2 社会的割引率

費用便益計算において用いられるべき割引率は、社会を構成する各個人の評価に対応する割引率ではなく、社会的な観点に立ったもの、すなわち、社会的割引率である必要がある。個人的な立場からの割引率として考えられるのは市場利子率であるが、いわゆる異時間の資源配分の最適性は市場機構のみによって

は達成されないと考えるべきであり、したがって、市場利子率もまた、異時点における資源の価値を評価するに適切な拠り所とはならない。そこで、社会的割引率として、つぎの2つの考え方が提唱される。

- ① 社会的時間選好率
- ② 社会的機会費用率

社会的時間選好率は、異時点における同一の消費に対して、社会全体として与える相対的な評価を示す率であり、換言すれば、社会が将来の消費のために現在の消費を犠牲にする限界代替率を表わしている。一方、社会的機会費用率は、資金が特定のプロジェクトに投入されるために、社会全体として犠牲となった投資機会の収益率を意味している。これら2つの率は、やや議論が詳細になるが、費用便益計算の基本単位（ニューメレール）が消費額であるときは前者の社会的時間選好率が社会的割引率として用いられるべきであり、基本単位が投資額であれば後者の社会的機会費用が用いられるべきであろう。ここで、「基本単位が消費額（投資額）である」ということの意味は、次のとおりである。すなわち、プロジェクトから発生する便益の中には、一般に、消費者に消費という形で発生するものと、政府あるいは企業部門に利益という形で発生するものが混ざりあっている。後者の一部は、通常は再び投資に向けられる金額である。そして、この両者の割合は、便益が発生した後に社会が自由に換えられるという性質のものではない。したがって、投資1円分と消費1円分とに社会が等しい便益を付与するのではない限り、両者の金額を合計する場合には一定の換算が必要となる。その換算を施した後の合計額は、投資（可能）額か消費額かのいずれかになっているはずである。ニューメレールが消費（あるいは投資）であるということは、投資（消費）額を消費（投資）額へ変換した場合にほかならない。

いずれの割引率についても、それらの推定には困難が付きまとい、現実の費用便益分析においては、経験的な数値（過去のプロジェクトの利益率など）を手がかりとしつつ、感度分析を実施する場合が多い。

2.5 費用便益分析の問題点

これまでの記述からある程度まで明らかなように、費用便益分析の特色を列挙することはすなわち、その問題点を列挙することでもあったとすることができる。しかし、ここまでは触れられなかった問題点の中にも重要なものがいくつか残っている。ここでは、それらのうちの二点に関して、ごく簡単に注意を喚起しておくこととしたい。

2.5.1 所得分配の側面のとり扱い

前節において述べたように、便益と費用の評価の出発点は支払容認額という考え方であった。支払容認額に関して注意すべきは、それが各個人の所得の限界効用を反映してはいないという点である。ある財やサービスに対して、ある個人が支払ってもよいと思う金額の大きさは、本来はその個人の所得の大きさに依存するものであり、所得が十分に大である者は、その財やサービスがかれに与える限界効用がさほど大きくなくても、相当額の支払いをしようとするかもしれない。この場合、かりに所得の小さい者がそれと同額の負担を容認するとすれば、そのとき、後者にとってのその財ないしサービスの重要性は、前者にとってのその重要性を上回るものであるかもしれない。同一のアウトプットであっても、それが富者に享受

される場合と弱者に享受される場合とでは、効用の大きさが異なるものと考えられるのである。

そこで、このような所得分配の側面を費用便益分析の枠組みの中にとりいれるとすれば、形式の上では次のような処理がなされなければならない。すなわち、便益の合計額（社会的便益）を $S B$ とするとき、

$$S B = a_1 B_1 + a_2 B_2 + \dots + a_n B_n$$

とされる。ここで B_1, \dots, B_n は社会の構成員 1 から n までの各人に生じた便益、 a_1, \dots, a_n は、所得分配を基礎として各人に付与されるウェイトである。いうまでもなく、通常のそして従来の費用便益分析では、 $a_1 = a_2 = \dots = a_n$ とされることがほとんどであった。

ほとんどの政策やプロジェクトはある程度まで所得分配に影響をもつものであろうし、また、税制など財政的手段による所得再分配が十分に行われにくい状況では、そもそも所得再分配の機能が最初からプロジェクトに期待されているような場合すらある。そのような場合を考えれば、費用便益分析における所得分配の考慮は、無視しえない現実的な要請であるとも考えられよう。問題は、個人間のウェイトをどのように決定するかである。その決定方法に関しては、これまでいくつかの案が提示されてきてはいるが、広く支持を得て定着したものは未だ見当たらない。いずれにせよ、費用便益分析の適用範囲を拡大して行くにあたっては、所得分配効果の導入は重要な課題の一つである。

2.5.2 便益の種類とその取り扱い

費用便益分析は、理論上はプロジェクトに伴うすべての便益を把握しようとするものであるが、実際には、計測が不可能ないくつかの便益に注意を限定せざるを得ないことが多い。便益は、当該プロジェクトや政策の目的との関連において主要便益と副次便益とに分けられ、効果の実現形態との関連において直接便益と間接便益とに分けられる。

ここで問題になるのは、副次便益および間接便益である。副次便益は、たとえばかんがい用のダム建設によって周辺的美観が改善されるようなケースが相当し、間接便益は、たとえば、かんがい用ダムの建設 → かんがい用水の供給 → 農産物の増加 → 化学肥料・農機具等の需要増 → 硫酸や鉄鋼の生産増、というような一連の効果を指す。これらの効果をどの範囲まで費用便益分析の中に組み入れるかについては、原則となるような考え方は従来は存在せず、分析ごとに都合のよい処理が施されてきた。しかしながら、いわゆるインフラストラクチャの建設プロジェクトや、水質など環境汚染防止プロジェクトのように、副次的ないし間接的便益が便益の重要な部分を構成するような場合には、それらを対象とする分析の実施に際して、十分な方法的枠組みの準備と一定の標準的な分析レベルに関する合意の形成が必要とされるであろう。

3.1.2 便益の評価方法

水質を改善することの便益は、人々が水質に基いて水系をどのように利用するかによって決まるから、ある特定の状況において便益を推定するためには、水質と利用形態との関係を確認しなければならない。

具体的な便益推定の作業はケース・スタディにおいて実例を検討することとし、ここでは上記の点に注意しながら、ごく簡単に原則的な推定方法のみを列挙しておくこととする。ここでの最終的な目的は、水質改善に対しての——あるいは、一定の質をもった一定量の水に対しての——人々の支払容認額を推定することにある。すでに第2章でも説明されたように、もし水という資源に関して競争的な市場が存在するのであれば、その市場価格がすなわち支払容認額として費用便益分析に適用される。しかし、周知の如く、水は公共財として供給されたり（たとえば、ダム建設によるかんがい用水の供給）、公益事業サービスとして供給されたり（たとえば公企業や公益事業による上水道の水の供給）、あるいは街路を流れる河川の水のように自由財として消費されていることが常であり、競争的な立場というものを想像することは、きわめて難しい。そこで、われわれはなんらかのくふうを必要とする。そのくふうとは、場合によっては、水に対する支払容認額を何か別の財やサービスに対する支払容認額で置き換えることであり、また場合によっては、水の利用から生じる費用の節約ないし減少をもって水に対する支払容認額と考えたりすることである。むろん、それぞれのくふうが適用可能な状況は、それぞれに異なる。以下に示す3つの推定方法は、生産プロセスにおけるインプットとしての水（あるいは水質）が、アウトプットや他のインプットとどのような関係をもっているかに着目しながら、それに応じて、何を推定の手がかりとすればよいかを区別しようとするものである。

(1) 消費者余剰による推定

市場性をもった財ないしサービスの生産に対して水がインプットとして使用され、しかも、当該財ないしサービスの供給曲線が水質の改良によって著しくシフトするような関係を想定する。この場合には、水質改善の便益は、需要される当該財ないしサービスの量と価格とに基いて推定される。図3-2は、このようなケースを示したもので、便宜上、

当該財の限界費用は一定としている。この場合、便益は2つの部分から成る。一つはABDEで示される部分で、価格の低下により従来の需要量に関して発生した消費者余剰の増加分に相当する。もう一つは、三角形BDCで、需要の増加分に関する消費者余剰である。この推定方法は、水質改良による当該財の生産費の減少額、およびその財の需要関数に関する部分的な情報があれ

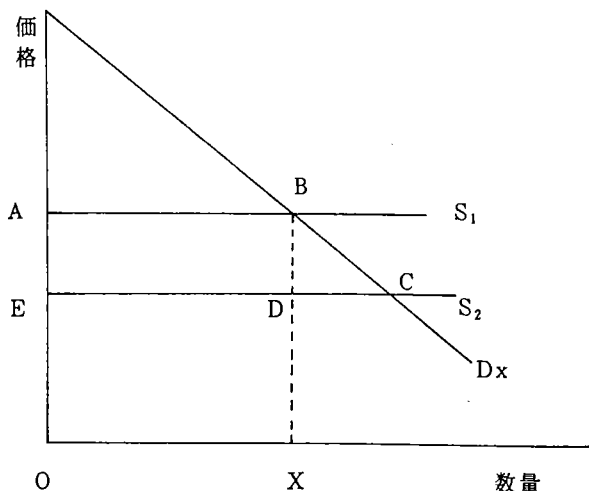


図3.2 消費者余剰による推定

ば、きわめて、容易に適用することができよう。

私的な財の消費において、公共財としての水質がその補完財となっているようなケースにも、消費者余剰による推定を適用することが可能である。すなわち、その場合に水質の向上に対して付与されるべき便益は、当該私的な財に対する需要に関する情報から導くことができる。一例として、私的な財が漁場の提供、公共財がその漁場の水質に相当するケースを考えよう。漁場を使用しない人間は水質を気にかけないという意味において、両者は補完財の関係にあると考えてよい。いま、図3-3におけるように、水質が向上する以前のこの漁場に対する需要曲線が D_1 、向上した後の需要曲線を D_2 とすれば、その水質向上の便益は増加した消費者余剰 $BCDE$ によって測られることになる。

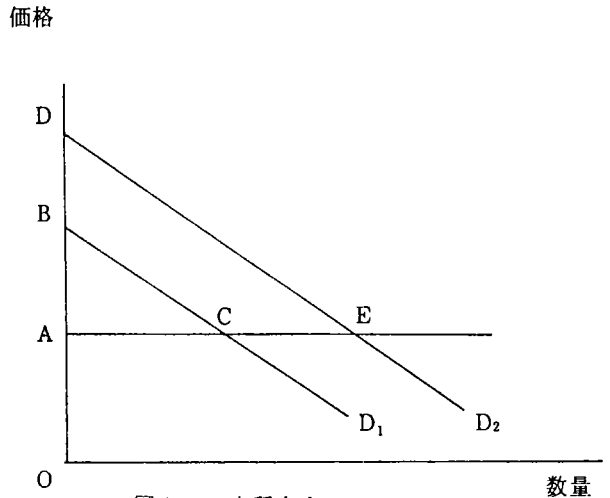


図3.3 水質向上のもたらす便益

(2) 純要素所得による推定

第1の場合と同様、市場性をもった財ないしサービスの生産に水がインプットとし

て用いられる状況を想定する。また、当該財の生産量はその市場に対して相対的に小であり、かつ、その財の可変的生産要素の市場に関しても相対的に小であるため、水質の変化があっても当該およびそれら可変的インプットの価格は不変であるものとする。このような場合には、水質の変化による生産性の上昇は、固定的な生産要素に関して発生した余剰要素所得という形をとって現れるが、その金額をもって水質改良の便益とみなすことが可能である。これに該当する例としては、水質の改良により農作物の収穫が増加する場合が挙げられる。水質の変化によって生じた農作物収入の増分から、同じく水質の変化によって生じた生産費用（可変的インプットに対する支出）の変化分を引けば、それによって農家所得の純変化分が計算され、それがこの場合の水質改良の便益であると考えられる。

(3) 生産費用の節約額による推定

ある財ないしサービスの生産において、使用される水の質が別のインプットに対する完全な代替財になっている場合には、水質の改良は、その代替的インプットの減少による生産費用の節約額によって評価される。一例として、自治体の上水道のサービスの供給を考えてみることにする。もし水質の向上が単純に処理費用の減少のみを引き起こすならば（すなわち、最終的に家庭に供給される水の質に変化はなく、その料金にも変化がないものとする）、水質改良の便益は、その処理費用の減少分によって示されることとなる。

あらかじめ述べておいたように、ここに示したものはあくまでも推定方法のいわば原理のみである。この他にも異質のアプローチが考えられるかもしれないし、また、現実の分析においては、上述のアプローチ

チの併用という必要も当然に生じてくるであろう。

3.2 費用の推定について

3.2.1 水質汚濁防止に関する費用について

水質汚濁防止に関する費用には、大別して次の5つのものが考えられる：

- 1) 廃物の発生源における排出に関して必要となる費用
- 2) 廃物の発生源から排出点への輸送に関して必要となる費用
- 3) 廃物の排出点における処理に関して必要となる費用
- 4) 水環境の浄化対策にとって必要となる費用
- 5) 水質汚濁防止に関する公共政策実施にとって必要となる政策費用

ただし、ここでいう廃物とは、廃水・廃ガス・廃棄物の3形態からなるものである。水質汚濁防止に関する廃物に廃ガス・廃棄物が含まれるのは不思議に思われるかもしれない。が、これは次のような例を考えてみれば納得出来る。今、有機汚濁物質を含む廃水を活性汚泥法で処理するとすると、この処理活動に伴って汚泥が発生する。この汚泥を焼却炉で焼却すれば、廃ガス及び焼却灰という廃棄物が発生するという具合である。

生産活動・消費活動に付随して発生する廃物の発生源における処理・排出に係わる費用が第1のタイプである。各生産者の負担している公害防止関連費用の大部分がここに含まれる。消費者の発生する廃物は、わずかの例外（自家処理）を除いて、大部分が公共処理場で処理されるので、第2の輸送（管渠又はトラックによる輸送）及び第3の最終処理地点での処理に関連した費用に影響を与える。

第4のタイプは、廃物が発生源ないし最終処理地点から環境に排出された後に、環境の浄化をおこなおうとする際に必要となる費用のことである。第1から第3のタイプの費用が環境への入力（フロー量）を制御することに関係する費用とすれば、第4の費用は環境における廃物のストック量に直接影響を与えるような活動に関連している。浄化用水の導入、汚泥の浚渫、河川再曝気といったものが浄化活動である。

第5のタイプの費用は、水質総量規制、濃度規制等の環境施策実施にともなって必要となる情報収集費、業務執行費、一般管理費という費用項目の和としてあらわされる政策費用をさしている。政策費用に占める各費用項目のウェイトは、環境規制が間接規制（ピグー流のチャージ方式）か現行の直接規制（総量規制等）かといった、施策の内容に依存して決まってくる。例えば、間接規制においては排出者の経済的インセンティブを重視するので、業務執行費は少なくすむかもしれないが、適切なチャージ額を算定するために必要となる情報収集費は、直接規制の時に比べてはるかに大きくなると予想される。

以上が水質汚濁防止に関する費用の分類である。これらの費用を実際に推定するには、大別して次の3つの方法によるものが考えられる：

- 1) アンケート調査によるもの
- 2) 工学的方法によるもの
- 3) アンケート調査と工学的方法の併用

第1の方法は、汚濁防止関連費用を汚濁者である排出者を対象としたアンケート調査によって直接推定しようとするものである。この方法は簡便ではあるが、データの信頼性に問題がある。アンケート記入者と調査実施者の信頼関係に立って調査が実施されたとしても、記入者相互間において汚濁（公害）防止関連費用の会計的処理に不一致のあることは好ましくない。1例として水質汚濁防止施設に係わる維持・管理費用の一項目である動力・用水費を推定するという場合を考えてみる。この時、ある調査対象者の工場では、防止施設ごとに個別のメーターをつけて算定しているのに、他の調査対象者の工場では井勘定で工場全体の総動力・用水費の何%といったもので算出している、といった状態がある場合には、記入されたデータの信頼度はおちると考えられる。それゆえ、公害防止関連費用について会計上まぢまぢに取り扱われている現状に鑑みて、第1のアンケート調査による方法は、データの信頼度という点からみると、問題のある方法である。

第2の方法は、主として廃物の処理費用関数の推定に用いられるものである。この方法は、まず、パイロット・プラント等から得られる工学的データを用いて廃物の排出に関する生産関数を推定し、次に、推定された生産関数と市場等から得られる価格データを用いて費用関数を推定しようとするものである。

第3の方法は、第2の方法のうち生産関数推定に関する部分に工学的方法を用い、価格データに関する部分は第1のアンケート調査によっておこなうというものである。

第2、第3の方法についてももう少し詳しく見るために、2節において、パイロット・プラント等から得られる工学的データにもとづいて推定される技術生産関数及びそれと経済生産関数の関係について説明する。最後に、3節において、経済生産関数にもとづいての費用関数の導出方法について説明する。

3.2.2 技術生産関数と経済生産関数

本節ではまず技術的に推定して得られる技術生産関数（engineering production function）について説明し、次に、これと経済生産関数（economic production function）との関係を見てみる。

技術生産関数は、経済財の生産及びこれと結合的に生産される廃物の生産を技術的な変数で表現しようというものである。例としては、排水処理に関する技術生産関数のモデルプラントによる推定例といったものを取り上げたいのであるが、残念ながらこの方面の体系だった研究例は見当たらない。そこで、ここでは Cookenboo による原油送油管の技術生産関数について紹介する。Cookenboo は生産関数の推定にあたって、送油管を流れる原油は典型的な中西部原油（60 SUS viscosity, 34° API gravity）で、送油管の厚さは $\frac{1}{4}$ インチ、全長は1,000マイルで5%の起伏（それゆえパイプの長さは1,050マイル）をもち、管の中にはnet gravity flowはない、という仮定をおいている。この仮定のもとで、原油送油管の技術生産関数を等生産量曲線を用いて書きあらわしたのが、図3.4である。

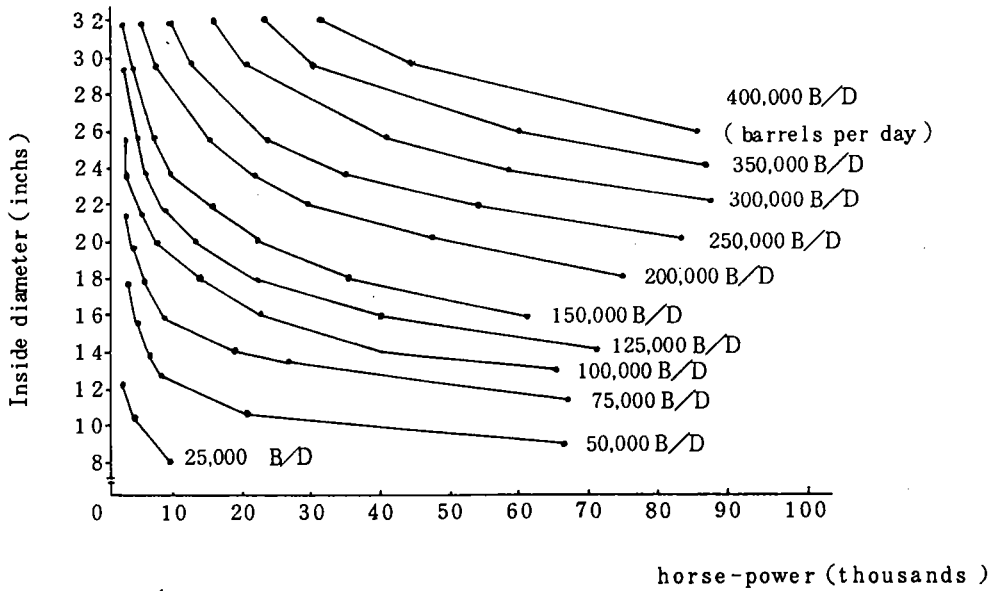


図3-4 原油送油管の生産関数 — 管の口径VS馬力VS送油量

出典：L.Cookenboo, Jr., 'Costs of operation of crude oil trunk lines', in Crude Oil Pipe Lines and Competition in the Oil Industry, Harvard University Press, 1955, pp.8-32

ここで主要な技術的変量として採用されているのは、馬力 (horse power) と管の内径である。馬力は pumping station でのポンプの馬力のことであり、これをいろいろかえることによって管の中を通る原油の圧力等に影響を与え、それゆえ管を通る原油の日量という生産量に影響するのである。この技術的
生産関数は簡単化すると

$$T = H^{0.37} Q^{1.73} / 0.01046$$

where T = throughput (B/Day)

(1)

H = horse-power (thousands)

Q = inside diameter of pipe (inch)

とかける。この技術生産関数を内径をパラメーターとして馬力の関数として書いた図が図 3.5 であり、馬力をパラメーターとして口径の関数として書いた図が図 3.6 である。

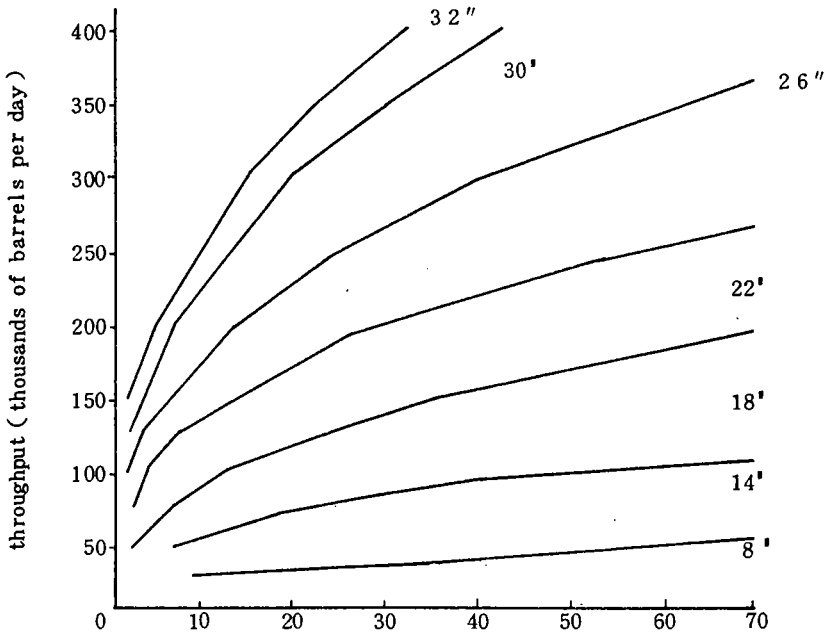


図 3.5 口径を所与とした時の馬力と送油量
 に関する生産関数 horse-power (thousands)

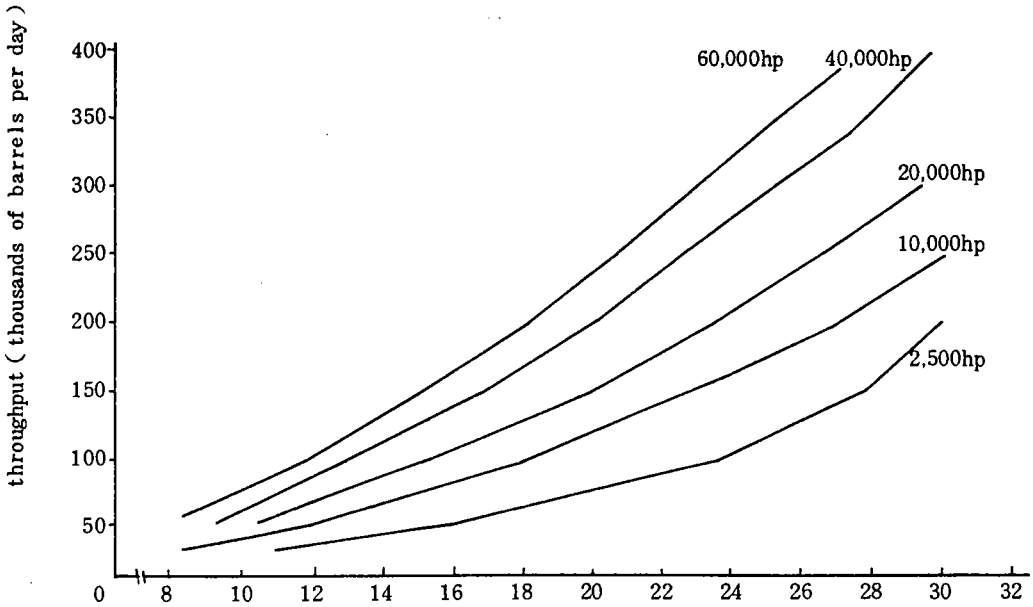


図 3.6 馬力をパラメーターとした時の
 口径と送油量に関する生産関数 Inside diameter (inches)

出典：L. Cookenboo, Jr.

図3.6からもわかるように、口径の増大は送量に比例増加以上の増加をもたらしている。いかえれば、馬力を一定とすれば大口径管の方が小口径管よりも馬力当りの送油量が大きいということである。このことを、送油管生産関数は内径について収穫逦増（increasing return）であるという。こうなる技術的理由を簡単に述べれば次のようになる。内径の増大は表面積の増加をもたらすが、それ以上に容積の増加をもたらすゆえに、表面積の増加による摩擦の増大にもかかわらず、大口径管の方が小口径管よりも一定馬力のもとでより多くの原油を送れるからである。これに反して図3.5は、口径を一定とした場合の馬力の増加は比例以下の増加しか送油量に与えないことを示している。このことを、送油管生産関数は馬力に関して収穫逦減（decreasing returns）であるという。以上のことは、(1)の生産関数をH、Qについて2階偏微分したものがそれぞれ負、正になることからいえる。

さて、この生産関数を技術的変量でなく経済的変量で書き直したものが、経済生産関数である。経済的変量（経済学では“生産要素”とよぶ）の代表的なものは、石油・石炭・水等の自然資源量・労働量・土地・それに資本である。資本は株式・社債の発行及び内部留保の積立て等によって集められ、具体的には機械等の工場設備、製品及び原料資材の在庫等といった形をとるものである（岩波の経済学辞典では「こんにち一般に資本といえ、貨幣単位で評価した生産設備（production-equipment）あるいは資本設備（Capital-equipment）を総称……」と説明してある）。経済的変量の多くは市場で取引され、稀少性という性質を有している。労働は労働市場で、土地も土地市場で、資本は株式市場とか債券市場で、自然資源の多くもそれらが取引される市場が存在し、それぞれの市場で取引される総量には限りがある。すなわち稀少なるもののみが市場で取引されるといってもよい。

技術生産関数は(1)でみたごとく

$$T = f(H, Q)$$

のように技術的変量であらわされるが、経済生産関数は

$$T = g(x_1, x_2, \dots, k) \quad (2)$$

のように経済的変量の関数としてあらわされる。ここで、 x_1, x_2, \dots は可変的生産要素を、 k は固定的生産要素をあらわす経済的変量である。可変・固定の区別は、生産のおこなわれる単位期間に依存して決まってくるもので、選択された単位期間において割合自由に投入量を変えることのできるものが可変的生産要素であり、変えられないものが固定的生産要素である。通常よくとられる1年以下の単位期間においては、資本に代表される生産設備等は固定的生産要素、労働投入量及び原材料に用いられる自然資源投入量は可変的生産要素とみなされるのが通例であるが、何が固定、可変かは具体的な事例に即して決められねばならぬ。(2)のように固定的・可変的生産要素の関数としてあらわされる経済生産関数のことを短期生産関数とよぶ。固定的生産要素を変えずに、可変的生産要素を変えることによるのみ生産量の変化に対応出来るような（短期の）生産期間内の生産をあらわす関数という意味で“短期”生産関数である。

さて、前述の(1)の技術生産関数を労働・土地・資本等の経済変量で書き直すことをCookenbooはやっていないけれども、生産の単位期間を1年以下に限るならば、口径を変えることは送油管全体に影響する大

がかりな設備の改変を余儀なくされ、かなりの時間と資本を要するので短期では無理である。これに反して、馬力についてはポンプ場の増設のように固定的生産要素に依存するものもあるが、労働量・原材料等の可変的生产要素によっても対応しうる部分があるので、送油管の経済生産関数の形は、固定設備に代表される資本をパラメーターとして、労働・原材料等の関数としてあらわされ、その形は図3.6に似たものになるであろう。すなわち短期生産関数としては、可變的生产要素に関して収獲逡減となるであろう。

3.2.3 費用関数の導出

本節では、経済生産関数にもとづいての費用関数の求め方について説明し、その後で、水処理用関数についてのEPAの研究例を簡単に紹介する。

ある生産物（Cookenbooの例では、原油の送油量）の単位生産期間における費用関数は、生産量Tの関数として、以下の制約付最小化問題を解くことによって得られる。

Minimize

$$C(T) = \sum_{i=1}^m r_i x_i + \varphi(k)$$

subject to

$$T = g(x_1, \dots, x_m, k)$$

ここで、 $g(\)$ は経済生産関数、 x_1, \dots, x_m は可變的生产要素、 r_i はそれぞれの市場価格、 k は固定的生産要素で $\varphi(k)$ は当該生産期間において償却される減価償却分である。この最小化問題において、固定的生産要素 k を一定として x_1, \dots, x_m について解いて得られる費用関数が短期費用関数であり、 k をも可變として x_1, \dots, x_m を解いて得られる費用関数が長期費用関数である。ここで制約付最小化問題となっている理由は、図1の等生産量曲線をみてもわかるように、同一の生産量を達成するにも x_1, \dots, x_m の組み合わせに種々の場合があり、これらのうちから現行の価格体系 ($r_1 \dots r_m$) のもとで費用の最小になるような最も効率的な生産工程をとった時の費用としてあらわされるものを経済学では費用関数というからである。

さて前の送油管の例においてCookenbooは送油管の費用関数として図3.7に示されるものを導出した。前述したように、口径は固定的生産要素に依存する部分が大であることから、図中で口径をパラメーターとして示されている費用関数は短期費用関数とみなしても、そう大きな誤差はない。そして口径が8インチから30インチに対応するこれら8本の費用関数の包絡線として得られるのが長期費用関数である。図からも明らかなように、短期費用関数は生産量に関して費用増増（convex関数）、長期費用関数は生産量に関して費用逡減（concave）になっている。図3.7を単位当り費用に直したものが図3.8である。

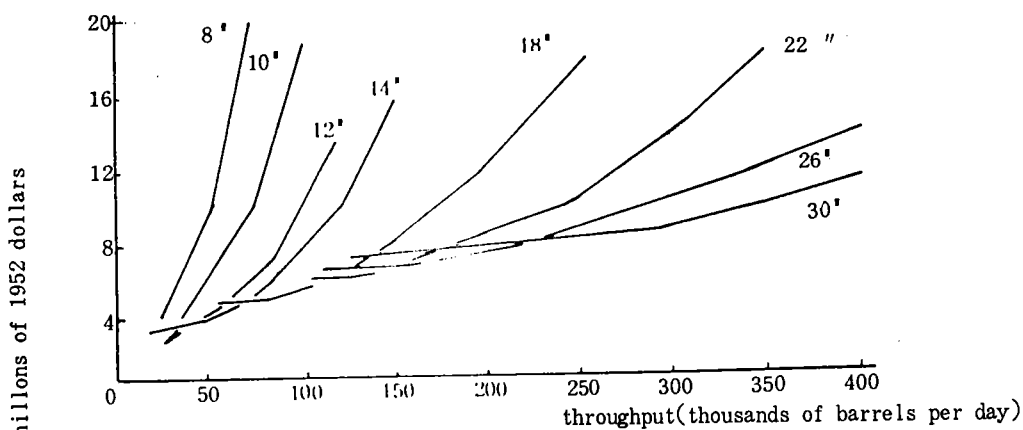


図 3.7 原油送油管の使用に係る年間総費用

(From Cookenboo, 1954, table 19)

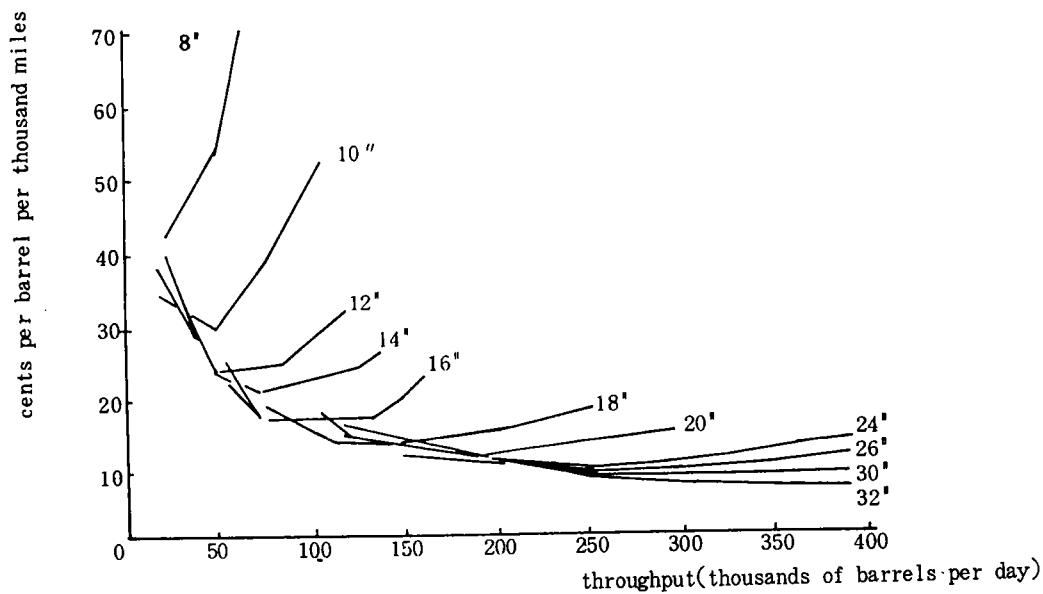


図 3.8 原油送油管の使用に係る平均費用

(From Cookenboo, 1954, table 19)

出典：L. Cookenboo, Jr.

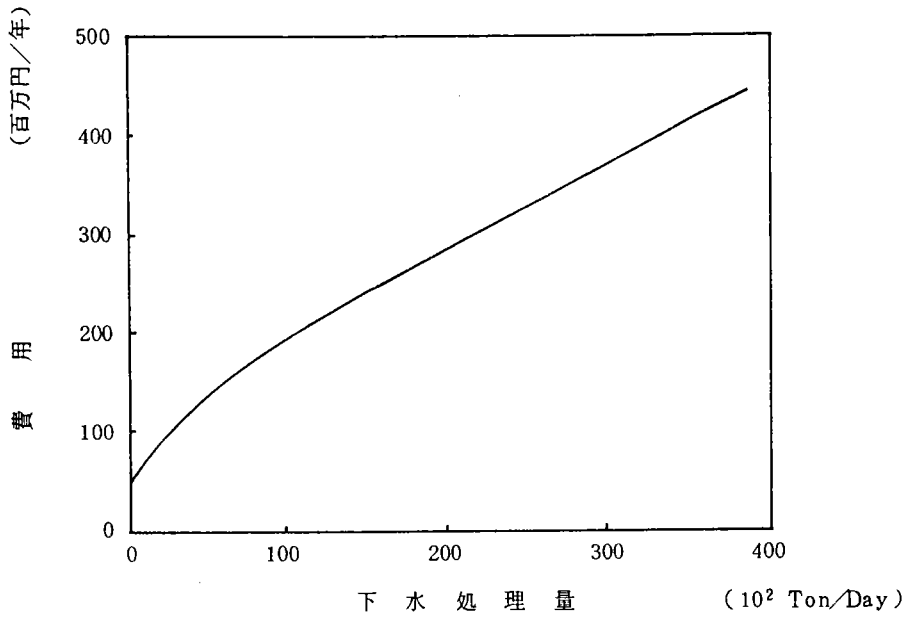


図 3.9 費用関数 (COD 350→4ppm)

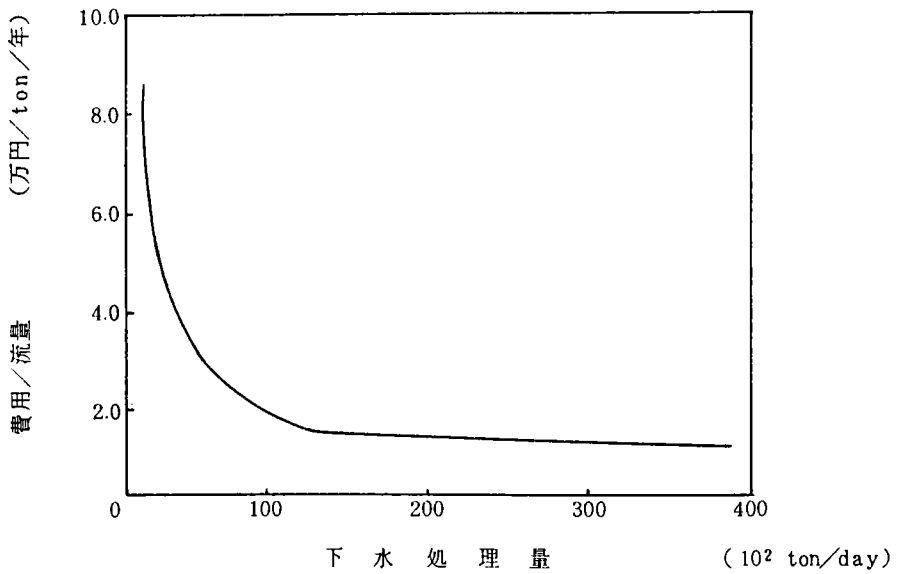


図 3.10 流量当たりの費用 (COD 350→4ppm)

出典：〔国立公害研究所特別研究成果報告 R-1〕

長期費用関数のもう1つの例として水処理に関する例を取り上げてみる。EPAのこの研究は、まず、水処理生産関数をあらわす固定生産要素として資本と土地を、可変的生产要素として原材料及び労力をとり、これら4種の生産要素の必要量を処理工程を通る流量の関数としてあらわしている。例として、初沈をとると、この処理工程に必要とされる年間当り生産要素の投入量はそれぞれ

{	Base Capital Cost (単位\$) (BCC)	$139753 + 17341.2Q$
	Land Requirement (単位 acres) (LR)	$0.23 + 0.088Q$
	Base Man-hours (単位 Man-hours) (BMH)	$1852.8 Q^{0.42}$
	Base Materials Cost (単位\$) (BMC)	$1158.4 Q^{0.62}$

ただしQはMillion Galon/dayである。

そして初沈の費用は

$$A = \left((BCC) + (LR) \times \text{土地代} \right) \times \text{償却係数}$$

$$B = (BMH) \times \text{労賃} + (BMC)$$

の和としてあらわされ、Aは(3)式における φ (¢)に対応している。図3.9に原水がCODで350Mmのものを4ppmにおとす場合の処理方式(スクリーニング+初沈+活性汚泥+2段曝沈+濾過+活性炭吸着+イオン交換)の費用関数が処理流量の関数として、図3.10にその単位当り費用関数がプロットされている。これらは長期費用関数である。すなわち各処理流量に対応する処理費用は、その処理流量に見合った処理設備を新設し、それを稼働率100%で用いた場合の最適の処理費用のことである。それゆえ短期費用関数が図3.10のように費用逡減になるとは限らない。すなわち、ある処理流量に見合った処理設備が現存し、その場合の費用関数(短期費用関数)を図3.10があらわしているのではない。

Reference

- 1) Van Note, Robert H, et al. (1975) : A guide to the selection of cost-effective wastewater treatment systems, EPA-430/9-75-002.

4 事例研究の紹介

4.1 はじめに

事例研究として採り上げられるのは2つである。その1つは米国未来資源研究所 (Resources for the Future, RFFと略す) グループによるデラウェア溪谷下岸流域環境質の管理に関する研究であり、もう1つは国立公害研究所グループによる霞ヶ浦環境保全に関する研究である。

前者は1960年代から連邦政府の手によっておこなわれてきたデラウェア塩湖沼帯環境保全研究の延長線上にあるものであるが、ここで取り扱われるのは、その最新の成果と思われる文献1によるものである。文献1におさめられているのは、RFFにおける「地域を対象とした統合的な廃物管理モデルの作成」というプロジェクト研究のデラウェア溪谷下岸流域への適用に関する報告である。プロジェクト研究のうち文献1に収められているのは、1972年から1975年にかけておこなわれ、担当者及びその担当分野は次の通りである。モデルの技術的・経済的側面については、W.O. Spofford, Jr. とC.S. Russellが、生態学的側面についてはR.A. Kellyが、制度的側面については、E. Haefeleが担当している。プロジェクト研究の成果は多数報告されているが、文献1に含まれているのは、Spofford, Russell, Kellyによる研究の最終報告であり、Spofford, Russell, Haefeleによる研究の最終報告は将来(少なくとも1976年9月以降)刊行されると文献1で述べられている。

後者の霞ヶ浦に関する研究は国立公害研究所の「陸水域の富栄養化に関する総合研究」というプロジェクト研究の一環として、北畠能房、中杉修身、宮崎忠国、内藤正明らによって進められているもので、ここで採り上げるのは主として文献2によるものであるが、その他未発表の資料にももとづいている。

次にこれら2つの事例研究の概観であるが、表4.1にSpofford, Russell, Kellyによる(1975年時点での)デラウェア・モデルと北畠らによる霞ヶ浦モデルの比較を示す。2節、3節においてこれら2つのモデルの詳細な説明がなされるが、各モデルの特徴を端的に述べれば、デラウェア・モデルにおいては廃ガス、廃水、廃棄物という廃物3形態間の相互関連分析に重点がおかれているのに対して、霞ヶ浦モデルでは費用負担の公平化といったことを重視している。

文献1: Walter O. Spofford., Clifford S. Russell, and Robert A. Kelly, Environmental Quality Management/An Application to the Lower Delaware Valley, Resources for the Future/Washington, D.C., 1976

文献2: [国立公害研究所特別研究成果報告 R-1] 陸水域の富栄養化に関する総合研究
昭和52年10月31日発行 一霞ヶ浦を対象として一

表 4.1 デラウェアモデルと霞ヶ浦モデルの比較

モデルの性質	制度的枠組	目的関数	環境モデル	廃物の種類	既存施設 の とり込み	廃物処理の多様性			費用負担 の 公平化案	
						生産系	消費系	公共部門		
定常状態 決定論的 部分均衡	架空の公 的機関が 大気環境 水環境、 埋立環境 に対す る 所有権を 保持して いる。	線 型	大気環境： プリアー ムモデル 水環境： 栄養段階 モデル	廃ガス 廃水 廃棄物	有	生産工程の変更 燃料転換 発生源における 処理	燃料転換 汚水の公共下水道 による送流 公共部門によるご みの収集	河川再曝気 公共下水道処理場 焼却炉によるご みの焼却 ごみの埋立 リサイクルのための 故紙の分別収集	消費系に のみ明示 的に有	無
同上	架空の公 的機関が 水環境に 対する所 有権を保 持してい る	非線 型	水環境： ボックス モデル	廃水	無	発生源における 処理 廃水の公共下水 道への送流	汚水の公共下水 道による送流	公共下水道処理場	消費系、 生産系と も暗示的 に有	有

なお、Spofford, Russell, Haefele による研究の中間報告的なものについては、Clifford S. Russell, Walter O. Spofford, Jr., and Edwin T. Haefele, "The Management of the Quality of the Environment," in Jerome Rothenberg and Ian G. Heggie, eds., The Management of Water Quality and the Environment (New York: Halsted, 1974). を参照されたい。

4.2 米国未来資源研究所におけるデラウェア渓谷下岸流域環境質管理モデル

4.2.1 モデルの概要

4.2.1.1 理論的枠組

デラウェア・モデルの基本的構想をエコノメトリックモデル体系に倣ってまとめてみたのが図4.1である。通常のエコノメトリックモデルと異なる点の1つは、汚水処理、ごみ処理等の公共サービス部門が需要ブロックにではなく供給ブロックに入っていることである。デラウェア・モデルでは消費活動の結果である都市下水発生量とか都市ごみ発生量といったものが所与と扱かれているが、これらをここでは最終需要の一部と見做して取り扱うことにする。

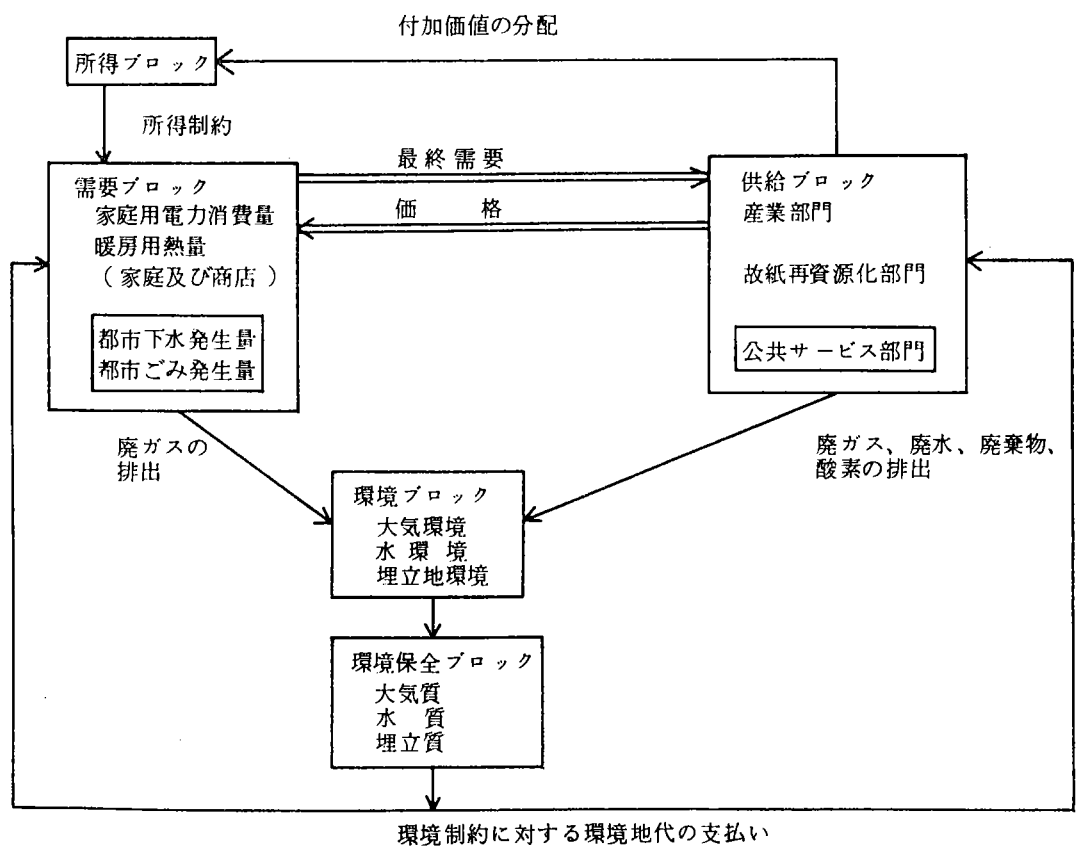


図 4.1 デラウェア・モデルの体系

次に各ブロックについて簡単に説明していく。供給ブロックには、各種経済財及びサービス財の最終需要量の供給に関連する全ての活動が含まれる。前述したように、ここには各種産業部門ばかりでなく、都市下水、都市ごみの処理にあたる公共部門及び都市ごみの一部である故紙のリサイクルにあたる故紙再資源化事業部門が含まれる。

需要ブロックは各種消費活動からなり、最終需要水準は所与とされている。ここでは後に述べる環境保全水準の達成という目標と密接に関わっていると思われる4つの最終需要項目が、需要ブロックの主要な変数として扱われている。これらは家庭用電力消費量、暖房に必要な熱量、都市下水発生量、都市ごみ発生量である。環境保全水準との関係で、これら4つの最終需要を満足するために消費者が負担せねばならぬ費用には変動が生ずるが、デラウェア・モデルにおいてはこの変動幅に一定の制約が課されるようになっている。

供給ブロックにおける生産活動の結合物として排出される廃物（廃ガス・廃水・廃棄物）及び需要ブロックにおける消費活動の結果として排出される廃ガス（廃水・廃棄物は仮定により供給ブロックに転嫁）と、大気環境・水環境・埋立地環境で代表される自然環境の状態との関連を扱うのが環境ブロックである。

環境保全ブロックの役割は、大気質・水質・埋立質といった指標で表示される環境ブロックの状態の保全を計ることである。ただしここでは環境保全ブロックの代表者である公的機関が大気環境・水環境・埋立地環境に対する所有権を有していると仮定されている。

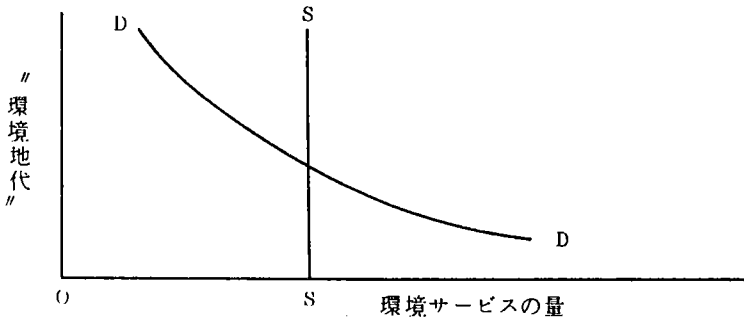


図 4.2 環境サービスの需要曲線と供給曲線

上図に描かれているグラフの横軸は、景観といったアメニティ・サービスとか生物のための快適な生存圏の提供といった環境サービスの量を示している。SSは環境の所有者である公的機関によって供給されるサービスの量の供給曲線を示している。他方、DDは環境サービスという一種の生産要素に対する派生需要曲線を示すものである。いわゆる被害関数（Damage Function）とよばれるものは、このDDに対応するものと考えられる。さて、環境保全ブロックによって環境保全水準が設定されるということは、公的機関による環境サービスの供給量が、環境保全水準によって規定される環境質のもとで享受可能なレベルに前もって固定されていることを意味する。それゆえ環境サービスの購入といった形で表わされる環境の利用に対して、環境の所有者である公的機関に一種の地代¹⁾（これを以下では“環境地代”とよぶ）を（最終的には消費者が）支払うという必然性が生じてくる。環境浄化対策技術の進歩によって供給曲線SSが長期的には可変であるとすれば、地代ではなく“準地代”といった方が適切ではあるが、ともかく

供給が環境保全水準によってあるレベルに固定されていることが環境地代の生ずる所以である。他方、環境地代の額を算定するには需要曲線（又は被害関数）DDの推定が不可欠であるが、これは難しい仕事である。それゆえデラウェア・モデルでは、環境サービスの量が環境保全水準によって規定されるOSのレベル以下にある時はDD曲線を2-1-5節で説明されるPenalty Functionによって代用し、環境サービスの量がOS以上になるとDD曲線はゼロになると仮定している。すなわち環境保全水準とは何らの被害も生じない状態、いいかえれば環境サービスが自由財になるような状態と仮定することによって、現段階では厳密に定量化出来ない環境地代が目的関数の最終値に入り込まないようにしている。

最後に所得ブロックについてであるが、デラウェア・モデルでは供給ブロックから需要ブロックへの付加価値分配は所与とされている。ただしこの所与の所得分布のもとで、環境保全政策による消費者の費用負担増に対して一定の制約が課せられるようになっていく。すなわち電力会社によって生産される所与の家庭用電力消費量に対して消費者の支払う電気代は、電力会社における廃棄処理レベルが高くなればそれに応じて値上りするが、この増分に対して一定の制約が課されている。同様に、暖房用熱量にしても所与の必要量を石油で賄うか天然ガスで賄うかによっては費用が異なるし、下水料金、ごみ処理料金も公共部門における処理水準に応じて変動する。

図4.1に示されたデラウェア・モデル体系を大きく2つのサブモデルに分け、これらと環境保全水準との関わりを示したのが図4.3である。ここで第1のサブモデルとは、生産活動・消費活動及び付随する廃物の発生・処理・排出を司るLPモデルのことで、これは図1における需要ブロック・供給ブロックをあわせたものに対応している。又、所得ブロックの所得制約から引き出される消費系の費用負担増に対する制約もこのLPモデルに取り込まれている。第2のサブモデルは環境システムモデルである。これはLPモデルによって決定される酸素及び廃物の環境への排出量に応じて大気環境・水環境がどう変動するかを表現するモデルである。なお埋立地環境については制約式の形でLPモデルに取り込まれている。環境システムモデルの出力である大気質指標・水質指標が所与の環境保全水準を満足しているかどうかをチェックし、もし満足していなければ、公共部門による河川再曝気の水準を引き上げるなり、需要、供給部門による環境地代の支払いを求めるのが環境評価部門の役割であり、これは図1の環境保全ブロックに対応している。

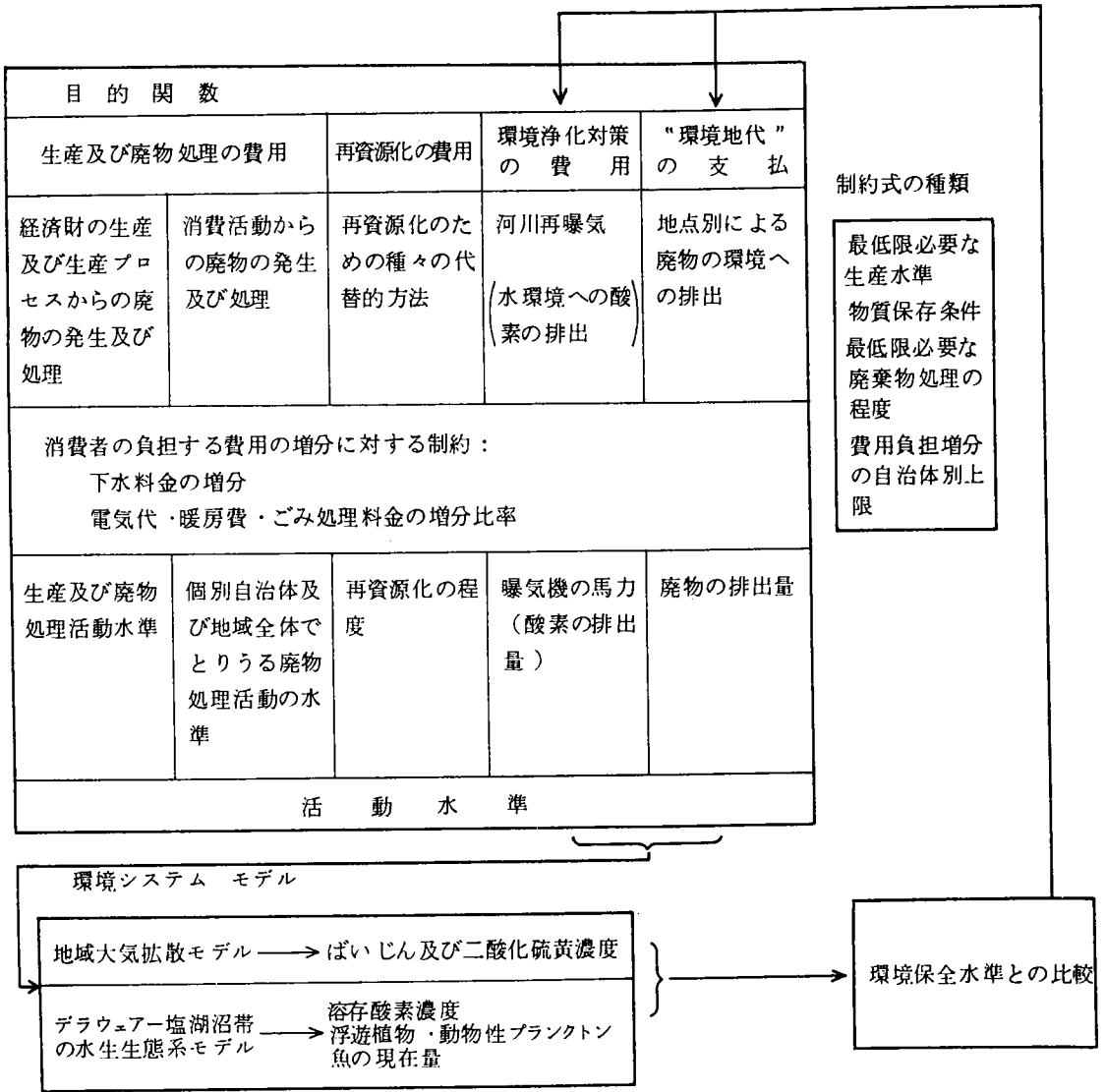


図 4.3 デラウェア・モデルの構造：生産活動及び処理・排出に関するLPモデル

出典：Walter O. Spofford, Jr., Clifford S. Russell, and Robert A. Kelly,

(和訳に際して一部用語の変更あり)

4.2.2 生産・消費活動モデル

4.2.2.1 LPモデルの枠組

生産活動・消費活動及びそれらに付随する廃物の発生・処理・排出といった種々の活動を表現するのが

LPモデルであるが、LPモデル作成にあたっての主たる目的は次の2つである。その1つは、廃物の3形態間の相互関連をモデルに取り込むということである。有機汚濁物質を含む廃水を活性汚泥法で処理すれば、この処理活動に伴って汚泥が発生し、この汚泥を焼却炉で焼却すれば廃ガス及び焼却灰という廃棄物が発生する。このように廃水処理という1つの処理活動をとっても廃水・廃ガス・廃棄物という廃物の3形態間に相互関連が存在しうるのであり、これらの相互関連を忠実にモデルで表現したいということである。

第2の目的は、生産プロセスばかりでなく廃物の発生・処理・排出に関して出来るだけ多くの代替的方法をモデルに取り込むということである。代替的方法には大別して発生源におけるものと、発生源から収集・輸送によって終末処理場にあつめて処理するものと、発生源から環境に排出された後で実施される浄化対策とに分けられる。それぞれについて主要な代替案を示すと次のようになる：

発生源における代替案

生産工程の変更

原材料（燃料等）の転換

廃物の処理

再資源化

終末処理場における代替案

廃物の処理

再資源化

環境浄化対策案

浄化用水の導入

汚泥の液渫

河川再曝気

表4.2に、ある特定の産業（企業）を例にとってLPモデルの枠組が示されている。表中のプラス（+）マイナス（-）記号は次のような約束事のうえで使われている。生産プロセスにおける出力のうち正の効用をもつもの（経済財の生産等）及び処理、輸送、排出プロセスへの産物の投入についてはプラスの記号を用いる。他方、生産された経済財の販売、生産プロセス等への通常の生産要素（原材料等）の投入、及び生産・処理・輸送プロセスにおいて発生する廃物については全てマイナス記号を用いるという約束事である。又、デラウェア・モデルにおいては最終需要が所与なので、経済財の販売に対応する例は省略され、代わりに右辺に最終需要量に相当する数字が入ってくる。さらに、目的関数中の“排出量にかかわる賦課金”の項は“環境地代の支払”と読み直されねばならない。

表 4.2 経済財の生産・廃物の発生・処理・排出に関する産業モデル

行	列	代 生 産 X ₁.....X _H	替 産 程 度 X _H	経 済 財 の 購 入 Y _M	経 済 財 の 販 売 Y _N.....Y _N	副 生 産 品 の 回 收 B ₁.....B _J	廃 物 の 再 資 源 化 W ₁.....W _K	廃 物 の 処 理 及 び 輸 送 T ₁.....T _L	排 出 の 量 D ₁.....D _G	右 辺
経済財の生産及び販売		+eX ₁.....eX _H	+eM	-eY ₁.....eY _N	+b ₁.....+b _j					≥ 0
原材料の利用可能性		-pX ₁.....-pX _H				+w ₁.....+w _K				≥ -P
生産に直接関連して発生する 廃物の処理・輸送・排出		-rX ₁.....-rX _H			+eB ₁.....+eB _J	+eW ₁.....+eW _K	+eT ₁.....+eT _L	+eV ₁.....+eV _M	+eD ₁.....+eD _G	= 0
廃物の処理・輸送に関連して発生する 廃物の処理・輸送・排出					-rB ₁.....-rB _J	+rW ₁.....+rW _K	-rT ₁.....-rT _L	+eT ₁.....+eT _L	+eD ₁.....+eD _G	etc
目 的 関 数		生産費用	購入費用	販売価格	回収費用	資源化費用	処理及び輸送に係る費用	排出量に係る賦課金		

* 図中の添字つきeで示されているものは単位ベクトルのことで、添字に対応する行のところのみが1になっていて他は全てゼロである。
 それゆえ、eB₁とは副生産品の回収プロセスB₁に対応する行のうち、生産に直接関連して発生する廃物からの副生産品B₁の回収に対応する行のところのみが1になっている。

出典：Clifford S. Russell and Walter O. Spofford, Jr., "A Quantitative Framework for Residuals Management Decisions", in
 Environmental Quality Analysis edited by Allen V. Kneese and Blair T. Bower, The Johns Hopkins Press, Baltimore
 and London, 1972
 (和訳に際して用語の変更あり)

4.2.2.2 数値例：製紙企業におけるリサイクリングと濃度規制

前節で説明されたLPモデルの数値例として、本節では、北島が国立公害研究所においておこなった研究の一つを紹介する。それゆえデラウェア・モデルの概要把握のためには本節は読み飛ばしてもさしつかえない。

取り扱われる問題は次のようなものである。今、下級紙を生産しているある企業を考える。この企業の生産構造を表したものが図4.4である。下級紙の生産工程として処女パルプを原料とする処女パルプ生産工程と、故紙から得られる再生パルプを原料とする再生紙生産工程の2つを考える。生産工程への主要な入力のうち、用水・エネルギー・処女パルプといったものはそれぞれ市場価格を払って外部から購入されるが、

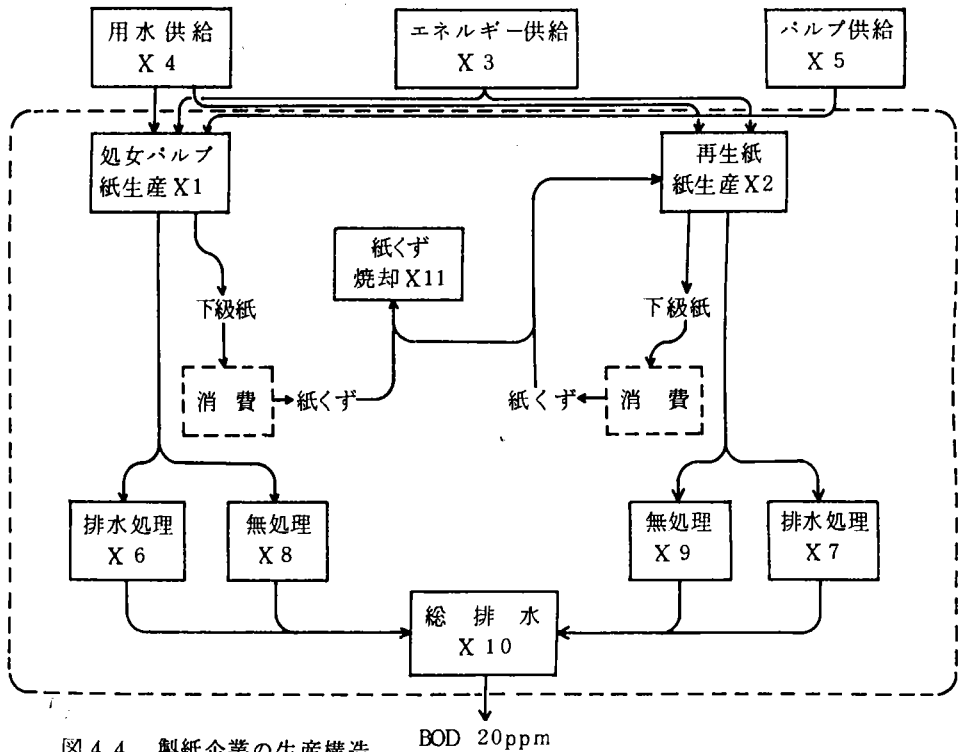


図 4.4 製紙企業の生産構造

故紙についてはkg当たり10円の回収費用を払って手に入れるものとする。生産工程から出る廃水(BODで表現される有機汚濁物質を含む)の処理については、無処理と90%の除去率をもつ処理工程の2つを考えるが、工場の外へ排出される総廃水中に含まれるBODの濃度については20ppm以下でなければならないという濃度規制のもとで企業が操業しているものとする。

4.2.2.1節の表4.2に倣って図4.4をLPのシプレックス表に書き直したものが表4.3である。ただし2つの生産工程の単位水準は便宜上10tとられ、表中の技術的なデータについては表4.4を参考にしてゐる。表4.4によれば無漂白クラフト・パルプを原料とする生産工程1においては、1,000tの下級紙生産当たり処女パルプを1,000t、処理水を24百万ガロン、エネルギーを 17.000×10^6 Btu 必要とし、BODを15トン発生している。処理水と用水は等量とみなし、かつ $1 \text{ kcal} = 9,900 \text{ Kcal} = 39,285.7 \text{ Btu}$,

表 4.3 図 4.4 のジンプレックス表による表示

	生産			資源供給			汚水処理					X ₁₀	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃	X ₁₄	X ₁₅	b
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁								X_{12}	X_{13}	X_{14}	X_{15}
パルプ t	-10				1													0
エネルギー -kt	-432	-0.398	1															0
用水 kt	-0.907			1														0
パルプ排水 kt	0.907	0.398			-1													0
再生排水 kt						-1												0
総排水 kt		8.5			1	1												0
紙くず発生量 t	8.5	-11																0
故紙																		0
総排水中 BOD t 制約					0.0149	0.0215												0
クラフトパルプ在庫量制約	10															1		798.46
故紙在庫量制約	119	119	-1	-4.6	-8.5	-4.2	-4.2	0	0	0	0	-1	0	0	0	1	0	201.54

1 gallon = 3.78 ℓ, 1 short ton = 0.9072 ton によってエネルギー、用水、BODをそれぞれkl, kt, tに換算したものを生産水準10t 当たり直して書き入れたものが、シンプレックス表の第1列である。第2列も同様である。ただし表4.4の注にもかかっているように、製紙加工作業中に15%の目減りがあるために、1,000トンの処女又は再生パルプから生産される下級紙の量は850トンである。それゆえ簡単化のために消費段階における目減りがないとすれば、生産水準10tあたり8.5tの紙くずが発生するとされている。又、再生紙生産工程には1,000tの再生パルプを作るのに1,000tの故紙が必要と仮定されている。

表4.4 1,000トンの低質紙環境影響への比較

環境への影響	無漂白クラフト・パルプ(処女原料)	紙くず再生パルプ(100%)	資源化による変化(%) ^a
処女原料使用(窯乾燥繊維)	1,000トン	-0-	-100
使用された処理水	24百万ガロン	10百万ガロン	-61
エネルギー消費	17,000×10 ⁶ BTU	5,000×10 ⁶ BTU	-70
大気汚染物質排出(運搬・製造) ^b	42トン	11トン	-73
水系廃棄物の排出 -BOD ^b	15トン	9トン	-44
水系廃棄物の排出 -浮遊物質 ^b	8トン	6トン	-25
発生した固形廃棄物	68トン	42トン	-39
消費者による紙くずの純発生量	850トン	-250トン ^d	-129

a 負数はその範ちゅう内の減少、すなわち資源化による変化を示す。

b 主として1968~1970年間に行われた調査に基づく。

c これは製紙加工作業中、15%の繊維の目減りを仮定している。

d これは、1,000トンのパルプ生産に1,100トンの廃紙を要するものと仮定している。このため850-1,100=-250が消費者による紙くずの純減を示している。

原出典：ミッドウェスト研究所“資源回収に関する政策策定のための経済研究”未発表資料、1972年。
本表は後藤典弘(1975)：リサイクルの現状と展望、青と緑、4(6)、41-54から引用。

表4.5 製紙産業における原材料の消費状況、1969

Category	Million-tons	Percent
Wood pulp	41.6	78.5
Waste paper	10.5	89.8
Other fibers	0.9	1.7
Total	53.0	100.0

出典： Arsen Darney, et al. "Salvage Markets for Materials in Solid Wastes,"
PB-214 152 1972, pp.45-11

目的関数の係数は、前述の故紙回収費用以外は、下級紙の市場価格 140円/kg、エネルギー10円/kl (工業)用水46円/t、廃水処理費用42円/tという値を用いて算出された。

在庫量制約の上限値は表5を参考にして決められた。すなわち1969年の米国のデータによれば、製紙産業において用いられる処女パルプと故紙の割合は、総使用量を100%とすると78.5%対19.8%である。処女パルプと故紙の総量が1,000トンになるようにこの比率を用いて設定されたのが表4.5の在庫量上限位である。

濃度制約の数字をいろいろに変えて計算してみた結果のうち、 X_1, X_2 の生産量に関するものと、下級紙生産の平均費用に関するものが図4.5、図4.6に示されている。図4.5をみてもわかるように再生産工程は濃度規制のもとでは非常に不利な立場におかれている。これは、処女パルプ生産工程に比べて用水量、BODの発生が少ないにもかかわらず発生濃度において高いことに因っている。それゆえ総量規制のもとではこのような事態はおこらないと思われる。

図4.5 生産量と濃度規制

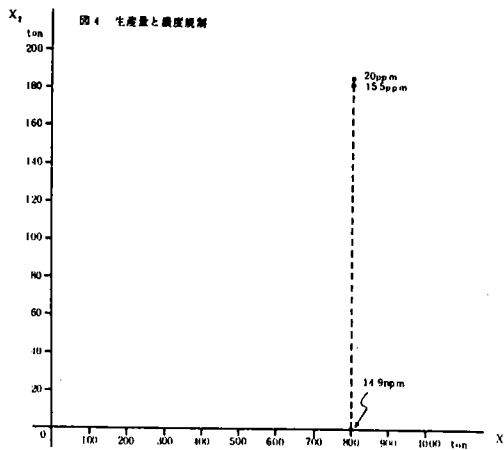
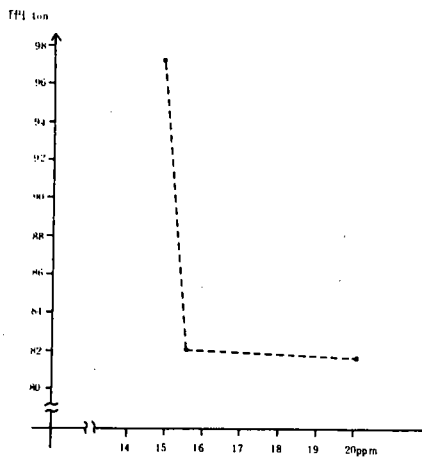


図4.6 トン当り生産費用と濃度規制



4.2.3 環境システムモデル

4.2.3.1 大気拡散モデル

大気環境質指標として選ばれた二酸化硫黄、ふんじんの濃度と排出源との対応関係をシミュレートするものとしてデラウェア・モデルで用いられるのは、Plumeモデルである。プルーム・モデルはPasquill点源（定常的連続点源）及び煙突からの煙流の濃度分布に正規分布を用いることによって特徴づけられる。

今、ある排出源（点源）から出る煙源強度（汚染因子の単位時間当たり排出量）を Q 、排出源からの風下、水平、鉛直方向の距離を X 、 Y 、 Z とし、かつ、煙が地表面で完全反射することを仮定すると、排出源から X 、 Y だけ離れた地点での長期平均着地濃度 $C(X, Y, 0)$ は次式であらわされる。

$$(1) \quad C(X, Y, 0) = \frac{Q}{\pi \sigma_y \sigma_z u} \exp\left(-\frac{1}{2} \left(\frac{Y}{\sigma_y}\right)^2 - \frac{1}{2} \left(\frac{H}{\sigma_z}\right)^2\right) + C_B$$

ここで H = 煙突の高さ

σ_y , σ_z = それぞれ Y 方向、 Z 方向への煙の広がり標準偏差

C_B = バック・グラウンド濃度

U = 風速

である。パラメーターである σ_y 、 σ_z 、 u が大気安定度、温度、圧力、風速といったデータを用いて推定され、かつ、観測点の座標 (X, Y) が与えられれば、観測点における長期平均着地濃度は排出源・排出強度の一次式で与えられるということを(1)式は示している。

排出源が多数ある場合は、個々の排出源からの濃度分布を重ね合わせることによって、観測点の長期平均着地濃度が計算される。すなわち

$$(2) \quad R = A \cdot X + B$$

となる。ただし

$R^T = (V_1 \dots V_m)$: m コの観測点における長期平均着地濃度

$X^T = (X_1 \dots X_n)$: n コの排出源における排出強度

$A = \begin{pmatrix} a_{11} & \dots & a_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ a_{m1} & \dots & a_{mn} \end{pmatrix} = (a_{ij})$: 汚染伝播行列

B : m コの観測点におけるバック・グラウンド濃度

である。ここで伝播行列の要素 a_{ij} は、第 j 排出源の第 i 観測点における汚染濃度に対する寄与度を示す係数である。これは風向の頻度分布等を用いて、第 j 排出源の単位排出強度にもとづく濃度分布を第 m 観測点において重ね合わせることによって得られる。デラウェア・モデルで用いられる大気拡散モデルは(2)式の形をしたものである。

4.2.3.2 水生生態系モデル

4.2.3.3 DOモデル

本節では、水系水質シミュレーション・モデルの基本である Plug Flow（押し出し流れ）モデル及びこの押し出し流れモデルの応用である Streeter - phelps による DO（Dissolved Oxygen: 溶存酸素）モデルについて説明する。

押し出し流れモデルの基礎式は、河川の任意の微小空間についての汚濁物質上に関する収支式をとることによって得られる。収支式をとる際に通常なされる仮定は次の3つである。

仮定1：河川の任意点における汚濁物質濃度は、当該地点における河川の断面について一様である。

仮定2：汚濁物質の流れ方向に対する混合はない。

仮定3：汚濁物質の変化速度式は一次反応式とする。すなわち河川の任意点における汚濁物質の変化速度は、当該地点における汚濁物質濃度と比例的関係にある。

このうち第2の仮定が“Plug Flow”（押し出し流れ）の仮定といわれるもので、図6にその意味するところが示されている。ゼロ時点で排出された汚濁物質の、ある時間後の実際の濃度分布は流れ方向への拡散のゆえに図中の“Actual Profile”で示されるようなものになるであろうが、押し出し流れの仮定では、拡散よりも川の流れによる移送が卓越しているとして図中の“Ideal Plug Flow”で示されるような濃度分布をとるとするのである。

図 4.7 押し出し流れモデルの仮定

(a) $t = 0$, (b) $t = \alpha > 0$

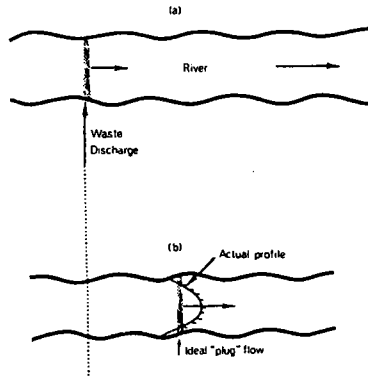
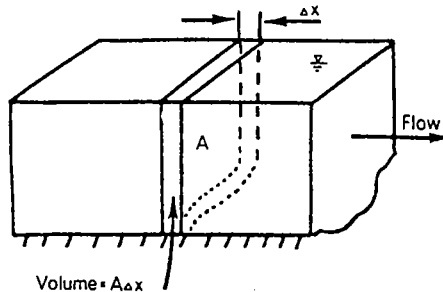


図 4.8 河川のモデル図



出典：Robert V. Thomann, Systems Analysis and Water Quality Management, McGraw-Hill Book-Company, 1974

微小空間として図 4.8 で表されるような、幅 Δx 、断面積 A なる立方体をとる。すると上記 3 仮定のもとでは、単位時間 Δt についての汚濁物質の収支は次式であらわされる：

$$(1) V \Delta s = Q s \Delta t - (Q + \Delta Q) \left(s + \frac{\partial s}{\partial x} \Delta x \right) \Delta t - K V s \Delta t$$

ここで

V = 立方体の体積で $A \Delta x$ に等しい

Q = 流量でその次元は (体積 / 時間) である。

s = 汚濁物質の濃度でその次元は (質量 / 体積) である。

k = 一次反応係数でその次元は (1 / 時間) である。

(1) の左辺は単位時間における汚濁物質の変化量である。右辺の第 1 項は単位時間内に立方体の左面 (上流側の断面積) から流入する汚濁物質の量、第 2 項は単位時間内に立方体の右面から流出する汚濁物質の量をあらわしている。右辺の第 3 項は、前述の仮定 3 にもとづくもので、好気性菌等によって有機汚濁物質中の炭素を炭酸ガス等に変えて汚濁濃度を低下させるといった、川の自浄作用を具現化した項である。

V に $A \Delta x$ を代入し、かつ両辺を Δt で割ると

(1) 式は

$$(2) \frac{\Delta s}{\Delta t} = -u \frac{\partial s}{\partial x} - \frac{s}{A} \frac{\Delta Q}{\Delta x} - \frac{\Delta Q}{A} \frac{\partial s}{\partial x} - k s$$

となる。ただし $u = Q / A$ = 流速である。(2) 式において Δt 、 Δx をゼロに近づけると

$$(3) \frac{\partial s}{\partial t} = -u \frac{\partial s}{\partial x} - \frac{s}{A} \frac{\partial Q}{\partial x} - k s$$

となる。ここで河川の流量は一定と仮定して、(3) 式の定常状態における式をもとめると

$$-u \frac{\partial s}{\partial x} - k s = 0$$

となる。この式に外部からの流入強度項 s_d をつけ加えた

$$(4) -u \frac{\partial s}{\partial x} - k s = s_d$$

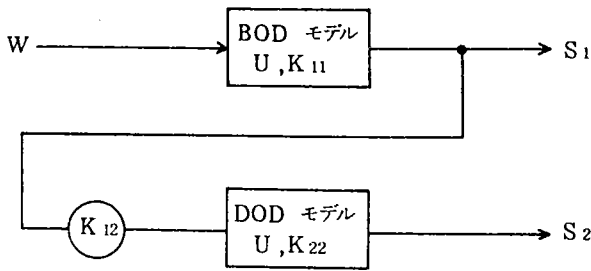
式が、定常流の場合の押し出し流れモデルの基本式である。

次に DO モデルの説明にうつるが、汚濁物質として BOD で表示される有機汚濁物質をとった場合、BOD と溶存酸素欠乏量 (DOD) の関係は、上述の 3 仮定のもとでは図 4.9 であらわされるようなものになる。ただし 溶存酸素欠乏量 (DOD) = 溶存酸素飽和量 - 溶存酸素量 (DO) という関係がある。すなわち任意の地点における DO は当該地点の温度等のパラメーターに依存する溶存酸素飽和量という定数から DOD を差し引いたものである。

図 4.9 の BOD モデル、DOD モデルを数式であらわすと次のようになる

$$(5) \frac{\partial S_1}{\partial t} = -u \frac{\partial S_1}{\partial x} - k_{11} S_1$$

$$(6) \frac{\partial S_2}{\partial t} = -u \frac{\partial S_2}{\partial x} - k_{22} S_2 + k_{12} S_1$$



- ただし
- S_1 = BODの濃度
 - S_2 = DODの濃度
 - U = 流速
 - K_{11} = BOD除去速度係数
 - K_{22} = 水面からの酸素補給をあらわす曝気係数
 - K_{12} = 好気性菌等による有機物分解にもとづく酸素消費係数

図 4.9 DODとBODの相互関係

である。(5)、(6)の定常状態の式はそれぞれ(4)式の押し出し流れ式に対応している。ただし(5)式については外部からの流入強度項はゼロである。地点0における初期条件として $S_1(0) = W/Q$ 、 $S_2(0)$ を与えて、定常流に対する(5)、(6)式を解いてみる。すると地点XにおけるBOD、DOD濃度は次式で与えられる：

$$(7) \quad S_1(x) = S_1(0) \exp \left[- \left(\frac{k_{11}}{u} \right) x \right]$$

$$(8) \quad S_2(x) = \frac{k_{12}}{k_{22} - k_{11}} \left\{ \exp \left[\left(- \frac{k_{11}}{u} \right) x \right] - \exp \left[\left(- \frac{k_{22}}{u} \right) x \right] \right\} S_1(0) + S_2(0) \exp \left[- \left(\frac{k_{22}}{u} \right) x \right]$$

ただし $S_1(0) = W/Q$ 中のWは地点ゼロにおける単位時間内BOD排出量を、Qは単位時間内流量をあらわしている。

ここで図4.10に示されるような状況を考えてみる。地点ゼロより上流のBOD、DOD濃度ともゼロ、かつ地点0、1、2……におけるBOD排出量をそれぞれ W_0, W_1, W_2, \dots と仮定する。流量Qは一定とすると、地点1におけるDOD濃度は(8)式より

$$(9) \quad S_2(x_1) = a_1 S_1(0) = a_1 W_0/Q$$

となる。ただし

$$a_1 = \frac{K_{12}}{K_{22} - K_{11}} \left\{ \exp \left[\left(- \frac{K_{11}}{u} \right) X_1 \right] - \exp \left[\left(- \frac{K_{22}}{u} \right) X_1 \right] \right\}$$

である。次に地点2におけるDODの値は(7)、(8)、(9)式より

$$(10) \quad \begin{aligned} S_2(X_2) &= a_2 S_1(X_1) + a_3 S_2(X_1) \\ &= a_2 S_1(X_1) + a_3 a_1 S_1(0) \\ &= a_2 \left(\frac{W_0}{Q} \exp \left(- \frac{K_{11}}{u} X_1 \right) + \frac{W_1}{Q} \right) + \frac{a_3 a_1}{Q} W_0 \end{aligned}$$

$$= \left(a_3 a_1 + a_2 \exp \left(- \frac{K_{11}}{u} X_1 \right) \right) \frac{W_0}{Q} + a_2 \frac{W_1}{Q}$$

ここで a_2 は a_1 の定義式において X_1 のかわりに X_2 を代入して得られるものである。(9)、(10) 式の定数項をまとめて行列形式でかくと

$$(11) \begin{pmatrix} S_2(X_1) \\ S_2(X_2) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} & 0 \\ a_{21} & a_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} W_0 \\ W_1 \end{pmatrix} \quad \text{となる。}$$

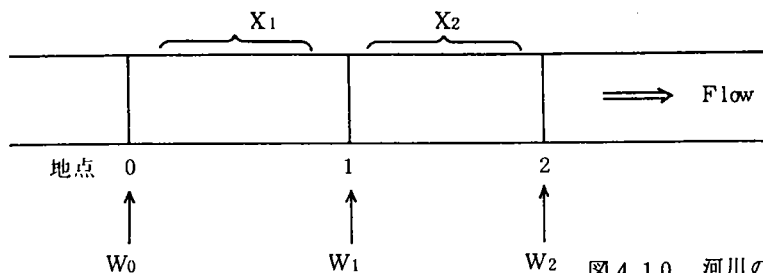


図 4.10 河川の区画例

定常流における(5)、(6)式を用いて DOD を求める方法は Streeter - Phelps 法とよばれるが、この方法を用いると任意の観測点における DOD 濃度が各地点の排出強度の一次式として

$$(12) \text{DOD} = A \cdot W$$

のように表現しうる。ここで DOD は m コの観測点における DOD 濃度をあらわすベクトル、 W は n コの排出源における排出強度を示すベクトル、 A は伝播行列である。(12) 式は (11) 式の一般的な場合である。

又各観測点の DO 濃度は

$$(13) \text{DO} = \text{DO}_{\text{saturation}}(T) - \text{DOD}$$

のように、当該観測点の温度 (T) 等のパラメーターで決まる飽和量から (12) 式の DOD を差し引いてやればよい。

4.2.3.4 栄養段階モデル

前節で紹介された DO モデルを水生生態系のモデルとして用いるには少くとも 3 つの問題点がある。第 1 に、DO モデルが有効なのは浮遊植物とか魚類の現在量といった指標で現される水生生態系の状態を水系の溶存酸素水準が正確に反映している限りにおいてであるが、この保証は必ずしも得られない。第 2 に、DO モデルの主要な変数である有機汚濁物質以外にも、窒素、磷といった栄養素やフェノール等の毒物も水生生態系において重要な役割を演じていることが知られていることである。第 3 の問題点は主としてシステム生態学者によって提起されたものであるが、水生生態系モデルは少くとも何らかの生物学的又は生態学的理論にもとづいて組み立てられるべきであるというものである。しかも DO 水準の予測にしても、このようにして組み立てられたモデルの方が、実証的色彩の強い Streeter - Phelps 型のモデルよりも信頼性が高いとされるのである。

デラウェア・モデル中の水生生態系モデルは、これら 3 つの問題点を考慮に入れて作成されたもので、それは Lindeman によって提唱された栄養段階論³⁾(*trophic level approach*)にもとづくものである。以下ではこのモデルを栄養段階モデルとよぶ。

栄養段階モデルの主要な内生変数は、浮遊植物、動物性プランクトン、魚類といった異なる栄養段階に属する生物固体群の現在量ばかりでなく、窒素、磷、有機汚濁物質、溶存酸素、水温といった、栄養段階の物質移転速度に影響を与えるものから成り立っている。今、デラウェア塩湖沼帯をいくつかの水域に区切って上流から下流に向けて順番をつけていくとすると、第k番目の水域における内生変数の時間変動は、一般的には

$$(1) \left(\frac{dR^k}{dt} \right) = f \left(R(t)^{k-1}, R(t)^k, R(t)^{k+1}, X(t)^k \right)$$

とかける。ここで

$R(t)^k$ = 第k水域における内生変数ベクトル

$X(t)^k$ = 第k水域に排出される汚濁物質量からなるベクトル

である。各内生変数の値が、“流れ方向に対して完全混合”(no longitudinal dispersion)であると仮定すると(1)式は

$$(2) \left(\frac{dR^k}{dt} \right) = f \left(R(t)^{k-1}, R(t)^k, X(t)^k \right)$$

となる。さらに(2)式の定常解 $(R^*)^k$ が $R(t)^{k-1}$, $X(t)^k$ の時間変動と独立であると仮定すると、(2)式の定常解は

$$(3) 0 = f \left[(R^*)^{k-1}, (x)^k, (R^*)^k \right]$$

を解くことによって求まる。

栄養段階モデルの解は、(3)式のように陰関数として表示されるので、前節のDOモデルに比べると解くのがやっかいである。又、DOモデルの解のように排出量の一次式の形では表されない。

4.2.4 費用負担制約式の導入

最小化された総費用とか最大化された純便益といった数字は、提案された地域環境保全政策案が政治葛藤の中で生き残るための信頼すべき後ろ楯にはならないということ、このことがデラウェア・モデルへの費用負担制約式の導入に関する最大の理由である。例えばある1つの市の幹部は、地域を流れる川の浄化という案に原則として賛成するかもしれない。しかしもし彼の市が上流に位置していて、浄化のために負担せねばならぬ費用に比べて彼の市が享受しうる浄化の便益がそれほど多くなければ、たとえ地域全体にとってはいいことであっても彼は浄化案には賛成しないかもしれない。

そこで、地域内の各地区ごとに費用負担の上限制約を課すことによって地域環境保全政策案の実現可能性を高めようとするのである。この費用負担制約式の上限值は固定的に与えられるものでなくてもよい。いいかえれば制約式の感度分析を通じて、L.P.の解がどのように変動するかをチェックすることが出来るし、このことは提案される環境保全政策案のpolitical viabilityを高めることになっても、損うことにはならないと考えられるからである。

表4.6は、費用負担制約式をどのような形で4.2.2.1節のL.P.モデルにとり込むかの一例を示したものである。この表より総電力費用は

$$C_1 \cdot EP_1 + \dots + C_n \cdot EP_n + C_{I_1} \cdot EP_{I_1} = CB \cdot EP_z$$

とあらわされる。今、提案される地域環境保全政策案が採用されない時の総電力費用がCB であるとする
 と、現状におけるEP_zの値は 1.0 である。他方、環境保全政策案が採用されて総電力費用が現状値以上
 になれば、EP_zの値は 1.0 以上になる。図 4.6 の示すところは、この時のEP_zの値は 1.1 以下でなければ
 ならないということである。このような費用負担制約式は、対象地域内の地区ごとにも、又、産業ごとにも
 課すことが可能である。

表 4.6 費用負担制約式のLPモデルへの導入

行 \ 列	電力消費をもたらす 代替的生活プロセス		他地域からの電力移入	電力費用の増分比	右 辺	
	EP ₁ …… EP _n		EP ₁	EP _z		
総電力費用	+C ₁ …… +C _n		EP ₁	-CB	=	0
増分比の上限 制 約			+C ₁	+1	≤	1.1

4.2.5 最適化手法について

4.2.1.1 節の図 4.3 にその構造が示されたデラウェア・モデルは次のような非線型計画問題として定式
 化されうる：

maximize

(1) $f(x)$

subject to

(2) $g_i(X) \geq 0 \quad i = 1 \dots m$

(3) $g_i(X) = 0 \quad i = m+1 \dots p$

(4) $R_i = h_i(X) \leq S_i \quad i = 1 \dots q$

(5) $X_i \geq 0 \quad i = 1 \dots n$

目的関数の $f(x)$ はLP問題に用いられる線型関数であるが、本節では一般化して非線型関数も含むと
 しておく。 $X = (X_1 \dots X_n)$ はデラウェア・モデルにおいて最適化の対象となる決定変数ベクトル
 であり、これには廃物の排出量等が含まれる。(2)式で示される制約式は原材料等の資源制約式及び最終需
 要制約式に対応している。(3)式は物質(エネルギー)保存則に関する等号制約式である。(4)式は環境保全
 水準制約に対応するもので、 i 番目の環境指標 R_i が所与の環境保全水準 S_i 以下でなければならないと
 いう制約式である。

デラウェア・モデルにおいて用いられる最適化手法は、非線型計画問題解法の1つである、“Penalty
 Function” method (PF法と略す)である。今、Penalty Function (PF)を次のように定義する

(6) $P(X) = \sum_{i=1}^q P_i \left[S_i, R_i = h_i(X) \right]$

次に i 番目の環境制約に対するPFが示されている。 R_i が環境保全水準以下であればPFの値はゼロ

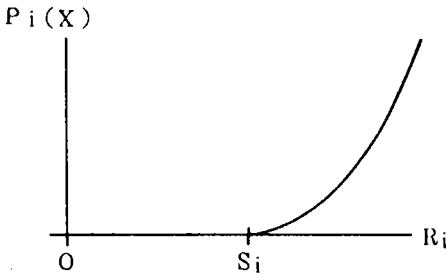


図 4.1.1 ペナルティ関数

であるが、 S_i を超えるとPenaltyが課せられるようになっている。PFとして通常よく用いられるのは次式であらわされるような二次関数である：

$$(7) \quad P_i(X) = \max (h_i(x) - S_i, 0)^2 \\ = \frac{(h_i(x) - S_i + |h_i(x) - S_i|)^2}{2}$$

二次関数で表示されるPFは制約式の境界、すなわち保全水準値において偏微係数が連続という利点はあるけれども、境界における偏微係数値がそれほど大ではないので、計算解がともすれば境界の外で得られる可能性がある。この弱点を補うため、デラウェア・モデルでは(7)式を γ_i という、境界に近づくにしたがって単調減少するような数で割った

$$\frac{1}{\gamma_i} P_i(X)$$

という関数をPFとして用いている。

PF法を非線型計画問題(1)–(5)に適用すると次式が得られる：

maximize

$$(8) \quad f(X) = f(X) - P(X)$$

subject to

$$(9) \quad g_i(X) \geq 0 \quad i = 1 \dots m$$

$$(10) \quad g_i(X) = 0 \quad i = m+1 \dots p$$

$$(11) \quad X_i \geq 0 \quad i = 1 \dots n$$

where

$$(12) \quad P(X) = \sum_{i=1}^q \frac{1}{\gamma_i} P_i(X)$$

ただし(12)式中の $P_i(X)$ は連続な偏導関数をもつもので、(7)式がその1例である。

(8)式は非線型関数であるが、デラウェア・モデルにおいては次式のように線形近似したものを目的関数としている：

$$(13) \quad F(X) = \frac{\partial f(X)}{\partial X} \cdot X - \frac{\partial P(X)}{\partial X} \cdot X + r$$

ただし r は定数項である。 $P_i(X)$ として(7)式を用いると

$$(14) \quad \frac{\partial P(X)}{\partial X_j} = \sum_{i=1}^q \frac{2}{\gamma_i} \left\{ \max \left[(R_i - S_i), 0 \right] \right\} \frac{\partial R_i}{\partial X_j} \\ = \sum_{i=1}^q \frac{dP_i(X)}{dR_i} \frac{\partial R_i}{\partial X_j}$$

が得られる。(14)式をベクトル形式で書くと $\frac{\partial P(X)}{\partial X} = \left(\frac{\partial R}{\partial X} \right)^T \cdot \frac{dP}{dR}$ となる。

ただし(14) 式中の R_i は(4)式で定義されたものである。

(13) 式で示される目的関数と(8)式の誤差は、線形化された点 (X_0) から X が離れるにしたがって大きくなる。それゆえ X の動く範囲を限定してやれば、問題(8)～(12) で表される非線型計画問題を次式で示されるような一連の線型計画問題として解くことが可能になる：

maximize

$$(15) F(X^{k+1}) = (\nabla F(X^k) - \nabla P(X^k)) \cdot X^{k+1} + r$$

subject to

$$(16) g_i(X) \geq 0 \quad i = 1 \dots m$$

$$(17) g_i(X) = 0 \quad i = m + 1 \dots p$$

$$(18) X_i \geq 0 \quad i = 1 \dots n$$

$$(19) \alpha_j \leq X_j \leq \beta_j \quad j = 1 \dots s$$

(15) 式中の k は、反復計算の回数が k 番目であることを示し、(15)式の目的関数値に改良が見られなくなるまで繰り返し計算は続行される。又、(17)式で示される $(p - m)$ の等号制約式の全てが一次独立であれば、(20) 式中の s は $(n - (p - m))$ となる。

デラウェア・モデルの最適化手法として採用された、上述の線型計算問題に近似して解くという方法の成否は、 PF 中の r_i 及び変数の許容限界 (α_j, β_j) をいかに上手に選択するかに依存している。

4.2.6 デラウェア溪谷下岸流域の概況

デラウェア・モデルの対象地域であるデラウェア溪谷下岸流域地帯の全容が図4.12に示されている。本流域は全米でも有数の工業地帯であるフィラデルフィア市を含み、7つの大規模石油精製工場、5つの製鉄工場、15の大規模火力発電所、それぞれ日量1000t以上の生産量をほこる13の紙パルプ工場が立地するといった生産活動の中心地であるばかりでなく、それぞれが日量百万トン以上の処理量をもつ17の公共下水処理場（このうち7つは処理量1千万トン/日をもっている）、17の都市ごみ焼却場、その他多数の廃棄物埋立場をもつことから推察されるように、消費活動の盛んな地域でもある。

表4.7に、デラウェア溪谷下岸流域と多摩川流域、それぞれの幹線流路であるデラウェア塩湖沼帯、多摩川に関するデータが示されている。デラウェアと多摩川には、流域面積にして約10倍の差、人口にして約2倍の差があるが、最も顕著な差は幹線流路の年平均流量においてである。デラウェア湾にそそぐデラウェア塩湖沼帯の始点にあたるTrentonで測定せられた1951年から1972年にかけてのデータによれば、年平均流量の最低は1965年の毎秒133.08t、最高は1952年の毎秒509.7tである。他方、多摩川の年平均流量は、上流の羽村せきで毎秒15.2t (S47年)である。しかも羽村せきで毎秒13.2tの取水をおこなうので、取水後の流量は毎秒2tになってしまう。このように流量だけを比べてみてもデラウェア塩湖沼帯と多摩川には格段の差がある。

デラウェア溪谷下岸流域における汚染物質の排出負荷を表4.8、表4.9に示す。

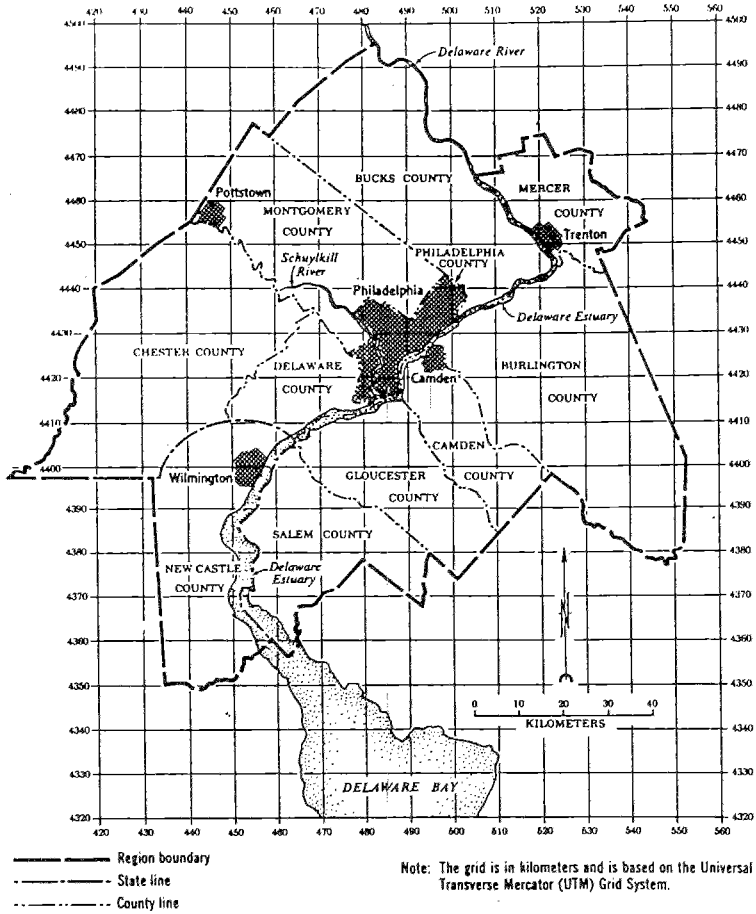


図 4.12 デラウェア溪谷下岸流域の全容

出典: Walter O. Spofford, Jr., Clifford S. Russell, and Robert A Kelly

表 4.7 デラウェア溪谷下岸流域と多摩川流域の比較

	デラウェア溪谷下岸流域	多摩川流域
総面積	12,200Km ²	1,240 Km ²
東西	130Km	?
南北	145"	?
人口	560万(1970年)	260万(1970年)
	デラウェア-塩湖沼帯	多摩川
幹線流路延長	136.79 Km	123.29 Km
年平均流量(m ³ /sec)	133.08 (1965年)	15.2 (1972年)

表 4.8 デラウェア溪谷下岸流域の二酸化硫黄、ふんじん排出負荷量の推定値
(1970年の年平均データで単位は t/day)

排出要因	二酸化硫黄	ふんじん
点源		
石油精製業	410	66
製鉄業	19	58
発電所	1,332	126
その他	439	133
小計	2,200	383
面源		
家庭用暖房	214	25
他の面源	550	191
小計	764	216
総計	2,964	599

出典: Walter O. Spofford, Jr., Clifford S. Russell, and Robert A. Kelly

表 4.9 デラウェア一塩湖沼帯への水系汚濁物質排出負荷量の推定値
(1970年9月のデータで単位は Kg/day)

排出要因	BOD 5	窒素 (N)	リン (P)
製造業	143.69 (41%)	43.66 (53%)	2.94 (15%)
都市下水	158.62 (46%)	23.81 (29%)	10.07 (50%)
支流からの流入負荷	18.77 (5%)	7.12 (9%)	4.85 (24%)
豪雨による流出	28.36 (8%)	7.65 (9%)	2.16 (11%)
計 (丸めの誤差あり)	349.35 (100%)	82.11 (100%)	20.04 (100%)

出典: Walter O. Spofford, Jr., Clifford S. Russell, and Robert A. Kelly

4.2.7 モデルの特化

4.2節でその概要が示されたデラウェア・モデルのよりつっこんだ説明をおこなうのが本節の目的である。ただし個々のモデルの詳細の多くは未発表・未入手の文献に説明されているので省略せざるを得ない。

まず第1に、対象地域であるデラウェア溪谷下岸流域の地区分割について説明する。地区分割は主として費用負担制約式及び大気拡散モデルの使用上必要となるものであるが、デラウェア・モデルでは57の地区に分割せられた。その内容が表4.10に示されている。これら57の地区は、流域内に存在する379の

表 4.10 デラウェア・モデルにおける地区分割

地区番号	対応する行政区域		人口(1970年)	住居数(1970年)
	郡(County)	州		
1-4	New Castle	Delaware	385,856	120,704
5-7	Chester	Pennsylvania	252,152	73,154
8-13	Delaware	"	600,035	184,440
14-33	Philadelphia	"	1,920,206	662,265
34-39	Montgomery	"	623,799	193,592
40-43	Bucks	"	415,056	121,710
44-46	Mercer	New Jersey	302,472	96,429
47-49	Burlington	"	275,993	81,676
50-54	Camden	"	449,457	140,755
55-56	Gloucester	"	172,681	51,708
57	Salem	"	60,346	19,598
57地区の総計			5,458,053	1,746,031
57地区に含まれない地域			110,031	27,573

出典：Walter O. Spofford, Jr., Clifford S. Russell, and Robert A. Kelly

行政区域(市、町、村等)を平均人口が10万人程度になるよに集約化して得られたものであるが、流域内において余り重要でないと思われた若干の区域は除外されている。これら各地区ごとに電気代・暖房用燃料代・ごみ処理料等に関する費用負担の上限値が各地区の現状値及び所得水準にもとづいて推定され、それぞれの値がモデルに与件として与えられている。

次にデラウェア・モデルを構成している各サブモデルごとに内容を具体的に見てみる。まずLPモデルについては表4.11が示すように6つの個別LPモデルに分割されて用いられている。LPモデルは総計で8,000以上の変数を含み、制約式の数も3,000以上、主要な決定変数である廃物の排出に関する変数は約800という大規模モデルである。LPモデルの係数は1970年時点のデータにもとづいて推定せられている。次に各サブモデルの説明であるが、第1のサブモデル(MPSX1)は大規模な生産活動をシミュレートするためのモデルである。まずこのサブモデルで表示される各工場の生産能力は1970年時点の値にもとづいて設定されている。廃水・廃ガスについては各産業ごとに種々の代替案が与えられているが、その1例として製鉄業に対するものが表4.12に示されている。産業廃棄物の処理についてはこのサブモデルでは考慮されていない。MPSX1には発電所が含まれているので、各地区住民の負担せねばならぬ電気代に関する上限制約がここに取り込まれている。ただし各発電所のサービス区域は所与とされている。

MPSX2は各地区の家庭用、商店用暖房活動をモデル化したものである。暖房の代替手段として与えられているのは、石炭・各種の燃料油・及び天然ガスである。ただし天然ガスの地域への引き込みパイプラインは完備しているものと仮定されているので、パイプライン建設費の現在価値は費用関数の中には含ま

表 4.11 デラウェア・モデルで用いられたLPモデル

個別LPモデルの名称	LPプログラムのサイズ			廃物処理代替案が与えられている産業・地区及び対象となる工場及び地区の数	住民の費用負担増に対する上限制約の与えられている地区の数及び費用のタイプ
	行	列	排出に関する活動水準		
MPSX 1	286	1,649	130	石油精製(7) 製鉄(5) 発電所(17)	5 7 電気代
MPSX 2	741	1,482	114	家庭用暖房(57) 商業用暖房(57)	5 7 燃料代 5 7 燃料代
MPSX 3	564	1,854	157	"25 μ gms/ m^3 以上"の排出工場(75)	
MPSX 4	468	570	180	公共下水処理場(36)	4 6 下水料金
MPSX 5	951	1,914	88	製紙(10) 自治体焼却場(23) 自治体ごみ収集・埋立活動	5 7 ごみ処理料金
MPSX 6	229	395	117	水系汚濁物質排出工場(23) 河川再曝気活動(22)	5 7 河川再曝気に対する負担金
計	3,239	7,864	786		

出典：Walter O. Spofford, Jr., Clifford S. Russell, and Robert A. Kelly

表 4.12 製鉄業における処理代替案

Type of residuals discharger	Management option available	Primary residual reduced	Secondary residual generated
Steel mills[2]	Change in raw material input mix: 1. Burden alternatives at blast furnace 2. Fuel alternatives: a. residual fuel oil (0.5, 1.0, and 2.0 percent sulfur contents) b. natural gas Modification of production processes: 1. Scrap-hot metal ratio alternatives at open hearth furnace	c SO ₂ SO ₂ c	

Steel mills (continued)	Residuals modification processes:		
	1. Gas desulfurization at coke plant	SO ₂	
	2. Cyclone collectors at sinter plant, blast furnace, and power plant (various removal efficiencies: from 60 to 98.5 percent)	Particulates	Ash
	3. Electrostatic precipitators at sinter plant, blast furnace, open hearth furnace, and basic oxygen furnace (various removal efficiencies: from 97 to 99.7 percent)	Particulates	Ash
	4. Fabric filter at sinter plant and electric arc furnace (various removal efficiencies: from 97 to 99.7 percent)	Particulates	Ash
	5. Wet scrubber at the blast furnace	"	" Suspended solids
	6. Oil reclamation from cold mill emulsion	BOD	
	7. Recirculation of wastewater streams in hot rolling and cold mill finishing	BOD, SS, oil, toxics, heat	
	8. Secondary treatment (coagulation, sand filtration, clarification and thickening, settling basins, lagoons, and activated sludge) in coke production, blast furnace, basic oxygen furnace, and finishing operations	BOD, SS	Sludge
	9. Tertiary treatment (ammonia stripping, and carbon adsorption) in coke production		
	10. Cooling towers in coke production, blast furnace, basic oxygen furnace, open heart furnace, electric power plant, and finishing processes (removal efficiency: 100 percent)	Heat	b
11. Sludge drying and incineration	Sludge	Particulates Suspended solids	

れていない。費用負担制約は各地区住民の負担する燃料代で与えられている。

MPSX3は中規模の大気汚染物質排出者の活動水準をシミュレートするもので、75事業所がここに含まれている。“中規模”であることの判定は次のようにおこなわれる。すなわち二酸化硫黄又はふんじんのいずれかについて年平均最大着地濃度で25 $\mu\text{gms}/\text{m}^3$ 以上の寄与度をもつ事業所は全て“中規模”と定義されてこのサブモデルにとり込まれる。ただしMPSX1に含まれているものは除外する。このサブモデルでは廃水・廃棄物は扱われていないが、75事業所のうちのいくつかが後で述べるMPSX5、6に組み込まれている。

MPSX4は都市下水処理にあたる公共下水処理場の活動水準をモデル化したものである。ここには既存の36の公共処理場と新設の2つの公共処理場が含まれている。ただし新設の公共処理場は既存の7つの公共処理場にとって替るとしている。これら処理場の立地地点は所与とされる。公共処理場での処理関連費用は、処理流量に応じて各地区住民に配分されると仮定されているので、下水処理料金負担の上限値が各地区ごとに与えられている。ただし57地区のうち37地区の公共下水処理場が廃水を直接デラウェア塩湖沼帯に排出している。又、残りの21地区のうち11地区の都市下水（の一部）が前述の36地区の公共下水処理場に送流されているので、費用負担制約式は47地区について与えられている。

MPSX5は廃棄物の処理に関する部門のモデル化である。ここには故紙のリサイクルに関連して、再生パルプから紙を生産する14の工場、及び処女パルプから紙を生産する1つの工場が含まれている。この他に、既設・新設含めて23の焼却炉と各地区自治体による埋立事業がモデルに取り込まれている。再生パルプから紙を生産する工場のうち、12は既設で2つが新設である。新設の工場はそれぞれライナーボード、新聞紙を専門に生産する。流域全体での故紙発生量及び新設の工場に利用可能な量が表4.13に示されている。

表 4.13 デラウェア溪谷下岸流域における故紙発生量及び資源化工場に利用可能な量（単位 トン/日）

発 生 要 因	段 ボ ール 材	新 聞 紙
流域における総発生量		
1. 工 場	414	
2. 卸売・小売商店	1,128	
3. 高密度住宅地域		112
4. 低密度 "		732
	<hr/> 1,542	<hr/> 844
既設の12工場の必要とする量	1,235	141
新設工場に利用可能な量		
1.ライナーボード工場	307	
2.新聞紙工場		703

出典：Walter O. Spofford, Jr., Clifford S. Russell, and Robert A. Kelly

ただし“低密度”“高密度”の区別は、1 建造物につき4 戸以下のものが低密度、5 戸以上のものが高密度とされる。又、埋立については原則として、各地区で発生したごみの埋立はそれぞれの地区でおこなうものとするが、高い費用を払えば流域外へ搬出も可能である。埋立費用、焼却費用、故紙のリサイクルに要する分別・収集費用等の和としてあらわされるごみ処理料金の負担上限値が各地区ごとに与えられている。

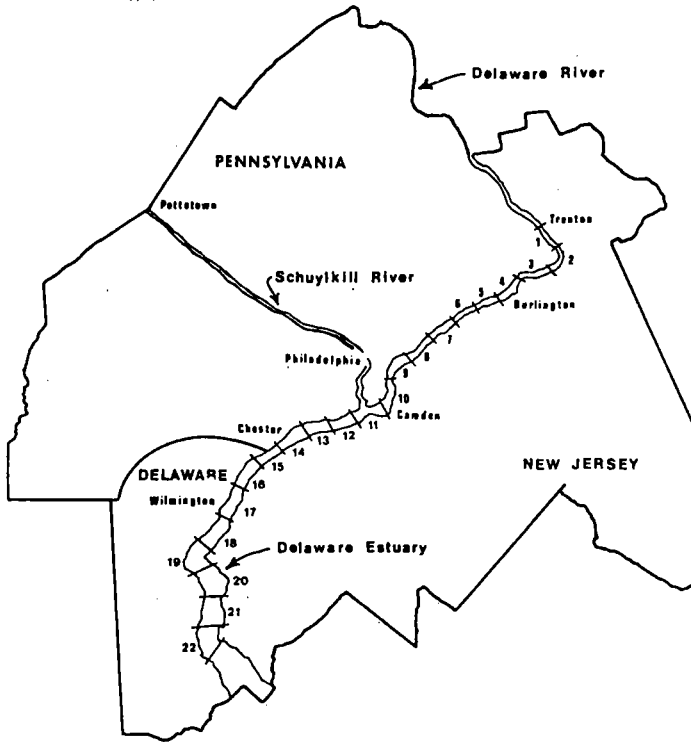
MPSX6 はデラウェア塩湖沼帯への大規模排出源を集めたものである。これには23 の民間工場及び酸素の排出にたずさわる河川再曝気事業が含まれる。河川再曝気事業は後に述べる22 コの各水域でおこなわれるとする。又、23 の民間工場にはMPSX1 に含まれているものは除外されている。

次に環境システムモデルの説明に入る。大気環境質として選択された二氧化硫、ふんじんの長期年間平均着地濃度を計測するのがプルーム・モデルの役目である。ただし57 地区それぞれの中心点が receptor 又は観測点として選ばれている。排出源については183 の点源に集約化されたものと、57 地区それぞれを1つの面源と数えた総計240 の排出源としたものを用いている。プルーム・モデルのパラメーターは、1970年のフィラデルフィア市の気象データにもとづいて推定されている。このプルーム・モデルを用いると240の排出源の57コ of 観測点への汚染寄与度が、4.2.3.1 節の(2)式のように汚染伝播行列を用いて表現される。それゆえ二氧化硫、ふんじんの各々について各観測点における年間平均着地濃度が、LPモデルの出力変数に含まれる各排出源の排出強度の一次関数という形で求まるのである。

水生生態系モデルとして用いられたのは、4.2.3.4 節で紹介された栄養段階モデルである。このために、デラウェア塩湖沼帯が22の水域に区切られている(図4.13参照)。モデルの内生変数は、バクテリア、algae(単細胞藻類の浮遊植物)、動物性プランクトン、魚といった主要な栄養段階に対応する変数と、生物の生育にとって必要な栄養素である窒素、磷、BODで表示されるような有機物といったものから成り立っている。この他にも、各内生変数間の物質移転の速度に影響を与えるものとして温度(又は排出された熱量)、フェノール、浮遊性固形物質等が補助変数としてモデルに与えられている。各内生変数間の物質移転に関する式は、H.T.Odumによって開発されたEnergy Circuit language⁴⁾によって規定されている。こうして定式化された微分方程式系のパラメーターはデラウェア塩湖沼帯の上流に位置しているTrentonにおける1970年9月のデータにもとづいて推定されている。以上がKellyのモデルについて知りうる限りのものであるが、ともかくこの水生生態系モデルの出力変数(定常状態)は、各水域におけるalgae, fishの現存量及びDO(溶存酸素)レベルである。

デラウェア・モデルの特化を目的とする本節の最後は、モデルで用いられた環境保全水準についてである。その内容を表4.14に示す。水質、大気質については、排出量に対して非常に高い課税金を課した場合(∞)、達成が困難(T)、容易に達成可能(E)、何らの保全水準なし(O)という4段階にわけられていて、大気拡散モデル、水生生態系モデルの各出力変数について具体的な数字が示されている。ただし第1の非常に高い課税金の内容については、少なくとも文献1からは窺いしることが出来ない。埋立

図 4.13 デラウェア塩湖沼帯の水域分割



Source: R. A. Kelly, "Conceptual Ecological Model of the Delaware Estuary," in B. C. Patten ed., Systems Analysis and Simulation in Ecology, Vol. IV (New York: Academic Press, forthcoming).

表 4.14 デラウェア・モデルの実際計算において用いられた環境保全水準の内容

	排出量に対して非常に高い課徴金をかけた場合 (∞)	達成が困難 (T)	容易に達成可能 (E)	保全水準ナン (O)
水質				
algae		$\leq 2.0 \text{ mg}/\ell$	$3.0 \text{ mg}/\ell$	
fish		$\geq 0.03 \text{ ''}$	0.01 ''	
DO		$\geq 5.0 \text{ ''}$	3.0 ''	
大気質				
SO ₂		$\leq 80 \mu\text{gms}/\text{m}^3$	$120 \mu\text{gms}/\text{m}^3$	
ふんじん		$\leq 75 \text{ ''}$	120 ''	
埋立質				
低(L)	生ごみの無処理埋立			
中程度(M)	衛生埋立(生ごみと土砂を交互に埋立てるサンドイッチ工法等)			
高度(H)	ごみの破碎、地下水保全のためのごみ地盤の強化、埋立場より浸出する水の水質保全の為の水処理、へいや緑地の使用による景観保全を考慮した高度な埋立工法			

質に関する保全水準は3段階に分類され、それぞれについてその内容が埋立工法との関係で表4.14に示す。これらの環境保全水準のうち、(T)レベルの大気保全水準についてはいくつかの地区で達成不可能ということが前もってわかっているため、それらの地区については少しゆるめの保全水準が実際計算では用いられている。

表 4.2.8 計算結果の要約

デラウェア・モデルの対象流域への適用計算の結果の紹介をするのが本節の目的であるが、ここでは1) 経済的効率、2) 費用負担分布、3) 最適処理体系の特徴、4) 廃ガス、廃水、廃棄物という廃物3形態間の相互関連、という4つの観点から要約を試みる。

実際計算は表4.15に示す27のケースについておこなわれた。各ケースごとに環境保全水準の内容及び地域全体のとりうる代替案の有(“+”と表示されている)、無(“0”と表示されている)が指定されている。Base Case とよばれる27番目のケースは、環境保全政策のとられる以前の状態、すなわち1968年から1970年ごろにかけてのデラウェアの流域の状態を模写するためのものである。

表4.15 デラウェア・モデルの対象流域への適用計算例(27ケース)の内訳

ケース番号	環境保全水準			地域処理代替案		反復計算の回数
	大気質	水質	埋立質	河川再曝気	公共処理場の集約化	
1	T	T	H	+	0	34
2	T	E	H	+	0	35
3	E	T	H	+	0	29
4	E	E	H	+	0	30
5	T	T	M	+	0	35
6	T	E	M	+	0	34
7	E	T	M	+	0	30
8	E	E	M	+	0	30
9	T	O	H	+	0	35
10	O	E	H	+	0	30
11	O	T	H	+	0	16
12	E	O	H	+	0	30
13	E	T	H	0	0	30
14	E	E	H	0	0	30
15	E	T	H	0	+	29
16	E	T	H	+	+	30
17	∞	O	H	0	0	1
18	O	∞	H	0	0	1
19	∞	∞	H	0	0	1
23	O	∞	H	+	0	1
25	O	O	H	0	0	1
26	O	O	M	0	0	1
Base Case	O	O	L	0	0	1

出典：Walter O. Spoford, Jr., Clifford S. Russell, and Robert A. Kelly, Environmental Quality Management / An Application to the Lower Delaware Valley, Resources for the Future / Washington, D.C., 1976

このケースは、大気質・水質についての保全水準は存在せず(0)、埋立質については無処理埋立(L)といった条件で規定されるものである。

まず1) 経済的効率という観点からこれら27コのケースについてその特徴を調べてみる。経済的効率を見るには、モデルの目的関数である総費用に注目すればよい。表4.16に、Base Caseに比べて各ケースの総費用がどの程度増加したかを示す数字及びこれら総増加費用の各サブモデルごとの貢献分が示されている。ただし重要でないと思われるいくつかのケースは省かれている。表4.16から少くとも3つの興味ある事実がよみとれる。その第1は、水質を向上させることに比べて大気質を向上させることの方がより高くつくということである。このことは、表4.16から必要な部分だけをとってまとめ直した図4.14をみれば一目瞭然である。図中の数字はBase Caseに比べての総費用増分を、カッコ内の数字は対応するケース番号を示している。保全水準の組合せを(大気質、水質)で表示した場合、(0,T)であらわされる保全水準を達成するのに必要な総費用増分(\$145,000/日)は、(T,0)の場合の総費用増分(\$1,119,000/日)に比べて極端に少ない。これを見てもデラウェア・モデルにおいては、大気質浄化が水質浄化に比べて困難な仕事であることがわかる。

表4.16をみて気付くことの第2は、地域全体のとりうる処理代替案が、総費用最小という経済的効率目標の達成にとっての有効な手段になっているということである。図4.15の示すように、河川再曝気、個別公共下水処理代替案を採用した場合は、しない場合に比べてかなりの費用減になっている。

表4.16から得られる第3の点は、埋立質制約に関してである。すなわち埋立質制約は、埋立事業に直接携わる自治体ごみ処理活動に及ぼす直接効果よりも、二次・三次効果の方が重要な意味をもっているということである。図4.16の上段が示すように、埋立質が(M)から(H)に改良された場合の総費用増分はおよそ1日当たり4万ドルないし5万ドルである。他方、埋立質制約の一次効果は埋立事業に直接携わっている自治体ごみ処理活動にあらわれると見てよい。ところがMPSX5の解によれば(図4.16の下段参照)、埋立質が(M)から(H)に改良された場合の費用増分は1日当たり約2.3万ドルである。残りの2万ドルないし3万ドルの費用増分はMPSX5以外のLPサブモデルによって吸収された、すなわち二次・三次効果が存在しているといえるのである。

2) 費用分担分布という観点からデラウェア・モデル計算結果を検討したものを4.17に示す。表中の数字はBase Caseに比べての各ケースの費用負担増分比率(又は増分)の最大値、平均値、最小値を示したもので、対応する地区番号がカッコ内に示されている。最大値の多くは、費用負担制約式の上限值をとっている。表4.17において特徴的なことは少くとも3つある。その第1は、大気質、水質の向上は、住民の負担せねばならぬ電気代の増分比率に余り影響を与えない(最高でケース1の11.3%)ということである。第2点として、商店用燃料費の増分比率は大気質保全水準に敏感に反応するということである。

表 4.16 デラウェア・モデル計算結果の経済効率の側面

ケースの内容	ケ ー ス 番 号																						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	23			
大気質保全水準	T	T	E	E	T	T	E	E	T	O	O	E	E	E	E	E	∞	O	∞	O			
水質保全水準	T	E	T	E	T	E	T	E	O	E	T	O	T	E	T	T	O	∞	∞	∞			
埋立質保全水準	H	H	H	H	M	M	M	M	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H			
河川再曝気	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+			
公共処理場の集約化	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	+	+	O	O	O	O			
費用(単位は\$1000/day)																							
総費用:	1,201.0	1,179.0	425.0	362.0	1,164.0	1,139.0	371.0	312.0	1,190.0	109.0	145.0	265.0	519.0	351.0	463.0	393.0	1,193.0	343.0	1,411.0	357.0			
個別LP モデルの費用:																							
MPS X 1	527.0	543.0	167.0	150.0	589.0	524.0	146.0	132.0	525.0	196.0	244.0	113.0	184.0	136.0	139.0	150.0	586.0	86.0	584.0	86.0			
" 2	463.0	455.0	84.6	81.0	395.0	465.0	88.0	87.7	462.0	0	0	84.8	95.4	86.0	89.5	85.1	474.0	0	474.0	0			
" 3	43.6	45.9	12.9	8.4	44.9	46.0	8.0	6.9	46.5	0	0	7.3	9.0	7.8	8.0	8.8	47.2	0	50.0	0			
" 4	53.4	31.8	53.3	38.4	47.7	28.6	50.9	29.5	0.3	35.8	50.4	0	107.0	42.2	111.0	50.1	0.3	156.0	157.0	156.0			
" 5	78.7	79.0	71.4	60.0	55.2	54.4	39.9	37.5	79.4	35.7	36.3	56.3	64.4	59.7	62.0	62.0	79.5	39.3	81.6	39.3			
" 6	35.5	24.9	36.2	23.8	32.8	20.0	37.8	18.9	5.5	17.9	34.2	3.5	59.1	18.7	53.3	36.6	5.5	63.8	69.2	77.5			

出典: Walter O. Spofford, Jr., Clifford S. Russe II, and Robert A. Kelly

		大 気 質 保 全 水 準			
		O	E	T	∞
水 質 保 全 水 準	O	\$ 33,800 (#25)	\$ 265,000 (#12)	\$ 1,119,000 (#9)	\$ 1,193,000 (#17)
	E	\$ 109,000 (#10)	\$ 362,000 (#4)	\$ 1,179,000 (#2)	
	T	\$ 145,000 (#11)	\$ 425,000 (#3)	\$ 1,201,000 (#1)	
	∞	\$ 343,000 (#18)			\$ 1,411,000 (#19)

図 4.14 環境保全水準を達成するのに必要な増分費用

出典：Walter O. Spofford, Jr., Clifford S. Russell, and Robert A. Kelly

		河川再曝気	
		無	有
個 別 公 共 処 理 約 場 化 の	無	\$ 519 (#13)	\$ 425 (#3)
	有	\$ 463 (#15)	\$ 393 (#16)

図 4.15 地域全体のとりうる処理代替案と経済効率性 (単位 \$ 1,000/day)

出典：Walter O. Spofford, Jr., Clifford S. Russell, and Robert A. Kelly.

総費用：

		大気質保全水準	
		E	T
水質保全水準	E	\$ 362 (No. 4)	\$ 1,179 (No. 2)
	T	\$ 425 (No. 3)	\$ 1,201 (No. 1)

埋立質 (H)

		大気質保全水準	
		E	T
水質保全水準	E	\$ 312 (No. 8)	\$ 1,139 (No. 6)
	T	\$ 371 (No. 7)	\$ 1,164 (No. 5)

埋立質 (M)

MPS X 5 の費用：

		大気質保全水準	
		E	T
水質保全水準	E	\$ 60 (No. 4)	\$ 79 (No. 2)
	T	\$ 71.4 (No. 3)	\$ 78.7 (No. 1)

埋立質 (H)

		大気質保全水準	
		E	T
水質保全水準	E	\$ 37.5 (No. 8)	\$ 54.4 (No. 6)
	T	\$ 39.9 (No. 7)	\$ 55.2 (No. 5)

埋立質 (M)

図 4.16 埋立質制約の波及効果 (単位 \$ 1,000/日)

出典 : Walter O. Spofford, Jr., Clifford S. Russell, and Robert A. Kelly,

表 4.17 デラウェア・モデル計算における費用負担分布

ケースの内容	ケ												1
	2	3	4	5	6	7	8	13	15	16	19	25		26
大気質保全水準	T	E	E	T	T	E	E	E	0 (49)	0.2(49)	∞	0	0
水質保全水準	T	T	E	T	E	T	E	E	11.3	30	∞	0	0
埋立質保全水準	H	H	H	M	M	M	M	M	158(1)	160(4)	H	H	M
河川再曝気	+	+	+	+	+	+	+	+	393(46)	0 (46)	O	O	O
公共処理場の集約化	O	O	O	O	O	O	O	O	1156	1178	O	O	O
電気代	min	1.4(49)	0.2(49)	0.1(49)	1.4(49)	1.1(49)	0.1(49)	0.1(49)	10(49)	0 (49)	1.1(49)	0	0
(増分比率)	mean	112	3.3	28	104	11.3	30	23	11.3	24	115	0	0
商店の暖房費	max	158(1)	4.5(42)	37(42)	154(4)	160(4)	41(42)	3.1(42)	158(1)	32(42)	163(4)	0	0
(増分比率)	min	67.8(39)	0 (46)	0 (57)	0 (46)	109.2(57)	0 (46)	0 (49)	67.8(39)	0 (57)	117.8	0	0
mean	1156	1141	226	102.5	117.8	23.5	25.1	25.1	1156	249	117.8	0	0
max	1178(23)	1178(23)	117.8(18)	117.8(23)	117.8(23)	17.8(17)	117.8(18)	117.8(18)	1178(23)	117.8(18)	117.8	0	0
家庭暖房費	min	9.9(32)	0 (57)	0 (57)	0.4(3)	4.9(57)	0 (57)	0 (57)	9.9(32)	0 (57)	9.9(32)	0	0
(増分比率)	mean	258	42	4.1	21.8	26.4	4.7	4.2	258	48	27.4	0	0
max	55.4(23)	30.0(23)	43.8(19)	55.4(23)	55.4(23)	46.6(19)	42.5(19)	42.5(19)	55.4(23)	42.5(19)	55.4(23)	0	0
下水処理料金	min	0.5(1)	0 (49)	0 (49)	0.4(1)	0 (44)	0.5(1)	0 (49)	0.5(1)	0 (57)	1.5(1)	0	0
(\$・世帯/年当り増分) mean	134	7.9	133	9.5	11.6	7.1	12.5	7.3	134	263	36.3	0	0
max	48.2(44)	36.8(50)	49.2(50)	37.3(50)	51.2(50)	38.7(50)	46.7(2)	40.3(50)	48.2(44)	124.8(2)	139.5(2)	0	0
ごみ処理料金	min	16.6(24)	7.6(15)	7.8(15)	6.5(24)	6.6(24)	6.6(24)	6.6(24)	16.6(24)	7.7(15)	16.6(24)	9.2(15)	7.6(32)
(増分比率)	mean	192	18.0	18.6	7.6	7.7	7.7	7.7	192	17.5	18.0	16.2	7.8
max	21.1(25)	23.6(32)	23.1(35)	24.9(32)	7.8(57)	7.8(57)	8.2(26)	9.0(26)	21.1(25)	23.2(26)	19.6(57)	22.5(25)	7.9(57)
河川再曝気負担金	141.8	83.4	156.6	92.7	110.1	65.9	131.1	61.3	141.8	0	121.9	0	0
(\$・地区/日)													

出典: Walter O. Spofford, Jr., Clifford S. Russell, and Robert A. Kelly, Environmental Quality Management

(T)レベルではほぼ100%以上の増加率である。これは、(T)レベルになると商店用暖房に使用される燃料が天然ガスに切り替えられることによっている。第3の点は、下水処理料金増分に及ぼす地域処理代替案の影響についてである。地域処理代替案が用いられないときの下水処理料金増分は、最高で世帯当たり約140ドル/年間(ケース13)である。他方、公共下水処理場の集約化という代替案がとられると、最高値は約125ドル(ケース15)に減少する。さらにこれに加えて河川再曝気という代替案がとられると、最高値は約47ドル(ケース16)と急減している。

3) 最適処理体系の特徴については、ここでは廃棄物処理に限定して報告する。表4.18にケースごとに、各地区自治体にとって最適ごみ処理方法及び故紙のリサイクル状況が示されている。この表において特徴的なことは少なくとも3つある。その第1は、流域外へのごみの搬出という代替案が他の案にくらべて高価なため一度も採用されていないということである。第2の点は、23ヶ所ある焼却場のうち7ヶ所(表18中のカッコ内の数字で示されている)しか用いられておらず、しかも大気質保全水準が(T)レベル以上になると“焼却”という代替案は全然用いられなくなるということである。第3の点は新設の故紙再資源化工場に関してである。まずライナーボード工場はほとんどのケースにおいて稼働しているが、水質、埋立質よりも大気質の影響をより強くうけている。このことは、最低稼働水準(ケース2及び6における日量約100tの入力)が(大気質、水質)=(T , E又はO)の時に、又、最高稼働水準(ケース8、11、12、13、14における日量約300t以上の入力)が(E)又は(O)大気質の時に達成

表4.18 デラウェア・モデル計算における廃棄物処理及び故紙リサイクル (単位:トン/日)

	ケ ー ス 番 号							
	1	2	3	4	5	6	7	8
ケースの内容:								
大気質保全水準	T	T	E	E	T	T	E	E
水質保全水準	T	E	T	E	T	E	T	E
埋立質保全水準	H	H	H	H	M	M	M	M
河川再曝気	+	+	+	+	+	+	+	+
公共下水処理場の集約化	O	O	O	O	O	O	O	O
各地区自治体のとりうるごみ処理代替案								
埋立	8,030	7,870	6,740	6,500	8,030	8,030	8,030	8,030
焼却	0	0	1,280 (7)	1,370 (7)	0	0	0	0
流域外への搬出	0	0	0	0	0	0	0	0
リサイクルのために集められた故紙:								
新聞紙	149	308	153	298	141	141	143	146
ダンボール材	1,482	1,332	1,542	1,498	1,488	1,343	1,496	1,540
新設のリサイクル工場に渡される故紙:								
新聞紙工場	0.0	166	0.0	157	0	0	0.0	0.0
ライナーボード工場	248	98	31	263	253	109	261	305 d

	ケース番号							
	9	10	11	12	13	14	15	16
ケースの内容								
大気質保全水準	T	O	O	E	E	E	E	E
水質保全水準	O	E	T	O	T	E	T	T
埋立質保全水準	H	H	H	H	H	H	H	H
河川再曝気	+	+	+	+	O	O	O	+
公共下水処理場の集約化	O	O	O	O	O	O	+	+
各地区自治体のとりうる ごみ処理代替案：								
埋立	8,020	4,960	5,120	6,020	6,340	6,520	6,530	6,780
焼却	0	2,913(7)	2,913(7)	1,510(7)	1,646(7)	1,367(7)	1,492	1,249
流域外への搬出	0	0	0	0	0	0	0	0
リサイクルのために集められた故紙：				0				
新聞紙	153	300	142	640	192	283	155	145
ダンボール材	1,235	1,514	1,539	1,542	1,542	1,540	1,504	1,537
新設のリサイクル工場 に渡される故紙：								
新聞紙工場	0.0	158	0.0	499	0	142	0.0	0.0
ライナーボード工場	0	280	306 d	307 d	358 d	305 d	270	302

	17	18	19	23	25	26	Bas c ^a	
ケースの内容								
大気質保全水準	∞	O	∞	O	O	O	O	
水質保全水準	O	∞	∞	∞	O	O	O	
埋立質保全水準	H	H	H	H	H	M	L	
河川再曝気	O	O	O	+	O	O	O	
公共下水処理場の集約化	O	O	O	O	O	O	O	
各地区自治体のとりうる ごみ処理代替案								
埋立	8,030	5,120	8,030	5,120				8,175
焼却	0	2,910(7)	0	2,910(7)				9,340
流域外への搬出	0	0	0	0				
リサイクルのために集められた故紙								
新聞紙	141	141	141	141	689	274	141	844 ^c
ダンボール材	1,235	1,235	1,235	1,235	1,542	1,542	1,542	1,542 ^c
新設のリサイクル工場 に渡される故紙：								
新聞紙工場	0	0	0	0	548	133	0	
ライナーボード工場	0	0	0	0	308 d	307 d	307 d	

出典：Walter O. Spofford, Jr., Clifford S. Russell, and Robert A. Kelly

されていることからわかる。水質保全水準に割合鈍感な理由の1つは、新設のライナーボード工場の立地点が水域5という比較的水のきれいな上流に面していることである。他方、新設の新聞紙工場は埋立地にきわめて敏感に反応している。このことは(埋立質、大気質、水質)=(H、O、O)の時の故紙入力(日量548t(ケース25))であるのに対して、(M、O、O)の時の故紙入力(日量133t(ケース26))に減少することからもわかる。又、新聞紙工場の稼働水準が水質保全水準にも強い反応を示しているのは、工場の立地点が水域11というフィラデルフィア市周辺にあって、もともと汚染の進んだ地区であることによる。

計算結果要約の最後は、4) 廃ガス、廃水、廃棄物という廃物3形態間の相互関連についてである。相互関連の総費用に及ぼす影響を定量的に分析するには、相互関連を考慮した場合としない場合で総費用がどの程度異なるかを見るためのモデルが必要となる。このモデルを用いてまず、相互関連を考慮した場合に必要な総費用のある計画期間にわたる現在価値の総和をとったものを計算する。次に、水質、大気質、埋立質を個別に考慮して設計された処理体系の維持管理に必要な費用プラス3つの保全水準を同時に満たすのに必要となる追加費用の同じ計画期間にわたる現在価値の総和を計算して、前者と後者の差をとれば相互関連の総費用に及ぼす影響が計測されるのである。ただしこのためには“時間遅れ”に関する効果をモデルにとりこまなければならない。

静的均衡モデルとして組み立てられているデラウェア・モデルでは、それゆえ、相互関連の総費用に及ぼす影響の定量化ということは諦めて、かわりに、相互関連に関するいくつかの示唆的指摘を述べるにとどめている。にもかかわらずそれらはいずれも重要な意味をもっていると思われるので、ここではそれらの指摘のうち大気質と水質との相互関連に関するものだけを紹介する。もしも大気質と水質との間に何らの相互関連もないとしたら、水質向上に要する費用増は大気質のレベルとは独立のはずである。ところが図4.14の示すように、水質向上による費用増は大気質のレベルによって異なる値をとっている。(O)レベルの大気質の時に、水質を(O)から(E)に向上させるのに必要な総費用増は\$75,200/日であり、水質を(E)から(T)に向上させるのに必要な分は\$36,000/日である。他方、大気質を(E)レベルに変えた時の対応する費用増はそれぞれ\$97,000/日、\$63,000/日となる。このように大気質レベルが(O)と(E)の場合では、水質向上に要する総費用増に大きな差がみられるのである。

4.2.9 計算に要した費用及び将来課題

デラウェア・モデル計算の実行は、IBM370 MODEL165によっておこなわれ、300Kバイトの内部記憶を用いている。しかも最適化のための繰り返し計算を1回終了するために、2.8分のCPU、5.9分のI-O時間が必要で、かつ、入出力に関する命令文が13,400コあり、最低で1,236行の出力が必要とのことである。それゆえ単一ケースの計算を遂行するのに平均30回の繰り返し計算が必要とすると、費用は\$1,200ドル/ケースとなる。表4.15に示す27ケースをまとめるにはこれの27倍、32,400ドルかかるが、この金額には予備計算にかかった費用は含まれていない。

将来課題についてはデラウェア・モデルの担当者によっていろいろ述べられているが、ここでは最も重

要と思われるものだけを紹介する。それは、デラウェア・モデルで採用された非線型計画解法においては最適点の近傍における解の収束が非常に悪いということに関するものである。モデルの目的が流域全体での総費用最小という経済的効率基準の達成にのみあるならば、この収束性の問題は余り重要でない。なぜなら最適点と最適点の近傍では目的関数値にそれほどの差が生じないので、無理して解の収束性を高める必要がないからである。

しかしモデルの目的が最適解の内容、すなわち処理体系の内容、費用負担の地区別分布、環境質の地区別、水域別分布といったことにもある場合は、解の収束性の悪さは致命的な問題となる。それゆえデラウェア・モデルの担当者達は、モデルの非線型性をとり払って全てをLPモデルに書き直して再計算する方向に向っている。いいかえれば、デラウェア・モデルにおける唯一の非線型モデルである栄養段階モデルをDOモデルに置きかえることによって、分布問題に対するよりつっこんだ分析を試みるという方向である。

References

1) デラウェア・モデルを説明している文献1においては、“地代”又は“環境地代”ということばは用いられていない。ただし、Spofford, Russell, Kelly によるデラウェア・モデルに対するコメントとして、Boyd が、環境保全水準とのからみで彼らの用いているMarginal Penaltyを地代の観点から解釈している。Boyd のコメントについては

J. Hayden Boyd, “Comment” on “Operational Problems in Large Scale Residuals Management Models” by Walter Spofford, Clifford Russell and Robert Kelly in Economic Analysis of Environmental Problems edited by Edwin S. Mills, National Bureau of Economic Research, New York 1975, 234 - 238

を参照されたい。又、“地代”、“準地代”についての一般的な議論については、例えばP. A. サムエルソン、経済学、都留重人訳、原書第9版、岩波書店、第28章、pp. 928-949を参考にされたい。

2) 環境システム・モデルに関してよくまとまっている文献としては、例えば、

高松武一郎、内藤正明、Liang - Tseng Fan 著 環境システム工学、日刊工業新聞社、S52年発行

がある。

3) 栄養段階論については

Raymond Lindeman, “The trophic - dynamic aspect of ecology,” Ecology, vol. 23. 1942

またはE. P. Odum 著、三島次郎訳、生態学の基礎 原書第3版上、培風館、S49年発行。第3章を見られたい。

4) これについては

Howard T. Odum. “An Energy Circuit Language for Ecological and Social Systems: Its

Physical Basis , " in Systems Analysis and Simulation in Ecology edited by B. C. Patten, Academic Press, 1971

又は、

H. T. Odum. "Combining Energy Laws and Corollaries of the Maximum Power Principle with Visual Systems Mathematics ", in Ecosystem Analysis and Prediction edited by S. A. Levin, Society for Industrial and Applied Mathematics, Philadelphia , 1975 .
pp. 239-263

を参照されたい。

4.3 霞ヶ浦水環境保全モデル

4.3.1 モデルの構造

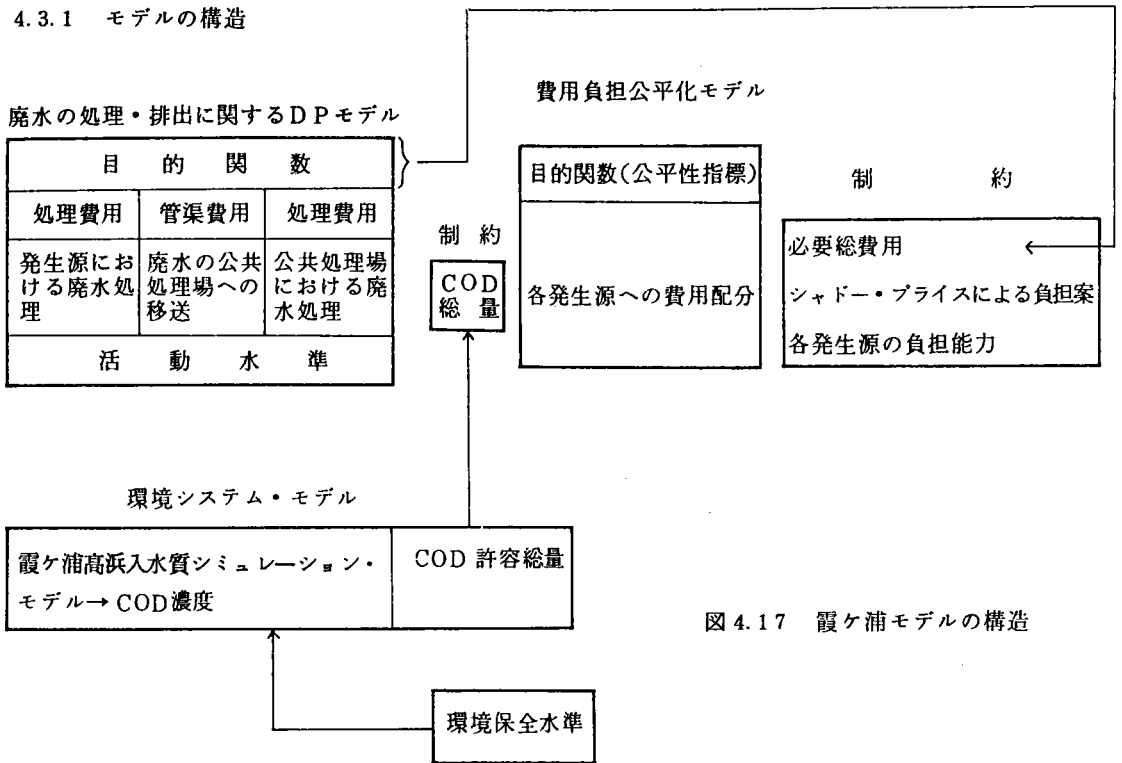


図 4.17 霞ヶ浦モデルの構造

霞ヶ浦モデルの構造を図 4.17 に示す。この図とデラウェア・モデルの構造を示した 4.2.1.1 節の図 4.3 を比べてみると矢印の方向が逆であることに気づく。逆であることの主因は、環境システム・モデルを最適化計算の枠組の外におくことにある。デラウェア・モデルでは環境システム・モデルが制約式の 1 つとして最適化計算過程に取り込まれているのに反して、霞ヶ浦モデルでは最適化計算の外におかれている。外におくことの主たる利点は、環境保全モデルの作成という異分野の研究者による協同作業を分解可能にし、かつ各部分モデルに含まれる問題点が明らかになるということにある。外におくことの弱点の 1 つは、最適化計算の結果得られる解が必ずしも最適解ではなく局所的解の生ずる可能性があるということである。これについては 4.3.6 節で詳しく述べる。

このように環境システム・モデルを最適化計算の外におくか内に取り込むかという違いはあるが、環境保全水準が所与としてモデルが組み立てられている点は両者の重要な共通点である。

デラウェア・モデルと異なるもう 1 つの重要な点は、費用負担配分の取り扱いに関してである。デラウェア・モデルでは、費用負担配分に関する問題が費用負担制約式という形で最適化計算(総費用最小)の中に取り込まれているが、霞ヶ浦モデルでは、費用負担配分に関する問題は全て公平化モデルの中に含まれている。費用負担配分に関するモデルをあらためて作るのには次の理由による。総費用最小という目的関数は種々の稀少資源(環境資源を含む)制約のもとで経済効率性を達成したいとする動機にもとづいて設定

されるものであり、それゆえ、費用負担制約といった“分配”に関するものは“総費用最小モデル”とは別個に考えられるべきであるということである。デラウェア・モデルに限らず一般に米国の研究者は制約式によって費用負担問題を分析する傾向が強いが、ここでは制約式プラス公平化指標によって、生産・処理活動の効率性とは別個の問題として分析を試みてみたい。

以下、図4.17の矢印にしたがって各モデルの内容を見ていくが、議論を具体的にするために、まず、対象流域として選ばれた霞ヶ浦高浜入流域の概況を説明し、次に各モデルの内容及び対象流域への適用計算の結果について見ていくことにする。

4.3.2 霞ヶ浦高浜入流域の概況

霞ヶ浦モデルの対象流域として選ばれた高浜入流域とは、高浜入周辺地域(図4.18参照)において分水嶺(点線で示されている)で囲まれた地域のことである。ここには2市8町村が含まれ、流域人口は58,367人である。表4.19は、流域内で発生する有機汚濁物を発生要因別にCOD表示したものである。

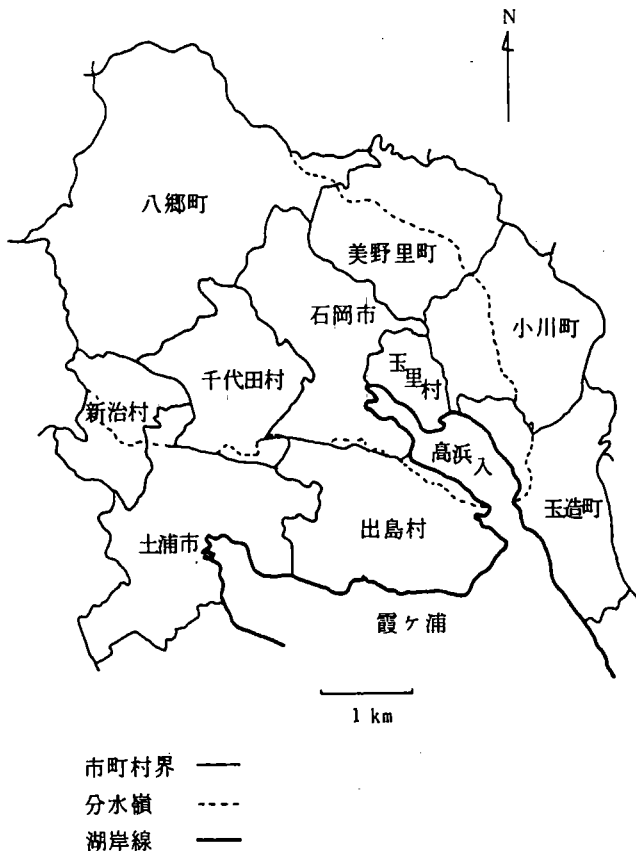


表 4.19 高浜入流域のCOD発生負荷量
高浜入流域のCOD発生負荷量

発生要因	COD発生負荷量 (ton/day)
製造業	31.0
家庭	4.9
畜産	14.2
農林地	2.0

図 4.18 霞ヶ浦高浜入周辺地域

製造業廃水源としては、石岡市及び玉里村の2つの工業団地と、石岡市内および美野里町の大手食品工場が主な廃水源であり、4つの大手食品工場だけで製造業廃水によるCOD負荷の75%を発生している。家庭廃水については、石岡市が流域人口の40%を占め、大きな発生源となっている。さらにこの地域は、

全国でも有数の養豚地帯であり、畜産廃水によるCOD負荷量はかなり大きな割合を占めている。なお、現在、表4.20に示すような排水基準が霞ヶ浦流域の工場、事業所あるいは畜舎などを対象として設定されているので各発生源からのCOD排出負荷量は表4.19に示したものよりかなり小さい値を示す。

表4.20 霞ヶ浦水域排水基準

	区 分	排水基準BOD 又はCOD	規制対象排水量	適用の日又は期間	
工場又は事業場	新設のもの	10ppm	20m ³ 以上	—	
	既設のもの	暫定業種	50以上	昭和50年5月1日から	
		暫定業種以外のもの	50以上	昭和50年5月1日から	
	し尿処理施設	新設のもの	10	501人以上のし尿処理施設	—
		既設のもの	20		昭和49年11月1日から
		下水道終末処理施設	10	—	—
豚房施設	新設のもの	10ppm	50m ³ 以上	—	
牛房施設	既設のもの	45		昭和49年12月31日まで	
馬房施設		20		昭和50年1月1日まで	

出典：〔国立公害研究所特別研究成果報告 R-1〕

霞ヶ浦モデルを対象流域に適用するにあたって、4つの仮定をおく。まず第1に、廃水の処理・排出に関する最適化計算の対象となるのは、下水処理システム対象地域（図4.19参照）内にある製造業廃水及び家庭廃水のみであると仮定される。それゆえ、流域内の他地域にある全ての発生源及び処理対象地域内にある畜産等による廃水は、霞ヶ浦モデルにおける最適化計算の対象にはならない。いいかえれば、それらは全て高浜入への自然負荷（与件）として扱われる。

第2の仮定として廃水の処理・排出に関わる施設は全て新設とする。第3に、公共下水処理場の候補地として図17に示される2ヶ所を考え、処理対象地域の家庭廃水は全てこれらの公共処理場で処理されるとする。第4の仮定は製造業廃水に関するものである。製造業廃水の排水については直接放流と公共処理場への送流という2案を考える。ただし、直接放流される放流先は、図4.19に示す第1公共処理場の放流先と同一とする。

以上4つの仮定及びここでは説明を省略する自然負荷に関する仮定をまとめて示したのが図4.20である。

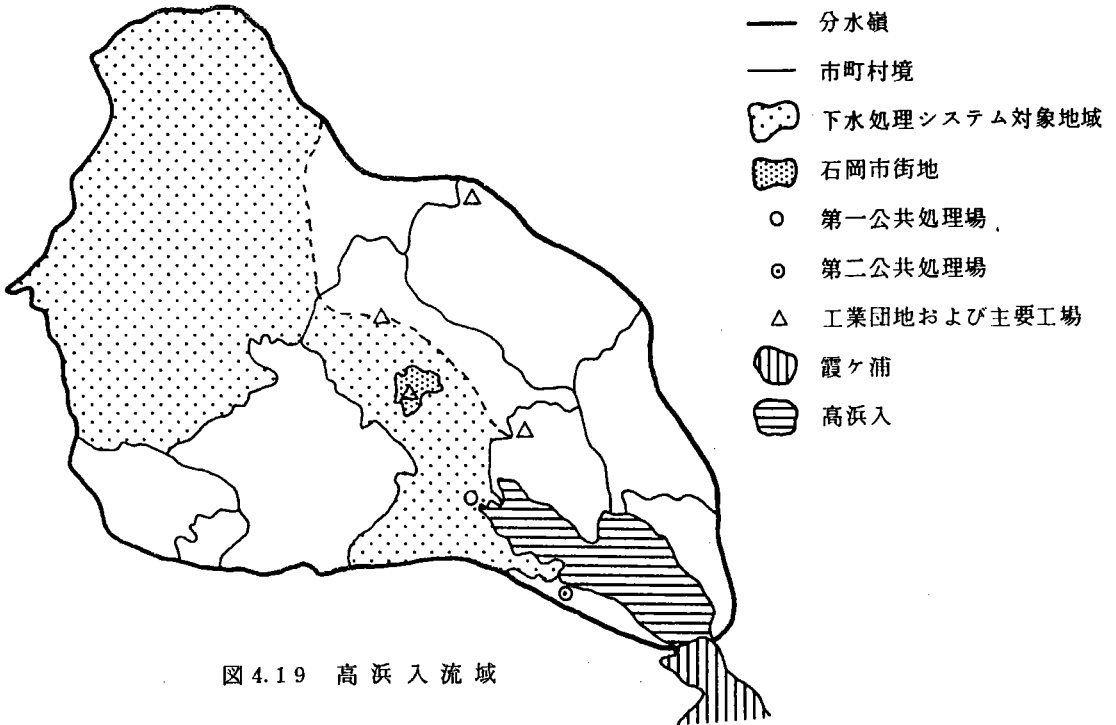


図4.19 高浜入流域

出典：〔国立公害研究所特別研究成果報告 R-1〕

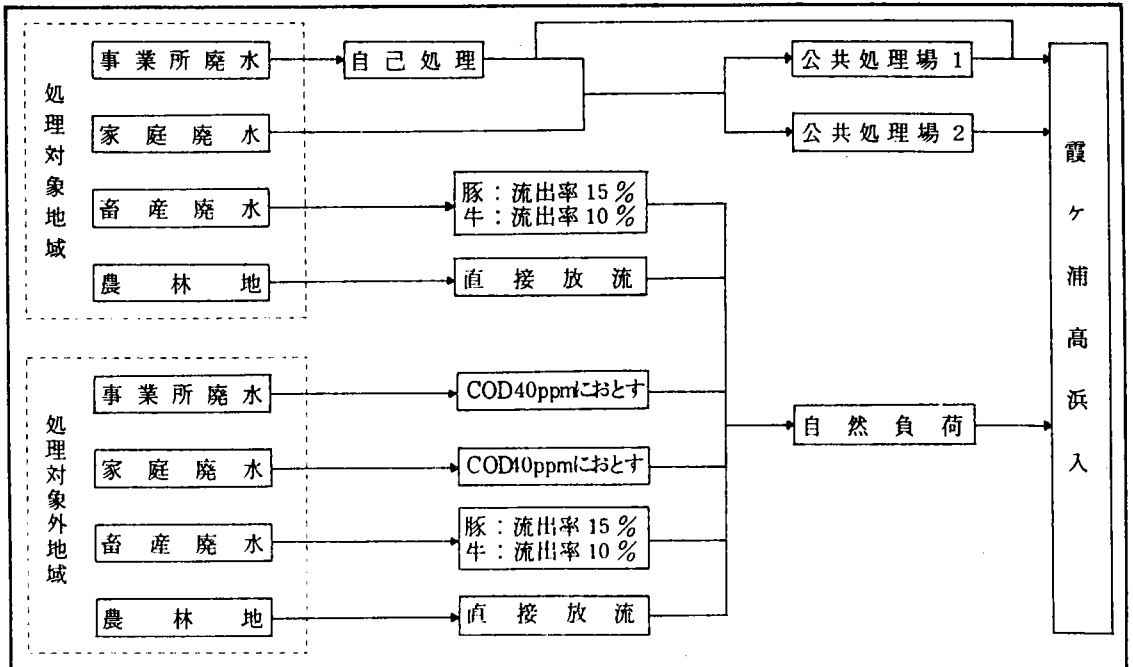


図4.20 対象水域への廃水の流入経路

4.3.3 水質シミュレーション・モデル

所与の環境保全水準（COD濃度）のもとで処理対象地域に割り当てられるCOD許容量を算出し、これを次節の廃水処理・排出に関するDPモデルに制約として課すことが、水質シミュレーション・モデルの役割である。

まず環境保全水準の設定について説明する。霞ヶ浦全域は1972年に環境基準のA水域類型指定を受けている。この指定によれば5年以降までにCOD 3PPM以下にしなければならないとなっている。この3PPMという値を環境保全水準として用いることも勿論できるが、霞ヶ浦モデルでいう環境保全水準とはもう少しこまかく決められたもので、霞ヶ浦、とくに高浜入の各水域ごとに設定されたものである。というのは、砂地で水の流れの速いところは生け簀養殖に向いているという例からも窺われるように、水域特性によって水域の利用目的に差が出てくるのは当然で、これらを環境保全水準設定にあたって生かしたいからである。それゆえ、住民の霞ヶ浦利用目的体系との兼ね合いにおいて環境保全水準値が決められるものである。しかし本節では特定の環境保全水準値を仮定するのではなく、環境保全水準のとりうる範囲を仮定して分析を進めることにする。

対象である高浜入が湖の1部であるので、水質シミュレーション・モデルには3次元的な水域の表示に適したボックス・モデルを用いる。まず高浜入を5つの水域に分割（図4.21参照）し、各水域での水質（COD）量に関する物質収支を考える。すると図4.22より次のような一次系モデルが得られる：

$$\frac{V_1 dC_1}{dt} = \bar{L}_1 + \bar{L}_{1'} - Q_{12} C_1 + R_1 V_1$$

$$\frac{V_2 dC_2}{dt} = \bar{L}_2 + \bar{L}_{2'} - (Q_{23} + Q_{24}) C_2 + Q_{12} C_1 + Q_{32} C_3 + Q_{42} C_4 + R_2 V_2$$

$$\frac{V_3 dC_3}{dt} = \bar{L}_3 - (Q_{32} + Q_{35}) C_3 + Q_{23} C_2 + Q_{53} C_5 + R_3 V_3$$

$$\frac{V_4 dC_4}{dt} = \bar{L}_4 - (Q_{42} + Q_{45} + Q_{46}) C_4 + Q_{24} C_2 + Q_{54} C_5 + R_4 V_4$$

$$\frac{V_5 dC_5}{dt} = \bar{L}_5 - (Q_{53} + Q_{54}) C_5 + Q_{35} C_3 + Q_{45} C_4 + R_5 V_5$$

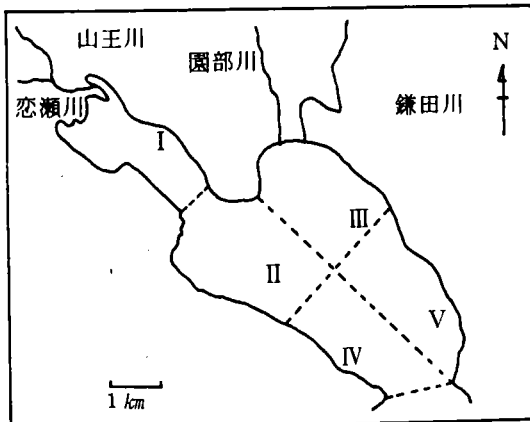


図 4.21 高浜入水域分割図

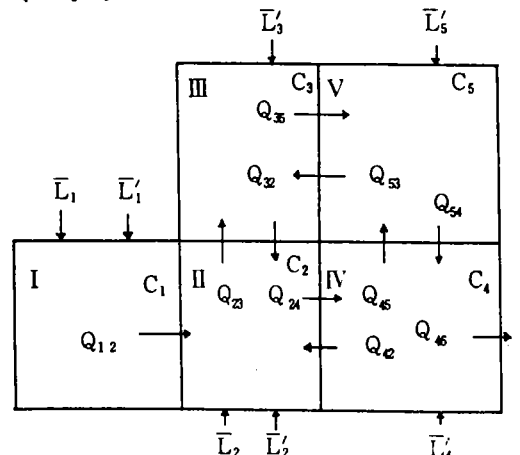


図 4.22 高浜入模型図

ここで

$$R_i = -k_1 i C_i + k_2 i P_i \quad (i = \dots \dots 5)$$

C_i = 第 i 水域の COD 濃度 (PPM)

V_i = 第 i 水域の体積 (m^3)

\bar{L}_i = 第 i 水域への COD 許容総量 ($i = 1, 2$)

\bar{L}'_i = 第 i 水域への自然負荷 ($i = 1 \dots \dots 5$)

Q_{ij} = 第 i 水域から第 j 水域への流出水量 (m^3/day) ($j = 2 \dots \dots 6, i = 1 \dots \dots 5$)

k_{1i} = 第 i 水域の減少係数 (l/day)

k_{2i} = 第 i 水域の内部生産係数 (l/day)

P_i = 第 i 水域の全磷濃度 (PPM)

前節で説明されたように、処理対象地域内の廃水（自然負荷分を除く）は全て第 1 水域、第 2 水域のみ流入するので、 \bar{L}_1 と \bar{L}_2 の和が処理対象地域に課せられた COD 総量に等しくなる。

表 4.21 係数および定数

水域番号	V 10 ⁶ m ³	\bar{L}'_i ton/day	P ppm	k_1 l/day	k_2 l/day
I	5.489	2.381	0.08	0.05	0.00
II	15.23	0.072	0.08	0.02	0.64
III	12.87	1.904	0.08	0.03	0.64
IV	13.53	0.013	0.06	0.03	0.50
V	15.24	0.035	0.06	0.03	0.50

S 47-50 年の実測データに基づいて推定されたパラメーター（表 4.21 参照）および降雨量、蒸発量、吹送流から算出された Q_{ij} の値を、前述の微分方程式体系に代入して得られた定常解の結果を図 4.23 に要約する。横軸は第 1 水域の COD 許容総量 (\bar{L}_1) に、縦軸は第 2 水域の COD 許容総量 (\bar{L}_2) に対応している。又、太線は第 1 水域の環境保全水準 (C_1) を、点線は第 2 水域の環境保全水準 (C_2) をあらわしている。図 4.22 の示すように、水は第 1 水域から第 2 水域に一方向的に流出して第 2 水域から第 1 水域への流入がない。それゆえ環境保全水準 (C_1) とされる第 1 水域の長期平均 COD 濃度は、自然負荷 (\bar{L}'_1) 所与のもとで、第 1 水域の許容総量 (\bar{L}_1) にのみ依存して決まる。図 4.23 において C_1 が縦軸 (\bar{L}_2) と独立にプロットされているのはこのためである。

図 4.23 の斜線部分は、 C_1, C_2 が共に国の環境基準である 3 PPM 以下に設定された時に、 \bar{L}_1 と \bar{L}_2 が満たさねばならぬ関係を示すもので、これは

$$8 \bar{L}_1 + 13 \bar{L}_2 \leq 520$$

という式で与えられる。

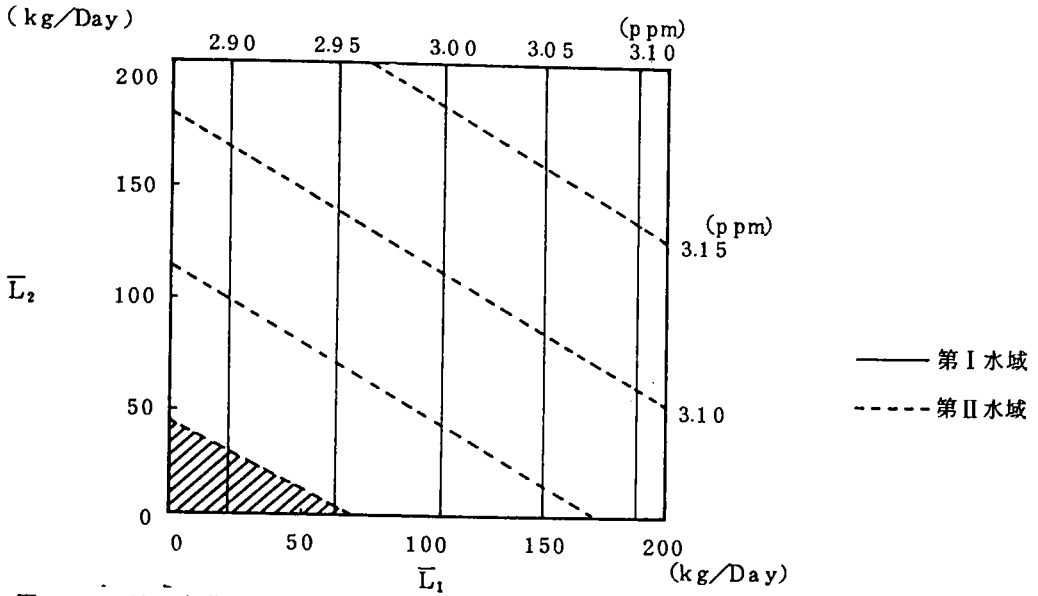


図 4.23 流入負荷量と水質の関係

出典：(国立公害研究所特別研究成果報告 R-1)

4.3.4 廃水の処理・排出に関するDPモデル

前節の水質ミシユレーションにより、第1水域および第2水域へのCOD総量が与えられると、この総量のもとでの最適な廃水処理・排出システムを設計することが本節の目的である。まず下水処理システム対象地域内の全事業所を廃水量と廃水中のCOD濃度によって分類すると表4.22のようになる。

表 4.22 事業所の廃水量とCOD濃度による分類

原水のCOD濃度 (ppm)	廃水量 (ton/day)		
	10	50	500
1,500	3	1	1
350	71	4	4
20	354	27	2

以下の分析では表4.22によってあらわされる各事業所群を1つのグループとして扱い、又、家庭は全体で1つのグループとして取り扱う。同一グループに属する事業所は全て同一の処理・排出方式に従うものとする。各グループのとりうる代替的な処理・排出方式として次の3つがここでは考慮される。(1)グループn (= 1 ~ 9) 内の個々の事業所は表4.23に示す代替的な処理レベルのうちから1つを選んで、廃水を全量そのレベルまで自己処理し、処理水を全部第1水域に流れ込む河川に放流(排出)する。(2)グループn内の個々の事業所は表4.23の代替的な処理レベルのうちから1つを選んで、廃水を全量そのレベルまで前処理し、処理水を全部公共下水道に流し込む。(3)(1)と(2)の折衷案であり、グループn内の個々の事業所は、前処理(又は自己処理)された処理水の1部を第1水域に流れ込む河川に放流し、残りを公共下

水道に流し込む。ただし原水の濃度が1,500 ppmであるグループ1, 3, 6については無処理の場合以外は廃水を4倍に希釈して処理するものとする。又、家庭廃水についてはその全量が公共下水道によって集められたとする。この公共下水道によって集められた廃水は、図4.19に示す2ヶ所の公共処理場のいずれか又は両方で処理されるものとする。ただし第1処理場での処理水は第1水域に、第2処理場での処理水は第2水域に放流されるものとし、公共処理場での処理レベルは80, 10, 4 ppmのいずれかである。

表 4.23 処理レベルの代替案

グループ番号 (n)	原水のCOD 濃度 (ppm)	処理レベルの代替案					廃水総量 Q (n)	平均排水量 q (n)	事業所総数 p (n)
		無処理	1	2	3	4			
1	1,500	1,500	350	80	10	4	30	10	3
2	350	350	80	10	4		710	10	71
3	1,500	1,500	350	80	10	4	50	50	1
4	350	350	80	10	4		200	50	4
5	350	350	80	10	4		2,000	500	4
6	1,500	1,500	350	80	10	4	500	500	1
7	20	20	10	4			3,540	10	354
8	20	20	10	4			1,350	50	27
9	20	20	10	4			1,000	500	2

表 4.24 処理体系

原水COD濃度 (ppm)	処理レベル COD (ppm)			
	350	80	10	4
1,500	BB	BB+AA+A ₁ +C ₁	BB+AA+A ₁ +C ₁ +F ₂ +D+E	BB+AA+A ₁ +C ₁ +F ₂ +D+E+1
350~100		AA+A ₁ +C ₁	AA+A ₁ +C ₁ +F ₂ +D+E	AA+A ₁ +C ₁ +F ₂ +D+E+1
20			AA+A ₁ +C ₁ +F ₂ +D+E	AA+A ₁ +C ₁ +F ₂ +D+E+1

出典：〔国立公害研究所特別研究成果報告 R-1〕

以上の条件のもとで処理対象地域における処理・排水システム最適設計の問題を次のように定式化する：

Minimize

$$\sum_{n=1}^9 p(n) f_n(q(n); d_n, e_n) + f_{10}(Q^H; Z, e_{10}) + f_{11}(e_{10}; d_{11}) + f_{12}(e_{10}; d_{12}) \quad (1)$$

subject to

$$\sum_{n=1}^9 d(1-e_n) Q(n) + d_{11}(1-e_{10})(Z+Q^H) \leq \bar{L}_1 \cdot 1,000 \quad (2)$$

$$d_{12} e_{10} (Z+Q^H) \leq \bar{L}_2 \cdot 1,000 \quad (3)$$

$$\sum_{n=1}^9 d_n e_n Q(n) + C^H Q^H \leq \gamma (Z + Q^H) \quad (4)$$

$$Z = \sum_{n=1}^9 e_n Q(n) \quad (5)$$

ただし変数の意味は以下の通りである。

d_n = n番目のグループの採用する処理レベル。

e_n = n番目のグループの処理水の公共下水道への送流率, $0 \leq e \leq 1$ 。

$Q(n)$ = グループ n の廃水総量。

$q(n)$ = グループ n に属する個々の事業所の平均排水量。

$p(n)$ = グループ n に属する事業所の総数。

Z = 事業所 (グループ 1 ~ 9) 排水のうち公共下水道によって送られる総流量。

Q^H = 家庭排水の総量で、以下の計算では 1人当り 300 ℓ/day として、17,510 ton/day とされる。

C^H = 家庭排水の平均 COD 濃度で、以下の計算では 100 ppm とされる。

γ = 公共処理場への流入濃度の上限で、以下の計算では、500 ppm とされる。

$f(\dots)$ = グループ n に属する個々の事業所に課せられる費用で、これはグループ n によって採用される処理レベルに依存する処理費用と、公共下水道に送流する場合に公共下水道の本管に接続するための管渠費用関数から成っている。

e_{10} = 公共下水道によって集められた公共下水のうち第 2 処理場において処理される比率、
 $0 \leq e_{10} \leq 1$ 。

d_{11} = 第 1 処理場における処理レベル。

d_{12} = 第 2 処理場における処理レベル。

$f_{10}(\dots)$ = 公共下水道のための本管の管渠費用。

$f_{11}(\dots)$ = 第 1 処理場における処理費用。

$f_{12}(\dots)$ = 第 2 処理場における処理費用。

実際の計算に移るまえに、費用関数についての説明をする。まず管渠費用関数についてであるが、円形管建設費用関数の現在価値として

$$\{i(i+1)^l / ((i+1)^l - 1)\} (10.69h + 0.3261) \exp\{(1.0145 - 0.0092h)d\} \text{ 千円/m}$$

ここで h = 土被り (m)

d = 管径 (m)

を採用する。これに

$$(d/2)^2 \pi X = q$$

X = 流速 (m/sec)

q = 流速 (m³/day)

を代入して流量の関数としたものを以下の計算で用いる。なお、パラメーターの値は、公共下水道の本管については、 $h = 4 \text{ m}$ 、 $X = 2 \text{ m/sec}$ 、 $i = 0.07$ 、 $1 = 30 \text{ 年}$ とおき、敷設距離は対象地域と第1公共処理場との平均距離を 10 km 、第1と第2公共処理場間は直接距離では 5 km であるがここでは余分にみて 10 km と仮定する。又、公共下水道の本管に接続する支管については $h = 2 \text{ m}$ 、 $i = 0.07$ 、 $1 = 30 \text{ 年}$ 、敷設距離は一律に 0.5 km と仮定する。

次に処理費用についてであるが、未処理排水のCOD濃度及び処理レベルに応じた処理体系が表2.4にまとめてある。ただし記号の意味は

BB = 4倍に稀釈

A1 = 初沈

C6 = 高速活性汚泥

C1 = 活性汚泥

F2 = 2段曝沈

D = ろ過

E = 活性炭吸着

I = イオン交換

である。このうちBBを除いた各処理体系に応じた処理費用の式は、米国環境保護庁(EPA)のテクニカルレポートEPA-430/9-75-002中のAppendix Bにあるものをそのまま用いる。このEPAの費用関数については、本報告書第3章に紹介されている。ただし、償却年数(20年)、割引率(7%)以外の労賃、地価、卸売物価指数等のパラメーターは米国の1973年における値を日本円に換算して用いたので、その時点が石油ショック以前であることをも考慮すると、我々の用いた費用関数は全体として幾分安く見積もられていると思われる。なお、BBの稀釈については、処理施設について新たに投じられた3倍分の水について 5 円/ton の費用が支払われるものとする。

費用関数の例示として図4.24に 350 ppm を 10 ppm におとす場合の費用関数が、図4.25にその流量あたりの費用(平均費用)がプロットされている。

実際の計算は問題(1)~(5)を動的計画(DP)問題に変換し、かつCoarse Grid Approach²⁾によって国立公害研究所のHITAC 8450を用いてなされた。ただし我々の問題では、公共処理場への流入濃度が 500 ppm を超えることはないということが事前にわかっていたので、濃度制約の式は実際の計算においては省かれている。図4.26は等年間総費用曲線(Isocost Curves)が $0 \leq \bar{L}_1 \leq 180 \text{ kg/day}$ 、 $0 \leq \bar{L}_2 \leq 110 \text{ kg/day}$ の関数としてプロットしたものである。ただし図中の等費用値は代表値であって実際は代表値±9(百万円/年)の範囲でばらついている。この等費用曲線の各点は L_1 、 L_2 が与えられた時の(すなわち所与の環境保全水準に対して)最適(年間総費用最小)処理・排出システムをあらわしている。表4.24は最適処理・排出システムのいくつかの例を示したものである。

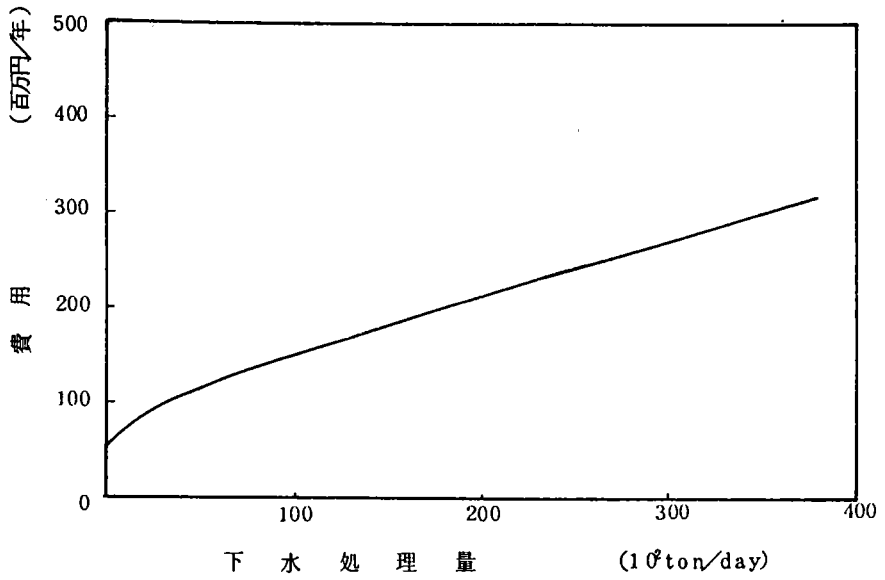


図 4.24 費用関係 (COD 350 → 10 ppm)

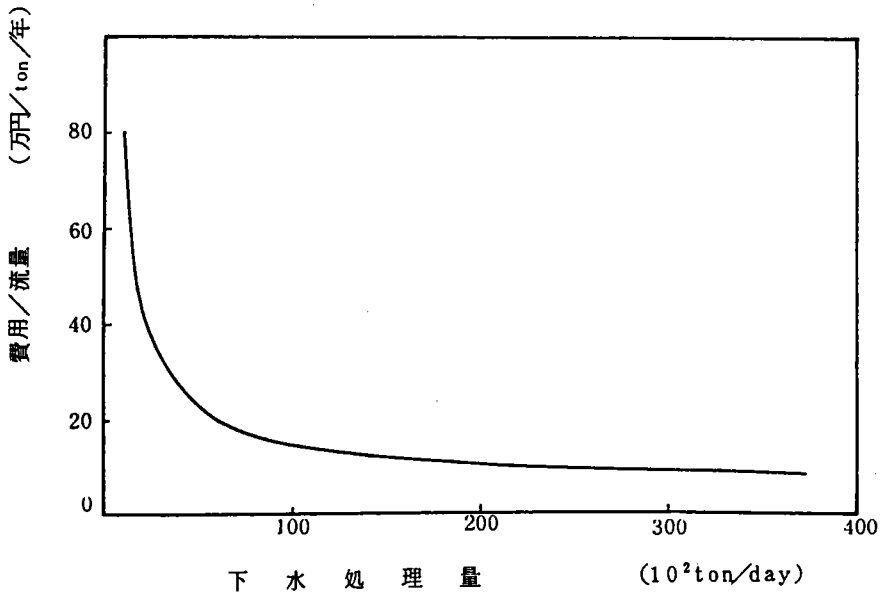


図 4.25 流量当たりの費用 (COD 350 → 10 ppm)

出典：〔国立公害研究所特別研究成果報告 R-1〕

図 4.26 等年間総費用曲線

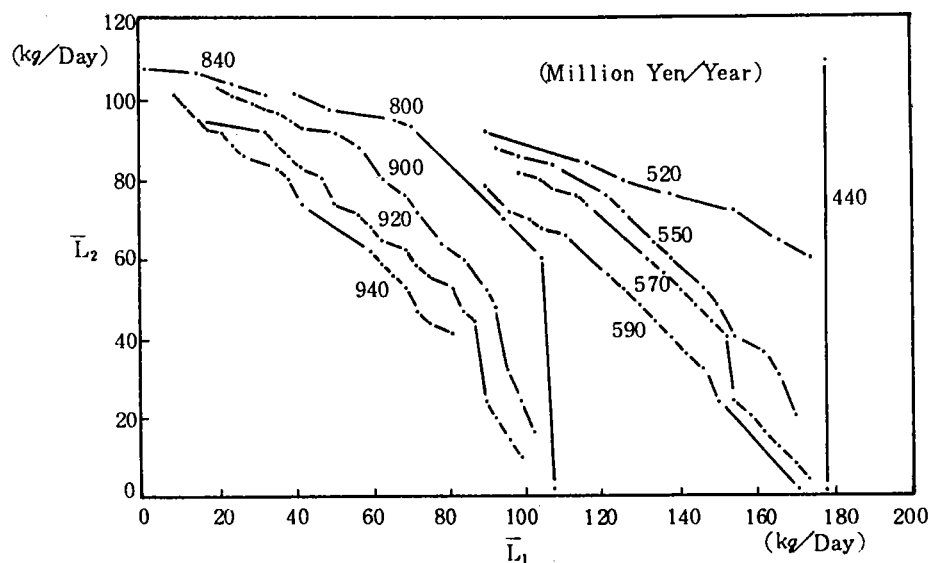


表 4.24 最適処理システムの例示

	例 1	例 2	例 3	例 3 A
\bar{L}_1 (kg/day)	126	102	72	84
\bar{L}_2 (kg/day)	72	70	72	60
総費用 (百万円/yr.)	545	586	906	907
(d_1, e_1)	(1500, 1)	(1500, 1)	(1500, 0.9)	(1500, 0.9)
(d_2, e_2)	(350, 1)	(350, 1)	(350, 0.98)	(350, 0.98)
(d_3, e_3)	(1500, 1)	(1500, 1)	(1500, 1)	(1500, 1)
(d_4, e_4)	(350, 1)	(350, 1)	(350, 0.93)	(350, 0.93)
(d_5, e_5)	(350, 1)	(350, 1)	(350, 1)	(350, 1)
(d_6, e_6)	(1500, 1)	(1500, 1)	(1500, 1)	(1500, 1)
(d_7, d_7)	(20, 0)	(20, 1)	(20, 1)	(20, 1)
(d_8, e_8)	(20, 0)	(20, 0.95)	(20, 0)	(20, 0)
(d_9, e_9)	(20, 0.36)	(20, 0.6)	(20, 0.96)	(20, 0.96)
(d_{11}, Z)	(4, 4281)	(4, 5400)	(4, 8562)	(4, 11416)
(d_{12}, W)	(4, 17124)	(4, 17500)	(4, 17124)	(4, 14270)

出典：〔 国立公害研究特別研究成果報告 R-1 〕

4.3.5 費用負担公平化モデル

所与の環境保全水準を実現するのに必要な総費用が前節において求められた。本節の目的は、この総費用の個々の発生源グループへの負担配分案を作成することである。

まず4.3.5.1節では、³⁾ joint Cost の配分に関して理論的に比較的よく整理されているシャドー・プライス概念を用いて発生源グループへの費用配分を試みる。ただし原問題である前節のDPモデルが非線型計画問題であるので、シャドー・プライスによる費用負担額の総和が必ずしも所与の総費用値に等しくなるとは限らない。

そこで、4.3.5.2節では、公平性指標、とくにPigou-Dalton条件を満足する指標を用いて、各発生源グループの費用負担能力およびシャドー・プライスによる費用負担額をも考慮して費用負担案を作成することとする。

4.3.5.1 シャドー・プライスによる費用負担案

シャドー・プライス概念を費用配分問題に適用するためには、制約付最適化問題⁴⁾に関連して用いられるラグランジュ乗数の意味が明らかにされていなければならない。そこで本節ではまず3-4節で定式化された廃水の処理・排出に関する最適問題を鞍点問題に変換して、そこに用いられるラグランジュ乗数のもつ経済的意味を明らかにする。次に、この経済的にみて意味のあるラグランジュ乗数をシャドー・プライスと定義してこれにもとづく費用負担案を作成することにする。

4.3.4節の非線型計画問題(1)~(5)を簡単化して書き直したのが次式である：

Minimize

$$(1) \quad f(z_n, d_n, Z_N, d_N, Z_M, d_M)$$

subject to

$$(2) \quad \sum_{n=1}^9 \frac{d_n}{1000} (\bar{Q}_n - z_n) + d_N \leq L_1$$

$$(3) \quad d_M \leq L_2$$

$$(4) \quad z_n \leq Q_n \quad n = 1 \dots 9$$

$$(5) \quad \underline{D}_n \leq d_n \leq \bar{D}_n \quad n = 1 \dots 9$$

$$(6) \quad d_V \leq L_1$$

$$(7) \quad Z_N + Z_M - \sum_{n=1}^9 z_n - Q^H = 0$$

$$(8) \quad z_n, Z_N, d_N, Z_M, d_M \geq 0 \quad n = 1 \dots 9$$

ただし、

$$f = \sum_n P(n) \{ TC_n(d_n, \bar{Q}_n) + PC_n(z_n) \} \\ + f_N(Z_N, d_N) + f_M(d_M, Z_M) \\ + g(Z_N, Z_M)$$

ここで3、4節で用いられた変数と異なるものは次の通りである：

Z_N = 第1公共処理場における処理流量

Z_M = 第2公共処理場における処理流量

d_N = 第1公共処理場から排出されるCODの量

d_M = 第2公共処理場から排出されるCODの量

Q_n = グループnの廃水総量

\bar{D}_n = グループnの採用しうる処理レベルの上限

\underline{D}_n = グループnの採用しうる処理レベルの下限

$TC_n(\)$ = グループnの処理に関する費用関数

$PC_n(\)$ = グループnの排水の公共下水道本管への接続に関する管渠費用関数

$f_N(\)$ = 第1公共処理場での処理費用関数

$f_M(\)$ = 第2公共処理場での処理費用関数

$g(\)$ = 公共下水道本管に関する管渠費用関数

非線型計画問題(1)~(8)を鞍点問題に変換するために次式で、ラグランジュ関数を定義する：

$$(9) \quad L = f(z_n, d_n, Z_n, d_N, Z_M, d_M) \\ + \alpha_N \left(\sum_n \frac{d_n}{1000} (Q_n - z_n) + d_N - L_1 \right) \\ + \alpha_M (d_M - L_2) \\ + \sum_n \gamma_n (z_n - Q_n) \\ + \sum_n \delta_n (d_n - \bar{D}_n) \\ + \sum_n \theta_n (-d_n + \underline{D}_n) \\ + \delta_n (d_N - L_1) \\ + \beta (Z_N + Z_M - \sum_n z_n - Q^H) \\ + \sum_n \mu_n (-z_n)$$

(9)式のラグランジュ関数が鞍点をもつための必要条件を与えるのが、クーン・タッカー条件である。(9)式

から導き出されるクーン・タッカー条件のうち、主要なものを次式に示す。

$$(10) \quad \begin{cases} \frac{\partial L}{\partial z_n} = \frac{\partial f}{\partial z_n} + \alpha_n \left(-\frac{d_n}{1000} \right) + \gamma_n - \beta - \mu_n = 0 \\ \mu_n (-z_n) = 0 \end{cases} \quad n=1 \cdots 9$$

$$(11) \quad \begin{cases} \frac{\partial L}{\partial Z} = \frac{\partial f}{\partial Z} + \beta \geq 0 \\ Z_N \frac{\partial L}{\partial Z_N} = 0 \end{cases}$$

$$(12) \quad \begin{cases} \frac{\partial L}{\partial Z_M} = \frac{\partial f}{\partial Z_M} + \beta \geq 0 \\ Z_M \frac{\partial L}{\partial Z_M} = 0 \end{cases}$$

$$(13) \quad \frac{\partial L}{\partial d_n} = \frac{\partial f}{\partial d_n} + \alpha_N \frac{(Q_n - z_n)}{1000} + \delta_n - \theta_n = 0 \quad n=1 \cdots 9$$

$$(14) \begin{cases} \frac{\partial L}{\partial dN} = \frac{\partial f}{\partial dN} + \alpha N + \delta N \geq 0 \\ dN \frac{\partial L}{\partial dN} = 0 \end{cases}$$

$$(15) \begin{cases} \frac{\partial L}{\partial dM} = \frac{\partial f}{\partial dM} + \alpha M \geq 0 \\ dM \frac{\partial L}{\partial dM} = 0 \end{cases}$$

クーン・タッカー条件の有用性は少くとも2つある。第1に、4.3.4節の実際計算において比較的粗い格子点上で計算されたDP解の微調整が可能になる。第2に、この条件を解釈することによってラグランジュ乗数の経済的意味が明らかになり、それゆえシャドー・プライスの算定が不十分ながら可能になるということである。

まず第1の有用性をみるために、4.3.4節で得られたDP解をクーン・タッカー条件式に適用してみる。表4.2.4中の例3Aに対応するDP解の内容及び、それを(10)～(15)式にあてはめて計算されたラグランジュ乗数値を表4.2.6に示す。表中、“×”印の判定をうけているラグランジュ乗数は、対応する変数がクーン・タッカー条件を満たしていないことを示している。例えば、発生源グループ1($n=1$)の公共処理場への送流量(z_1)は27 t/日で、 $0 \leq z_1 \leq 30$ という制約内にある。それゆえ、 z_1 の上限制約に対応するラグランジュ乗数 r_1 はゼロでなければならない。同様にして r_2 、 r_4 も計算されたDP解が最適解であるためには、本来、ゼロでなければならない。他方、発生源グループ7の公共処理場への送流量は上限値をとっているので、 r_7 は負ではなく正になっていなければならない。

表 4.2.6 DP解のクーン・タッカー条件式への適用(例3A)

最適費用(百万円/年)	907	β	-0.0096317	error	3.96%		
L_1 (Kg/日)	84	d_N (Kg/日)	45.704	Z_N (t/日)	11,416 (ppm)		
L_2 (Kg/日)	60	d_M (Kg/日)	57.120	Z_M (t/日)	14,270		
n	d_n	z_n (t/日)	α_N (百万円/Kg)	α_M (百万円/Kg)	r_n (百万円/b)	μ_n	判定
1	1,500	27			-0.7162316	0	×
2	350	700			-0.1594782	0	×
3	1,500	50			0.7164357	0	○
4	350	186			-0.1596611	0	×
5	350	2,000			0.1597695	0	○
6	1,500	500			0.7165386	0	○
7	20	3,540			-0.0002878	0	×
8	20	0			0	0.0054798	○
9	20	960	0.484147		0	0	○
10	4	11,416		0.557407			

そこで、これらの点に注意して、格子点を狭めて例3Aに対応するDP問題を再計算して得られた結果が表4.27である。ラグランジュ乗数 r_n 、 μ_n はいずれもクーン・タッカー条件 ($r_n, \mu_n \geq 0$) を満足している。又、公共処理場への流入量保存式(7)に対応するラグランジュ乗数 β は、(11)、(12)式より(例3Aでは)第1公共処理場の限界費用 ($\partial f / \partial Z_N$) と第2公共処理場の限界費用 ($\partial f / \partial Z_M$) の両方に等しくならねばならないが、これら2つの限界費用の誤差 (error) がわずかながら減少している。ただし、デジタル計算機を使用して計算する関係上この誤差をゼロにすることは出来ない。

表 4.27 再計算されたDP解のクーン・タッカー条件式への適用(例3A)

最適費用	898	β	-0.0096918	error	3.34%		
L_1	79.74	d_N	45.704	Z_N	11.416(4ppm)		
L_2	55.08	d_M	55.120	Z_M	13.770		
n	d_n	z_n	α_N	α_M	r_n	μ_n	判定
1	1,500	30			0.7436485	0	○
2	350	710			0.1658276	0	○
3	1,500	50			0.7438344	0	○
4	350	200			0.1660135	0	○
5	350	2,000			0.1661164	0	○
6	1,500	500			0.7439373	0	○
7	20	3,186	0.502453		0	0	○
8	20	0			0	0.0051738	○
9	20	1,000			0.000307	0	○
10	4	13,770		0.560898			

さらに最適解の値も907から898と改良されている。このように、クーン・タッカー条件とDPシミュレーションを併用すれば、計算の精度が向上するというのである。

次に、表27の解が十分条件を満たしているかどうかをチェックしてみる。Luenbeiger (1973) より表4.27の解が十分条件を満たすためには、局所的最適点 (z_n^* 、 d_n^* 、 Z_N^* 、 d_N^* 、 Z_M^* 、 d_M^*) において、等式で成り立っている制約式からなる部分空間の超平面上で、次式が半正定 (Positive semidefinite) にならなければならない。

$$(16) \quad L = F + \alpha_N G$$

ここで、

$$F = \begin{array}{cccc} \frac{\partial^2 f}{\partial \beta_1^2} & & & \\ \frac{\partial^2 f}{\partial \beta_1^2} & & & \\ & \frac{\partial^2 f}{\partial \beta_1^2} & & \\ & & \frac{\partial^2 f}{\partial d_1^2} & \\ & & & \frac{\partial^2 f}{\partial d_1^2} \\ & & & & \frac{\partial^2 f}{\partial Z_N^2} & \frac{\partial^2 f}{\partial Z_N \partial d_N} & \frac{\partial^2 f}{\partial Z_N \partial Z_M} & \frac{\partial^2 f}{\partial Z_N \partial d_M} \\ & & & & \frac{\partial^2 f}{\partial Z_M \partial Z_N} & \frac{\partial^2 f}{\partial d_N^2} & \frac{\partial^2 f}{\partial d_N \partial Z_M} & \frac{\partial^2 f}{\partial d_N \partial Z_M} \\ & & & & \frac{\partial^2 f}{\partial Z_M \partial Z_N} & \frac{\partial^2 f}{\partial Z_M \partial d_N} & \frac{\partial^2 f}{\partial Z_M^2} & \frac{\partial^2 f}{\partial Z_M \partial d_M} \\ & & & & \frac{\partial^2 f}{\partial d_M \partial Z_N} & \frac{\partial^2 f}{\partial d_M \partial d_N} & \frac{\partial^2 f}{\partial Z_M \partial d_M} & \frac{\partial^2 f}{\alpha d M^2} \end{array}$$

$$G = \begin{array}{cccc} & & \frac{\partial g_1}{\partial \beta_1 \partial d_1} & \\ & & & \frac{\partial g_1}{\partial \beta_1 \partial d_1} \\ & & & & \frac{\partial g_1}{\partial d_1 \partial \beta_1} & \\ & & & & & \frac{\partial g_1}{\partial d_1 \partial \beta_1} \\ & & & & & & \frac{\partial g_1}{\partial d_1 \partial \beta_1} & \end{array}$$

$$(17) \quad f(\beta_n, d_n, Z_N, d_N, Z_M, d_M) = \sum_n P(n) \{ TC_n(d_n, \bar{Q}_n) + PC_n(\beta_n) \} + f_N(Z_N, d_N) + f_M(Z_M, d_M) + g(Z_N, Z_M)$$

$$(18) \quad g_1(x) = \sum_n d_n \left(\frac{\bar{Q}_n - \beta_n}{1.000} \right) + d_N - A_N$$

である。(17)、(18)を考慮すると、(16)式は、

$$(19) \quad L = \begin{array}{cccc} \frac{\partial^2 f}{\partial \beta_1^2} & \frac{\alpha_N}{1.000} & & \\ \frac{\partial^2 f}{\partial \beta_1^2} & \frac{\alpha_N}{1.000} & & \\ & \frac{\partial^2 f}{\partial \beta_1^2} & \frac{\alpha_N}{1.000} & \\ & \frac{\alpha_N}{1.000} & \frac{\partial^2 f}{\partial d_1^2} & \\ & \frac{\alpha_N}{1.000} & \frac{\partial^2 f}{\partial d_1^2} & \\ & & & \frac{\partial^2 f}{\partial Z_N^2} & \frac{\partial^2 f}{\partial Z_N \partial d_N} & \frac{\partial^2 f}{\partial Z_N \partial Z_M} & 0 \\ & & & \frac{\partial^2 f}{\partial d_N \partial Z_N} & \frac{\partial^2 f}{\partial d_N^2} & 0 & 0 \\ & & & \frac{\partial^2 f}{\partial Z_M \partial Z_N} & 0 & \frac{\partial^2 f}{\partial Z_M^2} & \frac{\partial^2 f}{\partial Z_M \partial d_M} \\ & & & 0 & 0 & \frac{\partial^2 f}{\partial Z_M \partial d_M} & \frac{\partial^2 f}{\partial d_M^2} \end{array}$$

となる。さて、表 2 7 の例 3 A において等号で成り立っている制約式は以下の 2 0 式である。

$$\sum_n d_n \left(\frac{\bar{Q}_n - \bar{z}_n}{1,000} \right) + d_N = A_N$$

$$d_M = A_M$$

$$d_1 = \bar{D}_1$$

$$d_9 = \bar{D}_9$$

$$\bar{z}_1 = \bar{Q}_1$$

$$d_2 = \bar{D}_2$$

$$Z_N + Z_M - \sum_n \bar{z}_n - Q_H = 0$$

$$\bar{z}_2 = \bar{Q}_2$$

$$d_3 = \bar{D}_3$$

$$-\bar{z}_8 = 0$$

$$\bar{z}_3 = \bar{Q}_3$$

$$d_4 = \bar{D}_4$$

$$\bar{z}_4 = \bar{Q}_4$$

$$d_5 = \bar{D}_5$$

$$\bar{z}_5 = \bar{Q}_5$$

$$d_6 = \bar{D}_6$$

$$\bar{z}_6 = \bar{Q}_6$$

$$d_7 = \bar{D}_7$$

$$\bar{z}_9 = \bar{Q}_9$$

$$d_8 = \bar{D}_8$$

これら 2 0 式の等式からなる部分空間の超平面は

$$\nabla g(\bar{z}_1, \dots, \bar{z}_9, d_1, \dots, d_9, Z_N, d_N, Z_M, d_M) \begin{pmatrix} y_1 \\ \vdots \\ y_{20} \end{pmatrix} = 0$$

であらわされる。2 0 式の等式を上式に代入して計算すると、超平面上の点 $y = (y_1, \dots, y_{20})$ の集合は、

$$(20) \quad M' = \{ y : -0.02 y_{19} - 0.02 y_{21} + y_{20} = 0 \}$$

であらわされる。ここで、 $y_{19} = Z_N$ 、 $y_{20} = d_N$ 、 $y_{21} = Z_M$ である。表 4.2 7 の解が最適解となるための十分条件は (20) 式であらわされる超平面上で (19) 式の行列が半正定値となることである。(20) 式において、互いに直交する 2 つのベクトルを

$$e_1 = \frac{1}{1.0004} (1 \quad 0.02 \quad 0)$$

$$e_2 = \frac{1}{\sqrt{2}} (1 \quad 0 \quad -1)$$

として $E = (e_1 \quad e_2)$ とすると、十分条件は

$$(21) \quad E' \bar{L} E = E' \begin{pmatrix} \frac{\partial^2 f}{\partial Z_N^2} & \frac{\partial^2 f}{\partial Z_N \partial d_N} & \frac{\partial^2 f}{\partial Z_N \partial Z_M} \\ \frac{\partial^2 f}{\partial d_N \partial Z_N} & \frac{\partial^2 f}{\partial d_N^2} & \frac{\partial^2 f}{\partial d_N \partial Z_M} \\ \frac{\partial^2 f}{\partial Z_M \partial Z_N} & \frac{\partial^2 f}{\partial Z_M \partial d_N} & \frac{\partial^2 f}{\partial Z_M^2} \end{pmatrix} E$$

が半正定値となることである。(21) 式を計算すると

$$\begin{pmatrix} \frac{1}{1.0004} & 0.01999 & 0 \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & 0 & -\frac{1}{\sqrt{2}} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0.6 \times 10^{-6} & -8.9 \times 10^{-6} & 0 \\ -8.9 \times 10^{-6} & \frac{\partial^2 f}{\partial dN^2} & 0 \\ 0 & 0 & 5 \times 10^{-7} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \frac{1}{1.0004} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{0.02}{1.0004} & 0 \\ 0 & -\frac{1}{\sqrt{2}} \end{pmatrix}$$

$$= \begin{pmatrix} 0.24382 \times 10^{-6} & 0.424 \times 10^{-6} \\ + 0.03996 \times 10^{-6} \frac{\partial^2 f}{\partial dN^2} & \\ 0.29827 \times 10^{-6} & 0.549899 \times 10^{-6} \end{pmatrix}$$

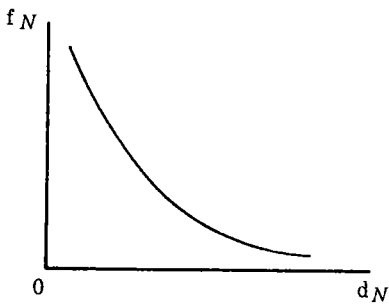
となる。それゆえ

$$\frac{\partial^2 f}{\partial dN^2} \geq -0.345906$$

ならば、十分条件は満たされている。他方、(17)より

$$\frac{\partial^2 f}{\partial dN^2} = \frac{\partial^2 f_N}{\partial dN^2}$$

となる。一般に、下水処理場の処理費用は処理場から排出されるCODの量(=d_N)が増えるにつれて、左図のように減少する($\frac{\partial^2 f_N}{\partial dN^2} \geq 0$)とみてさしつかえないので、表2.7の解は十分条件を満たしていると結論できる。



クーン・タッカー条件の第2の有用性は、ラグランジュ乗数の経済的意味付けが可能になるということである。まず、COD 制約に対するラグランジュ乗数 α_N 、 α_M についてであるが、これらはそれぞれ第1水域、第2水域の総量が1単位分余分にあれば節約出来たであろう限界費用に対応している。次に各発生源グループの公共処理場への送流の上限制約に対するラグランジュ乗数の意味を調べてみる。今、最適解において発生源グループnの送流量 z_n が上限値 Q_n をとっていたと仮定してみる。さらにこの最適解 z_n^* から Δz だけとって、それを直接放流に回したとしてみる。すると最適解においては、 $r_n = 0$ 、 $r_n \geq 0$ であるから(10)式より

$$r_n \Delta z = \left(\frac{dn}{1,000} \Delta z \right) \alpha_N - \left(\frac{\partial f}{\partial z_n} - \beta \right) \Delta z \geq 0$$

が得られる。右辺第1項は、 Δz だけ直接放流に回したために消費せねばならぬ第1水域の総量に対して支払わねばならぬ費用のことである。第2項は Δz だけ直接放流に回したために節約できた公共処理場関連費用である。しかも右辺全体が非負であるということは、限界1単位流量(Δz)を公共処理場へ送流したために r_n だけ節約出来たということである。公共処理場における処理量保存式(7)に対するラグランジュ乗数($-\beta$)は、公共処理場における限界費用のことである。

この他のラグランジュ乗数 δ_N 、 δ_n 、 θ_n はいずれも処理レベル制約に関するものであるが、目的関数が処理レベルについて離散的に与えられている(微分可能ではない)ため、解釈はともあれ、これらを

定量化することはむずかしい。それゆえ、以下ではCOD総量、流量に関するラグランジュ乗数 α_N, α_M, r_n についてのみ、それぞれの経済学的意味を明らかにしてみたい。デラウェア・モデルと同様、霞ヶ浦モデルにおいても、ある公的機関が環境（水環境）に対する所有権を有していると仮定されている。しかもこの公的機関は環境保全水準によって規定される環境サービス量（4.2.1.1節参照）を最小の費用で生産したいという欲求をもっている。ただしこの公的機関は、環境サービスの生産に関して何ら積極的なこと（浄化対策等）は出来ず、自然の恵みによるところの大きい環境サービスの生産に及ぼす悪影響の除去（廃物の処理）といった消極的な施策のみがとれるとする。4.2.8節で計算された総費用とは、この消極的な施策にもとづく最小費用なのである。さて、この総費用によって表される最適廃水処理、排出システムを実施する方法には2通りある：

- 1) 直接規制による方法
- 2) 間接規制による方法

公的機関が環境に対する所有権を保持しているのであるから、いずれの方法も採用可能である。第1の方法は最適システムに指定された通りに廃物の処理、排出をおこなうよう各発生源に強制的に指示する方法である。この方法の弱点は費用負担に不公平の生じる可能性があることである。

第2の方法は、価格メカニズムによって、いかえれば、強制的にではなく、経済的インセンティブにもとづいて最適解を実現するというやり方である。具体的には、公的機関が、

- a) COD総量
- b) 公共処理場への全量受け入れ保証書
- c) 公共処理場での処理保証書

を各発生源グループに売却するのである。ただし処理、排水に関する代替案との関係で、a、b、cは発生源グループ1～9に、cは家庭全体に売却される。a、b、cそれぞれの売却価格を与えるのが、先程説明されたラグランジュ乗数値なのである。すなわち第1水域のCOD総量には α_N を、第2水域のには α_M という価格をつける。発生源グループnに売却される公共処理場への送流権利証には r_n を、家庭全体の廃水を処理するという保証書には $(-\beta)$ という価格をつけるという具合である。重要なことは、このような価格をつければ最適システムに指示された内容が実現されるということをクーン・タッカー条件式（及び十分条件）が保証しているということである。処理レベル制約に対する価格が与えられていないことは、最適処理、排水システムにおいて自己処理の生ずるケースがきわめて稀であることを考えると、シャドープライスによる負担案作成にとってそれほど致命的なことではないと思われる。

a、b、cそれぞれに対する売却価格をシャドープライスと定義すれば、各発生源グループへの費用負担案が求まる（図4.27参照）。製造業グループが廃水の排出に関してとりうる代替案は2つである。それゆえまず直接放流分について、消費する第1水域の総量 $(Q_i - z_i)d_i/1,000$ に対するシャドープリスを支払う。公共処理場への送流については、もしも全量 $(z_i = Q_i)$ 送流するならば、全量受け入れ保証書のシャドープライス $Q_i \cdot \gamma_i$ 及び処理保証金 $(-\beta)Q_i$ を支払い、 $z_i < Q_i$ ならば処理保証金のみを支払うものとする。

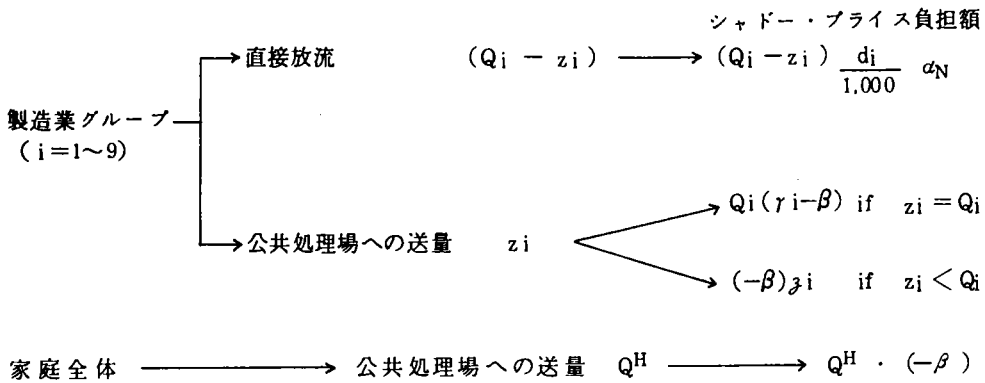


図 4.27 シャドール・プライス負担案の概要

他方、家庭全体については公共処理場での処理保証書のシャドール・プライス分 $Q^H \cdot (-\beta)$ だけを負担する。

表 4.27 の例 3 A についてシャドール・プライス負担案を作成したものが、表 4.28 である。

表 4.28 例 3 A のシャドール・プライスによる費用負担案

発生源グループ番号 n	費用負担額(百万円/年)	発生源グループ番号 n	費用負担額(百万円/年)
1	2 2.6 0 0	6	3 7 6.8 1 4
2	1 2 4.6 1 8	7	3 4.4 3 5
3	3 7.6 7 6	8	1 3.5 6 6
4	3 5.1 4 1	9	9.9 9 8
5	3 5 1.6 1 6	家 庭	1 6 9.7 0 3

総 計 1,176.167 > 898 = 必要総費用

4.3.5.2 公平化指標にもとづく費用負担案

費用の配分には大別して次の2つの観点によるものが考えられる：

- 1) 発生源の廃水の技術的特性
- 2) 発生源の経済的特性

第1の方法は、廃水の水質、流量の関数として費用負担額を決めようとするもので、これには前節で計算されたシャドール・プライスによる費用負担案も、それが廃水処理の技術的構造に基礎をおくがゆえに、含まれると見做してよい。第2の方法は、発生源である事業所等の経済的特性(負担能力等)に着目するやり方である。

表 4.29 の3列目は、水質汚染防止施設の平均ストック額(事業所当り)を産業別に示したものである。ストック額の3%(この値は任意)をもって水質関連公害防止費用とし、以下では、この値を費用負担能

表 4.29 事業所当たり費用負担能力の推定値（産業別）

中分類番号	産業分類	事業所当たり水質汚染防止施設 平均ストック額（50年価格）	事業所当たり推定負担能力 （3列目のデータの3%）
18, 19	食品	104.237百万円	3.13
20, 21	繊維・衣服	74.54	2.24
22, 23	木材・家具	2.84	0.09
24	パルプ・紙	1,600.701	48.02
25	出版・印刷	26.216	0.79
26	化学工業	282.506	8.48
27	石油・石炭	819.790	24.59
29	なめし皮・毛皮	1.181	0.04
30	窯業・土石	19.074	0.57
31	鉄鋼	558.854	16.77
32	非鉄金属	176.109	5.28
33	金属製品	23.188	0.70
34	一般機械器具	49.119	1.47
35	電気機械器具	153.834	4.62
36	輸送機械器具	121.186	3.64
37	精密機械器具	57.403	1.72
39	その他	86.985	2.61

出典：表中3列目のデータについては、三菱総合研究所「地域別公害防止施設ストック額に関する調査」
S52年3月、P17、150によっている。

力の1つの指標として用いることにする。負担能力に関するデータは産業別で与えられている。それゆえ前節のシャドー・プライス負担案との関係をつけるためにも、発生源グループを産業別に分類しなおさなければならない。表4.30に総数467の事業所が、産業別、発生源グループ別に対応づけて示してある。この表を用いて、表4.28のシャドー・プライス負担案を産業別に分類し直したのが表4.31である。ただし新分類によるグループを経済グループとよび、番号 $m=1\sim 20$ でもってあらわすことにする。

本節で提案する費用負担公平化案は、各経済グループの負担能力（ C_m ）を制約として、シャドー・プライスによる負担額比率（ P_m ）及び実際負担額比率（ Y_m ）の関数として定まる不公平性尺度 f を最小にするように、所与の総費用を各経済グループに配分しようとするものである。次式はこれを定式化したものである。

Minimize

$$(1) f(y_1, \dots, y_M; P_1, \dots, P_M)$$

subject to

$$(2) y_m \leq C_m / C \quad m = 1, \dots, M$$

表 4.30 産業別・発生源グループ別分類

中分類 番号	産業分類	発 生 源 グ ル ー プ								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
18.19	食 品	3	3	1	3	3		4	1	
20	織 維		4			1		17		
21	衣 服							114	1	
22	木 材							50	1	
23	家 具							47		
24	パ ル プ、紙		3		3			1		
25	出 版・印 刷							9		
26	化 学 工 業		1							
27	石 油・石 炭						1			
28	ゴ ム									
29	なめし皮・毛皮							6		
30	窯 業・土 石							27	7	1
31	鉄 鋼									1
32	非 鉄 金 属								1	
33	金 属 製 品							24	3	
34	一般機械器具							14	3	
35	電気機械器具							5	2	
36	輸送機械器具							2	1	
37	精密機械器具							4	2	
39	そ の 他							30	4	

出典：国立公害研究所特別研究成果報告 R-1

$$(3) \quad \sum_{m=1}^M \gamma_m = 1$$

$$(4) \quad \gamma_m > 0 \quad m = 1 \dots M$$

where

$$\sum_{m=1}^M P_m = 1$$

ここで

$$P_m = X_m / \sum_{m=1}^M X_m$$

=第m経済グループの負担するシャドー・プライス負担額の比率で、この値は所与である。

C = 所与の総費用

表 4.31 例 3 A のシャドー・プライス負担案 (経済グループ別)

経済グループ 番号 (m)	業種番号	事業所数 or 人口	シャドー・プライスによる 負担額 (X _m)	負担能力 (X _m)
1	18, 19	78	461.797 百万円	243.91 百万円
2	20, 21	137	108.133	306.36
3	22, 23	98	9.911	8.35
4	24	5	14.147	240.11
5	25	9	0.873	7.08
6	26	2	378.569	16.95
7	27	1	0.502	24.59
8	29	6	0.582	0.21
9	30	35	11.132	20.03
10	31	1	4.999	16.77
11	32	1	0.502	5.28
12	33	27	3.834	18.78
13	34	17	2.864	25.08
14	35	7	1.489	32.31
15	36	3	0.696	10.91
16	37	6	1.392	10.33
17	39	34	4.918	88.72
18	家庭全体	58,367人	169.703	383.5
		総 計	1,176.1	

$y_m =$ 第 m 経済グループの負担する実際額を総費用 (C) で割って得られる比率である。

不公平性尺度の備えているべき最小限度の特質 (minimal property) として、Pigou-Dalton 条件⁵⁾というのがある。これは所得分布の不公平性度合いを測る尺度に関して Pigou 及び Dalton によって提示された条件で、「他の条件は一定にして、富者から貧者への所得移転が常に不公平の度合いを減少する」ような性質をもつというものである。我々の例では、シャドー・プライス負担額比当たり実際負担比率の高い (すなわち y_m / P_m の値が大きい) 経済グループから低い経済グループへの負担配分移転が常に不公平性尺度を改良するという性質をもつものが、Pigou-Dalton 条件を満足する不公平性尺度ということになる。この条件を満たすものとして最もよく使われるのに

$$(5) \text{ 分散} = \sum_m P_m \left(\frac{y_m}{P_m} - 1 \right)^2$$

$$(6) \text{ Theil の尺度} = \sum_m y_m \log \left(\frac{y_m}{P_m} \right)$$

$$(7) \text{ Gini 係数} = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M |P_i y_j - P_j y_i|}{2}$$

がある。(Atkinson)。Pigou-Dalton条件を満足する不公平性尺度のもとでの問題(1)~(4)の一般解をみるために、まず(5)を問題(1)~(4)に適用して特殊解を導出する。ただし、負担能力の総和は必要総費用よりも大と仮定しておく。この仮定が成立しないときは、公的補助の問題が生ずるが、ここではその問題は扱わない。また、解折手法を用いるためにも(4)式は $y_i \geq 0$ で置きかえる。

不公平性尺度である“分散”は厳密に凸関数であるから、ラグランジュ関数Lを

$$L = \sum_m P_m \left(\frac{y_m}{P_m} - 1 \right)^2 + \mu \left(\sum_m y_m - 1 \right) + \sum_m r_m \left(y_m - \frac{C_m}{C} \right)$$

と定義すると、次式で与えられるクーン・タッカー条件式が最適解のための必要・十分条件を与えている。

$$(8) \quad \begin{cases} r_i = r_j = 0 \\ \mu = -2 \left(\frac{y_i}{P_i} - 1 \right) = -2 \left(\frac{y_j}{P_j} - 1 \right) \\ \text{for } i, j \in I = \left\{ m \mid y_m < \frac{C_m}{C} \right\} \end{cases}$$

$$(9) \quad r_l = -\mu - 2 \left(\frac{y_l}{P_l} - 1 \right) \\ \text{for } l \in \bar{I} = \left\{ m \mid y_m = \frac{C_m}{C} \right\}$$

ここで、仮定より負担能力の総和は必要額を上回るのであるから、全ての経済グループの実際負担額 $C \cdot y_m$ がその上限値 C_m をとることはない。それゆえ最適解においては(8)、(9)式とも成立している。又、 μ は等号制約式に対するラグランジュ乗数であるから、その符号は不定である。今、仮に正であったとしてみる。すると(5)より明らかなように、不公平性尺度“分散”は、各経済グループがシャドー・プライス負担比率に等しい費用負担をした場合、すなわち $y_i / P_i = 1$ の時に、最小値ゼロをとる。それゆえ $\mu > 0$ は(8)より

$$(10) \quad \frac{y_i}{P_i} < 1 \quad \text{for } i \in I$$

を意味する。ところが $\sum_i y_i < \sum_i P_i$ であるから(10)より少くとも1つの $l \in \bar{I}$ については

$$(11) \quad \frac{y_l}{P_l} > 1 \quad \text{for } l \in \bar{I}$$

が成立していなければならない。(9)、(11)及び $\mu > 0$ より、このことは $r_l < 0$ を意味し、不等号制約式に対するラグランジュ乗数 $r_l \geq 0$ に矛盾する。それゆえ

$$(12) \quad \mu \leq 0$$

でなければならない。(12)と(8)より

$$(13) \quad \frac{y_i}{P_i} = \frac{y_j}{P_j} \geq 1 \quad \text{for } i, j \in I$$

という関係式が成立していなければならない。すなわちIグループに属する経済グループは y_i / P_i に関して順序付けが不可能で、各経済グループが平等に扱われるということである。他方、 \bar{I} グループに属す

る経済グループ $l \in \bar{I}$ については、(9)より y_l / P_l に関して順序付けが可能である。

以上の準備のもとで、不公平性尺度の“分散”を最小にするような費用負担案の作成手順を示すと次のようになる：

- 手順1 各経済グループ m について $y_m / P_m = 1$ となる場合の負担額 $y_m \cdot C$ を計算せよ
 手順2 $y_i < C_i / C$ なる経済グループ i の集合を I グループとよぶ
 手順3 $y_l \geq C_l / C$ なる経済グループ l の集合を \bar{I} グループとよぶ
 手順4 I グループ内の地域 l について $y_l = C_l / C$ となる時の y_l / P_l を計算し、これを小さいもの

から大きい順に並べかえる。すると

$$\frac{y_{l_1}}{P_{l_1}} \leq \frac{y_{l_2}}{P_{l_2}} \leq \dots \leq \frac{y_{l_m}}{P_{l_m}} \quad \text{for } l_1, l_2, \dots, l_m \in \bar{I}$$

という関係式が成り立っている。

- 手順5 I グループにいる経済グループ i について一律に

$$\frac{y_i}{P_i} = \left(1 - \frac{\sum_{l \in \bar{I}} y_l}{C}\right) / \left(1 - \frac{\sum_{l \in \bar{I}} P_l}{C}\right) \quad \text{for } i \in I$$

を満足するように負担額 $y_i \cdot C$ を決める

- 手順6 手順5において $y_i \geq C_i / C$ なる経済グループ i が出てきたら、それを \bar{I} グループにとり入れて、手順に戻る。

この手順を、図4.27のローレンツ曲線を用いて説明してみる。横軸には各経済グループのシャドー・プライス負担額比率が、縦軸には各経済グループの実際負担額比率がとってある。対角線は不平等ゼロ（完全平等）の場合のローレンツ曲線を示し、これは各経済グループが $y_m / P_m = 1$ となるように費用を負担した場合に対応している。不平等の場合のローレンツ曲線 \widehat{OACG} を説明するために、今、かりに手順3において \bar{I} グループに入る経済グループをグループ1、グループ2とし、それらが手順4より $y_1 / P_1 < y_2 / P_2$ なる関係にあったとする。さて、ローレンツ曲線とは実際負担比率／シャドー・プライス負担額比率（ y_m / P_m ）の小さいものから順々に、 P_m を横軸、 y_m を縦軸とする平面にプロットしたものである。それゆえ、図4.28の点Aは、 \bar{I} グループにおいて y_m / P_m の一番小さい経済グループ1に対応している。OB はグループ1のシャドー・プライス負担比率 P_1 に等しい長さを持ち、AB はグループ1の実際負担比率 y_1 に等しくなっている。同様にして、経済グループ2のローレンツ曲線に占める点として点Cが定められる。さて残りの経済グループは I グループにあり、手順5の示すところは、これらの経済グループについてはそれぞれの実際負担額比率／シャドー・プライス負担比率が図4.28中の $\overline{GF} / \overline{CF}$ に等しくなるように各経済グループの実際負担額を決めなさいということである。

図4.28中の折線 \widehat{OACG} はローレンツ曲線とよばれるものである。しかも完全平等の場合の対角線 \overline{OG} とローレンツ曲線に囲まれた領域（図4.28の斜線部分）は、ローレンツ曲線の定義上、上記手順によってローレンツ曲線をプロットした場合に最小の面積となる。このことと、ジニ係数とは対角線 \overline{OG} とローレンツ

曲線に囲まれた領域の面積の2倍に等しいという証明⁶⁾をあわせると、上記手順は不公平性尺度として(7)であらわされるジニ係数を採用した時の解にもなっていることが判明する。

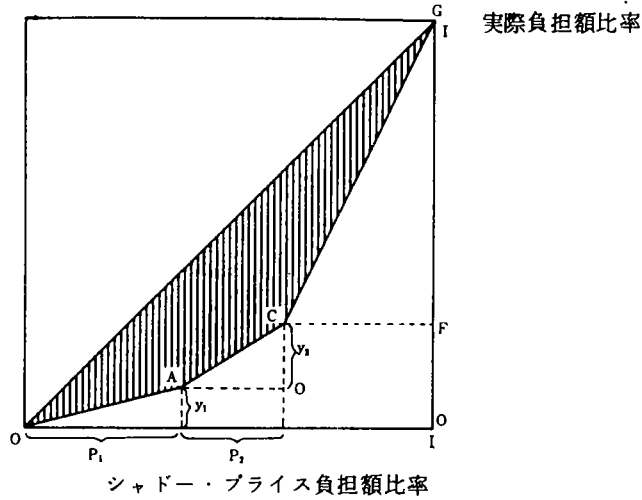


図 4.28 公平な費用負担配分方法のローレンツ曲線による表示

Pigou-Dalton 条件を満足するいかなる尺度についても上記手順が問題(1)~(4)の最適解を与えるという証明が可能である。このことを見るために、まず上記手順によって得られる解に対応するローレンツ曲線が図 4.28 の折線 OACG であらわされるとする。すると、制約式(2)~(4)を満足するいかなる実行可能解に対応するローレンツ曲線も折線 OACG の内側にはこない。なぜなら、仮に図 28 a の折線 OACG

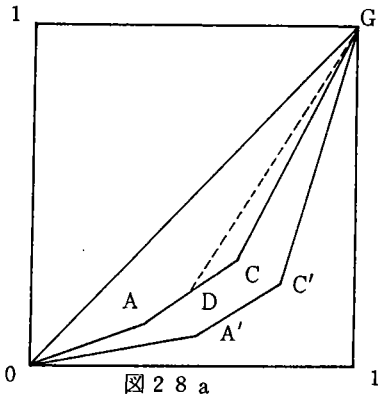


図 28 a

で示すよう 折線 OACG の内側にくるような解があったとすると、この解は点 C に対応する制約式を満足していないので実行可能解にはなりえない。それゆえ、上記手順で求まる解以外のいかなる実行可能解に対応するローレンツ曲線も折線 OACG の外側にくる。他方、ローレンツ曲線 OACG の外側にあるいかなるローレンツ曲線も、 y_m/p_m の値の大きい経済グループから低い経済グループへの負担配分移転によってローレンツ曲線 OACG と等しくなる。この証明については、

M. Rotschild & J.E. Stiglitz .

"Some Further Results on the Measurement of Inequality."

J. of Economic Theory, 6, 188-204 (1973)

を参考にされたい。又、Pigou-Dalton 条件の定義より y_m/p_m の値の大きいグループから小さいグル

ープへの負担配分は常に不公平性尺度の値を改良するから、ローレンツ曲線OACGは最適値をとる。以上で、上記手順より求まる解が最適解を与えるという証明が完了した。

表4.3.2に、手順1～6を表4.3.1の例3Aに適用した場合に得られる公平な費用負担案が示されている。6番目の経済グループである化学工業グループの費用負担が、シャドー・プライス案に比べて極端に低く見積られているのは、費用負担能力の推定にあたって、事業所規模を考慮に入れず一律に水質汚染防除施設ストック額の3%としたことによりのみ依存している。

表4.3.2 公平な費用負担案の作成(例3A)

経済グループ番号(m)	中分類番号	シャドー・プライス負担額の比率(pm)	ym/pm=1となる時の負担額(ym·c)	判定: 負担能力内にあるか	公平な負担額その1	判定: 負担能力内にあるか	最適な公平負担額(百万円/年)	事業所当たり公平負担額(百万円/年)
1	18, 19	.3927	352.644	×	243.91	○	243.91	3.01
2	20, 21	.0919	825.26	○	205.374	○	209.56	1.53
3	20, 23	.0084	75.43	○	18.772	×	8.35	0.09
4	24	.0120	10.776	○	26.817	○	27.36	5.47
5	25	.0007	.628	○	1.564	○	1.60	0.18
6	26	.3219	289.066	×	16.95	○	16.95	8.48
7	27	.0004	.359	○	.894	○	.91	.91
8	29	.0005	.449	×	.21	×	.21	0.04
9	30	.0095	85.31	○	21.23	×	20.03	0.57
10	31	.0043	3.861	○	9.609	○	9.81	9.81
11	32	.0004	.359	○	.894	○	.91	.91
12	33	.0033	2.963	○	7.375	○	7.53	0.28
13	34	.0024	2.155	○	5.363	○	5.47	0.32
14	35	.0013	1.167	○	2.905	○	2.96	0.42
15	36	.0006	.539	○	1.341	○	1.37	0.46
16	37	.0012	1.078	○	2.682	○	2.74	0.46
17	39	.0042	3.772	○	9.386	○	9.58	0.28
18	家庭全体	.1443	129.581	○	322.475	○	373.37	0.0064(1人当り)

4.3.6 おわりに

霞ヶ浦モデル紹介の最後として、3-1節で触れられたことであるが、環境システム・モデルを最適化計算の外におくことの是非について述べてみる。

図4.2.3と図4.2.6をいくつかの等費用曲線について合成したものとして得られる水質のトレード・オフ曲線を図4.2.9に示す。これは総処理費用を一定とした場合に達成しうる第1水域の水質(C₁)と第2水域の水質(C₂)の代替可能な組み合わせを示している。総処理費用が増えれば曲線は右上方に移動し、このことは横軸、縦軸の目盛りのふり方からもわかるように両水域における水質の向上を意味している。

今、環境保全水準が図4.2.9の斜線で示された区域で与えられているとする。環境システム・モデル(すなわち3-3節の水質シミュレーション・モデル)が最適化計算(すなわち4.3.4節のDPモデル)の内

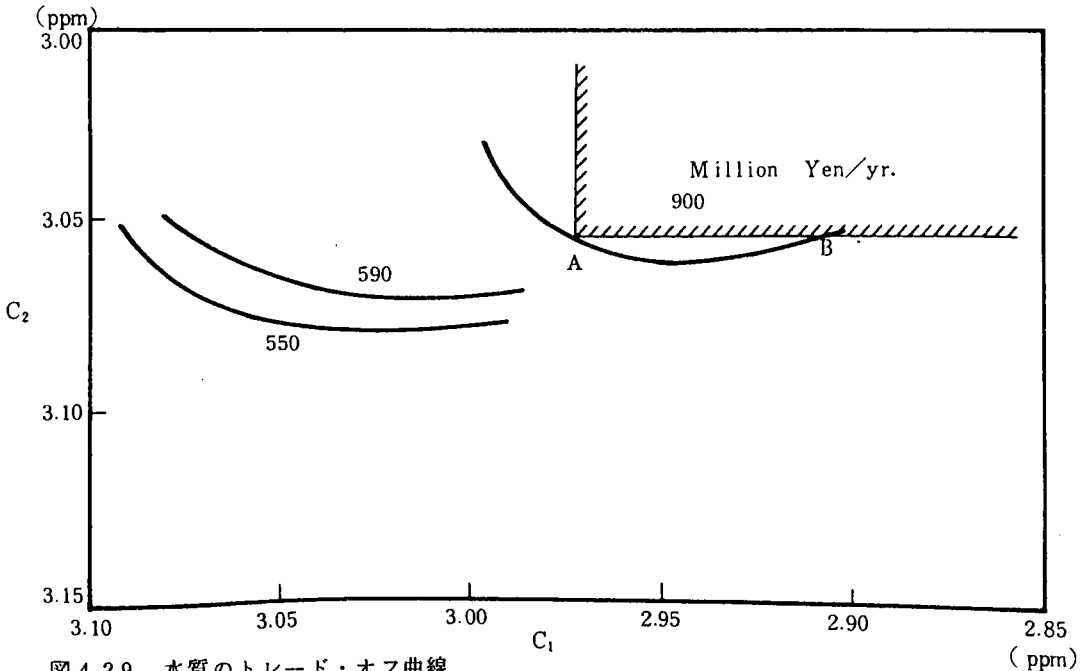


図 4.29 水質のトレード・オフ曲線

にとり込まれていたとした時の最適解は図中の点Bであろう。なぜなら、等費用曲線上のこの点において環境の状態が最もよいからである。他方、環境システム・モデルが最適化計算の外におかれている我々の方式では、点Aも又最適解である。このように局所的解（合成の誤謬）の生ずる可能性があるということは、環境システム・モデルを外におくことの欠点であると思われる。ただし、単に最適解を見つけることだけが目的ではなく、各々の個別モデルに含まれる問題点を明らかにすることが我々の目的でもある場合は、この欠点は利点になるからである。なぜなら、図4.29のトレード・オフ曲線が原点に対して凸になっている理由は、第1水城の浄化能力が第2水城のそれに比べて小さいことにあるのであるが、このようなことは、環境システム・モデルが内にある場合は、容易に判明しがたいと考えられるからである。

References

- 1) この費用関数については

日本下水道協会(1972): 流域別下水道整備総合計画調査、指針と解説

を見られたい。

- 2) これについては、例えば

Nemhauser, George L. (1966): Introduction to Dynamic Programming. John Wiley and Sons, New York, pp. 104 - 111

を参照されたい。

- 3) "Joint Cost"の配分及びシャドー・プライスに関しては、例えば

Ralph W. Pfouts. "The Theory of Cost and Production in the Multi-product Firm", Econometrica, Vol.29, No. 4, October 1961

Roman L. Well, Jr., "Allocating Joint Costs", AER, vol.58, No 5, Part 1, Dec. 1968

Lars Mathiesen, "Marginal Cost Pricing in Linear Programming Model : A Case with Constraints on Dual Variables", Scand. J. Economics, 1977

を見られたい。

- 4) 制約付最小化問題に対する必要条件(クーン・タッカー条件)及び十分条件について、よくまとまっている文献としては

David G. Luenberger, Introduction to Linear and Nonlinear Programming, Addison-Wesley Publishing Company, 1973, 第10章

がある。

- 5) Pigou-Dalton 条件及びこれを満足するような不公平性尺度については

Amartya Sen, On Economic Inequality, Oxford University Press 1973, 第2章

を見られたい。

- 6) この証明については、例えば

Theil, H. (1967): Economics and Information Theory, North-Holland Pub. Co., Amsterdam. pp. 121 - 123

を参照されたい。

実 証 編

目 次

II 実証編 — 多摩川流域を対象とした実証研究 —	
はじめに	105
1 モデルの概要	107
1.1 主要な仮定	107
1.2 モデルの構造	107
1.3 記号の説明	109
1.4 モデルの定式化	110
1.4.1 し尿処分プロセス	110
1.4.2 ごみ処分プロセス	111
1.4.3 下水処分プロセス	112
1.4.4 上水供給プロセス	113
1.4.5 生産活動モデル	114
1.4.6 水環境モデル	114
1.4.7 制 約 式	118
1.4.8 目的関数	119
1.4.9 モデルのLP化について	120
2 対象地域の概要	121
3 プロセス関数、費用関数、平均費用の推定、水環境モデル及び制約式の同定	127
3.1 し尿処分プロセス	127
3.2 ごみ処分プロセス	139
3.3 下水処分プロセス	154
3.4 上水供給プロセス	160
3.5 水環境モデル	180
3.6 水環境モデルにおけるパラメータの推定	185
3.7 生産活動モデル	187
3.8 制 約 式	193
3.9 目的関数としての公害苦情件数の測定	194
4 計算結果	196
4.1 ケースAの計算結果	197
4.2 ケースA'の計算結果	214
4.3 ケースBの計算結果	214
4.4 公害苦情件数を目的関数にとり込んだ場合の計算結果	230
5 おわりに	233

Ⅱ：実証編

—多摩川流域を対象とした実証研究—

はじめに

本編の目的は理論的で紹介した諸概念及び既存の研究成果を参考にしつつ、対象地域として多摩川流域をとりあげて実証分析をおこなうことである。実証分析のフレームワークについて説明するためにも、過去3年の研究の内容を要約しておいたほうがよい。まず初年度は公害・環境問題にかんする文献サーベイを主として費用便益分析の観点からおこなった。その成果をまとめたものが理論編の第1～第3章である。しかしながら、費用便益分析を公害・環境問題の実証分析に適用する際の主要な問題点は便益の測定が費用の測定に比べて格段に難しいことである。それゆえ、理論編の第4章でみたように、多くの既存の実証分析は、費用便益分析ではなく費用効果分析を理論的基礎としている。すなわち、多分に主観的価値の入りうる便益のかわりに、環境濃度といった特定の効果を目的指標に採用し、所与の効果に対して出来るだけ入力指標である費用を最小にするというアプローチである。ただし、公害・環境問題においては、効果が単一とは限らない。デラウェア・モデルにおいては、大気質、水質、埋立質に関する環境基準達成度が、また霞ヶ浦モデルにおいては各水域のCOD濃度が複数効果の例である。このように、費用効果分析の特徴は複数効果ないし多目的間のトレード・オフ関係を見つけ出すことであるから、代替的な政策の中から最適政策を見つけ出すためには、多目的間の優先順位ないし重みづけが何らかの方法で決められねばならない。以上が、初年度ないし理論編のまとめである。

第2年度はデラウェア・モデルへの疑問から始まったといってもよい。デラウェア・モデルに対する主要な疑問点は、それが一般均衡論の見地からすると、生産・公共活動主導型モデルであるということである。デラウェア・モデルにおいては地域における人口分布、工場及び公共施設の立地可能性、環境基準等を所与として地域において必要な消費財・中間財の生産及び生産・消費に伴って発生する各種廃物の再利用・処理・処分に関する総費用を出来るだけ小さくするように各種生産活動、公共サービスの水準を規定することを目的としている。この疑問に答えるために、第2年度に我々は、多摩地区を対象とする消費・公共活動主導型モデルを作成した。このモデルの概要及び計算結果については以下の文献に詳しく報告されているので詳細は省くが、このモデルは公共施設の立地可能性を所与として地域に必要な消費財(浄水)

1) Y. Kitabatake, T. Miyazaki and M. Takahashi (1979)

“A model for managing regional water supply and residuals disposal systems,”

Proc. Int. Recycling Congr. Berlin 79, Springer-Verlag

2) 北島能房・宮崎忠国(1980): “地域計画モデルの多摩地区への適用例”、システム工学会誌、4(1)、35-48。

3) Y. Kitabataka, T. Miyazaki and M. Takahashi (1980)

“Regional multiobjective planning of water supply and the disposal of residuals with due regard to intraregional distribution”,

Environment and Planning A, 12, 627-648.

の供給及びこれら消費財の消費に伴って発生する廃物の収集・処理に係る総費用を出来るだけ小さく、かつ環境質が向上するように地域人口分布、公共サービスの水準を規定することを目的として、(1)対象水域での汚濁指標最小、(2)地域内での総埋立量最小、(3)総費用最小という3目的を考え、これらが階層状に順位づけられているものとした。ただし、ここでは公害対策基本法の本質にのっとり環境目的が経済目的に優先するとした。このモデルの試行計算から得られた主要な結論は、環境目的(汚濁指標最小、埋立量最小)は廃物の処理に関する公共サービスの活動を規定し、経済目的(主として廃物の収集及び浄水の配水に係る費用最小)は地域内人口分布を規定するというものである。

本実証編は、第3年度の成果をまとめたものである。第3年度の研究の目的は、前年度に作成したモデル及びデータの不備を是正すると共に、モデルに現実性をもたせることであった。まず、モデルの主要な改良点としては、

- 1) 浄水以外の生産活動をモデルにとり込むこと。
- 2) 多摩川下流から浄水用原水を取水していたのを、多摩川上流の羽村ぎきにおいて取水することに改め、かわりに多摩川下流からは工業用水用原水を取水すること。
- 3) 土地利用区分(主として宅地内工場用地と住宅地を別個に扱う)をモデルにとり込むことによって、廃物の収集プロセス関数の推定式の精度をあげる。
- 4) エネルギー関連データ(電力、重油、軽油)をモデルに取り込むこと。
- 5) レクリエーション便益等も間接的に評価するために、水環境質の指標として、BODではなく溶存酸素(DO)を採用する。
- 6) 浄水、工業用水源として、多摩川からの取水だけでなく、地下水もモデルにとり込む。
- 7) ごみの種類を、可燃ごみと不燃ごみに分けて、前者のみが焼却プロセスで処理されるとし、後者は全て埋立とする。
- 8) 廃物(ごみ、し尿)の発生プロセスを収集プロセスの前段階としてモデルにとり込む。
- 9) 水環境モデルとしては、流達プロセスをモデルにとり込む。

などである。また、モデルに現実性をもたせるために、廃物(ごみ、し尿、下水)の処理プロセス及び浄水の生産プロセスに、現状値にもとづく能力制約を課した。また、モデルが大規模になるので計算効率を上げるためにも、モデルをLP化して解くことにする。

なお、本モデルの主要な目的は各プロセス関数の推定式の精度をあげると共に、エネルギー価格の上昇、水の使用量増加の環境目的、経済目的に及ぼす影響を試算することである。

1. モデルの概要

1.1 主要な仮定

ここで定式化しようとしているモデルは、公共施設の立地候補点、土地利用区分別面積が前もって与えられているような地域を対象とするものである。公共施設として考慮するのは、し尿処理場、ごみ焼却場、下水処理場、浄水場、工業用水用浄水場、生産された水の配水及び地下水くみあげのためのポンプ場である。住民によって代表される消費セクター及び製造業等の生産セクターに必要とされる用水及び、これら2セクターから排出される廃物の流れを図示したものが図1.1である。ただし生産セクターは製造業のみから成っていて、農林水産業、サービス業、公益事業等は含まない。また、廃物中の大気汚染物質及び生産セクターから排出される産業廃棄物は、モデルの定式化から除外する。

固型廃棄物については種々のリサイクリング方式が実用化されているが、本モデルでは、不燃ごみは全量埋立、可燃ごみは焼却ないし直接埋立、焼却灰やスラッジ・ケーキは直接埋立するものとして、コンポストや資源回収については考えない。

1.2 モデルの構造

モデルの全体構造を図1.2に示す。モデルは部分均衡、多目的最適化モデルで、7つの制約が外生的に与えられている：(1)地域全体に配分さるべき総人口；(2)製造業種別年間生産額(百万円単位)；(3)地域全

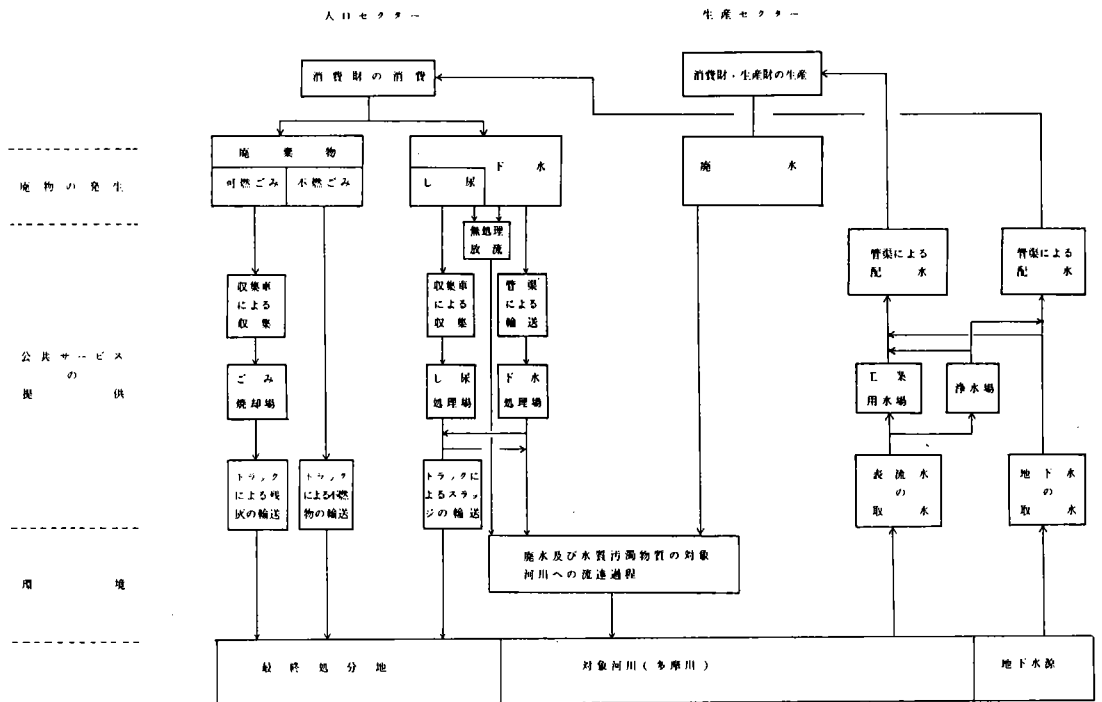


図1.1 用水と廃物に関するフローダイアグラム

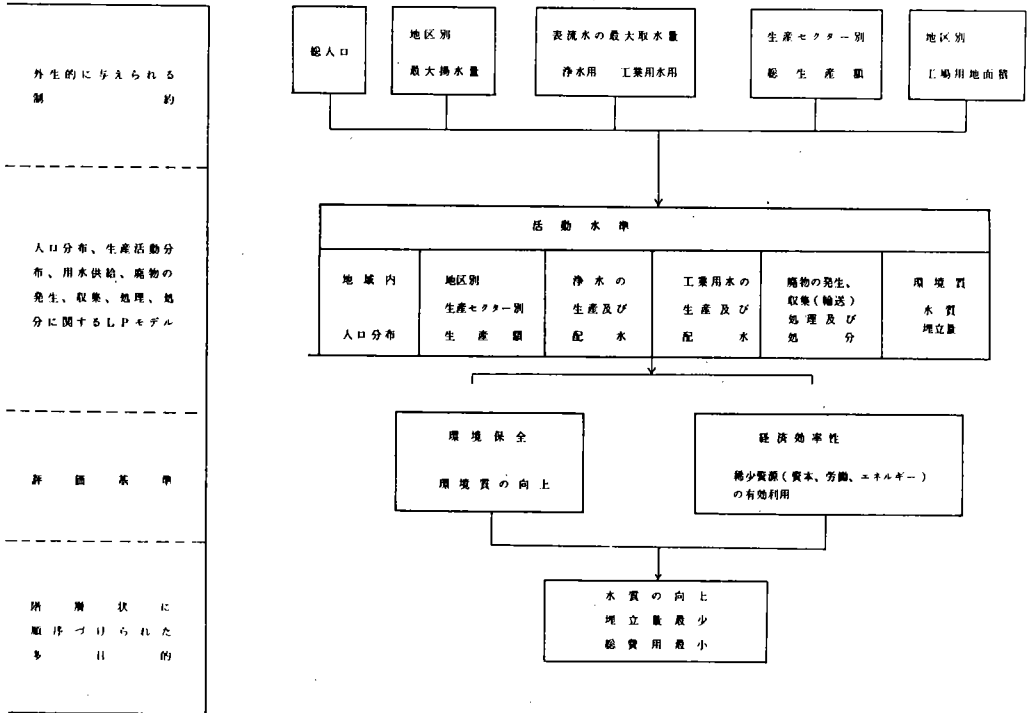


図 1.2 モデルの全体構造

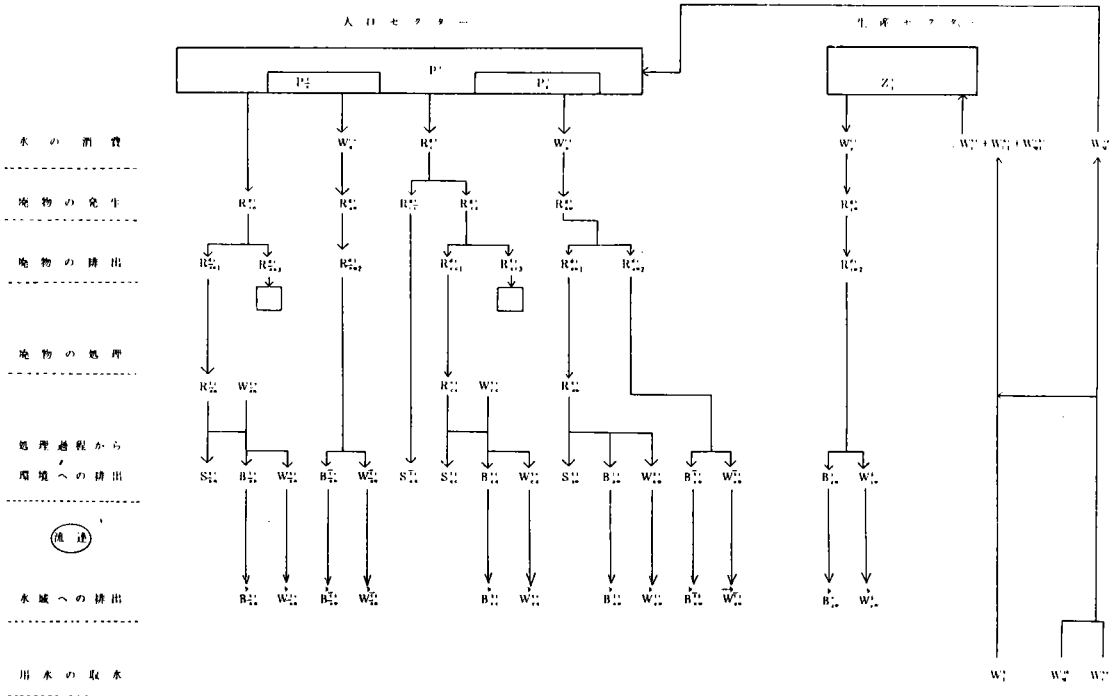


図 1.3 変数の相互関連図

体での最終処分地容量 (m^3) ; (4)地域内各地区での地下水揚水許容量 ; (5)浄水場での原水取水許容量 (t / 日) ; (6)工業用水処理場での原水取水許容量 (t / 日) ; (7)地域内各地区での工場用地制約 (m^2)。目的関数は水環境質、公害苦情件数、総費用から成っている。本モデルでは生活環境質の向上に主眼をおいているので、水環境質として、レクリエーション活動量を補完すると思われるDO (溶存酸素量)を、また、生産活動によってもたらされる各種公害から地域における生活環境を保護するものとして公害苦情件数を目的関数に選んだ。総費用は、各種公共施設の運営に必要な減価償却費、人件費、電力、重油、軽油等のエネルギー関連費用から成っている。ただし、費用は、各種施設を最適規模で操業した時の長期費用のことである。これら3目的はそれぞれ環境保全目的、社会的受容性目的、経済効率性目的に対応するものである。

ここでいう多目的最適化モデルは、階層的最適化モデルの1種 (Nijkamp, P. (1977) Theory and Application of Environmental Economics, North-Holland.) で、第1目的である水環境質についてまず最適化がおこなわれ、次に第2目的である埋立量について、最後に第3目的である総費用について最適化をおこなう。なお、第2目的として埋立量のかわりに公害苦情件数を用いても計算を試みる。

1.3 記号の説明

モデルの定式化に際して用いる変数を図示したものが図1.3である。まず対象地域全体が行政地区別にI個の地区に分割される。各地区の人口、 P^i は下水道普及地域内に住む人口、 $P_{\bar{a}}^i$ とし尿収集地区 (下水道未普及地区) 内に住む人口、 $P_{\bar{a}}^i$ の和である。 $W_{\bar{a}}^i$ と $W_{\bar{a}}^i$ はそれぞれ $P_{\bar{a}}^i$ 、 $P_{\bar{a}}^i$ によって消費される浄水の量を示す。第i地区の人口 (消費セクター) から排出される廃物は $R_{\bar{a}}^i$ ($j = \bar{a}n, \bar{a}w, aw, cc, c\bar{c}$) で表現する。ここで $R_{\bar{a}}^i$ 及び $R_{\bar{a}}^i$ は、それぞれ $P_{\bar{a}}^i$ によって排出されるし尿及び雑排水の量に、 $R_{\bar{a}}^i$ は $P_{\bar{a}}^i$ によって排出される排水量に対応する。 $R_{\bar{a}}^i$ 及び $R_{\bar{a}}^i$ は P^i の排出する可燃ごみ量、不燃ごみ量のことである。

生産セクターについては、地区iにおける第j番目の業種の生産額を Z_j^i ($j = 1 \dots J$) で示す。 $W_{\bar{a}}^i$ は Z_j^i の生産に必要な用水量、 $R_{\bar{a}}^i$ は生産に伴って排出される廃水量に対応している。

代替的処理手段のもとでの廃物の処分量を示すのが $R_{\bar{a}}^i$ ($j = \bar{a}n, \bar{a}w, aw, cc, c\bar{c}$; $k = 1, 2, 3$) である。ここで $k = 1$ は廃物の排出された地区での処理に、 $k = 3$ は複数個の地区による合同処理に、 $k = 2$ は環境への無処理放出に対応している。例えば、 R_{cc1}^i は第i地区で発生した可燃ごみの第i地区の焼却場で焼却処理される量のことである。下水道未普及地域内で発生した雑排水は環境へ無処理放流される ($R_{\bar{a}w2}^i$) が、下水道普及地域内で発生した廃水は、各下水処理区ごとに、必要ならば建設される下水処理場に送られるか ($R_{\bar{a}w1/3}^i$)、それとも各地区水環境に無処理放流される ($R_{\bar{a}w2}^i$)。

生産セクターからの廃水は、全て当該地区の水環境に (無処理) 放流される ($R_{\bar{a}w2}^i$)。ただしこれら廃水は、少なくとも水質汚濁防止法で決められた排出基準を満たしているものとする。

$R_{\bar{a}}^i$ ($j = \bar{a}n, aw, cc$) は各処理施設で処理される廃物の処理量を示している。ただし、1は

処理施設の立地している地区番号 ($1 \in (1 \dots L)$) のことである。例えば、地区 1 のし尿処理場で処理されるし尿量は R_{1n}^1 であらわされる。し尿処理場、ごみ焼却場での用水量は、それぞれ、 W_{1n}^1 、 W_{1c}^1 で示される。 B_j^1 ($j = \bar{a}n, aw, cc$) は各処理施設での処理水に含まれる BOD 負荷のことである。未処理廃水に含まれる BOD 負荷は B_j^1 ($j = \bar{a}w, aw; i \in (1 \dots L)$) で示される。各地区ないし各処理施設から排出される廃水量は W_j^{d1} ($j = \bar{a}w, aw, cc$) 及び W_j^{d1} ($j = \bar{a}w, aw$) で示される。流達過程をへて、水環境へ排出される廃水量及び BOD 負荷量は、それぞれ、

$$W_j^{d1} (j = \bar{a}n, aw, \bar{a}w, cc), \quad W_j^{d1} (j = aw, \bar{a}w), \\ B_j^{d1} (j = \bar{a}n, aw, \bar{a}w, cc), \quad B_j^{d1} (j = aw, \bar{a}w)$$

で表現される。

生産セクターから排出される廃水量、BOD 負荷量、及び水環境への流入量、流入負荷量は、各地区、各業種ごとに、

$$W_{jw}^i, \quad B_{jw}^i, \quad \vec{W}_{jw}^i, \quad \vec{B}_{jw}^i$$

($j = 1 \dots J; i = 1 \dots I$) で示される。

各処理施設から排出されるスラッジないし残灰量を S_j^1 ($j = \bar{a}n, aw, cc$) で示す。各地区で無処理埋立される不燃ごみの量は S_{cc}^1 であらわされる。

最後に、用水は 3 種類の施設で生産される。その 1 つは、各地区での地下水くみ上げによる生産量、 W_i^1 ($i = 1 \dots I$) であり、その 2 つは、工業用水処理場での生産量、 W_k^1 、その 3 つは、K ケ所の浄水場での生産量、 W_M^k ($k = 1 \dots K$) である。これら生産量の消費セクター、生産セクターへの配水に関して、本モデルは、次のように仮定する。消費セクターで必要とされる用水は、K ケ所の浄水場で生産される浄水および地下水でまかなう。他方、生産セクターで必要とされる用水は、K ケ所の浄水場、地下水だけでなく、工業用水処理場で生産される用水でまかなう。それゆえ、各地区の消費セクターへの浄水、地下水の供給量は、それぞれ、 W_M^1 、 W_{U1}^1 で示される。また、各地区の生産セクターへの浄水、地下水、工業用水の供給量は、それぞれ、 W_{M1}^1 、 W_{U1}^1 、 W_1^1 で示される。

1.4 モデルの定式化

1.4.1 し尿処分プロセス

各地区内の下水道未普及地域で発生するし尿の発生量は、

$$(1) \quad R_{1n}^1 = F_{1n}^1 (A_1^1, A_2^1, A_3^1) \quad (i = 1 \dots I)$$

で示される。ここで A_1^1 は地区 i における宅地面積、 A_2^1 は人口密度 (人口/宅地面積)、 A_3^1 はし尿発生量に占める汲取し尿量の比率である。浄化槽の普及している地域と汲取地域間の、し尿発生量の差を勘案することが(1)式のねらいである。し尿処理場へのし尿の収集プロセスは、

$$(2) \quad R_{1n1}^1 + R_{1n3}^1 = F_{1n}^1 (K_{1n}^1, L_{1n}^1, E_{1n}^1; A_1^1, A_2^1) \quad i = 1 \dots I$$

によって規定される。ここで K_{1n}^1 はし尿収集車に投下された資本量、 L_{1n}^1 は収集に関連する労働量 (人・日)、 E_{1n}^1 は収集に必要な軽油の量 (l) である。また、し尿処理場での処理過程は、

$$(3) \quad R_{r_n}^{i1} = G_{r_n}^i (K_{r_n}^{i1}, L_{r_n}^{i1}, E_{r_n}^{i1}, E_{b_n}^{i1})$$

によって表現されるとする。ここで、 $K_{r_n}^{i1}$ 、 $L_{r_n}^{i1}$ はし尿処理過程に投下された資本量、労働量に対応し、 $E_{r_n}^{i1}$ 、 $E_{b_n}^{i1}$ は電力量 (KWh)、重油量 (l) のことである。し尿処理場で用いる土地用役は、

$$(4) \quad A_{M_n}^i = a_{M_n}^i R_{r_n}^{i1}$$

であらわされる。

し尿処理場で用いられる希釈水は、

$$(5) \quad W_{r_n}^{i1} = b_{r_n}^i R_{r_n}^{i1}$$

で示される。し尿処理場から排出される廃水量、BOD量、汚泥発生量はそれぞれ、

$$S_{r_n}^{i1} = C_{r_n}^i R_{r_n}^{i1}$$

$$(6) \quad B_{r_n}^{i1} = d_{r_n}^i R_{r_n}^{i1}$$

$$W_{r_n}^{d11} = R_{r_n}^{i1} + W_{r_n}^{i1}$$

で示される。下水道未普及地域内で発生する雑廃水の量及びこれに含まれているBOD量は、

$$(7) \quad \begin{aligned} W_{r_w}^{d11} &= W_{r_w}^{d1} \\ W_{r_w}^{i1} &= d_{r_w}^i R_{r_w}^{d1} \end{aligned} \quad (i = 1 \dots I)$$

で示す。流達過程をへて水環境に排出される廃水量、BOD負荷量は、

$$(8) \quad \begin{aligned} \vec{W}_{r_n}^{d11} &= \tau_{r_n}^{d1} W_{r_n}^{d11} \\ \vec{B}_{r_n}^{i1} &= \epsilon_{r_n}^i B_{r_n}^{i1} \\ \vec{W}_{r_w}^{d11} &= \tau_{r_w}^{d1} W_{r_w}^{d11} \\ \vec{B}_{r_w}^{i1} &= \epsilon_{r_w}^i B_{r_w}^{i1} \end{aligned}$$

で表現される。(8)式中の ϵ 、 τ は流達係数 (定数) である。

1.4.2 ごみ処分プロセス

各地区で発生するごみ量は、

$$(9) \quad R_c^{ei} = F_c^e (A_1^i, A_2^i, r_c^i)$$

であらわされる。ここで r_c^i はごみ量に占める可燃ごみの比率である。これら発生したごみ量の収集過程は、

$$(10) \quad R_{c1}^{d1} + R_{c3}^{d1} = F_c^d (K_c^{d1}, L_c^{d1}; E_{Ac}^{d1}, A_1^i)$$

によって規定せられる。ここで K_c^{d1} はごみ収集車に投下せられた資本量、 L_c^{d1} はごみ収集に係る労働量 (人・日)、 E_{Ac}^{d1} はごみ収集に消費される軽油量 (l) のことである。収集されたごみ量のうち、可燃ごみだけが焼却処理される。収集された可燃ごみ量は、

$$R_{c1}^{e1} = r_c^i R_{c1}^{d1}$$

で表現される。ごみ焼却場での処理プロセスは、

$$(11) \quad R_{c1}^{e1} = G_c^i (A_{Mc}^{i1}, K_c^{i1}, L_c^{i1}, E_{Ac}^{i1}, E_{Bc}^{i1})$$

で示される。ここで K_c^{i1} 、 L_c^{i1} 、 E_{Ac}^{i1} 、 E_{Bc}^{i1} は、それぞれ、処理過程に投下された資本量、労働量、電

力量、重油量のことである。ごみ処理場より排出される廃水量、BOD量は、

$$(12) \quad \begin{aligned} W_{cc}^{!!} &= b_{cc}^! R_{cc}^{!!} \\ B_{cc}^{!!} &= d_{cc}^! W_{cc}^{!!} \end{aligned}$$

であらわされる。\$b_{cc}^!\$、\$d_{cc}^!\$ は定数である。流達後の流入量、BOD負荷量は、

$$(13) \quad \begin{aligned} \vec{W}_{cc}^{!!} &= \tau_{cc}^! W_{cc}^{!!} \\ \vec{B}_{cc}^{!!} &= \epsilon_{cc}^! B_{cc}^{!!} \end{aligned}$$

であらわされる。\$\tau_{cc}^!\$、\$\epsilon_{cc}^!\$ は流達係数である。ごみ処分過程にともなって発生する不燃ごみ、残灰等の埋立量は、

$$(14) \quad \begin{aligned} S_{cc}^{\bar{!}} &= (1 - r_{cc}^!) R_{cc}^{!!} \\ S_{cc}^{!!} &= r_{cc}^! R_{cc}^{!!} \end{aligned}$$

である。ここで、\$S_{cc}^{\bar{!}}\$ は不燃ごみ量に、\$S_{cc}^{!!}\$ はごみ焼却場から排出される残灰量に、\$r_{cc}^!\$ は残灰発生率（定数）に対応している。

1.4.3 下水処分プロセス

各地区の下水道普及地域内で消費される用水量はそのまま排出されると仮定すると、

$$(15) \quad R_{ww}^{!!} = W_{ww}^{!!} \quad i = 1 \dots I$$

となる。これらの排出量は下水処理場にパイプで送られるか、又は水環境に無処理放流される。

$$(16) \quad R_{ww}^{!!} = R_{ww1}^{!!} + R_{ww2}^{!!} \quad (i = 1 \dots I)$$

全地域がいくつかの下水道区に分割せられていて、第1番目の下水道区に含まれる地区内の排水量の中で、下水処理場に送られる量は、

$$(17) \quad \sum_{i \in D_1} R_{ww1}^{!!} = F_{ww}^{!!} (K_{ww}^{!!}; A^!)$$

という管渠による輸送プロセスによって規定せられる。ここで、\$D_1\$ は第1下水道区に含まれる地区の集合を、\$K_{ww}^{!!}\$ は第1下水道区内の管渠に投下された資本量を、\$A^!\$ は第1下水道区の面積のことである。下水処理場での処理プロセスは、

$$(18) \quad R_{ww}^{!!} = G_{ww}^{!!} (A_{Mww}^{!!}, K_{ww}^{!!}, L_{ww}^{!!}, E_{Aww}^{!!})$$

によって示される。ここで\$A_{Mww}^{!!}\$、\$K_{ww}^{!!}\$、\$L_{ww}^{!!}\$、\$E_{Aww}^{!!}\$ は、それぞれ、処理場に投下された土地用役量、資本量、労働量、電力量のことである。

下水処理場から排出される廃水量、BOD量は、

$$(19) \quad \begin{aligned} W_{ww}^{!!} &= R_{ww}^{!!} \\ B_{ww}^{!!} &= d_{ww}^! R_{ww}^{!!} \end{aligned}$$

で表わされる。ここで、\$d_{ww}^!\$ は定数である。また、下水処理場から排出されるスラッジ・ケーキ量は、

$$(20) \quad S_{ww}^{!!} = H_{ww}^{!!} (R_{ww}^{!!}, E_{Bww}^{!!})$$

で示される。ここで\$E_{Bww}^{!!}\$ は下水汚泥の焼却に使用される重油量のことである。

他方、下水道普及地域内において無処理放流される廃水量、BOD負荷量は、

$$(21) \quad \begin{aligned} W_{a,w}^{d\bar{r}i} &= R_{a,w2}^{di} \\ B_{a,w}^{\bar{r}i} &= d_{a,w}^{\bar{r}} R_{a,w2}^{di} \end{aligned} \quad i = 1 \cdots I$$

で表わされる。ここで、 $d_{a,w}^{\bar{r}}$ は定数である。

流達過程をへて水環境に排出される廃水量、BOD負荷量は、それぞれ、

$$(22) \quad \begin{aligned} \overrightarrow{W_{a,w}^{d1i}} &= \tau_{a,w}^{d1} W_{a,w}^{d1i} \\ \overrightarrow{W_{a,w}^{d\bar{r}i}} &= \tau_{a,w}^{d\bar{r}} W_{a,w}^{d\bar{r}i} \\ B_{a,w}^{1i} &= \epsilon_{a,w}^{1} B_{a,w}^{1i} \\ \overrightarrow{B_{a,w}^{\bar{r}i}} &= \epsilon_{a,w}^{\bar{r}} B_{a,w}^{\bar{r}i} \end{aligned}$$

となる。ここで、 $\tau_{a,w}^{d1}$ 、 $\tau_{a,w}^{d\bar{r}}$ 、 $\epsilon_{a,w}^{1}$ 、 $\epsilon_{a,w}^{\bar{r}}$ は流達係数（定数）である。

1.4.4 浄水供給プロセス

地区 i の消費セクターで消費される浄水量は、

$$(23) \quad \begin{aligned} W_{\pi}^{ci} &= b_{\pi}^c P_{\pi}^i \\ W_{\pi}^{ci} &= b_{\pi}^{ci} P_{\pi}^i \quad (i = 1 \cdots I) \\ W_M^{ci} &= W_{\pi}^{ci} + W_{\bar{\pi}}^{ci} \end{aligned}$$

で表現される。ここで、 b_{π}^c 、 b_{π}^{ci} は定数である。ただし、下水道未普及地域内での1人当たり浄水量は、浄化槽普及率（又は汲取り尿率）によって変わらるので、ここでは、2.4.1節の A_3^i とのからみで地区ごとに決定される定数とする。(23)式の浄水需要量、 W_M^{ci} は、

$$(24) \quad W_M^{ci} = W_M^{ki} + W_0^i \quad i \in D_k$$

のように、第 k 番目の浄水場および地区 i での地下水くみ揚げによってまかなわれる。ここで D_k は第 k 番目の浄水場が配水している地区の集まりである浄水区を示している。

地区 i の生産セクターによって消費される用水量は、

$$(25) \quad \begin{aligned} W_j^{ci} &= b_j Z_j^i \quad (j = 1 \cdots J) \\ W_Z^{ci} &= \sum_{j=1}^J W_j^{ci} \end{aligned}$$

となる。ここで b_j は第 j 業種における生産額1単位あたり用水量を示す定数である。地区 i の公共セクター及び生産セクターで必要とする用水量は、

$$(26) \quad \sum_{\substack{j, i \in (D_k, E_k) \\ j = (\pi, cc)}} (W_j^{ci} + W_Z^{ci}) = \sum_{i, k \in (D_k, E_k)} (W_{\pi}^{ci} + W_M^{ki} + W_0^i)$$

のように、工業用水道、上水道、地下水によってまかなわれる。ここで、 E_k は第 k 番目の工業用水道区に含まれる地区の集まりを示す。

第 k 浄水場での浄水生産プロセスは、

$$(27) \quad W_M^{ik} = G_M^i (L_M^{ik}, K_M^{ik}, A_M^{ik}, E_{AM}^{ik})$$

で規定される。ここで、 L_M^{ik} 、 K_M^{ik} 、 A_M^{ik} 、 E_{AM}^{ik} はプロセスに投下された労働量、資本量、土地用役

量、電力量である。地下水くみ上げプロセスは、

$$(28) \quad (W_U^i + W_{U1}^i) = G_U^i (K_U^i, E_{AU}^i)$$

で表わされる。ここで、 K_U^i 、 E_{AU}^i はくみ上げポンプ場に投下された資本量、電力量のことである。また、浄水場で生産された浄水を配水するプロセスは、

$$(29) \quad \begin{aligned} W_M^i + W_{M1}^i &= F_M^i (A_M^i, K_M^i, E_{AM}^i) \\ W_M^i + W_{M1}^i &= F_M^2 (K_M^i, A_2^i) \end{aligned} \quad i = 1 \dots I$$

によって規定される。ここで、 A_M^i 、 K_M^i 、 E_{AM}^i は配水プロセス（送水ポンプ場）に投下された土地利用量、資本量、電力量に対応している。

また、 K_M^i は浄水の管渠による輸送プロセスに投下された資本量のことである。

工業用水処理場での処理プロセス及び工業用水の配水プロセスは浄水と同一と仮定する。

1.4.5 生産活動モデル

本モデルでは生産活動プロセスを生産関数によって明示的には扱わない。かわりに、 Z_j^i によって表わされる業種別の生産活動量に比例して、土地利用、用水が必要となり、また廃水量、BOD負荷量が排出されると仮定する。

1.4.6 水環境モデル

ここでは、押し出し流れモデルに基づきDO（Dissolved Oxygen、溶存酸素）を指標とした水環境モデルについて説明する。

押し出し流れモデルの基礎式は、河川の任意の微小空間について、特定の汚濁物質に関する収支式を求めることによって得られる。物質収支式を求める際に通常、次の3つの仮定がなされる。

- (1) 河川の任意の点における物質濃度は、当該地点における河川の断面について一様である。
- (2) 汚濁物質の流れの方向に対する混合はない。
- (3) 汚濁物質の変化速度は一次反応式とする。

図1.4.に示すように、河川中の微小空間として、幅 Δx 、断面積 A なる立方体を考える。上記仮定のもとで、単位時間 Δt についての汚濁物質の収支式は、

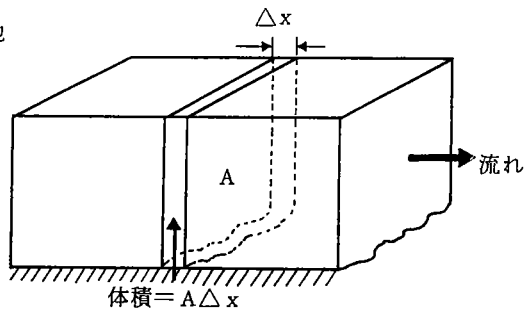


図 1.4 河川断面の図

$$V \Delta s = Qs \Delta t - (Q + \Delta Q) \Delta t + KV_s \Delta t \quad \dots \dots \dots (30)$$

ここで、

V = 立方体の体積で $A \Delta x$ に等しい。

s = 汚濁物質の濃度

Q = 河川の流量

K = 一次反応係数

である。式30の左辺は単位時間における汚濁物質の変化量を表わし、右辺第1項は単位時間に立方体の上流から流入する汚濁物質の量を、第2項は立方体から下流へ流出する物質の量をあらわしている。又右辺第3項は、前述の仮定3にもとづくもので河川による汚濁濃度の低下、すなわち自浄作用係数である。

30式のVに $A \Delta x$ を代入し、両辺を Δt で割ると、

$$\frac{\Delta s}{\Delta t} = -u \frac{\partial s}{\partial x} - \frac{S}{A} \frac{\partial Q}{\partial x} - \frac{\Delta Q}{A} \frac{\partial s}{\partial x} - K, \dots\dots\dots (31)$$

となる。ここで $u = Q/A$ 、すなわち河川の流速をあらわす。式31において Δt 、 Δx をゼロに近づけると、

$$\frac{\partial s}{\partial t} = -u \frac{\partial s}{\partial x} - \frac{S}{A} \frac{\partial Q}{\partial x} - K, \dots\dots\dots (32)$$

となる。ここで河川の流量は一定とすると32式は、

$$-u \frac{\partial s}{\partial x} - K, = 0 \dots\dots\dots (33)$$

となり、この式に外部からの流入強度項 s_d をつけ加えたもの、

$$-u \frac{\partial s}{\partial x} - K, = s_d \dots\dots\dots (34)$$

が、定常流の押し出し流れモデルの基本式である。

次にDOモデルについて説明する。汚濁物質としてBODで代表される有機汚濁物質をとった場合、BODとDOの関係は、次のようにあらわすことができる。すなわち、一般に、2変数、 s_1 と s_2 を扱う場合、それらの関係は次の2式で書きあらわすことができ、

$$\frac{\partial s_1}{\partial t} = -\frac{1}{A} \frac{\partial}{\partial x} (Q s_1) - K_{11} S_1 + S_1 \left(\frac{\partial Q}{\partial x} / A \right) \pm S_{d1} \dots\dots\dots (35)$$

$$\frac{\partial s_2}{\partial t} = -\frac{1}{A} \frac{\partial}{\partial x} (Q s_2) - K_{22} S_2 + S_2 \left(\frac{\partial Q}{\partial x} / A \right) + K_{12} S_1 \pm S_{d2} \dots\dots\dots (36)$$

$$S_1 (0, t) = S_{o1} (t)$$

$$S_2 (0, t) = S_{o2} (t)$$

ここで上述の仮定のもとで35式は、

$$-u \frac{d s_1}{d x} - K_{11} S_1 = 0 \dots\dots\dots (37)$$

$$-u \frac{d s_2}{d x} - K_{22} S_2 + K_{12} S_1 = 0 \dots\dots\dots (38)$$

と書き変えることができる。次に $x=0$ のとき $S_1(x)=S_1(0)$ 、 $S_2(x)=S_2(0)$ という境界条件のもとに式(37)、(38)を解くと、

$$S_1(x) = S_1(0) \exp[-(K_{11}/u)x] \quad \dots\dots\dots (39)$$

$$S_2(x) = \frac{K_{12}}{K_{22}-K_{11}} \{ \exp[-(K_{11}/u)x] - \exp[-(K_{22}/u)x] \} S_1(0) \\ + S_2(0) \exp[-(K_{22}/u)x] \quad \dots\dots\dots (40)$$

とあらわすことができる。

上式(39)、(40)において $S_1(x)$ を BOD 濃度、 $S_2(x)$ を DOD 濃度、すなわち DO (溶存酸素) 濃度の飽和値から溶存酸素値を差し引いた値溶存酸素欠乏量 ($DOD=D_s - DO$) とし、 $K_{11}=K_r$ 、 $K_{22}=K_a$ 、 $K_{12}=K_d$ とすると、

$$S_1(x) = \text{BOD 濃度}$$

$$S_2(x) = \text{DOD 濃度}$$

$$K_r = \text{BOD 除去速度係数}$$

$$K_a = \text{DO の再曝気係数}$$

$$K_d = \text{DO の消費係数}$$

と考えることができる。さらに $S_1(0)W/Q$ とすると $S_1(0)$ は地点 0 における BOD 濃度を示すことから W は地点 0 における BOD の排出量を、 Q は河川の流量を示し $S_2(0)$ は地点 0 における DOD 濃度を示す。本報告書の理論編中の図 4.9 は BOD 濃度と DOD 濃度の関係を示したものである。

式(39)、(40)を対象河川に適用するにあたり、 D_s 、 K_a 、 K_r 、 K_d 等のパラメータの決定が最も重要な問題となる。 D_s に関しては、水温 ($T^\circ\text{C}$) の関数として次式、

$$D_s(T) = 14.652 - 0.41022T + 0.007991T^2 \\ - 0.000077774T^3 \quad \dots\dots\dots (41)$$

によってかなり良い精度で記述できる。又、 K_r に関しては、オコーナーにより、

$$K_r = \frac{(D_1 u)^{1/2}}{H^{3/2}} \quad \dots\dots\dots (42)$$

という式が紹介されている。ここで D_2 は 20°C における酸素拡散係数、 u は河川の平均流速、 H は平均深さを表わす。

$$K_a = \frac{3.87 u^{1/2}}{H^{3/2}} \quad \dots\dots\dots (43)$$

となる。 H が $0.3 \sim 9.0 \text{ m}$ 、 u が $0.15 \text{ m/sec} \sim 0.48 \text{ m/sec}$ の河川では K_a の値が $0.05 / \text{day}$ から $1.22 / \text{day}$ の間にあると指摘している。チャーチル等によれば K_a は、

$$K_a = \frac{5.18 u}{H^{1.67}} \quad \dots\dots\dots (44)$$

であらわされ、深さが0.6～3.3 m、流速が0.54～1.5 m/secの河川では前述のオコーナーの値よりかなり高い値を示している。又、オウエンス等による式は、

$$K_a = \frac{5.22 u^{0.67}}{H^{1.85}} \dots\dots\dots (45)$$

で示され流速0.3～1.5 m/sec、水深1.2～3.3 mの河川ではオコーナーによる値と良く一致している。

この再曝気係数 K_a は水温によって変化し、20℃における K_a の値を $(K_a)_{20}$ とするとT℃における $(K_a)_T$ は、実験値より、

$$(K_a)_T = (K_a)_{20} (1.024)^{T-20} \dots\dots\dots (46)$$

で書きあらわせる。

BOD浄化係数 K_r の決定は、河川水を上流と下流でサンプルし、その時のBOD濃度、水温、流速から K_r の値を算出することができる。一般に水温20℃で急流、沈降の多い河川では1.0～3.0/day、沈降の多い一般河川では0.6～0.8/day、平均的な河川で0.1～0.6/dayというような値を使用する。 K_r は K_a と同様に水温の関数でもあり、T℃における $(K_r)_T$ は、

$$(K_r)_T = (K_r)_{20} (1.047)^{T-20} \dots\dots\dots (47)$$

で示される。

K_d 、酸素消費係数は河川水をサンプルすることにより決定されるが、一般に $K_d = 0.35$ 前後の値を使う。

図1.5に示すようにいくつかの水域に区切られた河川を考えてみる。地点0より上流のBOD、DOD濃度をそれぞれ0とし、地点0、1、2、……におけるBODの排出量をそれぞれ W_0 、 W_1 、 W_2 と仮定し、又、流量Qは一定と仮定すると、1地点におけるDOD濃度は(40)式より、

$$S_2(x_1) = a_1 S_1(0) = a_1 (W_0 / Q) \dots\dots\dots (48)$$

ただし、 $a_1 = \frac{K_d}{K_a - K_r} \{ \exp[-(K_r/u)x_1] - \exp[-(K_a/u)x_1] \}$

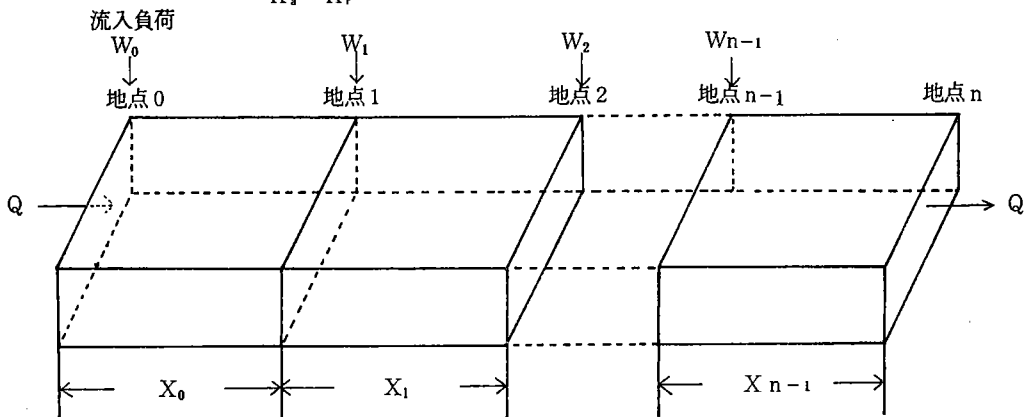


図1.5 河川と区画

である。次に地点2におけるDODの濃度は、式(39)、(40)、(48)より、

$$\begin{aligned}
 S_2(x_2) &= a_2 S_1(x_1) + a_3 S_2(x_1) \\
 &= a_2 S_1(x_1) + a_3 a_1 S_1(x_0) \\
 &= a_2 \left(\frac{W_0}{Q} \exp\left(-\left(\frac{K_r}{u}\right)x_1\right) + \frac{W_1}{Q} \right) + \frac{a_3 a_1}{Q} W_0 \\
 &= \left(a_3 a_1 + a_2 \exp\left(-\left(\frac{K_r}{u}\right)x_1\right) \right) \frac{W_0}{Q} + a_2 \frac{W_1}{Q} \dots\dots\dots (49)
 \end{aligned}$$

ここで a_2 は a_1 の定義式において x_1 のかわりに x_2 を代入したものである。(48)式、(49)式の定数項をまとめて行列形式で書くと、

$$\begin{pmatrix} S_2(x_1) \\ S_2(x_2) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} & 0 \\ a_{21} & a_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} W_0 \\ W_1 \end{pmatrix} \dots\dots\dots (50)$$

となり、区画に分けられた河川のDOD濃度を区画毎に計算することができる。又、区画 m における地点での DO^m 濃度は、

$$DO^m = D_o^*(T)^m - DOD^m \dots\dots\dots (51)$$

で決まり当該地点の温度によって決まる $D_o^*(T)$ (DO の飽和量)から DOD^m 濃度を差し引いてやればよい。

1.4.7 制約式

第1の制約式は総人口制約式である。

$$(52) \quad \sum_{i=1}^I P^i \geq \bar{P}$$

ここで \bar{P} は外生的に与えられる定数である。第2の制約式は、製造業種別に与えられる出荷額制約である。

$$(53) \quad \sum_{i=1}^I Z_j^i \geq \bar{Z}_j, \quad j = 1 \dots J$$

ここで \bar{Z}_j は所与の定数である。第3の制約式は埋立量に関する最終処分地容量制約である。

$$(54) \quad \sum_{i=1}^I \left(S_{c_i}^i + \sum_{j=1}^J (S_{c_j}^{ij} + S_{c_j}^{ij} + S_{c_j}^{ij}) \right) \leq \sum_{i=1}^I \bar{S}^i$$

ここで \bar{S}^i は所与定数である。第4の制約式は、地区ごとに与えられる地下水揚水制約である。

$$(55) \quad W_{0i}^i + W_v^i \leq \bar{W}_0^i \quad (i = 1 \dots I)$$

ここで \bar{W}_0^i は所与定数である。第5の制約式は、浄水の取水点における取水量制約である。

$$(56) \quad \sum W_M^{ik} \leq \bar{W}_M$$

ここで、 \bar{W}_M は取水量の上限(定数)で、この量によって浄水処理場での総生産量が制約されている。

第6の制約式は、

$$(57) \quad W_1^i \leq \bar{W}_1$$

という工業用水の取水量制約に関するもので、 \bar{W}_1 は所与定数である。最後の制約式は、各地区での工場用地制約である。

$$(58) \quad \sum_{j=1}^J A_{ij}^i \leq A_M^i \quad i = 1 \dots I$$

ここで、 A_M^i は所与定数である。

1.4.8 目的関数

本モデルでは、階層状に順位づけられた3つの目的関数を考える。最優先の目的関数は、水環境質に係るもので、各水域のDO濃度から成るベクトルを最大にすることである。

$$(59) \quad \max (DO^1 \dots \dots \dots DO^m)$$

ここで、 DO^m は第m水域におけるDO濃度をあらわしている。2.4.6節で説明したように、水域mにおけるDO濃度は、

$$DO^m = D_s^m(T^m) - DOD^m$$

というように、水域mの水温によって規定せられる溶存酸素飽和量(D_s^m)から水域mにおける溶存酸素欠乏量(DOD^m)を差し引いたものである。ここで、 D_s^m を所与とすると、(59)式は、

$$(60) \quad \min (DOD^1 \dots \dots \dots DOD^m)$$

と書き換えられる。

第2に優先される目的関数は、地域全体での総埋立量を最小にするというもので、

$$(61) \quad \min \sum_{i=1}^{20} S^i$$

で表現される。ただし、各 S^i の内容は以下の通りである：

$$\begin{aligned} S^1 &= S_{cc}^{T1} \\ S^2 &= S_{cc}^{T2} + S_{cc}^{I2} \\ S^3 &= S_{cc}^{T3} \\ S^4 &= S_{cc}^{T4} + S_{nn}^{I4} + S_{ww}^{I4} \\ S^5 &= S_{cc}^{T5} + S_{ww}^{I5} \\ S^6 &= S_{cc}^{T6} \\ S^7 &= S_{cc}^{T7} + S_{nn}^{I7} + S_{cc}^{I7} \\ S^8 &= S_{cc}^{T8} \\ S^9 &= S_{cc}^{T9} + S_{nn}^{I9} + S_{cc}^{I9} + S_{ww}^{I9} \\ S^{10} &= S_{cc}^{T10} + S_{nn}^{I10} \\ S^{11} &= S_{cc}^{T11} + S_{cc}^{I11} \\ S^{12} &= S_{cc}^{T12} + S_{nn}^{I12} + S_{cc}^{I12} + S_{ww}^{I12} \\ S^{13} &= S_{cc}^{T13} + S_{nn}^{I13} + S_{cc}^{I13} \\ S^{14} &= S_{cc}^{T14} + S_{nn}^{I14} + S_{cc}^{I14} + S_{ww}^{I14} \\ S^{15} &= S_{cc}^{T15} + S_{cc}^{I15} \\ S^{16} &= S_{cc}^{T16} + S_{cc}^{I16} \\ S^{17} &= S_{cc}^{T17} + S_{cc}^{I17} \end{aligned}$$

$$S^{18} = S_{c\bar{c}}^{18} + S_{aw}^{18}$$

$$S^{19} = S_{c\bar{c}}^{19} + S_{c\bar{c}}^{19}$$

$$S^{20} = S_{c\bar{c}}^{20} + S_{an}^{20} + S_{c\bar{c}}^{20} + S_{aw}^{20}$$

第3の目的関数は総費用を最小にするという経済効率目的である。

$$\begin{aligned}
 (62) \quad \min TC = & P_{an}^d \sum_{i=1}^I K_{an}^{di} + P_{an}^i \sum_{i \in R_{an}} K_{an}^{ii} + P_c^d \sum_{i=1}^I K_c^{di} \\
 & + P_c^i \sum_{i \in R_c} K_c^{ii} + P_{aw}^i \sum_{i \in R_{aw}} K_{aw}^{ii} + P_M^i \sum_{i=1}^I K_M^{ii} + P_I^i \sum_k K_I^{ik} + P_I^{i2} \sum_k K_I^{2k} \\
 & + P_M^{i2} \sum_{i=1}^I K_M^{2i} + P_U^i \sum_{i=1}^I K_U^{ii} + P_M^i \sum_k K_M^{ik} + P_I^i K_I^i \\
 & + q_{an}^d \sum_{i=1}^I L_{an}^{di} + q_{an}^i \sum_{i \in R_{an}} L_{an}^{ii} + q_c^d \sum_{i=1}^I L_c^{di} \\
 & + q_c^i \sum_{i \in R_c} L_c^{ii} + q_{aw}^i \sum_{i \in R_{aw}} L_{aw}^{ii} + q_M^i \sum_k L_M^{ik} + q_I^i L_I^i \\
 & + e_{an}^d \sum_{i=1}^I E_{an}^{di} + e_c^d \sum_{i=1}^I E_c^{di} \\
 & + \bar{e}_{an}^i \sum_{i \in R_{an}} E_{Bn}^{ii} + \bar{e}_c^i \sum_{i \in R_c} E_{Bc}^{ii} \\
 & + \bar{e}_{aw}^i \sum_{i \in R_{aw}} E_{Bw}^{ii} \\
 & + f_{an}^i \sum_{i \in R_{an}} E_{An}^{ii} + f_c^i \sum_{i \in R_c} E_{Ac}^{ii} \\
 & + f_{aw}^i \sum_{i \in R_{aw}} E_{Aw}^{ii} + f_M^i \sum_{i=1}^I E_{AM}^{ii} + f_I^i \sum_k E_{AI}^{ik} \\
 & + f_U^i \sum_{i=1}^I E_{AU}^{ii} + f_M^i \sum_k E_{AM}^{ik} + f_I^i E_{AI}^i
 \end{aligned}$$

ここで、 P_j^d ($j = \bar{a}n, c$) はし尿、ごみの収集過程に投下された資本の減価償却率を、 P_j^i ($j = \bar{a}n, c, aw, U, M, I$) は、各種処理施設に投下された資本の減価償却率を、 P_M^{i1} 、 P_M^{i2} 、 P_I^{i1} 、 P_I^{i2} は浄水及び工業用水の配水過程に投下された資本の減価償却率を示している。また、 q_j^d ($j = \bar{a}n, c$)、 q_j^i ($j = \bar{a}n, c, aw, M, I$) は、それぞれ収集プロセス、処理プロセスに投下された労働量の単価を示している。 e_j^d ($j = \bar{a}n, c$) はし尿、ごみの収集プロセスに投下された軽油の単価を、 e_j^i ($j = \bar{a}n, c, aw$) は各処理プロセスに用いられる重油の単価を、 f_j^i ($j = \bar{a}n, c, aw, U, M, I$) は各処理プロセスに投下された電力の単価を、また、 f_M^{i1} 、 f_I^{i1} は浄水及び工業用水の配水プロセスに用いられる電力の単価を示している。

1.4.9 モデルのLP化について

前節までに定式化されたモデルは非線型計画問題の一種である。モデルの実用性、とくに導出された解の最適性をチェックしうるためにも、モデルをLP化することが望ましい。それゆえ、本節では、プロセス関数から費用関数を導出し、次に平均費用を求めることによって、モデルの主要な部分をLP化することを試みる。

今、ある単位時間に m 種類の資源量 (x_1, \dots, x_m) を用いてある変量 (z) を産出するプロセスを考えてみる。すると、このプロセスの費用関数は産出量 z の関数として以下の制約付最小化問題を解く

ことによって得られる。

$$(63) \quad \min C(z) = \sum_{i=1}^m r_i x_i$$

subject to

$$z = g(x_1, \dots, x_m)$$

ここで、 $g(\quad)$ は前節で論じたプロセス関数、 r_i は各資源量の単価を示している。

平均費用 $AC(z)$ は(63)式で求まる $C(z)$ を z で割ることによって、

$$(64) \quad AC(z) = C(z) / z$$

得られる。それゆえ、 z の値 ($=z^0$) を指定して、その時の平均費用を、(62)式の費用係数に用いれば、水環境質に係る目的関数以外の全てについて、モデルはLP化される。

2. 対象地域の概要

研究対象地域として、図 2.1 に示すように、多摩川中流域とそれに接する 20 市町村を選出した。この地域は現在も都市化が進行し、それに伴い、自然環境の変化が著しい。特に多摩川の水質悪化は激しく、例えば調布取水堰における BOD 濃度は、昭和 35 年には約 2 P P m であったのが昭和 44 年には 10 P P m を超え、昭和 52 年 7 月の調査でも 8.7 P P m という値を記録している。このような事態に対して、

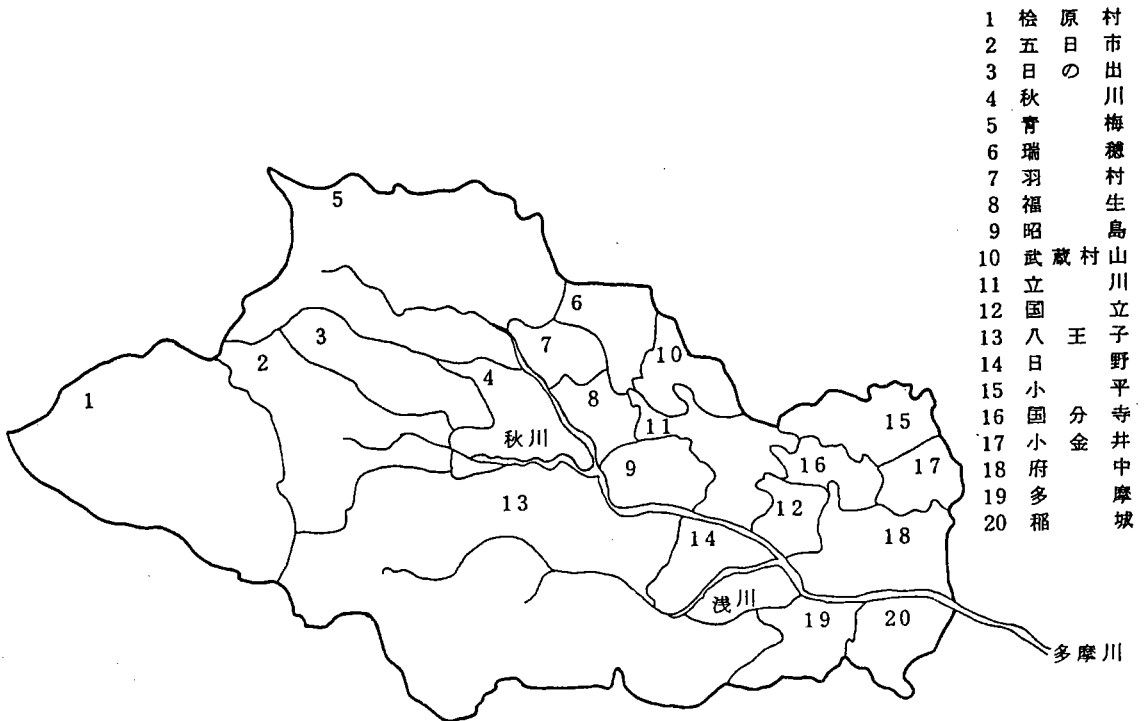


図 2.1 対象地域の概要

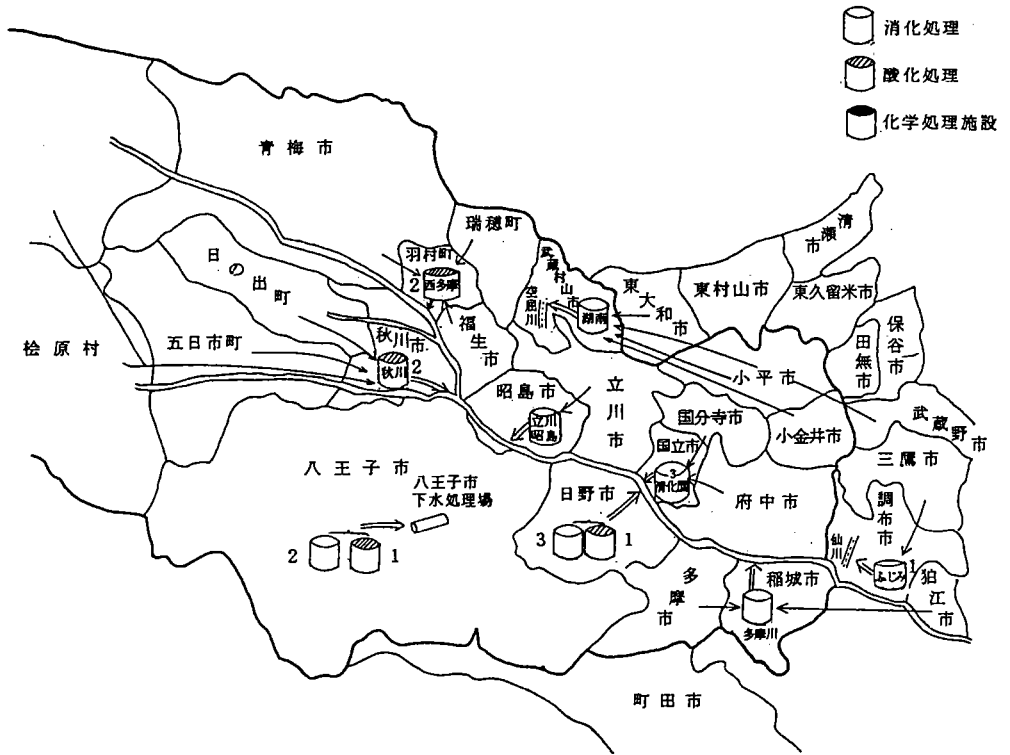


図 2.2 し尿の流れ(現状)

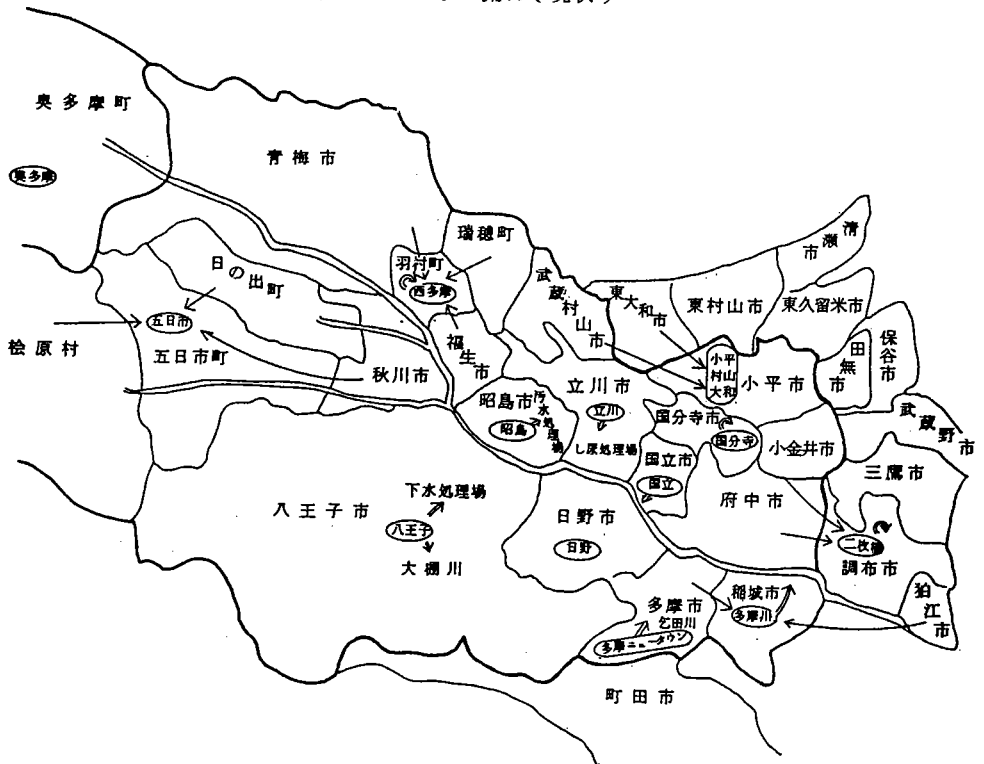


図 2.3 可燃ごみの流れ(現状)

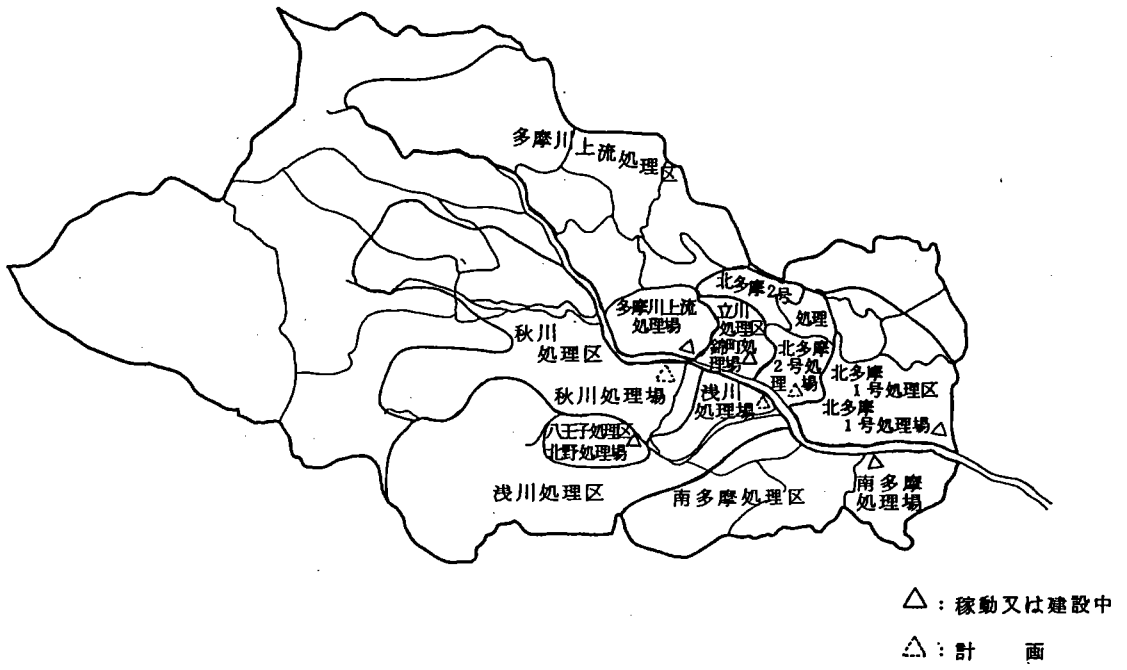


図 2.4 下水処理区および下水処理場（現状）

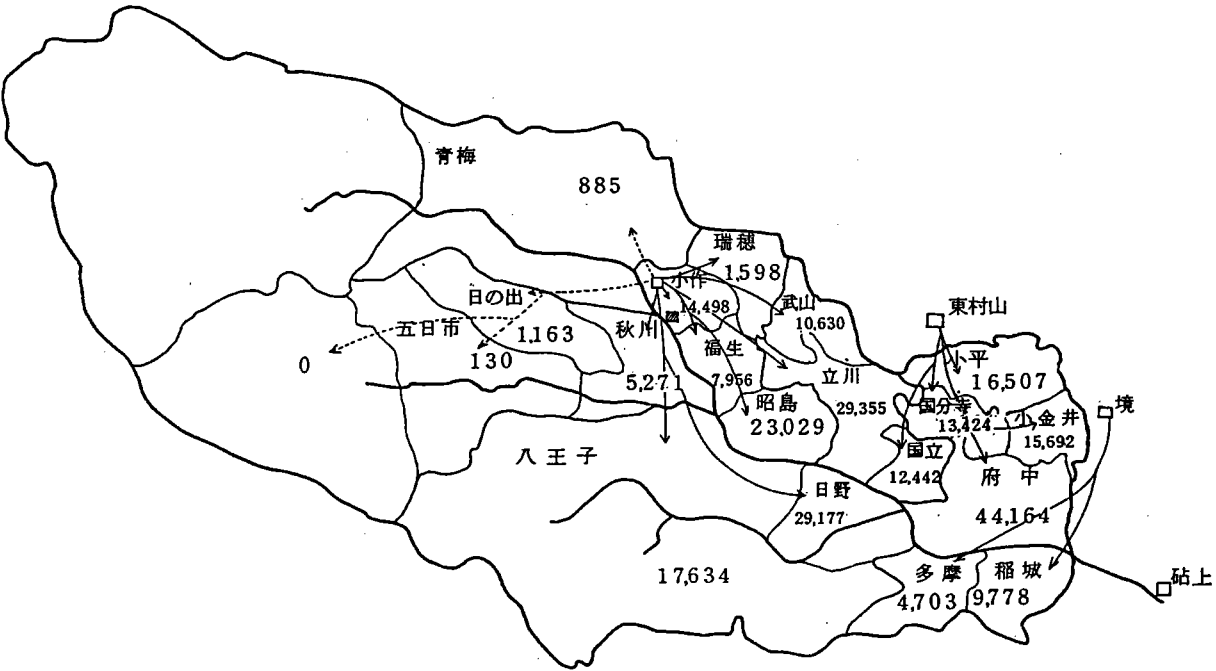


図 2.5 浄水の流れ（現状）

周辺自治体は、独自にあるいは共同で、ごみ、し尿処理施設、下水道の整備等をはじめ、ある程度の成果を得ている。現在、この地域には、11のごみ焼却場、8つのし尿処理場および3つの流域下水道、2つの自治体による下水処理施設がある。図2.2には現在のし尿の流れを、図2.3には可燃ごみの流れの現状を、図2.4には現在稼働中の下水処理施設および計画中の処理場を示す。さらに図2.5には浄水の流れ（現状）を示す。

このように同一地区に各種の公共処理施設を持ち、それらに関するデータの入手も比較的容易なこと等を考え合わせ、この地域に対して本モデルを適用することにした。対象地域の中心を流れる多摩川は、その水源を山梨県笠取山にもち、流域面積1,240Km²、長さ123.3Kmの河川である。年間平均降雨量は、氷川で約1,505mm、河口部で約1,270mmであり、流出量は調布橋で年間約7億トン、利水量としては、水道用水として年間約3億7千トンが使用されている他、農業用水、工業用水にも利用されている。研究対象地域の総面積は約3258.7Km²で、総人口は昭和52年現在1,752,372人である。各自治体の面積、人口および各公共施設とそのサービス区域の対応を表2.1に示す。表2.1において、対象地域には3つの上水区、3つの工業用水道区、6つの下水道区および5つのし尿処理区、6つのごみ処理区があるものと仮定する。その概要は図2.6～図2.9に示した通りである。また、表2.1において廃物処理場(●、○、△)と処理の対象となる地区との対応を矢印で示す。なお、地区17、18のごみは地域外の処理場で処理されているが、ここでは地区17に焼却場があると仮定している。

表2.1 公共施設の概要

		No.	浄水区	工業用水道区	下水道区	ごみ	し尿	し尿	ごみ	最終処分地				
檜原村	1	11	P	1	1	→	→	1	1○	○				
五日市	2	12	P			△ ⁴	○			→	1	○	○	
日の出	3	13	P				→			→			●	○
秋川	4	14	P		2	2	→	2●	2○	○				
青梅	5	21	P				→			→	●	○	○	
瑞穂	6	22	P ₁				○			→			●	○
羽村	7	23	P ₁			△ ⁹	→	→	●	○	○			
福生	8	24	P				○	→			●	○	○	
昭島	9	25	P				○	→					●	○
武山	10	31	P			3	△ ¹²	○	●	3○	○			
立川	11	32	P					○			→	●	○	×
国立	12	33	P ₂					○			→			●
八王子	13	41	P	3	4	○	●	4○	○					
日野	14	42	P ₁			○			→	●	○	×		
小平	15	51	P		△ ¹⁴	5	○	→	○			×		
国分寺	16	52	P ₂				○			←	●	○	×	
小金井	17	53	P			△ ¹⁸	3	○	→	○			×	
府中	18	54	P					○			←	●	○	○
多摩	19	61	P	6	△ ²⁰	○	→	5	○	○				
稲城	20	62	P ₃			○				→	●	○	○	

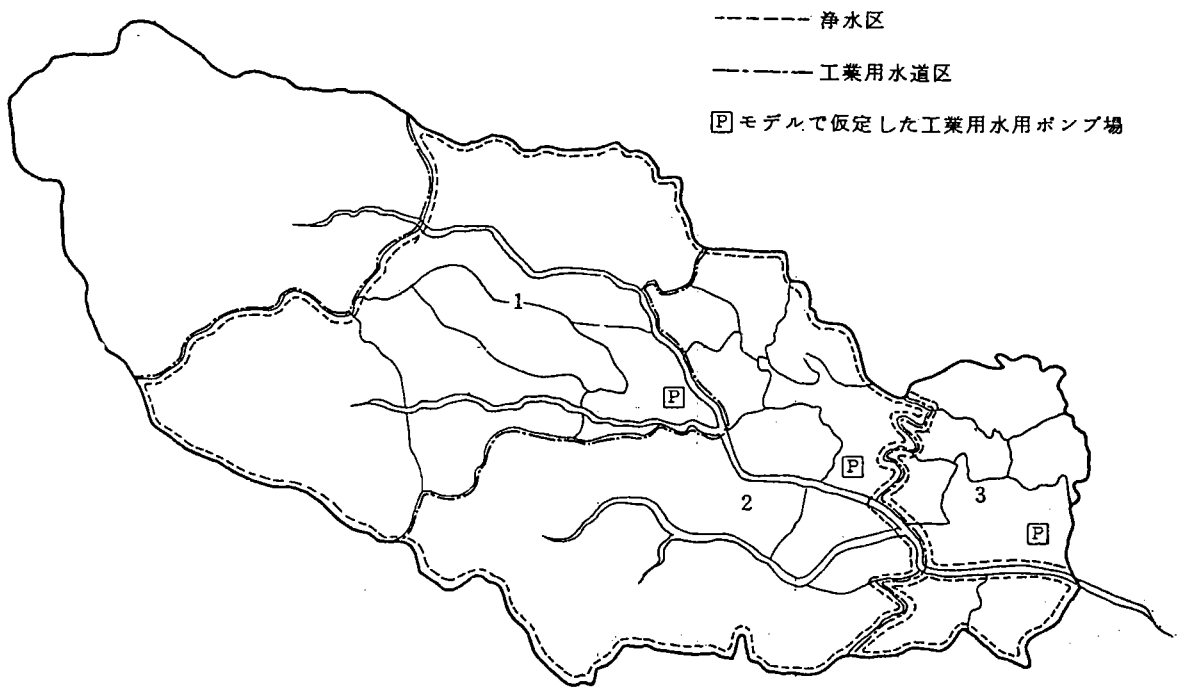


図 2.6 浄水区及び工業用水道区の概要

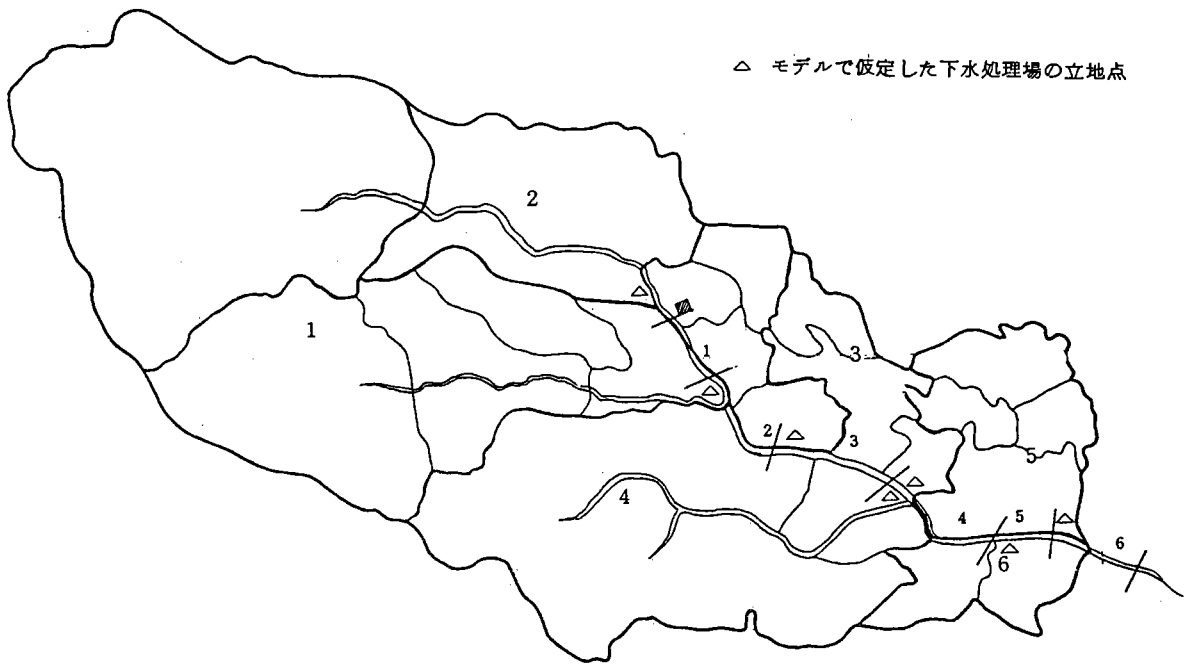


図 2.7 下水処理区の概要

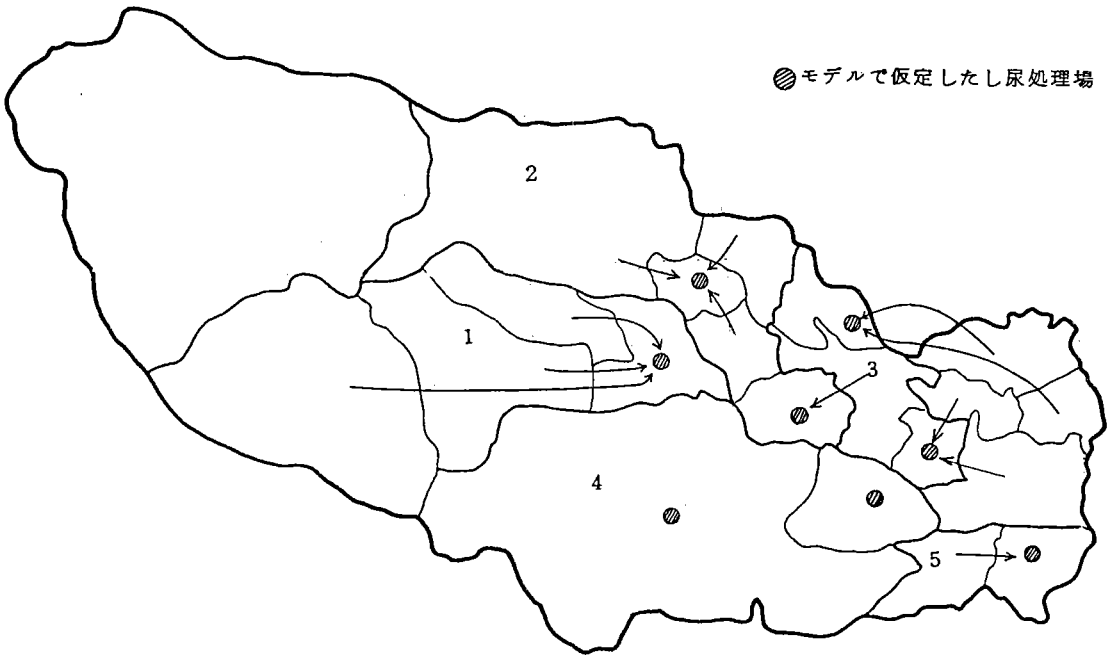


図 2.8 し尿処理区の概要

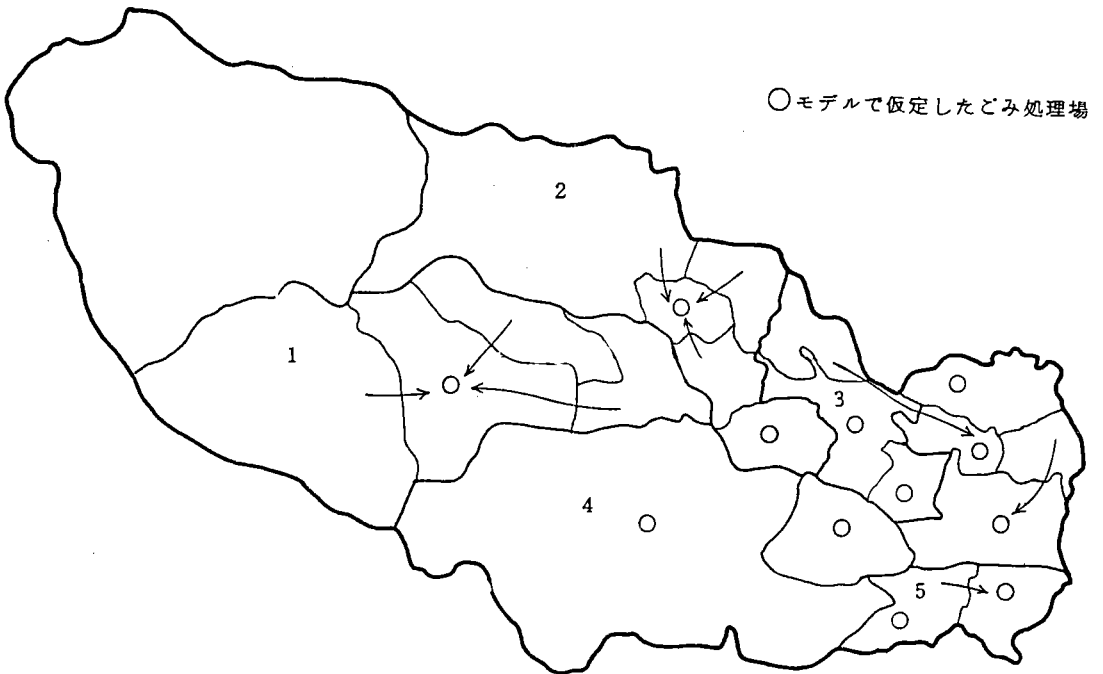


図 2.9 ごみ処理区の概要

3. プロセス関数、費用関数、平均費用の推定、水環境モデル及び制約式の同定

3.1 し尿処分プロセス

し尿処分プロセスは、大別して、し尿発生プロセス、し尿収集プロセスとし尿処理プロセスから成っている。表3.1はし尿収集に関するデータをまとめたものである。各自治体ごとに、資本量に係るデータ（車両台数、平均購入価格、平均耐用年数）、労働量、データ、エネルギー関連データ（収集距離、単位距離あたり燃料）、収集量データ等を示してある。表3.2は資本量（車両台数×平均購入価格）、 K_{it}^u 、燃料使用量（収集距離×単位距離あたり燃料）、 E_{it}^u 、収集量、 R_{it}^u 、汲取し尿率、 A_3^i 、宅地面積、 A_1^i 、人口密度、 A_2^i 、等、1.4.1節の発生及び収集プロセス関数推定に必要なデータをまとめたものである。

他方、表3.3はし尿処理場に関するデータの一部を示している。各処理場の処理施設ごとに、資本量関連データ（建設年度、事業費、稼働率、資本サービス量）と労働量データが列挙されている。ただし、表3.4の資本サービス量は表3.4.1の建築工事費単価によって事業費をS52年価格に換算したものに稼働率をかけて算出した。表3.5は、土地用役量、 A_{it}^u 、資本量、 K_{it}^u 、労働量、 L_{it}^u 、エネルギー量（消費電力量、 E_{it}^u 、重油量、 B_{it}^u ）、し尿処理量、 R_{it}^u 、スラッジ関連データ（汚泥発生量、汚泥処分内訳、残灰量）、廃水関連データ（処理水量、 W_{it}^u 、希釈倍数、処理水質、放流地点）等、1.4.1節のし尿処理プロセス関数推定に必要なデータが処理場ごとにまとめられている。ただし、資本量は、資本サービス量を全施設について足し合わせたもの、また、希釈水量、 W_{it}^u 、は希釈倍数から1を引いたものに処理量をかけてのものである。また、スラッジ量は、

$$\text{残灰発生量 (t/日)} \times 365$$

$$+ \text{汚泥発生量} \times \text{埋立処分比率}$$

として計算されるもので、汚泥のうち肥料として再利用されているものは含まない。

表3.6はし尿発生プロセス、し尿収集プロセスに関する変数選択型回帰計算結果を要約したものである。表中、*印のふられている変数は変数選択の過程で前もって指定せられたF値（2.0）よりも低いために説明式から除外された変数である。なお、データの層別名に対応するグループ4～8の内容は以下の通りである。グループ4＝し尿発生量に占める収集量の割合が8割以下で、かつ軽油量データのある自治体、グループ5＝収集率が8割以上で、かつ軽油量データのある自治体、グループ6＝国立市、グループ7＝収集率が8割以上であるが、軽油量データのない自治体、グループ8＝収集率が8割以下で、かつ軽油量データのない自治体。

表3.6の結果にもとづいて、し尿発生プロセス関数として、

$$(1) \quad R_{it}^u = 38914.036 (A_1^i)^{0.92993} (A_3^i)^{-1.37542} \\ (4.878) \quad (7.917) \quad (-3.302) \\ R^2 = 0.9042$$

表 3.1 し尿収集データ (1)

自治体名	車両台数	平均購入価格(万円)	平均タンク容量	平均耐用年数	職員数	収集距離データ	収集距離(千Km)	単位貯油量あたり距離(2L車)	収集量に占める浄化槽汚泥	収集率%	収集量		処理場名		
											計/年	家庭	事務所	その他	し尿	水
八王子	75	240.6	2~4t	5年	172×296日	48.9Km/日台 ×300	1100.25	Km/1 4.65	16%	69.3	122,115	95%	八王子し尿 処理場	(北野、めじろ台) 八王子市下水処理場	
立川	12	248	2t		30×301				11	53.9	43,736		立川・昭島	鍋町 下水処理場	
青梅	18	274	2~4t	3年	36×300				27	98.3	50,067		西多摩		
府中	22	274	2~4t	7年	49×296				20	57.4	39,229		清化園	北多摩1号	
昭島	13	266.4	2~4t	5年	25×300	55Km/日・台 ×300	214.5	4.65	34	100.0	42,615		立川・昭島		
小金井	25	245	2t	4年	40×298	112.135 Km/年	112.135	4.65	16	51.9	22,374	100	0	北多摩1号 (一部森ヶ崎)	
小平	35	274	2~4t	直営5年 委託3年	50×272				18	90.2	59,041		湖南	北多摩1号	
日野	12	293	2~4t		24×297	213.840	213.840	4.65	29	86.5	43,416		日野市	豊田下水道事業所	
国分寺	11	253	2t	5年	30×272	251.7×273日	68.714	4.65	34	94.9	34,971		清化園	北多摩1号	
国立	7	225	2t	5年	13×296	55Km/日 ×250	13.75	4.65	3	80.1	27,306		清化園		
福生	6	248	2t	5年	12×300				45	100.0	36,710		西多摩		
武蔵村山	5	274	2~4t	5年	10×297				18	100.0	15,180		湖南		
多摩市	4	240	2t	5年	8×306	292Km×310日	90.52	4.65	36	32.6	14,589		多摩川	多摩市坂ヶ丘 南多摩	
稲城	6	248	2t	5年	11×307	73.5Km/日台 ×307	135.387	4.65	17	100.0	19,171		多摩川		
秋川	15	(25.3)	2~4t	3年	19×295	50Km/日×300	15.000	4.65	6	100.0	17,577		秋川		
羽村	13	274	2~4t	6年	14×298				40	100.0	26,752		西多摩		
瑞穂	5	248	2t	3年	10×300				0	86.5	10,863		西多摩		
日の出	4	199	2t	3年	8×295				11	100.0	5,686		秋川		
五日市	7	210	2~4t	4年	11×295				0	86.3	7,990		秋川		
枥原村	3	248	2t	3年	8×295				0	80.4	1,957		秋川		
奥多摩町	3	274	2~4t		5×295	50Km/日 ×295	14.75	4.65	0	69.1	4,664	81	0	19	秋川

表 3.2 し尿収集データ (2)

自治体名	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	K (千円)	L (人日/年)	収集距離 (Km/年)	軽油 (l/年)	宅地(工場除く) (ha)	人口密度 (人/ha)	収集量 (kl/年)	直営	委託	し尿率 (%)
八王子	180,450	50,912	1,100,250	236,613	2,159,54	160,87	122,115	1	0	84
立川	29,760	9,030			739,19	189,73	43,736	0	1	71
青梅	49,320	10,800			646,45	142,11	50,067	0	1	71
府中	60,280	14,504			924,21	195,39	39,229	1	1	77
昭島	34,632	7,500	214,500	46,129	411,29	209,23	42,615	0	1	66
小金井	61,250	11,920	1,121,35	24,115	542,52	182,66	22,374	1	0	84
小平	95,900	13,600			757,49	201,52	59,041	1	1	79
日野	(35,160)	(7,128)	(213,840)	45,987	711,92	192,27	(28,795)	0	1	66
国分寺	27,830	8,160	68,714	14,777	513,19	170,74	34,971	1	0	65
国立	15,750	3,848	13,750	2,957	352,03	180,26	27,306	0	1	97
福生	14,880	3,600			251,54	189,82	36,710	0	1	53
武蔵村山	13,700	2,970			251,86	219,43	15,180	0	1	77
多摩市	9,600	2,448	90,520	19,467	513,20	158,21	14,589	0	1	64
稲城	14,880	3,377	135,387	29,115	255,51	177,19	19,171	0	1	67
秋川	37,950	5,605			375,78	109,67	17,577	1	1	94
羽村	35,620	4,172			229,50	165,61	26,752	0	1	57
瑞穂	12,400	3,000			209,16	103,17	10,863	0	1	100
日の出	7,960	2,360			151,80	80,03	5,686	0	1	89
五日市	14,700	3,245			191,43	102,06	7,990	0	1	100
檜原村	7,440	2,360			35,41	128,72	1,957	0	1	100
奥多摩町	8,220	1,475	14,750	3,172	7,480	140,98	4,664	0	1	100

表 3.3 下水道処理場データ (1)

処理場名	敷地面積 (m^2)	K 千円	L 人・日	脱臭	汚泥	電力 KWH/年	重 l/年	油 k l/年	尿 k l/年	汚泥 t/年	処分内訳(%)			残灰量	希釈水源	希釈倍数	汚泥 t/k l	処理水量 t/日	処理水質 P.P.M.	放流地点	
											焼却	埋立	肥料								
八王子	21,279	927,738	15,750	○	○	1,723,880	329,000	122,115	7,640	100	0	0	3.2 t/日	井戸水	2	0.0625	640	BOD 2,000	八王子下 水処理場		
									32.2 t/日				(10.1%)		(雑排水)						
立川・昭島	15,000	1,457,210	8,127	○	○			86,351	2,952	67	7	26	0.9 t/日	井戸水	20	0.03418				多摩川	
									7.2 t/日				(13%)								
日野	21,000	799,371	3,861	○	○	1,437,460	37,125	43,416	2,108	0	93	7		深井戸水	10~20	0.04855	3,500	BOD 23-24	多摩川		
					汚泥 かんそう																
湖南	75,000	3,254,148	11,286	○	○	3,861,000	564,300	140,356	6,691	69	0	31	0.5 t/日	深井戸水	13	0.04767	4,000	BOD 10~20	空堀川		
										13 t/日			(4%)		(雑排水6、 希釈7)						
清化園	21,000	1,566,611	8,880	○	○	1,332,000	49,333	101,506	11,840	0	100	0		深井戸+ 伏流水	8	0.11664	4,000	BOD 10-15	多摩川		
西多摩	11,200	1,262,124	6,600	○	○	3,592,838	828,000	81,020	3,241	100	0	0	0.7 t/日	伏流水	22-23	0.04000	6,000	BOD 7-20	多摩川		
													(6%)								
多摩川	7,193	760,731	2,920		○	2,591,500	604,805	41,847	312	0	0	100		深井戸	15	0.10359	2,000	BOD 9.6-10.4	多摩川		
					汚泥 かんそう										(希釈水 94%) (雑排水 3%)						
秋川	22,000	5,546,62	5,605		○	2,715,033	550,000	35,302	3,540	89	11	0	0.3 t/日	河川水	20	0.10027	2,500		多摩川上 秋川合流 点		
										12 t/日			(2.5%)		(100% 希釈水)						

表 3.4 資本データ（し尿処理場）

処理場名	型式	能力	建設年度	総事業費 (千円)	物価換算 (千円)	稼動率	Capital service (千円)	稼動日数 (日/年)	労働者数 (人)
八王子 1~3	消化第 3	270 k l / 日	51	75,000	99,750	0.870	86,782	350	45
			52	6,750					
立川・昭島	酸化第 2	144 k l / 日	37	62,220	234,567	0.681	374,624	348	
			46~47	146,083	315,539				
	消化第 1	54 k l / 日	33	61,550	582,263	0.670	390,331	232	
		汚泥処理	84 t / 5 H	43	上記に含む			237	
	脱臭		48	40,000	76,000		76,000		
日野	消化	45	37	41,970	158,227				
		90	36	111,013	581,870	0.894	1,457,210	301	27
	60	40	84,000	220,311					
	70	43	191,857	669,581					
	65	48	149,800	284,520	0	0			
清化園	汚泥処理	10 t / 日	46			0.720		274	
	脱臭								
	消化	27 k l / 日	34	44,478	357,748	0.296	105,894	297	13
立川・昭島	酸化	54 k l / 日	38	77,173	356,138	0.759	270,309	297	
		60 k l / 日	44	109,850	321,861	0.800	257,488	297	
	50 k l / 日	48	109,000	207,100	0.800	165,680	297		
	汚泥処理	20 t / 日	50	13,500					
	化学	54 k l / 日	36	54,815	287,231	1.019	287,231	296	30
立川・昭島	脱臭	216 k l / 日	38	238,150	1,097,871	0.808	1,279,380	296	
		60 k l / 日	42	136,000	485,520				
	廃水処理(二次処理)								

表 3.4 (続き)

処理場名	型式	能力	建設年度	総事業費 (千円)	物価換算 (千円)	稼働率	Capital services (千円)	稼働日数 (日/年)	労働者数 (人)	
湖 南	消 化	209 k l / 日	38	553,049	2,549,555	}				
	"	100 k l / 日	40	91,868	240,694		0.631	2,854,777	297	38
	"	200 k l / 日	41	340,164	1,292,623					
	"	100 k l / 日	45	149,240	441,339					
	汚泥処理	30 t / 日	49	240,000	348,000		0.430	149,640		
西 摩	悪臭防止 (余剰ガス燃焼)		49	11,900	17,255	0.670	11,561			
	三次処理	6,000 m ³ / 日	49	156,000		0.500				
	自動測定装置		49	19,300		0.330				
	曝気槽		49	26,870		0.500				
	曝気槽脱硫		49	36,000		0.500				
多 摩	酸 化	170 k l / 日	44	258,948	758,718	0.700	531,102	300	22	
	"	150 k l / 日	49	649,073	941,156	0.707	665,397	300		
	水洗脱臭		43	3,300	11,517					
	"		49	4,759	6,901					
	汚泥処理	48 t / 日	49	141,550	205,248	0.230	47,207	300		
秋 川	酸 化	70 k l / 日	44	140,410	411,401	0.643	264,531	365	8	
	"	110 k l / 日	47	314,592	679,519	0.636	432,174	365		
	汚泥処理	11 t / 日	49	64,026		1.00				
	酸 化	100 k l / 日	44	205,113	600,981	0.500	498,415	295	19	
	"	100 k l / 日	49	273,000	395,850					
秋 川	汚泥処理	28.8 t / 日	47	62,000	133,920	0.420	56,246	262		

表 3.4.1 建築工事費単価の推移（建築主別（都道府県）着工建築物）

昭和	工事予定額(千円) ／延面積(㎡)
S30	1 1.2 3 6
31	8.5 9 1
32	9.1 2 4
33	1 4.0 0 3
34	1 6.4 7 0
35	1 9.7 2 4
36	2 5.2 7 4
37	3 5.0 9 7
38	2 8.7 0 6
39	5 6.1 4 8
40	5 0.5 0 9
41	3 4.8 6 3
42	3 7.1 3 7
43	3 8.0 0 9
44	4 5.2 7 8
45	4 4.7 9 6
46	5 1.5 2 7
47	6 1.3 9 8
48	6 9.8 9 7
49	9 1.2 4 1
50	1 0.2 3 6 4
51	1 0.7 2 1 0
52	1 3.2.4 7 2 6 *

* 発注者別公共工事着工総工事費評価額(国)を建築物着工延べ面積(国)で割って算出した。

表 3.5 し尿処理場データ (2)

処理場名	1 敷 (㎡)	2 K (千円)	3 L	4 電 力 (Kwh/年)	5 重 油 (l/年)	6 し尿処理量 (kl/年)	7 汚泥発生量 (t/年)	8 汚泥焼却率 (%)	9 希釈倍数	10 直接放流	11 脱臭設備
立川・昭島	15,000	1,457,210	8,127			86,351	2,952	67	20	1	1
日野	21,000	799,371	3,861	1,437,480	37,125	43,416	2,108	0	15	1	1
湖南	75,000	3,254,148	11,286	3,861,000	564,300	140,356	6,691	69	13	1	1
清化園	21,000	1,566,611	8,880	1,332,000	49,333	101,506	11,840	0	8	1	1
西多摩	11,200	1,262,124	6,600	3,592,838	828,000	81,020	3,241	100	22.5	1	1
多摩川	7,193	760,731	2,920	2,591,500	604,805	41,847	312	かんそう	15	1	0
秋川	22,000	554,662	5,605	2,715,033	550,000	35,302	3,540	89	20	1	0

表 3.6 変数選択型回帰計算

変数名 手法	直	營	委	託	log K	log L	log (収集距離)	log (軽油)	log (宅地面積)
減増法					0.48286 (0.893)	0.48009 (0.684)			
減増法					0.53679 (0.977)	0.46222 (0.652)			
減増法					0.36464 (0.847)	0.44674 (1.002)			
減増法					0.41045 (0.944)	0.42311 (0.944)			
重回帰					0.52046 (1.081)	0.42929 (0.851)			
減増法							×		0.92993 (7.917)
減増法	-0.9063 (-4.100)		-0.69283 (-2.830)				y		0.60809 (2.878)

表 3.7 回帰分析の結果

変数名 手法	希釈倍率	直接放流	脱臭設備	log (LAND)	log K	log L	log (電力)
重回帰		- (-1.533)	+ (0.689)	- (-2.424)	+ (5.742)	+ (1.771)	
重回帰		+ (5.06)	- (-7.85)				
減増法		-0.10573 (-1.675)	×	-0.17634 (-3.16)	0.86059 (7.36)	0.30015 (2.167)	
減増法	×	×	×		0.61762 (3.67)	0.41582 (2.65)	×
重回帰							y
減増法	×	×	×				y
減増法	×	×	×				
減増法	y	0.1982 (1.809)					
減増法	y	×					

結果(し尿収集プロセス)

log (人口密度)	log (収集量)	log (し尿率)	グループ	サンプル数	F	R	D. F.
1.0489 (2.141)	y		5, 6, 7	15	11.482	0.8706	11
0.94709 (1.864)	y		5, 7	14	11.344	0.8791	10
1.08776 (2.455)	y		4, 5, 6, 7, 8	21	19.568	0.8806	17
1.01076 (2.234)	y		4, 5, 7, 8	20	19.599	0.8866	16
	y		4, 5, 6, 7, 8	21	20.589	0.8342	18
※		-1.37542 (-3.302)	5, 6, 7	15	56.598	0.9509	12
4.18594 (3.562)		※	4, 5	8	35.33	0.9896	3

(し尿処理プロセス)

log (重油)	log (処理量)	log (汚泥焼却)%	グループ	n	F	R
	y		1, 2	8	46.8	
y	- (0.292)	+ (9.54)	1	6	37.7	
	y		1, 2	8	70.86	0.9947
※	y	※	1, 2	8	36.885	0.9677
	-0.7955 (-1.05)	0.3017 (1.887)	1	6	×1.849	0.74302
	4.31196 (0.86)	※	1, 2	8	×0.74	0.3314
y	3.7317 (0.884)	※	1, 2	8	×0.782	0.3395
	-0.4004 (-2.322)	0.12299 (3.202)	1, 2	8	×5.382	0.8952
		log(汚泥発生率)		8	5.817	0.8363
	-0.49895 (-2.795)	-0.55952 (-2.812)				

を、また、し尿収集プロセス関数として、

$$(2) \quad R_{\frac{d}{\text{年}}}^{\frac{d}{\text{年}}} = 0.05092 (K_{\frac{d}{\text{年}}}^{\frac{d}{\text{年}}})^{0.410405} (L_{\frac{d}{\text{年}}}^{\frac{d}{\text{年}}})^{0.42311} (A_2^{\frac{d}{\text{年}}})^{1.01076}$$

$$(0.944) \quad (0.944) \quad (2.234)$$

$$R^2 = 0.78606$$

を採用する。ただし()内の数字は係数の t-値である。し尿収集にともなって必要となる軽油量は、収集自動車(2t車)の燃費を4.65 Km/lとして

$$(3) \quad E_{\frac{d}{\text{年}}}^{\frac{d}{\text{年}}} = 0.21505 B$$

となる。他方、収集距離(=B)は、

$$(4) \quad \log B = -5.21461 + 0.60809 \log A_1 + 4.18594 \log A_2 - 0.9063 \delta_1 - 0.69283 \delta_2$$

$$(-2.404) \quad (2.878) \quad (3.562) \quad (-4.100) \quad (-2.830)$$

となる。ここで、 $\delta_1 = 1$ はし尿収集が直営によって、 $\delta_2 = 1$ はし尿収集が委託によって運営されていることに対応している。(3)と(4)より、

$$(5) \quad E_{\frac{d}{\text{年}}}^{\frac{d}{\text{年}}} = 0.215 \delta (A_1^{\frac{d}{\text{年}}})^{-3.5779} (P^{\frac{d}{\text{年}}})^{4.186}$$

となって、し尿収集にともなって必要となる軽油量が、資本量、労働量との代替関係としてでなく宅地面積、人口の関数として推定された。

同様に、表3.7はし尿処理プロセスの変数選択型回帰計算結果を要約したものである。

表3.7の結果にもとづいて、し尿処理プロセス関数として、以下の関係式を採用する。

$$(6) \quad R_{\frac{d}{\text{年}}}^{\frac{d}{\text{年}}} = 0.6291 (K_{\frac{d}{\text{年}}}^{\frac{d}{\text{年}}})^{0.46801} (L_{\frac{d}{\text{年}}}^{\frac{d}{\text{年}}})^{0.57991}$$

$$(3.5187) \quad (4.3727)$$

$$R^2 = 0.93246$$

$$a_{\frac{d}{\text{年}}}^{\frac{d}{\text{年}}} = 0.21868 (R_{\frac{d}{\text{年}}}^{\frac{d}{\text{年}}}) \quad (7 \text{ 処理場の平均 (立川・昭島を除く)})$$

$$\mu_{\frac{d}{\text{年}}}^{\frac{d}{\text{年}}} = 38.7199 (R_{\frac{d}{\text{年}}}^{\frac{d}{\text{年}}}) \quad (7 \text{ 処理場の平均})$$

$$\mu_{\frac{d}{\text{年}}}^{\frac{d}{\text{年}}} = 6.9012 (R_{\frac{d}{\text{年}}}^{\frac{d}{\text{年}}}) \quad (\quad " \quad)$$

$$c_{\frac{d}{\text{年}}}^{\frac{d}{\text{年}}} = 0.0245 (R_{\frac{d}{\text{年}}}^{\frac{d}{\text{年}}}) \quad (8 \text{ 処理場の平均})$$

$$b_{\frac{d}{\text{年}}}^{\frac{d}{\text{年}}} = 15.44 (R_{\frac{d}{\text{年}}}^{\frac{d}{\text{年}}}) \quad (\quad " \quad)$$

ただし、処理量あたり土地用役量(= $a_{\frac{d}{\text{年}}}^{\frac{d}{\text{年}}}$)の算定については、現状の土地用役量に稼働率を掛けて調整したものにもとづいて計算した。また、データの層別については、グループ1はエネルギー関連データ(電力、重油)のある処理場、グループ2はエネルギー関連データのない処理場に対応している。

次に費用関数の推定であるが、プロセス関数がCobb-Douglas型の場合は、以下のようにして解析的に費用関数が導出される。今、Cobb-Douglas関数が資本量(K)と労働量(L)の関数の場合、費用関数は、

$$(7) \quad \text{minimize } lL + kK$$

Subject to

$$(8) \quad z - a L^\alpha K^\beta = 0$$

を解くことによって得られる。ここで、 l は労賃、 k は減価償却率である。(7)、(8)の解析解は、

$$(9) \quad c(z) = (l b_L + k b_K) z^{1/(\alpha+\beta)}$$

ただし、

$$b_L = a^{-1/(\alpha+\beta)} \left(\frac{\alpha k}{\beta l} \right)^{\beta/(\alpha+\beta)}$$

$$b_K = a^{-1/(\alpha+\beta)} \left(\frac{\alpha k}{\beta l} \right)^{-\alpha/(\alpha+\beta)}$$

となる。(9)式が最適解となる十分条件は、プロセス関数が準凹の場合、いかえれば、ヘンアン行列がプラスになることである。プロセス関数、(8)式、を $z = g(K, L)$ とすると、

$$\begin{vmatrix} g_{11} & g_{12} & g_1 \\ g_{21} & g_{22} & g_2 \\ g_1 & g_2 & 0 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \alpha(\alpha-1) & \alpha\beta & \alpha \\ \beta\alpha & \beta(\beta-1) & \beta \\ \alpha & \beta & 0 \end{vmatrix} \\ = \alpha\beta(\alpha+\beta) > 0$$

となる。すなわち、Cobb-Douglas 関数の弾性値 (α, β) が正の場合、いかえれば、等産出量曲線が原点に向って凸の場合には、費用関数は(9)式で与えられる。

図 3.1 はし尿収集に関する等産出量曲線を、図 3.2 はし尿処理に関する等産出量曲線をプロットしたものである。図から明らかなように、等産出量曲線は共に原点に対して凸である。それゆえ、(7)式の費用線は、等産出量曲線と唯一点で接し、その時の費用を(9)式が示している。

し尿収集に関する費用関数は、(2)式のプロセス関数中のパラメーター及び図 3.1 中に示されている費用単価 ($l = 16.62$ 千円/人・日、 $k = 0.20$) を(9)式に代入して求められる。なお、労働単価は以下の 4 市の平均値として算定した。また、し尿処理に関する費用関数は、(6)式のパラメーター及び図 3.2 に示

自治体名	収集人件費用(千円) (1)	人員×稼働日数 (2)	労働単価(千円/人日) (1)/(2)
府 中	46,804	10×296	15.81
小 金 井	19,532.5	40×298	16.39
小 平	35,509	8×272	16.32
国 分 寺	14,702.5	30×273	17.95

されている費用単価 ($l = 16.98$ 千円/人日、 $k = 0.05$) を(9)式に代入して求められる。ここで、労働単価は以下の 5 つの処理場の平均値として算定した。

し尿収集、し尿処理に関する平均費用は、現状値を費用関数に代入して求める。Appendix A は、し尿収集に関する収集費用、発生量および軽油消費量を対象地域に含まれる 20 地区(自治体)について求めたもの、及び、各地区の現状値(S52年時点の収集量)において平均費用、平均発生量および

セイサン カンスワ
 シヨウ シュウシュウ
 $Y = 0.05092 * K^{0.4104} * L^{0.4231} * A1^{1.01076}$
 ケース 1 (ムサシムラヤマ), $Y = 15180$ $A2 = 219.43$
 ケース 2 (アキカワシ), $Y = 15180$ $A1 = 109.67$
 $COST = 16.62 * L + 0.20 * K$ (¥1000)
 セツセン, ケース 1, $20191.3 = 16.62 * L + 0.20 * K$
 $L * = 616.693$ $K * = 49709.1$
 セツセン, ケース 2, $46819.9 = 16.62 * L + 0.20 * K$
 $L * = 1430$ $K * = 115266$ (費用増との接点)

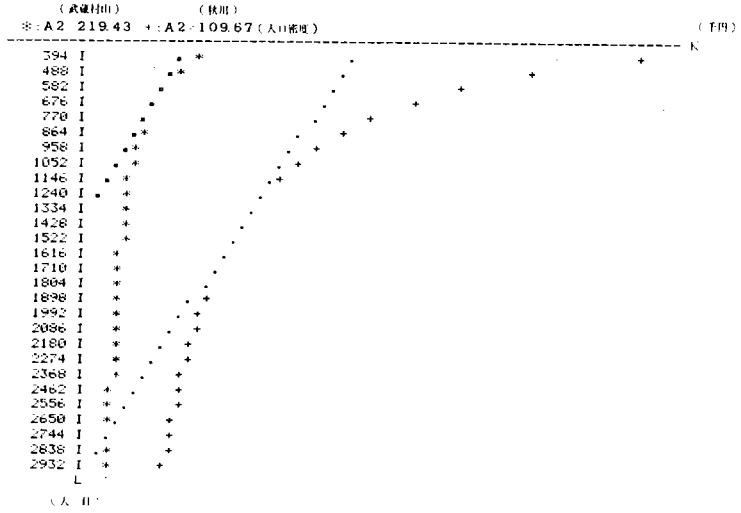


図 3.1 等生産量曲線 (し尿収集プロセス)

セイサン カンスワ
 シヨウ ショリ
 $Y = 0.6291 * K^{0.4680} * L^{0.5799}$
 $COST = 16.98 * L + 0.05 * K$
 セツセン, $31773.7 = 16.98 * L + 0.05 * K$
 $L * = 10355.3$ $K * = 0.283808E 7$

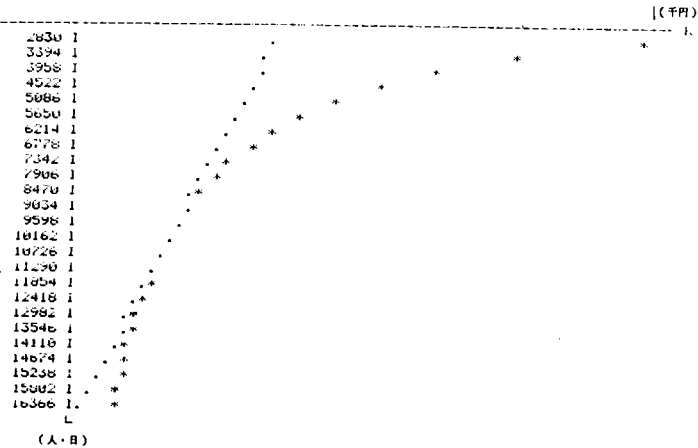


図 3.2 等生産量曲線 (し尿処理)

処 理 場 名	人 件 費 用 (千円)	人 員 × 稼 働 日 数	労 働 単 価 (千円/人日)
立 川 ・ 昭 島	2 8, 9 4 8 1 0 8, 9 9 5	2 7 × 3 0 1	1 6. 9 7
湖 南	5 4, 1 8 3 1 1 7, 7 6 8	3 2 × 2 9 7	1 8. 0 9
清 化 園	3 9, 1 8 3 1 3 3, 5 8 5	3 0 × 2 9 6	1 9. 4 6
西 多 摩	1 0 1, 3 4 0	2 2 × 3 0 0	1 5. 3 5
秋 川	1 5, 2 8 3 6 8, 9 1 7	1 9 × 2 9 5	1 5. 0 2

平均消費量を求めたものを示している。同様に、Appendix B は、対象地域に含まれる 8 ケ所のし尿処理場の現状値にもとづいて平均費用を求めたものを示している。なお、表 3. 7. 1～表 3. 7. 4 は以上のデータを要約したものである。

し尿発生量に関する係数値、 $a_{ij}^{s_i}$ は、各地区の宅地面積 (A_i^s) 及び汲取り尿率 (A_j^s) を(1)式に代入して $R_{ij}^{s_i}$ を求め、この値を地区 i のし尿収集人口 (P_i^s) で割って得られる値 (1 人あたり平均発生量) を用いることにする。

3. 2 ごみ処分プロセス

ごみ処分プロセスは、大別して、ごみ発生プロセス、ごみ収集プロセス、ごみ処理プロセスから成っている。表 3. 8 はごみ収集に関するデータをまとめたものである。各自治体ごとに、収集自動車に関するデータ (ごみ種別、車種別車両台数)、労働量に関するデータ (職員数、作業日数)、ごみ種別収集距離、収集量等に関するデータを示してある。表 3. 9 は、資本量 (車種別車両台数 × 車種別平均購入価格)、 $K_i^{d_i}$ 、労働量 (職員数 × 作業日数)、 $L_i^{d_i}$ 、燃料使用量 (収集距離 × 燃費)、 $E_i^{d_i}$ 、収集量、 $R_i^{d_i}$ 、可燃ごみ率、 $r_{ij}^{d_i}$ 、人口密度、 A_j^d 、宅地面積、 A_i^d 等、1. 4. 2 節の発生及び収集プロセス関数推定に必要なデータをまとめたものである。

他方、表 3. 1 0 はごみ焼却場に関するデータの一部を示している。各焼却場の施設ごとに、資本量関連データ (建設年度、事業費、稼働率、資本サービス量) と労働量データが列挙されている。ただし、資本サービス量は表 3. 4. 1 を用いて事業費を昭和 5 2 年価格に換算したものに稼働率をかけて算出された。表 3. 1 1 は土地用役量、 $A_{M_i}^{s_i}$ 、施設別資本量、労働量、 $L_i^{s_i}$ 、エネルギー量 (使用電力量、 $E_{E_i}^{s_i}$ 、重油量、 $E_{O_i}^{s_i}$)、焼却量、 $R_{S_i}^{s_i}$ 、残灰量、 $S_{S_i}^{s_i}$ 、廃水関連データ (処理水量、 $W_{S_i}^{s_i}$ 、処理水質、 $B_{S_i}^{s_i}$ 、放流地点) 等、1. 4. 2 節のごみ処理プロセス関数推定に必要なデータが焼却場ごとにまとめられている。表 3. 1 2 は、表 3. 1 0、表 3. 1 1 のデータを要約したものである。ここで資本量データ、 $K_i^{s_i}$ は、表 3. 1 1 の資本サービ

表 3.7.1 平均し尿収集費用 (e_{n+1}^i)

i	自治体名	A_2^i 人口密度(人/ha)	z^i 収集量(kl/年)	e_{n+1}^i (千円/kl)
1	檜原村	128.72	1,957	1.7079
2	五日市	102.06	7,990	2.9891
3	日の出	80.03	5,686	3.6984
4	秋川	109.67	17,577	3.2152
5	青梅	142.11	50,067	2.9138
6	瑞穂	103.17	10,863	3.0923
7	羽村	165.61	26,752	2.0568
8	福生	189.82	36,710	1.8623
9	昭島	209.23	42,615	1.6929
10	武蔵村山	219.43	15,180	1.2857
11	立川	189.73	43,736	1.9286
12	国立	180.26	27,306	1.8587
13	八王子	160.87	122,115	2.9247
14	日野	192.27	28,795	1.7742
15	水戸	201.52	59,041	1.9273
16	国分寺	170.74	34,971	2.1698
17	小金井	182.66	22,374	1.7862
18	府中	195.39	39,229	1.8872
19	多摩	158.21	14,589	2.0044
20	稲城	177.19	19,171	1.8281

表 3.7.2 平均し尿発生量 (a_{n+1}^i)

i	自治体名	A_1^i 宅地面積 (ha)	A_3^i し尿率 (%)	a_{n+1}^i (kl/人・年)
1	檜原村	35.41	100	.5274
2	五日市	191.43	100	.5503
3	日の出	151.80	89	.7302
4	秋川	375.78	94	.4450
5	青梅	646.45	71	.4957
6	瑞穂	209.16	100	.5396
7	羽村	229.50	57	.6101
8	福生	251.54	53	.5985
9	昭島	411.29	66	.3782
10	武蔵村山	251.86	77	.3010
11	立川	739.19	71	.6711
12	国立	352.03	97	.3394
13	八王子	2159.54	84	.4690
14	日野	711.92	66	.4580
15	小平	757.49	79	.3364
16	国分寺	513.19	65	.4964
17	小金井	542.52	84	.6077
18	府中	924.21	77	.5376
19	多摩	513.20	64	1.6090
20	稲城	255.51	67	.4617

表 3.7.3 平均軽油消費量（し尿収集）

i	自治体名	A _i ¹ 宅地面積(ha)	P ¹ 人口	μ _{o,n} ¹ (l/人)	
				直	委託
1	檜原村	35.41	4,558	21.207×10 ⁻²	3.474×10 ⁻¹
2	五日市	191.43	19,537	52.101×10 ⁻³	8.534×10 ⁻²
3	日の出	151.80	12,148	2.632×10 ⁻²	0.431×10 ⁻¹
4	秋川	375.78	41,211	50.385×10 ⁻³	8.253×10 ⁻²
5	青梅	646.45	91,866	92.993×10 ⁻³	15.232×10 ⁻²
6	瑞穂	209.16	21,580	52.118×10 ⁻³	8.537×10 ⁻²
7	羽村	229.50	38,008	22.725×10 ⁻²	3.722×10 ⁻¹
8	福生	251.54	47,747	33.888×10 ⁻²	5.551×10 ⁻¹
9	昭島	411.29	86,055	37.998×10 ⁻²	6.224×10 ⁻¹
10	武蔵村山	251.89	55,265	5.375×10 ⁻¹	0.880
11	立川	739.19	140,246	22.135×10 ⁻²	3.626×10 ⁻¹
12	国立	352.03	63,456	25.195×10 ⁻²	4.127×10 ⁻¹
13	八王子	2159.54	347,404	8.569×10 ⁻²	1.404×10 ⁻¹
14	日野	711.92	136,878	23.423×10 ⁻²	3.837×10 ⁻¹
15	小平	757.49	152,646	26.639×10 ⁻²	4.363×10 ⁻¹
16	国分寺	513.19	87,621	18.288×10 ⁻²	2.995×10 ⁻¹
17	小金井	542.52	99,096	22.209×10 ⁻²	3.638×10 ⁻¹
18	府中	924.21	180,580	22.291×10 ⁻²	3.651×10 ⁻¹
19	多摩	513.20	81,195	14.329×10 ⁻²	2.347×10 ⁻¹
20	稲城	255.51	45,275	27.085×10 ⁻²	4.436×10 ⁻¹

表 3.7.4 平均費用（し尿処理） e_n¹¹

i	自治体名	処理場名	z ¹ (kl/年)	e _n ¹¹ (千円/kl)
4	秋川		35,302	2.411
7	羽村	西多摩	81,020	2.321
9	昭島	立川・昭島	86,351	2.314
10	武蔵村山	湖南	140,356	2.263
12	国立	清化園	101,506	2.297
13	八王子		122,115	2.278
14	日野		43,416	2.388
20	稲城	多摩川	41,847	2.392

表 3.9 ．ごみ収集データ (2)

自治体名	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	収集車 (台数)
	K (千円)	L (人日/年)	収集距離 (Km/年)	軽油 (l/年)	宅地(工場 除く)(ha)	人口密度 (人/ha)	収集量 (t/年)	直営	委託	可燃ごみ率 (%)	
八王子	405,030	98,901	1,147,980	319,580			79,830	1	1	82	98
立川											
青梅	66,680	13,068	472,500	98,175			24,376	1	1	71	21
府中	243,410	29,003					50,197	1	1	84	57
昭島	58,611	14,950	161,114	35,618			23,415	1	1	82	21
小金井	84,770	17,342	202,519	47,580			28,624	1	0	75	28
小平	73,900	15,776					35,422	1	1	82	20
日野	113,400	15,150	412,500	112,214			32,625	0	1	84	25
国分寺	33,240	12,285					21,748	1	1	83	18
国立	32,395	9,568	115,115	26,496			12,597*	1	0	79	11
福山	39,580	8,372					13,889	1	1	77	11
武蔵村山	16,720	4,784					12,479	0	1	82	8
多摩	37,200	7,416	344,448	83,401			17,757	0	1	92	12
稲城	25,200	4,912	184,200	44,600			12,765	0	1	75	8
秋川	18,900	3,576	75,735	18,338			8,836	0	1	72	6
羽村	19,200	3,576					9,482	1	1	60	8
瑞穂	19,380	3,887					3,872	1	1	76	7
日の出	6,700	1,300	31,200	7,554			1,943	0	1	82	2
五日市	10,720	3,887					3,769	0	1	74	4
奥多摩	9,700	2,600	31,370	5,907			2,162	1	0	88	5

* 可燃ごみ。

表 3.10 ごみ焼却場に関するデータ (1)

処理場名	敷地 (㎡)	焼却K (千円)	廃水廃ガスK (千円)	粗大K (千円)	焼却L (人・日)	粗大L (人・日)	電力 KwH/年	重油 (t/年)	焼却量 (t/年)	残灰量 (t/年)	ピット汚水	灰汚水	灰汚水	廃処理量	水処理量	処理水質	放流地点	集じん (g/Nm³)
八王子	北野	981,630	51,765	88,883	26,726	1,105	1,761,160	40,050	74,644	8,592	希釈	希釈	15 t/日	BOD 96.4 PPM	下水処理場	0.1		
	戸吹						2,715,783	304,942		(11.5%)	L尿処理場	釈	73.8 t/日	BOD 4.0 PPM	大腸川	0.07		
立川	5,000	410,008			7,584		1,037,729	58,300	34,705	8,437	L尿処理場		?	?	L尿処理場	0.1		
二枚橋	府中		243,548		3,887		0	0			0	0						
	二枚橋	2,041,711		6,497	18,774		4,152,735	161,300	110,231	14,328	凝沈+活性汚泥+ろ過	再循環	焼却施設再利 40m³/日	BOD 20 PPM以下		0.2		
昭島	11,413	377,910		178,154	2,840	225	721,443	8,493	20,666	3,001	汚水処理場	再循環	50-60 t/日	BOD 0.8 PPM	汚水処理場	0.2		
日野	10,000	416,483		2,996	6,279	1,428	974,782	8,080	29,184	4,595	L尿処理場	中和+汚泥+砂ろか+蓄積	50-70 t/日	BOD 20 PPM以下	L尿処理場	0.02		
国分寺	3,000	234,919	94,599		25,662		556,660	7,450	16,506	3,991	完全循環		20 t/日	公下水道 微流基礎以下		0.1		
	7,000	274,294		393	4,335		143,613	24,024	12,773	1,604	清化園	重金属処理 →放流	5 t/日	?	多摩川	0.01		
西多摩	426			7,342		897	0	0										
西多摩	6,800	803,584			9,568		1,832,987	4,954	38,631	5,795	再利	再利	20 t/日	?	?		0.1	
	36,639	1,772,730		9,351	13,860	1,545	3,910,104	11,474	49,166	2,388	凝沈+活性汚泥		250 t/日	BOD 1.2 PPM	乞田川→多摩川	0.05		
奥多摩	3,463	72,390		13,920	3,120		11,116	31,950	1,725	253	凝沈+急過+活着		2,056 t/年	BOD 1.0 PPM以下		0.7		
多摩川	12,719	928,526			4,441		1,354,377	26,458	25,196	3,032	凝沈+活性汚泥		19,160 t/年	BOD 2.0 PPM以下	多摩川	0.1		
小平・村山・大和	20,000	1,472,506		557,742	9,108		2,459,464	161,955	53,936	5,934	炉内焼却	廃水処理	?	BOD 2.0 PPM以下	?	0.2		

表 3.1.1 資本データ (ごみ処理場)

処理場名	型式	能力	建設年度 (年度)	総事業費 (千円)	物価 換算 (千円)	稼動率	Capital services (千円)	稼動日数 (日)	労働者数 (人)	公害防止 施設
八王子	固定式パッチ	38 t/日	37	43,795	165,107	0.389	64,227	280		廃ガス
	粗大ごみ	75 t/5H	47	107,000	230,864	0.385	88,883	221	5	
戸吹	全連統	240 t/日	49	963,926	1,399,521	0.474	663,373	322	83	廃水
立川	全連統	180 t/日	43	213,890	745,470	0.550	410,008	316	24	廃ガス、廃水
二枚橋	全連統	300 t/日	42	402,000	1,435,140	0.610	2,041,711	}	}	
昭島	粗大ごみ	300m ² /5H (30 t/5H)	46	16,632	42,744	0.152	6,497	}	}	
	全	75 t/日	46	128,000	328,960	0.488	160,532	284	10	
日野	全連統	120 t/日	44	187,400	549,082	0.415	227,869	299		
	粗大ごみ	200m ² /5H (20 t/5H)	46	23,000	59,110	0.050	2,996	238	6	

国分寺	准連統	120 t/日	41	112,000	425,578	0.552	234,919	273	94	完全循環式
	廃水处理		54	29,300	29,300					
	電気集じん機		47	43,796	94,599					
国立	全連統	90 t/日	49	384,489	557,509	0.492	274,294	289	15	
	粗大ごみ	300m ² /日 (30 t/日)	49	20,830	30,204	0.013	393			
西多摩	粗大ごみ	15 t/5H	49	8,000	11,600	0.633	7,342	299	3	
	全連統	150 t/日	47	432,090	933,314	0.861	803,584	299	32	
多摩	全連統	150×2 t/日	47	1,702,715	3,677,864	0.482	1,772,730	330	42	
	粗大ごみ	45 t/5H	47	19,500	42,120	0.222	9,351	309	5	
奥多摩	機械化パッチ	6 t/日	48	38,100	72,390	1.267	72,390	260	12	
	小規模破砕	7 t/5H	49	9,600	13,920	1.000	13,920	150		
	廃水处理		51	24,250	29,964			257		
多摩川	全連統	105 t/日	48	305,445	580,346	0.644	373,743	170		
	粗大ごみ	105 t/日	51	694,729	861,464	0.644	554,783	202	22	
	全連統	30 t/5H	52	220,000						
小平・村山・大和	全連統	210 t/日	46	267,000	686,190	0.462	317,020	176		
	粗大ごみ	150 t/日	49	819,000	1,187,550	0.973	1,155,486	253	36	
	廃水处理	50m ² /日	49	128,000	185,600	1.000	185,600			
	粗大ごみ	75 t/5H	50	549,375	708,694	0.787	557,742	202		

表 3.1.2 ごみ処理場に関するデータ (2)

処理場名	1	2	3	4	5	6	7	8	9		10		11
	敷地 (m^2)	K (千円)	L	電力 (Kwh/年)	重油 (t /年)	焼却量 (t /年)	残灰量 (t /年)	残灰率 (%)	再 利 用	下水 し 尿 処 理 場	・	直接 放 流	
八王子	31,234	1,122,278	27,831	4,476,943	344,992	74,644	8,592	11.5	0	1 (北野)		1 (戸吹)	
立川	5,000	410,008	7,584	1,037,729	58,300	34,705	8,437	24	0	1		0	
二枚橋	24,000	2,291,756	22,661	4,152,735	161,300	110,231	14,328	13	1	0		0	
昭島	11,413	556,064	3,065	721,443	8,493	20,666	3,001	14.5	1	1		0	
日野	10,000	419,479	7,707	974,782	8,080	29,184	4,595	15.7	0	1		0	
国分寺	3,000	329,518	25,662	556,660	7,450	16,506	3,991	24.2	1	0		0	
国立	7,000	274,687	4,335	143,613	24,024	12,773	1,604	12.6	0	1		1	
西多摩	7,226	810,926	10,465	1,832,987	4,954	38,631	5,795	15	1	0		0	
多摩	36,639	1,782,081	15,405	3,910,104	11,474	49,166	2,388	4.9	0	0		1	
奥多摩	3,463	86,310	3,120	11,116	31,950	1,725	253	14.7	0	0		1	
多摩川	12,719	928,526	4,444	1,354,377	26,458	25,196	3,032	12	0	0		1	
小平・村山・大和	20,000	2,215,848	9,108	2,459,464	161,955	53,936	5,932	11	1	0		1	

ス量を全施設について合計したものである。

表 3.1 3 は、ごみ発生プロセス、ごみ収集に関する変数選択型回帰計算結果を要約したものである。表中、印のふられている変数は変数選択の過程で前もって指定せられた F 値 (2.0) よりも低い値をとるために説明式から除外された変数である。また、データの層別に対応するグループの内容については以下の通りである。グループ 1 = ごみ発生量に占める収集量の割合が 9 割以上でかつ軽油データのある自治体、グループ 2 = 収集率が 9 割以下であるが軽油データのある自治体、グループ 3 = 収集率は 9 割以上であるが軽油データのない自治体。

表 3.13 の結果より、ごみ発生プロセス関数として、

$$(10) \quad R_c^{g_i} = 0.28176 (A_1^i)^{0.04546} (A_2^i)^{1.42905} (r_{cc}^i)^{-0.60365} \\ (20.787) \quad (11.109) \quad (-1.743) \quad R^2 = 0.984$$

が、また、ごみ収集プロセス関数として、収集が自治体直営でなされているものについては、

$$(11) \quad R_c^{g_i} = 0.02807 K^{0.40912} L^{0.34733} A_2^{1.05195} \\ (1.769) \quad (1.385) \quad (3.677) \quad R^2 = 0.945$$

が、収集が委託でなされているものについては、

$$(12) \quad R_c^{g_i} = 0.04213 K^{0.40912} L^{0.34733} A_1^{1.05195}$$

が得られる。ただし、() 内の数字は係数の t 値である。(10) 式の特徴としては、人口密度が増加すると共に、ごみ (可燃 + 不燃ごみ) の発生量は比例以上に増加し、可燃ごみの比率が増えると共にごみの発生量は減少するということである。また、(11)、(12) より、委託の方が直営よりもごみ収集の効率がよいことを示しているが、自治体によっては、収集効率のよい地区を委託にまわし、効率のわるい地区を直営でまかなうという方式をとっているので、同一の条件で、委託の方が効率がよいかどうかは、わからない。これらのことを考慮して、ここでは収集プロセス関数として、(11) 式を採用する。ごみ収集にともなって必要となる軽油量は、2 つのスラップで推定された。

$$(13) \quad E_c^{g_i} = 0.13274 (B^i)^{1.04772} \\ (27.50) \quad R^2 = 0.991$$

$$(14) \quad B^i = 3.09058 (A_1^i)^{1.08309} (A_2^i)^{0.88190} \\ (6.736) \quad (1.759) \quad R^2 = 0.895$$

ここで B^i は地区 i におけるごみ収集車の延走行距離 (Km) である。軽油量は、ほぼ、延走行距離と比例的な関係にある。ここでは、(14) 式を(13)式に代入して得られる。

$$(15) \quad E_c^{g_i} = 0.4329 A_1^{1.1348} A_2^{0.9240}$$

によって、軽油量が規定されるとする。

同様に、表 3.1 4 はごみ処理プロセスに関する変数選択型回帰計算結果を要約したものである。なお、データの層別に対応するグループ 1 は、日野、西多摩を除く全処理場に、グループ 2 は日野、西多摩処理場の 2 つである。

表 3.1 3 変数選択型回帰計算

変数名 手法	直 営	委 託	log K	log L	log (収集キヨリ)	log (軽 油)	log (宅地面積)
減増法	×	×	0.44233 (2.150)	0.25907 (1.147)			
減増法	×	0.17633 (2.286)	0.40912 (1.769)	0.34733 (1.385)			
減増法					1.04772 (27.50)	y	×
減増法							1.04546 (20.787)
減増法	×	×			y		1.08309 (6.736)

表 3.1 4 変数選択型回帰計算

変数名 手法	再 利 用	下 水 し尿処理場	直接放流	log (Land)	log K	log L	log (電 力)
重回帰	-	-	+				
	(-0.963)	(-0.40)	(0.017)				
重回帰	+	-	-				y
	(0.18)	(-0.918)	(-1.308)				
減増法	-0.0997 (-6.924)	0.30263 (18.71)	×	-0.40138 (-5.503)	1.35444 (29.66)	0.26157 (13.78)	×
減増法	×	0.3179 (4.401)	0.12134 (1.848)	-0.43882 (-2.982)	0.9127 (3.583)	0.27157 (2.981)	0.23798 (1.816)
減増法	×	0.26046 (4.6778)	×		1.0556 (11.3418)	0.29536 (3.01179)	
減増法	×	0.27516 (4.05)	×		0.9600 (10.21)	0.3435 (3.11)	
				log (集じん機濃度)			
減増法	-0.80817 (-2.352)			0.94404 (2.620)			
減増法	-0.78207 (-2.369)			0.88405 (2.625)			
減増法	×	-0.26127 (-2.262)	-0.38837 (-2.747)	×			y
減増法	×	×	×	×			y
減増法	-0.08854 (-1.808)	0.22571 (5.584)	×	×	1.14154 (17.144)	0.24976 (3.841)	×

結果(ごみ収集プロセス)

log (人口密度)	log (収集量)	log (可燃ごみ%)	グループ	n	F	R	D.F.
0.9952 (3.554)	y		1, 3	17	56.592	0.9638	13
1.05195 (3.677)	y		1, 2, 3	19	59.729	0.9719	14
※	※	※	1	9	756.25	0.9954	7
1.42905 (11.109)	y	-0.60365 (-1.743)	1, 3	17	271.505	0.9921	13
0.88190 (1.759)		※	1, 2	11	34.233	0.9462	8

結果(ごみ処理プロセス)

log (重油)	log (焼却量)	log (残灰(%))	グループ	n	F	R	D.F.
y	+	+	1, 2	12	0.272	0.4296	
	(0.075)	(0.195)					
	1.47029 (11.758)	- (-1.465)	1, 2	12	37.97	0.98456	6
※	y	0.19975 (2.48)	1	10	1215.28	0.9998	3
※	y	※	1, 2	12	81.88	0.9949	5
	y	0.485976 (2.55348)	1, 2	12	70.813	0.98787	7
	y		1, 2	12	59.58	0.9783	8
y	0.23412 (0.647)	※	1, 2	12	3.212	0.7392	8
y	※	※	1, 2	12	4.927*	0.7229	9
	1.43337 (13.641)	-0.77916 (-2.366)	1	10	69.68	0.9912	5
	1.55152 (13.447)		1, 2	12	180.82	0.9734	10
-0.06086 (-1.985)	y	0.63542 (4.354)	1, 2	12	102.423	0.996	5

```

***セイサン カンスウ***
***ゴミ シュウシュウ***
Y=0.02807*K ^
Y=0.02807*K^0.40912*L^0.34733*A 2^1.05195
  ケース 1(フチュウ), Y=79830 A2=924.21HA
  ケース 2(ハチオウジ), Y=79830 A2=2159.54HA
COST=15.76*L+0.20*K(¥1000)
セツセン, ケース 1, 75675.1=15.76*L+0.20*K
      L*= 2204.74 K*= 204641
セツセン, ケース 2, 23247.9=15.76*L+0.20*K
      L*= 677.312 K*= 62867.2

```

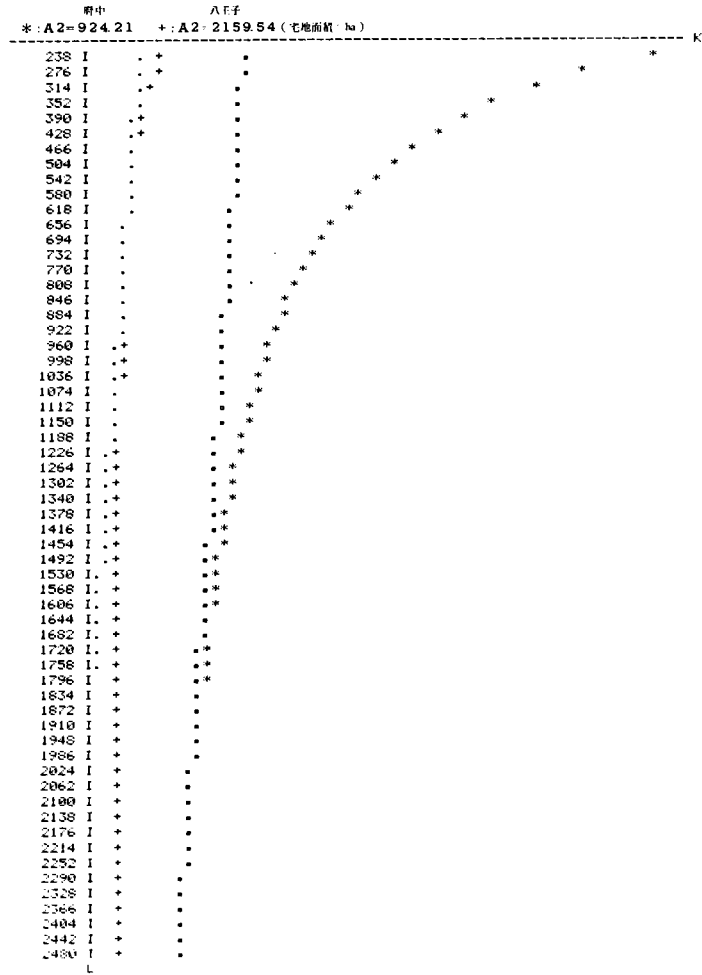


図 3.3 等生産量曲線(ごみ収集プロセス)

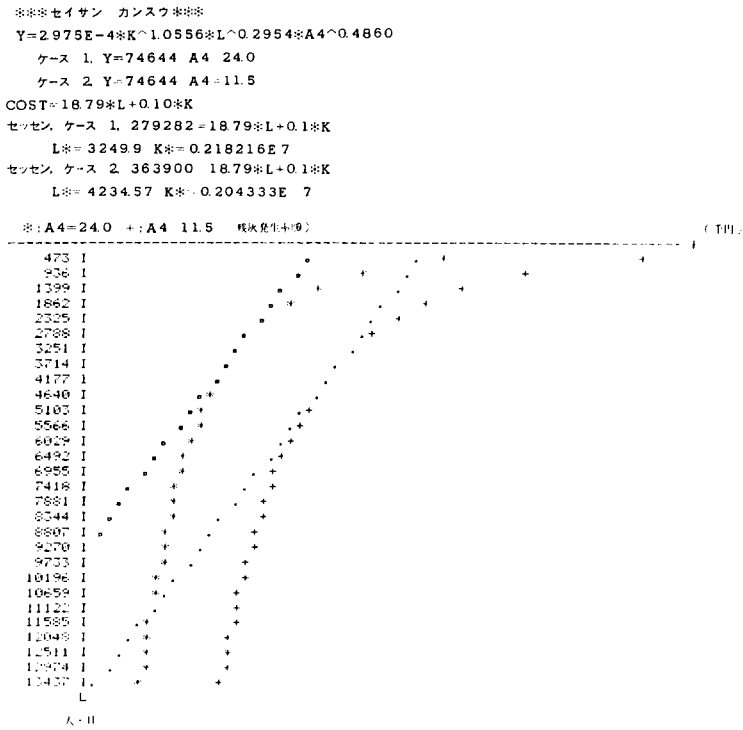


図 3.4 等生産量曲線(ごみ処理プロセス)

表 3.1 4 の結果にもとづいて、ごみ処理プロセス関数として、以下の関係式が得られる。まず、廃水を再利用ないし自己処理+直接放流している処理プロセスについて、

$$(16) \quad R_c^{II} = 2.975 \times 10^{-4} K^{1.0556} L^{0.2954} \gamma_i^{0.4860} \quad R^2 = 0.976$$

(11.3418) (3.01179) (2.55348)

が、廃水を下水ないし尿処理場に送水している処理プロセスについて、

$$(17) \quad R_c^{II} = 5.42 \times 10^{-4} K^{1.0556} L^{0.2954} \gamma_i^{0.4860}$$

という関係式が得られる。また、

$$(18) \quad E_{Ac}^{II} = 0.11896 (R_c^{II})^{1.55152} \quad R^2 = 0.948$$

(13.447)

$$a_{Mc}^{II} = 0.188149 \quad (12 \text{ 処理場の平均})$$

$$\mu_{Bc}^{II} = 2.81 \quad (12 \quad \text{ " } \quad)$$

$$b_{cc}^{II} = 0.6317 \quad (10 \quad \text{ " } \quad)$$

a_{Mc}^{II} の算定は、土地用役量を稼働率調整したものにもとづいている。

図 3.3、図 3.4 は、それぞれ、ごみ収集、ごみ処理に関する等産出量曲線及び費用線を図示したものである。ただし(1)式においては、人口密度 (A_2^I) が、(16)式においては残灰率 (γ_i) がパラメーターになっているので、図 3.3、図 3.4 においては、 $A_2 = 924.21$ 、 2159.54 、 $\gamma_i = 24.0$ 、 11.5 という 2 つの場合についてプロットされている。

ごみ収集に関する費用関数及び平均費用は、(1)式のプロセス関数中のパラメータ及び費用単価 ($1 = 15.76$ 千円/人日、 $k = 0.20$) 及び各地区の A_2^I を 1.6.1 節の(16)式に代入して求められる。ここで、労働単価は以下の 6 市の平均値として求めた。Appendix C は、各地区ごとの収集費用、発生量および軽油消費量と現状値 (S52 年時点の収集量) における平均費用、平均発生量および平均軽油消費量を求めたものを示している。同様に、ごみ処理に関する費用関数及び平均費用は(16)式のパラメーター及び費用

自治体名	収集人件費用(千円)	人員×収集日数	労働単価(千円/人日)
青 梅	90,537	20×300	15.09
府 中	379,114	81×299	15.65
小 金 井	283,222	58×299	16.33
福 生	27,598	6×299	15.38
羽 村	48,420	10×298	16.25
小 平	155,354	36×272	15.87

単価($l = 18.79$ 千円/人・日、 $k = 0.10$)及び対象地域に含まれる11ヶ所の焼却場における r_i を1.6.1節の(9)式に代入して求められる。ここで、労働単価は以下の4つの処理場の平均値として求めた。Appendix Dは、各処理場ごとの処理費用及び現状値(S52年時点の年間焼却量)において平均費用

処理場名	直営人件費用(千円)	人員×稼働日数	労働単価(千円/人日)
二 枚 橋	55,440 20,451	63×298	13.85
西 多 摩	127,758	32×299	13.35
多 摩 川	96,210	22×202	21.65
小平・村山・大和	21,363 131,799	23×253	26.32

を求めたものを示している。

ごみ発生量に関する係数値、 a_i^{g1} 、は各地区の宅地面積(A_1^i)、人口密度(A_2^i)、可燃ごみ率(r_{gc}^i)を(10)式に代入して R_i^{g1} を求め、この値を地区 i の人口(P^i)で割って得られる値(1人あたり平均発生量)を用いることにする。以上の結果を要約すると、表3.15～表3.18のようになる。

不燃ごみ及び残灰の輸送に係る平均費用($e_{..}$)及び平均軽油消費量($\mu_{..}$)は昭島市のデータにもとづいて以下のように推定した。

	残灰等輸送量	延 距 離	輸送用自動車	資本量(K)	軽油消費量	労働量(L)
昭 島 市	300 / t	Km / 年 27,437	ダンプ2t車 ×3台	千円 561.9	ℓ 5,167	人 日 3×300

$$e_{..} = \left(\frac{561.9}{5} + 15.76 \times 900 \right) \text{千円} / 3,001 \text{t} = 4,764 \text{千円} / \text{t}$$

$$\mu_{..} = 5,167 \text{ℓ} / 3,001 \text{t} = 1,722 \text{ℓ} / \text{t}$$

3.3 下水処分

下水処理プロセスは、下水処理プロセスと下水管渠に大別することができる。表3.19、表3.20は下水処理場に関するデータをまとめたものである。対象地域としている多摩地域には現在、大小8つの下水処理場があるがデータの入手が比較的容易であり、かつ欠損データのない5処理場を選出し、表3.19に示した。下水処理関連データとしては、表3.19に示すように処理能力、処理実績(R_{ww}^i)、汚泥、汚泥ケーキの発生量(S_{ww}^i)、電力(E_{Aww}^i)、重油使用量(E_{Bww}^i)および敷地面積(A_{ww}^i)を資本関連データと

表3.1.5 平均ごみ収集費用 (e_{c1}^i)

i	自治体名	人口密度 A_2^i	収集量 (t/年) Z^i	直営(千円/t) e_{c1}^i
1	檜原村	128.72	124	1.833
2	五日市	102.06	3,769	7.597
3	日の出	80.03	1,943	8.607
4	秋川	109.67	8,836	9.043
5	青梅	142.11	24,376	8.744
6	瑞穂	103.17	3,872	7.549
7	羽村	165.61	9,482	5.215
8	福生	189.82	13,889	4.878
9	昭島	209.23	23,415	5.040
10	武蔵村山	219.43	12,479	3.852
11	立川	189.73	42,050	6.973
12	国立	180.26	15,905	5.475
13	八王子	160.87	79,830	10.782
14	日野	192.27	32,625	6.308
15	小平	201.52	35,422	6.068
16	国分寺	170.74	21,748	6.530
17	小金井	182.66	28,624	6.495
18	府中	195.39	50,197	7.086
19	多摩	158.21	17,757	6.801
20	稲城	177.19	12,765	5.224

表3.1.6 平均ごみ発生量 (a_1^i)

i	自治体名	宅地面積(ha) A_1^i	可燃ごみ率(%) A_3^i	P^i	a_1^i (t/人・年)
1	檜原村	35.41	88	4,558	0.179
2	五日市	191.43	74	19,537	0.192
3	日の出	151.80	82	12,148	0.163
4	秋川	375.78	72	41,211	0.211
5	青梅	646.45	71	91,866	0.242
6	瑞穂	209.16	76	21,580	0.192
7	羽村	229.50	60	38,008	0.271
8	福生	251.54	77	47,747	0.251
9	昭島	411.29	82	86,055	0.256
10	武蔵村山	251.86	82	55,265	0.256
11	立川	739.19	75	140,246	0.265
12	国立	352.03	79	63,456	0.245
13	八王子	2,159.54	82	347,404	0.249
14	日野	711.92	84	136,878	0.252
15	小平	757.49	82	152,646	0.261
16	国分寺	513.19	83	87,621	0.234
17	小金井	542.52	75	99,096	0.258
18	府中	924.21	84	180,580	0.256
19	多摩	513.20	92	81,195	0.213
20	稲城	255.51	75	45,275	0.247

表 3.1.7 平均軽油量(ごみ収集) (μ_{cc}^i)

i	自治体名	A_i^1 宅地面積(ha)	P_i^1 人口	μ_{cc}^i (l/人)
1	檜原村	35.41	4,558	0.484
2	五日市	191.43	19,537	0.619
3	日の出	151.80	12,148	0.610
4	秋川	375.78	41,211	0.674
5	青梅	646.45	91,866	0.711
6	瑞穂	209.16	21,580	0.625
7	羽村	229.50	38,008	0.611
8	福生	251.54	47,747	0.612
9	昭島	411.29	86,055	0.650
10	武蔵村山	251.86	55,265	0.605
11	立川	739.19	140,246	0.707
12	国立	352.03	63,456	0.644
13	八王子	2,159.54	347,404	0.828
14	日野	711.92	136,878	0.704
15	小平	757.49	152,646	0.708
16	国分寺	513.19	87,621	0.679
17	小金井	542.52	99,096	0.681
18	府中	924.21	180,580	0.729
19	多摩	513.20	81,195	0.684
20	稲城	255.51	45,275	0.617

表 3.1.8 平均費用、平均電力使用量(ごみ処理)

i	自治体名	処理場名	z_i^1 処理量(t/年)	A_i^1 残灰率(%)	e_{AC}^i (千円/t)	μ_{AC}^i (Kwh/t)
2	五日市		10,756	10	8.479	19.904
7	羽村	西多摩	38,631	15	5.238	40.289
9	昭島		20,666	14.5	6.286	28.533
11	立川		34,705	24	4.559	37.977
12	国立		12,773	12.6	7.486	21.883
13	八王子		74,644	11.5	4.852	57.937
14	日野		29,184	15.7	5.543	34.516
15	小平	小平・村山 大和	53,936	11	5.391	48.431
16	国分寺		16,506	24.2	5.508	25.207
19	多摩		49,166	4.9	7.340	46.020
20	稲城	多摩川	25,196	12	6.376	31.829
17	小金井	二枚橋	110,231	13	4.215	71.831

表 3.1 9 資本データ (下水処理場)

処理場名	処理型式	計画処理人口 (人)	処理能力 (t/日)	建設年度 (年度)	総事業費 (千円)	物価換算済 (千円)	稼動率	Capital services (千円)	稼動日数 (日)	労働者数 (人)
北多摩1号	流域下水道、ステップエアレーション法	616,000	136,000	48	476,342	902,789	0.435	392,575	365	13
南多摩	"	550,000	52,800	46	334,000	858,693	0.321	276,025	365	13
多摩川上流	"	392,000	75,000	53	3,158,031	3,158,031	0.069	217,808	365	14
錦町	立川市、標準活性汚泥法	130,000	77,500	42	4,232,524	15,097,974	0.681	10,284,686	365	33
北野	八王子市、合流式	130,000	82,000	43	5,718,132	16,729,867	0.653	10,930,925	365	49

表 3.2 0 下水処理場データ

処理場名	1	2	3	4	5	6	7
	敷地 (m^2)	K (千円)	L (人日)	下水処理量 (t/年)	ケーキ量 (t/年)	電力 (Kwh/年)	重油 (l/年)
北多摩1号	140,000	392,575	4,745	21,585,810	4,540	13,325,164	2,044,103
南多摩	136,000	276,025	4,745	6,194,950	4,430	5,061,184	282,112
多摩川上流	160,000	217,808	5,110	1,880,040	300	4,517,220	54,000
錦町	35,000	10,284,686	12,045	19,269,344	7,277	5,160,168	240,000
北野	64,240	10,930,925	17,885	19,555,600	6,400	7,000,000	251,850

表 3.2.1 下水処理場回帰計算結果

	n	log (面積)	log (建設費)	log (建設調整)	log (処理能力)	log (下水量)	log (ヶ一キ量)	log (電力)	log (重油)	log (職員数)	a	F	R ²	D.F.
1	5													
2			*	*	y	y				*				
3			0.8837 (1.7085)			y		1.4407 (2.3430)		-1.7164 (-1.0324)	2.9390×10^{-2} (-1.5318)	5.291	0.9407	1
4			0.3668 (2.7824)			y		1.6104 (2.6742)			6.3241×10^{-7} (-6.1990)	7.168	0.8776	2
5			0.3531 (1.5347)			y					7.034×10^4 (4.8472)	2.355	0.4398	3
6			*	*	y				*	*				
7			0.3525 (22.7600)			y		0.6115 (25.6896)			3.2749×10^1 (1.5152)	589.830	0.9983	2
8						y		0.6123 (1.9538)			4.5279×10^3 (3.6559)	3.817	0.5599	3
9						y				0.9061 (1.0887)	3.0262×10^3 (3.4809)	1.185	0.2832	3
10						y		-0.7313 (-1.2324)	0.9095 (4.5373)	1.1151 (6.2456)	4.8719×10^2 (2.6877)	30.650	0.9892	1
11						y		*	*					
12						y		1.5452 (1.4251)			2.9943×10^{-9} (-3.5237)	2.031	0.4037	3
13						y			0.6862 (7.1347)	1.1050 (5.5209)	9.2598×10^{-2} (-1.0334)	35.903	0.9729	2
14			*	*		y				*				
15						y		1.0982 (2.8331)	y	0.7963 (1.8839)	4.1448×10^9 (9.6175)	7.701	0.9585	1
16						*		*	*					
17						1.1298 (3.6862)					3.8538×10^{-5} (-4.4141)	13.588	0.8191	3
18								-3.2831 (-1.0637)	1.6563 (1.5951)		6.3812×10^{16} (16.8049)	1.670	0.6255	2
19								*	*					
20						y			0.6578 (1.4548)		8.0705×10^{-1} (-0.0931)	2.166	0.4137	3
21						0.2613 (1.4228)					9.5389×10^4 (4.9795)	2.024	0.4029	3
22									y		1.8068×10^3 (3.2569)	2.116	0.4136	3
23						0.845 (2.028)					6.683×10^{-2} (-1.175)	4.112	0.407	3

して建設年度、建設費 (K_w^i)、稼働率を労働量データ (L_w^i) と共に列挙した。ただし、資本サービス費については、表 3.4 1 を用いて昭和 5 2 年の価格に変換した値に処理場の稼働率をかけたものである。労働量データは職員数×稼働日数で算出した。以上のデータを使用して下水処理プロセス関数を推定したものが表 3.2 1 である。下水処理プロセス関数を推定する過程で、資本量と労働量を独立変数とした重回帰分析では、統計的に有意な結果を得られなかったので、下の様に資本量と労働量の 2 本に式を分けた。

$$R_{ww}^i = 7.034 \times 10^4 K^{0.3531} \\ (R^2 = 0.8776) \quad (1.5347)$$

$$R_{ww}^i = 3.0262 \times 10^3 L^{0.906} \\ (R^2 = 0.2832) \quad (1.0887)$$

下水処理場の電力に関する推定式は、

$$E_{Aw} = 9.5389 \times 10^4 (R_{ww}^i)^{0.2613} \\ (R^2 = 0.4029) \quad (1.4228)$$

又、重油使用量、ケーキ量、処理場土地用役量は、それぞれ、

$$E_{Bw} = 1.8068 \times 10^3 (R_{ww}^i)^{0.6298} \\ (R^2 = 0.4136) \quad (1.4547)$$

$$S_{ww} = 3.8538 \times 10^{-3} (R_{ww}^i)^{1.1298} \\ (R^2 = 0.8191) \quad (3.6862)$$

$$A_{ww} = 6.683 \times 10^{-2} (R_{ww}^i)^{0.845} \\ (R^2 = 0.407) \quad (2.028)$$

である。下水処理場での電力は処理場内のシステムへ下水を送水するためのポンプ用電力が主なものである。又、重油は污泥をスラッジケーキにする時に脱水の為に主として使用される。図 3.5 は下水処理に関する等生産量曲線および費用線を図示したものである。

Appendix E は処理費用および現状値 (北多摩 1 号処理場のデータを使用) における平均費用を求めたものである。ここで用いた費用単価は $l = 1.003$ 、 $k = 0.018$ である。

これによると、下水単価 $e_{ww}^i = 0.00719$ (千円/ton)、下水処理場の土地用役 $a_{ww} = 0.0049$ (m^2/t)、下水処理によるケーキの発生 $c_w^i = 3.4504 \times 10^{-4}$ (t/t)、電力 $\mu_{Aw}^i = 0.3645$ (KWH/t) となる。

多摩地区の流域下水道の特徴として、下水送水用ポンプを使わず落差による下水の送水方式を採用している。そのため、このモデルには下水送水ポンプ関係のシステムを組み込んでいる。逆に浄水、工業用水関係では井戸水取水ポンプ、浄水、工業用水送水ポンプにより水を送るシステムになっている。

下水管渠に関しては、下水管の直径、建設費、ふせつ距離のデータを用いて費用関数の推定を行った。特に、下水管渠の形式 (○型、□型) と流量については、下水が平均毎秒 1.65 m の速度で管渠の断面積の 30% を流れるとして流れ量を算出した。しかしながら、目的としている人口密度と建設費による説明を

セイサン カンスワ
 ジョウスイ ショリ
 $Y = 108.3378 * K^{\wedge} 0.6470 * L^{\wedge} 0.2851$
 $COST = 9.43 * L + 0.02 * K$
 セツセン, $0.212766E 7 = 9.43 * L + 0.02 * K$
 $L * = 69012 K * = 0.738439E 8$

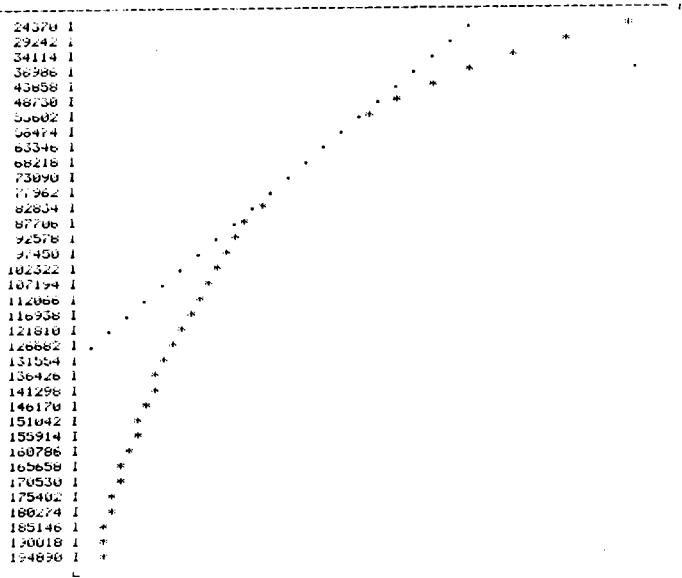


図 3.5 等生産量曲線（浄水供給プロセス）

行う際に、流域下水道としての管渠データからその管渠がふ設された地区の人口密度を算出することが不可能であることから、下水管渠の単価の計算は、北多摩 1 号処理区の 5 2 年度における管渠費用および 5 2 年度に増加した処理量から算出した。下水管渠の輸送費用は、

$$e_{w1} = 0.0143 \text{ (千円/ton)}$$

で示されるが、青梅に関しては雑排水を直接放流せずに第一下水処理場へ導く方式を取るの、

$$e_{w3}^5 = 0.0143 \text{ (千円/ton)}$$

として、 e_{w1} と同じ値を使用する。

3.4 上水供給プロセス

上水供給プロセスは、浄水場、井戸水取水ポンプ場、浄水送水ポンプ場、浄水管渠に大別することができる。対象としている多摩地域では、羽村から上水用の水を取水して山口、村山貯水池を通り東村山、境等の浄水場から各地区へ配水される。又、羽村から取水された水を直接小作浄水場へ導いて多摩地区へ配水される。このモデルでは第 7 地区羽村に 1 つの浄水場を設置し、対象地域外に 2 つの浄水場を仮定し各地区へ送水ポンプ、浄水管渠を通して送水する。又浄水場とは別に、各地区に各々 1 本の井戸を仮定し、取水ポンプにより組み上げ自地区へ配水する。ただし井戸水は浄水せずそのまま送水する。表 3.2 2、表 3.2 3 は浄水場関係データを示したものである。表 3.2 3 の浄水場データにおいて、建設費は昭和 5 2 年に換算したものを示した。又労働力は職員数×稼働日数で表わしたものである。浄水場での電力は浄水場

表3.2.2 資本データー(浄水場)

浄水場名	処理能力 (t/年)	建設年度 (年度)	総事業費 (千円)	物価換算 (千円)	稼動率	Capital services (千円)	稼動日数 (日)	労働者数 (人)
八王子市			204,120				365	
		26	232,109				93	
		28	12,530				365	
		43	18,809	65,555			270	
		39	568,721	1,341,810			365	
立川市	10,519,300				0.935		365	12
	12,475,700				0.593		365	12
	8,614,000	31	143,643	2,214,965	0.692	1,532,756	365	11
	9,928,000	37	143,023	539,836	0.862	465,132	365	8
	7,008,000	37	134,249	506,719	0.618	313,242	365	2
	5,475,000	47	181,178	370,910	0.587	217,625	365	2
小金井市	17,264,500	41	357,173	1,357,188	0.404	547,718	365	12
	4,927,500	35	59,648	400,615	0.841	337,106	365	9
		39	363,358	857,288	1.002	857,288	365	8
	2,312,020	36	43,674	228,915	1.036	228,915	365	0
	2,853,693	37	86,252	325,556	1.002	325,556	365	0
	4,148,424	44	113,779	332,980	1.003	332,980	365	10
	3,897,404	47	1,175	2,535	1.003	2,535	365	10
国立市	10,220,000	33	107,367	1,015,724	0.763	774,997	365	13
		44	162,136	474,371		361,945	365	

表 3.2.2 (続き)

処理場名		処理能力 (t/年)	建設年度 (年度)	総事業費 (千円)	物価換算 (千円)	稼動率	Capital services (千円)	稼動日数 (日)	労働者数 (人)
福生市	第一		33	12,329	116,635			365	9
	第三		42	357,692	1,275,935			365	
武蔵村山市	第一配水	3,047,750	44	78,027	228,815	1.010	228,815	365	28
	桜ヶ丘	2,000,000	48	124,491	235,942	0.900	212,348	365	3
稲城市	第一		41	262,948	999,151			365	} 25
	第二		44	195,413	571,732			365	
秋川市	上代継	3,102,500	38	236,831	1,092,929	0.997	1,089,650	365	2
瑞穂町	第一	2,415,000	45			0.728		365	16
	第二	474,500	38	12,335	56,924	1.078	56,924	365	0
五日市	戸倉	1,916,250	50	58,613	75,853	0.813	61,653	365	13
	深沢	273,750	36	3,378	17,706	0.502	8,892	365	0
	乙津	142,350	34	618	4,895	0.373	1,826	365	0
	網代								
	五日市								
日の出町	幸神		45	10,477	30,983			365	0
	落合		50	57,065	73,849			365	0
	朝霞	620,500,000	41	26,902,895	102,225,754	0.915	93,488,212	365	162
東京都	東村山	461,725,000	35	15,864,884	106,553,561	0.692	73,739,749	365	267
	小作	102,200,000	45	4,492,794	13,286,287	0.376	5,001,273	365	38
	長沢	73,000,000	34	1,891,286	15,212,117	1.149	15,222,117	365	45

表 3.2.3 浄水場データ

処 理 場 名	敷 地 (m^2)	K (千 円)	L (人 日)	浄 水 場 (t/年)	電 力 (KWH/年)
八 王 子、六本郷町	22,314				2,118,280
明 神 町	1,214				95,827
中 野 町	1,526				1,180,104
子 安	18				252,583
高 月	43,461				23,189,895
立 川、紫 崎	11,372		4,380	9,836,870	3,729,407
北 部	17,075		4,380	7,403,530	5,583,414
中 部	6,833	1,532,756	4,015	5,964,465	4,466,310
西 部	2,810	465,132	2,920	8,554,140	2,833,067
東 部	6,034	313,242	730	4,333,185	11,901,383
南 部	7,946	217,625	730	3,212,365	2,288,255
小 金 井、西 部	14,684	547,718	4,380	6,967,401	
東 部	5,973	337,106	3,285	4,146,354	7,730,917
小 平 市、小 平	10,516	857,288	3,920	16,032,540	6,652,565
日 野 市、大 阪 上	2,818	228,915	0	2,317,651	6,209,068
多 摩 平	5,379	325,556	0	2,855,116	1,523,112
三 沢	5,150	332,980	3,650	4,158,760	2,591,402
平 山 台	2,258	2,535	3,650	3,910,230	
国 立、第 一	6,409	774,997	4,745	7,800,000	4,959,446
第 二	9,780	361,945			
福 生、第 一	1,253		3,285	6,632,300	3,830,045
第 三	9,927				
武蔵村山、第一配水	1,688	228,815	10,220	3,077,142	2,734,409
多 摩 市、桜ヶ丘	4,300	212,348	1,095	1,800,000	1,616,927
稲 城、第 一	3,516		9,125	5,190,785	2,683,655
第 二					
秋 川、上代断	2,449	1,089,650	730	3,093,905	2,057,225
瑞 穂、第 一	581		5,840	1,757,439	
第 二	2,153	56,924	0	511,456	1,166,860
五 日 市、戸 倉	2,033	61,653	4,745	1,557,526	54,988
深 沢	1,199	8,892	0	137,473	374,700
乙 津	376	1,826	0	53,090	0
網 代	660				
五 日 市	548				
日 の 出、幸 神	1,705		0		
落 合	788		0	1,297,840	917,563
朝 霞	228,640	93,488,212	95,130	567,464,000	174,887,631
東 京、東 村 山	240,240	73,739,749	97,455	319,534,000	27,419,520
小 作	28,047	5,001,273	13,870	38,470,000	13,283,296
長 沢	5,119,140	15,222,117	16,425	83,880,000	1,296,000

表 3.2 4 浄水場回帰計算結果

	n	log (浄水量)	log (労働)	log (建設費)	log (電力)	log (面積)	a	F	R ²	D.F
1	16	y	0.285	0.6470			1.084×10 ²	132.03	0.96	13
			(2.438)	(7.792)			(2.035)			
2		0.660			y		93.756	11.31	0.49	14
		(3.363)					(1.972)			
3		1.004				y	9.750×10 ⁻⁴	23.95	0.67	14
		(4.894)					(-3.011)			

での浄水プロセスで使用される電力量であり、地区への送水の為のポンプ用電力ではない。

表 3.2 3 に示したデータにより回帰分析を行った結果を表 3.2 4 に示す。表 3.2 4 より推定された浄水場のプロセス関数は以下の通りである。

$$W_M^1 = 108.3378 L^{0.2851} K^{0.6470}$$

(2.438) (7.792)

$$E_{AM}^1 = 93.751 W_M^{0.6599}$$

(3.363)

$$A_M^1 = 9.7411 \times 10^{-4} W_M^{1.0036}$$

(4.894)

Appendix F は浄水費用および小作 (3.85×10⁷t/年)、東村山 (3.20×10⁸t/年)、境 (3.20×10⁸t/年) における平均費用を求めたものである。ここで用いた費用単価は、k=0.02、l=9.43 である。これによると、浄水費用 e_M^{1k} (k=1……3) は、

$$e_M^{11} = 0.005777 \text{ (千円/t)}$$

$$e_M^{12} = 0.006740 \text{ (")}$$

$$e_M^{13} = 0.006740 \text{ (")}$$

平均電力使用量 μ_M^{1k} (k=1……3) は、

$$\mu_M^{11} = 0.2481 \text{ (KWH/t)}$$

$$\mu_M^{12} = 0.1208 \text{ (")}$$

$$\mu_M^{13} = 0.1208 \text{ (")}$$

となる。

次に井戸水取水関係のデータを表 3.2 5、表 3.2 6 に示す。又回帰計算結果を表 3.2 6.1 に示す。回帰計算より求められたプロセス関数は、

$$E_{AU}^i = 5.1499 \times 10^{-2} W_U^{*i 1.9985} \\ (8.8375)$$

$$K_{AU} = 2.037 \times 10^2 W_U^{*i 0.3810} \\ (1.291)$$

となる。表 3.2.6.2 は取水ポンプ場に関する平均費用 e_{wu}^i および平均電力使用量を示した。Appendix G には取水ポンプ場の平均費用、電力使用量を示した。

表 3.2.7、表 3.2.8 は送水ポンプ場に関する資本データおよび送水データである。ここでも資本は、物価換算後、稼働率調整されたものである。表 3.2.8 のデータより、回帰計算した結果を表 3.2.8.1 に示す。各地区における送水ポンプ場の平均費用データは、送水ポンプ場と送水管渠を加えた結果を浄水送水コストとして算出したため、後にこれを示す。送水ポンプ場に関するプロセス関係式は、

$$E = 2.0184 \times 10^1 W_M^{*i 1.2717} \\ (5.4308)$$

$$K = 1.5499 \times 10^1 W_M^{*i 0.9116} \\ (3.2302)$$

$$A = 3.690 \times 10^{-3} W_M^{*i 1.504} \\ (4.845)$$

のように推定された。

浄水送水管渠関係のデータを表 3.2.9、表 3.3.0 に示す。ここでも資本データに関しては、物価換算後、稼働率を調整してある。表 3.3.0.1 は回帰分析の結果を示したものである。ここで推定されたプロセス関数は、

$$K = 7.709 \times 10^{-2} (W_M^{*i})^{0.347} (A_2)^{2.188} \\ (1.736) \quad (4.155)$$

で示される。

表 3.3.0.2 は浄水送水関係の費用を示したもので、前述したように浄水送水ポンプ場費用と浄水管渠費用を加えたものである。

工業用水道に関するデータは、工業用水道そのものが、研究対象地区である多摩地区に普及していないことから、これに関するデータが皆無である。そのため、浄水関係のポンプ場（送水ポンプ場）と管渠のデータから推定された。すなわち、管渠として、

$$K = 7.709 \times 10^{-2} (W_1^i)^{0.347} (A_3)^{2.188} \\ (1.736) \quad (4.155)$$

ポンプ場として、

$$K = 1.5499 \times 10^1 (W_1^i)^{0.9116} \\ (3.2303)$$

表3.2.5 資本データ(取水ポンプ場)

ポンプ場名	計画取水量 (Kt/年)	建設年度 (年度)	建設費用 (千円)	物価換算 (千円)	稼働率	Capital services (千円)	稼働日数 (日)	労働者数 (人)
八王子市	5,800	35	1,193	8,013	1.011	8,013	365	17
	3,311	38	273	1,260	0.032	40	365	0
	3,627	38	376	1,735	0.502	870	365	8
	946	46	4,699	12,081	0.254	3,065	365	0
	19,973	39	20,964	49,461	1.260	49,461	365	18
府中	8,830	31	589	9,086			365	
	6,623	33	190	1,797	0.556	1,000	365	8
	5,519	33	1,054	9,971	0.764	7,617	365	2
	8,830	46	3,123	8,029	0.364	2,920	365	2
小金井	5,767	41	18,098	68,769			365	
	6,864	35	1,732	11,633			365	
	9,776	39	14,054	33,158			365	
	4,441	36	2,108	11,049	0.550	6,073	365	10
	7,474	37	282	1,064	0.366	390	365	0
	5,366	33	1,182	11,182			365	
	5,571	45	3,076	9,096			365	
	1,025	28	23				365	
	5,335	41	850	3,230			365	
	4,362	41	1,896	7,204			365	
	3,101	44	4,715	13,795			365	
	7,464	39	3,434	8,102	0.249	2,015	365	2
	3,154	44	1,538	4,500	0.286	1,287	365	9
	158	38	262	1,209	1.158	1,209	365	
	3,311	25	607		0.011		365	0
	3,627	29	2,696		0.178		365	0
	3,679	47	9,256	19,971	0.337	6,720	365	0

表 3.26 取水ポンプ場データ

		K (千円)	取水量 (Kt/年)	電力 (KWH/年)
八王子	元本郷町	8,013	5,862	
	明神町	40	107	
	中野町	870	1,819	
	子安	3,065	240	
	高月	49,461	25,158	
府中	中部			2,328,480
	西部	1,000	3,684	754,279
	東部	7,617	4,216	1,243,781
	南部	2,920	3,212	1,230,859
小金井	西部			
	東部			
小平	小平			
日野	大阪上	6,073	2,441	1,251,205
	多摩平	390	2,739	1,523,112
国立	第一			
	第二			
福生	第一			33,401
	第三			1,000,723
稲城	第一			
	第二			
秋川	上代継	2,015	1,856	1,027,347
日の出	落合	1,287	902	656,905
	幸神	1,209	183	2,510
八王子	明神町第二		36	
	中野町第二		647	
秋川	秋川第二	6,720	1,238	128,835

表 3.2.6.1 浄水取水ポンプ場回帰計算結果

	n	log (建設費)	log (送水量)	log (電力)	a	F	R ²	D.F.
1	12	-0.1598 (-1.3328)	y	0.4834 (8.5032)	2.133×10^1 (1.3290)	42.951	0.9052	9
2		0.3761 (1.2931)	y		1.5195×10^2 (2.1817)	1.672	0.1433	10
3			y	0.4436 (8.8354)	$9.4493 \times$ (0.9754)	8.064	0.8864	10
4		y	-1.0326 (-1.3334)	0.7073 (1.9387)	1.6600×10^3 (3.2201)	2.946	0.3957	9
5		y	0.3810 (1.2931)		2.0370×10^2 (2.3090)	1.672	0.1433	10
6		y		0.2492 (1.9537)	1.6331×10^3 (2.2130)	3.817	0.2763	10
7		0.4166 (1.9382)	1.8398 (8.5052)	y	5.6221×10^{-3} (-2.2501)	51.694	0.9199	9
8		1.1085 (1.9538)		y	5.8050×10^1 (1.7638)	3.817	0.2763	10
9			1.9985 (8.8375)	y	5.1499×10^{-2} (-1.2882)	78.101	0.8865	10

表 3.2 6.2 地下水くみ取費用

	自治体名	揚水量 (m^3 /年)	e_{wu}^i (千円/t)	μ_{Au}^i (KWH/t)
1	檜原村	0	0	0
2	五日市	47,085	3.7522×10^{-4}	0.0024
3	日の出	421,130	9.6146×10^{-5}	0.0216
4	秋川	1,922,455	3.7888×10^{-5}	0.0979
5	青梅	322,660	1.1407×10^{-4}	0.0165
6	瑞穂	582,905	7.9036×10^{-5}	0.0297
7	羽村	5,288,850	2.0370×10^{-5}	0.2689
8	福生	2,902,480	2.9333×10^{-5}	0.1477
9	昭島	8,401,205	1.5074×10^{-5}	0.4268
10	武蔵村山	3,877,760	2.4444×10^{-5}	0.1972
11	立川	10,708,735	1.3037×10^{-5}	0.5439
12	国立	4,538,775	2.1999×10^{-5}	0.2308
13	八王子	6,432,760	1.7926×10^{-5}	0.3270
14	日野	10,643,765	1.3037×10^{-5}	0.5406
15	小平	6,021,770	1.8740×10^{-5}	0.3061
16	国分寺	4,896,840	2.1185×10^{-6}	0.2490
17	小金井	5,724,295	1.9148×10^{-5}	0.2910
18	府中	10,111,100	1.0185×10^{-5}	0.8177
19	多摩	1,715,500	4.0740×10^{-5}	0.0874
20	稲城	3,566,780	2.5666×10^{-5}	0.1814

表 3.2.7 資本データ（送水ポンプ場）

ポンプ場名	計画送水量 (Kt/年)	建設年度 (年度)	建設費用 (千円)	物価換算 (千円)	稼動率	Capital services (千円)	稼動日数 (日)	労働者数 (人)
八王子市	5,519	35	31,319	210,348	0.159	33,387	365	17
明神町	1,472	38	1,453	6,705	0.248	1,663	365	0
中野町	5,834	28	4,648		0.344		365	8
子安	946	43	5,524	19,253	0.347	6,686	365	0
高月	21,550	39	83,572	197,175	1.355	197,175	365	18
中	17,240	31	28,369	437,448	0.205	89,837	365	11
西	15,747	33	5,172	48,929	0.225	11,001	365	8
東	17,629	33	17,726	167,693	0.400	67,010	365	2
南	14,570	46	8,172	21,010	0.233	4,895	365	2
小	32,062	41	10,504	39,913	0.467	16,629	365	
井	10,249	35	3,555	23,877	0.402	9,609	365	
小	47,567	38	16,523	76,250	0.499	38,031	365	
日	2,575	36	3,865	20,258	0.780	15,793	365	0
野	7,180	37	11,110	41,934	0.386	16,201	365	0
多	7,148	44	36,695	107,360	0.746	80,039	365	10
三	12,404	33	5,605	53,025	0.388	20,596	365	
立	16,556	45	14,847	43,906	0.260	11,422	365	
福	1,640	33	1,383	13,084			365	
生	23,116	41	28,255	107,363	0.371	39,838	365	
武蔵村山	4,573	42	1,661	5,925			365	28
多	3,048	37	11,370	42,916	1.315	42,916	365	3
摩	15,295	43	23,642	82,399	0.568	46,800	365	
城	9,787	39	5,819	13,729	0.190	2,604	365	2
川	4,935	38	3,128	16,281	0.488	7,948	365	0
瑞	9,198	40	149,324	391,640			365	0
八	1,577	37	22,465	84,793			0	
王	2,838	47	56,919	122,809			365	0
子	1,261	45	708	2,094	0.405	849	365	0
浅	5,466	50	84,693	109,604	0.063	6,938	365	0
長	657	40	499	1,309	0.050	65	365	0
沼								
多								
摩								
連								
光								
寺								
一								
第								
管								

表3.28 送水ポンプ場データ

ポンプ場名		敷地 (m^2)	K (千円)	送水量 ($Kt/年$)	電力 ($KWH/年$)
八王子	元本郷町		33,387	876	
	明神町		1,663	365	
	中野町			2,008	
	子安		6,686	329	
	高月		197,175	29,200	
府中	中部	6,833	89,837	8,541	2,137,830
	西部	5,154	11,001	3,541	2,078,788
	東部	6,034	67,010	7,045	1,069,970
	南部	7,946	44,895	3,395	1,057,396
小金井	西部		16,629	14,965	
	東部		9,609	4,125	
小平	小平		38,031	23,725	
日野	大坂上	2,818	15,793	2,008	552,540
	多摩平	5,384	16,201	2,774	439,272
	三沢	3,568	80,039	5,329	2,338,331
国立	第一		20,596	4,818	
	第二		11,422	4,307	
福生	第一				
	第三	9,727	39,838	8,578	1,000,723
武蔵村山	武蔵村山				252,975
多摩	桜ヶ丘	4,300	42,916	4,008	1,143,550
稲城	第一		46,800	8,687	
秋川	秋川	2,490	2,604	1,856	1,027,347
瑞穂	瑞穂	2,153	7,948	2,409	130,749
八王子	高月				
	浅川				
	長沼				
多摩	連光寺	33	849	511	93,914
瑞穂	第一	401	6,938	346	85,191
秋川	菅生	35	65	33	7,614

表 3.2.8.1 浄水送水ポンプ回帰計算結果

	n	log (建設費)	log (送水量)	log (電力)	a	F	R ²	D.F.
1	1 2	-0.1361 (-0.5098)	y	0.6905 (2.9827)	1.4921×10^0 (0.1738)	13.784	0.7534	9
2		0.5602 (3.2301)	y		1.4096×10^1 (1.1491)	10.433	0.5106	10
3			y	0.5873 (5.4306)	1.4887 (0.1728)	29.491	0.7468	10
4		y	-0.2063 (-0.5099)	0.8791 (3.1969)	1.1043 (0.0431)	15.137	0.7708	9
5		y	0.9116 (3.2302)		1.5499×10^1 (1.1903)	10.434	0.5106	10
6		y		0.7579 (5.6933)	1.0174 (0.0075)	32.414	0.7642	10
7		0.6050 (3.1958)	0.7202 (2.9820)	y	3.8441 (0.5848)	33.440	0.8814	9
8		1.0085 (5.6930)		y	2.5846×10^1 (1.4124)	32.410	0.7642	10
9			1.2717 (5.4308)	y	2.0184×10^1 (1.3050)	29.494	0.7468	10

表3.29 資本データ(浄水管渠)

自治体名	建設年度 (年度)	建設費用 (千円)	物価換算 (千円)	管の太さ (φmm)	距離 (m)
府 中	50	312,485	404,397	150	16,543
	51	247,825	306,222	200	11,158
小 金 井	50	264,370	342,130	150	9,069
	51	238,035	294,125	150	8,855
	52	189,168	189,168	300	4,950
小 平	48	132,892	251,864	200	4,084
	49	339,822	493,387	300	7,716
	51	264,182	326,433	200	5,516
日 野	49	451,011	654,822	250	17,040
	50	367,673	475,818	250	19,168
	51	236,754	292,542	150	10,519
	52	188,590	188,590	200	8,621
国 分 寺	50	273,011	353,312	250	5,412
	52	109,637	109,637	250	2,437
国 立	51	284,873	352,000	250	11,937
	52	134,803	134,803	200	6,917
福 生	51	32,271	39,875	125	1,957
	52	32,479	32,479	200	2,140
武 蔵 村 山	48	83,837	158,892	200	8,160
	49	191,713	278,348	200	8,859
	51	330,360	408,205	200	13,907
	52	225,281	225,281	200	7,888
多 摩	50	104,712	135,511	150	5,192
	52	70,474	70,474	200	4,806
稲 城	51	55,058	68,032	150	2,407
	52	118,902	118,902	200	7,784
瑞 穂	49	68,102	98,877	100	4,496
	51	57,202	70,681	150	3,967
	52	103,924	103,924	250	5,075
日 の 出	51	62,009	76,621	150	1,908
五 日 市	50	3,850	4,982	75	231
多 摩	51	57,596	71,168	150	2,891
府 中	52	214,002	214,002	150	12,371
立 川	48	31,516	59,731	450	1,135
	48	306	580	300	13
	48	847	1,605	250	36
	48	17,123	32,452	200	939
	48	38,549	73,060	150	3,979
	48	46,235	87,627	100	5,658
	48	1,476	2,797	75	199
	49	6,050	8,784	400	164

表 3.20 (続 き)

自治体名	建設年度 (年度)	建設費用 (千円)	物価換算 (千円)	管の太さ (φmm)	距離 (m)
立川	49	14,299	20,761	200	1,001
	49	54,176	78,658	150	4,004
	49	53,672	77,926	100	5,303
	49	4,199	6,097	75	471
	50	5,292	6,849	250	154
	50	28,155	36,436	200	1,165
	50	57,499	74,411	150	3,339
	50	90,465	117,074	100	6,990
	50	7,568	9,794	75	297
	51	7,031	8,688	450	96
	51	20,912	25,840	300	624
	51	3,504	4,330	250	95
	51	18,799	23,229	200	777
	51	56,430	69,727	150	2,367
	51	142,101	175,585	100	9,925
	51	26,715	33,010	75	884
	52	4,844	4,844	200	75
	52	80,973	80,973	150	3,014
	52	162,868	162,868	100	7,147
	52	23,760	23,760	75	1,243
五日市	48	1,880	3,563	75	611
	48	480	910	75	132
	48	179	339	75	43
	48	11,855	22,468	100	1,387
	49	4,255	6,178	75	303
	49	3,356	4,873	75	242
	49	22,090	32,072	100	1,684
	50	1,403	1,816	75	99
	50	4,121	5,333	100	215
	50	12,202	15,791	150	594
日の出	48	5,016	9,507	100	590
	50	27,100	35,071	150	876
	50	1,450	1,876	100	83
	51	2,380	2,941	100	191
	51	16,500	20,388	200	351
	51	16,100	19,894	200	393
	51	15,900	19,647	200	598
	52	2,330	2,330	75	73
	52	5,470	5,470	100	226
	52	7,180	7,180	200	193
52	3,000	3,000	100	68	
52	7,300	7,300	100	301	

表 3.3 0 浄水管渠データ

自治体名	流量 (t/年)	K (千円)	人口 (人)	宅地面積 (ha)	人口密度 (人/ha)
府 中	404,033	404,397	180,580	924	195
	718,281	306,222			
小 金 井	404,033	342,130	99,096	543	183
	404,033	294,125			
	1,616,133	189,168			
小 平	718,281	251,864	152,646	757	202
	1,616,133	493,387			
	718,281	326,433			
日 野	1,122,314	654,822	136,878	712	192
	1,122,314	475,818			
	404,033	292,542			
	718,281	188,590			
国 分 寺	1,122,314	353,312	87,621	513	171
	1,122,314	109,637			
国 立	1,122,314	352,000	63,456	352	180
	718,281	134,803			
福 生	280,579	39,875	47,747	252	190
	718,281	32,479			
武 蔵 村 山	718,281	158,892	55,265	252	219
	718,281	278,348			
	718,281	408,205			
	718,281	225,281			
多 摩	404,033	135,511	81,195	513	158
	718,281	70,474			
稲 城	404,033	68,032	45,275	256	177
	718,281	118,902			
瑞 穂	179,579	98,877	21,580	209	103
	404,033	70,681			
	1,122,314	103,924			
日 の 出	404,033	76,621	12,148	152	80
五 日 市	101,008	4,982	19,537	191	102
多 摩	404,033	71,668	81,195	513	158
府 中	404,033	214,002	180,580	924	195
立 川	3,636,298	59,731	140,246	739	190
	1,616,133	580			
	1,122,114	1,605			
	718,281	32,452			
	404,033	73,060			
	179,579	87,627			
	101,008	2,797			
	2,873,125	8,784			
	718,281	20,761			
	404,033	78,658			

表 3.3 0 (続 き)

自治体名	流 量 (t / 年)	K (千 円)	人 口 (人)	宅地面積 (h a)	人口密度 (人 / h a)
立 川	179,579	77,926	140,246	739	190
	101,008	6,094			
	1,122,314	6,849			
	718,281	36,436			
	404,033	74,411			
	179,579	117,074			
	101,008	9,794	140,246	739	190
	3,636,298	8,688			
	1,616,133	25,840			
	1,122,314	4,330			
	718,281	23,229			
	404,033	69,727			
	179,570	175,585			
	101,008	33,010			
	718,281	4,844			
	404,033	80,973			
179,570	162,868				
101,008	23,760				
五 日 市	101,008	3,563	19,537	191	102
	101,008	910			
	101,008	339			
	179,570	22,468			
	111,008	6,178			
	111,008	4,873			
	179,570	32,072			
	101,008	1,816			
	179,570	5,333			
	404,033	15,791			
日 の 出	179,570	9,507	12,148	152	80
	404,033	35,071			
	179,570	1,876			
	179,570	2,941			
	718,281	20,388			
	718,281	19,894			
	718,281	19,647			
	101,008	2,330			
	179,570	5,470			
	718,281	7,180			
179,570	3,000				
179,570	7,300				

表 3.3 0.1 淨水管渠回掃計算結果

	n	log (建設費)	log (距離)	log (宅地)	log (流量)	log (人口/宅地)	log (人口密度)	a	F	R ²	D.F.
1	82	0.8309 (5.5287)	-0.7687 (-5.1595)		y	0.8176 (3.0658)		5.6611 (0.7529)	17.879	0.4044	79
2		0.9181 (5.9188)	-0.7774 (-4.9434)		y			1.3596×10^2 (2.1334)	20.018	0.3335	80
3		0.1885 (3.4782)			y			2.3158×10^5 (5.3647)	12.098	0.1299	81
4			*		y	*					
5			0.1078 (1.8770)		y			1.6214×10^6 (6.2099)	3.523	0.0417	81
6					y	1.1032 (4.1297)		6.6788×10^3 (3.8247)	17.054	0.1739	81
7			y	-1.5182 (-2.6485)			1.4918 (4.5726)	4.3291×10^1 (1.6864)	16.009	0.2858	80
8			y	0.8377 (2.9664)				8.6258×10^{-3} (-2.0642)	8.918	0.0992	81
9			y				0.7152 (4.8245)	8.9433×10^{-2} (-1.0485)	23.276	0.2232	81
10		y			0.347 (1.736)	2.188 (4.155)		7.709×10^{-2} (-1.113)	15.95	0.29	79

表3.3.0.2 浄水送水費用

	自治体名	送水量 (m^3 /年)	人口密度 (人/ha)	送水ポンプ費用 (千円)	管渠費用 (千円)	e_{WM}^i (千円/t)	P_{AM}^i (KwH/t)
1	檜原村	423,000	128.76	7.6826×10^1	4.6721×10^2	1.165×10^{-3}	0.1044
2	五日市	1,322,390	102.06	2.1715×10^2	4.1760×10^2	3.162×10^{-4}	0.1423
3	日の出	793,540	80.03	1.3633×10^2	2.0547×10^2	2.591×10^{-4}	0.1238
4	秋川	3,078,793	109.67	4.6918×10^2	6.5532×10^2	2.131×10^{-4}	0.1790
5	青梅	8,267,734	142.11	1.1546×10^3	1.6276×10^3	1.948×10^{-4}	0.2341
6	瑞穂	2,007,483	103.17	3.1771×10^2	4.9425×10^2	2.466×10^{-4}	0.1593
7	羽村	4,631,494	165.61	6.8078×10^2	1.8605×10^3	4.020×10^{-4}	0.2000
8	福生	4,921,341	189.82	7.1951×10^2	2.5612×10^3	5.207×10^{-4}	0.2033
9	昭島	8,737,828	209.23	1.2143×10^3	3.8678×10^3	4.429×10^{-4}	0.2376
10	武蔵村山	5,150,352	219.43	7.4997×10^2	3.5730×10^3	6.941×10^{-4}	0.2058
11	立川	17,306,930	189.73	2.2641×10^3	3.9582×10^3	2.289×10^{-4}	0.2861
12	国立	6,043,422	180.26	8.6766×10^2	2.4563×10^3	4.067×10^{-4}	0.2150
13	八王子	27,359,062	160.87	3.4371×10^3	3.2338×10^3	1.184×10^{-4}	0.3240
14	日野	11,452,931	192.27	1.5540×10^3	3.5311×10^3	3.086×10^{-4}	0.2557
15	小平	13,857,264	201.52	1.8488×10^3	4.1810×10^3	3.020×10^{-4}	0.2693
16	国分寺	8,416,513	170.74	2.3783×10^3	1.5783×10^3	1.877×10^{-4}	0.2352
17	小金井	9,733,493	182.66	1.3398×10^3	1.4991×10^3	1.543×10^{-4}	0.2447
18	府中	18,459,278	195.39	2.4011×10^3	4.3166×10^3	2.341×10^{-4}	0.2914
19	多摩	3,587,570	158.21	5.3937×10^2	1.5407×10^3	4.297×10^{-4}	0.1866
20	稲城	4,484,279	177.19	6.6102×10^2	2.1330×10^3	4.760×10^{-4}	0.1982

表3.3.0.3 工業用水費用

区	人口密度 (人/ha)	送水量 (m^3 /年)	管渠費用 (千円)	ポンプ場費用 (千円)	e_{wi}^i (千円/t)	μ_{it}^i (千円/t)
1	120.86	1.898×10^7	817.27		2.584×10^{-4}	1.9166
2	176.19	0.6327×10^7	2374.07		3.7522×10^{-4}	1.4220
3	184.37	0.3163×10^7	3838.57		2.0224×10^{-4}	1.1778

表3.3.2 平均浄水消費量

i	b_i^j (1/人・日)
1	150
2	150
3	150.5
4	153
5	164.5
6	150
7	171.5
8	173.5
9	167
10	161.5
11	164.5
12	151.5
13	158
14	167
15	160.5
16	167.5
17	158
18	161.5
19	168
20	166.5

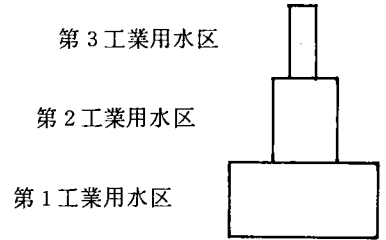
表3.3.1 生活における水使用量とBOD

用途	水量 l/人・日	BOD値 g/m^3	BOD値 g /人・日
ちゅう房	30	600	18
便所	50	260	13
ふろ	60		
せんたく	40	75	9
洗面	10		
雑用	10		
計	200	935	40

[日本浄化槽教育センター(1972)による]

$$E = 2.0184 \times 10^1 (W_i)^{0.2717} \quad (5.4308)$$

を用いて算出した。工業用水の管渠は、右に示すように流水容量を3段階に調節してある。第1工業用水区では $1.898 \times 10^7 \text{ m}^3/\text{年}$ の送水が可能である。又、第2、第3区では各々 0.6327×10^7 、 $0.3163 \times 10^7 \text{ m}^3/\text{年}$ が送水できると仮定して計算を行った。又、ポンプ場は各工業用水区に1ヶ所あるとして、表3.3.0.3に示すような平均費用の算出を行った。



下水処理区、し尿処理区内での浄水消費量は、文献(武藤暢夫“生活廃水をめぐる諸問題”、用水と廃水19(5)、1977)のデータ(表3.3.1)にもとづいて、下水処理区については1人当たり $b_{\frac{1}{2}} = 200 \text{ l}/\text{日}$ とする。他方、し尿処理区には浄化槽を使っている人々もいるため、し尿処理区の水需要は、

$$b_{\frac{1}{2}} = 150 \text{ l}/\text{日} \times (1 - \text{浄化槽普及率}) + 200 \text{ l}/\text{日} \times \text{浄化槽普及率}$$

として算定する。表3.3.2は各地区ごとの推定値を示したものである。

ただし、表3.3.1のデータがかなり古いため、各処理区的需求を α 倍(1.5 or 2.0)したものを実際の計算では用いる。

3.5 水環境モデル

水環境モデルとしては、図3.6に示すように多摩川を6つの水域に分割し、各水域の最上流部に各々

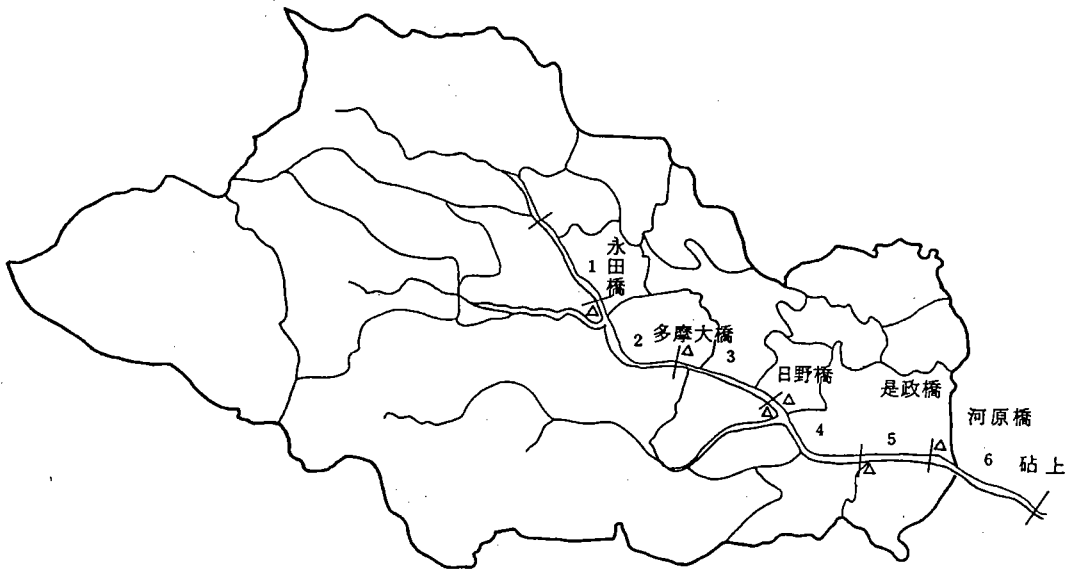


図3.6 多摩川の水域分割

つの下水処理施設を設置すると仮定する。又、第2水域の最上流部および第4水域の最上流部にはおのおの秋川と浅川が流入するものとする。羽村取水口より取水された水は3つの浄水場へ導びかれ浄水区に從って各自自治体へ送水される。各自自治体へ導びかれた水は取水ポンプにより汲み上げられた地下水とともにポンプ場、上水管渠を通り住民と生産セクターへ供給される。住民からの廃水は直接放流されるか、公共下水道を通り下水処理場へ導かれ河川へ放流される。生産セクターからの廃水は生産セクターで自己処理されたものとして直接河川へ放流される。第6水域の最下流にある工業用浄水場で生産された工業用水はポンプ場、管渠により生産セクターへ供給される。各水域には下水処理水、生産セクターからの放流水の他、し尿処理場からの処理水、し尿収集区域からの雑廃水、ごみ処理場からの廃水、さらには下水処理区での直接放流水が流入すると仮定する。又各水域には流域からの自然負荷および第1水域には多摩川上流よりのBOD負荷、第2、第4水域にはそれぞれ秋川、浅川からの負荷が加算されるものとする。

以上をまとめると、水域1～6に流入するBOD負荷 $B_1 \sim B_6$ は、

$$\begin{aligned}
 B_1 &= \overrightarrow{B_{an}^{17}} + \sum_{i=6}^8 \overrightarrow{B_{sw}^{1i}} + \overrightarrow{B_{cc}^{17}} + \overrightarrow{B_{aw}^{15}} + \sum_{i=6}^8 \overrightarrow{B_{aw}^{1i}} + \sum_{i=5}^8 \sum_{j=1}^7 \overrightarrow{B_{jw}^i} + B_{o1} \\
 B_2 &= \sum_{i=4,9}^{10} \overrightarrow{B_{an}^{1i}} + \sum_{i=1,2,3}^{4,9,10} \overrightarrow{B_{sw}^{1i}} + \sum_{i=2,9} \overrightarrow{B_{cc}^{1i}} + \overrightarrow{B_{aw}^{14}} + \sum_{i=1,2,3}^{4,9,10} \overrightarrow{B_{aw}^{1i}} + \sum_{i=1,2,3}^{4,9,10} \sum_{j=1}^7 \overrightarrow{B_{jw}^i} + B_{o2} \\
 B_3 &= \overrightarrow{B_{sw}^{111}} + \overrightarrow{B_{cc}^{111}} + \overrightarrow{B_{aw}^{19}} + \overrightarrow{B_{aw}^{111}} + \sum_{j=1}^7 \overrightarrow{B_{jw}^{1j}} + B_{o3} \\
 B_4 &= \sum_{i=12}^{14} \overrightarrow{B_{an}^{1i}} + \sum_{i=12,13,14}^{15,16,19} \overrightarrow{B_{sw}^{1i}} + \sum_{i=12}^{14} \overrightarrow{B_{cc}^{1i}} + \sum_{i=12,14} \overrightarrow{B_{aw}^{1i}} + \sum_{i=12,13,14}^{15,16,19} \overrightarrow{B_{aw}^{1i}} \\
 &\quad + \sum_{i=12,13,14}^{15,16,19} \sum_{j=1}^7 \overrightarrow{B_{jw}^i} + B_{o4} \\
 B_5 &= \overrightarrow{B_{an}^{120}} + \sum_{i=17,18}^{20} \overrightarrow{B_{sw}^{1i}} + \sum_{i=19}^{20} \overrightarrow{B_{cc}^{1i}} + \overrightarrow{B_{aw}^{120}} + \sum_{i=17,18}^{20} \overrightarrow{B_{aw}^{1i}} + \sum_{i=17,18}^{20} \sum_{j=1}^7 \overrightarrow{B_{jw}^i} + B_{o5} \\
 B_6 &= \overrightarrow{B_{sw}^{118}} + B_{o6}
 \end{aligned}$$

であらわすことができる。又同時に排出される汚水の量は同様に次のようにあらわせる。

$$\begin{aligned}
 Q_1 &= \overrightarrow{W_{an}^{17}} + \sum_{i=6}^8 \overrightarrow{W_{sw}^{1i}} + \overrightarrow{W_{cc}^{17}} + \overrightarrow{W_{aw}^{15}} + \sum_{i=6}^8 \overrightarrow{W_{aw}^{1i}} + \sum_{i=5}^8 \sum_{j=1}^7 \overrightarrow{W_{jw}^i} \\
 Q_2 &= \sum_{i=4,9}^{10} \overrightarrow{W_{an}^{1i}} + \sum_{i=1,2,3}^{4,9,10} \overrightarrow{W_{sw}^{1i}} + \sum_{i=2,9} \overrightarrow{W_{cc}^{1i}} + \overrightarrow{W_{aw}^{14}} + \sum_{i=1,2,3}^{4,9,10} \overrightarrow{W_{aw}^{1i}} + \sum_{i=1,2,3}^{4,9,10} \sum_{j=1}^7 \overrightarrow{W_{jw}^i} \\
 Q_3 &= \overrightarrow{W_{sw}^{111}} + \overrightarrow{W_{cc}^{111}} + \overrightarrow{W_{aw}^{19}} + \overrightarrow{W_{aw}^{111}} + \sum_{j=1}^7 \overrightarrow{W_{jw}^{1j}} \\
 Q_4 &= \sum_{i=12}^{14} \overrightarrow{W_{an}^{1i}} + \sum_{i=12,13,14}^{15,16,19} \overrightarrow{W_{sw}^{1i}} + \sum_{i=12}^{14} \overrightarrow{W_{cc}^{1i}} + \sum_{i=12,14} \overrightarrow{W_{aw}^{1i}} + \sum_{i=12,13,14}^{15,16,19} \overrightarrow{W_{aw}^{1i}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & + \sum_{i=12,13,14} \sum_{j=15,16,19}^7 \vec{W}_{jw}^i \\
 Q_5 = & \vec{W}_{an}^{t20} + \sum_{i=17,18}^{20} \vec{W}_{aw}^{ti} + \sum_{i=19}^{20} \vec{W}_{cc}^i + \vec{W}_{aw}^{t20} + \sum_{i=17,18}^{20} \vec{W}_{aw}^i + \sum_{i=17,18}^{20} \vec{W}_{aw}^i + \sum_{i=1}^7 \vec{W}_{jw}^i \\
 Q_6 = & \vec{W}_{aw}^{t18}
 \end{aligned}$$

次に、河川へ各種処理施設からの排水が流入しない時の流入量、すなわち上流からの流れ、枝川からの流入、流域からの自然流入を q_1, q_2, \dots, q_6 とすると、第1水域から第6水域に流れる水量 $\bar{Q}_1, \bar{Q}_2, \dots, \bar{Q}_6$ は、

$$\begin{aligned}
 \bar{Q}_1 &= q_1 + Q_1 + Q_0 \\
 \bar{Q}_2 &= q_2 + Q_1 + Q_2 \\
 \bar{Q}_3 &= q_3 + Q_1 + Q_2 + Q_3 \\
 \bar{Q}_4 &= q_4 + Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 \\
 \bar{Q}_5 &= q_5 + Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 \\
 \bar{Q}_6 &= q_6 + Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6
 \end{aligned}$$

となる。ただし Q_0 は羽村で必要水量を取水した残りの余剰水量である。

1.4.6 節で述べたようにある基準地点における BOD 濃度を $S_1(0)$ 、DOD 濃度を $S_2(0)$ とすると基準点より x 下流の地点での DOD 濃度 $S_2(x)$ および BOD 濃度 $S_1(x)$ は式(38)、(39)より、

$$S_1(x) = S_1(0) \exp[-(K_r/a)x] \quad \dots\dots\dots (19)$$

$$\begin{aligned}
 S_2(x) = & \frac{K_a}{K_a - K_r} \{ \exp[-(K_r/a)x] - \exp[-(K_a/u)x] \} S_1(0) \\
 & + S_2(0) \exp[-(K_a/u)x] \quad \dots\dots\dots (20)
 \end{aligned}$$

とあらわすことができる。 i 番目の水域に関する DOD 濃度 D_i と BOD 濃度 L_i は、次の 2 式であらわすことができる。

$$D_i = a_i L_{i-1} + b_i D_{i-1} \quad \dots\dots\dots (21)$$

$$L_i = L_{i-1} C_i \quad \dots\dots\dots (22)$$

ただし、

$$a_i = \frac{K_d^i}{K_a^i - K_r^i} \{ \exp[-(K_r^i/u_i)x_i] - \exp[-(K_a^i/u_i)x_i] \}$$

$$b_i = \exp[-(K_r^i/u_i)x_i]$$

$$c_i = \exp[-(K_a^i/u_i)x_i]$$

ここで i 水域の最上流部に外部から BOD の負荷 B_i があるとすると、式(4)は物質の収支式より、

$$L_i = \frac{B_{i-1} + B_i}{q_i + Q_i} C_i \quad \dots\dots\dots (23)$$

となる。ただし q_i は河川の流量および Q_i は河川に投入された BOD 負荷 B_i に対応する水量を示す。(2) 式をくり返し水域にそって使用することにより第 6 水域最下流の DOD 濃度 D_6 は、

$$D_6 = \alpha_6 L_5 + \alpha_5 L_4 + \alpha_4 L_3 + \alpha_3 L_2 + \alpha_2 L_1 + \alpha_1 L_0 + \alpha_0 \quad \dots\dots\dots (24)$$

$$\alpha_0 = D_0 b_1 b_2 b_3 b_4 b_5 b_6$$

$$\alpha_1 = a_1 b_2 b_3 b_4 b_5 b_6$$

$$\alpha_2 = a_2 b_3 b_4 b_5 b_6$$

$$\alpha_3 = a_3 b_4 b_5 b_6$$

$$\alpha_4 = a_4 b_5 b_6$$

$$\alpha_5 = a_5 b_6$$

$$\alpha_6 = a_6$$

と BOD 濃度 L_i の線型和で記述することができる。次に、 L_i については、(23) 式より求めると、

$$L_0 = \frac{1}{Q_1} (B_1 + B_0)$$

$$L_1 = \frac{1}{Q_2} \{ B_2 + (B_1 + B_0) C_1 \}$$

$$L_2 = \frac{1}{Q_3} \{ B_3 + B_2 C_2 + (B_1 + B_0) C_1 C_2 \}$$

$$L_3 = \frac{1}{Q_4} \{ B_4 + B_3 C_3 + B_2 C_2 C_3 + (B_1 + B_0) C_1 C_2 C_3 \}$$

$$L_4 = \frac{1}{Q_5} \{ B_5 + B_4 C_4 + B_3 C_3 C_4 + B_2 C_2 C_3 C_4 + (B_1 + B_0) C_1 C_2 C_3 C_4 \}$$

$$L_5 = \frac{1}{Q_6} \{ B_6 + B_5 C_5 + B_4 C_4 C_5 + B_3 C_3 C_4 C_5 + B_2 C_2 C_3 C_4 C_5$$

$$+ (B_1 + B_0) C_1 C_2 C_3 C_4 C_5 C_6 \}$$

と書きあらわすことができる。この式を(24)へ代入することにより、第 6 水域最下流での DOD 濃度を算出することができる。この計算された DOD 濃度より DO 濃度を得るには、

$$D O^6 = D_s^6 (T^6) - D O D^6$$

で簡単に算出できる。この時の BOD 濃度は、

$$B O D^6 = L_5 C_6$$

で与えられる。

さて、前述した BOD 負荷量 $B_1 \sim B_6$ および汚水流入量 $Q_1 \sim Q_6$ は各水域へ流入する直前の負荷量ある

いは流入量であるが、下水処理場を除くごみ、し尿処理場は水環境モデルを適用する水域から離れて立地している場合がある。又、住民による土壌への直接放流あるいは最寄の河川への放流は、汚水の土壌へのしみ込みや河川での浄化などにより放流時の濃度や流量と異った値を示す場合がある。このため排出された BOD の負荷量と廃水量に各々流達係数 ϵ 、 τ を掛けて実際に河川へ流入する値を決定する。これをまとめると、し尿処理場からは、

$$\begin{aligned} \vec{B}_{s_n}^{i1} &= \epsilon_{s_n}^{i1} B_{s_n}^{i1} \\ \vec{W}_{s_n}^{i1} &= \tau_{s_n}^{i1} W_{s_n}^{i1} \quad (i=1, \dots, 20) \end{aligned}$$

で表わせる。又ごみ処理場からの廃水に関する流達係数は、

$$\begin{aligned} \vec{B}_{c_c}^{i1} &= \epsilon_{c_c}^{i1} B_{c_c}^{i1} \\ \vec{W}_{c_c}^{i1} &= \tau_{c_c}^{i1} W_{c_c}^{i1} \quad (i=1, \dots, 20) \end{aligned}$$

となる。さらに下水処理場に関する流達係数は、

$$\begin{aligned} \vec{B}_{w_w}^{i1} &= \epsilon_{w_w}^{i1} B_{w_w}^{i1} \\ \vec{W}_{w_w}^{i1} &= \tau_{w_w}^{i1} W_{w_w}^{i1} \quad (i=1, \dots, 6) \end{aligned}$$

となる。し尿処理区内の雑排水に関しては、

$$\begin{aligned} \vec{B}_{w_w}^{i1} &= \epsilon_{w_w}^{i1} B_{w_w}^{i1} \\ \vec{W}_{w_w}^{i1} &= \tau_{w_w}^{i1} W_{w_w}^{i1} \quad (i=1, \dots, 20) \end{aligned}$$

となる。生産セクターからの排水に対しても流達係数を掛けるものとする、

$$\begin{aligned} \vec{B}_{j_w}^{i1} &= \epsilon_{j_w}^{i1} B_{j_w}^{i1} \\ \vec{W}_{j_w}^{i1} &= \tau_{j_w}^{i1} W_{j_w}^{i1} \quad (i=1, \dots, 20) \\ &\quad (j=1, \dots, 7) \end{aligned}$$

となる。

次に、下水処理区、し尿処理区内で発生する BOD 負荷量の推定であるが、まず下水処理区内の無処理放流 ($R_{w_2}^{i1}$) に含まれる BOD 負荷は表 3.3 1 にもとづいて、

$$d_{w_w}^{i1} = 40 \text{ g/人} \cdot \text{日} / 200 \text{ l} = 200 \text{ ppm}$$

とする。し尿処理区内の雑廃水及び浄化槽の上づみ液の放流 ($R_{w_2}^{i1}$) に含まれる BOD 負荷 ($d_{s_n}^{i1}$) は次のようにして推定した。まず、個人住宅においては、排泄したし尿に含まれる BOD 量の 50% 以上が浄化槽汚泥中に含まれている (用水廃水ハンドブック、P 888)。このことと表 3.3 1 より、浄化槽をそなえている家庭から排出される廃水の BOD 濃度は、

$$(6.5 \text{ g/人} \cdot \text{日} + 27 \text{ g/人} \cdot \text{日}) / 200 \text{ l} = 170 \text{ ppm}$$

となる。他方、汲み取りの家庭から排出される廃水の BOD 濃度は、

$$27 \text{ g/人} \cdot \text{日} / 150 \text{ l/日} = 180 \text{ ppm}$$

となる。それゆえ、し尿処理区内の汲み取り率を α とすれば、

$$d_{s_n}^{i1} = 180 \alpha + 170 (1 - \alpha)$$

として推定される。表 3.3 3 は各地区についての推定値をまとめたものである。

表 3.3.3 し尿処理区からの BOD 負荷

i	汲み取り率	$\bar{d}_{T_n}^i$ (ppm)
1	1.0	180
2	1.0	180
3	0.89	178.9
4	0.94	179.4
5	0.71	177.1
6	1.0	180
7	0.57	175.7
8	0.53	175.3
9	0.66	176.6
10	0.77	177.7
11	0.71	177.1
12	0.97	179.7
13	0.84	178.4
14	0.66	176.6
15	0.79	177.9
16	0.65	176.5
17	0.84	178.4
18	0.77	177.7
19	0.64	176.4
20	0.67	176.7

1

3.6 水環境モデルにおけるパラメータの推定

水域の水質変化をシミュレートする場合に最も大切な事はパラメータの推定である。ここで用いるモデルは前節で述べたようにボックスモデルを使用する為、河川の地理的条件、流れに関する物理量がほぼ均一である場所を1区画としなければならない。河川による浄化係数は、河川により異なるし、同一河川においても季節、降雨量などによって大きく変動するので、河川水質の実測値から推定した値を使用しなければならない。この研究では、市川新「多摩川における汚濁物質の収支と流下過程」多摩川流域自然環境調査報告書—第3次調査— とうきゅう環境浄化財団 1978年3月 による実測値をもとに、パラメータを推定した。表3.34に実測および推定されたパラメータを示す。さらに表3.35には流達係数 ϵ および τ を示す。

表 3.3.4 水環境モデルに使用したパラメータ

水域番号	長さ x (m)	巾 w (m)	水深 h (m)	平均流量 (m^3/day)	水温 T ($^{\circ}C$)	DO飽和濃度 p p m	K_r (1/day)	K_d (1/day)	K_a (1/day)
1	5,300	4.3	0.8	157,248	14.3	10.2	0.27	3.44	0.35
2	4,700	18.6	0.5	344,736	14.7	10.1	0.27	6.33	0.35
3	6,800	18.3	0.6	579,744	15.1	10.0	0.28	5.80	0.35
4	4,800	22.5	0.5	640,224	15.8	9.9	0.29	8.05	0.35
5	2,800	73.4	1.0	761,184	15.9	9.8	0.29	1.22	0.35
6	9,100	12.2	1.0	779,328	16.0	9.8	0.29	3.03	0.35

表 3.3.5 流達係数

i		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
し尿処理場	ϵ_{11}^1				1.0			1.0		1.0	0.93		1.0	0.92	1.0							1.0	
	τ_{11}^1																						
ごみ処理場	ϵ_{11}^1		0.95							1.0		0.95	1.0	0.92	1.0	0.95	0.91					0.95	1.0
	τ_{11}^1																						
下水処理場	ϵ_{11}^1																						
	τ_{11}^1																						
雑排水	ϵ_{11}^1	0.80	0.88	0.90	0.99	0.92	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.84	0.96	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.94	1.0	
	τ_{11}^1																						
生産セクタ	ϵ_{11}^1	0.80	0.88	0.90	0.99	0.92	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.84	0.96	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.94	1.0	
	τ_{11}^1																						

3.7 生産活動モデルにおけるデータ推計

すでにみたように、多摩川流域における企業の生産活動は、工業用水の消費、廃水の排出などにおいて、直接、間接に我々のモデルの他要素との関わりをもっている。そこで、そうした企業の諸活動をモデルにとり込むために、対象地域に所在する事業所を以下の論拠にもとずいて、いくつかのグループに分けることにした。

まず、基礎となるデータの利用可能性についてであるが、生産活動を体系的にみるためには、工業統計表が唯一、最適であるといえよう。そして、同統計表は、基本的には、産業分類別に集計されており、したがって、我々の分析においても、この業種別分類データを用いることにした。もちろん、個々の企業の生産活動を直接分析の対象とすることは本来不可能であり、何らかのグルーピングが不可欠であるが、生産活動や用水、排水の態様の同質性などを考慮すれば、産業別分類を基準とした企業のグループ分けが自然であるといえよう。

さて、工業統計表においては、企業の生産活動を、産業分類に加えて、地域分類、資本金別分類などによって集計するとともに、それら分類基準を組み合わせたクロス集計表も提供している。しかし、我々の

表 3.3 6 多摩地区における製造事業所
(従業員30人以上)

産業分類		事業所数
18-19	食料品製造業	41
20	繊維工業	12
21	衣服その他	5
22	木材、木製品	2
23	家具、装備品	13
24	パルプ、紙	9
25	出版、印刷	8
26	化学	22
27	石油製品	-
28	ゴム製品	2
29	なめしかわ	-
30	窯業、土石	29
31	鉄鋼業	3
32	非鉄金属	8
33	金属製品	20
34	一般機械器具	69
35	電気機械	156
36	輸送用機械	49
37	精密機械	30
38	武器	-
39	その他	33

表 3.3.7 自治体別、産業分類別排出量 (m³/日)

番号	自治体	業 種 番 号																					
		18	19	20	21	22	23	24	25	26	28	30	31	32	33	34	35	36	37	39			
1	檜原村																						
2	五日市	15																		386.2			
3	日の出																						
4	秋川	10.8															2.0						
5	青梅	389	80	265.3				200									1495			3.40			
6	瑞穂		10.1	55															240				
7	羽村			120				140											356.5	400	640	5902	280
8	福生	92						70											30			12	
9	昭島	1033.5	365	1003.3															544.3		827	3390	650
10	武蔵村山	100	55	18.2				8.5											1017.5		180	8830	
11	立川	4000						25											28.5	10			
12	国立																						
13	八王子	1610		1602				1717	1800												2250	660	
14	日野	2130						215	8492										24	400	1255	6154.6	768.5
15	小平																				20		
16	国分寺																				25		
17	小金井																				58		
18	府中	6299						8											11		1870		548
19	多摩	7																	23				
20	稲城	3378																	5.8	2	934		

モデルにとって必要な、対象市町村と産業分類とをクロスさせた表は一般には公表されていない。そこで、本研究のデータ収集作業の一環として、サーベイ・リサーチ・センタ（SRC）の協力および行政管理庁の許可のもとに、東京都工業統計表の原票（磁気テープの形で維持されている）を加工し、必要なデータを作成することにした。

次に、統計データの内容であるが、衆知のように、工業統計の対象となる企業は、その規模に応じて、甲票、乙票の区別があり、用地、用水関連の統計の対象となっているのは従業員数が30人以上の企業に限られる。そこで、今回の作業においては、当然のことながら、この従業員数30人以上の企業を対象として、データが抽出・集計された。その結果、多摩地区には、表3.3.6に示されるように、511の事業所が所在していることが判った。同表をみると、産業分類によっては、企業数がきわめて少ないものが見受けられるし、また、我々のモデルの規模からくる制約もあり、産業分類をさらにいくつかのグループにまとめることにした。このグルーピング作業の基礎として、排水データを用いることにした。

事業所からの排水に関するデータは報告義務があり、環境施策の立案や実施に役立てられているものの、一般の研究に使えるような形式で整理されているものではない。そこで、前記SRCの協力により、排水原票を地域、産業別に分類する作業をおこない、その結果を整理してみた。たとえば、企業からの排出量を、自治体別、産業分類別に集計してみると表3.3.7のようになる。

次に、同様のわく組にもとずいて、BOD排出量についても集計、整理してみると、以上の二つの排出基準にもとずいて、大まかに、7つの産業グループを設定することができることがわかった。それは次の通りである。

産業グループ	分類基準	グループに含まれる産業分類コード
1	BOD 0	21、22、23、32、39
2	BOD 排出量 大	19
3	BOD 排出量 少	24
4	BOD 20ppm 排出量 多	18、26、35、36
5	BOD 20ppm 排出量 中	20、30、33、34、37
6	BOD 20ppm 排出量 少	25、31
7	BOD 少 排出量 大	28

そこで、以下の分析においては、この産業グルーピングを用いることにし、そのために必要な出荷額、用地、用水データを集計してみると、表3.3.8が得られた。後述のモデル分析においては、各産業グループ

表 3.3.8 多摩地区の生産活動(昭和53年)

出所：工業統計表

産業セクター	産業分類コード	事業所数	出荷額(百万円)	用地 (Ha)	用水 (t/日)
1	21、22、23、32、39	61	52,506	50.9	12,136
2	19	6	5,440	2.7	2,202
3	24	9	14,474	6.4	267
4	18、26、35、36	262	1,621,596	761.2	287,684
5	20、30、33、34、37	160	334,826	245.6	26,597
6	25、31	11	14,000	14.5	944
7	28	2	52,417	33.2	44,899
	合計	511	2,095,259	1114.5	374,729

表 3.4.0 業種別BOD排出量(ton/年)

番号	自治体	1	2	3	4	5	6	7	合計
1	檜原村								
2	五日市				0.12	4.01			4.13
3	日出								
4	秋川				0.10	0.26			0.36
第1	下水処理区				0.22	4.27			4.49
5	青梅		1.81		1.689	1.466			33.36
6	瑞穂		0.23		1.94	0.46			2.63
7	羽村				54.14	1.003			64.17
8	福生				0.84	0.45	0.66		1.95
9	昭島		8.26		4.254	2.775			78.55
第2	下水処理区		10.30		11.635	5.335	0.66		180.66
10	武蔵村山		1.24		7.382	8.72	0.08		83.86
11	立川				3.261	0.32			32.93
12	国立								
第3	下水処理区		1.24		10.643	9.04	0.08		116.79
13	八王子				5.121	1.344	2.02		66.67
14	日野				1.4611	1.046			156.57
第4	下水処理区				1.9732	2.390	2.02		223.24
15	小平				0.16				0.16
16	国分寺				0.20				0.20
17	小金井					0.49			0.49
18	府中				6.619	6.62	0.08		72.89
第5	下水処理区				6.655	7.11	0.08		73.74
19	多摩				0.06	1.45			1.51
20	稲城				3.494	0.07	4.09		39.10
第6	下水処理区				3.500	1.52	4.09		40.61
合	計		11.54		521.87	99.19	6.93		639.53

の生産活動の制約条件として、これらのデータを用いている。また、以上の産業分類にもとずいて、自治体別、産業セクター別に排出量およびBOD排出量を集計、整理すると、表3.39、3.40のようになった。

3.8 制 約 式

まず第1に、地下水揚水量制約であるが、これは52年現在の揚水量の50%値を各地区に割り当てることにする。ここで50%を選んだのは、東京都の地下水揚水量削減計画(出典：東京地域公害防止計画、昭和53年3月発行、ページ221)にもとづいている。これによれば、昭和50年現在、東京都の市町部において工業用、建築物用、水道用等あわせて811千 m^3 /日の揚水量がある。計画によれば、これを426千 m^3 /日におさえる方向で各種施策を実施している。この計画では削減率47%であるが、ここでは切り上げて50%とした。地区別揚水量制約値を表3.41に示す。

第2の制約式は公共施設の能力制約である。これは、ごみ処理場、下水処理場(計画含む)、浄水場については現状(52年現在)の処理量ないし生産量の1.2倍とした。また、し尿処理場については現状の

表3.41 地区別揚水量と揚水量制約

番号	自治体	揚水実績 (m^3 /年)	揚水量制約 (m^3 /年)
1	檜原村	0	
2	五日市	94,170	47,085
3	日の出	848,260	421,130
4	秋川	3,849,910	1,922,455
5	青梅	645,320	322,660
6	瑞穂	1,165,810	582,905
7	羽村	10,577,700	5,288,850
8	福生	5,804,960	2,902,480
9	昭島	16,802,410	8,401,205
10	武蔵村山	7,755,520	3,877,760
11	立川	21,417,470	10,708,735
12	国立	9,077,550	4,538,775
13	八王子	12,865,520	6,432,760
14	日野	21,287,530	10,643,765
15	小平	12,043,540	6,021,770
16	国分寺	9,793,680	4,896,840
17	小金井	11,448,590	5,724,295
18	府中	32,222,200	16,111,100
19	多摩	3,431,000	1,715,500
20	稲城	7,133,560	3,566,780

表 3.4 2 公共施設に対する能力制約

i	R_{gc}^i (t/y) ごみ焼却場	R_{sl}^i (kl/y) し尿処理場	R_{sw}^i (t/day) 下水処理場	W_M^i (t/day) 浄水場	W_I^i (t/day) 工業用水場
1					
2	10,756×1.2				
3					
4		35,302	59,151×1.2		
5					
6					
7	38,631×1.2	81,020		105,399×1.2	
8					
9	20,666×1.2	86,351	59,151×1.2		
10		140,356			
11	34,705×1.2				
12	12,773×1.2	101,506	59,151×1.2		
13	74,644×1.2	122,115			
14	29,184×1.2	43,416	59,151×1.2		
15	53,936×1.2				
16	16,506×1.2				
17	63,875×1.2				
18			59,151×1.2		
19	49,166×1.2				
20	25,196×1.2	41,847	59,151×1.2		
その他1				875,436×1.2	52,000
2				875,436×1.2	

処理量と同じとした。ただし、第2地区（五日市）のごみ焼却場（西秋川衛生組合）はS53年度から事業を開始したので、ここでは、とりあえず、当該処理場が処理を担当する $i=1\sim 4$ 地区のS52年度の可燃ごみ収集量の1.2倍をもって能力制約とした。また、下水処理場についても $i=1、3、4$ 地区の下水処理場は建設中ないし計画中であるが、これも $i=5$ 地区の下水処理場のS52年度における処理量の1.2倍をもって能力制約とした。表3.42は能力制約の内容を示したものである。

3.9 目的関数としての公害苦情件数の測定

我々は、第1.4.8節で二番目に優先される目的関数として、総埋立量の最小化をはかることを考えた。つまり、土地利用の適正化を図る指標の一つとして、土地の環境質の代理変数とも考えられる総埋立量を取りあげたのである。そこで、次に、この環境質の問題を直接に表わす要素として、公害苦情件数に着目することにした。もとより、多摩川流域についてこのようなデータを直接に収集、分析した試みは見当ら

表 3.4 3 公害苦情件数推定のためのデータ

府 県	製 造 品 出 荷 額 等	人 口 密 度 (人/Km ²)	1Km ² (総面積) 当り出荷額 (百万円/Km ²)	公 害 苦 情 数 公 件 (件)
北海道	39,784	64	47	1,593
青森	6,608	163	74	576
岩手	8,057	92	54	451
宮城	15,749	268	216	957
秋田	6,493	108	57	667
山形	8,871	131	95	627
福島	17,110	143	124	840
茨城	42,358	385	694	2,132
栃木	31,114	265	486	912
群馬	26,396	276	412	1,511
埼玉	66,552	1,269	1,751	3,597
千葉	65,592	813	1,286	1,999
東京都	135,004	5,443	6,429	11,118
神奈川県	143,961	2,683	5,998	1,374
新潟	25,753	198	213	1,067
富山	18,291	252	425	312
石川	10,373	255	247	632
福井	8,596	185	205	545
山梨	7,017	184	163	398
長野	25,327	154	193	1,355
岐阜	24,086	176	227	1,428
静岡	67,648	452	927	1,689
愛知	149,056	1,159	2,923	4,615
三重	32,551	282	561	1,631
滋賀	19,899	245	497	689
京都	29,114	526	633	701
大阪	144,015	4,461	7,579	6,581
兵庫	87,507	597	1,041	3,527
奈良	10,083	292	272	582
和歌山	20,397	227	434	484
鳥取	4,380	166	125	180
島根	4,575	116	69	108
岡山	40,856	256	575	1,182
広島	46,445	313	546	1,389
山口	31,722	255	521	1,077
徳島	7,251	194	177	753
香川	13,930	512	733	713
愛媛	20,090	259	352	1,268
高知	4,190	114	59	806
福岡	41,652	868	850	2,167
佐賀	6,834	347	284	338
長崎	9,169	383	224	780
熊本	9,413	247	131	1,188
大分	13,408	196	213	756
宮崎	6,279	151	87	1,091
鹿児島	7,736	188	84	1,257
沖縄	4,308	464	196	382

公害苦情件数と関連データ

工業統計表(昭和52年版) 通産省
環境調査年報(昭和52年) 環境庁

ないが、都道府県別のデータは利用可能と思われる。

さて、すでに説明した分析モデルの中で、公害苦情件数の最小化をはかる目的関数は以下のように定式化されよう。ここで V^i は第 i 地区で発生する公害苦情件数を示し、第二項、第三項はそれぞれ人口密度

$$V^i = v_0 + v_1 \left(\frac{P_i}{A_i} \right) + v_2 \left(\frac{\sum_{j=1}^m Z_j^i}{A_M^i} \right)$$

および、第 i 地区の単位面積当たりの生産出荷額を示している (P_i = 人口、 A_i = 総面積、 Z_j^i = j 産業グループの出荷額)。つまり、公害苦情件数は、人口密度が高いほど、また、単位面積当たりの生産額が大きいくほど多いと考えられるのである。

上記の公害苦情発生を表わす関数を測定するために、一つの試みとして、我々は、環境調査年報および工業統計表にもとづいた都道府県データを用いたクロスセクション分析をおこなった。表 3.4.3 は用いたデータを示す。回帰式の結果は次の通りである。

$$V^i = 787.1011 + 0.53205 \times \left(\frac{P_i}{A_i} \right) + 0.34095 \times \left(\frac{\sum_{j=1}^m Z_j^i}{A_M^i} \right)$$

(6.7) (3.0)

$$R^2 = 0.8177$$

結果をみると、係数の符号条件、 t 値および決定係数の各項目について一応満足される結果が得られたと判断してもよいだろう。もち論、この都道府県データにもとづく分析結果を多摩地区に当てはめることには問題点も多いと思われるが、一つの試みとしてみて頂きたい。

4. 計算結果

表 4.1 の計算手順にそって、モデルは CDC 6,000 の FMPS ■ を用いて計算された (計算業務は CRC 第 6 2 グループに委託)。ケース A、A' では浄水消費量として原単位を $\alpha_{sw} = 1.5$ 倍したものをを用いているが、ケース B では $\alpha_{sw} = 2$ 倍したものをを用いている。また、ケース A とケース A' の違いは、第 3 章の図 2.5 に示す 3 つの浄水区の一元化をはかるかどうかである。ケース A は一元化をはかる、すなわち各地区は 3 つの浄水場のどこからでも浄水が得られる場合に対応している。他方、ケース A' は浄水区の一元化をはからない。すなわち各浄水区内の地区は、当該浄水場以外からは浄水をもらえない場合である。

ケース A、A'、B それぞれについて、目的関数の優先順位に応じて 4 ケースの計算がなされたが、とくに第 4 (ステップ 4) のケースは、エネルギー価格を現状値

$$e_c (\text{軽油}) = 0.078 \text{ 千円} / 1 \quad (54 \text{ 年 } 12 \text{ 月現在})$$

$$e_b (\text{重油}) = 0.087 \text{ 千円} / 1 \quad (54 \text{ 年 } 12 \text{ 月現在})$$

$$e_A (\text{電力}) = 0.021 \text{ 千円} / \text{Kwh} \quad (55 \text{ 年 } 4 \text{ 月現在})$$

表4.1 計算の手順

ケース A (浄水区の一元化をは かる)	ケース A' (現状の浄水区)	ケース B 浄水区の一元化をは かり、かつ浄水の原 単位を $\alpha b_1^* = 400 \text{ l/日}$ $\alpha b_2^* = 300 \text{ l/日}$ とする。
ステップ 1	$\min D_6$	
ステップ 2	$\min S = \sum_{i=1}^4 S^i$ subject to $D_6 \leq D_6^*$	
ステップ 3	$\min TC$ (総費用) subject to $D_6 \leq D_6^*$ $S \leq S^*$	
ステップ 4 (エネルギー価格を現状の2倍にする)	$\min TC$ subject to $D_6 \leq D_6^*$ $S \leq S^*$	

の2倍に設定した場合に対応している。

4.1 ケースAの計算結果

表4.2～表4.5は、ケースA-1～ケースA-4の解をプリント・アウトしたものである。第6水域でのDOD(D_6)を最小にするというケースA-1では、6ヶ所の下水処理場のうち5ヶ所までが能力一杯まで下水を受け入れている。i=4の第1下水処理場はi=4の位置するごみ処理区内の焼却場の能力制約をうけて、人口が多くはりつけないために、能力以下の操業を余儀なくさせられている。ケースA-2は $D_6 \leq D_6^*$ のもとで埋立量を最小にするものであるが、し尿処理場から排出されるスラッジを減らすために、し尿処理人口を減らして下水処理人口を増やし、そのうえ下水を若干無処理放流している。ただし、こうすることによっても第6水域でのDOD(D_6)はケースA-1に比べて悪くはなっていない。なおケースA-2で求められた対象地域全体での年間最小埋立量は170.5万トンである。このうち4割以上が不燃ごみの直接埋立である。表4.6はS52年度末現在における最終処分地容量を対象地域についてまとめたものである(出典:東京都町村清掃事業年報 S53年版)。これによれば、S52年度末における残余容量は52.35万 m^3 である。それゆえ、ケースA-2で求められた年間埋立量170.5万トンのペースで埋立が進めば、3ケ年で残余容量が消滅する。埋立量を減らすには、不燃ごみの直接埋立量

表4.2 ケースA-1の解

I A M A G A W A M O D E L

PAGE 1

	POP.A (NIN)	POP.B (NIN)	CLAME (KEN)	SECTOR.1 (MM.YEN)	SECTOR.2 (MM.YEN)	SECTOR.3 (MM.YEN)	SECTOR.4 (MM.YEN)	SECTOR.5 (MM.YEN)	SECTOR.6 (MM.YEN)	SECTOR.7 (MM.YEN)
1 HIBASHIMURA	.	.	517.9	.	.	.	.	.	.	1
2 IITSUKAICHI	.	.	517.9	.	.	.	.	.	.	2
3 HINOTE	96567.4	.	1530.6	.	.	.	.	.	.	3
4 AKIKAWA	.	.	517.9	.	.	.	.	.	.	4
5 OUME	.	.	926.4	.	.	.	340960.7	.	.	5
6 IZUHO	235504.0	.	2541.7	70573.1	.	.	.	.	.	6
7 HAMURA	.	.	926.4	.	.	.	340860.7	.	.	7
8 FUSSA	.	.	926.4	.	.	.	53259.5	.	.	8
9 AKISHIWA	.	.	723.0	249144.6	.	.	.	.	.	9
10 TAKEYAMA	236604.0	.	2234.4	82359.8	.	.	117124.1	.	.	10
11 TACHIKAWA	.	.	926.4	.	.	.	308905.0	.	.	11
12 KUNITACHI	.	.	926.4	.	.	.	8921.5	.	.	12
13 HACHIOHJI	173322.1	260373.1	1247.7	.	5440.0	.	452066.5	.	.	13
14 HINO	58261.9	.	875.5	135371.8	.	14474.0	.	15676.3	14000.0	14
15 KOFUKA	.	.	517.9	.	.	.	.	.	.	15
16 NOKUBUNJI	.	.	517.9	.	.	.	.	.	.	16
17 KUGANCI	236604.0	212411.5	1929.8	.	.	.	.	.	.	17
18 FUCHU	.	.	304.1	.	.	.	.	304523.1	.	18
19 TAMA	236604.0	.	1547.2	.	.	.	.	14627.7	.	52417.0
20 INAGI	.	.	517.9	.	.	.	.	.	.	20
21 TIHO	.	.	.	.	.	.	.	.	.	21
TOTAL	1279947.4	472734.6	21133.4	537448.3	5440.0	14474.0	1621598.0	334927.1	14000.0	52417.0

KNORJE ROD06
OBJECTIVE

2.70321

	60MI.G (TON)	60MI.T (TON)	SHINYO.G (TON)	SHINYO.T (TON)	GESUI.1.G (TON)	GESUI.2.G (TON)	GESUI.T (TON)	GESUI.20 (TON)	JYOUSUI (TON)	KOUGYOUSUI (TON)
1 HIRARA WUJA	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
2 ITSUKAICHI	.	12907.2	.	.	.	.	.	.	.	22.3
3 HINODE	12907.2	.	.	.	28970.2	.	.	.	28970.2	.
4 AKIKAWA	.	.	.	.	.	.	28970.2	.	.	.
5 UOME	.	.	.	.	.	.	.	.	.	68853.9
6 IZUMI	34525.3	.	.	.	70981.2	.	.	.	70981.2	16020.1
7 HAMURA	.	34525.3	.	.	.	.	.	.	.	68913.6
8 FUSSA	.	.	.	.	.	.	.	.	.	10758.4
9 AKISHIMA	.	.	.	.	.	.	70981.2	.	.	56555.8
10 TAKEYAMA	49667.9	.	.	129092.4	70981.2	.	.	.	70981.2	47461.2
11 TACHIKAWA	.	29860.7	.	.	.	.	.	.	.	62450.5
12 KUNITACHI	.	.	.	.	.	.	70981.2	.	.	1721.3
13 HACHIOHJI	89572.8	89572.8	122115.0	122115.0	53496.6	61708.4	.	.	115205.1	98506.7
14 HINO	12337.1	12337.1	.	.	17434.6	.	70981.2	.	17484.6	32546.6
15 KODAIRA	.	64723.2	.	.	.	.	.	.	.	112.0
16 KOKURUNJI	.	19807.2	.	.	.	.	.	.	.	34.3
17 KOGANEI	85894.5	22161.3	129082.4	.	70981.2	50344.5	.	.	121322.7	38.4
18 FUCHU	.	.	.	.	.	.	70981.2	.	.	19489.5
19 TAMA	46354.9	46354.9	.	.	70981.2	.	.	.	70981.2	45937.8
20 INAGI	.	.	.	.	.	.	70981.2	.	.	.
21 OTHER	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.

I T O T A L 332259.7 332259.7 251197.4 251197.4 383876.2 112049.9 383876.2 495926.2 529422.4

KNOSJE
OBJECTIVE 80005
2.70321

	L.G.O COST (KL)	F.O COST (KL)	ELC COST (M.KWH)	CHIKA.W (TON)	I.CHIKA.W (TON)	JOSUI.W (TON)	I.JOSUI.W (TON)	UMETATE (TON)	AM SLACK (TON)	MU SLACK (TON)
1 HIRAMAJA	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
2 ITSUKAICHI	3.2	36.3	256.9	.	.	.	.	1862.5	.	129.0
3 HINOJE	63.2	.	200.5	.	.	28970.2	.	2833.3	.	1162.0
4 AKIKAWA	6.3	291.3	3854.3	.	.	.	.	3648.5	.	5267.0
5 OUME	.	.	11.3	.	384.0	.	67992.2	.	.	5
6 IZUHO	166.7	.	631.9	.	.	70981.2	.	10902.7	.	1597.0
7 HAMUJA	8.6	97.0	8931.4	.	.	.	.	4982.0	.	14490.0
8 FUSSA	.	.	91.5	.	7952.0	.	.	.	.	8
9 AKISHIMA	15.4	715.1	9443.5	.	.	.	254207.7	8939.3	.	23017.0
10 TAKEYAMA	167.4	890.8	5938.7	10624.0	.	60357.2	.	14065.2	.	10
11 TACHIKAWA	7.4	83.3	1134.0	.	.	.	.	4308.3	.	29339.0
12 KUNITACHI	15.4	715.1	9443.5	.	.	.	1721.3	8939.3	.	12435.0
13 HACHIOHJI	473.1	1094.4	12025.5	.	1189.6	115205.1	.	35579.5	.	16434.4
14 HINO	63.5	749.8	10551.8	17434.6	11676.4	.	118187.3	13069.5	.	14
15 KODAIRA	16.1	181.9	3388.0	.	16498.0	.	.	9339.6	940000.0	15
16 KOKUBUNJI	4.9	55.7	499.3	.	.	.	.	2858.2	.	13416.0
17 KOGANEI	565.7	62.3	3250.7	.	.	121322.7	3176.1	32159.4	.	15683.0
18 FUCHU	15.4	715.1	9443.5	.	.	.	.	8939.3	.	44140.0
19 TAMA	180.3	130.3	2873.7	.	.	70981.2	45937.8	10722.2	.	4700.0
20 INAGI	15.4	715.1	9443.5	.	.	.	.	8939.3	.	9772.0
21 OTHER	.	.	38440.0	.	.	.	.	.	.	21
TOTAL	1788.6	6534.7	129853.5	28108.6	38200.0	467817.6	491222.4	182088.7	940000.0	191581.4

表4.3 ケーサーA-2の解

J A M A G A W A M O U E L

PAGE 1

 KNOBJE RFD0000000
 OBJECTIVE 170548.75180

	POP.A (NIN)	POP.B (NIN)	CLAME (KEN)	SECTOR.1 (MM.YEN)	SECTOR.2 (MM.YEN)	SECTOR.3 (MM.YEN)	SECTOR.4 (MM.YEN)	SECTOR.5 (MM.YEN)	SECTOR.6 (MM.YEN)	SECTOR.7 (MM.YEN)
1 HIYAKAMAJKA	.	.	517.9	.	.	.	.	.	.	1
2 IJUKAICHI	.	.	517.9	.	.	.	.	.	.	2
3 HINUDE	96567.4	.	1530.6	.	.	.	.	.	.	3
4 AKIKAWA	.	.	517.9	.	.	.	.	.	.	4
5 COME	.	.	926.4	.	.	.	340860.7	.	.	5
6 IZUHO	236604.0	.	2622.9	.	.	.	.	99522.2	.	6
7 HAMURA	.	.	762.5	92623.7	.	.	.	97446.4	14000.0	7
8 FUSSA	.	.	804.1	.	.	.	.	37319.0	.	8
9 AKISHIMA	.	.	723.0	249144.6	.	.	.	.	.	9
10 TAKEYAMA	236604.0	.	2004.7	.	.	.	.	.	.	10
11 TACHIKAWA	.	.	723.0	155047.0	.	.	.	.	.	11
12 KUNITACHI	.	.	996.4	.	.	9982.5	.	.	.	12
13 HACHIOHJI	.	260373.1	1116.9	.	5440.0	.	452066.5	.	.	13
14 HIRU	236604.0	.	1446.3	.	.	.	302467.1	.	.	14
15 KOJAJIRA	.	.	812.1	.	.	4491.5	.	101539.4	.	15
15 KOKUBUNJI	236604.0	.	1248.3	.	.	.	.	.	.	16
17 KOGANEI	.	.	517.9	.	.	.	.	.	.	17
18 FUCHU	.	202552.6	1273.1	.	.	.	434557.4	.	.	18
19 TAMA	24682.8	.	1637.8	.	.	.	51606.3	.	.	19
20 INABI	.	.	517.9	.	.	.	.	.	.	20
21 OJIBEK	.	.	.	.	.	.	.	.	.	21

TOTAL	1289666.2	462705.7	21267.6	496815.3	5440.0	14474.0	1621598.0	334827.0	14000.0	52417.0

I T A M A U A M A M O D E L

KNUSJE RTU0000000
OBJECTIVE 170548.75180

	COMI.G (TON)	COMI.T (TON)	SHINYO.G (TON)	SHINYO.T (TON)	GESUI.1.G (TON)	GESUI.2.G (TON)	GESUI.T (TON)	GESUI.2.D (TON)	JYOUSUI (TON)	KOUGYOUSUI (TON)
1 HIRAKAMU44	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
2 ITSUKAICHI	.	12907.2	.	.	.	.	.	.	22.3	.
3 MINODE	12907.2	.	.	.	28970.2	.	.	.	28970.2	.
4 AKIKAWA	.	.	.	.	.	.	28970.2	.	.	.
5 OOME	.	.	.	.	.	.	.	.	68853.9	.
6 IZUHO	34525.3	.	.	.	70981.2	.	.	.	70981.2	6305.4
7 HAMURA	.	34525.3	.	.	.	.	.	.	.	27853.9
8 FUSSA	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2388.4
9 AKISHIMA	.	.	.	.	.	.	70981.2	.	.	56555.8
10 TAKEYAMA	49607.9	.	.	108774.0	70981.2	.	.	.	70981.2	4303.3
11 TACHIKAWA	.	29860.7	.	.	.	.	.	.	.	35247.4
12 KUNITACHI	.	.	.	.	.	.	70981.2	.	.	179.7
13 MACHIMORI	53163.0	89572.3	122115.0	122115.0	.	61708.4	.	.	61708.4	94506.7
14 HINO	50084.3	13074.9	.	.	70981.2	.	70981.2	.	70981.2	73328.8
15 KODAIRA	.	64723.2	.	.	.	.	.	.	38405.9	.
16 KOKUBUNJI	45953.2	19507.2	.	.	70981.2	.	.	.	70981.2	34.3
17 KUBANEI	.	24739.6	.	.	.	.	.	.	.	42.8
18 FUCHU	43509.6	.	108774.0	.	.	49015.1	70981.2	.	49015.1	87788.7
19 IYAMA	43340.0	48340.0	.	.	74504.8	.	.	3023.6	74004.8	18588.1
20 INAGI	.	.	.	.	.	.	70981.2	.	.	.
21 UMEME	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.

TOTAL	333150.5	308150.5	230889.0	230889.0	386899.8	110723.5	383876.2	3023.6	457623.3	515405.4

I A M A J A W A M O D E L

PAGE 3

 KNOBJE KT00000000
 SUBJECTIVE 170548.75150

	L.O.O COST (KL)	F.O COST (KL)	ELC COST (M.KWH)	CHIKAW (TON)	I.CHIKAW (TON)	JOSU.W (TON)	I.JOSU.W (TCN)	UMETATE (TON)	AM SLACK (TON)	WL SLACK (TON)
1							68876.2			
2	3.2	36.3	256.9					1862.5		129.0
3	63.8		200.5			28970.2		2833.3		1162.0
4	6.3	291.3	3854.3					3648.5		5267.0
5										984.0
6	106.7		631.9			71981.2	132654.2	10902.7		1597.0
7	8.6	97.0	6340.3					4982.0		14450.0
8										7952.0
9	15.4	715.1	9443.5					8939.3		23017.0
10	166.5	750.7	5028.1			70981.2		13567.7	1320000.0	10624.0
11	7.4	83.9	1134.0					4308.9		29339.0
12	15.4	715.1	9443.5				175.7	8939.3		12435.0
13	311.7	1094.4	11035.0			61708.4	171835.6	27587.1		17624.0
14	201.8	753.5	11362.4	29161.0		41820.2		20452.5		
15	100.1	181.9	3134.6				127271.7	9339.6		16498.0
16	181.8	55.7	1611.9	13416.0		57565.2		12270.3		
17	6.1	69.5	1777.1					3569.9		15683.0
18	272.3	715.1	10995.4	44140.0		4375.1		17226.9		
19	188.0	135.3	2936.1			74034.3	18588.1	11178.9		4700.0
20	15.4	715.1	9443.5					8939.3		5772.0
21			38440.0							

TOTAL	1652.5	6411.0	127129.0	86717.0		410906.3	519405.5	170548.7	1320000.0	171173.0

表 4.4 ケース A-3 の解

T A M A G A W A M O D E L

PAGE 1

KNOWLEDGE COST
OBJECTIVE 13839381.13844

	POP.A (NIN)	POP.B (NIN)	CLAME (KEN)	SECTOR.1 (MM.YEN)	SECTOR.2 (MM.YEN)	SECTOR.3 (MM.YEN)	SECTOR.4 (MM.YEN)	SECTOR.5 (MM.YEN)	SECTOR.6 (MM.YEN)	SECTOR.7 (MM.YEN)
1 HIRARAJA	.	.	517.9	.	.	.	.	.	.	1
2 ITSUKAICHI	.	.	517.9	.	.	.	.	.	.	2
3 HINODE	96567.4	.	1530.6	.	.	.	.	.	.	3
4 AKIKAWA	.	.	517.9	.	.	.	.	.	.	4
5 OOME	.	.	926.4	.	.	.	340860.7	.	.	5
6 IZUHO	236604.0	.	2562.5	52506.0	.	.	.	25222.3	.	6
7 HAMURA	.	.	807.6	.	.	.	.	199280.5	.	7
8 FUSSA	.	.	575.4	.	.	.	.	7498.0	.	8
9 AKISHIMA	.	.	517.9	.	.	.	.	.	.	9
10 TAKEYAMA	236604.0	.	2004.7	.	.	.	.	.	.	10
11 TACHIKAWA	.	.	517.9	.	.	.	.	.	.	11
12 KUNITACHI	.	74554.7	853.3	.	.	.	.	.	.	12
13 HACHIOHJI	.	260373.1	1115.9	.	5440.0	.	452066.5	.	.	13
14 HINO	236604.0	.	1452.7	.	.	14474.0	302467.1	4810.0	.	14
15 KOGAIRA	.	.	766.8	.	.	.	.	108015.1	14000.0	15
16 KOKURUNJI	236604.0	.	1248.3	.	.	.	.	.	.	16
17 KOGANEI	.	.	517.9	.	.	.	.	.	.	17
18 FUCHU	.	123038.3	1137.2	.	.	.	434597.4	.	.	18
19 TAMA	251422.4	.	1702.5	.	.	.	91606.3	.	.	19
20 INAGI	.	.	517.9	.	.	.	.	.	.	20
21 OTHER	.	.	.	.	.	.	.	.	.	21
TOTAL	1294405.8	457966.1	20310.2	52506.0	5440.0	14474.0	1621598.0	334827.0	14000.0	52417.0

KNORJE COST
OBJECTIVE 13R38381.13844

	SOMI.G (TON)	GOMI.T (TON)	SHINYO.G (TON)	SHINYO.T (TON)	GESUI.1.G (TON)	GESUI.2.G (TON)	GESUI.T (TON)	GESUI.2D (TON)	JYOUSUI (TON)	KOUGYOUSUI (TON)
1 HIBAYAMURA	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
2 ITSUKAICHI	.	12907.2	.	.	.	.	.	.	.	22.3
3 HINOJE	12907.2	.	.	.	28970.2	.	.	.	28970.2	.
4 AKIKAWA	.	.	.	.	.	.	28970.2	.	.	.
5 OOME	.	.	.	.	.	.	.	.	.	58853.9
6 IZUH)	34525.3	.	.	.	70981.2	.	.	.	70981.2	13533.1
7 HAMURA	.	34525.3	.	.	.	.	.	.	.	57095.1
8 FUSSA	.	.	.	.	.	.	.	.	.	479.9
9 AKISHIMA	.	.	.	.	.	.	70981.2	.	.	.
10 TAKEYAMA	49667.9	.	.	91449.3	70981.2	.	.	.	70981.2	3617.9
11 TACHIKAWA	.	41646.0	.	.	.	.	.	.	.	72.1
12 KUNITACHI	14430.1	2644.8	25303.9	.	.	16942.6	70981.2	.	16942.6	4.6
13 HACHIOHJI	53163.0	89572.8	122115.0	122115.0	.	61708.4	.	.	61708.4	98506.7
14 HINO	50084.3	13674.5	.	.	70981.2	.	70981.2	.	70981.2	51690.4
15 KOCAIWA	.	45953.2	.	.	.	.	.	.	.	7524.6
16 KOKURUNJI	45333.2	19807.2	.	.	70981.2	.	.	.	70981.2	34.3
17 KOGANEI	.	26458.2	.	.	.	.	.	.	.	45.8
18 FUCHJ	26458.2	.	66145.4	.	.	29806.0	70981.2	.	29806.0	87788.7
19 TAMA	49268.7	12033.5	.	.	75426.7	.	.	4445.5	75426.7	18537.4
20 INAGI	.	30235.2	.	.	.	.	70981.2	.	.	52.3
21 OTHER	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
TOTAL	336457.9	336457.9	213554.3	213554.3	388321.7	108457.0	383876.2	4445.5	496778.7	417859.1

	L.G.O COST (KL)	F.O COST (KL)	FLC COST (M,KWH)	CHTKA.W (TON)	I.CHTKA.W (TON)	JOSUI.W (TON)	I.JOSUI.W (TON)	UMETATE (TON)	AM SLACK (TON)	WU SLACK (TON)
1 HIBAYAMAJWA	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
2 ITSUKAICHI	3.2	36.3	256.9	.	.	.	.	1842.5	.	129.0
3 HINODE	63.8	.	208.6	1152.0	.	27808.2	.	2833.3	.	.
4 AKIKAWA	6.3	291.3	3907.5	.	5267.0	.	.	3648.5	.	.
5 COME	.	.	11.3	.	884.0	.	62725.2	.	.	.
6 IZUHO	166.7	.	646.2	1597.0	.	69384.2	.	10902.7	.	.
7 HAMURA	9.6	97.0	1556.4	.	14490.0	.	.	4982.0	.	.
8 FUSSA	.	.	91.5	.	7952.0	.	.	199770.7	.	.
9 AKISHIMA	15.4	715.1	9759.0	.	23017.0	.	.	8939.3	2330000.0	.
10 TAKEYAMA	165.4	631.1	4491.6	10624.0	.	60357.2	.	13143.2	1320000.0	.
11 TACHIKAWA	10.3	117.0	2066.7	.	29339.0	.	.	6009.5	1450000.0	.
12 KUNITACHI	132.4	722.5	9457.2	12430.4	4.6	4512.1	.	13156.9	40000.0	.
13 HACHIDHJI	111.7	1094.4	11359.9	.	17624.0	61708.4	142573.1	27587.1	.	.
14 HINO	201.8	753.5	11352.4	29161.0	.	41820.2	.	20452.5	.	.
15 KODAIRA	11.4	129.1	2478.9	.	16498.0	.	.	6631.1	135409.9	.
16 KOKUBUNJI	181.8	55.7	1611.9	13416.0	.	57565.2	.	12270.3	.	.
17 KOGANFI	6.6	74.3	2119.6	.	15683.0	.	48878.3	3817.9	.	.
18 FUCHU	175.3	715.1	10692.9	29806.0	14334.0	.	.	13979.0	.	.
19 IAMA	184.1	53.5	1711.6	4700.0	.	70726.7	8817.7	7030.8	.	.
20 INAGI	22.3	800.1	10515.9	.	9772.0	.	.	13302.3	.	.
21 OTHER	.	.	28843.1	.	.	.	.	.	.	.
T O T A L										
	1669.1	6286.6	113529.5	102896.4	154864.6	393882.2	262994.3	170548.8	5475180.5	129.0

表 4.5 ケース A-4 の解

Y A M A G A W A Y O U F L

PAGE 1

KNOWLE JUST
OBJECTIVE 16493323.95293

	POP.A (MIN)	POP.B (MIN)	CLAME (KEN)	SECTOR.1 (MM.YEN)	SECTOR.2 (MM.YEN)	SECTOR.3 (MM.YEN)	SECTOR.4 (MM.YEN)	SECTOR.5 (MM.YEN)	SECTOR.6 (MM.YEN)	SECTOR.7 (MM.YEN)
1			517.9	.	.	.	.	.	.	1
2			517.9	.	.	.	.	.	.	2
3	96567.4		1530.6	.	.	.	.	.	.	3
4			517.9	.	.	.	.	.	.	4
5			926.4	.	.	.	340860.7	.	.	5
6	236504.0		2631.2	.	.	.	.	49951.1	.	52417.0
7			725.3	.	.	.	.	173037.7	.	7
8			517.9	.	.	.	.	.	.	8
9			517.9	.	.	.	.	.	.	9
10	236504.0		2004.7	.	.	.	.	.	.	10
11			597.4	52506.0	.	.	.	.	.	11
12		74540.4	953.3	.	.	.	.	.	.	12
13		260373.1	1116.9	.	544.0.0	.	452066.5	.	.	13
14	236504.0		1452.7	.	.	14474.0	302467.1	4810.0	.	14
15			766.8	.	.	.	.	109018.2	14000.0	15
16	236604.0		1249.3	.	.	.	.	.	.	16
17			517.9	.	.	.	.	.	.	17
18		123053.6	1137.3	.	.	.	434597.4	.	.	18
19	251421.5		1702.5	.	.	.	91606.7	.	.	19
20			517.9	.	.	.	.	.	.	20
21			.	.	.	.	.	.	.	21

T O T A L	1294404.9	457967.1	20308.7	52506.0	544.0.0	14474.0	1621598.0	334827.0	14000.0	52417.0

KNORJF COST
OBJECTIVE 16893323.95293

	COMI.T (TON)	SHINYO.G (TON)	SHINYO.T (TON)	GESUI.1.G (TON)	GESUI.2.G (TON)	GESUI.T (TON)	GESUI.2.J (TON)	JYOUSJI KJUSYOUSJI (TON)	
1 HIRAPAMURA	.	.	.	.	.	.	.	.	1
2 IISUKAICHI	12907.2	.	.	.	.	.	.	22.3	2
3 HINODE	12907.2	.	.	28970.2	.	.	.	29371.2	3
4 AKIKAWA	.	.	.	.	.	28970.2	.	.	4
5 COME	.	.	.	.	.	.	.	58953.9	5
6 IZUHO	34525.3	.	.	70981.2	.	.	.	70981.2	5
7 HAMURA	.	34525.3	.	.	.	.	.	11134.2	7
8 FUSSA	.	.	.	.	.	.	.	.	8
9 AKISHIMA	.	.	.	.	.	70981.2	.	.	9
10 TAKEYAMA	49667.9	.	91452.6	70981.2	.	.	.	70981.2	10
11 TACHIKAWA	.	41646.0	.	.	.	.	.	11990.9	11
12 KUNITACHI	14427.3	2642.0	25299.0	.	16939.3	70981.2	.	16949.3	12
13 HACHIOHJI	53163.0	68226.5	122115.0	122115.0	61708.4	.	.	51708.4	13
14 HINO	50084.3	35020.3	.	70981.2	.	70981.2	.	70981.2	14
15 KODAIWA	.	45953.2	.	.	.	.	.	7524.7	15
16 KOKURUNJI	45953.2	19807.2	.	70981.2	.	.	.	70981.2	16
17 KOGANFI	.	25461.4	.	.	.	.	.	45.8	17
18 FUCHU	26461.4	.	56153.6	.	29809.7	70981.2	.	29809.7	18
19 TAMA	49263.6	19033.4	.	75426.4	.	.	4445.2	75426.4	19
20 INAGT	.	30235.2	.	.	.	70981.2	.	52.3	20
21 OTHER	.	.	.	.	.	.	.	.	21

T O T A L	346458.2	336458.2	213567.6	213567.6	108457.4	393876.2	4445.2	436774.9	417469.1

KNOWLEDGE COST
OBJECTIVE 16893323.95203

	L.G.O COST (KL)	F.O COST (KL)	FLC COST (M.KWH)	CHIKAW (TON)	I.CHIKAW (TON)	JOSUI.W (TON)	I.JOSUI.W (TON)	UMETATE (TON)	WU SLACK (TON)	SLACK (TON)	WU SLACK (TON)
1 HISARAMURA	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
2 ITSUKAICHI	3.2	36.3	256.9	.	.	.	.	1962.5	.	129.0	2
3 HIAODF	63.8	.	208.6	1162.0	.	27809.2	.	2933.3	.	.	3
4 AKIKAWA	6.3	291.3	3907.5	.	5267.0	.	.	7649.5	.	.	4
5 OOME	.	.	11.3	.	884.0	.	62725.2	.	.	.	5
6 IZUHO	166.7	.	646.2	1597.0	.	69394.2	.	10902.7	.	.	6
7 HAMURA	9.6	97.0	1556.8	.	14490.0	.	.	4932.3	440820.6	.	7
8 FUSSA	.	.	91.5	.	7952.0	.	.	.	290000.0	.	8
9 AKISHIMA	15.4	715.1	9759.0	.	23017.0	.	.	3939.3	2330000.0	.	9
10 TAKEYAMA	165.8	631.1	4491.7	10624.0	.	80357.2	.	13143.3	1320000.0	.	10
11 TACHIKAWA	10.3	117.0	2066.7	.	29339.0	.	.	6009.5	958963.9	.	11
12 KUNITACHI	132.4	722.5	9357.1	12430.4	4.6	4509.9	.	13155.7	40090.0	.	12
13 HACHIOHJI	306.4	1034.5	10123.2	17624.0	.	44084.4	150137.1	24506.3	.	.	13
14 HINO	207.1	913.5	12099.2	29161.0	.	41920.2	.	23532.7	.	.	14
15 KODAIRA	11.4	129.1	2478.9	.	16493.0	.	.	6631.1	135396.0	.	15
16 KOKUBUNJI	191.8	55.7	1611.0	13415.0	.	57555.2	.	12270.3	.	.	16
17 KOGANEI	6.6	74.4	2119.3	.	15683.0	.	48992.2	3813.4	.	.	17
18 FUCHU	175.3	715.1	10683.0	29809.7	14330.3	.	.	13979.6	.	.	18
19 TAMA	184.1	53.5	1711.6	4700.0	.	70726.4	8917.7	7030.7	.	.	19
20 INAGI	22.9	800.1	10515.9	.	9772.0	.	.	13302.3	.	.	20
21 OTHER	.	.	28843.1	.	.	.	.	.	.	.	21
TOTAL	1668.1	5296.3	113029.9	120524.1	137236.9	376254.7	280622.2	170548.7	5475140.5		129.0

表 4.6 対象地域における最終処分地容量 (S52年度末)

終末処分地	土地所有者	埋立地地形	埋立物	管理	埋立開始 (年・月)	埋立終了予定 (年・月)	埋立地面積 (m^2)	全体容量 (m^3)	残余容量 (m^3)
八王子戸吹町1920	他	山間	不	市	50.6	56.3	15,000	75,000	36,564
" 石川町1815外	"	"	不	灰	52.7	55.7	19,042	100,000	52,834
青梅市今井2434	自	平地	不	灰	44.11	55.3	12,000	36,000	13,000
府中市	"	"	不	市	52.10	53.8	2,500	10,000	1,000
昭島市拝島町字園田	"	"	不	市町村	48.3	54.3	8,663	28,000	4,600
福生市大字能川	国	山間	不	"	49.5	54.3	2,919	17,436	8,209
武蔵村山市大字岸	自	"	不	灰	51.4	58.3	8,027	27,009	19,754
多摩市	"	"	灰	"	51.7	67.7	24,000	30,000	25,270
稲城市	他	"	"	民間	48.1	53.5	4,375	25,000	0
秋川市上代継	自	平地	可	"	49.4	54.3	5,158	51,580	5,000
羽村町羽	"	"	不	市町村	49.12	55.11	2,102	6,000	4,000
箱根ヶ崎2016	国	"	"	"	52.6	55.12	990	4,500	3,252
日の出町平井	他	"	可	民間	52.1	53.9	330	1,980	(122)
五日市町高尾	自	山間	可	市町村	32.11	54.3	3,408	35,000	736
" 伊奈	"	平地	不	灰	51.4	54.5	952	5,767	3,808
檜原村5493	他	山間	不	"	51.4	54.3	2,861	1,900	1,100
奥多摩町梅沢	自	山間	不	灰	51.4	55.3	3,041	20,421	20,130
埼玉景(二枚橋)	他	平地	灰	民間	52.2	55.9	33,000	165,000	155,000
稲城市(多摩川)	"	山間	"	市町村	48.1	53.3	4,500		
五日市町(西秋川)	自	山間	不	灰	54.4	69.3	9,400	164,285	164,285
茨城県(都市ハイキ物)	他	平地	不	灰	52.11	53.6	1,595	9,570	4,822.5
総計								814,448	523,486.5

を減らすことがとりあえずの急務であるが、これは今後の課題である。

ケースA-3は $D_6 \leq D_6^*$ 、 $S \leq S^*$ のもとで総費用を最小にするものである。生産セクター1は、BOD負荷がゼロのため、ケースA-1、A-2では現状以上の生産額となっていたが、ケースA-3では費用を節約するため、生産セクター1の生産額は現状値までおとされている。図4.1は、ケースA-1、A-2、A-3ごとに各水域でのDO値をプロットしたものである。ケースA-1の目的関数である D_6 は3.5節で説明したように第6水域におけるDODの分子に対応している。他方、ケースA-3におけるように、浄水の供給を地下水に頼る（その方が安い）率が高くなると共に、DODの分母（第6水域の流量）が大きくなる。それゆえ、たとえ分子（ $=D_6$ ）の値が同じでも、分母が大きくなるために、ケースA-3のDO値はケースA-1のに比べて良くなっている。また、人口分布にしてもブロックごと、例えば下表の示すように、下水処理区ごとにみても、現状とそれほど異なっていない。

下水処理区番号	1	2	3	4	5	6
地区番号	1、2、3、4	5、6、7、8、9	10、11、12	13、14	15、16、17、18	19、20
現状の人口	万人 7.5	万人 28.5	万人 25.8	万人 48.2	万人 52.0	万人 12.6
ケースA-3で計算された人口	万人 9.7	万人 23.7	万人 31.1	万人 49.7	万人 35.96	万人 25.1

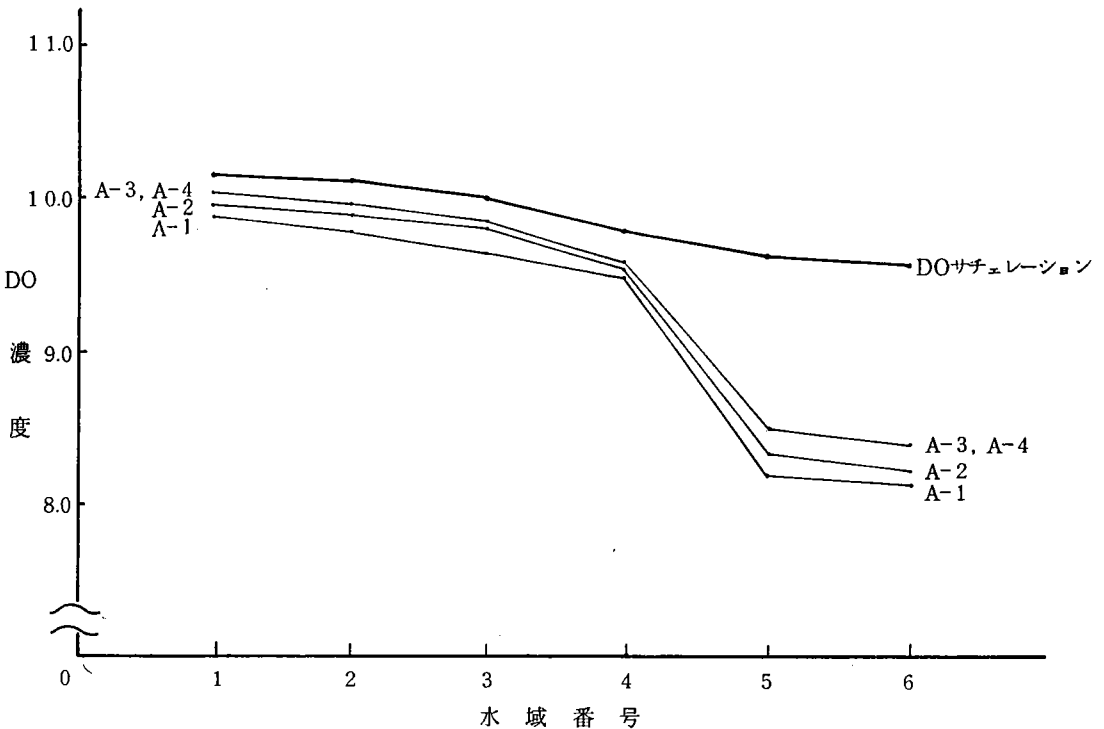


図4.1 DO分布図（ケースA）

表 4.7 ケース A-3 におけるシャドー・プライスデータ

	ごみ処理場	し尿処理場	下水処理場	浄水場	工業用水
1					
2	-181.736				
3					
4		0.0	0.0		
5					
6					
7	0.0	0.0		0.620	
8					
9	0.0	0.0	-69.185		
10		0.0			
11	-2.590				
12	0.0	0.0	-61.107		
13	-0.200	-3.746			
14	0.0	0.0	-64.382		
15	0.0				
16	-1.921				
17	0.0				
18			-70.552		
19	0.0				
20	-1.261	0.0	-81.740		
その他 1				0.0	0.0
2				0.0	

それゆえ、ケース A-3 はほぼ現状の人口分布、生産活動水準、及び公共施設能力を考慮に入れた上で、多摩川第 6 水域の DO = 8.45 ppm、地域全体での埋立量 = 170.5 万トンが年間総費用 144.9 億円で達成可能であるということを示している。なお表 4.7 は、3.8 節の表 3.4.2 の公共施設能力制約に対応するシャドー・プライスを示しているが、第 2 地区のごみ焼却場及び、第 9、12、14、18、20 地区の下水処理場の能力を拡張すれば、総費用がかなり減少しうること示している。

ケース A-4 は、エネルギー価格を 2 倍にした場合であるが、総費用は 175.5 億円とケース A-3 の総費用の約 1.21 倍になっている。このことは、総費用増がエネルギー価格増の 0.28 乗できていることを示している。

表 4.8 は公共部門別費用・エネルギー使用量をケース A-3 とケース A-4 についてまとめたものである。総費用に占めるエネルギー費用の割合は、ごみ処分プロセス、し尿処分プロセス、下水処分プロセス、

表 4.8 公共部門別費用・エネルギー使用量(ケースA)

	し	尿	ケース A - 3				ケース A - 4			
			ごみ	水	水	尿	ごみ	水	水	水
			一般ごみ	不燃ごみ	(住民用のみ)	し	一般ごみ	不燃ごみ	(住民用のみ)	(住民用のみ)
輸送プロセス	費用(千円)	529012	2353818	2003640	59554 27208	529018	2353825	2003640	31650 59554	
	軽油(kl)	1718	1202			172	1202			
	電力(1,000Kwh)				61833 4936				6183 55	
	費用小計(千円)	542413	2447607	2003640	217648	555850	2541337	2003640	353200	
処理プロセス	費用(千円)	485128	1811189	1007675	988949	485134	1811189	1007672	925585	
	重油(kl)	1474	945	3870		1474	945	3869		
	電力(1,000Kwh)	8265	15407	51053	17291	8265	15407	51055	16518	
	費用小計(千円)	786931	2216989	2416443	1332069	1088740	2622713	3825188	1619322	
(輸送・処理プロセスの 送別(輸送・処理 プロセス)	費用(千円)	24925	224351	230239		24925	224351	230239		
	軽油(kl)	9	81	83		9	81	83		
	費用小計(千円)	25627	230669	236713		26329	236981	243187		
	エネルギー費用(千円)	315906	505907	1415242	494005	631842	1011672	2830464	955752	
計	総費用(千円)	1354971	4895265	4656796	1549717	1670919	5401037	6072015	1972522	
	エネルギー費用/総費用	23.3%	10.3%	30.4%	31.9%	37.8%	18.7%	46.6%	48.5%	
処理原価	全処理量	213564kl	336457	1.4×10 ⁸ t	1.4×10 ⁸ t	213567kl	336457	1.4×10 ⁸ t	1.4×10 ⁸ t	
	総費用/全処理量	6.35千円/kl	14.55千円/t	33.3円/t	10.8円/t	7.8千円/kl	16.05千円/t	43.4円/t	14.4円/t	

浄水生産プロセスの順で高くなっており、エネルギー価格上昇の影響もこの順で高くなっている。また、ケースA-3の処理原価はほぼ現状値に近い値をとっている。

4.2 ケースA'の計算結果

表4.9及び図4.2はケースA'-1の計算結果を示したものであるが、第1目的であるDO値はケースAに較べて大幅に減少している。これは、第1浄水区に浄水を供給している*i*=7地区の浄水場での能力制約及び地下水揚水制約のために、多摩川の上流部に人口がはりつけないためである。それゆえ、東京都がS56年度末目標に進めている水道用地下水揚水量の4%削減計画(出典:東京地域公害防止計画、S53年3月、P.221)が浄水区の一元化という事業なしに進められると、多摩川上流部の水質(DO)はかなり悪化するということがケースA'-1の結果は示している。

しかしながら、昭和53年3月現在、三多摩地域の20市町の水道事業は都営水道に一元化されている(出典:八王子市勢概要、1978年3月31日発行、Page 46-47)ことを考慮すると、ケースA'の現実性は余りないとして、ここではケースA'-2以降の計算結果は省略する。

4.3 ケースBの計算結果

表4.10~表5.14はケースB-1~ケースB-4の解をプリント・アウトしたものである。また、図4.3は各ケースにおけるDO分布を示している。現状のエネルギー価格のもとでは、第6水域のDO=7.4ppm、年間埋立量=18.34万トン、年間総費用=166.2億円となる。また、ブロックごとの人

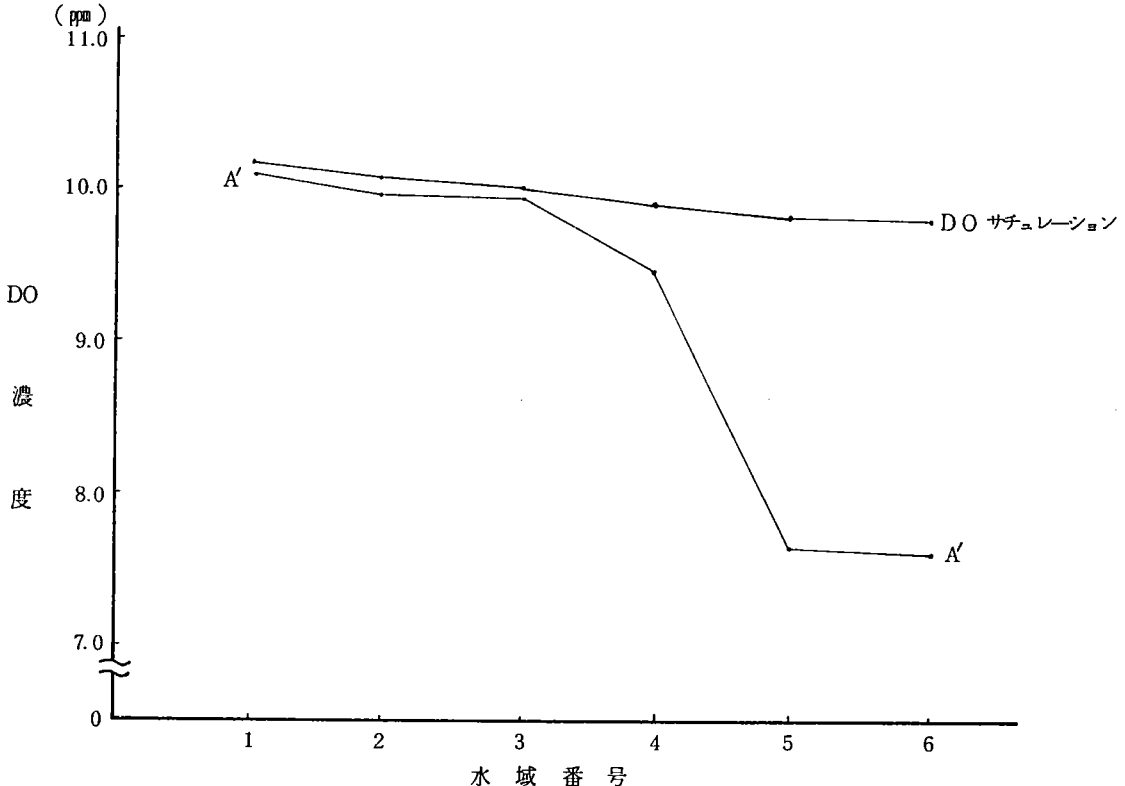


図4.2 DO分布図(ケースA')

表 4.9 ケースA'-1 の計算結果

T A M A G A W A M O D E L

PAGE 1

KN0BJE 80005
OBJECTIVE 4,38354

	POP.A (NIN)	POP.B (NIN)	CLAME (KEN)	SECTOR.1 (MM.YEN)	SECTJK.2 (MM.YEN)	SECTOR.3 (MM.YEN)	SECTOR.4 (MM.YEN)	SECTOR.5 (MM.YEN)	SECTOR.6 (MM.YEN)	SECTOR.7 (MM.YEN)
1 HIYARAMURA	.	.	517.9	.	.	.	.	.	.	1.
2 ITSUKAICHI	.	.	517.9	.	.	.	.	.	.	2.
3 HINOJE	.	.	517.9	.	.	.	.	.	.	3.
4 AKIKAWA	.	.	517.9	.	.	.	.	.	.	4.
5 OOME	.	.	926.4	.	.	.	340860.7	.	.	5.
6 IZUHO	5323.3	.	600.9	.	.	14474.0	.	.	.	6.
7 HAMURA	48300.0	.	1192.3	10180.1	.	.	164420.5	109420.2	.	7.
8 FUSSA	25506.7	.	791.9	.	.	.	.	.	14000.0	8.
9 AKISHIMA	14562.8	.	574.4	.	.	.	.	.	.	9.
10 TAKEYAMA	.	.	579.4	42325.9	.	.	.	.	.	10.
11 TACHIKAWA	.	.	517.9	.	.	.	.	.	.	11.
12 KUNITACHI	236604.0	57757.1	2250.6	.	.	.	8521.5	.	.	12.
13 HACHIOHJI	113952.5	.	1013.6	.	.	.	458031.5	.	.	13.
14 HINO	.	.	804.1	.	.	.	.	225406.8	.	14.
15 KODAIKA	.	302416.6	1521.6	.	.	.	129525.1	.	.	15.
16 OKUBUNJI	101393.3	.	832.7	.	.	.	.	.	.	16.
17 KOGANEI	156152.7	35822.0	1078.8	.	.	.	.	.	.	17.
18 FUCHU	.	183700.2	1240.7	.	5440.0	.	428632.4	.	.	18.
19 IAMA	301377.9	.	1855.7	.	.	.	91606.3	.	.	19.
20 INAGI	72575.2	90636.8	1531.5	.	.	.	.	.	.	20.
21 OTHER	.	.	.	.	.	.	.	.	.	21.
TOTAL	1062039.3	570332.7	19394.1	52506.0	5440.0	14474.0	1621598.0	334827.0	14000.0	52417.0

	KNOBJE OBJECTIVE										GESUI.1 (TON)	GESUI.2 (TON)	GESUI.1.G (TON)	GESUI.2.G (TON)	GESUI.1 (TON)	GESUI.2 (TON)	JYOUSUI (TON)	KOUGYOUSUI (TON)		
	GOMI.G (TON)	GOMI.T (TON)	SHINYO.G (TON)	SHINYO.T (TON)	GESUI.1.G (TON)	GESUI.2.G (TON)	GESUI.1 (TON)	GESUI.2 (TON)	JYOUSUI (TON)	KOUGYOUSUI (TON)										
1 HIRARAMUWA	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
2 ITSUKAICHI	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2
3 HINOJE	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3
4 AKIKAWA	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	4
5 OUME	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	68853.9	5
6 IZUHO	776.8	.	.	.	1597.0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1597.0	.	260.5	260.5	6
7 HAMURA	7853.6	13753.3	.	.	14490.0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	14490.0	.	42550.5	42550.5	7
8 FUSSA	5122.9	.	.	.	7952.0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	7952.0	.	532.0	532.0	8
9 AKISHIMA	3079.0	3078.0	.	.	4398.8	.	.	.	.	.	.	.	.	.	4398.8	.	5.3	5.3	9
10 TAKEYAMA	.	.	.	.	140356.0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	15160.7	15160.7	10
11 TACHIKAWA	.	41646.0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	72.1	11
12 KUNITACHI	56973.6	15327.6	19602.8	101506.0	70981.2	13125.3	70981.2	.	.	.	.	.	.	.	84106.5	5763.6	5763.6	12	
13 HACHIOHJI	24267.3	24267.3	.	.	35655.7	.	.	.	.	.	.	.	.	.	35655.7	.	92564.4	92564.4	13
14 HINO	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	35655.7	.	14426.0	14426.0	14
15 KODAIRA	64723.2	64723.2	101732.9	.	.	72806.8	.	.	.	.	.	.	.	.	72806.8	71197.5	71197.5	15	
16 KOKUBUNJI	19907.2	19807.2	.	.	30595.0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	30595.0	34.3	34.3	16	
17 KOGANEI	37147.1	76650.0	21769.0	.	46845.8	8489.8	.	.	.	.	.	.	.	.	6459.6	55335.6	132.7	132.7	17
18 FUCHUJ	39502.9	.	98757.2	.	.	44501.4	70981.2	.	.	.	.	.	.	.	.	44501.4	89786.9	89786.9	18
19 TAMA	58993.2	58999.2	.	.	90323.3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	19342.1	90323.3	18606.6	18606.6	19
20 INAGI	30235.2	30235.2	41847.0	41847.0	21772.9	22636.5	70981.2	21772.9	21772.9	21772.9	21772.9	21772.9	21772.9	21772.9	44409.4	1707.9	1707.9	20		
21 OTHER	21

TOTAL	348487.0	348487.0	283708.9	283709.0	324611.7	161559.8	277037.1	47574.6	47574.6	47574.6	47574.6	47574.6	47574.6	47574.6	486171.5	486171.5	420654.9	420654.9		

KNOBJE 80006
OBJECTIVE 4,38354

	L.G.O COST (KL)	C.O COST (KL)	ELC COST (M.KWH)	CHIKA.W (TON)	I.CHIKA.W (TON)	JOSUI.W (TON)	I.JOSUI.W (TON)	UMETATE (TON)	AM SLACK (TON)	WU SLACK (TON)
1										1
2			1.0		129.0		61411.9			2
3			8.1		1162.0					3
4			53.2		5267.0					4
5			11.3		884.0					5
6	3.7		14.3	1597.0				245.3	602002.7	6
7	41.9	38.6	10226.0	14490.0				7220.3		7
8	18.9		91.5	7952.0				1530.2	169010.0	8
9	17.6	295.2	4186.7	4398.8	18618.2			4701.3	2330000.0	9
10	5.9	968.6	5558.9		10624.0			3438.7	924167.8	10
11	10.3	117.0	6189.7		29339.0			6009.5	1450000.0	11
12	287.0	1458.7	14719.5			84106.5	5763.6	28782.9		12
13	113.6	68.2	2376.4		17624.0	35655.7		8828.7		13
14	7.7	359.2	5176.3		29161.0			4490.5		14
15	370.1	181.9	4230.3			72806.8		23547.1		15
16	81.2	55.7	904.8	13416.0		17179.0	160151.3	6915.1		16
17	205.6	215.4	6262.4			55335.6		23443.0		17
18	254.1	715.1	15722.7			44501.4		16463.7		18
19	229.4	165.8	3656.7			90323.3	20314.4	13643.9		19
20	283.7	1088.9	12518.0			44409.4		24405.9		20
21			26137.8							21

I O T A L	1930.7	5728.3	118044.6	41853.8	112808.2	444317.7	255972.6	173666.1	5475180.5	103228.0

表4.10 ケースB-1の計算結果

I A M A J I A W A M O D E L

PAGE 1

	POP.A (NIN)	POP.B (NIN)	CLAME (KENJ)	SECTOR.1 (MM.YEN)	KNOBJE OBJECTIVE			SECTOR.4 (MM.YEN)	SECTOR.5 (MM.YEN)	SECTOR.6 (MM.YEN)	SECTOR.7 (MM.YEN)
					80006	80006	80006				
1 MIKAMURA	.	.	517.9	.	.	.	4,72886	.	.	.	1
2 ITSUKAICHI	.	.	517.9	.	.	.	.	.	.	.	2
3 HINODE	96567.4	.	1530.6	.	.	.	.	.	.	.	3
4 AKIKAWA	.	.	517.9	.	.	.	.	.	.	.	4
5 UOME	.	.	926.4	.	.	.	340860.7	.	.	.	5
6 IZUHO	3992.5	.	834.8	.	.	.	.	98522.2	.	.	6
7 HAMURA	173400.5	.	1987.2	94869.5	.	.	63864.7	.	14000.0	52417.0	7
8 FUSSA	.	.	804.1	.	.	.	.	37319.0	.	.	8
9 AKISHIMA	.	.	723.0	249144.6	.	.	.	.	.	.	9
10 IAKIYAMA	146365.5	.	1642.7	141146.3	.	.	.	.	.	.	10
11 TACHIKAWA	.	.	574.2	39444.5	.	.	.	3135.3	.	.	11
12 KUNITACHI	31687.5	.	1066.2	.	.	.	8521.5	.	.	.	12
13 HACHIOHJI	177453.0	260373.1	1247.1	.	5440.0	.	452066.5	.	.	.	13
14 HINU	.	.	926.4	.	.	.	321687.3	.	.	.	14
15 KODAIRA	.	.	816.0	.	.	14474.0	.	131661.8	.	.	15
16 KOKUBUNJI	.	.	517.9	.	.	.	.	.	.	.	16
17 KOGANEI	177453.0	231962.6	1711.2	.	.	.	.	.	.	.	17
18 FUCHU	.	188813.2	1250.0	.	.	.	434597.4	.	.	.	18
19 TAMA	177453.0	.	1351.9	.	.	.	.	64188.7	.	.	19
20 INABI	.	66390.6	1066.8	.	.	.	.	.	.	.	20
21 OTHER	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	21
TOTAL	553832.4	768539.5	20550.2	524604.9	5440.0	14474.0	1621598.1	334827.0	14000.0	52417.0	

	COMI.5 (TON)	COMI.1 (TON)	SHINYO.6 (TON)	SHINYO.1 (TON)	GESUI.1.5 (TON)	GESUI.2.6 (TON)	GESUI.1 (TON)	GESUI.2D (TON)	JOYOUSUI (TON)	JOYOUSUI (TON)
1 MIJIKAKAURA	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
2 IISUKAICHI	.	12907.2	.	.	.	.	.	.	22.3	22.3
3 HINODE	12907.2	.	.	.	39627.0	.	.	.	38627.0	38627.0
4 AKIKAWA	.	.	.	.	.	.	38627.0	.	.	.
5 OOME	.	.	.	.	.	.	.	.	68853.9	68853.9
6 IZUHO	582.6	.	.	.	1597.0	.	.	.	1597.0	6305.4
7 HAYUKA	23204.7	28787.3	.	.	69384.2	.	.	.	69384.2	79939.2
8 FUSSA	.	.	.	.	.	.	.	.	2388.4	2388.4
9 AKISHIMA	.	.	.	.	.	.	70981.2	.	56555.8	56555.8
10 TAKEYAMA	30725.0	.	.	140356.0	58546.2	.	.	.	58546.2	37592.9
11 TACHIKAWA	.	16934.8	.	.	.	.	.	.	9183.9	9183.9
12 KUNITACHI	6017.0	.	.	101506.0	12435.0	.	70981.2	.	12435.0	5737.1
13 HACHIURUJI	89395.3	89395.3	122115.0	122115.0	70981.2	82277.9	.	.	153259.1	98506.4
14 MINU	.	.	.	.	.	.	70981.2	.	64980.8	64980.8
15 KODAIRA	.	64723.2	.	.	.	.	.	.	8798.9	8798.9
16 KOKUBUNJI	.	19807.2	.	.	.	.	.	.	34.3	34.3
17 KUBANEI	79026.4	54907.6	140356.0	.	70981.2	72984.2	.	.	143965.4	95.0
18 FUCHU	40602.4	.	101506.0	.	.	60986.7	70981.2	.	60986.7	87788.7
19 IAMA	34773.7	34773.7	.	.	70981.2	.	.	.	70981.2	4168.3
20 INAGI	16374.4	16374.4	40809.9	40809.9	.	29434.1	70981.2	.	29434.1	1642.8
21 OTHER	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
TOTAL	333610.7	336610.7	404786.9	404786.9	393533.0	245682.9	393533.0	639215.9	532594.1	532594.1

T A M A C A W A M O U E L

KNOBJE BOD06
OBJECTIVE 4.72886

	L.G.O COST (KL)	F.O COST (KL)	ELC COST (M.KWH)	CHIKA.W (TON)	I.CHIKA.W (TON)	JOSUI.W (TON)	I.JOSUI.W (TON)	UMEJATE (TON)	AM SLACK (TON)	WU SLACK (TON)
1 HIBARAYURA	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
2 IISUKAICHI	3.2	36.3	256.9	.	.	.	62725.2	1862.5	.	129.0
3 HINODE	63.8	.	267.3	.	.	38627.0	.	2833.3	.	1162.0
4 AKIKAWA	8.4	389.2	5192.2	.	5267.0	.	.	4864.7	.	.
5 OOME	.	.	11.3	.	884.0	.	.	.	.	5
6 IZUMO	2.8	.	14.3	1597.0	.	.	160996.7	184.0	.	6
7 HAMURA	145.5	80.9	11441.1	.	.	69384.2	.	22957.1	.	14490.0
8 FUSSA	.	.	91.5	.	7952.0	.	.	.	.	8
9 AKISHIMA	15.4	715.1	9759.0	.	23017.0	.	.	8939.3	.	9
10 TAKEYAMA	106.1	968.6	6110.0	10624.0	.	47922.2	.	10183.2	.	10
11 TACHIKAWA	4.2	47.6	643.1	.	.	.	.	2443.7	1060112.0	29339.0
12 KUNITACHI	42.5	1415.6	13526.1	12435.0	.	.	5737.1	13025.7	.	12
13 HACHIOHJI	472.3	1093.9	13607.1	.	17624.0	153259.1	116702.3	35514.9	.	13
14 HINO	15.4	715.1	9876.1	.	29161.0	.	.	8939.3	.	14
15 KODAIRA	16.1	181.9	3388.0	.	16498.0	.	51119.9	9339.6	.	15
16 KOKUBUNJI	4.9	55.7	679.0	.	13416.0	.	.	2858.2	.	16
17 KUGANEI	559.6	154.3	6131.5	.	15683.0	143965.4	.	34266.0	.	17
18 FUCHU	262.7	715.1	10472.1	44140.0	.	16846.7	.	16673.1	.	18
19 TAMAI	135.2	97.7	2389.6	.	4700.0	70981.2	.	8041.6	.	19
20 INABU	222.6	1042.6	11384.9	8660.9	1111.1	20773.2	.	17760.1	.	20
21 OTHER	.	.	37432.9	.	.	.	.	.	.	21
<hr/>										
I O J A L	2078.7	7709.8	142624.0	77476.9	135313.1	561759.0	397281.2	200686.3	1056112.0	45120.0

表4.1.1 ケースB-2の計算結果

T A M A G A W A M O D E L

PAGE 1

KN08JE RTD0000000
OBJECTIVE 183396.95203

	POP.A (NIN)	POP.B (NIN)	CLAME (KEN)	SECTOR.1 (MM.YEN)	SECTOR.2 (MM.YEN)	SECTOR.3 (MM.YEN)	SECTOR.4 (MM.YEN)	SECTOR.5 (MM.YEN)	SECTOR.6 (MM.YEN)	SECTOR.7 (MM.YEN)
1			517.9							
2			517.9							
3	96567.4		1530.6							
4			517.9							
5			926.4				340860.7			
6	177453.0		2173.8					86432.3	14000.0	
7			760.2	92623.7				109536.3		
8			804.1					37319.0		
9			723.0	249144.6						
10	177453.0		1838.0	141146.3						
11			517.9							
12			804.1					5971.0		
13		260373.1	1116.9		5440.0		452066.5			
14	177453.0		1314.7				302467.1			14243.7
15			920.3			14474.0		95568.4		38173.3
16	177453.0		1055.7							
17		189240.6	1070.8							
18		235975.6	1330.9				434597.4			
19	177453.0		1474.1				91606.3			
20		82950.2	1033.0							
21										

TOTAL	983832.4	768539.5	20858.1	482914.6	5440.0	14474.0	1621598.0	334827.0	14000.0	52417.0

KNOBJE RI00000000
 OBJECTIVE 183386.95203

	GUMI.G (TON)	GOMI.T (TON)	SHINYO.G (TON)	SHINYO.T (TON)	GESUI.1.G (TON)	GESUI.2.G (TON)	GESUI.T (TON)	GESUI.2D (TON)	JYOUSUI (TON)	KOUGYOUSUI (TON)
1										
2		12907.2								22.3
3	12907.2				38627.0				38627.0	
4							38627.0			
5										68853.9
6	25893.9				70981.2				70981.2	6063.7
7		25893.9								28080.7
8										2388.4
9							70981.2			56555.8
10	37250.9			140356.0	70981.2				70981.2	37592.9
11		17443.7								30.2
12				101506.0			70981.2			4397.9
13	53163.0	89572.8	122115.0	122115.0		82277.9			82277.9	98506.7
14	37563.3	1153.4			70981.2		70981.2		70981.2	73307.2
15		64723.2								39203.5
16	34464.9	19807.2			70981.2				70981.2	34.3
17	36619.1	57104.0	115001.5			59800.0			59800.0	98.8
18	50744.2		126860.5			76220.1	70981.2		76220.1	87788.7
19	34773.7	34773.7			70981.2				70981.2	185564.7
20	15366.5	15366.5	38298.1	38298.1		27622.4	70981.2		27622.4	1541.7
21										
OTHER										
TOTAL	338745.7	338745.6	402275.1	402275.1	393533.0	245920.4	393533.0		639453.4	523031.4

KNOBJE RFD0000000
 OBJECTIVE 183386.95203

	L.G.O COST (KL)	F.O COST (KL)	ELC COST (M.KWH)	CHIKA.W (TON)	I.CHIKA.W (TON)	JOSUI.W (TON)	I.JOSUI.W (TON)	UMETATE (TON)	AM SLACK (TON)	MU SLACK (TON)
1 HIBARAMUPA	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
2 ITSUKAICHI	3.2	36.3	256.9	.	.	.	62725.2	1862.5	.	129.0
3 HINOME	63.8	.	267.3	1162.0	.	37465.0	.	2833.3	.	3
4 AKIKAWA	8.4	389.2	5192.2	.	5267.0	.	.	4864.7	.	4
5 OOME	.	.	11.3	.	884.0	.	.	.	.	5
6 IZUHO	125.0	.	631.9	1597.0	.	69384.2	99742.7	8177.0	.	6
7 HAMURA	6.4	72.8	10549.3	.	.	.	.	3736.5	.	14490.0
8 FUSSA	.	.	91.5	.	7952.0	.	.	.	.	8
9 AKISHIMA	15.4	715.1	9759.0	.	23017.0	.	.	8939.3	.	9
10 TAKEYAMA	127.4	968.6	6253.0	10624.0	.	60357.2	.	11615.8	.	10
11 YACHIKAWA	4.3	49.0	662.5	.	.	.	.	2517.1	145000.0	29339.0
12 KUNITACHI	19.7	1415.6	13427.7	.	4397.9	.	.	11426.2	.	8037.1
13 HACHIOHJI	311.7	1094.4	11732.3	.	17624.0	82277.9	125028.9	27587.1	.	13
14 HINO	152.9	718.4	10930.2	.	29161.0	70981.2	.	16260.7	.	14
15 KOCAIRA	16.1	181.3	3388.0	.	16498.0	.	94944.3	9339.6	.	15
16 KOKUBUNJI	137.6	55.7	1435.6	13416.0	.	57565.2	.	9917.3	.	16
17 KOGANEI	345.3	160.5	5138.5	.	15683.0	59800.0	.	20446.1	.	17
18 FUCHU	322.0	715.1	10719.9	44140.0	.	32080.1	.	18604.9	.	18
19 TAMA	135.2	97.7	2389.6	.	4700.0	70981.2	.	8041.6	.	19
20 INAGI	209.8	1022.6	11831.4	.	9772.0	27622.4	5634.4	17217.2	.	20
21 OTHER	.	.	37375.4	.	.	.	.	.	.	21

TOTAL	2005.2	7692.9	142043.5	70939.0	134955.9	568514.4	388075.5	183396.9	145000.0	51995.1

表4.12 ケースB-3の計算結果

T A M A G A W A M O D E L

PAGE 1

KNOWLEDGE OBJECTIVE COST
15808641.07992

	POP.A (人)	POP.B (人)	CLAME (千)	SECTOR.1 (MM.YEN)	SECTOR.2 (MM.YEN)	SECTOR.3 (MM.YEN)	SECTOR.4 (MM.YEN)	SECTOR.5 (MM.YEN)	SECTOR.6 (MM.YEN)	SECTOR.7 (MM.YEN)
1 HIRARAMURA	.	.	517.9	.	.	.	.	.	.	.
2 ITSUKAICHI	.	.	517.9	.	.	.	.	.	.	.
3 HINODE	94567.4	.	1530.6	.	.	.	.	.	.	.
4 AKIKAWA	.	.	517.9	.	.	.	.	.	.	.
5 OOME	.	.	926.4	.	.	340860.7	.	.	.	.
6 IZUHO	177453.0	.	1922.7	.	.	.	.	14000.0	.	.
7 HAMURA	.	.	797.5	.	.	.	.	233287.6	.	.
8 FUSSA	.	.	517.9	.	.	.	.	.	.	.
9 AKISHIMA	.	.	561.1	52506.0	.	.	.	.	.	.
10 TAKEYAMA	177453.0	.	1633.0	.	.	.	.	.	.	.
11 TACHIKAWA	.	.	517.9	.	.	.	.	.	.	.
12 KUNITACHI	.	.	820.6	.	.	.	.	.	.	6315.1
13 HACHIOHJI	.	260373.1	1116.9	.	5440.0	.	452066.5	.	.	.
14 HINO	177453.0	.	1314.7	.	.	.	302467.1	.	.	14243.7
15 KODAIRA	.	.	819.6	.	.	14474.0	.	101539.4	.	31858.2
16 KOKUHUNJI	177453.0	.	1065.7	.	.	.	.	.	.	.
17 KOGANEI	.	189240.5	1070.8	.	.	.	.	.	.	.
18 FUCHJ	.	235975.6	1330.8	.	.	.	434597.4	.	.	.
19 TAMA	177453.0	.	1474.1	.	.	.	91606.3	.	.	.
20 INAGI	.	82950.2	1033.0	.	.	.	.	.	.	.
21 OTHER	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
TOTAL	983432.4	768539.5	20007.0	52506.0	5440.0	14474.0	1621598.0	334827.0	14000.0	52417.0

KNOWJE COST
OBJECTIVE 15808641.07992

	GOMI.G (TON)	GOMI.T (TON)	SHINYO.G (TON)	SHINYO.T (TON)	GESUI.1.G (TON)	GESUI.2.G (TON)	GESUI.T (TON)	GESUI.2U (TON)	JYOUSUI (TON)	KOUGYOUSUI (TON)
1 HIARAMIJA	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
2 ITSUKAICHI	.	12907.2	.	.	.	.	.	.	.	22.3
3 HINODE	12907.2	.	.	.	38627.0	.	.	.	38627.0	.
4 AKIKAWA	.	.	.	.	.	.	38627.0	.	.	.
5 OOME	.	.	.	.	.	.	.	.	.	68853.9
6 IZUHO	25993.9	.	.	.	70981.2	.	.	.	70981.2	532.0
7 HAMURA	.	25893.9	.	.	.	.	.	.	.	14975.2
8 FUSSA	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
9 AKISHIMA	.	.	.	.	.	.	70981.2	.	.	11918.9
10 TAKEYAMA	37250.9	.	.	140356.0	70981.2	.	.	.	70981.2	5552.7
11 TACHIKAWA	.	17443.7	.	.	.	.	.	.	.	30.2
12 KUNITACHI	.	.	.	101506.0	.	.	70981.2	.	.	9427.8
13 HACHIOHJI	53163.0	89572.8	122115.0	122115.0	.	82277.9	.	82277.9	98506.7	13
14 HINO	37563.3	1153.4	.	.	70981.2	.	70981.2	.	70981.2	73307.2
15 KODAIWA	.	64723.2	.	.	.	.	.	.	.	34173.6
16 KOKURUNJI	34464.9	19807.2	.	.	70981.2	.	.	.	70981.2	34.3
17 KOGANEI	36613.1	57104.0	115011.5	.	.	59800.0	.	.	59800.0	98.8
18 FUCHU	50744.2	.	126860.5	.	.	76220.1	70981.2	.	76220.1	87788.7
19 TAMA	34773.7	34771.1	.	.	70981.2	.	.	.	70981.2	18564.7
20 INAGI	15366.5	15369.1	38298.1	38298.1	.	27622.4	70981.2	.	27622.4	1541.7
21 OTHER	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
TOTAL	338745.7	338745.6	402275.1	402275.1	393533.0	245920.4	393533.0	.	639453.4	425328.7

T A M A G A W A M O D E L

KNOBJE COST
OBJECTIVE 15808641.07992

	L.G.O COST (KL)	F.O COST (KL)	ELC COST (M.KWH)	CHIKA.W (TON)	I.CHIKA.W (TON)	JOSUI.W (TON)	I.JOSUI.W (TON)	UMETATE (TON)	AM SLACK (TON)	WU SLACK (TON)
1 HIBARAMURA	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
2 ITSUKAICHI	3.2	36.3	256.9	.	.	.	.	1852.5	.	129.0
3 HINODE	63.8	.	267.3	1162.0	.	37465.0	.	2833.3	.	3
4 AKIKAWA	9.4	389.2	5192.2	.	5267.0	.	.	4864.7	.	4
5 OOME	.	.	11.3	.	884.0	.	62725.2	.	.	5
6 IZUHO	125.0	.	631.9	1597.0	.	69384.2	.	8177.0	579010.0	6
7 HAMURA	6.4	72.8	1043.2	.	.	.	.	3736.5	37206.6	14490.0
8 FUSSA	.	.	.	.	.	.	.	.	250000.0	7952.0
9 AKISHIMA	15.4	715.1	9493.9	.	3670.0	.	.	8939.3	1838963.9	19347.0
10 TAKEYAMA	127.4	968.6	6253.0	10624.0	.	60357.2	.	11615.8	1320000.0	10
11 TACHIKAWA	4.3	49.0	1147.6	.	29339.0	.	.	2517.1	1450000.0	11
12 KUNITACHI	19.7	1415.6	13489.3	.	9427.8	.	.	11426.2	.	3007.2
13 HACHIOHJI	311.7	1094.4	11413.2	17624.0	.	64653.9	171813.9	27587.1	.	13
14 HINO	152.9	718.4	10513.5	29161.0	.	41820.2	.	16260.7	.	14
15 KODAIRA	16.1	181.9	3388.0	.	16498.0	.	.	9339.6	.	15
16 KOKUSUNJI	137.6	55.7	1435.6	13416.0	.	57565.2	.	9917.3	.	16
17 KOGANEI	346.3	160.5	4924.1	15683.0	.	44117.0	105597.3	20446.1	.	17
18 FUCHU	322.0	715.1	10719.9	44140.0	.	32080.1	.	18604.9	.	18
19 TAMA	135.2	97.7	2340.5	4700.0	.	66291.2	20106.4	8041.3	.	19
20 INAGI	209.8	1022.6	11723.3	9772.0	.	17850.4	.	17217.6	.	20
21 OTHER	.	.	37402.9	.	.	.	.	.	.	21
TOTAL	2005.2	7692.9	131647.5	147879.0	65085.8	491574.4	360242.8	183387.0	5475180.5	44925.2

表 4.13 ケース B-4 の計算結果

T A M A G A W A M O D E L

PAGE 1

KNOWLEDGE OBJECTIVE COST
19398027.20377

	POP.A (NIN)	POP.B (NIN)	CLAME (KEN)	SECTOR.1 (MM.YEN)	SECTOR.2 (MM.YEN)	SECTOR.3 (MM.YEN)	SECTOR.4 (MM.YEN)	SECTOR.5 (MM.YEN)	SECTOR.6 (MM.YEN)	SECTOR.7 (MM.YEN)
1 MIYAKAMUKA	.	.	517.9	.	.	.	.	.	.	1
2 IISUKAICHI	.	.	517.9	.	.	.	.	.	.	2
3 HINJUE	36567.4	.	1530.6	.	.	.	.	.	.	3
4 AKIKAWA	.	.	517.9	.	.	.	.	.	.	4
5 OOME	.	.	926.4	.	.	.	340860.7	.	.	5
6 IZUHO	177453.0	.	2119.5	.	.	.	.	67745.9	14000.0	6
7 HARUKA	.	.	779.2	52506.0	.	.	.	165541.7	.	7
8 FUSSA	.	.	517.9	.	.	.	.	.	.	8
9 AKISHIMA	.	.	517.9	.	.	.	.	.	.	9
10 TAKEYAMA	177453.0	.	1633.0	.	.	.	.	.	.	10
11 TACHIKAWA	.	.	517.9	.	.	.	.	.	.	11
12 KUNIJICHI	.	.	826.6	.	.	.	.	.	.	12
13 HACHIOHJI	.	260373.1	1116.9	.	5440.0	.	452066.5	.	.	13
14 HINU	177453.0	.	1314.7	.	.	.	302467.1	.	.	14
15 KODAIRA	.	.	819.6	.	.	14474.0	.	101539.4	.	15
16 KOKUBUNJI	177453.0	.	1065.7	.	.	.	.	.	.	16
17 KOGANEI	.	189246.6	1070.8	.	.	.	.	.	.	17
18 FUCHU	.	235375.6	1330.8	.	.	.	434597.4	.	.	18
19 TAMA	177453.0	.	1474.1	.	.	.	91606.3	.	.	19
20 INAGI	.	82950.2	1033.0	.	.	.	.	.	.	20
21 OTHER	.	.	.	.	.	.	.	.	.	21
TOTAL	933832.4	763539.5	20142.3	52506.0	5440.0	14474.0	1621598.0	334827.0	14000.0	52417.0

KNOBJE COST
OBJECTIVE 19398027.20377

	COMI.0 (TON)	COMI.1 (TON)	SHINYO.0 (TON)	SHINYO.1 (TON)	GESUI.1.0 (TON)	GESUI.2.0 (TON)	GESUI.1 (TON)	GESUI.20 (TON)	JYOUSUI (TON)	KOUGYOUSUI (TON)
1 HIBAKAMUKA	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
2 IISUKAISHI	.	12907.2	.	.	.	.	.	.	.	22.3
3 HINODE	12907.2	.	.	.	38627.0	.	.	38627.0	.	.
4 AKIKAWA	.	.	.	.	.	.	38627.0	.	.	.
5 OOME	.	.	.	.	.	.	.	.	.	68853.9
6 IZUHO	25893.9	.	.	.	70981.2	.	.	70981.2	.	4867.7
7 HAMURA	.	25993.9	.	.	.	.	.	.	.	22558.3
8 FUSSA	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
9 AKISHIMA	.	.	.	.	.	.	70981.2	.	.	.
10 TAKEYAMA	37250.9	.	.	140356.0	70981.2	.	.	70981.2	.	5552.7
11 TACHIKAWA	.	17443.7	.	.	.	.	.	.	.	30.2
12 KUNITACHI	.	.	.	101506.0	.	.	70981.2	.	.	9427.8
13 HALCHIOHJI	53163.0	89572.8	122115.0	122115.0	.	82277.9	.	82277.9	98506.7	13
14 HINU	37563.3	1153.4	.	.	70981.2	.	70981.2	70981.2	73307.2	14
15 KODAIRA	.	64723.2	.	.	.	.	.	.	34173.6	15
16 KOKUBUNJI	34404.9	19307.2	.	.	75981.2	.	.	70981.2	34.3	16
17 KOGANEI	36618.1	57104.0	115001.5	.	.	59800.0	.	59800.0	98.8	17
18 FUCHU	50744.2	.	126860.5	.	.	76220.1	70981.2	76220.1	87780.7	18
19 TAMA	34773.7	34771.1	.	.	70981.2	.	.	70981.2	18564.7	19
20 INAGI	15366.5	15369.1	38298.1	38298.1	.	27622.4	70981.2	27622.4	1541.7	20
21 OTNER	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.

TOTAL 333745.7 338745.6 402275.1 402275.1 393533.0 245920.4 393533.0 . 639453.4 425328.6

KNOWJE COST
OBJECTIVE 19398027-20377

	L.G.O COST (KL)	F.O COST (KL)	ELC COST (M.KWH)	CHIKA.W (TON)	I.CHIKA.W (TON)	JOSUI.W (TON)	I.JOSUI.W (TON)	UMETATE (TON)	AM SLACK (TON)	WU SLACK (TON)
1 HIJARAMURA	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
2 ITSUKAICHI	3.2	36.3	256.9	.	.	.	.	1862.5	.	129.0
3 HINODE	63.6	.	607.3	1162.6	.	37465.0	.	2833.3	.	.
4 AKIKAWA	8.4	389.2	5192.2	.	5267.0	.	.	4864.7	.	.
5 OOME	.	.	11.3	.	884.0	.	62725.2	.	.	.
6 IZUHO	125.0	.	631.9	1597.0	.	69384.2	.	8177.0	125180.5	.
7 HAMURA	6.4	72.8	1209.1	.	14490.0	.	.	3736.5	.	.
8 FUSSA	.	.	.	.	.	.	.	.	250003.0	7952.0
9 AKISHIMA	15.4	715.1	9697.3	.	18519.0	.	.	8939.3	2330000.0	4498.0
10 TAKEYAMA	127.4	968.6	6253.0	10624.0	.	61357.2	.	11615.8	1320000.0	.
11 TACHIKAWA	4.3	49.0	662.5	.	.	.	.	2517.1	1450000.0	29339.0
12 KUNITACHI	19.7	1415.6	13489.3	.	9427.8	.	.	11426.2	.	3007.2
13 MAUCHIOHJI	311.7	1094.4	11413.2	17624.0	.	64653.9	171813.9	27587.1	.	.
14 HINU	152.9	718.4	10513.5	29161.0	.	41920.2	.	16260.7	.	.
15 KODAIRA	16.1	181.9	3388.0	.	16498.0	.	.	9339.6	.	.
16 KOKUBUNJI	137.6	55.7	1435.6	13416.0	.	57565.2	.	9917.3	.	.
17 KOGANEI	346.3	160.5	4924.1	15683.0	.	44117.0	105597.3	20446.1	.	.
18 FUCHU	322.0	715.1	10719.9	44146.0	.	32380.1	.	18604.9	.	.
19 IAMA	135.2	97.7	2340.5	4700.0	.	66281.2	20106.4	8041.3	.	.
20 INAGI	209.8	1022.6	11723.3	9772.0	.	17350.4	.	17217.6	.	.
21 OTHER	.	.	37402.9	.	.	.	.	.	.	.
TOTAL	2005.2	7692.9	131531.8	147879.0	65085.8	491574.4	360242.8	83387.0	5475180.5	44925.2

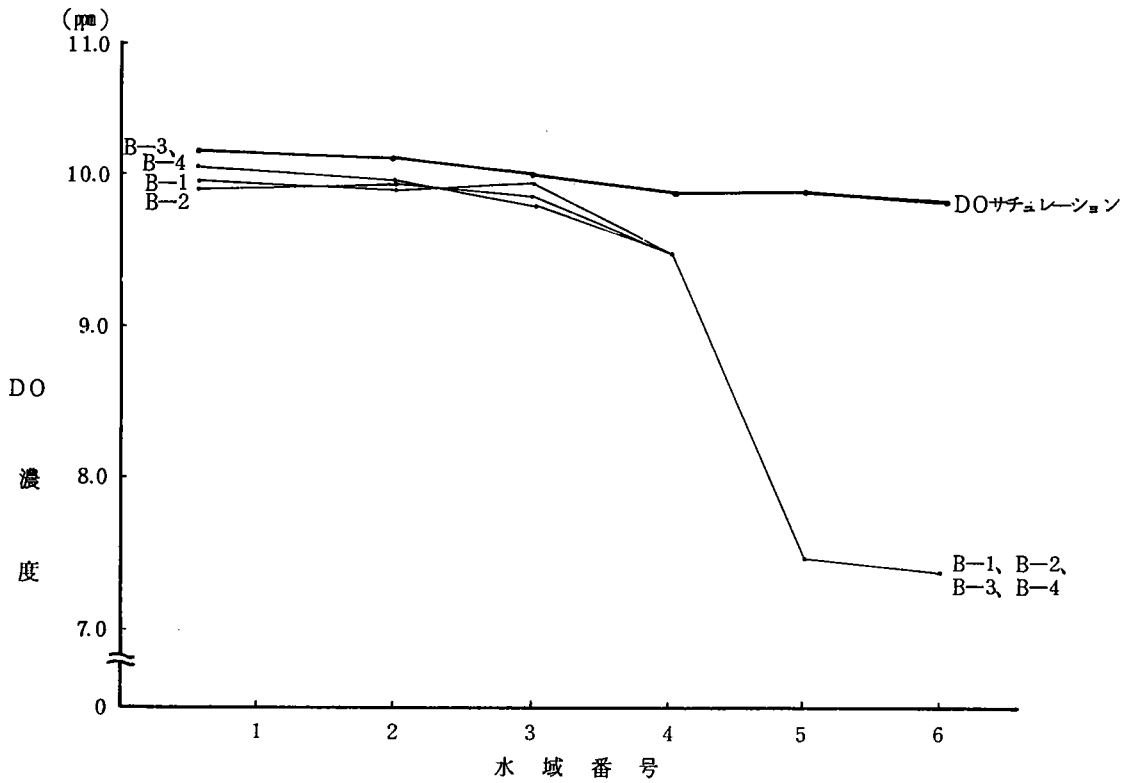


図 4.3 DO分布図(ケース B)

人口分布は下表のようになる。

下水処理区番号	1	2	3	4	5	6
地区番号	1、2、3、4	5、6、7、8、9	10、11、12	13、14	15、16、17、18	19、20
現状の人口	万人 7.5	万人 28.5	万人 25.8	万人 48.2	万人 52.0	万人 12.6
ケースB-3で 計算された人口	万人 9.7	万人 17.7	万人 17.7	万人 43.8	万人 60.25	万人 26.03

表 4.1 4 は公共部門別費用・エネルギー使用量をまとめたものである。ケース A に較べてし尿の処理量が増加したために、処理における規模の収益のゆえに、し尿の処理単価はケース A におけるよりも若干安くなっている。

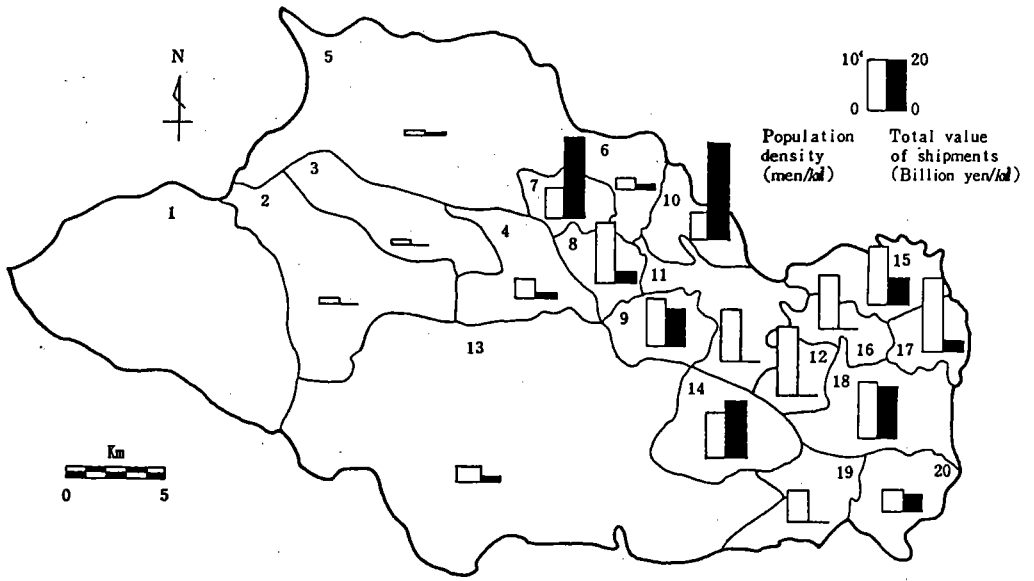
エネルギー価格が 2 倍になった場合の年間総費用は 202.1 億円と、ケース B-3 の総費用の 1.216 倍になっている。すなわち、用水消費量が増加したにもかかわらず、総費用増は、ケース A におけると同じく、エネルギー価格増の 0.28 乗できている。

4.4 公害苦情件数を目的関数にとり込んだ場合の計算結果

3.9 節で測定した公害苦情件数に係る関数を表 4.1 のケース A のステップ 2 の目的関数としてモデルを

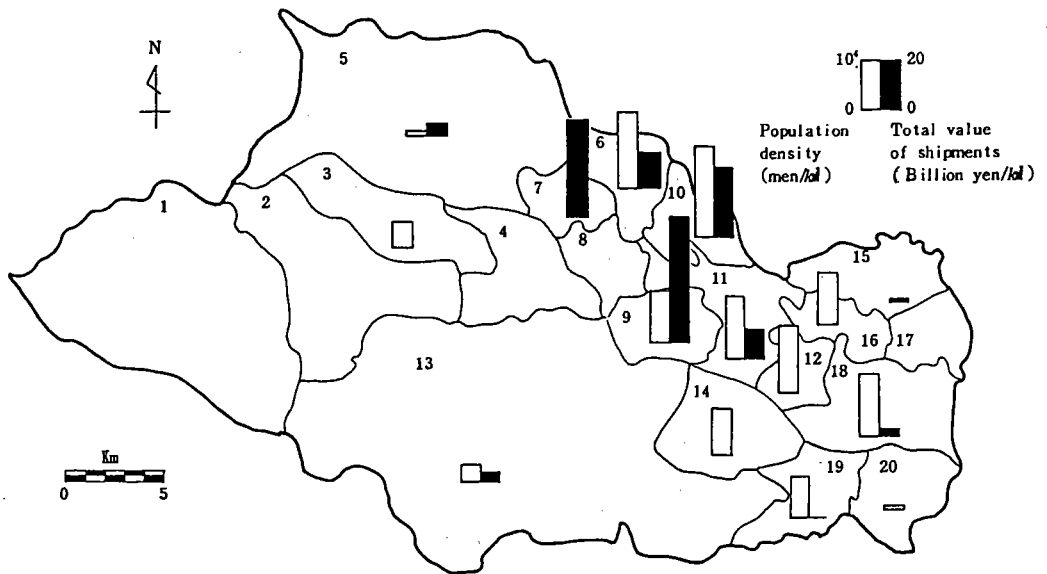
表4.1.4 公共部門別費用・エネルギー使用量(ケースB)

	ケース B - 3					ケース B - 4				
	し	尿	下		水 浄 (住民用のみ)	し	尿	下		水 浄 (住民用のみ)
			ごみ	不燃ごみ				ごみ	不燃ごみ	
取 集 プ ロ セ ス	費用(千円)	871,987	2,399,414	2,054,045	70,250 37,606	871,987	2,399,414	2,054,045	62,228 37,606	
	軽油(kl)	478	1,212			478	1,212			
	電力(1,000Kwh)				71 8255				70 8,255	
	費用小計(千円)	909,250	2,493,922	2,054,045	282,693	946,512	2,588,429	2,054,045	4,49,509	
処 理 プ ロ セ ス	費用(千円)	920,572	1,817,507	1,033,024	1,209,272	920,571	1,817,507	1,033,024	1,209,272	
	重油(kl)	2,776	952	3,967		2,776	952	3,967		
	電力(1,000Kwh)	1,5568	17,009	52,340	21,580	1,5568	16,752	52,340	21,580	
	費用小計(千円)	1,488,987	2,257,511	2,477,275	1,662,454	2,057,400	2,686,730	3,921,524	2,115,636	
総 送 分 配 プ ロ セ ス の 場 合	費用(千円)	469,49	2,035,51	236,032		469,49	2,035,51	236,032		
	軽油(kl)	17	74	85		17	74	85		
	費用小計(千円)	48,275	2,093,23	242,662		49,601	2,150,95	249,292		
計	エネルギー費用(千円)	607,004	540,321	1,450,899	628,019	1,214,006	1,059,782	2,901,760	1,256,039	
	総費用(千円)	2,446,512	4,960,793	4,779,982	1,945,147	3,053,513	5,490,254	6,224,861	2,565,145	
	エネルギー費用/総費用	24.8%	10.9%	30.4%	32.3%	39.8%	19.5%	46.6%	48.97%	
処 理 原 価	全処雨量	402,275kl	338,745	1,44X10 ⁶ t	1,79X10 ⁶ t	402,275kl	338,745	1,44X10 ⁶ t	1,79X10 ⁶ t	
	総費用/全処雨量	60.8千円/kl	14.64千円/t	33.2円/t	10.8円/t	7.59千円/kl	16.21千円/t	43.2円/t	14.3円/t	



- | | | | |
|--------------|--------------------|--------------|--------------|
| 1 Hinohara | 6 Mizuho | 11 Tachikawa | 16 Kokubunji |
| 2 Itsukaichi | 7 Hamura | 12 Kunitachi | 17 Koganei |
| 3 Hinode | 8 Hussa | 13 Hachioji | 18 Fuchu |
| 4 Akikawa | 9 Akishima | 14 Hino | 19 Tama |
| 5 Oume | 10 Musashimurayama | 15 Kodaira | 20 Inagi |

図 4.4 人口分布と生産活動分布(現状)



- | | | | |
|--------------|--------------------|--------------|--------------|
| 1 Hinohara | 6 Mizuho | 11 Tachikawa | 16 Kokubunji |
| 2 Itsukaichi | 7 Hamura | 12 Kunitachi | 17 Koganei |
| 3 Hinode | 8 Hussa | 13 Hachioji | 18 Fuchu |
| 4 Akikawa | 9 Akishima | 14 Hino | 19 Tama |
| 5 Oume | 10 Musashimurayama | 15 Kodaira | 20 Inagi |

図 4.5 人口分布と生産活動分布(計算解)

解くことを試みた。この計算結果は、

- 1) Y. Kitabatake, T. Miyazaki and M. Takahashi(1980), "Water quality, proper land use, and economic energy costs : A multiobjective planning model of the distribution of population and production activities," unpublished.

に詳しく論じられているので、ここでは主要な計算結果についてのみ紹介する。3.9節の公害苦情件数関数は人口密度と生産出荷額密度の関数となっているが、これは適正な土地利用に係る指標とみなしうる。なぜなら、消費セクターと生産セクターによって適正な土地利用が達成されれば、(少くとも典型7公害に係る) 公害苦情件数は減少すると予想されるからである。

図4.4は現状における人口分布と生産活動分布を示している。他方、図4.5はモデルの計算解を示している。多摩川の水質向上、公害苦情件数最少、総費用最少という多目的のもとで、人口分布、生産活動分布ともに現状とは若干異っているが、とくに生産活動が対象水域である多摩川の上流部に移動している。

5. お わ り に

我々に与えられた研究課題は、費用・便益分析の観点から環境浄化のシステム分析を試みることであった。このためにも、前節に得られた計算結果を費用・便益分析の観点から要約することは有意義なことと思われる。

まず、対象河川である多摩川の6つの水域を地域住民が利用する可能性に関して、地象地域内の20自治体(地区)を表5.1のように分類する。利用水域に関しては、ここでは簡単化のため、各自治体の境界に最も近い水域ないし水域の集まりを利用水域とした。また、我々のモデルは東京都の環境浄化施策(具

表5.1 対象水域の利用に関する対象地区の分類

グループ 地区番号	利用水域番号	地区番号	自治体名	面積(ha)	
				宅地面積	工場用地面積
1	水域1	1、2、3、4、 5、6、7、8	檜原、五日市、日の出 秋川、青梅、瑞穂、羽 村、福生	2,091	411
2	水域2+3	9、10、11	昭島、武蔵村山、立川	1,402	510
3	水域2+3+4	13	八王子	2,160	215
4	水域3+4	12、14、16	国立、日野、国分寺	1,577	155
5	水域4	19	多摩	513	43
6	水域4+5	15、18	小平、府中	1,682	298
7	水域5+6	17、20	小金井、稲城	798	0

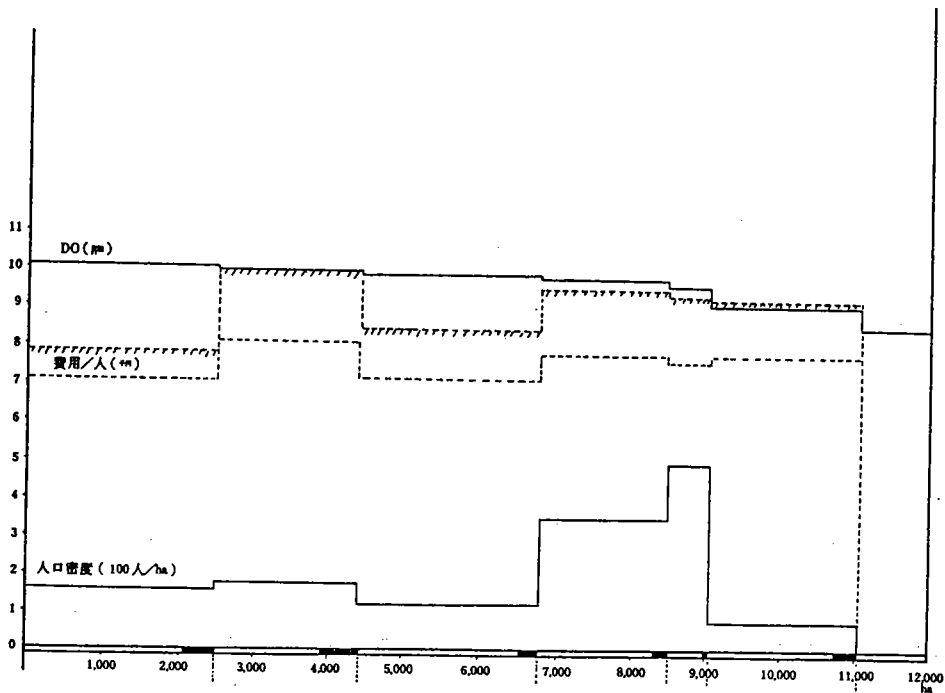


図 5.1 環境浄化施策のもたらす便益・費用分布(ケースA)

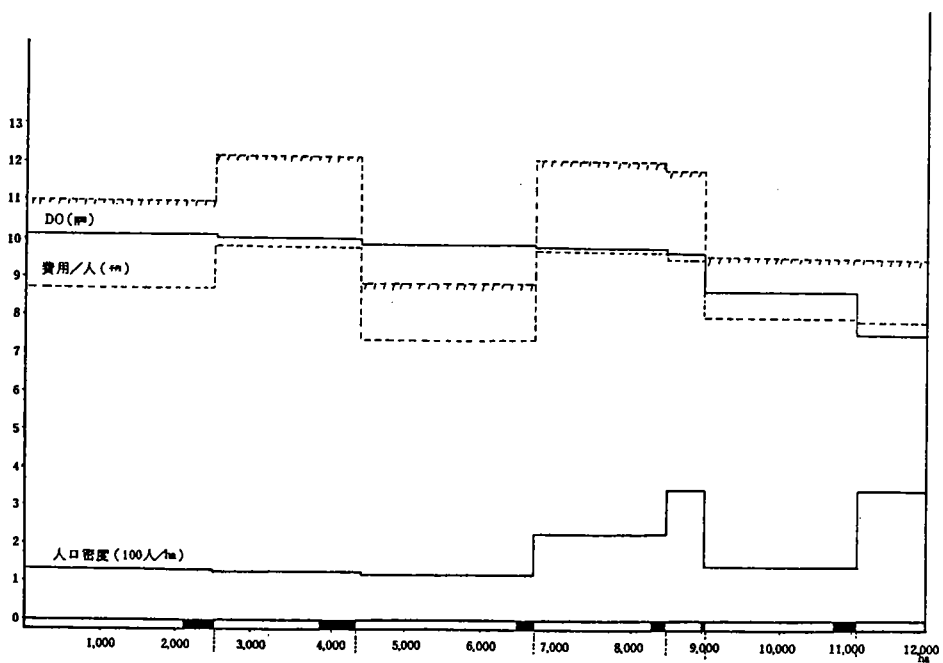


図 5.2 環境浄化施策のもたらす便益・費用分布(ケースB)

体的には、下水道の普及、地下水揚水量の削減、可燃ごみの完全焼却などを、既存ないし計画中の施設制約のもとで、効率的に達成するために必要な人口及び生産活動分布を求めようとしたものであるが、モデルはその出力変数として、

(1) 水域別水質(DO)

(2) 地区別住民あたり必要費用(ごみ、し尿、下水の処分に関する費用プラス浄水供給に関する費用)をもっている。このうち(1)は環境浄化施策のもたらす1つの便益指標、(2)は費用指標とみなしうる。図5.1、図5.2はケースA、ケースBについて便益・費用分布を描いたものである。ただし、横軸には表5.1の7つのグループ地区の番号順に総面積(黒ぬりの部分は工場用地面積)がプロットされている。縦軸には人口密度、対応する各利用水域の平均水質(DO)及び1人当たり費用がプロットされている。ただし、点線で示された1人当たり費用のうち、上方にあるのは、エネルギー価格が2倍になった場合のそれに対応している。

これらの分布図と現状との対応、及びモデルで仮定されている各施設の能力制約や施設間のつながり等に関する詳細な検討及び、これにもとづく政策提言は今後の課題である。

〔 謝 辞 〕

本研究に必要なデータの収集に際して以下の市町村および各事業体の御協力を得ることができた。また、データ収集作業は下記の二社に依頼した。記して感謝の意を表わすことにする。

(株) マーケティング・リサーチ・サービス(東京リサーチ・コンサルタント)

(株) サーベイ・リサーチ・センター

東 京 都

八 王 子 市
立 川 市
青 梅 市
府 中 市
昭 島 市
小 金 井 市
小 平 市
日 野 市
国 分 寺 市
国 立 市
福 生 市
武 蔵 村 山 市
多 摩 市
稲 城 市
秋 川 市
羽 村 町
瑞 穂 町
日 の 出 町
五 日 市 町
檜 原 村
奥 多 摩 町

八王子市北野清掃事務所
八王子市し尿第1～3処理場
西多摩衛生組合
小平・村山・大和衛生組合
南多摩処理場
二枚橋衛生組合
多摩川衛生組合
八王子市戸吹清掃事務所
立川市清掃工場
秋川衛生組合
桜ヶ丘浄水場(多摩市)
日野衛生処理場
西秋川衛生組合
昭島市清掃事務所
錦町下水処理場
多摩上流処理場
北多摩1号処理場
北野下水処理場
佐藤興業
東都興業
比留間運送

荒 幡 商 事
丸 順 商 事
村 山 清 掃
村 山 衛 生 設 備
駒 沢 産 業
日 野 環 境 保 全
中 村 組
高 杉 商 事
丸 善 商 店
中 央 産 業
多 摩 清 掃 工 場
湖 南 衛 生 組 合
国 分 寺 市 清 化 場
奥 多 摩 町 じ ん 芥 処 理 場
青 梅 新 興
国 立 市 清 掃 工 場
東 村 山 浄 水 場
東 京 都 水 道 局

(順 同 同)

Appendix

目 次

Appendix A	自治体別し尿収集費用及び平均費用の算定	241
Appendix B	し尿処理費用及び平均費用の算定	248
Appendix C.G	自治体別ごみ発生量の算定	250
Appendix C.C	自治体別ごみ収集費用及び平均費用の算定	256
Appendix C.L	ごみ収集プロセスにおける軽油消費量の算定	268
Appendix D.T	焼却工場別ごみ処理費用及び平均費用の算定	274
Appendix D.E	ごみ処理プロセスにおける電力消費量の算定	279
Appendix E	下水処理プロセスにおける処理費用、電力消費量、重油消費量、ケーキ発生量の算定	281
Appendix F	浄水処理プロセスにおける処理費用及び電力消費量の算定	286
Appendix G	自治体別浄水管渠費用及び平均費用の算定	289
Appendix H	各処分プロセスの平均データを求めるプログラム	295

Appendix A 自治体別し尿収集費用及び平均費用の算定

表A.C.1から表A.C.20は対象地域の自治体別にし尿収集費用を算定したものである。ここで費用はし尿収集車の減価償却費用と収集要員の人件費から成っている。また各表において、Zは年間収集量(Kℓ)を、Yは収集費用(千円)を、 Y/Z は平均費用(千円/Kℓ)を示している。また、各表の最下段には当該自治体のS52年の年間収集量に対応するデータをまとめている。図A.Cは本文中に説明したし尿収集費用関数及び現状値にもとづく線形近似の様子を、青梅市を例にとってプロットしたものである。

表 A.C.1 地区1 (檜原村)

地区1 (檜原村)		
Z	Y	Y/Z
10	6	0.5867
205	220	1.0750
400	492	1.2292
595	792	1.3311
790	1113	1.4089
985	1451	1.4726
1180	1802	1.5269
1375	2165	1.5745
1570	2539	1.6169
1765	2922	1.6553
1960	3313	1.6904
2155	3713	1.7229
2350	4120	1.7531
2545	4533	1.7813
2740	4954	1.8079
2935	5380	1.8329
3130	5812	1.8567
3325	6249	1.8794
3520	6691	1.9010
3715	7139	1.9216
3910	7591	1.9414
1957	3307	1.6899

表 A.C.2 地区2 (五日市町)

地区2 (五日市町)		
Z	Y	Y/Z
10	8	0.7771
808	1515	1.8745
1606	3455	2.1513
2404	5607	2.3325
3202	7910	2.4704
4000	10332	2.5831
4798	12854	2.6791
5596	15462	2.7630
6394	18145	2.8378
7192	20897	2.9055
7990	23710	2.9675
8788	26581	3.0246
9586	29504	3.0778
10384	32477	3.1276
11182	35495	3.1743
11980	38558	3.2185
12778	41661	3.2604
13576	44804	3.3002
14374	47983	3.3382
15172	51199	3.3746
15970	54449	3.4094
7990	23710	2.9675

表 A.C.3 地区3 (日の出町)

地区3 (日の出町)		
Z	Y	Y/Z
10	10	1.0449
578	1362	2.3566
1146	3098	2.7032
1714	5023	2.9304
2282	7082	3.1035
2850	9248	3.2449
3418	11503	3.3653
3986	13834	3.4707
4554	16233	3.5646
5122	18693	3.6496
5690	21209	3.7273
6258	23775	3.7991
6826	26389	3.8659
7394	29046	3.9283
7962	31745	3.9871
8530	34483	4.0425
9098	37257	4.0951
9666	40067	4.1451
10234	42910	4.1928
10802	45784	4.2385
11370	48689	4.2823
5686	21191	3.7268

表 A.C.4 地区4 (秋川市)

地区4 (秋川市)		
Z	Y	Y/Z
10	7	0.7123
1767	3551	2.0099
3524	8134	2.3082
5281	13219	2.5032
7038	18661	2.6515
8795	24386	2.7727
10552	30345	2.8758
12309	36508	2.9660
14066	42851	3.0464
15823	49354	3.1191
17580	56004	3.1857
19337	62789	3.2471
21094	69699	3.3042
22851	76725	3.3576
24608	83861	3.4079
26365	91099	3.4553
28122	98435	3.5003
29879	105864	3.5431
31636	113380	3.5839
33393	120981	3.6229
35150	128663	3.6604
17577	55993	3.1856

図 A.C し尿収集費用関数のプロット (地区 5 : 青梅市)

シニョウ シュウシュウ ヒョウ(¥1000/KL)

AREA-CODE= 5

$$Y = (16.62 * 0.100188E-1 + 0.2 * 0.806976) * Z^{(1 / (0.423 + 0.41))}$$

HEIKIN-HIYOU Y1= 2.87026 *Z

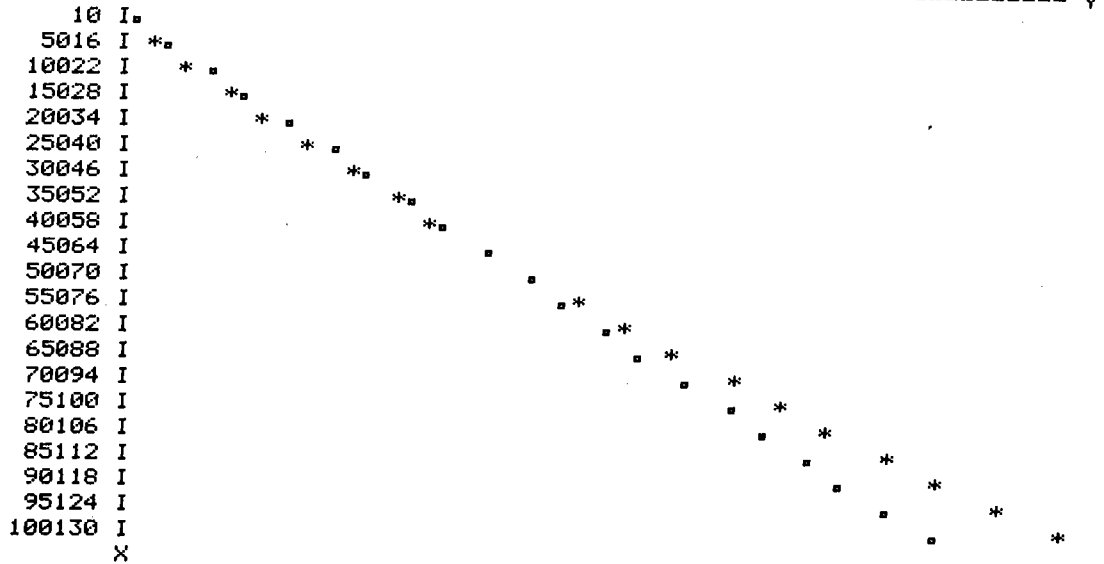


表 A.C.5 地区 5 (瑞穂町)

地区 5 (瑞穂町)		
Z	Y	Y/Z
10	5	0.5203
5016	9077	1.8097
10022	20836	2.0791
15028	33888	2.2550
20034	47856	2.3888
25040	62550	2.4980
30046	77848	2.5910
35052	93669	2.6723
40058	109949	2.7448
45064	126645	2.8103
50070	143716	2.8703
55076	161134	2.9257
60082	178872	2.9771
65088	196910	3.0253
70094	215228	3.0706
75100	233810	3.1133
80106	252642	3.1539
85112	271714	3.1924
90118	291011	3.2292
95124	310523	3.2644
100130	330242	3.2981
50067	143705	2.8703

表 A.C.6 地区6 (瑞穂町)

地区6 (瑞穂町)		
Z	Y	Y/Z
10	8	0.7671
1095	2153	1.9665
2180	4922	2.2576
3265	7993	2.4480
4350	11279	2.5930
5435	14736	2.7114
6520	18335	2.8121
7605	22057	2.9003
8690	25886	2.9789
9775	29813	3.0500
10860	33829	3.1150
11945	37926	3.1751
13030	42098	3.2309
14115	46341	3.2831
15200	50649	3.3322
16285	55020	3.3786
17370	59450	3.4226
18455	63935	3.4644
19540	68474	3.5043
20625	73063	3.5424
21710	77702	3.5791
10863	33840	3.1152

表 A.C.7 地区7 (羽村町)

地区7 (羽村町)		
Z	Y	Y/Z
10	4	0.4321
2684	3559	1.3258
5358	8160	1.5229
8032	13266	1.6517
10706	18732	1.7496
13380	24480	1.8296
16054	30465	1.8977
18728	36654	1.9572
21402	43024	2.0103
24076	49556	2.0583
26750	56234	2.1022
29424	63048	2.1428
32098	69988	2.1805
34772	77044	2.2157
37446	84211	2.2489
40120	91480	2.2802
42794	98848	2.3099
45468	106309	2.3381
48142	113858	2.3651
50816	121491	2.3908
53490	129206	2.4155
26752	56239	2.1022

表 A.C.8 地区8 (福生市)

地区8 (福生市)		
Z	Y	Y/Z
10	4	0.3662
3680	4405	1.1969
7350	10106	1.3750
11020	16434	1.4913
14690	23207	1.5798
18360	30331	1.6520
22030	37748	1.7135
25700	45418	1.7673
29370	53311	1.8152
33040	61406	1.8585
36710	69682	1.8982
40380	78128	1.9348
44050	86727	1.9688
47720	95473	2.0007
51390	104353	2.0306
55060	113363	2.0589
58730	122494	2.0857
62400	131740	2.1112
66070	141094	2.1355
69740	150556	2.1588
73410	160117	2.1811
36710	69682	1.8982

表 A.C.9 地区9 (昭島市)

地区9 (昭島市)		
Z	Y	Y/Z
10	3	0.3254
4271	4680	1.0958
8532	10741	1.2589
12793	17468	1.3654
17054	24667	1.4464
21315	32240	1.5126
25576	40125	1.5688
29837	48278	1.6181
34098	56669	1.6620
38359	65274	1.7017
42620	74073	1.7380
46881	83049	1.7715
51142	92191	1.8027
55403	101488	1.8318
59664	110929	1.8592
63925	120505	1.8851
68186	130212	1.9097
72447	140041	1.9330
76708	149986	1.9553
80969	160043	1.9766
85230	170206	1.9970
42615	74062	1.7379

表 A.C.10 地区 10 (武蔵村山)

地区 10 (武蔵村山)		
Z	Y	Y/Z
10	3	0.3071
1527	1285	0.8416
3044	2942	0.9664
4561	4780	1.0480
6078	6747	1.1101
7595	8817	1.1608
9112	10971	1.2040
10629	13199	1.2418
12146	15491	1.2754
13663	17842	1.3059
15180	20246	1.3337
16697	22698	1.3594
18214	25196	1.3833
19731	27736	1.4057
21248	30315	1.4267
22765	32932	1.4466
24282	35584	1.4654
25799	38269	1.4833
27316	40986	1.5004
28833	43733	1.5168
30350	46510	1.5325
15180	20246	1.3337

表 A.C.11 地区 11 (立川市)

地区 11 (立川市)		
Z	Y	Y/Z
10	4	0.3664
4383	5437	1.2404
8756	12478	1.4250
13129	20292	1.5456
17502	28656	1.6373
21875	37453	1.7122
26248	46613	1.7759
30621	56085	1.8316
34994	65833	1.8813
39367	75829	1.9262
43740	86051	1.9673
48113	96479	2.0053
52486	107100	2.0406
56859	117899	2.0735
61232	128867	2.1046
65605	139993	2.1339
69978	151269	2.1617
74351	162687	2.1881
78724	174240	2.2133
83097	185923	2.2374
87470	197732	2.2606
43736	86041	1.9673

表 A.C.12 地区 12 (国立市)

地区 12 (国立市)		
Z	Y	Y/Z
10	4	0.3897
2740	3290	1.2008
5470	7545	1.3793
8200	12266	1.4959
10930	17320	1.5846
13660	22635	1.6570
16390	28169	1.7187
19120	33892	1.7726
21850	39782	1.8207
24580	45821	1.8642
27310	51996	1.9039
30040	58297	1.9407
32770	64714	1.9748
35500	71239	2.0067
38230	77865	2.0368
40960	84587	2.0651
43690	91400	2.0920
46420	98298	2.1176
49150	105278	2.1420
51880	112336	2.1653
54610	119470	2.1877
27306	51988	1.9039

表 A.C.13 地区 13 (八王子市)

地区 13 (八王子市)		
Z	Y	Y/Z
10	4	0.4474
12221	22738	1.8606
24432	52230	2.1378
36643	84966	2.3187
48854	120003	2.4564
61065	156859	2.5687
73276	195232	2.6643
85487	234916	2.7480
97698	275753	2.8225
109909	317632	2.8900
122120	360455	2.9516
134331	404145	3.0086
146542	448639	3.0615
158753	493887	3.1110
170964	539836	3.1576
183175	586446	3.2016
195386	633686	3.2433
207597	681524	3.2829
219808	729925	3.3207
232019	778875	3.3569
244230	828343	3.3917
122115	360436	2.9516

表 A.C.14 地区 14 (日野市)

地区 14 (日野市)		
Z	Y	Y/Z
10	4	0.3604
2889	3242	1.1223
5768	7436	1.2892
8647	12090	1.3982
11526	17071	1.4811
14405	22310	1.5488
17284	27765	1.6064
20163	33406	1.6568
23042	39211	1.7017
25921	45165	1.7424
28800	51252	1.7796
31679	57462	1.8139
34558	63787	1.8458
37437	70218	1.8756
40316	76750	1.9037
43195	83376	1.9302
46074	90091	1.9554
48953	96891	1.9793
51832	103771	2.0021
54711	110728	2.0239
57590	117760	2.0448
28795	51241	1.7795

表 A.C.15 地区 15 (小平市)

地区 15 (小平市)		
Z	Y	Y/Z
10	3	0.3405
5913	7238	1.2242
11816	16618	1.4064
17719	27029	1.5254
23622	38172	1.6159
29525	49893	1.6898
35428	62096	1.7527
41331	74716	1.8077
47234	87703	1.8568
53137	101020	1.9011
59040	114638	1.9417
64943	128532	1.9792
70846	142682	2.0140
76749	157070	2.0466
82652	171683	2.0772
88555	186507	2.1061
94458	201528	2.1335
100361	216742	2.1596
106264	232135	2.1845
112167	247699	2.2083
118070	263428	2.2311
59041	114640	1.9417

表 A.C.16 地区 16 (国分寺市)

地区 16 (国分寺市)		
Z	Y	Y/Z
10	4	0.4165
3506	4727	1.3482
7002	10845	1.5488
10498	17634	1.6798
13994	24901	1.7794
17490	32545	1.8608
20986	40503	1.9300
24482	48733	1.9906
27978	57202	2.0445
31474	65887	2.0934
34970	74768	2.1381
38466	83829	2.1793
41962	93057	2.2176
45458	102440	2.2535
48954	111968	2.2872
52450	121636	2.3191
55946	131432	2.3493
59442	141353	2.3780
62938	151390	2.4054
66434	161541	2.4316
69930	171799	2.4567
34971	74770	2.1381

表 A.C.17 地区 17 (小金井市)

地区 17 (小金井市)		
Z	Y	Y/Z
10	4	0.3835
2246	2550	1.1355
4482	5845	1.3042
6718	9502	1.4144
8954	13416	1.4983
11190	17532	1.5668
13426	21818	1.6250
15662	26250	1.6760
17898	30810	1.7214
20134	35487	1.7626
22370	40270	1.8002
24606	45149	1.8349
26842	50118	1.8671
29078	55171	1.8973
31314	60302	1.9257
33550	65508	1.9526
35786	70783	1.9780
38022	76125	2.0021
40258	81531	2.0252
42494	86997	2.0473
44730	92521	2.0684
22374	40278	1.8002

表 A.C.18 地区 18 (府中市)

地区 18 (府中市)		
Z	Y	Y/Z
10	4	0.3535
3932	4604	1.1709
7854	10564	1.3451
11776	17180	1.4589
15698	24260	1.5454
19620	31708	1.6161
23542	39462	1.6762
27464	47481	1.7288
31386	55733	1.7757
35308	64195	1.8181
39230	72847	1.8569
43152	81676	1.8928
47074	90666	1.9260
50996	99809	1.9572
54918	109094	1.9865
58840	118512	2.0141
62762	128057	2.0404
66684	137723	2.0653
70606	147504	2.0891
74528	157394	2.1119
78450	167389	2.1337
39229	72845	1.8569

表 A.C.19 地区 19 (多摩市)

地区 19 (多摩市)		
Z	Y	Y/Z
10	5	0.4567
1468	1823	1.2418
2926	4172	1.4259
4384	6779	1.5463
5842	9569	1.6380
7300	12503	1.7128
8758	15558	1.7765
10216	18717	1.8322
11674	21968	1.8818
13132	25302	1.9268
14590	28711	1.9679
16048	32189	2.0058
17506	35731	2.0411
18964	39333	2.0741
20422	42990	2.1051
21880	46701	2.1344
23338	50461	2.1622
24796	54269	2.1886
26254	58122	2.2138
27712	62018	2.2379
29170	65955	2.2611
14589	28709	1.9678

表 A.C.20 地区 20 (稻城市)

地区 20 (稻城市)		
Z	Y	Y/Z
10	4	0.399
1926	2198	1.141
3842	5033	1.310
5758	8177	1.420
7674	11542	1.504
9590	15080	1.573
11506	18764	1.631
13422	22572	1.682
15338	26491	1.727
17254	30509	1.768
19170	34618	1.806
21086	38809	1.841
23002	43078	1.873
24918	47417	1.903
26834	51825	1.931
28750	56295	1.958
30666	60826	1.983
32582	65413	2.008
34498	70055	2.031
36414	74748	2.053
38330	79492	2.074
19171	34620	1.806

Appendix B し尿処理費用及び平均費用の算定

図Bは、本文で説明したし尿処理費用関数及び年間処理量（86,351 *Ke*）における線形近似をプロットしたものである。また、表Bは年間し尿処理量（ Z : *Ke*）に対応する処理費用（ Y : 千円）及び平均費用（ Y/Z : 千円/*Ke*）を示したものである。ここで処理費用とは、処理施設に投下された資本費の減価償却分と人件費用からなっている。

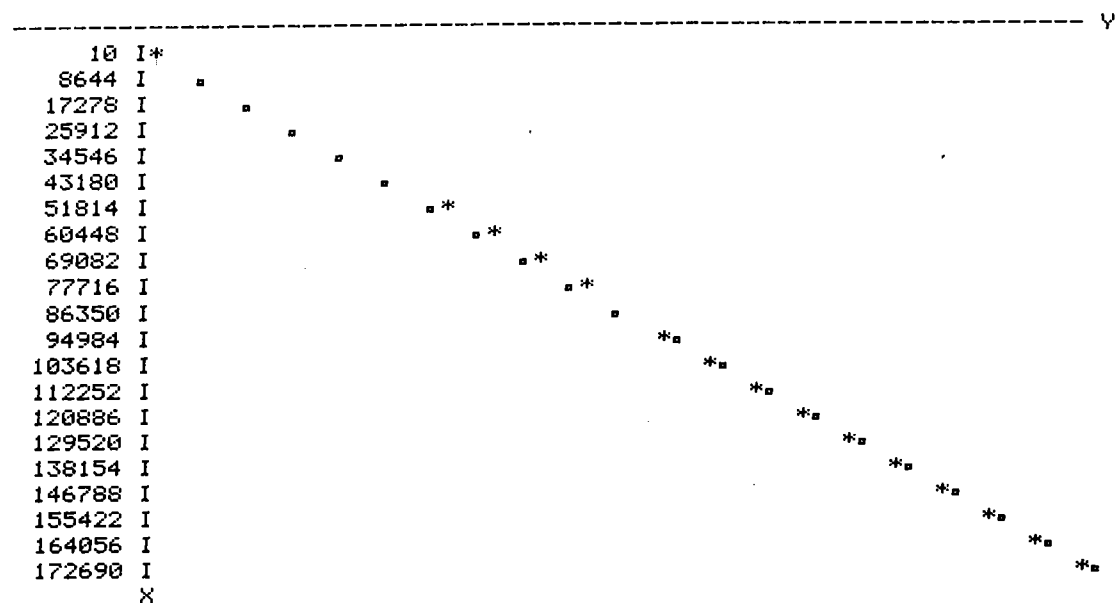
図B し尿処理プロセス費用関数

シロウ シヨリ(KL/YEAR)

AREA-CODE= 3

$$Y = (16.98 * 0.126911 + 0.05 * 34.7764) * Z^{(1 / (0.58 + 0.468 * Z))}$$

HEIKIN-HIYOU Y1= 2.31357 *Z



表B し尿処理費用及び平均費用

Z	Y	Y/Z
10	29	2.873
8644	20005	2.314
17278	39111	2.264
25912	57900	2.234
34546	76485	2.214
43180	94921	2.198
51814	113238	2.185
60448	131458	2.175
69082	149594	2.165
77716	167657	2.157
86350	185656	2.150
94984	203598	2.143
103618	221487	2.138
112252	239329	2.132
120886	257127	2.127
129520	274884	2.122
138154	292604	2.118
146788	310288	2.114
155422	327938	2.110
164056	345557	2.106
172690	363147	2.103
86351	185658	2.150

Appendix C.G 自治体別ごみ発生量の算定

図 C . G は本文で説明したごみ発生量（＝収集量）関数及び S 5 2 年時の収集量にもとづく線形近似の様式の様子を、小金井市を例にとってプロットしたものである。ここでパラメーターとして与えられているのは、宅地面積（ha）と収集ごみに占める可燃ごみ率（％比）である。表 C . G は自治体別に発生量を示したものであるが、X 1 は人口、Y は年間発生量（t）を示している。

図 C.G こみ発生量関数 (地区 17 : 小金井市)

コマニ ハッセルリョウ(TON/YEAR)

AREA= 17

$Y=A*X1^P1*X2^P2*X3^P3$

A= 0.282 P1= 1.429 P2=-0.604 P3=-0.384

X2= 75 X3= 542.52

X0= 99096 Y= 25530.9

X1 Y Y1= 0.257638 *X1

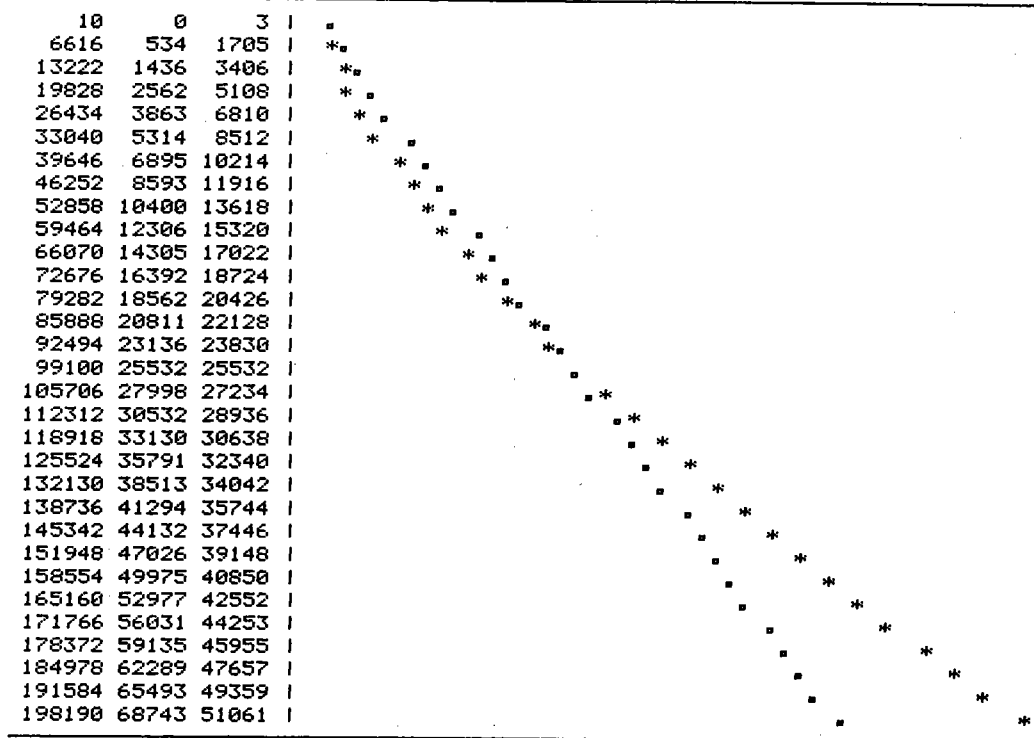


表 C.G 地区別ごみ発生量

地区1(檜原村)			地区2(五日市町)			地区3(日の出町)		
X1	Y	Y1	X1	Y	Y1	X1	Y	Y1
10	0	2	10	0	2	10	0	2
313	18	56	1312	80	253	819	42	133
616	46	110	2614	213	505	1628	111	263
919	82	164	3916	379	756	2437	198	394
1222	124	218	5218	572	1007	3246	298	525
1525	170	272	6520	786	1259	4055	410	656
1828	220	325	7822	1020	1510	4864	531	787
2131	274	379	9124	1271	1762	5673	662	918
2434	331	433	10426	1538	2013	6482	801	1049
2737	392	487	11728	1819	2264	7291	948	1180
3040	455	541	13030	2114	2516	8100	1101	1311
3343	521	595	14332	2423	2767	8909	1262	1441
3646	590	649	15634	2743	3019	9718	1429	1572
3949	661	703	16936	3075	3270	10527	1602	1703
4252	735	757	18238	3419	3521	11336	1780	1834
4555	811	811	19540	3773	3773	12145	1965	1965
4858	889	865	20842	4137	4024	12954	2154	2096
5161	969	919	22144	4511	4275	13763	2349	2227
5464	1052	973	23446	4895	4527	14572	2549	2358
5767	1136	1027	24748	5288	4778	15381	2754	2488
6070	1222	1081	26050	5690	5030	16190	2963	2619
6373	1310	1135	27352	6101	5281	16999	3177	2750
6676	1400	1189	28654	6520	5532	17808	3395	2881
6979	1492	1243	29956	6948	5784	18617	3617	3012
7282	1585	1297	31258	7383	6035	19426	3844	3143
7585	1680	1350	32560	7826	6286	20235	4075	3274
7888	1777	1404	33862	8278	6538	21044	4310	3405
8191	1875	1458	35164	8736	6789	21853	4548	3536
8494	1975	1512	36466	9202	7041	22662	4791	3666
8797	2077	1566	37768	9675	7292	23471	5037	3797
9100	2180	1620	39070	10155	7543	24280	5287	3928

地区4(秋川市)			地区5(青梅市)			地区6(瑞穂町)		
X1	Y	Y1	X1	Y	Y1	X1	Y	Y1
10	0	2	10	0	2	10	0	2
2757	180	575	6134	463	1478	1448	87	277
5504	484	1149	12258	1245	2954	2886	233	553
8251	864	1722	18382	2222	4430	4324	416	829
10998	1302	2295	24506	3351	5906	5762	627	1104
13745	1791	2868	30630	4608	7382	7200	862	1380
16492	2323	3442	36754	5980	8858	8638	1118	1655
19239	2896	4015	42878	7453	10334	10076	1393	1931
21986	3504	4588	49002	9019	11810	11514	1685	2207
24733	4146	5161	55126	10672	13286	12952	1994	2482
27480	4819	5735	61250	12406	14762	14390	2318	2758
30227	5522	6308	67374	14216	16238	15828	2656	3033
32974	6253	6881	73498	16097	17714	17266	3007	3309
35721	7011	7454	79622	18048	19190	18704	3371	3584
38468	7794	8028	85746	20064	20666	20142	3747	3860
41215	8601	8601	91870	22142	22142	21580	4136	4136
43962	9432	9174	97994	24281	23618	23018	4535	4411
46709	10285	9747	104118	26478	25094	24456	4945	4687
49456	11161	10321	110242	28732	26570	25894	5366	4962
52203	12057	10894	116366	31039	28046	27332	5797	5238
54950	12974	11467	122490	33400	29522	28770	6237	5513
57697	13910	12040	128614	35811	30998	30208	6688	5789
60444	14866	12614	134738	38272	32474	31646	7147	6065
63191	15841	13187	140862	40783	33950	33084	7616	6340
65938	16834	13760	146986	43339	35426	34522	8093	6616
68685	17845	14333	153110	45943	36902	35960	8579	6891
71432	18874	14907	159234	48591	38378	37398	9073	7167
74179	19920	15480	165358	51283	39854	38836	9576	7442
76926	20982	16053	171482	54019	41329	40274	10087	7718
79673	22061	16626	177606	56797	42805	41712	10606	7994
82420	23156	17200	183730	59616	44281	43150	11132	8269

地区7(羽村町)		
X1	Y	Y1
10	0	3
2543	217	692
5076	582	1380
7609	1038	2069
10142	1565	2758
12675	2152	3447
15208	2792	4136
17741	3479	4824
20274	4210	5513
22807	4982	6202
25340	5791	6891
27873	6636	7580
30406	7514	8269
32939	8424	8957
35472	9365	9646
38005	10335	10335
40538	11333	11024
43071	12358	11713
45604	13410	12402
48137	14487	13090
50670	15588	13779
53203	16714	14468
55736	17862	15157
58269	19033	15846
60802	20227	16534
63335	21442	17223
65868	22677	17912
68401	23934	18601
70934	25210	19290
73467	26507	19979
76000	27822	20667

地区8(福生市)		
X1	Y	Y1
10	0	2
3192	249	795
6374	669	1587
9556	1193	2380
12738	1800	3172
15920	2475	3965
19102	3211	4757
22284	4002	5549
25466	4843	6342
28648	5730	7134
31830	6661	7927
35012	7632	8719
38194	8643	9511
41376	9690	10304
44558	10772	11096
47740	11888	11889
50922	13036	12681
54104	14216	13473
57286	15425	14266
60468	16664	15058
63650	17931	15851
66832	19226	16643
70014	20547	17435
73196	21894	18228
76378	23267	19020
79560	24664	19813
82742	26086	20605
85924	27532	21397
89106	29000	22190
92288	30491	22982
95470	32004	23775

地区9(昭島市)		
X1	Y	Y1
10	0	3
5746	460	1468
11482	1237	2934
17218	2206	4400
22954	3328	5866
28690	4577	7332
34426	5939	8798
40162	7402	10264
45898	8957	11730
51634	10599	13196
57370	12321	14662
63106	14118	16127
68842	15987	17593
74578	17924	19059
80314	19926	20525
86050	21991	21991
91786	24115	23457
97522	26297	24923
103258	28535	26389
108994	30827	27855
114730	33171	29321
120466	35566	30786
126202	38010	32252
131938	40503	33718
137674	43042	35184
143410	45628	36650
149146	48258	38116
154882	50932	39582
160618	53648	41048
166354	56407	42514
172090	59206	43980

地区10(武蔵村山市)		
X1	Y	Y1
10	0	3
3694	295	942
7378	794	1882
11062	1415	2822
14746	2135	3762
18430	2936	4702
22114	3809	5642
25798	4747	6582
29482	5745	7522
33166	6797	8462
36850	7901	9402
40534	9054	10342
44218	10252	11282
47902	11494	12222
51586	12778	13162
55270	14102	14101
58954	15464	15041
62638	16863	15981
66322	18298	16921
70006	19768	17861
73690	21271	18801
77374	22807	19741
81058	24374	20681
84742	25973	21621
88426	27601	22561
92110	29259	23501
95794	30946	24441
99478	32660	25381
103162	34402	26321
106846	36171	27260
110530	37966	28200

地区11(立川市)		
X1	Y	Y1
10	0	3
9359	778	2485
18708	2093	4968
28057	3736	7450
37406	5634	9933
46755	7750	12415
56104	10056	14898
65453	12534	17381
74802	15168	19863
84151	17948	22346
93500	20864	24828
102849	23908	27311
112198	27073	29793
121547	30354	32276
130896	33744	34758
140245	37240	37241
149594	40838	39723
158943	44534	42206
168292	48323	44688
177641	52204	47171
186990	56175	49654
196339	60231	52136
205688	64371	54619
215037	68592	57101
224386	72893	59584
233735	77271	62066
243084	81725	64549
252433	86254	67031
261782	90855	69514
271131	95528	71996
280480	100268	74479

地区12(国立市)		
X1	Y	Y1
10	0	2
4240	323	1032
8470	869	2062
12700	1551	3092
16930	2339	4122
21160	3216	5152
25390	4173	6182
29620	5201	7212
33850	6294	8242
38080	7448	9272
42310	8657	10302
46540	9920	11331
50770	11233	12361
55000	12594	13391
59230	14001	14421
63460	15451	15451
67690	16944	16481
71920	18477	17511
76150	20050	18541
80380	21660	19571
84610	23307	20601
88840	24990	21631
93070	26707	22660
97300	28458	23690
101530	30243	24720
105760	32059	25750
109990	33907	26780
114220	35786	27810
118450	37695	28840
122680	39633	29870
126910	41600	30900

地区 13 (八王子市)

X1	Y	Y1
10	0	2
23169	1784	5700
46328	4802	11397
69487	8570	17094
92646	12927	22791
115805	17782	28488
138964	23074	34185
162123	28760	39882
185282	34806	45579
208441	41185	51276
231600	47877	56973
254759	54862	62670
277918	62125	68367
301077	69654	74064
324236	77435	79761
347395	85458	85458
370554	93713	91156
393713	102193	96853
416872	110891	102550
440031	119798	108247
463190	128909	113944
486349	138217	119641
509508	147719	125338
532667	157405	131035
555826	167275	136732
578985	177322	142429
602144	187544	148126
625303	197936	153823
648462	208495	159520
671621	219217	165217
694780	230099	170914

地区 16 (国分寺市)

X1	Y	Y1
10	0	2
5851	430	1374
11692	1157	2746
17533	2065	4117
23374	3114	5489
29215	4283	6861
35056	5557	8232
40897	6926	9604
46738	8382	10976
52579	9918	12347
58420	11529	13719
64261	13211	15091
70102	14960	16462
75943	16773	17834
81784	18646	19206
87625	20578	20577
93466	22566	21949
99307	24608	23321
105148	26701	24692
110989	28846	26064
116830	31040	27436
122671	33281	28807
128512	35568	30179
134353	37901	31550
140194	40277	32922
146035	42696	34294
151876	45158	35665
157717	47660	37037
163558	50202	38409
169399	52783	39780
175240	55403	41152

地区 14 (日野市)

X1	Y	Y1
10	0	2
9134	712	2274
18258	1915	4546
27382	3418	6817
36506	5156	9089
45630	7091	11360
54754	9201	13632
63878	11468	15904
73002	13879	18175
82126	16423	20447
91250	19091	22718
100374	21876	24990
109498	24772	27261
118622	27774	29533
127746	30876	31804
136870	34075	34076
145994	37367	36348
155118	40748	38619
164242	44216	40891
173366	47767	43162
182490	51401	45434
191614	55112	47705
200738	58899	49977
209862	62762	52249
218986	66697	54520
228110	70703	56792
237234	74779	59063
246358	78922	61335
255482	83132	63606
264606	87407	65878
273730	91746	68150

地区 17 (府中市)

X1	Y	Y1
10	0	3
12048	957	3056
24086	2574	6109
36124	4594	9163
48162	6930	12216
60200	9532	15270
72238	12368	18323
84276	15416	21377
96314	18656	24430
108352	22076	27484
120390	25662	30537
132428	29406	33591
144466	33300	36644
156504	37334	39698
168542	41504	42751
180580	45805	45805
192618	50230	48858
204656	54775	51912
216694	59437	54965
228732	64211	58018
240770	69094	61072
252808	74084	64125
264846	79175	67179
276884	84367	70232
288922	89657	73286
300960	95043	76339
312998	100521	79393
325036	106092	82446
337074	111751	85500
349112	117498	88553
361150	123329	91607

地区 15 (小平市)

X1	Y	Y1
10	0	3
10186	824	2633
20362	2218	5263
30538	3958	7893
40714	5970	10524
50890	8211	13154
61066	10655	15784
71242	13280	18415
81418	16071	21045
91594	19017	23675
101770	22106	26306
111946	25332	28936
122122	28685	31566
132298	32161	34197
142474	35753	36827
152650	39457	39457
162826	43269	42087
173002	47185	44718
183178	51201	47348
193354	55313	49978
203530	59520	52609
213706	63817	55239
223882	68203	57869
234058	72676	60499
244234	77233	63130
254410	81872	65760
264586	86591	68390
274762	91390	71021
284938	96264	73651
295114	101215	76281
305290	106238	78912

地区 18 (多摩市)

X1	Y	Y1
10	0	2
5422	363	1158
10834	975	2314
16246	1740	3470
21658	2624	4626
27070	3609	5782
32482	4683	6937
37894	5836	8093
43306	7063	9249
48718	8358	10405
54130	9715	11561
59542	11133	12717
64954	12606	13873
70366	14134	15029
75778	15712	16185
81190	17340	17340
86602	19015	18496
92014	20736	19652
97426	22500	20808
102838	24308	21964
108250	26156	23120
113662	28045	24276
119074	29972	25432
124486	31938	26588
129898	33940	27743
135310	35978	28899
140722	38053	30055
146134	40161	31211
151546	42303	32367
156958	44478	33523
162370	46686	34679

地区 19 (福城市)

X1	Y	Y1.
10	0	2
3028	233	744
6046	627	1486
9064	1118	2228
12082	1685	2970
15100	2318	3712
18118	3007	4454
21136	3747	5196
24154	4535	5938
27172	5366	6680
30190	6237	7422
33208	7147	8163
36226	8093	8905
39244	9073	9647
42262	10087	10389
45280	11132	11131
48298	12207	11873
51316	13311	12615
54334	14444	13357
57352	15604	14099
60370	16790	14841
63388	18003	15583
66406	19240	16325
69424	20501	17066
72442	21787	17808
75460	23095	18550
78478	24427	19292
81496	25780	20034
84514	27155	20776
87532	28551	21518
90550	29969	22260

Appendix C.C 自治体別ごみ収集費用及び平均費用の算定

図 C.C は本文で説明したごみ収集費用関数(直営)及び S 52 年時の年間収集量にもとづく線形近似の様子を、小金井市を例にとってプロットしたものである。表 C.C.1 から表 C.C.20 は自治体別にごみ収集費用及び平均費用を、収集作業が自治体直営でなされる場合、委託でなされる場合にわけて示したものである。直営と委託の混合でやられている場合については紙面の都合で割愛する。ここで費用はごみ収集車の減価償却費用と収集要員の人件費用から成っている。また、各表において Z は年間収集量 (t)、Y は収集費用 (千円)、 Y/Z は平均費用 (千円/t) である。各表の最下段には、昭和 52 年の年間収集量に対応するデータをまとめてある。

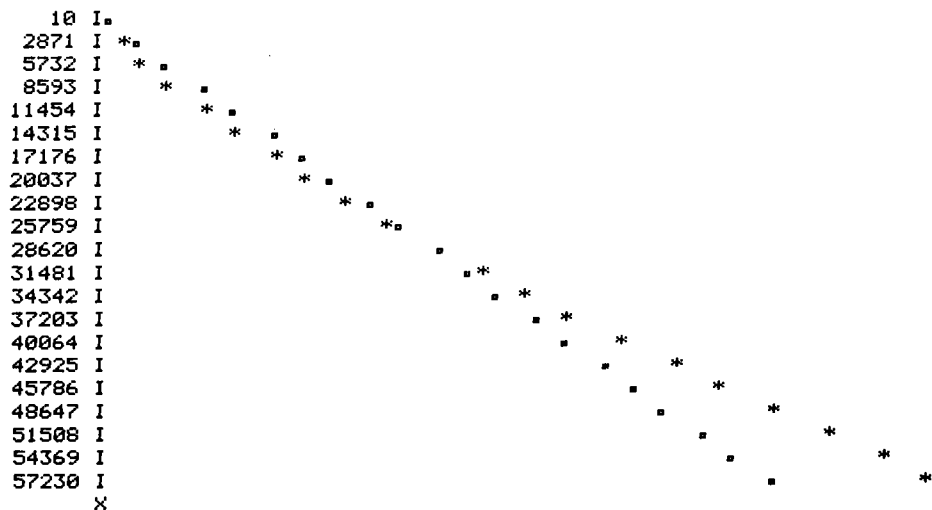
図 C.C ごみ収集費用関数 (地区 17: 小金井市)

****ゴミ シュウシュウ ヒヨウ****
 < ヨウグイ シュウシュウ >

AREA-CODE= 17

$$Y = (15.76 * 0.695112E-2 + 0.2 * 0.645194) * Z^{(1 / (0.34733 + 0.40912 * Z))}$$

HEIKIN-HIYOU Y1= 6.49473 *Z



表C.C.1 地区1(檜原村)

地区1(檜原村)

地区1(檜原村)			地区1(檜原村)		
Z	Y	Y/Z	Z	Y	Y/Z
10	8	0.8147	10	5	0.4763
21	22	1.0345	21	13	0.6048
32	38	1.1848	32	22	0.6926
43	56	1.3030	43	33	0.7618
54	76	1.4022	54	44	0.8197
65	97	1.4884	65	57	0.8701
76	119	1.5652	76	70	0.9151
87	142	1.6349	87	83	0.9558
98	166	1.6987	98	97	0.9931
109	192	1.7579	109	112	1.0277
120	218	1.8132	120	127	1.0600
131	244	1.8651	131	143	1.0904
142	272	1.9142	142	159	1.1191
153	300	1.9607	153	175	1.1463
164	329	2.0051	164	192	1.1722
175	358	2.0474	175	209	1.1970
186	388	2.0880	186	227	1.2207
197	419	2.1270	197	245	1.2435
208	450	2.1645	208	263	1.2654
219	482	2.2007	219	282	1.2866
230	514	2.2357	230	301	1.3070
241	547	2.2696	241	320	1.3269
124	227	1.8325	124	133	1.0713

表C.C.2 地区2(五日市町)

地区2(五日市町)

地区2(五日市町)			地区2(五日市町)		
Z	Y	Y/Z	Z	Y	Y/Z
10	11	1.1250	10	7	0.6577
386	1408	3.6474	386	823	2.1323
762	3460	4.5402	762	2023	2.6543
1138	5879	5.1660	1138	3437	3.0202
1514	8574	5.6634	1514	5013	3.3109
1890	11496	6.0827	1890	6721	3.5560
2266	14612	6.4486	2266	8543	3.7700
2642	17900	6.7753	2642	10465	3.9610
3018	21343	7.0719	3018	12478	4.1344
3394	24927	7.3443	3394	14573	4.2936
3770	28641	7.5970	3770	16744	4.4414
4146	32476	7.8332	4146	18986	4.5794
4522	36425	8.0551	4522	21295	4.7092
4898	40482	8.2650	4898	23666	4.8319
5274	44640	8.4642	5274	26097	4.9483
5650	48895	8.6540	5650	28585	5.0593
6026	53242	8.8354	6026	31126	5.1653
6402	57677	9.0092	6402	33719	5.2670
6778	62197	9.1763	6778	36361	5.3646
7154	66798	9.3372	7154	39051	5.4587
7530	71479	9.4925	7530	41788	5.5495
3769	28631	7.5964	3769	16738	4.4410

表C.C.3 地区3(日の出町)

地区3(日の出町)

地区3(日の出町)			地区3(日の出町)		
Z	Y	Y/Z	Z	Y	Y/Z
10	16	1.5776	10	9	0.9223
203	844	4.1589	203	494	2.4314
396	2042	5.1571	396	1194	3.0150
589	3452	5.8603	589	2018	3.4261
782	5021	6.4203	782	2935	3.7534
975	6720	6.8928	975	3929	4.0297
1168	8533	7.3055	1168	4988	4.2709
1361	10445	7.6742	1361	6106	4.4865
1554	12446	8.0090	1554	7276	4.6822
1747	14529	8.3166	1747	8494	4.8621
1940	16688	8.6020	1940	9756	5.0289
2133	18917	8.8687	2133	11059	5.1848
2326	21212	9.1195	2326	12401	5.3315
2519	23569	9.3566	2519	13779	5.4701
2712	25985	9.5817	2712	15192	5.6016
2905	28458	9.7961	2905	16637	5.7270
3098	30983	10.0011	3098	18114	5.8468
3291	33560	10.1976	3291	19620	5.9617
3484	36186	10.3864	3484	21155	6.0721
3677	38860	10.5683	3677	22718	6.1784
3870	41579	10.7438	3870	24308	6.2810
1943	16722	8.6063	1943	9776	5.0314

表C.C.4 地区4(秋川市)

地区4(秋川市)

地区4(秋川市)			地区4(秋川市)		
Z	Y	Y/Z	Z	Y	Y/Z
10	10	1.0179	10	6	0.5951
893	3861	4.3234	893	2257	2.5275
1776	9581	5.3946	1776	5601	3.1538
2659	16335	6.1432	2659	9550	3.5914
3542	23864	6.7373	3542	13951	3.9388
4425	32028	7.2379	4425	18724	4.2314
5308	40736	7.6745	5308	23815	4.4867
6191	49926	8.0643	6191	29188	4.7146
7074	59549	8.4181	7074	34814	4.9214
7957	69568	8.7430	7957	40671	5.1113
8840	79951	9.0443	8840	46741	5.2874
9723	90675	9.3258	9723	53010	5.4520
10606	101717	9.5905	10606	59466	5.6068
11489	113058	9.8406	11489	66096	5.7530
12372	124685	10.0780	12372	72893	5.8918
13255	136583	10.3042	13255	79849	6.0240
14138	148738	10.5205	14138	86955	6.1505
15021	161140	10.7276	15021	94205	6.2716
15904	173778	10.9267	15904	101594	6.3880
16787	186646	11.1185	16787	109117	6.5001
17670	199734	11.3036	17670	116768	6.6083
8836	79903	9.0429	8836	46713	5.2866

表 C.C.5 地区 5 (青梅市)

		地区 5 (青梅市)							
		Z	Y	Y/Z	Z	Y	Y/Z		
直 營		10	7	0.7099		10	4	0.4150	
		2447	10207	4.1713		2447	5967	2.4386	
		4884	25450	5.2109		4884	14879	3.0464	
		7321	43459	5.9362		7321	25407	3.4704	
		9758	63540	6.5116		9758	37147	3.8068	
		12195	85319	6.9962		12195	49879	4.0901	
		14632	108552	7.4188		14632	63462	4.3372	
		17069	133071	7.7961		17069	77796	4.5577	
		19506	158747	8.1384		19506	92806	4.7578	
		21943	185480	8.4528	委	21943	108435	4.9417	
		24380	213186	8.7443		24380	124632	5.1121	
		26817	241800	9.0167	託	26817	141361	5.2713	
		29254	271266	9.2728		29254	158587	5.4210	
		31691	301532	9.5148		31691	176281	5.5625	
		34128	332558	9.7444		34128	194420	5.6968	
		36565	364307	9.9633		36565	212980	5.8247	
		39002	396742	10.1724		39002	231943	5.9470	
		41439	429840	10.3728		41439	251293	6.0642	
		43876	463572	10.5655		43876	271013	6.1768	
		46313	497909	10.7510		46313	291087	6.2852	
		48750	532836	10.9300		48750	311506	6.3899	
		24376	213141	8.7439			24376	124606	5.1118

表 C.C.6 地区 6 (瑞穂町)

		地区 6 (瑞穂町)							
		Z	Y	Y/Z	Z	Y	Y/Z		
直 營		10	11	1.1082		10	6	0.6479	
		396	1435	3.6226		396	839	2.1178	
		782	3527	4.5099		782	2062	2.6366	
		1168	5994	5.1317		1168	3504	3.0001	
		1554	8743	5.6259		1554	5111	3.2890	
		1940	11722	6.0424		1940	6853	3.5325	
		2326	14900	6.4060		2326	8711	3.7450	
		2712	18253	6.7306		2712	10671	3.9348	
		3098	21764	7.0252	委	3098	12724	4.1071	
		3484	25419	7.2959		3484	14860	4.2653	
		3870	29207	7.5469	託	3870	17075	4.4121	
		4256	33118	7.7815		4256	19362	4.5492	
		4642	37146	8.0021		4642	21716	4.6782	
		5028	41283	8.2106		5028	24135	4.8001	
		5414	45523	8.4085		5414	26614	4.9157	
		5800	49863	8.5970		5800	29151	5.0260	
		6186	54296	8.7772		6186	31742	5.1313	
		6572	58818	8.9499		6572	34386	5.2323	
		6958	63428	9.1159		6958	37081	5.3293	
		7344	68121	9.2757		7344	39825	5.4227	
		7730	72894	9.4300		7730	42615	5.5129	
		3872	29227	7.5482			3872	17086	4.4128

表 C.C.7 地区7 (羽村町)

		地区7 (羽村町)							
		Z	Y	Y/Z					
直 營		10	6	0.5738	委 託		10	3	0.3355
		957	2385	2.4922			957	1394	1.4570
		1904	5922	3.1101			1904	3462	1.8182
		2851	10098	3.5418			2851	5903	2.0706
		3798	14753	3.8844			3798	8625	2.2709
		4745	19801	4.1730			4745	11576	2.4396
		5692	25186	4.4248			5692	14724	2.5868
		6639	30868	4.6496			6639	18046	2.7182
		7586	36819	4.8536			7586	21525	2.8375
		8533	43014	5.0409			8533	25147	2.9470
		9480	49435	5.2147			9480	28901	3.0486
		10427	56065	5.3770			10427	32777	3.1435
		11374	62894	5.5296			11374	36769	3.2327
		12321	69907	5.6738			12321	40869	3.3170
		13268	77096	5.8107			13268	45072	3.3970
		14215	84453	5.9411			14215	49373	3.4733
		15162	91970	6.0658			15162	53767	3.5462
		16109	99638	6.1853			16109	58250	3.6160
		17056	107454	6.3001			17056	62820	3.6831
	18003	115411	6.4106		18003	67471	3.7478		
	18950	123504	6.5174		18950	72203	3.8102		
		9482	49449	5.2150			9482	28909	3.0488

表 C.C.8 地区8 (福生市)

		地区8 (福生市)							
		Z	Y	Y/Z					
直 營		10	5	0.4747	委 託		10	3	0.2775
		1398	3256	2.3290			1398	1903	1.3616
		2786	8102	2.9080			2786	4736	1.7001
		4174	13825	3.3122			4174	8082	1.9364
		5562	20207	3.6330			5562	11813	2.1239
		6950	27127	3.9031			6950	15859	2.2818
		8338	34509	4.1388			8338	20175	2.4196
		9726	42300	4.3492			9726	24729	2.5426
		11114	50458	4.5400			11114	29499	2.6542
		12502	58951	4.7153			12502	34464	2.7567
		13890	67754	4.8779			13890	39610	2.8517
		15278	76845	5.0298			15278	44925	2.9405
		16666	86207	5.1726			16666	50398	3.0240
		18054	95823	5.3076			18054	56020	3.1029
		19442	105679	5.4356			19442	61782	3.1778
		20830	115767	5.5577			20830	67680	3.2491
		22218	126073	5.6744			22218	73705	3.3173
		23606	136588	5.7861			23606	79852	3.3827
		24994	147303	5.8936			24994	86116	3.4455
	26382	158212	5.9970		26382	92494	3.5060		
	27770	169309	6.0968		27770	98981	3.5643		
		13889	67748	4.8778			13889	39607	2.8517

表 C.C.9 地区 9 (昭島市)

地区 9 (昭島市)					
Z	Y	Y/Z	Z	Y	Y/Z
10	4	0.4146	10	2	0.2424
2351	5653	2.4047	2351	3305	1.4058
4692	14094	3.0038	4692	8240	1.7561
7033	24067	3.4219	7033	14070	2.0005
9374	35186	3.7536	9374	20571	2.1944
11715	47246	4.0329	11715	27621	2.3577
14056	60112	4.2766	14056	35142	2.5002
16397	73688	4.4940	16397	43080	2.6273
18738	87906	4.6914	18738	51392	2.7427
21079	102709	4.8726	21079	60045	2.8486
23420	118051	5.0406	23420	69015	2.9468
25761	133896	5.1976	25761	78278	3.0386
28102	150211	5.3452	28102	87816	3.1249
30443	166972	5.4848	30443	97615	3.2065
32784	184151	5.6171	32784	107658	3.2839
35125	201731	5.7432	35125	117936	3.3576
37466	219694	5.8638	37466	128437	3.4281
39807	238020	5.9794	39807	139151	3.4956
42148	256699	6.0904	42148	150071	3.5606
44489	275713	6.1973	44489	161187	3.6231
46830	295050	6.3004	46830	172491	3.6834
23415	118017	5.0402	23415	68995	2.9466

表 C.C.10 地区 10 (武蔵村山市)

地区 10 (武蔵村山市)					
Z	Y	Y/Z	Z	Y	Y/Z
10	4	0.3880	10	2	0.2268
1257	2313	1.8398	1257	1352	1.0756
2504	5751	2.2968	2504	3362	1.3428
3751	9812	2.6160	3751	5737	1.5293
4998	14340	2.8692	4998	8384	1.6774
6245	19250	3.0825	6245	11254	1.8021
7492	24489	3.2686	7492	14316	1.9109
8739	30016	3.4348	8739	17548	2.0080
9986	35805	3.5855	9986	20932	2.0961
11233	41831	3.7239	11233	24455	2.1771
12480	48077	3.8523	12480	28107	2.2521
13727	54527	3.9722	13727	31877	2.3222
14974	61169	4.0850	14974	35761	2.3882
16221	67992	4.1916	16221	39749	2.4505
17468	74985	4.2927	17468	43838	2.5096
18715	82142	4.3891	18715	48022	2.5660
19962	89454	4.4812	19962	52297	2.6198
21209	96914	4.5695	21209	56658	2.6714
22456	104517	4.6543	22456	61103	2.7210
23703	112258	4.7360	23703	65628	2.7688
24950	120131	4.8149	24950	70231	2.8149
12479	48071	3.8522	12479	28103	2.2521

表 C.C.11 地区 11 (立川市)

		地区 11 (立川市)					地区 11 (立川市)		
		Z	Y	Y/Z			Z	Y	Y/Z
直 営		10	5	0.4750	委 託		10	3	0.2777
		4214	14010	3.3246			4214	8190	1.9436
		8418	34971	4.1543			8418	20444	2.4287
		12622	59740	4.7330			12622	34925	2.7670
		16826	87360	5.1920			16826	51072	3.0353
		21030	117316	5.5785			21030	68585	3.2613
		25234	149274	5.9156			25234	87268	3.4584
		29438	183002	6.2165			29438	106986	3.6343
		33642	218319	6.4895			33642	127633	3.7939
		37846	255092	6.7403			37846	149131	3.9405
		42050	293206	6.9728			42050	171414	4.0764
		46254	332567	7.1900			46254	194425	4.2034
		50458	373098	7.3942			50458	218120	4.3228
		54662	414734	7.5873			54662	242461	4.4357
		58866	457414	7.7704			58866	267413	4.5427
		63070	501087	7.9449			63070	292945	4.6448
		67274	545706	8.1117			67274	319030	4.7423
		71478	591232	8.2715			71478	345645	4.8357
		75682	637635	8.4252			75682	372774	4.9255
		79886	684872	8.5731			79886	400389	5.0120
	84090	732915	8.7158		84090	428476	5.0954		
		42050	293206	6.9728			42050	171414	4.0764

表 C.C.12 地区 12 (国立市)

		地区 12 (国立市)					地区 12 (国立市)		
		Z	Y	Y/Z			Z	Y	Y/Z
直 営		10	5	0.5100	委 託		10	3	0.2982
		1600	4182	2.6137			1600	2445	1.5280
		3190	10412	3.2639			3190	6087	1.9081
		4780	17771	3.7178			4780	10389	2.1735
		6370	25976	4.0779			6370	15186	2.3840
		7960	34875	4.3812			7960	20388	2.5613
		9550	44367	4.6458			9550	25938	2.7160
		11140	54385	4.8820			11140	31795	2.8541
		12730	64874	5.0962			12730	37927	2.9793
		14320	75796	5.2930			14320	44312	3.0944
		15910	87116	5.4756			15910	50930	3.2011
		17500	98806	5.6461			17500	57764	3.3008
		19090	110844	5.8064			19090	64802	3.3945
		20680	123209	5.9579			20680	72030	3.4831
		22270	135885	6.1017			22270	79441	3.5672
		23860	148854	6.2387			23860	87023	3.6472
		25450	162107	6.3696			25450	94771	3.7238
		27040	175627	6.4951			27040	102675	3.7972
		28630	189408	6.6157			28630	110731	3.8677
		30220	203437	6.7319			30220	118933	3.9356
	31810	217706	6.8439		31810	127275	4.0011		
		15905	87079	5.4750			15905	50908	3.2008

表 C.C.13 地区13 (八王子市)

地区13 (八王子市)					
Z	Y	Y/Z	Z	Y	Y/Z
10	6	0.5975	10	3	0.3493
7992	41072	5.1391	7992	24011	3.0044
15974	102596	6.4227	15974	59980	3.7548
23956	175307	7.3179	23956	102488	4.2782
31938	256393	8.0279	31938	149892	4.6932
39920	344333	8.6256	39920	201304	5.0427
47902	438156	9.1469	47902	256154	5.3475
55884	537175	9.6123	55884	314042	5.6195
63866	640862	10.0345	63866	374660	5.8664
71848	748822	10.4223	71848	437775	6.0931
79830	860715	10.7819	79830	503190	6.3033
87812	976272	11.1178	87812	570747	6.4997
95794	1095280	11.4337	95794	640319	6.6843
103776	1217510	11.7321	103776	711777	6.8588
111758	1342810	12.0153	111758	785032	7.0244
119740	1471040	12.2853	119740	859995	7.1822
127722	1602040	12.5432	127722	936582	7.3330
135704	1735710	12.7904	135704	1014730	7.4775
143686	1871920	13.0279	143686	1094360	7.6163
151668	2010620	13.2567	151668	1175440	7.7501
159650	2151650	13.4773	159650	1257900	7.8791
79830	860715	10.7819	79830	503190	6.3033

直
營委
託

表 C.C.14 地区14 (日野市)

地区14 (日野市)					
Z	Y	Y/Z	Z	Y	Y/Z
10	5	0.4663	10	3	0.2726
3272	9843	3.0084	3272	5755	1.7587
6534	24559	3.7587	6534	14358	2.1974
9796	41948	4.2821	9796	24524	2.5034
13058	61337	4.6973	13058	35859	2.7461
16320	82367	5.0470	16320	48153	2.9506
19582	104801	5.3519	19582	61269	3.1288
22844	128476	5.6241	22844	75110	3.2879
26106	153271	5.8711	26106	89605	3.4324
29368	179083	6.0979	29368	104695	3.5650
32630	205838	6.3083	32630	120337	3.6879
35892	233469	6.5048	35892	136490	3.8028
39154	261922	6.6895	39154	153125	3.9108
42416	291149	6.8641	42416	170211	4.0129
45678	321107	7.0298	45678	187725	4.1098
48940	351765	7.1877	48940	205649	4.2021
52202	383088	7.3386	52202	223960	4.2903
55464	415047	7.4832	55464	242645	4.3748
58726	447619	7.6222	58726	261686	4.4561
61988	480779	7.7560	61988	281073	4.5343
65250	514504	7.8851	65250	300789	4.6098
32625	205797	6.3080	32625	120313	3.6878

直
營委
託

表 C.C.15 地区 15 (小平市)

地区 15 (小平市)			地区 15 (小平市)		
Z	Y	Y/Z	Z	Y	Y/Z
10	4	0.4368	10	3	0.2554
3551	10274	2.8933	3551	6006	1.6915
7092	25638	3.6151	7092	14988	2.1134
10633	43793	4.1186	10633	25602	2.4078
14174	64037	4.5179	14174	37437	2.6413
17715	85992	4.8542	17715	50273	2.8379
21256	109416	5.1476	21256	63967	3.0094
24797	134136	5.4094	24797	78419	3.1624
28338	160023	5.6469	28338	93552	3.3013
31879	186972	5.8651	31879	109308	3.4288
35420	214908	6.0674	35420	125639	3.5471
38961	243756	6.2564	38961	142505	3.6576
42502	273463	6.4341	42502	159872	3.7615
46043	303978	6.6020	46043	177711	3.8597
49584	335259	6.7614	49584	195999	3.9529
53125	367270	6.9133	53125	214713	4.0417
56666	399972	7.0584	56666	233831	4.1265
60207	433341	7.1975	60207	253339	4.2078
63748	467347	7.3312	63748	273220	4.2859
67289	501969	7.4599	67289	293461	4.3612
70830	537181	7.5841	70830	314046	4.4338
35422	214924	6.0675	35422	125649	3.5472

表 C.C.16 地区 16 (国分寺市)

地区 16 (国分寺市)			地区 16 (国分寺市)		
Z	Y	Y/Z	Z	Y	Y/Z
10	6	0.5500	10	3	0.3215
2184	6804	3.1155	2184	3978	1.8214
4358	16960	3.8916	4358	9915	2.2751
6532	28958	4.4332	6532	16929	2.5917
8706	42336	4.8629	8706	24750	2.8429
10880	56845	5.2247	10880	33233	3.0545
13054	72323	5.5403	13054	42281	3.2390
15228	88657	5.8220	15228	51830	3.4036
17402	105762	6.0776	17402	61830	3.5531
19576	123571	6.3124	19576	72242	3.6903
21750	142029	6.5301	21750	83033	3.8176
23924	161091	6.7335	23924	94177	3.9365
26098	180720	6.9247	26098	105652	4.0483
28272	200883	7.1054	28272	117440	4.1539
30446	221553	7.2769	30446	129524	4.2542
32620	242702	7.4403	32620	141888	4.3497
34794	264313	7.5965	34794	154522	4.4411
36968	286360	7.7462	36968	167411	4.5286
39142	308829	7.8900	39142	180547	4.6126
41316	331708	8.0286	41316	193922	4.6936
43490	354972	8.1622	43490	207523	4.7718
21748	142011	6.5299	21748	83022	3.8175

表 C.C.17 地区 17 (小金井市)

		地区 17 (小金井市)							
		Z	Y	Y/Z					
直 營		10	5	0.5007	委 託		3	0.2927	
		2871	8893	3.0975			2871	5199	1.8109
		5732	22182	3.8699			5732	12968	2.2624
		8593	37884	4.4087			8593	22148	2.5774
		11454	55392	4.8361			11454	32383	2.8273
		14315	74381	5.1960			14315	43485	3.0377
		17176	94638	5.5099			17176	55327	3.2212
		20037	116016	5.7901			20037	67825	3.3850
		22898	138405	6.0444			22898	80914	3.5337
		25759	161712	6.2779			25759	94540	3.6702
		28620	185870	6.4944			28620	108663	3.7968
		31481	210819	6.6967			31481	123249	3.9150
		34342	236510	6.8869			34342	138268	4.0262
		37203	262901	7.0667			37203	153697	4.1313
		40064	289953	7.2372			40064	169512	4.2310
		42925	317637	7.3998			42925	185696	4.3261
		45786	345921	7.5552			45786	202232	4.4169
		48647	374775	7.7040			48647	219101	4.5039
		51508	404186	7.8471			51508	236295	4.5875
		54369	434129	7.9849			54369	253800	4.6681
		57230	464582	8.1178			57230	271603	4.7458
		28624	185905	6.4947			28624	108684	3.7969

表 C.C.18 地区 18 (府中市)

		地区 18 (府中市)							
		Z	Y	Y/Z					
直 營		10	5	0.4560	委 託		3	0.2666	
		5029	16990	3.3784			5029	9933	1.9751
		10048	42420	4.2218			10048	24800	2.4681
		15067	72471	4.8099			15067	42368	2.8120
		20086	105983	5.2765			20086	61960	3.0847
		25105	142328	5.6693			25105	83208	3.3144
		30124	181103	6.0119			30124	105876	3.5147
		35143	222024	6.3177			35143	129799	3.6935
		40162	264877	6.5952			40162	154852	3.8557
		45181	309492	6.8500			45181	180935	4.0047
		50200	355734	7.0863			50200	207969	4.1428
		55219	403493	7.3072			55219	235890	4.2719
		60238	452668	7.5147			60238	264638	4.3932
		65257	503184	7.7108			65257	294171	4.5079
		70276	554972	7.8970			70276	324447	4.6168
		75295	607959	8.0744			75295	355425	4.7204
		80314	662095	8.2438			80314	387073	4.8195
		85333	717338	8.4063			85333	419369	4.9145
		90352	773632	8.5624			90352	452280	5.0058
		95371	830943	8.7128			95371	485785	5.0936
		100390	889241	8.8579			100390	519867	5.1785
		50197	355707	7.0862			50197	207953	4.1427

表 C.C.19 地区 19 (多摩市)

地区 19 (多摩市)					
Z	Y	Y/Z	Z	Y	Y/Z
10	6	0.6115	10	4	0.3575
1785	5794	3.2460	1785	3387	1.8977
3560	14432	4.0540	3560	8437	2.3700
5335	24636	4.6179	5335	14403	2.6997
7110	36014	5.0653	7110	21055	2.9613
8885	48353	5.4421	8885	28268	3.1816
10660	61516	5.7708	10660	35964	3.3737
12435	75408	6.0642	12435	44085	3.5452
14210	89954	6.3303	14210	52589	3.7008
15985	105099	6.5748	15985	61443	3.8438
17760	120797	6.8016	17760	70620	3.9764
19535	137007	7.0134	19535	80097	4.1002
21310	153700	7.2126	21310	89856	4.2166
23085	170847	7.4008	23085	99880	4.3266
24860	188424	7.5794	24860	110156	4.4311
26635	206410	7.7496	26635	120671	4.5306
28410	224788	7.9123	28410	131415	4.6257
30185	243538	8.0682	30185	142377	4.7168
31960	262647	8.2180	31960	153548	4.8044
33735	282098	8.3622	33735	164920	4.8887
35510	301887	8.5015	35510	176489	4.9701
17757	120769	6.8012	17757	70604	3.9761

直
營委
託

表 C.C.20 地区 20 (稻城市)

地区 20 (稻城市)					
Z	Y	Y/Z	Z	Y	Y/Z
10	5	0.522	10	3	0.3054
1286	3209	2.495	1286	1876	1.4587
2562	7981	3.115	2562	4666	1.8211
3838	13617	3.548	3838	7961	2.0742
5114	19901	3.891	5114	11634	2.2750
6390	26715	4.181	6390	15618	2.4441
7666	33984	4.433	7666	19868	2.5917
8942	41656	4.658	8942	24352	2.7234
10218	49689	4.863	10218	29049	2.8429
11494	58052	5.051	11494	33938	2.9527
12770	66720	5.225	12770	39006	3.0545
14046	75672	5.387	14046	44239	3.1496
15322	84890	5.540	15322	49628	3.2390
16598	94358	5.685	16598	55163	3.3235
17874	104065	5.822	17874	60837	3.4037
19150	113997	5.953	19150	66644	3.4801
20426	124144	6.078	20426	72577	3.5532
21702	134498	6.197	21702	78629	3.6231
22978	145049	6.313	22978	84798	3.6904
25254	155792	6.423	24254	91078	3.7552
25530	166717	6.530	25530	97465	3.8177
12765	66685	5.224	12765	38985	3.0541

直
營委
託

Appendix C.L ごみ収集プロセスにおける軽油消費量の算定

図C.Lは本文で示した軽油消費量関数及び現状値にもとづく線形近似の様子を、小金井市を例にとつて図示したものである。軽油消費量関数は宅地面積と人口密度の関数であるが、図C.Lは宅地面積を所与として、人口の関数としてプロットしている。図C.L及び表C.L中の X_1 は人口を、 Y はごみ収集車によって消費される年間軽油量(l)を示している。

図 C.L ごみ収集プロセスにおける軽油消費量関数 (地区 17: 小金井市)

コマ ショウジョウ, タイ1 ショウリョウ(L/MAN)

AREA= 17

$Y=A*X1^P1*X2^P2*X3^P3$

A= 0.4329 P1= 0.924 P2= 0.2108 P3= 1

X2= 542.52 X3= 1

X0= 99096 Y= 67477.8

X1 Y Y1= 0.680934 *X1

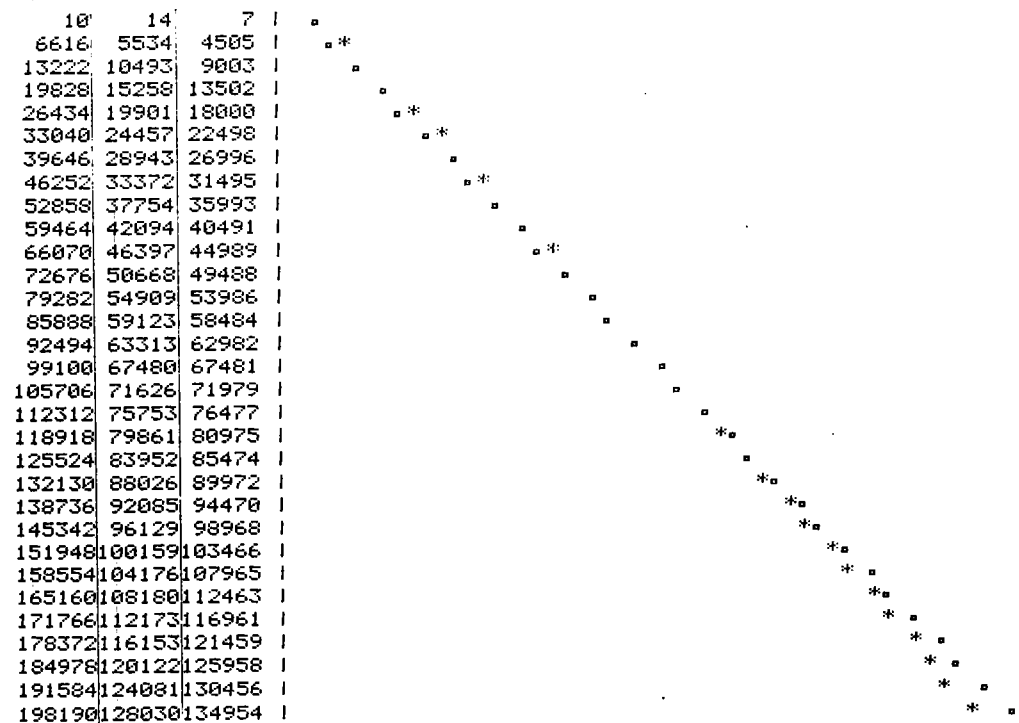


表 C.L ごみ収集プロセスで消費される軽油量

地区 1 (檜原村)			地区 2 (五日市町)			地区 3 (日の出町)		
X1	Y	Y1	X1	Y	Y1	X1	Y	Y1
10	8	5	10	11	6	10	10	6
313	186	152	1312	996	811	819	614	500
616	347	298	2614	1884	1617	1628	1158	994
919	502	445	3916	2737	2422	2437	1681	1488
1222	654	591	5218	3568	3227	3246	2191	1982
1525	802	738	6520	4383	4033	4055	2691	2476
1828	948	885	7822	5186	4838	4864	3184	2970
2131	1093	1031	9124	5979	5643	5673	3671	3464
2434	1236	1178	10426	6764	6448	6482	4152	3958
2737	1377	1325	11728	7541	7254	7291	4628	4452
3040	1517	1471	13030	8311	8059	8100	5101	4946
3343	1657	1618	14332	9075	8864	8909	5570	5440
3646	1795	1765	15634	9835	9669	9718	6036	5934
3949	1932	1911	16936	10589	10475	10527	6498	6428
4252	2069	2058	18238	11339	11280	11336	6959	6922
4555	2205	2205	19540	12085	12085	12145	7416	7416
4858	2340	2351	20842	12827	12891	12954	7872	7910
5161	2475	2498	22144	13566	13696	13763	8325	8404
5464	2609	2645	23446	14302	14501	14572	8776	8898
5767	2742	2791	24748	15034	15306	15381	9225	9392
6070	2875	2938	26050	15763	16112	16190	9673	9886
6373	3007	3085	27352	16490	16917	16999	10118	10380
6676	3139	3231	28654	17214	17722	17808	10563	10874
6979	3270	3378	29956	17935	18528	18617	11005	11368
7282	3401	3525	31258	18654	19333	19426	11446	11862
7585	3532	3671	32560	19371	20138	20235	11886	12356
7888	3662	3818	33862	20086	20943	21044	12325	12850
8191	3792	3965	35164	20799	21749	21853	12762	13344
8494	3921	4111	36466	21509	22554	22662	13198	13838
8797	4051	4258	37768	22218	23359	23471	13632	14332
9100	4179	4405	39070	22925	24164	24280	14066	14826

地区 4 (秋川市)			地区 5 (青梅市)			地区 6 (瑞穂町)		
X1	Y	Y1	X1	Y	Y1	X1	Y	Y1
10	13	7	10	14	7	10	11	6
2757	2281	1857	6134	5355	4359	1448	1112	906
5504	4321	3708	12258	10152	8711	2886	2103	1805
8251	6281	5558	18382	14762	13063	4324	3056	2704
10998	8191	7409	24506	19255	17415	5762	3984	3604
13745	10065	9260	30630	23662	21767	7200	4895	4503
16492	11911	11110	36754	28002	26119	8638	5792	5402
19239	13733	12961	42878	32288	30471	10076	6677	6302
21986	15536	14811	49002	36527	34823	11514	7553	7201
24733	17321	16662	55126	40725	39175	12952	8421	8100
27480	19091	18512	61250	44889	43527	14390	9281	9000
30227	20848	20363	67374	49021	47879	15828	10135	9899
32974	22593	22214	73498	53124	52231	17266	10983	10798
35721	24327	24064	79622	57201	56583	18704	11825	11698
38468	26051	25915	85746	61255	60935	20142	12663	12597
41215	27765	27765	91870	65287	65287	21580	13496	13496
43962	29471	29616	97994	69298	69639	23018	14325	14396
46709	31168	31466	104118	73290	73991	24456	15150	15295
49456	32858	33317	110242	77264	78343	25894	15971	16194
52203	34541	35167	116366	81222	82695	27332	16789	17094
54950	36217	37018	122490	85164	87047	28770	17604	17993
57697	37887	38869	128614	89091	91399	30208	18415	18892
60444	39551	40719	134738	93004	95751	31646	19224	19792
63191	41209	42570	140862	96903	100103	33084	20030	20691
65938	42862	44420	146986	100789	104454	34522	20833	21590
68685	44509	46271	153110	104663	108806	35960	21633	22490
71432	46151	48121	159234	108526	113158	37398	22432	23389
74179	47789	49972	165358	112377	117510	38836	23227	24288
76926	49422	51823	171482	116217	121862	40274	24021	25188
79673	51050	53673	177606	120046	126214	41712	24812	26087
82420	52675	55524	183730	123866	130566	43150	25602	26986

地区7(羽村町)

X1	Y	Y1
10	11	6
2543	1908	1554
5076	3614	3101
7609	5253	4648
10142	6850	6196
12675	8417	7743
15208	9960	9291
17741	11484	10838
20274	12991	12386
22807	14484	13933
25340	15965	15480
27873	17434	17028
30406	18893	18575
32939	20343	20123
35472	21784	21670
38005	23218	23217
40538	24644	24765
43071	26063	26312
45604	27477	27860
48137	28884	29407
50670	30285	30955
53203	31682	32502
55736	33073	34049
58269	34459	35597
60802	35841	37144
63335	37219	38692
65868	38592	40239
68401	39961	41786
70934	41327	43334
73467	42689	44881
76000	44047	46429

地区8(福生市)

X1	Y	Y1
10	12	6
3192	2400	1954
6374	4547	3902
9556	6610	5849
12738	8621	7797
15920	10593	9745
19102	12536	11693
22284	14454	13641
25466	16351	15588
28648	18230	17536
31830	20094	19484
35012	21943	21432
38194	23780	23379
41376	25604	25327
44558	27419	27275
47740	29223	29223
50922	31018	31171
54104	32805	33118
57286	34584	35066
60468	36355	37014
63650	38120	38962
66832	39877	40909
70014	41628	42857
73196	43374	44805
76378	45113	46753
79560	46847	48701
82742	48576	50648
85924	50299	52596
89106	52018	54544
92288	53732	56492
95470	55442	58439

地区9(昭島市)

X1	Y	Y1
10	13	6
5746	4583	3731
11482	8688	7455
17218	12633	11179
22954	16477	14903
28690	20249	18627
34426	23963	22351
40162	27630	26075
45898	31257	29799
51634	34850	33523
57370	38413	37247
63106	41949	40971
68842	45460	44696
74578	48949	48420
80314	52418	52144
86050	55868	55868
91786	59301	59592
97522	62717	63316
103258	66118	67040
108994	69504	70764
114730	72878	74488
120466	76238	78212
126202	79586	81936
131938	82923	85660
137674	86249	89384
143410	89564	93109
149146	92869	96833
154882	96164	100557
160618	99451	104281
166354	102728	108005
172090	105996	111729

地区11(立川市)

X1	Y	Y1
10	15	7
9359	8138	6625
18708	15434	13243
28057	22445	19861
37406	29277	26479
46755	35979	33097
56104	42579	39715
65453	49096	46333
74802	55542	52951
84151	61927	59569
93500	68258	66187
102849	74541	72005
112198	80781	79423
121547	86982	86041
130896	93146	92659
140245	99277	99277
149594	105377	105895
158943	111481	12513
168292	117491	119131
177641	123510	125749
186990	129505	132367
196339	135476	138985
205688	141427	145603
215037	147356	152221
224386	153266	158839
233735	159157	165457
243084	165029	172075
252433	170886	178693
261782	176725	185311
271131	182550	191929
280480	188359	198547

地区10(武蔵村山市)

X1	Y	Y1
10	12	6
3694	2747	2237
7378	5206	4468
11062	7570	6698
14746	9872	8929
18430	12131	11160
22114	14356	13391
25798	16553	15622
29482	18726	17852
33166	20878	20083
36850	23012	22314
40534	25130	24545
44218	27233	26776
47902	29323	29006
51586	31401	31237
55270	33468	33468
58954	35524	35699
62638	37570	37930
66322	39608	40160
70006	41636	42391
73690	43657	44622
77374	45670	46853
81058	47675	49084
84742	49674	51314
88426	51666	53545
92110	53652	55776
95794	55632	58007
99478	57606	60237
103162	59574	62468
106846	61537	64699
110530	63495	66930

地区12(国立市)

X1	Y	Y1
10	13	6
4240	3349	2726
8470	6347	5446
12700	9228	8166
16930	12036	10886
21160	14791	13606
25390	17503	16326
29620	20182	19046
33850	22831	21766
38080	25455	24486
42310	28057	27206
46540	30639	29926
50770	33204	32646
55000	35752	35366
59230	38286	38086
63460	40806	40806
67690	43313	43526
71920	45808	46246
76150	48292	48966
80380	50765	51686
84610	53229	54406
88840	55683	57126
93070	58129	59846
97300	60566	62566
101530	62995	65286
105760	65416	68006
109990	67830	70726
114220	70236	73446
118450	72637	76166
122680	75030	78886
126910	77418	81606

地区13(八王子市)

X1	Y	Y1
10	18	8
23169	23575	19190
46328	44721	38372
69487	65042	57554
92646	84844	76736
115805	104269	95917
138964	123400	115099
162123	142288	134281
185282	160973	153463
208441	179479	172645
231600	197829	191827
254759	216042	211008
277918	234128	230190
301077	252098	249372
324236	269968	268554
347395	287737	287736
370554	305417	306918
393713	323013	326099
416872	340529	345281
440031	357975	364463
463190	375350	383645
486349	392657	402827
509508	409902	422009
532667	427091	441190
555826	444221	460372
578985	461295	479554
602144	478317	498736
625303	495290	517918
648462	512216	537100
671621	529098	556281
694780	545936	575463

地区14(日野市)

X1	Y	Y1
10	15	7
9134	7895	6427
18258	14972	12846
27382	21772	19266
36506	28399	25685
45630	34900	32105
54754	41303	38525
63878	47624	44944
73002	53877	51364
82126	60071	57783
91250	66212	64203
100374	72307	70623
109498	78360	77042
118622	84375	83462
127746	90354	89881
136870	96301	96301
145994	102218	102720
155118	108107	109140
164242	113969	115560
173366	119808	121979
182490	125622	128399
191614	131416	134818
200738	137188	141238
209862	142939	147658
218986	148672	154077
228110	154386	160497
237234	160083	166916
246358	165764	173336
255482	171428	179756
264606	177079	186175
273730	182712	192595

地区15(小平市)

X1	Y	Y1
10	15	7
10186	8846	7201
20362	16777	14395
30538	24398	21590
40714	31825	28784
50890	39110	35978
61066	46285	43172
71242	53369	50366
81418	60377	57560
91594	67318	64755
101770	74200	71949
111946	81030	79143
122122	87813	86337
132298	94554	93531
142474	101254	100725
152650	107919	107919
162826	114550	115114
173002	121150	122308
183178	127719	129502
193354	134261	136696
203530	140781	143890
213706	147271	151084
223882	153737	158279
234058	160184	165473
244234	166609	172667
254410	173012	179861
264586	179396	187055
274762	185763	194249
284938	192111	201443
295114	198442	208638
305290	204755	215832

地区16(国分寺市)

X1	Y	Y1
10	14	7
5851	4882	3975
11692	9256	7943
17533	13460	11911
23374	17556	15879
29215	21574	19847
35056	25532	23815
40897	29439	27782
46738	33304	31750
52579	37132	35718
58420	40928	39686
64261	44695	43654
70102	48436	47622
75943	52154	51590
81784	55850	55558
87625	59526	59526
93466	63183	63494
99307	66823	67462
105148	70447	71430
110989	74055	75398
116830	77649	79366
122671	81230	83334
128512	84797	87302
134353	88352	91270
140194	91896	95238
146035	95428	99206
151876	98949	103173
157717	102461	107141
163558	105962	111109
169399	109453	115077
175240	112937	119045

地区18(府中市)

X1	Y	Y1
10	15	7
12048	10773	8770
24086	20433	17532
36124	29715	26294
48162	38761	35057
60200	47635	43819
72238	56373	52582
84276	65002	61344
96314	73537	70106
108352	81991	78869
120390	90373	87631
132428	98693	96393
144466	106954	105156
156504	115164	113918
168542	123325	122680
180580	131443	131443
192618	139519	140205
204656	147557	148967
216694	155561	157730
228732	163529	166492
240770	171465	175255
252808	179371	184017
264846	187250	192779
276884	195100	201542
288922	202925	210304
300960	210727	219066
312998	218503	227829
325036	226256	236591
337074	233988	245353
349112	241698	254116
361150	249389	262878

地区19(多摩市)

X1	Y	Y1
10	14	7
5422	4551	3705
10834	8627	7403
16246	12544	11101
21658	16362	14798
27070	20107	18496
32482	23795	22194
37894	27436	25892
43306	31038	29590
48718	34605	33288
54130	38143	36986
59542	41654	40684
64954	45141	44381
70366	48605	48079
75778	52050	51777
81190	55475	55475
86602	58884	59173
92014	62276	62071
97426	65653	66569
102838	69016	70266
108250	72365	73964
113662	75702	77662
119074	79027	81360
124486	82340	85058
129898	85642	88756
135310	88934	92454
140722	92216	96152
146134	95488	99849
151546	98751	103547
156958	102005	107245
162370	105251	110943

地区20(福城市)

X1	Y	Y1
10	12	6
3028	2293	1867
6046	4345	3728
9064	6316	5589
12082	8237	7450
15100	10122	9311
18118	11978	11172
21136	13810	13033
24154	15623	14894
27172	17418	16755
30190	19198	18616
33208	20965	20477
36226	22720	22338
39244	24464	24199
42262	26197	26060
45280	27921	27921
48298	29636	29782
51316	31343	31643
54334	33043	33504
57352	34735	35365
60370	36421	37226
63388	38100	39087
66406	39773	40948
69424	41441	42809
72442	43103	44670
75460	44759	46531
78478	46411	48392
81496	48058	50253
84514	49700	52114
87532	51337	53975
90550	52971	55836

Appendix D.T 焼却工場別ごみ処理費用及び平均費用の算定

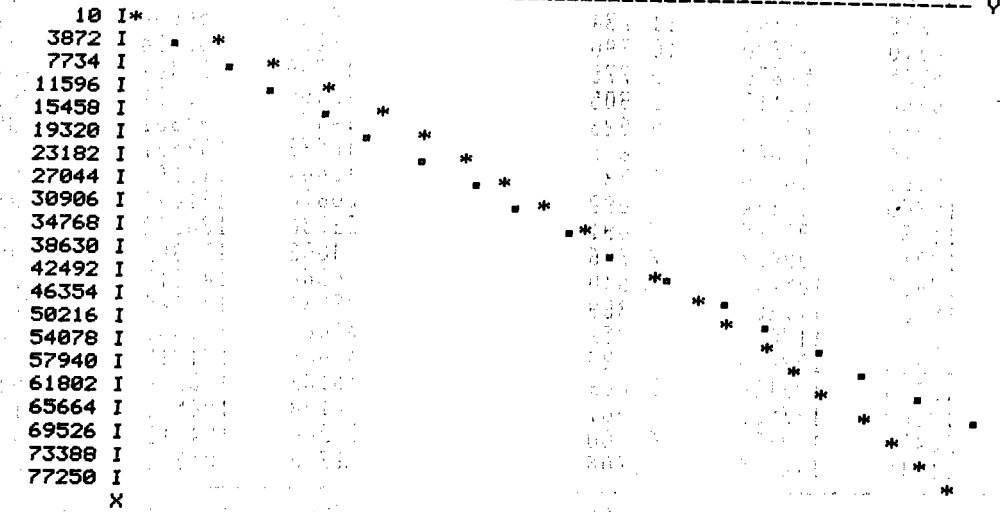
図D・Tは本文で説明したごみ処理費用関数及びS52年時の年間処理費にもとづく線形近似の様子を、西多摩清掃工場を例にとってプロットしたものである。ここで、パラメーターとして与えられているのは、焼却炉のS52年時の残灰率(%)である。処理費用とは処理施設に投下された資本量(破碎装置、公害防止施設等の付帯設備を含む)の減価償却費と人件費から成っている。表D・Tは焼却場ごとにごみ処理費用を算定したものである。図D・T及び表D・T中のZは年間焼却量(t)、Yは処理費用(千円)、Y/Zは平均費用(千円/t)である。各表の最下段には当該焼却場のS52年の年間収集量に対応するデータをまとめてある。

コンシヨリ ヒヨウ(¥1000/TON)

AREA-CODE= 7

$$Y = (18.79 * 0.9092 + 0.1 * 699.398) * Z^{1/2} (0.276 + 1.098 * Z)$$

***HEIKIN-HIYOU** Y1= 4.9000 *Z



Z	Y	Y/Z
10	465	46.477
3872	35459	9.168
7734	58727	7.593
11596	78655	6.800
15458	97200	6.298
19320	114324	5.917
23182	130533	5.631
27044	146020	5.399
30906	160914	5.207
34768	175307	5.042
38630	189271	4.900
42492	202859	4.774
46354	215114	4.662
50216	229071	4.562
54078	241759	4.471
57940	254200	4.387
61802	266423	4.311
65664	278436	4.240
69526	290258	4.175
73388	301902	4.114
77250	313381	4.057

 38631 189275 4.900

表D.T 清掃工場別ごみ処理費用関数

西秋川衛生組合焼却場			昭島市 焼却場		
Z	Y	Y/Z	Z	Y	Y/Z
10	542	54.230	10	471	47.080
1085	16414	15.128	2076	22848	11.006
2160	27089	12.541	4142	37768	9.118
3235	36343	11.234	6208	50698	8.167
4310	44780	10.390	8274	62484	7.552
5385	52656	9.778	10340	73486	7.107
6460	60113	9.305	12406	83901	6.763
7535	67237	8.923	14472	93851	6.485
8610	74088	8.605	16538	103421	6.254
9685	80710	8.333	18604	112669	6.056
10760	87134	8.098	20670	121642	5.885
11835	93385	7.891	22736	130372	5.734
12910	99483	7.706	24802	138889	5.600
13985	105445	7.540	26868	147215	5.479
15060	111282	7.389	28934	155368	5.370
16135	117007	7.252	31000	163363	5.270
17210	122629	7.125	33066	171215	5.178
18285	128156	7.009	35132	178934	5.093
19360	133596	6.901	37198	186531	5.015
20435	138953	6.800	39264	194013	4.941
21510	144235	6.705	41330	201388	4.873
10756	87110	8.099	20666	121624	5.885

立川市焼却場			国立市焼却場		
Z	Y	Y/Z	Z	Y	Y/Z
10	389	38.866	10	497	49.665
3480	27468	7.893	1286	17011	13.228
6950	45436	6.538	2562	28089	10.964
10420	61006	5.855	3838	37692	9.821
13890	75197	5.414	5114	46446	9.082
17360	88444	5.095	6390	54617	8.547
20830	100983	4.848	7666	62354	8.134
24300	112963	4.649	8942	69745	7.800
27770	124485	4.483	10218	76854	7.521
31240	135620	4.341	11494	83724	7.284
34710	146422	4.218	12770	90389	7.078
38180	156933	4.110	14046	96874	6.897
41650	167187	4.014	15322	103201	6.735
45120	177210	3.928	16598	109386	6.590
48590	187026	3.849	17874	115443	6.459
52060	196652	3.777	19150	121382	6.338
55530	206105	3.712	20426	127215	6.228
59000	215398	3.651	21702	132949	6.126
62470	224544	3.594	22978	138593	6.032
65940	233552	3.542	24254	144151	5.943
69410	242431	3.493	25530	149630	5.861
34705	146406	4.219	12773	90404	7.078

八王子市焼却場

Z	Y	Y/Z
10	514	51.422
7473	63372	8.480
14936	104886	7.022
22399	140855	6.288
29862	173637	5.815
37325	204236	5.472
44788	233201	5.207
52251	260874	4.993
59714	287487	4.814
67177	313206	4.662
74640	338157	4.531
82103	362437	4.414
89566	386121	4.311
97029	409274	4.218
104492	431946	4.134
111955	454181	4.057
119418	476015	3.986
126881	497481	3.921
134344	518604	3.860
141807	539411	3.804
149270	559922	3.751
74644	338171	4.530

日野市焼却場

Z	Y	Y/Z
10	457	45.677
2927	28462	9.724
5844	47072	8.055
8761	63198	7.214
11678	77896	6.670
14595	91617	6.277
17512	104605	5.973
20429	117014	5.728
23346	128947	5.523
26263	140480	5.349
29180	151669	5.198
32097	162556	5.065
35014	173177	4.946
37931	183560	4.839
40848	193726	4.743
43765	203697	4.654
46682	213488	4.573
49599	223114	4.498
52516	232587	4.429
55433	241917	4.364
58350	251114	4.304
29184	151684	5.198

小平・村山・大和衛生組合焼却場

Z	Y	Y/Z
10	523	52.299
5403	50904	9.422
10796	84235	7.802
16189	113115	6.987
21582	139436	6.461
26975	164005	6.080
32368	187262	5.785
37761	209482	5.548
43154	230851	5.349
48547	251502	5.181
53940	271537	5.034
59333	291032	4.905
64726	310050	4.790
70119	328640	4.687
75512	346844	4.593
80905	364698	4.508
86298	382230	4.429
91691	399465	4.357
97084	416427	4.289
102477	433133	4.227
107870	449603	4.168
53936	271522	5.034

国分寺市焼却場

Z	Y	Y/Z
10	387	38.743
1660	15979	9.626
3310	26401	7.976
4960	35435	7.144
6610	43669	6.607
8260	51356	6.217
9910	58633	5.917
11560	65585	5.673
13210	72272	5.471
14860	78734	5.298
16510	85003	5.149
18160	91103	5.017
19810	97054	4.899
21460	102871	4.794
23110	108567	4.698
24760	114154	4.610
26410	119640	4.530
28060	125034	4.456
29710	130342	4.387
31360	135570	4.323
33010	140723	4.263
16506	84988	5.149

多摩市焼却場

Z	Y	Y/Z
10	711	71.141
4926	64741	13.143
9842	107124	10.884
14758	143848	9.747
19674	177320	9.013
24590	208563	8.482
29506	238137	8.071
34422	266393	7.739
39338	293566	7.463
44254	319827	7.227
49170	345304	7.023
54086	370095	6.843
59002	394279	6.682
63918	417919	6.538
68834	441069	6.408
73750	463772	6.288
78666	486066	6.179
83582	507984	6.078
88498	529553	5.984
93414	550798	5.896
98330	571741	5.815
49166	345284	7.023

多摩川衛生組合焼却場

Z	Y	Y/Z
10	506	50.596
2529	28346	11.209
5048	46871	9.285
7567	62924	8.316
10086	77556	7.690
12605	91215	7.236
15124	104145	6.886
17643	116498	6.603
20162	128378	6.367
22681	139859	6.166
25200	150998	5.992
27719	161837	5.838
30238	172410	5.702
32757	182746	5.579
35276	192867	5.467
37795	202793	5.366
40314	212540	5.272
42833	222123	5.186
45352	231554	5.106
47871	240842	5.031
50390	249999	4.961
25196	150980	5.992

二枚橋衛生組合焼却場

Z	Y	Y/Z
10	491	49.078
11032	80301	7.279
22054	132925	6.027
33076	178518	5.397
44098	220072	4.991
55120	258858	4.696
66142	295573	4.469
77164	330649	4.285
88186	364383	4.132
99208	396983	4.002
110230	428610	3.888
121252	459385	3.789
132274	489406	3.700
143296	518753	3.620
154318	547491	3.548
165340	575674	3.482
176362	603350	3.421
187384	630558	3.365
198406	657333	3.313
209428	683706	3.265
220450	709704	3.219
110231	428612	3.888

Appendix D.E ごみ処理プロセスにおける電力消費量の算定

図D.Eは本文で説明した電力消費量関数及び年間焼却量(=74,644 t)における線形近似の様子をプロットしたものである。また図D.E中のZは年間焼却量(t)、Yは電力消費量(kwh)、Y/Zは焼却1 t当り電力消費量(kwh/t)である。

図 D.E ごみ処理プロセスにおける電力消費量関数

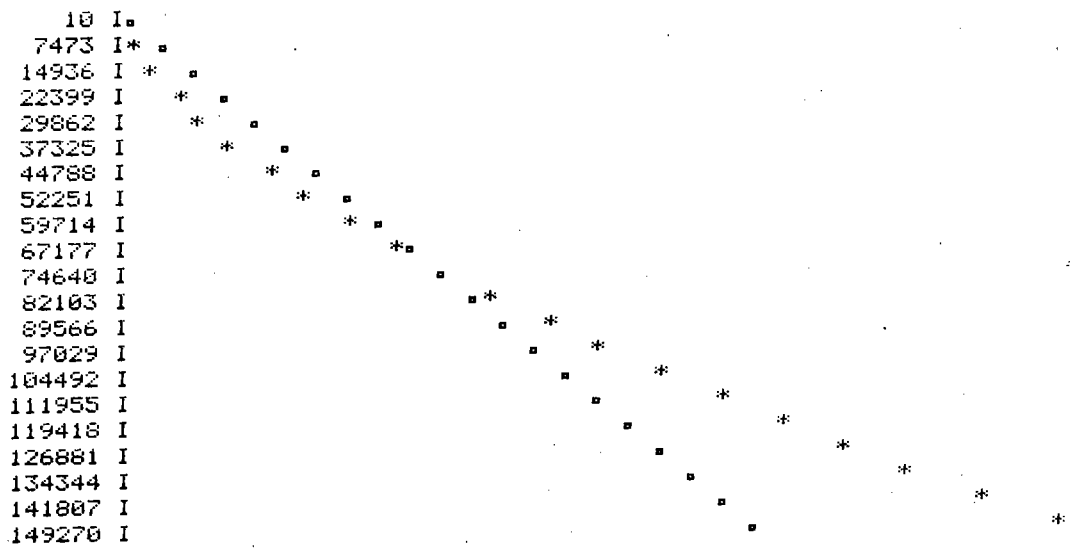
*** コミ ショリ テンリョウリョウ(KWH) ***

単位, コミ ショリリョウ= TON/YEAR

コミ ショウキョクシヨウ= 6

$$Y = 1 * 0.119 * Z^{1.552}$$

$$**ハイチン ヒヨウ** \quad Y1 = 58.2699 * Z$$



Z	Y	Y/Z
10	4	0.424177
7473	122239	16.357400
14936	358061	23.973000
22399	671585	29.962800
29862	1049380	35.140900
37325	1483520	39.746100
44788	1968580	43.953300
52251	2500500	47.855600
59714	3076210	51.515700
67177	3693120	54.975900
74640	4349080	58.267400
82103	5042330	61.414600
89566	5771250	64.435700
97029	6534590	67.346800
104492	7331060	70.159100
111955	8159440	72.891500
119418	9018930	75.524100
126881	9908720	78.094600
134344	10827800	80.597900
141807	11775580	83.039200
149270	12751300	85.424500
74644	4349500	58.2699000

Appendix E 下水処理プロセスにおける処理費用、電力消費量、重油消費量、ケーキ発生量の算定

図E.1は本文で説明した処理費用関数を、縦軸に年間下水処理量(t)、横軸に処理費用(千円)をとってプロットしたものである。ここで処理費用は、下水処理施設に投下された資本費の減価償却分及び人件費用から成っている。

図E.2は下水処理場での電力消費量関数及び年間下水処理量(=21,590kt)での線形近似の様子をプロットしたものである。ここでZは年間下水処理量(t)、Yは電力消費量(kwh)、Y/Zは処理1単位当りの電力消費量(kwh/t)のことである。

図E.3は下水処理場の汚泥処理プロセスで消費される重油量関数及びケーキ量(=4,540t)のもとでの線形近似の様子をプロットしたものである。ここでZは年間ケーキ量(t)、Yは重油消費量(ℓ)、Y/Zはケーキ1単位当りの重油消費量(ℓ/t)である。

図E.4は下水処理場でのケーキ発生量(Y:ton)関数及び年間下水処理量(Z=21,590kt)のもとでの線形近似の様子をプロットしたものである。Y/Zは処理1単位当りに発生するケーキ量(t/t)である。

図 E.1 下水処理費用関数

ケニスイ シヨリシヨウ ヒヨウ カンスウ
 $K(\text{シホン})=2.3335E-3*(\text{ケニスイリヨウ})^{1.246}$
 $L(\text{ロウトウ})=49.2040*(\text{ケニスイリヨウ})^{0.313}$
 $C(\text{ヒヨウ})=0.018*K+10.03*L$

ケニスイリヨウ	コスト	
431810	1552581	*
863610	290931	*
1295410	366401	*
1727210	421451	*
2159010	467001	*
2590810	506951	*
3022610	543161	*
3454410	576691	*
3886210	608201	*
4318010	638141	*
4749810	666821	*
5181610	694461	*
5613410	721251	*
6045210	747301	*
6477010	772741	*
6908810	797651	*
7340610	822091	*
7772410	846121	*
8204210	869801	*
8636010	893151	*
9067810	916231	*
9499610	939051	*
9931410	961651	*
10363200	984041	*
10795000	1006251	*
11226800	1028301	*
11658600	1050191	*
12090400	1071951	*
12522200	1093581	*
12954000	1115091	*
13385800	1136511	*
13817600	1157821	*
14249400	1179071	*
14681200	1200221	*
15113000	1221291	*
15544800	1242321	*
15976600	1263271	*
16408400	1284171	*
16840200	1305021	*
17272000	1325831	*
17703800	1346591	*
18135600	1367311	*
18567400	1388001	*
18999200	1408651	*
19431000	1429291	*
19862800	1449891	*
20294500	1470461	*
20726300	1491031	*
21158100	1511561	*
21589900	1532081	*

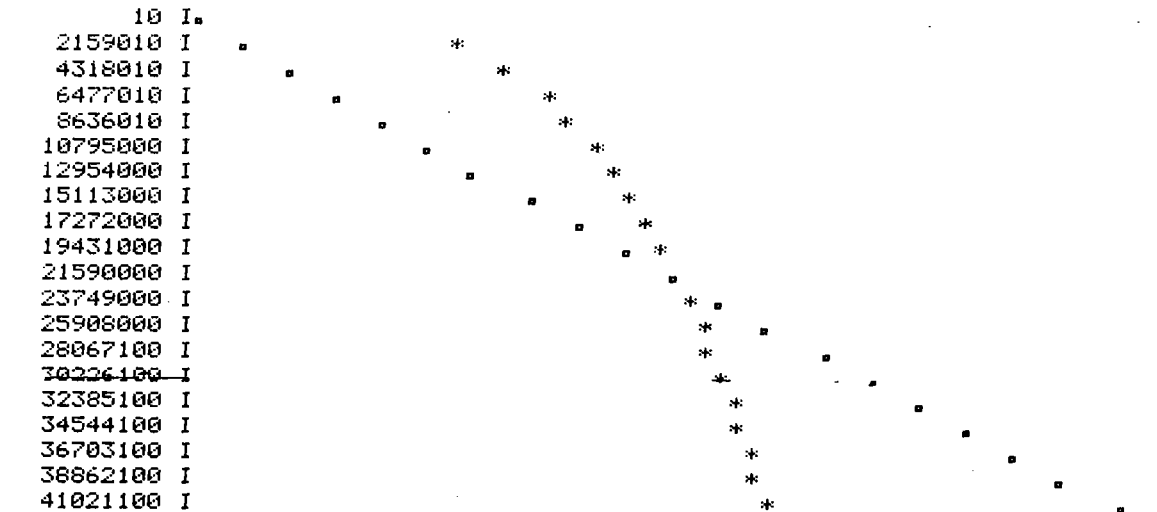
図 E.2 下水処理場電力消費量関数

*** アスライ ショリショウ ***
 テンリョウ ショウリョウ

クニ テンリョウ=KWH/YEAR アスライョウ=TON/YEAR

$$Y = 1 * 95389 * Z^{\wedge} 0.2613$$

$$**ハイキシ ヒョウ** Y1 = 0.364492 * Z$$



Z	Y	Y/Z
2159010	4311610	1.9970
4318010	5167720	1.1968
6477010	5745280	0.8870
8636010	6193810	0.7172
10795000	6565700	0.6082
12954000	6886040	0.5316
15113000	7169090	0.4744
17272000	7423650	0.4298
19431000	7655670	0.3940
21590000	7869370	0.3645
23749000	8067790	0.3397
25908000	8253330	0.3186
28067100	8427770	0.3003
30226100	8592570	0.2843
32385100	8748870	0.2702
34544100	8897680	0.2576
36703100	9039730	0.2463
38862100	9175770	0.2361
41021100	9306310	0.2269
21590000	7869370	0.3645

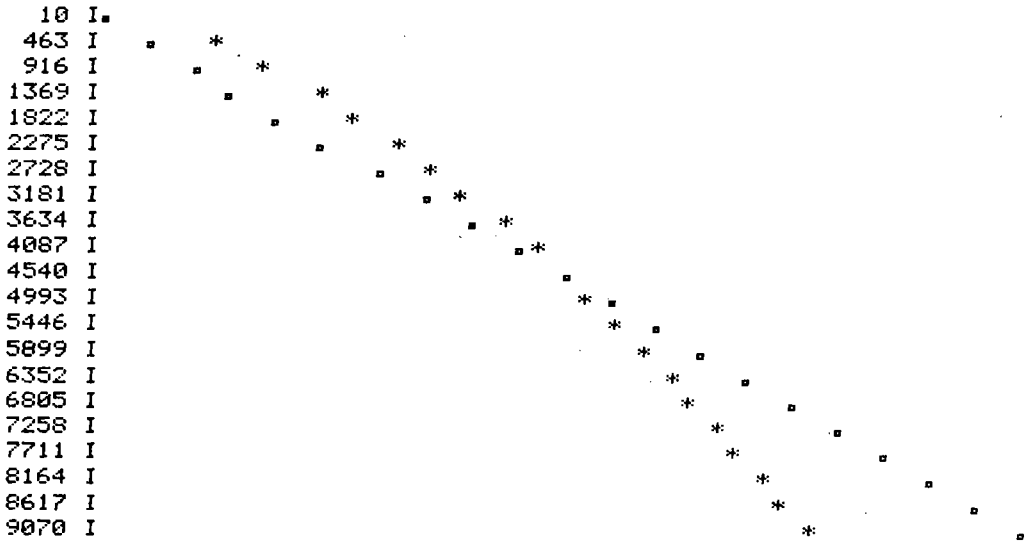
図 E.3 下水処理場重油消費量関数

*** ケースI ショリショウ ***
 ショウリョウ ショウリョウ

関数 ショウリョウ=L/YEAR ケーキョウ=TON/YEAR

$$Y = 1 * 1806.8 * Z^{0.6298}$$

変数 ヒョウ $V1 = 79.9961 * Z$



Z	Y	Y/Z
463	96237	186.2570
916	132529	144.6830
1369	170694	124.6850
1822	204364	112.1650
2275	235038	103.3130
2728	263515	96.5965
3181	290286	91.2561
3634	315676	86.8673
4087	339917	83.1704
4540	363182	79.9961
4993	385602	77.2285
5446	407280	74.7851
5899	428299	72.6053
6352	448729	70.6437
6805	468626	68.8649
7258	488038	67.2413
7711	507006	65.7511
8164	525567	64.3761
8617	543749	63.1019
9070	561581	61.9163
4540	363182	79.9961

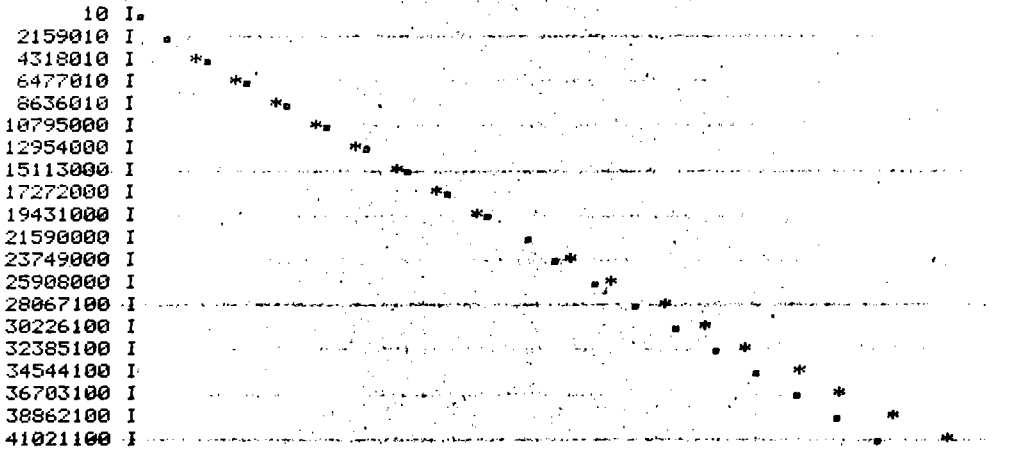
図 E.4 下水処理場ケーキ発生量関数

*** データの並び順 ***
ケーキの総重量

関数 ケーキ=TON/YEAR ケースの重量=TON/YEAR

$$Y = 1 * 0.38536E-4 * Z^2 + 1.1298$$

関数の逆 $Y1 = 0.345052E-3 * Z$



Z	Y	Y/Z
2159010	553	0.0002559050
4318010	1209	0.0002799500
6477010	1912	0.0002951260
8636010	2646	0.0003063530
10795000	3404	0.0003153620
12954000	4183	0.0003229110
15113000	4979	0.0003294390
17272000	5790	0.0003352000
19431000	6614	0.0003403640
21590000	7450	0.0003450400
23749000	8296	0.0003493400
25908000	9154	0.0003533000
28067100	10020	0.0003570010
30226100	10896	0.0003604510
32385100	11778	0.0003636900
34544100	12669	0.0003667530
36703100	13567	0.0003696510
38862100	14472	0.0003724040
41021100	15384	0.0003750250
21590000	7450	0.0003450520

Appendix F 浄水処理プロセスにおける処理費用及び電力消費量の算定

図F.1は本文で説明した浄水処理費用(Y :千円)関数及び年間処理量($Z = 320,000$ kt)における線形近似の様子を示したものである。また Y/Z は処理1単位あたりの処理費用(千円/t)である。ここで処理費用とは、処理施設に投下された資本費の減価償却費と人件費の和から成っている。

図F.2は浄水処理プロセスで消費される電力量(Y :kwh)関数及び、年間処理量($Z = 320,000$ kt)における線形近似の様子を示したものである。また Y/Z は処理1単位あたりの電力消費量(kwh/t)である。

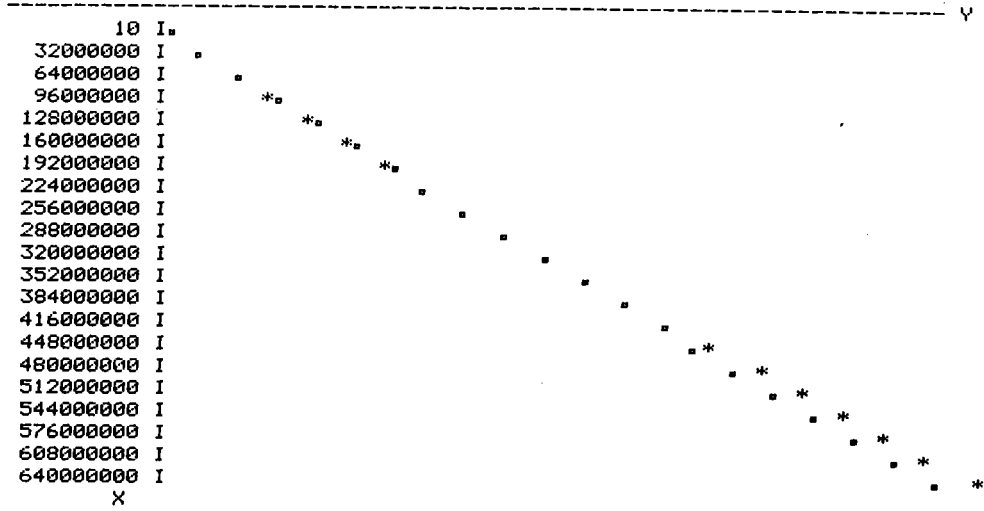
図 F.1 浄水処理費用関数

シヨウスイシヨウ シヨリ(TON/YEAR)

AREA-CODE= 2

$$Y = (9.43 * 0.517167E-4 + 0.02 * 0.553571E-1) * Z^{(1 / (0.285 + 0.647))}$$

HEIKIN-HIYOU $Y1 = 0.665696E-2 * Z$



Z	Y	平均ヒヨウ	Y/Z
10	0	0	0.0019
32000000	180078	213023	0.0056
64000000	378832	426045	0.0059
96000000	585314	639068	0.0061
128000000	796978	852091	0.0062
160000000	1012570	1065110	0.0063
192000000	1231370	1278140	0.0064
224000000	1452850	1491160	0.0065
256000000	1676650	1704180	0.0065
288000000	1902510	1917200	0.0066
320000000	2130230	2130230	0.0067
352000000	2359600	2343250	0.0067
384000000	2590510	2556270	0.0067
416000000	2822810	2769290	0.0068
448000000	3056440	2982320	0.0068
480000000	3291310	3195340	0.0069
512000000	3527220	3408360	0.0069
544000000	3764360	3621390	0.0069
576000000	4002420	3834410	0.0069
608000000	4241480	4047430	0.0070
640000000	4481430	4260450	0.0070
320000000	2130230	2130230	0.0067

図 F.2 電力消費量関数

*** ショウスイショウ ***
 テンリョウ ショウリョウ

タリ テンリョウ=KWH/YEAR ショウスイリョウ=TON/YEAR

$Y = 1 * 94.3 * Z^{\wedge} 0.6599$

ハイケン ヒョウ $Y1 = 0.120758 * Z$

10 I.
 32000000 I
 64000000 I
 96000000 I
 128000000 I
 160000000 I
 192000000 I
 224000000 I
 256000000 I
 288000000 I
 320000000 I
 352000000 I
 384000000 I
 416000000 I
 448000000 I
 480000000 I
 512000000 I
 544000000 I
 576000000 I
 608000000 I
 640000000 I

Z	V	V1	V2
32000000	8455940	3864260	0.26425
64000000	13360100	7728510	0.20075
96000000	17488800	11592000	0.18186
128000000	21108600	15457000	0.16481
160000000	24457500	19321300	0.15286
192000000	27584600	23185500	0.14367
224000000	30538400	27049800	0.13633
256000000	33351300	30914000	0.13028
288000000	36047800	34778300	0.12516
320000000	38642600	38642600	0.12076
352000000	41151200	42506000	0.11691
384000000	43583300	46371100	0.11350
416000000	45947200	50235300	0.11045
448000000	48249600	54099600	0.10770
480000000	50497300	57963600	0.10520
512000000	52694000	61828100	0.10292
544000000	54845100	65692400	0.10082
576000000	56953200	69556600	0.09888
608000000	59022300	73420900	0.09708
640000000	61054100	77285100	0.09540
320000000	38642600	38642600	0.12076

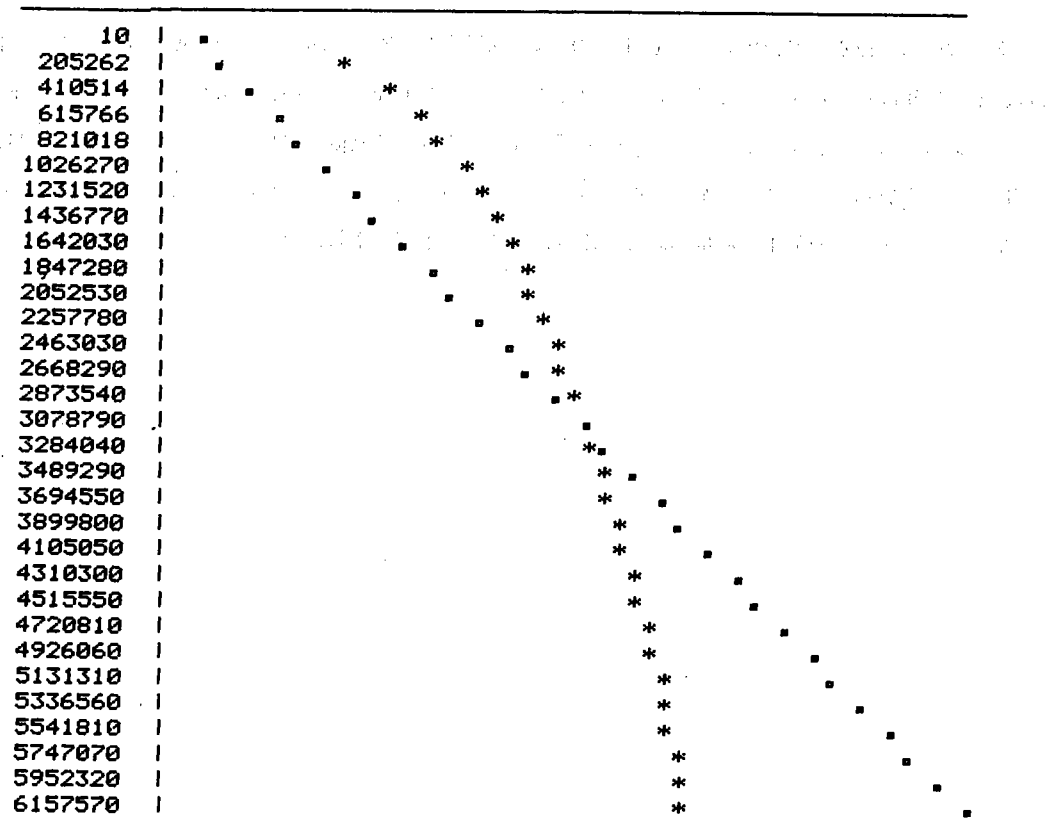
Appendix G 自治体別浄水管渠費用及び平均費用の算定

本文で説明した浄水管渠費用（ Y ：千円）関数は年間送水量（ Z ：ton）と人口密度の関数である。図Gは、縦軸に年間送水量をとって浄水管渠費用関数及び $Z = 3,078 \text{ kt}$ での線形近似の様子をプロットしたものである。ここで管渠費用とは、管渠に投下された資本費の減価償却費用のことである。表Gは自治体別に浄水管渠費用（ Y ）及び送水量1単位あたり管渠費用（ Y/Z ：千円/ton）を示したものである。

各地区ごとのデータの最下段には当該自治体のS52年の年間送水量に対応するデータをまとめている。

圖G 淨水管渠費用関数

Z



表G 地区別浄水管渠費用

地区1(檜原村)			地区2(五日市町)			地区3(日の出町)		
Z	Y	Y/Z	Z	Y	Y/Z	Z	Y	Y/Z
10	120	0.01167	10	77	0.00770	10	45	0.00450
20333	2027	0.00997	83333	1610	0.00193	53333	442	0.00829
56000	2570	0.04551	176666	2302	0.01304	106666	1135	0.01064
84999	2908	0.03422	264999	2650	0.01000	159999	1300	0.00812
113333	3220	0.02839	353333	2929	0.00832	213333	1444	0.00677
141666	3544	0.02502	441666	3164	0.00717	266666	1560	0.00585
169999	3775	0.02221	529999	3371	0.00636	319999	1662	0.00519
198333	3933	0.01983	618333	3556	0.00575	373333	1753	0.00470
226666	4172	0.01841	706666	3725	0.00527	426666	1836	0.00431
254999	4340	0.01704	794999	3830	0.00483	479999	1913	0.00399
283333	4507	0.01591	883333	4025	0.00450	533333	1934	0.00372
311666	4659	0.01495	971666	4160	0.00428	586666	2051	0.00350
339999	4802	0.01412	1059999	4238	0.00405	639999	2114	0.00330
368333	4937	0.01341	1148333	4409	0.00384	693333	2173	0.00314
396666	5060	0.01277	1236666	4523	0.00366	746666	2230	0.00299
424999	5189	0.01221	1324999	4633	0.00350	799999	2284	0.00286
453333	5300	0.01171	1413331	4738	0.00335	853333	2336	0.00274
481666	5419	0.01125	1501664	4839	0.00322	906666	2386	0.00263
509999	5527	0.01084	1589997	4936	0.00310	959999	2433	0.00254
538333	5632	0.01046	1678330	5029	0.00300	1013332	2479	0.00245
566666	5733	0.01012	1766663	5119	0.00290	1066666	2524	0.00237
594999	5831	0.00980	1854996	5207	0.00281	1119999	2567	0.00229
623332	5920	0.00951	1943329	5292	0.00272	1173332	2609	0.00222
651666	6018	0.00924	2031662	5374	0.00265	1226665	2649	0.00216
679999	6108	0.00898	2119995	5454	0.00257	1279998	2689	0.00210
708332	6195	0.00875	2208328	5532	0.00251	1333331	2727	0.00205
736666	6280	0.00853	2296661	5607	0.00244	1386664	2765	0.00199
764999	6363	0.00832	2384994	5681	0.00238	1439997	2801	0.00195
793332	6443	0.00812	2473327	5754	0.00233	1493330	2837	0.00190
821666	6522	0.00794	2561660	5824	0.00227	1546663	2871	0.00186
849999	6599	0.00776	2649993	5893	0.00222	1599996	2905	0.00182
423000	5130	0.01225	1322000	4629	0.00350	793500	2278	0.00287
地区4(秋川市)			地区5(青梅市)			地区6(瑞穂町)		
Z	Y	Y/Z	Z	Y	Y/Z	Z	Y	Y/Z
10	90	0.00900	10	159	0.01590	10	79	0.00790
206666	2040	0.00987	553333	7061	0.01276	133333	2130	0.01604
413333	3019	0.00729	1106666	8981	0.00812	266666	2720	0.01020
619999	4160	0.00672	1659999	10336	0.00623	399999	3131	0.00783
826666	4604	0.00557	2213332	11423	0.00516	533333	3459	0.00649
1033333	4974	0.00481	2766665	12343	0.00446	666666	3736	0.00561
1239999	5293	0.00427	3319998	13149	0.00396	799999	3982	0.00498
1446665	5590	0.00386	3873331	13871	0.00358	933333	4201	0.00450
1653331	5856	0.00354	4426664	14529	0.00323	1066666	4400	0.00413
1859997	6100	0.00323	4979997	15135	0.00304	1199999	4584	0.00382
2066665	6327	0.00306	5533330	15699	0.00284	1333332	4754	0.00357
2273329	6544	0.00288	6086663	16227	0.00267	1466665	4914	0.00335
2479995	6740	0.00272	6639996	16724	0.00252	1599999	5065	0.00317
2686661	6933	0.00258	7193329	17195	0.00239	1733331	5208	0.00300
2893327	7111	0.00246	7746662	17643	0.00228	1866664	5343	0.00286
3099993	7253	0.00235	8299995	18071	0.00218	1999997	5473	0.00274
3306659	7440	0.00225	8853328	18450	0.00209	2133330	5597	0.00262
3513325	7600	0.00217	9406661	18873	0.00201	2266663	5716	0.00252
3719991	7754	0.00209	9959994	19251	0.00193	2399996	5830	0.00243
3926657	7900	0.00201	10513327	19616	0.00187	2533329	5941	0.00235
4133323	8040	0.00195	11066660	19968	0.00180	2666662	6047	0.00227
4339989	8185	0.00189	11619993	20309	0.00175	2799995	6151	0.00220
4546655	8310	0.00183	12173326	20639	0.00170	2933328	6251	0.00213
4753321	8440	0.00178	12726659	20960	0.00165	3066661	6340	0.00207
4959987	8573	0.00173	13279992	21272	0.00160	3199994	6442	0.00201
5166653	8696	0.00168	13833325	21576	0.00156	3333327	6534	0.00196
5373319	8815	0.00164	14386658	21871	0.00152	3466660	6624	0.00191
5579985	8931	0.00160	14939991	22159	0.00148	3599993	6711	0.00186
5786651	9044	0.00156	15493324	22441	0.00145	3733326	6796	0.00182
5993317	9153	0.00153	16046657	22710	0.00142	3866659	6879	0.00178
6199983	9264	0.00149	16599990	22965	0.00138	3999992	6951	0.00174
3079000	7200	0.00236	8260000	13047	0.00218	2067000	5479	0.00273

地区7 (羽村町)

地区8 (福生市)

地区9 (昭島市)

地区7 (羽村町)			地区8 (福生市)			地区9 (昭島市)		
Z	Y	Y/Z	Z	Y	Y/Z	Z	Y	Y/Z
10	225	0.0225	10	300	0.0300	10	372	0.0372
311000	0.02593		328333	11099	0.03381	503333	16760	0.032874
622000	0.01653		650600	14117	0.02150	1166000	21324	0.01827
933000	0.01260		984999	16250	0.01650	1749999	24540	0.01403
1244000	0.01051		1313333	17950	0.01367	2333332	27125	0.01162
1555000	0.00900		1641666	19401	0.01182	2916665	29300	0.01005
1866000	0.00800		1969999	20663	0.01049	3499990	31220	0.00892
2177000	0.00729		2298332	21804	0.00949	4083331	32930	0.00807
2488000	0.00668		2626665	22835	0.00869	4666664	34440	0.00737
2799000	0.00619		2954998	23791	0.00805	5249997	35937	0.00685
3110000	0.00578		3283331	24677	0.00752	5833330	37275	0.00639
3421000	0.00543		3611664	25507	0.00705	6416663	38529	0.00600
3732000	0.00513		3939997	26239	0.00667	6999996	39710	0.00567
4043000	0.00487		4268330	27029	0.00633	7583329	40820	0.00538
4354000	0.00464		4596663	27735	0.00603	8166662	41842	0.00513
4665000	0.00443		4924996	28405	0.00577	8749995	42907	0.00490
4976000	0.00425		5253329	29048	0.00555	9333328	43676	0.00470
5287000	0.00409		5581662	29666	0.00531	9916661	44611	0.00452
5598000	0.00394		5909995	30260	0.00512	10499994	45709	0.00435
5909000	0.00380		6238328	30833	0.00494	11083327	46575	0.00420
6220000	0.00367		6566661	31387	0.00478	11666660	47411	0.00406
6531000	0.00356		6894994	31923	0.00463	12249993	48220	0.00394
6842000	0.00345		7223327	32443	0.00449	12833326	49005	0.00382
7153000	0.00335		7551660	32947	0.00436	13416659	49767	0.00371
7464000	0.00326		7879993	33437	0.00424	13999992	50507	0.00361
7775000	0.00318		8208326	33914	0.00413	14583325	51228	0.00351
8086000	0.00310		8536659	34379	0.00403	15166658	51930	0.00342
8397000	0.00302		8864992	34832	0.00393	15749991	52614	0.00334
8708000	0.00295		9193325	35274	0.00384	16333324	53233	0.00326
9019000	0.00288		9521658	35706	0.00375	16916657	53935	0.00319
9330000	0.00282		9849991	36129	0.00367	17499990	54574	0.00312
4631000	0.00445		4921000	29397	0.00577	8736000	42006	0.00491

地区10 (武蔵村山)

地区11 (立川市)

地区12 (国立市)

地区10 (武蔵村山)			地区11 (立川市)			地区12 (国立市)		
Z	Y	Y/Z	Z	Y	Y/Z	Z	Y	Y/Z
10	404	0.0404	10	300	0.0300	10	260	0.0260
343333	0.04419		1110660	16955	0.01518	403333	10660	0.02640
686666	0.02811		2233332	21560	0.00960	806666	13541	0.01679
1029999	0.02157		3349998	24624	0.00741	1209999	15500	0.01280
1373333	0.01787		4466664	27430	0.00614	1613332	17223	0.01065
1716660	0.01545		5583330	29638	0.00531	2016665	18609	0.00923
2059994	0.01372		6699996	31574	0.00471	2419998	19525	0.00813
2403332	0.01240		7816662	33309	0.00426	2823331	20914	0.00741
2746665	0.01137		8933328	34689	0.00391	3226664	21900	0.00679
3089990	0.01053		10049994	36344	0.00362	3629997	22820	0.00629
3433331	0.00983		11166660	37698	0.00338	4033330	23670	0.00587
3776664	0.00923		12283326	38965	0.00317	4436663	24400	0.00551
4119997	0.00872		13399992	40160	0.00300	4839996	25120	0.00521
4463330	0.00823		14516658	41291	0.00284	5243329	25920	0.00494
4806663	0.00789		15633324	42360	0.00271	5646662	26001	0.00471
5149996	0.00754		16749990	43393	0.00259	6049995	27240	0.00449
5493329	0.00723		17866656	44375	0.00243	6453328	27505	0.00432
5836662	0.00695		18983312	45319	0.00239	6856661	28455	0.00415
6179995	0.00669		20099968	46227	0.00230	7259994	29225	0.00400
6523328	0.00646		21216624	47102	0.00222	7663327	29575	0.00389
6866661	0.00625		22333280	47948	0.00215	8066660	30100	0.00373
7209994	0.00605		23449936	48767	0.00208	8469993	30620	0.00362
7553327	0.00587		24566592	49560	0.00202	8873326	31110	0.00351
7896660	0.00570		25683248	50331	0.00196	9276659	31602	0.00341
8239993	0.00555		26799904	51080	0.00191	9679992	32072	0.00331
8583326	0.00540		27916560	51800	0.00186	10083325	32530	0.00323
8926659	0.00526		29033216	52510	0.00181	10486658	32975	0.00314
9269992	0.00514		30149872	53210	0.00176	10889991	33410	0.00307
9613325	0.00502		31266528	53880	0.00172	11293324	33834	0.00300
9956658	0.00490		32383184	54540	0.00168	11696657	34249	0.00293
10299991	0.00480		33499840	55192	0.00165	12099990	34654	0.00286
5150000	0.00754		17310000	43091	0.00254	6040000	27235	0.00451

地区 13 (八王子市)

地区 14 (日野市)

地区 15 (小平市)

Z	Y	Y/Z	Z	Y	Y/Z	Z	Y	Y/Z
10	209	20.93605	10	309	30.92615	10	342	34.27483
1666666	13579	0.00815	766666	15320	0.01998	893333	17905	0.02004
3333332	17271	0.00515	1533333	19486	0.01271	1766666	22773	0.01275
4999998	19680	0.00398	2299999	22430	0.00975	2679999	26214	0.00975
6666664	21966	0.00330	3066665	24735	0.00808	3573332	28966	0.00811
8333330	23736	0.00285	3833331	26781	0.00699	4466665	31295	0.00701
9999990	25286	0.00253	4599997	28530	0.00620	5359998	33342	0.00622
11666662	26676	0.00229	5366663	30097	0.00561	6253331	35174	0.00562
13333328	27941	0.00210	6133329	31525	0.00514	7146664	36842	0.00516
14999994	29107	0.00194	6899995	32840	0.00476	8039997	38579	0.00477
16666660	30190	0.00181	7600061	34063	0.00444	8933330	39608	0.00446
18333312	31206	0.00170	8433327	35208	0.00417	9826663	41147	0.00419
19999968	32182	0.00161	9199993	36287	0.00394	10719996	42408	0.00396
21666624	33068	0.00153	9966659	37309	0.00374	11613329	43602	0.00375
23333280	33929	0.00145	10733325	38281	0.00357	12506662	44738	0.00358
24999936	34751	0.00139	11499991	39209	0.00341	13399995	45822	0.00342
26666592	35539	0.00133	12266657	40097	0.00327	14293328	46860	0.00328
28333248	36294	0.00128	13033323	40949	0.00314	15186661	47856	0.00315
29999904	37021	0.00123	13799989	41769	0.00303	16079994	48815	0.00304
31666560	37722	0.00119	14566655	42560	0.00292	16973312	49739	0.00293
33333216	38400	0.00115	15333321	43325	0.00283	17866640	50633	0.00283
34999872	39055	0.00112	16099987	44065	0.00274	18759968	51497	0.00275
36666528	39691	0.00108	16866640	44782	0.00266	19653296	52335	0.00266
38333184	40308	0.00105	17633296	45478	0.00258	20546624	53149	0.00259
39999840	40906	0.00102	18399952	46154	0.00251	21439952	53939	0.00252
41666496	41491	0.00100	19166608	46813	0.00244	22333280	54709	0.00245
43333152	42060	0.00097	19933264	47454	0.00238	23226608	55459	0.00239
44999808	42614	0.00095	20699920	48080	0.00232	24119936	56190	0.00233
46666464	43155	0.00092	21466576	48690	0.00227	25013264	56903	0.00227
48333120	43684	0.00090	22233232	49287	0.00222	25906592	57600	0.00222
49999776	44201	0.00088	22999888	49870	0.00217	26799920	58282	0.00217
27360000	35857	0.00131	11450000	39149	0.00342	13860000	46362	0.00335

地区 16 (国分寺市)

地区 17 (小金井市)

地区 18 (府中市)

Z	Y	Y/Z	Z	Y	Y/Z	Z	Y	Y/Z
10	238	23.84935	10	276	27.64413	10	320	32.03476
563333	10616	0.01885	650000	12932	0.01990	1190000	18485	0.01553
1126666	13503	0.01199	1300000	16449	0.01265	2380000	23512	0.00988
1689999	15543	0.00920	1950000	18934	0.00971	3570000	27064	0.00753
2253332	17175	0.00762	2600000	20921	0.00805	4760000	29905	0.00628
2816665	18558	0.00659	3250000	22606	0.00696	5950000	32313	0.00543
3379998	19770	0.00585	3900000	24082	0.00618	7140000	34423	0.00482
3943331	20856	0.00529	4550000	25405	0.00558	8330000	36314	0.00436
4506664	21845	0.00485	5200000	26610	0.00512	9520000	38037	0.00400
5069997	22756	0.00449	5850000	27720	0.00474	10710000	39624	0.00370
5633330	23604	0.00419	6500000	28753	0.00442	11900000	41099	0.00345
6196663	24396	0.00394	7150000	29719	0.00416	13090000	42481	0.00325
6759996	25145	0.00372	7800000	30630	0.00393	14280000	43783	0.00307
7323329	25854	0.00353	8450000	31493	0.00373	15470000	45010	0.00291
7886662	26527	0.00336	9100000	32313	0.00355	16660000	46189	0.00277
8449995	27170	0.00322	9750000	33096	0.00339	17850000	47308	0.00265
9013328	27785	0.00308	10400000	33846	0.00325	19040000	48380	0.00254
9576661	28370	0.00295	11050000	34566	0.00313	20230000	49438	0.00244
10139994	28944	0.00285	11700000	35258	0.00301	21420000	50398	0.00235
10703327	29493	0.00276	12350000	35926	0.00291	22610000	51322	0.00227
11266660	30022	0.00266	13000000	36571	0.00281	23800000	52274	0.00220
11829993	30535	0.00258	13650000	37195	0.00272	24990000	53167	0.00213
12393326	31032	0.00250	14300000	37801	0.00264	26180000	54032	0.00206
12956659	31514	0.00243	14950000	38388	0.00257	27370000	54772	0.00200
13519992	31983	0.00237	15600000	38959	0.00250	28560000	55489	0.00195
14083325	32439	0.00230	16250000	39515	0.00243	29750000	56183	0.00190
14646658	32884	0.00225	16900000	40057	0.00237	30940000	56857	0.00185
15209991	33317	0.00219	17550000	40585	0.00231	32130000	57512	0.00181
15773324	33740	0.00214	18200000	41100	0.00226	33320000	58148	0.00176
16336657	34154	0.00209	18850000	41604	0.00221	34510000	58767	0.00172
16899990	34558	0.00204	19500000	42096	0.00216	35700000	59372	0.00167
4417777	27135	0.00322	9733330	33076	0.00343	13660000	47750	0.00325

地区 19 (多摩市)

Z	Y	Y/Z
10	201	20.10000
259333	6670	0.02790
470000	3492	0.01774
717999	9770	0.01301
957330	10031	0.01128
1196666	11070	0.00975
1435999	12433	0.00866
1675332	13116	0.00783
1914665	13730	0.00718
2153998	14311	0.00664
2393331	14044	0.00620
2632664	15343	0.00583
2871997	15013	0.00551
3111330	16259	0.00523
3350663	16032	0.00493
3589996	17007	0.00476
3829329	17474	0.00456
4068662	17045	0.00439
4307995	18203	0.00423
4547328	18547	0.00408
4786661	18880	0.00394
5025994	19203	0.00382
5265327	19515	0.00371
5504660	19819	0.00360
5743993	20114	0.00350
5983326	20400	0.00341
6222659	20680	0.00332
6461992	20953	0.00324
6701325	21219	0.00317
6940658	21479	0.00309
7179991	21733	0.00303
3586000	17033	0.00470

地区 20 (稲城市)

Z	Y	Y/Z
10	250	25.00000
300000	9252	0.03084
600000	11768	0.01961
900000	13540	0.01503
1200000	14960	0.01247
1500000	16173	0.01073
1800000	17230	0.00957
2100000	18177	0.00866
2400000	19039	0.00793
2700000	19833	0.00735
3000000	20571	0.00686
3300000	21263	0.00644
3600000	21915	0.00609
3900000	22532	0.00578
4200000	23119	0.00550
4500000	23679	0.00526
4800000	24210	0.00505
5100000	24730	0.00485
5400000	25220	0.00467
5700000	25704	0.00451
6000000	26185	0.00436
6300000	26612	0.00422
6600000	27045	0.00410
6900000	27465	0.00398
7200000	27874	0.00387
7500000	28272	0.00377
7800000	28659	0.00367
8100000	29037	0.00358
8400000	29400	0.00350
8700000	29766	0.00342
9000000	30110	0.00335
4484000	23630	0.00527

Appendix H 各処分プロセスの平均データを求めるためのプログラム (BASIC)

```

10 REM***ケイスイ ショリショウ ヒョウ カンスウ***
20 OPEN "SOUT" AS FILE 1 MODE 3
30 PRINT #1 , "***ケイスイ ショリショウ ヒョウ カンスウ***"
40 PRINT #1 , "K(シホシ)=2.3335E-3*(ケイスイリョウ)^1.246"
50 PRINT #1 , "L(ロウトウ)=49.204*(ケイスイリョウ)^0.313"
60 PRINT #1 , "C(ヒョウ)=0.018*K+10.03*L"
70 PRINT #1
80 LET G1 = (0.2159E 8-10)/50
90 LET M1 = 0.9E 11
100 LET M2 = -0.9E 11
110 FOR G = 10 TO 0.2159E 8 STEP G1
120 LET K = 0.23335E-2*G^1.246
130 LET L = 49.204*G^0.313
140 LET C = 0.018*K+10.03*L
150 IF M1 <= C THEN GOTO 170
160 LET M1 = C
170 IF M2 >= C THEN GOTO 190
180 LET M2 = C
190 NEXT G
200 LET M = INT((M2-M1)/50)
210 PRINT #1 , " ケイスイリョウ コスト"
220 FOR I = 1 TO 65
: PRINT #1 ; CHR$(130) ;
:NEXT I
:PRINT #1 ; " C"
230 FOR G = 10 TO 0.2159E 8 STEP G1
240 IF G <= 10 THEN GOTO 380
250 PRINT #1 USING "#####" ; G ;
260 PRINT #1 USING "#####" ; C ;
270 PRINT #1 ; CHR$(146) ;
280 LET K = 0.23335E-2*G^1.246
290 LET L = 49.204*G^0.313
300 LET C = 0.018*K+10.03*L
310 LET C1 = INT((C-M1)/M+3)
320 FOR I = 1 TO 52
330 LET D$ = " "
340 IF I = C1 THEN LET D$ = "*"
350 PRINT #1 ; D$ ;
360 NEXT I
370 PRINT #1
380 NEXT G
390 END

10 REM***コマンドのコイ カンスウ***
20 OPEN "SOUT" AS FILE 1 MODE 3
30 DIM D$(1)
40 REM ***Y=A*X1^P1*X2^P2*X3^P3
50 LET A = 0.282
60 LET P1 = 1.429
70 LET P2 = -0.604
80 LET P3 = -0.384
90 DATA 88 , 35.41 , 4558 , 74 , 191.43 , 19537 , 82 , 151.8 , 12148 ,
72 , 375.78 , 41211 , 71 , 646.45 , 91866
100 DATA 76 , 209.16 , 21580 , 60 , 229.5 , 38008 , 77 , 251.54 ,
47747 , 82 , 411.29 , 86055 , 82 , 251.86 , 55265
110 DATA 75 , 739.19 , 140246 , 79 , 352.03 , 63456 , 82 , 2159.54 ,
347404 , 84 , 711.92 , 136878 , 82 , 757.49 , 152646
120 DATA 83 , 513.19 , 87621 , 75 , 542.52 , 99096 , 84 , 924.21 ,
180580 , 92 , 513.2 , 81195 , 75 , 255.51 , 45275
130 FOR C = 1 TO 20

```

```

140 PRINT #1, "***この値は年間の(TON/YEAR)***"
150 PRINT #1, "AREA=" ; C
160 PRINT #1, "Y=A*X1^P1*X2^P2*X3^P3"
170 PRINT #1, "A=" ; A ; " P1=" ; P1 ; " P2=" ; P2 ; " P3=" ; P3
180 READ X2, X3, X1
190 PRINT #1, "X2=" ; X2 ; "X3=" ; X3
200 LET Y1 = A*X1^P1*X2^P2*X3^P3
210 LET S = Y1/X1
220 PRINT #1, "X0=" ; X1 ; "Y=" ; Y1
230 LET R1 = 10
240 LET R2 = X1*2
250 LET R3 = INT((R2-R1)/30)
260 LET M1 = 0.9E 11
270 LET M2 = -0.9E 11
280 FOR X1 = R1 TO R2 STEP R3
290 LET Y = A*X1^P1*X2^P2*X3^P3
300 LET Y1 = S*X1
310 IF M1 <= Y THEN GOTO 330
320 LET M1 = Y
330 IF M1 <= Y1 THEN GOTO 350
340 LET M1 = Y1
350 IF M2 >= Y THEN GOTO 370
360 LET M2 = Y
370 IF M2 >= Y1 THEN GOTO 390
380 LET M2 = Y1
390 NEXT X1
400 LET M = INT((M2-M1)/50)
410 PRINT #1
420 PRINT #1, " X1 " ; " Y " ; " Y1 " ; " S " ; " *X1 "
430 FOR J = 1 TO 75
: PRINT #1 ; CHR$(130) ;
: NEXT J
: PRINT #1
440 FOR X1 = R1 TO R2 STEP R3
450 PRINT #1 USING "#####" ; X1 ;
460 LET Y = A*X1^P1*X2^P2*X3^P3
470 PRINT #1 USING "#####" ; Y ;
480 LET Y1 = INT((Y-M1)/M+3)
490 LET Y1 = S*X1
500 PRINT #1 USING "#####" ; Y1 ;
: PRINT #1 ; " " ; CHR$(146) ;
510 LET Y1 = INT((Y1-M1)/M+3)
520 FOR I = 1 TO 55
530 LET D$ = " "
540 IF I = Y THEN LET D$ = "*"
550 IF I = Y1 THEN LET D$ = "."
560 PRINT #1 ; D$ ;
570 NEXT I
580 PRINT #1
590 NEXT X1
600 FOR J = 1 TO 75
: PRINT #1 ; CHR$(130) ;
: NEXT J
: PRINT #1
610 PRINT #1
620 PRINT #1
630 NEXT C
640 END

```

```

10 REM***この値は年間の***
20 OPEN "SOUT" AS FILE 1 MODE 3
30 DIM D$(1)
40 DEF FNY9(Y,L,A4) = EXP(1/1.0556*(LN(Y)-LN(0.2975E-3))-0.2954*LN(L)
-0.486*LN(A4))

```



```

50      !
60      ! PARAMETER
70      !
80      PRINT #1 , "*** タイム カウント ***"
90      LET Y = 74644
100     LET L = 27831
110     LET Z2 = L
120     LET X1 = 10
130     LET X2 = L
140     LET X3 = INT((X2-X1)/60)
150     PRINT #1 , "Y=2.975E-4*K^1.0556*L^0.2954*A4^0.4860"
160     PRINT #1 , "   7-ズ 1, Y=74644 A4=24.0"
170     PRINT #1 , "   7-ズ 2, Y=74644 A4=11.5"
180     PRINT #1 , "COST=18.79*L+0.10*K"
190     LET A1 = 0.2975E-3*24^0.486
200     GOSUB 320
210     LET C1 = 18.79*L+0.1*K
220     PRINT #1 , "コスト, 7-ズ 1," ; C1 ; "=18.79*L+0.1*K"
230     PRINT #1 , "      L*=" ; L ; " K*=" ; K
240     LET A1 = 0.2975E-3*11.5^0.486
250     GOSUB 320
260     LET C2 = 18.79*L+0.1*K
270     PRINT #1 , "コスト, 7-ズ 2," ; C2 ; "=18.79*L+0.1*K"
280     PRINT #1 , "      L*=" ; L ; " K*=" ; K
290     PRINT #1
300     PRINT #1
310     GOTO 410
320     REM SETTEN
330     LET A = 0.2954
:LET B = 1.0556
340     LET A5 = A+B
350     LET B5 = (A*0.1)/(B*18.79)
360     LET B1 = A1^(-1/A5)*B5^(B/A5)
370     LET B2 = A1^(-1/A5)*B5^(-A/A5)
380     LET L = B1*Y^(1/A5)
390     LET K = B2*Y^(1/A5)
400     RETURN
410     GOSUB 440
420     CLOSE 1
430     END
440     LET M1 = -0.9E 11
:LET M2 = 0.9E 11
450     FOR X = X1 TO X2 STEP X3
460         IF X <= X1 THEN GOTO 570
470         LET K1 = FNY9(Y,X,24)
480         IF M1 >= K1 THEN GOTO 500
490         LET M1 = K1
500         IF M2 <= K1 THEN GOTO 520
510         LET M2 = K1
520         LET K2 = FNY9(Y,X,11.5)
530         IF M1 >= K2 THEN GOTO 550
540         LET M1 = K2
550         IF M2 <= K2 THEN GOTO 570
560         LET M2 = K2
570     NEXT X
580     LET K5 = (M1-M2)/60
590     PRINT #1 , "   *:A4=24.0   +:A4=11.5"
600     FOR I = 1 TO 75
:PRINT #1 ; "-" ;
:NEXT I
:PRINT #1 ; " K"
610     FOR X = X1 TO X2 STEP X3
620         IF X <= X1 THEN GOTO 830
630         LET K1 = FNY9(Y,X,24)
640         LET K1 = INT((K1-M2)/K5+3)

```

```

650 LET K2 = FNV9(Y,X,11.5)
660 LET K2 = INT((K2-M2)/K5+3)
670 LET K3 = (C1-18.79*X)/0.1
680 LET K3 = INT((K3-M2)/K5+3)
690 LET K4 = (C2-18.79*X)/0.1
700 LET K4 = INT((K4-M2)/K5+3)
710 PRINT #1 USING "#####"; X ;
720 PRINT #1 ; " I" ;
730 FOR I = 1 TO 70
740 LET D# = " "
750 IF I = K1 THEN LET D# = "*"
760 IF I = K2 THEN LET D# = "+"
770 IF I = K3 THEN LET D# = "."
780 IF I = K4 THEN LET D# = " ."
790 PRINT #1 ; D# ;
800 NEXT I
810 PRINT #1
820 IF K3 <= 1 @AND@ K4 <= 1 THEN GOTO 840
830 NEXT X
840 PRINT #1 ; TAB(7) ; " L"
850 RETURN
860 END

190 LET Z1 = FNV9(K,A,Z 10 REM***ホソクシヨウ ヒヨウ カズク***
20 OPEN "SOUT" AS FILE 1
30 DIM D#(1)
40 DEF FNV9(K,A,Z,G) = K*A*Z^G
50 !
60 ! PARAMETER
70 !
80 LET K = 0.02
:LET A = 14.66
:LET G = 0.381
90 DATA 129 , 1162 , 5267 , 884 , 1597 , 14490 , 7952 , 23017 ,
10624 , 29339 , 12435 , 17624 , 29161 , 16498 , 13416 , 15683 , 44140 ,
4780 , 9772
100 FOR C = 2 TO 20
110 READ Z
120 LET Z2 = Z
130 PRINT #1 , "*** シュズイ ホソクシヨウ, ヒヨク(1000ID) ***"
140 PRINT #1
150 PRINT #1 , "クニ, シュズイ(ト) , TON/VEAR"
160 PRINT #1
170 PRINT #1 , "ホソクシヨウ=" ; C
180 PRINT #1
190 LET Z1 = FNV9(K,A,Z,G)
200 LET S = Z1/2
210 LET X1 = 10
: LET X2 = 2*Z
220 LET X3 = INT((X2-X1)/20)
230 PRINT #1 , "Y=" ; K ; "*" ; A ; "*Z^" ; G
240 PRINT #1
250 PRINT #1 , "***シヨウ ヒヨク** Y1=" ; S ; "*Z"
260 PRINT #1
270 GOSUB 330
280 PRINT #1
290 PRINT #1
300 PRINT #1
310 NEXT C
320 END
330 LET M1 = -0.9E 11
:LET M2 = 0.9E 11
340 FOR X = X1 TO X2 STEP X3
350 LET Y = FNV9(K,A,X,G)
360 LET Y1 = S*X

```

```

370     IF M1 >= Y THEN GOTO 390
380     LET M1 = Y
390     IF M2 <= Y THEN GOTO 410
400     LET M2 = Y
410     IF M1 >= Y1 THEN GOTO 430
420     LET M1 = Y1
430     IF M2 <= Y1 THEN GOTO 450
440     LET M2 = Y1
450     NEXT X
460     LET K1 = (M1-M2)/60
470     FOR I = 1 TO 75
: PRINT #1 ; "-" ;
:NEXT I
:PRINT #1 ; " Y"
480     FOR X = X1 TO X2 STEP X3
490         LET Y = FNV9(K,A,X,G)
500         LET Y = INT((Y-M2)/K1+1)
510         LET Z1 = S*X
520         LET Z1 = INT((Z1-M2)/K1+1)
530         PRINT #1 USING "#####" : X ;
540         PRINT #1 ; " I" ;
550         FOR I = 1 TO 62
560             LET D$ = " "
570             IF I = Y THEN LET D$ = "*"
580             IF I = Z1 THEN LET D$ = "."
590             PRINT #1 ; D$ ;
600         NEXT I
610         PRINT #1
620     NEXT X
630     PRINT #1
640     PRINT #1
650     PRINT #1 , "          Z          Y          Y#Z          Y/2"
660     FOR I = 1 TO 50
670         PRINT #1 ; "-" ;
680     NEXT I
690     PRINT #1
700     FOR X = X1 TO X2 STEP X3
710         LET Y = FNV9(K,A,X,G)
720         LET Z1 = S*X
730         PRINT #1 USING "#####" : X ;
740         LET Y = FNV9(K,A,X,G)
750         PRINT #1 USING "####.#####" : Y ;
760         PRINT #1 USING "####.#####" : Z1 ;
770         PRINT #1 USING "####.#####" : Y/X
780     NEXT X
790     FOR I = 1 TO 50
: PRINT #1 ; "-" ;
:NEXT I
:PRINT #1
800     LET X = 22
810     LET Y = FNV9(K,A,X,G)
820     LET Z1 = S*X
830     PRINT #1 USING "#####" : X ;
840     PRINT #1 USING "####.#####" : Y ;
850     PRINT #1 USING "####.#####" : Z1 ;
860     PRINT #1 USING "####.#####" : Y/X
870     RETURN
NO END MARK

```

```

10     REM***Y1 3809a0(01a0 0aU)***
20     OPEN "SOUT" AS FILE 1 MODE 3
30     DIM D$(1)
40     REM ***Y=A*X1^P1+X2^P2+X3^P3
50     LET A = 0.215
60     LET P1 = 4.186

```

```

550     LET M1 = K2
560     IF M2 <= K2 THEN GOTO 580
570     LET M2 = K2
580     NEXT X
590     LET K5 = (M1-M2)/60
600     PRINT #1 , " *:A4=924.21 +:A4=2159.54"
610     FOR I = 1 TO 75
: PRINT #1 ; "-" ;
: NEXT I
: PRINT #1 ; " K"
620     FOR X = X1 TO X2 STEP X3
630         IF X <= X1 THEN GOTO 840
640         LET K1 = FNV9(Y,X,924.21)
650         LET K1 = INT((K1-M2)/K5+3)
660         LET K2 = FNV9(Y,X,2159.54)
670         LET K2 = INT((K2-M2)/K5+3)
680         LET K3 = (C1-15.76*X)/0.2
690         LET K3 = INT((K3-M2)/K5+3)
700         LET K4 = (C2-15.76*X)/0.2
710         LET K4 = INT((K4-M2)/K5+3)
720         PRINT #1 USING "#####" ; X ;
730         PRINT #1 ; " I" ;
740         FOR I = 1 TO 70
750             LET D$ = " "
760             IF I = K1 THEN LET D$ = "*"
770             IF I = K2 THEN LET D$ = "+"
780             IF I = K3 THEN LET D$ = "."
790             IF I = K4 THEN LET D$ = ","
800             PRINT #1 ; D$ ;
810         NEXT I
820         PRINT #1
830         IF K3 <= 1 @AND@ K4 <= 1 THEN GOTO 850
840     NEXT X
850     PRINT #1 ; TAB(7) ; " L"
860     RETURN
870     END

```

```

: PRINT #1 : CHR$(130) :
: NEXT J
: PRINT #1
630 PRINT #1
640 PRINT #1
650 NEXT C
660 END

10 REM***コマンドの追加***
20 OPEN "SOUT" AS FILE 1 MODE 3
30 DIM D*(1)
40 DEF FNY9(Y,L,A4) = EXP(1/0.40912*(LN(Y)-LN(0.02807))-0.34733*LN(L)
-1.05195*LN(A4))
50 !
60 ! PARAMETER
70 !
80 PRINT #1 , "*** コマンドの追加 ***"
90 PRINT #1 , "***コマンドの追加***"
100 LET Y = 79830
110 LET L = 98901
120 LET Z2 = L
130 LET X1 = 200
140 LET X2 = 2*L
150 LET X3 = INT((X2-X1)/60)
160 PRINT #1 , "Y=0.02807*K^0.40912*L^0.34733*A1^1.05195"
170 PRINT #1 , " ケース 1(コチウ), Y=79830 A1=924.21HA"
180 PRINT #1 , " ケース 2(チオウシ), Y=79830 A1=2159.54HA"
190 PRINT #1 , " COST=15.76*L+0.20*K(≠1000)"
200 LET A1 = 0.02807*924.21^1.05195
210 GOSUB 330
220 LET C1 = 15.76*L+0.2*K
230 PRINT #1 , " コチウ, ケース 1," ; C1 ; "=15.76*L+0.20*K"
240 PRINT #1 , " L=" ; L ; " K=" ; K
250 LET A1 = 0.02807*2159.51^1.05195
260 GOSUB 330
270 LET C2 = 15.76*L+0.2*K
280 PRINT #1 , " チオウシ, ケース 2," ; C2 ; "=15.76*L+0.20*K"
290 PRINT #1 , " L=" ; L ; " K=" ; K
300 PRINT #1
310 PRINT #1
320 GOTO 420
330 REM SETTEN
340 LET A = 0.34733
:LET B = 0.40912
350 LET A5 = A+B
360 LET B5 = (A*0.2)/(B*15.76)
370 LET B1 = A1^(-1/A5)*B5^(B/A5)
380 LET B2 = A1^(-1/A5)*B5^(-A/A5)
390 LET L = B1*Y^(1/A5)
400 LET K = B2*Y^(1/A5)
410 RETURN
420 GOSUB 450
430 CLOSE 1
440 END
450 LET M1 = -0.9E 11
:LET M2 = 0.9E 11
460 FOR X = X1 TO X2 STEP X3
470 IF X <= X1 THEN GOTO 580
480 LET K1 = FNY9(Y,X,924.21)
490 IF M1 >= K1 THEN GOTO 510
LET M1 = K1
510 IF M2 <= K1 THEN GOTO 530
LET M2 = K1
530 LET K2 = FNY9(Y,X,2159.54)
540 IF M1 >= K2 THEN GOTO 560

```

```

550 LET M1 = K2
560 IF M2 <= K2 THEN GOTO 580
570 LET M2 = K2
580 NEXT X
590 LET K5 = (M1-M2)/60
600 PRINT #1 , " *;A4=924.21 +;A4=2159.54"
610 FOR I = 1 TO 75
: PRINT #1 ; "-" ;
:NEXT I
:PRINT #1 ; " K"
620 FOR X = X1 TO X2 STEP X3
630 IF X <= X1 THEN GOTO 840
640 LET K1 = FNV9(Y,X,924.21)
650 LET K1 = INT((K1-M2)/K5+3)
660 LET K2 = FNV9(Y,X,2159.54)
670 LET K2 = INT((K2-M2)/K5+3)
680 LET K3 = (C1-15.76*X)/0.2
690 LET K3 = INT((K3-M2)/K5+3)
700 LET K4 = (C2-15.76*X)/0.2
710 LET K4 = INT((K4-M2)/K5+3)
720 PRINT #1 USING "#####" ; X ;
730 PRINT #1 ; " I" ;
740 FOR I = 1 TO 70
750 LET D$ = " "
760 IF I = K1 THEN LET D$ = "*"
770 IF I = K2 THEN LET D$ = "+"
780 IF I = K3 THEN LET D$ = "."
790 IF I = K4 THEN LET D$ = ","
800 PRINT #1 ; D$ ;
810 NEXT I
820 PRINT #1
830 IF K3 <= 1 @AND@ K4 <= 1 THEN GOTO 850
840 NEXT X
850 PRINT #1 ; TAB(7) ; " L"
860 RETURN
870 END

```