

多摩川上・中流域の水質保全対策の検討を容易にするための
パソコンを用いるマンマシン型水質システムモデルの開発

1 9 9 0 年

鈴木基之

東京大学生産技術研究所教授

目 次

1. はじめに	1
2. 流域から汚濁負荷の推移法とその問題点	2
2.1 流域から汚濁負荷の推定方法	2
2.2 流域から汚濁負荷推定の問題点	6
3. 汚濁負荷流出量管理システムの構成と機能	9
3.1 システムの目的と構成	9
3.2 システムの機能	10
3.3 処理のフローチャート	12
3.4 システム操作と表示	17
3.5 河川の目浄作用と湖沼の富栄養化モデル	22
4. 実験の湖沼へのシステムの適用	26
4.1 奥多摩湖の概要	26
4.2 奥多摩湖の流域および水管	28
4.3 奥多摩湖へのシステムの適用結果	38
5. おわりに	44

多摩川上・中流域の水質保全対策の検討を容易にするための
パソコンを用いるマンマシン型水質システムモデルの開発

東京大学生産技術研究所
鈴木基之

1. はじめに

陸水域の富栄養化現象は、琵琶湖の淡水赤潮、霞ヶ浦のアオコで知られるように多くの自然湖沼、ダム湖等で発生し、その影響は水源の水質、漁業、さらには美観にまで及んでいる。また、富栄養化にともなう植物性プランクトンの発生は、その代謝産物ならびに死滅分解にともなう有機物の回帰を経て、水道原水中の有機物濃度を高め、浄水処理過程におけるトリハロメタンなどの発ガン性物質生成の前駆物質となる危険性が指摘されてきている。したがって、富栄養化現象は、人間の健康及び社会生活にも密接する問題として重要視されている。

このような汚濁湖沼の水質保全対策は、湖水循環法をはじめとする湖内対策と点的ならびに面的汚濁負荷の流入を削減する流域対策とに大別される。前者はその機構の解明などまだ検討の余地は多いものの、数多くの水域でその実績が報告されるようになってきた。一方、後者の流域対策としては、下水、工場排水等、大規模な点的汚濁源の対策が重点的に進められてきたが、流域内の山地、農地、畜産、また雑排水のような面的汚濁源の寄与を十分に考慮しなかったため、依然として水質が回復しない水域が多い。従って面的汚濁源となる農業、林業等の生産活動をも含めた全汚濁負荷流出量の管理の必要性が認識されるようになった。

このため、面的な汚濁源を含む流域からの負荷流出量に関する研究が近年きわめて盛んである。しかし、その多くは特定の小流域からの流出特性を実測し、それをまとめて原単位の報告するにとどまっている。したがって、ある特定の水域が与えられた場合、その流域内で実測すべきデータの種類、また実測できない場合に用いる他流域のデータの利用法、さらにこれら全体を積算する方法など、流域全体を対象とした汚濁負荷流出量を合理的かつ迅速に推定したり、また管理する方法論は内外ともにほとんど未検討である。

一方、流域対策は、対象流域の社会経済活動と直接に係わる。また、汚濁負荷流出の構造も一般にきわめて複雑であり、その正確な把握がきわめて困難である。したがって、負荷の推定はもとより、対策の立案、実施に伴うの関係諸機関との調整などの問題点が多い。

さらに、対象水域における様々な汚濁負荷原単位、排出、流達率等、流域全体からの汚濁負荷流出量の推定に必要な全てのデータを収集することはほとんど不可能である。また、未知データを含むその積算法にも基礎的な検討がほとんど加えられておらず、かつ経験と直感にたよる手作業で行われており、正確さと統一性を欠き、作業に長時間を要している。このため集水域における汚濁負荷の排出、水質の汚濁及び浄化等の機構ないしは素過程を全システムモデルの内に有機的に

とらえる必要性が問われるようになってきた。

このような観点から、本研究では比較的容易な点的汚濁源と共に、流域内での山林、農地、雑排水などの面的汚濁源による負荷発生量の推定に重点を置き、その方法に検討を加えることとした。このため既往の調査事例の収集、再評価を行い、必要データが不足する場合の合理的な未知データの推定法を開発するとともに、発生負荷の排出、流達率についても既往の調査事例を自浄作用のような統一的概念で再整理し、より合理的な推定法を検討した。

また、従来ほとんど検討されていなかった汚濁負荷流出量の積算方法を開発すること、ならびに専門家の直感と判断力に頼り、かつ手作業で行っていたその積算をコンピュータを利用したエキスパートシステムとして開発することを試みた。とくに、このシステムでは、コンピュータと利用者との対話型システムを取入れ、コンピュータから他流域で得られた参考情報も示すことにより未知データについても合理的に積算する手法を検討した。

さらに、このような流域対策に伴う汚濁負荷発生量、流達量等とその構造の把握、効果的な負荷削減対策の立案、ならびに水質予測等を、行政担当者が合理的かつ迅速に行うとともに、住民、関係諸機関、政治家など関連する多くの人々の合意形成を支援するシステムの開発を試みた。

上記のようなシステムの開発とともに、システム開発の事例研究の対象として奥多摩湖を選び、奥多摩湖流域を対象に流域調査（行政資料、担当者からの聞き取り調査）、水質調査（流入河川水の水質、流量調査）を行った。また、完成したプログラムは、奥多摩湖流域を対象にしてその検証を行うとともに、相模湖、丹沢湖などの小湖沼を対象としたその適用を試み、システムとしての完成度、汎用性に検討を加えた。

2. 流域からの汚濁負荷の推定法とその問題点

2. 1 流域からの汚濁負荷の推定方法

2. 1. 1 流域内の汚濁負荷発生ならびに湖沼への流入構造

流域内の工業、農業、水産業、また市民の生活など様々な社会経済活動にともなって、有機物のみならず、窒素、リンなどの汚濁物質、もしくは富栄養化を促進する物質が不要な物質として発生し、排水、下水等のかたちで周囲の水域に排出される。また、人間活動のみならず、山地や森林などの自然といわれる地域からも、降雨に伴う流出水の形これらの物質が発生、流出する。

このような、有機物、窒素、リンなどの汚濁物質を外部に排出し、それが対象湖沼に流入する、すなわち汚濁物として湖沼に負荷される可能性のある場所、ならびに活動をここでは汚濁負荷源、または汚濁負荷発生源という。様々な汚濁負荷源で発生した汚濁負荷は、河川を経路して、湖沼に流入する。この過程を模式的に表すと図2-1のようになる。

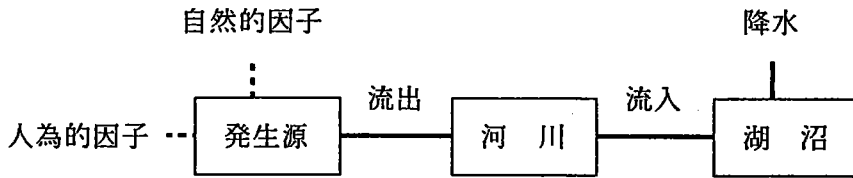


図2-1 汚濁負荷発生源から湖沼までの模式図

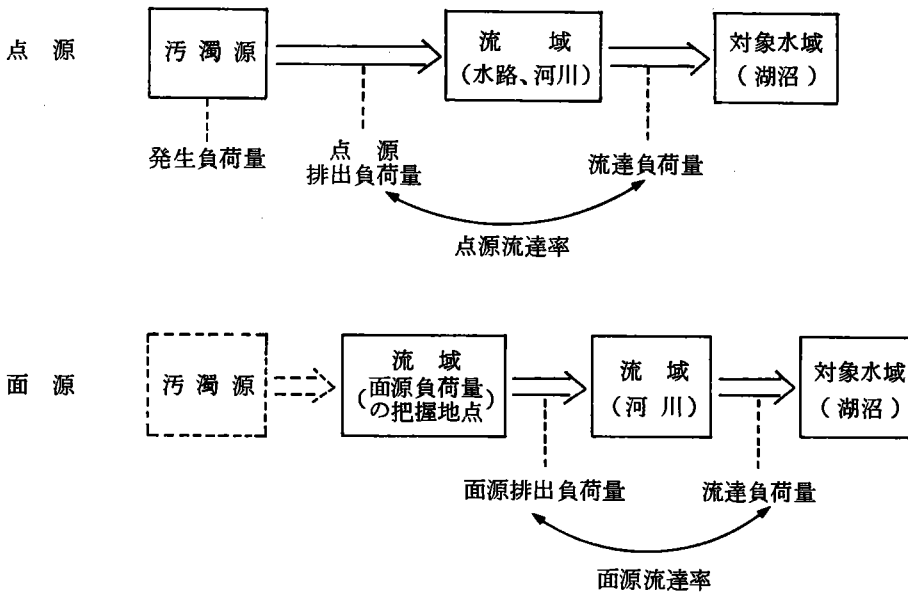


図2-2 点源及び面源における汚濁負荷排出と流達の模式図

2. 1. 2 汚濁負荷に関する用語の定義

汚濁負荷の発生源は2大別される。1番目は特定の場所に点として位置する「点源」であり、2番目は自然生態系と一体となり広域に面として広がっている「面源」である。これら各々の汚濁負荷の排出と流達の形態は異なり、これを模式的に表すと図2-2のようになる。

以上のような流域内の汚濁負荷の収支を大まかに表すことは他の報告書でなされていることであるが、細部になるとその定義は確立されておらず、報告書によって様々であるため、ここで細部について改めて定義する。

○発生量

汚濁負荷発生量は汚濁源で発生する負荷量を行い、人為的活動（生活、産業）

によって発生するものと自然現象（降雨、雪）によって発生するものとに分けられる。

○排出量

汚濁源の敷地あるいは区域から公共の水域に排出される負荷量をいう。ただし田畑、山林など面源負荷については発生源の敷地と公共の水域との境界が明確に区分できないため、負荷量として測定できるだけの規模を持つ区域の流末（集合地点）に到達した負荷量とする。

○流達量

解析の対象とする水域（湖沼等の閉鎖性水域）へ流入する河川の末端における負荷量をいう。

○排出率

発生負荷量と排水処理施設等から公共水域に排出された負荷量の比をいい、次のように定義する。

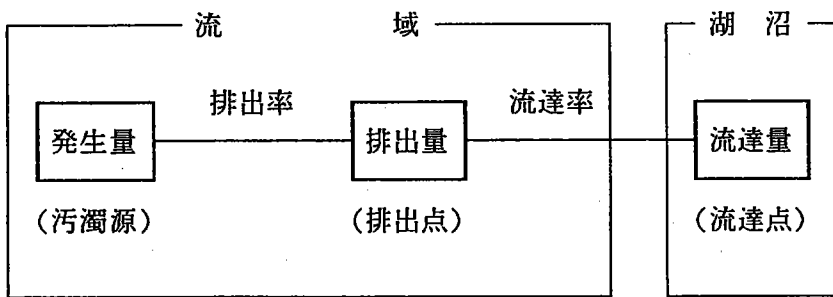
$$\text{排出率} = \frac{\text{排水処理施設等からの排出負荷量}}{\text{発生負荷量}}$$

○流達率

流達負荷量と対応する流域内の排出負荷量との比をいい、次のように定義する。

$$\text{流達率} = \frac{\text{流達負荷量}}{\text{対応する排出負荷量の総和}}$$

以上の発生量、排出量、流達量、排出率、流達率の定義は数ある報告書の定義のうち日本下水道協会の発行した「富栄養化防止下水道整備基本調査の手引：1984」を引用した。このような、汚濁発生源から流達までの関係ならびにその演算式を図2-3に示した。



$$\text{発生量} \times \text{排出率} = \text{排出量}$$

$$\text{排出量} \times \text{流達率} = \text{流達量}$$

図2-3 汚濁発生源から流達点までの関連図

2. 1. 3 発生源の分類と原単位

汚濁発生源の種類は多種多様であるため細かく分類することはその数が異常に多くなり複雑化する。このため、ここでは表2-1に示す様な12種の汚濁発生源に大分類した。

表2-1 汚濁発生源の分類

点 源	面 源
④ 畜 産	① 林 地
⑥ 製 造 業	② 畑 地
⑦ 雑 排 水	③ 水 田
⑧ 鉦 業	⑤ 市 街 地
⑨ し 尿	⑫ そ の 他
⑩ 下 水 道	
⑪ 浄 化 槽	

表2-2 各発生源における原単位及び数量

発生源名	数 量	原 単 位
林 地	面 積 (k m ²)	(k g / k m ² · 年)
畑 地	面 積 (k m ²)	(k g / k m ² · 年)
水 田	面 積 (k m ²)	(k g / k m ² · 年)
畜 産	頭 数 (頭)	(k g / 頭 · 年)
市 街 地	人 口 (人)	(k g / 人 · 年)
雑 排 水	人 口 (人)	(k g / 人 · 年)
製 造 業	出 荷 額 (百万円)	(k g / 百万円 · 年)
鉦 業	出 荷 額 (百万円)	(k g / 百万円 · 年)
し 尿	人 口 (人)	(k g / 人 · 年)
下 水 道	人 口 (人)	(k g / 人 · 年)
浄 化 槽	人 口 (人)	(k g / 人 · 年)
そ の 他	面 積 (k m ²)	(k g / k m ² · 年)

対象とする水域の汚濁源の水質及び水量測定が十分でない場合、また湖沼への汚濁負荷量を流域の社会経済活動との関連から解析しようとする場合、現在最もよく使われている方法は原単位法である。原単位法では、汚濁発生源の単位活動量当りの負荷発生量をもとに、それに活動量をかけて発生源単位とする。森林の

ように発生源単位が定義しにくい場合、同様な方法で排出原単位を用いる。したがって、目的とする汚濁源の活動量が必要となるが、これらは産業統計、人口統計などの行政機関の資料を利用する。発生負荷量を求める計算式は次のようになる。表2-2にはその単位の一例を示す。

$$\text{発生負荷量} = \text{原単位} \times \text{数量}$$

2. 2 流域からの汚濁負荷推定の問題点

以上の検討に基づき、ここでは従来から行なわれている汚濁負荷推定法の問題点を整理する。図2-3は、2. 1で検討した汚濁負荷の発生から流達にいたる諸量、ならびに係数等をまとめたものである。

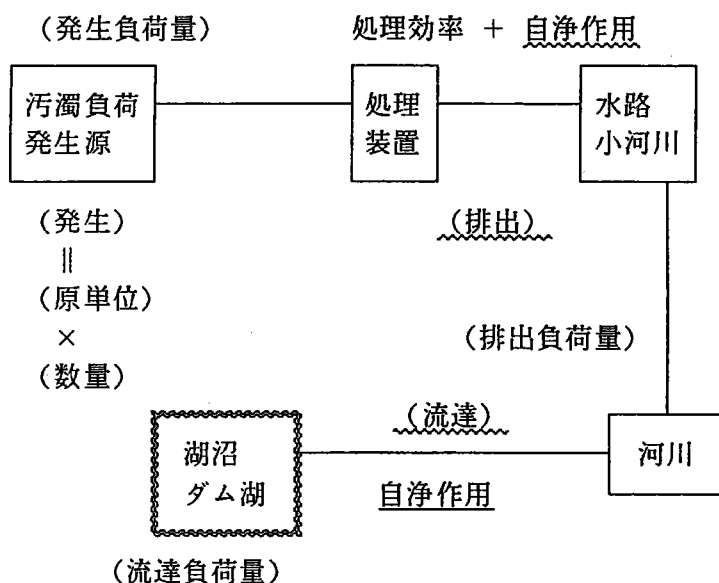


図2-3 汚濁負荷の発生から流達にいたる諸量と係数

2. 2. 1 流出率、流達率と自浄作用

図に示したように、排出率と流達率は、概念としては定義されているものの、これらは処理装置を除き、明らかに水路、河川などの流水系における浄化作用を念頭に置いている。したがって、従来自然界における浄化作用、すなわち自浄作用として広範に研究されてきた対象である。したがって、本来は水路や河川の勾配、流量、流速などの因子によって決定される量である。しかしながら、現在までの原単位法による負荷量推定は、排出率と流達率に一定の値を仮定し、河川や水路の特性を厳密に考慮したものはない。この意味では、自浄作用の広範な研究成果は全く生かされていない。これは、水路や河川毎に自浄作用の計算をするこ

とに多大な労力を要することにもよる。

2. 2. 2 積算作業

一般に、流域内の社会経済活動は、その汚濁が問題になり、対策検討のために汚濁負荷量の推定を行なわなければならない湖沼ほど、それが多岐にわたると考えてよい。また、このような流域では排水処理装置の設置も含め、発生汚濁負荷の排出方法も多様である。

このような、流域内における全汚濁負荷発生量、排出量、流達量を積算していくことは、きわめて複雑な作業である。したがって、従来のような手作業に頼る計算法は、次のような問題があり、正確さと迅速さが必要な行政需要には、対応が容易でない。

- ・積算ミス………発生、排出などの積算における計算ミス、必要な汚濁負荷源の欠落、逆に二重積算するなどのミスが起る。
- ・単位不統一………類似の負荷源に異なる原単位を用いたり、負荷原単位の単位系の混同する。とくに、膨大な積算作業を長時間に渡り、多人数で行なう場合が危険である。

2. 2. 3 基礎データの不足と不備

積算にあたり、原単位、排出率、流達率などの基礎データが不可欠である。しかし、多くの場合、このデータが簡単には集まらず、作業進行上の最大の問題点といえよう。これは次のようないくつかの場合に分けられるが、ほとんどの場合下記のすべての問題があてはまるといって過言でない。

(A) 実測値の不足と不備

理想的な原単位、排出率、流達率は、対象汚濁原毎に実測したものである。しかし、このような場合はほとんどなく、あったとしても部分的なデータのみであろう。また、それらは精度や信頼性が著しく異なる実測値である。すなわち、同一流域でも、ある負荷源の原単位はきわめて信頼性が低いのに対し、別の負荷源の原単位は実測回数が多く、きわめて信頼性の高いデータであることは、十分に起こり得る。また、類似の負荷源での原単位や河川、水路での排出率、流達率に多くのバラツキや矛盾がある可能性が大きい。

また、一部のデータのみ得られている場合がある。河川の末端での負荷量（濃度×流量）、処理水の負荷量など既知であっても、汚濁負荷の発生原単位、排出率、また流達率が不明な場合が有り得る。また、河川での（流達）負荷量がわかっていても、それが複数の汚濁源の影響を受けている場合、その負荷量を汚濁負荷の積算に直接使うことはできない。これらの場合、気存のデータを有効に生かせない。

しかしながら、負荷原単位、流達率、流出率などの基礎データを得ることは、その信頼性を要求すればするほど長期間を要し、また多額の費用、多数の専門家

を要するため、通常不可能である。せいぜい可能な範囲は重要な負荷源についてのみ基礎データを新たに収集することであろう。

(B) 文献値の利用／他の流域の実測値の流用

したがって、最も一般的な方法は、既往の文献値、報告を利用し、近く、もしくは類似の他流域の実測値を流用することであろう。しかし、これも必ずしも容易でない。とくに専門家が得られにくい小流域では、普通の担当者が必要な文献や報告を捜すこと自身困難である。

一般に原単位などのデータベースは必ずしも一カ所に整理されていない。すなわち、様々な文献、報告書に必要データが散在している。したがって、専門家であっても膨大な論文、資料の大半をチェックすることは多大な時間と労力とを要する。また、これらの文献値は、その単位や測定法が一定していない。また、測定条件、精度なども文献毎にバラバラである。さらに文献値自身の信頼性も一定でない。したがって、これらの値を対象流域に引用し、当てはめる際、いかなる判断基準、もしくは選択の根拠を求めるか困難が伴う。すなわち、何を基準にして、複数の全流域に矛盾なく引用するか、データの選択方法が不明である。

一方、実測が可能な場合でも、全流域で測定することはきわめて希である。すなわち、流域内のいくつかの流域にモデル流域を選択し、そこで基礎データの実測を行なう。そして、そこで得られた値を他の流域に流用する。しかし、すべての流域にあてはまるとは限らず、したがってある基準を設け、流域によっては文献値を利用しなければならない。

このように、必ずしも信頼性が高いとは言えず、また精度も低い基礎データを積算（四則演算）した場合、全体としてどれだけの信頼性があるか、また信頼性を下げる要因は何かを明らかにすることは、現状ではほとんど不可能と言っている。

2. 2. 4 負荷発生、排出、流達構造の把握

流域からの汚濁負荷の流出量の推定は、単にその量を求め、湖沼の水質との整合性を判断するのみではない。すなわち、現状水質を望ましい水質に回復させるための負荷削減対策の基礎資料となる。したがって、必要に応じて特定の流域の特定の汚濁源を減少させ、それにともなって全体の負荷量がどの様に変化したか、その変化を積算しなおすことが必要とされる。しかし、流域内の社会経済活動が複雑であればあるほど、積算をやり直すことは多大な時間を要する作業になる。また、将来動向などを検討する場合、様々な数量（原単位に対応する活動量）に対する負荷量変動の積算が必要であろう。これも莫大な作業を要する。

一方、削減すべき汚濁源を検討する場合、負荷流出構造の把握、すなわち、全負荷流達量に占める発生源別、流域別、行政区画別、などの寄与率を明らかにする必要がある。これは、手作業でも可能である。しかし、行政担当者のみならず、住民、政治家等の様々な対策に対しても寄与率とその変化を評価する必要がある場合、膨大な作業となろう。

2. 2. 5 結果の公表時における説得性

流域からの汚濁負荷の流出量を推定し、またそれに基づいて有効な負荷削減対策を取ろうとする場合、まず、積算結果を公表し、対策を公に提案しなければならない。この時、大きな問題となるのは結果の信頼性に関する疑問である。関係者の疑問により承認や協力が得られない場合も多い。流域における負荷削減対策は、水道のように直接利益を受ける活動も存在するものの、他の多くの社会経済活動はなんらかの形で制約を受ける。したがって、関係者の協力は容易でなく、このような場合、負荷量積算自身にも疑問を持たれることが多い。また、比較的利益関係の少ない住民でも、それを説得、教育し、負荷削減に積極的に参加してもらうことは容易でない。

このように、負荷流出量の推定結果に基づいて対策を実施するには、その結果に対する信頼性を得るような方法が不可欠である。このためには、推定が明確かつ論理的な方法論に基づいていること（基づくと理解されること）、基礎データとその利用法、精度、積算過程に信頼性がなければならない。また、結果を理解しやすい表示、グラフィックディスプレイ等が必要となる。さらに、関係者自身が考えた任意の代替案に対し、負荷削減量を即答し、対話が可能となるベースも必要となろう。しかし、現在の手作業による積算と、結果のみの提示では、積算プロセスが明示されず、これらの要望には全く答えられないと言ってよい。

2. 2. 6 専門家の不足

大規模な、また全国的にも有名な湖沼は、一般に湖沼や汚濁負荷流出過程に深い造詣を持つ担当者が存在することが多い。しかし、小湖沼やダム、池などは、小さな担当機関が管理するため、一般に専門家は得られないと考えてよい。したがって、専門家が不足し、負荷推定作業はコンサルタントなどの助けを借りない限り不可能である。

3. 汚濁負荷流出量管理システムの構成と機能

3. 1 システムの目的と構成

(A) システムの目的

上記のような検討結果に基づき、ここでは、

- ・推定の方法論、データの質／量の指示機能
- ・積算（計算、修正）機能
- ・データベース機能

などを有するマン・マシン対話型システム／エキスパートシステムを開発することとした。

ここで想定するシステム利用者は、必ずしも汚濁負荷流出に関する専門家ではない。しかし、専門家でなくても運用可能であり、行政担当者（技官）が容易に使用できるものとした。これは、関連行政官、住民、議員などとの共通の認識を

持ち、結果の公開および承認を得やすくするものと考えた。

(B) システムの構成

本システムは小規模自治体、事業体も含めてその普及を容易にするため、16bitパーソナルコンピュータを使用し、COD、リンおよび窒素を対象汚濁物質とする適用流域を問わない汎用的なシステムとした。

3. 2 システムの機能

3. 2. 1 流域／行政区画の入力機能

本システムでは、流域ならびに行政区画を基準として汚濁負荷源を入力する。このため、コンピュータの指示に従って、流域名、行政区画名等の流域情報を入力する。

3. 2. 2 原単位／排出率の入力機能

各流域内の行政区画を単位としてそこに属する各汚濁発生源毎に発生負荷量を求める。

$$(\text{発生負荷量}) = (\text{原単位}) \times (\text{数量})$$

さらに発生した汚濁負荷が河川に排出される点(排出点)を定め、排出負荷量を次式で求める。

$$(\text{排出負荷量}) = (\text{発生負荷量}) \times (\text{排出率})$$

ここで、排出率は発生負荷の排出点までの到達形態によって決定する。すなわち、生活排水やし尿のように、収集し、処理／処分する場合、その除去率に応じた排出率を決定する。また、生活雑排水のように処理施設が完備してない場合、小水路や土壌等を経由して排出される過程での浄化率から排出率を与える。これらの値は、入力ミスがないように、マルチウィンドウの表形式で入力を指示する。発生負荷量の実測値から原単位を求めたり、実測値間の矛盾を修正する場合も表計算で判断する。

3. 2. 3 知識ベースの参照と学習機能

汚濁発生負荷、排出負荷量の推定に際し、すべての原単位、排出率等の実測値が得られていることはきわめてまれであり、通常ごく一部分に限られる。また、実測値にばらつきがあったり、信頼性が低い場合も多い。しかし、予算的、時間的制約により新規データの収集は容易でない。このため、一般的には他の流域や類似の汚濁源で得られた文献値を利用するが、原単位、流達率等のデータは様々な文献に散在しており、専門家でもそれらを十分に活用しにくい。

本システムでは、各負荷源に対応する原単位、排出率等の文献値を統一的な知

識ベースとしてシステムに内蔵し、必要に応じてマルチウィンドウでそれを参照しながら入力する。現在、その選択は利用者の判断に委ねられているが、社会経済的背景等の関連情報を入力することによって適切な値を推定する機能を導入する予定である。なお、利用者が入力した値は知識ベースに記憶（学習）するとともに一覧表で示し、他流域の同様な負荷源との間で矛盾が生じないようにする。

3. 2. 4 流達負荷量の推定機能

排出点から水域までの河川を通じての流達率は、一意的に決定されない。このため、発生負荷量、河幅、水深、流速等の河川の特長値と流下距離、ならびに他の汚濁源からの流入状況を入力し、浅い河川の特長である河床での浄化作用も考慮した自浄作用のシミュレーションモデルによって流達負荷量を推定する。

なお、流達負荷量は次式で計算されるため、これから流達率を求める。

$$(\text{流達負荷量}) = (\text{排出負荷量}) \times (\text{流達率})$$

また、これから総流達負荷量を計算する。

$$(\text{総流達負荷量}) = \Sigma (\text{各発生源からの流達負荷量})$$

3. 2. 5 積算機能

汚濁した水源ほど流域内の社会経済活動が多岐にわたり、汚濁負荷源や排出の形態は数多く複雑である。このため、流域内の全発生負荷量ならびに流達負荷量の積算は、手作業では積算ミスや不統一が生じやすく、長時間を要する。また、負荷発生や流出構造の把握も困難となり、負荷削減対策に伴う負荷量変化の計算も容易でない。

このため、入力や対策等に伴う負荷量等の修正を行うと同時に発生、流達等の負荷量を流域、行政区画、負荷源等ごとに自動的に積算して一覧表に示す。

3. 2. 6 検証・修正支援機能

一部もしくは全流域からの流達負荷量等の実測値が得られている場合、それが原単位からの積算値とどの程度一致しているかを検討することは、通常のシミュレーションモデルにおける検証と同様に、入力データの妥当性を検証する上で不可欠である。本システムでは、まず表形式で積算を行うこと、また使用した原単位、排出率などのデータをマルチウィンドウの一覧表で示すにより、この検証を容易にしている。

しかし、多くの場合、どのデータを修正すべきかの判断が容易でない。このため、実測値や文献値等のデータを入力する際、その推定精度（5段階の判断）も併せて入力するようにした。これをもとに各負荷量とその積算値の推定精度を示し、一覧表に示した各汚濁源の重要度（全負荷量に占める割合）とともに修正作業における利用者の判断を支援する。

3. 2. 7 水質予測機能

流域からの全流達負荷量の積算結果を基礎とし、水域の諸元（面積、深度、滞留時間、成層の状態等）を入力することにより、簡単な生態系モデル（上下2層モデル：状態変数は植物プランクトンおよび栄養塩類）ならびにリン負荷モデル（Vollenweiderモデル：両者併記）から将来水質（年平均値、季節変化）を予測する。

3. 2. 8 負荷削減対策の評価機能

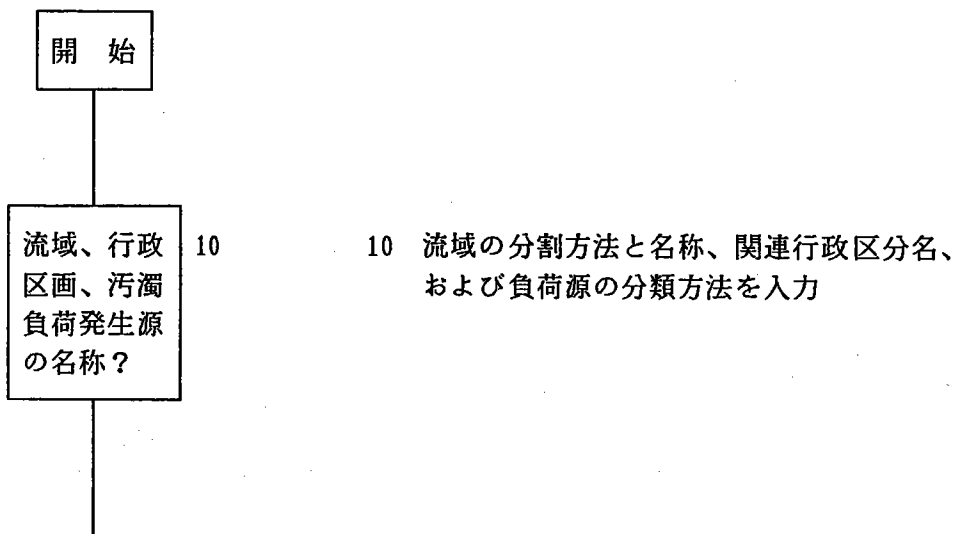
流達負荷量推定ならびに水質予測の両モデルを結合し、負荷削減対策の実施に伴う一部負荷量の修正に対して自動的に全流達負荷量や将来水質の再計算を行うことにより、流域と水域とがいわば対話する形で負荷削減対策の評価を行う。なお、効率的な負荷削減対策の立案を行うため、各汚濁源の流達負荷量とその推定精度を一覧表によって示し、汚濁源毎の寄与割合も明示する。

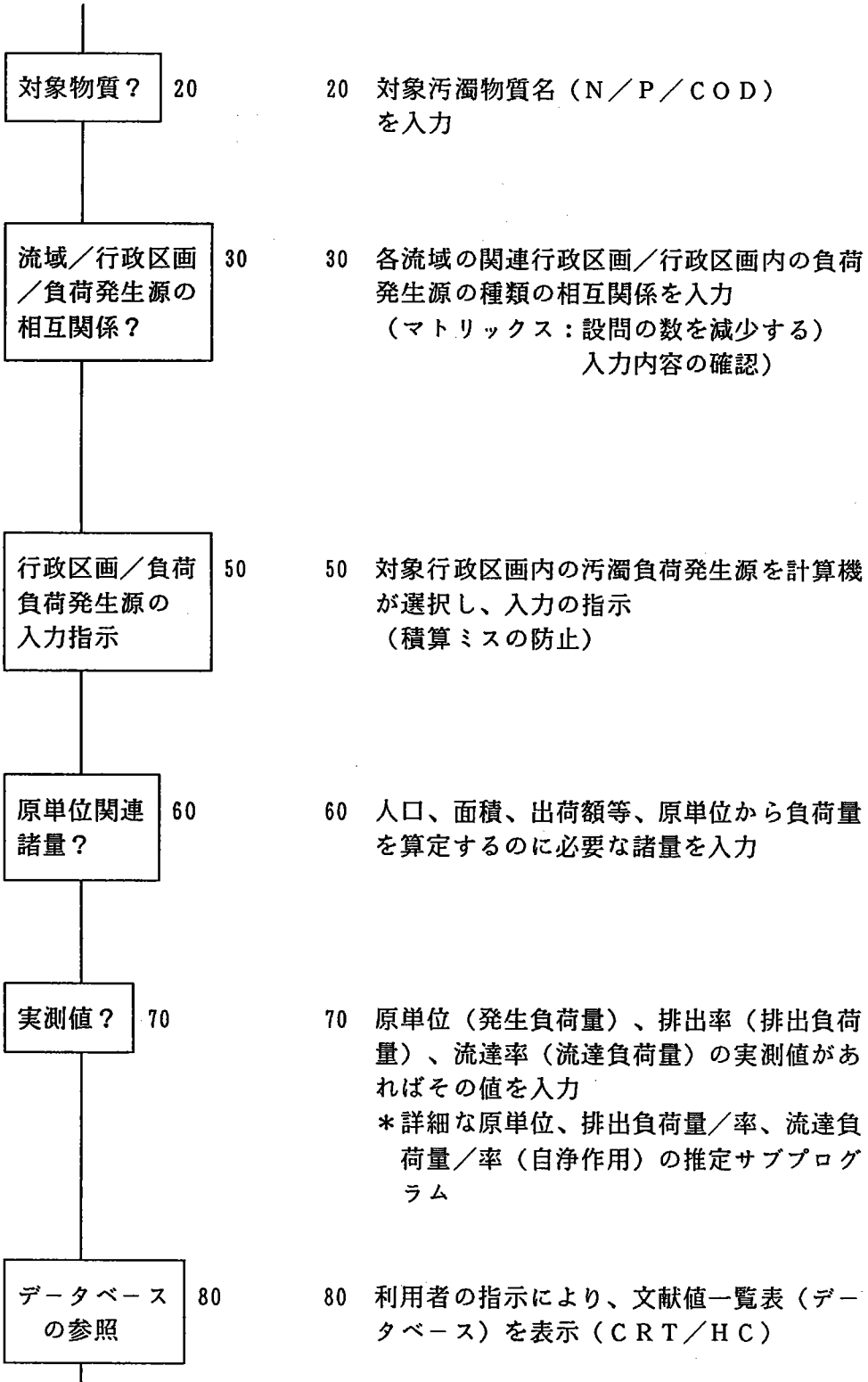
3. 2. 9 汚濁負荷発生／流達構造の表示機能

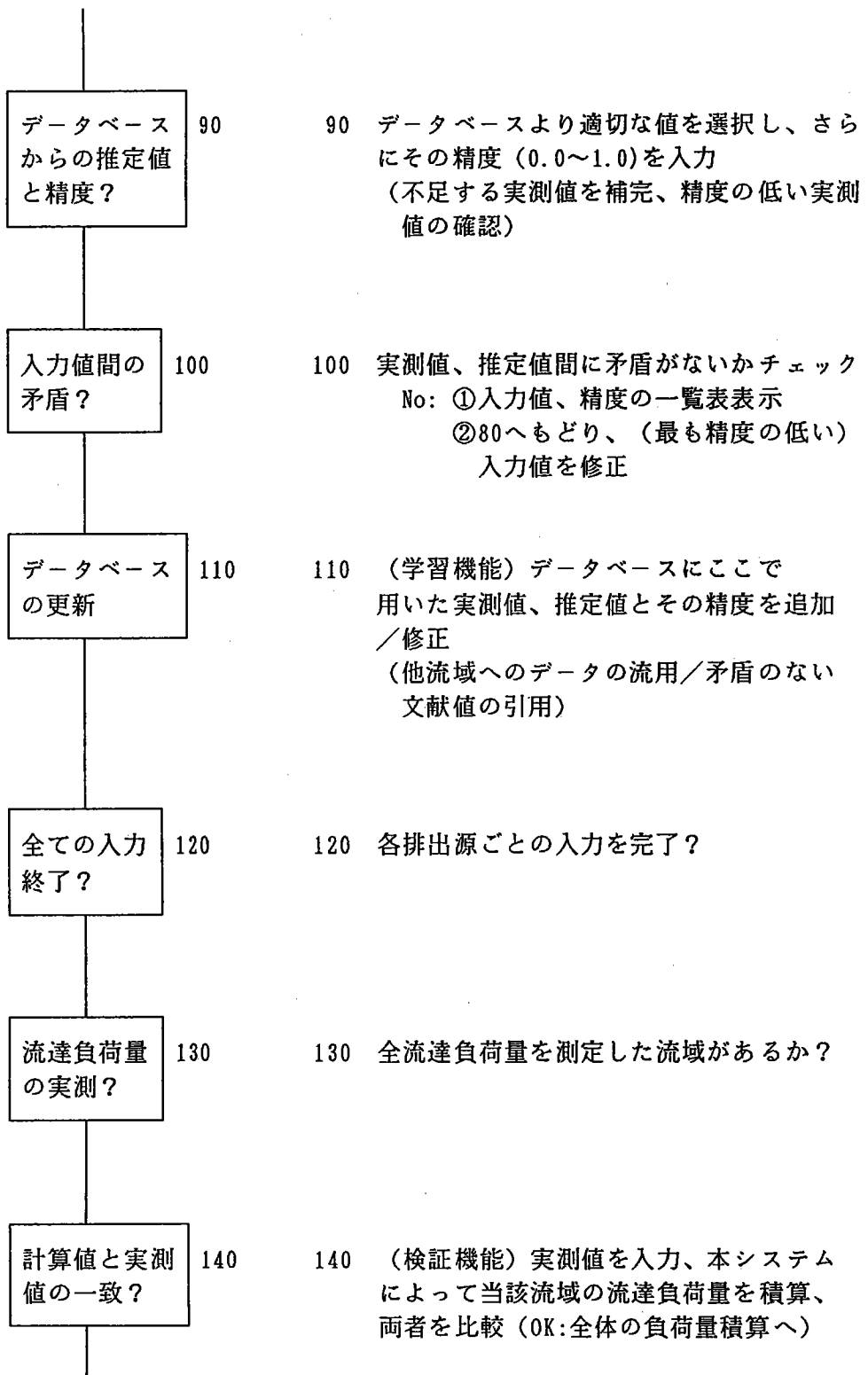
対象湖沼の汚濁負荷発生、ならびにその流達構造をマルチウィンドウの表ならびにグラフィックスでわかりやすく表示する。これは、事業者のみならず関連諸機関の行政担当者、さらに住民が当該水域の汚濁負荷発生と流達の構造に関して共通の理解を持つ上できわめて有効と思われる。また、場合によっては、関連機関を含む他の担当者や住民自身によるコンピュータとの対話も含め、流域対策への幅広い理解を得るための手段とする。

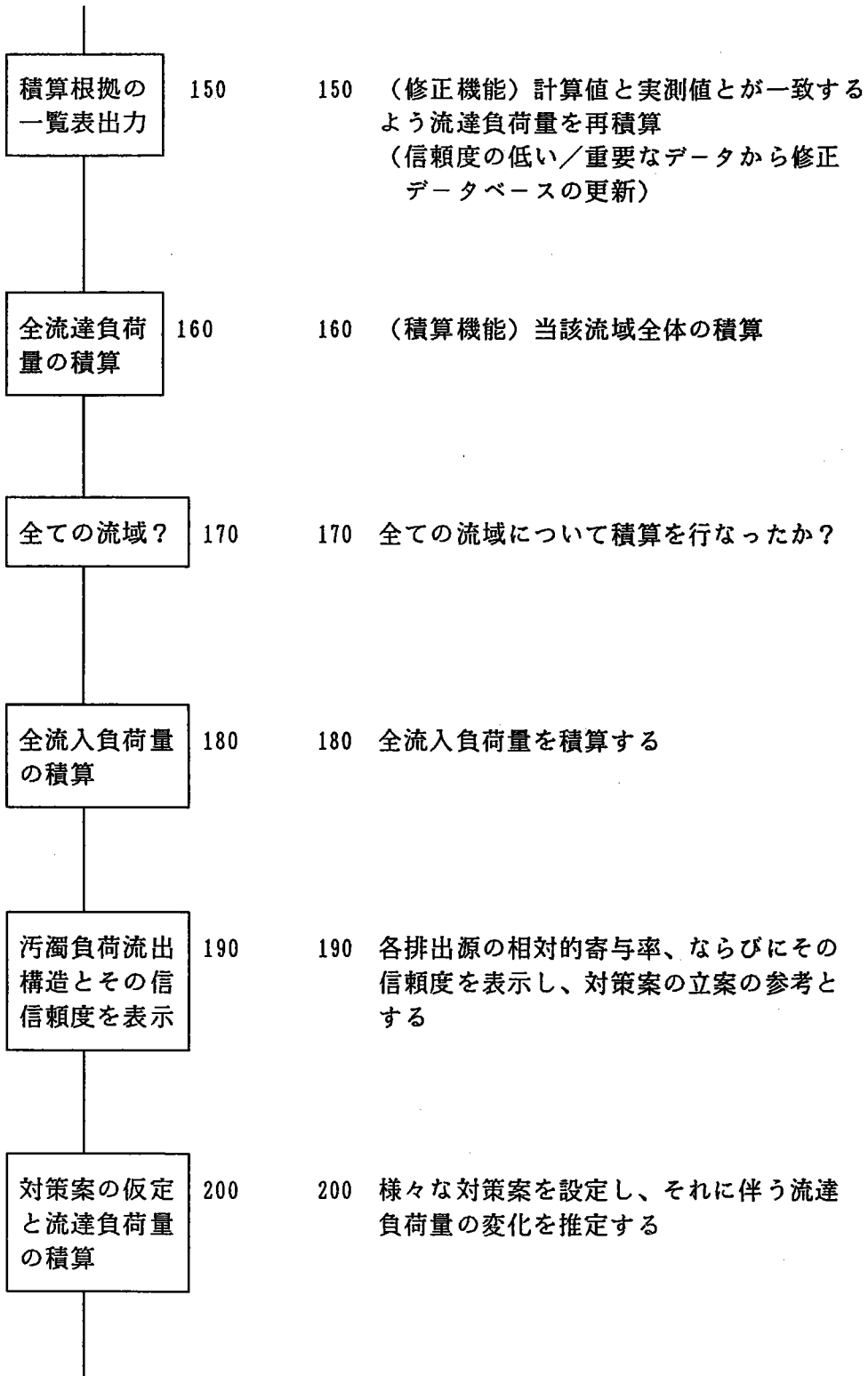
3. 3 処理のフローチャート

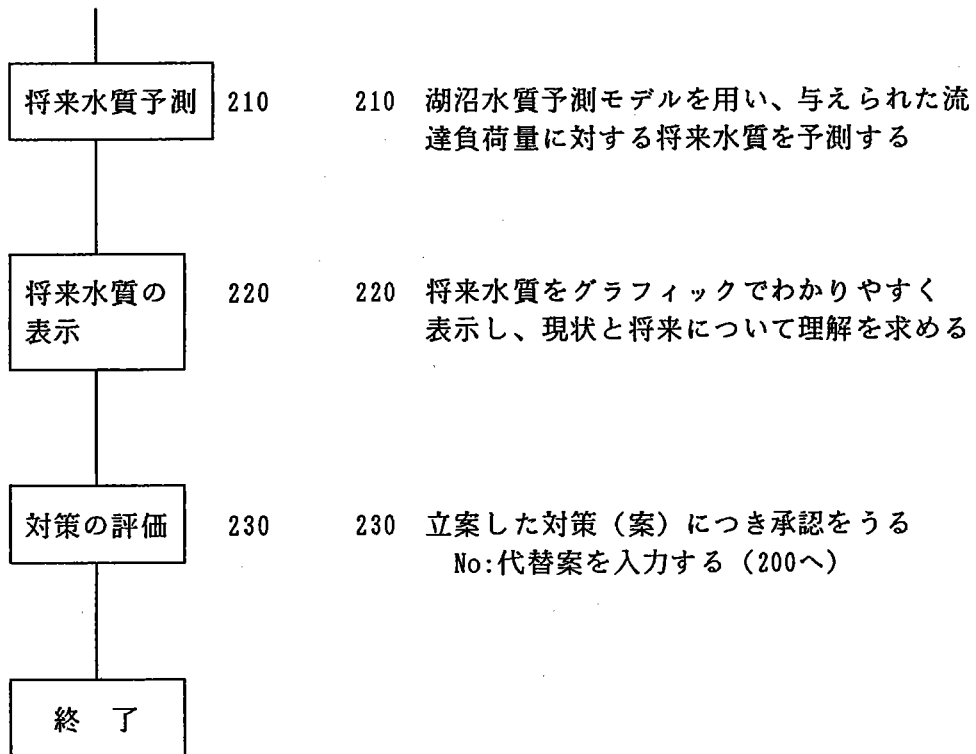
以上のような機能を持つ本システムにおける処理の流れを次のフローチャートに示す。











3. 4 システムの操作と表示

3. 4. 1 階層データの操作

各汚濁負荷源は、流域、および属する行政区画（市町村）で定義される。例えば図3-1に示してある「あ川流域・A町」にある「製造業」のうち「材木業」の「排出率」を入力、参照、もしくは変更したい場合、次のような手順で階層構造のデータをたどることにより、容易に目的のデータまで到達する。

- ①あ川・A町のデータが画面上になければ、スクロールさせデータを捜す。
(ROLL UP・DOWN キー)
- ②カーソルキーでカーソルを製造の所へ持っていく。
- ③RETURNキーを押すと第一のマルチウィンドウが開き、製造の諸データ（衣服・材木・機械）が、入力可能状態になり、また入力済みの場合は表示される。
- ④材木を選択すると第二のマルチウィンドウが開き、材木の源数量、原単位、発生量、排出率、排出量が表示される。
- ⑤必要に応じてカーソルで排出率を選択して変更する。

3. 4. 2 新規データ作成と既存データの読み込み

(A) 新規データ作成

全く新しい流域に関するデータを入力するモードであり、次の手順で入力作業を行なう。

- ①流域総数の入力 (1-10迄)
- ②行政区画総数の入力 (1-15迄)
- ③汚濁発生源数の入力 (1-12迄)
確認(訂正があれば、①からやり直すことができる。)
- ④流域名の入力
確認(訂正があれば、④をやり直すことができる。)
- ⑤行政区画名の入力
確認(訂正があれば、⑤をやり直すことができる。)

※流域名・行政区画名は共に漢字の使用が可能である。ここで特に文字数に制限はないが、長過ぎるものは語尾がカットされる。

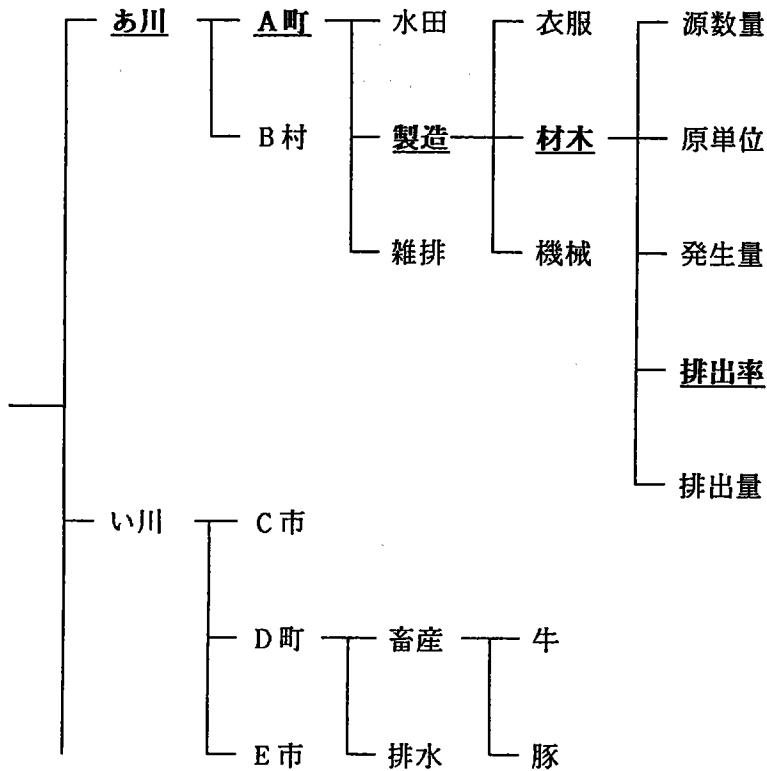


図3-1 あ川流域・A町・製造業・材木業・排出率の入力、参照、もしくは変更のためのデータ構造

⑥存在する汚濁発生源の選択

次の12の発生源中から③で入力した発生源数だけ選択する。

- | | | | |
|-------|--------|--------|---------|
| 1. 林 | 2. 畑 | 3. 水田 | 4. 畜産 |
| 5. 市街 | 6. 雑排 | 7. 製造 | 8. 鉱業 |
| 9. し尿 | 10. 下水 | 11. 浄化 | 12. その他 |

確認（訂正があれば、⑥をやり直すことができる。）

⑦流域と行政区画の対応状況の入力

各々の流域が、どの行政区画に存在するかをコンピューターの質問に yes-noで答えて流域と行政区画の対応状況を入力する。

確認（訂正があれば、⑦をやり直すことができる。）

⑧ データファイル名の入力

今回入力したデータのファイル名を決定する。

(英数字 8 文字・漢字 4 文字)

次回データを読み出すときは、このファイル名を入力する。

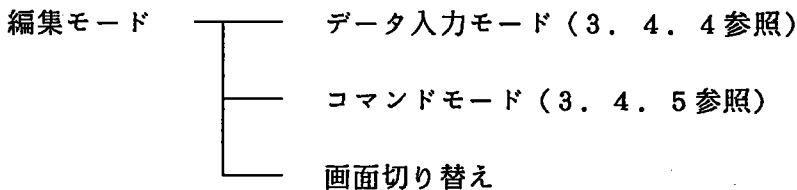
(B) 既存データの読み込み

既に入力してある流域の情報を読みだし、追加、訂正、再計算など、流域対策を検討する際に用いる。この場合、まず、読みだしたいデータのファイル名を入力する。

3. 4. 3 編集モード

(A) 編集モードの階層

「新規データ作成／データ・ロード」のいずれかを選択し、全ての入力終了すると編集モードに入る。編集モードは、このシステムの基本画面であり、このモードから下に示すように他のモードに移動できる。



(B) 編集モードにおける操作

編集モードでは次のキー操作を行なう。

カーソルキー (→←↑↓)	: カースルの移動
ROLL (UP, DOWN) キー	: データをスクロールさせる
RETURN キー	: データ入力モードに移動
ESC キー	: コマンドモードに移動
f. 1 ~ f. 5 キー	: 5つのデータの画面切り替え
HELP キー	: ヘルプ画面を表示する

データを入力・修正したい場所にカーソルを移動させ (カーソルキー)、RETURN キーを押すと、データ入力モードになる (データ入力・修正の方法は、3. 4. 4 で述べる)。

データが、画面に表示しきれない場合は、ROLL (UP, DOWN) キーでデータをスクロールさせ表示させることができる。

ESC キーでコマンド入力モードになる (コマンドの詳細は、3. 4. 5 で述べる)。

編集モードの表示データには次の5つがあり対応するファンクションキーで表示データを切り替えることができる（画面切り替え）。

f. 1	: 原数量
f. 2	: 原単位
f. 3	: 発生量
f. 4	: 排出率
f. 5	: 排出量

なお、HELPキーを押すと簡単なキー操作の方法が表示される。

3. 4. 4 データ入力モード

編集モードの時に、入力したい場所にカーソルを移動しRETURNキーを押すとデータ入力モードになる。データ入力モードには、新規入力と再入力とがある。

(A) 新規入力

- ・発生源数の入力（1～10）／中止はESCキー。
- ・発生源数が複数の場合のみ、何番の発生源を入力するか選択する。
- ・発生源名の入力（ここで名前を入力せずにRETURNキーのみを押すと、コンピューターが名前を決定する。）
- ・データ入力画面が表示され、データ入力ができる。

(B) 再入力

- ・発生源数が複数の場合のみ、何番の発生源を入力するか選択する。
- ・データ入力画面が表示され、データ再入力ができる。

(C) データ入力画面で使用するキー

ESCキー	: 入力終了（一つ前の画面に戻る）
←・→キー	: 5つの項目の移動
↑・↓キー	: データの決定
数値キー	: 直接データ入力
RETキー	: データ・ベース参照、自動計算

(D) 画面の選択

データ入力画面では、源数量・原単位・発生量・排出率・排出量の5つの値を入力する。カーソルキー（←・→）で、どれを入力するか選択する。各々3つまでデータを入力することができる。これは、実測値や文献値を入力し、比較する場合などに便利である。カーソルキー（↑・↓）で、3つの値のどれかに決定す

る。

(E) データ／信頼度入力

直接、値を入力する場合は、そのまま数値キーもしくは小数点キーを押す。RETURNキーで入力終了する。続いて信頼度の入力となる。信頼度とは、入力した値にどの程度の妥当性があるかを示すもので、信頼度を基にデータを5段階に色分けして表示する。これにより修正作業における利用者の判断を支援する。データ・信頼度の入力が終わるとカーソルは自動的に一つ右側に進む。

発生量と排出量は、自動計算で求めることもできる(RETURNキー)。計算の基になる値は、発生量・排出量の右側の値である。

$$(\text{発生量}) = (\text{原単位}) \times (\text{源数量})$$

$$(\text{排出量}) = (\text{発生量}) \times (\text{排出率})$$

※信頼度は、参照したデータの2つの信頼度の相加平均となる。自動計算が終わるとカーソルは自動的に一つ右側に進む。

(F) データベースの参照

原単位と一部の排出率は、データ・ベースを参照することができる(RETURNキー)。RETURNキーを押すことにより次の候補が表示され、使用したいデータの番号を押すと、続いて信頼度の入力となる。データの選択、信頼度の入力が終わるとカーソルは自動的に一つ右側に進む。

(G) その他

ESCキーを押すと、1つ前の画面に戻る。発生源数が1つの場合と、複数の場合では動作が異なる。

・複数データの場合

源数量・発生量・排出量は全ての合計、原単位・排出率は相加平均を計算する。ここで他の発生源のデータを入力する場合は任意の番号を入力するとデータ入力画面となる。編集画面に戻る場合には、ESCキーを押す。

・1つの場合

直接編集画面に戻り、編集画面に戻ると同時に小計・合計が再計算される。

以上、これらのデータ入力モードはHELPキーを押すと簡単なキー操作の方法が表示される。

3. 4. 5 コマンドモード

編集モードのときにESCキーを押すと、コマンドウィンドーが開きコマンドを選択することができる。コマンドの種類は次の通りである。

- ① S・保存 : データを、ディスクに保存する。ここでファイル名は、新規データ作成時に入力したファイル名をもとにコンピュータが決定するため入力する必要はない。
- ② P・印刷 : データを、プリンターに印字する。データは、流域・行政区画単位で発生源ごとに印字される。
- ③ R・川DATA : 川のデータ(水深、川幅、流速、距離)の入力・変更。
カーソルを入力・変更したい場所に移動し、数字キーで直接入力する。また、テンキーのイコールキーにより、これらのデータをもとに流達率・流達量を河川における自浄作用の機構を考慮して自動計算する(3. 6参照)。
- ④ M・モデル : 求めた流達負荷量に対応して湖沼の水質予測を行なう。
二層モデルおよびVollenweiderモデルを用いてリンおよびクロロフィル濃度の経時的变化を計算するとともにその結果を表示する(3. 6参照)。
- ⑤ Q・終了 : データを、ディスクに保存し、プログラムを終了する。

以上、これらのコマンドモードはHELPキーを押すと簡単なキー操作の方法が表示される。

3. 5 河川の自浄作用と湖沼の富栄養化モデル

3. 5. 1 河川の自浄作用モデル

河川の自浄作用モデルは、汚濁負荷の流達率を合理的に推定するために作成した。従来の汚濁負荷推定計算は、河川毎に実測値に基づいた流達率を用いることを基本としていた。したがって、測定値のある河川は比較的精度が高く流達率を推定できるものの、実測できなかった河川は類似の河川の値を参考にして推定せざるを得なかった。現実には全ての河川で実測することはほとんど不可能といつてよい。

一方、実測値があったとしても、流量や流速が気象条件によって変化しても単純な流達率では対応できない。このため、ここでは既往の自浄作用の考えを採用し、自浄作用のシミュレーションによって流達率を推定することとした。

ここで採用したモデルを図3-2に示す。現在のシステムではリンについての

みであるが、自浄作用として河床の付着藻類による取り込みのみを変化過程として考慮している。なお、実際には藻類に取り込まれたリンは、その一部が水中に溶出し、また雨天後の増水時には河床から剝離し、藻類の細胞に取り込まれたままの形で最終的には湖沼に流入する。これは、全リンとすれば湖沼への流達負荷量であり、この意味では流達率は100%である。しかし、実際には懸濁態のリンは湖沼の植物プランクトンに利用される前に湖底に沈降し、底泥からの溶出の形でしか利用されない。このため、ここでは、付着藻類に取り込まれる部分は自浄作用とみなして、リンについても流達率を計算した。

$$\frac{\partial P}{\partial t} = -v \cdot \frac{\partial P}{\partial z} - \mu \cdot \text{Alg} \cdot \frac{\alpha}{d} = 0$$

$$\mu = \frac{P}{P_s + P} \cdot \mu_{\max}$$

使用記号

Alg	: 河床に付着している藻類量	(g/m ²)
α	: 藻類中の磷構成比	(0.01)
d	: 河床の水深	(m)
P	: 磷濃度	(g/m ³)
P_s	: 磷の飽和定数	(0.002g/m ³)
μ	: 藻類成長速度	(1/日)
μ_{\max}	: 最大成長速度	(1/日)

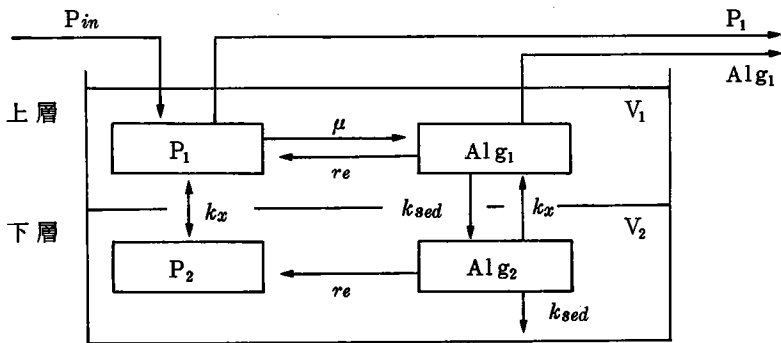
図3-2 流達率推定のための河川自浄作用のシミュレーションモデル

3. 5. 2 湖沼の富栄養化モデル

湖沼の水質予測モデルは現在まで数多く提案されている。その構造ならびに精度は、きわめて単純なものから、複雑なものまで多種多様である。しかし、本システムでは、様々な負荷削減と湖沼水質との関係をコンピュータディスプレイを介して対話型で検討することが必要となる。また、パソコン上で作動するシステムを前提としている。ここでは、パソコンの持つ計算速度の範囲内で速やかな応答性を確保するため、最も単純な2層モデルおよび簡単な経験モデルで信頼性も高いとされているVollenweiderモデルを採用した。

現在の2層モデルは、リン濃度と植物プランクトン濃度のみに着目したモデルである。そのモデル構成図を図3-3に、また基礎式を図3-4に示す。上下2層の分割は、簡単のために水深5mで一定とした。考慮した変化過程は植物プランクトンの増殖（上層のみ）、沈降、分解（呼吸）、流出、ならびに上下層間の交換である。増殖速度は、光強度、温度、ならびにリン濃度の関数とした。分解速度は温度の関数とした。

このシミュレーションモデルの解は、Runge-Kutta-Gill法で求めた。時間刻みは1日である。初期値は与えないシステムとしているため、初期値0で計算を開始し、計算中はその途中経過がグラフィックディスプレイに現われるようにした。2年間計算を行い、2年目の季節変化を最終結果として表示した。



- V_1, V_2 : 上層および下層の容積
- P_1, P_2 : 上層および下層でのリン濃度
- P_{in} : 流入水のリン濃度
- Alg_1, Alg_2 : 上層および下層の藻類濃度
- k_x : 二層間の交換速度 (m/日)
- k_{sed} : 沈降速度定数 (m/日)
- r_e : 最大呼吸速度 (1/日)
- μ : 増殖速度 (1/日)

図3-3 富栄養化予測のための2層モデル構成図

上層について

$$\frac{dAlg_1}{dt} = \mu_{av} \cdot Alg_1 - re \cdot Alg_1 - \frac{k_{sed}}{d_1} \cdot Alg_1 - \frac{1}{T_1} \cdot Alg_1 - \frac{k_x}{d_1} (Alg_1 - Alg_2)$$

$$\frac{dP_1}{dt} = -\mu_{av} \cdot Alg_1 \cdot \alpha + re \cdot Alg_1 \cdot \alpha + \frac{1}{T_1} (P_{in} - P_1) - \frac{k_x}{d_1} (P_1 - P_2)$$

下層について

$$\frac{dAlg_2}{dt} = -re \cdot Alg_2 - \frac{k_{sed}}{d_1} \cdot Alg_1 \cdot \frac{V_1}{V_2} - \frac{k_{sed}}{d_2} \cdot Alg_2 - \frac{k_x}{d_2} (Alg_1 - Alg_2)$$

$$\frac{dP_2}{dt} = re \cdot Alg_2 \cdot \alpha + \frac{k_x}{d_2} (P_1 - P_2)$$

$$re = re_{max} \cdot 1.047^{(T-20)}$$

$$\mu = \frac{L(z)}{L_s + L(z)} \cdot \frac{P_1}{P_s + P_1} \cdot \mu_{max} \cdot 1.047^{(T-20)}$$

$$T = \frac{V_1}{F}$$

使用記号

Alg_1, Alg_2	: 上層, 下層での藻類濃度	
d_1	: 上層の水深	[m] 5
d_2	: 下層の水深	[湖水深 - d_1 , m]
F	: 流量	[m ³ /日]
k_{sed}	: 沈降速度係数	[m/日] 0.3
k_x	: 二層の交換速度	[m/日] 夏 0 冬 10
L	: 照度	[lux]
L_s	: 光の飽和定数	[lux] 2000
P_1, P_2	: 上層, 下層での磷濃度	[g/m ³]
P_s	: 磷の飽和定数	[g/m ³] 0.002
re	: 呼吸速度	[1/日]
re_{max}	: 最大呼吸速度	[1/日] 0.1
T_1	: 滞留時間	[1/日]
T	: 温度	[°C]
V_1, V_2	: 上層, 下層の容積	[m ³]
α	: 藻類中の磷の割合	[-] 0.01
μ	: 成長速度	[1/日]
μ_{max}	: 最大成長速度	[1/日] 3.0

図 3-4 富栄養化予測のための 2 層モデル基礎式

4. 実際の湖沼へのシステムの適用

4. 1 奥多摩湖の概要

奥多摩湖、別名小河内貯水池は、東京都の最西部に位置し、東京都奥多摩町と山梨県丹波山村、小菅村にまたがる貯水池である。これは、コンクリートダムで多摩川をせき止めたもので、戦前から計画され、昭和13年から着工したが、戦争中の昭和18年に一時工事を中断したが、昭和23年に再開し、昭和34年に完成した。

このダムは、多摩川の流量を調節して水道用原水を確保することを目的とした世界最大の水道専用貯水池であり、東京都西北区部、および多摩地区の重要な水源となっている。一方、都心より約65kmに位置するため、奥多摩湖の名称で都民の憩いの場としても親しまれている。奥多摩湖のおよびダムの諸元を表4-1に示す。

奥多摩湖の流域は、表4-2に示すように4つの流入河川と湖畔のからなる5流域に分けることができる。また行政区画では、東京都奥多摩町ならびに山梨県塩山市、丹波山村、小菅村の4市町村から構成される。東京都側が54.3km²、山梨県側が208.6km²であり、それぞれ全流域面積の20.7%、79.3%を占め、そのほとんどは山梨県である。流域の略図を図4-1に示した。

1) ダム

型式	非越流型直線重力式 コンクリートダム
高さ	149m (基礎岩盤上)
ダム頂長	353m
ダム頂幅	11.6m (歩車道の幅員)
敷幅	131.1m
ダム体積	1,675,680m ³
堤頂標高	中等潮位530m

2) 貯水池

流域面積	262.88km ²
満水面積	4.25km ²
満水周長	45.37Km
満水位	中等潮位526.5m
最大水深	142.5m (ダム直下)
有効水深	101.5m
有効貯水量	185,400,000m ³

表4-1 奥多摩湖及びダムの諸元

- 採水地点 (10 地点)
 △ 採泥地点 (4 地点)
 ▨ 集落

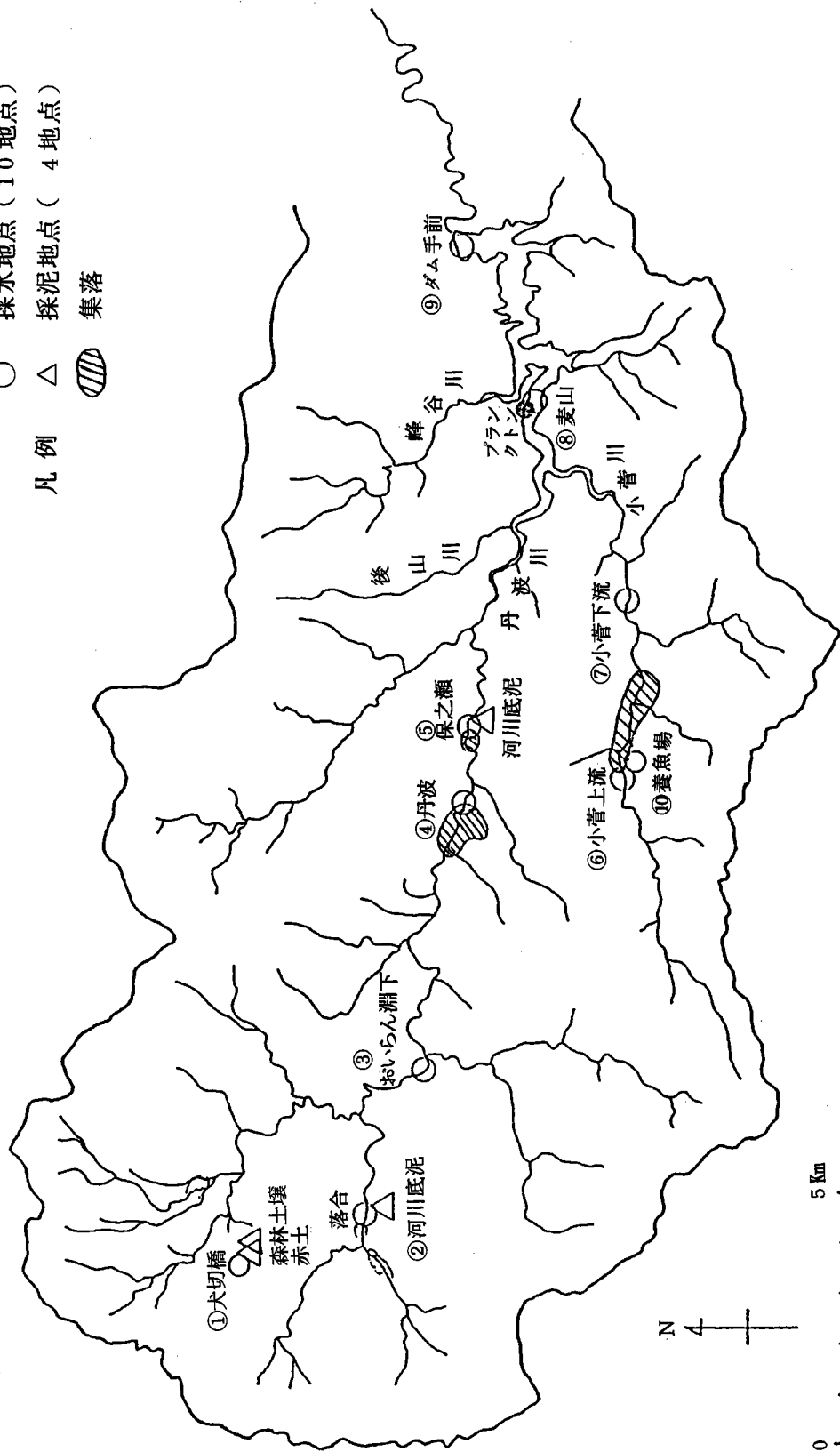


図 4-1 奥多摩湖流域の略図および水質調査地点

表 4 - 2 奥多摩湖の流域面積と行政区画

丹波川（塩山市）	64.4 km ²	（ 25%）
丹波川（丹波山村）	62.9 km ²	（ 24%）
小菅川（小菅村）	42.3 km ²	（ 16%）
後山川（丹波山村）	30.9 km ²	（ 12%）
峰谷川（奥多摩町）	15.5 km ²	（ 6%）
奥多摩湖畔 1	20.8 km ²	（ 8%）
奥多摩湖畔 2	24.9 km ²	（ 9%）
合 計	262.9 km ²	（100%）

4. 2 奥多摩湖の流域および水質

4. 2. 1 奥多摩湖の流域

奥多摩湖の流域のほとんどは山地であり、流域内の人口は昭和60年において定住人口約3、000人、観光人口約1、100千人と観光人口がきわめて多いのが特色である。表4-3および図4-2、4-3には観光人口、およびその季節変化を示す。また、定住人口は今後ほとんど伸びないと予測されるのに対し、観光人口は毎年数%の伸びが見込まれている。

これらの排水のうち、山梨県側の小菅村ならびに丹波山村では特定環境保全公共下水道が完成しているため、全戸が下水処理対象となり、下水処理場では通常の2次処理に加えて脱リン施設が設けられている。その除去率はCOD=75%、窒素=70%、リン=93%、目標水質はBODが5 mg/l以下、リンが0.5 mg/l以下とされている。東京都側では、合併処理浄化槽の設置を促進し、その処理水は地下浸透処理する予定である。

流域内の産業は観光業以外に、水産養殖と砂利採取などの産業が立地している。これら、定住人口（夜間人口）、観光人口、工業、水産業などの昭和60年におけるフレーム、ならびに昭和65年における予測値を表4-4に示す。

表4-3 奥多摩湖流域の観光人口の季節変化

月	奥多摩町 (S58)		丹波山村 (S61) 注. 1			小菅村 (S60)		合 計	
	宿泊	日帰り	計	宿泊	日帰り	宿泊	日帰り	宿泊	日帰り
1	630	6465	631	360	271	545	497	1535	7233
2	380	4045	207	118	89	599	432	1097	4566
3	1760	41225	277	158	119	1114	1119	3032	42463
4	1645	101040	1100	627	473	1495	2076	3467	103589
5	2025	400940	3264	1860	1404	894	3530	4779	405874
6	1140	144690	1312	748	564	807	1454	2695	146708
7	5005	116400	19077	10874	8203	5945	2384	21824	126987
8	7850	165710	37933	21622	16311	12768	4034	42240	186055
9	1642	121250	2330	1328	1002	1175	2037	4145	124289
10	1465	323338	2522	1438	1084	833	2237	3736	326659
11	1115	176220	1412	805	607	1097	1020	3017	177847
12	613	15367	530	302	228	693	622	1608	16217
年計	25270	1616690	70595	40240	30355	27965	21442	93475	1668487

注. 1) 合計値のみしかないので、宿泊人口と日帰り人口は小菅村の年間比率をもとに算定した。

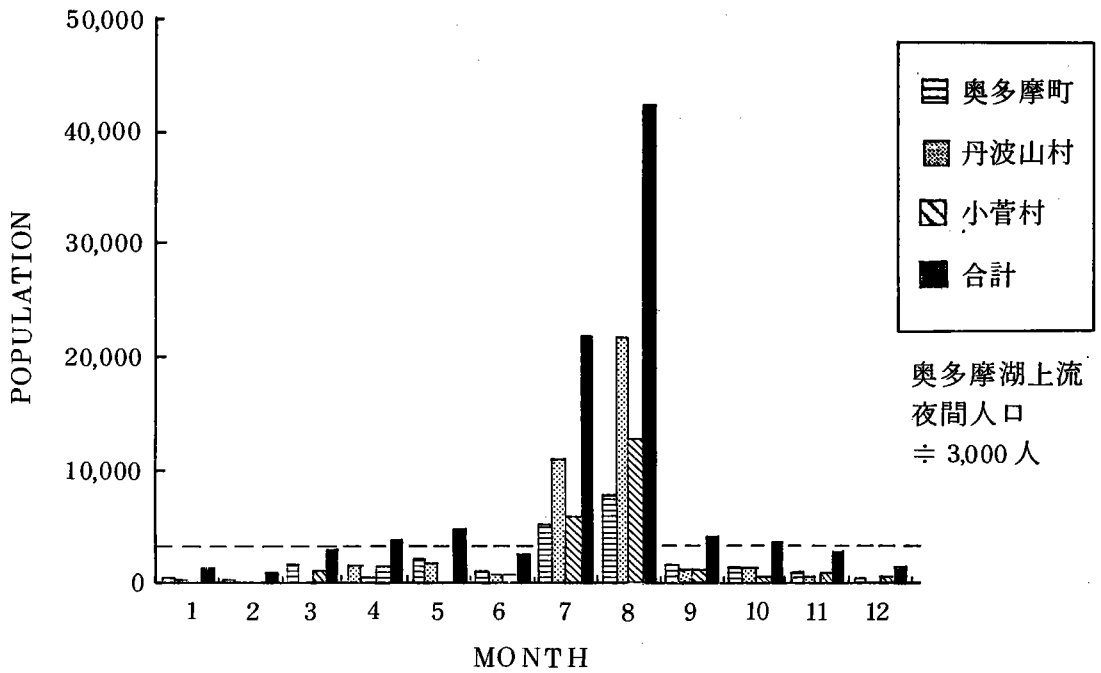


図 4-2 奥多摩湖流域の宿泊人口の季節変化

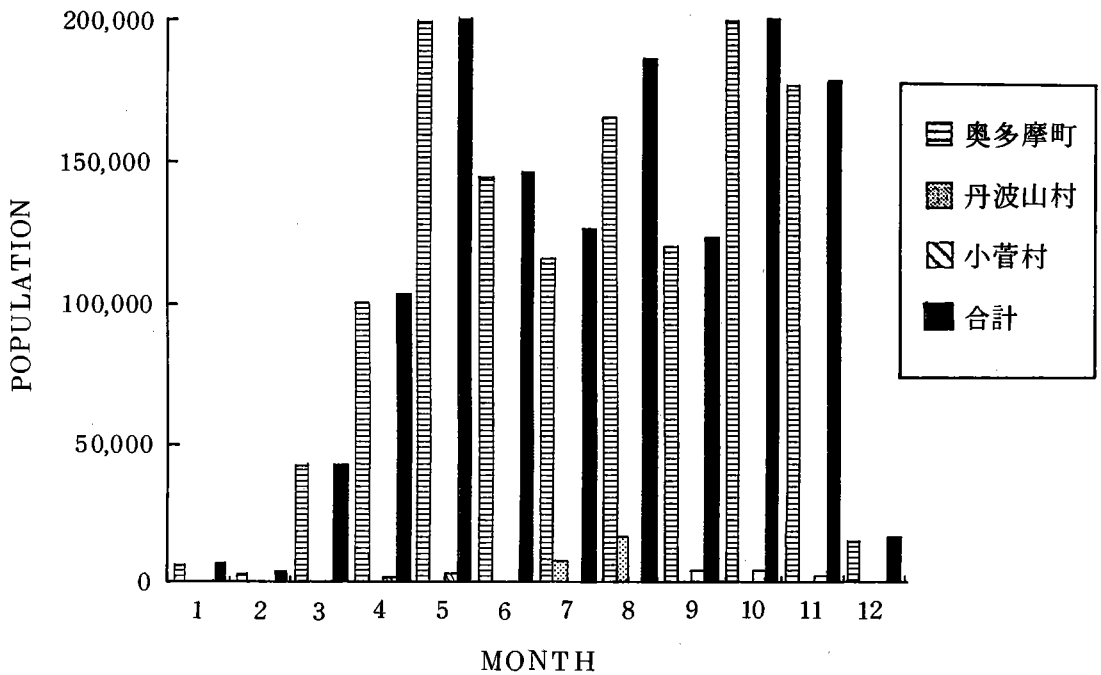


図 4-3 奥多摩湖流域の日帰り観光人口の季節変化

表 4-4 奥多摩湖流域のブロック別基礎フレーム (昭和60年、昭和65年)

区 分	ブ ロ ッ ク	市 町 村	昭 和 60 年						昭 和 65 年							
			夜 間 人 口 (人)		観 光 人 口 (人/年)		産 産 働 牛 豚		夜 間 人 口 (人)		観 光 人 口 (人/年)		産 産 働 牛 豚		工 業 出 荷 額 (百万円)	水 産 給 餌 量 (kg/年)
			日 帰 り	宿 泊	日 帰 り	宿 泊	牛	豚	日 帰 り	宿 泊	日 帰 り	宿 泊	牛	豚		
ダ	丹 波 川	塩 山 市	166	800	1,422	3,940	0	0	166	800	1,422	4,000	0	0	26	10,440
		丹 波 山 村	933	35,920	75,000	18,000	0	0	915	37,716	75,000	20,000	0	0	1,151	13,000
		小 計	1,099	36,720	76,422	21,940	0	0	1,081	38,516	76,422	24,000	0	0	1,177	23,440
	小 倉 川	小 倉 村	1,079	18,945	25,730	13,579	0	0	1,018	28,530	30,000	15,000	0	0	811	200,000
		丹 波 山 村	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		小 計	1,079	18,945	25,730	13,579	0	0	1,018	28,530	30,000	15,000	0	0	811	200,000
	上 流	後 山 川	298	2,560	199,350	0	0	0	298	3,000	204,000	0	0	0	364	0
		峠 谷 川	28	976	0	0	0	0	26	1,470	0	0	0	21	0	
		小 計	216	4,080	0	0	0	0	212	4,284	0	0	0	286	0	
	湖 畔 - 1	奥 多 摩 町	176	11,640	6,960	0	0	0	176	11,750	7,500	0	0	0	215	0
小 計		420	16,690	6,960	0	0	0	414	17,504	7,500	0	0	0	502	0	
湖 畔 - 2		143	8,450	788,440	0	0	0	143	8,500	800,500	0	0	0	175	0	
ダ	奥 多 摩 町 (日原)	計	3,039	83,371	1,096,902	35,519	0	0	2,954	96,050	1,118,422	39,000	0	0	3,029	223,440
		奥 多 摩 町	1,818	43,675	463,940	0	0	0	1,818	44,800	470,100	0	0	0	2,185	0
		小 計	1,308	14,043	2,745	1,006	0	0	1,308	14,383	2,800	1,117	0	0	1,661	200
	昭 和 橋 上 流	奥 多 摩 町	3,126	57,718	466,685	1,006	0	0	3,126	59,183	472,900	1,117	0	0	3,846	200
		小 計	5,530	37,038	361,095	127,742	0	0	5,530	37,791	386,800	132,000	0	0	6,169	1,200
		奥 多 摩 町	10,995	131,000	1,619,000	0	48	35	11,647	157,500	1,942,500	0	48	35	9,176	0
	下 流	青 梅 市	16,525	168,038	1,980,095	127,742	48	35	17,177	195,291	2,329,300	132,009	48	35	15,345	1,200
		小 計	19,651	225,756	2,446,780	128,748	48	35	20,303	254,474	2,802,200	133,126	48	35	19,191	1,400
		計	22,690	309,127	3,543,682	164,267	48	35	23,257	350,524	3,920,622	172,126	48	35	22,220	224,840
	合 計															

4. 2. 2 奥多摩湖の水質

図4-1に、本研究で行なった水質調査地点を示す。その結果を表4-5に示した。窒素、リンともに流域のいずれの地点でも、また湖水でもかなり低い値であり、富栄養化現象がまだ顕著になっていないことがわかる。しかし、養魚場のように著しく栄養塩濃度の高い排水も存在し、その管理が今後重要になると思われる。

これらの実測データに加えて、東京都環境保全局、水道局等の資料を基に奥多摩湖、ならびに流域の水質状況を整理した。表4-6には、奥多摩湖の水質の経年変化を示す。この10年間とくに大幅な水質の変動は認められていない。平均的にはリン=0.01 mg/l、窒素=0.5 mg/l、COD=1.5 mg/l程度である。

本湖沼からの取水は、通常の浄水操作を行なっているため、CODはA類型、窒素、リンはII類型を満足すればよい。環境基準のA類型は、COD=3.0 mg/lであるから、これは満たしているものの、II類型のリン=0.01 mg/l、窒素=0.2 mg/lについては、リンでぎりぎり、窒素で完全にオーバーである。また、流域の産業に占める観光の割合がきわめて多い現実からすれば、自然環境保全上望ましいAA類型、ならびにI類型を満足することが望ましいが、それにははるかに遠い現状にある。

図4-4、および図4-5には湖水中のリン濃度の季節変化を示す。夏期、底層のリン濃度が著しく上昇する現象が認められる。これは底泥からのリンの溶出による可能性が高く、底層が嫌氣的雰囲気になりつつあり、富栄養化が進行しつつあることを示唆している。現状では大きな問題が顕在化していないものの、富栄養化対策を検討すべき時期に至っていると言えよう。

図4-6、図4-7には昭和61年の資料からまとめた各流入河川からの窒素およびリン負荷量の季節変化を示す。図4-8、図4-9には、丹波川ならびに小菅川の全リンならびにリン酸態リン濃度の季節変化を示す。この濃度と負荷量とを比較すると、最大の5月、および季節から考えて高い負荷を示した12月は、降雨により流量が多いことに起因すると思われる。すなわち、降水にともなう負荷が卓越する自然由来の負荷が高い流域といえよう。負荷が高い流域は丹波川および小菅川であり、他の流域の負荷量は少なかった。

表 4-5 奥多摩湖における水質調査結果（昭和63年8月）

St No	1 犬切橋	2 落合	3 おいちん淵	4 丹波	5 保之瀬	6 小菅上流	7 小菅下流	8 湖(菱山)	9 湖(ダム)	10 養魚場
PO4-P mg/l	0.0152	0.0152	0.0118	0.0141	0.0152	0.0175	0.0323	0.0107	0.0085	0.0560
T-N mg/l	—	0.383	0.267	0.229	0.943	0.333	0.520	—	0.394	0.685
D-N mg/l	—	0.306	0.152	0.267	0.493	1.059	0.669	—	0.438	0.570
NH4-N mg/l	0.181	0.235	0.185	0.193	0.235	0.227	0.214	0.210	0.231	0.554
NO2-N mg/l	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
NO3-N mg/l	0.40	0.23	0.22	0.30	0.35	0.36	0.86	0.43	0.41	0.46
Cl- mg/l	1.41	1.46	1.44	2.70	1.73	1.43	3.12	2.13	3.22	2.17
水温 ℃	13.5	15.2	15.7	17.0	12.3	15.4	15.9	18.6	—	15.4
伝導度 μS/cm	2.9	3.1	3.2	3.8	4.5	4.0	5.7	6.3	—	4.4
pH	7.33	7.35	7.35	7.29	7.28	7.41	7.47	8.65	—	7.34

表4-6 奥多摩湖の水質の経年変化

単位：mg/L

項目\年度	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63
水 じ よ く 池	COD	1.2	1.2	1.1	0.8	1.1	2.0	1.1	0.9	1.2	1.3	1.4
	T-N	0.52	0.57	0.53	0.68	0.54	0.54	0.49	0.49	0.43	0.45	
	T-P	0.019	0.010	0.017	0.017	0.021	0.062	0.023	0.011	0.022	0.012	0.007
										ダム前 定 点		

単位：mg/L

項目\年度	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63
麦 山	COD					2.7	0.8	1.4	1.5	1.2	1.2	
	T-N					0.47	0.35	0.45	0.37	0.44	0.51	
	T-P					0.024	0.020	0.017	0.009	0.009	0.009	
水の 華 発生回数	77	21	89	110	41	6	54	63	11	42	0	
回/年												

注：ダム前定点CODは三層混合水質，N，Pは表層水質，麦山CODは60年度まで表層，61年度以降は上下混合水質

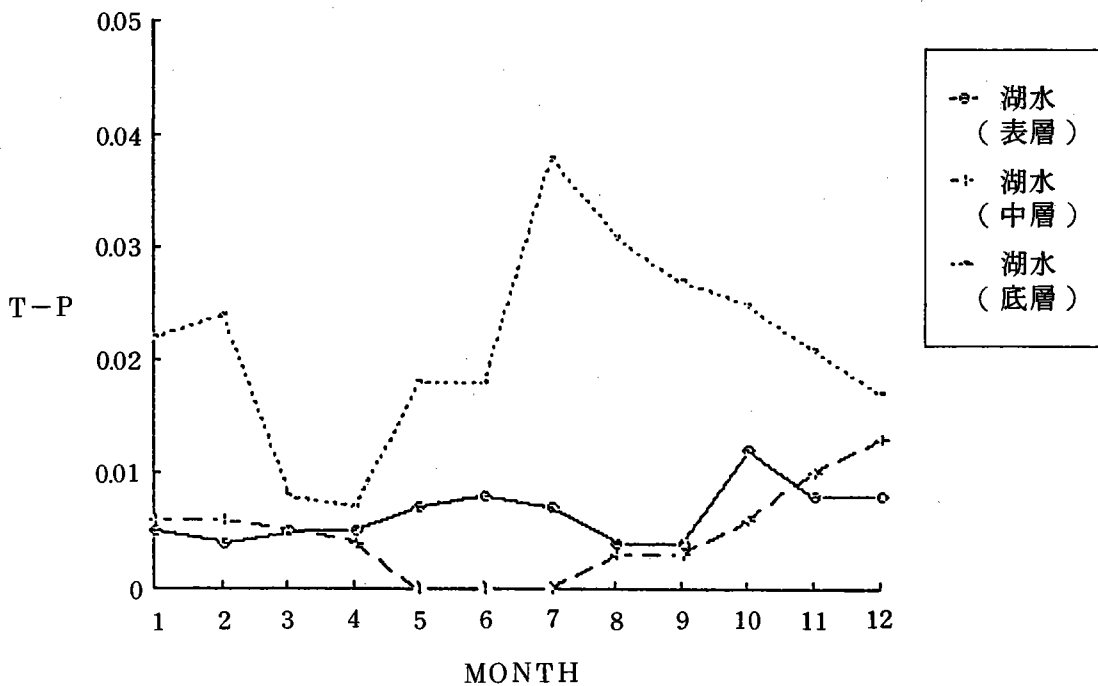


図4-4 湖水中の全リン濃度の季節変化

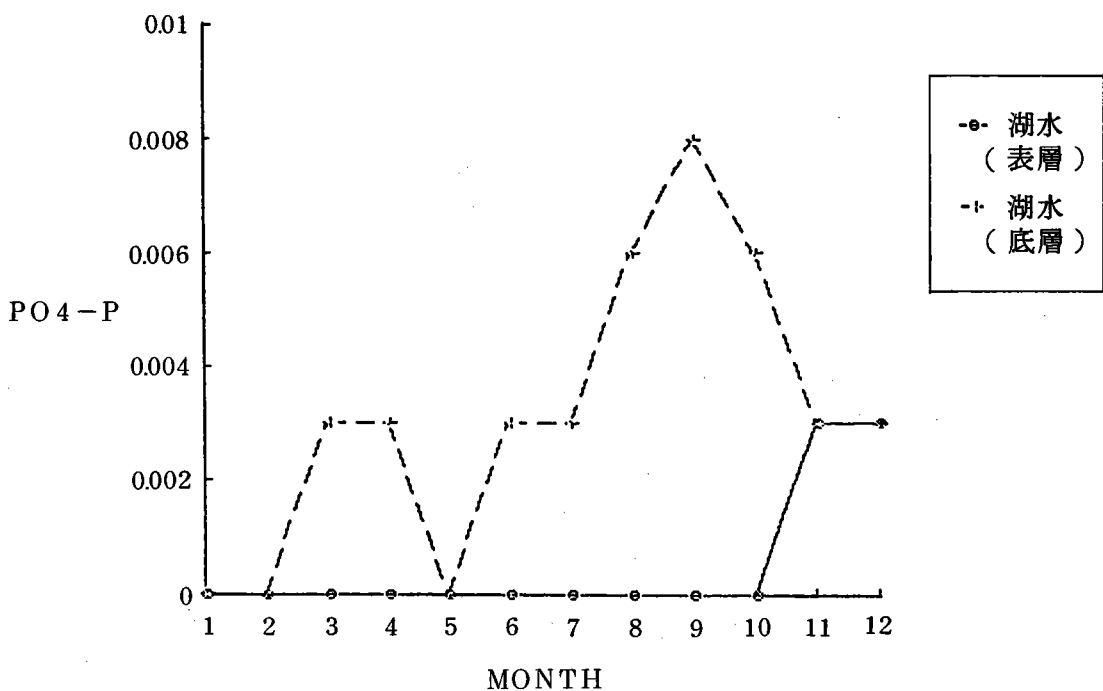


図4-5 湖水中のリン酸態リン濃度の季節変化

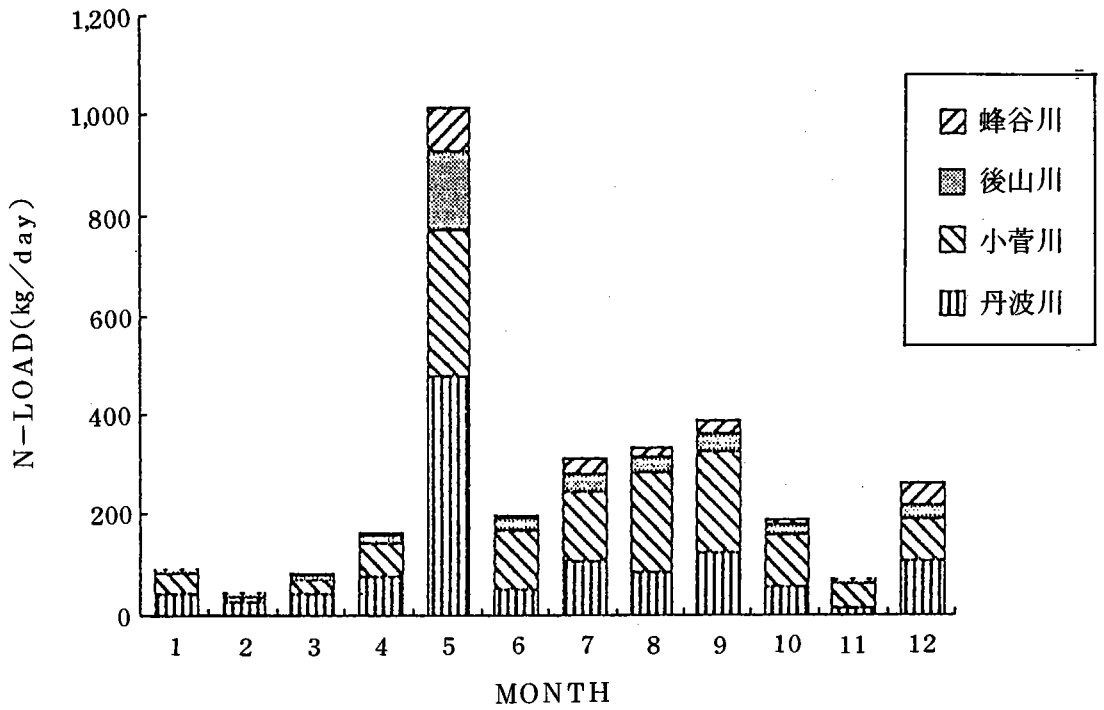


図4-6 流入河川からの窒素負荷量の季節変化(昭和61年)

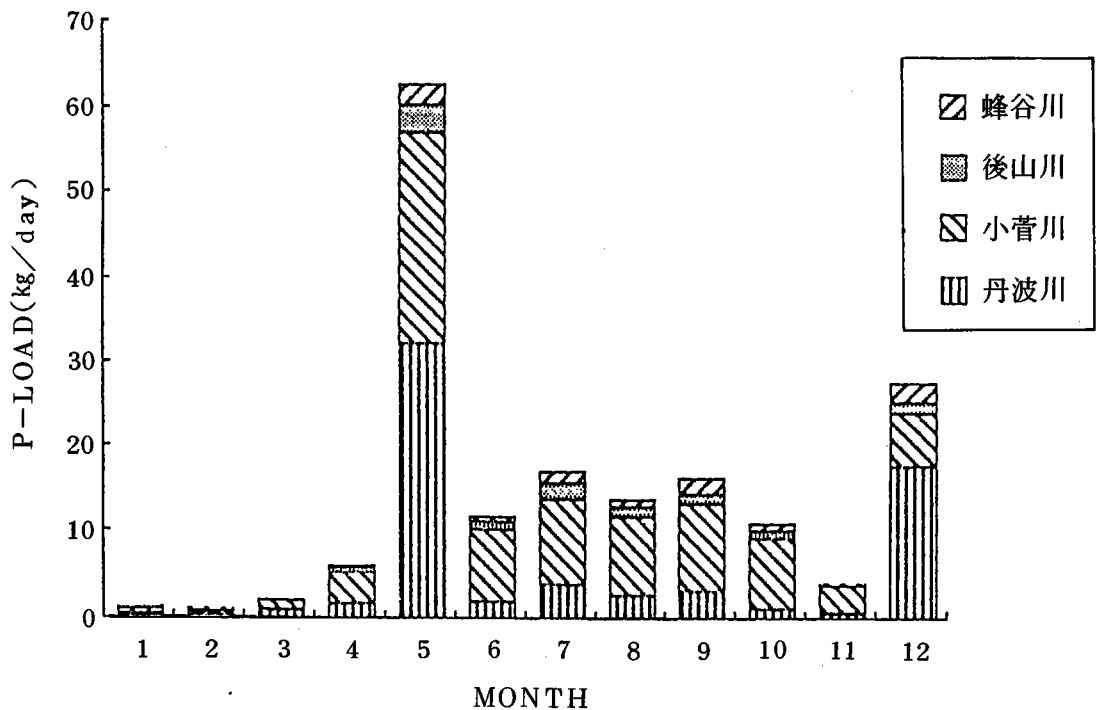


図4-7 流入河川からのリン負荷量の季節変化(昭和61年)

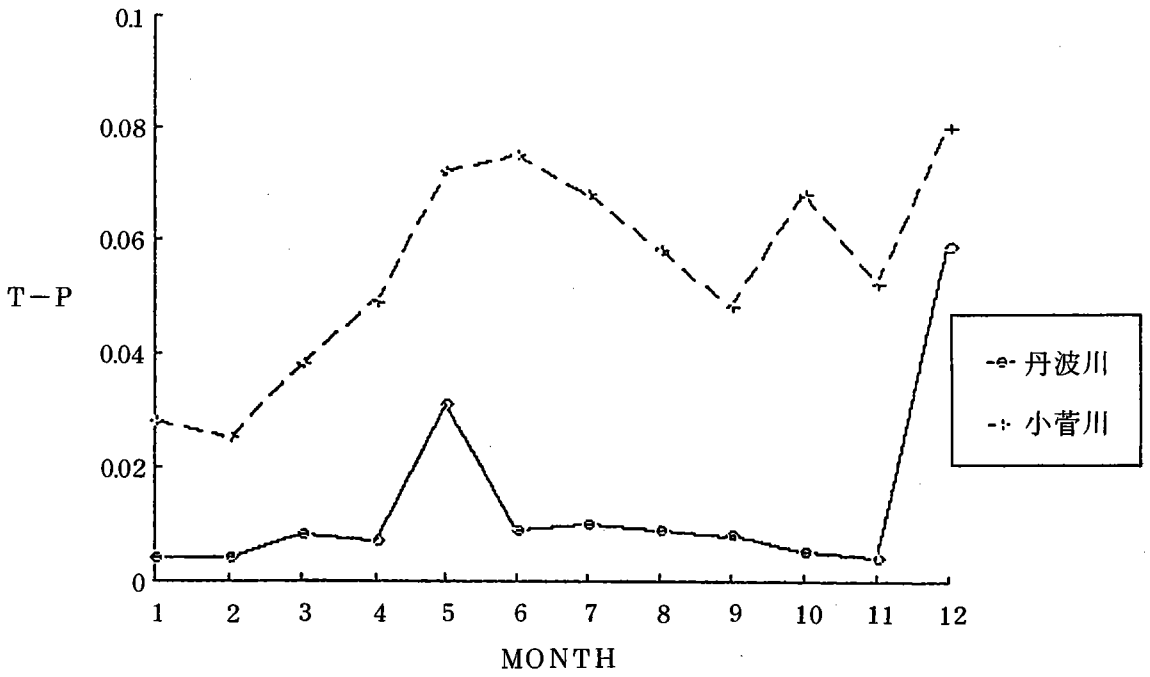


図4-8 丹波川、小菅川における全リン濃度の季節変化

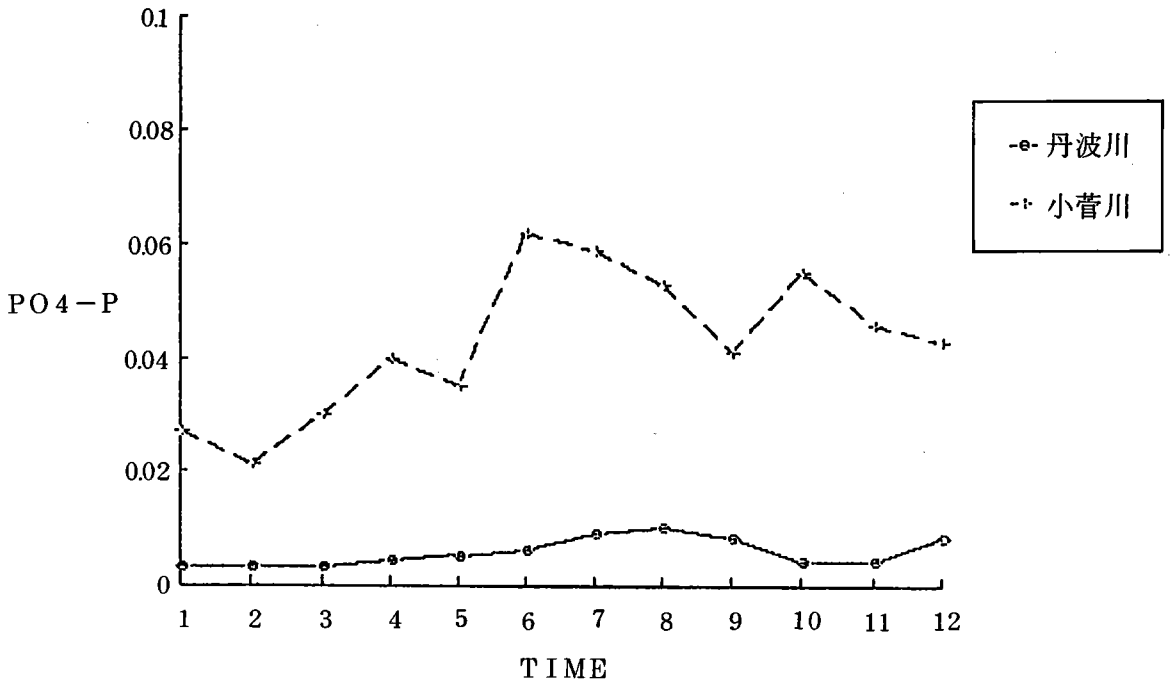


図4-9 丹波川、小菅川におけるリン酸態リン濃度の季節変化

4. 3 奥多摩湖へのシステムの適用結果

作成したシステムを、相模湖（神奈川県、山梨県）流域の汚濁負荷解析に適用した。以下、コンピュータディスプレイの写真をもとに適用結果を示す。

まず、図4-10は初期画面である。初めて入力する場合は、「1. 新規入力」を選択して、流域、行政区画等を入力する。

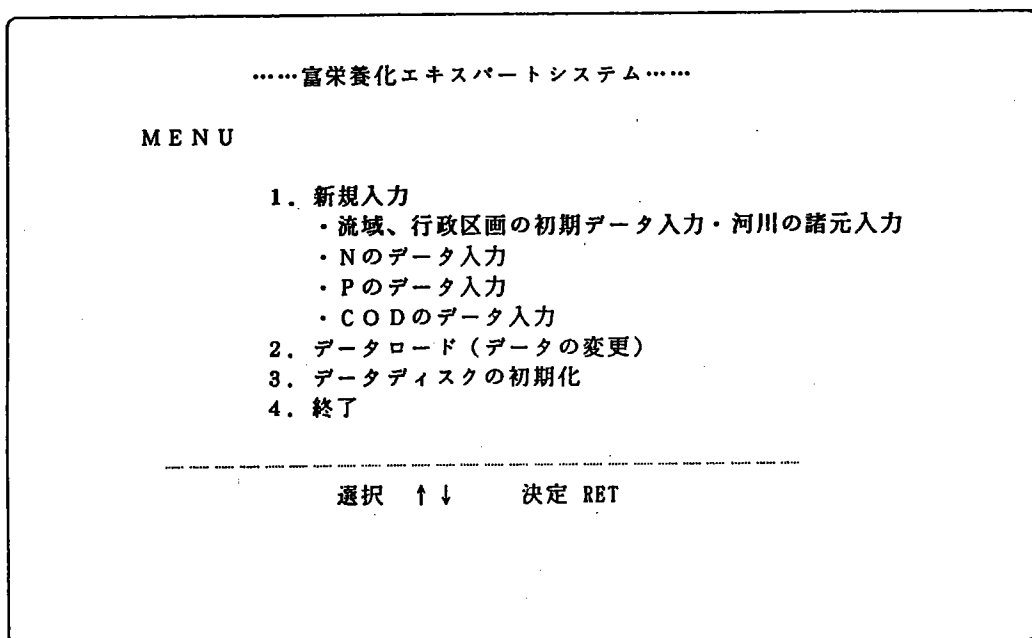


図4-10 初期画面

図4-11は原単位に対応する数量データの一覧表である。表の列は発生源に対応する。ここでは、表4-4のフレームに基づき、し尿、浄化槽、雑排水、観光（その他）、水産養殖（畜産）、工業、自然（林）の7種を選択した。また、行は流域（5流域）および行政区画（4市町村）の組合せである。図4-12、および図4-13にはファンクションキーで選択した原単位及び排出量の一覧表を示す。

図4-14は一覧表の丹波川・丹波山村における林地を選択し、その原単位、原数量（面積）、発生量、排出率、排出量を入力ならびに修正するためのマルチウィンドウを呼び出した状態を示す。この場合は、林地が1種類であるが、同一種に分類される発生源に複数の排出源が存在する場合は、図4-15に示すマルチウィンドウとなる。この場合、し尿の「1. 収集処理」と「2. 自家処理」（畑地への還元）の2形態を考慮した（上部のウィンドウ）。画面は「1. 収集処理」を選択し、その入力、修正のウィンドウ（下部）を示している。また、図4

1. 数量	2. 原単位	3. 発生量	4. 排出率	5. 排出量				
river・district	し尿	浄化	雑排	他	畜産	工場	林	total
丹波川・塩山市	0.1	0.1	0.2	6.2	10.4	0.0	64.4	81.4
丹波川・丹波山村	0.9	0.0	0.9	128.9	13.0	1.1	93.8	238.6
小菅川・小菅村	1.0	0.1	1.1	58.3	200.0	0.8	42.3	303.5
峰谷川・奥多摩町	0.3	0.0	0.3	202.0	—	—	15.5	218.1
湖畔1・小菅村	0.0	—	0.0	—	—	—	—	0.1
湖畔1・丹波山村	0.2	—	0.2	—	—	—	—	0.4
湖畔1・奥多摩町	0.2	—	0.2	23.7	—	—	20.8	44.8
湖畔2・奥多摩町	0.1	—	0.1	796.9	—	—	24.9	822.0
total	2.8	0.2	3.1	%1215	223.4	1.9	261.7	%1708

図4-11 原数量データの一覧表

1. 数量	2. 原単位	3. 発生量	4. 排出率	5. 排出量				
river・district	し尿	浄化	雑排	他	畜産	工場	林	total
丹波川・塩山市	0.3	0.3	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
丹波川・丹波山村	0.3	0.3	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
小菅川・小菅村	0.3	0.3	0.2	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1
峰谷川・奥多摩町	0.3	0.3	0.2	0.0	—	—	0.0	0.2
湖畔1・小菅村	0.3	—	0.2	—	—	—	—	0.2
湖畔1・丹波山村	0.3	—	0.2	—	—	—	—	0.3
湖畔1・奥多摩町	0.3	—	0.2	0.0	—	—	0.0	0.1
湖畔2・奥多摩町	0.3	—	0.2	0.0	—	—	0.0	0.1
total	0.3	0.3	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2

図4-12 原単位一覧表

1. 数量 2. 原単位 3. 発生量 4. 排出率 5. 排出量 HELP MAIN

river・district	し尿	浄化	雑排	他	畜産	工場	林	total
丹波川・塩山市	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	1.4	1.6
丹波川・丹波山村	0.0	0.0	0.2	0.0	0.1	0.0	2.1	2.4
小菅川・小菅村	0.0	0.0	0.2	0.0	1.7	0.1	0.9	3.0
峰谷川・奥多摩町	0.0	0.0	0.1	0.0	—	—	0.3	0.4
湖畔1・小菅村	0.0	—	0.0	—	—	—	—	0.0
湖畔1・丹波山村	0.0	—	0.0	—	—	—	—	0.0
湖畔1・奥多摩町	0.0	—	0.0	0.0	—	—	0.5	0.5
湖畔2・奥多摩町	0.0	—	0.0	0.0	—	—	0.5	0.6
total	0.0	0.1	0.7	0.1	2.0	0.1	5.8	8.6

図4-13 排出量一覧表

1. 数量 2. 原単位 3. 発生量 4. 排出率 5. 排出量 HELP DATA

river・district	し尿	浄化	雑排	他	畜産	工場	林	total
丹波川・塩山市	0.1	0.1	0.2	6.2	10.4	0.0	64.4	81.4
丹波川・丹波山村	0.9	0.0	0.9	128.9	13.0	1.1	93.8	238.6
小菅川・小菅村	1.0	0.1	1.1	58.3	200.0	0.8	42.3	303.5
峰谷川・奥多摩町	0.3	0.0	0.3	202.0	—	—	15.5	218.1
湖畔1・小菅村	0.0	—	0.0	—	—	—	—	0.1
湖畔1・丹波山村	0.2	—	0.2	—	—	—	—	0.4
湖畔1・奥多摩町	0.2	—	0.2	23.7	—	—	20.8	44.8
湖畔2・奥多摩町	0.1	—	0.1	796.9	—	—	24.9	822.0
total	丹波川・丹波山村 林 (林)							

	数量	原単位	発生量	排出率	排出量
1	62.90	99	0.02	70	1.38 85
2	93.80	99	0.02	70	2.06 85
3	—	—	—	—	—
det.	93.80	99	0.02	70	2.06 85

数量 ■

図4-14 入力/修正のためのマルチウィンドウ
(丹波川・丹波山村における林地)

1.数量 2.原単位 3.発生量 4.排出率 5.排出量

HELP DATA

river・district	し尿	浄化	雑排	他	畜産	工場	林	total
丹波川・塩山市	0.1	0.1	小菅川・小菅村		EDM=233			4
丹波川・丹波山村	0.9	0.0	source		数量			6
小菅川・小菅村	1.0	1.1	1	収集	0.32			99
峰谷川・奥多摩町	0.3	0.0	2	自家処理	0.66			99
湖畔1・小菅村	0.0	-	total		0.98			99
湖畔1・丹波山村	0.2	-	num or ESC			1		4
湖畔1・奥多摩町	0.2	-	0.2	23.7	-	-	20.8	44.8
湖畔2・奥多摩町	0.1	-	0.1	796.9	-	-	24.9	822.0
tota 小菅川・小菅村 し尿 (収集)								

	数量	原単位	発生量	排出率	排出量
1	0.32	99	0.33	70	0.11
2	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-
det.	0.32	99	0.33	70	0.11
				85	0.01
				90	0.00
				88	

数量 ■

図4-15 複数の排出源が存在する場合のマルチウィンドウ

1.数量 2.原単位 3.発生量 4.排出率 5.排出量

HELP DATA

river・district	し尿	浄化	雑排	他	畜産	工場	林	total
丹波川・塩山市	0.1	0.1	0.2	6.2	10.4	0.0	64.4	81.4
丹波川・丹波山村	0.9	0.0	0.9	128.9	13.0	1.1	93.8	238.6
小菅川・小菅村	1.0	0.1	1.1	58.3	200.0	0.8	42.3	303.5
峰谷川・奥多摩町	0.3	0.0	0.3	202.0	-	-	15.5	218.1
湖畔1・小菅村	0.0	-	0.0	-	-	-	-	0.1
湖畔1・丹波山村	0.2	-	0.2	-	-	-	-	0.4
湖畔1・奥多摩町	0.2	-	0.2	23.7	-	-	20.8	44.8
湖畔2・奥多摩町	0.1	-	0.1	796.9	-	-	24.9	822.0

tota 小菅川・小菅村 畜産 (水産養殖)

	数量	原単位	発生量	排出率	排出量
1	200.00	99	0.01	70	1.84
2	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-
det.	200.00	99	0.01	70	1.84
				85	95.00
				90	1.75
				88	

数量 ■

図4-16 水産養殖(畜産の欄)のウィンドウ

1. 数量	2. 原単位		3. 発生量		4. 排出率		5. 排出量		HELP DATA	
river・district	し尿	浄化	雑排	他	畜産	工場	林	total		
丹波川・塩山市	0.1	0.1	0.2	6.2	10.4	0.0	64.4	81.4		
丹波川・丹波山村	0.9	0.0	0.9	128.9	13.0	1.1	93.8	238.6		
小菅川・小菅村	1.0	0.1	1.1	58.3	200.0	0.8	42.3	303.5		
峰谷川・奥多摩町	0.3	0.0	0.3	202.0	—	—	15.5	218.1		
湖畔1・小菅村	0.0	—	0.0	—	—	—	—	0.1		
湖畔1・丹波山村	0.2	—	0.2	—	—	—	—	0.4		
湖畔1・奥多摩町	0.2	—	0.2	23.7	—	—	20.8	44.8		
湖畔2・奥多摩町	0.1	—	0.1	796.9	—	—	24.9	822.0		
total 峰谷川・奥多摩町 雑排水 (雑排水)										

	数量		原単位		発生量		排出率		排出量	
1	0.32	99	0.22	50	0.07	75	100.00	90	0.07	83
2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
det.	0.32	99	0.22	50	0.07	75	100.00	90	0.07	83

数量 ■

図4-17 雑排水のウィンドウ

1. 数量	2. 原単位		3. 発生量		4. 排出率		5. 排出量		HELP OFF	
river・district	し尿	浄化	雑排	他	畜産	工場	林	total		
丹波川・塩山市	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	1.4	1.6		
丹波川・丹波	COMMAND									
小菅川・小菅										
峰谷川・奥										
湖畔1・小	river・district	depth	width	rate	leng.	dischrg.	rate	run off		
湖畔1・丹	丹波川・塩山市	0.5	10.0	0.9	8.0	1.6	0.0	0.0		
湖畔1・奥	丹波川・丹波山村	0.8	12.0	0.5	5.0	2.4	0.0	0.0		
湖畔2・奥	小菅川・小菅村	0.5	8.0	0.4	5.3	3.0	0.0	0.0		
total	峰谷川・奥多摩町	0.3	4.0	0.5	2.0	0.4	0.0	0.0		
	湖畔1・小菅村	1.0	5.0	1.9	0.1	0.0	0.0	0.0		
	湖畔1・丹波山村	1.0	5.0	1.9	0.1	0.0	0.0	0.0		
	湖畔1・奥多摩町	1.0	5.0	1.9	0.1	0.5	0.0	0.0		
	湖畔2・奥多摩町	1.0	5.0	1.9	0.1	0.6	0.0	0.0		

図4-18 河川の水深、幅、流速、流下距離、流量の入力

1.数量 2.原単位 3.発生量 4.排出率 5.排出量

HELP OFF

river·district	し尿	浄化	雑排	他	畜産	工場	林	total
丹波川・塩山市	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	1.4	1.6

丹波川・丹波

COMMAND

小菅川・小

峰谷川・奥

湖畔1・小

湖畔1・丹

湖畔1・奥

湖畔2・奥

tota

river·district	depth	width	rate	leng.	dischrg.	rate	run off
丹波川・塩山市	0.5	10.0	0.9	8.0	1.6	83.1	1.3
丹波川・丹波山村	0.8	12.0	0.5	5.0	2.4	88.8	3.3
小菅川・小菅村	0.5	8.0	0.4	5.3	3.0	85.2	5.4
峰谷川・奥多摩町	0.3	4.0	0.5	2.0	0.4	95.5	5.6
湖畔1・小菅村	1.0	5.0	1.9	0.1	0.0	99.9	5.6
湖畔1・丹波山村	1.0	5.0	1.9	0.1	0.0	99.9	5.6
湖畔1・奥多摩町	1.0	5.0	1.9	0.1	0.5	99.9	6.1
湖畔2・奥多摩町	1.0	5.0	1.9	0.1	0.6	99.9	6.7

図4-19 自浄作用(流達量)の計算結果

double layers model for lake

A r c a [m²] 4.25E+06

D e p t h [m] 44.5

F l o w [m³/s] 9.5

P i n [mg/l] 0

ok?

図4-20 湖面積、水深、流入水量、流入リン量の入力

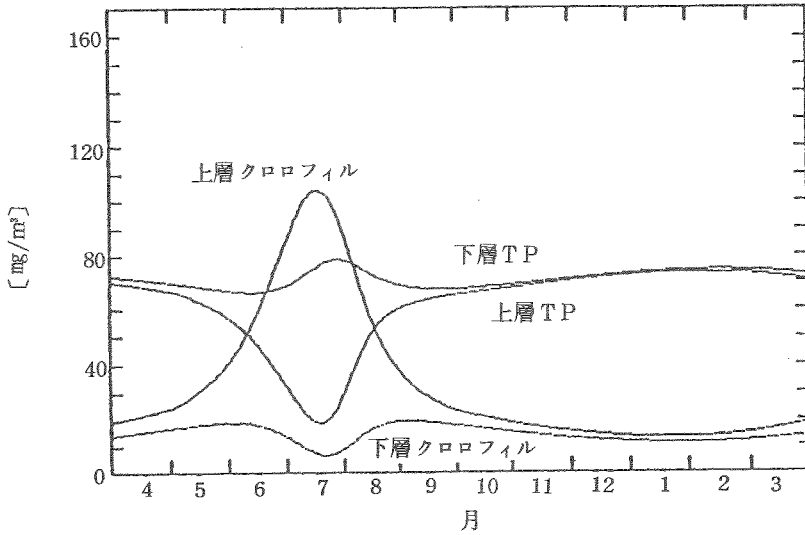


図4-21 水質予測結果の一例

一16、および図4-17には、それぞれ水産養殖（畜産の欄）および雑排水のウィンドウを示す。

これらの入力結果をもとに、河川における自浄作用のシミュレーションを行なう。図4-18は、計算に必要な河川の水深、幅、流速、流下距離、流量を入力した状態を示す。さらにイコールキーにより、自浄作用の計算を実施した結果を図4-19に示す。この図では流達率ならびに流達量が既に出力されている。

さらに、湖沼の富栄養化予測のためのモデル計算に必要な湖面積、水深、流入水量、ならびに上記の負荷計算で求めた流入リン量を図4-20に示す。この結果に基づいて計算した水質予測結果の一例を図4-21に示した。

5. おわりに

流域管理のためのエキスパートシステムの開発は、経験も少なく、システムとしてまだ不十分な点が多い。しかし、他のコンピュータシステムと同様、汚濁負荷流出に関する実験的研究成果の蓄積と本システムの利用が進むにつれ、それがシステムの改善にフィードバックされるものと考えている。関連機関による本システムの利用、ならびに問題点の指摘を期待するものである。