

溪間工が河床形態(瀬・淵構造)に及ぼす 影響と溪流魚類の生息に関する研究

2000年

山下 晃

放送大学教養学部

は　じ　め　に

本報告書は、財団法人とうきゅう環境浄化財団の一般研究として、平成10、11年度の2ヶ年にわたって実施した研究の取りまとめである。

本研究は、多摩川という多様な自然社会特性を有する水系のうち、土砂災害防止あるいは山地緑化というような目的で治山・砂防事業が行われる、山地渓流域を対象としたものである。

戦中戦後の木材資源特需によって著しい荒廃を起こした国内の山林は、カスリーン台風を始めとする昭和20年代の大型台風の襲来によって、未曾有の災害を各地で引き起こした。このような災害を受けて、国土保全あるいは災害防止を一義的な目的とした治山・砂防事業の整備が進み、山地の回復とともに土砂災害の規模は着実に縮小してきた。

一方で、山地溪流という一次的な自然環境が残された場所にとって、各種の防災工事が及ぼす影響が指摘されるようになり、とくに産卵活動を含んだライフサイクルを砂防ダムのような構造物（溪間[けいかん]工）によって遮断される溪流魚への問題にスポットが当てられる機会が多い。

「環境」と「防災」という2つの目的が重なり合うなかで、これまでのところ人命・財産の保全という観点のみが全面に押し出されて来た感があるが、今後の、山地溪流における持続可能な防災事業を遠望すると、よりヒューマンインパクトの少ない計画・工事が行われる必要がある。

改訂された『河川法』においては、環境の保全という項目が内部目的として明記された。一方の山間溪流に対する法律である『砂防法』は未だ従来のままを踏襲しており、「治水上砂防」という厳然とした目的のみに従って事業が実施されている。とは言え、個別の施設設置などに関しては、河道を遮断しないスリット型のダムが検討されたり、より確実な遡上が期待できる魚道の研究が活発に行われたりもしている。

以上のような、山地溪流を取り巻く現状を踏まえて、自然溪流が本来的に持っている特性を調査・検討し、多摩川流域の溪流をモデルとしながら、今後、防災工事が配慮する事の出来る事項について考察し、溪流環境と調和した防災事業の可能性を検討した。

本研究の実施にあたり、研究計画の採用および絶え間ない御指導・御支援を賜りました、財団法人とうきゅう環境浄化財団および関係の諸氏に御礼を申し上げるとともに、今後、多摩川と人々の関わりが、ますます充実したものとなりますよう、御祈念申し上げます。

目 次

はじめに

1. 研究の概要	1
1.1 研究の目的	1
1.2 研究の手順	1
2. 流域特性の概要	3
2.1 流域概要	3
2.2 地形概要	5
2.3 地質概要	9
2.4 水系網	13
2.5 植 生	15
2.6 社会条件	19
2.7 流域特性の取りまとめ	20
3. 検討対象範囲の設定	21
3.1 検討対象範囲の設定	21
3.2 流域区分	21
3.3 流域の変遷	21
3.4 対象範囲のまとめ	26
4. 現地調査	28
4.1 現地概査	28
4.2 現地調査	31
5. フラクタルを用いた流域多様性指標の提案	60
5.1 フラクタル総論	60
5.2 フラクタルと水系網解析手法	61
5.3 トポロジーと組み合わせたフラクタル解析	67
5.4 フラクタル次元のまとめと今後の可能性	70

6. 防災工事における溪流魚類との関わりについて	71
6.1 砂防事業から見た溪流魚の特性	71
6.2 生態的な特性	72
6.3 社会的要因（放流事業）による特性	73
6.4 防災面から見た溪流魚	74
6.5 魚道の再検討	75
6.6 分類項目ごとの検討	76
6.7 検討フローの概念	79
6.8 取りまとめ	81
7. 溪流における環境・防災の調和について（まとめ）	83
7.1 水系レベルでの多様性	84
7.2 数100m～数kmレベルでの多様性	84
7.3 数100mレベルでの多様性	85
7.4 数mレベルでの多様性	89
7.5 結びと今後の課題	89
参考資料など	91
巻末資料	
1. フラクタル次元の計測過程	95
2. 流路に対するトポロジーの計測過程	105
3. 高尾山確認生物（参考）	108

1. 研究の概要

1.1 研究の目的

多摩川流域を含む国内の多くの山地河川では、治山・砂防による防災施設が整備されているが、これら施設による周辺環境への影響が問われており、溪流魚の遡上障害や工事に伴う植生の破壊、あるいは濁水や湛水による水質の悪化が大きな問題となっている。

上記の構造物に起因する問題の一つとして、流路の単調化が挙げられる。溪流には、瀬と淵を単位とする生物学的河床形態があり、水生生物の棲み場所や産卵・逃避行動などと密接な関わりを持った「流れ」が存在する。この自然河道に砂防ダムや護岸工のような構造物が設置された場合、河床の安定化や側岸浸食の防止といった防災的な機能によって、非常に単調化した流れが固定される結果となる。

流れの単調化に寄与する因子を解析し、多摩川という自然・社会条件が複雑に入り組んだ流域での現状を基に、防災的な機能を損なわずに、より原環境に近い流れを復元するための手法を見いだす足掛かりをつかむことを目的とする。

1.2 研究の手順

1.2.1 資料収集・整理

研究の基礎データとなる各種の資料を収集し、整理する。具体的に収集すべき資料は、

- 地形図 (1/25,000、1/50,000、1/200,000)
- 植生図 (1/50,000、1/200,000)
- 地質図 (1/50,000、1/200,000)
- 多摩川流域に関する諸資料

である。多摩川流域に関する諸資料は、多摩地区の図書館（国立・府中など）や公共の施設を活用し、より多くのデータ収集に努めることとする。

主な収集資料としては、

- 降雨データ
- 小河内ダム関連の統計的資料
- 水位、流量などに関する資料
- 治山、砂防事業に関する資料
- 内水試関連の資料
- 既往災害に関する資料
- 観光ガイド
- 釣り情報誌

などが考えられる。

1.2.2 流域諸元整理

各種の基礎資料を基に、地形計測（勾配区分・流域区分・面積計測など）を行い、流域の諸元を明らかにする。

1.2.3 ゾーニング（研究対象流域の設定）

各種基礎資料や流域諸元を総合的に判断して、多摩川流域をゾーニングする。この際に、研究対象流域を設定し、各種の流域特性（自然・社会・防災・気象など）から見て、違いが明確な流域ごとに大区分する。

1.2.4 現地調査

ゾーニングされた区分流域内に現地調査対象溪流を原則1溪流設定し、調査対象溪流とする。この際、研究の規模・期間などから考えて、最大10溪流を一つの目処として設定する。

また、現地調査項目などの詳細については、別途、検討し実施案を作成する。現時点で考えられる調査項目としては、

- 河床形態（瀬・淵構造）の測定、スケッチ
- 表面礫径調査（線格子・面格子）
- みおすじ幅、河道幅、河床高などの概略測定
- 構造物調査（諸元など）

以下、必要に応じて

- 河床横断測量
- 篩い分け試験を伴う、粒度分布調査

などである。

2. 流域特性の概要

2.1 流域概要

研究対象流域の多摩川は、山梨県笠取山（標高1,941m）に水源を発し、東流しながら東京都と神奈川県を流下して東京湾にそそぐ幹川流路長138km、流域面積1,240km²の都市河川である。全流域面積のうち山地が68%、平地は32%を占めている。年間降水量は約1,400mmで、流量は6月～9月に豊富で冬季に少なくなることが多い。

図-2.1.1に流域の概況を示す。



図-2.1.1 多摩川流域概観図

水源より流下した水は、奥多摩湖（小河内ダム）でいったん貯留され、発電用として放流される。ダム湖下流では下層水放流の影響で夏期の水温が低い。その後、羽村取水堰で相当量が取水され（玉川上水）、東京都の都市用水として利用された後、下水処理場などを経由して再び多摩川に流入する。秋川など比較的水質の良い流入河川もあるが、羽村堰下流では水質の悪化が顕著である。

河川の形態としては、拝島橋より上流域では山地溪流の景観を示し、それより下流では中流域～感潮区間となっている。

2.2 地形概要

多摩川は流域の中程を境として、平地・丘陵地帯と山間地が明瞭に判別される。

対象流域の地形状況を把握する目的で、50mメッシュのデジタル標高データを用いた鳥瞰図を作成した。

図-2.2.1に示す。



図-2.2.1 流域鳥瞰図

流域は概ね東西方向に細長く広がっているため、鳥瞰図からも、その形状が明らかに捉えられる。支川浅川と多摩川本川の合流点付近が地形勾配の遷急線となっており、概ねこれより上流側が山間地域となっている。

また、流域内の標高分布状況を把握する目的で、適当な等高線で標高を区切った、高度分布状況図を、図-2.2.2に示す。

これからも、流域の半分くらいの地点から傾斜区分が急になる様子を把握することが出来る。

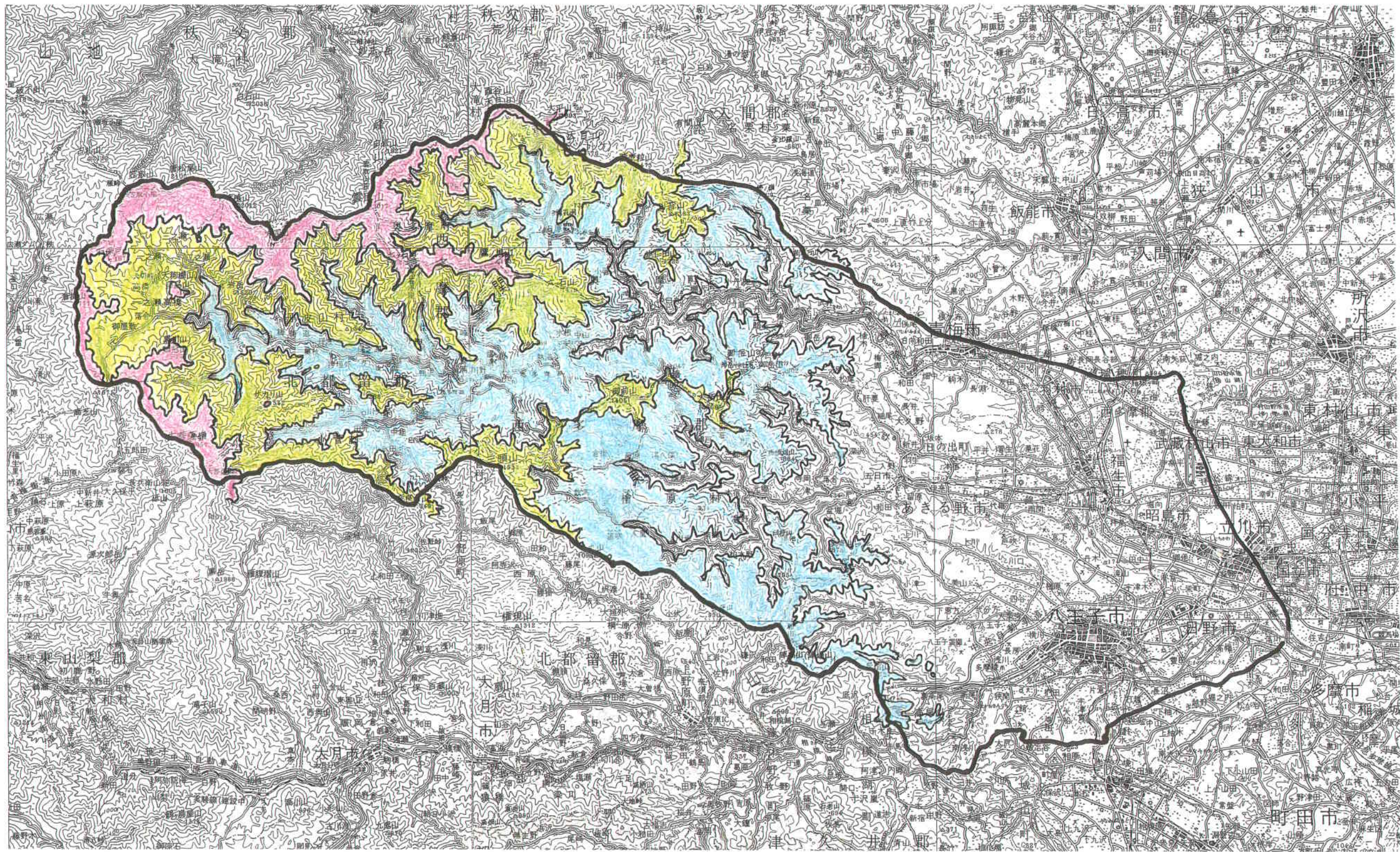


図-2.2.2 高度分布状況図

1 : 200,000

0 5 10 15 20 キロメートル

2.3 地質概要

流域の地質は、堆積岩類が中心の比較的安定した層からなっている。ここでは、山地上流部の地質に関して、地質図を用いた検討を行った。

図-2.3.1に地質図を示す。

地質図に示された下流端は、聖蹟桜ヶ丘付近であるが、このあたりは急勾配河川の谷出口的な箇所にあたるため、河川が洪水によってもたらした砂岩・泥岩などを主体とする堆積岩類からなっている。ただし、地形的には平野から丘陵地に区分される。

流域の南縁に沿って分布しているオレンジ色の部分は、砂岩泥岩互相や千枚岩を含む地質で、高尾山などの河床やハイキングコースの露頭でも容易に確認することができる。これらの基岩は、現場で確認する限り比較的堅固なものである。ただし、地形的な傾斜から、岩盤が流れ板状になって、崩落を起こすような箇所も見られる。

一方で流域の北縁側に広がる灰色の範囲については、砂岩・泥岩を主体としながらも、一部にチャートの侵入が見られるところでもある。

鷹巣山を含む青みがかった範囲は、凝灰質な左岸を含んでおり、土砂災害的な観点からは、若干、危険度が高い範囲として考えておく必要がある。

山梨県側を含む最上流部には、花崗岩地域が分布しており、流域内唯一の火成岩分布が見られる。高標高地帯であることも含めて、荒廃のポテンシャルが最も高い流域である。

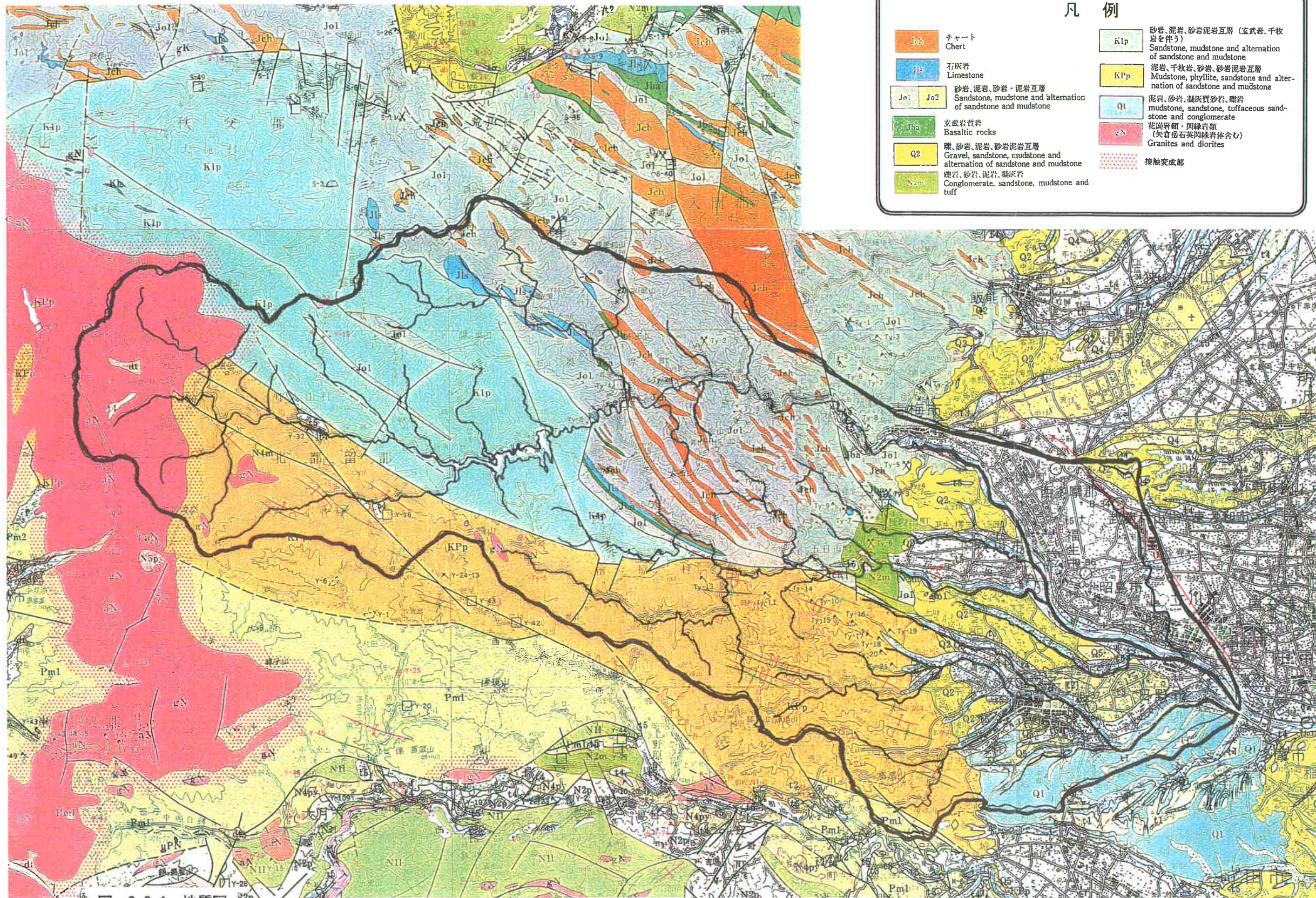
以上のような概略の地質分布から考えると、最上流域の花崗岩地域を除いては、概ね、砂岩・泥岩を主体とした地質と見なすことが出来、部分的に未固結な弱い部分をはらんでいると取りまとめる事が出来る。

地質の特性は、土砂流出あるいは植生の成立といった、防災・環境ともに基本的な要素となるため、基本事項として有用な情報である。

また、多摩川の河原に見られる代表的な礫¹⁾について地質図以降に示す。

1) 多摩川の代表的な小石より

<http://www.kahaku.go.jp/scicom/map/koishi/sec3/sec32p1.html>



凡例

- | | |
|--|--|
| Jch チャート
Chert | Klp 砂岩、泥岩、砂岩泥岩互層 (玄武岩、千枚岩を伴う)
Sandstone, mudstone and alternation of sandstone and mudstone |
| Jls 石灰岩
Limestone | KPp 泥岩、千枚岩、砂岩、砂岩泥岩互層
Mudstone, phyllite, sandstone and alternation of sandstone and mudstone |
| Jol Jo2 砂岩、泥岩、砂岩・泥岩互層
Sandstone, mudstone and alternation of sandstone and mudstone | Q1 泥岩、砂岩、凝灰質砂岩、礫岩
mudstone, sandstone, tuffaceous sandstone and conglomerate |
| Jba 玄武岩質岩
Basaltic rocks | GN 花崗岩類・閃緑岩類 (矢倉岳石英閃緑岩体を含む)
Granites and diorites |
| Q2 礫、砂岩、泥岩、砂岩泥岩互層
Gravel, sandstone, mudstone and alternation of sandstone and mudstone | [Symbol] 接触変成部 |
| N2m 礫岩、砂岩、泥岩、凝灰岩
Conglomerate, sandstone, mudstone and tuff | |

図-2.3.1 地質図



凝灰岩



礫岩



砂岩



泥岩



石灰岩

これらの分布も地質的な条件と一致しており、火成岩類としては凝灰岩程度で、上流部の花崗岩については小河内ダムによって土砂移動が遮断されていることもあり、中下流部で確認する事は困難である。

2.4 水系網

水系の形は流域の方向と同じく東西方向を基本としている。

地形図から主だった水系を抜き出した水系図を図-2.4.1に示す。

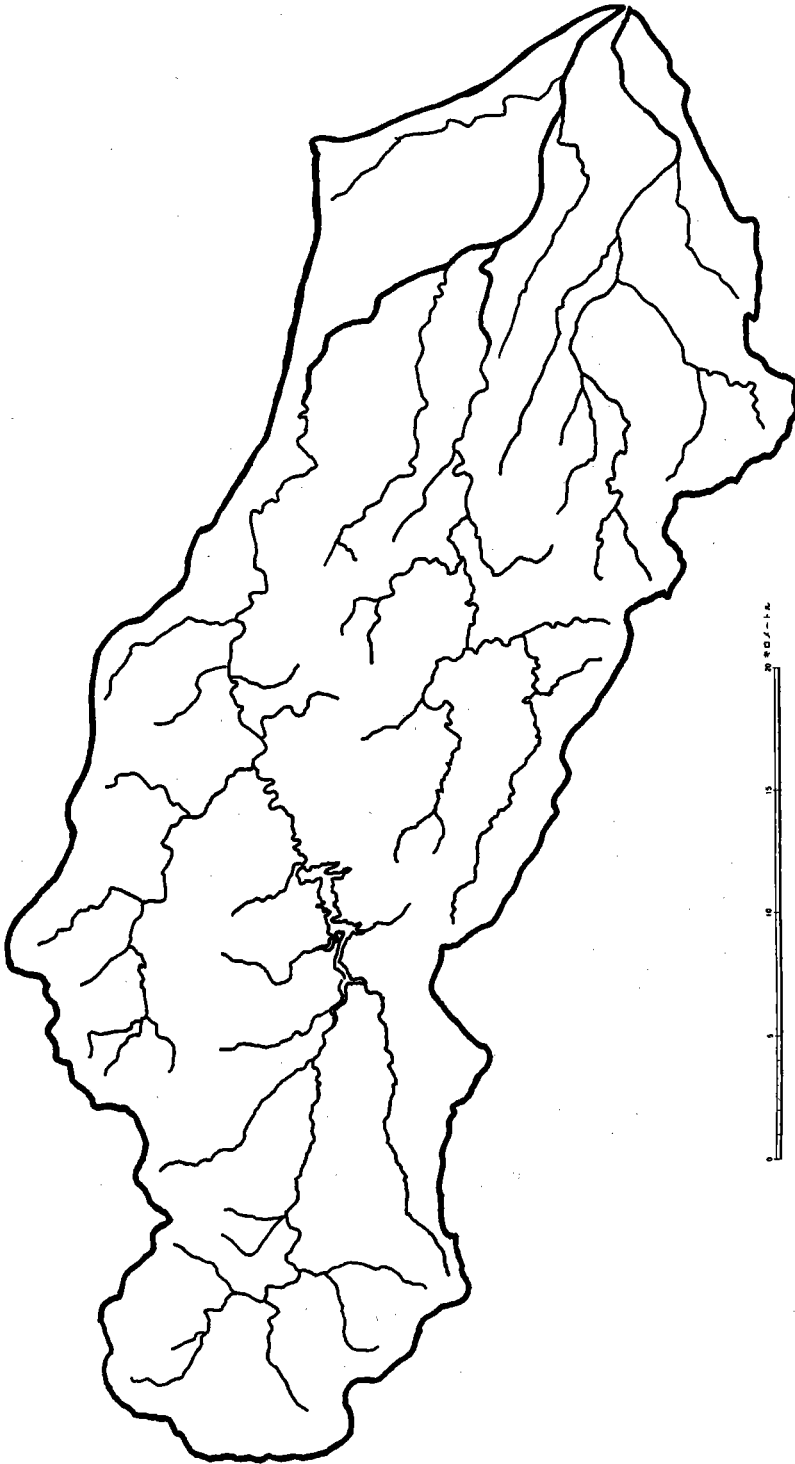


図-2.4.1 水系図

多摩川本川は、丹波川から小河内ダムを経たところで北側に走行を変え、青梅市付近では流域の北縁に沿うような形で流下している。その後福生市付近の台地状地形を避ける格好で南よりに進路を取り、府中市付近からは河口部羽田に向けて、大凡東～東南方向に延びている。

主要な支川としては、浅川が挙げられ、高尾山方面から八王子市の中心を抜けて、聖蹟桜ヶ丘付近で本川と合流している。

また、昭島市付近で多摩川と合流する秋川も比較的大きな流域を持った支川で、上流部は、北秋川、南秋川の2流域に分かれている。

多摩川上流の支川は、東西に走る本川に対して、南北方向に広がっており、典型的な樹枝状水系を示している。

水系は、水流の配置によって樹枝状・格子状・平行状・環状・放射状などの水系模様分類されるが、樹枝状水系は主流路や主要支川から低次の水流が分派し、全体で見ると樹木のような形状になっている。

一般的に上流域が花崗岩などの比較的浸食されやすい岩石からなり、あまり異なった種類の岩石が混じっていない地域に多いとされる樹枝状流域の特性と一致している。

図-2.4.2に樹枝状水系のイメージを示す。

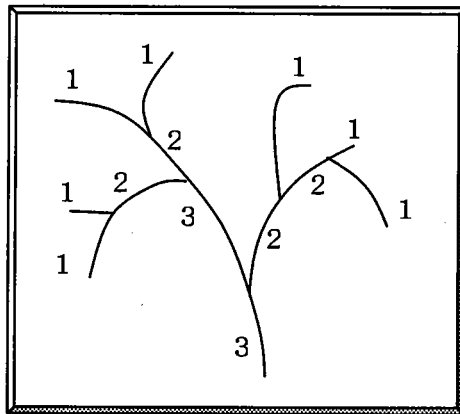


図-2.4.2 樹枝状水系のイメージ

2.5 植 生

植生は流域の生態系の根幹を成すものであると同時に、地質や地形といった土砂移動ポテンシャルの要因とも繋がりが深く、重要な指標の一つである。

図-2.5.1に上流域を中心とした植生図を、また続くページに凡例を示す。

中流部の多摩川本川沿いには、開けた河道環境を反映して、オギ群落が卓越しており、河川敷公園や水田など、流域住民の生活が反映された植生分布が現れている。

山地地域は黄土色の植林を境界として始まっているが、この境は地形的な勾配変化線に比べて上流よりになっている。これは宅地などの人為による開発、土地利用が地形的に急な部分にまで及び始めていることを示唆している。

当該流域での植林は、スギ・ヒノキ・サワラを主体とするもので、部分的にカラマツの林分を含んでいる。標高の高い地域にはミズナラ・クリ群落が見られ、里山の植生とされる薪炭林的な樹種を含む二次林となっている。河川に沿って、比較的平坦な谷底平野が形成され、昔から人々の生活が営まれていた南秋川沿いには、コナラの群落も分布している。

ブナクラス植生域は最高標高地域に限定されており、雲取山を始めとする山岳斜面にツクバネウツギを従えた形で区分されている。ブナに関しては例外的に高尾山にも生育が見られているが、標高の比較的低い地域では、多くはイヌブナ主体となっている。

多摩川流域の植生として特徴的としては、裸地が少ないという点を挙げることができる。国内の水系源頭部では、乱伐による表土の流出や大規模崩壊の影響で、植生が着かないケースが非常に多い。関東圏内でも、富士川や渡良瀬川（利根川）など、戦後の台風や集中豪雨によって、非常に荒廃した状況残されている流域が多い。

多摩川が安定している事に関しては、大きな規模の降雨を受けていないことや、冬季に積雪が少ないこと（雪崩の発生が無い）に加えて、地質的な要因ならびに、豊かな植生が形成されていることなどが考えられる。

いずれにしても、東京都という人口過密地域に含まれながら、非常にまとまった形で森林が形成されていると条件は、流域の自然社会特性および防災ポテンシャルに対して、非常に重要な事項として認識しておかなければならない。

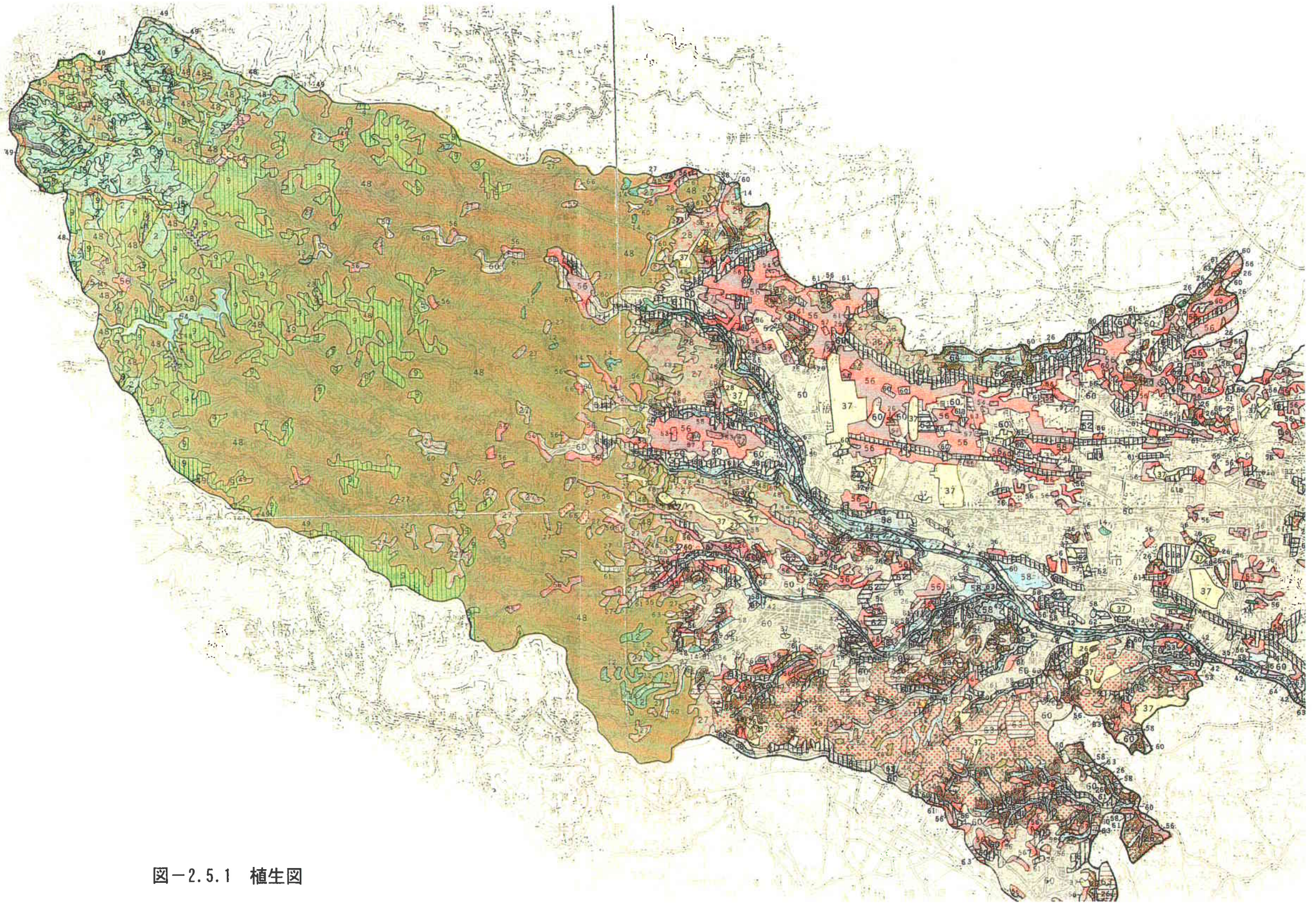


图-2.5.1 植生图

凡 例 Legend

亜寒帯・亜高山帯自然植生 Natural Vegetation in Vaccinio-Piceetea Region

シラビソ-オオシラビソ群集
Abietum veitchii-mariesii

ミズナラ-ブナクラス域自然植生 Natural Vegetation in Querco-Fagetea Region

ブナ-ツクバネウツギ群集
Abelio-Fagetum crenatae

ブナ-ツクバネウツギ群集(ウラジロモミ混生部)
Abelio-Fagetum crenatae (with Abies homolepis)

イヌブナ群集
Fagus japonica community

ツグ-コカスグ群集
Carici-Taugetum sieboldii

シオジ-ミヤマクマワラビ群集
Dryopteris-Fraxinetum commemorialis

シマキンレイカ-シマノガリヤス群集
Patrinio-Calamagrostietum autumnalis

アマガサ(ミクラザサ)群集
Sasa amagiensis(= S. mikurensis) community

ミズナラ-ブナクラス域代償植生 Substitutional Communities in Querco-Fagetea Region

ミズナラ-グリ群集
Castaneto-Quercetum crispulae

ススキ-ヤマトラノオ群集
Miscanthus sinensis-Veronica rotunda var. subintegra association

伐採跡地群集
Plant communities in clear-cut area

ヤブツバキクラス域自然植生 Natural Vegetation in Camellietea Region

モミ-シキミ群集
Illicio-Abietum firmae

ケヤキ-イロハモミジ群集
Acero-Zelkoetum

シラカシ群集
Quercetum myrsinaefoliae

スダジ-ヤブコウジ群集
Ardisio-Castanopsietum sieboldii

スダジ-オオシマカスグ群集
Carci-Castanopsietum sieboldii

ユズリハ-ヤマグルマ群集
Daphniphyllio-Trochodendretum aralioidaeae

タブ-イノデ群集
Polysticho-Machiletum thunbergii

タブ-ヤブツニッケイ群集
Machilus thunbergii-Cinnamomum japonicum community

マサキ-トベラ群集
Euonymo-Pittosporum tobirae

イヌツグ-オオシマツツジ群集
Ilex crenata-Rhododendron kaempferi var. macrogamma community

クロマツ-トベラ群集
Pinus thunbergii-Pittosporum tobira community

河辺・湿原・塩生地・砂丘(各クラス域共通) River-side, Moor, Salt marsh, and Dune

ヨシクラス
Phragmitetea

ツルヨシ群集
Phragmites japonica community

オギ群集
Miscanthetum sacchariflori

ハママツ-ナ-ハマサジ群集
Suaeda maritima-Limonium tetragonum community

ハチジョウススキ-イソギク群集
Chrysanthemo-Miscanthetum condensati

シマツスキラン群集およびハチジョウイタドリ群集
Caricetum doenitzii var. okuboi and Polygonum cuspidatum var. terminale community

カオリウツギ-オオバヤシャブシ群集
Weigela coraensis var. fragrans-Alnus sieboldiana association

植林地・耕作地 Plantation and Cultivated Land

クロマツ植林
Pinus thunbergii plantation

スギ・ヒノキ・サワラ植林
Cryptomeria japonica, Chamaecyparis obtusa, Chamaecyparis pisifera plantation

カラマツ植林
Larix leptolepis plantation

ヤブツバキ植林
Camellia japonica plantation

ニセアカシア植林
Robinia pseudo-acacia plantation

常緑果樹園
Evergreen orchard

落葉果樹園
Deciduous orchard

茶畑
Thea sinensis garden

苗圃
Nursery garden

畑
Field

畑放棄地(ムムカシヨモギ-オオアレチノギク群集など)
Uncultivated-field (Erigeron, canadensis-Erigeron sumatrensis community etc.)

水田
Paddy-field

水田放棄地
Uncultivated paddy-field

その他 Others

市街地
Urban district with a few trees

緑の多い住宅地
Urban and residential district with many trees

樹群をもった公園など
Park, etc. with many planted trees

スダジ-ヤブコウジ群集
Ardisio-Castanopsietum sieboldii

スダジ-オオシマカスグ群集
Carci-Castanopsietum sieboldii

ユズリハ-ヤマグルマ群集
Daphniphyllio-Trochodendretum aralioidaeae

タブ-イノデ群集
Polysticho-Machiletum thunbergii

タブ-ヤブツニッケイ群集
Machilus thunbergii-Cinnamomum japonicum community

マサキ-トベラ群集
Euonymo-Pittosporum tobirae

イヌツグ-オオシマツツジ群集
Ilex crenata-Rhododendron kaempferi var. macrogamma community

クロマツ-トベラ群集
Pinus thunbergii-Pittosporum tobira community

フサザクラ-タマアジサイ群集
Hydrangeo-Eupteleum polyandreae

ガクアジサイ-タマアジサイ群集
Hydrangeo-Hydrangetum involucratae

河辺ヤナギ低木群集
Salix shrubs in riverside

ヤブツバキクラス域代償植生 Substitutional Communities in Camellietea Region

クスギ-コナラ群集
Quercetum acutissimo-serratae

コナラ-クリ群集
Quercus serrata-Castanea crenata community

アカマツ-コナラ群集
Pinus densiflora-Quercus serrata community

スダジ・タブ-栗林
Castanopsis cuspidata var. sieboldii, Machilus thunbergii coppice forest

オオシマザクラ-シロダモ群集
Prunus lannesiana var. speciosa-Neolitsea aciculata community

タブ-ヤブツニッケイ幼木林
Machilus thunbergii-Cinnamomum japonicum young forest

ヒメユズリハ-ヤブツニッケイ栗林
Daphniphyllum teijsmannii-Cinnamomum japonicum coppice forest

伐採跡地群集
Plant communities in clear-cut area

ススキ-アズマネザサ群集
Arundinaria chino-Miscanthetum sinensis

踏跡植生(オオバコ群集)
Tread communities (Plantago asiatica community)

海岸埋立地植生
Weed communities of the coastal reclaimed land

シバ群団
Zoysion japonicae

ハチジョウススキ草原
Miscanthus condensatus grassland

放牧草地
Grazing grassland

畑
Field

畑放棄地(ムムカシヨモギ-オオアレチノギク群集など)
Uncultivated-field (Erigeron, canadensis-Erigeron sumatrensis community etc.)

水田
Paddy-field

水田放棄地
Uncultivated paddy-field

その他 Others

市街地
Urban district with a few trees

緑の多い住宅地
Urban and residential district with many trees

樹群をもった公園など
Park, etc. with many planted trees

工場地帯
Factory and industrial area

造成地
Land constructed for residence and factory

開放水域
Open water

自然裸地
Natural bare land

人為裸地
Artificial bare land

2.6 社会条件

多摩という呼称は、東京都のうち23区と島嶼部を除いた地域を指して用いられている。

しかし、一般には多摩川沿いをイメージした感が強い。

多摩が東京都全体に対して占める土地面積と人口について図-2.6.1に円グラフで示す。

面積では全体の半分以上を占めるが、人口では約1/3となっている。しかも、人口の多くは、多摩地区内でも市部に集中しており、地形的な要素などから、平野都市部への人口集中形態が明らかに見て取れる。

図-2.6.2に人口の変遷を示す。

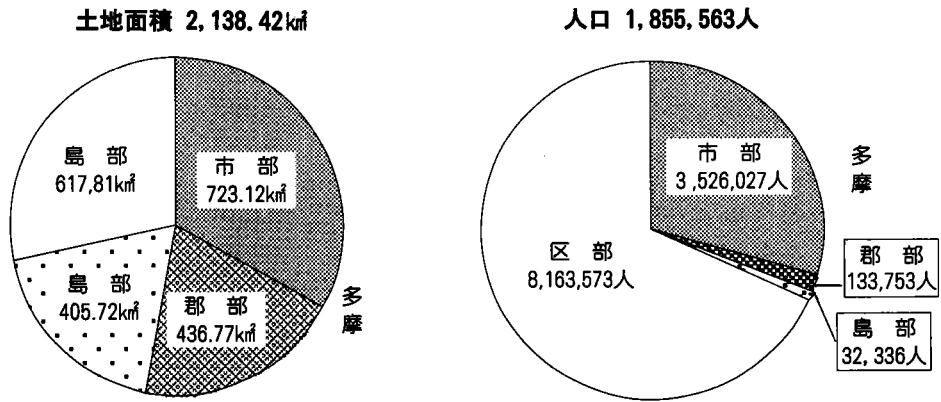
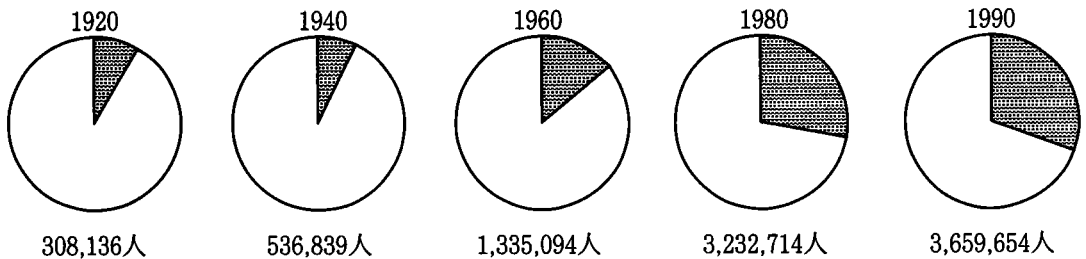


図-2.6.1 多摩地区が都に占める割合(1990)¹⁾



斜線部分及び下方の数字が多摩の人口、円周囲のティックは10%毎の目盛

図-2.6.2 多摩地区人口の変遷¹⁾

1920年から整理された人口のグラフは、都全体の人口に対する多摩地区の割合を示したものである。戦後にあたる1960年からは、多摩ニュータウンなどの建設に代表される丘陵地の宅地化と、東京への人口集中を受けて著しく増加している様子が現れている。

1) 地図で見る多摩の変遷 解説。財団法人日本地図センター

2.7 流域特性の取りまとめ

以上の流域特性を取りまとめて、土砂災害と流域環境の観点からポイントを整理した。

表-2.7.1に結果を示す。

表-2.7.1 流域特性の取りまとめ

項目	特性
地形	土砂災害が懸念されるような山地流域は、流域中程の浅川合流点付近から上流側に限定される。
地質	全体的に堆積岩が卓越しており、凝灰質な部分を除いては、比較的堅固な砂岩・泥岩からなっている。
水系	水系網は樹枝状を呈しており、地形地質を反映した形状となっている
植生	植生の占める割合が非常に大きく、部分的に二次林が分布している。ブナクラス域については、源頭部に限られている。全体としては、裸地が少なく、森林の面積率が高い。
社会条件	戦後の人口増加に伴って、宅地が丘陵地から山地すそ野にまで広がっており、人命に関わる土砂災害のポテンシャルが高まるとともに、周辺環境に対する影響も増加している。

以上の検討を踏まえて、本研究で対象とする範囲の設定を行った。

3. 検討対象範囲の設定

2章で検討した流域の特性に加えて、多摩川流域の変遷なども参考にしながら検討対象範囲および現地調査対象範囲の設定を行った。

3.1 検討対象範囲の設定

地形・地質・植生などの自然環境特性によって線引きが成された浅川・多摩川合流点を検討対象範囲の下流端として設定した。これは、直接的な土砂災害がおよぶ恐れのある保全対象の分布という社会的な要素にも対応している。

検討対象範囲を図-3.1.1に示す。

3.2 流域区分

検討対象範囲内の水系を、ある程度の規模を持った支川ごとに区分し、図-3.2.1に示す。現地概査を実施するにあたっては、これらの区分の箇所を最低1箇所は確認することとした。

3.3 流域の変遷

多摩川流域の変遷を確認し、すでに取りまとめた流域特性と合わせて、現地調査の箇所を設定した。流域変遷の把握にあたっては、財団法人日本地図センターが発行した『地図で見る多摩の変遷』を用いた。

これは、国土地理院発行の5万分の1地形図を集成したもので、以下の時期ごとに多摩地区の地形図が取りまとめられている。

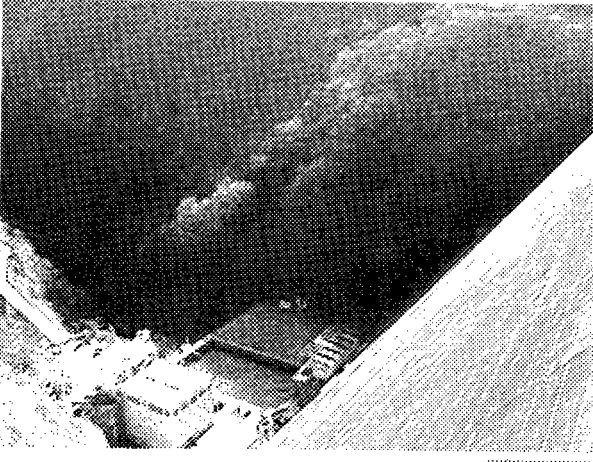
- ・明治40年頃
- ・対象12年頃
- ・昭和26年頃
- ・昭和47年頃
- ・平成2年頃

これらの図面を見比べ、以下の2ヶ所について詳細な検討を行った。

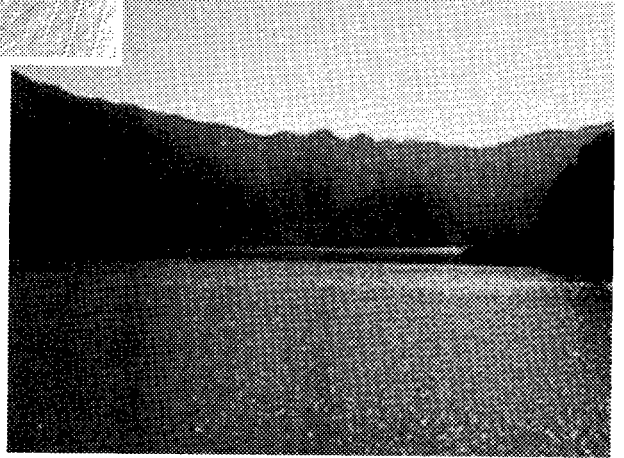
3.3.1 小河内ダム周辺

小河内ダムは1957年に竣工しており、これに伴って周辺地形や土地利用が大幅に変わった地域である。

ダムの写真を写真-3.3.1に、諸元を表-3.3.1に示す。



ダム堤体からの状況



奥多摩湖の状況

写真-3.3.1 小河内ダム付近の状況

表-3.3.1 小河内ダムの諸元

ダムの形		非越流型直線重力式コンクリートダム
竣工	工	1957年
高さ	さ	149メートル
頂長	長	353メートル
頂幅	幅	11.6メートル
敷幅	幅	131.1メートル
満水時	標高	526.5メートル
最大水深		142.5メートル (ダム前)
流域面積		約262km ²
有効貯水量		185,400,000立方メートル

この付近の変遷を比較するため、明治40年頃の地形図と平成2年頃の地形図を比較して検討を行った。図-3.3.1に示す。

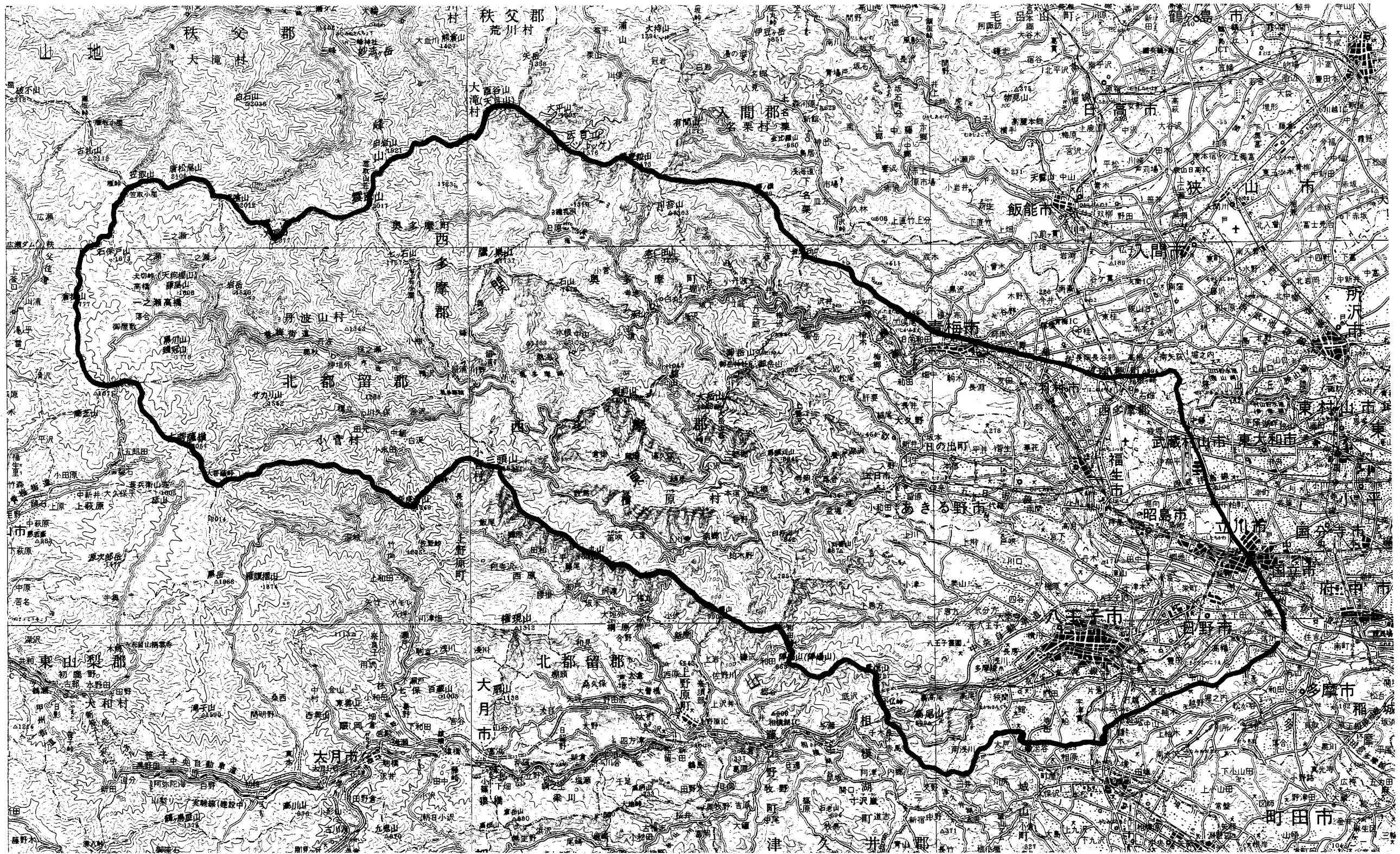


図-3.1.1 検討対象範囲

1:200,000



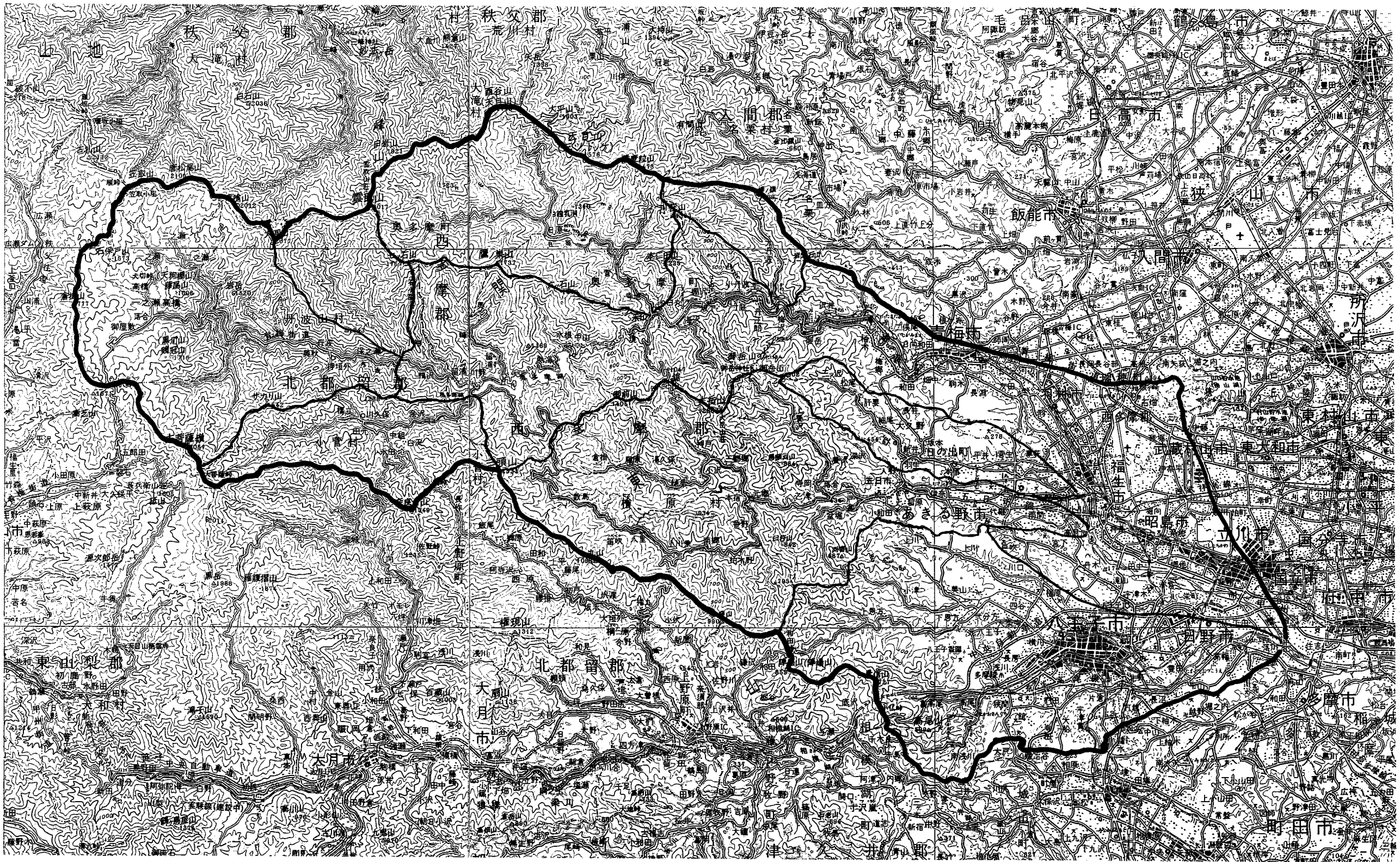
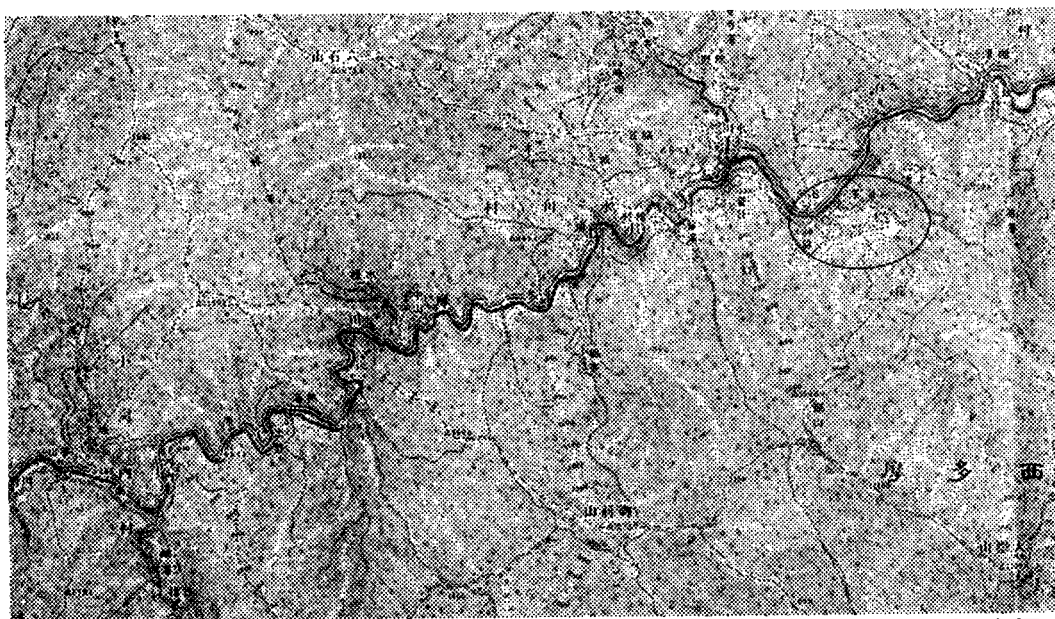
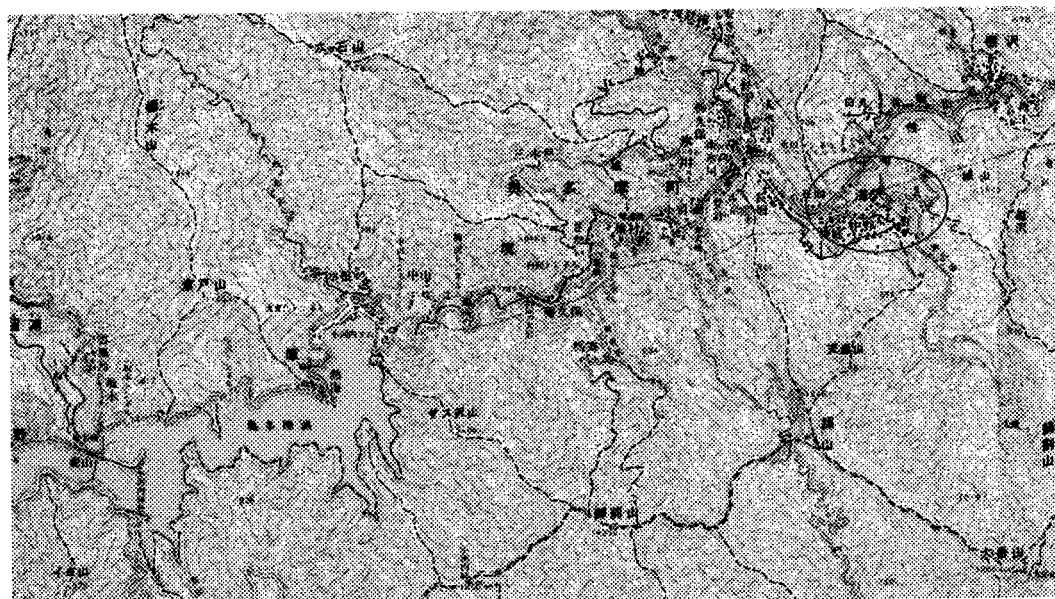


图-3.2.1 流域区分布



(a) 明治40年頃



(b) 平成2年頃

図-3.3.1 小河内ダム下流部の変遷

奥多摩湖の形成が最も異なった点であるが、集落などの分布に関しては、思ったほど変化していない事が伺える。しかし、赤丸で囲った海（うな）沢集落付近では若干の人家が増加している。支川からの土砂流出によって保全対象が脅かされる地点としてはかなり上流に位置することから、この海沢を現地調査対象渓流の一つとして設定した。

3.3.2 高尾山

都心からほど近く、都民のオアシスといわれている高尾山は、標高600m程の山で、周辺は国定公園に指定された貴重な自然公園となっている。樹齢数百年にも及ぶブナをはじめ、植物種は1,320余を数え、昆虫は5,000種、野鳥150種、といったように貴重な、生態系を形成している。

現在は圏央道のトンネル工事という困難な問題を抱えており、その挙動が注目されている。

多摩川流域全体から見た場合、高尾山は左支川の浅川流域に含まれており、かなり住宅地に近いところにありながら山間地形を呈する特徴的な位置にある。

この付近の変遷を明治40年頃と平成2年頃で比較したものを、図-3.3.3に示す。

八王子に近い東側の地域では、都市化の進んだ様子が伺える。高尾山そのものも、レジャーとしての軽登山が行われるようになった現在では、複数のハイキングルートが設定され、地形図には現れないところで山の様子も変化している。

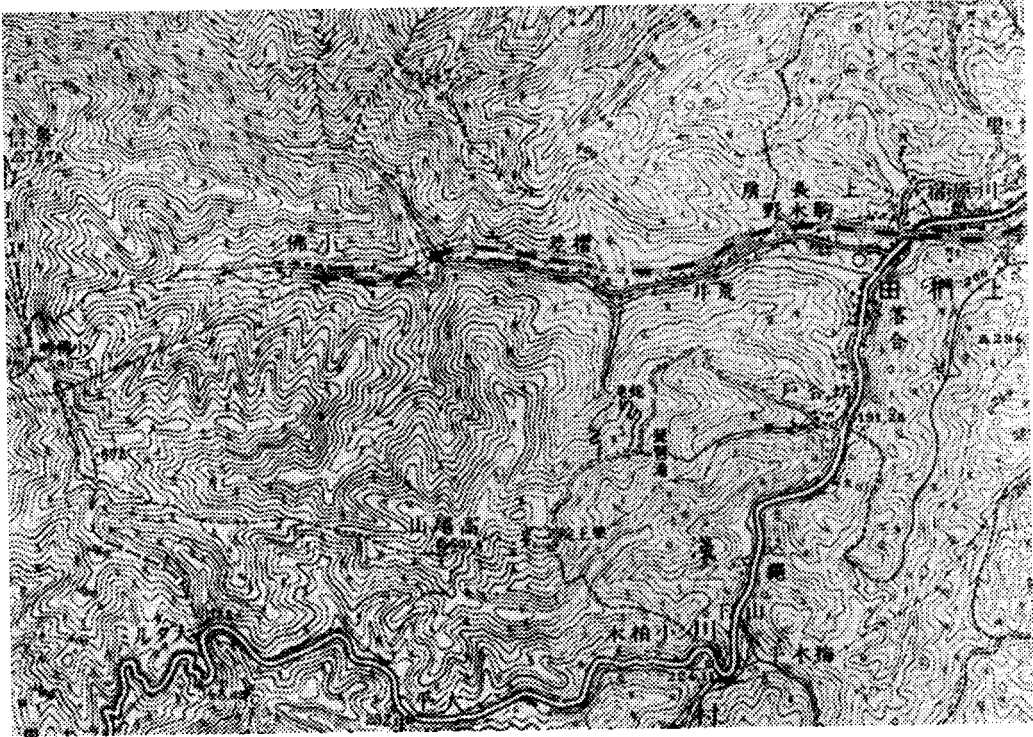
人の利用があり、保全対象にも近い下流域の代表として高尾山周辺の溪流についても、現地調査の対象とした。

3.4 対象範囲のまとめ

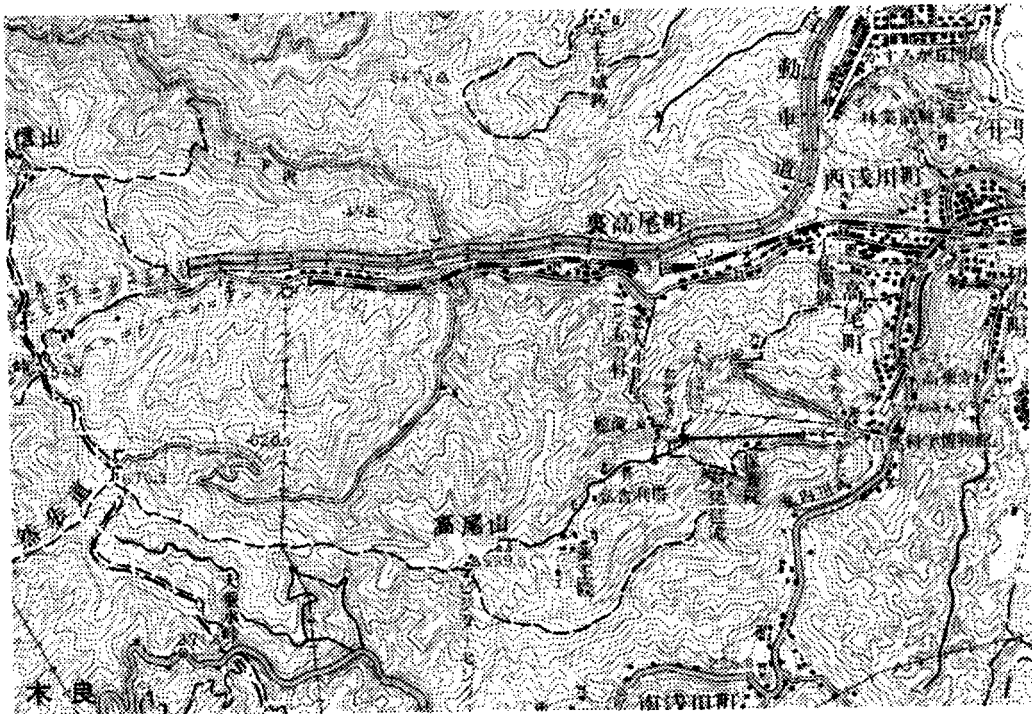
検討の対象としては、多摩川・浅川合流点より上流側とした。

詳細な現地調査の範囲としては、小河内ダム下流に位置する海沢、および高尾山を机上検討で設定し、その他の溪流については、現地の概査を行う中で、改めて選定することとした。

詳しい調査実施個所については、現地調査の項目において取りまとめる。



(a) 明治40年頃



(b) 平成2年頃

図-3.3.3 高尾山付近の変遷図

4. 現地調査

現地調査は、流域を面的に捉える概査と、目的（溪流）を絞って実施する調査に分けて行った。

4.1 現地概査

現地概査は流域特性によって大きく区分した流域を中心に実施した。

主な範囲を表-4.1.1に整理する。

表-4.1.1 現地概査範囲一覧

範囲	備考
高尾山周辺	多摩川を水源とする小溪流の概要把握
秋川流域	北秋川および南秋川の概要把握
丹波地域	奥多摩湖上流の概要把握
多摩川本川中流	小河内ダム下流の概要把握
平野部河川	日野～府中にかけての河道状況の把握
河口部低質調査	羽田付近の低質に関する概要の把握

図-4.1.1に概略範囲を示す。

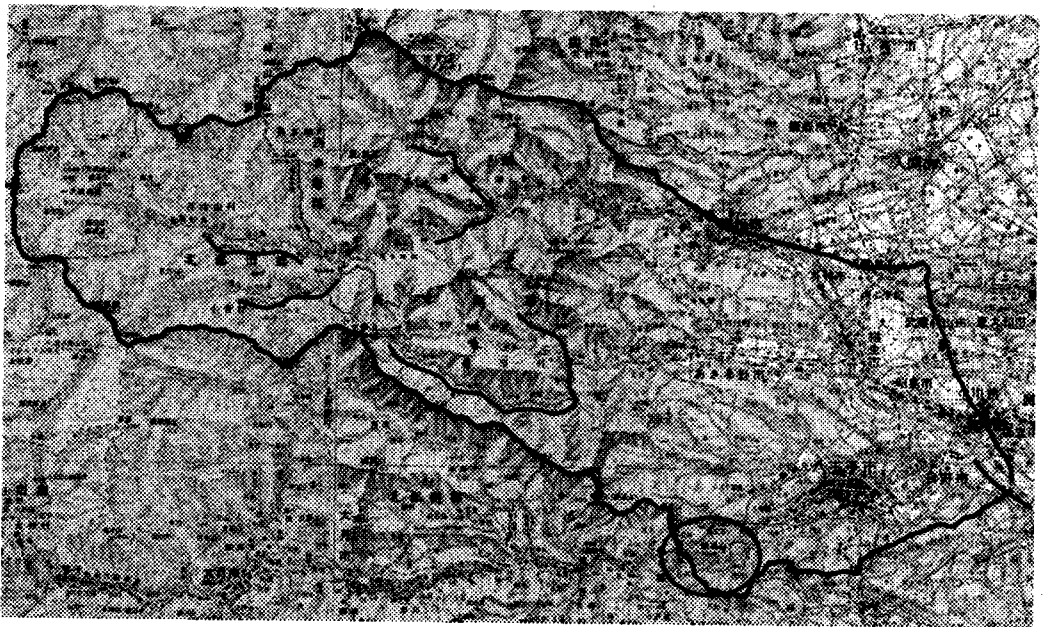


図-4.1.1 概略概査実施範囲

4.1.1 高尾山周辺

1番から6番まで付けられた散策路の全てと林道などを含めて、可能な限り歩けるルートを踏査し、岩盤から植生、魚類の調査に至るまでを確認した。得られた情報を整理して、表-4.1.2に示す。

表-4.1.2 高尾山における概査

項目	概要
地質	千枚岩などを含む砂岩・泥岩の堆積岩が主体となっており、比較的古い地質にあることから、脆弱な部分は非常に少なかった。現地を確認際には、書籍『東京の自然』を用いた。多摩川流域の堆積岩は、防災の観点から見ると、大規模な崩壊を起こすような弱い部分は少ないものと判断される。
植生	高尾山には植物に関する現地情報が豊富であり、概査においても非常に役に立った。国立公園ということもあり、下流部からカシ類を始めとする広葉樹が広がっている点で、流域全般の傾向という点では得意な条件下にある。裏高尾とも呼ばれる北側からのアプローチ上には、スギ・ヒノキ植林が卓越している。
溪流	集水面積の少ない小溪流が多く、近年における土砂の移動は、ほとんど見られない。ロープウェイ沿いの溪流では下方浸食が盛んで、土壁の岸が続いており鳥類の営巣等の観点からも優れた地点が見られる。裏高尾では、東京都の林務課が管理する治山施設の設置が目立つ。下流側には治山ダムの解説を付けた遊歩道も整備されている。これらの堰堤によって魚類の遡上が困難なカ所が多い。
魚類	南浅川の本川にはウグイ・オイカワなどの河川性ともいえる魚類を確認した。本川区間は護岸などが施工され、周辺も田畑に利用されており、冷水性に溪流魚が生息する環境には無い。一方で、裏高尾の溪流では成魚サイズのヤマメを確認した。おそらくは放流されたものと考えられるが、溪流魚が再生産を行っていただけるだけの環境は整っている。裏高尾へ向かう途中にはJRに沿った地点にニジマスの釣り堀が設けられている。

4.1.2 秋川流域

奥多摩周遊道路に沿った南秋川を中心に概査を行った。得られた情報を整理して、表-4.1.3に示す。

表-4.1.3 秋川における概査

項目	概要
溪流	秋川に対して小さな溪流がそそぐ樹枝状の水系を持っている。河床は露岩するところが多く、不安定な河床堆積物などは比較的少ない。一部の支川では滝や滑床になった箇所もあり、堅い岩が卓越しているようである。
魚類	本川沿いには漁協による溪流魚の放流が行われている。概査においても、魚影を複数箇所を確認する事が出来た。しかし、河床の転石の裏側に生息するカゲロウやトビケラの仲間は、相対的にかなり少ない流域であった。生活排水などが流れ込む環境にあるため、水質の問題も考えられる。天然の魚類としてはタカハヤを捕獲したが、数としてはかなり生息しているようである。これらは、溪流性の魚類と呼んでも差し支えない魚種であろう。

4.1.3 丹波地域

小河内ダムより上流側では、集落の絶対数が少ないことと、溪流との位置関係が離れていたりする事から、防災事業の重要度が余り高くない地域とも言える。多摩川流域では基本的に建設省直轄の砂防事業が実施されておらず、東京都（山梨県）としても砂防事業と言うよりは、山を維持していく目的の治山事業が主体となっている。

丹波地域における概査の状況を整理して、表-4.1.4に示す。

表-4.1.4 丹波地域における概査

項目	概要
植生	下流部あるいは溪流沿いには植林が卓越しており、自然度は余り高いとは言えない。溪畔林としてはケヤキなど水気のある土壌を好む広葉樹の侵入なども見られる。
溪流	工事の残土などが溪流中に残されていたりする箇所を除けば、不安定な堆積土砂は少ない。河床の材料としては、角張った数cm径の砂礫が主体となっている。上流部に位置することもあり、勾配がきつい小溪流では、瀬淵構造が非常にはっきりしており、魚類の生息とも非常に密接な関わりを示している。
魚類	丹波漁協など区間ごとに異なった漁協が放流を行っている。現時点で、どの程度の天然溪流魚が生息しているのかは不明であるが、ニジマスやアマゴといった在来以外の種の放流が繰り返された結果、相当な奥地を除いては、考えにくい状況となっている。概査においても、陸上目視であるため確定的では無いが、アマゴの特徴である赤い斑紋の魚影を確認した。底性魚およびイワナについては、確認することが出来なかった。

4.1.4 多摩川本川中流

小河内ダムの下流側、鳩ノ巣溪谷周辺までの河道を踏査した。得られた情報を整理して、表-4.1.5に示す。

表-4.1.5 多摩川本川中流における概査

項目	概要
溪流	鳩ノ巣溪谷に代表されるように、非常に堅固な岩盤が露出した河道が特徴となっている。谷地形としては、相当に深いV字を呈しており、勾配から見ても溪流と呼ぶには相応しくない。多摩川本川の運搬力（削る力）が卓越しているため、支川は合流直前に急激な勾配を持って流れ込んでいる。
魚類	この区間は多摩川本川の釣り場として非常に人気の高いところで、大量の放流が行われている。ニジマスなどは解禁と同時に放流された量の8割以上が3日以内につり上げられてしまうという報告も行われている。水深が深いため、黙視での魚類確認は出来なかった。

4.1.5 平野部河川

検討対象範囲から外れた下流側に位置する河川区間であるが、上流側からの土砂供給を考える意味で、河原の砂礫（不安定土砂）に関して概査を行った。

小河内ダムによって流砂系が遮断されていることから、多摩川最上流域（花崗岩地帯）などからの流出は考えにくく、ダムや取水堰などを越流する事が出来る、粒径の小さい物が主体となって移動しているようである。

4.1.6 河口部低質調査

羽田付近では六郷川と呼ばれる多摩川河口で、小型船舶からアンカーを落とすことで低質の概略調査を行った。結果、非常に細かい砂およびヘドロ化した材料からなっている。

調査期間内にも、平成10年8月および平成11年8月に、非常に大きな洪水を受けたが、砂礫質の材料は到達していない。多摩川河口では、毎年冬場に、作業船のみお筋確保を目的とした浚渫が行われているが、これらの材料を確認しても上記の細かい材料しか採取されていない。一般に砂礫の移動は掃流力（材料を転がす力）に依存しており、掃流力は河床勾配と密接な関わりを持つことから、多摩川流域の河床堆積物は、勾配に応じて分級化されていることがわかった。

4.2 現地調査

詳細な現地調査を実施した個所に関する取りまとめを行う。なお、個別の現地調査表あるいは写真等については巻末資料として整理を行った。

まず、現地調査を実施した個所と調査概要を表-4.2.1に整理する。

表-4.2.1 現地調査地点の概要

調査地点	概要
海 沢	・河床材料調査 ・溪流荒廃調査 ・溪流魚類調査
高 尾 山	・溪流荒廃調査 ・溪流魚類調査 ・地質概査・植生調査
マ リ コ 沢	・河床材料調査 ・溪流荒廃調査 ・溪流魚類調査
日 原 川	・河床材料調査 ・溪流荒廃調査
三 頭 沢	・河床材料調査 ・溪流荒廃調査
南 秋 川	・河床材料調査 ・溪流荒廃調査 ・溪流魚類調査

また、図-4.2.1に調査地点位置を示す。

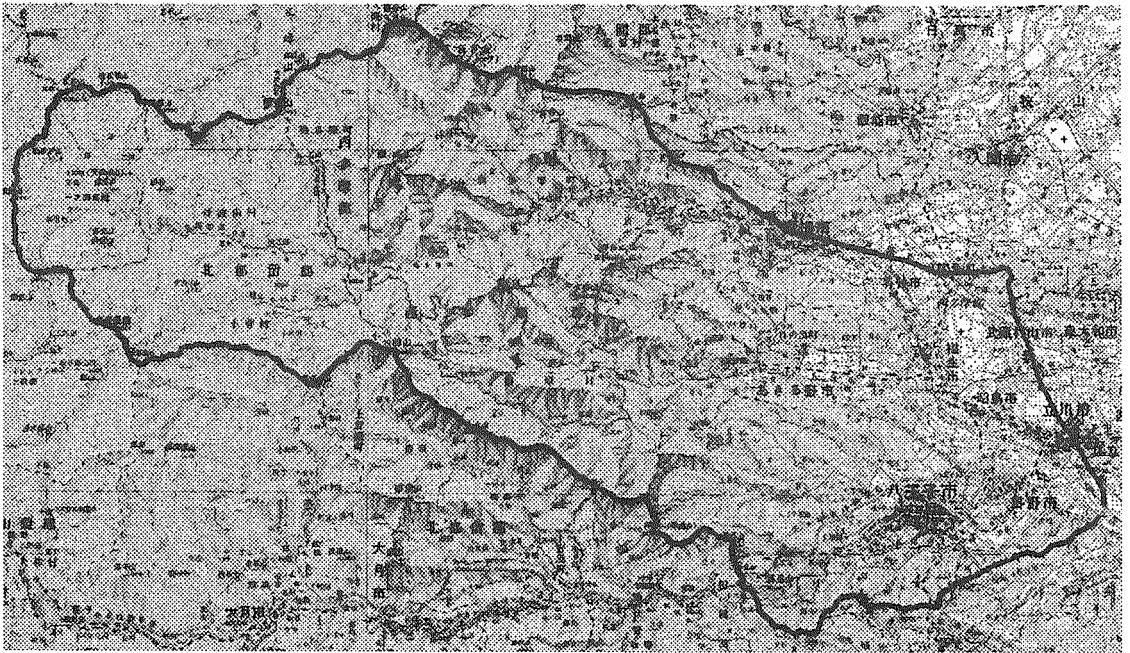


図-4.2.1 現地調査位置図

また、個別の調査方法について概略の取りまとめを行った。

① 河床材料調査

線格子法は、河床上に巻き尺等で直線を張り、一定間隔に区分して、その真下にある石を採取する方法である。一般には100m程度の区間で、1m間隔に採取する方法が望まれているが、溪流のような狭くて勾配の急な場所では、なかなか難しく、なるべく多くのサンプルを無作為に抽出する事が求められる。

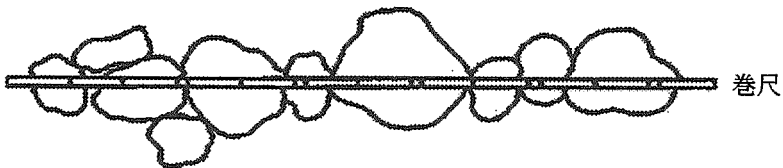


図-4.2.2 線格子法の概念図

採取した砂礫は、3次元方向に長径・中径・短径を測り、これらを3等分した平均径をもって代表粒径とした。

調査のイメージを写真-4.2.1に示す。

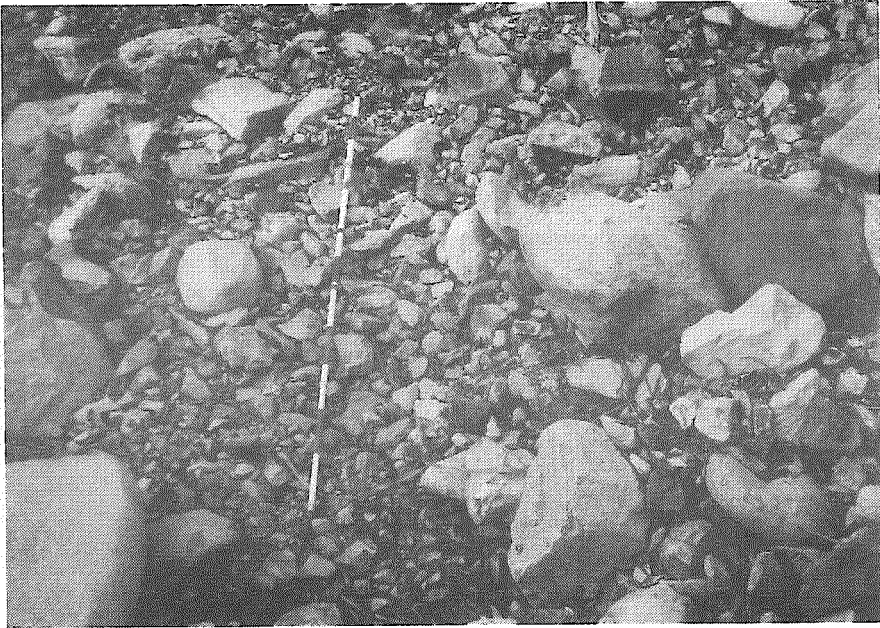


写真-4.2.1 河床材料調査の概況

② 溪流荒廃調査

溪床の不安定土砂や側岸の崩壊有無など、土砂災害全般に関わる基本的な事項を把握する調査。
地質調査もこれに準じる。

調査のイメージを写真-4.2.2に示す。

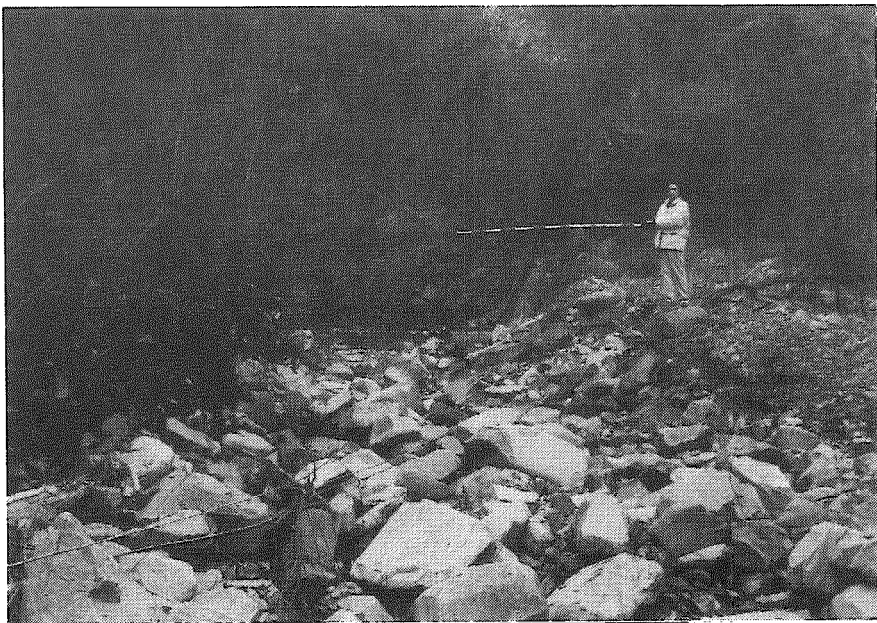


写真-4.2.2 溪流荒廃調査の概況

③ 溪流魚類調査

溪流魚の目視観測を中心にした、水生生物の調査。水深の深い場所や、落ち込みなどで目視が困難な箇所では、水中鏡や釣りによる確認も行った。

調査のイメージを写真-4.2.3に示す。

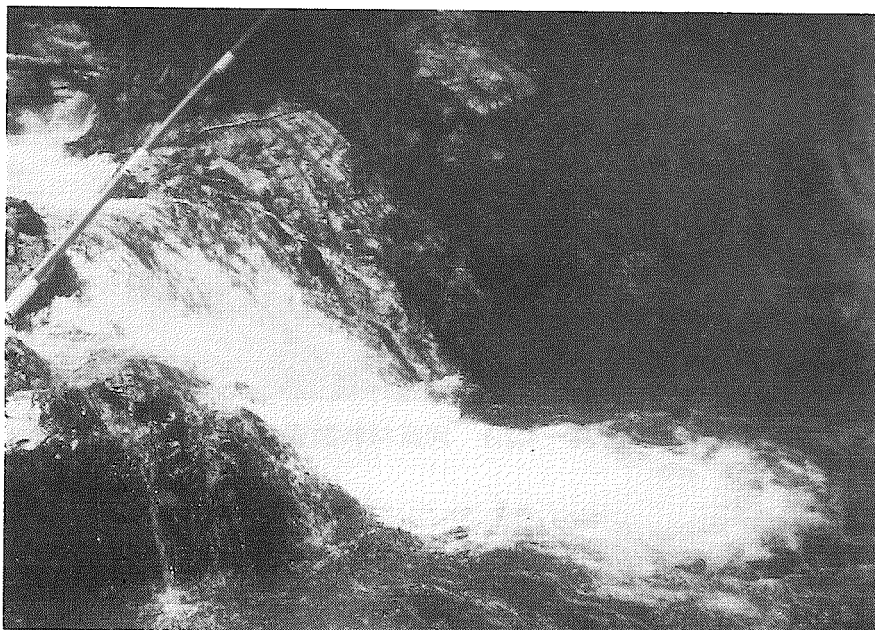


写真-4.2.3 溪流魚類調査の概況

4.2.1 海(うな)沢

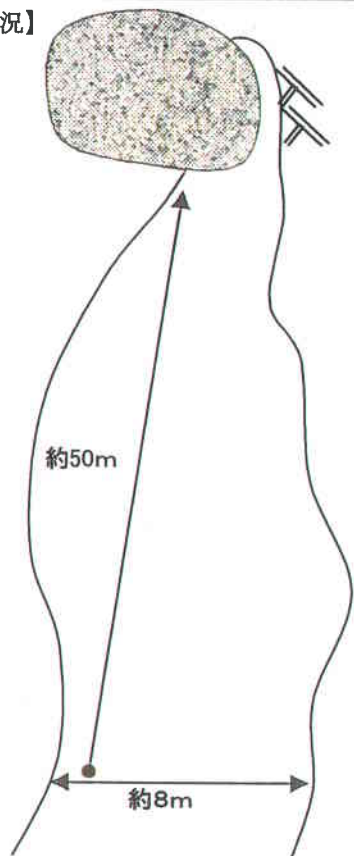
多摩川本川の小河内川下流に位置する左支川で、最下流部に集落が位置している。地質や植生などの自然条件は、多摩川本流の典型的な条件を有しており、代表地点として選定したものである。

溪流の概要について取りまとめ、調査地点の概要とともに次ページに示す。

溪流調査表 (流域概要)

位置	地点番号	海沢-1
	溪流名	海沢
流況	平常水の有無	多・有・無
	流木の有無	多・有・無
	概略土砂状況	安定
溪床	平均流下幅	8.0 (m)
	平均堆積幅	10.0 (m)
	平均礫径	30.0 (cm)
	最大礫径	300.0 (cm)
溪岸	崩壊箇所	多・有・無
	湧水箇所	多・有・無
	斜面植生	良・中・貧
その他	周辺植生	針広混交林
	河川形態型	Aa型
	溪流利用	多・有・無
備考	溪流魚確認	

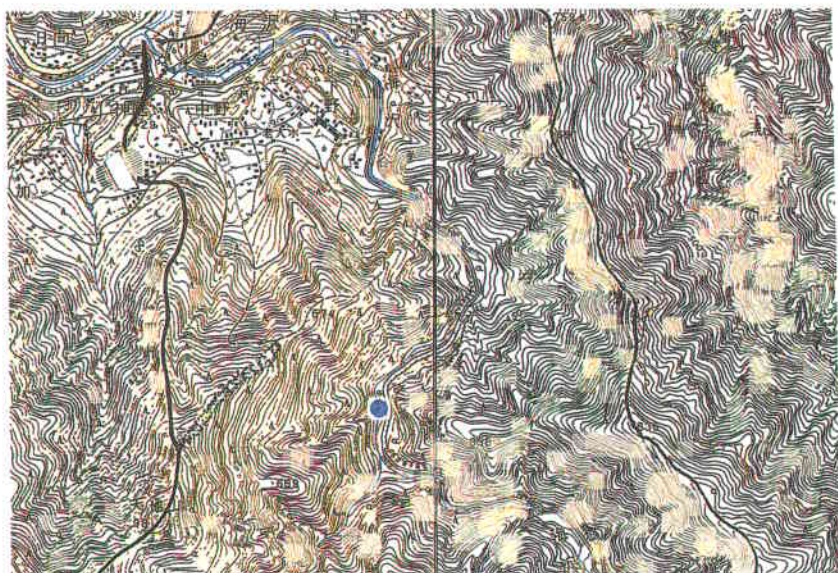
【平面概況】



【写真等】



【位置図】 (25,000 : 1)



【所見】

海沢中流の植林地内に位置する。

下流に見られるような溪流レジャー利用などによる人の手は加えられておらず、自然河道の部分である。

上流側は、巨石と露岩によって狭窄部となっており、細粒分の流出が見られ、これより上流には、天然ダムの効果から、比較的大きな礫径のものが堆積している。

【流域概要】

流域は多摩川山間地に典型的な堆積岩類からなり、著しい荒廃などは見られない。植生もスギ・ヒノキを中心とした植林からなっており、比較的人手の入った山と言える。

【人口流路に伴う問題】

最下流部には保全対象集落が分布し、多摩川本川との合流点付近からしばらくの間は、護岸工および落差の少ない横断構造物（床固工）の整備が進んでいる（写真-4.2.4）。



写真-4.2.4 集落内流路整備状況

流路内には上流から流れてきたような土砂は確認されず、草本の侵入などもあり、安定した状態であることが伺える。溪流魚の移動という観点からすると、下流部に写真のような落差工が点在しているため、区間の移動は非常に難しい状況にある。

また、構造物の下流側に置かれたコンクリートのブロックは、構造物の根が落水によって削られな
いたためのものであるが、魚類の生息環境にとっては、落水によって生じる淵を消滅させる事になり
マイナス要因である。

下流部で魚影を確認することは出来なかったが、本川から海沢に溪流魚が遡上するのは、非常に困難な環境にありそうである。

多摩川中下流部の支川の多くが、本川との合流点付近で、いきなり構造物によって移動を阻害されており、溪流魚の再生産にとっては、かなり厳しい状況にある。

次に人工流路内の河床状況を写真-4.2.5に示す。



写真-4.2.5 流路内の河床状況

固定された断面で、上流からの供給土砂が無い（これは、後述する溪間工による）ため、河床が固定されてしまい、写真のように、ある程度の大きさを持った石礫が残り、河床の攪乱が行われない状態になっている。

このように、流水の掃流力で細かい成分が下流に抜け出てしまい、河床が大きな石で固定された状態をアーマーコート化と呼び、溪流生態系にとって悪影響の大きな現象として知られている。

河床が出水によってかき混ぜられ、常に新しい材料が移動するような環境にないと、卵が孵らないという、再生産において致命的な問題がおこる。

また、洪水時の断面が矩形になっているため、魚類の逃げ場が確保されず、洪水とともに放流魚が押し流されるといった、自然生態系とはほど遠い無機的な環境が形成される恐れがある。

自然河川に見られる砂州(bar)の移動と河道の蛇行を大分類した一般的な概念を、図-4.2.3に示す。

さらに深刻な人口流路区間が、集落を抜けた上流側に見られる。写真-4.2.6に状況を示す。

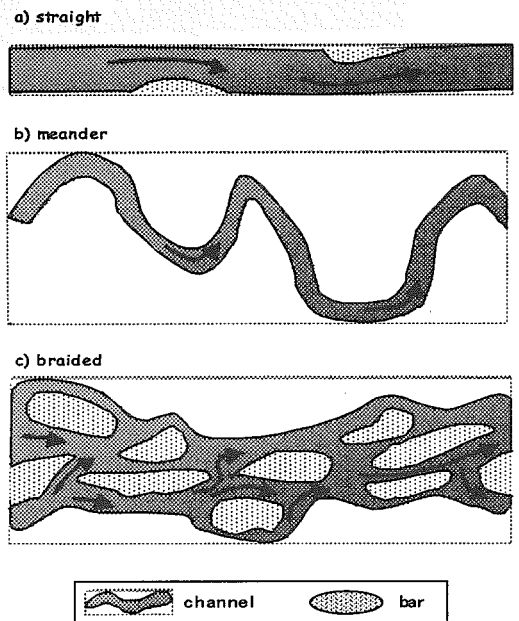


図-4.2.3 自然河道のパターン例



写真-4.2.6 水溜れを起こした流路（下流→上流）

この状態では常時流水が無く、溪流を中心とした陸上生態系に対する影響も深刻である。

手前側の護岸工は、施工されてから年月を経たもののように思われたが、上流側のコンクリートが白い区間は、最近施工されたようである。この最近の工事に伴って、手前側の古い護岸を補強する意味から、根固めブロックを敷き詰めたものと推測される。

遠く上流側に見える流水部（みおすじ）が緩やかな蛇行を起こしているのに対して、流路内では、流水が浅く一面に広がってしまい、溪流魚の生息・移動・再生産などのあらゆる面で問題を起している。

【砂防ダムと狭窄部の比較】

海沢の中流部には砂防（治山）ダムが設置されており、堆砂敷きには木本類が侵入して、非常に河床が安定した状態にある。

砂防ダムの基本構造と、土砂を捕捉・調節する機構について取りまとめ、図-4.2.4に示す。

溪流を遡上していて砂防ダムに出くわすような場合、図の上側のような正面の形状が現れる。当然の事ながら有効高（河床から水通し間での高さ）が大きいダムほど、土砂を捕捉する容量が大きい。水通しとは中央の凹んだ部分で、満砂状態の場合には、ここから流水が落下するように設計されている。

一方、下図に示した縦断形上からは、砂防ダムの効果に関する考え方を整理した。

括弧書きで貯砂量と示した部分が、常時、砂防ダムによって貯められている土砂である。これに加えて、洪水時や土石流時には、貯砂量部分によって河床の勾配が緩くなって一時的に土砂を調節する量も効果として考えることになる。加えて、貯砂量部分に貯まった土砂が、河床から生産される土砂を抑制する量も見込まれている。

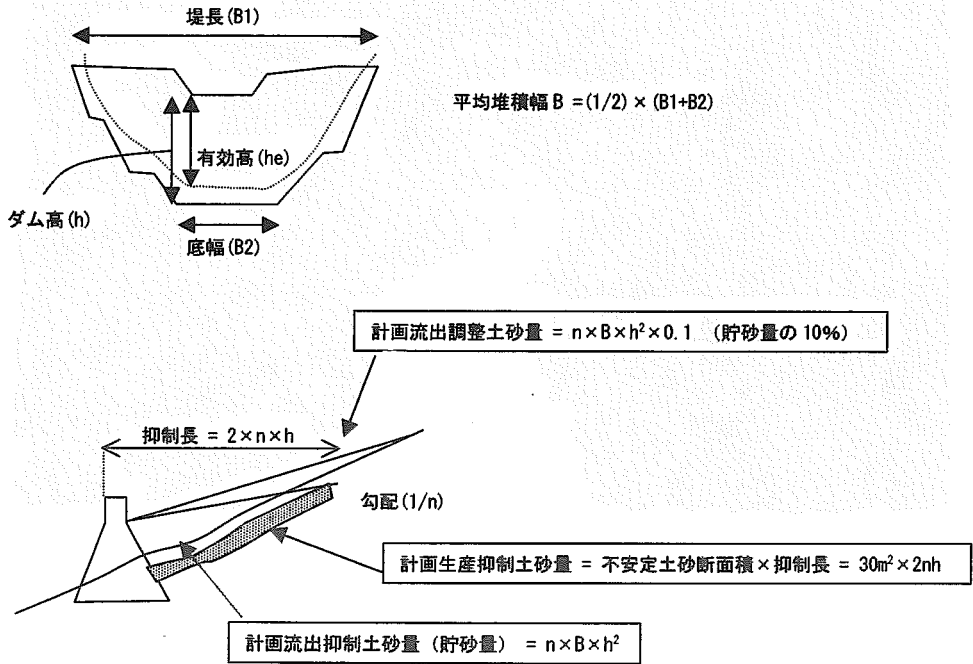


図-4.2.4 砂防ダムの概略構造と土砂捕捉・調節機能の概念図

各効果量の考え方は統一されきっていないが、土石流などに対しては、砂防ダムが満砂であることを想定すると、調節量が主な効果量ということになる。

一方で、河道の地形によって砂防ダムと同じような効果を発揮するケースがあり、これらは河道調節というような名称で定義されている。海沢においても、狭窄部の河道調節が見られたため、河床材料の調査を実施した。狭窄部の調査票は、先に示した通りである。

ある幅を持った自然河道が、堅い岩盤などで急激に流水幅を狭められた場合、洪水時にはバックウォーター（せき上げ効果）が起り、一時的に土砂が狭窄部の上流側に貯められるというような現象が起る。洪水後には、通常流水などでゆっくりと土砂が下流に吐き出されて、循環を妨げず急激な土砂移動を防ぐという理想的な効果を期待する事が出来る。

これと同じような条件を人工的に作り出そうとしたのがスリットタイプ砂防ダムで、コンクリートの堤体にスリットをもうけて、流水を遮断せずに流下断面を狭めるような構造を持っている（写真-4.2.7）。多摩川流域には、大型のスリット型砂防ダムは施工事例が無いようである。

海沢には、人工の砂防ダムに加えて狭窄部による河道調節が見られたため、両地点で河床材料調査（線格子法）を実施して、同じような効果を持ちながら、天然の地形と人工構造物によって河床材料にどのような違いが生じているのかを検討した。

調査を実施した個所の平面的な規模を、図-4.2.5に示す。

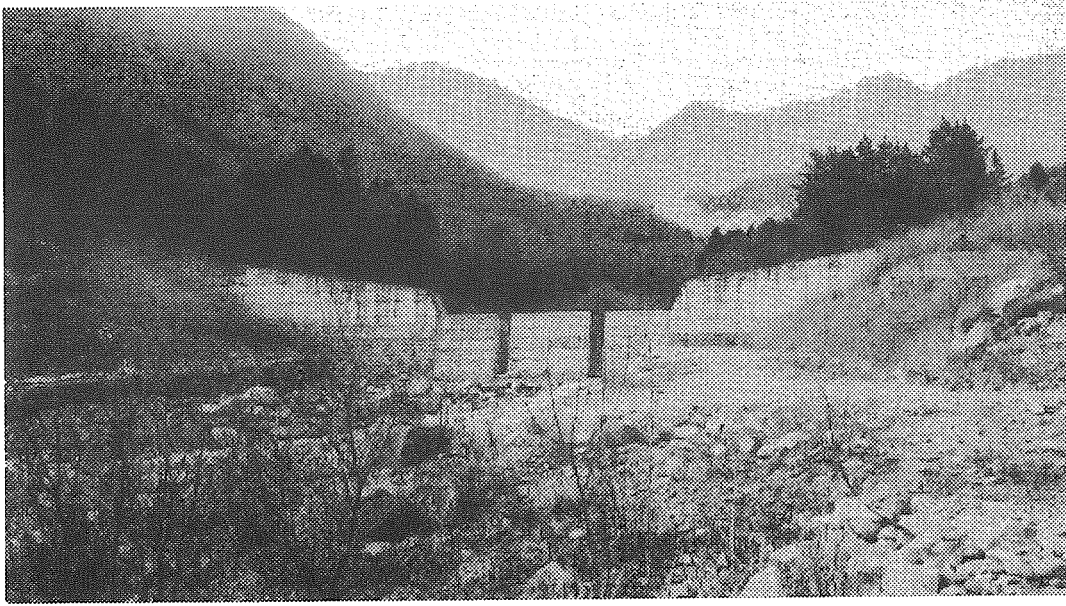


写真-4.2.7 スリットタイプ砂防ダムの事例（利根川水系）

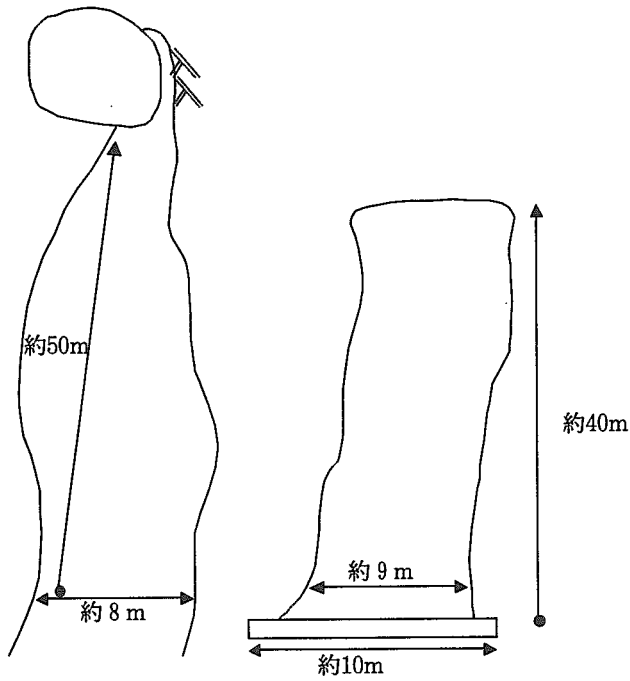


図-4.2.5 河床材料調査の概要図

河幅、計測区間ともにほとんど同じような地点である。
河床構成材料のサンプリング結果を、図-4.2.6に示す。

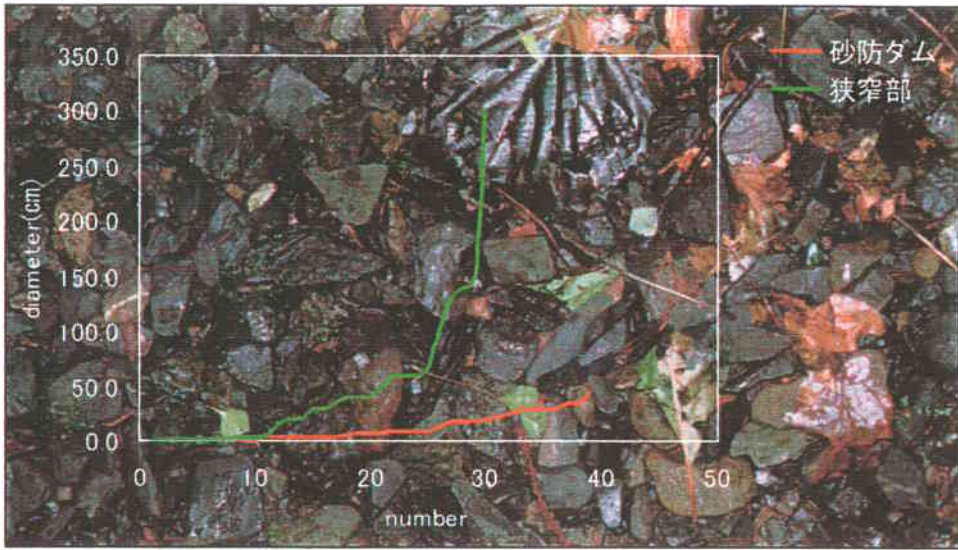


図-4.2.6 砂防ダム付近と狭窄部付近の礫径調査結果

まず、砂防ダムの方はサンプル数が多いにもかかわらず、礫径の範囲が非常に限定されている事がわかった。大凡50cm以下の砂礫は無く、ほとんどが10cm内外で、粒径がそろった材料から構成されている。

河床構成材料の多様性は、流水の多様性を生み、最終的には溪流環境の多様性に繋がる重要な要素である。砂防ダムの上流側は、貯まった細かい砂が一様に広がり、これに従って流水も薄くラップ状に広がり、水深が浅くなったり流速が落ちることによって水温が上がったりして、溪流魚の生息環境を悪化させていることがわかる（図-4.2.7）。

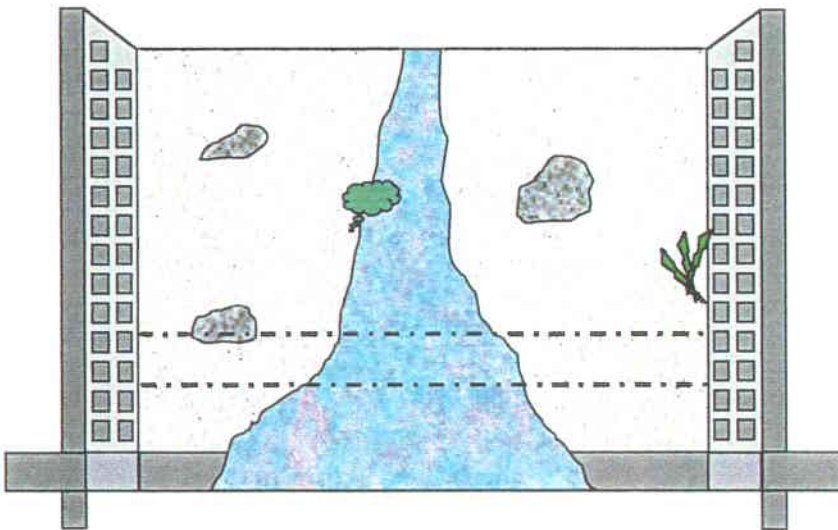


図-4.2.7 流水がダムによって広がるイメージ

これに対して狭窄部付近では、溪流らしいstep and poolと呼ばれる階段状の複雑な地形が維持されており、溪流魚が生息するために重要な、瀬-淵構造が見られる（写真-4.2.8）。

実際、調査を行っている最中にも溪流釣りをしている人と行き違い、放流魚主体と思われるものの、それなりの生息がある箇所となっている。



写真-4.2.8 狭窄部周辺の溪流

4.2.2 高尾山

高尾山での調査は、整備された遊歩道などを利用して、溪流周辺の地質状況などを概略把握することを主目的として行った。流域の南縁に位置するこの流域では、砂岩・泥岩（互層）や千枚岩と呼ばれるような岩が溪床や溪岸部に現れており、荒廃状況を把握する上での基本的な状況把握を行うことが出来た。

また、当該流域では溪流魚類の調査と生息箇所の河床地形などについても調査を実施した。

加えて、参考までに遊歩道沿いの簡易植生調査なども行ったため、これについては巻末資料に添付する。

図-4.2.8に高尾山周辺のルート図を示す。

【流域概要】

高尾山から発する溪流は、北側あるいは南側を東方向に流下する南浅川水系に取り込まれるため、流域面積が非常に小さなものから成っている。

図で示した6号路あるいは北側の行者滝から登るルートなどは、遊歩道の大部分が溪流に沿って設

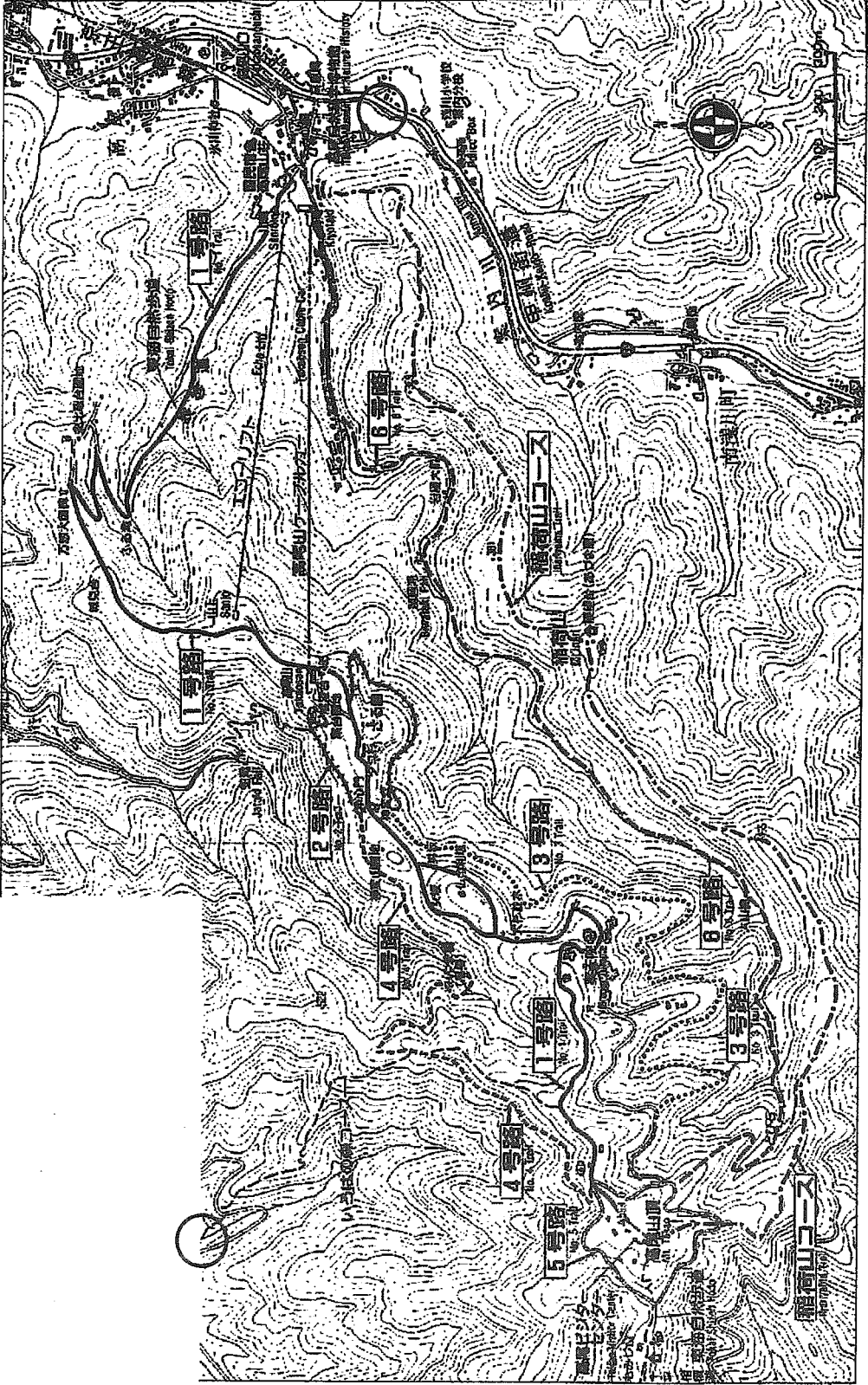


図-4.2.8 高尾山周辺のルート図

○ 魚類確認地点

置されている。水量が少ないことから魚類の生息は少なく、釣りなども行われるような状態に無いため、放流もほとんど行われていない。ただし、南浅川水系のまとまった溪流（河川）には魚類の生息が見られ、一部にはマス釣り場なども設置されている。

【溪流魚類の調査】

高尾山周辺で行った溪流魚類調査は、釣りなどの直接的な方法ではなく、現地概査中に行う陸上目視で実施した。しかし、溪流の規模が小さく常時流水が無いことと、山表側は多くの来訪者が行き来することなどもあり、溪流魚の確認は難しかった。唯一の確認地点は、いろはの森コース下流で、治山堰堤（高さ2 m程度）の下流側に出来た淵の部分でヤマメ（アマゴ?）が泳ぐ姿が見られた。

また、南浅川（案内川）においては、ウグイ（あるいはカワムツ）が、複数遊泳する様子を確認することが出来た。

基本的には、利用を前提とした自然環境であるため、とくに冷水性、山地性の溪流魚に関しては、自然状態での生息は期待できそうに無かった。

4.2.3 マリコ沢

【溪流概要】

多摩川本川の支流で、奥多摩湖の上流、山梨県側に位置する溪流である。

ここでは、海沢で行った砂防ダムと自然河道（狭窄部）の違いに関する調査結果を受けて、砂防ダム（写真-4.2.9）周辺での河床材料調査を詳細に実施することを主目的とした。

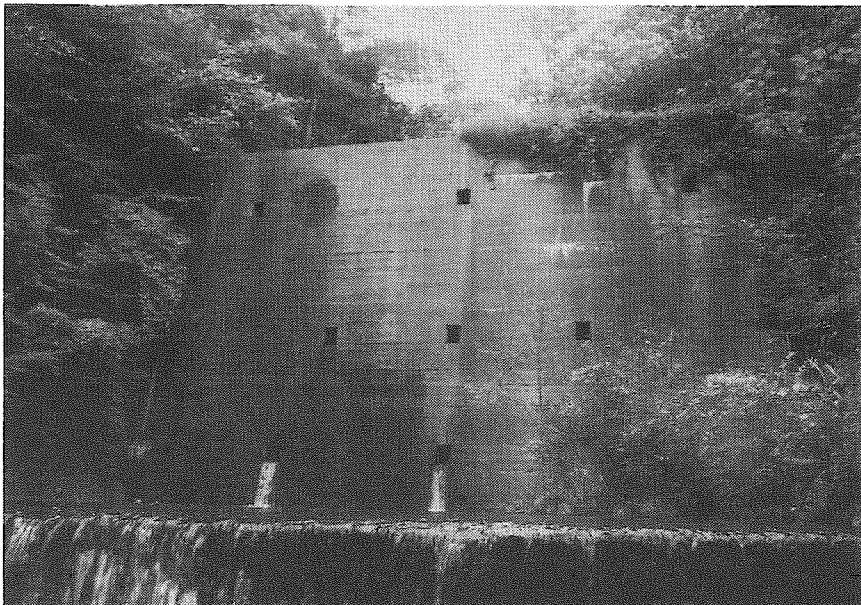


写真-4.2.9 砂防ダム（下流側から正面）

【河床材料調査】

砂防ダム（治山ダム）の上下流および、砂防ダムの堆砂影響が薄くなりかけた上流側100m付近の3箇所で河床材料調査を実施した。結果を図-4.2.9に示す。

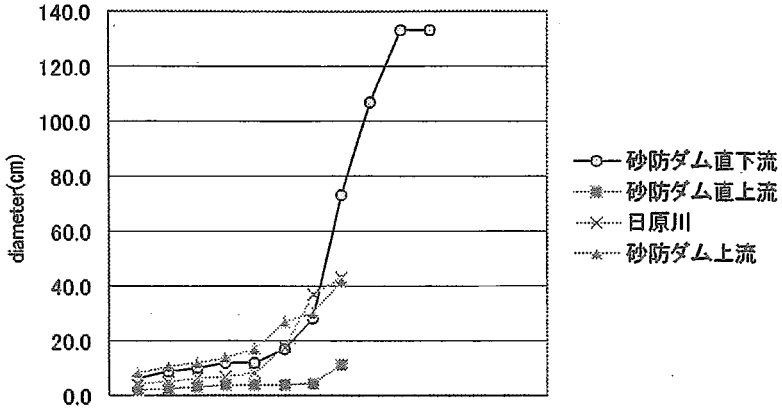


図-4.2.9 河床材料調査結果

砂防ダムの下流側（写真-4.2.10）は、常時落水がある関係で大きな砂礫が残存し、調査地点内で最も幅広い粒度分布を示す結果となった。

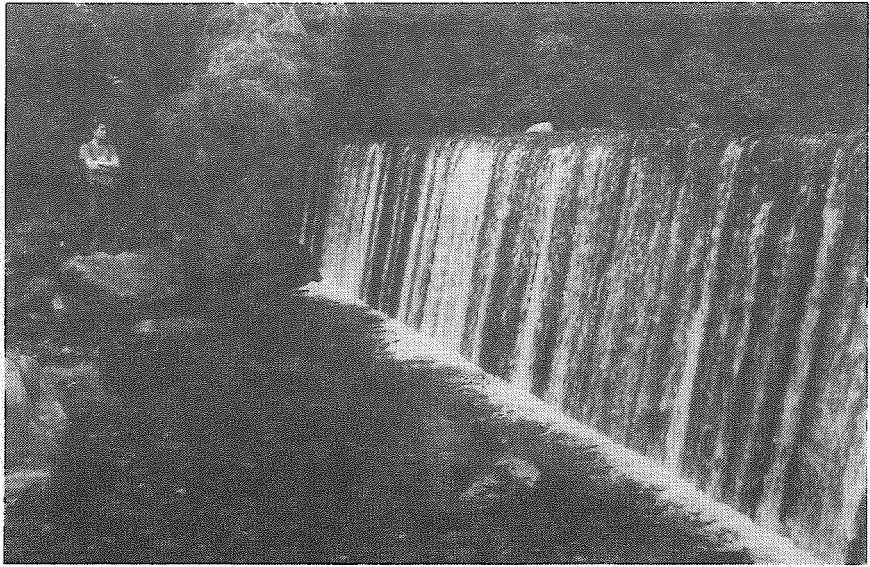


写真-4.2.10 砂防ダム直下流

また、滝壺のような効果で形成される淵の周りには、流れの淀んだような穏やかな部分があり、ここには非常に細かい砂・シルト系の材料が分布している。このように河床材料および流れ（流速）に変化がある環境は、溪流魚の生息環境として理想的でもあるため、一般に、溪流釣りをを行う人のポイントとなっている。

ただし、多くの砂防ダムがそうであるように、マリコ沢の砂防ダムも完全な魚止めとなっており、これを挟んだ上下流の移動が阻害されている。魚道の設置というような対応も考えられるが、山間地が急勾配であることや、土砂によって機能が失われてしまうなど、効果という意味では疑問が多い解決策であるため、基本的にはダムのスリット化が望まれる。

次に、この砂防ダムの直上流側堆砂域において河床材料調査を実施した。状況を写真-4.2.11に示す。

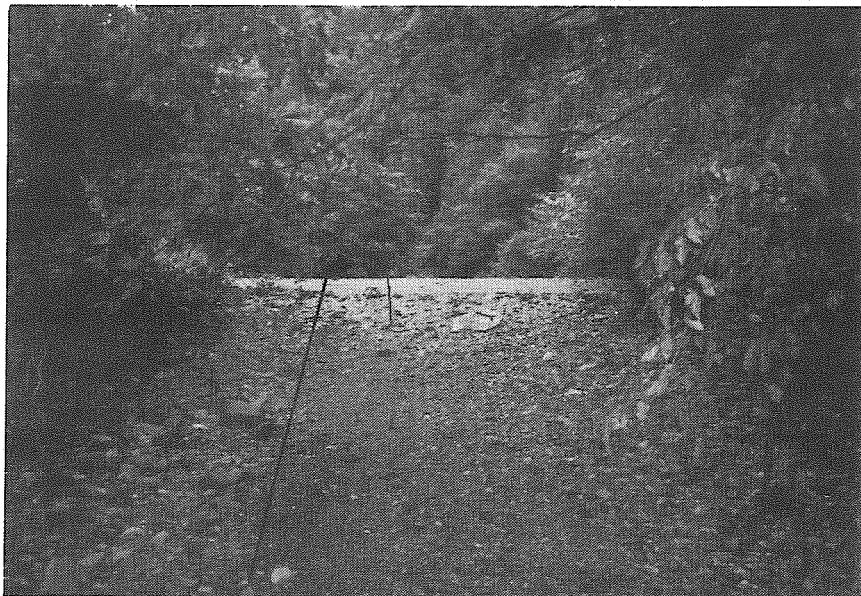


写真-4.2.11 砂防ダム直上流

堆砂域では流水が伏流してしまい、完全に水が表面を流れていない涸れ川に状態になっていた。所々に水たまりができていてものの流れがないために水質も悪く、水生生物が生息する環境にはない。河床材料調査の結果としては、写真からもわかるように均一な細かい粒径のみが存在し、海沢で得られたような結果と同じ状況にあった。比較の意味で、図-4.2.9に日原川における砂防ダム上流の調査結果を掲載しているが、こちらは石灰岩地帯という砂礫が余り細かく成らない特性から、若干、大きめの粒度分布を示している。しかし、基本的には直径のレンジが狭い、単調化の傾向にあることが理解される。

写真の右側に青線で示したのは、降雨時のみおすじと考えられる部分で、流水によって細かい土砂が洗い流されることから、周辺の材料に比べて若干粗い砂礫が見られる。

このように、常時流量が少ない溪流に規模の大きな砂防ダムを設置した場合には、部分的とはいえ、水無川を作り出すことになり、水路の連続性が完全に絶たれてしまう弊害を考慮する必要がある。

次に、砂防ダムによる堆砂の影響が少なくなった上流側100m付近での粒径を調査した。

周辺の状況を写真-4.2.11に示す。

堆砂の影響が少なくなるにつれて数10cmの砂礫が見られるようになり、図-4.2.9においても、粒



写真-4.2.11 砂防ダム上流100m付近の河床



写真-4.2.12 土砂流堆積状況

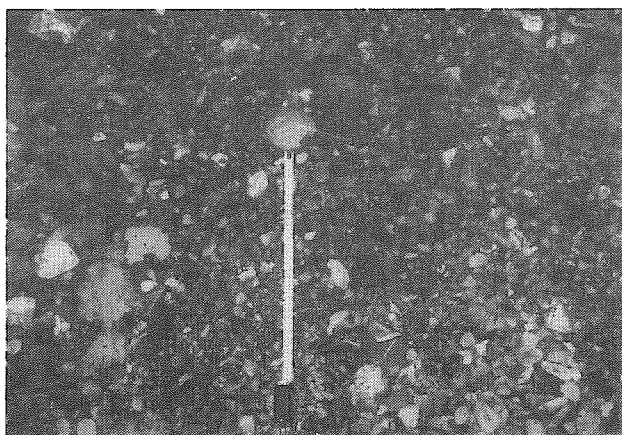
度分布のレンジが広がった様子が確認される。ここでは、伏流する前の流水も見られる。

この地点では、溪流の両岸に土砂流の発生痕跡を確認することが出来た（写真-4.2.12）。

堆積面に低木が侵入していることから、数年よりは昔のオーダーになると考えられるが、砂防ダムによって河床勾配が緩くなったところで捕捉された土砂であると考えられる。写真では見にくいですが、非常に綺麗な層状の堆積をしている部分もあり、土石流と言うよりは掃流土砂あるいはその中間の土砂流形態で流出したのと考えられる。

以上、砂防ダムを軸とした上下流3点での河床材料調査により、溪間工の代表格とも言える砂防ダムが、数100mオーダーでの溪流環境に対して、著しい単調化の弊害をもたらしていることが確認された。河床材料は瀬・淵構造そのものを決定する要素であり、最終的には水の流れを規定するため、魚類の生息環境に対する影響は、遡上障害に加えて大きな問題となりうる。

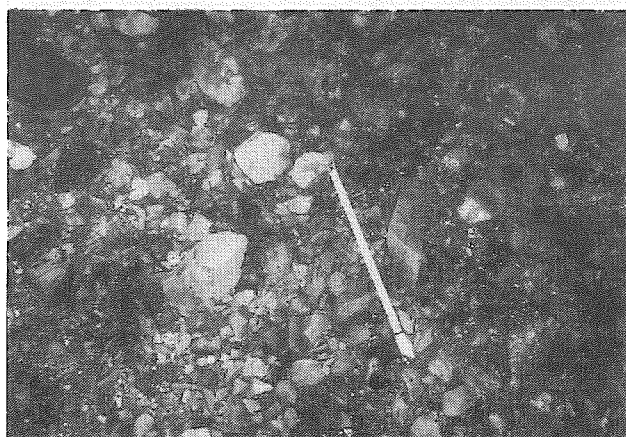
最後に、砂防ダムを挟んだ3点の河床状況を写真-4.2.13に示す。



砂防ダム直下流



砂防ダム直上流



砂防ダム上流100m

写真-4.2.13 河床の状況

4.2.4 日原沢

【溪流概要】

堆積岩が支配的な多摩川流域において、石灰岩地帯が分布する特異な流域である。調査を行った地点は、観光地としても有名な日原鍾乳洞の上流側で、比較的岩盤がもろい地帯を選定した。

調査内容のうち粒径分布に関してはマリコ沢のところで触れた通りである。

ここでは、崩壊地の状況を中心に現地状況を取りまとめた。

【現地状況】

調査対象地点は石灰岩の地質区分にあたり、溪流と平行して付設された道路からは、写真-4.2.14に示すような露頭が見られる。この岩盤は不安定な様相を呈しており、数10cmの角レキとなって崩落が常時起こっているような状態である。

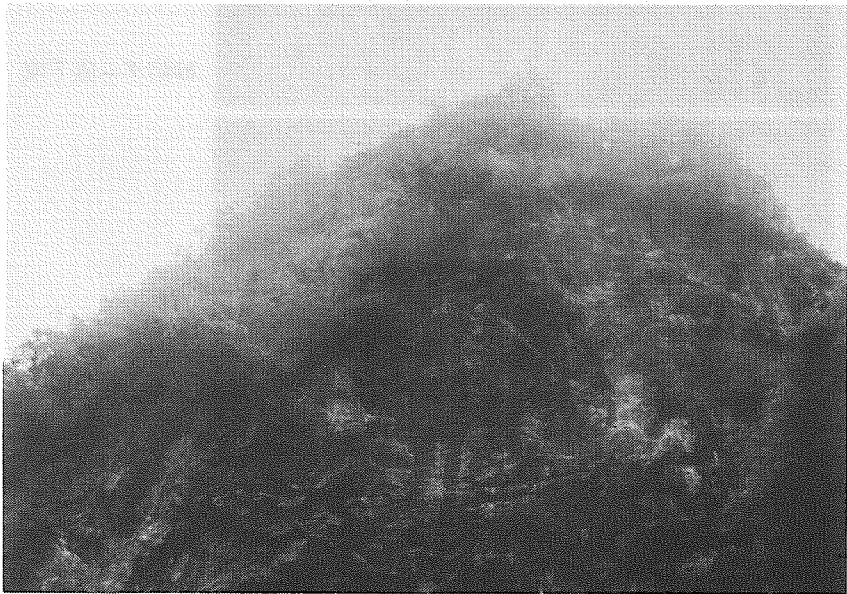


写真-4.2.14 露頭の状況

調査地点に設定したのは、やはり砂防ダム（構造から見て治山ダム）の上流側である。正面からみたダムの状況を写真-4.2.15に示す。

溪床部にも白みがかった石灰岩が露出しており、ダムの上流側には小規模な崩壊地が見られる。この砂防ダムを上流側から見た状況を写真-4.2.16に示す。

粒径の調査結果はマリコ沢に示したものであるが、この写真から見ても、非常に河床材料が均一化しており、景観として見た場合にも、なにか人工的な単調さが感じられる。

一方で、マリコ沢同様に砂防ダムから上流側へ踏査を進めたところ、やはり数100m程あがった地

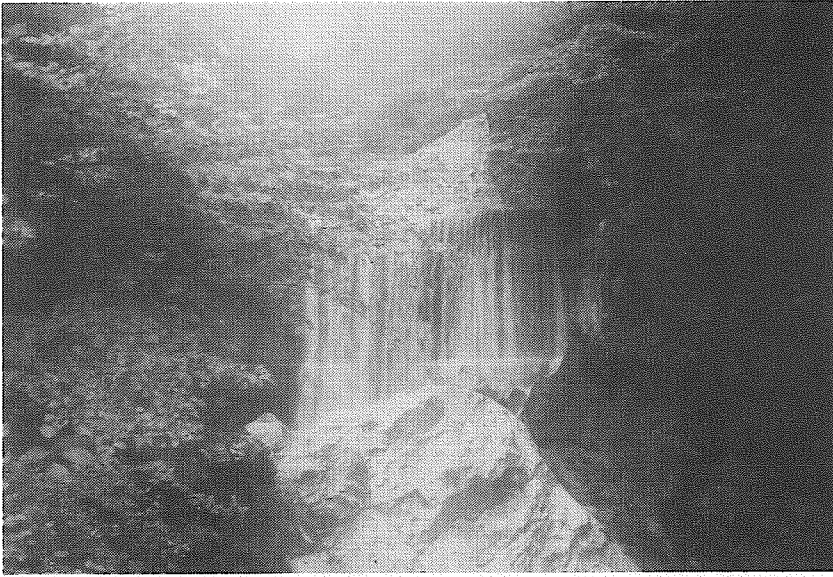


写真-4.2.15 日原川砂防ダムの状況

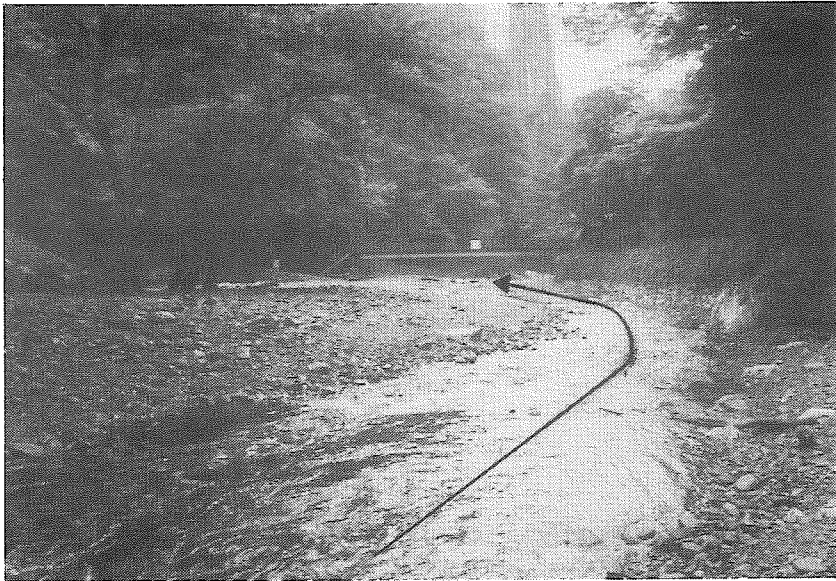


写真-4.2.16 日原川砂防ダムの上流側

点から溪流の様相が一変し、細粒な土砂から巨石に至るまで幅広い材料が分布する様子が確認された(写真-4.2.17)。

写真の中央には、溪流らしい淵が形成されており、溪流魚の魚影を確認することが出来た。淵から写真右下に流れだしている部分が瀬になっており、こういった河床形態が細かいユニットで連続するのが本来の溪流がもつ自然な形状である。

現時点では、これらの形状を説明するのに写真や測量結果を用いた定性的な議論しかできない状況



写真-4.2.17 砂防ダムからしばらく上流側に進んだ地点

にあるが、後述するフラクタルの概念を取り込むことで、客観的かつ定量的な表現を得ることが出来るように成るかも知れない。

調査中に、この地点の左岸側で小規模な崩落が発生し危険な状態となったため、これ以上の遡行は断念した。

写真-4.2.18に砂防ダムに近い位置と離れた位置における河床材料の写真を比較して示す。

上流側には落葉が河床に広がっており、判別が難しいがダムの近くで撮影した河床には存在しない大きさの砂礫が認められる。

4.2.5 三頭沢

【溪流概要】

三頭沢は南秋川水系の最上流部に位置し、その中下流域は都民の森として親しまれているところでもある。海沢、マリコ沢、日原川などの調査において、砂防ダムという人工構造物が河床の材料を均一なものにし、溪流環境そのものを単調な形状に変えてしまう事が把握された。そこで、溪流魚の遡上という意味では砂防ダムと全く同じ阻害を行う滝について調査を行い、その上流側河床の構成土砂が、どのような粒度分布を示すのかという観点で調査を実施した。

都民も森から10分ほど歩いた位置にある三頭大滝の直上流を写真-4.2.19に示す。

2本の支川が合流する地点になっており、河床の露岩（堆積岩類）している部分が目立つ。砂防ダムの場合と異なるのは、細かい砂礫が堆砂していないことである。

三頭沢では、滝の直上流、滝から数100m上流、下流に位置する砂防ダムの上流側の3点で河床材



砂防ダム上流

さらに上流



写真-4.2.18 砂防ダム上流の河床状況



写真-4.2.19 滝上流の様子

料調査を行った。この結果を図-4.2.10に示す。

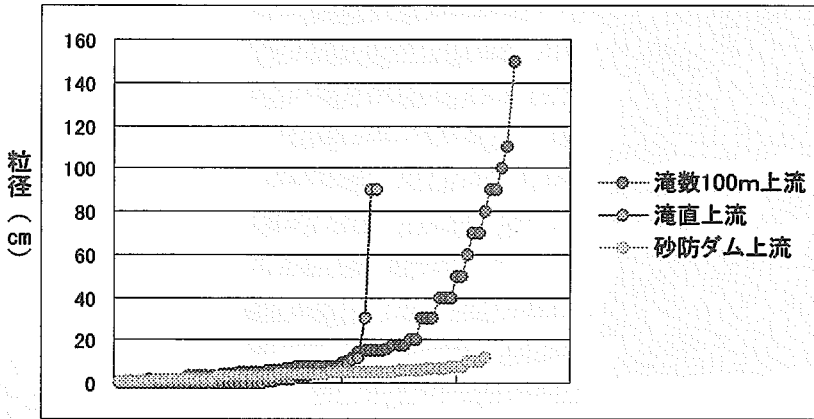


図-4.2.10 三頭沢における河床材料調査

滝の直上流は写真-4.2.20に示すように、著しく露岩しており、線格子法による計測の半分以上が露岩となってしまった。露岩については0.1cmとして便宜的にグラフ化してある。

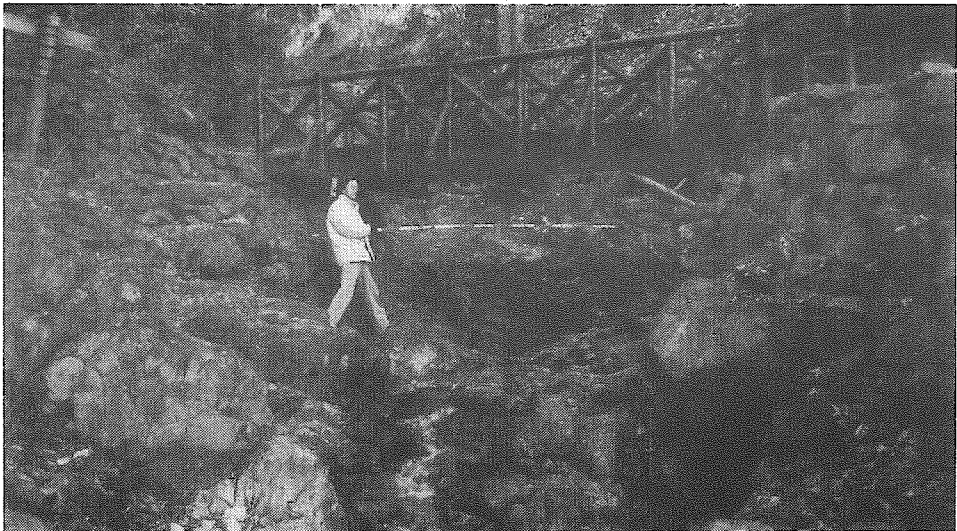


写真-4.2.20 露岩の状況

比較ケースとして示した砂防ダムのケースでは、前出した溪流での調査同様に、粒径が均一で細かい状況が把握されたが、自然地形である滝の場合には、常時砂を貯めるような構造にはなっておらず、粒径もそれなりの幅をもって分布している。滝の場合にも洪水時に土砂を調節する機能があると考えられているが、これと引き替えに砂防ダムで見られたような周辺環境の単調化という弊害は無いように思われる。

さらに滝の上流側で行った調査地点の様子を写真-4.2.21に示す。



写真-4.2.21 三頭滝から上流の溪流

三頭滝から上流は写真にあるような瀬-淵の美しい構造が繰り返されており、溪流魚の生息環境としては良好なようにも見える。ただし、溪流は非常に荒廃しており、不安定な巨石や流木などが点在し、防災上の災害ポテンシャルが高い流域となっている。

一部の新聞報道などでは、都民の森と周辺散策露を整備したことによって溪流が荒廃し、土砂の流出が激しくなったとされているが、三頭沢がこのケースに当てはまるのかどうかについては定かではない。河床の状況を写真-4.2.22に示す。



写真-4.2.22 河床状況

また、三頭川の下流では著しい土砂の流出が見られた。状況を写真-4.2.23に示す。

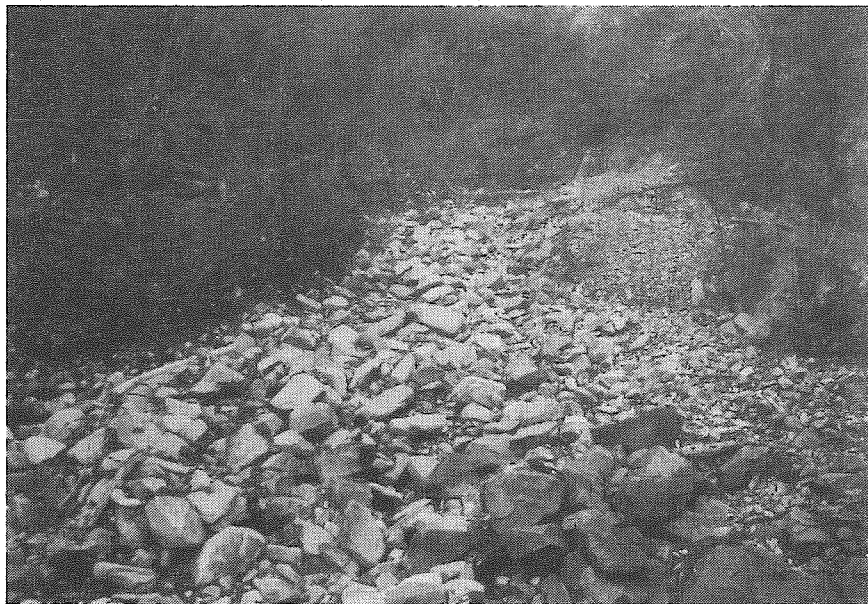


写真-4.2.23 土砂移動の痕跡

4.2.5 南秋川

【溪流概要】

南秋川は山地溪流の中でも比較的勾配が緩く流域規模の大きな河川である。ここでは、溪流魚の生息状況を把握する目的で調査を実施した。

基本的には陸上目視観察としたが、一部の箇所では釣りによる直接的な調査を行った。この結果確認された魚種は、ヤマメ（アマゴ?）、カワムツ、タカハヤ、オイカワであった。写真-4.2.24に南秋川で捕獲したタカハヤを示す。



写真-4.2.24 タカハヤ

釣りによる調査を行った地点では、ヤマメらしい魚影も確認しており、魚類の生息に好ましい環境にあった。地点の状況を写真-4.2.25に示す。



写真-4.2.25 魚類が生息する淵を上流側から見た様子

この付近は勾配が緩やかながら、ある程度の区間で瀬淵構造が繰り返しており、多様な水の流れが維持されている。釣りを行った地点から下流側には写真-4.2.26のような緩やかな瀬の区間が連続しており、広い行動範囲と多様な環境という観点から魚類の再生産が行われる条件として適している。

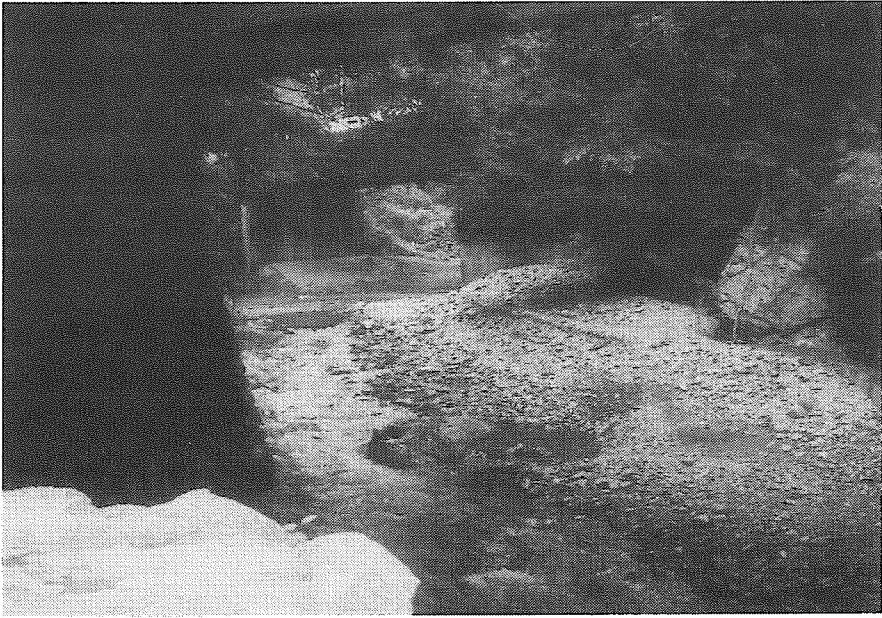


写真-4.2.26 瀬の区間

5. フラクタルを用いた流域多様性指標の提案

5.1 フラクタル総論

円や立方体のような半径や高さなどの特徴的な長さを持たない図形、あるいは自己相似性という特性を維持しながら、無限回の縮小写像によって定義される「フラクタル図形」は、幾何的な範疇にとどまらず、自然界に存在する海岸線や積乱雲など、多くの身近な事象の中に見いだすことができる。

現在までの科学的な手法は、数理的に複雑怪奇な自然現象の解明に対してモデル化を試み、富士山の形は曲線 $y = e^{ax}$ で近似できるというような単純化を図ってきた。これに対し、フラクタルは、一本の樹木について幹の曲性から枝分かれの特徴、さらには枝先の形状に至るまで、視度を変えることから生じる連続かつ微分不可能、という数学的に異常な姿を、自然界における正常な状態として捉えることから出発した考え方である。

フラクタルは、その解析法となる次元測定や、フラクタル図形の可視化に際して繰り返し計算が用いられるため、コンピュータの普及に伴って、非線形・散逸力学系（カオス）とともに急速に発展してきた。また、ブラウン運動におけるランダムウォークの解析や金属パーコレーション（相転移）など、多くの物理学的分野での応用面から注目を浴びてきた考え方でもある。土木の分野でも、景観設計の支援手法として自然界の持つ「形の法則性」を見いだすために「フラクタル理論」を用いる研究例（例えば関ら、1997）が見られる。

このような応用分野の一つとして、自然界の地形が持つフラクタル性に関する事例が、フラクタルの生みの親であるB. マンデルブロ（1982）によって明らかにされており、海岸線や山岳地形などに加えて、水系網がフラクタルな構造を成していることが示唆されている。水系網については、ホートンの法則やハックの法則など、結果的にフラクタル構造そのものを表すような経験式が提案されており、形態学的にフラクタル理論との関係が注目される。また水系網に関しては、形態的な表現方法にとどまらず、情報量として定量的に測られるフラクタル次元によって、水文量（降雨・流出）などの一面を捉えることができるのではないかという推測や試行事例もある。

以上のような背景を踏まえ、フラクタル理論が持つ複雑さの表現指標を、山間溪流の河系模様参照して合わせ、「フラクタル次元」として出力することで、様々な成立条件を持った山間溪流についての解析を試みた。それらの結果をもとに、河系模様の特性（分岐の頻度、広がり方向性…）がフラクタル次元に及ぼしている影響を解析し、山間流域の特性値としての表現性（性質・量）を検討した。また、地質特性や測定流域の規模（スケールリング）、水文量などの様々な条件に対して、フラクタル次元の挙動を解析する。

一般に砂防施設などの人為が加わることによって、河道や水系が直線的になり単純化するとされているため、これを定量的に表す指標として用いることができるかどうかを検討する必要がある。検討にあたっては、汎用性の意味から、多摩川流域に限定せず、一般に荒廃が進んでいると思われている

他流域などの地形図情報を収集して、検討を行った。

5.2 フラクタルと水系網解析手法

現在までに提案されている水系網の形状や発達過程に関する法則は、河口から源頭部までの流域一環というスケールにおいて議論されてきたものが多く、フラクタル理論を用いた河系模様の解析事例でも、本川の形状やアマゾン川全流域の次元測定など、全体規模の試行が行われてきた。本論の定義域としては、森林水文学的な対象範囲という意味で山地地形の水系網を解析の対象として設定し、谷地形の形状に焦点をおいて検討を行うものとする。

5.2.1 フラクタル次元

一般的に理解されている次元の定義は、点（0次元）、直線（1次元）、平面（2次元）…というようなユークリッド次元（ d ）と呼ばれる考え方であり、 d は自然数値のみを取るものである。これに対して、無限回の縮小写像による極限集合がユークリッド2次元平面を埋め尽くす連続曲線（図-1）が、ペアノによって発見され、このペアノ曲線（平面充填曲線）を契機に次元論が厳密に討議されるようになった。また、自己相似集合として、やはり無限回の縮小写像によって定義されるコッホ曲線やカントール集合が発見されたことにより、線（ $d=1$ ）よりも面（ $d=2$ ）に近い、あるいは線というよりは点（ $d=0$ ）の離散集合に近いという図形を眼の前にして、ユークリッド次元（ d ）では対応しきれない状況となった。これらの問題に対し、ハウスドルフ次元などの計算方法を用いて、非整数次元による表現が行われるようになった経緯がある。

フラクタル次元は複数の方法によって定義されているが、現在のところ非整数値を取りうる次元のことをまとめてフラクタルと呼んでいるのが現状である。フラクタル図形は、一般に非常に複雑な形をしているが、その複雑さを非整数次元によって定量化することができると考えられている。本論の場合、酔歩モデルやモンテカルロ法などによって解析が試みられてきた水系網のランダムな特性に対し、その複雑さを表現する手法としてフラクタル次元の導入を行うものである。

5.2.2 フラクタル次元の定義手法

フラクタル次元の測定方法として、本論で対象とする河系模様のように、多くの分岐を含む連続的な図形に対しては、「粗視化の度合いを変える方法」が適しており（高安、1986）、河川の本川を中心としたフラクタル次元の測定が行われて来た実績がある。図-2によって、実際的なフラクタル次元の測定方法を示す。

(a) 地形図上で対象流域を設定した後、(b) ストレーラーの水路次数区分による1次谷までの水路をトレースし白紙の上に抜き出す。抽出された水系網に対して、(c) 一辺が r の正方形格子（メッシュ）平面を用意し、最も効率的に水系網を被覆する配置を定める。配置が決定したら、その平面内におい

水系網の一部が通過するようなメッシュ数を数え上げ、その個数を $N(r)$ とする。さらに、(d) メッシュ間隔 (r)をいろいろに変化させた場合の $N(r)$ を計測する。

以上の試行結果として、

$$N(r) \propto r^{-D}$$

という関係が満たされる場合に、水系網の形は D 次元であると定義され、対象水系の、粗視化の度合いを変える方法によるフラクタル次元を求めることができる。

この方法の技術的な問題点は次項に取り上げるとして、理論的な面から認識しておかなければ成らない点がある。自然界の事象のように実際に存在するものの形は、特徴的な長さを持たないフラクタルであるとしても、それが成り立つ上限と下限が存在し、川の場合、近づきすぎれば有限の川面から水分子の世界に達し、遠ざかりすぎること地球上の一点としての 0 次元に近づいていく。また、粗視化の度合いとしての r を多く取るほど、フラクタル次元測定の精度が上がるわけではなく、 r を細かくすることで細部の構造が複雑さを増し、誤差が大きくなることも知られている。従って、純粋な自己相似集合からなる図形に対して求められるフラクタル次元と異なり、粗視化の度合いによる方法を用いたフラクタル次元は、大凡の値を表していることに留意する必要がある。

5.2.3 フラクタル次元の補足方法

5.2.2に示した測定手法においては、測定者や方法の違いによって様々な誤差が侵入する可能性がある。それらの問題点を列挙し統一方法を示すと共に、区間推定を用いたフラクタル次元の信頼性に対する評価を行った。

まず図-2の(a)から(b)における1次谷の定義であるが、図-3に示したような一般的に用いられる概念図によって抽出している。水路次数区分は、地形図の縮尺や測定者の感覚的なものによって大きく左右されるために、最低次の値を数値で与えるべきではないとする意見もあり()、非常に曖昧な部分を残した定義である。

また(c)においては、最も効率の良いメッシュのかけ方という点で曖昧さが残るが、水系網中の下流端から延びる水路に対して、正方格子が垂直となるような条件下での測定を行い、 $N(r)$ が最も小さくなる配置を求めることとして統一を図った。

以上の定義・測定方法における曖昧さの度合いを確認した上で、実際の山地水系網におけるフラクタル次元の解析を行った。

5.2.4 次元計測の手法

次元計測の手法について、図-5.2.1に示す。

対象とする流域の地形図を収集し、これより水系図を抜き出す。この水系図に対して、一定のメッ

シュ（格子）を被せることで水系を含むメッシュをカウントする。メッシュの間隔を違えていくことで、それぞれのメッシュに対応した該当メッシュ数を記録する。

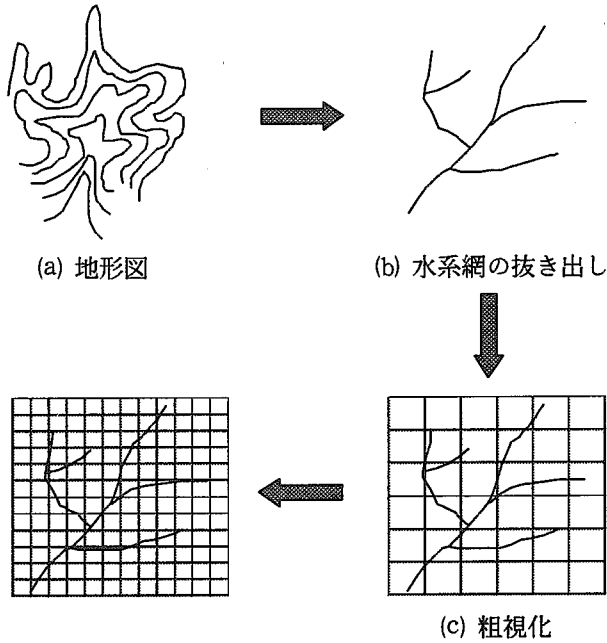


図-5.2.1 フラクタル次元計測手法

5.2.5 次元計測の結果

以上の手法によって解析した溪流の一覧と結果を、表-5.2.1に示す。

表-5.2.1 サンプル溪流の諸元とフラクタル次元

水系	溪流名	流域面積(A) (km ²)	総流路長(L) (km)	水系密度 (L/A)	分岐 (N)	水流頻度 (N/A)	フラクタル次元 (D)
釜無川	赤藪沢	7.07	11.27	1.59	10	1.41	1.18
	石空南沢	2.72	7.47	2.75	9	3.31	1.29
	ドンドコ沢	6.05	9.27	1.53	8	1.32	1.20
姫川	湯ノ入沢	7.36	5.86	0.80	3	0.41	1.05
	蒲原沢	3.70	5.03	1.36	3	0.81	1.14
大谷川	稻荷川上流	6.65	13.68	2.06	15	2.26	1.22
	田母沢	3.42	8.57	2.51	4	1.17	1.28
多摩川	海沢	8.61	23.82	2.77	31	3.60	1.35
	小袖川	6.37	11.38	1.79	9	1.41	1.10
	中沢川	2.31	12.13	5.25	30	12.99	1.34
渡良瀬川	松木川	30.60	46.76	1.53	43	1.41	1.26

L: 1次谷以上の流路長合計 N: 支川合流点の数

計測した流域のメッシュ数 $N(r)$ 、メッシュ間隔 (r) の関係において

$$N(r) \propto r^{-D} \quad (\text{指数 } D \text{ がフラクタル次元、 } r \text{ は } 125, 250, 500, 750, 1000 \text{ m の } 5 \text{ 種})$$

が、 R^2 値 9.9 前後の高い値を示し、山地水系網のフラクタル性が確かめられた。河川のフラクタル次元（山間の低次谷を含まない）は測定の事例があり、大凡 D が 1.1~1.3 に収まるもの⁴⁾とされている。

今回の計測からは、 D が 1.1~1.4 程度に収束した。従って、山間溪流に限定してスケーリングを変えても、水系網のフラクタル性や D の範囲は変わらないと考えられる。

ここで、水系網の特性を表す数値として表に掲げたフラクタル次元以外の項目について取りまとめた。

① 流域平均幅 (B)

流域形状が正方形に近ければ、 $F \rightarrow 1$ になる。日本の河川は 0.3 以下で 0.2 以下が多い。 F が大きいものは、長さの割に幅広、小さいものは細長い。

$$\begin{aligned} \bullet B &= A / L_o \quad (= A / L_m) & A &: \text{流域面積} \\ & & L_o &: \text{流域最大辺長} \quad (L_m: \text{本流の長さ}) \\ \bullet F \text{ (形状係数)} &= B / L_o \\ &= A / L_o^2 \end{aligned}$$

② Hackの法則

日本の河川の平均値は、 $n = 0.6$ (円に近いほど 0.5)、 $X = 1.89$ 程度である。

$$\bullet L_m = X \cdot A^n \quad L_m: \text{本流の長さ}$$
$$A: \text{流域面積}$$

③ 起伏量

定性的には、起伏比の大きい流域ほど不安定で、流出土砂量も大きい。

$$\bullet H_r = H - H_o \quad H_r: \text{流域起伏量}$$
$$H: \text{最大高度} \quad H_o: \text{最低高度}$$
$$\bullet R \text{ (起伏比)} = H_r / L_o \quad (= H_r / L_m)$$

④ Horton則

a. 水流数の法則 (第 1 法則)

$$N_i = R_b \times N_{i+1} \quad N_i: i \text{ 次水流の数} \quad (i = 1, 2, \dots, k-1) \quad k: \text{流域最高次数}$$
$$R_b: \text{分岐比 (一般に } 3 \sim 5)$$

$$N_i = R_b^{(k-i)} \quad (i = 1, 2, \dots, k) \quad \text{—— 初項 } 1 \cdot \text{公比 } R_b \text{ の幾何級数表示}$$

b. 水流長の法則（第2法則）

$$L_{i+1} = R_L \times L_i$$

L_i : i 次水流の平均長

R_L : 流長比（同一流域内では一定とされる {1.5~2.0}）

$$L_i^* = L_i \times R_L^{(i-1)} \quad (i=1,2,\dots,k)$$

L_i^* : i 次の水流の長さの平均

L_1^* : 1次水流の長さの平均

c. 水流勾配の法則（第3法則）

$$S_i = R_s \times S_{i+1}$$

S_i : i 次水流の勾配の平均

R_s : 勾配比（平衡河川では、ほぼ流長比の逆数となる）

d. 流域面積の法則（第4法則）

$$A_{i+1} = R_a \times A_i$$

A_i : i 次水流の流域面積

R_a : 面積比（概ね4.5程度になる）

$$A_i^* = A_1^* \times R_a^{(i-1)} \quad (i=1,2,\dots,k)$$

A_i^* : i 次の流域面積の平均

A_1^* : 1次の流域面積の平均

⑤ 水系密度 (Dd)

水系密度は、崩壊土砂量や流出土砂量と有意の相関関係。

$$\bullet Dd = \sum_{i=1}^k L_i / A$$

L_i : i 次の水流長 (k : 流域内最高次数)

⑥ 水系頻度 (Fd)

$$\bullet Fd = \sum_{i=1}^k N_i / A$$

N_i : i 次の流路数 (k : 流域内最高次数)

$$F_d \propto D d^2 \quad \text{あるいは} \quad F_d = 0.649 D_d^{2.3}$$

フラクタル次元が表す流域の特性は、その定義から2次元的な流路の広がり・複雑さに関係している訳であるが、これを裏付けるものとして「D-水系密度」の関係を図-5.2.2に示す。

同一流域（地質）の結果だけで単相関を取ると、R2が0.9以上を示すケースも多い。今回の選定地域は直轄砂防が行われている比較的荒廃した（花崗岩）地域が多く、これに多摩川水系（堆積岩類）を加えると、各種の相関が不安定になった為、地域的な差に関する検討が必要である。水系というマクロな視点から捉えている為、地形地質的な要因に加えて、過去の大規模な河道改修なども加味され

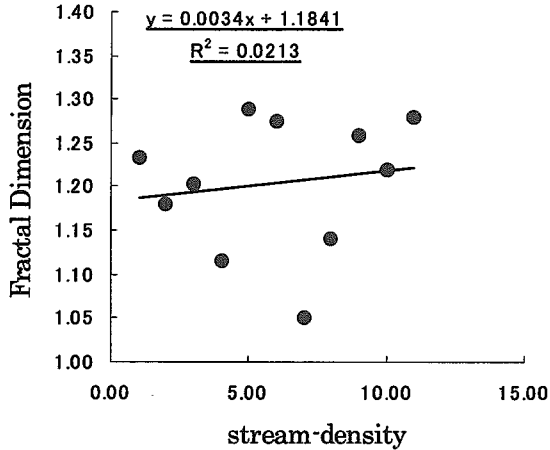


図-5.2.2 D-水系密度の関係

るべきである。

しかし、現実問題として、個別の要素ごとにフラクタル次元への寄与度を判定することは難しく、あくまでも形状を表す総合的な指標として考えるに留めるべきである。

また、地すべりや地質的な要因で、谷地形の発達が劣っている場合、とくに一次谷の発達が悪いとDが低くなる傾向があるように思われる。

5.2.6 多摩川におけるフラクタル次元のまとめ

多摩川流域、とくに最上流部を除いた地域は、比較的古い時代の堆積岩を主体とした地質からなっている。当然、部分的には風化や崩壊の見られる箇所が点在するものの、いわゆる荒廃流域とは異なっている。国内における荒廃流域の多くは、大規模な花崗岩地帯を上流に持っているようなケースが多く、コンスタントな土砂生産・移動が行われている。

多摩川にも花崗岩地帯が含まれているが、最上流部の谷字数が低い地域に相当しており、直接的な下流側への土砂供給に関しては影響が少ない。

こういった、広域の地質特性が主要因となって、他水系との比較に際し、フラクタル次元に差が生じたものと考えられる。

土石流や洪水を度々繰り返すような水系の場合、とくに小面積の溪流では、流れが直線的になる傾向があることも考えられる。また、そのような溪流では、何らかの形で溪流工事が行われており、流下をスムーズにするため、流路の直線化が進んでいることも事実である。

これに対して、多摩川流域（山地）では大規模な流路工事なども無く、比較的古い地形として刻まれた溪谷が、複雑な多様性をもった形状で維持されているものと考えられる。

5.3 トポロジーと組み合わせたフラクタル解析

水系網という自然地形が作り出したマクロな視点に対して、人為構造物によって流路を固定された河道内で、みおすじが形成する形状についても、フラクタル次元の解析を試みた。

多摩川流域の山地には、大規模な流路工が整備されていないため、ここでは、荒廃が著しい関東地域の溪流として隣接する富士川水系のケースで検討を行った。

5.3.1 流水幅の縦断変化

流路工内の流水発散・集中の現象は、川を横断する形で施工された床固工をコントロールポイントと考え、流水幅（みおすじ）の縦断変化を航空写真から読みとって（写真-5.3.1）、検討を行った。

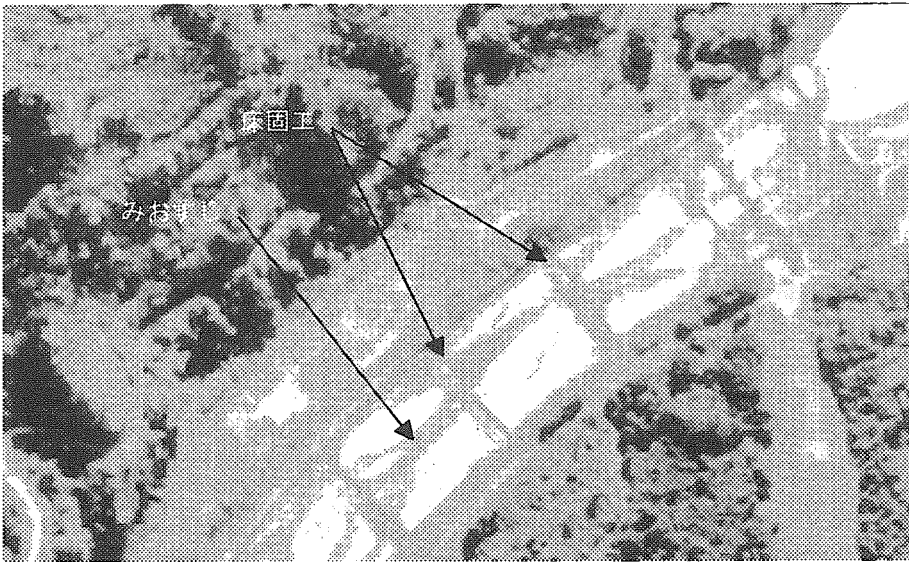


写真-5.3.1 航空写真の一例

まず、人為構造物である流路工が完成した時点での、流水幅（みおすじ）、平均のみおすじ幅、みおすじの数などを計測した。結果を図-5.3.1に示す。

河幅は兩岸の護岸工によって、80mで固定されており、横断構造物（床固工）は100mピッチで設置されている。

100mピッチの床固工に対して、その前後で流水幅の広がり（ほとんど70m付近にまで達する）が起り、周期的な変化が現れている。こういった人為的な構造物が、自然河道や流水の形状を単調なものにしてしまうことが明らかになった。

5.3.2 河床横断形状

筆者らが既往研究として行ってきた、構造物による河道の単調化に関するデータから、上記流路工

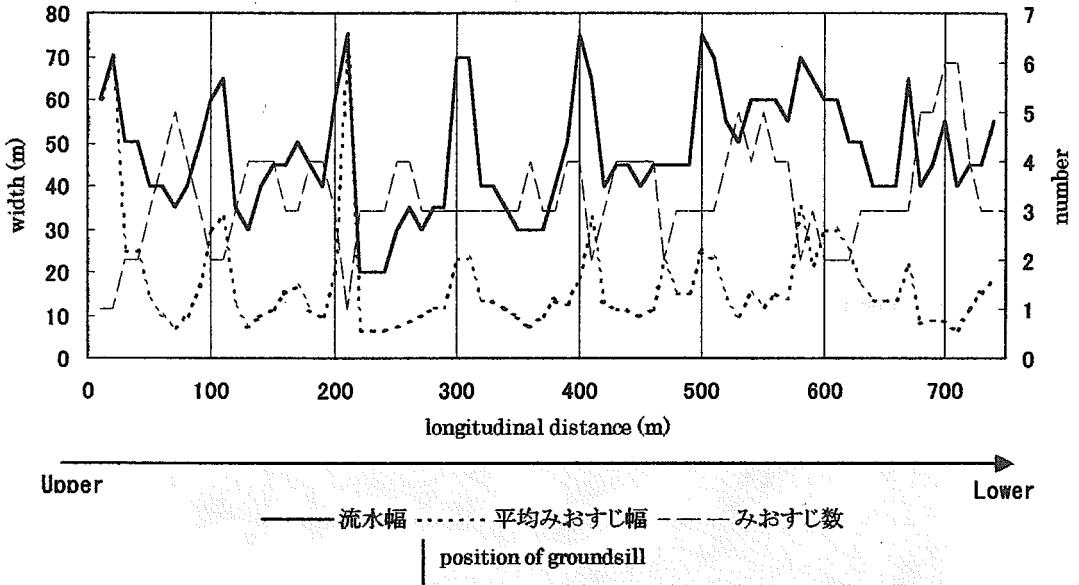


図-5.3.1 流路工内のみおすじ変化状況

における横断測量結果を利用し、よりマイクロな視点での単調化について検討を行った。

図-5.3.2に横断面図の解析結果を示す。

consolidation dam No.14

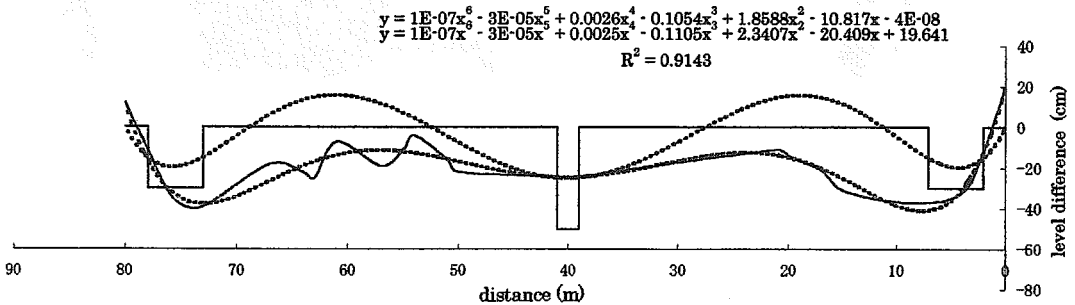


図-5.3.2 河床横断面図の解析

現地測量による河床横断形状と、床固めの天端形状を6次式近似すると、平均的にR²乗値で0.7~0.8ぐらいの値が得られた。点線が近似曲線を表す。黒の実線が、床固工の断面で、両岸および真ん中に見られる、へこんだ部分が、魚道のための切欠きとなっている。

構造物を近似式で表した黒の点線に対して、河床高を近似した茶色の点線がシンメトリックに規則的な振幅を持っている事がわかる。これらの振幅は、明らかに構造物の切欠きに規定されており、構

造物による河床地形の単調化の一端を表す例として注目すべきであると考えられる。

床固工によって縦断方向でみられたみおすじ幅の単調化と同様に、横断面上でも、構造物の形状（切欠き）に依存する形で、河床形状が規則性を持った単純なものになっていることが明らかになった。

5.3.3 トポロジーとの比較

流路の平面形を比較的ミクロに捉えた場合を想定し、位相数学のグラフ理論的な手法で網状流路を解析した手法5)を砂防流路に適用した。

図-5.3.3は、同一流路区間（2時期）の水みちを航空写真から判読し、節点（node）を加えたものである。

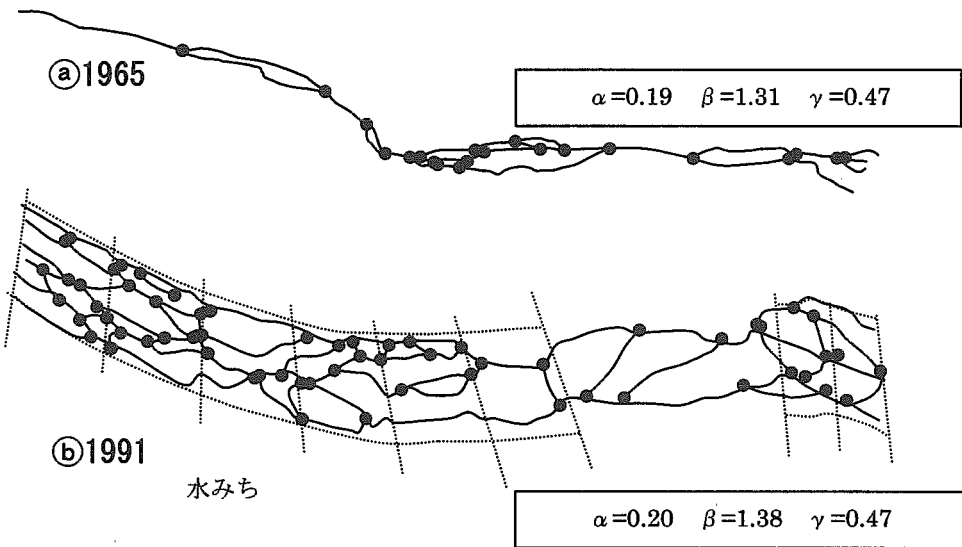


図-5.3.3 網状流路の平面形

この流路では、26年間の隔たりの間に護岸や落差工の整備が進み、常水路の形状が大きく変化している。

しかし、この2ケースに対して節点や流路数などによって決定する3つの指標（図参照）を比較すると、ほとんど同じ値をとる結果を得た。

これに対してフラクタル図形としての解析を試みた場合、

(a) 1965 → 1.11

(b) 1991 → 1.49

というように水みちが分岐し広がる様子（網状流路化）を定量的に表すことが可能となった。

5.4 フラクタル次元のまとめと今後の可能性

今回の検討結果から、主に流路の平面形に対する特性を数量化する手法として、フラクタル次元を用いた解析の有効性を示すことが出来た。河川地形学的な定義量（Horton 則など）や地質特性などの要因を包括した指標値として期待される。また、ランダムや統計的手法によってのみモデル化することができた（網状）流路のパターンについてもフラクタルの概念を導入することで、新たな表現手法を得ることが出来そうである。と同時に、次元計測につきまとう誤差を客観的に補う信頼区間のような定義を明確にする必要もある。

昨今の河川環境などで用いられることの多い"多様性"といった定性的な言葉を、より具体化して客観的に示すための道具として、フラクタル次元が有用であることを、ある程度確認することが出来たものと考えている。

6. 防災工事における溪流魚類との関わりについて

環境砂防の主要課題として、溪流魚と砂防事業に関する多くの研究や試みが行われているが、とくに溪流魚の生態的な特性である回遊行動に力点が置かれてきた経緯があり、各種構造物への魚道設置や砂防ダムオープン化のような縦断方向の移動経路を確保する対策が広範な認識を勝ち得てきた。しかし、対策を要する根拠としての回遊行動については生態学的な理想型で述べられた定義が暗黙の了解とされているため、「回遊」という固定観念が検討の視野を狭め、しばしば現実離れした計画を導く誘因となっている。

広い意味での溪流工事が溪流魚類相に与える影響としては、「落差工などによる移動障害」に加えて「河道断面の整形や護岸などによる生息環境の変化」が考えられる（玉井ら、1993）が、実際の問題意識は回遊行動からのアプローチに偏りがちである。これは水産資源としての有用性（千田、1991）の観点から、アユのような特定種の回遊行動を重視してきた影響によるものと推察される。一方で溪流魚の産卵床や棲み場所に関する研究事例（例えば柳井ら、1996）も見られるが、北海道などの比較的人為の影響が少ない流域に関するものが多い。これらの事例を直接的に一般化することに対しては木に竹を接ぐような感が否めず、多くの溪流魚は放流事業によって支えられている（前川ら、1997）現状とのギャップを生み出すことにも繋がる。むしろ砂防事業が行われる区間に天然個体群が存続している状況は稀であり、堰堤によって個体群の系統が維持されているといった美談めいた話は特殊なケースとして考えるべきであろう。

以上の観点から砂防事業が対象とする溪流魚の位置づけを再検討し、魚道を含めた対策の目的を明確にし直す必要があるものと考えられる。本稿では全体計画、施設配置計画、概略設計のような選択に幅のある段階において、溪流魚の現状を効果的に反映させる手法の検討を目的とする。その基本的な理念は、放流魚を含めた溪流魚の再生産システムの持続を理想と考え、「回遊」の現状把握を軸とした溪流魚の捉え方を考察するものである。

6.1 砂防事業から見た溪流魚の特性

一般に砂防事業が具体的な対応策まで含めた配慮の対象とするのは、ヤマメやイワナなどのごく限られた種であるが、溪流を生息場所とする「溪流魚」は底生魚類なども含めた構成種から一つの相を成している。表-6.1.1に、溪流を生息域とするもの、あるいはその生活圏が溪流に及ぶものを例示した。

砂防事業によって影響を受ける淡水魚は30~40種程度と見積もられている（高橋、1991）が、この種数はタカハヤ（西日本）とアブラハヤ（東日本）のような地域種の交替や、サケ科魚類の亜種・型の違いなども考慮したものである。以下では表-1に取り上げた具体的な魚類相を中心に検討を行う。

表-6.1.1 溪流に生活圏をもつ主要な魚種

Species	Zoological name	Family
ヤマメ	<i>Oncorhynchus masou</i>	サケ科
アマゴ	<i>Oncorhynchus masou ishikawae</i>	サケ科
イワナ	<i>Salvelinus leucomaenis</i>	サケ科
ニジマス	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	サケ科
ウグイ	<i>Tribolodon hakonensis</i>	コイ科
タカハヤ	<i>Phoxinus oxycephalus</i>	コイ科
カワムツ (B型)	<i>Zacco temmincki</i>	コイ科
シマドジョウ	<i>Cobitis biwae</i>	ドジョウ科
カワヨシノボリ	<i>Rhingobius flumineus</i>	ハゼ科
カジカ (大卵型)	<i>Cottus pollux</i>	カジカ科

6.2 生態的な特性

淡水魚類全般を生態的に大きな枠組みで分類する場合には様々な要素が考えられるが、溪流魚については「降海型と陸封型 (非降海型)」「遊泳魚と底生魚」の大きく2点から捉えることができる (表-6.2.1)。

表-6.2.1 回遊による魚種の区分

	陸封型 (Landlocked form)	降海型 (Sea-run form)
遊泳魚 (Swimming fish)	ヤマメ アマゴ イワナ ウグイ ニジマス タカハヤ カワムツ (B型)	サクラマス サツキマス アメマスなど ウグイ (降海個体)
底生魚 (Benthic fish)	シマドジョウ カワヨシノボリ カジカ (大卵型)	(カンキョウカジカなど) 局所的に分布する例あり

通し回遊魚 (海と淡水域を定期的に移動する魚) を中心に簡略化した淡水魚の分類ならびに回遊行動のパターンを図-6.2.1に示す。

ほとんどの溪流魚は通し回遊魚に分類されるが、通し回遊魚の中にも降海型と残留型があるため、

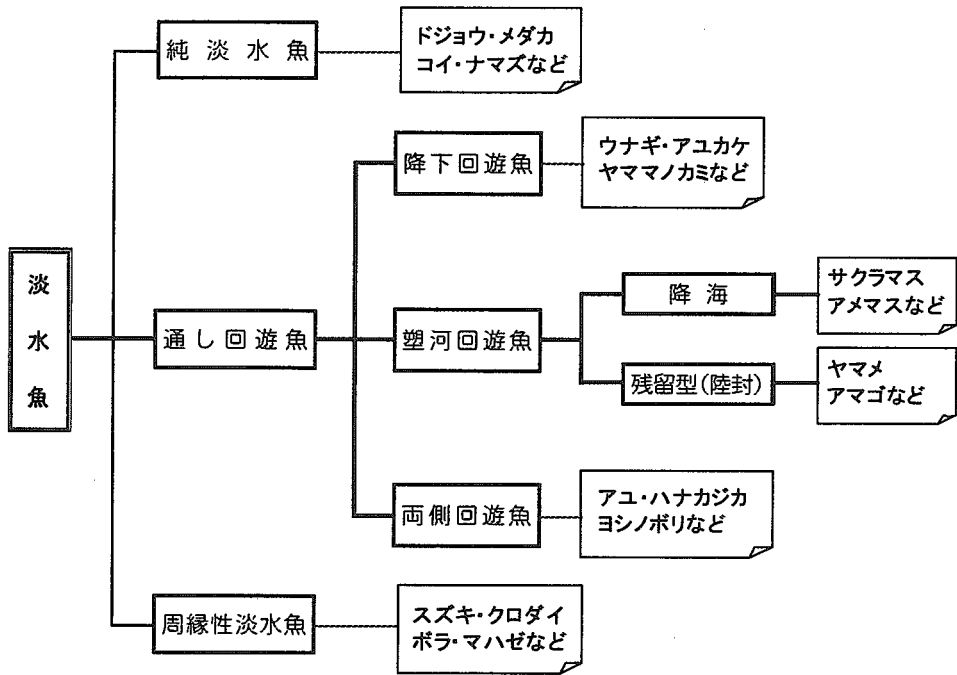


図-6.2.1 回遊を中心とした淡水魚の分類

図-6.2.1の分類図では海水と淡水を行き来する必要性が明確にならないという欠点がある。このような防災計画から見た場合の煩雑さを整理するために、表-6.2.1では単純に降海の有無で分類を行っている。渓流域ではカンキョウカジカのような通し回遊を生活環 (life cycle) とする底生魚が一般的に考えにくいいため、海と渓流域を回遊する主なものとしてはヤマメ・アマゴの降海個体であるサクラマス・サツキマス、ウグイの降海個体 (マルタウグイ等も含む)、さらに北海道・東北などにおけるイワナの降海個体 (アメマス等) が考えられる。その他の魚種については生活環が淡水域 (狭義には渓流域) で完結するものと位置づけることができる。

また、生態として最も大きな違いを表す「遊泳魚と底生魚」は、砂防事業との関連を考える際にも、生活形態の相違によって非常に異なった影響を受ける可能性がある。

6.3 社会的要因 (放流事業) による特性

これは、多摩川流域においても問題となりうるものである。国内のほとんどの溪流・河川では、レジャーとしての釣りを目的に、あるいは環境改善の一環としての放流が行われている。とくに前項を目的とした放流は、数量的に溪流魚類相に与える影響が大きく無視できない要因となっている。

湖のような閉塞環境にない分、溪流魚ではあまり取りざたされないが、原種の保存という観点からは非常に大きな問題を含んでいる。多摩川流域を扱った、各種の釣り情報紙や書籍においても、数十

年前まで、明らかに天然物と思われるヤマメが釣れていたが、現在は、探すのが難しいという状況が記されている。

放流魚の中でも、在来個体が存在する種（ヤマメ等）と完全な移入種（ニジマス等）を分類する必要がある（表-4）。

表-6.3.1 在来個体と移入種の区別

	放流魚 (Hatchery fish)	国内在来魚 (Nativ fish)
遊 泳 魚	ヤマメ アマゴ イワナ ニジマス	ヤマメ アマゴ イワナ ウグイ タカハヤ カワムツ (B型)
底 生 魚	(カジカ)	シマドジョウ カワヨシノボリ カジカ (大卵型)

この分類の意図は、流域在来個体の保全を考えた放流なのか、それとも水産振興中心の目的で継続供給されているのかを判断する必要性に根ざしている。明確な事例として多摩川上流域に成魚放流されたニジマスのうち、9割が解禁後の5日間で釣り上げられるという報告（加藤、1990）がある。また、国内でのニジマスを始めとするサケ科魚類の移入種に関する天然再生産は非常に稀であり、繁殖しても次世代が成魚まで生き残る可能性は極めて低い（川那部ら、1989）。稀なケースとして、日原川において再生産後の2世代目と思われる個体が採取された事例がある。

したがって移入種に関しては一時的に溪流を生息場所とする、あるいは個体の継続供給によって離散的に生息しうる魚種と見なすのが妥当であり、再生産型の対象魚類には該当しないと考えることができる。

6.4 防災面から見た溪流魚

本来、砂防事業が行われるような溪流は荒廃が激しく、溪流魚などが棲める環境ではないような地域であった（永井、1994）。森林伐採に伴う土砂生産の著しかった本来の砂防域では、山腹工に付随した溪流工による河床の安定化から植生の侵入を経て、溪流魚を含めた生物が生息できる場への変遷を辿るものであった。しかし経済規模の拡大に伴う国土の変貌が著しくなり（東京農工大学、1987）交通網や各種施設などの保全対象の増加に伴って、荒廃の程度に関わらず溪流工を中心とした砂防整備の必要性が生じる状況となった。

このような状況下で溪流魚と砂防を対峙させること、あるいは溪流生態系における砂防のあり方を模索していくことは、人間の生活と自然環境のバランスを図っていくことと同義であり、非常に複雑な観点が絡み合った課題である。したがって、防災面だけから砂防事業を正当化するのが難しいように、純粋生態学や生態系保護の理念的なアプローチだけで溪流魚のあり方を考えることも現実問題としては困難である。

前出までの社会的要因ならびに防災面からの整理によって、砂防計画を立てる際の個々の場における条件によって、回遊行動を中心とした溪流魚の生態的特性を再検討する必要性を示した。この回遊行動に重点を置いた計画の具体的工種として、結果の如何に関わらず魚道の影響を顧みる必要がある。魚道の構造的・機能的な面に関わる事項については多くの既往研究、出版物等（例えば廣瀬ら、1991）を参照するものとして、ここでは調査・計画段階における魚道の位置づけを再考し、その結果を踏まえて溪流魚の分類を中心とした検討・考察に移るものとする。

6.5 魚道の再検討

魚道が広く認識されるにしたがって、固定概念や先入観によって本来の目的にそぐわない環境が創造される弊害も大きくなってきた。魚が流れに逆らって上流を目指す場面は、鯉が急瀬を上り竜となる「登竜門」の故事（さいたま水族館、1984）のように人々の感興をそそるものがあり、「魚道を上る」行動が砂防関係者にとどまらず生態学の研究者から一般の人々に至るまで非常に関心を集めている。多種多様な魚類や流況に対応可能な魚道の追究に異論を持つものではないが、魚道を取り巻く現状を鑑みると「魚道を上らせる」のは目的ではなく手段の一つであるという再認識が必要のように思われる。

また機能的に完成度の高い魚道、それも流域一環のシステムとしての魚道群を整備することが困難な実状を押さえておく必要がある。例えそれが可能であったとしても、出水後の維持管理（久保田ら、1997）を含めた機能の持続に関する労力には計り知れないものがある。人為構造物による自由な回遊路の維持は、恒常的な監督の下における河川でしか実現が困難であり、そのような環境はもはや自然の水系とは言えない（C.Gossetら、1996）ものと考えられる。理想的な魚類の生態を根拠としながら、管理水路としての監督を必要条件とする魚道システムは大きな矛盾を抱えており、個々の構造的な機能を考えても方向性に誤りがあると多くの無駄なものを作ってしまう（原、1996）危険性を孕んでいる。

さらに環境砂防の改善事例は施工前と施工後の対比で行われることが多く、魚道についても自然石を用いた華やかな施工後の写真が引き合いに出されるが、溪流魚にとっては施工中の直接的な影響が最も深刻なのである。魚道の新設工事のために河道内が工事用道路などによる大幅な整形を受け、現場下流の広範囲に、少なくとも数ヶ月間に亘って濁水やコンクリート打設に伴うアルカリ性の排水が

流される状況となる。周辺環境も含めた施工中の影響を常に念頭においた検討が必要である。

以上のように理念としての根本的な部分に曖昧さを残し、多面的な判断に欠けがちな魚道計画の危険性を認識したうえで、前章で整理した溪流魚の分類に基づく検討を行う。

6.6 分類項目毎の検討

6.6.1 回遊行動

図-6.2.1において淡水魚類に関する回遊パターンを整理したが、渓流域における横断構造物の移動経路遮断の問題から考えると、対象となる溪流魚は基本的に産卵遡上を行う特性を持つため、降河回遊、遡河回遊、両側回遊といった生態的グループ分けはあまり重要な意味を持たず、遡上に対する緩和措置の検討が第一となる。降下魚対策や各種施設への迷入防止に対して、魚道などは別途に考えることを望むべき（中村、1995）であり、まず河川遡上の連続性を妨げない工夫をする必要が求められる。

一方で、海洋での成長期を生活環に持つ通し回遊魚としてのサケ科魚類は、生活史の可塑性（後藤ら、1994）という回遊に対する柔軟性を有しており、砂防ダムのような物理的移動限界によって容易に陸封型個体群に変化する事例が数多く報告されている。人為のない状態から考えた場合の生活史改変および現状肯定の前提はあるにせよ、海と溪流を連続させる必要性が全てに優先するとの発想は総合的な判断に欠けていると思われる。いずれにしても個々の現場単位で検討する際には、対象魚類の回遊区分や目的とする回遊区間を整理して明確にする必要がある。

6.6.2 河川内回遊

降海を行わない魚類に対しては、海と溪流を繋ぐような人口構造物の必要性は低い。ただし、本来存在しないはずの横断構造物によって生息域が分断されることによる問題が発生し、個体群維持の観点からは遺伝子レベルでの多様性の低下を招き、場合によっては特定区間内での絶滅を招く原因ともなる。また陸封型の魚類が、生活環を通してどの程度の移動距離を必要とするのかが明確にされていないため、陸封型個体に対しては魚道の必要性が無いとする判断にも問題がある。参考データとして福島県内水試による種苗放流されたイワナの分散例（表-6.6.1）があり、大規模な出水がなければ放流地点から上流500m、下流1,500mの大凡2 km程度の範囲内に分散すると考える見解（山本、1991）もある。

この産卵遡上を含めた陸封魚の生活環における移動を「河川内回遊」と定義する。成魚期の生息場所よりも上流側で産卵を行うことで急峻な流れを持つ溪流環境に適応してきた生態を考慮すると、床固工群のような小規模の分断生息域を発生させる計画に対しては魚道の必要性が高いと判断される。この河川内回遊を抛り所として、連続性の範囲が小さい単発の魚道設置に対しても必要性の理論付け

表-6.6.1 河川内での移動距離観測事例

河川 Rivers	放流時の体重 (g) Weight at release	再捕時の体重 (g) Weight at recapture	分散(m) Scattering	
			Upper stream	Lower reaches
A 川	卵放流	0.32	0	250
		6.9	100	1,400
		9.95	100	1,400
B 川	2.1	10±5.3	?	140* ¹
		21.7~65.0	一部あり	240
		61.0~132	一部あり	240
C 川	2.4	5.2	300	1,000
		27.5	100	900
D 川* ²	2.8	5.6	0	2,500
		16.7	0	2,500
E 川	3.9	9.9	50	350

* 1 再捕魚の約 80% がこの範囲で再捕された (80% of released fish recaptured this area)

* 2 台風による出水あり (with a flood by a typhoon)

を与えることが可能となる。人為的影響で陸封化したものも含めて非降海型の溪流魚が必要とする河川内回遊区間のスケールに関しては、今後、生態学的な側面からの研究や情報提供が望まれる。

6.6.3 遊泳魚類と底生魚類

カジカ (大卵型) やヨシノボリ類のような底生魚類が生息する場合、これらは天然魚 (稀にカジカの放流も行われる) であるため溪流魚類相の自然度を表す指標としては重要である。

多摩川流域においても、底生魚類の生息が確認されているが、底生魚の詳細な調査は困難であるため、今回は確認を行っていない。少なくともヤマメ・ニジマスといったような大規模な放流事業は行われていないようであるため、生息の大半は天然魚類であるものと考えられる。

底生魚類が生息する溪流環境では、多くの場合、同時に遊泳魚類が生息しており、両者の間では以下に示すCase 1のように環境条件の変化に伴う影響が質的なものも含めて大きく異なる。

(Case 1)

縦断方向の移動経路を遮る横断構造物 (砂防ダムなど) に対して、非常に機能的な魚道が追加設置されたと仮定した場合である。底板まで切り込みが入る Vertical slot 型などの底生魚にも有効である (妹尾、1997) とされる魚道もあるが、基本的に魚道の設置は遊泳魚を対象とするものと考えべきである。魚道設置によって遊泳魚に対しては部分的な遡上経路が確保されるが、濁水や河床整形の直接的な影響を受けやすい底生魚の卵が死滅し、個体群の維持が困難となる状況も予想される。

Case 1 で扱う遊泳魚が放流個体である場合、天然の底生魚への影響と魚道の設置を天秤にかけることになり、自然生態系として、また社会利用としての難しい判断を求められる。ただし現状では、検討条件の如何に関わらず魚道の設置が優先している。

また底生魚の場合、遊泳力や移動範囲において明らかに遊泳魚よりもスケールが小さいため、産卵遡上・河川内回遊のような動的な生態以上に生息環境・産卵床などの定住性に関する条件が影響力を持っている。浮き石や河床粒径などの環境条件がカジカの生息制限要因に作用するという報告（川俣ら、1995）もある。

6.6.4 放流魚と天然魚

砂防事業が対象とする場所、あるいは広い意味で溪流・流域を計画の相手とする場合、生息する魚類が放流魚なのか天然魚なのかという真実は、簡単に判断できるものではない。元々は放流個体だったものが、幾世代かの天然再生産を行える環境に恵まれた場合、もはや化学的な試験以外では真偽が定まらない状況に成りうるのである。またサケ科の遊泳魚に目を奪われて溪流魚類相を偏った視点から眺めた結果、アブラハヤやシマドジョウなどの生息を顧みずに、「放流ヤマメの棲む河川釣堀りである」とするような判断を犯す危険性もある。詳細な調査を実施した場合でも、生息種の確認はできるが否定を行うのは難しく、時系列的な可能性も含めると放流魚と天然魚の判別は乱暴な議論であるかもしれない。一方で、現在の魚道計画が拠り所とする理想的な魚類生態を砂防計画に適応させる方法にも問題があり、樹木に例えれば白神山地のブナ林と街路樹のポプラ並木を同じ物差しで測ることが机上の計画段階で行われている。とりわけ溪流魚の場合には、放流魚を手厚く保護する理念の裏で、カジカのような在来魚類が減少するというジレンマに立たされており何らかの整理が必要となっている。

またCase 2 として後述するように、本来のヤマメ生息域に対するアマゴの放流のような行為が新たな再生産のサイクルを形成することが予想され、状況によっては、このような放流効果を生態的な観点から悪だとは言いきれない面もある。

(Case 2)

湖沼環境や河川中下流部で問題となる移入種放流と、溪流環境のヤマメ生息域にアマゴが放流されている状況を比較検討してみる。いわゆる魚食性魚類の食害として在来の魚類相を大きく変化させてしまうようなオオクチバスに代表される放流は、ゲームフィッシュとしてのニーズと在来魚類への悪影響との狭間で、各地の湖沼を中心に社会問題にまで発展している。一方の溪流域でも似たような問題が起こっており、移入魚による在来個体の卵への食害が報告される例もあるが、湖沼のように閉塞環境でないことや水温や地形などの生息条件の厳しさから、ほとんどの移入種は自力で種を存続させ

るのが困難である。むしろ、コアユの放流に混在してくるオイカワなどの二次的な影響（リバーフロント整備センター、1996）が大きいものと考えられる。また生態学の観点からは、ヤマトイワナ型が棲む溪流にニッコウイワナ型を放流するといった地域変異を考慮しない行為も移入種放流と同等の扱いと見なされる。生物の種・亜種による交雑、厳密には遺伝子レベルでの問題（ホモ化）など、在来系統種以外のものは侵入者と見なす考え方である。

湖沼環境と溪流環境の両者において、放流（移入種）が及ぼす天然魚類相に対するマイナスの影響が指摘されるが、溪流環境の場合には長区間の流路工や連続した堰堤が設置されている溪流など、人為構造物によって原種が存在し得ないような場所に溪流魚を維持できる利点がある。これを利点と捉え得るかは環境倫理的な舞台に譲ることとして、大規模流路工内で抱卵した放流イワナを確認した事例（山下ら、1995）なども考えると、砂防事業の必要性和溪流魚との調和の観点から、大規模改変流域にも再生産システムの実現が可能なケースとして積極的に考えたい。

6.6.5 対象溪流の現状

対象となる溪流の現状が明確な場合には、環境庁の緑の国勢調査で指定したような原生流域や、各地に見られる法や条例の指定を受けた原種保存区などの人為を拒む方針の場所と、釣りの名所や集中的な防災整備が行われている溪流を区分して考える方法もある。

明確な土地利用計画があって、はじめて自然は守られる（原科、1994）とする国立公園的な区分の考え方は、人間活動と自然環境の競合にライン引きをすることによって溪流魚への対応から曖昧さを取り除くことができる。魚道に関する報告としても既設施設の有無による溪流区分を試行した例（高橋、1990）があり、今後とも検討を要する手法である。生息の場としての溪流や溪流魚類相の特性を人間の判断に委ねる点に不安が残り、マニュアル的な捉え方によって環境に対する検討を蔑ろにされる危険性を孕んでもいるが、砂防技術者の良心と環境砂防に対する真意が、安易な履き違えを許すケースは少ないと思われる。むしろ対象魚類を取り巻く様々な状況を反映させることで、砂防と環境の両者における最大公約数として効果的な策を見いだすことができるように思われる。

6.7 検討フローの概念

以上の検討を総合して、溪流魚の対策を計画する際の検討事項と流れを、一つの試案（図-6.7.1）として提示する。

生態系という対象の性質上、限られた条件の重ね合わせによって選択肢を固定したり分岐項目を規定するようなフローには問題があるが、裏返せば具体的な絵が見えてこないということでもある。この試案は、その中庸的な位置づけとして設定したものであり、計画着想から実施に至るまでに検討すべきであると考えられる項目を流れ図的に表している。

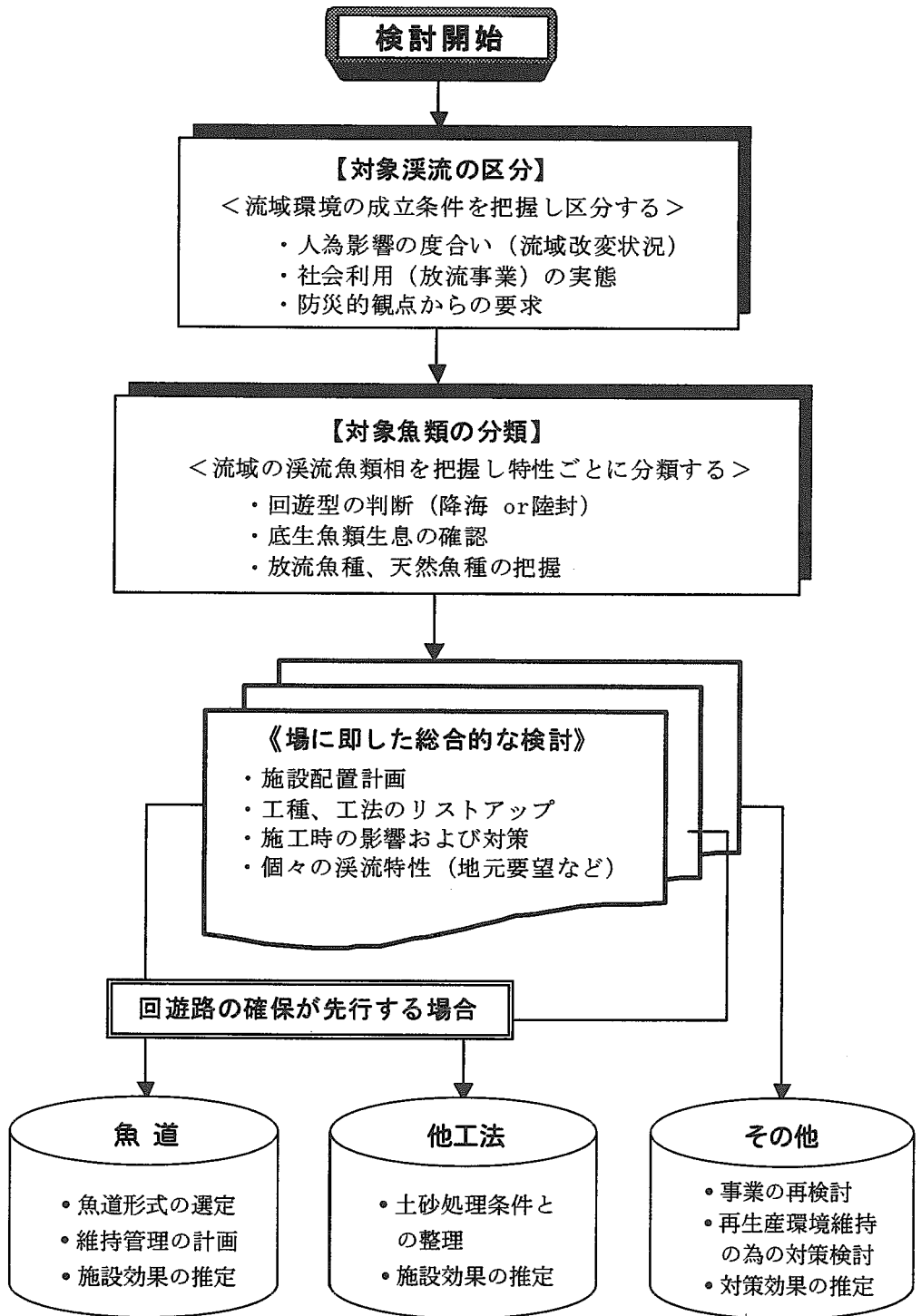


図-6.7.1 溪流防災工事を行う上での検討フロー（案）

溪流魚の確認報告などの既往資料をもとに、例えば「魚道などの配慮が必要」といった方針に到達する過程として、前述してきたような「対象溪流の現状整理」と「対象魚類の分類」によって、砂防技術としての溪流魚への配慮方法が理由付けを伴って選択できる。そして「場に即した総合検討」によって、魚道以外の対策がより優先され効果的でもあると判断された場合（例えばCase 1）には、回遊路の確保を目的とした「他工夫（スリットダム、低ダム群など）」を選ぶか、遡上障害緩和以外の対策として「その他」を環境影響評価で言うところの代替案として検討することになり、結果として多くの選択肢の中から現状に合致した対策の選定が可能になるものと期待される。

魚道や回遊路の確保以外の対策が優先され、「その他」を選択するような過程とその概況について以下に示す。

6.8 取りまとめ

“ある限定された空間に存在する生物の集まり”という説明で個体群が定義される（藤井、1987）。個体群中の個体数の増加には限りがあるとする考えを取り入れたモデルの中で、多くの生態学的研究の基礎を成してきた式としてロジスティック(logistic)式がある。

$$\frac{dN}{dt} = r \cdot N \cdot \frac{(K - N)}{K} \quad \dots\dots\dots (1)$$

左辺は時間 t における個体数 $N(t)$ の変化率を、右辺は種本来の増殖力 r (内的自然増加率) と個体数の積に $(K - N)/K$ が調節項として乗された形になっている。 K は環境許容量と呼ばれ、その環境で個体群が維持できる最大個体数を表している。(1)式は r の増加によってカオス的な振る舞いを見せることでも知られているが、ここでは式の本質を線形的に考えるものとする。(1)式を溪流魚に当てはめて考えた場合、ある限定された流域に存在する溪流魚類相に対する魚道の役割は、河川内回遊範囲の拡張により環境許容量 K を増加させるものであるが、前提条件としての増殖力 r が 0 に近い環境では魚道の効果も激減してしまう。 r が最大限に発揮される環境（天然再生産環境）に配慮したうえで、放流という未知の追加項に頼り過ぎることなく N および個体群を維持する必要性の提示が本稿の結びである。すなわち天然再生産を検討の目的に据えて、図-2に示したような流れに従い、手段としての魚道を始めとする対策を検討する必要性である。その結果として、例えば回遊路の確保にはこだわらず、放流魚の産卵床を確保する意味で構造物直下の局所洗掘を積極的に利用するというような、状況に合わせた多様な選択が行われるべきである。多くの事例を積み重ねることで、経験則的に工種・工法の適応性を検討していく方法は、環境砂防全般に対する重要なアプローチの一つではないかと思われる。

「生物多様性」が国家戦略のキーワードとして採用されてから、環境砂防の分野にも個々の種ではなく、繋がりとしての生態系全体から捉える考え方が取り込まれつつある。生物多様性の保全を目標

とする保全生物学（リバーフロント整備センター、1996）が目指すところは、従来の環境保護に見られる原生環境の保護・復元のみならず、人の干渉が認められる二次的自然環境にも保全の価値を見いだすものである。人為の影響を度外視したような考え方では、多様性の保全は現実味を帯びてこない。その意味において、砂防事業は土砂を始めとする多くの物質移動を妨げる特性を持ち、生態学の観点から見れば生態系破壊的行為であるという認識を忘れないことである。自然本来の営みを基準に考えれば、環境に配慮した砂防事業は破壊的行為の緩和こそすれ、生態系保護の一翼を担ったりはしない。

溪流環境の一部分を対象とした本稿のスタンスは、生態系の観点からすると大きな欠陥があるかもしれない。しかし魚類は水圏生態系の最上位階層をしめ、その生息は水域の正常な生態系を表す1つの指標となる（日本河川協会、1997）と考える事もできる。現実には溪流魚類という限られた範囲での検討においてさえ、生態学的な情報を現実不可能な理想として掲げておくに留まり、魚類生態の観点とは無縁の計画が実施に移されるケースが頻繁に見られる。より多くの溪流魚に関する情報収集は非常に大切なことであるが、得られた情報を反映させる場は純粋な生態学のフィールドとは異なり、社会条件や防災特性など複雑な事情が絡み合った砂防事業の場である。したがって溪流魚の現状に最も効果的な対策を検討するためには、得られた情報の真意を解したうえで砂防としての柔軟な応用性を持って臨むことであり、回遊路の確保に縛られるのではなく「天然再生産環境の維持」のような砂防事業を通じた溪流魚に対する理想をアピールしていくことが必要である。

溪流魚への対策における曖昧な部分が、ダムを造るための義務的な構造物（河村、1988）のような魚道批判となって跳ね返ってくるようなことがないように砂防側の理論体系を明確にしたうえで、砂防計画における溪流魚への、また流域生態系への多面的な研究・情報交換を積み重ねていかなければならない。

このような多方面の研究成果が、ある流域に関してまとまった形で集まるような、多摩川に関する研究成果は、個別の検討に留めず、横方向でのデータ交換が有用であると考えられる。

7. 溪流における環境・防災の調和について(まとめ)

溪流魚類の生態を一つの指標と考えて、山間溪流で実施される防災工事の影響を、可能な限り多面的な方向から検討して来た。これらを系統立てて整理し、今後の防災工事における課題を明確にすることが必要である。

まず、図-7.1.1に全体の考え方をフロー形式にして取りまとめた。

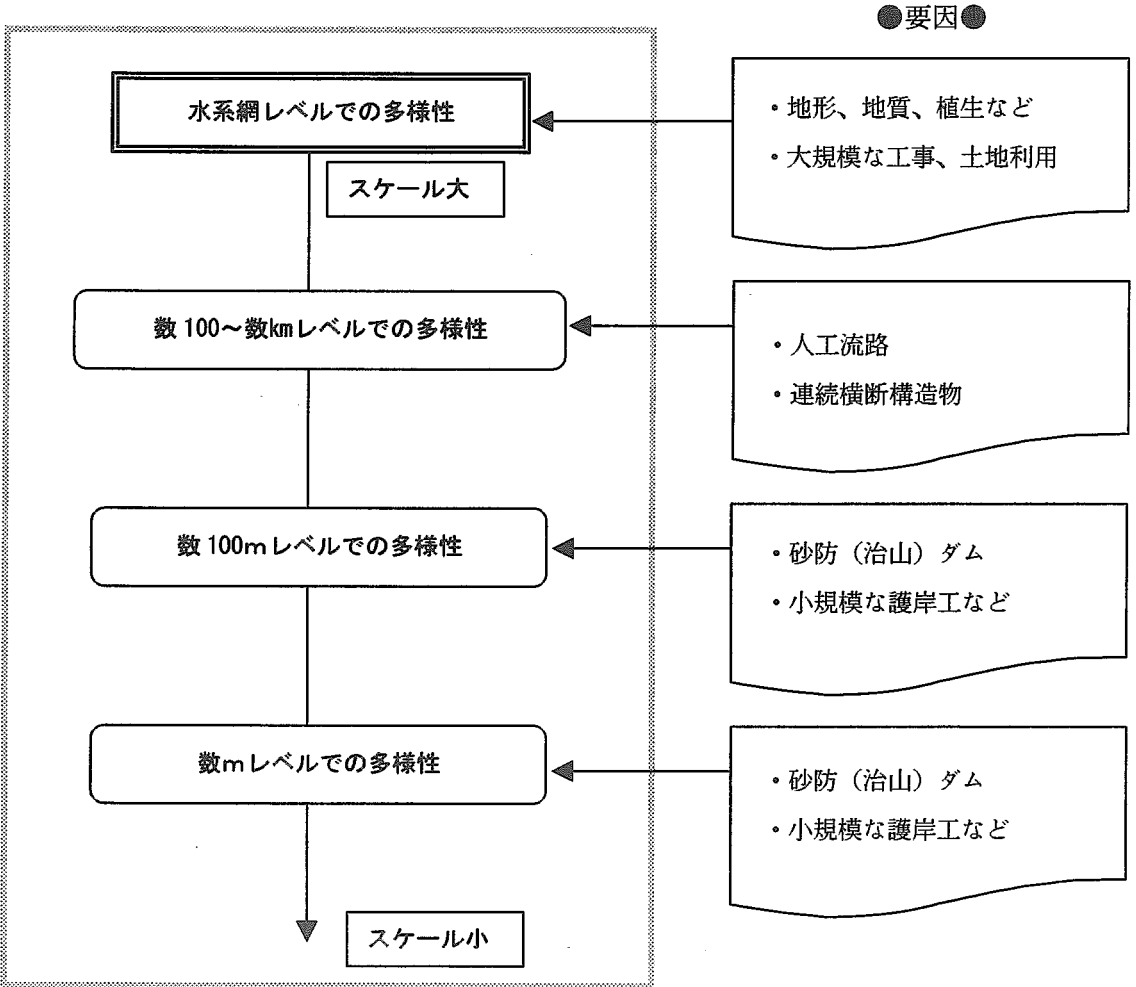


図-7.1.1 考え方のフロー図

溪流をある一定のまとまりで考えた本研究では、マクロなスケールで捉えた水系網に始まり、最もミクロな単位として考えられる数m規模のオーダーに至るまで、それぞれのスケールに応じた現象の要因が考えられた。

従って、どのような規模の現象を対象とするのかによって、当然ながら異なった対応が防災工事に求められるものと考えられる。

対象スケールごとに取りまとめを行った。

7.1 水系レベルでの多様性

水系レベルの多様性は、フラクタル次元によって定量化出来ることを示したが、フラクタル次元の構成要素にまでは言及することが難しい。従来から指標として用いられているような、各種の水系指標（例えば、分岐比、水系密度など）と組み合わせることで、水系の特徴を総合的に定量化する事が可能になるかも知れない。今回の検討では、“フラクタル次元”と“水系密度”の相関関係が非常に高いことが把握された。

これらは、人為の影響が鋭く反応するような規模ではなく、長い時間をかけた地形・地質の営みに依存しており、大規模な河川改修のようなケース以外には人為との関わりは薄い。とくに山間地域の河川では、洪水防止のショートカット（流路の直線化）などは考えにくく、問題にはならないと考えられる。

このレベルでの検討から得られた最も重要な事項としては、水系網がフラクタル図形であることが確認された点にある。純粋な数学的フラクタルの概念から言うと、一旦フラクタルであると認識された図形は、視度（スケール）を変えたとしてもフラクタルであると考えられている。すなわち水系のレベルから、構造物周りの限定された流路のレベルまで、同様な特性を当てはめることが出来るという考え方である。

ただし、自然界におけるフラクタルの場合には適応可能な範囲として上限・下限を設定する必要があり、この点には留意が必要である。例えば、水系をどんどんマクロな視点にしていけば点に近づいていき、逆にミクロな視点を突き詰めると、水分子のレベルにまで達してしまうことになる。

今回、適応範囲として考えているのは、溪流の支川が認められる程度の水系網から、構造物との関わりが把握できるmオーダーの範囲までである。

多摩川流域において支配的な古い時代の堆積岩類は、長い年月をかけて複雑な流路を刻んでおり、2次元的な広がりを持ったフラクタル次元の高い水系が多い。他流域の比較から見ると、荒廃が進んで土砂移動の激しい溪流などでは、直線的な形状を示したりする傾向が強く、今回の検討結果としては、フラクタル次元が小さ目になるのでは無いかという推測が得られた。

従来から言われている、分岐の激しい溪流ほど、土砂流出のポテンシャルが高いという定性的な理論に対して必ずしも一致するものではないが、今後、さらに裏付けを行っていく価値のある指標であると考えられる。

7.2 数100m～数kmレベルでの多様性

数kmオーダーは河川区間（平野部）での流路整備などが該当するため、山地溪流という観点では数100mが対象となるケースである。考え得る人為としては、流路工や公園整備を兼ねたような面的な防災施設の設置である。

ここで問題になる点は、大きく分けて

- 護岸工による河道の固定
- 横断構造物による河道の遮断

に絞ることが出来る。

これらの防災工事に伴う環境への影響を軽減するために、今後、考え得る防災工事のアイデアを検討して、概要図を作成した。

図-7.2.1に示す。

① 水制工

水制工は主に河川の中下流部で用いられるもので、多摩川流域でも府中市付近から下流側に、巨石を利用した新しい工法などが用いられている。山地渓流域では、もう少し規模の小さなイメージで、流れを流真付近で整えるのと同時に、側岸の浸食を防止する働きが期待される。一方で、水制工の前後には流れの緩やかなワンド的な環境が形成され、流水環境に変化を与えるとともに、植生の侵入を促すことで健全な水辺生態系復元のために、重要な役割を果たす効果が期待される。

② 被覆護岸工・緑化護岸工・親水護岸工

護岸工はコンクリート剥き出しの施工ケースが多いが、一旦、ハードな材料でしっかりとした護岸を建設した後、表面に覆土を行うことで、植生の侵入を期待する工法である。

覆土が流れ出してしまえば防災上逆効果となるため、木製品などを中心とした表土固定補助工が必要となるかも知れない。一般に、工事が行われた溪流の周辺環境は、立木の伐採によって上空が開けてしまい（ギャップの形成）、暗く冷たい環境を生息場所とする溪流魚にとっては、悪影響が大きい。従って、極力、溪畔の植生を早い段階で遷移させる必要がある。

しかし、防災上の観点から、流水と接する部分にはハードな構造が必要なケースも多く、このような場合には、植生コンクリートと言われるような、多孔質のコンクリートに植生を植え込むような方法も考えられる。

また、溪流利用のような目的を持って整備される場合にも、下流河川で見られるような公園化ではなく、あくまでも自然の溪流を生かした形で整備されることが望まれる。とくに溪流をすみかとして移動する魚類にとっては、河床や護岸をコンクリートで固められたような環境では生息が難しく、自然環境を求めて訪れる人々にとっても、本末転倒の結果に成りかねない。

③ 帯工

帯工は落差のない横断構造物であるため、防災上から見た河床の安定を図りながら、溪流環境にもインパクトが少ない工法であると考えることが出来る。状況にもよるが、積極的な活用が望まれる。

7.3 数100mレベルでの多様性

ここでは100~200m程度を対象として考えた。一般に、砂防ダムが設置された場合、高さによって差が生じるが、概ねこの程度の範囲内に堆砂の影響が現れると考えられる規模である。

ここでの問題点は、大きく分けて

- ・横断構造物（砂防ダムなど）による上流側河床の単調化
- ・横断構造物による魚類の移動障害

に絞ることが出来る。

これらの防災工事に伴う環境への影響を軽減するために、今後、考え得る防災工事のアイデアを検討して、概要図を作成した。図-7.3.1に示す。

海沢の狭窄部が砂防ダムの調節効果を発揮していた例からもわかるように、溪流を完全な形で遮蔽しなくても、洪水時の土砂移動を緩和する事が可能である。人家などとの位置的な関係や、周辺状況によっても制限があるものの、一般にオープンタイプと言われる砂防ダムの施工が、環境との調和において優れている。

イメージ図に示した例のように、鋼製の柱を立てることで大きな土石流のような災害を防ぎ、その後続流や平常流で、緩やかに土砂を流す事が出来る施設が該当する。砂防ダムだけは無いにして、海岸線の後退など、必要以上に土砂を止めたことによる弊害が、一般に認識されつつある時勢でもあり、今後は、オープンタイプの砂防ダムが求められていくものと考えられる。

また、魚類の生息環境という観点から見た場合、常時の移動が可能になっていることから、産卵遡上や生活圏の拡大といった行動に対して、少ないインパクトで済むという利点がある。ダム上流側に常時堆砂が無い場合、平均化された細かい土砂が卓越するような環境の単調化もなく、まさに現時点では理想的と言える工種だと思われる。従来型コンクリートの砂防ダムにスリットを入れたイメージについても図-7.3.2に示す。

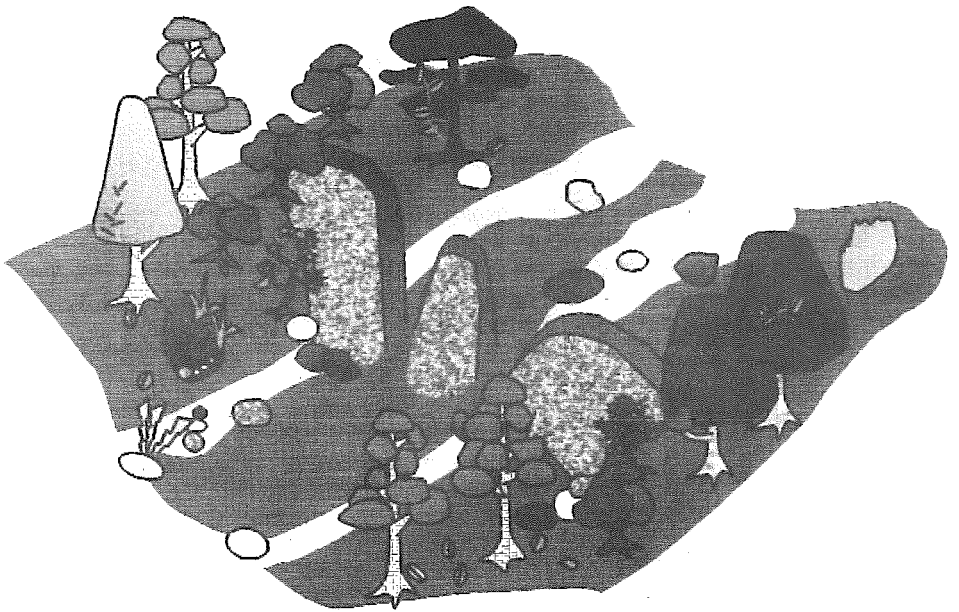
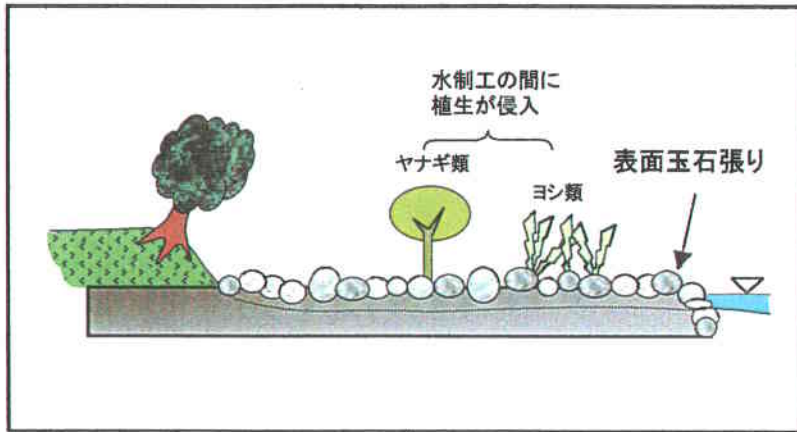
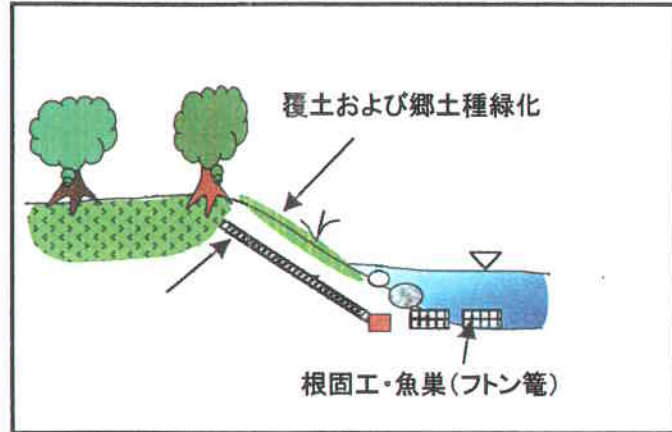


図-7.3.2 コンクリートスリットダムのイメージ

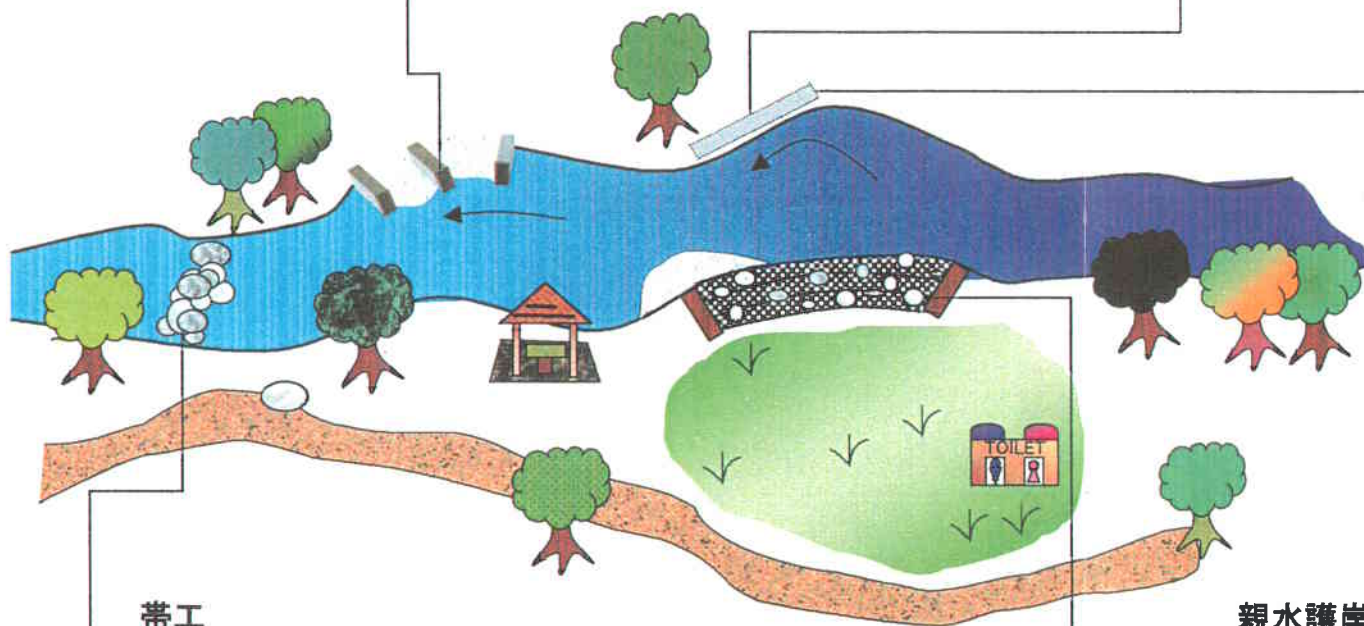
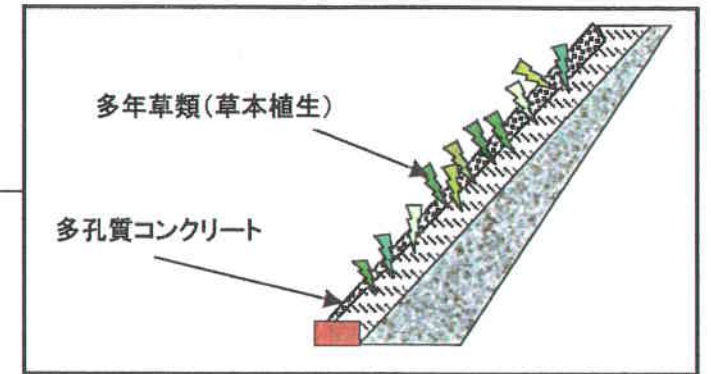
水制工



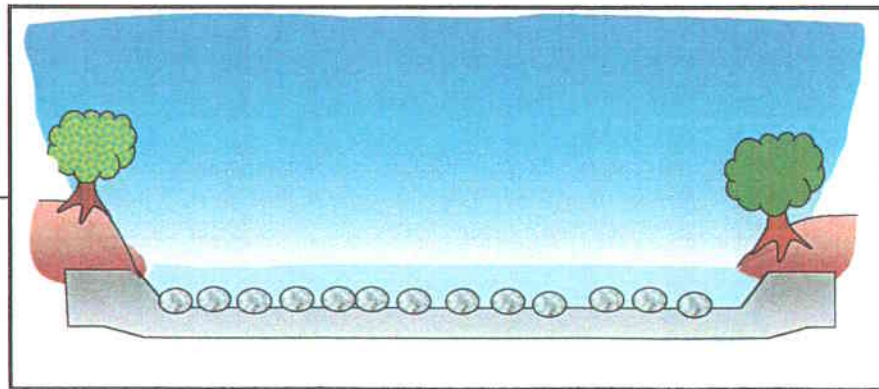
被覆護岸工



緑化護岸工



帯工



親水護岸工

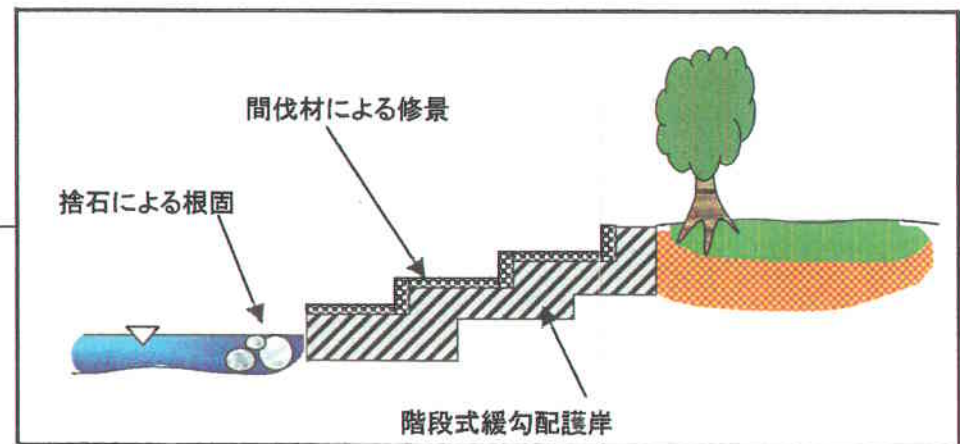
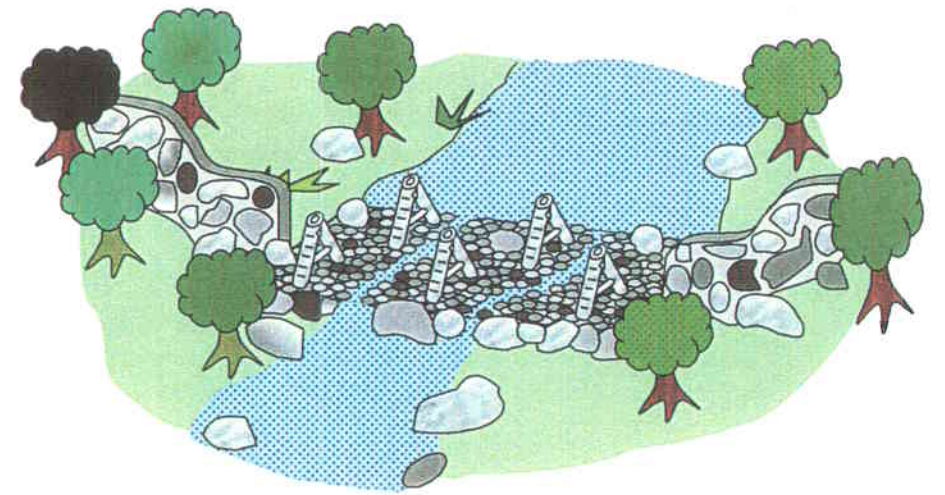
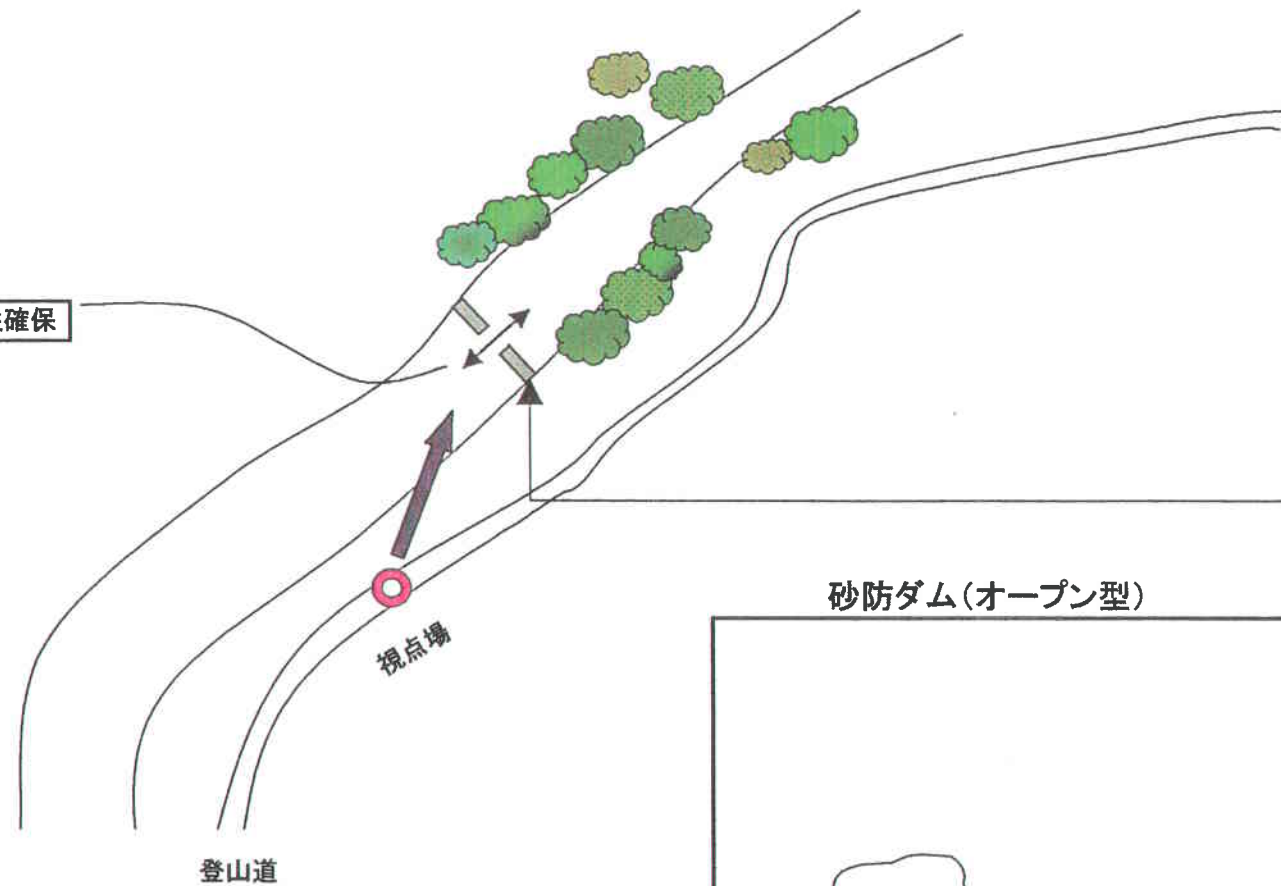


図-7.2.1 流路整備に関するイメージ図

流路の連続性確保



砂防ダム(オープン型)

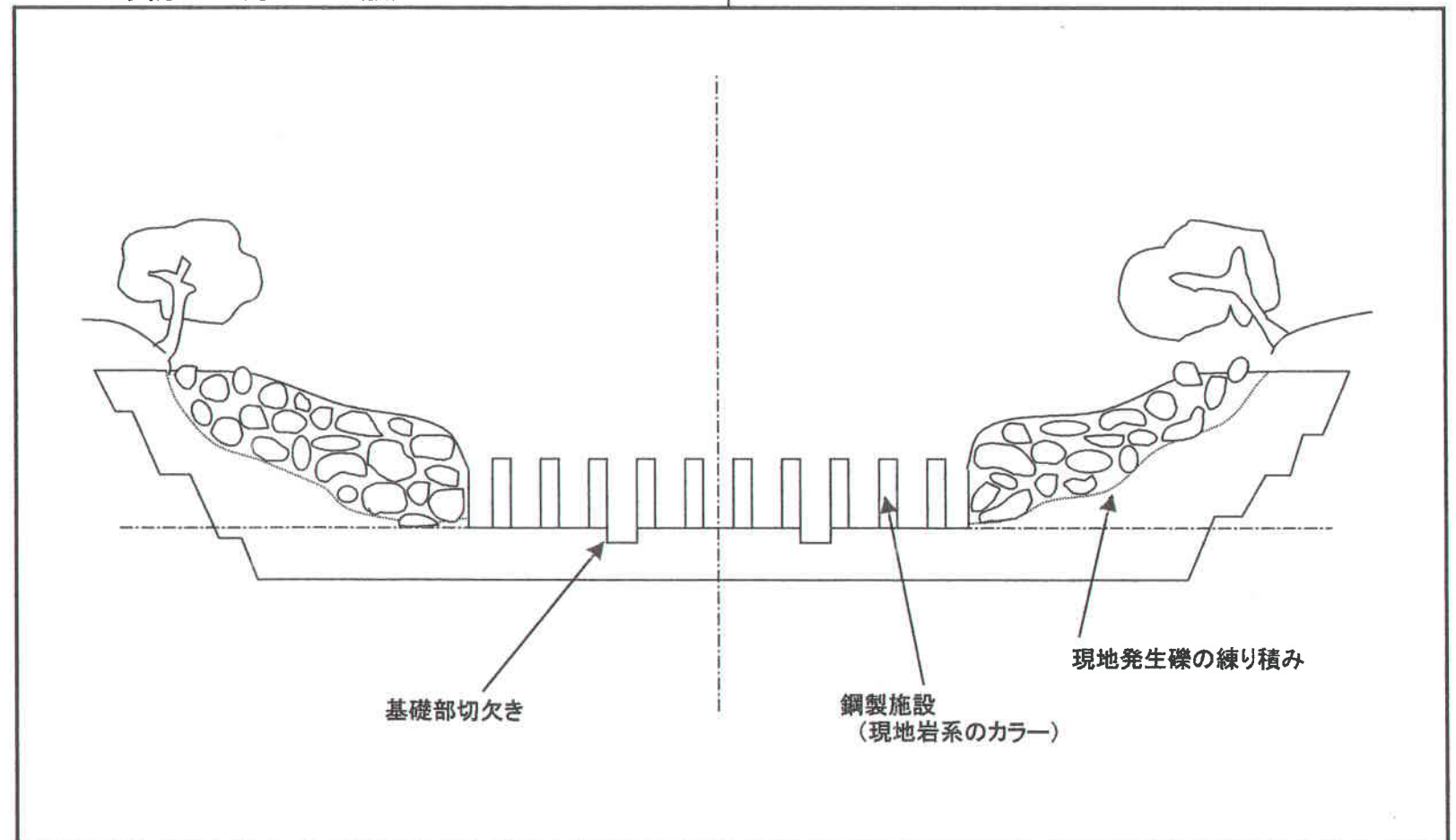


図-7.3.1 砂防ダムに関するイメージ図

7.4 数mレベルでの多様性

数m規模での多様性は、一つ上位の数100m規模の条件に支配されている。溪流魚の生息にとって、もっとも大事なスケールであり、瀬-淵構造の維持や変化に富んだ流速・水深の形成などが含まれている。

これらの形状は、絶えず河床の移動や破壊が繰り返される溪流環境において、固定するような考え方は通用せず、従って、人工の瀬-淵をつくるようなイメージは、ナンセンスである。実際に、淵を造成した事例は各地にあるものの、洪水の度に埋まったりしてしまい、上手くいった例は、あまりないようである。

従って、小さなスケールでの多様性を求める場合には、次々と上位のスケールにおける多様性を維持していくことに繋がり、スケールの連続性が重要な課題となる。

7.5 結びと今後の課題

平成10年度より、とうきゅう環境浄化財団の助成を頂き取り組んできた研究は、本年度（平成11年度）をもって、一応の取りまとめを行った。

当初、多摩川流域に抱いていたイメージと実際に現場で観察して得られた状況が大きく異なっており、とまどう場面も少なくなかった。とくに驚いたのが、流域の安定度である。

通常、これだけの流域規模もつ一級河川であれば、大規模崩壊の一つや二つは認められものであるが、少なくとも東京都側に限定すれば、土砂生産や流出が盛んな溪流は、探するのが難しい状況であった。そんな中で、日原の石灰岩地帯や都民の森付近では、若干、不安定な土砂の多い溪流が認められた。

溪流魚については、多摩川流域のかなり奥地にまで釣り人が入山し、これを追いかける形で非常に大量の放流が行われている。溪流魚を保護すると言いながら、実質は放流魚を保護するための検討を行っているようなケースが全国各地で見られる。いまや、溪流と海を回遊するような天然魚類は、北海道の一部河川を除いて考えられなくなっている。

"生態系に優しい"と言うような謳い文句で、様々な活動や公共事業が行われているが、根本からおかしいケースが非常に多く、溪流魚類に対しても、このような印象を強く感じざるを得なかった。

「釣り人が苦情を言うから、ダムに魚道を付ける」と言った話もあるが、勾配が急な溪流における魚道の機能については、明確な効果の評価が得られておらず、むやみに工事を行うことで一時的に溪流環境を泥水で濁す被害の方が大きいような事例さえある。

また、今回の研究では、溪流域に限定したケースとしては既往事例の無いフラクタル次元を用いた水系網解析を行い、河川区間同様にスケールの小さな溪流においても、水系網のフラクタル性を証明する事が出来た。20世紀後半に考え出されたばかりの新しい概念でありながら、非常に幅広い分野で応用されつつあるフラクタルは、今後、使用方法がオーソライズされるに従って、自然環境と人工構造物というソフト-ハードを接合する潤滑剤として大いに発展していく可能性を持っていると、認識

を新たにすることが出来た。

また、私事でありながら、研究を始めたのと同じ時期から、多摩川の河口にあたる羽田に小型船舶を係留するようになり、馴染みのあった山間地、平野部に加えて、東京湾に至るまでの流域一貫とした流れを捉える事が出来るようになった。河口部では、上流からの土砂がほとんど達しておらず、粒径の細かいヘドロ化するような材料が、Wash Loadと呼ばれるような濁り水の状態で到達している。熱帯低気圧や台風による洪水が頻発したこの2年間であったが、あれだけの洪水流量にも関わらず、河口部にはシルト成分のみが運ばれており、河床の地形は著しく変化していた。

河川環境に準じて溪流環境という言葉が使われるようになったが、今後の山地溪流において求められる防災事業の改良案については、多面的な構想が求められると同時に、それぞれの流域に相応しい細かい条件が必要となる。

今回、検討対象とした多摩川流域は、都民や近県からの来訪者が非常に多く、また登山や釣りなどを含む多様な利用形態が見られることなどから、その場その場に対応した、慎重な検討が成されていく必要がある。

2年間というまとまった期間において、一つの流域をフィールドとした調査を実施させて頂き、個人としても、改めて多摩川の多様性に触れることが出来ました。最後になりましたが、とうきゅう環境浄化財団および関係者の皆様方に、心より御礼を申し上げます。

平成12年3月

山下 晃 (放送大学)

中村浩之 (東京農工大学)

【参考文献など】

● 2章

- 国土地理院：50mメッシュ数値地図データ（標高）
千葉とき子他：かわらの小石の図鑑。東海大学出版
多摩川の代表的な小石：www.kahaku.go.jp(Home Page)
関東地方土木地質図：土木学会
財団法人日本地図センター：地図で見る多摩の変遷（解説）

● 3章

- 財団法人日本地図センター：地図で見る多摩の変遷（図面）

● 4章

- 建設省：河川砂防技術指針（案）
高尾山ビジターセンター：周辺地図

● 5章

- B.Mandelbrot（広中平祐訳）：フラクタル幾何学。日経サイエンス社
関 克己ら：フラクタルを用いた河川設計の支援。土木学会論文集 No.555/IV-34, 51-60, 1997.1
久保田哲也：砂防施設壁面パターン視覚的効果。砂防学会誌 Vol.50, No.5, pp.21~25, 1998
高安秀樹：フラクタル。朝倉書店 p.34~35
山下 晃、中村浩之、加藤克夫（1997）：流路工区間における魚道の切欠きとみおすじの連続性に関する研究。新砂防, Vol.50, No.1, pp33~44

● 6章

- 太田猛彦（1997）：「生態系と調和した砂防」の基本的な考え方。砂防学会誌（新砂防）Vol.50, No.2, pp.55~60
加藤憲司（1990）：ヤマメ・アマゴその生態と釣り。つり人社、pp.181~182
川那部浩哉・水野信彦（1989）：日本の淡水魚。山と溪谷社、pp.152~155
川俣英之・伊澤繁行・宮崎敏孝（1995）：溪流底棲魚カジカの生息制限要因について、平成7年度砂防学会研究発表会概要集、pp.135~138
河村宗郎（1988）：イワナのあくびー溪流の魚たちー。歴史春秋出版、pp.71~74
久保田哲也・永井 修・益本健司（1997）：魚道プールを用いた溪流魚の行動に関する研究。砂防学会誌（新砂防）、Vol.49, No.5, pp.21
C.Gosset・M.Larinier・J.P.Porcher・F.Travade（1996）：魚道及び降下対策の知識と設計。（財）リバーフロント整備センター、pp.24
後藤 晃・塚本勝巳・前川光司（1994）：川と海を回遊する淡水魚——生活史と進化——。東海大学出版会、pp.96~99

- さいたま水族館 (1994) : 魚の談話室。(財) 埼玉県公園緑地協会、pp.35~36
- 妹尾優二 (1997) : 「魚道及び頭首工の設計と魚類の生態・遡上特性について」講習会テキスト。
工業技術会、pp.2~8
- 千田 実 (1991) : 自然的河川計画-改修における自然との調和と対策-。理工図書、pp.39
- 高橋剛一郎 (1990) : 砂防ダムに設置する魚道について。Proceeding of the International
Symposium on Fishways '90 in Gifu Japan、pp.213~214
- 高橋剛一郎 (1991) : 山地溪流における自然環境の保全のあり方 — 砂防ダムと魚道 —。砂防
学会論文集No.2、pp.3
- 竹門康弘 (1997) : 溪流における水生昆虫の棲み場所保全。砂防学会誌 (新砂防)、Vol.50, No.1,
pp.56~58
- 玉井信行・水野信彦・中村俊六 (1993) : 河川生態環境工学 — 魚類生態と河川計画 —。東京
大学出版会、pp.209~210
- 東京農工大学農学部林学科編 (1987) : 林業実務必携。朝倉書店、pp.317~318
- 中村俊六 (1995) : 魚道の話-魚道設計のためのガイドライン-。山海堂、pp.155~156
- 永井 修 (1994) : 床固工付設魚道の機能に関する研究 — 小泉谷川でのイワナを使った実験を
もとに —。鳥取大学卒業論文、pp.2~3
- (社) 日本河川協会編 (1997) : 建設省河川砂防技術基準 (案) 同解説 — 調査編 —。山海堂、
pp.494
- 原 義文 (1996) : 国際魚道学会ぎふ'95 (魚道研究の動向について) 砂防学会誌 (新砂防)
Vol.48, No.5, pp.50~51
- 原科幸彦 (1994) : 環境アセスメント。(財) 放送大学教育振興会、pp.18~20
- 平本幸男・毛利秀雄 (1993) : 自然と科学 — 生命編。(財) 放送大学教育振興会、pp.86~88
- 廣瀬利雄・中村中六 (1991) : 魚道の設計。山海堂
- 藤井宏一 (1987) : 生態学=生物のくらし=。(財) 放送大学教育振興会、pp.107~110
- 前川光司・高橋剛一郎 (1997) : 溪流魚と砂防工事。砂防学会誌 (新砂防)、Vol.50, No.1, pp.61
- 水野信彦・御勢久右衛門 (1994) : 河川の生態学 (補訂版)。築地書館、pp.191~194
- 柳井清治・永田光博・積丹川共同調査グループ (1996) : 河川改修がサクラマス *Oncorhynchus*
moasou(BREVOORT)の産卵環境に及ぼす影響。砂防学会誌 (新砂防)、Vol.49, No.4,
pp.15~21
- 山下 晃・中村浩之 (1995) : 床固工付設魚道上流の河床形態に関する研究。東京農工大学卒業論
文
- 山本 聡 (1991) : イワナその生態と釣り。つり人社、pp.106~108
- (財)リバーフロント整備センター編著 (1996) : まちと水辺に豊かな自然をⅢ-多自然型川づくり
の取組みとポイント-。山海堂、pp.187~188
- (財)リバーフロント整備センター編著 (1992) : 川の生物図典。山海堂、pp.332~333

卷末資料

1. フラクタル次元の計測過程
2. 流路に対するトポロジーの計測過程
3. 高尾山確認生物（参考）

1. フラクタル次元の計測過程

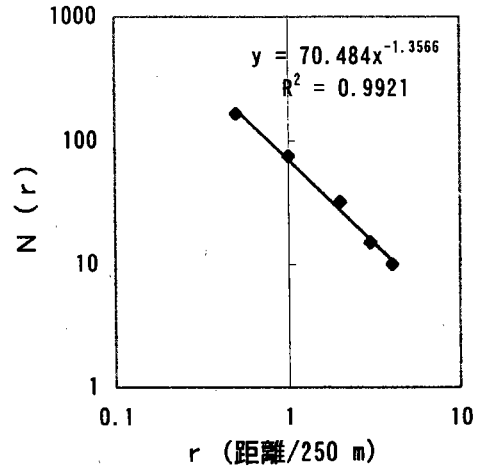
溪流名 多摩川水系
 海沢
 元図縮尺 25,000:1
 流域面積 8.61 km²
 谷総延長 23.82 km
 比高差 m
 距離 km
 平均溪床勾配
 最大谷次数 次谷

	距離
1次谷	
2次谷	
3次谷	

粗視化の度合

r (cm)	距離 (m)	N(r)
4	1000	10
3	750	15
2	500	32
1	250	75
0.5	125	166

フラクタル次元 (D) 1.35



◆ 測定値 — 指数近似

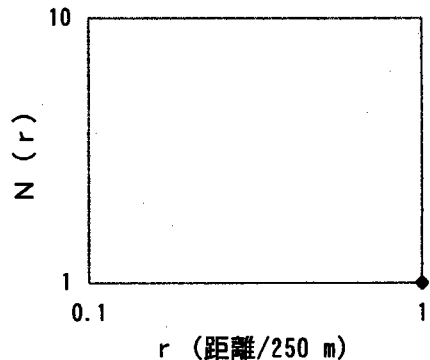
溪流名 多摩川水系
 南浅川水系 中沢川
 元図縮尺 25,000:1
 流域面積 2.31 km²
 谷総延長 12.13 km
 比高差 m
 距離 km
 平均溪床勾配
 最大谷次数 次谷

	距離
1次谷	
2次谷	
3次谷	

粗視化の度合

r (cm)	距離 (m)	N(r)
4	1000	6
3	750	8
2	500	14
1	250	37
0.5	125	93

フラクタル次元 (D) 1.34



◆ 測定値 — 指数近似

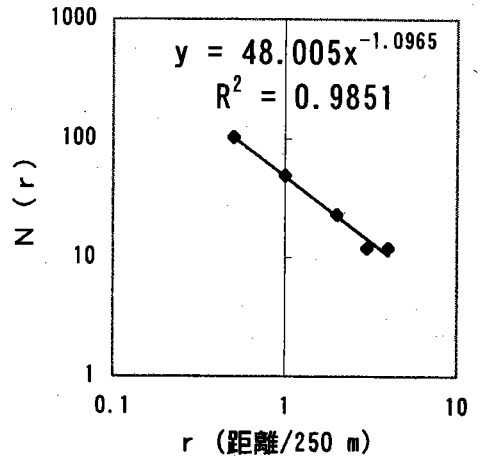
溪流名 多摩川水系
 小袖沢
 元図縮尺 25,000:1
 流域面積 6.37 km²
 谷総延長 11.38 km
 比高差 m
 距離 km
 平均溪床勾配 #DIV/0!
 最大谷次数 次谷

	距離
1次谷	
2次谷	
3次谷	

粗視化の度合

r (cm)	距離 (m)	N(r)
4	1000	12
3	750	12
2	500	23
1	250	49
0.5	125	103

フラクタル次元 (D) 1.181



◆ 測定値 — 指数近似

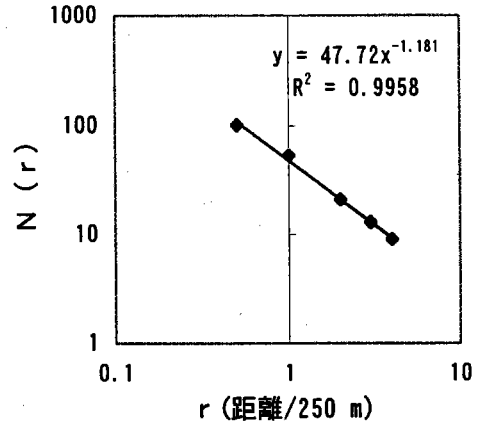
溪流名 釜無川水系
 大武川右支 赤藪沢
 元図縮尺 25,000:1
 流域面積 7.07 km²
 谷総延長 11.27 km
 比高差 1,741 m
 距離 3.84 km
 平均溪床勾配 0.45
 最大谷次数 3 次谷

	距離
1次谷	5.42
2次谷	3.97
3次谷	1.88

粗視化の度合

r (cm)	距離 (m)	N(r)
4	1000	9
3	750	13
2	500	21
1	250	53
0.5	125	101

フラクタル次元 (D) 1.18



◆ 測定値 — 指数近似

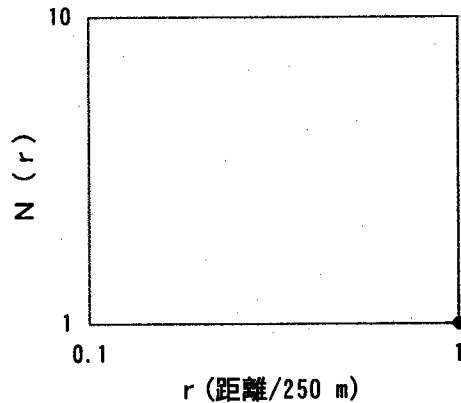
溪流名	釜無川水系 小武川左支 ドンドコ沢	
元図縮尺	5,000:1	
流域面積	6.05	km ²
谷総延長	9.27	km
比高差	1,567	m
流域最大距離	3.25	km
平均溪床勾配	0.48	
最大谷次数	3	次谷

次数区分	距離 (km)
1次谷	6.23
2次谷	1.34
3次谷	1.70

粗視化の度合

r (cm)	距離 (m)	N(r)
4	1000	7
3	750	10
2	500	17
1	250	41
0.5	125	83

フラクタル次元 (D) 1.20



◆ 測定値 — 指数近似

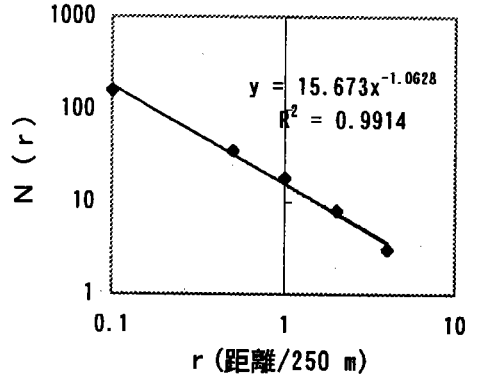
溪流名 釜無川水系
 大武川右支 赤藪沢
 元図縮尺 25,000:1
 流域面積 7.07 km²
 谷総延長 11.27 km
 比高差 1,360 m
 平均溪床勾配
 最大谷次数 3 次谷

	距離
1次谷	5.42
2次谷	3.97
3次谷	1.88

粗視化の度合

r (cm)	距離 (m)	N(r)
4	750	3
2	500	8
1	250	18
0.5	125	36
0.1	25	161

フラクタル次元 (D) 1.06



◆ 測定値 — 指数近似

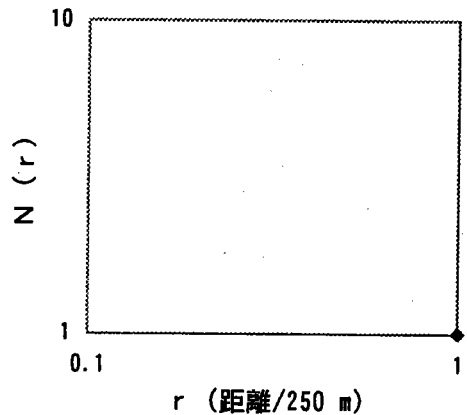
溪流名 大武川水系
 石空川右支 南沢
 元図縮尺 25,000:1
 流域面積 2.72 km²
 谷総延長 7.47 km
 比高差 750 m
 平均溪床勾配
 最大谷次数 3 次谷

	距離
1次谷	5.31
2次谷	1.24
3次谷	0.92

粗視化の度合

r (cm)	距離 (m)	N(r)
4	1000	4
3	750	6
2	500	10
1	250	28
0.5	125	66
0.1	25	363

フラクタル次元 (D) 1.23



◆ 測定値 — 指数近似

溪流名 釜無川水系
 右支 黒川
 元図縮尺 25,000:1
 流域面積 7.92 km²
 谷総延長 11.41 km
 比高差 1,239 m
 距離 4.08
 平均溪床勾配 0.30
 最大谷次数 3次谷

	距離
1次谷	5.62
2次谷	2.89
3次谷	2.90

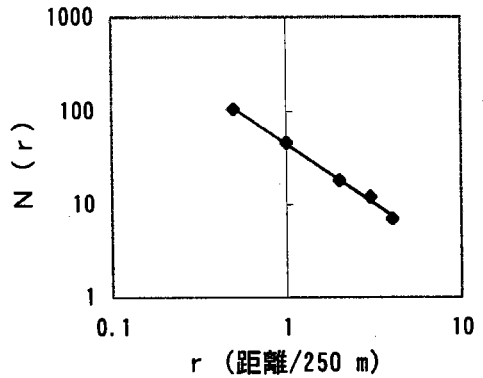
粗視化の度合

r (cm)	距離 (m)	N(r)
4	1000	7
3	750	12
2	500	18
1	250	46
0.5	125	105

フラクタル次元 (D) 1.28

$$y = 44.524x^{-1.2783}$$

$$R^2 = 0.9964$$



◆ 測定値 — 指数近似

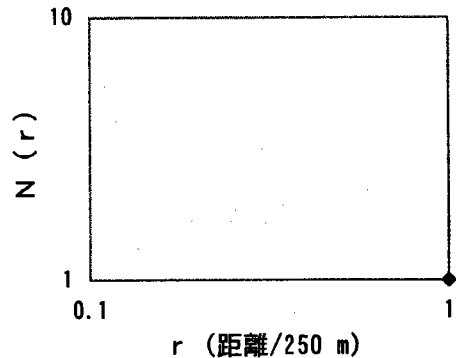
溪流名 釜無川水系
 右支 中川
 元図縮尺 25,000:1
 流域面積 8.28 km²
 谷総延長 5.16 km
 比高差 1,461 m
 距離 3.65 km
 平均溪床勾配 0.40
 最大谷次数 3次谷

	距離
1次谷	0.45
2次谷	1.38
3次谷	3.33

粗視化の度合

r (cm)	距離 (m)	N(r)
4	1000	5
3	750	9
2	500	13
1	250	29
0.5	125	55

フラクタル次元 (D) 1.12



◆ 測定値 — 指数近似

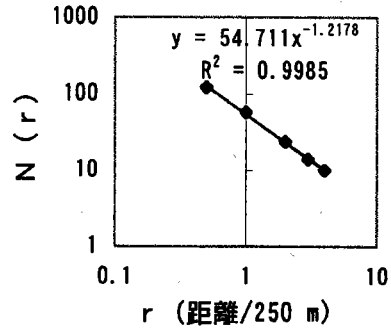
溪流名 大谷川水系
 稻荷川上流
 元図縮尺 25,000:1
 流域面積 6.58 km²
 谷総延長 km
 比高差 m
 平均溪床勾配
 最大谷次数 3 次谷

	距離
1次谷	
2次谷	
3次谷	

粗視化の度合

r (cm)	距離(m)	N(r)
4	1000	10
3	750	14
2	500	24
1	250	58
0.5	125	122

フラクタル次元 (D) 1.22



◆ 測定値 — 指数近似

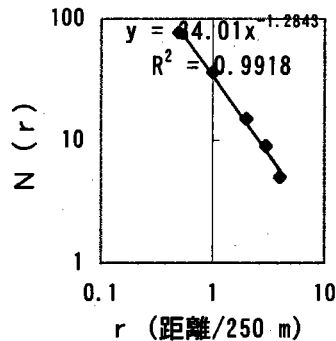
溪流名 大谷川水系
 田母沢
 元図縮尺 25,000:1
 流域面積 km²
 谷総延長 km
 比高差 m
 平均溪床勾配
 最大谷次数 3 次谷

	距離
1次谷	
2次谷	
3次谷	

粗視化の度合

r (cm)	距離(m)	N(r)
4	1000	5
3	750	9
2	500	15
1	250	36
0.5	125	77

フラクタル次元 (D) 1.28



◆ 測定値 — 指数近似

溪流名 渡良瀬川水系
松木川上流

元図縮尺 25,000:1

流域面積 km²

谷総延長 km

比高差 m

平均溪床勾配

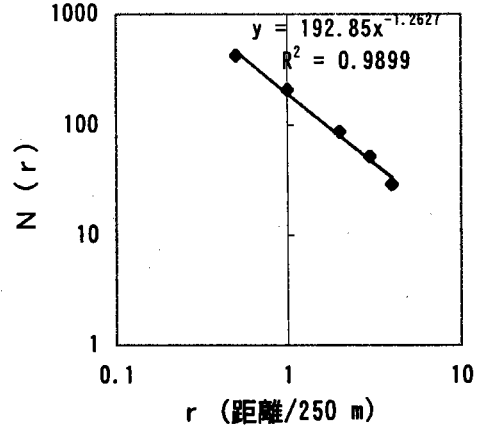
最大谷次数 次谷

	距離
1次谷	
2次谷	
3次谷	

粗視化の度合

r (cm)	距離 (m)	N(r)
4	1000	29
3	750	52
2	500	87
1	250	208
0.5	125	424

フラクタル次元 (D) 1.26



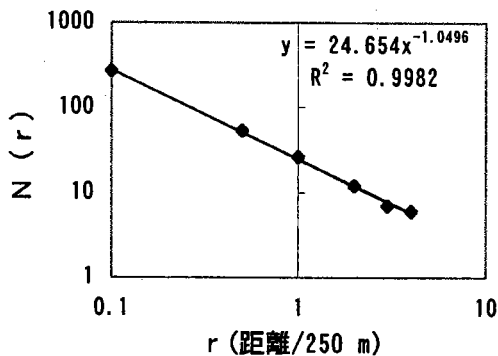
● 測定値 — 指数近似

溪流名 松川（長野）水系
 南股入
 元図縮尺 25,000:1
 流域面積 km²
 谷総延長 km²
 比高差 m
 平均溪床勾配
 最大谷次数 3 次谷

粗視化の度合

r (cm)	距離 (m)	N(r)
4	1000	6
3	750	7
2	500	12
1	250	26
0.5	125	53
0.1	25	267

フラクタル次元 (D) 1.05



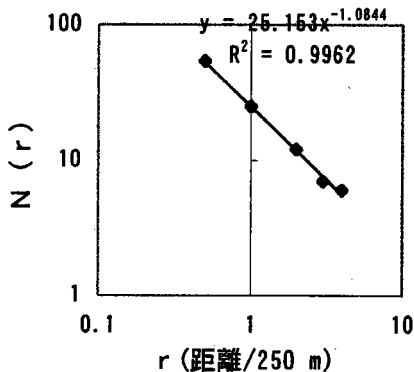
● 測定値 — 指数近似

溪流名 松川（長野）水系
 南股入沢左支 湯入沢
 元図縮尺 25,000:1
 流域面積 km²
 谷総延長 km²
 比高差 m
 平均溪床勾配
 最大谷次数 2 次谷

粗視化の度合

r (cm)	距離 (m)	N(r)
4	1000	6
3	750	7
2	500	12
1	250	25
0.5	125	54

フラクタル次元 (D) 1.07



● 測定値 — 指数近似

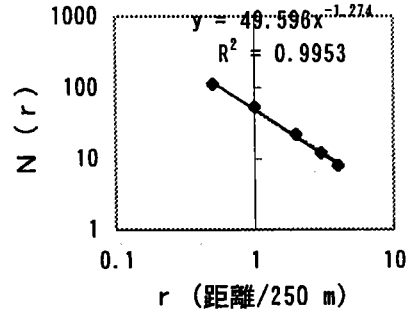
溪流名 鹿島（長野）水系
 左支 大ゴ沢
 元図縮尺 25,000:1
 流域面積 5.02 km²
 谷総延長 12.17 km
 比高差 871 m
 距離 3.81 km
 平均溪床勾配 0.22861
 最大谷次数 3 次谷

	距離
1次谷	6.84
2次谷	2.42
3次谷	2.91

粗視化の度合

r (cm)	距離 (m)	N(r)
4	1000	8
3	750	12
2	500	22
1	250	54
0.5	125	111

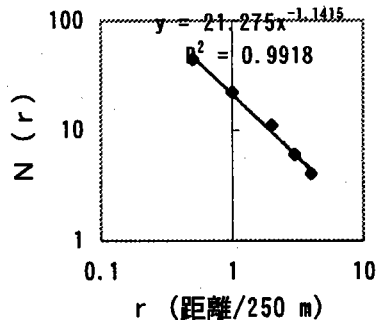
フラクタル次元 (D) 1.274



◆ 測定値 — 指数近似

溪流名 姫川水系
 左支 蒲原沢
 元図縮尺 25,000:1
 流域面積 km²
 谷総延長 km
 比高差 m
 距離 km
 平均溪床勾配
 最大谷次数 2 次谷

	距離
1次谷	
2次谷	
3次谷	



◆ 測定値 — 指数近似

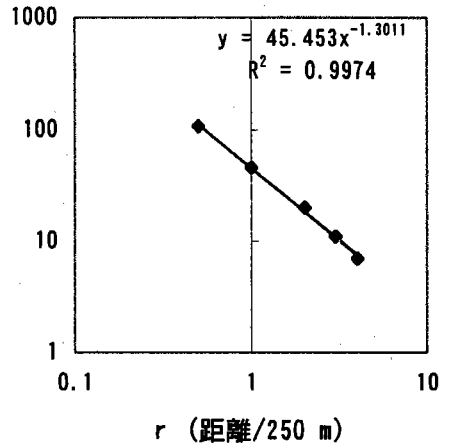
溪流名 江合川水系
 左支 大深沢
 元図縮尺 25,000:1
 流域面積 km²
 谷総延長 km
 比高差 m
 距離
 平均溪床勾配
 最大谷次数 3 次谷

	距離
1次谷	
2次谷	
3次谷	

粗視化の度合

r (cm)	距離(m)	N(r)
4	1000	7
3	750	11
2	500	20
1	250	46
0.5	125	108

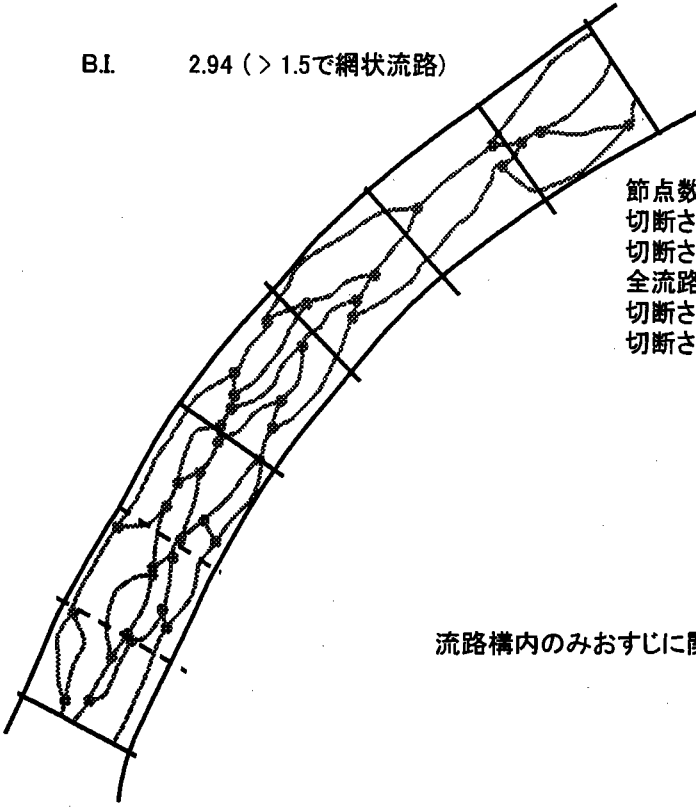
フラクタル次元 (D) 1.30



◆ 測定値 — 指数近似

2. 流路に対するトポロジーの計測過程

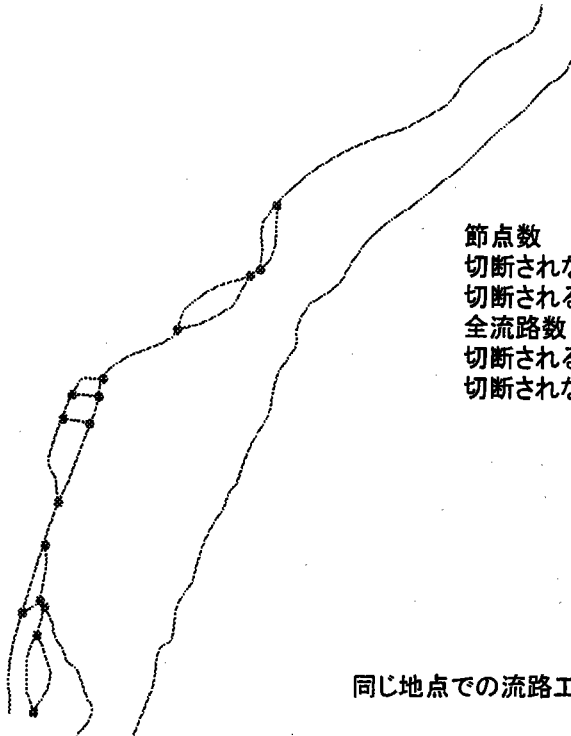
B.I. 2.94 (> 1.5で網状流路)



節点数	n	38
切断されない島の数	i	17
切断される島の数	p	4
全流路数	t	59
切断される流路数	e	6
切断されない流路数	c	53

α	0.19
β	1.34
γ	0.47

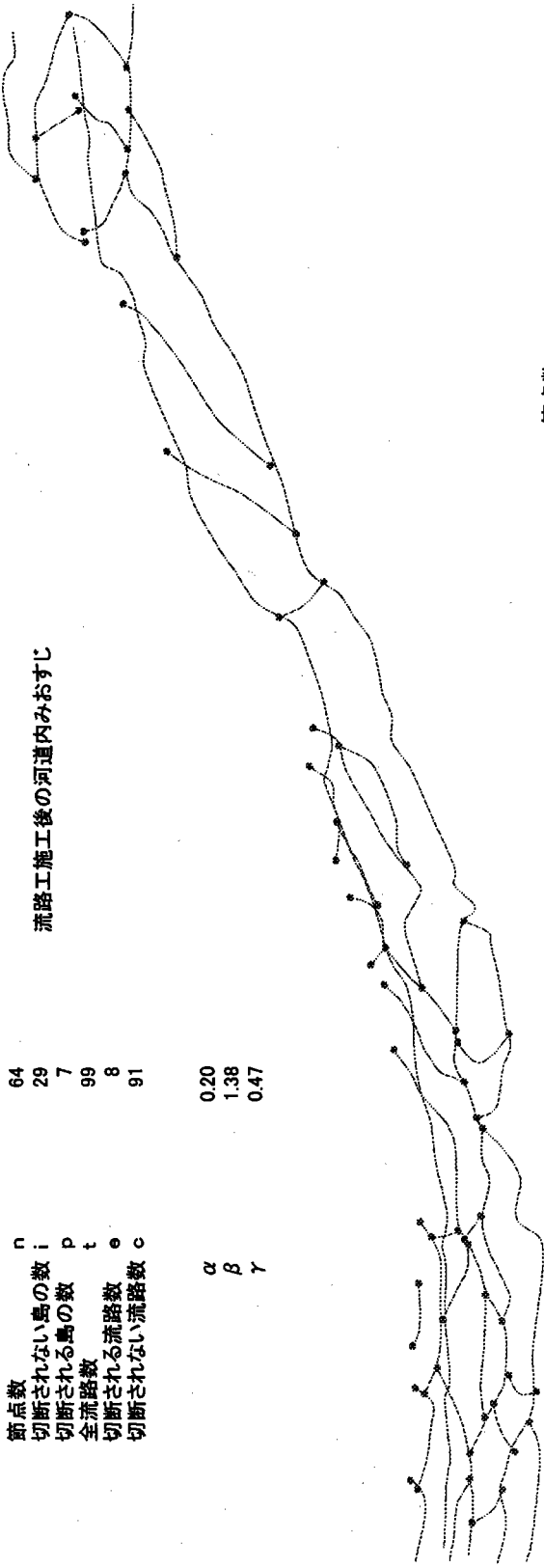
流路構内のみおすじに関するB. I. の値



節点数	n	#
切断されない島の数	i	7
切断される島の数	p	3
全流路数	t	#
切断される流路数	e	5
切断されない流路数	c	#

α	#
β	#
γ	#

同じ地点での流路工施工前の流路



流路工施工後の河道内みおすじ

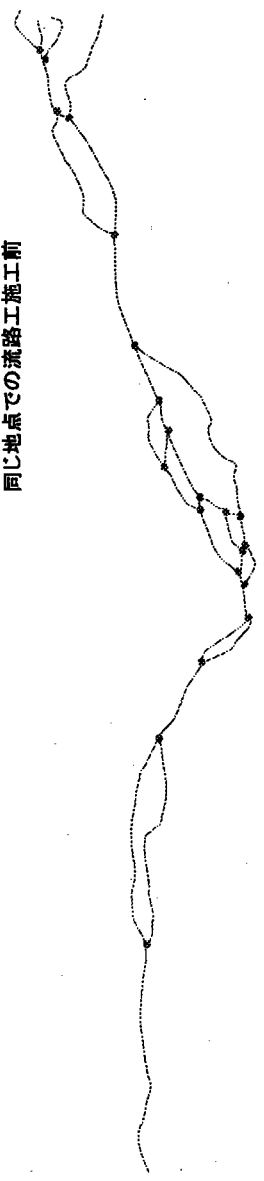
節点数 n 64
 切断されない島の数 i 29
 切断される島の数 p 7
 全流路数 t 99
 切断される流路数 e 8
 切断されない流路数 c 91

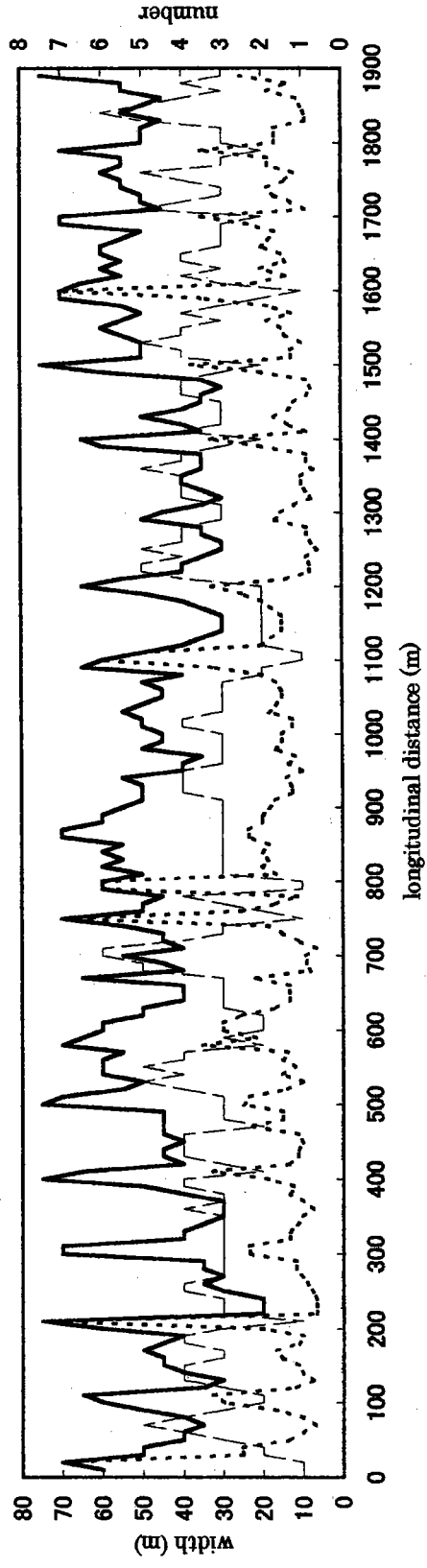
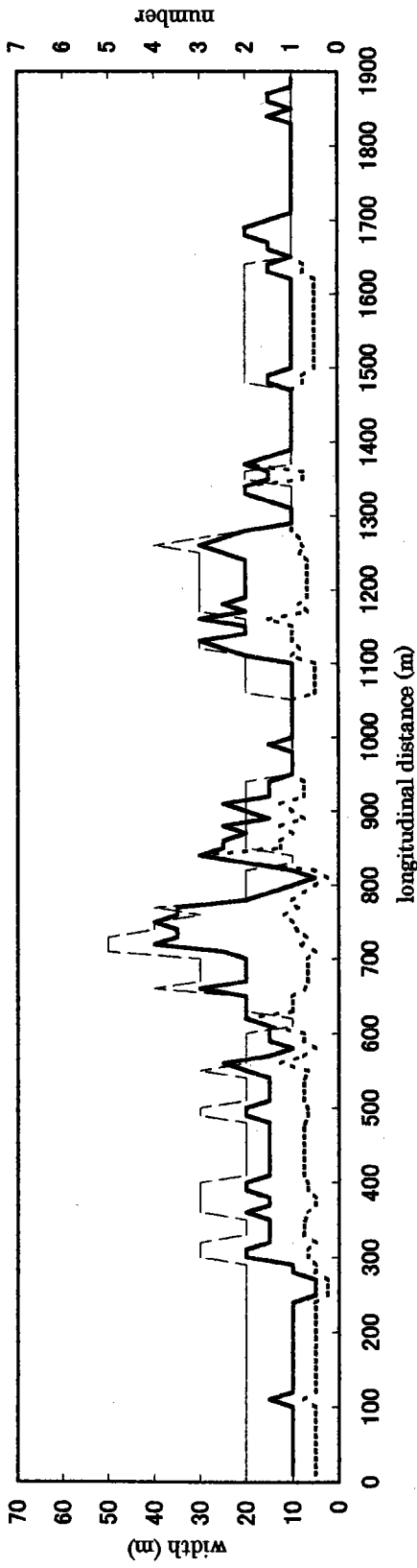
α 0.20
 β 1.38
 γ 0.47

節点数 n 21
 切断されない島の数 i 9
 切断される島の数 p 3
 全流路数 t 34
 切断される流路数 e 5
 切断されない流路数 c 29

α 0.19
 β 1.31
 γ 0.47

同じ地点での流路工施工前





—— 流水幅 平均みおすじ幅 --- みおすじ数
 | position of ground sill

3. 高尾山確認生物（参考）

【樹 木】

種名	確認場所	備考
アオキ	6号路全域	下層群落を形成
アカシデ	6号路モミ林	落ち葉で確認
アカマツ	6号路モミ林	ほとんどモミに取って代わられている
アカメガシワ		比較的多い
アキグミ		
アキニレ	博物館の庭	1本のみ
アケビ	6号路下部	
アブラチャン	6号路中下部	とても多い
アラカシ	6号路中下部	思ったより少ない
アワブキ		
イタヤカエデ	6号路中上部	
イヌガヤ	6号路中上部	
イヌブナ	1号路沿い	葉に付着物が多い（病気か？）
ウメ	6号路最下部	川沿いの整備された林
ウラジロガシ	上部	シラカシと区別できないものもあった
ウラジロモミ	1号路沿い	標識あり
ウリハダカエデ	6号路上部	
オオカメノキ	6号路下部	？
オオモクゲンジ	博物館の庭 6号路最下部	黄色の花が目立つ
オオモミジ	1号路沿い	
オカウコギ	6号路下部	
オニグルミ	6号路下部	
カシワ	山頂付近	突然山頂に見られる（植林か？）
カツラ	6号路下部	意外に少ない
カラスザンショウ	6号路上部	
キブシ	6号路中下部	
クヌギ	6号路上部	
クロモジ	6号路モミ林より上部	突然現れ始める
ケヤキ		
ケヤマハンノキ	6号路下部	？
コウソ		
コクサギ	6号路中部 飛び石の手前	標識あり
コナラ	6号路上部	
サカキ	薬王院	標識あり
サンショウ	6号路下部	
シラカシ		
スギ		
スタジイ	博物館の庭	標識あり
タマアジサイ	6号路中下部	標識あり 比較的多い
タラノキ	6号路下部	
ダンコウバイ		
チドリノキ	6号路中上部	非常に多い
トチノキ	薬王院	ここでしか見られなかった
ヌルデ	6号路中部	大きいものが見られた
ネムノキ	尾根部	意外に少ない
ハクウンボク	モミ林	？
ハリエンジュ	山頂付近	
ヒイラギ		
ヒサカキ	薬王院	標識あり
ヒノキ		

ビワ	琵琶滝	洒落か？
フサザクラ	6号路中部	あるところには密集していた
フナ	リフト乗り場手前	標識あり
ホオノキ	6号路申上部	巨木が多い
ミズキ	6号路全域	比較的多く見られる
ミツバウツギ	6号路中下部	
モミ	6号路上部	モミ林を形成しつつある
ヤブツバキ		
ヤマグワ		
ヤマナラシ	1号路中部	1本のみ
ヤマハゼ	6号路下部	
ヤマボウシ	博物館の庭	標識あり
ヤマモミジ		
ヤマモモ	博物館の庭	標識あり

【草 本】

種名	確認場所	備考
ミソソバ	下流溪流沿い	花はまだ
オオバコ		
クズ		
イヌタデ	下部散策道沿い	花
ヤマノイモ		
ミズヒキ		花
ツユクサ		花
ドクダミ		

【動 物】

種名	確認場所	備考
ヤマカガシ	6号路下部の河床	小型(30cm前後)
サワガニ	6号路全域	とても多い
ミヤマアカネ	6号路下部の溪流	
オニヤンマ	案内川(駅おりてすぐ)	
シオカラトンボ	6号路下部の溪流	メス
イチモンジセセリ	6号路中下部	花の蜜を吸っていた
魚類	案内川(博物館の橋)	カワムツ?アブラハヤ?
ハシブトガラス	全域	

【樹 木】

種名	確認場所	備考
アオハダ	4号路	標識あり
アカガシ	1号路上部	ほとんど鋸歯がないが希に上部に現れる
アサダ	1号路上部	樹皮
イイギリ	4号路北斜面	アカメガシワと紛らわしい
イヌシデ	1号路沿い	葉に付着物が多い(病気か?)
イロハカエデ		
ウリノキ	1号路 6号路	
カゴノキ	4号路中間部	1本のみ
カジカエデ	5号路西側	
カスミザクラ	4号路中間部	標識あり
ガマズミ	清滝	実がなっていた
クリ		シバグリ
サルトリイバラ	5号路東側	思ったより少ない
サワシバ	1号路下部 4号路中間部	
シラキ	4号路中間部	
シロダモ	1号路上部	
ツクバネガシ	6号路最下部	川沿いの整備された林
ツタウルシ	1号路中部	紅葉中
ツリバナ	1号路中部	実がはじめていた
ノブドウ	1号路下部	実がなっていた
ハナイカダ		
マタタビ	4号路吊り橋	
ミツバアケビ	1号路沿い	
ミツバツツジ	1号路中上部	
ミヤマガマズミ	1号路中部	
ミヤマシキミ	6号路上部モミ林の下層	赤い実が着いていた

【草 本】

種名	確認場所	備考
ウバユリ	1、6号路下部	実だけがなっていた
オトコエシ	1号路下部	花
サラシナショウマ	6号路下部	
シシウド	1号路下部	林道を挟んで下斜面にはオトコエシ
セキヤノアキチヨウジ	6号路下部	花
ツリフネソウ	下流溪流沿い	花が咲いていた
ヌスビトハギ	1号路下部	実だけがなっていた
ノコンギク		花
ハナタデ	清滝、下流溪流沿い	花
ヤブマオ	5号路東側	
ユウガギク		花

【動 物】

種名	確認場所	備考
アカゲラ	4号路中間部	鳴き声
オナガ		鳴き声
ハナグモの仲間	1号路全域	
ヒヨドリ		鳴き声
ヤマガラ	ケーブルカー山頂駅	目視観察

【樹 木】

種名	確認場所	備考
ニワトコ	蛇滝道下部	翼っぽい感じがする
ゴンズイ	稲荷山道上部	実が成っていた
キジョラン	蛇滝道	対生
コマユミ	蛇滝道	
ウリカエデ	3号路	
オニシバリ	3号路	
ニガキ	3号路	
フジ	蛇滝道	

【草 本】

種名	確認場所	備考
ヤクシソウ	稲荷山道	黄色い花

【動 物】

種名	確認場所	備考
ジョウビタキ	蛇滝道	目視観察
メジロ	蛇滝道	目視観察
シジュウカラ	蛇滝道	目視観察

【樹 木】

種名	確認場所	備考
イヌムラサキシキブ	いろはの森コース	とにかく毛が多い、ヤブ?
ウバメガシ	いろはの森コース	標識あり
エゴノキ	いろはの森コース	
エノキ	いろはの森コース	
オオバアサガラ	小仏道、釣り堀上流の角	葉がでかい
カマツカ	いろはの森コース	標識あり
サイカチ	小仏道、いろはの森コース	幹にトゲ
サウフタギ	いろはの森コース	標識あり
タイサンボク	薬王院のスギ向かい斜面	葉裏がだいたい色
ツタ		
ツノハシバミ	いろはの森コース	標識あり
ネズミモチ	2号路北側ルート	
ノリウツギ	いろはの森コース	標識あり
ハリギリ	いろはの森コース上部	モミジの化け物
ポタンツル	小仏道、釣り堀上流の角	三出、三裂
マユミ	小仏道	堰堤直下
マルバアオダモ	いろはの森コース	標識あり
ミスメ	いろはの森コース	標識あり
ミツデカエデ	小仏道	堰堤直下
ミヤマハハソ	いろはの森コース	標識あり
ムクロジ	日影沢を過ぎた右側斜面	小葉が微妙にずれる
メダスリノキ	いろはの森コース	下流堰堤左岸斜面
リョウブ	薬王院付近の1号路	

【草 本】

種名	確認場所	備考
ハダカホウズキ	いろはの森コース上部	実が成っていた
マルミノヤマゴボウ	小仏道	実が成っていた

【動 物】

種名	確認場所	備考
エナガ	小仏道梅林	集団に囲まれた
コゲラ	小仏道梅林	集団に囲まれた
ヤマメ	いろはの森コース下流堰堤	2匹(成魚と思われる)

【樹 木】

種名	確認場所	備考
ユズ	小仏道	実がなっていた

【草 本】

種名	確認場所	備考
ミヤマフユイチゴ	いろはの森コース下部	実が成っていた

【動 物】

種名	確認場所	備考
コジュケイ	いろはの森コース	声のみ

【樹木】

種名	確認場所	備考
アオキ	あちこち	新芽と赤い身
アカバナミツマタ	甲州街道の民家	花
アブラチャン	あちこち	花が盛り
カツラ	ケーブル道	花が盛り
キブシ	あちこち	花が盛り
ソメイヨシノ	清滝駅	まだまだ 来週ぐらいか?
ニワトコ	6号路下流	5枚の羽状複葉
フサザクラ	6号路下流	花は終わりかけ
ミズキ	6号路下流	つぼみあり
ミツバツツジ	おじぞうさん見晴らし台	花が盛り
ミツマタ	6号路入り口	花
モミジイチゴ	あちこち	花が咲いているものもあった(白)
ヤブツバキ	あちこち	花が盛り
ヤマブキ	6号路下流	黄色いつぼみが見えた
ユキヤナギ	甲州街道の研修所	花

【草本】

種名	確認場所	備考
アズマイチゲ	梅ノ木平	花が最盛期
アズマイチゲ	梅ノ木平	花
エゾノギシギシ	博物館庭・あちこち	
オオイヌノフグリ	あちこち	花
カキドオシ	あちこち	花
カタクリ	梅ノ木平	花が最盛期
カラスノエンドウ	あちこち	花
カンスゲ	あちこち	たたくと花粉が飛ぶ
ザゼンソウ	博物館庭	もうすぐ花
タチツボスミレ	あちこち	花
ツクシ	甲州街道	
ハコベ	あちこち	花
ハナニラ	ケーブル道の民家	花(園芸種)
ヒメオドリコソウ	あちこち	花
ミガ けんげん	ケーブル道	花
ミヤマキケマン	琵琶滝の上の道	花
ムラサキケマン	ケーブル道の民家	花
ムラサキハナナ	あちこち	花
ヤマエンゴサク	梅ノ木平	花
ユリワサビ	あちこちの溪流沿い	花

【動物】

種名	確認場所	備考
ゴイサギ	おみやげやの木の上	
ヨゲラ	甲州街道	鳴きながら移動
ジュウカ	あちこち	
メジロ	あちこち	
ヤマガラ	あちこち	

【樹 木】

種名	確認場所	備考
オオツクバネウツギ	日陰道上流	花が咲いていた
ゲッケイジュ	老人ホーム	花が咲いていた
コゴメウツギ	高尾山上部	
シャクナゲ	猿園	花が咲いていた
ハナイカダ	林道	花が咲いていた
ヤマブキ	全域	花が咲いていた

【草 本】

種名	確認場所	備考
ウラシマソウ	蛇滝下流左岸斜面	釣り糸がでていた、一株千円
カントウタンポポ	植林斜面	花
かたみしまかみ	蛇滝道	ハートの三つ葉
キジノムシロ	梅林コース	花
クサノオウ	梅林コース	花
シャガ	蛇滝道	花
セイヨウタンポポ	全域	花
ツルカノコソウ	蛇滝道	花
ニリンソウ	南浅川の林道～全域	花
ハルジョン	梅林コース	花
ラショウモンカズラ	梅林コース	花

【動 物】

種名	確認場所	備考
ウグイ	南浅川	赤みがかった
コゲラ	全域	目立った

けいかんこう かしょうけいたい せ ふちこうぞう およ えいきょう
「溪間工が河床形態（瀬・淵構造）に及ぼす影響と
けいりゅうぎょるい せいそく
溪流魚類の生息に関する研究」

（研究助成・一般研究VOL. 22-No.122）

著者 やま した あきら
山下 晃
発行日 2001年3月31日
発行 財団法人とうきゅう環境浄化財団
〒150-0002
渋谷区渋谷1-16-14（渋谷地下鉄ビル内）
TEL (03)3400-9142
FAX (03)3400-9141
