

河川美化・緑化調査研究助成

) 植生破壊モデルとリモートセンシングを用いた
河道内植生の分布と河道特性の関係
に関する研究

平成14年12月

)
山梨大学工学部 大石 哲
平成14年度 助成番号 2001-5(ホ)

目 次

はじめに	1
1 河川植生の分布に及ぼす河道特性の影響に関する研究	3
1. 序論	4
1.1. 背景	4
1.2. 従来の研究	4
1.3. 本論文の目的	5
2. 河川植生の基本的特性と対象河川	6
2.1. 河川植生	6
2.1.1. 植生遷移	6
2.1.2. 全国河川の傾向	7
2.2. 富士川の概要	7
2.2.1. 流域の諸元	7
2.2.2. 流域の動植物	8
2.2.3. 本研究における対象区間	10
2.2.4. 釜無川と笛吹川の概要	10
2.3. これまでの研究内容	12
3. 河川植生域の分布状況	13
3.1. 植生の繁茂と破壊	13
3.1.1. 植生繁茂システム	13
3.1.2. 植生破壊システム	13
3.2. 航空写真の判読	14
3.2.1. 航空写真の判読の概要	14
3.2.2. デジタル画像上での植生面積率の判読	23
3.3. 植生面積率	25
3.3.1. 釜無川・笛吹川の植生域分布状況	25
3.3.2. 植生変化量	36
4. 河川植生と河道特性	46
4.1. 河道特性の定義と意味	46
4.2. 植生域の分布と河道特性	47
5. 結論	60

2 出水に伴う河道内樹木の破壊の予測に関する基礎的研究	62
1. 序論	63
1.1. 背景	63
1.2. 本論文の目的	64
2. 富士川流域に関する概要	65
2.1. 富士川の概要	65
2.1.1. 流域の諸元	65
2.1.2. 釜無川の諸元	65
2.2. 富士川流域に棲息する動植物	67
2.2.1. 流域の動物	67
2.2.2. 流域の植物	67
2.3. 河川植生について	67
2.3.1. 植生に必要な河川環境	67
2.3.2. 植生の役割	68
2.3.3. 本研究における対象樹種	70
2.3.4. カワヤナギの概略	70
3. 河川植生の破壊条件	71
3.1. 破壊形態の類型化	71
3.2. 破壊の作用力及び破壊の推定限界値の算定	74
3.2.1. 倒伏破壊	74
3.2.2. 抜根破壊	76
4. 富士川における樹木破壊の検討	78
4.1. 河床横断面の形状を考慮した検討	78
4.1.1. 河床横断面	78
4.1.2. 定義	78
4.2. 釜無川と笛吹川の破壊状況の比較検討	79
5. 横断方向運動量輸送・樹木群を考慮した場合の理論的考察	84
5.1. 複断面水路における横断方向運動量輸送の数値計算	84
5.2. 樹木群が縦断方向に存在する場合の破壊断面率の検討	87
5.3. 航空写真による観測値との比較	89
5.3.1. 木本類面積率変化量	89
5.3.2. 破壊断面率と木本類面積率変化量との比較	92
5.3.3. 樹木群が存在する断面の設定	97
6. 結論	102
参考文献	104

3 IKONOSデータを用いた河川植生分布の把握に関する研究	106
1. 序論	107
1.1. 背景	107
1.2. 従来の研究	107
1.3. 本論文の目的	108
2. 本研究で扱う対象河川	109
2.1. 狩野川の概要	109
2.2. 狩野川の動植物	110
2.3. 本研究における対象区間	110
3. 植生の分布状況の把握	111
3.1. IKONOS衛星の概要	111
3.2. IKONOS画像の解析	111
3.3. NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)の定義	113
3.4. IKONOS画像における樹木の位置及びNDVIの取得	114
3.5. 木本類と草本類の比較	116
3.6. 木本類、草本類の識別及び各区間でのポリゴン作成	117
3.7. 各区間ごとの木本類、草本類の面積の判読	119
4. 結論	138
参考文献	140

はじめに

1. 研究の目的

河道内植生は河川生態系の大きな柱であるので、河川環境を考慮した河づくりにおいて河道内植生の保護が求められる一方で、特に木本類は洪水時には河道の疎通能力を低下させる要因であり、また破壊された木本類が橋脚や横断構造物にからみついて水位上昇をまねくことも事実である。したがって、河道内植生の現状および将来における分布を正確に知ること、洪水時にその河道内植生のうち破壊されるものの量を知ることは、河川環境に配慮しながらも安全な河づくりにおいて必須である。本研究では、人工衛星イコノスに搭載されている高解像度可視近赤外センサーを用いて河道内植生分布を把握し、河道特性と河道内植生分布の関係から河川改修や出水に伴う河床変動にともなう河道内植生分布の変化の予測手法を導出する。また、植生破壊モデルを開発して河道内植生が洪水によって破壊される量を算出する。

2. 研究の概要

河川法改正から、河川環境を適切に考慮した豊かな自然を持つ河づくりが推進されてきていることはまことに喜ばしいことである。しかし、日本においては洪水にとって危険な沖積平野に資産の大部分があり、都市化の進行とあいまってひとたび洪水氾濫という事態になれば、人的・経済的に大きな被害をうけることになることを忘れてはならない。また、まれにではあるが、すでに林地化してしまっている河道内植生群落で、計画規模の洪水を適切に流下させることができるのであれば、詳しい検討が必要と思われる箇所も見受けられる。

このような現状において、河道内植生と流水の関係を水理学的に詳細に調査する研究はもちろん重要であるが、一方で流域全体としてみたときに河道内植生分布を把握しておくこと、河川改修や出水に伴う河床変動によって河道内植生分布が変化する様子を予測すること、さらに洪水によって破壊される河道内植生の量を推定しておくことはいずれもきわめて必要性が高い。

そのような背景のもとで、河道内植生分布の時間的変動特性や河道特性との関係を調査し、また植生破壊モデルを開発し、計画規模の洪水によって破壊される植生の割合等を算出することを通して、流域全体における植生の分布の把握と河道特性との関係の定式化および破壊される植生量の算出を行った。

具体的には、まず、河道内植生分布やその統計量を算出し、河道特性との関係を調査した。具体的には、河道内植生面積率や河道内植生と濁筋との距離、右岸・左岸・中州における河道内植生量などを算出し、それと河川次数、河道の曲率などの河川の幾何学的特性や、フルード数、摩擦速度、掃流砂量などの河川の物理的特性との関係を調査した。

次に植生破壊モデルを開発し、現状の河道内植生や河床変動によって変化した河道内植生が洪水時に破壊される量を算出した。特に新たな点としては、実河床横断面の形状を考慮した点と、航空写真から判読した実際の植生破壊状況と比較考察を行った点である。

最後に、河道内植生分布の把握のために、人工衛星イコノスに搭載されている高解像度可視近赤外センサーのデータを用いた。イコノスデータを用いることにより比較的安価に、従来の人工衛星データと比較すれば詳細な河道内植生分布を取得できる利点があり、また、近赤外データが得られるので航空写真では機械的な判断が難しかった水際の植生と水体を明確に区別できると考えたためである。一方で、イコノスデータが持つ 1m 程度の解像度は航空写真と比較すればまだ粗く、グランドトゥルースを行う必要がある。そこで、本研究では富士川流域を対象にグランドトゥルースを行うことでイコノスデータから河道内植生分布を算出する方法を開発し、その精度を検証した。

3. 本書の構成

本報告書は 3 部で構成される。

第 1 部は河川植生の分布に及ぼす河道特性の影響に関して述べている。第 2 部は植生破壊モデルについて述べている。第 3 部は人工衛星イコノスに搭載されている高解像度可視近赤外センサーデータから河道内植生分布を把握する研究について述べている。

第 1 部

河川植生の分布に及ぼす河道特性の影響に関する 研究

第1章 序論

1. 1 背景

河道内に棲息する植生は、昆虫、鳥類、小動物及び魚類など様々な生物の棲息の場を提供していることから、その植生状態の認識と把握は河川環境に関する中心的な課題の一つと考えられる。これまで、流水の管理の立場からは河川植生の持つ付加的な抵抗の作用に関心が寄せられ、植生域そのものが河道特性の要素として考えられてきた。その植生状態を計画的に管理することは容易ではない。その植生は河川の流れに影響を及ぼす一方で、時間的、空間的に様々に変わる河川の諸条件によって大きな制約を受ける。発生の契機が自然のものであっても、人工的に計画されたものであっても、周囲の種と河川の水位と流れ及び気候の影響を受けながら繁茂と衰退を繰り返し遷移していく。河川の計画規模が200年であるならば、少なくとも200年の時間的なスケールで起こる植生の遷移の範囲はどのようなものだろう。こうした長期トレンドの課題の検討に対しては、植物生態学的立場やミクロな水理学的考察の立場からのみの取り扱いでは直接的に計画や管理の方策を得るのは容易ではない。この場合には現象を支配する適切な外力指標としての“平均水理量”との関係が議論される必要がある。すなわち、河道状況や水文条件、流砂量条件などの変化が植生の繁茂や破壊に及ぼす影響を幾つかの代表的な水理指標で記述して抽象化するアプローチが必要と考えられる。この方法は大小のスケールの現象が関係するいわゆるメソスケールを対象とすることになり、これまで検討が遅れているが、管理実務の立場からは最も直接的かつ有効な知見が得られる可能性がある。適当な幾つかの水理パラメータと水文条件（流量変化）などを用いて植生分布の変化や遷移が抽出できれば、植生分布長期モデルの構築も現実的なものとなる。

1. 2 従来の研究

河川植生の研究は、降水量や地形の関係から河川植生を研究する条件が必ずしも整っているとは言い難く、河道内の自然植生に関する研究は少ない。

河川植生に関する研究は、そこに発達する群落を認識し、群落の成立に関わる環境や洪水などの環境変化に対する立地の安定度を把握することからはじまる。そして現在に至るまで、植物群落の分布や配列に関する研究に対して、種組成から群落を分類する研究、いわゆる植物学的研究により各地域単位で様々な群落が報告されている。また、植生繁茂機

会が出水頻度や流送土砂条件に支配されることから、まずその水系全体の土砂動態の予測・評価方法を検討している。平成5年には植生域を濁筋の変化から推定し植生域と河道特性との関係の調べ、植生域が河幅水深比（B/H）などの河道特性と関係を持って存在していることなどを知ることができた。¹⁾²⁾

1. 3 本論文の目的

河川環境の管理に関する将来の計画についての基礎的な資料を提供するために、河川植生の空間的分布・時間的変化と河道特性との関係を検証する。次に、中長期的な河川植生の存在状態を予測・評価する手法の開発を目指す。すなわち、様々な河道状況のもとで、不規則な気象や洪水出水の条件での植生の分布状態とその長期傾向を区間の平均的な河道水理特性パラメータに集約させて抽出し、同一河道特性区間における植生の分布の長期的変化、遷移について明らかにする。植生変化についての有効な評価方法を提案すると共に、水文・河道条件を介しての植生分布の長期予測推定の基本モデルの構成を試みる。

第2章 河川植生の基本的特性と対象河川

2. 1 河川植生

植生は遷移するものであり、常に動的な変化の途上にある。しかし、河川敷は一般の陸域と異なり、突発的な増水によって物理的に搅乱され、遷移が停滞、逆行する特殊な場所である。治水工事の遂行等によって、流水の物理的作用に変化が生じれば、植生の遷移にも当然大きく影響する。流水の変化要因としては、ダムの構築、堤防護岸などの治水工事の進行、あるいは農業用水・上水利用の変化、砂利採取状況の変化などがある。

2. 1. 1 植生の遷移

植生の遷移は一般的には表2・1のように進行遷移する。また物理的搅乱があれば逆方向に動き逆行遷移となる。また中・上流域の礫質で泥土の少ない場所では、草本植物の発芽着床が困難となり、草本群落の段階を欠いて直接低木群落からスタートする。河原にヤナギ類が一斉に芽生えるのもその例である。

安定化の傾向にある河道内にあって、大小の流量の変化があるものの、植生遷移の停滞状況が生じてくる。これが亜極相状態で多年性草本群落やササ草原である。河川ではヨシやオギ群落それにあたる。安定・停滞した亜極相群落が次の遷移段階の低木群落へ移行するには通常長い時間をする。

これら植生遷移の一般特性から、河川敷に存在する植生の分布割合によって、河川の安定状況を類推することができる。

表2.1 植物群落の遷移の類型

一年生群落	→	多年生草本群落	→	低木群落	→	高木林	→	極相林
(例) ヤナギタデ		ヨシ・オギ		イヌコリヤナギ ネコヤナギ		タチヤナギ		陸域の森林
進行遷移	➡		➡		➡		➡	
逆行遷移	⬅		⬅		⬅		⬅	

2. 1. 2 全国河川の傾向

河川敷全体に対する植生の割合は表 2.2 のとおりである。水域を除いた河川敷をしめる植生面積率は、全国平均で 71.1% と約 7 割以上を閉めている。四国では 61.8% ともっとも藪化率が低くなっているが、もっとも面積比率の高いのは北海道で 83.0% をしめている。河川敷の藪化傾向は全国的傾向であることを示している。

河川の多様性、健全な生態系を維持する上では、植生面積率が高いのは歓迎されるべきこととも言える。しかし、河川の流水疎水能力を維持するうえでは、無制限な増加は問題である。特に群落の高い樹林の繁茂動向には留意が必要となる。

2. 2 富士川の概要

2. 2. 1 流域の諸元

日本列島の中央で地質構造を東北日本と西南日本とに大分割するフォッサマグナ（大地溝帯）の西縁を、日本三大急流の一つといわれる富士川（流域面積 3990km²）が流れている。日本の河川の中では、流域面積で 15 番目に大きい。長さは 128km で、本川釜無川の水源は赤石山脈北部の駒ヶ岳（2966m）の北西に位置する鋸山（2607m）である。下流で合流する芝川は富士山（3776m）を、また中流で合流する早川は日本で 2 番目に高い白根山北岳（3192m）を水源とするため、富士川は日本で最も高い水源をもつ河川ということになる。

流域の形は駿河湾にそそぐ河口部（図 2.1.1）で幅が狭く、上流にいくほど広がる逆三角形をしている。流域の中央に陣取る甲府盆地は西縁と南東縁とを断層で限られた構造盆地である。やはり逆三角形をしているがキツネの耳のように北西の釜

表 2.2 全国河川の植生面積率

地域	河川数	植被率(%)
北海道	11	83
東北	10	69.2
関東	15	69.9
北陸	9	57.9
中部	13	66.5
近畿	14	70.7
中国	11	76.1
四国	7	61.8
九州	16	77.1
全国平均	106	71.1

植生面積率：水域を除く陸域にしめる植生の割合（河川水辺の国勢調査資料から計算）

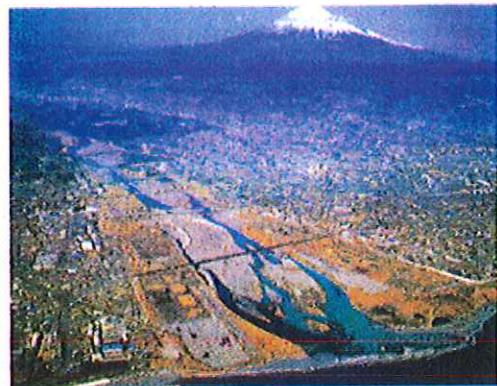


図 2.1.1 富士川河口

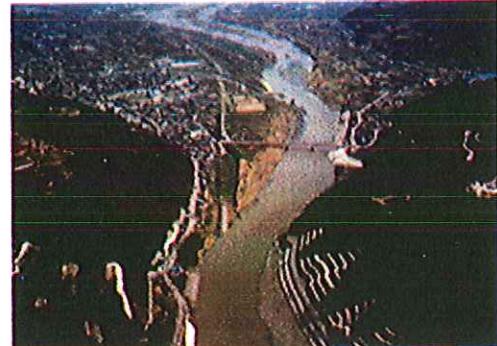


図 2.1.2 禹之瀬

無川、北東の笛吹川沿いに平坦地を山間部にまで伸ばしている。甲武信ヶ岳（2475m）に源を発する笛吹川（流域面積 1040km²）と釜無川（1093km²）とは甲府盆地の南端で合流し富士川となる。公式上の河川名としての富士川は、合流点以下の河川をさすが釜無川が富士川の本流（幹川）とされている。

富士川の中流に流入する早川（514km²）は、日本でも最大級の隆起速度（約 3mm/年）をもつ赤石山脈とそれに平行して走る身延山地との間に深い谷を刻み、富士川に平行して南北に伸びる。早川は赤石山脈の笊ヶ岳（2629m）から東に派生する大きな山稜にぶつかると、谷の方向を東に変え、身延山地を横切り富士川に合流する。谷底平野がなく農耕地開発がなかった早川上流は、富士川流域の街道筋から最も奥まった地域であった。

富士川の流量は日本の河川の中で、とりわけ大きいというわけではない。比流量（水量と流域面積の比率を考え、同じ流域面積当たりから流れ出す水の量）はむしろ小さな部類に属する。比流量から見ると関東地方の河川に似ている。一本ごとの支流で見ると、早川の最大流量がとびぬけて大きい。

2. 2. 2 流域の動植物

富士川本流の植生は、まず上流・中流域についていふと、カヤツリグサ、センダングサ、ヨモギ、オトコヨモギ、エノコログサ、ヒメムカシヨモギ、ヤクシソウ、イヌタデ、ヤナギタデ、ヒエ、サボンソウ、ツルフジバカマ、オオツマヨイグサ、イヌガラシ、ニセアカシヤ、オオバコ、ユウガギク、コブナグサ、ミヅソバ、イノコズチ、カゼクサ、トクサ、ススキ、ヒュ、スギナ、ギシギシ、クサイ、ツユクサ、イタドリ、カワラマツバ、イヌゼリ、ヨシ、アワミドロ、オギ、カタバミ、バッコヤナギなどの草木が生えている。そして、下流域では上流・中流域と同じ種類の草木もあるが、違う種類について言ふと、スミレ、アメリカセンダングサ、オナモミ、クズ、アカギ、イノバラ、チジミササ、アキノノケシ、ナギナタコウシ、タネツケバナ、ミヤコハコベ、ウツギ、ヌルデ、ツルウメモドキ、カシ、ケヤキ、フジ、ヤマブキ、クヌギなどの草木が生えている。



図 2.2.1 ヨシ



図 2.2.2 ススキ

また、本流の河原には、スズメ、ムクドリ、ツグミなどの他カシラダカ、ヒバリ、カワセミ、タヒバリ、セグロセキレイ、コサギ、カルガモ、イソシギ、イカルチドリといった河川敷特有の鳥類が住んでいる。支流にはいると鳥の種類も増え荒川の昇仙峡では、カワ

ガラス、ミソサザイ、キセキレイ、セグロセキレイ、カワセミなどが特に目につく。西沢渓谷や広瀬ダムでは、カワガラス、セキレイの他、コルリ、コマドリ、オオルリ、ヒガラ、コガラ、カヤクグリ、キワイタダキ、ツグミ、カシラダカ、アトリ、マヒワ、ハギマシコ、コガモ、マガモなども住んでおり、また身延川や大路渓谷では、ホウジロ、ヒヨドリなどが、キセキレイやセグロセキレイに混じって渓流で餌を探している姿も見られる。

また水中には、イワナ、ヤマメ、アユ、アブラハヤ、ナマズ、カジカ、ドジョウ、コイ、ヘラブナ、ワカサギ、ニジマス、ヒメマス、ウナギ、オイカワなどの魚類が住んでいる。それに動植物性プランクトンの他川底やレキに付着して住んでいる微生物などもいる。



図 2.2.3 カワラサイコ



図 2.2.4 カワセミ



図 2.2.5 オイカワ



図 2.2.6 ウグイ

2. 2. 3 本研究における対象区間

本研究における対象区間は、富士川水系の本川釜無川とその支川笛吹川である。釜無川は、富士川河口より 57.866km の鹿島橋 (K0) から武田橋 (K250) までの 25km の区間であり、笛吹川は、釜無川と合流する地点 (F0) から岩手橋 (F260) までの 26km の区間とする。

2. 2. 4 釜無川と笛吹川の概要

赤石山脈の山麓の北端で八ヶ岳の裾野に出

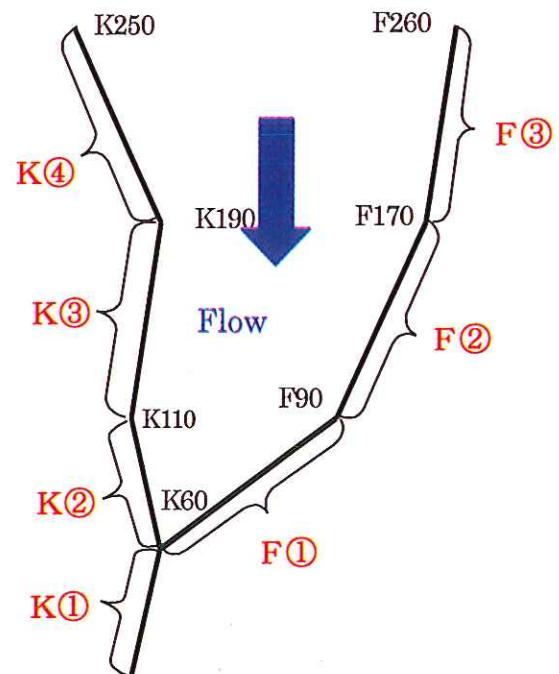


図 2.3.1 対象区間概略図

合うと、120 度向きを変え、谷幅は急に広くなり、甲府盆地をめがけて釜無川は直線上に流下する。諏訪湖から甲府盆地にかけては、糸魚川一静岡構造線の一部である釜無山断層群にそった地質構造の細長い凹地になっている。この凹地の中に八ヶ岳溶岩が流れ込んで広い裾野を造っている。左岸の八ヶ岳の裾野は釜無川に削られて 50m~100m におよぶ崖とな



図 2.4.1 万力林

り、右岸には駒ヶ岳や鳳凰山 (2841m) から流下する大小の河川が扇状地を造っている。河床には直径 2m 以上もある巨礫もごろごろし、ふだんはそれらの間を流水が瀬となり淵となって流れている。急峻な赤石山脈と脆弱な地質の八ヶ岳とから流れ出る釜無川とその支流は、豪雨があるとたちまち洪水となる。釜無川に沿って走る甲州街道とその周辺地域はしばしばひどい水害をこうむり、河川沿いには多数の霞堤が築かれている（図 2.4.1）。



図 2.4.2 近津

笛吹川の源流部は西沢渓谷に代表される V 字型の渓谷で、山間部からの出口のところで

琴川と鼓川とを合流させる。風化して小さな割れ目のたくさん入った安山岩の山地を流れ下る二つの川は、大量の土砂を運びこみ笛吹川を暴れ川へと変化させる。合流点の下流で暴れ川となった笛吹川は、細長い扇状地を造って甲府盆地へと流下する。扇状地上の秩父往還ぞいにひらけた集落はしばしば水害をこうむり、河川沿いには長い堤防が築かれ“信玄の万力林”として知られる水害防備林がある。川幅は釜無川ほど広くはない。以下に釜無川と笛吹川の諸元をまとめると。

表-2.1.1 釜無川と笛吹川の諸元

	釜無川	笛吹川
区間	鹿島橋 (K0) 武田橋 (K250)	釜笛合流点 (F0) 岩手橋(F260)
区間長	27.238km	28.298km
高低差	129.1m	152.7m
平均勾配	1/210	1/185
最低勾配	1/784(K60)	1/1401(F70)
最高勾配	1/98(K250)	1/51(F260)
流況	船山橋	桃林橋
(最大流量)	503.55m ³ /s	747.49m ³ /s
(豊水流量)	14.97m ³ /s	23.39m ³ /s
(平水流量)	10.42m ³ /s	16.77m ³ /s
(渇水流量)	7.70m ³ /s	12.76m ³ /s
(最小流量)	1.77m ³ /s	7.10m ³ /s
(平均流量)	15.77m ³ /s	23.23m ³ /s

2. 3 これまでの研究内容

河川植生の分布に及ぼす水文条件・河道特性の影響、河川植生域の長期変動傾向の予測などの試みなどの研究は、1999年の学士論文³⁾で進められていた。その研究は、富士川水系本川の釜無川、笛吹川を対象とし、建設省よりお借りした1964年～1997年までの航空写真と、JANETが撮影した1998, 1999年の航空写真、および流量年表を用いて植生域の繁茂・破壊の程度の表現方法について明らかにし、植生分布の長期予測推定モデルの構成を試みるものであった。以下にその内容を紹介する。

長期の総括的な植生の変動傾向を端的に捉るために、過去に撮影された航空写真を利用した。1964年～1998年までに存在する航空写真（1964年, 66年, 68年, 70年, 72年, 74年, 75年, 78年, 79年, 80年, 82年, 88年, 97年 建設省撮影、98年, 99年 JANET撮影）を用いて、対象区間内の約1km区間の河道全面積（R）、植生域の面積（a）、木本類面積（t）を判読した。ただし、1964年から1980年までは、植生域に関しては木本類、草本類の区別はつけず同じ植物とみなした。さらに渴水時の流況を想定して、同区間の流水水面の面積を計測した。以上をもとに、有効植生面積率A_eを求めた。上記で求めた値と植生の繁茂・破壊式、設定流量を与えることにより、植生の繁茂・破壊にかかるパラメータ（ α, β ）を求める。 α は、植生の繁茂のしやすさをあらわし、 β は、植生の洪水時の破壊の程度を表している。このようにして得られた α, β から各対象区間の特徴を理解し、河道特性とどのような関係にあるかを検証した。また、植生の繁茂・破壊式から植生の遷移図をあらわし、植生域の変動を再現した。このようにして、植生の繁茂・破壊関数を用い、植生を考慮した河川計画の資料となる将来の植生分布を予測推定する方法を作り上げた。

本研究では、これまでプラニメータ等の手作業で行われていた航空写真からの植生判読をパソコンを用いてある程度ルーチン化することを試みた。今回の研究では水域、裸地域、草本類域、木本類域として区別して解析する手法を検討する航空写真から植生の発達状況を読み取るため、(1)水域、(2)植生域、(3)木本類域、(4)裸地域のRGB分布及び輝度をとらえ解析する手法を検討した。

第3章 河川植生の分布状況

河川区域内の植生は流況に直接関与しながら、その一方で多様な生物に棲息場を提供するなど河川環境の基本的な条件を構成している。その河川植生を将来とも河川の重要な河道・環境条件と認識し、河川植生の分布状況を出水規模や頻度および河道特性との関係で予測し評価する必要がある。本章においては河道特性がどのように植生域の消長に関与してくれるかを明らかにするため、植生分布・変化と河道特性を表す無次元量との関係を調べた。また、1999年の学士論文³⁾では1982年から1998年までを対象としたが、本研究は、1997年から1999年を対象にして、釜無川、笛吹川の全区間の解析を行った。

3. 1 植生の繁茂と破壊

植生の繁茂と破壊には様々な形態があるが、その解明には構成種の生理・生態学的特性と環境条件との対応関係を研究するだけでは不可能であり、河川の地形形成プロセスとの関係、水理学的研究など学際的な取り組みが不可欠である。洪水による定期的な物理的植生破壊と土砂の浸食、堆積などの作用を受ける河川植生の再生への様々な適応性について概要を以下に示す。

3. 1. 1 植生繁茂システム

流水による物理的破壊作用にさらされる河川植生は種子、根茎、栄養繁殖のすべての繁茂要素を兼ね備えている場合が多い。草本類ではヨシ、ツルヨシ、樹木ではヤナギ類がその代表的な種である。

- (1) 種子繁殖：毎年種子によって世代交代を行う一年生植物。冠水の頻度の高い低水敷きを主要生育地とする。種子を大量生産し大群落を形成する。
- (2) 根茎繁殖：地下茎の発達で地下部から多数出芽する。ヨシ、ツルヨシ、オギの多年生植物の大半が含まれる。根茎が株毎流出し、漂着した場所で再生する。
- (3) 栄養繁殖：枝先や植物体の一部から発芽や発根し繁殖する。同時に萌芽再生力も強いヤナギ類がその代表的植物。

3. 1. 2 植生破壊システム

河川植生の破壊は、それぞれの流域の河床形態、洪水規模、頻度とそこに成立する植生との相互関係で検討されるべきもので、一般化することは困難である。以下に洪水が植生

に及ぼす破壊作用について示す。

(1) 直接的な流水の作用によるもの

(1-1) 植物が流れによって受ける流体力によって、変形、倒伏さらには根こそぎ剥ぎ取られて流失するといった物理的破壊

(1-2) 沈水状態による光合成や呼吸といった植物体の生理的活性度への悪影響による生理的破壊

(2) 土砂移動による河床、河岸の変動作用によるもの

(2-1) 植物群落内への土砂堆積による植物体の埋没による破壊。

(2-2) 植物群落内の土砂侵食による植物体の倒伏、流失。

(3) 直接的な土砂流送の作用によるもの

(3-1) 土砂による衝撃力による物理的破壊

3. 2 航空写真の判読

飯田らは¹⁾ 1964年から1999年までに存在する航空写真から釜無川、笛吹川の1km区間ごとの植生面積率を判読した。釜無川 16 年分のデータ解析により、植生域の分布の変化状況が理解された。また砂田らは²⁾、釜無川と笛吹川では植生域の分布の状態が大きく異なり河川の水深差や地下水位の高低差などがその理由として考えられた。本項では、このような河道の状況の変化を航空写真の解析によって巨視的に把握しようとするものである。

3. 2. 1 航空写真判読の概要

航空写真からの植生の判読は、一般に膨大な作業を伴う上、測定者によって違いが出ることも考えられる。そこで本研究では、その作業をパソコンを用いてある程度ルーチン化することを試みた。1999 年学士論文³⁾では木本類・草本類をまとめて評価したが、本研究では水域、裸地域、草本類域、木本類域として区別して解析する手法を検討する。

航空写真から植生の変化の状況を読み取るため、(1)水域、(2)草本類域、(3)木本類域、(4)裸地域の占有率および植生の増加・減少を捕らえ解析するため、以下のような手法を検討した。まず航空写真をスキャナーによってコンピュータ内にデジタル画像として取りこむ。航空写真の色調等が撮影フィルムやプリントによって異なることを考慮した本研究では植生面積率の縦断方向変化にも着目したいため、河道は、1 km ごとに区切って解析した。ここで河道とは、両側を堤防で囲まれる部分と定義している。

デジタル化された画像は市販ソフト(Adobe Photoshop5.02J)を用いて解析に使う。

(1) 輝度

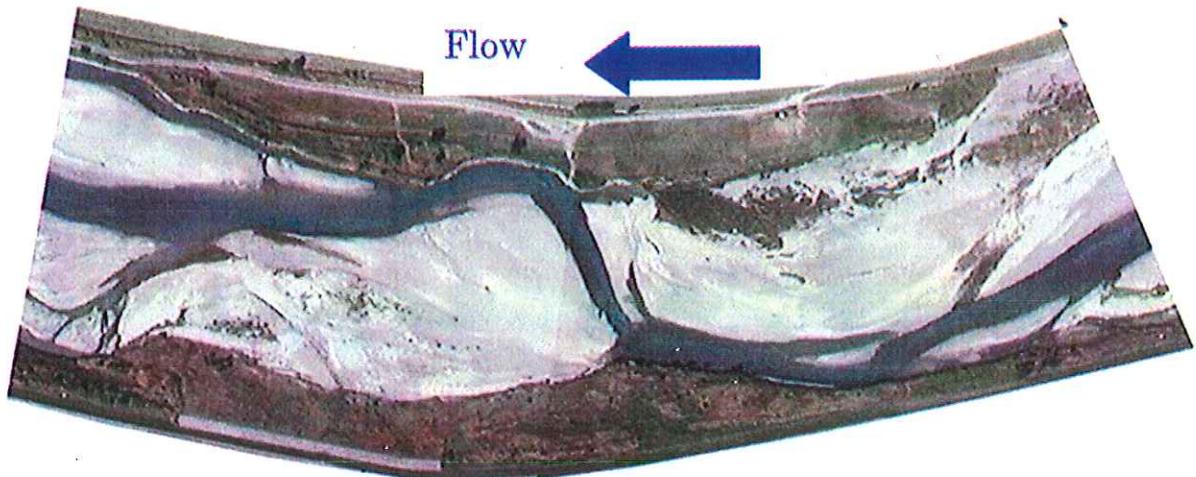


図 3.2.1 釜無川 (K080-090) の河道 (1999 年 11 月)

図 3.2.1 の例(99-K080-090)では、その画像は約 112,038 ピクセルからなり、その輝度の概要は図 3.2.2 (横軸は黒から白までの輝度のフルレンジ) に示すとおりである。輝度の値の高い部分には白い裸地、低い部分には黒い植生域が貢献しており、中間値域が水面域に対応している。輝度値に対し各領域を区分する閾値を設定できるものと期待したが、各領域での輝度の範囲のオーバーラップが激しく閾値の決定は容易ではない。

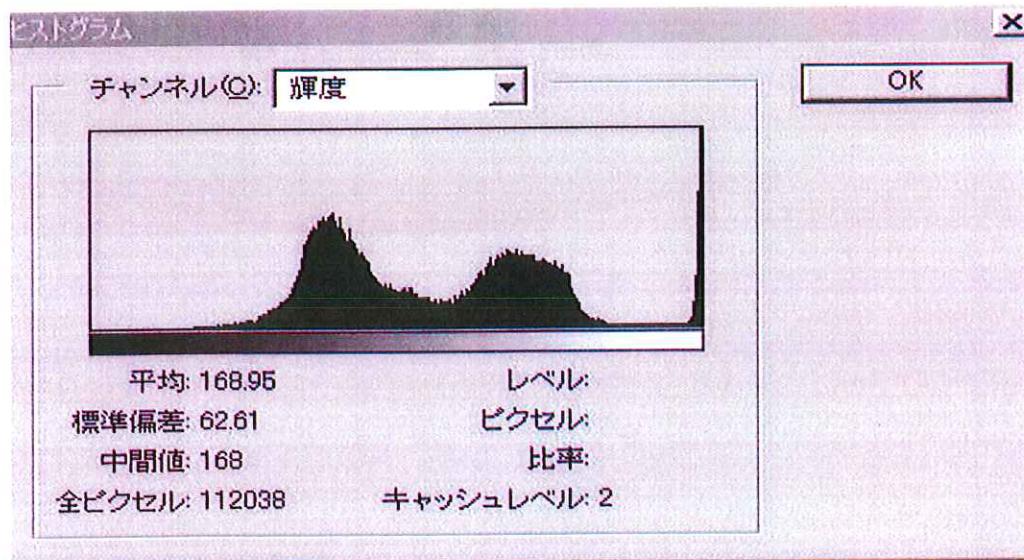


図 3.2.2 釜無川 (K080-090) の河道画像の輝度のヒストグラム

そこで(1)水域、(2)草本類域、(3)木本類域、(4)裸地域ごとに数百から数千ピクセルの代表的な領域を選択し、そこで輝度のヒストグラムを調べたものが図 3.2.3 である。それぞれ、輝度レベルで水域 127～279、草本類域 92～111、木本類域 107～257、裸地域 164～190 と分布しており、典型例ですらオーバーラップは大きい。

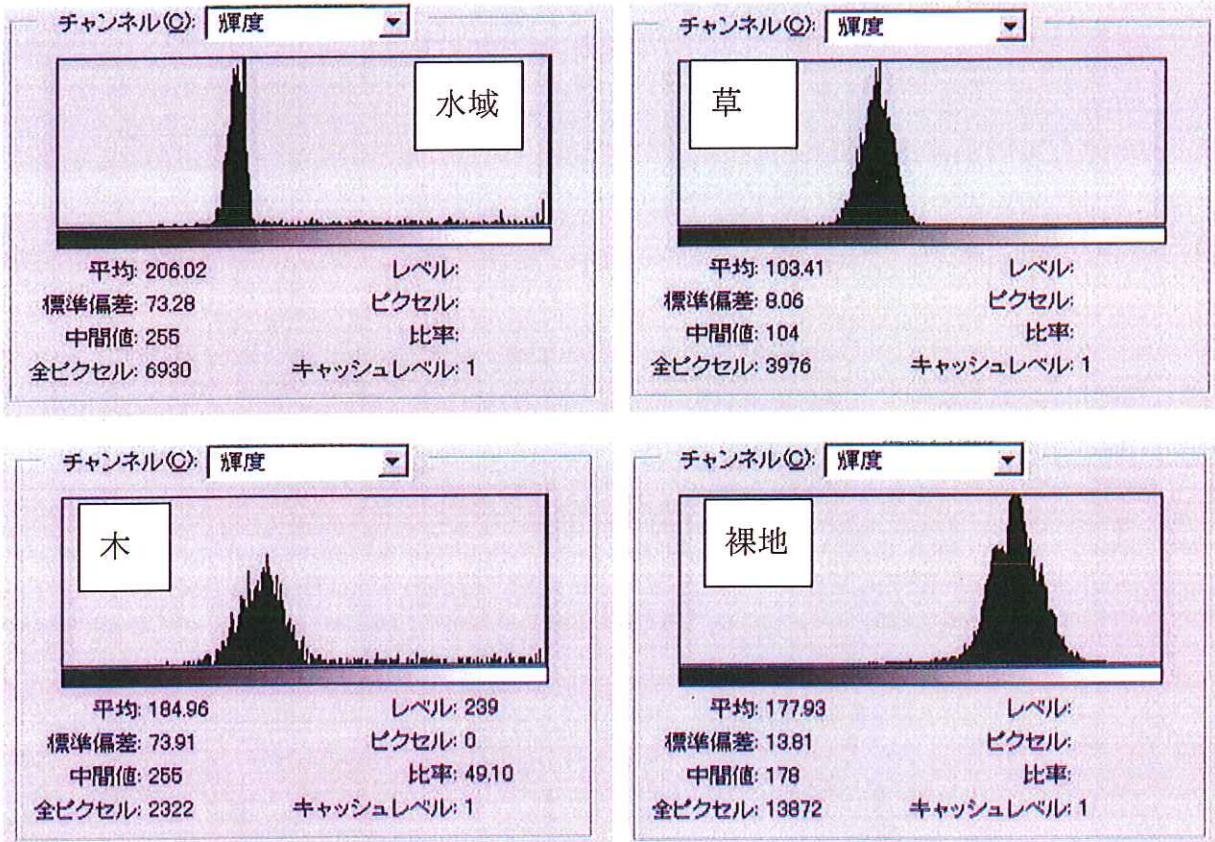


図 3.2.3 代表的(1)水域、(2)草本類域、(3)木本類域、
(4)裸地域別の輝度ヒストグラム

(2) RGB

そこでRGBの分布を調べた。図3.2.1の例について図3.2.4の赤線の方向(50ピクセルごと)にRGBの分布を調べると図3.2.5のようにRGBが水域、草本類域、木本類域、裸地域で特徴のあるようにみえる(青線は縦方向50ピクセルごと)。

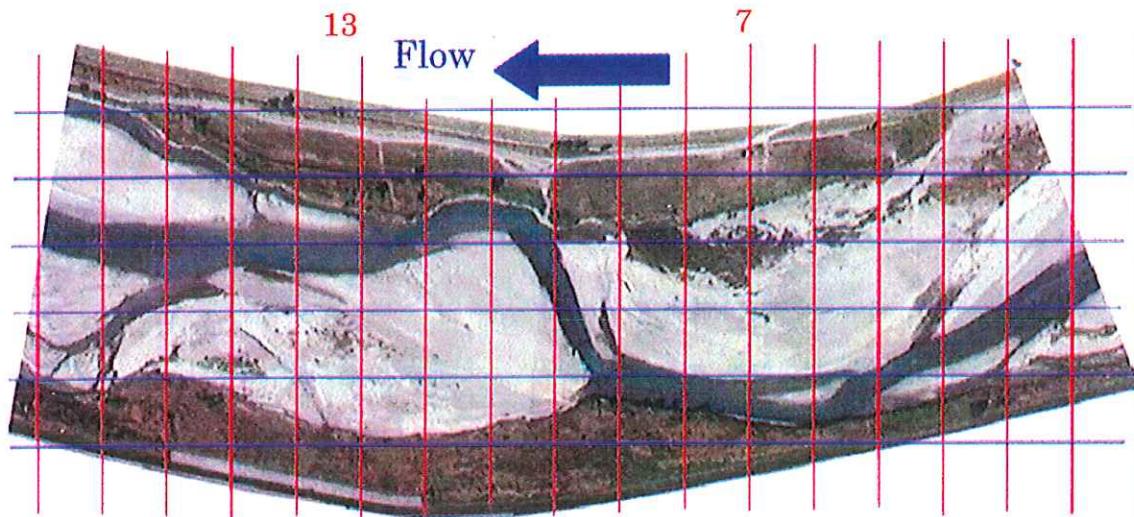


図3.2.4 釜無川(K080-090)の河道(1999年11月)

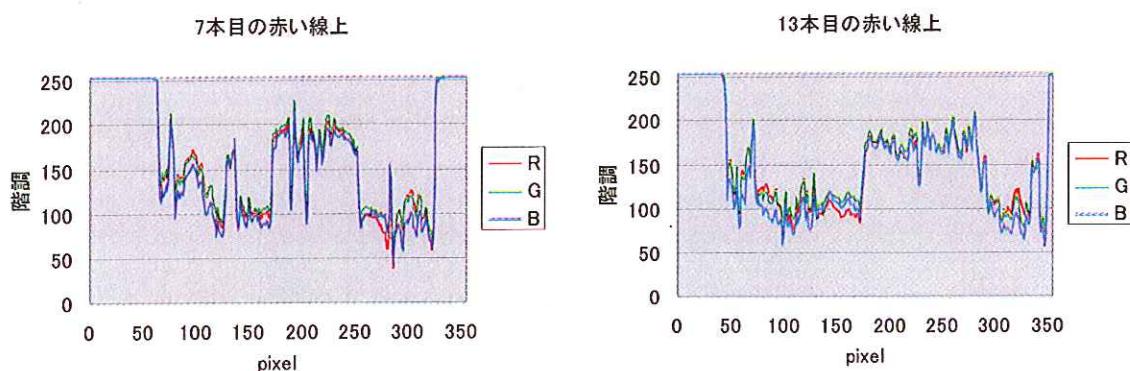
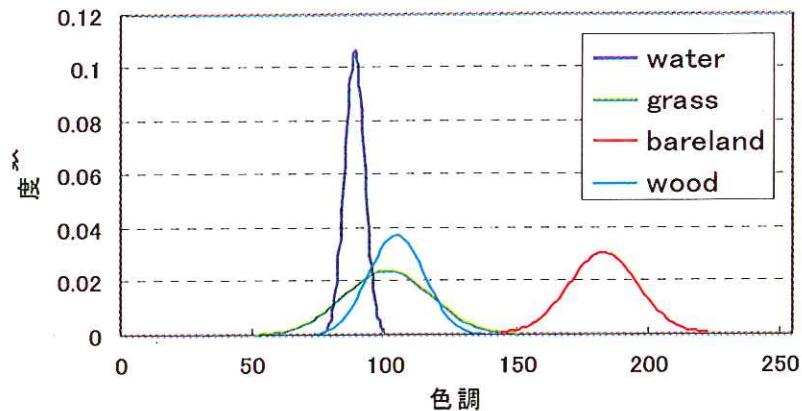


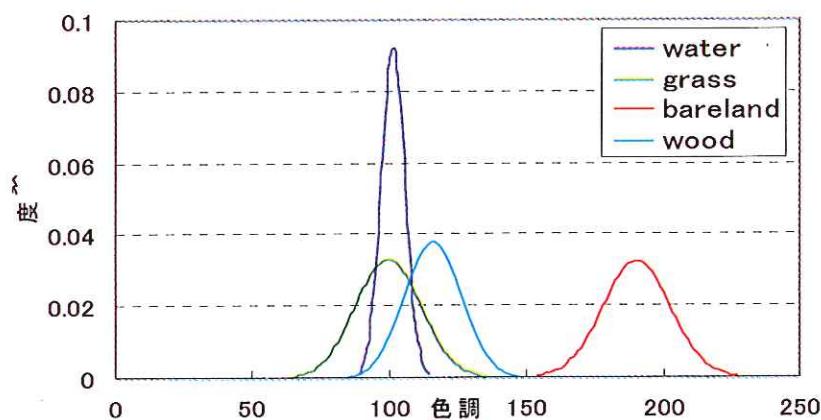
図3.2.5 河道の横断方向におけるR、G、Bの分布

対象区間の(1)水域、(2)草本類域、(3)木本類域、(4)裸地域のRGB分布の結果は図3.2.6(ここに掲載した以外はAPPENDIX-A参照)に示すようになった。やはり、輝度分布のときと同じように各領域でのオーバラップが激しく閾値を決定することはできなかった。

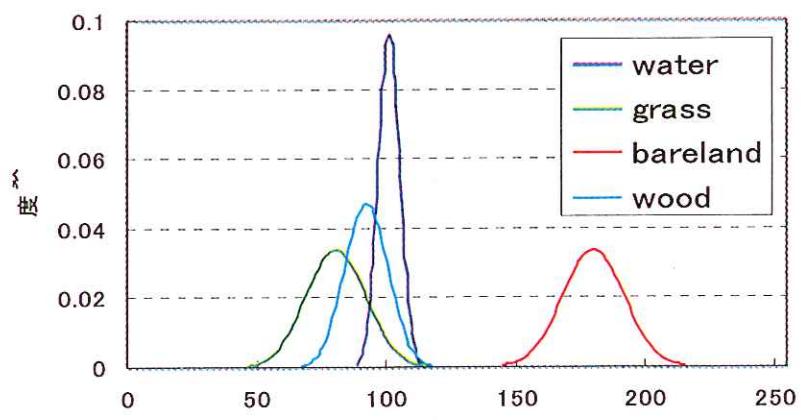
そこで、(1)水域、(2)草本類域、(3)木本類域、(4)裸地域ごとに数区間の代表的領域を調



(1) K080-090 の R の分布



(2) K080-090 の G の分布



(3) K080-090 の B の分布

図3.2.6 K080-090におけるR、G、Bの分布

べたものが、図 3.2.7(ここに掲載した以外は APPENDIX·B 参照)である。

'99 釜無川のRの分布範囲 (草本類)

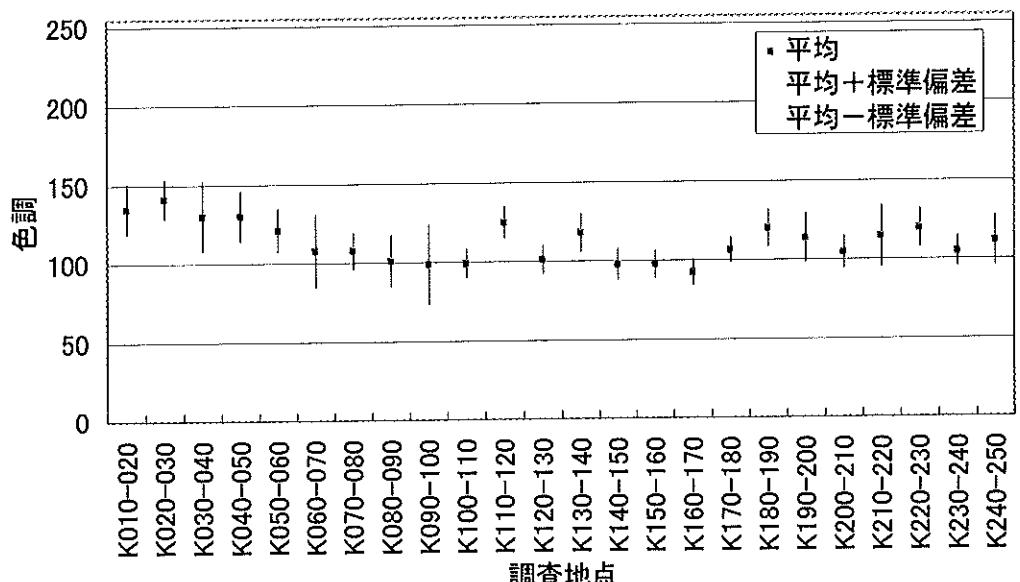


図 3.2.7 (1) 釜無川の草本類の R 分布

'99 釜無川のGの分布範囲 (草本類)

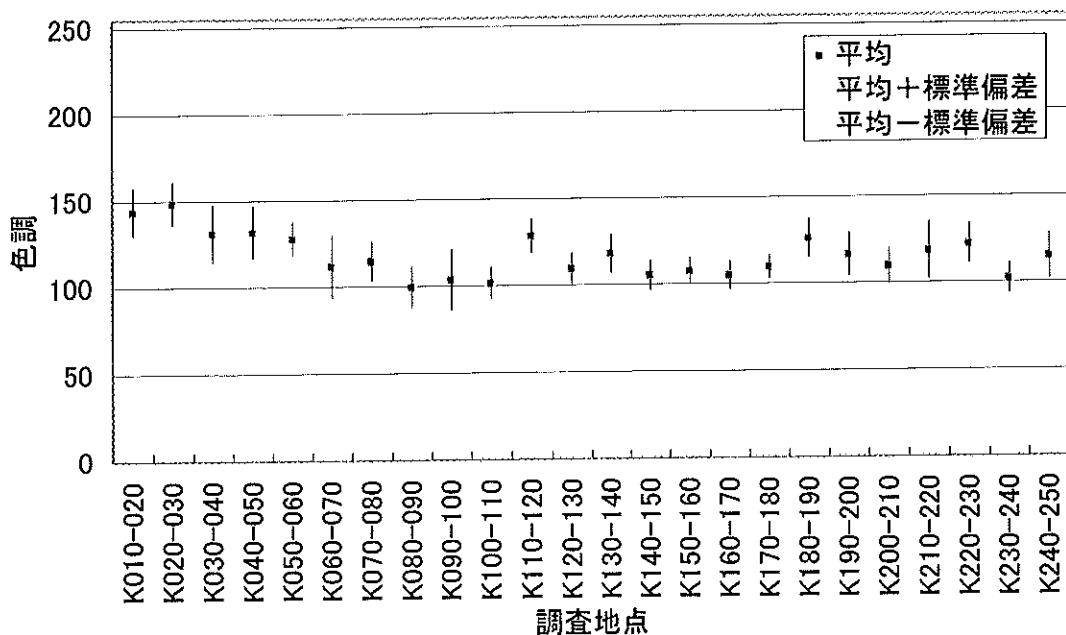


図 3.2.7 (2) 釜無川の草本類の G 分布

'99 釜無川のBの分布範囲 (草本類)

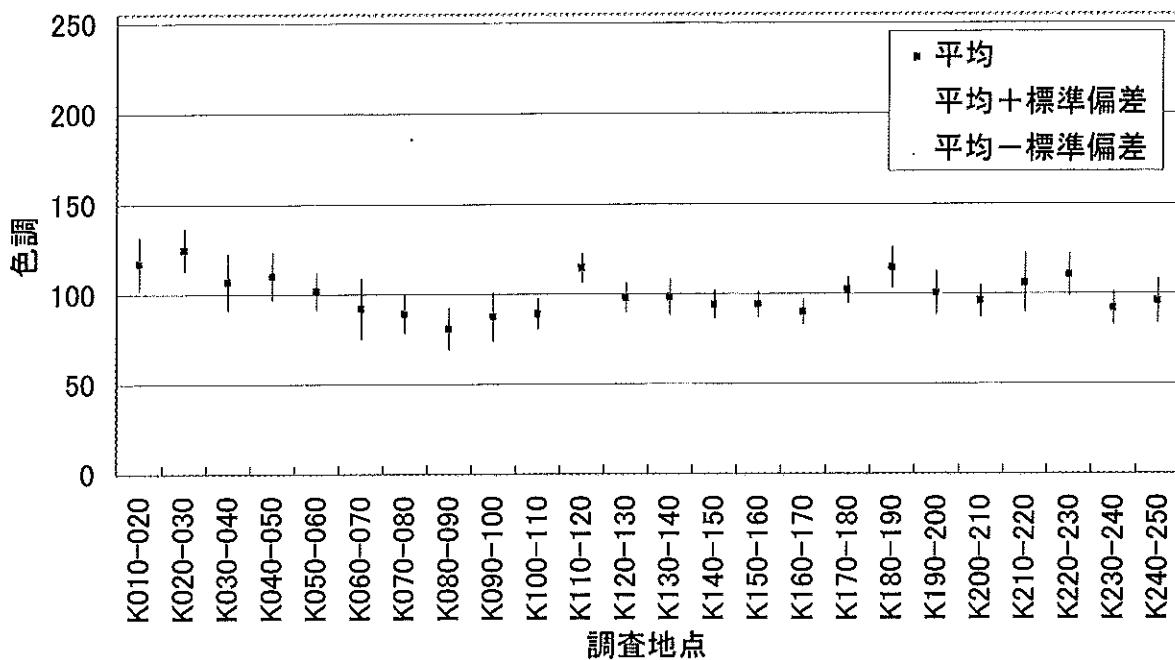


図 3.2.7 (3) 釜無川の草本類の B 分布

'99 釜無川のRの分布範囲 (水域)

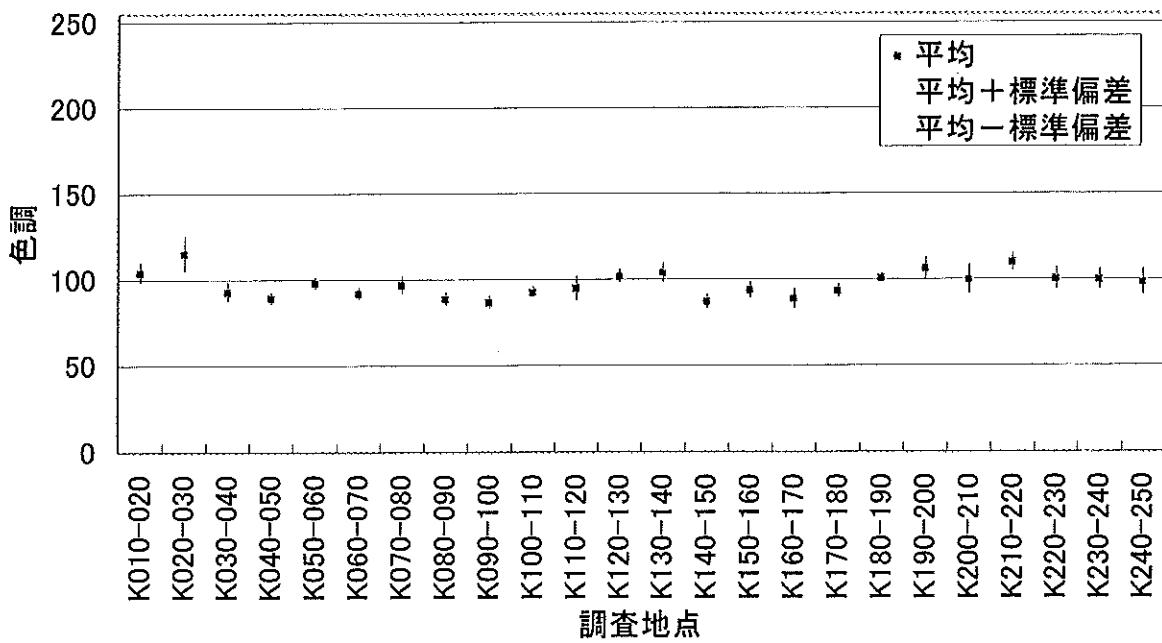


図 3.2.7 (4) 釜無川の水域の R 分布

'99 釜無川のGの分布範囲（水域）

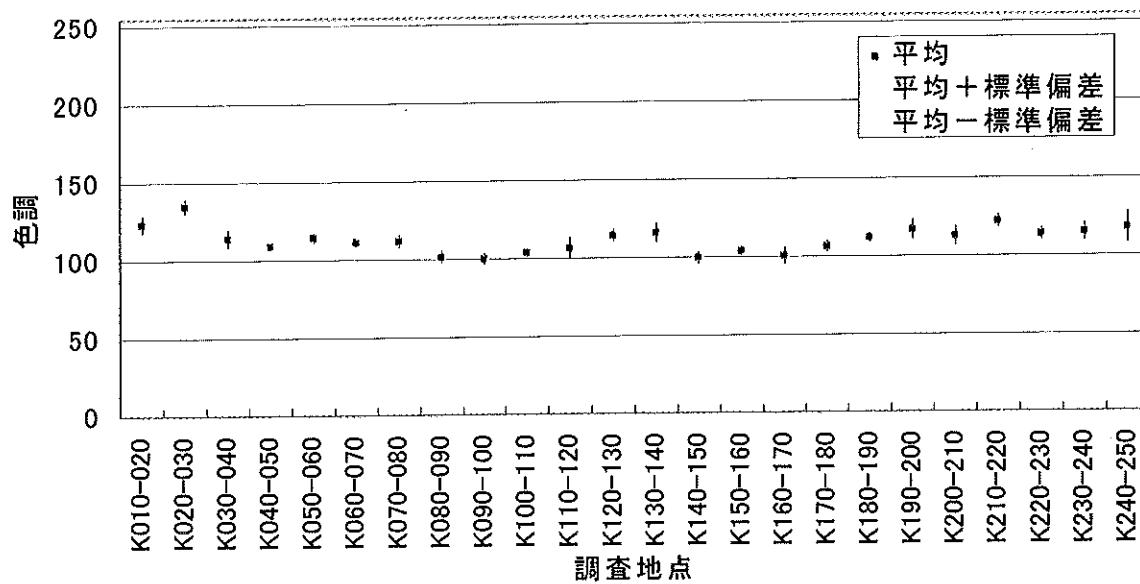


図 3.2.7 (5) 釜無川の水域の G 分布

'99 釜無川のBの分布範囲（水域）

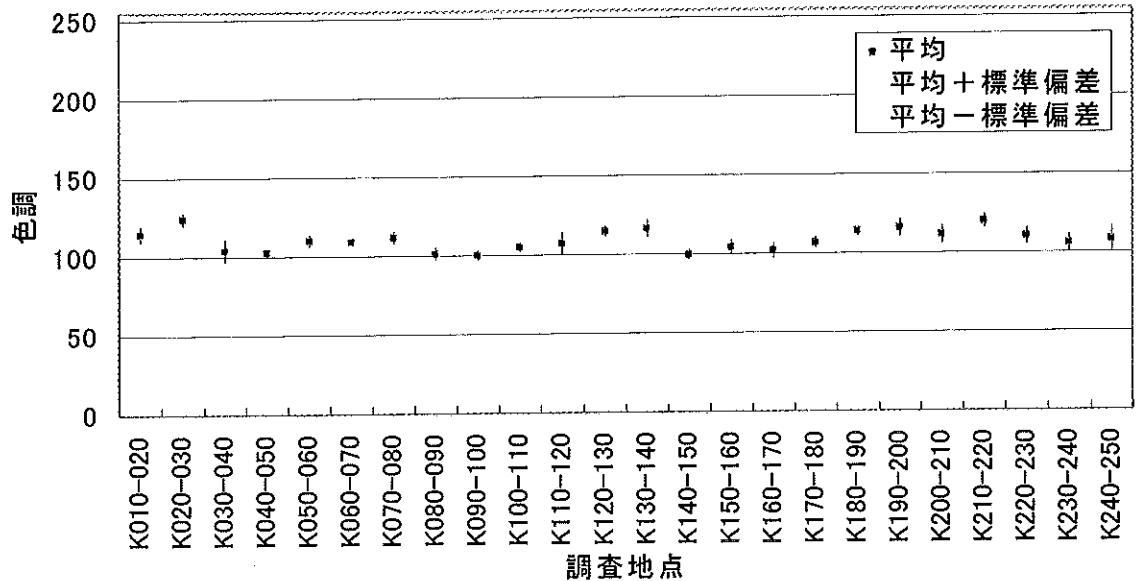


図 3.2.7 (6) 釜無川の水域の B 分布

図 3.2.6 で特にオーバラップしていた、水と草本類域は、それぞれ区間(図 3.2.7)ごとに典型例で調べたものでもオーバラップが大きくなっていた。

各領域の画像における輝度、RGB の範囲が確率的であることから閾値を設定することが難しく、ここからはデジタル画像上で目視によって水域、草本類域、木本類域、裸地域の 4 領域に区分しソフトウェアによってそれぞれ黄緑、緑、青、灰色の 4 色に塗り替え(図 3.2.8)、その後プログラム (APPENDIX-C) によって右岸草本、左岸草本、中州、水域、木をそれぞれ赤、木、ピンク、水色、黒に塗り分け統計処理を行う基礎資料とした。

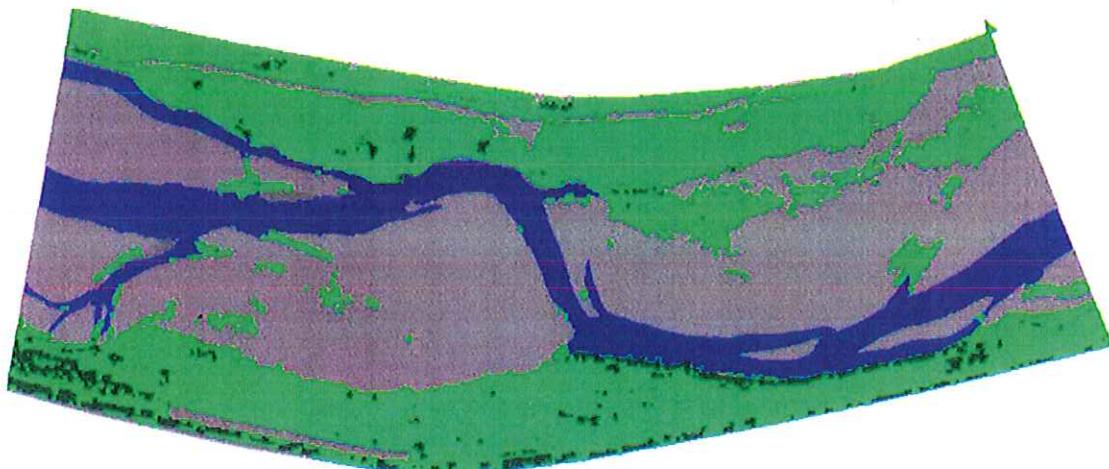


図 3.2.8 水域、草本類域、木本類域、裸地域に区分された河道区間

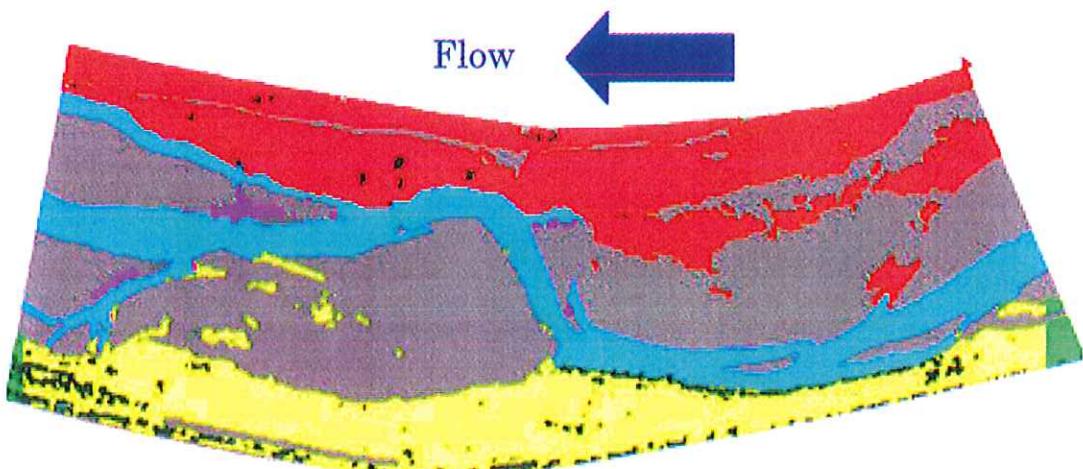


図 3.2.9 プログラムで塗り分けた河道区間

3. 2. 2 デジタル画像上での植生面積率等の判読

(1) 縦断方向の植生面積率

1997年から1999年までの間で、存在する航空写真（1997年9月 建設省撮影、1998年12月、1999年11月JANET撮影）から釜無川・笛吹川の1区間（1Km）ごとの河道面積（R）、植生域の面積（a）、木本類の面積（t）、草本類の面積（g）、河面積（r）、裸地面積（n）を判読する。ただし、樹林の面積に関しては航空写真の中で読み取れるものに限り検討する。（図3.2.10）

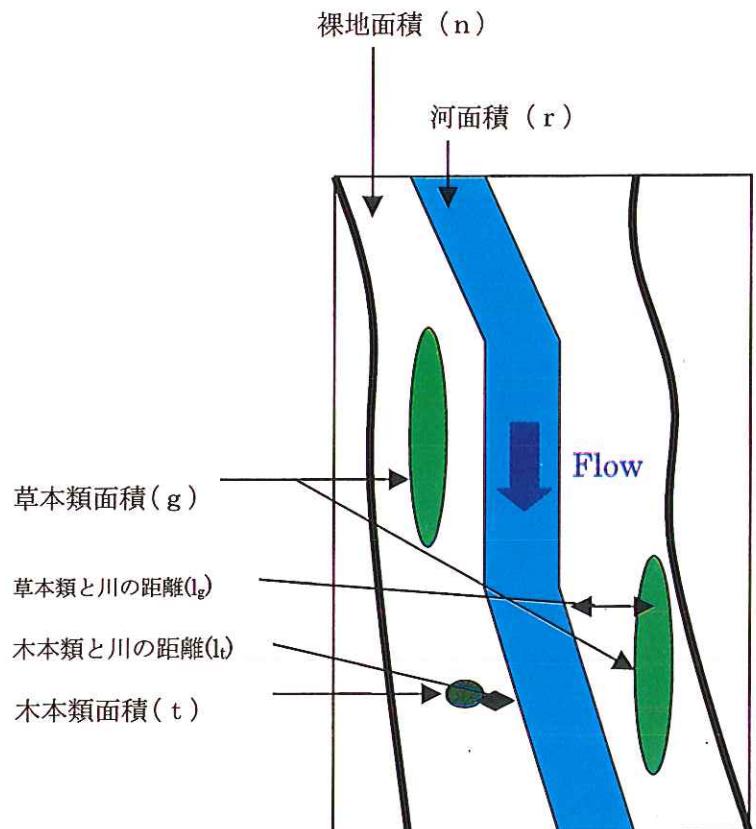


図3.2.10 航空写真的概略図

植生域の面積（a）＝草本類の面積（g）+ 木本類の面積（t）、河道面積（R）＝植生域の面積（a）+ 河面積（r）+ 裸地面積（n）、とする。

航空写真的判読により植生面積率（A：単位河道当たりの河道面積に対する植生域面積の割合）を以下の式で算出する。

$$A = \frac{a}{R} \quad \dots \dots \dots \quad (3.1)$$

航空写真的判読により木本類面積率（ A_t ：単位河道当たりの河道面積に対する木本類面積の割合）を以下の式で算出する。

$$A_t = \frac{t}{R} \quad \dots \dots \dots \quad (3.2)$$

航空写真的判読により草本類面積率（ A_g ：単位河道当たりの河道面積に対する草本類面積の割合）を以下の式で算出する。

$$A_g = \frac{g}{R} \quad \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \quad (3.3)$$

上で得られた植生面積率 (A) を用いて、航空写真間の植生域の変化の量を 1 年間での変化に換算した植生変化量 (A_c) を算定。また、既存の航空写真から最も植生面積率 (A) が大きかった時の河の部分の面積 (r) を判読し、有効植生面積率 (A_e : 河道内に植生が繁茂できると考えられる最大の植生面積率) を決定する。

$$A_e = 1 - \frac{r}{R} \quad \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \quad (3.4)$$

(2) 濁筋から植生の最小横断距離

図 3.2.9 を利用して、プログラム(APPENDIX-C)を利用して右岸草本類の左端と濁筋の左端、および左岸草本類の右端と濁筋の右端との距離を 1 ピクセルごと(l_g)を求めた。また同様の計測を木本類(l_t)においても行った (n は川があると判断したピクセル数)。その後植生と川の最小横断距離は、1 区間(1km)ごとの平均としてあらわした (L_g 、 L_t)。

(3) モデル化した植生の横断分布

草本類域、木本類域の分布形態を調べるために、本来植生と濁筋に関する座標系を作るべきであるが、航空写真は濁筋に関する座標系とは無関係であるため濁筋の推定が必要となる。そこで植生の破壊に大きく関係する濁筋を座標系の中心とするプログラム(APPENDIX-D、E)を利用して、濁筋を直線化(図 3.2.11)し濁筋からの距離による分布の変化を調べた。

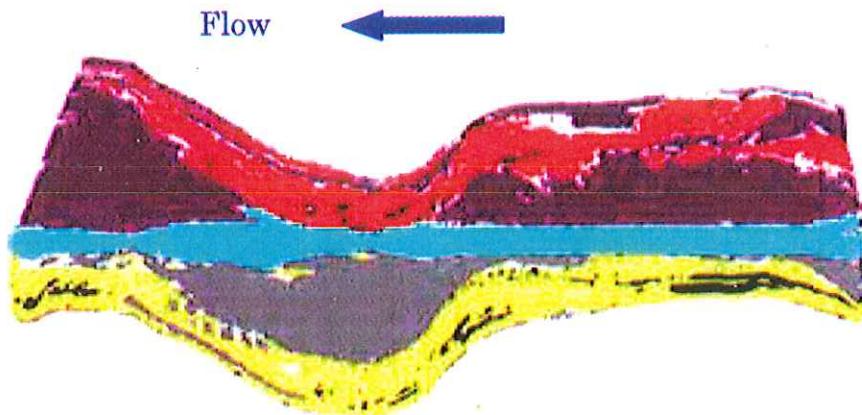


図 3.2.11 濡筋を直線化した河道区間(K080-090)

3. 3 植生面積率

3. 3. 1 釜無川・笛吹川での植生域分布状況

上記の手法により、1997年9月、1998年12月および1999年11月に撮影された航空写真を解析し、水、草本類、木本類、裸地域の割合を縦断方向に調べた。その結果を図3.3.1、図3.3.2に示す³⁾。X軸を距離標、Y軸を植生面積率として現した。図3.3.1より、釜無川の草本類域は一部合流点に近い部分を除くと上流に向かって草本類面積率が増加している。特に河床低下を想定すると、それが上流から下流へ伝播することから、上流のほうが州の陸化が進んで草本類面積率が高いものと推測される。一方、合流点に近い下流域は堆積傾向で堆積域への草本類進行が進んでいるものと推測された。また、釜無川の中流域で草本類面積率が低い理由としては中流域の濁筋の流路変動が大きいためと考えられる。図3.3.2より、笛吹川の植生は1997, 1998, 1999年の3年とも中、下流域での植生面積率がよく似ている。また釜無川に比べて植生の面積率が大きい傾向となっていた。木本類に関しては、両河川ともほとんど変化していなかった。なお、水域については、撮影時の流量に直接依存するので、経年変化の議論はしにくい。

図3.3.3、図3.3.4は、植生と濁筋の最小距離を表した図でX軸が距離標を、Y軸は植生と濁筋の端までの距離をメートルであらわしたものである（縮尺は表3.3.1を参照）。この2つの図より笛吹川は、釜無川に比べて水際まで草本類が生えていること釜無川の中流域は草本類と川の端までの距離

が大きいことが確認された。

このことは、流路変動の大きい区間では植生が水際から遠いところ繁茂していることを現していると考えられる。

図3.3.5、3.3.6は、濁筋の中心を座標系の中心とした図の横断方向の植生分布の図で、X軸を横断距離、Y軸を相対度数（縦方向のピクセルに占める水域、草本類域、木本類域、裸地域のピクセルの割合）

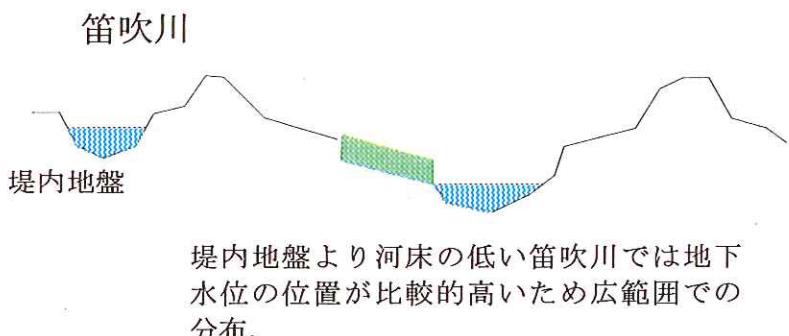
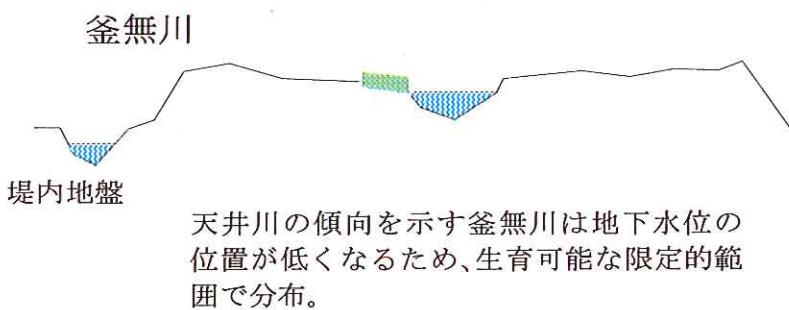
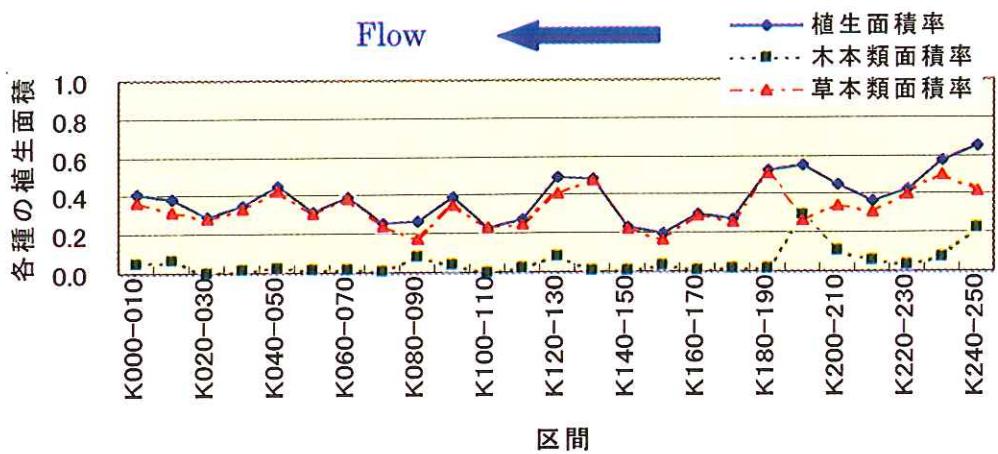


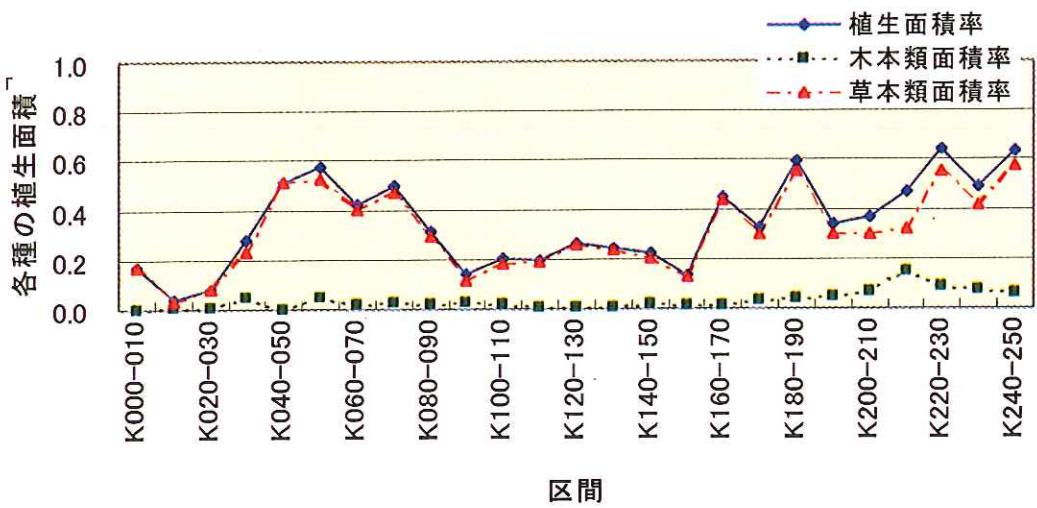
図3.3.7 断面形の違い

であらわしたものである。(ここに掲載した以外の図は APPENDIX-F 参照)

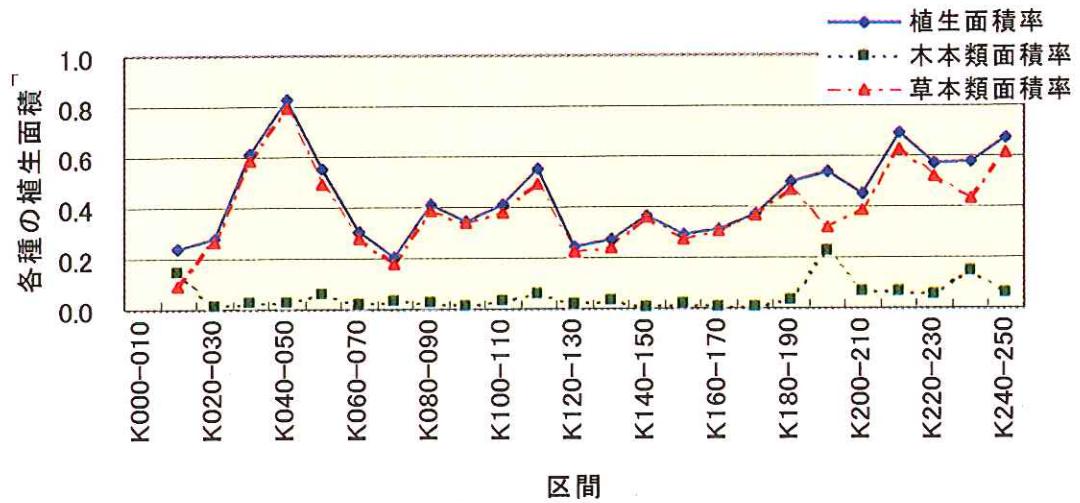
図 3.3.5、3.3.6 をみると釜無川に比べ笛吹川では、水際部分で植生の占有率が高いとともに全体的に植生の占有率が高い結果となった。両河川とも植生域の分布が特徴的であることが分かる。釜無川は中流域にかけて植生域の割合が小さく、笛吹川は釜無川に比べて比較的繁茂割合が大きい。この要因として釜無川は天井川の傾向を示すため地下水位の位置が低くなり、植生の生育可能な範囲が限定されてしまうと考えられる。逆に笛吹川は堤内地盤より河床が低く、地下水位の位置が比較的高いため広範囲での分布が可能になるためと考えられる(図 3.3.7)



図一 1997年釜無川における各種の植生面積率

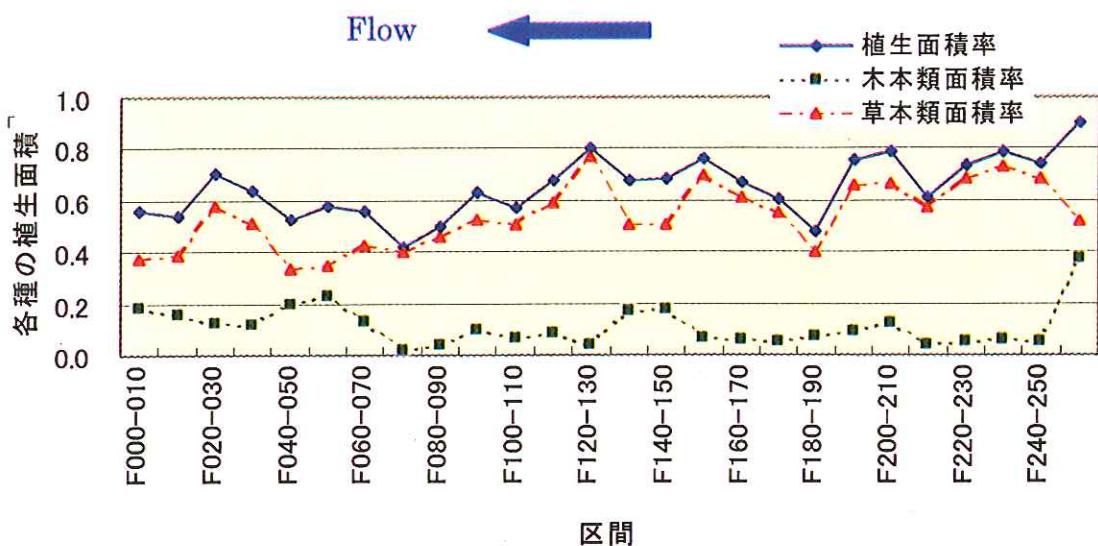


図一 1998年釜無川における各種の植生面積率

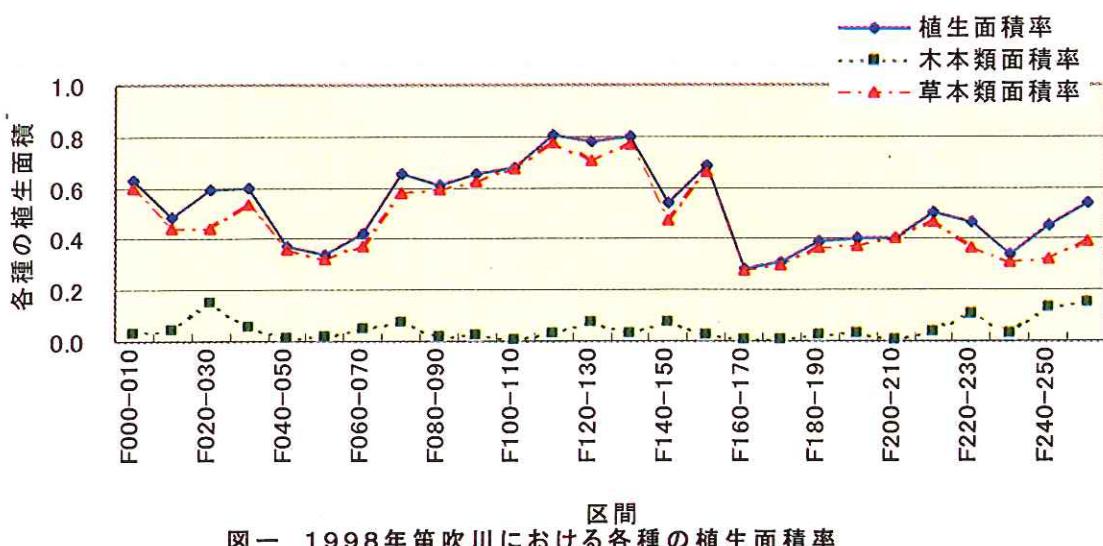


図一 1999年釜無川における各種の植生面積率

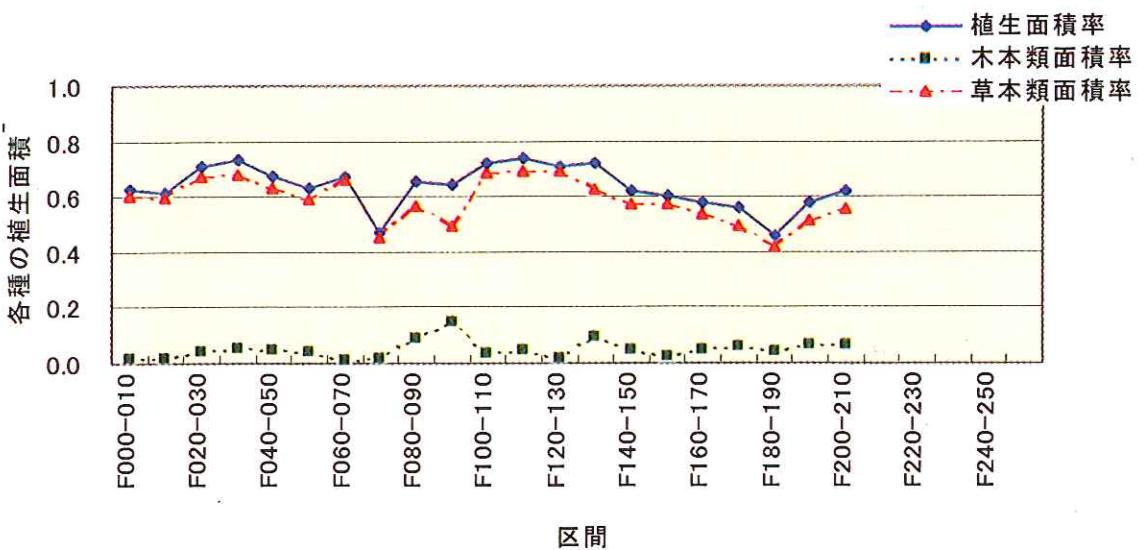
図 3.3.1 釜無川の植生域の縦断方向変化



図一 1997年笛吹川における各種の植生面積率



図一 1998年笛吹川における各種の植生面積率



図一 1999年笛吹川における各種の植生面積率

図 3.3.2 笛吹川の植生域の縦断方向変化

表 3.3.1 縮尺

	1997	1998	1999
K240-250	1.588381	1.115785	1.962659
K230-240	1.586912	1.070426	1.032798
K220-230	1.647468	1.620795	1.081952
K210-220	1.635599	1.417906	1.099985
K200-210	1.629403	1.144547	1.055947
K190-200	1.632826	1.168109	0.825602
K180-190	1.666667	1.193662	0.898106
K170-180	1.649289	1.104618	1.139652
K160-170	1.608605	1.087061	1.127562
K150-160	1.64438	1.223104	1.124233
K140-150	1.67869	1.266938	1.121631
K130-140	1.651912	1.193257	1.096918
K120-130	1.671926	1.257737	1.131247
K110-120	1.65067	1.24819	1.104981
K100-110	1.624641	1.241939	1.079836
K090-100	1.615133	1.228422	1.078472
K080-090	1.703248	1.226577	1.054751
K070-080	1.75356	1.31482	1.178905
K060-070	1.668488	1.439925	1.264911
K050-060	1.786794	1.5558	1.161443
K040-050	1.665137	1.260028	1.125345
K030-040	1.542861	0.710765	0.991
K020-030	1.501523	0.787347	0.802561
K010-020	1.69614	0.981767	0.942177
K000-010	1.800708	0.845146	

	1997	1998	1999
F250-260	1.861702		
F240-250	1.680851		
F230-240	1.596527	0.923958	
F220-230	1.497114	0.997228	
F210-220	1.552696	0.891128	
F200-210	1.57205	1.100759	
F190-200	1.580853	1.093651	0.858631
F180-190	1.690476	0.986733	1.367097
F170-180	1.566374	1.074464	1.089005
F160-170	1.529602	1.146375	1.084726
F150-160	1.558844	1.115211	0.86801
F140-150	1.510113	0.949623	0.79248
F130-140	1.548685	1.190173	0.947507
F120-130	1.553388	1.265514	1.079344
F110-120	1.526398	0.991266	0.799731
F100-110	1.533438	0.923114	0.885718
F090-100	1.570513	0.954559	0.969629
F080-090	1.447898	0.993154	0.784433
F070-080	1.47462	1.063058	0.63283
F060-070	1.890875	1.084402	0.664706
F050-060	1.916405	1.100745	1.456982
F040-050	1.641776	1.101593	0.48676
F030-040	1.962733	1.105201	0.471466
F020-030	1.590227	1.081246	0.623916
F010-020	1.508271	1.186927	0.438256
F000-010	1.728133	1.146706	0.739067

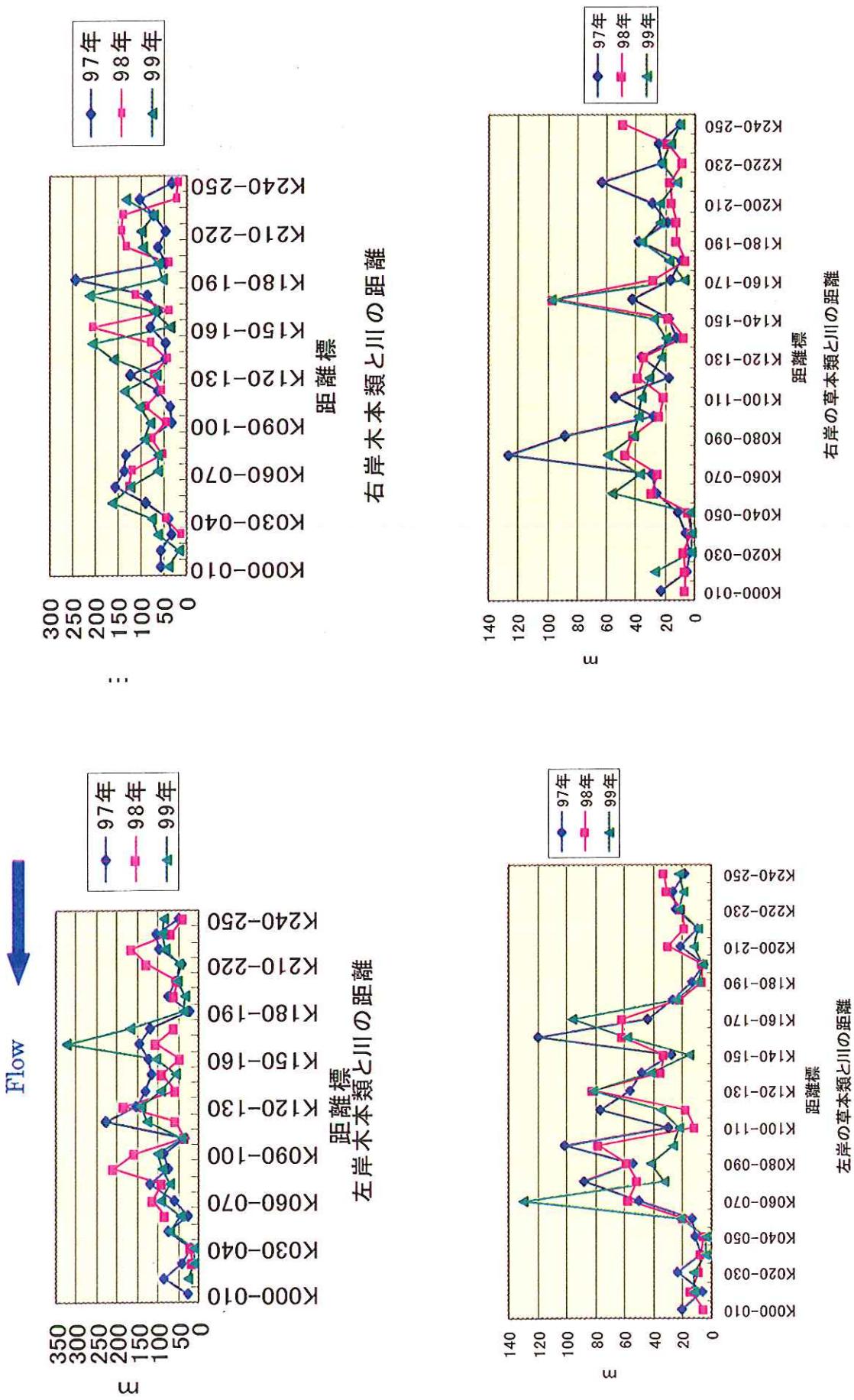


図 3.3.3 釜無川の植生と河床までの最小距離

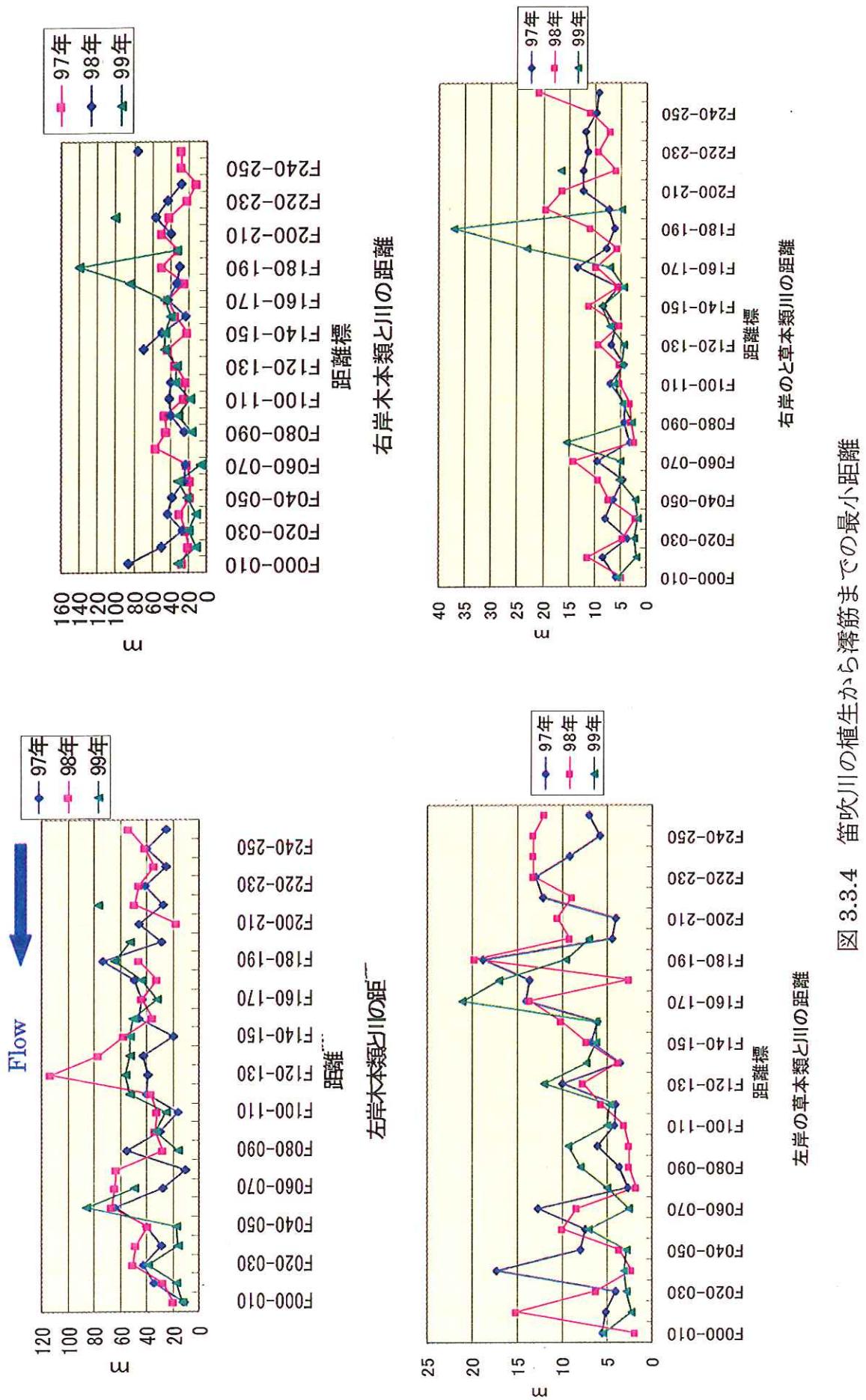
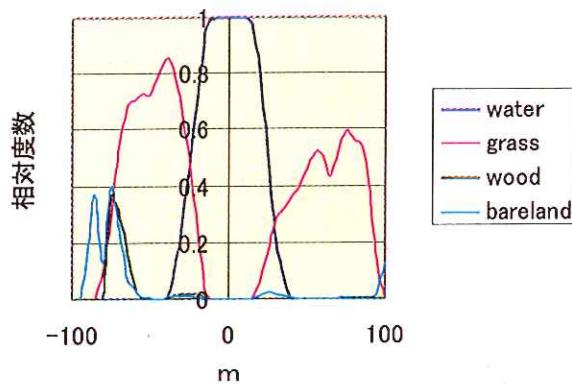
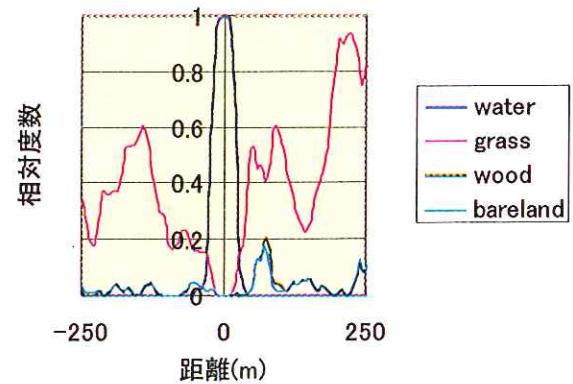


図 3.3.4 笛吹川の植生から河筋までの最小距離

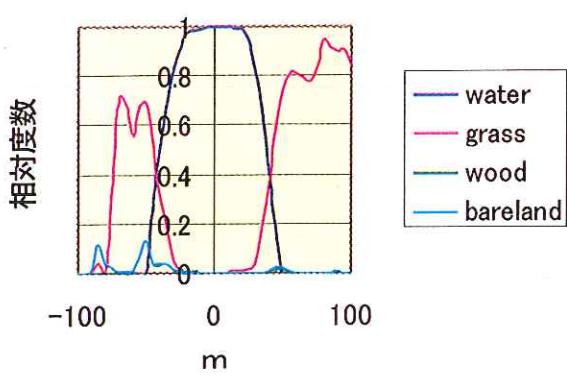
97-K020-030



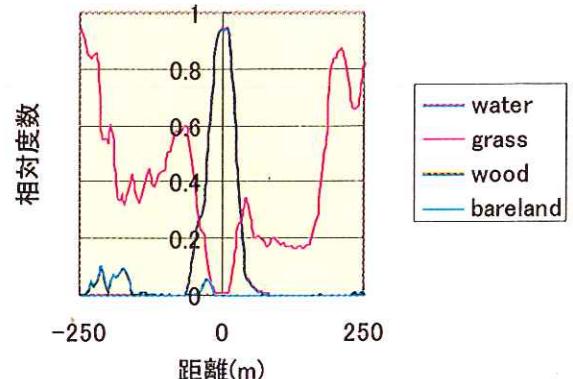
97-K080-090



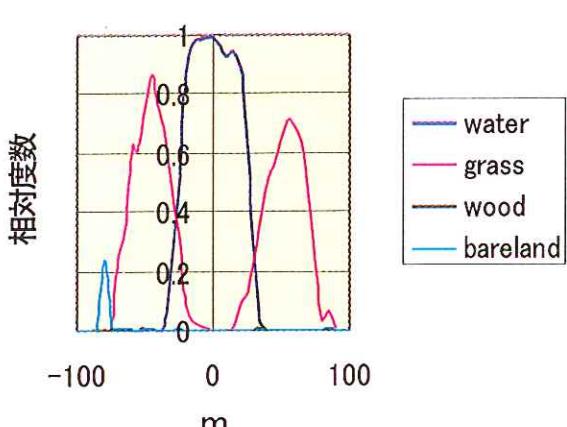
98-K020-030



98-K080-090



99-K020-030



99-K080-090

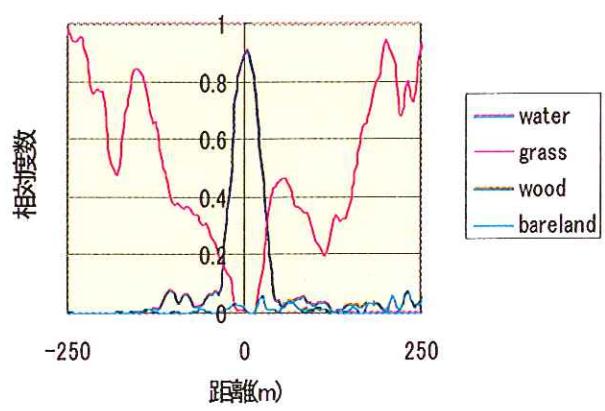
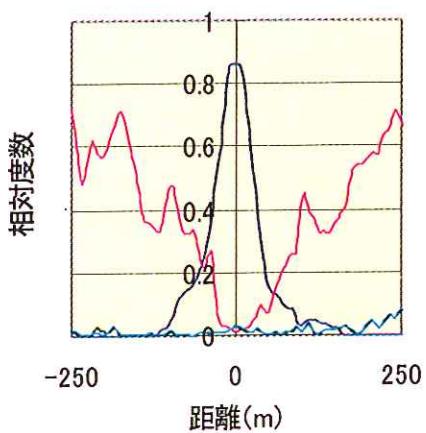
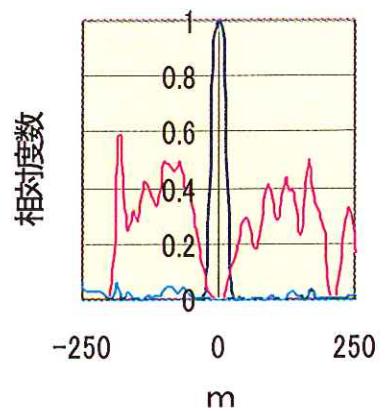


図 3.3.5(1) モデル化した釜無川の植生の横断分布

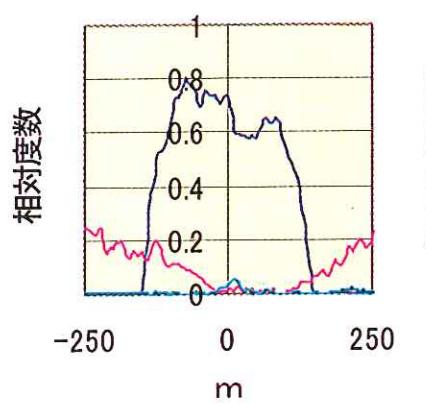
97-K120-130



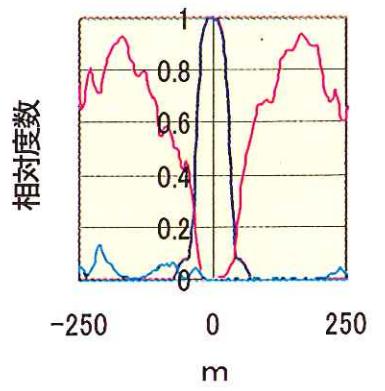
97-K220-230



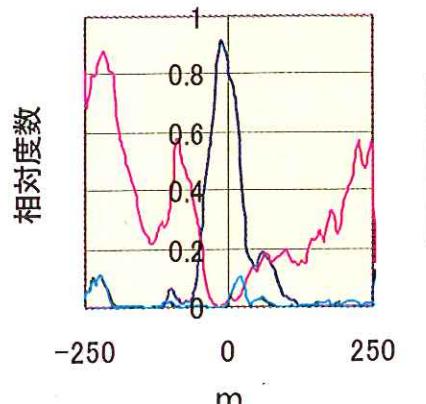
98-K120-130



98-K220-230



99-K120-130



99-K220-230

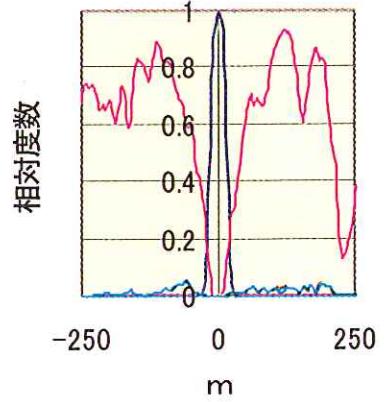


図 3.3.5(2) モデル化した釜無川の植生分布

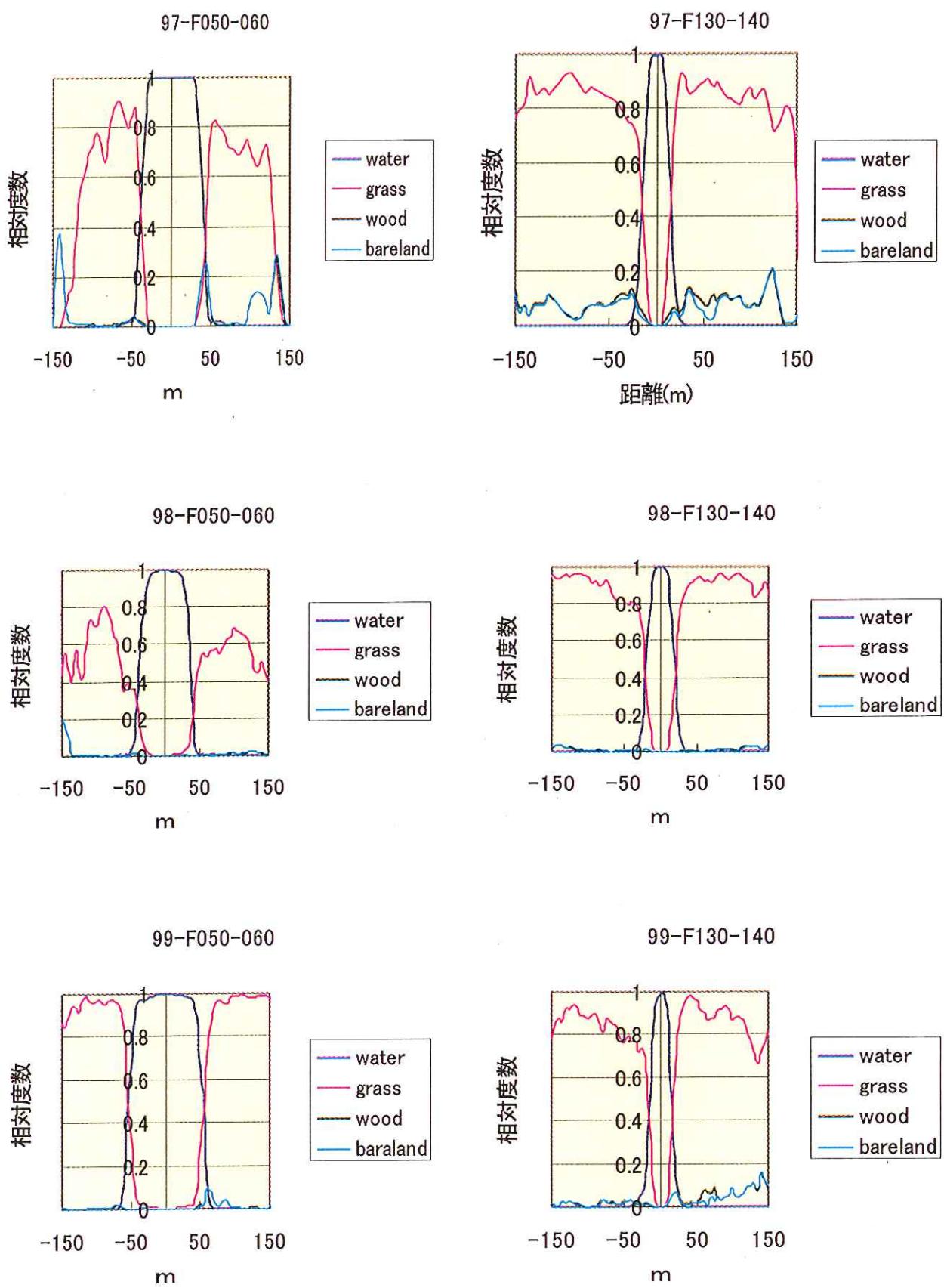
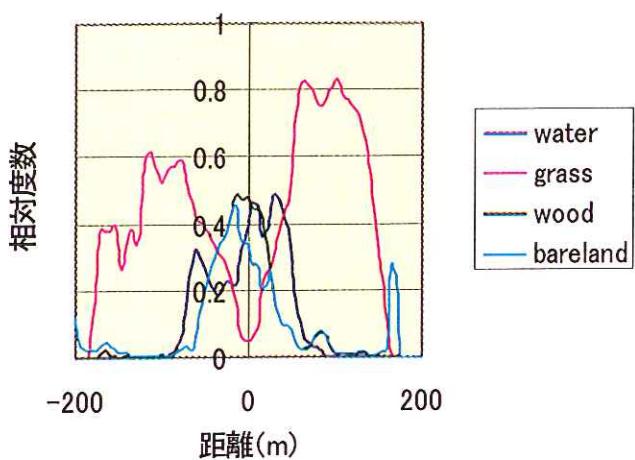
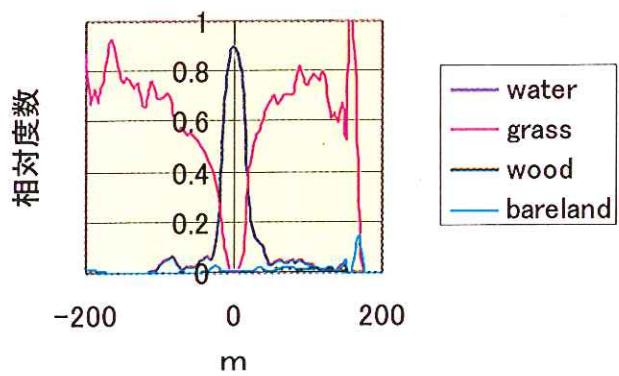


図 3.3.6(1) モデル化した笛吹川の横断方向の植生分布

97-F190-200



98-F190-200



99-F190-200

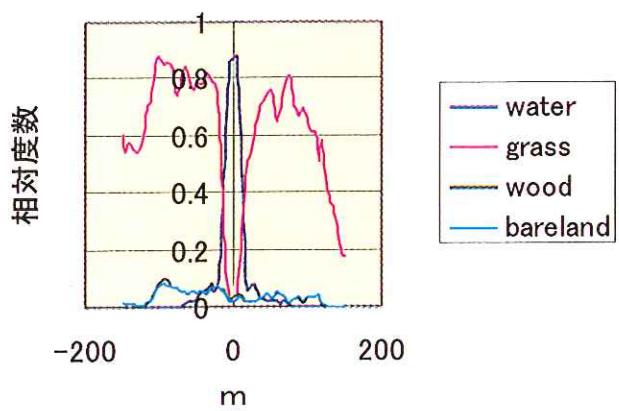


図 3.3.6(2) モデル化した笛吹川の横断方向の植生分布

3.3.2 植生変化量

釜無川・笛吹川の出水と植生面積との関連を考察する。1998年夏にピーク流量約1,300m³/sの大出水があった。この出水では、交互砂州の名残の砂州や中州は冠水し、植生がかなり破壊された(写真3.3.1、3.3.2)。

植生の面積率に着目して1997～1998年(植生破壊)、1998～1999年(植生繁茂)での縦断変化を3時点で比較して示したのが図3.3.8、図3.3.9である。そのうち、草本類面積率の変化量に関して図3.3.8、3.3.9を見ると両図とも1997～1998年は右肩上がりになっている。これは、上流に行くほど植生は破壊されない傾向となっているが、全体として草本類は多くの区間で減少傾向となっている。反対に1998～1999年では右肩下がりのグラフとなっている。やはり上流域で前年度の減少が少なかった分、増加量も少ない傾向となつた。

また、図3.3.8、3.3.9に見られるように特に

流路変動の激しい中流部(K③、F②)での草本類の減少率が大きくなっている。これは、中流部の濁筋が変動的であるためだと考えられる。木本類の面積率の変化量については、木本類面積率が草本類面積率に比べて、出水の影響を受けにくいのと増減が非常に微量であるためにとくに際立った変化は見られなかった。このように、植生変化量は気候や出水などの水文条件に関連しているといえる。よって出水の回数・規模などにより植生域の変化をある程度把握することが可能である。しかし、このことは100%確実であるとは言い切れず、出水量が少ないにもかかわらず植生面積率が減少したり、逆の傾向を示している場合もある。この原因として、判読にともなう誤差が考えられるが、護岸工事や河川の諸特性などのように記録として残せない事象なども要因の一つと考えられる。

つぎに植生の横断方向の占有率に関して調べた結果を図3.3.10から図3.3.13にしめす。

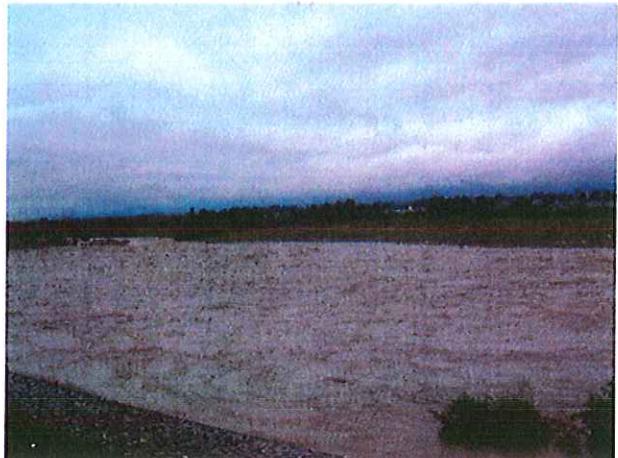


写真3.3.1 水没した中州



写真3.3.2 水没した植生

図の X 軸は濁筋からの距離(0 が濁筋の中心、負の領域を右岸、正の領域を左岸)とし、Y 軸は、相対度数の各年間の変化量をあらわす。草本類(図 3.3.10、3.3.11)の各区間を見ると 1997・1998 (植生破壊)、1998・1999(植生繁茂)を表している図とそうでない図がある。しかし木本類(図 3.3.12、3.3.13)の各区間では、1997・1998 (植生破壊) が、よく表されている。これは、一度破壊されると成長に時間のかかる木本類では回復に時間がかかるためと考える。反対に草本類では、1 年生草本群落の成長による草本類の増減によって相対度数が影響を受けていると考える。

また、図 3.3.10、3.3.11 より、草本類の増減は逆位相の関係にある。

上記では、植生域の面積率と横断分布に限って議論したため、どのように植生域拡大や破壊が生じたかは把握されていない。しかしデジタル画像の取り扱いで、これらが可能になると思われる。たとえば本項でしめしたように、草本類域、木本類域、水域、裸地域にパターン化を施した画像は図 3.3.14、図 3.3.15 に示すように、これを直接目視比較しても拡大パターン、破壊のパターンを見いだせる。

たとえば、拡大域では植生域がパッチ状でまばらに領域を増加させたあと、全体を埋め尽くしていく傾向や、破壊時では水衝による砂州・中州の河岸侵食、州の中への二次流路の形成・発達が素過程を担っているものと推測される。

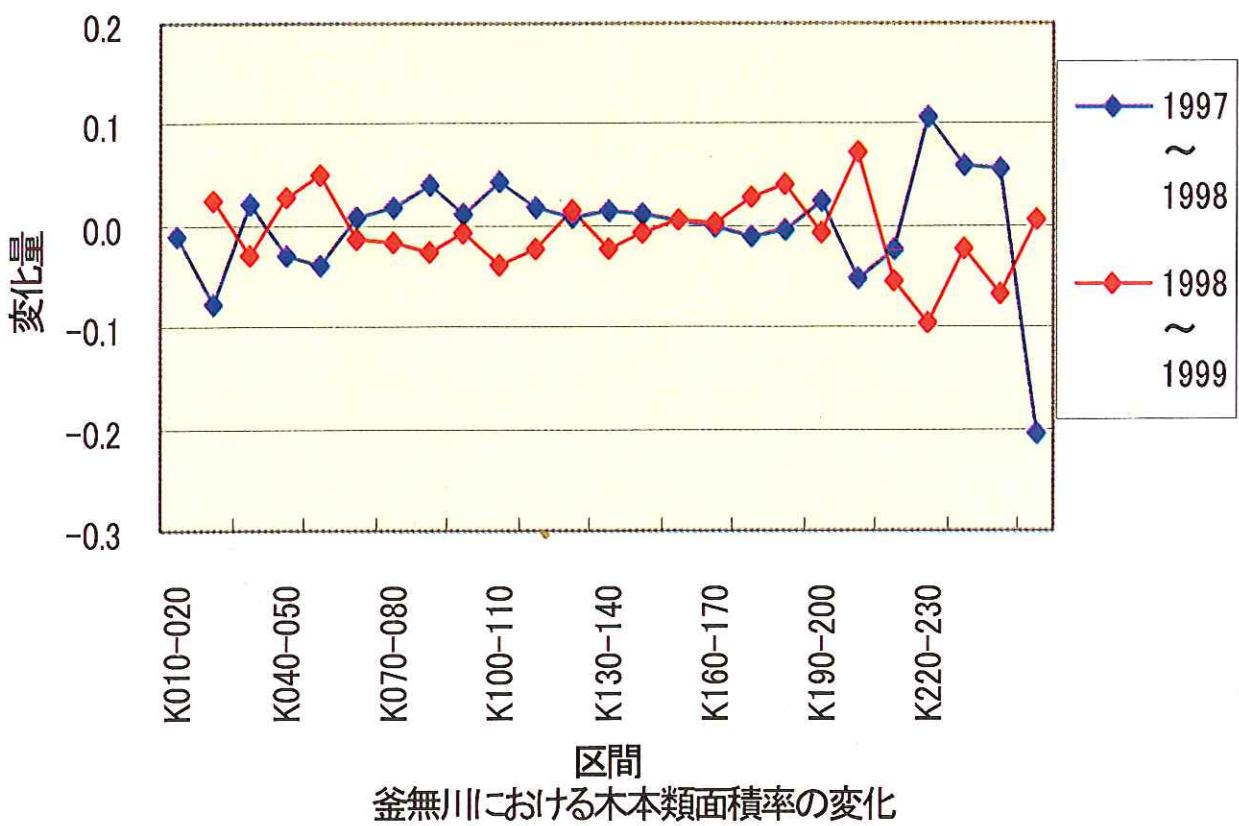
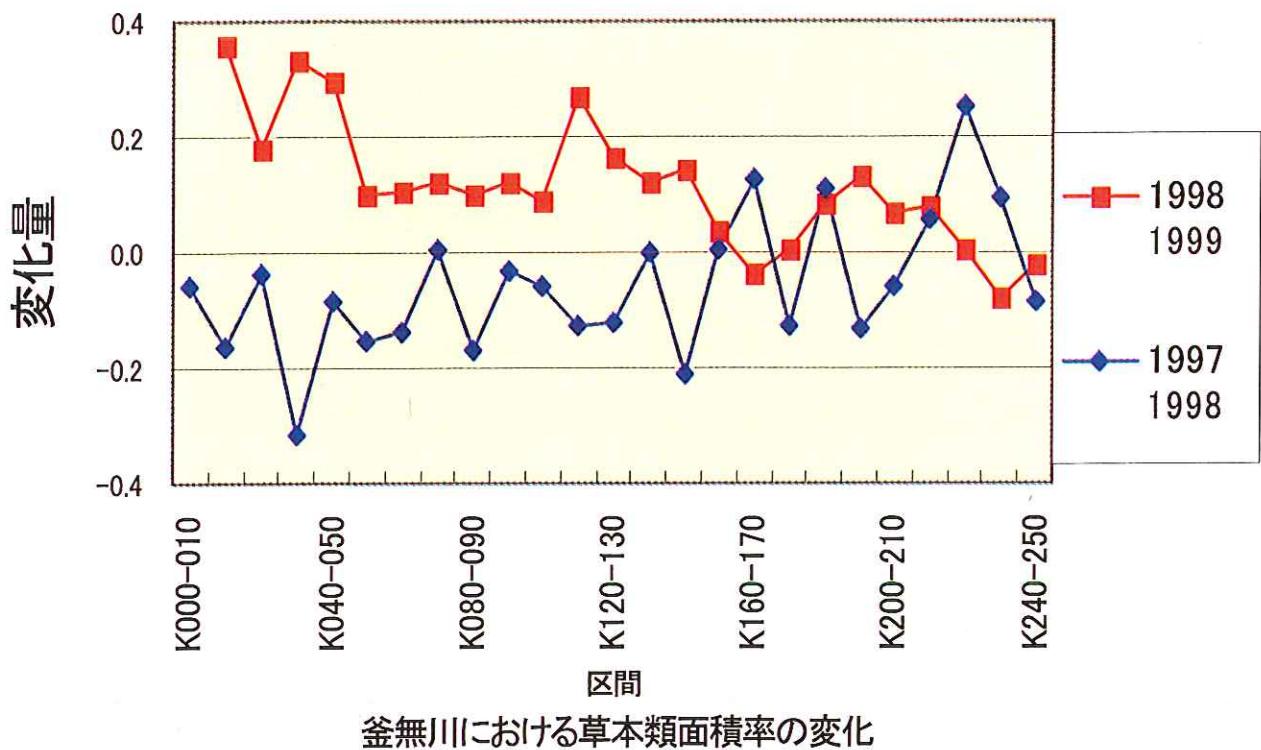


図 3.3.8 釜無川の植生域の変化割合の縦断方向

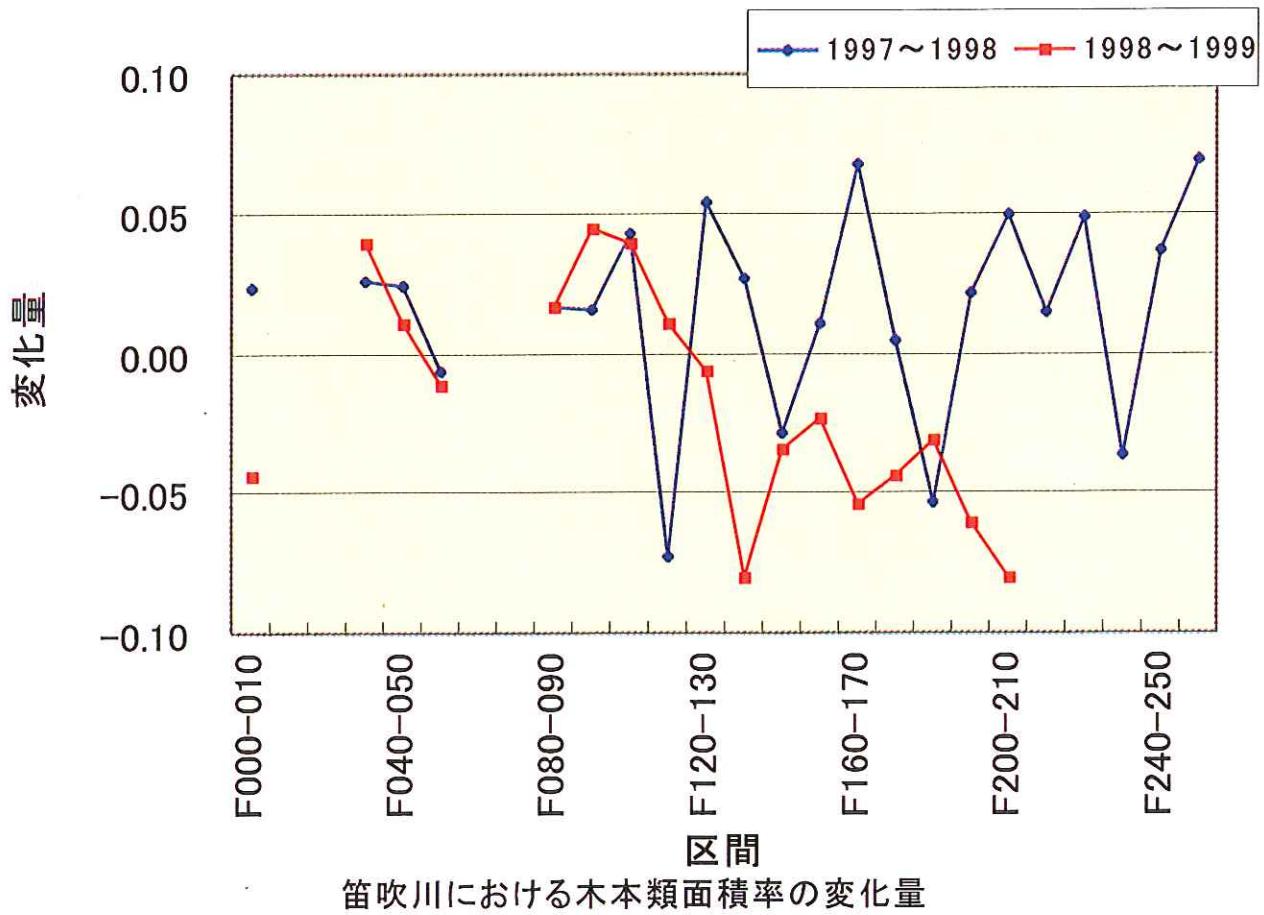
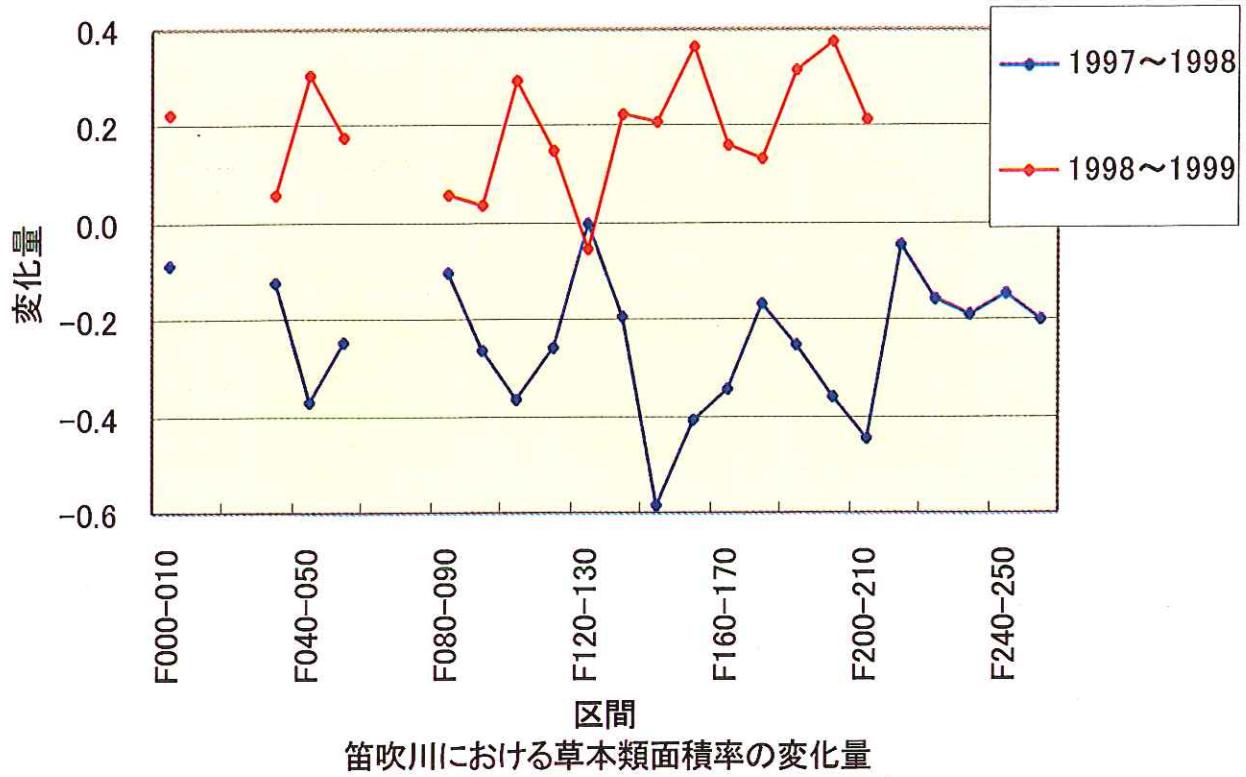
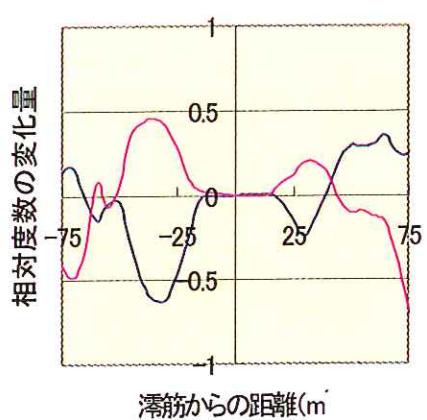
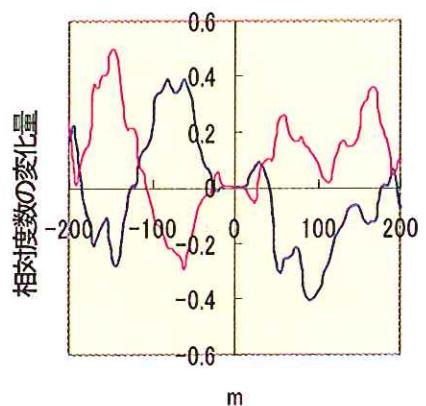


図 3.3.9 笛吹川の植生域の変化割合の縦断方向

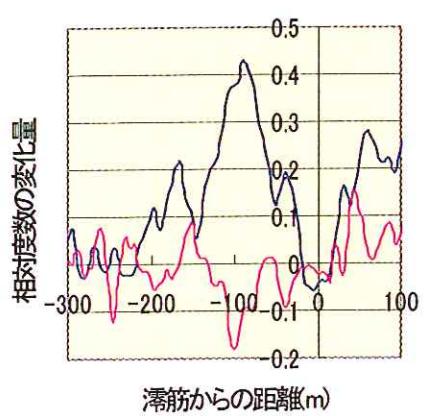
K020-030



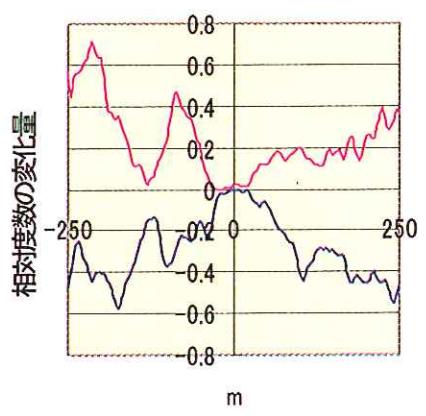
K080-090



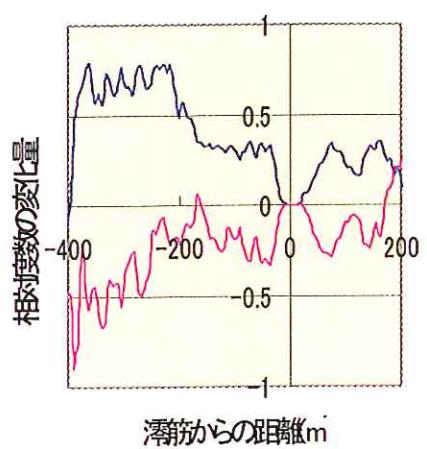
K050-060



K120-130



K070-080



K140-150

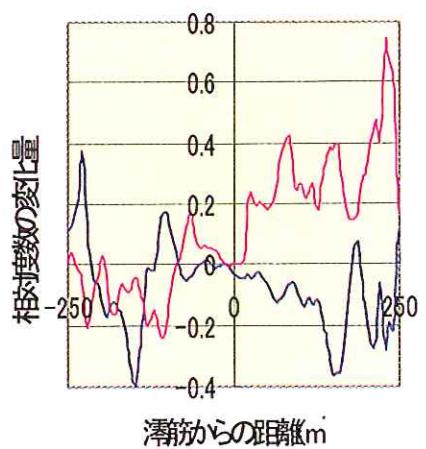
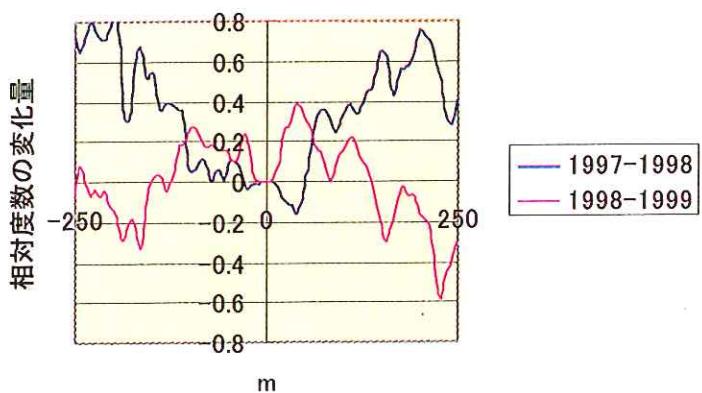


図 3.3.10(1) 釜無川の横断方向の草本類の変化量

K220-230



K240-250

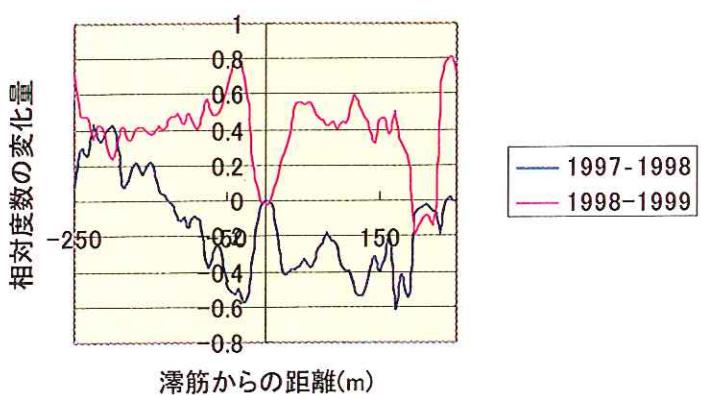


図 3.3.10(2) 釜無川の横断方向の草本類の変化量

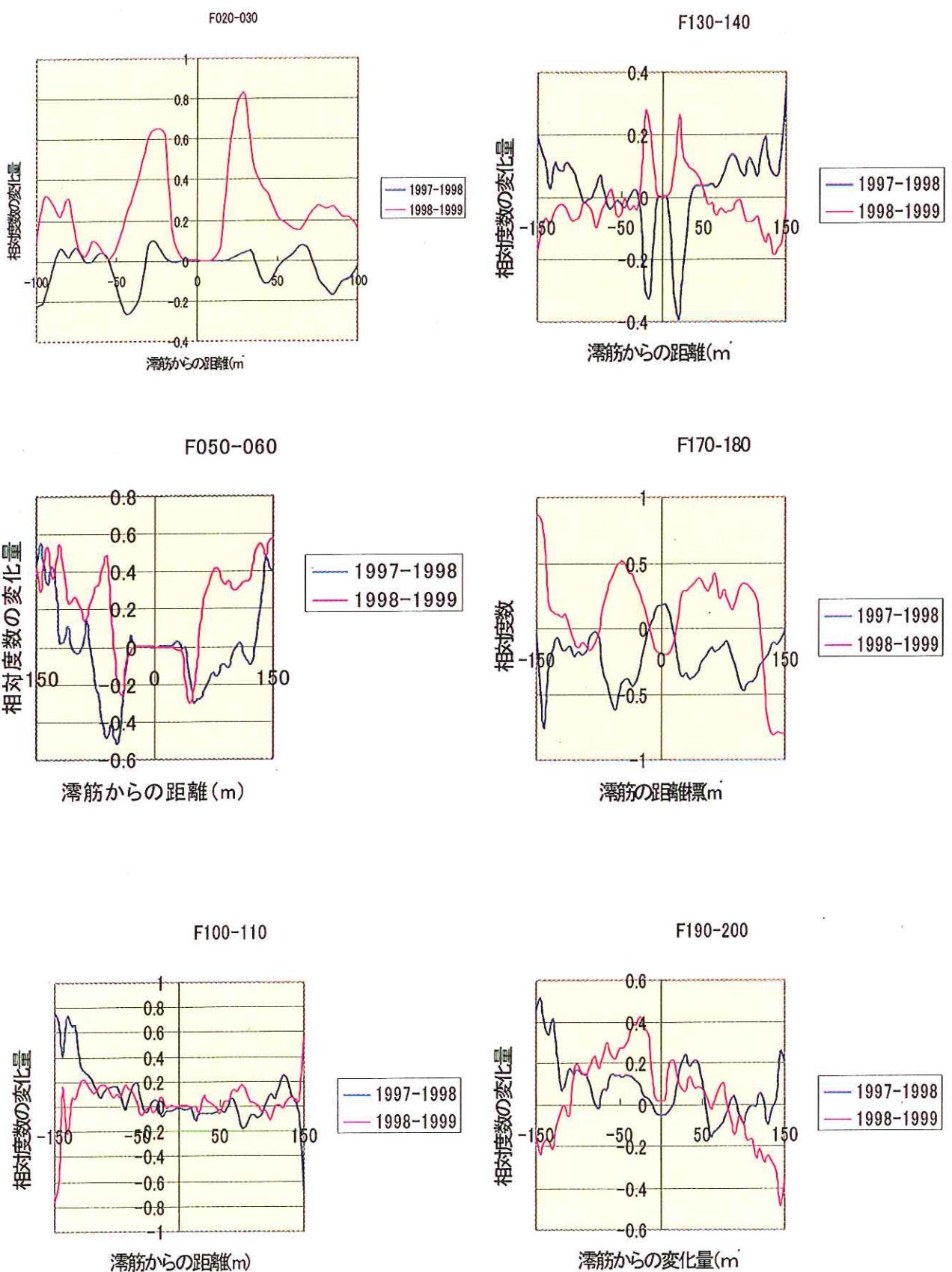


図 3.3.11 笛吹川の横断方向の草本類の変化量

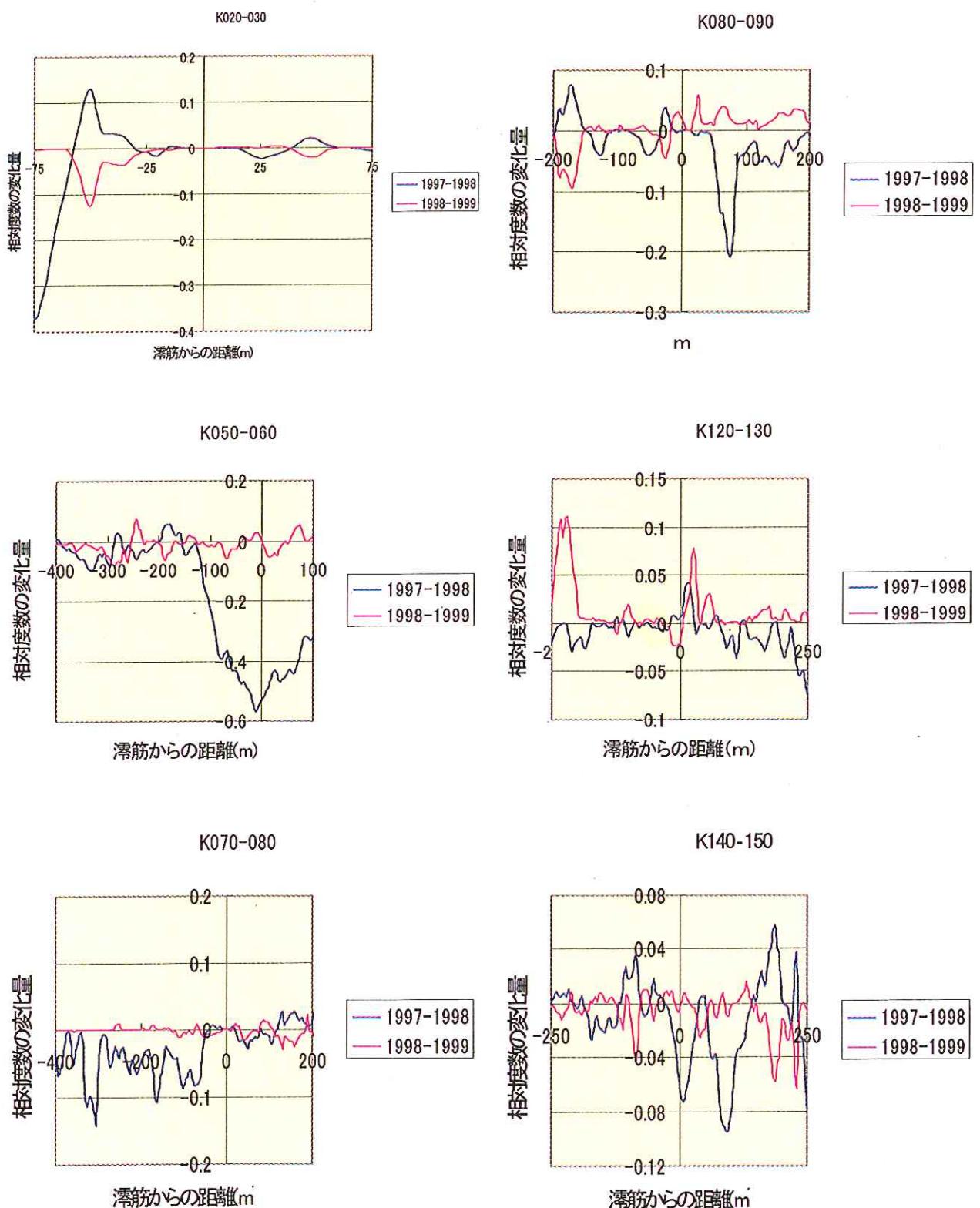
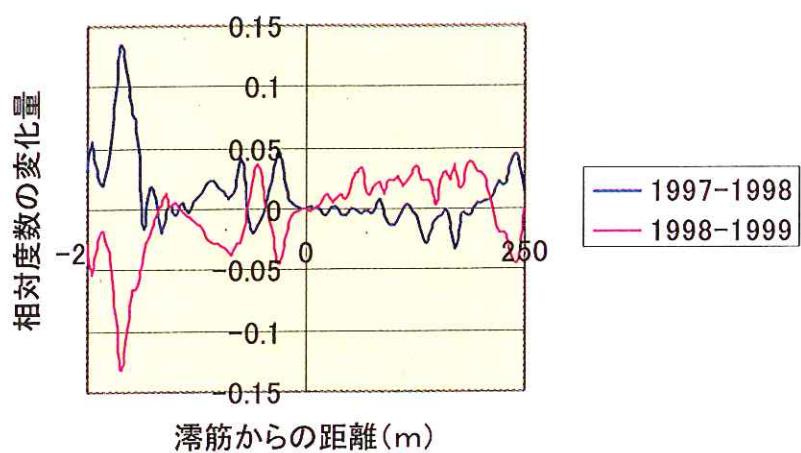


図 3.3.12(1) 釜無川の横断方向の木本類の変化量

K220-230



K240-250

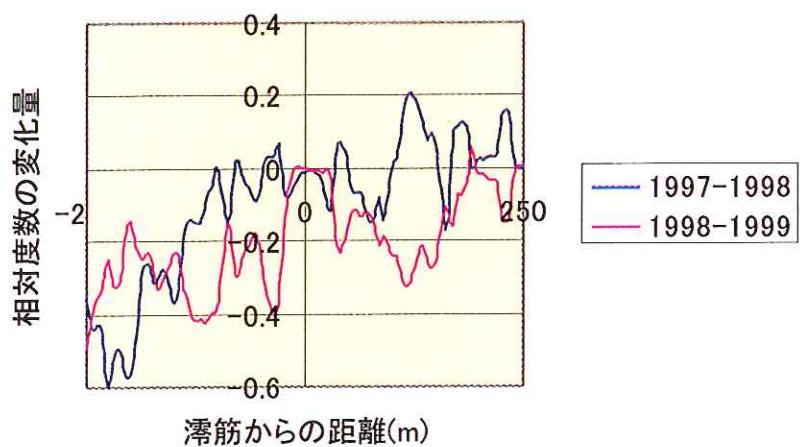
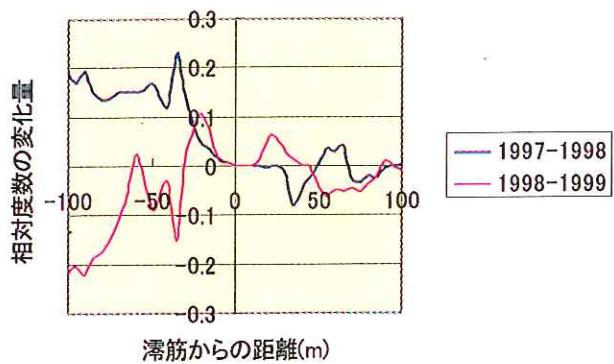
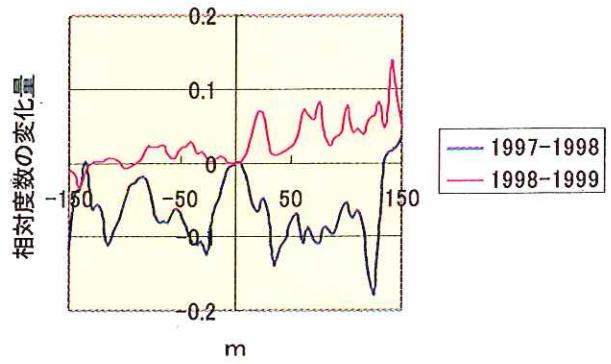


図 3.3.12(2) 釜無川の横断方向の木本類の変化量

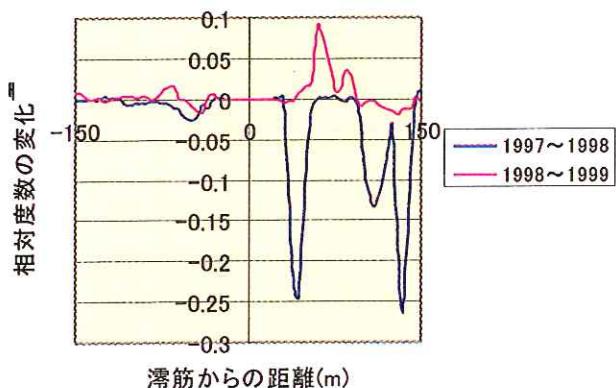
F020-030



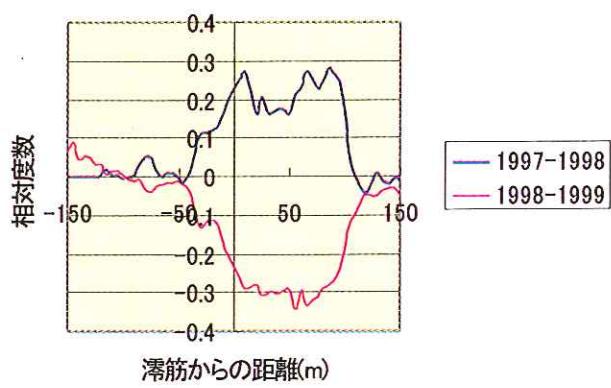
F130-140



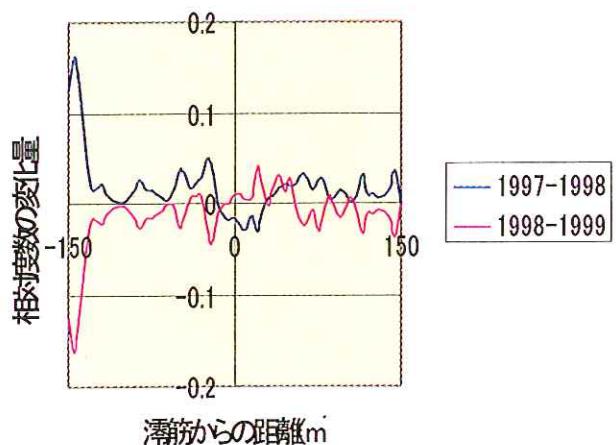
F050-060



F170-180



F100-110



F190-200

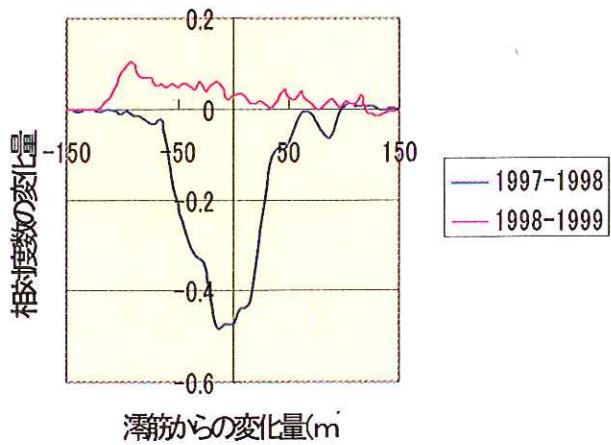


図 3.3.13 箕吹川の横断方向の木本類の変化量

第4章 河川植生と河道特性

4. 1 河道特性の定義と意味

河道内の流れ(横断面平均)に関する基本物理量を、 ρ :水の密度、 $(\sigma - \rho)$:河床材料の水中での相対密度、 H :水深、 B :河幅、 d :河床材料代表粒径、 u :平均流速、 u_* :摩擦速度、 ν :水の動粘性係数、 g :重力加速度とすれば移動床流れの次元解析により最大8個の無次元積を考え得る。その中から特に重要な役割を果す式(4.1)を選んだ。

$$\phi(B/H, d/H, Fr, Re, \tau_*) = 0 \quad (4.1)$$

本研究では、これらの無次元量のうち、砂州の形成を決める指標である河幅水深比(B/H)、流況を知るためのフルード数(Fr)、流砂量を知るための無次元掃流力(τ_*)をもちいる。また、河道の湾曲効果による低水河道の固定を考慮して次式で r を定義して考慮する。

$$r = \frac{l}{\theta} \quad (4.2)$$

ここに、 r :曲率半径(km)、 θ :河道の中心線曲がり角度(ラジアン)、 l :対象区間(1km)から求めた曲率($1/r$)を用いる。

ここでは、簡潔な指標の基準として河道横断面を長方形断面と仮定し、計画高水量に対する不等流計算すでに得られている河幅(B)、水深(H)、フルード数(Fr)などを用いた。対象区間1kmの平均無次元量の値を次の表(表4.1)で示す。

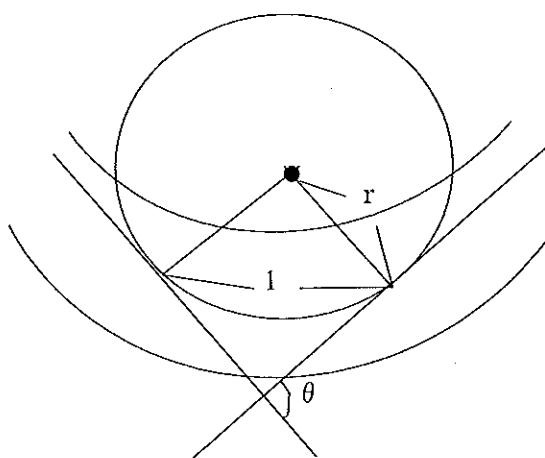


図4.1 河道曲率の定義

4. 2 植生域の分布と河道特性

第3章3に示した草本類と濁筋の左岸、右岸の距離の3年分の平均と河道特性がどのように関連するかと木本類面積率(A_t)の3年分の平均と、河道特性がどのように関連するか検討してみた。図4.2は左岸、右岸の草本類から濁筋までの最小距離を平均したものを区間ごとにプロットしたものである。図4.3は平均した木本類面積率を区間ごとにプロットしたものである。図4.4、図4.5は、計画高水流量の河道特性と濁筋からの植生までの最小距離との相関関係を示し、図4.6、図4.7は計画高水流量の河道特性と平均した木本類面積率との相関関係を示した。

図4.5(1)の①から笛吹川の濁筋までの距離とFrの関係はFrが増えると草本類までの距離が大きくなる傾向にあることがわかる。これは河川の流速が大きいと草本類域が破壊され、濁筋から離れた部分に草本類が繁茂しやすいためと考えられる。また図4.5(1)の②からB/Hが大きくなると濁筋と草本類の距離が大きくなる傾向にあることがわかる。これは水深が大きくなると草本域が安定するため濁筋の近くまで草本類が繁茂しやすいと考えられる。図4.4④、図4.5④より、 $1/r$ が関係している傾向は見られなかった。

木本類と河道特性の図4.6(2)③より、無次元掃流力 τ^* と木本類の関係では τ^* が小さいところで木本類面積率が大きくなる傾向にあることがわかる。これは τ^* が少ないと河床変動が起きにくいことを表すので、木本類は河床が安定しやすいところで繁茂していると考えられる。

表 4.1 釜無川、笛吹川における河道特性値

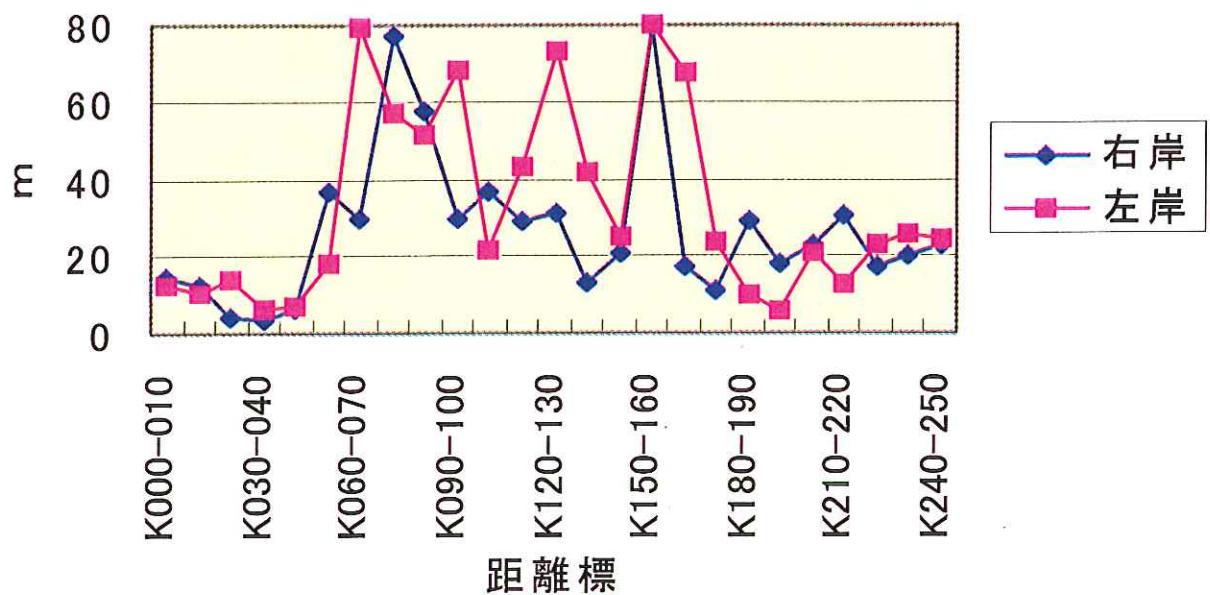
(a) 釜無川

地点	Fr	B/H	τ_*	1/r
K000-010	0.59	23.03	0.36	1.16
K010-020	0.61	22.76	1.00	0.61
K020-030	0.59	16.49	1.38	0.71
K030-040	0.39	27.01	1.18	0.19
K040-050	0.22	49.88	2.09	0.14
K050-060	0.15	59.99	1.58	0.42
K060-070	0.23	48.18	0.89	0.40
K070-080	0.40	66.73	1.59	0.33
K080-090	0.53	79.22	2.54	0.52
K090-100	0.59	83.29	3.07	0.03
K100-110	0.58	107.60	2.30	0.16
K110-120	0.58	140.02	1.28	0.54
K120-130	0.71	174.50	0.91	0.02
K130-140	0.69	168.36	0.84	0.03
K140-150	0.68	145.84	1.88	0.16
K150-160	0.70	176.92	3.78	0.16
K160-170	0.69	208.63	0.54	0.02
K170-180	0.68	193.44	0.47	0.12
K180-190	0.70	157.26	0.59	0.21
K190-200	0.73	121.22	0.54	0.93
K200-210	0.62	140.74	0.38	0.54
K210-220	0.68	210.47	0.35	0.07
K220-230	0.74	174.63	0.22	0.07
K230-240	0.78	145.94	0.12	0.07
K240-250	0.75	124.92	0.11	0.23

(b) 笛吹川

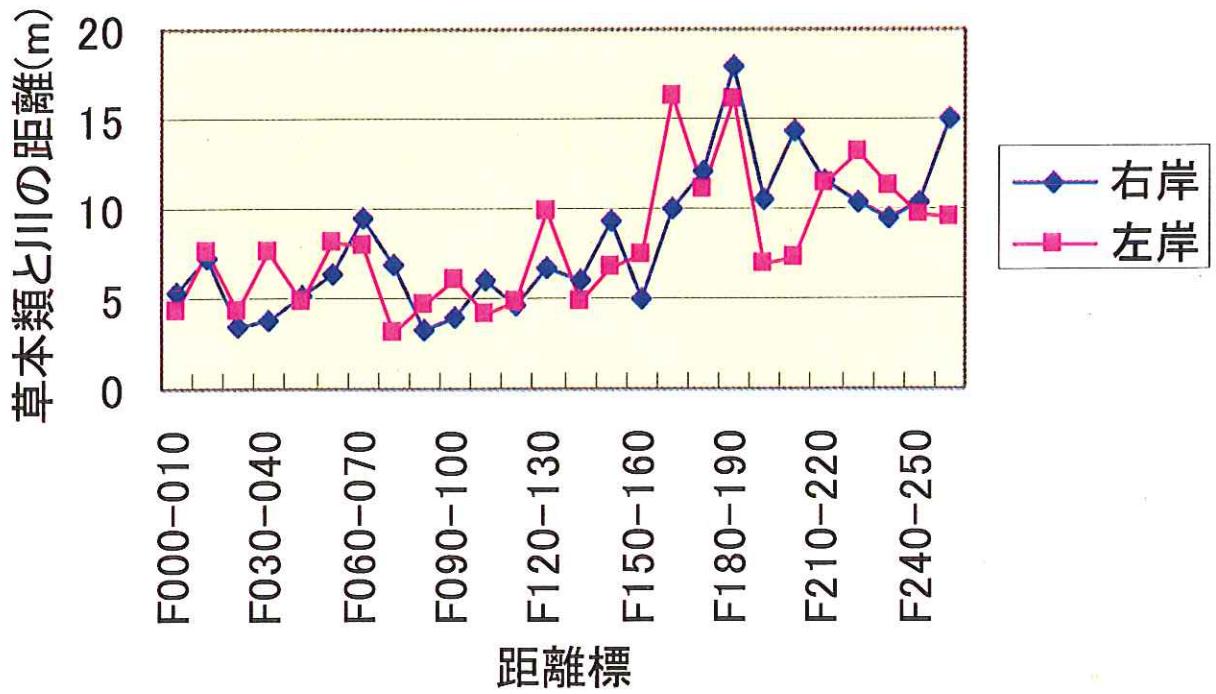
地点	Fr	B/H	τ_*	1/r
F000-010			0.39	43.17
F010-020			0.46	38.75
F020-030			0.35	49.98
F030-040			0.33	52.50
F040-050			0.36	48.95
F050-060			0.37	44.75
F060-070			0.40	51.83
F070-080			0.36	59.75
F080-090			0.33	51.28
F090-100			0.40	42.90
F100-110			0.41	43.42
F110-120			0.42	61.10
F120-130			0.49	69.18
F130-140			0.51	60.94
F140-150			0.54	67.80
F150-160			0.66	74.75
F160-170			0.59	73.08
F170-180			0.66	84.78
F180-190			0.69	76.99
F190-200			0.71	84.24
F200-210			0.81	95.37
F210-220			0.84	78.93
F220-230			0.89	66.84
F230-240			0.88	52.42
F240-250			0.89	56.11
F250-260			0.90	57.83

草本類と川の距離



① 釜無川の草本類と濁筋の距離

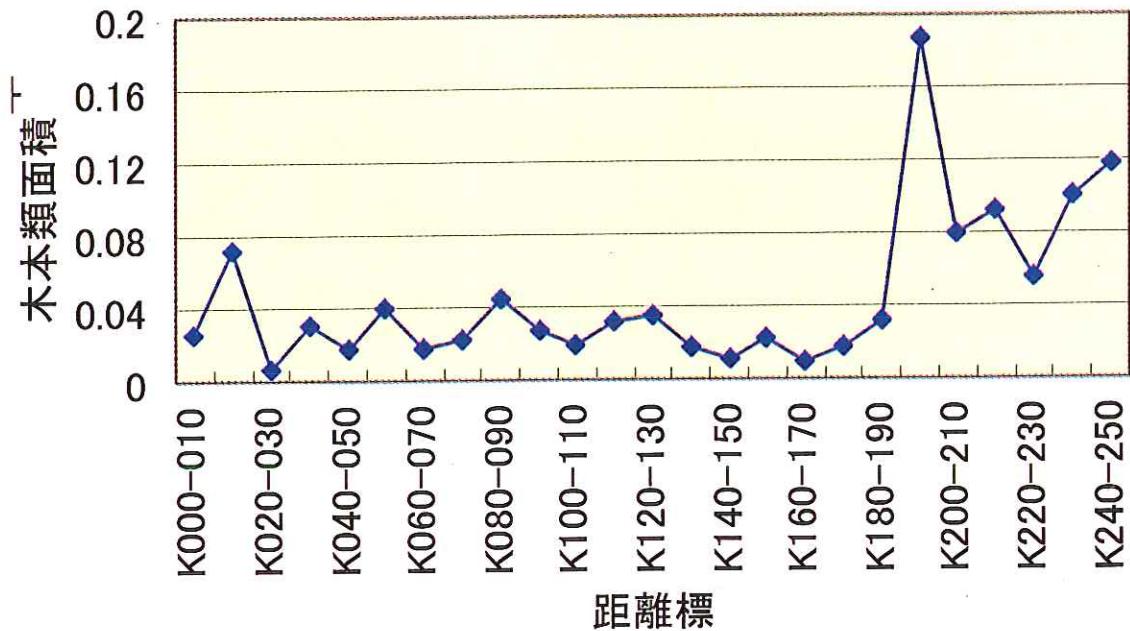
草本類と川の距離



② 笛吹川の草本類と濁筋の距離

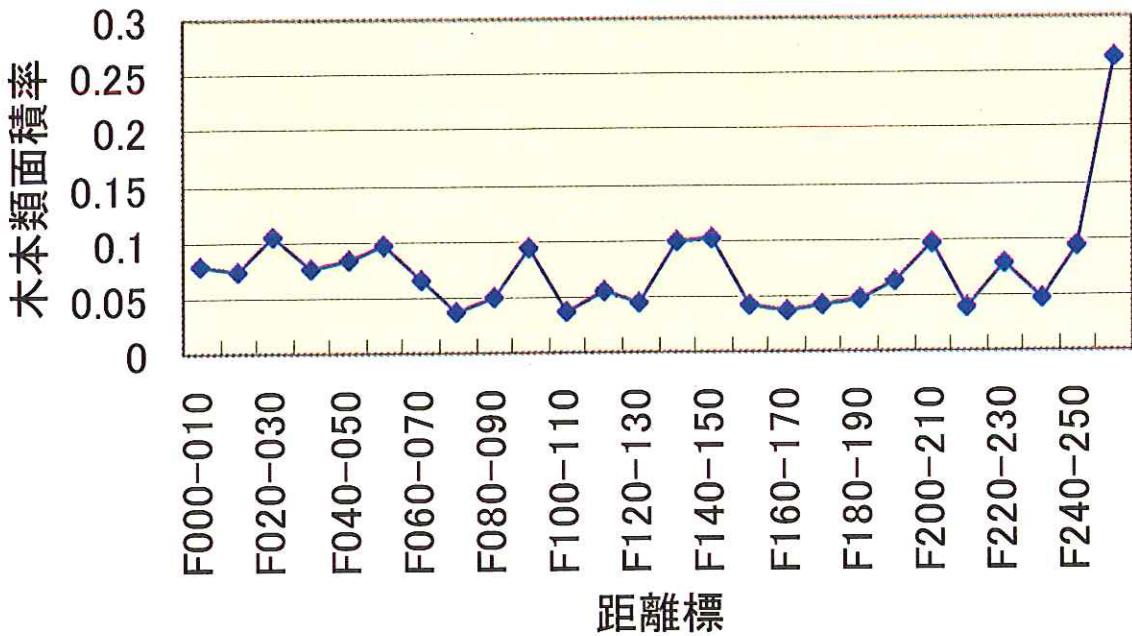
図 4.2 釜無川、笛吹川の草本類と濁筋の距離

釜無川



① 釜無川の木本類面積率の平均

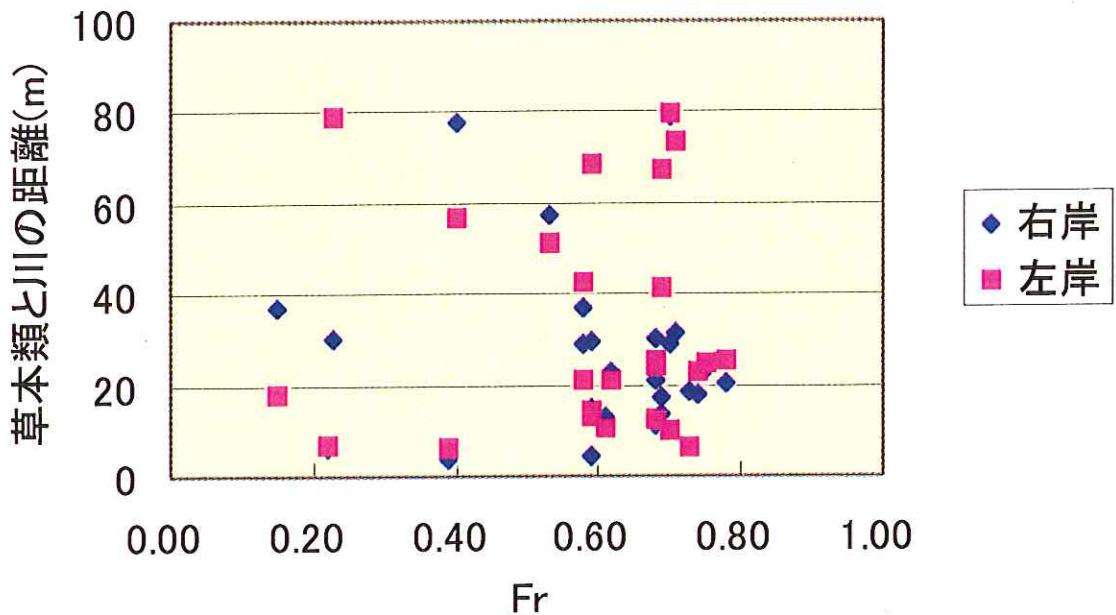
笛吹川



② 笛吹川の木本類面積率の平均

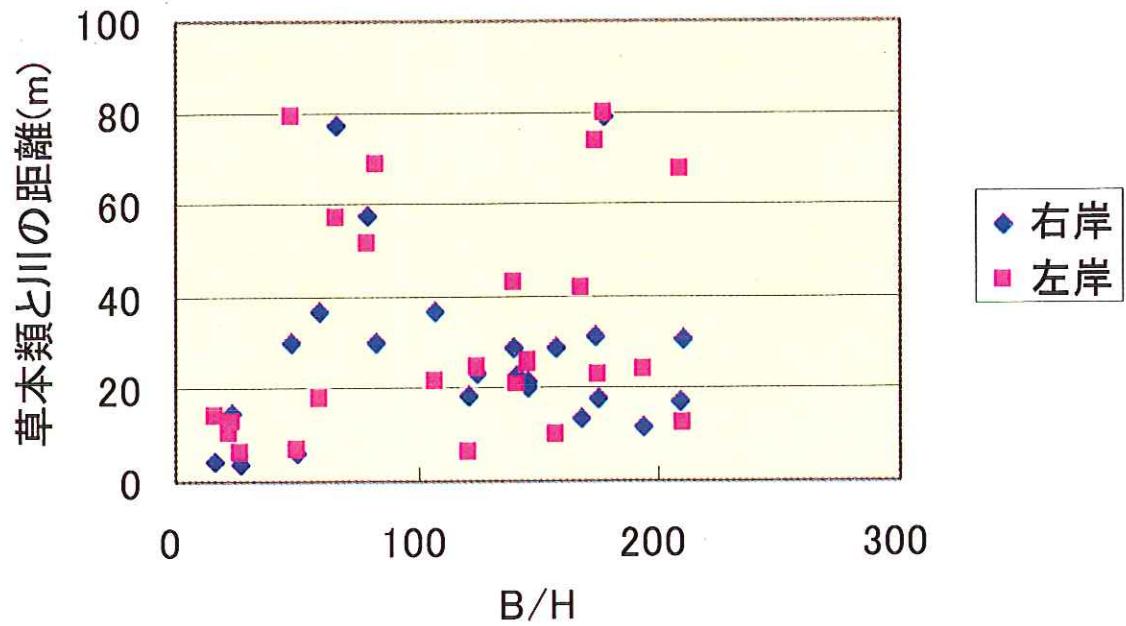
図 4. 3 釜無川、笛吹川の木本類面積率の平均

草本類と川の距離とFr



① 滝筋と草本類の距離と Fr

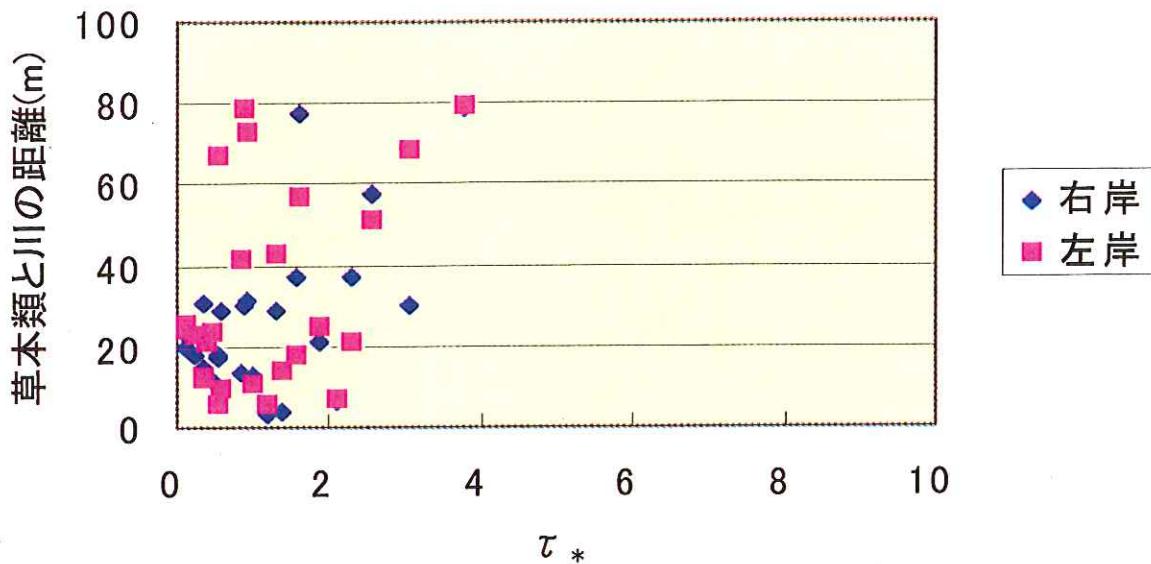
草本類と川の距離とB/H



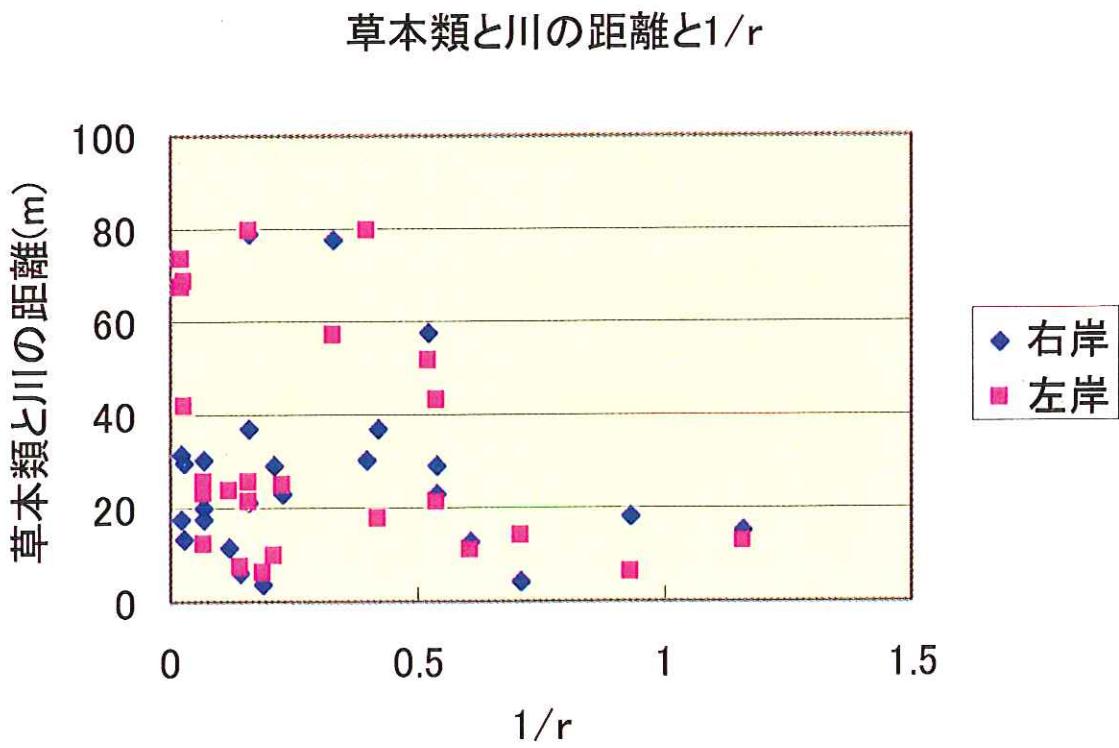
② 滝筋と草本類の距離と B/H

図 4.4(1) 釜無川の滝筋と草本類の距離と河道特性

草本類と川の距離と τ_*



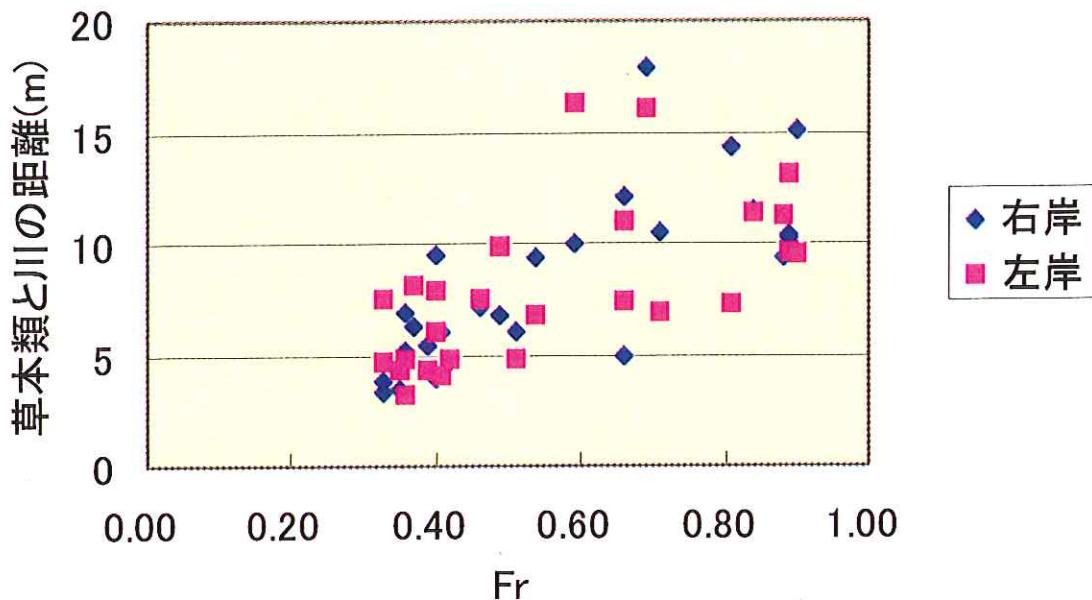
③ 澄筋と草本類の距離と τ_*



④ 澄筋と草本類の距離と $1/r$

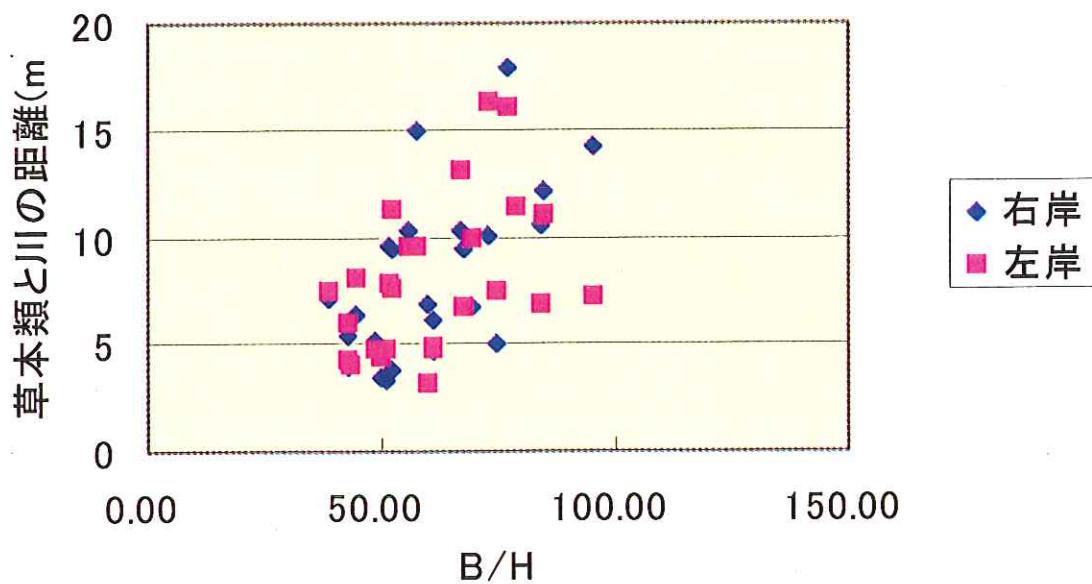
図 4.4(2) 釜無川の澄筋と草本類の距離と河道特性

草本類と川の距離とFr



①濁筋と草本類の距離と Fr

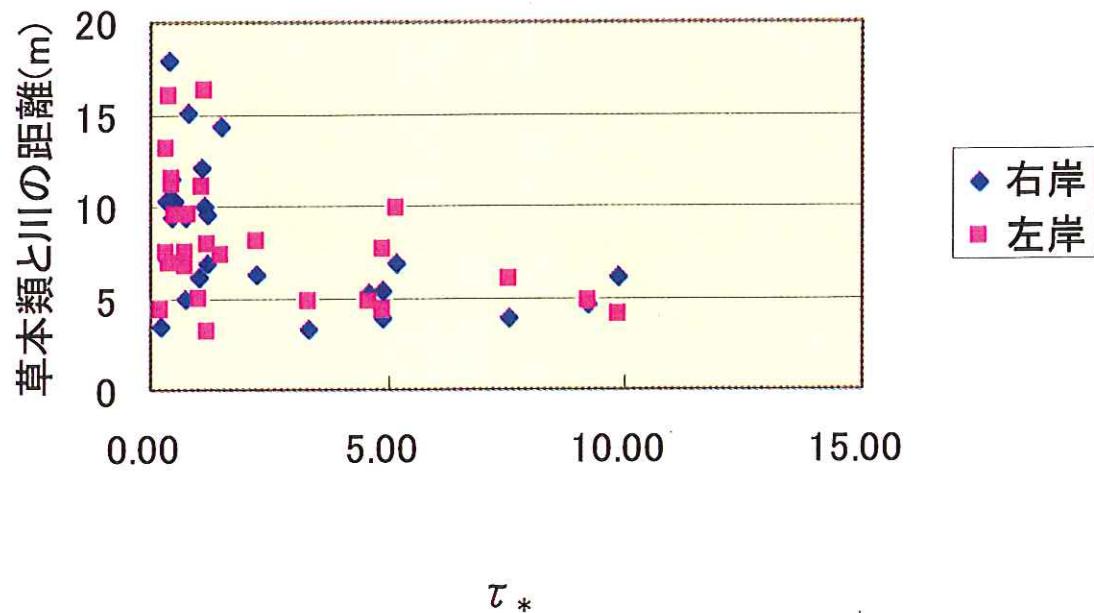
草本類と川の距離とB/H



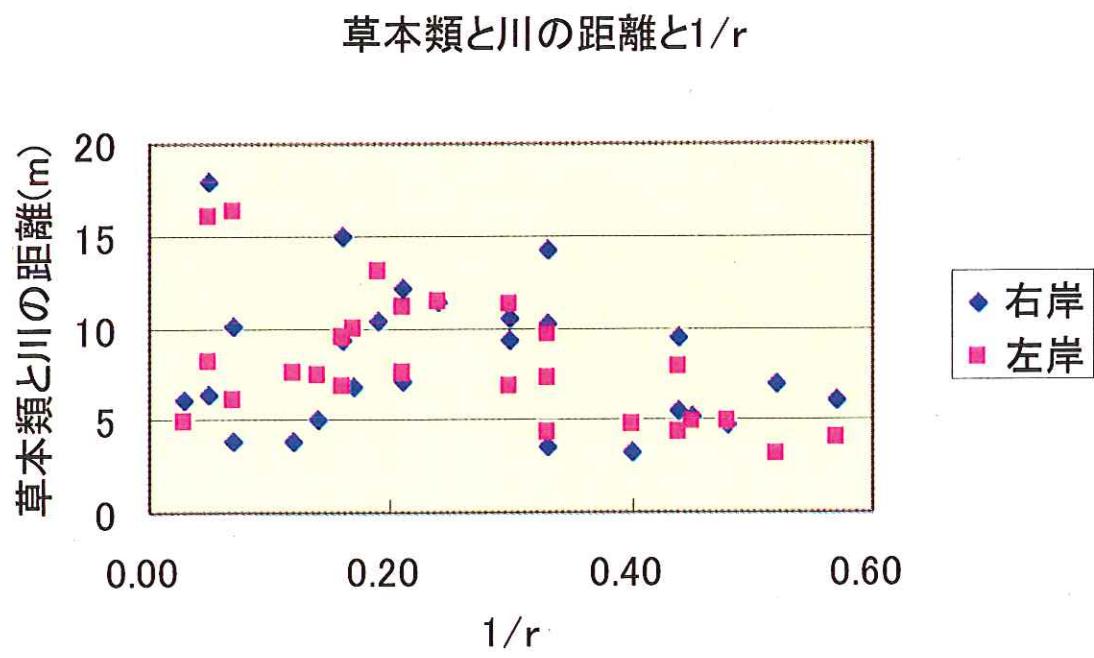
②濁筋と草本類の距離と B/H

図 4.5(1)笛吹川の濁筋と植生の距離と河道特性

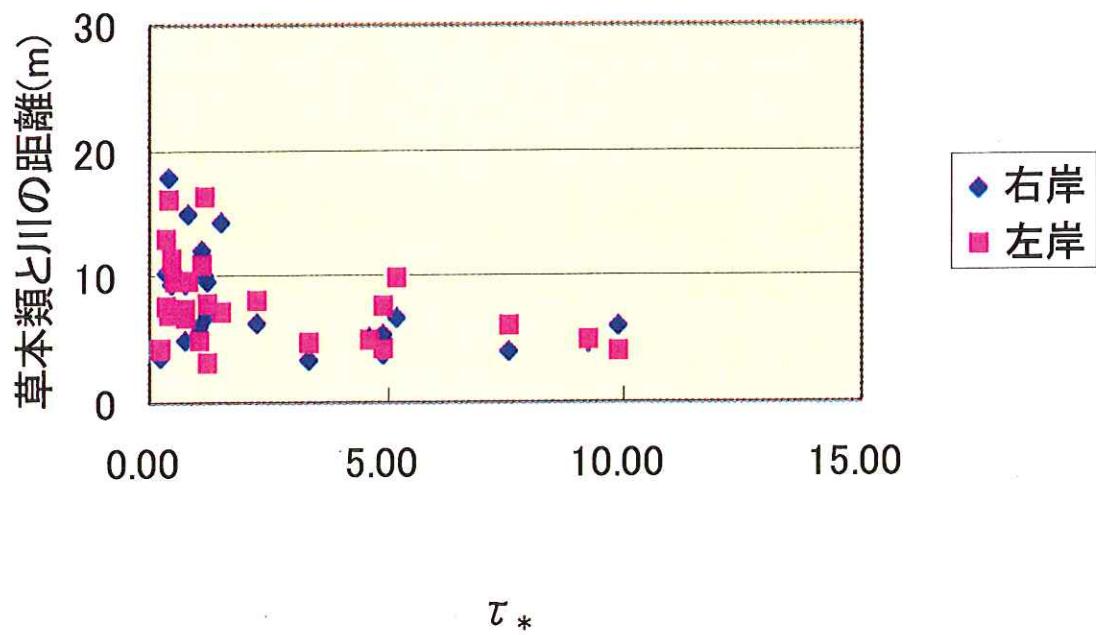
草本類と川の距離と τ_*



③ 濱筋の草本類の距離と τ_*

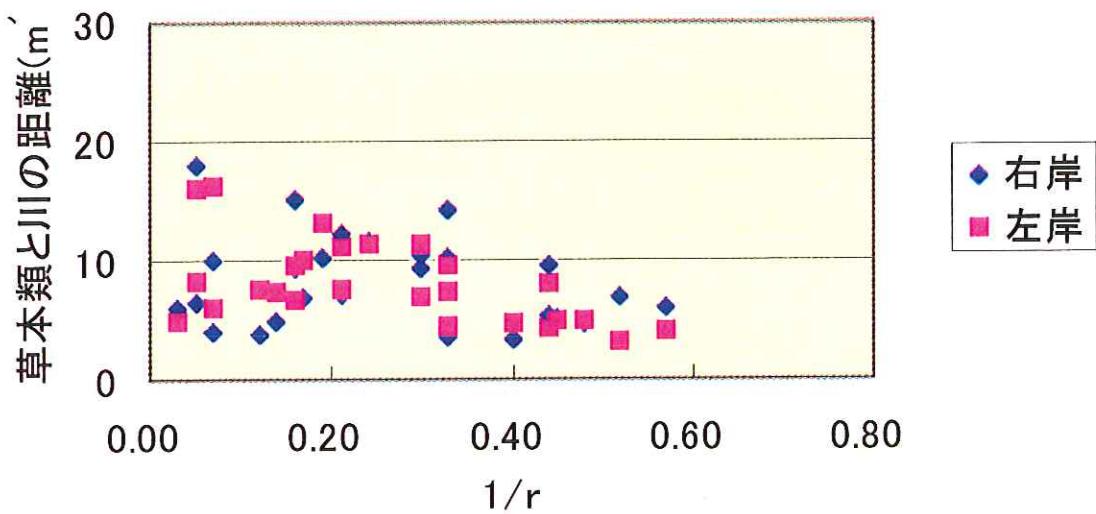


草本類と川の距離と τ_*



③ 濾筋と草本類の距離と τ_*

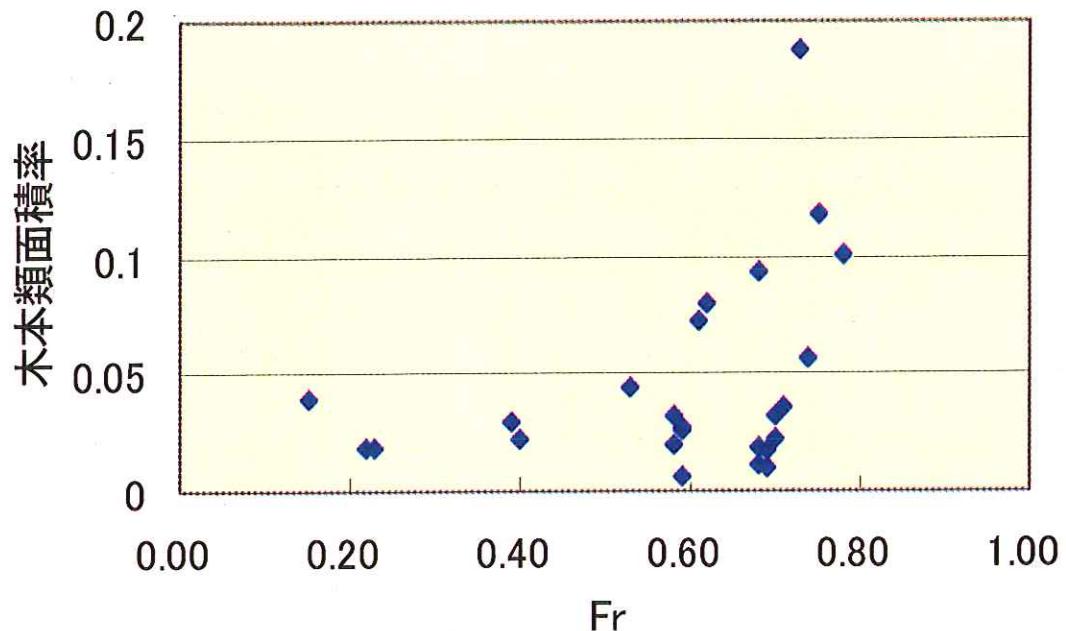
草本類と川の距離と $1/r$



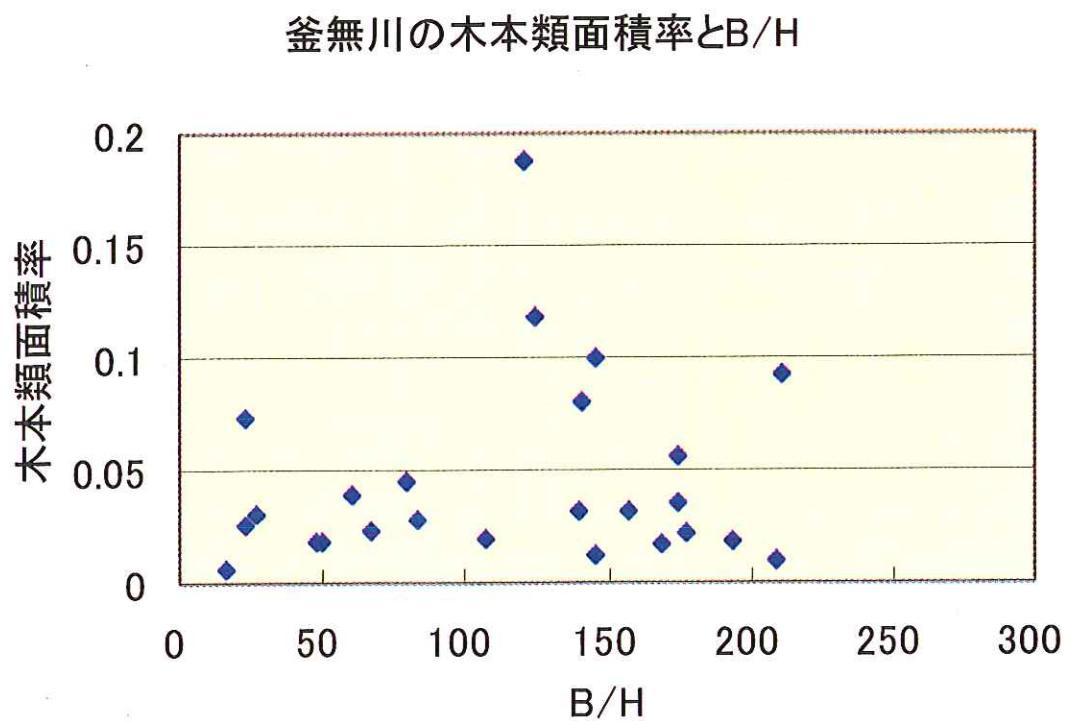
④ 濾筋と草本類の距離と $1/r$

図 4.5(2) 笛吹川の濾筋と草本類の距離と河道特性

釜無川の木本類域の面積率とFr



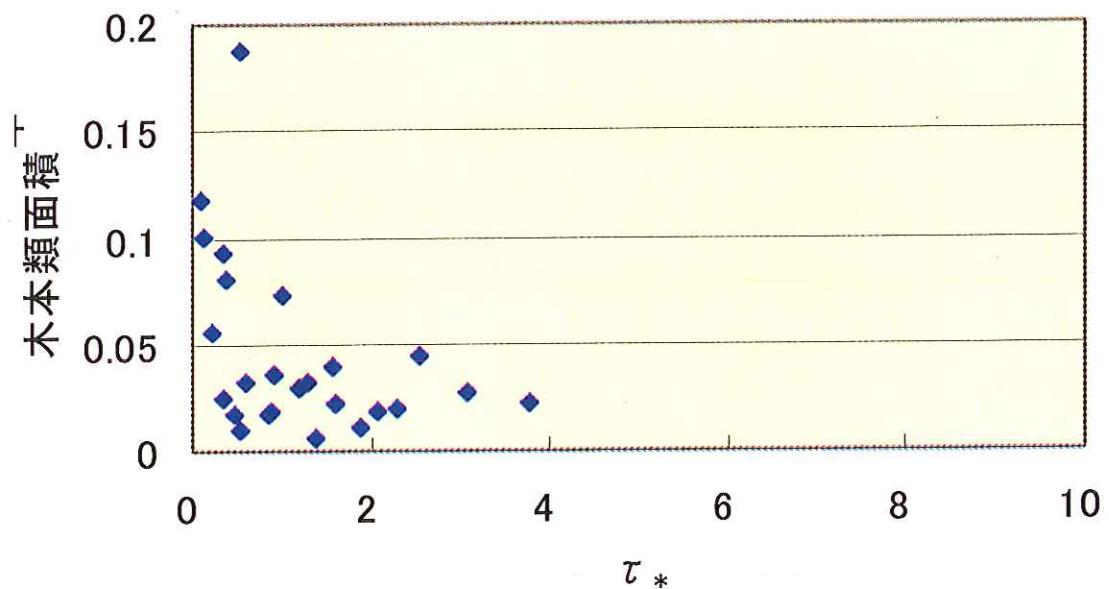
① 木本類面積率と Fr



② 木本類面積率と B/H

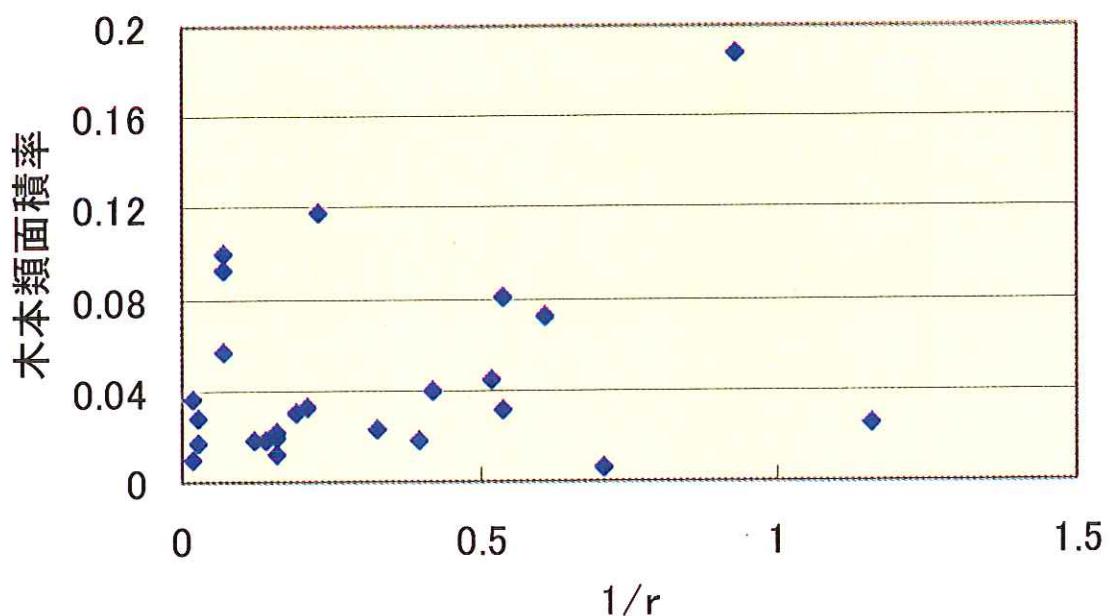
図 4.6(1) 釜無川の木本類面積率と河道特性

釜無川の木本類面積率と τ_*



③ 木本類面積率と τ_*

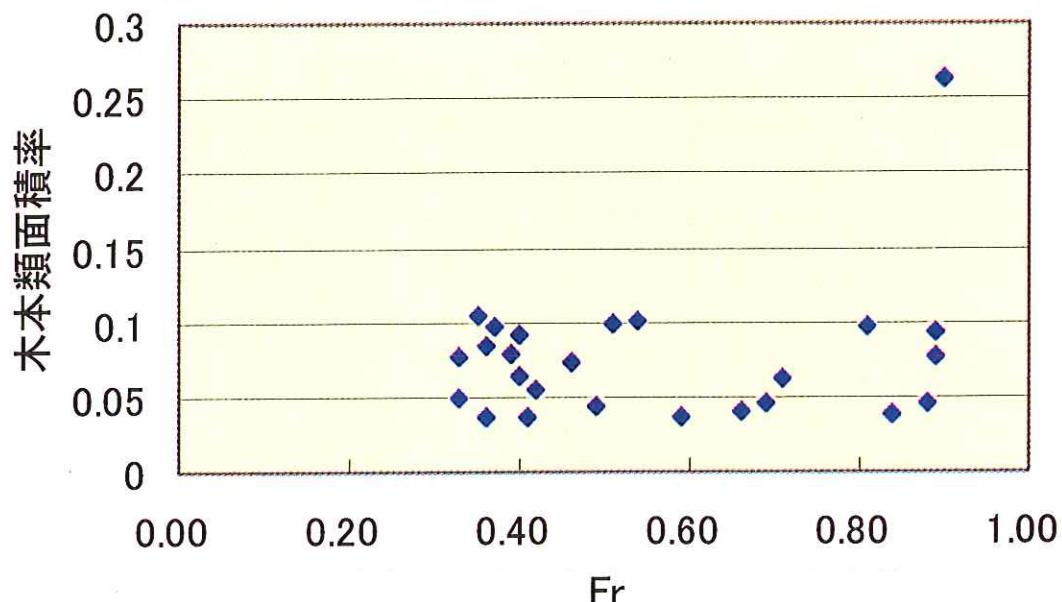
釜無川の木本類面積率と $1/r$



④ 木本類面積率と $1/r$

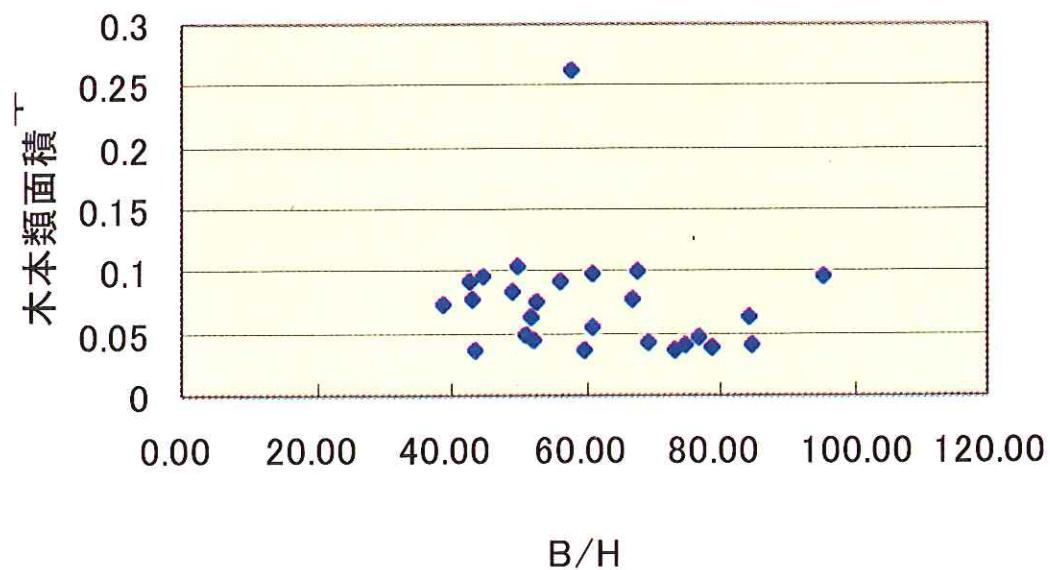
図 4.6(2) 釜無川の木本類面積率と河道特性

笛吹川の木本類面積率とFr



①笛吹川の木本類面積率と Fr

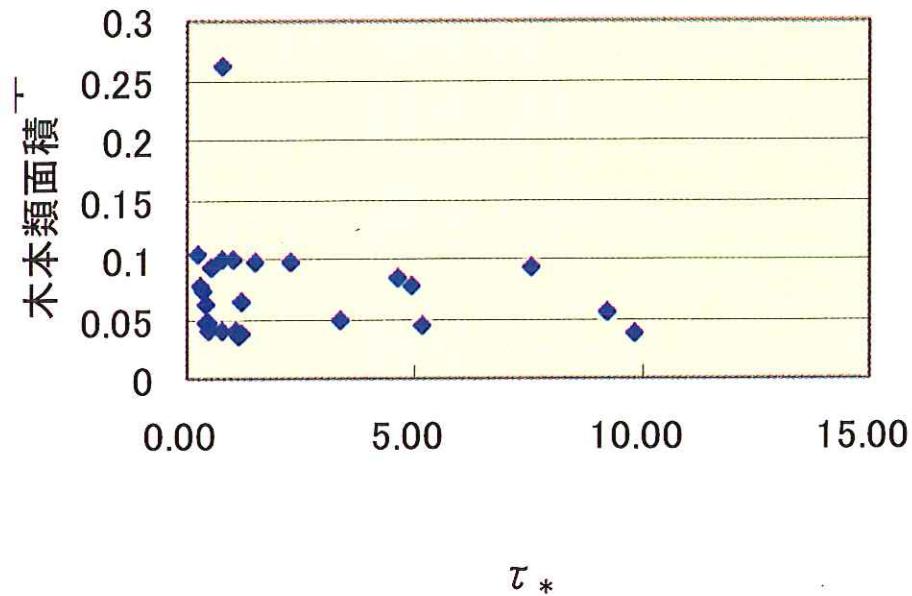
笛吹川の木本類面積率とB/H



②笛吹川の木本類面積率と B/H

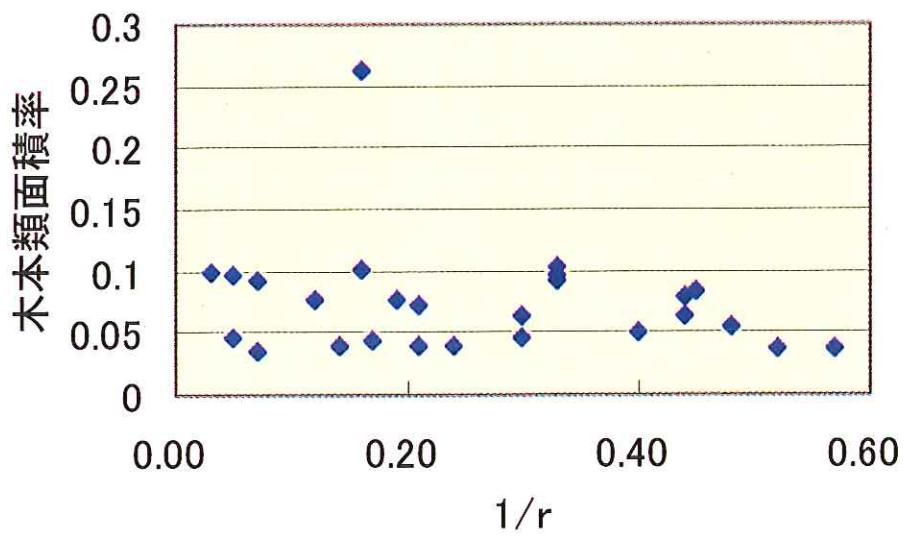
図 4.7(1) 笛吹川の木本類面積率と河道特性

笛吹川の木本類面積率と τ_*



③笛吹川の木本類面積率と τ_*

笛吹川の木本類面積率と $1/r$



④笛吹川の木本類面積率と $1/r$

図 4.7(2) 笛吹川の木本類面積率と河道特性

第5章 結論

河川環境の管理にかかわる将来の計画についての基礎的な資料を提供するために実河川富士川を対象として検討行った。まず第3章においては航空写真からの植生の判読は一般に膨大な作業を伴うためその作業をパソコンを用いてルーチン化することを試みた。そして航空写真を利用する方法の検討と植生の縦断分布と横断分布を 1997~1999 年における航空写真のデータをもとに明らかにした。第4章ではさまざまな河道状況のもとで、植生の分布と河道水理特性との関係を考察した。

以上、航空写真を利用しての植生分布の解析の基本モデルの構成を試みた結果以下のようないくつかの結論が得られた。

- ① 航空写真判読に利用した輝度および RGB を利用する方法では、植生域と水域のオーバーラップが激しく閾値の決定は容易ではない。
- ② 航空写真を参照しての、マニュアル操作での前処理は、時間的、空間的に広がりのある植生の繁茂、破壊についての把握に有効である。
- ③ 釜無川に比べ笛吹川では、水際部分での草本類の専有率が高い。
- ④ 木本類面積率の分布状況はフルード数 (Fr) と無次元掃流力 τ_* に関係がある。

河川の植生は河道特性、河川水面からの距離の両者の影響を受け、それらのどちらか一方だけで一元的に植生の分布を表現することは困難である。今後の課題として、河道特性と河道の横断分布の新たな総合的解析が望まれる。第3章の航空写真の利用において述べると、航空写真撮影の頻度および精度からみて、航空写真のみで植生破壊を統計的に検討することは困難であるため、河道特性、植生の種類を加えた検討などがあげられる。

今後は航空写真の画像の取り扱いにより、植生域の繁茂・破壊が把握されることにより植生域の流路変動を素過程とした河川植生繁茂・破壊の長期モデル化の作成が必要である。また、ここで対象とした河川以外での植生調査に適用し、これらの解析の信頼性をよりいっそう高めていく必要があると考える。

最後に、河道内の植生は気候、水質等に作用されるのはもちろんのこと、河川の諸特性

にも影響を受け、また植生が河道に影響を与えることにより相互に密接な関係を持つものなので個々の河川さらには地点において簡単に、いかなる手段をとればよいかは大変難しい。しかし、これらの解析をベースに将来におけるよりよい河川環境整備に大いに役立つ研究の進展を期待したい。

)

)

第 2 部

出水に伴う河道内樹木の破壊の予測に関する基礎的研究

第1章 序論

1.1 背景

近年、治山・砂防事業の進捗などにより、河川上流地域における土砂生産量・土砂流出量が減少している。またダムや堰などの下流域では流量の平滑化がもたらされている。その結果大規模出水・土砂移動機会の減少が顕著となり、多くの河川で低水路部の河床低下および自然高水敷化と共に植生の繁茂と樹林化が進んでいる。こうして形成される河川植生は、流況や河道地形に影響を及ぼす一方で、河川及び周辺地域の生態系の中心的存在であり、河川環境の重要な環境要素の一つでもある。河川管理の立場から河川植生についての実態把握やそれらの変化を明らかにすることは重要で、これまでに多くの調査研究が行われている^{1), 2), 3), 4)}。

ところで、樹林化した植生は出水時における河積阻害による水位の上昇や樹木根系の侵入による堤体の弱体化などをもたらす。さらに、ある一定の流量を超えると、樹木の破壊・逸脱が生じ流木となって橋脚などの箇所で河道を閉塞し氾濫などこれまで以上に重大な被害を引き起こす間接の原因となり得る。そこで出水時における河道内樹林の破壊の条件と規模の予測について系統的な検討を行う必要性がある。河道内の樹木の破壊についてはこれまでにもいくつかの調査研究がある。例えば、苅住⁵⁾は樹木の抜根試験を行い根の支持力を調べており、渡邊ら⁶⁾は出水後の樹木の倒壊状況を詳しく調査している。さらに、石川⁷⁾は流水に及ぼす葉面も含めた樹木の抵抗の定量化を試みている。

これまで、流水の管理の立場からは、河川植生の持つ付加的な抵抗作用に关心が寄せられ、植生域そのものが河道特性の要素として考えられてきた。また植生は、時間的・空間的に一定の状態では存在せず、河床、出水履歴などの河川の諸条件によって大きな制約を受ける。発生の契機が自然的に起こるものであっても、人工的に計画されたものであっても、周囲の種、河川の水位、流れ、気候の影響を受けながら繁茂と衰退を繰り返し遷移していく。すなわち、河道への物理的作用の形態も植生、植生域の変動とともに変化していく。このような植生状態を計画的に管理することは容易ではない。しかし、過去の大出水に匹敵する洪水の再来には、十分に遷移樹林化した密な河川植生の劇的な破壊、延いては大災害に繋がる危険性が考えられ、自然状態を期待するあまり、河川植生を手つかず状態で無為に放置するのは適当でない。

ここにあらためて、河道に許される植生の繁茂の上限値、特に河辺林の破壊条件を調べ

る必要性がある。それによって、植生破壊条件という観点から河川の計画と管理が現実的なものとなる。

1.2 本論文の目的

河道内樹木の破壊については、これまでのところ十分な研究及び検証が行われているとはいえない。そこで本研究では、自然的意図的に保存された河道内樹林がやがて発生し得る大出水に対して、どの程度の耐破壊性を有するかの定量的予測手法の開発を目的とした。そのために以下の順序で基礎的解析及び検討を行った。まず、河道内において出水時に想定される樹木の破壊形態を「折損破壊」、「倒伏破壊」、「抜根破壊」、「周辺洗掘破壊」、「侵食流去破壊」、「土砂堆積破壊」の6種類に分類・定義する。本研究ではそのうち「倒伏破壊」、「抜根破壊」の2つの破壊形態について検討している。また、河辺林の耐破壊性、耐侵食性などに関する他の研究者を含めた既往の研究成果を集約して、水位の各段階に応じて樹木に作用する破壊の作用値及び破壊の推定限界値を水理学的に求め、それらの値の算定式を用いて富士川本川である釜無川での破壊状況を検討した。また、本研究はこれまでに富士川水系笛吹川についての樹木破壊の解析を行っている⁸⁾。河道特性などの違いにより破壊状況がどのように異なってくるかを知るために、釜無川の破壊状況と笛吹川の破壊状況との比較検討を行った。加えて、複断面水路における横断方向の運動量の輸送、縦断方向に樹木が存在することを考慮して理論的な数値計算を行い、樹木の破壊断面率の検討及び航空写真による観測値と比較した。さらに、実際の河川の状況における樹木破壊の解析を行うために、航空写真を利用して樹木の存在する断面を設定し、再度破壊断面率と航空写真による観測値を比較した。

第2章 富士川流域に関する概要

2.1 富士川の概要

2.1.1 流域の諸元

富士川の源は、山梨県、長野県の境にある南アルプス北部の駒ヶ岳（海拔 2,966m）である。この川ははじめ北へ流れるが、しばらくして大きく向きを南東に変え、八ヶ岳の裾野と赤石山地、巨摩山地の間にある断層谷を流れ、中巨摩郡竜王町で甲府盆地に出る。この間に右支川の大武川、小武川、御勅使川を、また左支川の塩川を合流する。その後甲府盆地を出た富士川はその西側を流れて盆地南端の鰍沢町に達し、ここで笛吹川を合流する。また、山梨、長野、埼玉三県にまたがる甲武信ヶ岳（海拔 2,483m）を水源とする笛吹川は、山間渓谷を経て甲府盆地に入り、重川、日川、甲府盆地の河川などを合わせ甲府盆地東部を南流して盆地の南西部、西八代郡市川大門町において富士川（釜無川）に合流する。中流域では本邦第2位の高峰白根北岳（海拔 3,192m）を水源とする早川が、日本列島の地質を東西に分けるほどの大きい断層、糸魚川 - 静岡構造線にほぼ沿って流れ、下流で東流して富士川中流に合流する。

そして、波木井川、福士川などの支流を合わせ、日本一高く美しい富士山の裾野を下つていく。さらに下流域で富士山（海拔 3,776m）を水源とする佐野川、芝川などを合わせ静岡県富士市に至って、河口近くに半径 7km 程度の三角州を造っている駿河湾に注ぐ。

日本全体からみた富士川の位置はちょうど日本の中程に当たり、その流域は長野、山梨、静岡の3県にまたがり、流域面積は約 3,990km²に及ぶ。また、流路延長は 1,297km、幹川延長は 128km である。このうちの 90% は山地で、平地はわずかに 10% しかない。河床の傾斜も急で富士川は最上川、球磨川と並んで日本三大急流の一つに数えられている。図-2.1 は富士川の主要河川図をあらわす。

2.1.2 釜無川の諸元

富士川の本流は、笛吹川が合流するまでの上流部を釜無川とも呼ばれている。釜無川の源流は、南アルプスの北端、横岳峠直下の山梨県白州町と長野県富士見町の県境付近に発しており、流れは県境に沿って北進し、富士見町落合で立場川が合流してからは、南東に向きを変えて山梨県に入る。さらに、尾白側、大武川、塩川、御勅使川等が合流し、甲府盆地を南下、市川大門町で笛吹川が合流する。この間の流路延長約 61km を釜無川という。

釜無川の由来は、山岳地帯での流れが直線的で急流が多く、他の河川に比べ深い淵(釜)が少ないことや、流水が温かく釜をたく必要がないなどという説がある。釜無川は、古来より沿川には道路が発達し、文化の導入が見られ、その流水は沿川の灌漑用水に利用され、人々の生活と大きくかかわってきた。その反面、水害の多い暴れ川として恐れられ、釜無川を制御することは大きな政治的課題であった。武田信玄公が竜王町に信玄堤を築いたのも、甲府盆地を水害から守り開発を進めるためであった。明治、大正、昭和にかけても水害が相繼ぎ、昭和34年の7号台風や15号台風(伊勢湾台風)、昭和57年の台風10号による水害は記録に新しいところである。

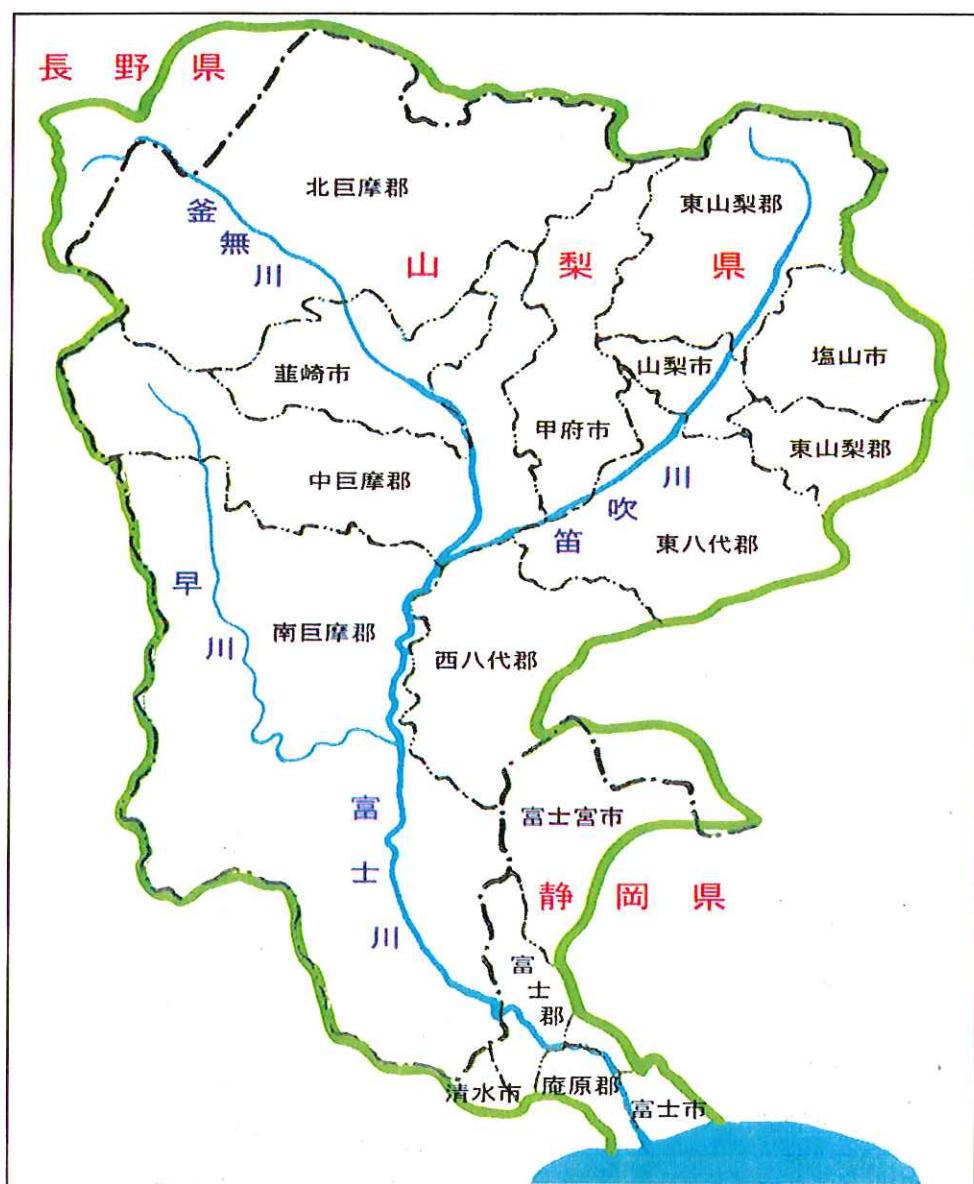


図-2.1 富士川の主要河川図

2.2 富士川流域に棲息する動植物

2.2.1 流域の動物

富士川の本流の河原に棲息する動物は、スズメ、ムクドリ、ツグミなどの他、カシラダカ、ヒバリ、カワセミ、タヒバリ、セグロキレイ、コサギ、カルガモ、イソシギ、イカルチドリといった河川敷特有の鳥類が棲息している。

支流にはいると鳥類の種類もずっと増え、荒川の昇仙峡では、カワガラス、ミソサザイ、キセキレイ、セグロキレイ、カワセミなどが特に目につく。

西沢渓谷や広瀬ダムでは、カワガラスやセキレイの他に、コルリ、コマドリ、オオルリ、ヒガラ、コガラ、カヤクグリ、キワイタダキ、ツグミ、カシラダカ、アトリ、マヒワ、ハギマシコ、コガモ、マガモなども棲息し、身延川や大城渓谷では、ホオジロ、ヒヨドリなどがキセキレイやセグロキレイに混じって、渓流で餌を探している姿もみられる。

また水中には、イワナ、ヤマメ、アユ、アブラハヤ、ナマズ、カジカ、ドジョウ、コイ、ヘラブナ、ワカサギ、ニジマス、ヒメマス、ウナギ、オイカワなどの魚類が棲息している。

さらに動植物性プランクトンのほか、川底やレキに付着して棲息している微生物もいる。このようなところに棲息している底生動物から、川の水質を判定することもできる。

2.2.2 流域の植物

富士川の河原に棲息する植物は上流・中流域で、カヤツグサ、センダングサ、ヨモギ、オトコヨモギ、エノコログサ、ヒメムカシヨモギ、ヤクシソウ、イヌタデ、ヤナギタデ、ヒエ、サボンソウ、ツルフジバカマ、オオマツヨイグサ、イヌガラシ、ニセアカシア、オオバコ、ユウガギク、コブナグサ、ミゾソバ、イノコズチ、カゼクサ、トクサ、ススキ、ヒュ、スギナ、ギシギシ、クサイ、ツユクサ、イタドリ、カワラマツバ、イヌゼリ、ヨシ、アワミドロ、オギ、カタバミ、バッコヤナギなどの草木が生えている。

下流域では、上・中流域と同じ種類のものもあるが違ったものとしては、スミレ、アメリカセンダングサ、オナモミ、クズ、アカギ、ノイバラ、チジミササ、アキノノケシ、ナギナタコ、ウシ、タネツケバナ、ミヤコハコベ、ウツギ、ヌルデ、ツルウメモドキ、カシ、ケヤキ、フジ、ヤマブキ、クヌギなどの草木が生えている。

2.3 河川植生について

2.3.1 植生に必要な河川環境

河川植生は、上流域、中流域、下流域、においてそれぞれ多種多様な景観を示している。これは上流から下流にかけて水の流れやその運搬・土砂堆積・侵食作用による土壤の違いなど様々な環境条件に応じて植物が棲み分けていることによる。同時に不安定帯、半安定帯、安定帯といった水域からの距離によっても大きく異なる。これは主に洪水や冠水などの搅乱の程度、頻度の違いや水分条件に応じて植物が棲み分けていることによる。このように自然植生の保全・回復については、上流域、中流域などの区域に応じた環境づくりが必要となり、さらにたとえ同じ区域であっても、様々な水分条件や搅乱圧が必要である。

また半自然草地は、多くの種類の植生が生育できる環境を持っている。このような半自然草地は、利用や管理形態の変遷とともに変化しつつあるが、植物の多様性を生む半自然草地の存在は重要なものであり、その維持を図る上からも人為的管理が大切である。

2.3.2 植生の役割

空や樹木や草原、水面といったものから構成される自然の風景は、周辺の空気や、種々の動物、人間の精神に豊かさを与える。その中に占める植生の役割は大きく、自然の営み・景観の構成に関してそれぞれが持つ意義は大きい。

植生は水中の生物にとって、そしてまた鳥類にとっても、生存にかかわる重大な意味を持っている。例えば種々の魚類は、産卵活動にあたってヨシの生えている場所や、水草を必要とするように棲息場所を与えている。そして、植生は根を河床や川岸に張り巡らせたり群落を形成することで、河床を侵食から守ったり、土砂を堆積させたりしている。さらに植生がつくる影は、太陽によって水が過度に暖められるのを防ぎ、また水生植物の過剰繁茂を防ぐことによって、藻刈りのための河川維持費を安上がりなものとしている。

河原や中州、高水敷といった通常水がつからない場所には木が生えている場合が多い。これらの樹木は暴風効果があり、樹木も河川に棲息する生物たちに良好な自然環境を提供するとともに、川らしい景観を創り出す上で重要な役割を果たしている。しかしその一方で、洪水時には河積阻害による水位の上昇、堤防沿いへの流水の集中による高速流の発生、樹木の根の侵入による堤体の漏水、流木化などを引き起こす原因となる。

このため、日本では河川の管理上、河道内の樹木は皆伐が原則となっており、流れを阻害しない程度の低木の植栽や、遊水地など洪水時には流路とならない死水域への高木の植栽が認められているに過ぎない。以下に水生植物群落の生態的機能をまとめると

表-2.1 水生植物群落の生態的機能

生態学的機能		樹林	湿地植物群落	抽水植物群落	浮葉植物群落	沈水植物群落	藻類
植物の生産と分解	有機物の生産	◎	◎	◎	◎	◎	◎
	湖水との酸素のやりとり		○	○	○	○	○
	湖水とのN, Pのやりとり		○	○	○	○	○
	底泥からのN, P吸収		◎	◎	○	○	○
	舟航・漁業への障害		○	○	○	○	○
生物群落の維持	水鳥類と魚類への食物供給	○	○	○	○	○	○
	着生生物の着生基体	○	○	○	○	○	○
	魚類・エビ類の産卵と幼生発育場所		○	○	○	○	○
	昆虫類・両生類など生息場所		○	○	○	○	
	水鳥類の営巣・育雛の場所	○	○	○			
湖水浄化	有害物質の吸収	○	○	○			
	着生生物による有機物の分解	○	○	○	○	○	
	遮光による植物プランクトン抑制		○	○	○	○	
	N, P吸収による植物プランクトン抑制		○	○	○	○	
	浮遊物の沈殿促進		○	○	○	○	
	底泥への酸素供給	○	○	○			
侵食防止	波浪の抑制		○	○	○	○	
	緊縛作用による湖岸の侵食防止	○	○				
資源供給	家畜の飼料の供給	○	○	○	○		
	生活用品の材料の供給	○	○				
景観形成	水辺景観の形成	○	○	○	○		

◎はその機能が存在することを、○はそれより劣るが存在することを示す。

2.3.3 本研究における対象樹種

植物は、生物界において動物と対立する一群で、裸子植物、種子植物、シダ植物、コケ植物、菌類、藻類、細菌類など様々な植物がある。河川植生もたくさん種類があり、さらに河川植生の木本類も多様な種類がある。そして、破壊に関する検討を、それら各々の種類について行うことが必要とされる。しかし、1.2でも述べているように参考となる資料や文献が少ない。その少ない参考文献の中に、カワヤナギについての生長特性、流水抵抗特性、強度特性などの研究成果が得られている。そこで、本研究における対象樹種をカワヤナギとして、出水時の破壊に関する検討を進める。

2.3.4 カワヤナギの概略

人の言うことに逆らわず、うまく受け流すことを喻えて、俗に「柳に雪折れなし」とか「柳に風」という。これは、ヤナギの強靭でしなやかな性質から由來したもので、河原にあるヤナギの生活そのものである。

一口にヤナギといつても種類はたくさんあり、低地から高山を含めると、日本にざっと40種程度のヤナギがある。その上ヤナギは雑種を作りやすく、雑種や中間型を含めると一気に倍の80種ほどに増えてしまう。こんなにたくさんの種類があるので、一つ一つを区別するのはよほどの専門家でないと難しい。また、ヤナギの枝は水に挿しておくだけで根や芽がでてくるという特性を持っている。

河原にあるヤナギは、みんなひっくるめてカワヤナギと呼ばれているが、それぞれに名前がついている。そんなカワヤナギの仲間で誰でも知っているネコヤナギは全国的に分布しており、早春を告げる花として有名である。ネコヤナギは平野や山中の川の淵など水に近いところに背を低く構え、時々の増水や冬の雪にもじっと耐えている。冬の間、枝先にたくさんついていた銀色の毛に被われた冬芽は、春先になると一斉に花穂を芽吹く。

また、川の中流から下流にかけては背の高いヤナギの林がみられる。河原のヤナギの高木林は、春に芽吹いて葉が赤くなるアカメヤナギ、葉の裏が白っぽいジャヤナギ、葉が少し小粒なヨシノヤナギ、少し小柄なタチヤナギなどから成り立っている。高木性のアカメヤナギやジャヤナギが優先する林は東北地方より西に広く分布しているが、四国などではジャヤナギの代わりにヨシノヤナギが多く、関東から北になるとアカメヤナギがだんだん少なくなってくることが知られている。

第3章 河川植生の破壊条件

3.1 破壊の形態の類型化

河川植生は出水時には、出水の度合、河道内に棲息する場所などによって、様々な破壊が起こり得る。河道内における河川植生の破壊がどのようにして起こるのか、考えられる複数の形態をそれぞれ類型化する。

1) 折損破壊

樹木は図-3.1①のように出水前の立木の状態から、水に浸かり流水によって抵抗力を受ける。水位が低い場合には、樹木の水に浸かる割合が小さいので抵抗は小さい。しかし、水位が上がれば順に浸かっていくので抵抗は増える。その流水抵抗力の作用により、樹幹が耐えることができず、図-3.1②のように根元で折れてしまう。すなわち、樹幹の耐力よりも、樹木に作用する流水抵抗力の方が大きくなり折損してしまう。この状態を「折損破壊」とする。

2) 倒伏破壊

破壊前までは折損破壊と同様で、破壊の際に樹幹が折れずに図-3.1③のように曲がった状態になることを「倒伏破壊」とする。この折損、倒伏破壊は、立木の状態から折れてしまうか、もしくは倒れてしまう状態をいう。

3) 抜根破壊

立木から倒伏した樹木は破壊されているが、樹木そのものは枯れたりせず生きていることが多い。樹木が倒伏し樹木が流水に浸かっている状態では、流れの方向に引張られている。出水量が多くなると、当然樹木が受ける流水抵抗力も増加する。その時の樹木は、流水抵抗力を根の耐力で受け持っている。根の耐力よりも流水抵抗力の方が大きければ、根は河床から抜けて、図-3.1④のように破壊に至ってしまう。この破壊を「抜根破壊」とする。この破壊は後に類型化する、周辺洗掘破壊、侵食流去破壊、土砂堆積破壊のように、洗掘や河床変動による侵食、土砂による堆積は起こらないで破壊するものとする。

4) 周辺洗掘破壊

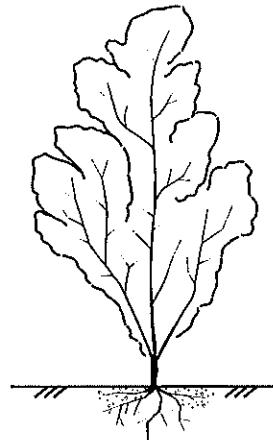
流れの中では、通常の橋脚のように鈍端形状をもった障害物の回りに、局所的な洗掘孔が形成される。さらに洗掘が進むと、洗掘孔内に流れが集中して洗掘孔が周辺に拡大する。樹木の場合、根元の幅が橋脚と比べると小さいが、洗掘が起こる可能性はある。倒伏した状態から、樹木根元で周辺が洗掘されて図-3.1⑤のように、根の先端の深さ付近まで掘れて破壊することを「周辺洗掘破壊」とする。

5) 侵食流去破壊

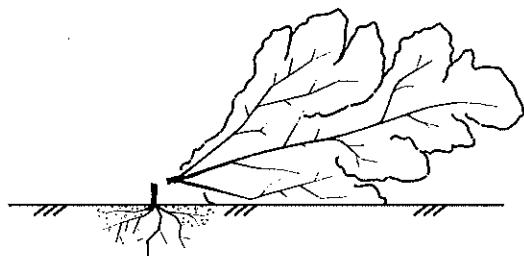
出水量が多くなくとも河床変動が起こる。その河床変動、つまり砂州の移動によって河道内樹木にも影響が及ぼされる。砂州の移動によって、砂州頂部より上流側の河床は侵食する。侵食した深さによって、樹木は図-3.1⑥のように流されてしまう。このような破壊を「侵食流去破壊」とする。

6) 土砂堆積破壊

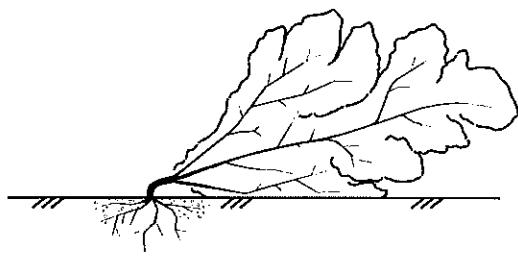
侵食とは逆に、砂州頂部より下流側では、砂州の移動によって土砂の堆積が起こる。立木の状態で堆積が生じても、少しの土砂では破壊に至らない。しかし、倒伏した状態で土砂がある程度堆積すれば、出水後立木のように元通りに復元せず、図-3.1⑦のように破壊する。これを「土砂堆積破壊」とする。



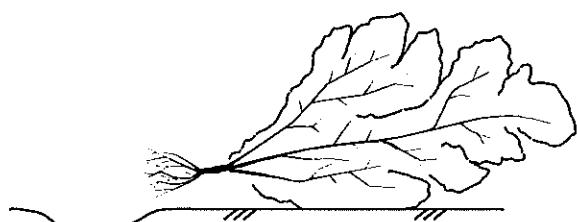
①立木



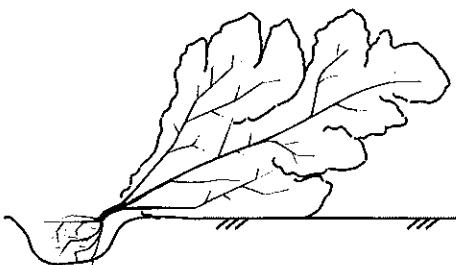
②折損



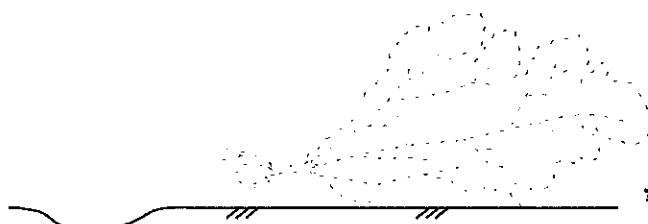
③倒伏



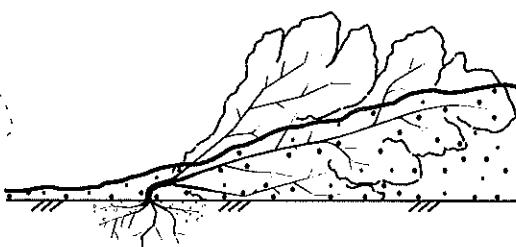
④拔根



⑤周辺洗掘



⑥侵食流去



⑦土砂堆積

図-3.1 樹木の破壊モデル

3.2 破壊の作用力及び破壊の推定限界値の算定

3.1 のように樹木破壊には折損, 倒伏, 抜根, 周辺洗掘, 侵食流去, 土砂堆積の形態が考えられるが, 本研究ではこのうち基本的な倒伏と抜根について検討する. 破壊の作用値は流水の作用によって樹木が破壊されるときの値である. 破壊の推定限界値は流水の作用によって樹木が耐えることのできる限界の値である. 出水時の平均流速, 水深は流量を用いて等流条件から次式により得る.

$$v = \frac{1}{n} h^{\frac{2}{3}} I^{\frac{1}{2}} \quad (3.1)$$

$$h = \left(\frac{n Q^{\frac{1}{3}}}{B I^{\frac{1}{2}}} \right)^{\frac{3}{5}} \quad (3.2)$$

ただし, v : 平均流速 [m/s], n : 粗度係数 [$m^{-1/3} \cdot s$], h : 水深 [m], I : 水路床勾配, Q : 流量 [m^3/s] B : 水路断面幅 [m], である.

3.2.1 倒伏破壊

樹木の倒伏の判定は, 樹木の根元を固定とする片持ばかりと仮定し, 樹木に作用するモーメントが最大となる樹木根元でのモーメントと根元での樹幹の耐力, すなわち, 倒伏限界モーメントの比較により行う.

流量が Q [m^3/s] の時に樹木が受ける抗力は,

$$F = \frac{1}{2} \rho C_D v^2 (y) A \quad (3.3)$$

で表わされる. ただし, F : 抗力 [kgf], ρ : 水の密度 [$kg \cdot s^2/m^4$], C_D : 樹木の抵抗係数, $v (y)$: 流速分布 [m/s], A : 流水中の樹木の投影面積 [m^2], である. また, 流速は平均流速ではなく,

$$v(y) = k y^{\frac{1}{7}} \quad (3.4)$$

の流速分布を用いる⁹⁾. ただし, y : 水深で河床からの任意の高さ [m], k : 定数, である. k は平均流速と水深から得られる. すなわち,

$$k = \frac{8 v}{7 h^{\frac{1}{7}}} \quad (3.5)$$

で表わされる.

流水中の樹木の投影面積については、樹木の葉の付き方、生長などによるものであるため算定が難しい。そこで、樹木を図-3.2 のように円錐を用いて単純モデル化し、微小面積に作用する微小抗力を求める。すなわち、

$$dF = \frac{1}{2} \rho C_D v^2(y) 2r(y) dy \quad (3.6)$$

となる。ただし、 dF ：微小抗力 [kgf]、 $2r(y)$ ：枝幅 [m]、である。この dF に河床からの距離 y を乗すれば、 dF が作用した時の樹木根元での微小モーメントが求まる。ゆえに、

$$dM = y dF = \frac{1}{2} y \rho C_D v^2(y) 2r(y) dy \quad (3.7)$$

ただし、 dM ：樹木根元での微小モーメント [kgf·m]、である。そして、 dM を河床から樹木が水に浸かっているところ ($H < h$ の時は樹高) まで積分すれば、樹木根元でのモーメントが算定できる。ゆえに、

$$M = \frac{1}{2} \rho C_D \int_0^h y v^2(y) 2r(y) dy \quad (3.8)$$

ただし、 M ：樹木根元でのモーメント [kgf·m]、である。ここで水の密度 $\rho = 102$ [kgf·s²/m⁴]、樹木の抵抗係数 $C_D = 0.8$ を与える。

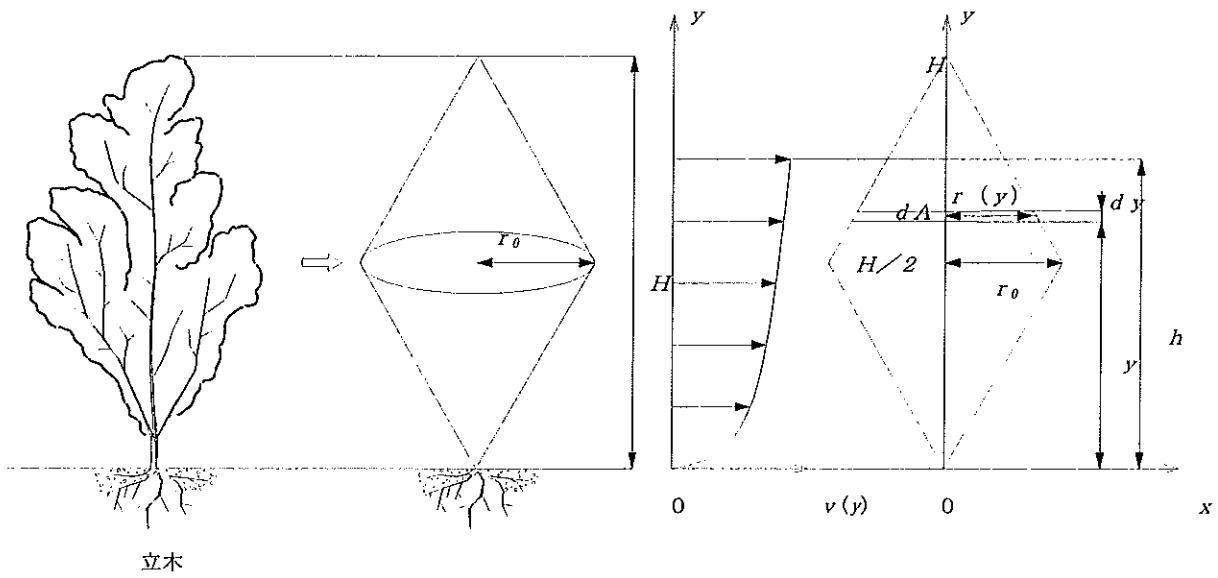


図-3.2 樹木の単純化モデル

図-3.2において、 H :樹高 [m], r :円錐の半径 [m]、である。円錐の半径は樹冠の表面積によるものと仮定し、

$$r = \sqrt{\frac{-H^2 + \sqrt{H^4 + \frac{16S^2}{\pi^2}}}{8}} \quad (3.9)$$

で与えられる。ただし、 S :樹冠の表面積 [m²], π :円周率、である。

倒伏破壊における推定限界値、すなわち倒伏限界モーメントは樹種によって様々だが、大きな差異がないので、

$$M_D = 2.5 D_*^{2.0} \quad (3.10)$$

で算定する¹⁰⁾。ただし、 M_D :倒伏限界モーメント [kgf·m], D_* :胸高直径 [cm]、である。

ここで、胸高直径は河床から 120cm の樹幹の直径である。(胸高直径については 3.2.2 を参照)

3.2.2 抜根破壊

抜根破壊における樹木一本の受ける流水抵抗力は、カワヤナギの流水抵抗特性、生長特性から得ることができる⁷⁾。まず、流水抵抗特性から葉一枚が受ける流水抵抗力を次式より、

$$p = 3.46 \times 10^{-6} v^{1.5} \quad (3.11)$$

を得る。ただし、 p :葉一枚が受ける流水抵抗力 [kgf]、である。ここでの平均流速 v の単位は [cm/s] である。

また、カワヤナギの生長特性から、(根元直径) ~ (樹齢), (樹冠の表面積) ~ (根元直径), (葉の枚数) ~ (樹冠の表面積) の関係が得られており、樹齢から樹木一本の葉の枚数を推定できる。その関係はそれぞれ、

$$D = 1.24 Y - 0.35 \quad (3.12)$$

$$S = 0.6 D^{1.8} \quad (3.13)$$

$$N = 720 S \quad (3.14)$$

である。ただし、 Y :樹齢 [歳], S :樹冠の表面積 [m²], N :葉の枚数 [枚]、である。

ここで、樹高の生長速度から 3 年目くらいまでは 1 m/年程度、その後は約 50cm/年であることより胸高直径は、

$$D_* = 1.24 \left(Y - \frac{7}{6} \right) - 0.35 \quad (3.15)$$

で算定できると考えられる。

そして、葉の枚数に葉一枚が受ける流水抵抗力を乗ずることによって、樹木一本が持つ流水抵抗力の算定が可能となる。すなわち、

$$P = pN \quad (3.16)$$

である。ただし、 P ：樹木一本が受ける流水抵抗力 (kgf)，である。

式 (3.11) ~ 式 (3.16) をまとめると次式のようになる。

$$P = 0.00149 v^{1.5} (1.24 Y - 0.35)^{1.8} \quad (3.17)$$

抜根における破壊の推定限界値は、根鉢の支持力 (P_C [tf]) によって求める。根鉢の支持力は苅住⁵⁾による根株にワイヤーロープをかけて水平に牽引した樹木の抜根試験と、この種の測定による他の研究者の資料から、根元直径との関係が得られている。 P_C は D の 1.65 乗に比例するとして、次式のように算定する。

$$P_C = b D^{1.65} \quad (3.18)$$

ここに、 b ：定数 であり、 $b = 0.016$ とした。これは安全側の下限式の値である。

第4章 富士川における樹木破壊の検討

4.1 河床横断面の形状を考慮した検討

4.1.1 河床横断面

図-4.1 のように、長方形幅広断面では全ての箇所に流れるため、平均的な破壊条件が全断面で算定される。これに対して、実河床横断面を考慮する。図-4.2 は河床横断面を 10m ずつに区切り、各区間内で河床高の平均をとり階段状にモデル化したものである。図-4.2 で出水が起こったとき、河床横断面では集中して流れる箇所や全く流れない箇所があり、それらの水が流れる箇所に棲息している樹木の流水の抵抗による破壊状況を検討していく。

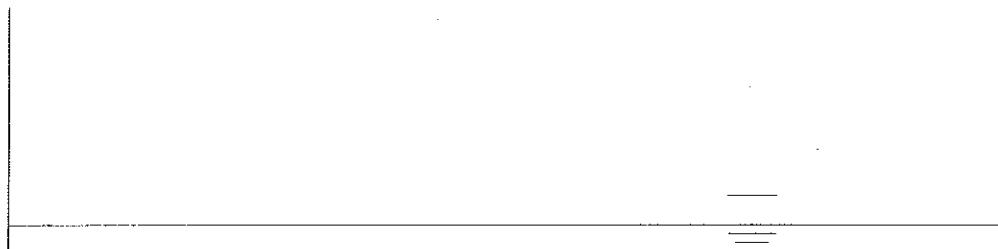


図-4.1 長方形幅広断面

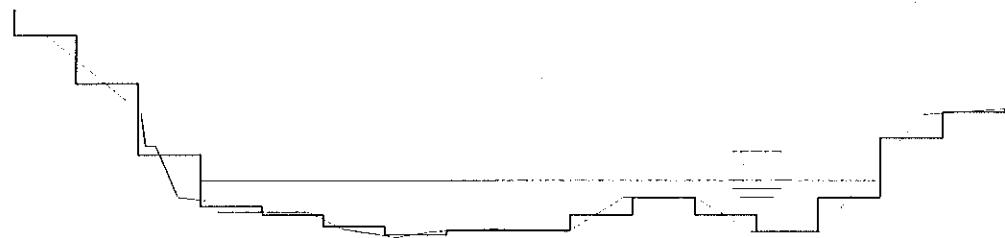


図-4.2 モデル化した実河床横断面

4.1.2 定義

次の仮定を基に破壊の作用値の算定を行う。

- (I) 樹木は樹齢 4 歳のカワヤナギが平面的に平均に存在するとする。
- (II) 等流で、ある流量を流したときに各断面の境界で生じる渦によるエネルギー損失は無視する。

4.2 釜無川と笛吹川の破壊状況の比較検討

釜無川 (K0, K10, …, K250) の各地点の河床横断面を図-4.2 のように 10m ずつに区切り、各区間内で河床高の平均をとり、階段状にモデル化し、流量 Q が 400, 800, …, 8800 [m³/s] と流れたときの破壊の作用値を算定する。同様に笛吹川 (F0, F10, …, F260) の各地点の河床横断面をモデル化し、流量 Q が 200, 400, …, 5000 [m³/s] と流れたときの破壊の作用値を算定する。笛吹川、釜無川での各地点の総断面数を N 、ある Q を与えたときに樹木が破壊する断面数を N_B として、破壊断面率 ($\alpha=N_B/N$) を倒伏破壊、抜根破壊ともに求める。図-4.3、図-4.4 にそれぞれ笛吹川、釜無川での計画高水流量 (Q_{100} [m³/s]) における破壊断面率の流下方向変化を示す。以下、倒伏 1、抜根 1 と呼ぶ。また、図-4.5、図-4.6 にそれぞれ笛吹川、釜無川の地点と水路断面幅 (B [m])、水路床勾配 (I) の関係を示す。

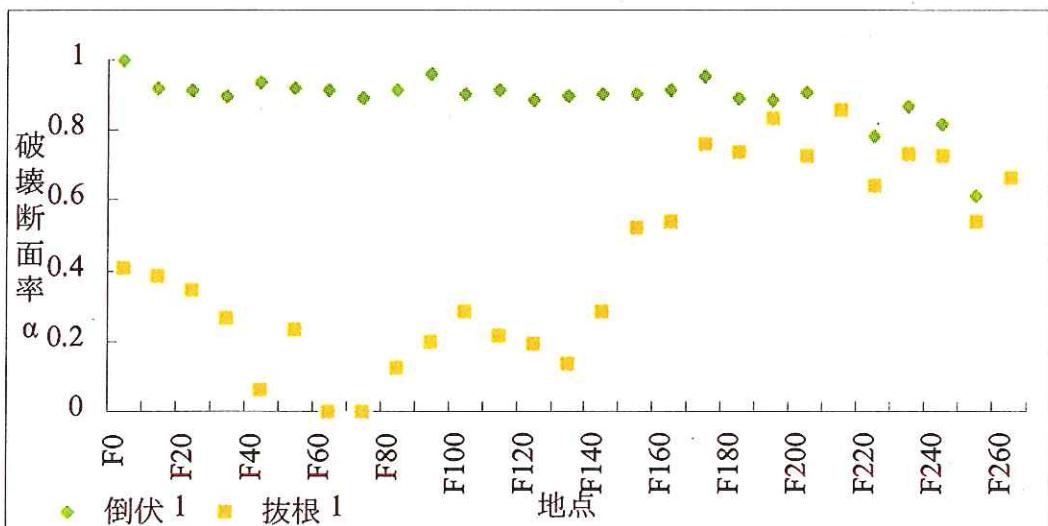


図-4.3 笛吹川における破壊断面率の流下方向変化

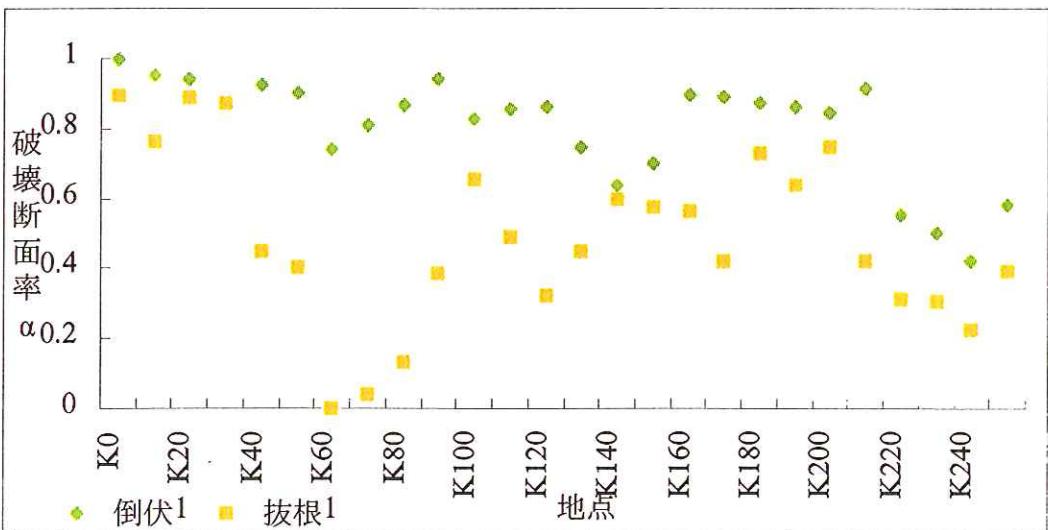


図-4.4 釜無川における破壊断面率の流下方向変化

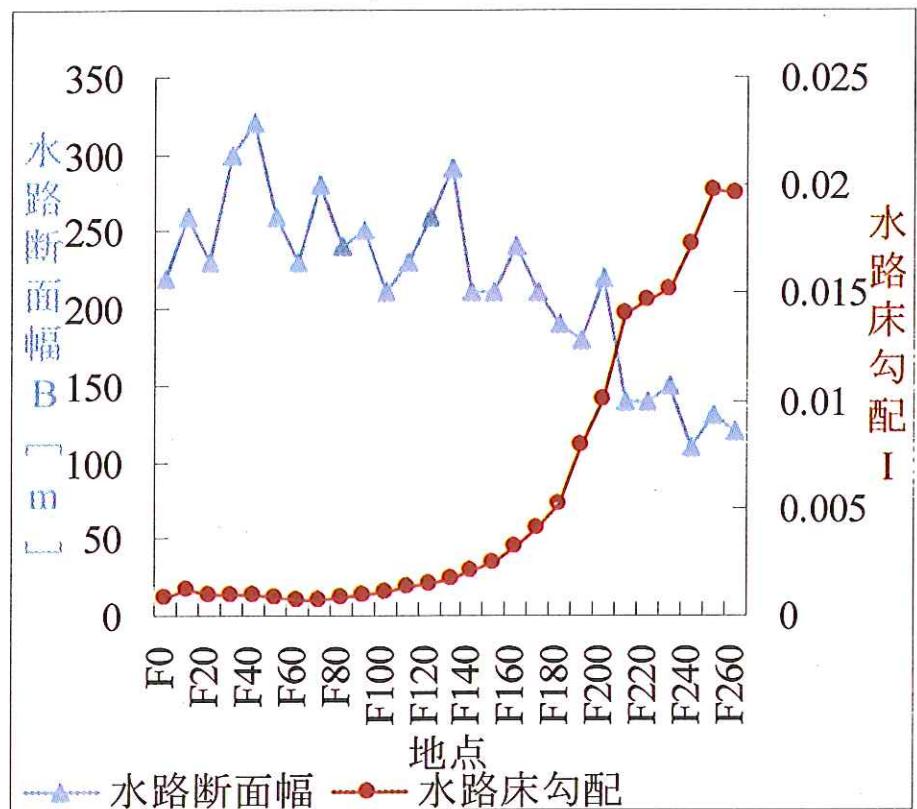


図-4.5 笛吹川の河道特性

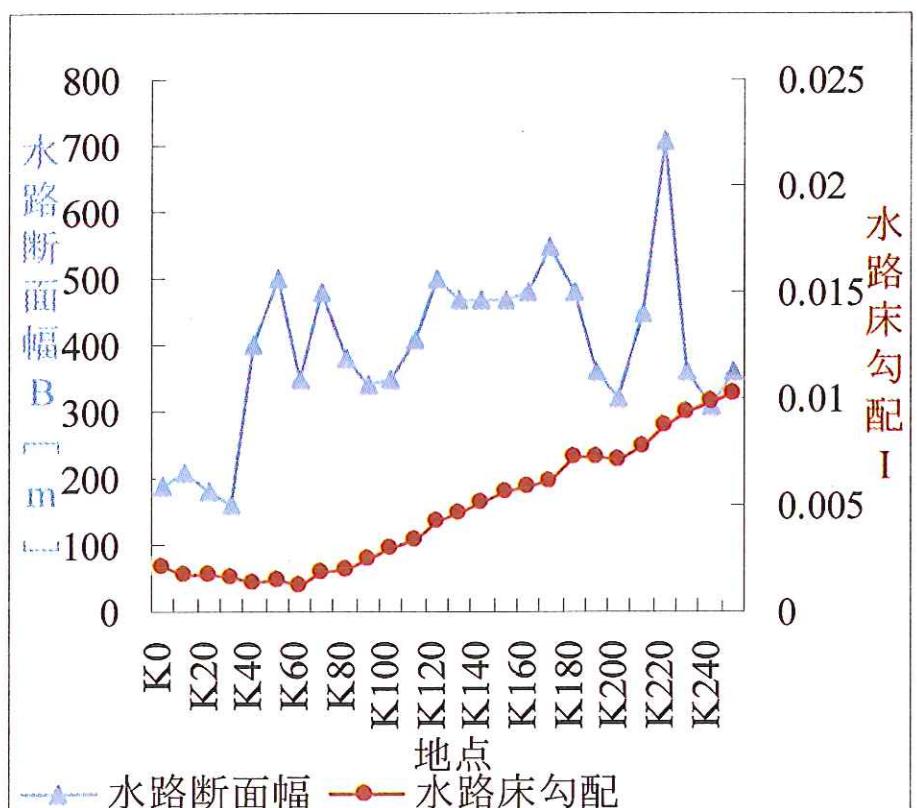


図-4.6 釜無川の河道特性

表-4.1 笛吹川の河道特性と計画高水流量

地 点	水 路 断 面 幅 [m]	水 路 床 勾 配	計 画 高 水 流 量 [m ³ /s]
F 0	220	1/1097	5800
F 10	260	1/818	
F 20	230	1/999	
F 30	300	1/1039	
F 40	320	1/1049	
F 50	260	1/1083	
F 60	230	1/1376	4700
F 70	280	1/1245	
F 80	240	1/1141	
F 90	250	1/978	
F 100	210	1/855	
F 110	230	1/764	
F 120	260	1/644	3600
F 130	290	1/557	
F 140	210	1/486	
F 150	210	1/410	
F 160	240	1/311	
F 170	210	1/246	
F 180	190	1/190	3200
F 190	180	1/127	
F 200	220	1/99	
F 210	140	1/71	
F 220	140	1/68	
F 230	150	1/66	
F 240	110	1/58	1600
F 250	130	1/51	
F 260	120	1/51	

表-4.2 釜無川の河道特性と計画高水流量

地 点	水 路 断 面 幅 [m]	水 路 床 勾 配	計 画 高 水 流 量 [m ³ /s]
K 0	190	1/471	8800
K 10	210	1/557	
K 20	180	1/575	
K 30	160	1/618	
K 40	400	1/716	
K 50	500	1/690	
K 60	350	1/767	
K 70	480	1/547	
K 80	380	1/494	
K 90	340	1/404	
K 100	350	1/328	4000
K 110	410	1/291	
K 120	500	1/236	
K 130	470	1/218	
K 140	470	1/196	
K 150	470	1/179	
K 160	480	1/171	
K 170	550	1/163	
K 180	480	1/137	
K 190	360	1/137	
K 200	320	1/140	3000
K 210	450	1/130	
K 220	710	1/115	
K 230	360	1/107	1700
K 240	310	1/101	
K 250	360	1/98	

表-4.1, 表-4.2 はそれぞれ笛吹川, 釜無川の各地点の河道特性と計画高水流量を示す。笛吹川各地点の計画高水流量における破壊断面率について、破壊の作用値で用いる算定式及び河道特性から検討する。図-4.5 より、笛吹川の河道特性は富士川（釜無川）合流地点 F0 から上流にかけて水路断面幅が狭くなり、水路床勾配が急勾配になる傾向にある。破壊の作用値は、倒伏が式 (3.8), 抜根が式 (3.17) より求める。算定式より、倒伏は平均流速 (v [m/s]), 水深 (h [m]) に依存しているため、倒伏の破壊断面率は図-4.3 のように各地点においてあまりばらつきが見られない。一方、抜根は平均流速 (v [m/s]) のみに依存している。そのため、上流域で流速は速くなり、破壊断面率の値が高くなつたと考えられる。

また、釜無川の破壊断面率を示した図-4.4 からでは笛吹川の破壊断面率を示した図-4.3 で見られる倒伏の破壊断面率が高く一定の値を取ることや抜根の破壊断面率が上流域に行くほど高くなるというような規則性が見られない。ここで図-4.5, 図-4.6 を比較すると、釜無川では水路床勾配 (I) の値は上流域に行くほど大きくなっているが笛吹川ほど大きな変化が見られない。また、釜無川での水路断面幅 (B [m]) は地点によって大きくばらつきがあり、一概には言えないが、傾向としては笛吹川とは逆に上流域に行くほど広くなっている。したがって、笛吹川のように上流域に行くほど平均流速 (v [m/s]) が大きくなるとは限らず、図-4.4 のように各地点によって倒伏、抜根ともに破壊断面率の値にばらつきが見られるのである。これらのことから、破壊断面率は河道特性を反映して変化することがわかる。

第5章 横断方向運動量輸送・樹木群を考慮した場合の理論的考察

5.1 複断面水路における横断方向運動量輸送の数値計算

前章までの検討では、複断面水路の隣り合う断面の周辺境界で生じる渦などによるエネルギー損失は無視している。ここでは、複断面水路の隣り合う断面の周辺境界のせん断力を考慮し、すべての小断面内において縦断方向に樹木が存在するとして樹木の破壊断面率を検討する。複断面水路の小断面内は定常な等流の流れとして、河床高さ、粗度、樹木による形状抵抗が横断方向に変化する流れの基礎方程式を次式で表す^{11) 12)}。

$$\rho g h I + \rho \varepsilon_{yz} h \frac{d^2 u}{dz^2} - \rho u_*^2 - \rho C_D \lambda h \frac{u^2}{2} = 0 \quad (5.1)$$

ここに、 g ：重力加速度 [m/s²]， ε_{yz} ：水深平均横断方向渦動粘性係数 [m³/s]， u ：抵抗を考慮した水深平均流速 [m/s]， u_* ：摩擦速度 [m/s]， λ ：樹木の面積密度 [m⁻¹]， dz ：横断方向位置 である。ここで、 $g = 9.81$ [m/s]， $C_D = 0.8$ とした。式 (5.1) を整理すると次式のようになる。

$$g I + \varepsilon_{yz} \frac{d^2 u}{dz^2} - \frac{u_*^2}{h} - C_D \lambda \frac{u^2}{2} = 0 \quad (5.2)$$

ε_{yz} は底面せん断と横断方向拡散に依存し、次式で表される。

$$\varepsilon_{yz} = \lambda_0 u_* h \quad (5.3)$$

ここに、 λ_0 ：横断方向の拡散係数 であり、数多くの研究及び実験により得られている¹¹⁾。その値は 0.08~0.179 であり、本研究では平均値の $\lambda_0 = 0.14$ を用いる。

u_* は等流条件から次式で表される。

$$u_*^2 = \frac{g n^2 v^2}{h^{1/3}} \quad (5.4)$$

ここに、 n ：粗度係数 [m^{-1/3}·s] であり、 $n = 0.03$ [m^{-1/3}·s] とした。 λ は図-3.2 のようなモデル化された樹木が、複断面水路の平面積 ($B_s \times B_s$ [m²]) の小断面内に平均的に存在するときの密度で次式によって得る。

$$\lambda = \frac{r}{B_s^2} j \quad (5.5)$$

ここに, B_s : 小断面の幅 [m], r : モデル化された樹木の円錐形底面の半径 [m], j : 小断面内に存在する樹木の本数 [本] である。ここで, B_s は図-4.2 のモデル化した実河床横断面を用いるため 10 m であり, 縦断方向の幅も B_s とした。したがって, λ は小断面に樹木が j 本平均的に存在するときの密度となる。複断面水路の隣り合う断面の周辺境界のせん断力を考慮し, すべての小断面内において縦断方向に樹木が存在するとして, 笛吹川, 釜無川の各地点のモデル化した実河床横断面で破壊断面率を求める。まず, 各地点の計画高水流量 (Q_{100} [m³/s]) が流れたときの u をこれから示す数値計算法により求め, u とそのときの h から倒伏, 抜根における破壊の作用値を算定して破壊断面率を求める。図-4.2 のように階段状にモデル化した実河床横断面から, 区切った小断面を左から 1, 2, 3, …, i , …, L としたものを図-5.1 に示す。

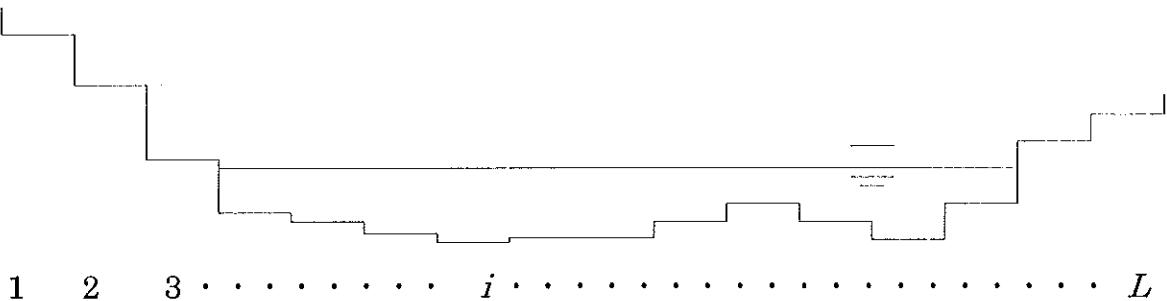


図-5.1 L 断面に区切ったモデル化した実河床横断面

続いて, 図-5.1 のような L 断面に区切ったモデル化した実河床横断面の i 番目の u を式(5.2)からそれぞれ求める。横断方向の運動量輸送を考慮するため i 番目の小断面内の u はその前後の $i-1$ 番目, $i+1$ 番目の小断面内の u の影響を受ける。そこで, 式 (5.2) に式 (5.3), 式 (5.4) を代入して次式のように差分化する。

$$\varepsilon_{yz} \frac{d^2 u_i}{dz^2} = \lambda_0 n \sqrt{g} \frac{1}{2} \frac{d^2 z}{dz^2} \left\{ \left(\frac{h_{i+1} + h_i}{2} \right)^{\frac{5}{6}} (u_{i+1}^2 + u_i^2) - \left(\frac{h_i + h_{i-1}}{2} \right)^{\frac{5}{6}} (u_i^2 + u_{i-1}^2) \right\} \quad (5.6)$$

ここに, u_i : i 番目の小断面内の抵抗を考慮した水深平均流速 [m/s], h_i : i 番目の小断面内の水深 [m] である。

$$u_i = v_i + v'_i \quad (5.7)$$

ここに, v_i : 水深平均流速 [m/s], v'_i : 抵抗により生じる流速差 [m/s] である。また, 式 (5.7) より

$$u_i^2 = \left(v_i + v_i' \right)^2 = v_i^2 + 2 v_i v_i' + v_i'^2 \quad (5.8)$$

式 (5.8)において、第3項は他の項に比べ微小なため無視した。したがって、 Q_{100} が流れたときの u_i , h_i の算定法は複断面水路の最大水深 (h_{\max} [m]) を与え、複断面水路の各小断面の河床高データ (h_i' [m]) から次式により h_i を求める。

$$h_i = h_{\max} - h_i' \quad (5.9)$$

その h_i のときの u_i を算定する。求まった u_i , h_i から次式より Q_n を求める。

$$Q_n = \sum (u_i h_i B_s) \quad (5.10)$$

ここに、 Q_n ：抵抗を考慮した流量 である。算定された Q_n が設定した Q となるまで h_{\max} を変化させて繰り返し数値計算を行っていく。その u_i , h_i を式 (3.8), 式 (3.17) に代入して倒伏、抜根の破壊の作用値を算定して破壊断面率を求める。本来ならば破壊限界を与える流量を超える流量時には樹木群が破壊された状態での破壊の作用値の算定を行うべきであるが、本論文ではこの種の解析の第一歩として樹木に働く流体力の代表値として立木状態の場合を考えて解析している。

5.2 樹木群が縦断方向に存在する場合の破壊断面率の検討

前節では複断面水路における横断方向運動量輸送の数値計算の方法を示した。本節ではそれを用いて複断面水路の隣り合う断面の周辺境界のせん断力考慮し、すべての小断面内において縦断方向に樹木が存在するとして樹木の破壊断面率を検討する。樹木群の密度については、複断面水路のすべての小断面内（ $10 \times 10 \text{ m}^2$ ）に樹木が 3 本平均的に存在するとした。図-5.2, 図-5.3 にそれぞれ笛吹川、釜無川での計画高水流量における破壊断面率の流下方向変化を示す。破壊断面率について、倒伏 1, 抜根 1 は樹木群が縦断方向に存在しない場合で第 4 章と同値である。倒伏 2, 抜根 2 はすべての小断面内において樹木群が縦断方向に存在する場合である。

図-5.2, 図-5.3 から破壊断面率を倒伏, 抜根について見ると、ほとんどの地点で同値、あるいは倒伏 1 より倒伏 2 のほうが大きく、抜根 1 より抜根 2 のほうが小さくなっている。これは、複断面水路の隣り合う断面の周辺境界のせん断力を考慮し、すべての小断面内において縦断方向に樹木群が存在するとしたことによって、流速が遅くなり、水深が深くなったためであると考えられる。その結果、流速、水深に依存している倒伏は、流水が樹木の投影面積 ($A [\text{m}^2]$) に占める割合が大きくなり、倒伏 2 の破壊断面率が大きくなる。また、流速のみに依存している抜根は、抜根 2 の破壊断面率が小さくなる。つまり、複断面水路の隣り合う断面の周辺境界のせん断力を考慮し、すべての小断面内において縦断方向に樹木群が存在することによって、出水による樹木の倒伏破壊は生じやすくなり、抜根破壊は生じにくくなることが分かった。

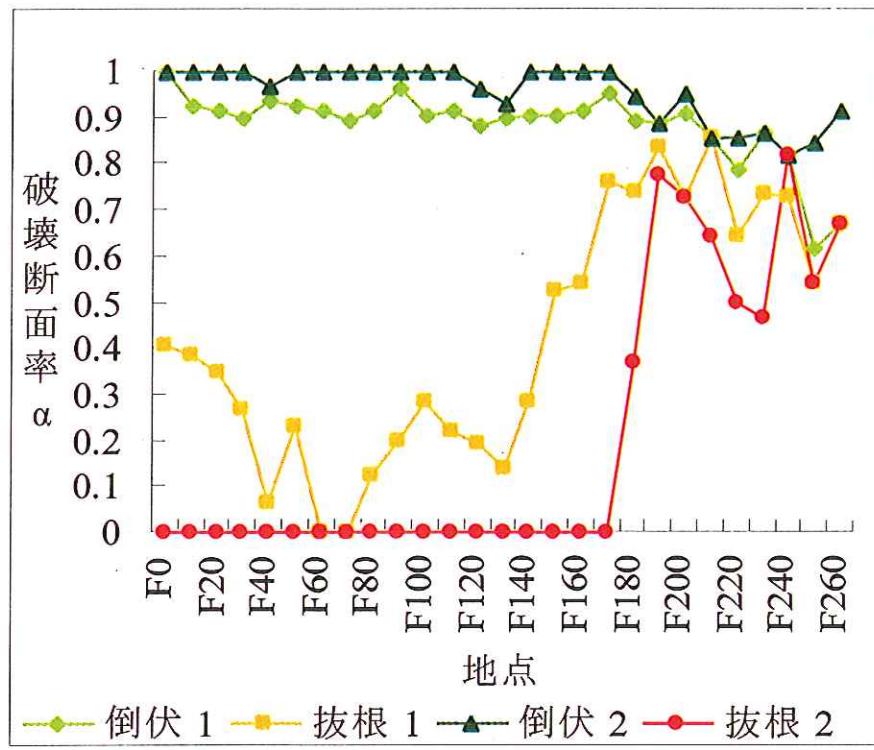


図-5.2 笛吹川における縦断方向に樹木群が存在する場合の
破壊断面率の流下方向変化

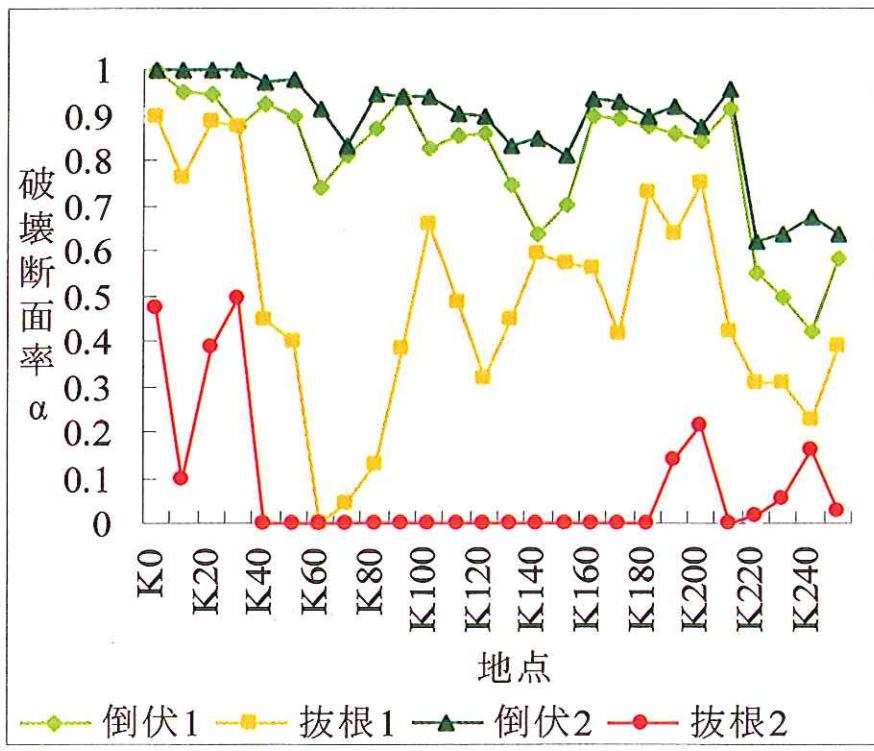


図-5.3 釜無川における縦断方向に樹木群が存在する場合の
破壊断面率の流下方向変化

5.3 航空写真による観測値との比較

5.3.1 木本類面積率変化量

また、航空写真よりデジタルデータを利用した河川植生の分布を調べる検討がなされている¹³⁾。1997年から1999年までの間で、存在する航空写真（1997年9月 建設省撮影、1998年12月、1999年11月 JANET 撮影）から釜無川、笛吹川の1区間（1Km）ごとの河道面積（R）、植生域の面積（a）、木本類の面積（t）、草本類の面積（g）、河面積（r）、裸地面積（n）を判読する。航空写真の概略図を図-5.4に示す。ただし、樹林の面積に関しては航空写真の中で読み取れるものに限り検討する。

植生域の面積（a）=草本類の面積（g）+ 木本類の面積（t）、河道面積（R）=植生域の面積（a）+ 河面積（r）+ 裸地面積（n），とする。

航空写真の判読により木本類面積率（A：単位河道当たりの河道面積に対する木本類面積の割合）を以下の式で算出する。

$$A = \frac{t}{R} \quad (5.11)$$

図-5.5、図-5.6にそれぞれ笛吹川、釜無川の木本類面積率の流下方向変化を示す。また、1997年、1998年の航空写真より判読した木本類面積率の差を木本面積率の変化量とする。図-5.7、図-5.8にそれぞれ笛吹川、釜無川での木本類面積率変化量の流下方向変化を示す。これらの図より釜無川に比べ笛吹川の方がこの間の木本類面積率の変化量が小さくなっていることが分かる。つまり、笛吹川の方がより樹木破壊が起こっていると考えられる。

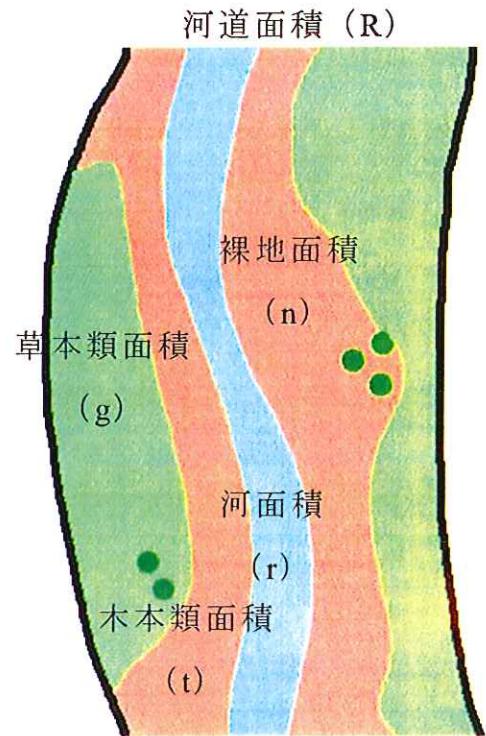


図-5.4 航空写真の概略図

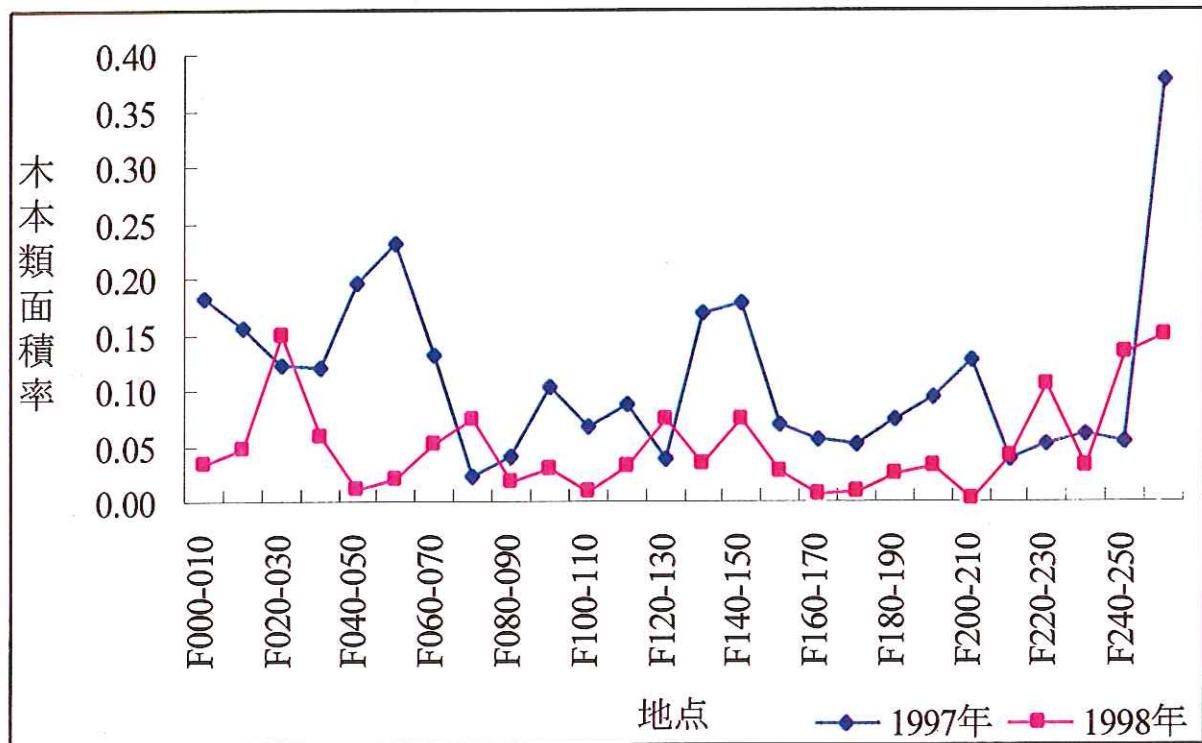


図-5.5 笛吹川での木本類面積率の流下方向変化

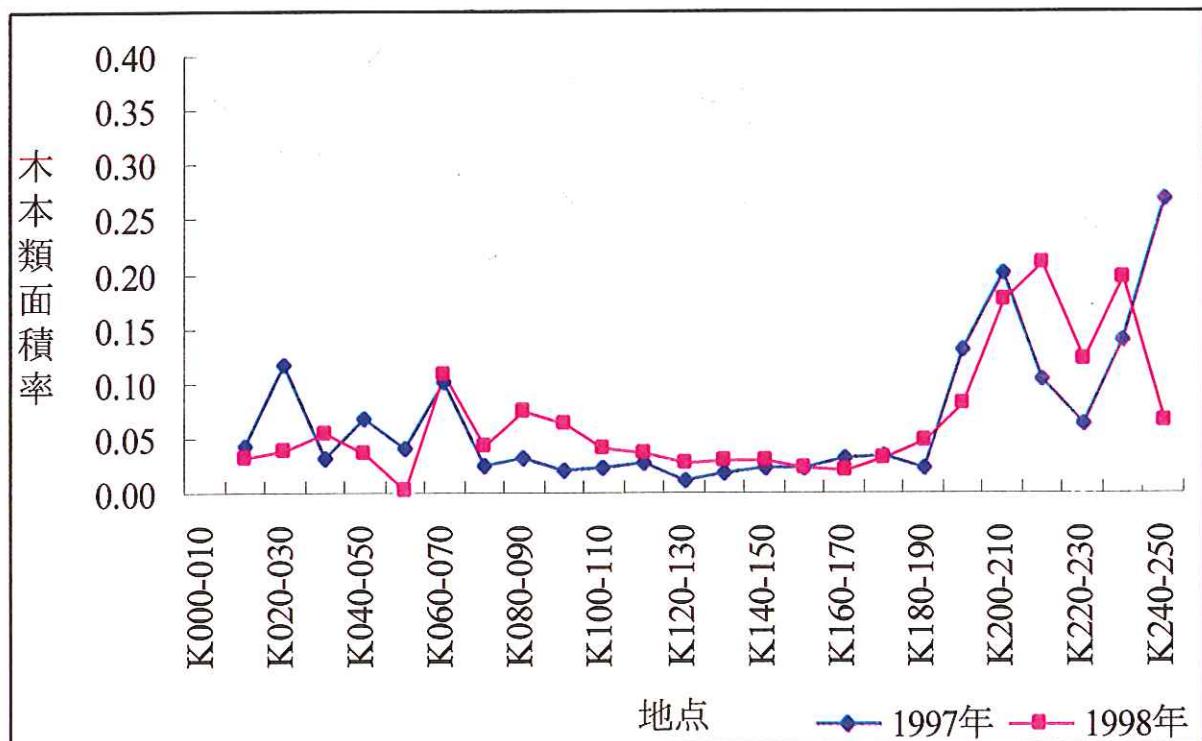


図-5.6 釜無川での木本類面積率の流下方向変化

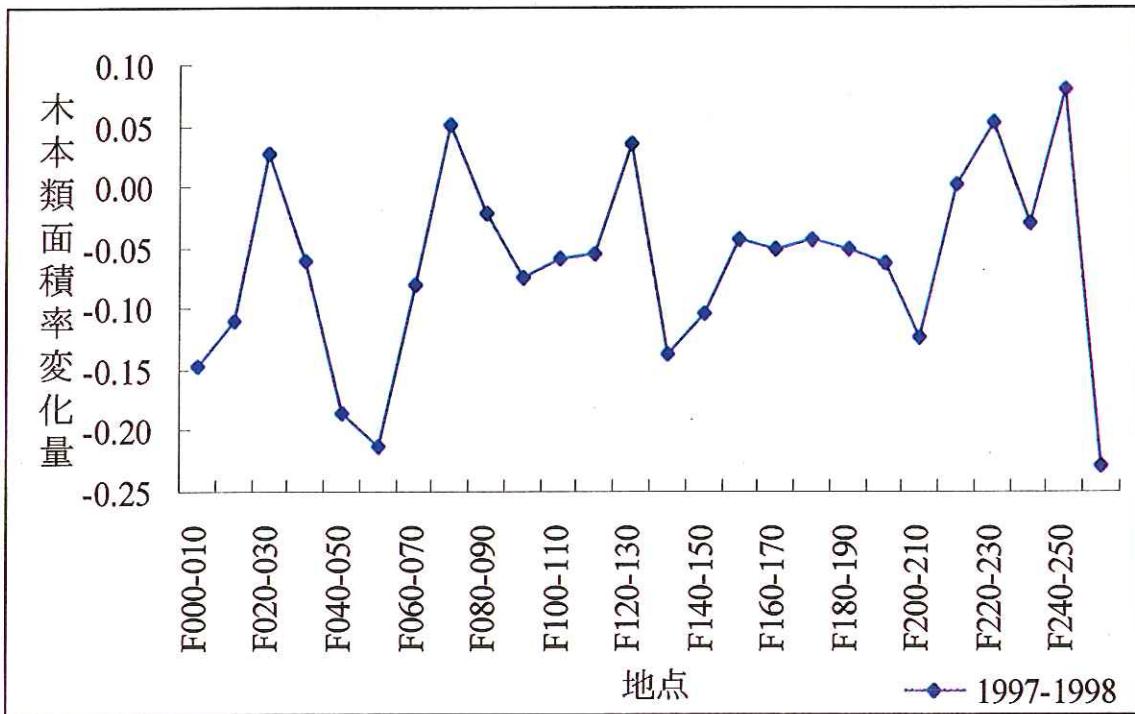


図-5.7 笛吹川での木本類面積率変化量の流下方向変化

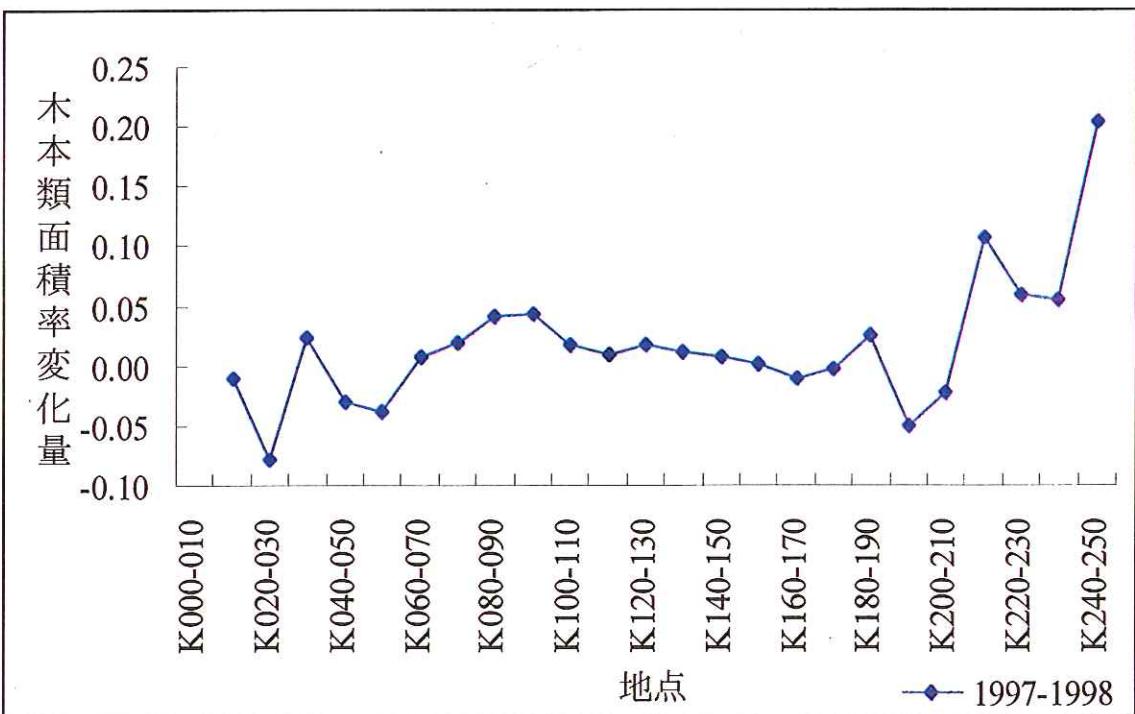


図-5.8 釜無川での木本類面積率変化量の流下方向変化

5.3.2 破壊断面率と木本類面積率変化量との比較

本章では、笛吹川及び釜無川において複断面水路の隣り合う断面の周辺境界のせん断力を考慮し、すべての小断面内において縦断方向に樹木群が存在する場合の破壊断面率について検討及び考察を行ってきた。また、それぞれの河川について航空写真を用いて1997年から1998年にかけての木本類面積率の変化量について述べてきた。本節では、実際の河川において樹木の増減をあらわした量である木本類面積率の変化量とこれまでに計算によって流水抵抗による樹木の破壊の割合を求めた破壊断面率とを比較検討する。検証する破壊断面率については複断面水路の隣り合う断面の周辺境界のせん断力を考慮し、すべての小断面内において縦断方向に樹木が存在する場合で、樹木の密度は複断面水路の小断面内に樹木が3本存在するとき抜根の破壊断面率、すなわち、抜根2の値を用いる。図-5.9、図-5.10にそれぞれ笛吹川、釜無川における抜根2の流下方向変化を示す。

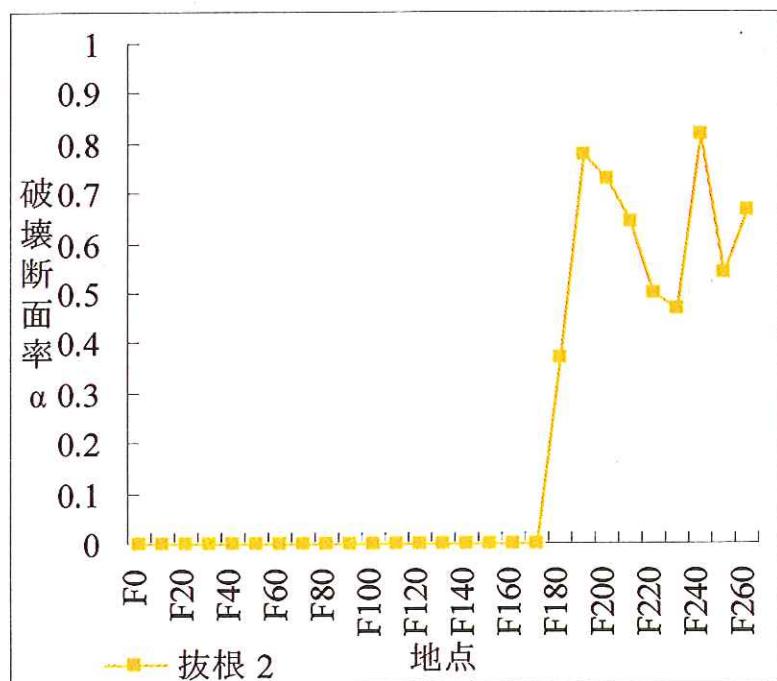


図-5.9 笛吹川における抜根2の流下方向変化

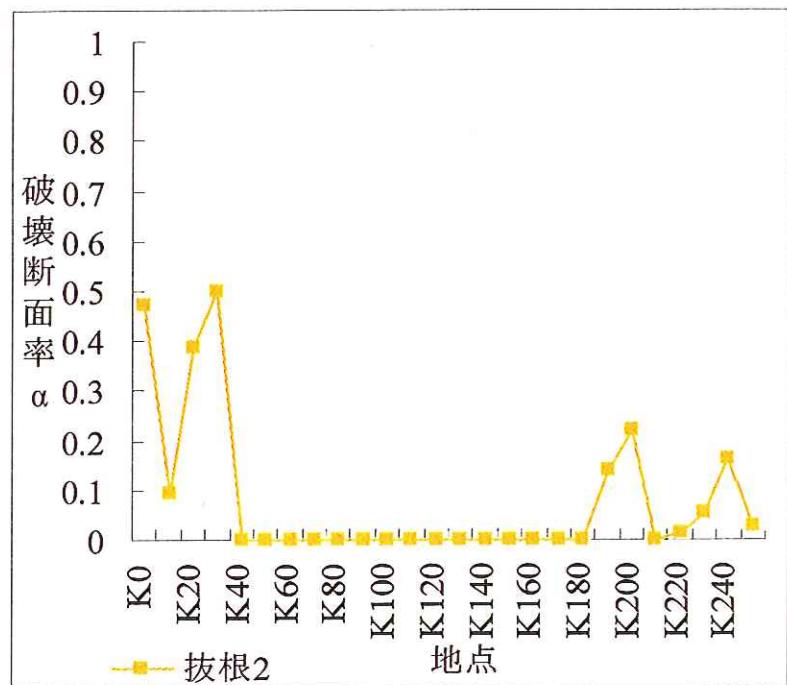


図-5.10 釜無川における抜根2の流下方向変化

木本類面積率の変化量と破壊断面率を比較する地点は図-5.9, 図-5.10より抜根2の値が大きかった笛吹川上流域, 釜無川上流域, 釜無川下流域とする。図-5.11, 図-5.12, 図-5.13にそれぞれ笛吹川上流域, 釜無川上流域, 釜無川下流域での抜根2と木本類面積率の変化量の関係を示す。

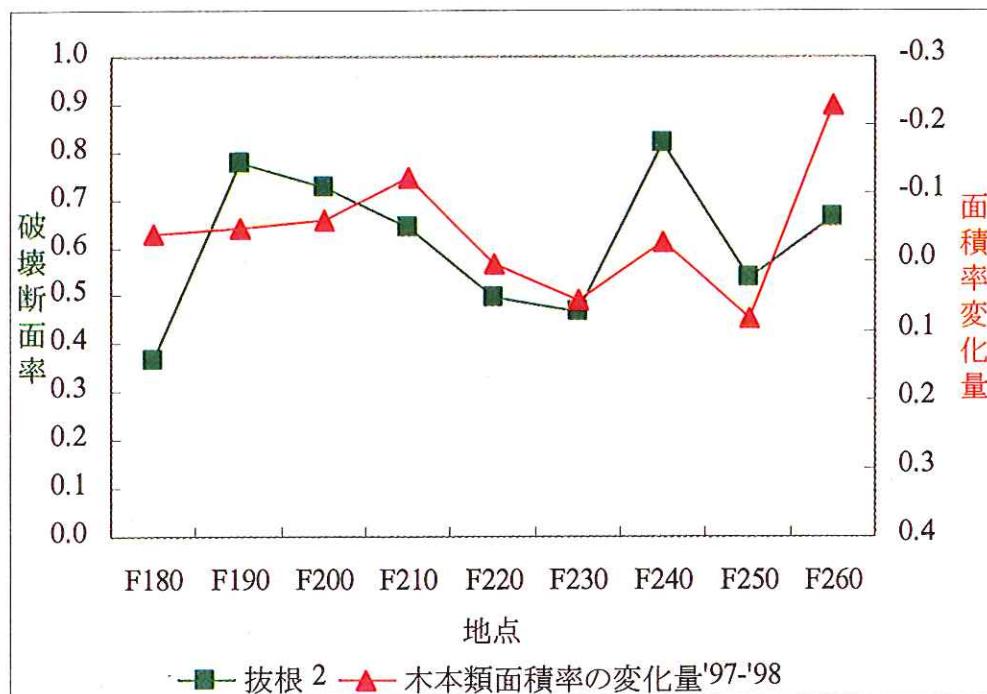


図-5.11 笛吹川上流での抜根2と木本類面積率の変化量の関係

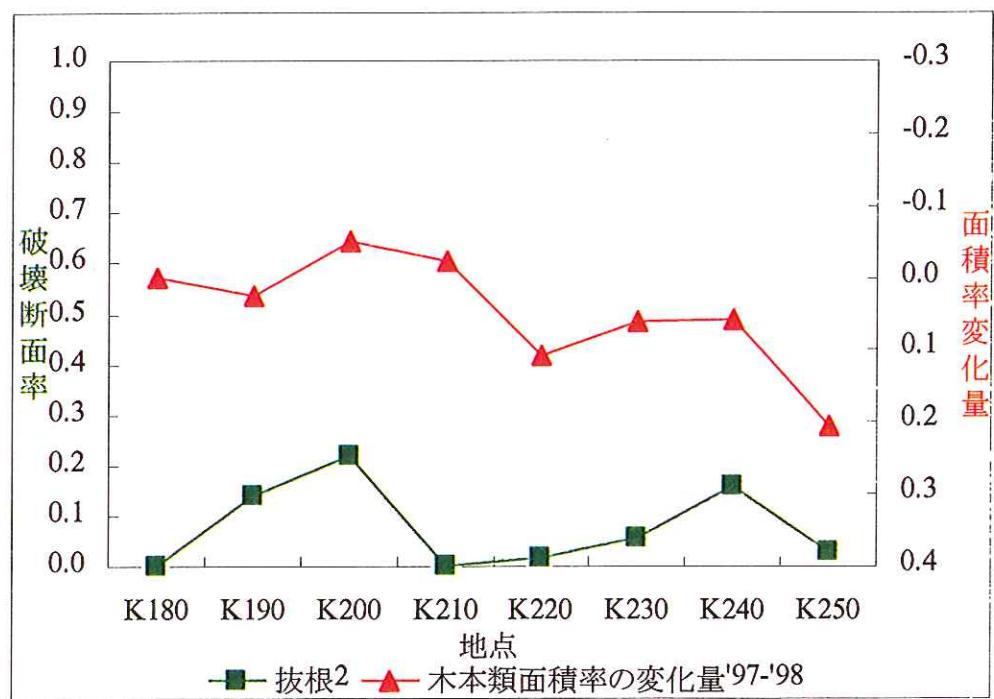


図-5.12 釜無川上流での拔根2と木本類面積率の変化量の関係

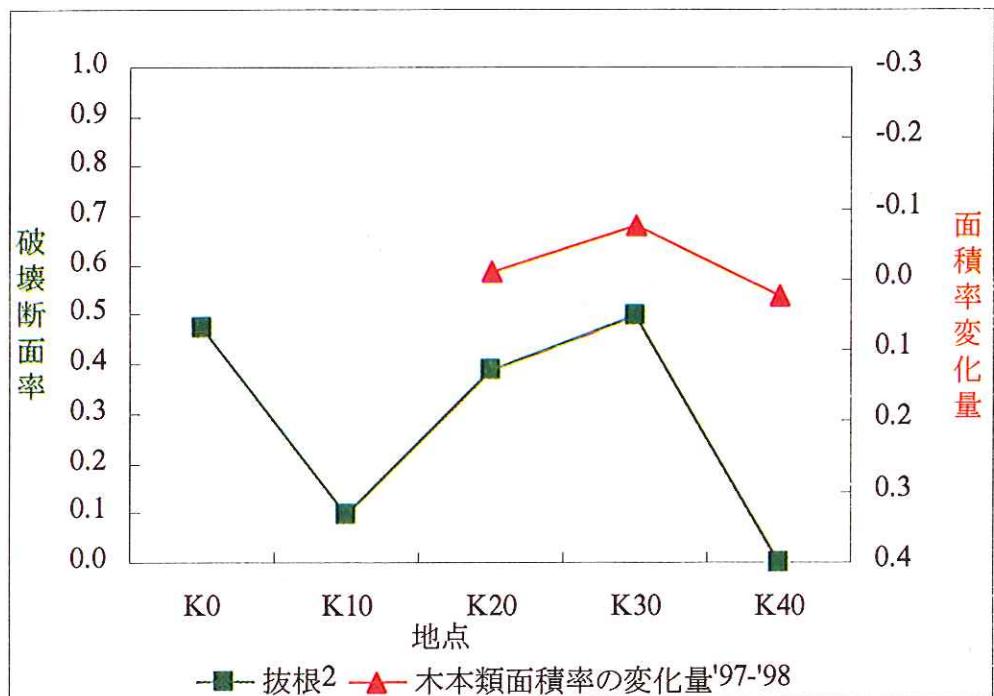


図-5.13 釜無川下流での拔根2と木本類面積率の変化量の関係

図-5.11 より笛吹川上流での抜根 2 と木本類面積率の変化量の関係は抜根 2 の値が高い地点では木本類面積率の変化量が負の値を、抜根 2 の値が低い地点では木本類面積率の変化量が正の値を取っている。さらに、地点間の抜根 2 の変動と木本類面積率の変化量の変動が同じような傾向となっている。また、図-5.12 より釜無川上流域においても笛吹川上流域ほど木本類面積率の変化量の減少が見られないものの、地点間の両値の変動が同じような傾向となっている。また、図-5.13 より釜無川下流域においてもデータ不足のため比較する地点が少ないが同様のことが言える。したがって、抜根 2 の高い地点では木本類面積率の変化量が減少、もしくは他の地点より木本類の増加が少なくなっていることがわかる。しかし、釜無川の K210 地点のように木本類面積率の変化量が負の値を取っているのに対し抜根 2 の値が 0 になっている。この要因として抜根 2 を求める際、対象樹種を樹齢 4 歳のカワヤナギとしているので実河川において存在する木本類の種類、大きさの違いなどが考えられる。また、5.3.1 節で示したように木本類面積率の変化量は例えば K0 地点から K10 地点までの区間つまり平面の情報で求めているのに対し、抜根 2 は 1 地点ごとに求めている。この両値の条件をより合わせて比較するために、抜根 2 において例えば K0 地点から K10 地点までの平均を取った値を K10 地点での破壊断面率として、再度木本類面積率の変化量と比較した。図-5.14、図-5.15 にそれぞれ釜無川上流域、下流域でのその関係を示す。

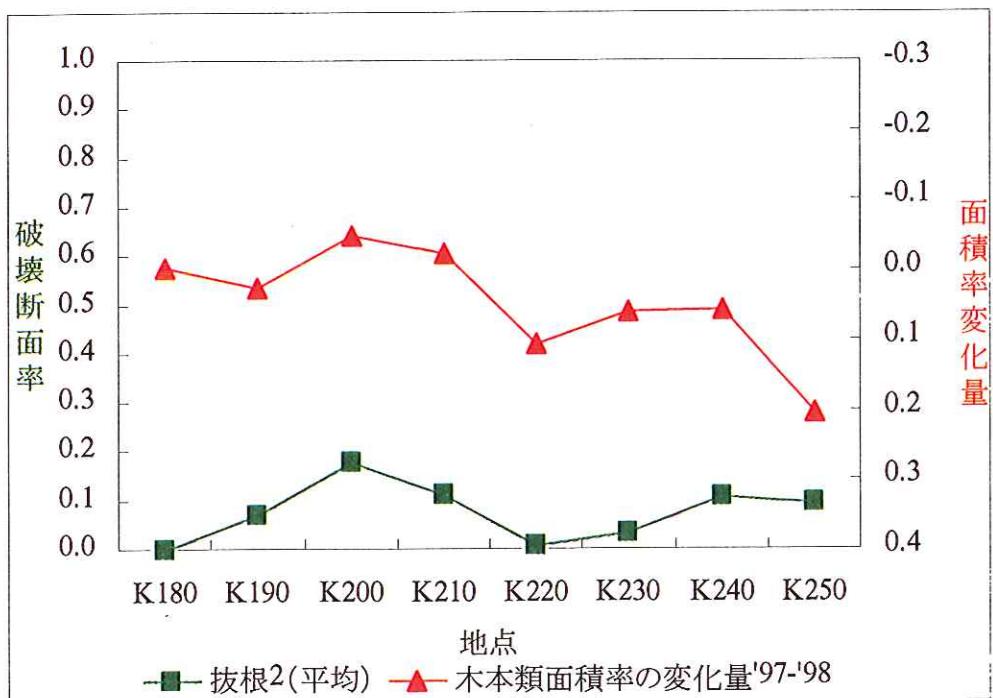


図-5.14 釜無川上流での抜根 2 (平均) と木本類面積率の変化量の関係

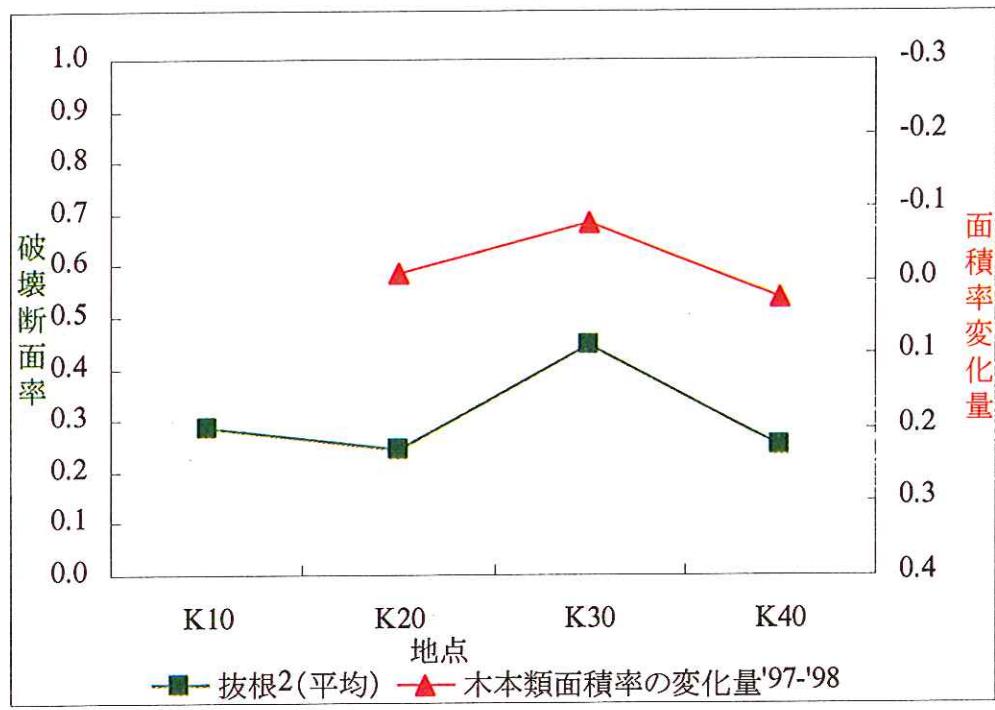


図-5.15 釜無川下流での抜根2（平均）と木本類面積率の変化量の関係

図-5.14, 図-5.15 より先に述べたことと同様に地点間の抜根2の変動と木本類面積率の変化量の変動が同じような傾向となっている。抜根2を2地点で平均を取り、樹木の破壊断面率と木本類面積率の変化量と比べることで、地点と平面の情報を相互に緩和させ、より良い条件で比較できたと考えられる。

5.3.3 樹木群が存在する断面の設定

前章までは小断面内の流速、水深を求める際、樹木群がすべての小断面内に平均的に存在すると仮定し、それから破壊断面率を算出してきた。しかし、実河川において樹木が存在する箇所は砂州や高水敷など限られた断面である。そこで河道の特徴的な横断面形を反映させるために樹木の破壊に大きく関係する濁筋を中心とする仮想的な座標に変換し、濁筋からの距離による植生分布の変化を調べたものを利用し樹木の存在する断面を設定した¹³⁾。まず、図-5.16のような水域、草本類域、木本類域、裸地域に区分された河道区間を図-5.17のように濁筋を直線化する。図中の色分けは右岸草本類、左岸草本類、中州、水域、木本類をそれぞれ赤色、黄色、桃色、水色、黒色である。

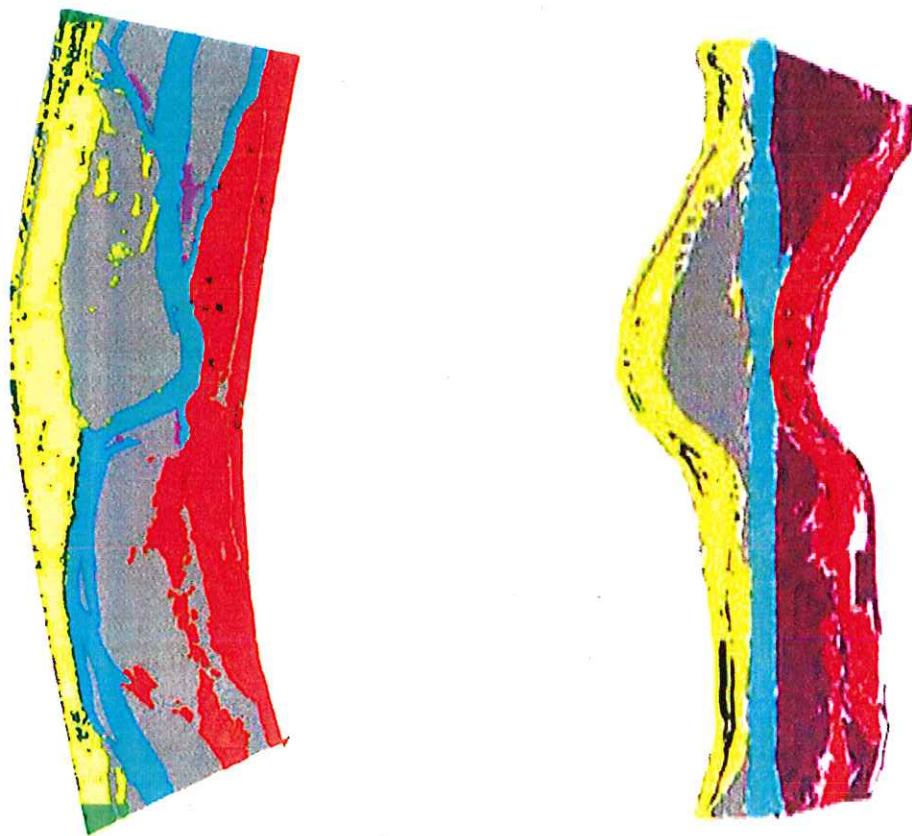


図-5.16 水域、草本類域、木本類域、裸地域に区分した河道区間

図-5.17 濁筋を直線化した
河道区間

図-5.17より直線化された濁筋を中心として河道区間内の木本類の横断分布を示す。図-5.18、図-5.19にそれぞれ釜無川 K20 地点、K210 地点での濁筋の中心を座標系の中心とした木本類の横断分布を示す。

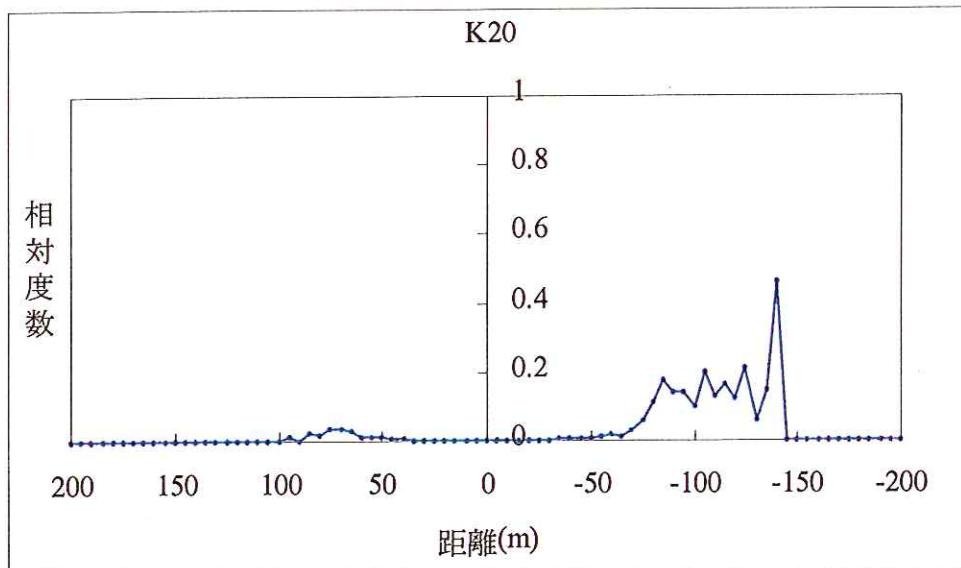


図-5.18 K20 での擗筋を中心とした木本類の横断分布

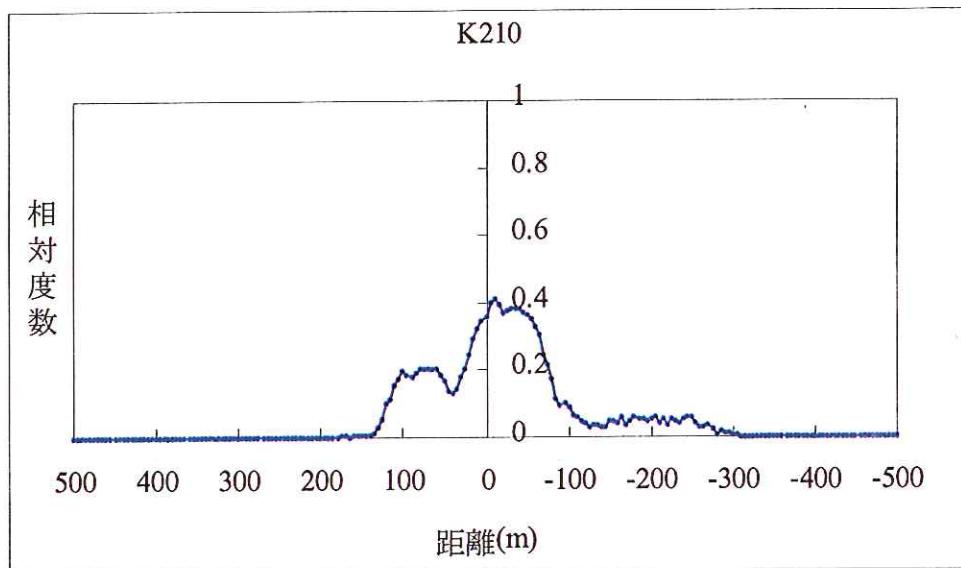


図-5.19 K210 での擗筋を中心とした木本類の横断分布

図-5.18, 図-5.19 より K20 地点では擗筋から離れた断面に樹木群が存在し, K210 地点では擗筋に近い断面に樹木群が存在していることがわかる. また, 樹木群の密度も断面によって様々である. これらの情報を図-4.2 のモデル化した実河床横断面図に取り入れる. 図-5.20, 図-5.21 はそれぞれ K20 地点, K210 地点での樹木の横断分布を示す. 縦軸は小断面内の樹木の本数を示す. また擗筋は航空写真より判読し, K20 地点では No.9 (左岸より右岸方向へ 90m の断面), K210 地点では No.24 (左岸より右岸方向へ 240m の断面) に存在する.

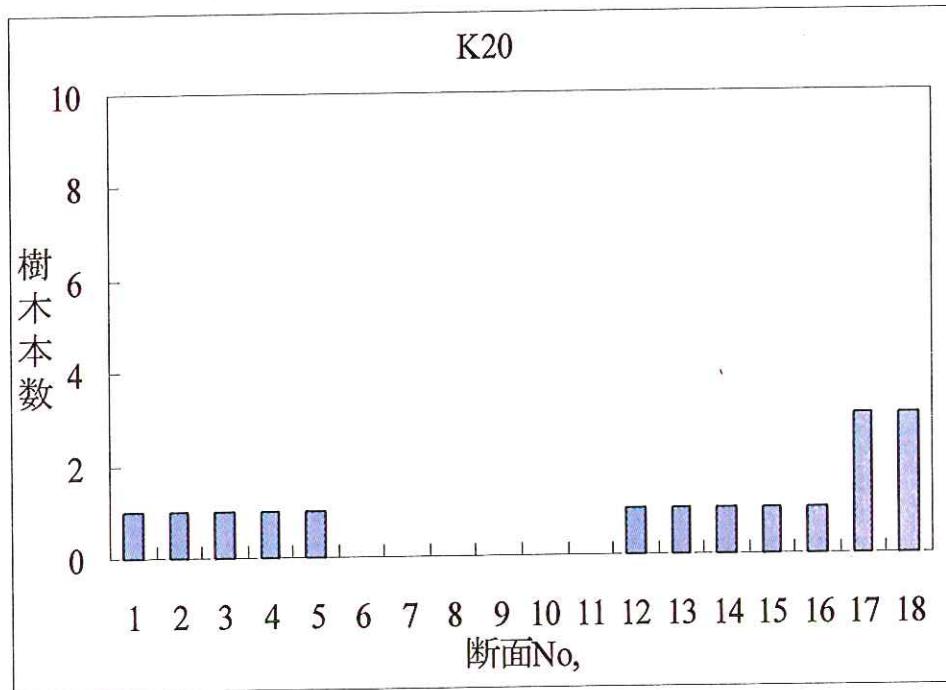


図-5.20 K20 での樹木の横断分布

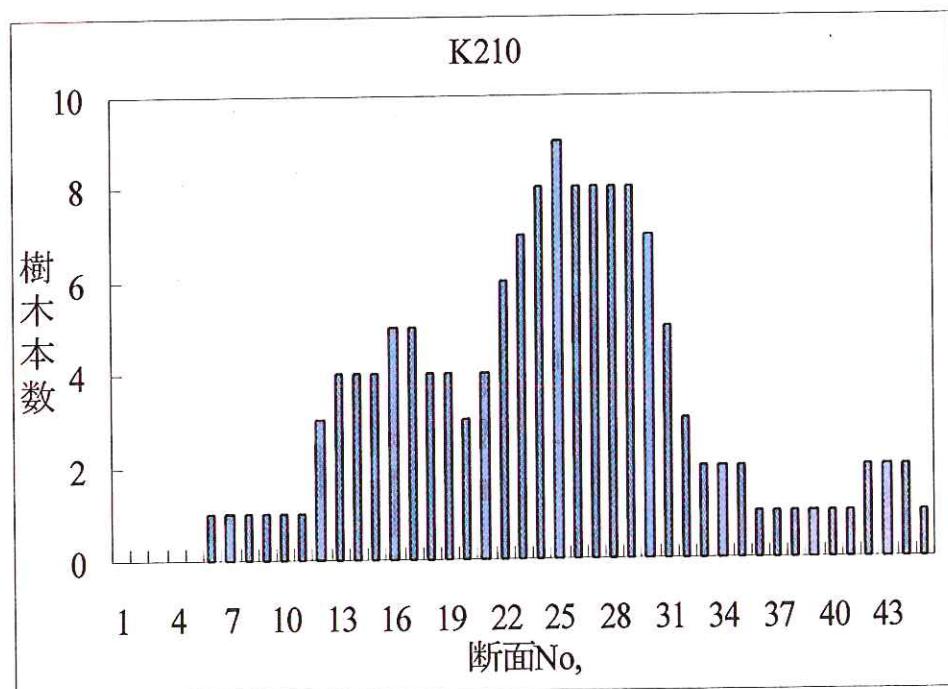


図-5.21 K210 での樹木の横断分布

このような作業を釜無川 K0 地点から K250 地点までの全 26 地点で行う。さらに地点ごとに樹木群の横断分布の情報を組み入れて、再度釜無川全域での計画高水流における樹木の破壊断面率を算出した。この方法で求めた抜根の破壊断面率を抜根 3 とした。抜根 2 は前述した複断面水路の隣り合う断面の周辺境界のせん

断力を考慮し、すべての小断面内において縦断方向に樹木が存在する場合で、樹木の密度は複断面水路の小断面内に樹木が 3 本存在するとき抜根の破壊断面率である。図-5.22 に釜無川全流域の抜根 2 と抜根 3 を示した。尚、抜根 2、抜根 3 とともに平面の情報に合わせるために前後の地点 2 地点の平均を取った値を示している。また、木本類面積率の変化量はこれまでと同様に 1997 年から 1998 年にかけての値である。

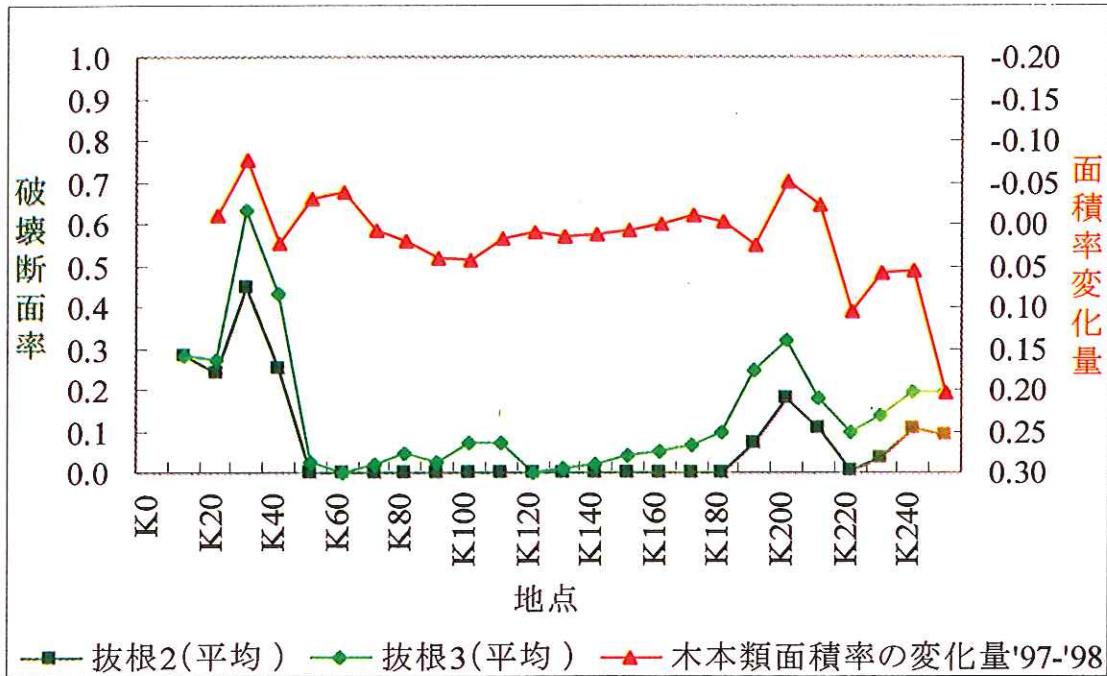


図-5.22 釜無川での抜根 2、抜根 3、木本類面積率の変化量の
流下方向変化

図-5.22 より抜根 2 と抜根 3 を比較するとほとんどの地点で抜根 3 の方が高くなっている。これは図-5.20、図-5.21 より分かるように樹木が存在しない断面があることによって流速が速くなり、その影響を受け隣り合う断面も流速が速くなり樹木の抜根破壊が起こりやすくなったためであると考えられる。また、抜根 2 での小断面内の樹木の本数 3 本より抜根 3 での小断面内の樹木の本数が多い断面があるにもかかわらず、抜根 2 の方が高い地点が見られないので、樹木の本数より樹木の有無の方が抜根の破壊断面率に大きくかかわることが分かる。木本類面積率の変化量と抜根 3 を比較すると上流域、下流域では抜根 2 と同様に破壊断面率が高い地点では木本類面積率の変化量が減少、もしくは他の地点より木本類の増加が少なくなっていることがわかる。

また、木本面積率の変化量の増減が見られたが抜根 2 では値が見られなかった中流域でも抜根 3 では微小であるが破壊断面率が高くなり、ある程度は木本類面積率の変化量の変動と似た変動を取っている。このことより、樹木群の存在する断面を設定することにより、釜無川全域での破壊断面率と木本類面積率の変化量との比較が可能となった。

)

)

第6章 結論

本論文では河辺林の耐破壊性、耐侵食性などに関する他の研究者を含めた既往の研究成果を集約して、河道全体の総合的樹林管理の視点から河道内樹木の破壊の程度を予測する手法の開発をめざした。まず、河道内において考えられる樹木破壊の形態を分類・定義した後、代表的な破壊形態の場合に注目し、破壊の作用値及び破壊の推定限界値の推定を水理学的に行った。次に、笛吹川、釜無川において実河床横断面の形状を考慮して、仮想樹木の破壊断面率の検討を行い、笛吹川と釜無川での計画高水流量における破壊断面率を比較した。続いて、複断面水路の隣り合う断面の周辺境界のせん断力を考慮し、すべての小断面内において縦断方向に樹木が存在するとして笛吹川、釜無川において樹木の破壊断面率を検討した。加えて、実河川において樹木の増減をあらわした量である木本類面積率の変化量と計算によって流水抵抗による樹木の破壊の割合を求めた破壊断面率とを比較検討した。さらに、河道の特徴的な横断面形を反映させさせるために樹木の破壊に大きく関係する濾筋を中心とする仮想的な座標に変換し、濾筋からの距離による植生分布の変化を調べたものを利用し樹木の存在する断面を設定した。その結果以下のようないくつかの結論が得られた。

- (1) 笛吹川での計画高水流量における破壊断面率について、倒伏による破壊は地点によって変動が見られるがそれほど大きくなく平均的に高い値を示し、抜根による破壊は中・下流域から上流域になるにつれて高くなる傾向がある。その要因として、中・下流域に比べ上流域は水路断面幅が狭く、河床が急勾配であるためである。
- (2) 釜無川での計画高水流量における破壊断面率について、倒伏、抜根とともに地点により大きなばらつきが見られた。これは、笛吹川のように上流域のほうが水路断面幅は小さく水路床勾配が急勾配であるといった規則的な変化が見られず、特に、水路断面幅の地点によるばらつきが大きな要因として考えられる。
- (3) (1), (2) より、破壊断面率は水路断面幅、水路床勾配などの河道特性によって大きな影響を受けることがいえる。
- (4) 複断面水路の隣り合う断面の周辺境界のせん断力を考慮し、すべての小断面内において縦断方向に樹木が存在するとして笛吹川、釜無川において樹木の破壊断面率を検討した。

面内において縦断方向に樹木が存在する場合と、周辺境界のせん断力、樹木群を考慮しない場合とを比較したところ倒伏破壊の破壊断面率は考慮した方が高くなり、抜根破壊の破壊断面率は考慮しない方が高くなつた。これは、周辺境界のせん断力、樹木群を考慮することによって流速が遅くなり、水深が深くなつたためである。

- (5) 航空写真の判読によって求めた木本類面積率の変化量と破壊断面率とを比較したところ、木本類面積率の増減の傾向と破壊断面率の変化の傾向と比較的よく一致し、ここでの推定方法が大枠で妥当なものであると示された。
- (6) 航空写真を判読して求めた木本類の横断分布より樹木の存在する断面を設定した結果、より実河川に近い状況で樹木の破壊断面率を求めることができたと考えられる。

【総括】

この種の研究では、単一の樹木を対象とする場合に比べ、より多くの不明確な要素が関係してくる。樹木の種類、樹齢もしくはスケール、樹木の耐破壊特性、季節、河床材料特性、河床形態およびそれに伴う濁筋の変遷、などがそれである。ここでは、これらのうち代表的かつ基本的な要素を取り上げ、できるだけ簡潔な扱いで河川全域での樹木破壊を記述する枠組みを把握したいと考えてきた。樹木群の存在する断面を設定することは簡潔に扱うという点に反するが、簡潔かつより実河川に近い状況で樹木の破壊状況を再現するということを目指して今回このような検討を行つた。今回樹木の破壊断面率を求める際のデータは樹木の横断分布、河床横断面形状とともに一年分のデータを用いてきた。今後、数年のデータで破壊断面率を求め年ごとに比較することで、本研究の大きな目標である、河川全域での河道内樹林の破壊規模の将来予測が可能になる。

参考文献

【引用文献】

- 1) 河川環境管理財団：河川の植生と河道特性，河川環境総合研究所資料第1号，1995.
- 2) 辻本哲郎：手取川扇状地区間の河原の植物群落と河道特性，金沢大学日本海域研究所報告，第25号，pp.83-99，1993.
- 3) 岡部健士，鎌田磨人，湯城豊勝，林雅隆：交互砂州上の河状履歴の相互関係－吉野川における現地調査－，水工学論文集，Vol.40，pp.205-212，1996.
- 4) 砂田憲吾，岩本尚，松崎実：河川植生の水平・鉛直分布と河道特性に関する調査解析，水工学論文集，Vol.40，pp.193-198，1996.
- 5) 荏住 昇：樹木根系図説，誠文堂新光社，pp.101-114，1991.
- 6) 渡邊康玄，三谷修司：鶴川 KP14.1～KP15.2における河道内植生の変遷と平成4年8月洪水による河道内樹木の倒伏状況調査，開発土木研究所月報，No.483，pp.55-69，1993.
- 7) 石川忠晴：水制と灌木が一体となった半自然的河川構造物に関する基礎的研究，平成4年度科学研費補助金研究成果報告書，pp.5-61，1994.
- 8) 河野逸朗：出水時における河道内樹木の破壊条件に関する基礎的研究，修士論文
- 9) 日野幹雄：流体力学、朝倉書店，pp.316-317，1992.
- 10) 建設省河川局治水課：河道内樹木の伐採・植樹のためのガイドライン（案），山海堂，pp.20-35，1994.
- 11) 池田駿介，泉 典洋：浮遊砂の横断方向拡散係数について，土木学会論文集，No.434/II-16，pp.47-55，1991.
- 12) 富永晃宏，長尾正志，劉 健，鈴木徹也：洪水流の抵抗と流れ構造に及ぼす高水敷樹木群の配置の影響，水工学論文集，Vol.39，pp.477-482，1995.
- 13) 飯田祥二，砂田憲吾，大石哲：河川植生の分布特性の計量とその河道水理特性の関係について，水工学論文集，Vol.46，pp.941-946，2002.

【参考図書】

- 1) 建設省甲府工事事務所：富士川，1990.
- 2) 建設省甲府工事事務所：信玄堤，1990.
- 3) 建設省甲府工事事務所：粘土築案内板，1990.
- 4) 建設省甲府工事事務所：富士川の治水を見る，1990.
- 5) 西宮克彦：富士川をさぐる、大日本図書，1978.
- 6) (財) リバーフロント整備センター：まちと水辺に豊かな自然を－多自然型建設工法の理念と実際、山海堂，1990.
- 7) (財) リバーフロント整備センター：まちと水辺に豊かな自然をⅡ－多自然型川づくりを考える、山海堂，1992.

第 3 部

IKONOS データを用いた河川植生分布の把握に関する研究

第1章 序論

1. 1 背景

河道内に棲息する植生は、昆虫、鳥類、小動物及び魚類など様々な生物の棲息の場を提供していることから、その植生状態の認識と把握は河川環境に関する中心的な課題の一つと考えられる。これまで、流水の管理の立場からは河川植生の持つ付加的な抵抗の作用に関心が寄せられ、植生域そのものが河道特性の要素として考えられてきた。その植生状態を計画的に管理することは容易ではない。その植生は河川の流れに影響を及ぼす一方で、時間的、空間的に様々に変わる河川の諸条件によって大きな制約を受ける。発生の契機が自然のものであっても、周囲の種と河川の水位と流れ及び気候の影響を受けながら繁茂と衰退を繰り返し遷移していく。河川の計画規模が200年であるならば、少なくとも200年の時間的スケールで起こる植生の遷移の範囲はどうなものだろう。こうした長期的トレンドの課題の検討に対しては、植物生態学的立場やミクロな水理学的考察の立場からのみの取り扱いでは直接的に計画や管理の方策を得るのは容易ではない。この場合には現象を支配する適切な外力指標としての「平均水理量」との関係が議論される必要がある。すなわち、河道状況や水文条件、流砂量条件などの変化が植生の繁茂や破壊に及ぼす影響を幾つかの代表的な水理指標で記述して抽象化するアプローチが必要と考えられる。この方法は大小のスケールの現象が関係するいわゆるメソスケールを対象とすることになり、これまで検討が遅れているが、管理実務の立場からは最も直接的かつ有効な知見が得られる可能性がある。適当な幾つかの水理パラメータと水文条件（流量変化）などを用いて植生分布の変化や遷移が抽出できれば、植生分布長期モデルの構築も現実的なものとなる。

1. 2 従来の研究

河川植生の研究は、降水量や地形の関係から河川植生を研究する条件が必ずしも整っているとは言い難く、河道内の自然植生に関する研究は少ない。

河川植生に関する研究は、そこに発達する群落を認識し、群落の成立に関わる環境や洪水などの環境変化に対する立地の安定度を把握することからはじまる。そして現在に至るまで、植物群落の分布や配列に関する研究に対して、種組成から群落を分類

する研究、いわゆる植物学的研究により各地域単位で様々な群落が報告されている。また、植生繁茂機会が出水頻度や流送土砂条件に支配されることから、まずその水系全体の土砂動態の予測・評価方法が検討されている。また、植生域を濁筋の変化から推定し植生域と河道特性との関係を調べ、植生域が河幅水深比（B/H）などの河道特性と関係を持って存在していることなども知られている。

1. 3 本論文の目的

河川環境の管理に関わる将来の計画についての基礎的な資料を提供するために、河川植生の空間的分布・時間的变化と河道の物理的特性との関係を検証する。そこで、人工衛星 IKONOS の可視・近赤外データから狩野川の植生を判読してその分布状況を読み取り、航空写真から判読した笛吹川、釜無川の植生分布と河川特性との関係を検証する。本論文では IKONOS から得られた狩野川の画像の前処理と解析を行い、画像から植生の分布状況を読み取り把握する。この際、狩野川の河道内で取得した木本類のグランドトゥルースデータを用いて NDVI を指標とし、木本類と草本類とを識別することを試みる。

第2章 本研究で扱う対象河川

2. 1 狩野川の概要

狩野川は流域面積 853 キロ平方メートル、総延長 46 キロメートル、水系の河川敷 72 キロ平方メートル。静岡県東部の 4 つの市と 9 つの町にわたり、流域人口約 64 万人の一級河川である。

狩野川流域は静岡県東部に位置し、北は富士山、南は天城山に及ぶ細長い形状をしている。南からは伊豆の天城山系から流れ出る狩野川本川が北上し、北からは富士山を源とし裾野を流れくだる支川の黄瀬川が南下して田方平野で合流し、駿河湾に注ぐという特徴的な河川形態をしている。

狩野川流域にはアユをはじめとする 80 種の魚類、ハコネサンショウウオやモリアオガエルなどの貴重な両生類、シカ、イノシシ、ヤヌキ、ノウサギなどの哺乳類、カワセミ、ヤマセミなど 100 種の野鳥が住んでいる。このように狩野川は動植物の繁殖が盛んで、自然の生態系が保たれていることを示している。また、天城山山頂部一帯は原生林が残っていて、樹齢 700 年を越えるブナやアカガシなどの巨木も見られる。その森林は、天城山に降った雨の 50% を蓄え、森林を守り育て、ここに源を発する狩野川をも守っている。

ちなみに、この広い流域の中で三島市や清水町周辺の地表には湧水群がある。この湧水群は富士山東南部に降った雨が地下水となり湧き出たものである。この湧水群の



写真 2.1.1 河口部（下流部）

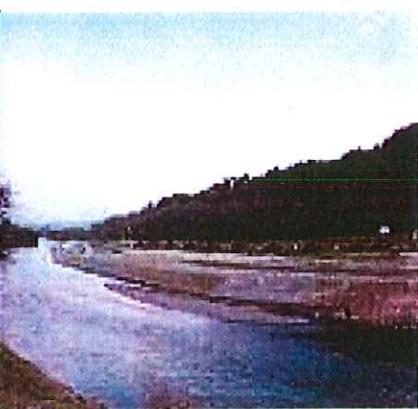


写真 2.1.2 中流部

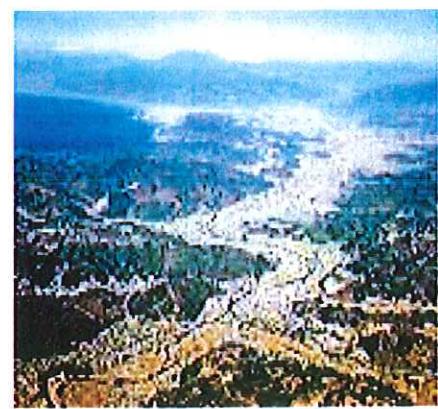


写真 2.1.3 上流部

中で最も湧水量が多いのが柿田川であり、水質も日本有数の水質を誇っており、【東洋一の湧水】と呼ばれている。

2. 2 狩野川の動植物

狩野川に棲息する貴重な植物は、ヒンジモ、ミシマバイカモ、ナガエミクリ、アカウキクサ、オオアカウキクサ、ツリフネソウ、ミズマツバ、ウスグチョウジタデ、ミヅコウジュ、カワヂシャ、カワラノギク、ハンノキなどである。また魚介類、底生生物に関しては、アマゴ、アユ、ウグイ、オイカワ、カマツカ、コイ、ニジマス、ヤマメ、ホトケドジョウ、スジシマドジョウ大型種、サツキマス、カジカ、アユカケ、ウツセミカジカ、ヒナハゼ、ゲンジボタル、ヘイケボタルなどが棲息している。鳥類では、アカグラ、オオルリ、カッコウ、カワセミ、ヤマセミ、カワウ、ミヅゴイ、ヨシゴイ、チュウサギ、コクガン、マガン、マガモ、カルガモ、コガモ、ヨシガ、ヒドリガモ、ミサゴ、オオタカ、カシムリカイツブリ、オーストンウミツバメ、ハイタカ、ハヤブサ、バン、セッカ、チョウゲンボウ、コアジサシ、ウミガラス、ケイマフリ、マダラウミスズメ、ウミスズメ、カンムリウミスズメ、エトピリカ、トラフズク、フクロウ、サンショウクイ、ハギマシコなどが棲息している。

2. 3 本研究における対象区間

本研究における対象区間は、本川である狩野川とその支川の黄瀬川、柿田川であり、右の画像（図 2.1.4）に示す範囲を対象区間とする。

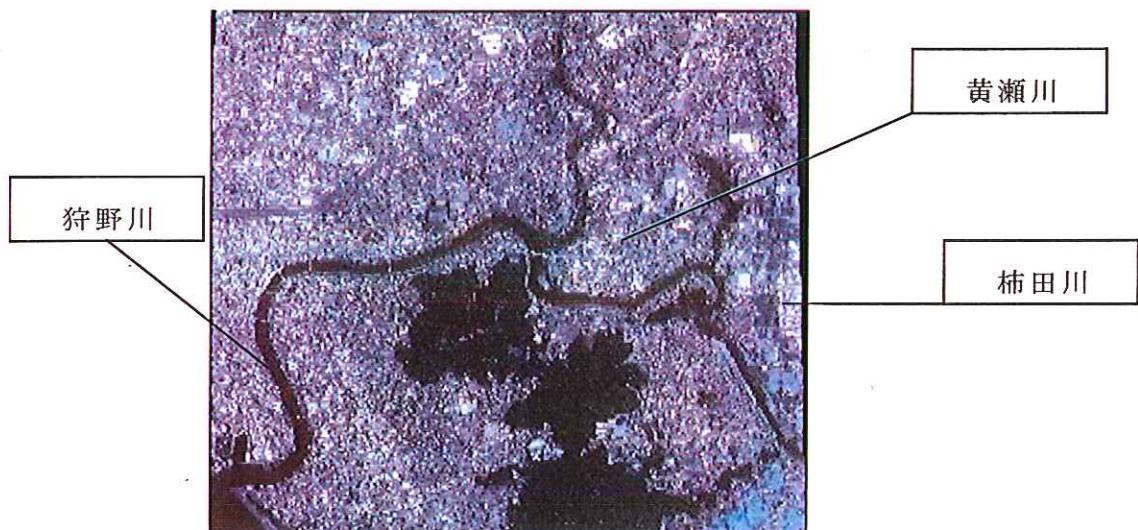


図 2.1.4 狩野川流域

第3章 植生の分布状況の把握

河川区域内の植生は流況に直接関与しながら、その一方で多様な生物に棲息の場を提供するなど河川環境の基本的な条件を構成している。その河川植生を将来とも河川の重要な河道・環境条件と認識し、河川植生の分布状況を出水規模や頻度および河道特性との関係で予測し評価する必要がある。本章においては植生の分布状況を把握することを試みた。

3. 1 IKONOS衛星の概要

IKONOS衛星は、1999年9月に打ち上げられた世界最高性能の地球観測衛星である。IKONOS衛星の画像データの特徴は、1m解像度を有して建物一棟一棟を識別することができ、従来の航空機による撮影に比べてより高度（高度680m）からの撮影により、歪の少ない高品質な画像をデジタルデータで提供することができる。また、航空写真の撮影幅が500m～2km程度に対し、IKONOSは11kmと広域の撮影が可能である。またIKONOSは可視光センサーの他に近赤外センサーを搭載し、通常の画像と同時に近赤外の波長データも取得することができる。近赤外線は植物の葉緑素に高い反射率を持っているので、肉眼でみることのできない植物の活性度の判別に利用することができる。本研究で用いる画像データは、このIKONOS衛星の撮影によるものである。

3. 2 IKONOS画像の解析

IKONOSでとらえた狩野川下流域の画像を可視（R, G, B）と近赤外（I）で組み合わせたものをAdobe PhotoshopからARC/Viewに取り込む。

この段階では画像は緯度、経度を読み取ることができないので、ERDAS IMAGINE内のGeometric Correctionを用いて座標変換する必要がある。座標変換により画像を地図と同じ座標系に変換して地球上の位置を把握できるようにする。

そこでERDAS IMAGINE内のInterpreterを用いてR、G、Bを組み合わせトゥルーカラー画像を作成し、座標変換を行う（図3.2.2）。

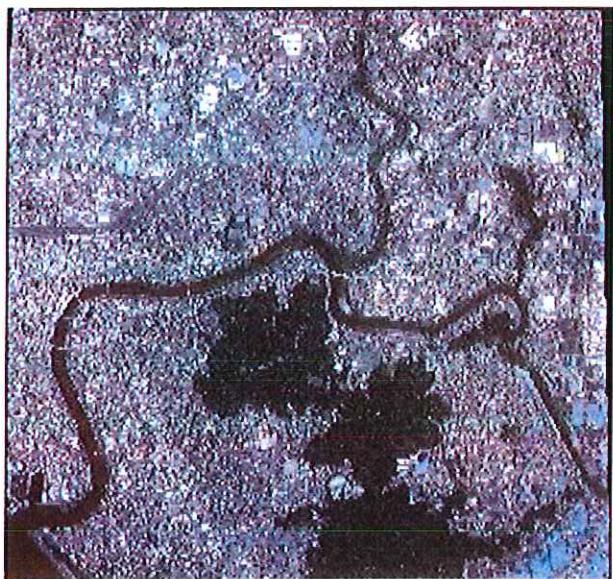


図 3.2.2 トゥルーカラー画像

また、R、G、B を切り離してそれぞれの画像を作成し、これら 3 つの画像においても同様に座標変換を行う（図 3.2.3、図 3.2.4、図 3.2.5）。またこれら 3 つの画像の色に関しては分かりやすいように色を変えた。

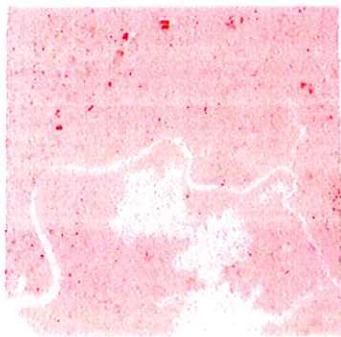


図 3.2.3 R 画像

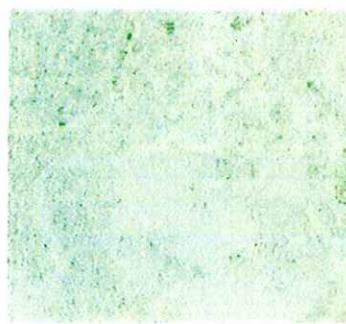


図 3.2.4 G 画像

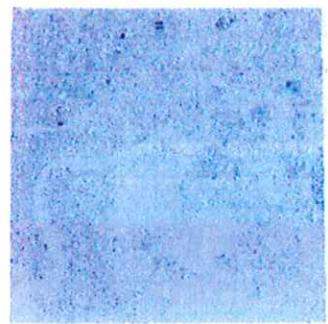


図 3.2.5 B 画像

また ERDAS IMAGINE 内の Modeler を使いモデルを作成し NDVI を計算することにより、植生量の大小の分布を示す NDVI の画像を作成し、同様に座標変換を行う（図 3.2.6）。

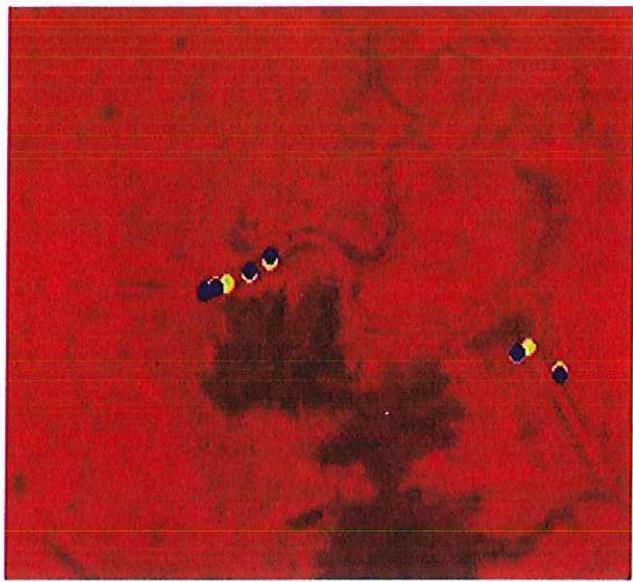


図 3.2.6 NDVI 画像

最終的には位置情報の把握できるトゥルーカラー画像（図 3.2.2）、R、G、B の 3 つの画像（図 3.2.3、図 3.2.4、図 3.2.5）、NDVI の画像（図 3.2.6）を得た。ただし、これらの画像の記憶可能な数値は最小値 0 から最大値 255 までの整数なので、データの型は 8 bit に変換しなければならない。また、イメージデータをグリッドデータに変換しなければ ARC/View で画像を表示することができない場合がある。この場合、転送する前に ERDAS IMAGINE 内の Export により GRID 形式に変換する必要がある。また、グリッドデータを転送する際には [info フォルダ] と同時に送らなければならない。また ARK/View 内の拡張機能において 3 D Analyst にしておく必要がある。

3. 3 NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) の定義

植生の有無、植生量を把握するための指標となるのが NDVI (正規化植生指数) であり、次式 (1) のように示される。

$$\text{NDVI} (\text{正規化植生指数}) = (IR - R) / (IR + R) \quad \cdots (1)$$

ただし、IR：近赤外の反射率、R：可視（赤）の反射率である。植物の葉はクロロフィルという色素を有し、このクロロフィルによって植物の近赤外領域（IR）の反射率は高くなる。すなわち NDVI の値が高ければ高いほど地表を覆う植生量が多く、植生の活性度が高いことを示している。本研究では、この NDVI を指標として木本類と草本類の識別を行う。

3.4 IKONOS 画像における樹木の位置及び NDVI の取得

位置情報の把握できるトゥルーカラー画像（図 3.2.2）、R、G、B の 3 つの画像（図 3.2.3、図 3.2.4、図 3.2.5）、NDVI の画像（図 3.2.6）を ARC/View で表示できるようになつたら、狩野川下流域に分布する木本類の位置を GPS（Global Positioning System）を用いて計測し取得した緯度、経度を IKONOS 画像に取り込む。その結果、IKONOS 画像での木本類の位置、また木本類の位置での NDVI の値を取得することができる。ここで、木本類の NDVI の値と草本類の NDVI の値を照らし合わせて比較する。また、木本類と草本類それぞれの R、G、B の値も参考までに照らし合わせて比較し、木本類の特徴を見出すことにより草本類とを識別する。図 3.1.6 は座標変換後の NDVI 画像であり、色の濃い部分で NDVI の値が大きく植生量が多い。逆に色の薄い部分では NDVI の値は小さく植生量が少ないことを示している。また、青色の点は木本類の位置（7 カ所）、黄色の点は草本類の位置（10 カ所）である。この結果を次の表 3.4.1、表 3.4.2 に示す。

表 3.4.1 木本類の位置（青色の点）及び NDVI, R, G, B の値

番号	北緯	東経	NDVI	R	G	B
1	35.0893	138.903	2 3 9	2 2	3 7	3 8
2	35.0876	138.907	2 3 4	2 6	4 2	4 2
3	35.0943	138.875	2 2 7	2 8	4 3	4 5
4	35.0944	138.875	2 2 8	2 5	3 9	4 2
5	35.0946	138.876	2 3 0	2 7	4 2	4 3
6	35.096	138.879	2 3 4	2 9	4 4	4 3
7	35.0972	138.881	2 1 6	2 8	4 2	4 4
平均値			2 2 9 . 7	2 6 . 4	4 1 . 3	4 2 . 4

表 3.4.2 草本類の位置（黄色の点）及び NDVI, R, G, B の値

番号	北緯	東経	NDVI	R	G	B
1	35.0898	138.904	2 1 7	3 0	4 5	4 5
2	35.0892	138.903	2 1 3	3 0	4 4	4 5
3	35.0879	138.907	2 1 9	2 9	4 4	4 5
4	35.0944	138.875	2 2 1	3 0	4 5	4 5
5	35.0946	138.876	2 2 2	2 8	4 2	4 4
6	35.0948	138.876	2 2 1	3 0	4 5	4 5
7	35.095	138.877	2 1 4	2 9	4 3	4 4
8	35.0949	138.877	2 2 4	2 9	4 3	4 3
9	35.0956	138.879	2 1 2	3 6	5 0	4 9
10	35.0967	138.881	2 0 8	3 0	4 4	4 5
平均値			2 1 7 . 1	3 0 . 1	4 4 . 5	4 5

3. 5 木本類と草本類の比較

表 3.4.1、表 3.4.2 から木本類と草本類において NDVI、R、G、B の関係を表わしたグラフを次の図 3.5.1 に示す。

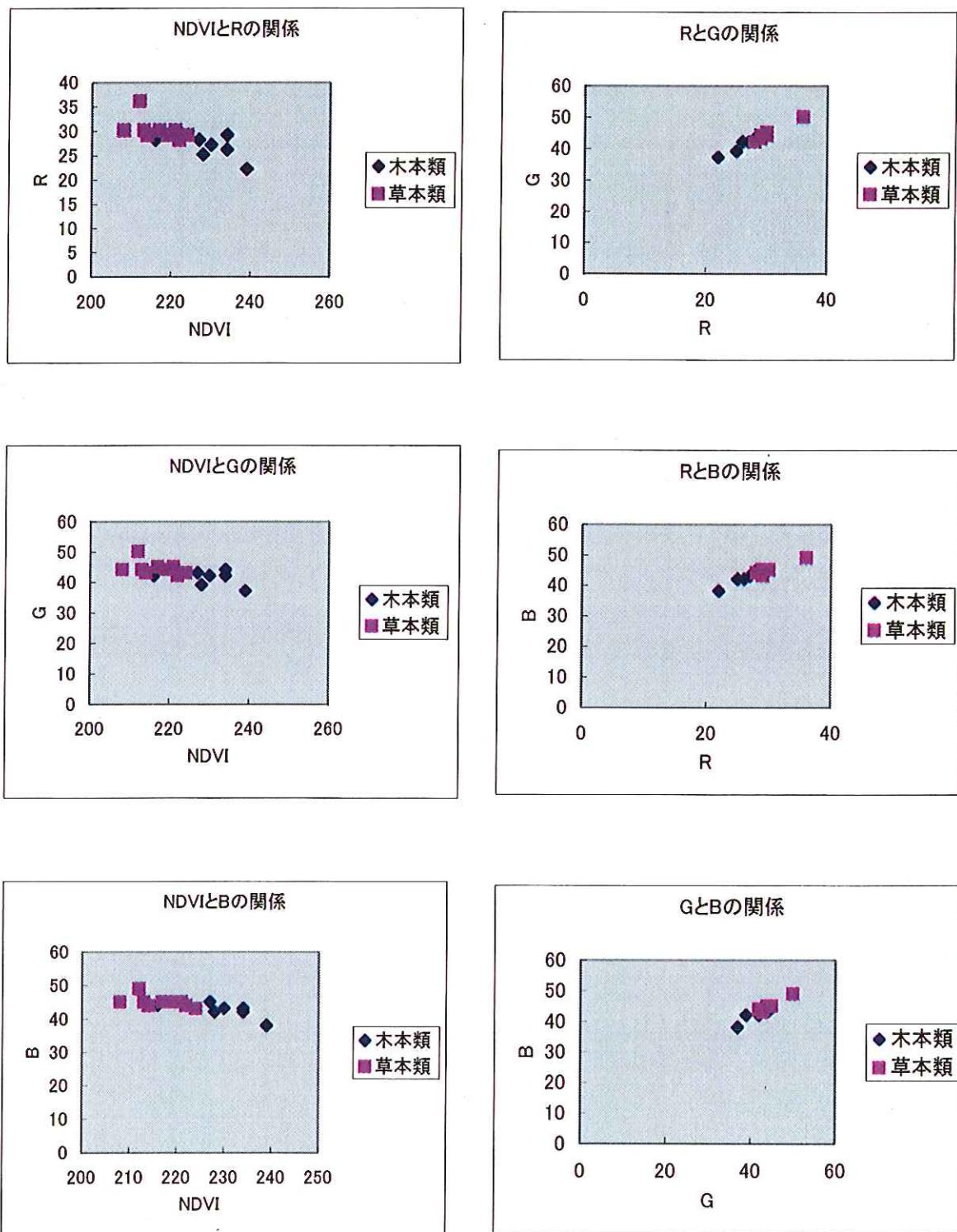


図 3.5.1 NDVI, R, G, B の関係

3. 6 木本類，草本類の識別及び各区間でのポリゴン作成

図 3.5.1 から，NDVI の値が 225 の辺りを境に木本類と草本類に識別できそうだと思われる所以，ERDAS IMAGINE の Modeler を用いてモデルを作成し木本類と草本類の色の塗り分けをする（図 3.6.1）。ただし，草本類の NDVI の値を 200～225 の範囲とし，木本類の NDVI の値を 226～255 の範囲とする。また図の緑色の部分が草本類であり，茶色の部分が木本類である。

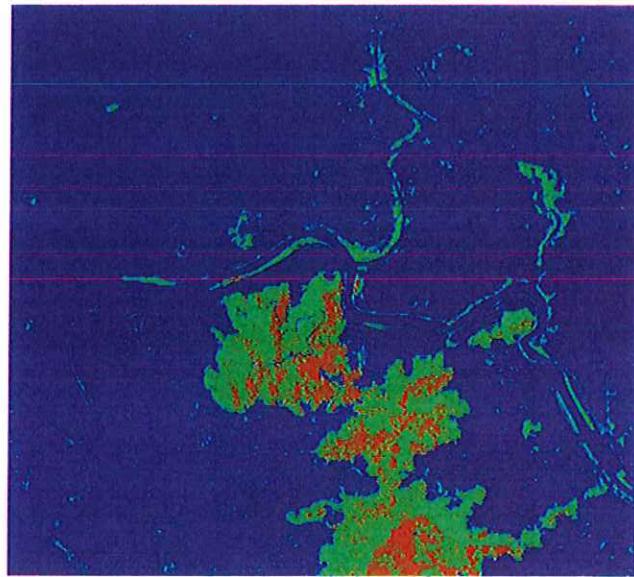


図 3.6.1 NDVI 画像（色の塗り分け後）

そして ARC/Viewにおいて狩野川の河道を約 1 km 区間ごとに区切ったポリゴンを作成する。各ポリゴンは各 1 km 区間ごとの河道面積を表しているので、各ポリゴンの面積を求める。またそれぞれのポリゴンには、後に識別しやすいように ID に番号を付けておく。ID の番号は、狩野川河口部から 1 km までの範囲を 0, 1 km～2 km を 1, 2 km～3 km を 2, …, 8 km～9 km を 9, 支川の黄瀬川の下流部から上流部への 3 区間を 10, 11, 12, 最後に柿田川を 13 とした（図 3.6.2）。ただし ID 12 区間の距離のみ 1 km に達していない。ここで河道とは、両側を堤防で囲まれている部分と定義している。

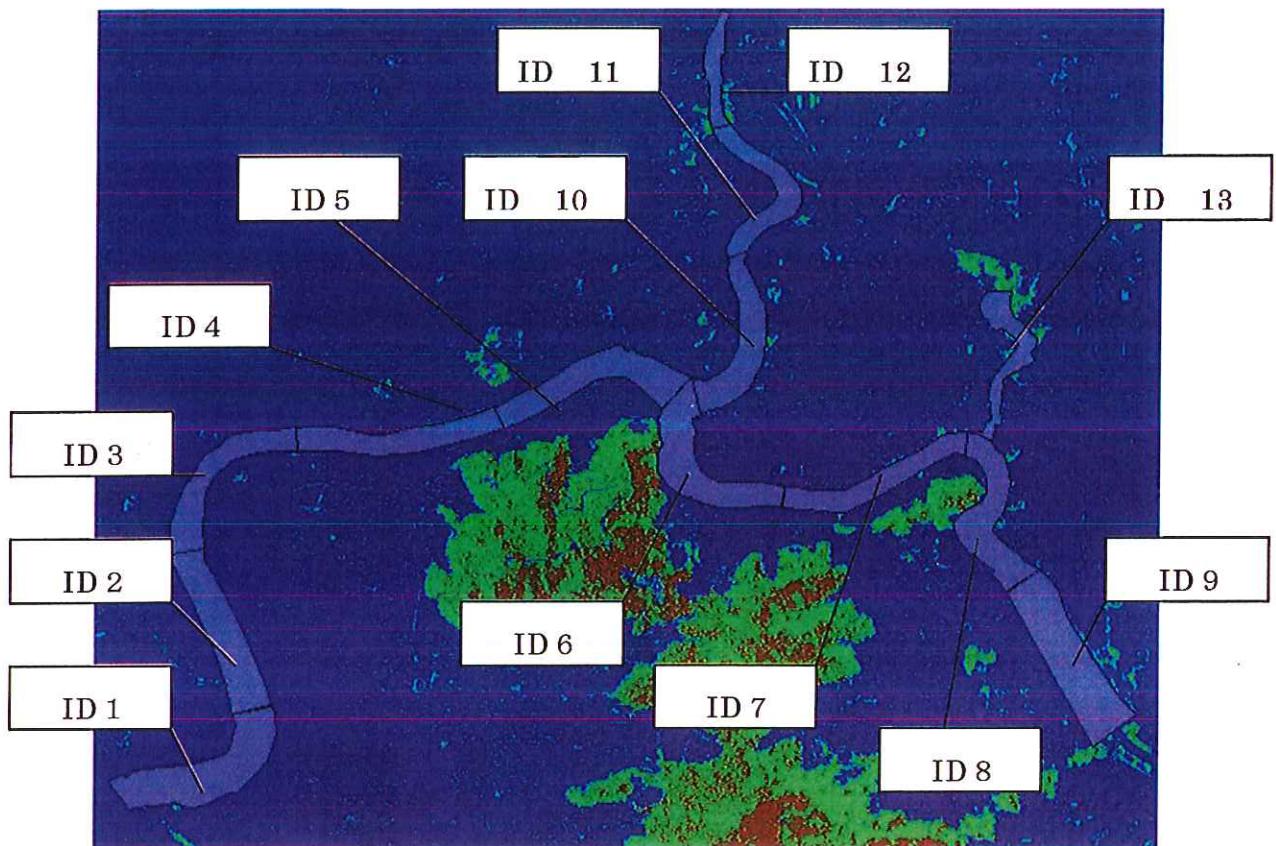


図 3.6.2 ID 番号の分布

例として ID が 5 の区間のポリゴンを図 3.6.3 に示した。その後、解析によりグリッドをポリゴンの範囲で切り出す（図 3.6.4）。



図 3.6.3 ポリゴン・フィーチャ
(例 : ID 5 の場合)

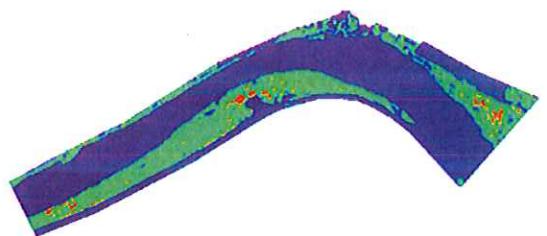


図 3.6.4 ポリゴン（グリッドに変換後）

また、同じく ARC/Viewにおいてこれら 1 km 区間ごとのポリゴンを 1 つにマージすることにより、狩野川の全河道のポリゴンを作成する。(図 3.6.5)、また、同様の解析によりグリッドに変換する(図 3.6.6)。

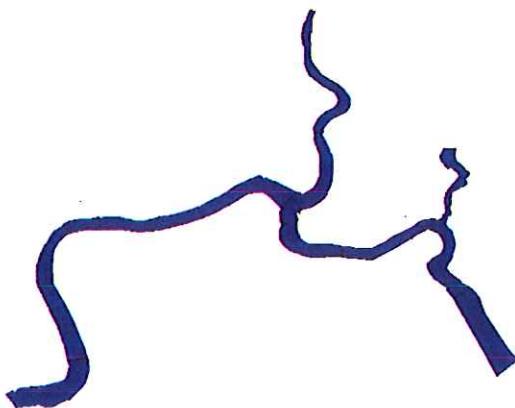


図 3.6.5 ポリゴン・フィーチャ
(全河道)

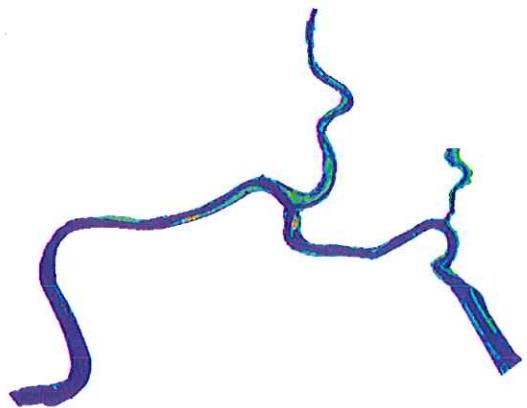


図 3.6.6 ポリゴン (グリッド変換後)

3.7 各区間ごとの木本類、草本類の面積の判読

このようにしてポリゴンの範囲でグリッドを切り出すことにより、各ポリゴン中ににおける木本類、草本類、それ以外を構成しているピクセルの個数が分かる。またピクセルのサイズが分かればその面積を求めることができる。この画像は IKONOS の撮影によるものなので、1 個のピクセルのサイズは 1 m 四方の正方形、つまり面積を 1 m^2 と考えてよいと思われる。この方法により求めた各区間でのポリゴンの面積とピクセル数による面積との誤差とその誤差の割合について次の表 3.7.1 に示す。ただし誤差の割合は、誤差をポリゴンによる河道面積で割った値とした。また、この結果を表したグラフを図 3.7.1、図 3.7.2 に示す。

表 3.7.1 ポリゴンの面積 (m^2) とピクセル数による面積 (m^2)における誤差 (m^2) とその割合

ID	河道面積(ポリゴン)	河道面積(ピクセル数)	誤差	誤差の割合
1	2 4 9 5 2 3 . 0 5	2 4 8 6 2 0	9 0 3 . 0 5	0 . 0 0 3 6
2	2 0 6 0 8 8 . 1 5	2 0 5 7 6 3	3 2 5 . 1 5	0 . 0 0 1 6
3	1 5 4 0 8 7 . 5 3	1 5 3 8 7 4	2 1 3 . 5 3	0 . 0 0 1 4
4	1 6 2 1 5 9 . 4 9	1 6 1 9 0 6	2 5 3 . 4 9	0 . 0 0 1 6
5	1 9 3 5 8 3 . 8 1	1 9 3 3 7 1	2 1 2 . 8 1	0 . 0 0 1 1
6	2 0 0 1 4 0 . 9 5	1 9 9 7 2 9	4 1 1 . 9 5	0 . 0 0 2 1
7	1 4 0 8 4 0 . 1 0	1 4 0 6 1 4	2 2 6 . 1 0	0 . 0 0 1 6
8	1 7 3 4 8 8 . 3 3	1 7 3 2 0 6	2 8 2 . 3 3	0 . 0 0 1 6
9	2 7 3 8 3 7 . 2 7	2 7 3 4 3 5	4 0 2 . 2 7	0 . 0 0 1 5
10	1 6 1 1 7 7 . 0 2	1 6 0 9 4 0	2 3 7 . 0 2	0 . 0 0 1 5
11	1 2 2 8 6 5 . 9 0	1 2 2 6 9 6	1 6 9 . 9 0	0 . 0 0 1 4
12	5 7 9 8 4 . 3 2	5 7 8 8 8	9 6 . 3 2	0 . 0 0 1 7
13	1 0 0 8 7 6 . 6 8	1 0 0 7 6 7	1 0 9 . 6 8	0 . 0 0 1 1
全河道	2 1 9 6 6 5 2 . 6 0	2 1 9 1 8 6 8	4 7 8 4 . 6 0	0 . 0 0 2 2
平均面積	1 6 8 9 7 3 . 2 8	1 6 8 6 7 8	2 9 5 . 6 6	0 . 0 0 1 7

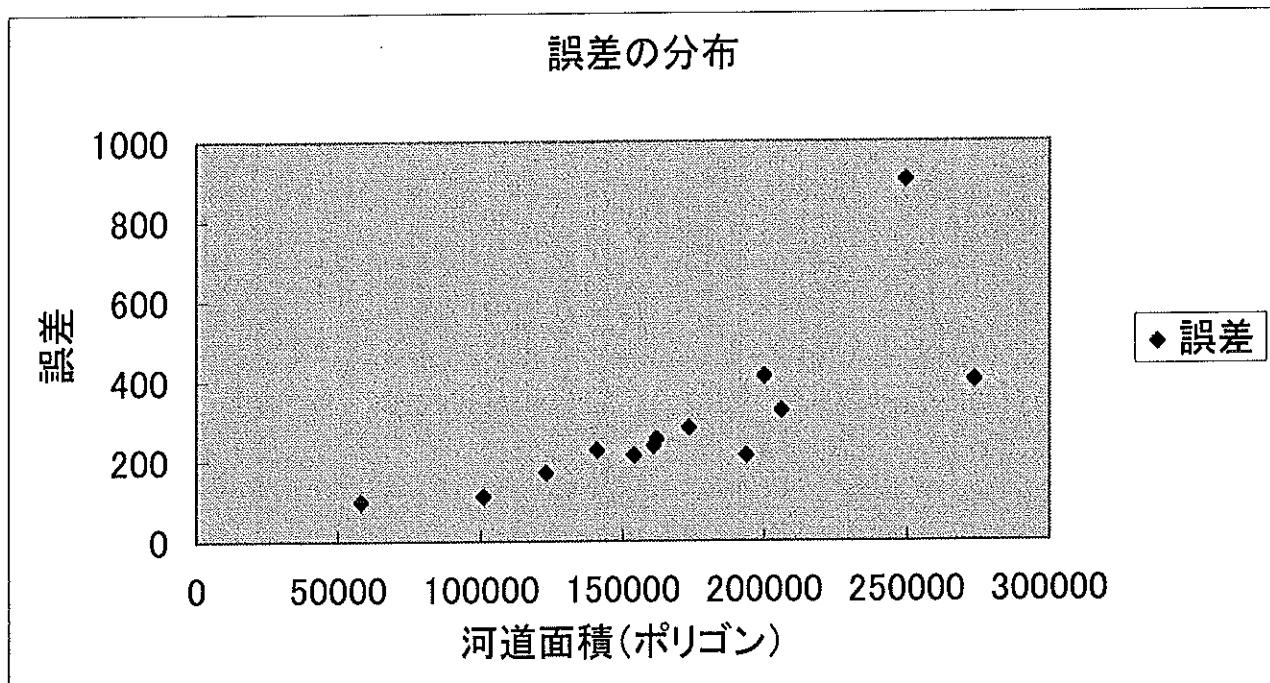


図 3.7.1 ポリゴンの面積 (m²) とその誤差 (m²)

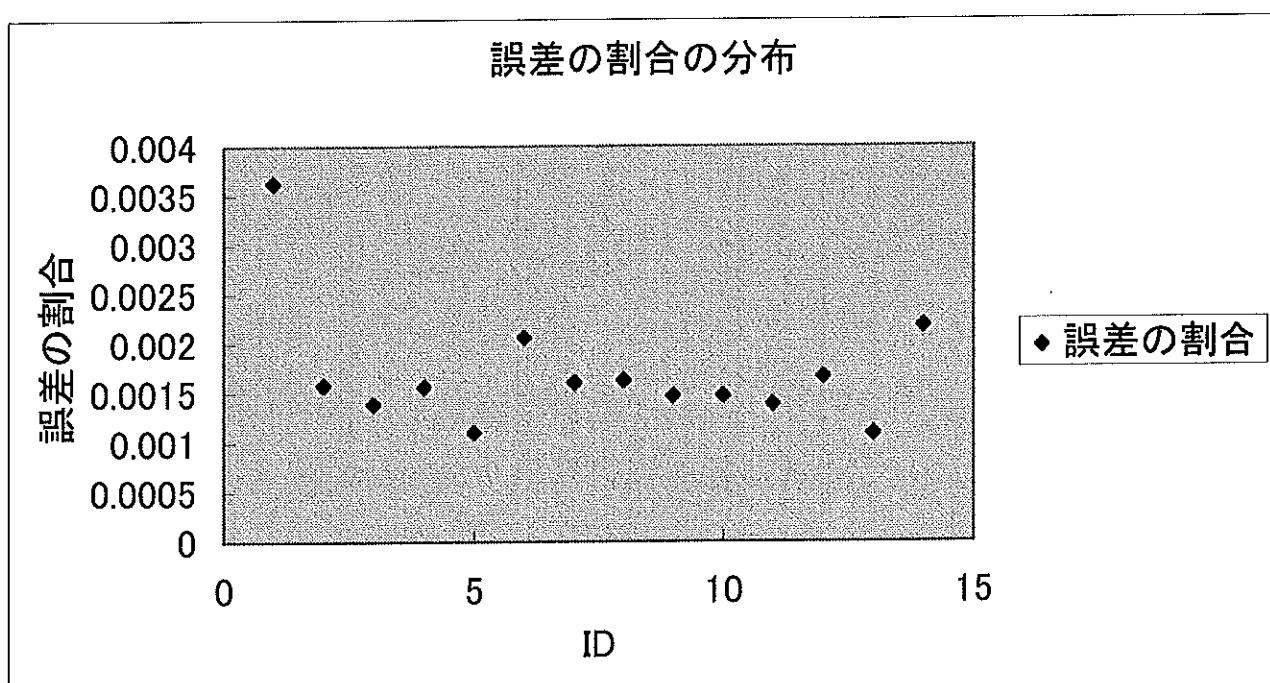


図 3.7.2 誤差の割合の分布

表 3.7.1, 図 3.7.1, 図 3.7.2 によると、誤差の値が最も大きかったのは ID 1 (249523.05 m^2) のポリゴンで約 900m^2 であり、その割合は約 0.36% であった。逆に誤差の割合が最も小さかったのは ID13 のポリゴンで約 0.11% であった。また、各ポリゴンの誤差の平均値は約 300m^2 (各ポリゴンの平均面積は 168973.28 m^2) でその割合は約 0.17% であり、全河道 (2196652.60 m^2) における誤差の値は約 4800m^2 でその割合は約 0.22% であった。この結果から誤差の割合が非常に小さい値であるということが分かるので、この方法での面積の計算はほぼ妥当であったと思われる。

この方法以外に ARK/View による面積のクロス集計によりもっと簡単に面積を求める方法もあるが、画像のセルサイズが 0 (0.000009 度) となっているためにその方法で面積を計算するとすべての区間において面積の値が 0 となってしまう。よってピクセル数を数える方法を用いて面積を求めるにした。

このようにして狩野川の 1 km 区間ごとの河道面積、木本類の面積、草本類の面積を判読して、河道の各区間における特徴を把握する。この結果を次の表(図) 3.7.3～表(図) 3.7.14 に示す。この際に、狩野川とその支川黄瀬川、柿田川と 3 つの河川に分けて結果を出した。ただし、表(図) 3.7.3～表(図) 3.7.5 は各区間における植生面積とその割合について、表(図) 3.7.6～表(図) 3.7.8 は各区間における木本類、草本類面積について、表(図) 3.7.9～表(図) 3.7.11 は各区間における木本類、草本類のそれぞれの割合について、表(図) 3.7.12、表(図) 3.7.13 は各河川における木本類、草本類面積について、表(図) 3.7.14 は各河川における木本類、草本類のそれぞれの割合について示した。

表 3.7.3 狩野川の各区間での植生面積 (m²) とその割合

ID	河道面積 (m ²)	植生面積 (m ²)	植生の割合
1	2 4 8 6 2 0	4 8 9 5	0. 0 1 9 6 8 9
2	2 0 5 7 6 3	1 2 7 5 6	0. 0 6 1 9 9 4
3	1 5 3 8 7 4	3 2 9 8	0. 0 2 1 4 3 3
4	1 6 1 9 0 6	4 2 9 4 8	0. 2 6 5 2 6 5
5	1 9 3 3 7 1	6 6 7 0 4	0. 3 4 4 9 5 3
6	1 9 9 7 2 9	5 7 0 0 2	0. 2 8 5 3 9 7
7	1 4 0 6 1 4	2 3 9 3 0	0. 1 7 0 1 8 2
8	1 7 3 2 0 6	4 3 8 0 5	0. 2 5 2 9 0 7
9	2 7 3 4 3 5	6 7 4 6 1	0. 2 4 6 7 1 7
狩野川の総面積	1 7 5 0 5 1 8	3 2 2 7 9 9	0. 1 8 4 4 0 2
平均面積 (1~9)	1 9 4 5 0 2	3 5 8 6 7	

表 3.7.4 黄瀬川の各区間での植生面積 (m²) とその割合

ID	河道面積 (m ²)	植生面積 (m ²)	植生の割合
10	1 6 0 9 4 0	6 9 8 5 1	0. 4 3 4 0 1 9
11	1 2 2 6 9 6	4 1 4 6 5	0. 3 3 7 9 4 9
12	5 7 8 8 8	1 9 7 6 5	0. 3 4 1 4 3 5
黄瀬川の総面積	3 4 1 5 2 4	1 3 1 0 8 1	0. 3 8 3 8 1 2
平均面積(10~12)	1 1 3 8 4 1	4 3 6 9 3	

表 3.7.5 柿田川での植生面積 (m²) とその割合

ID	河道面積 (m ²)	植生面積 (m ²)	植生の割合
13	1 0 0 7 6 7	5 4 7 4 0	0. 5 4 3 2 3 3

狩野川の各区間での植生面積の分布

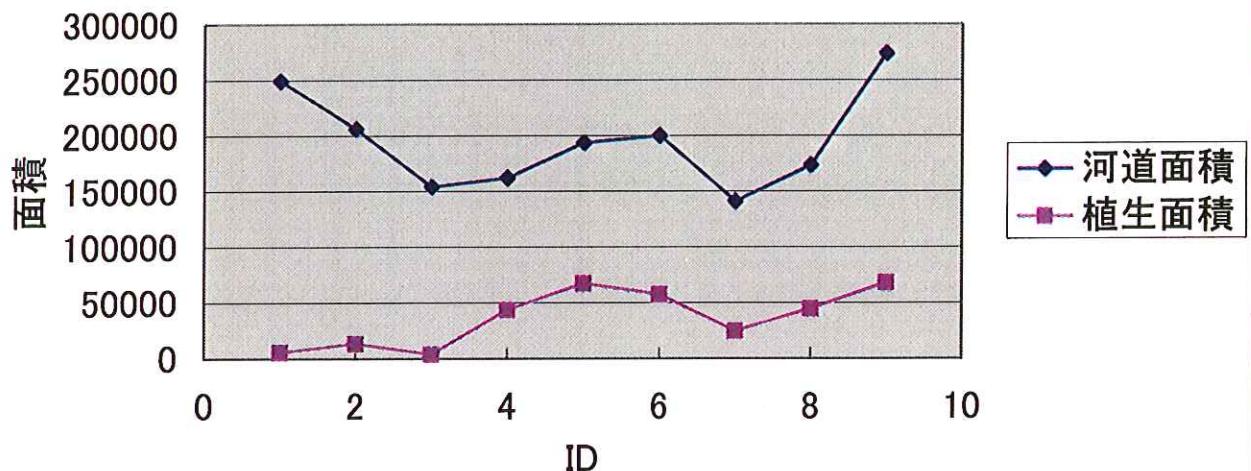


図 3.7.3 (1) 狩野川の各区間での植生面積の分布 (m²)

狩野川の各区間での植生の割合

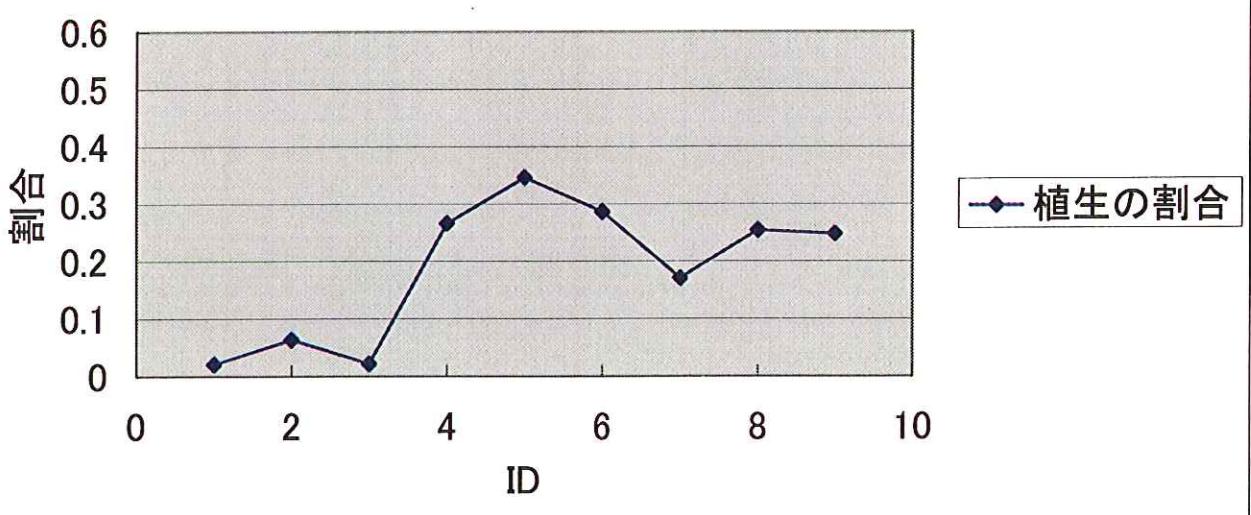


図 3.7.3 (2) 狩野川の各区間での植生の割合

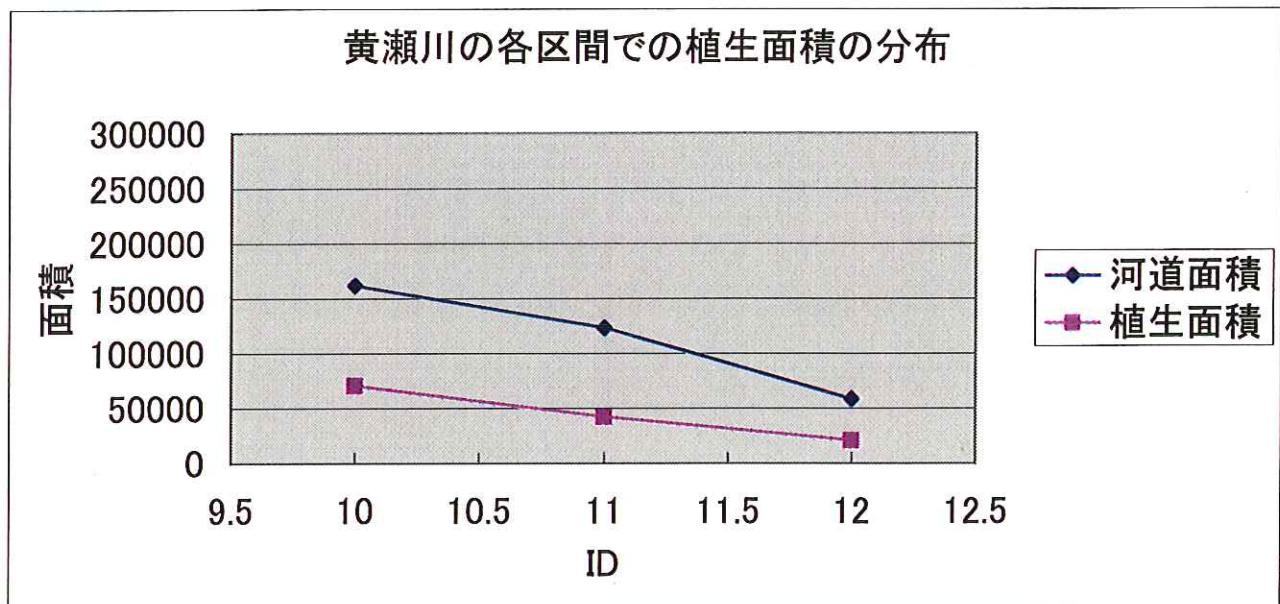


図 3.7.4 (1) 黄瀬川の各区間での植生面積の分布 (m²)

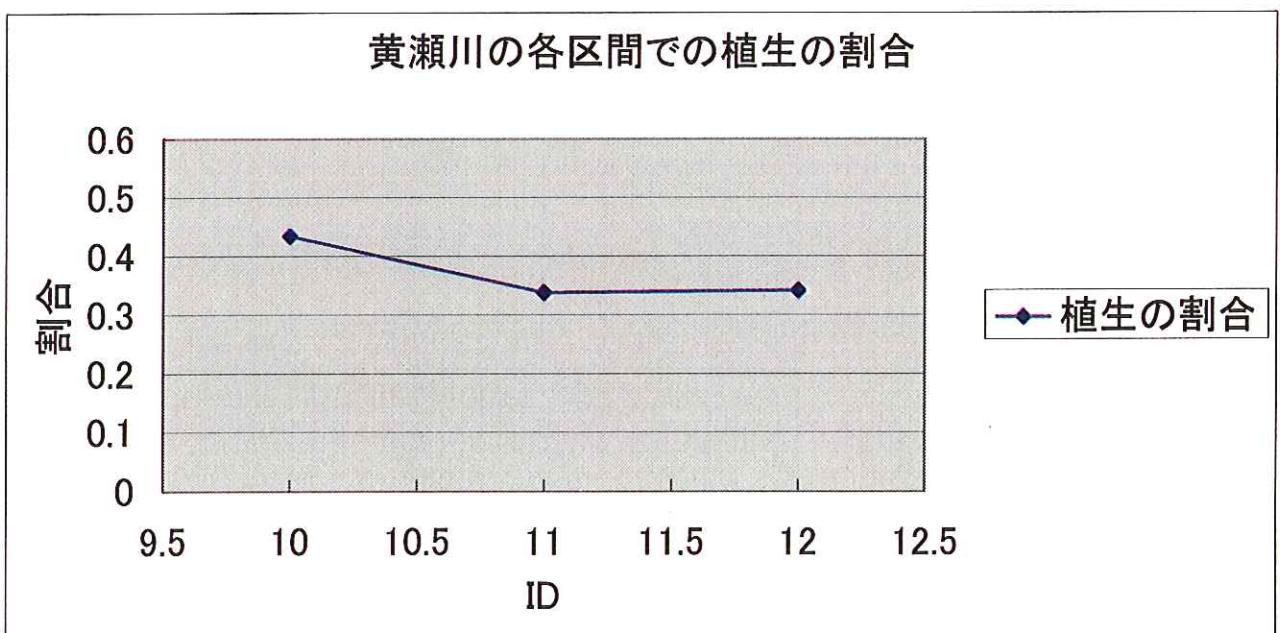


図 3.7.4 (2) 黄瀬川の各区間での植生の割合

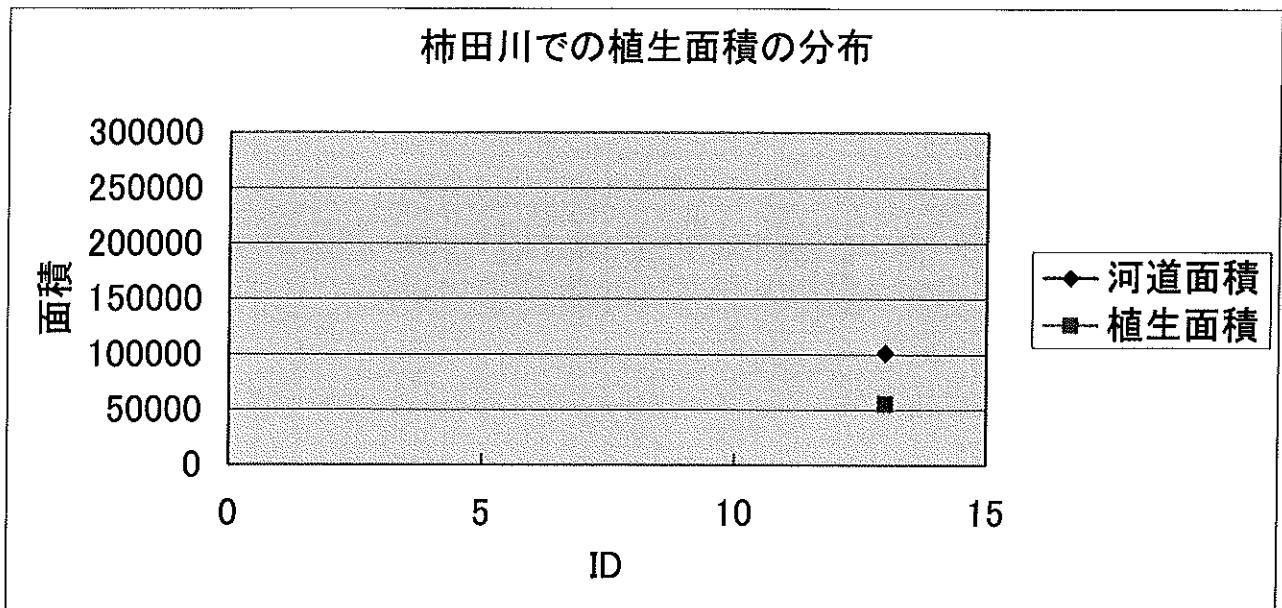


図 3.7.5 (1) 柿田川での植生面積の分布 (m²)

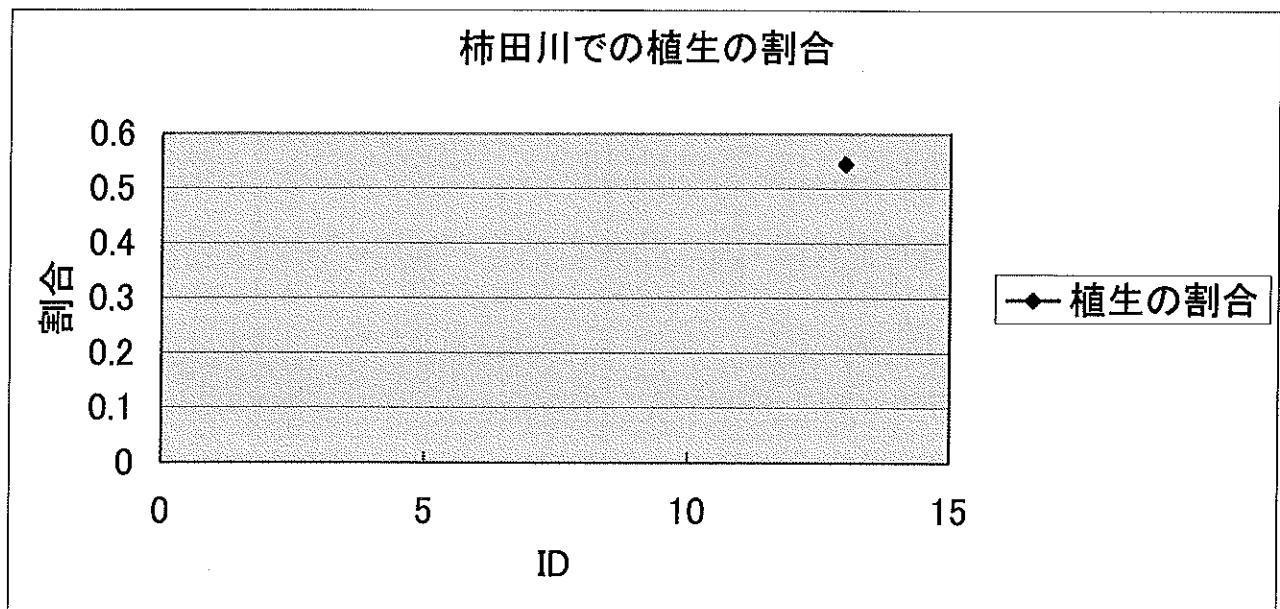


図 3.7.5 (2) 柿田川での植生の割合

表 3.7.6 狩野川の各区間での河道、木本類、草本類の面積 (m²)

ID	河道面積 (m ²)	木本類面積 (m ²)	草本類面積 (m ²)
1	2 4 8 6 2 0	8 9	4 8 0 6
2	2 0 5 7 6 3	7 5 2	1 2 0 0 4
3	1 5 3 8 7 4	1 7 0	3 1 2 8
4	1 6 1 9 0 6	6 1 3 1	3 6 8 1 7
5	1 9 3 3 7 1	4 6 8 2	6 2 0 2 2
6	1 9 9 7 2 9	9 2 6 5	4 7 7 3 7
7	1 4 0 6 1 4	1 5 4 0	2 2 3 9 0
8	1 7 3 2 0 6	3 8 1 0	3 9 9 9 5
9	2 7 3 4 3 5	2 5 6 6	6 4 8 9 5
狩野川の総面積	1 7 5 0 5 1 8	2 9 0 0 5	2 9 3 7 9 4
平均面積 (1~9)	1 9 4 5 0 2	3 2 2 3	3 2 6 4 4

表 3.7.7 黄瀬川の各区間での河道、木本類、草本類の面積 (m²)

ID	河道面積 (m ²)	木本類面積 (m ²)	草本類面積 (m ²)
10	1 6 0 9 4 0	2 4 0 5	6 7 4 4 6
11	1 2 2 6 9 6	9 7 4	4 0 4 9 1
12	5 7 8 8 8	2 0 7	1 9 5 5 8
黄瀬川の総面積	3 4 1 5 2 4	3 5 8 6	1 2 7 4 9 5
平均面積(10~12)	1 1 3 8 4 1	1 1 9 5	4 2 4 9 8

表 3.7.8 柿田川での河道、木本類、草本類の面積 (m²)

ID	河道面積 (m ²)	木本類面積 (m ²)	草本類面積 (m ²)
13	1 0 0 7 6 7	2 2 7 8	5 2 4 6 2

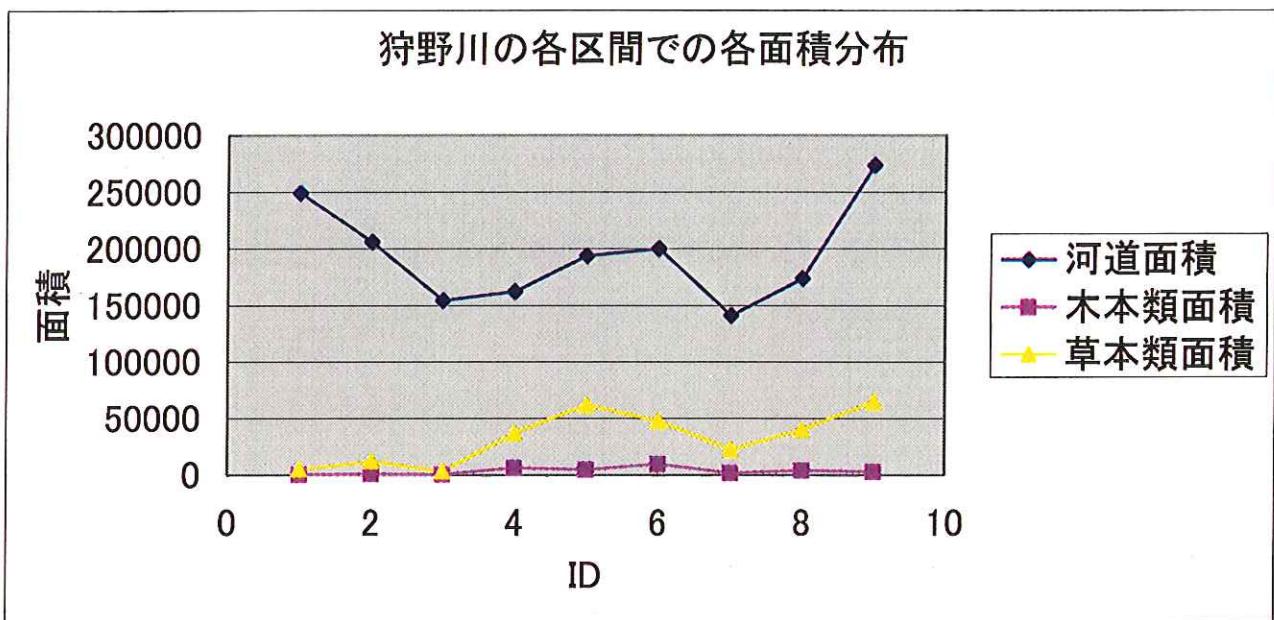


図 3.7.6 狩野川の各区間での各面積分布 (m²)

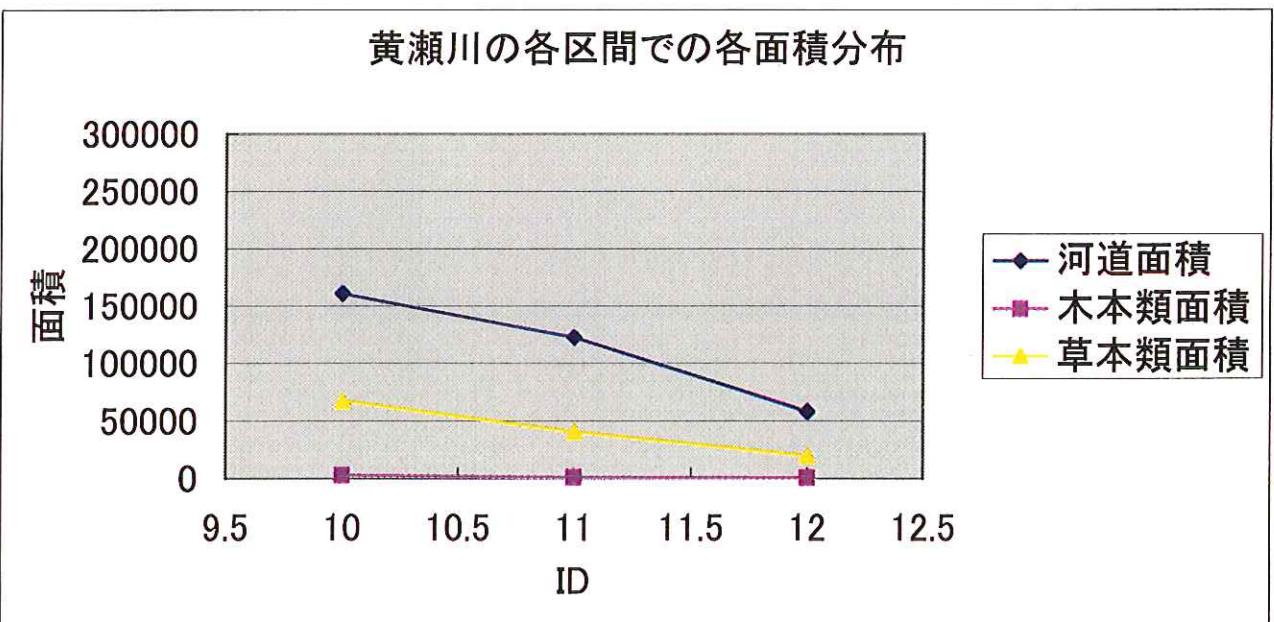


図 3.7.7 黄瀬川の各区間での各面積分布 (m²)

柿田川での各面積の分布

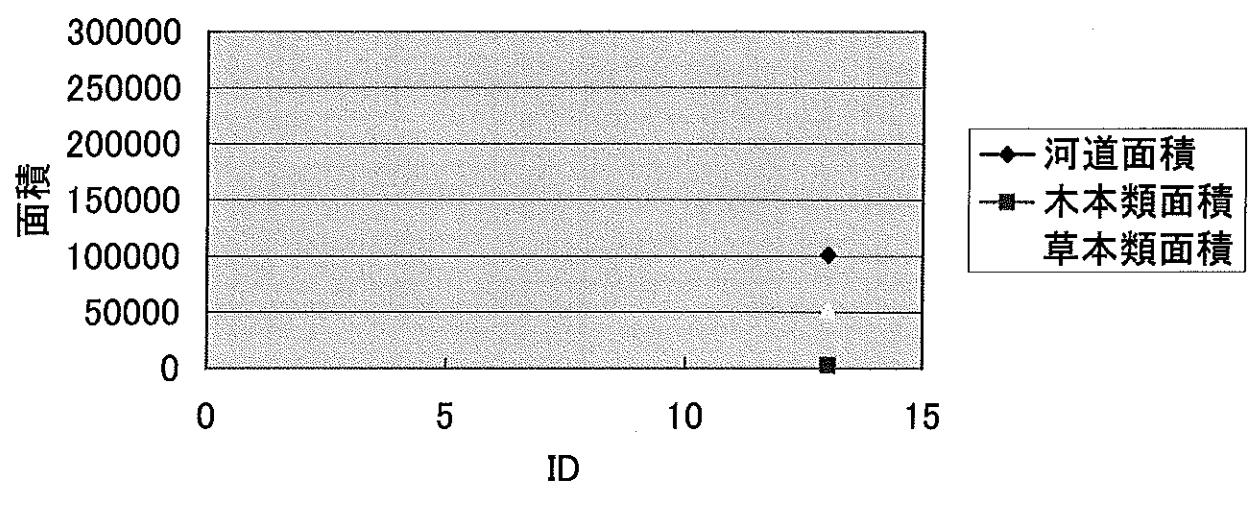


図 3.7.8 柿田川での各面積の分布 (m²)

表 3.7.9 (1) 狩野川の各区間での木本類の占める割合

ID	河道面積 (m ²)	木本類面積 (m ²)	木本類の占める割合
1	2 4 8 6 2 0	8 9	0. 0 0 0 3 5 8
2	2 0 5 7 6 3	7 5 2	0. 0 0 3 6 5 5
3	1 5 3 8 7 4	1 7 0	0. 0 0 1 1 0 5
4	1 6 1 9 0 6	6 1 3 1	0. 0 3 7 8 6 8
5	1 9 3 3 7 1	4 6 8 2	0. 0 2 4 2 1 3
6	1 9 9 7 2 9	9 2 6 5	0. 0 4 6 3 8 8
7	1 4 0 6 1 4	1 5 4 0	0. 0 1 0 9 5 2
8	1 7 3 2 0 6	3 8 1 0	0. 0 2 1 9 9 7
9	2 7 3 4 3 5	2 5 6 6	0. 0 0 9 3 8 4
狩野川の総面積	1 7 5 0 5 1 8	2 9 0 0 5	0. 0 1 6 5 6 9

表 3.7.9 (2) 狩野川の各区間での草本類の占める割合

ID	河道面積 (m ²)	草本類面積 (m ²)	草本類の占める割合
1	2 4 8 6 2 0	4 8 0 6	0. 0 1 9 3 3 1
2	2 0 5 7 6 3	1 2 0 0 4	0. 0 5 8 3 3 9
3	1 5 3 8 7 4	3 1 2 8	0. 0 2 0 3 2 8
4	1 6 1 9 0 6	3 6 8 1 7	0. 2 2 7 3 9 7
5	1 9 3 3 7 1	6 2 0 2 2	0. 3 2 0 7 4 1
6	1 9 9 7 2 9	4 7 7 3 7	0. 2 3 9 0 0 9
7	1 4 0 6 1 4	2 2 3 9 0	0. 1 5 9 2 3 0
8	1 7 3 2 0 6	3 9 9 9 5	0. 2 3 0 9 1 0
9	2 7 3 4 3 5	6 4 8 9 5	0. 2 3 7 3 3 2
狩野川の総面積	1 7 5 0 5 1 8	2 9 3 7 9 4	0. 1 6 7 8 3 3

表 3.7.10 (1) 支川黄瀬川の各区間での木本類の占める割合

ID	河道面積 (m ²)	木本類面積 (m ²)	木本類の占める割合
10	160940	2405	0.014943
11	122696	974	0.007938
12	57888	207	0.003576
黄瀬川の総面積	341524	3586	0.010500

表 3.7.10 (2) 支川黄瀬川の各区間での草本類の占める割合

ID	河道面積 (m ²)	草本類面積 (m ²)	草本類の占める割合
10	160940	67446	0.419075
11	122696	40491	0.330011
12	57888	19558	0.337859
黄瀬川の総面積	341524	127495	0.373312

表 3.7.11 (1) 柿田川での木本類の占める割合

ID	河道面積 (m ²)	木本類面積 (m ²)	木本類の占める割合
13	100767	2278	0.022607

表 3.7.11 (2) 柿田川での草本類の占める割合

ID	河道面積 (m ²)	草本類面積 (m ²)	草本類の占める割合
13	100767	52462	0.520627

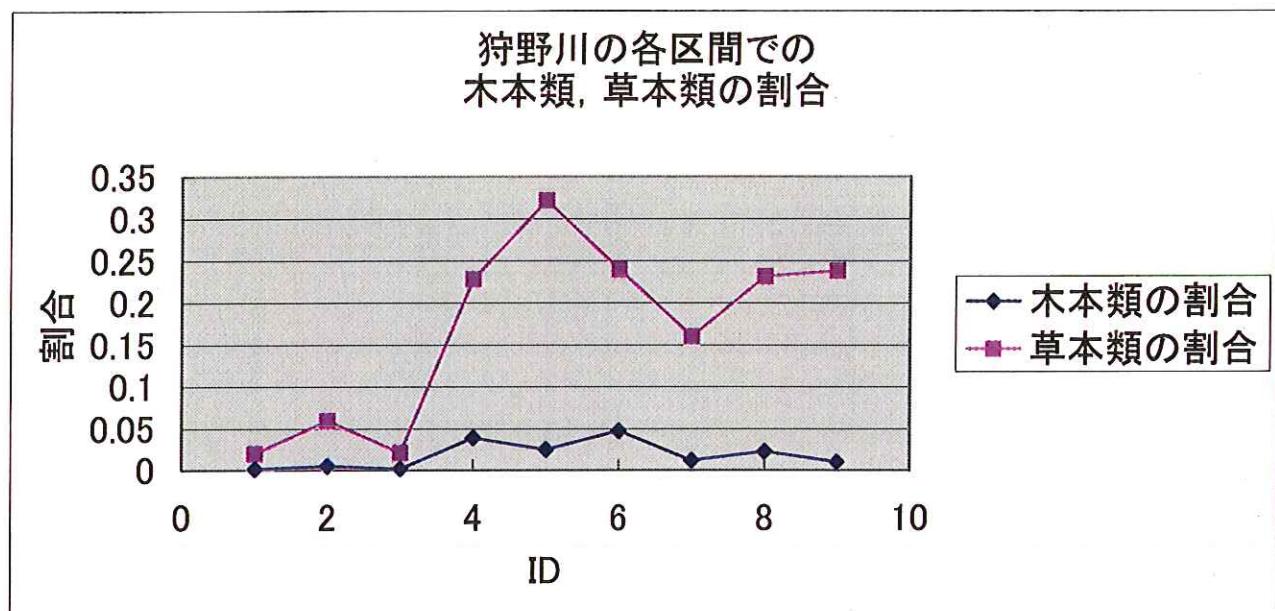


図 3.7.9 狩野川の各区間での木本類, 草本類の割合

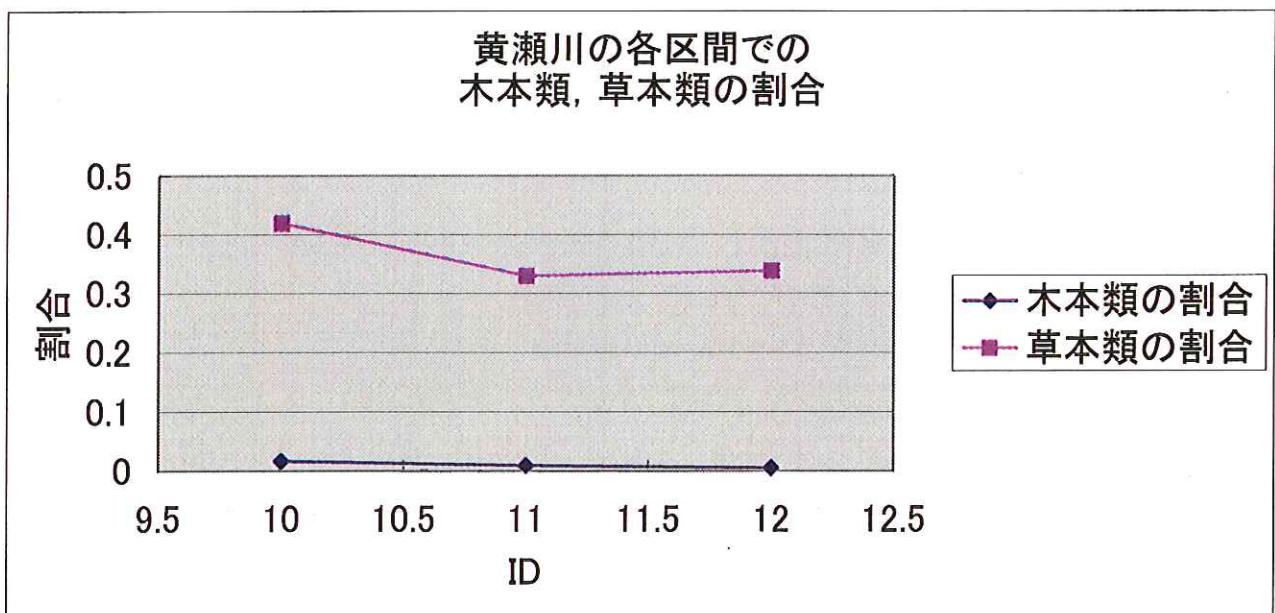


図 3.7.10 黄瀬川の各区間での木本類, 草本類の割合

柿田川での木本類, 草本類の割合

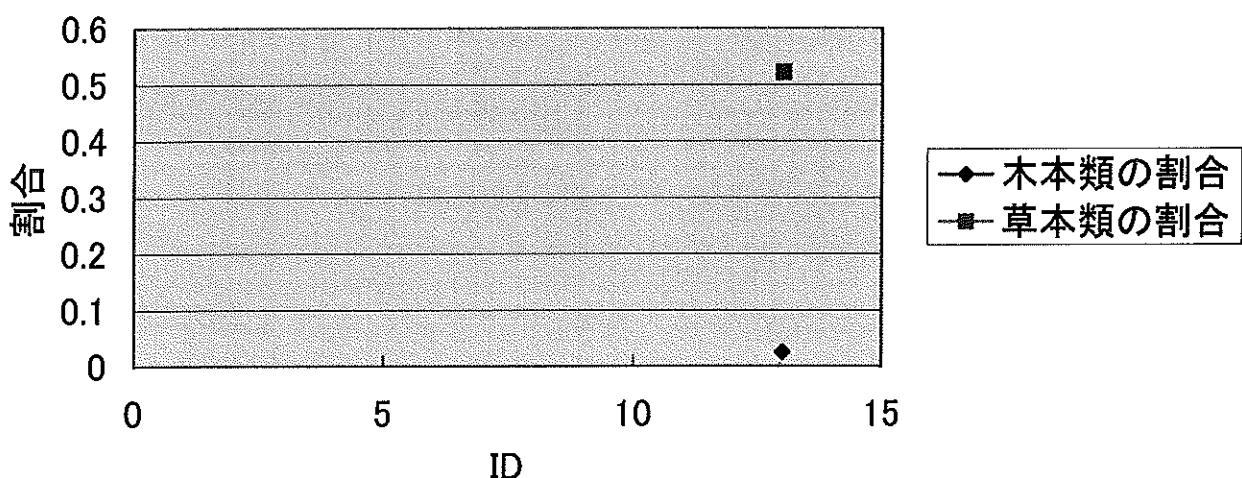


図 3.7.11 柿田川での木本類, 草本類の割合

表 3.7.12 各河川での河道、木本類、草本類の総面積 (m²)

ID	総河道面積 (m ²)	総木本類面積 (m ²)	総草本類面積 (m ²)
狩野川	1 7 5 0 5 1 8	2 9 0 0 5	2 9 3 7 9 4
黄瀬川	3 4 1 5 2 4	3 5 8 6	1 2 7 4 9 5
柿田川	1 0 0 7 6 7	2 2 7 8	5 2 4 6 2
全河道	2 1 9 1 8 6 8	3 4 8 5 8	4 7 4 1 7 7

表 3.7.13 各河川での河道、木本類、草本類の区間ごとの平均面積 (m²)

ID	区間数	平均河道面積 (m ²)	平均木本類面積 (m ²)	平均草本類面積 (m ²)
狩野川	9	1 9 4 5 0 2	3 2 2 3	3 2 6 4 4
黄瀬川	3	1 1 3 8 4 1	1 1 9 5	4 2 4 9 8
柿田川	1	1 0 0 7 6 7	2 2 7 8	5 2 4 6 2
全河道	1 3	1 6 8 6 7 8	2 6 8 2	3 6 4 4 2

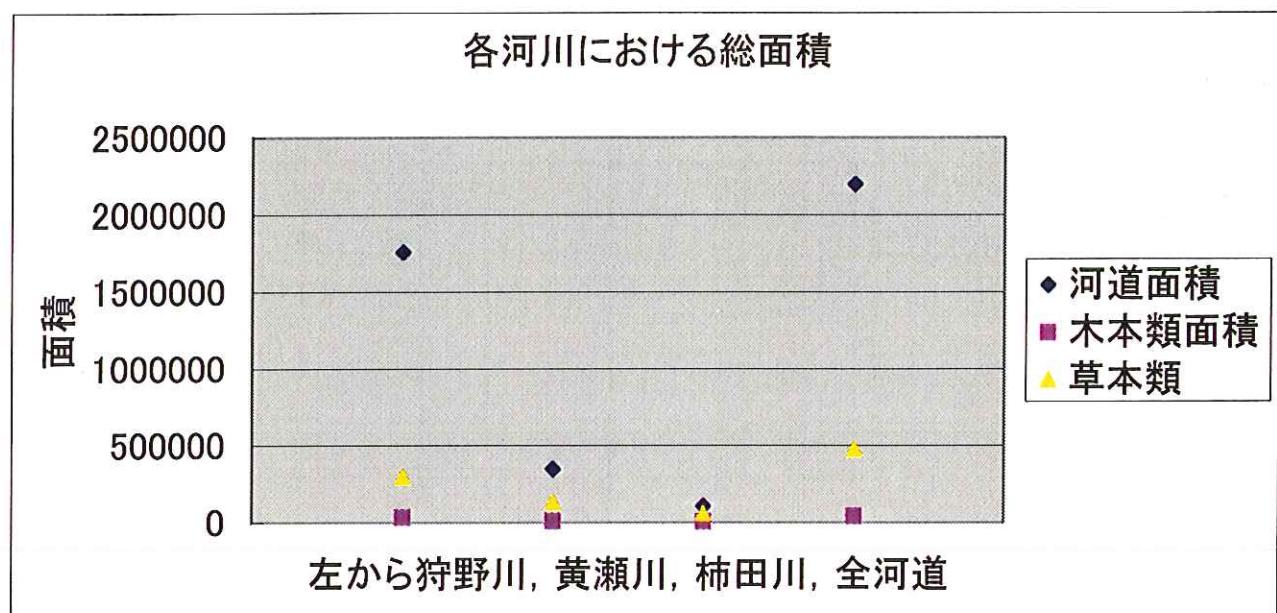


図 3.7.12 各河川における河道, 木本類, 草本類の総面積 (m²)

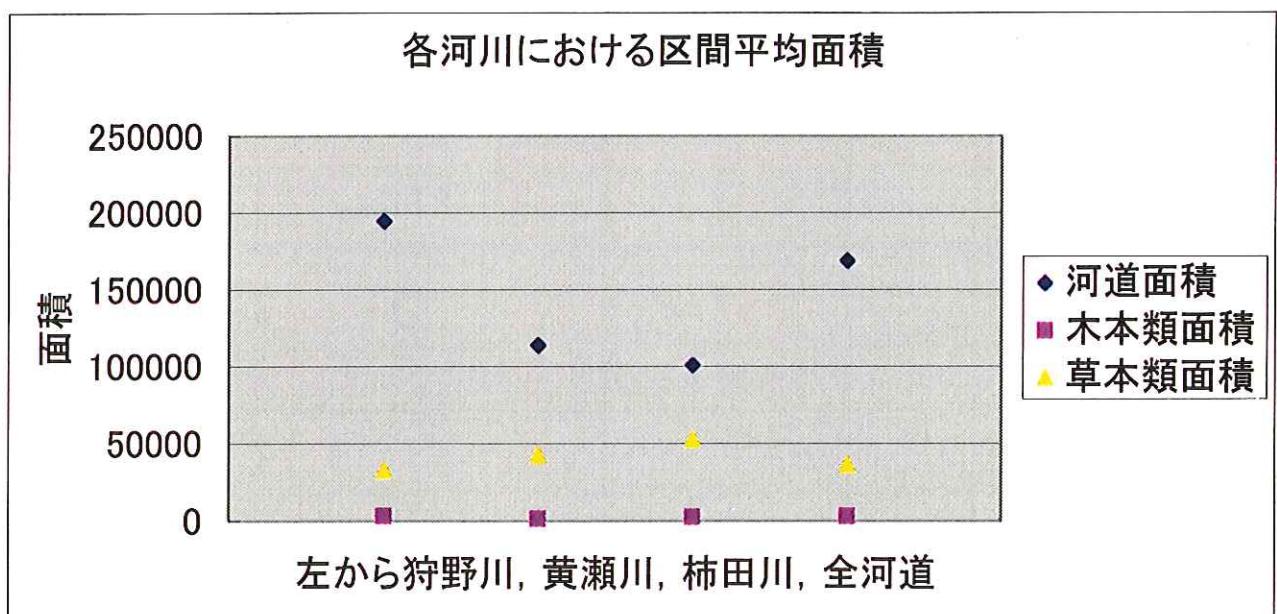


図 3.7.13 各河川における河道, 木本類, 草本類の平均面積 (m²)

表 3.7.14 (1) 各河川での木本類の占める割合

ID	河道面積 (m ²)	木本類面積 (m ²)	木本類の占める割合
狩野川	1 7 5 0 5 1 8	2 9 0 0 5	0. 0 1 6 5 6 9
黄瀬川	3 4 1 5 2 4	3 5 8 6	0. 0 1 0 5 0 0
柿田川	1 0 0 7 6 7	2 2 7 8	0. 0 2 2 6 0 7
全河道	2 1 9 1 8 6 8	3 4 8 5 8	0. 0 1 5 9 0 3

表 3.7.14 (2) 各河川での草本類の占める割合

ID	総河道面積 (m ²)	総草本類面積 (m ²)	草本類の占める割合
狩野川	1 7 5 0 5 1 8	2 9 3 7 9 4	0. 1 6 7 8 3 2
黄瀬川	3 4 1 5 2 4	1 2 7 4 9 5	0. 3 7 3 3 1 2
柿田川	1 0 0 7 6 7	5 2 4 6 2	0. 5 2 0 6 2 7
全河道	2 1 9 1 8 6 8	4 7 4 1 7 7	0. 2 1 6 3 3 4

各河川における木本類、草本類の割合

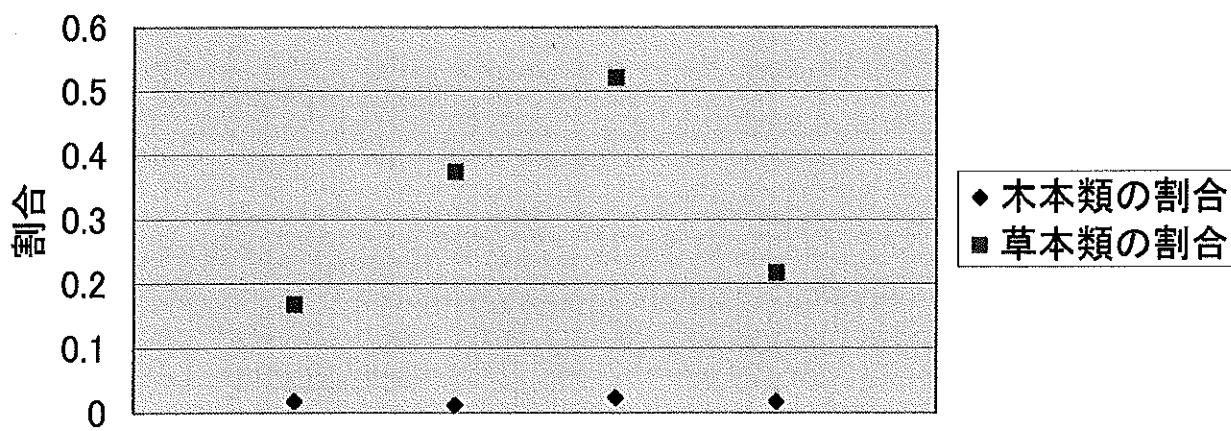


図 3.7.14 各河川における木本類、草本類の割合

まとめとして、各河川での植生を比較しやすいように全対象区間を各区間に区切ったときの河道、木本類、草本類の各面積分布と各割合を次の図 3.7.15、図 3.7.16 に示す。これは、狩野川の各区間(図 3.7.6、図 3.7.9)、黄瀬川の各区間(図 3.7.7、図 3.7.10)、柿田川(図 3.7.8、図 3.7.11)を合わせて示した。

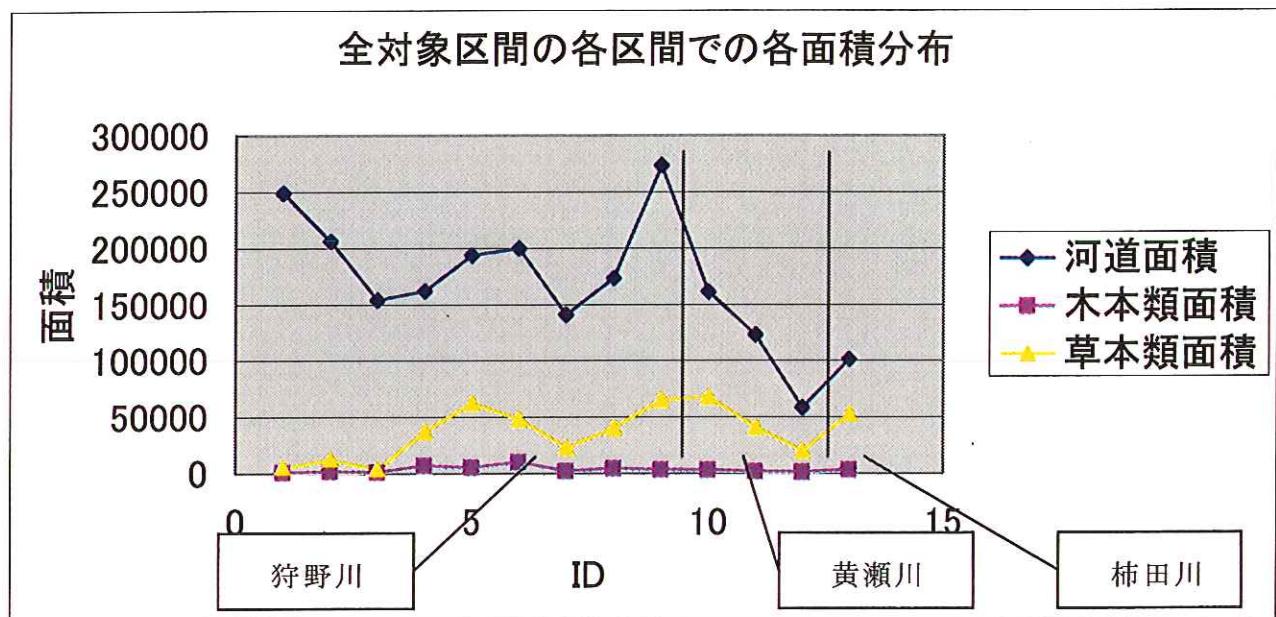


図 3.7.15 全対象区間の各区間での各面積分布 (m²)

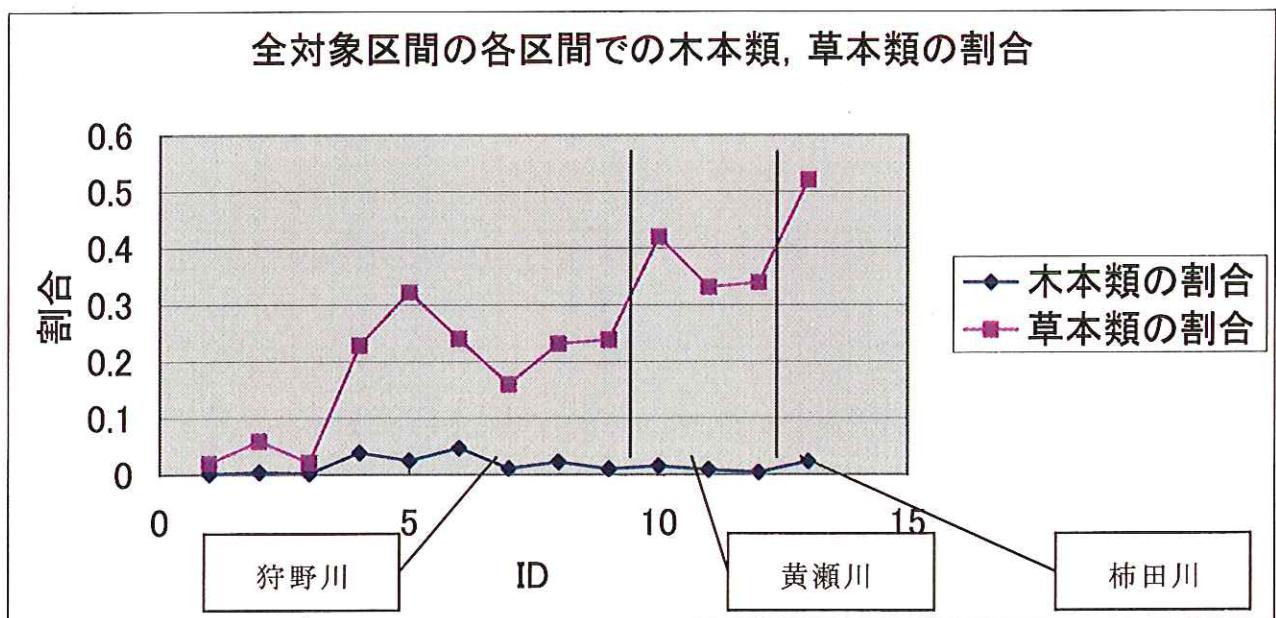


図 3.7.16 全対象区間の各区間での木本類、草本類の割合

第4章 結論

第3章において狩野川の IKONOS 画像を ERDAS IMAGINE により座標変換し、緯度・経度を読み取ることのできるトゥルーカラー画像、R, G, B それぞれの画像、NDVI 画像を作成した。また、ARC/View で画像を表示するためにデータ形式を変換する等の作業も行った。その後 NDVI を指標として木本類と草本類を識別し、ARC/View により河道を各区間（ポリゴン）に分けて、各区間における木本類、草本類の面積を求めた。この際に、狩野川とその支川黄瀬川、柿田川と 3 つの河川に分けて結果を出した。その結果、以下のような結論が得られた。

1. 狩野川に関しては、上流～下流において中流部で最も植生量が多く、木本類、草本類ともに最も多かった。河道内における木本類、草本類の占める割合も同様に最も高かった。逆に下流部では最も植生量が少なく、河道における木本類、草本類の占める割合も最も低かった。ただし、木本類に関してはすべての解析対象においてあまり顕著な違いが見られなかった。画像上の植生を視覚的にとらえてみたが、狩野川に分布する木本類が人工的に植えられたものか自然発生によるものかを判別するのは非常に困難だが、一級河川ということで河川敷はある程度整備されていることから人工的に植えられた木本類が存在している部分もあると思われる。やはり狩野川に分布する木本類のうち自然発生による木本類がほとんどだと思われる。また、植生の分布する河川敷は様々な場所で見られた。直線部分の河川敷に分布している植生もあれば緩やかなカーブ、急なカーブにも分布している植生もあった。ただ、植生が多く分布している河川敷のある河道は比較的面積が小さかった。河道の蛇行部分の植生についてはカーブの内側に植生が多く分布している傾向がある。しかし、植生がほとんど見られないカーブや植生が不規則的に分布しているカーブもあった。
2. 黄瀬川に関しては、上流から下流へと下がるごとに植生量が多くなり木本類、草本類についても同様な傾向を示した。ただ、河道内における草本類の占める割合に関しては中流部よりも上流部の方が高かった。黄瀬川は一級河川というわけではないので狩野川ほど整備されているとは思ひがたく、ほとんどの木本類が自然的なものである

と思われる。また、河道の蛇行部分ではほとんどの植生がカーブの内側にあった。このことについては、黄瀬川は直線部分がなく全区間で蛇行しているのでこのような植生分布が顕著に表れたものと思われる。ちなみに、柿田川では湧水群が数多くあり水質も日本有数の水質を誇っていることから、河道は整備されず植生は自然のまま残されていると思われる。

3. 狩野川、黄瀬川、柿田川について比べると、黄瀬川は狩野川よりも各区間での河道面積が小さいので、草本類の占める割合は狩野川よりも高かった。また柿田川は黄瀬川の各区間よりもさらに河道面積が小さいので、草本類の占める割合は黄瀬川、狩野川よりも高かった。木本類の占める割合に関しては、あまり差はないが狩野川（特に中流部）で最も高く、続いて柿田川、黄瀬川の順に高かった。植生の面積自体は、3つの河川の各区間においてそれほど違いは見られなかつたが（狩野川の下流部の植生は極端に少ないので除いて考える）、河道の面積が狩野川よりも黄瀬川、黄瀬川よりも柿田川という具合に小さくなっているので、このことが上記で述べたような草本類の占める割合の違いに反映していると思われる。

ピクセル数により面積を求めた際に誤差が生じたが、その誤差は平均約 0.17% と非常に小さい値で収まったので、この結果に誤差による影響は特になかったものと思われる。これで狩野川の河川植生の分布状況を把握することができたので、今後の課題として、さらに狩野川の右岸と左岸の関係等にも注目し、この河川植生の分布に及ぼす河道特性の影響を調べ、航空写真から判読した笛吹川、釜無川の植生分布と河道特性との関係を検証する。

【参考文献】

- 1) 飯田祥二：修士論文「河川植生の分布に及ぼす河道特性の影響に関する研究」, 2001
- 2) ESRI : Arc View GIS ユーザーズ・ガイド
- 3) 株式会社パスコ : ERDAS IMAGINE Ver. 8.3 ツアー・ガイド 日本語版
- 4) ジオマチックス研究会編 : GIS 実習マニュアル Arc View 版
- 5) 株式会社パスコ : ERDAS IMAGINE 講習会テキスト, 1998
- 6) 国土交通省 沼津工事事務所 : インフォメーションかのかわ, 2002
- 7) 日本スペースイメージング株式会社 : 事業紹介, 2001