

流域環境管理計画の地球科学的考察
----- 矢作川流域を例として

Environmental management system of river basin
on the consideration of earth scientific study
---- case study in Yahagi River Basin, Central Japan.

名古屋大学図書	
和	991250

福井弘道

報告 甲 1970 号

主論文

題目

流域環境管理計画の地球科学的考察----矢作川流域を例として

Environmental management system of river basin
on the consideration of earth scientific study
---- case study in Yahagi River Basin, Central Japan.

流域環境管理計画の地球科学的考察----矢作川流域を例として

Environmental management system of river basin
on the consideration of earth scientific study
---- case study in Yahagi River Basin, Central Japan.

1986

名古屋大学大学院理学研究科地球科学専攻

福井弘道

目次

要旨

1. 序論

- 1.1 国土計画の地球科学的考察
- 1.2 環境管理への地球科学的アプローチ
- 1.3 参考文献

2. 矢作川流域環境管理計画

- 2.1 流域の概要
- 2.2 利水から見た流域環境の変遷と水収支
- 2.3 ビジョン・シナリオの設定
- 2.4 環境データベース
- 2.5 ゾーニング
- 2.6 参考文献

3. 流域環境計画における水環境容量の設定について

- 3.1 従来の水質規制の問題点
- 3.2 晴天時における河川のBOD水質管理
- 3.3 栄養塩類の総量管理
- 3.4 CODを指標とする有機汚濁の総量管理
 - 3.4.1 日データを用いたCOD水質・負荷量の流出特性
 - 3.4.2 ノンポイント・ソース負荷量とポイント・ソース負荷量の分離
 - 3.4.3 水文学的水質シミュレーション
- 3.5 水環境容量の設定
- 3.6 参考文献

4. 流域環境計画論

- 4.1 流域環境管理システムと矢作川方式
- 4.2 参考文献

謝辞

要旨

本論文は、次の二つの論文を中心にまとめたものである。

- ・ Fukui, H (1985) Environment oriented management system of river basin - case study in Yahagi River Basin, Central Japan. Jour. Earth Sci. Nagoya Univ. 33, 49-80.
- ・ Shimazu, Y. & H. Fukui (1986) Regional environmental and ecological management system - case histories in Japan. Megaecology edited by C. Marinov. (in press)

人類の活動は、生物としての生活活動と脱生物としての生産活動に大きく分けられる。両者の活動条件を内生化（自らの手で作り出す）することによって、人類は環境を改変し続けてきた。そして今日、両者からの自然界、生物界に対する出力（例えば、水・熱の廃棄）のレベルは高まり、開放定常系としての地球の容量を考慮せねばならなくなったのである。この過程を日本人と環境（国土あるいは風土）との関わりでとらえるならば、次の3段階に分けられよう。即ち、照葉樹林帯に初まった文化は稲作以後、まず流域を単位とする生活圏の構造をもつ「川沿い文化」の形成をみた。そして明治以降の近代化は、生産と情報の次元で海沿いの構造への転換を加速し、戦後「海沿い文明」の均質構造が完成された。この自然の流域構造と無関係な、需要優先の機能主義は、同時に多くの環境破壊をもたらした。その反省から現在、定住圏構想が提唱され、「第三の文明」のあり方が模索され、新たな人類と環境との関わり方（環境計画）が必要とされている。

以上の観点から本研究では、環境管理のあり方について検討し、地球科学・社会科学からのアプローチを総合して、その基本的な要件と計画方法を明らかにした。水・土・自然生態系などを限りある環境資源としてとらえ、その利用可能性と限界を踏まえ、適正に地域環境の保全と利用の誘導をはかることが環境管理の目的である。その計画の単位として、流域をとりあげた。日本列島の風土の中で、「水」は自然・社会・文化環境のすべてに大きく関わっており、循環資源としての「水」でつながった流域を考えることには客観性がある。

具体的には、愛知・岐阜・長野の三県にまたがる、矢作川流域（人口120万人、面積2250 km²）を事例にして次のことを行った。

- 1) 環境情報を収集・整理し、メッシュおよび小流域データからなる環境データベースを作成した。
- 2) 流域住民の「望ましい環境像・ニーズ」や市町村の総合計画を分析し、上・中・下流住民及び行政担当者の環境集会を通じて、各々のグループ・インタレスト、「ビジョン」を構造化した。

- 3) 多変量解析により、自然・社会特性についての類型区分とゾーニング（土地利用適性評価）を行った。
- 4) 水収支を明らかにし、水文量を考慮にいたれた水質シミュレーションを行い、水についての環境容量を設定した。

以上の一連の検討の結果、流域環境管理計画の基本原則とフレーム、また方法論に関する基礎的な知見がえられた。基本原則は次の三点に要約される。

- 1) 生態系の単位として流域をとらえ、環境管理に当たっては、生産・生活、そしてココロのよりどころである「水」を軸に、土と緑をワンセットと考える。
- 2) 住民が行動と情報を通じて参加する。
- 3) 装置や効率を尊重する「テクノロジー主義」から、環境観や自然のしくみを尊重する「エコロジー主義」に転換する。

その具体的な方法論として、土地利用適性評価と水環境容量の設定、及びビジョンの構造化の手法がそれぞれ明らかにされた。土地利用の適性と自然環境条件の関係のように、因果関係が複雑な問題の場合には、客観的な環境情報を規格化し、多変量解析を行うことによってその関係を明らかにする、といった方法が有効であることが分かった。

また水環境容量の設定にあたっては、水質を指標として「河川のある点での水質が環境基準を満たすための、それより上流での許容汚濁負荷量」と定義する方法を提示した。水質・流量の連続観測データの解析から汚濁負荷の大半は、大雨時に流出するノンポイント・ソースからの負荷であることが明らかになり、従って総量規制においては、この事実を考慮する必要が認識された。そこで、観測からえられる負荷量時系列を、降雨による流出部分と平常流による部分とに数値フィルターによって分離し、流量との回帰式を求めて、単位流域ごとの環境容量を設定する手法を開発した。この手法によれば、ノンポイント・ソースの排出負荷の主要因である、土地利用の改変量の限界を、水質の観点から提示することが可能になった。その結果、土地利用に関しては、従来の保水機能による水量の制約よりも、水質による制約の方が厳しいことが示された。

さらに、環境管理においては、何を目的関数にし、その優先順位の意志決定をどうするかは重要である。この「望ましい流域環境」に関する、ビジョンの評価構造を明確にするための、参加ゲーミング方式を開発し実施した結果、効果的であることが示された。これは、価値観の伴う問題に対して、住民を認知や評価が可能な性能を有するセンサーとしてとらえ、その内部の構造はブラックボックスとして、出力された評価結果を組み上げて施策に結び付ける、決定メカニズムと言えよう。

1. 序論

1.1 国土計画の地球科学的考察

生物は資源を取り入れ、廃物と廃熱を捨てるといった代謝によって生存、進化してきた。人類もまたこの例外ではない。人類の活動を、生物の活動と対置して考えれば、定常開放系としての地球の存在を前提にして、それは大きく、脱生物としての生産活動と生物としての生活活動に分けられる。経済学では従来、後者を生産に対する消費として扱ってきたが、指数関数的な人類の増大は、生活活動からの自然界への出力（例えば、熱・水の廃棄）を多くし、生産と生活は同レベルで論じる必要が出てきた。生物では、これらの活動条件が自然界から与えられたもの、即ち外生変数である場合が多い。これに対して、人類では、自ら作り出すもの、即ち内生変数としてきたのが特徴である。

生物はまた、単独の種類だけでは生存できない。言い替えれば、食う食われるといった種の多様性が生物の生存をささえてきた。人類も他の生物を必要とし、両者は自然界を仲介としてつながっている。以上の関係は図1-1のようにシステム化できる。

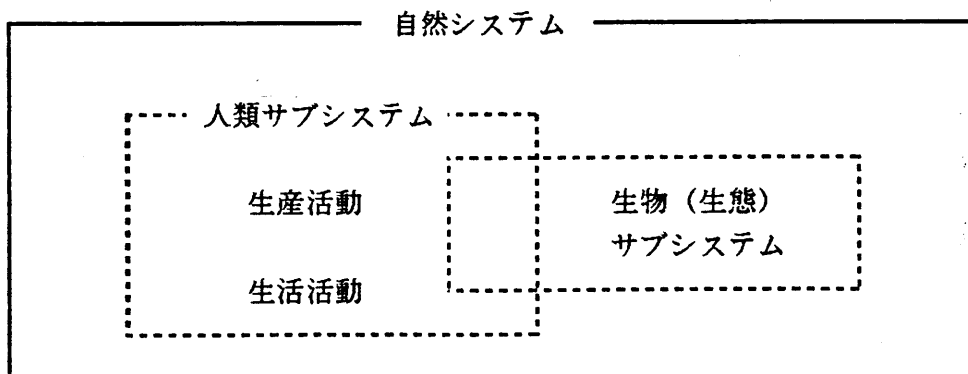


図1-1 トータルシステム

人類と生物は自然システムを外界として共有し、それを物質・エネルギー資源の供給と廃棄の場としている。つまり、水・大気・土壌といった自然システムの極めて大きな容量の存在が、物質・生物循環を保証しているのである。そこで、人類・生物にとっての環境とは、両者の共生のための「自然システムを規定する状態変数（分布を含む）」と定義することが出来る。

人類は活動条件を内生化するによって、環境を改変し続けてきた。しかしながら、上記のようなシステム構造である以上、即ち宇宙コロニーのような完全に閉じた系でない限り、他の生物との共生を維持することは環境の絶対条件である。

地球科学は、元来、広く地球環境を扱う学問であり、その地域性や歴史性が研究のテーマである。歴史には、地球誕生以来から現在までは勿論、将来も含まれよう。その場合、地球はどうなるかではなく、人類が地球をどうするかが問題であろう。これに答えるためには、まず自分が現在生活している地球の姿を明確にする必要があり、それには歴史的感覚が要求される。「文明の生態史観」（梅棹、1967）は生態学の視点から、「文明としてのイエ社会」（村上ら、1979）は社会学の視座からの歴史観であるが、人類と環境との関わりから歴史を捉える、地球科学的なアプローチも有り得る。

古来、東洋人はその総合的な直感によって、人類と環境（地球空間）との関係を「風土、国土」という言葉で表現してきた。そこで、日本人と国土との関わりを地球科学的に捉えてみれば、次の三段階に分けることが出来る。

日本列島の文化は、照葉樹林帯の山地から初まり、稲作以後、平地（扇状地）に移り、やがて沖積平野そして海岸に達した。即ち、この段階の日本の歴史は、流域を単位とする「川沿い文化」の発達史であった。経済成長は、一過性の河川水の利用効率によって規定され、水を通しての運命共同体が、また社会制度も規定していた。この時代の風土の特性は、方丈記（鴨長明、1212）の冒頭の、

「ゆく川の流れば絶えずして、しかももとの水にあらず」

という表現に象徴的であり、水に流す気性をよく表している。自然と人間の共存といった「和魂」もこの頃形成されたのであろう。また、沖積平野が主たる生産と生活の場となると同時に、川は利水・治水の対象となり、技術によって自然を人類の管理下におく「テクノロジー主義」の発露であった。

明治の開国以後の「洋才」の移入による近代化は、自然と人間との関わり方を変容させた。輸出入中心のフロー経済は、生産と情報の次元で海沿いの構造へ転換させ、ここに、川沿い文化にかわる「海沿い文明」が成立した。そして第二次大戦後、国土計画という形で、人間と環境との関わりが、国家的に統括される。第一、第二次全国総合開発計画は、この海沿い文明を極端に加速するもので、海沿いの均質化が進んだ。もはや、水は生産要素としてのみ捉えられ、利水と治水のバランスだけが問題とされ、川は単なるパイプラインとなった。この流域構造を無視した需要優先の機能主義は、その代償として、下流の海沿いの過密都市と上流の過疎山村に代表される、アンバランスを受け取ったのである。

この反省から、1977年に制定された、第三次全国総合開発計画は、「定住圏構想」を掲げて登場し、流域圏をその受け皿としている。これは、海沿い文明につづく、新たな「第三の文明」のあり方を模索し、同時に、その実現のための、人類と環境の新たな関わり方が問うたものと位置付けられよう。これに答えるものとして、本論文では、「流域環境管理計画」を提唱するものである。

1.2 環境管理への地球科学的アプローチ

環境管理とは、

公害防止→環境アセスメント→計画アセスメント→環境管理

という、環境行政の流れの中で、より根元的で総合的な手段として、提起されたものである（環境庁(1986)）。その目的は、水・土・空気・自然生態系などを限りある環境資源として捉え、その利用可能性と限界を踏まえ、適正に地域環境の保全と利用の誘導をはかり、続く世代に良好な環境を引き継ぐことにある。この目的関数は、「開発か自然か」に代表されるように、一般に多元的で、しかも互いにトレードオフの関係にある。従って、環境管理の管理とは、managementの意味であり、何を目的関数とするか、その優先順位の意志決定をどのように行い、望ましい環境像をどう描くかは重要である。そして、この判断基準を「生活者のアメニティ」や「エコロジカル・サウンドネス」に求める。これは、

- 1)失われつつあるよい環境を共有資源とみて、地域の環境資源をその地域にあった方法・適正技術で利用する。
- 2)供給に見合う需要を考える。
- 3)短期の効率・利便性よりも、長期の生産性の維持・安定を優先させ、続く世代の生活と生命の安全を図る。

事を基礎とした評価尺度で、エコロジー的にもものを考える姿勢であるといえる。これを基に、環境管理を実現する具体的なプログラムが、環境管理計画である。

さて、前章では、主として歴史性を問題とする地球科学の立場から、日本人と環境との関わりについて議論した。地球科学のもう一つの特徴は、あるまとまった一定の「場」の振舞いに着目することである。そこで、本論文で環境管理考察するに当たり、その対象とする場を流域に据え、実証的に検討を行った。環境を構成する循環資源としての「水」は、日本列島の風土の中で、歴史的にも、自然・社会・文化環境のすべてにわたって、大きな関わりをもってきた。従って、水でつながった生態系、即ち、流域を単位として考えることは、客観性があるといえる。

具体的には、地元で、しかも先進的な流域管理が模索されつつある、矢作川流域を事例研究の舞台とした。そこで、主として次のようなアプローチから、流域環境管理計画の実現について検討した。

- 1) 流域の水収支の検討 (2.2 章)
- 2) 環境目標の決定 (2.3 章)
- 3) 流域環境データの整備 (2.4 章)
- 4) 土地利用の誘導のための流域類型化 (2.5 章)
- 5) 流域の水環境容量の設定 (3 節)

そして、この事例研究を基にした、流域環境管理の一般的なあり方についてを、最後の4節においてまとめた。

1.3 参考文献

梅棹忠夫、文明の生態史観、中央公論社、1967。

村上泰亮・公文俊平・佐藤誠三郎、文明としてのイエ社会、中央公論社、1979。

鴨長明、方丈記、1212。

環境庁企画調整局環境管理課編、地域環境管理計画策定の手引、1986。

2. 矢作川流域環境管理計画

2.1 流域の概要

矢作川は、その源を中央アルプスの南端、長野県下伊那郡平谷村の大川入山（1908m）に発し、長野・岐阜県境を流下し、愛知県に入り、西三河平野を貫流して、西尾市において三河湾に注ぐ。その流路の延長117km、流域面積1830km²であり、うち山地面積86%となっている。さらに、西三河平野の西部の境川流域を加えた面積は、2272km²で、本論文ではこの領域を矢作川流域として扱った。（図2-1参照）

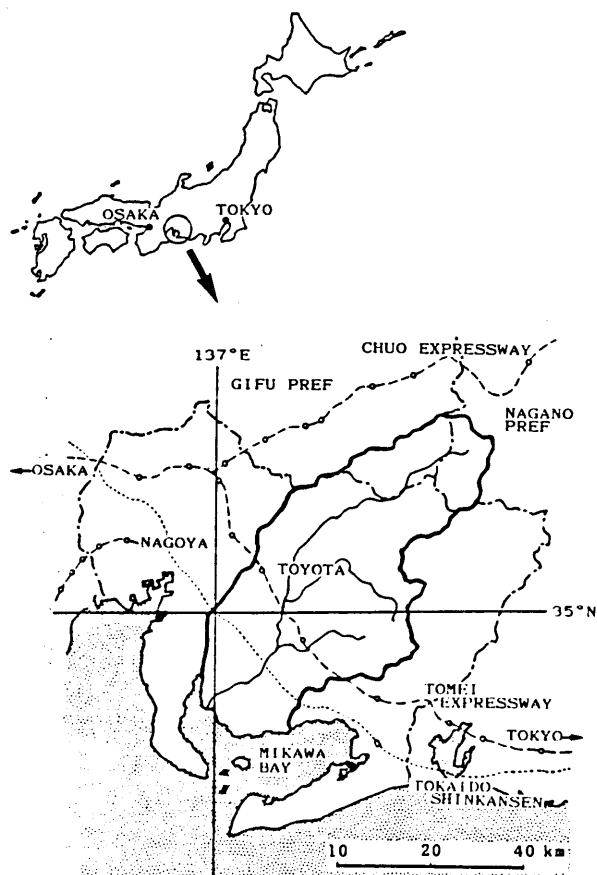


図2-1 矢作川流域の位置図

流域は、行政区域が三県にまたがり、合計26市町村（8市、12町、6村）からなっている（図2-2参照）。流域の人口は約118万人（1980年）で、増加率（1965～1970）は40%という人口激増地域であるが、下流平地部と上流山地部の格差は著しく、中下流の西三河13市町村に95%の人口が集中する。人口密度は、上流が1平方kmあたり10人以下、中流部で100人、そして海拔100mの平野部に出ると、1000人～2000人の都市になる。上流部は、85%が樹林であるが、近年特に過疎化が目立ち、その管理が問題となっている。また、財政の自立度も20%以下の町村が殆どである。一方、中流部は巨大企業トヨタ自動

車の本拠である豊田市を中心として、全国的にも希な自動車産業を頂点とした、工業的發展を示し、耕地をとりつおして都市化が急速に進み、今後も人口の増加が予想されている。下流部は、用水システムの完成と共に、大正年代に丘陵部の耕地化を実現し、日本のデンマーク農業の名声を博した西三河は、現在も水稻中心に施設園芸を加味した、有数の農業地帯となっている。さらに、臨海部は、海苔・鰻の養殖地としても有名である。

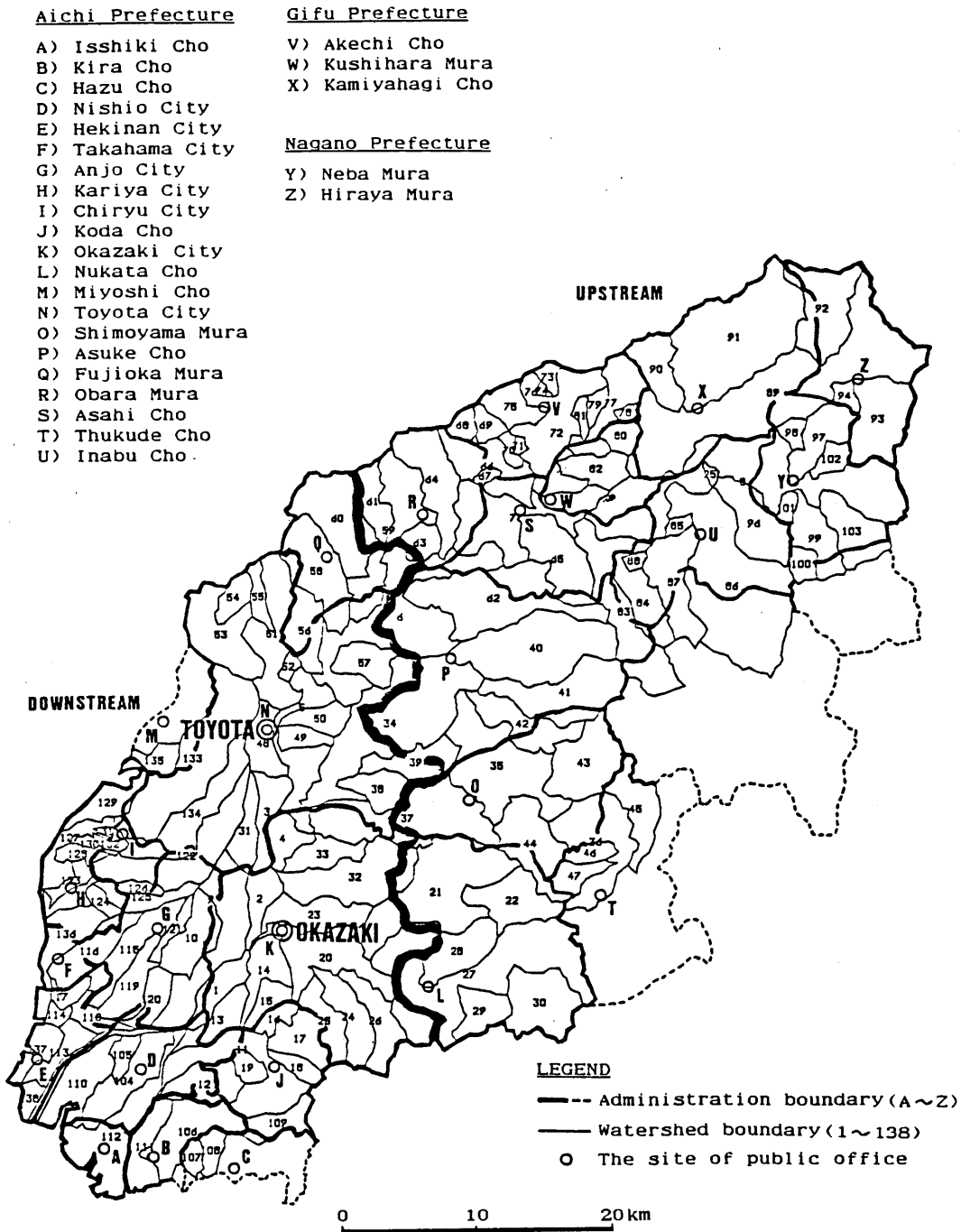


図2-2 矢作川流域の行政及び、流域区分図

第二次大戦以前の矢作川流域は、大規模な農業用水システムに支えられた、先進農業と、様々な地域資源を利用した、労働集約型の地場産業を経済的基盤として、極めて安定した地域社会が成立していた。いわゆる、「川沿い文化」はここに完成していたといえる。ところが、戦後の急激な社会・経済変動は、これを「海沿い文明」の構造に一変させ、図2-3に見るような、急激な人口増加と産業構造の転換が行われた。この自動車産業を中心とした工業化やそれにとまなう都市化の波は、同時に流域に、上流の過疎・低所得と下流の過密・高所得に代表される様々な格差を生じさせ、拡大した。そしてその帰結として、水質汚濁・水資源問題・治水治水問題・自然の消失・土地利用の混乱といった、流域全体に係わる多くの環境問題が引き起こされた。やがて、これらの問題に対して流域住民が対応する過程の中で、いくつかの流域経営・環境管理の地域運動が生じ、「第三の文明」を模索する動きが、矢作川流域においても胎動し始めたのである。

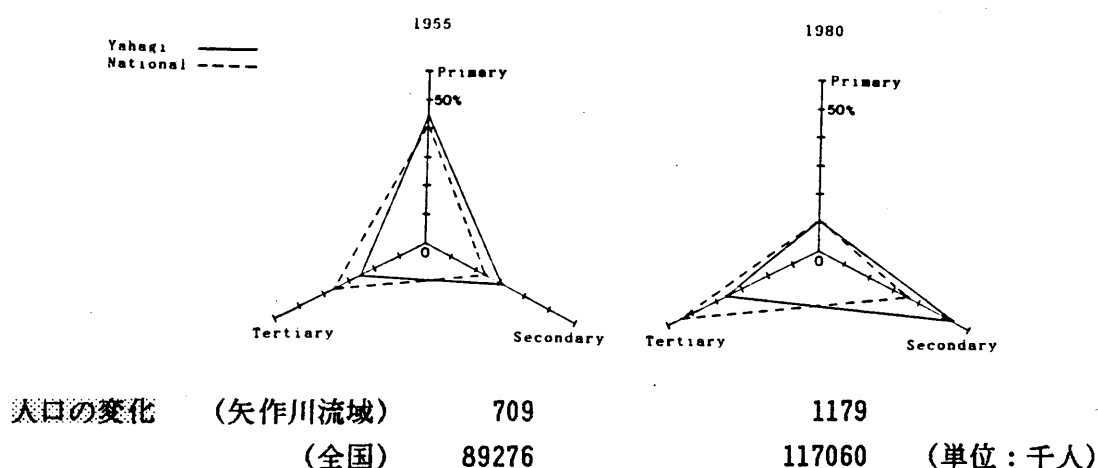


図2-3 矢作川流域における人口と就業構造の変化 (1955～1980)

以上の、流域の変容の過程を次の章で、さらに詳しく水を軸にして考察する。

2.2 利水からみた流域環境の変遷と水収支

地域における水利用の形態は、技術文明や内部経済の発展と共に不断に変化していく。序章において述べたように、日本人の文化の形成にとって水は大きな関わりを持っていた。従って、水利用体系の動向について考察することは、地域環境の変遷や地域社会の進展を論ずることに外ならない。現在の矢作川流域のように、水利用が高度に進んだ地域では、各利水系統が相互に干渉しあって、もはや個別に内部のバランスだけを考えるだけでは円

滑な水利用は望めなくなっている。今や、流域的規模で水資源のバランスを考え、その利用体系の基本とすべき性格を、流域の環境との関連において論ずることが急務と言えよう。そこで、以下では矢作川流域における水利用の史的展開を要約し、現在における水収支について検討する。

流域の利水開発の経過は、河川の自流量を利用していた時代と、あらたに水資源を開発していった時代の二つに大別されよう。

(1) 河川自流量利用時代

A. 明治以前 - 下流水利秩序の形成 -

矢作川の利水が本格的に開始されたのは、1605年に徳川家康が治水対策として、下流の洪積台地を開削し新川を作った頃からである。矢作川の流路が安定したことにより、いわゆる「塩の道」として舟運も栄えた。明治以前に開発された農業用水は、矢作川下流域の低湿地帯の水田における、自然取水が主体であった。当時、矢作川は河床が上昇し天井化され、用水供給よりも洪水防御や排水に関心が払われていた。

B. 明治～昭和27(1952)年

- 中・上流水利秩序と下流循環利水システムの形成 -

明治に入って、矢作川中流域に広がる洪積台地に大用水の開発が行われた。明治13年には明治用水が、そして同23年には枝下用水が灌漑を開始した。この2つの開発過程で注目されるのは、当初において下流農業用水群からの異議が無く、容易に上流の用水開発がなされたことである。また、水源をめぐる並行的な二つの用水開発計画における水利秩序の形成過程は複雑であった。結局、枝下用水については、限定取水と下流への放流が、明治用水については全量取水が秩序づけられることとなった。

枝下用水・明治用水の水利権は、洪積台地の開発水田であることなどから一般水田の倍近い値となり、それぞれ、 $8.69\text{m}^3/\text{sec}$ 及び $30.0\text{m}^3/\text{sec}$ （最大値）とされた。明治用水取水点の渇水流量は約 $15\sim 20\text{m}^3/\text{sec}$ であり、渇水流量を越える水利権が形成されたこととなり、現代にまで引き継がれた慣行水利秩序はここに確立するのである。これより、矢作川の水利用は大きく分割されることとなった。

一方、水力発電所は昭和10年代までに、計22基（総発電量71,222kw）設立されている。

このような水利用の進展、利水施設の建設、また河川改修は、矢作川の流水及び土砂供給に変化を与え、矢作川河床は低下傾向に転じた。さらに下流農業用水群は、用水不足に悩まされることとなった。渇水時にはすべての表流水が、枝下・明治用水によって取水されることに対して、明治用水の還元水を再利用したり、地域内に「循環利用システム」を形成することによって対処がなされた。こうして、農業開発が河川自流量を前提として極限まで進められたのである。やがて、用水の安定化のためにはダムによって新規水資源を開発することが必要とされる。

(2) 水資源開発時代

A 昭和27(1952)～47(1972)年

－近代的循環利水システムの形成と水環境の悪化－

1952年より国営矢作川農業水利事業として、支流の巴川に羽布ダム（1963年完成）が建設される。当初ダムによる補水は、巴川・矢作川を流下して既存の循環利水システムを使用することにより、下流の農業水利地区の水不足に充分対応できる計画であった。しかし、この時期の経済・社会の急激な変動は、その根本的改革を引き起こすことになる。当時、中京圏においては活発な建設ブームであり、これが矢作川の大量砂採取を招き、河床が大幅に低下した。また、トヨタ自動車を中心とする内陸工業地帯・衣浦湾臨海工業地帯などの矢作川に依存した地域開発の急速な進展は、地域の自然環境の容量を越えて、下流の農業水利システムに重大な影響を与えた。さらに農業構造の内部変化によって、用水需要構造にも変化が生じ、都市化の進展は、用水の反復利用を担った溜池等を公共用地に転用させた。

1963年から矢作川第二農業水利事業として、巴川取水の細川頭首工及び、巴川のさらに下流の支流である乙川に乙川頭首工が建設された。そして、下流の農業用水群は幹線水路で結ばれ、ここに一つの独立した水利システムが形成されることとなった。この水利システムにおいては、下流地区の「循環利水システム」が前提となっており、ダム自身の容量もこれを考慮に入れて計画されている。従って、開発に伴う地区内の中・小河川の水質汚濁は、この前提を崩すことになり、新たな水不足を生じさせる原因となった。1969年には、流域規模で矢作川沿岸水質保全協議会が結成され、水汚染問題への取り組みも本格的に開始された。

1971年には、「矢作川総合開発事業計画」による特定多目的矢作ダムが完成する。これにより、利水に都市用水（工水・上水）が参画することになり、あらたに水利権取水量の調整が問題とされるようになった。

B 昭和48(1973)～現在

－流域総合水管理システムの模索－

1973年に愛知県は、岡崎農地開発事務所に用水管理課を設置し、用水配分のための水管理の強化を図った。これは矢作川利水の農業用水・上水及び工業用水の共同施設の維持管理と羽布ダムの管理を統合的に行うものである。1973年から5年間にわたる給水実績を基にして水配分基準を作成し、給水を行っている。この5年間の「見直し」を基礎とした配分基準は地域の合意を得たものであり、ほぼ配給制に近い供給主導型の利水管理である。

矢作ダムの完成はさらに流域の総合化に拍車をかけた。矢作ダムの水管理は、明治用水（明治用水土地改良区）を除いた共同幹線を岡崎農地事務所が担当し、ここに流域的規模の総合水管理が始動したといえる。

以上、流域の利水開発を中心にして、環境の変遷を論じたが、ここで戦後の急速な工業化と都市化が流域環境（主として水を取り巻く環境）をどう変貌させたかを要約する。

- (1) 急速な農業から工業への就業者の移動は、農山村の基盤を揺るがした。
- (2) 土地改変や溜池の消失は、下流の都市域で洪水を頻発させた。
- (3) 年間を通じた、都市及び工業用水の需要は、水資源問題を生んだ。
- (4) 建設資材としての砂利採取等によって、河床が著しく低下した。
- (5) 流域の開発の進行や、水利用のモラルの低下は、水質汚濁を深刻化させた。
- (6) 上流山村における急速な過疎化（1960年から1980年までの間に、下流部では約76%人口が増加したのに対して、上流部では約26%減少した）は、流域の森林保全の担い手を失わせる結果となり、水源涵養機能を低下させた。

上記の水環境の変遷を受けた矢作川流域の、現在の水利の状態と今後の開発計画を図2-4に示した。

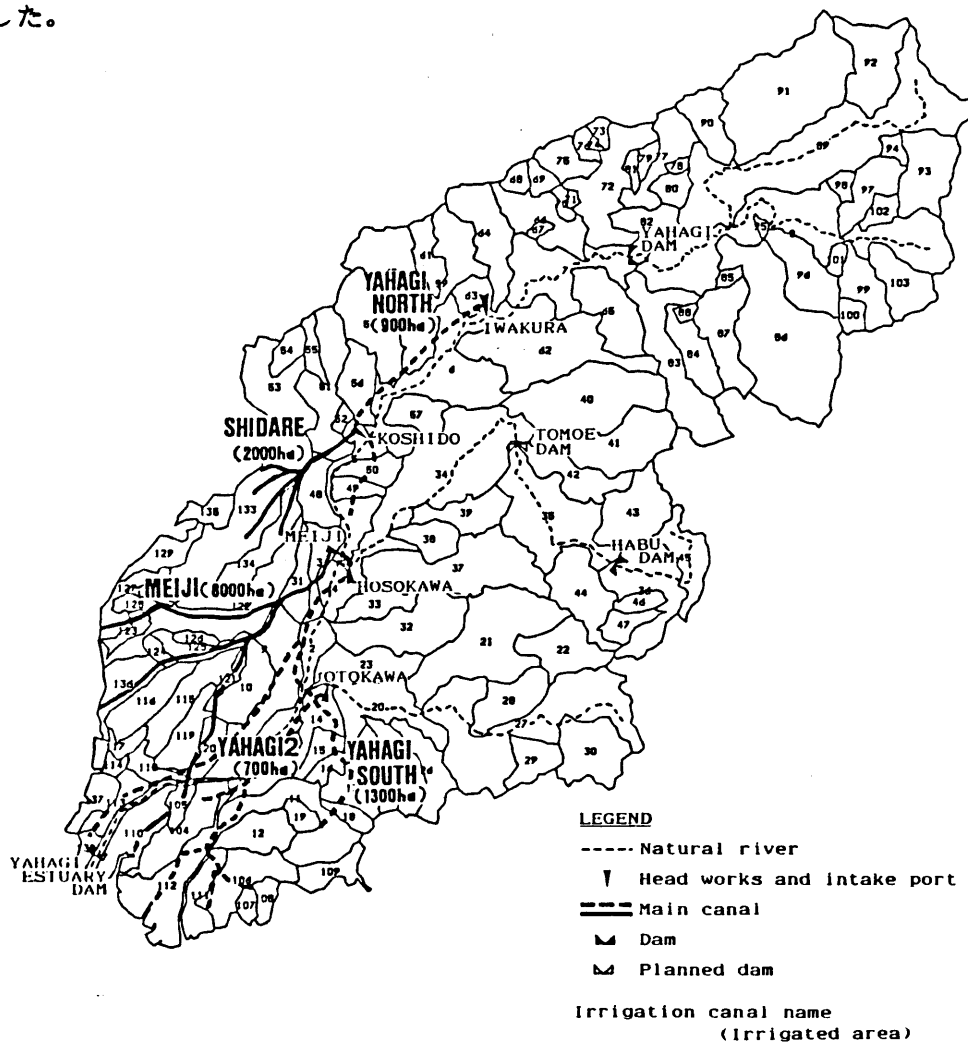


図2-4 矢作川流域の用水システムと今後の水資源開発計画

現況は、必ずしも前述したように、流域的総合水管理が行われているわけではない。農業用水によって大分割された水利系統は、独立的であり、わずかに都市用水（一部は農水）の送水のために少しつながれた程度である。水管理の面でも、水源については矢作ダムは建設省、羽布ダムは愛知県管理であり、取水口・送水施設についても明治用水土地改良区と愛知県管理とに別れており、一元化はなされていないといえる。また今後の水環境に関する計画の主なものとしては、河口堰・上流のあらたな多目的ダム・流域下水道の建設がある。

そこで、これらの計画の前提となる、矢作川の現在の水収支について検討した。今回の水収支の検討では、矢作川流域をその地形・地質の特性から、図2-5のように中流域に分割し、中流域を単位とする水の移動に着目した。

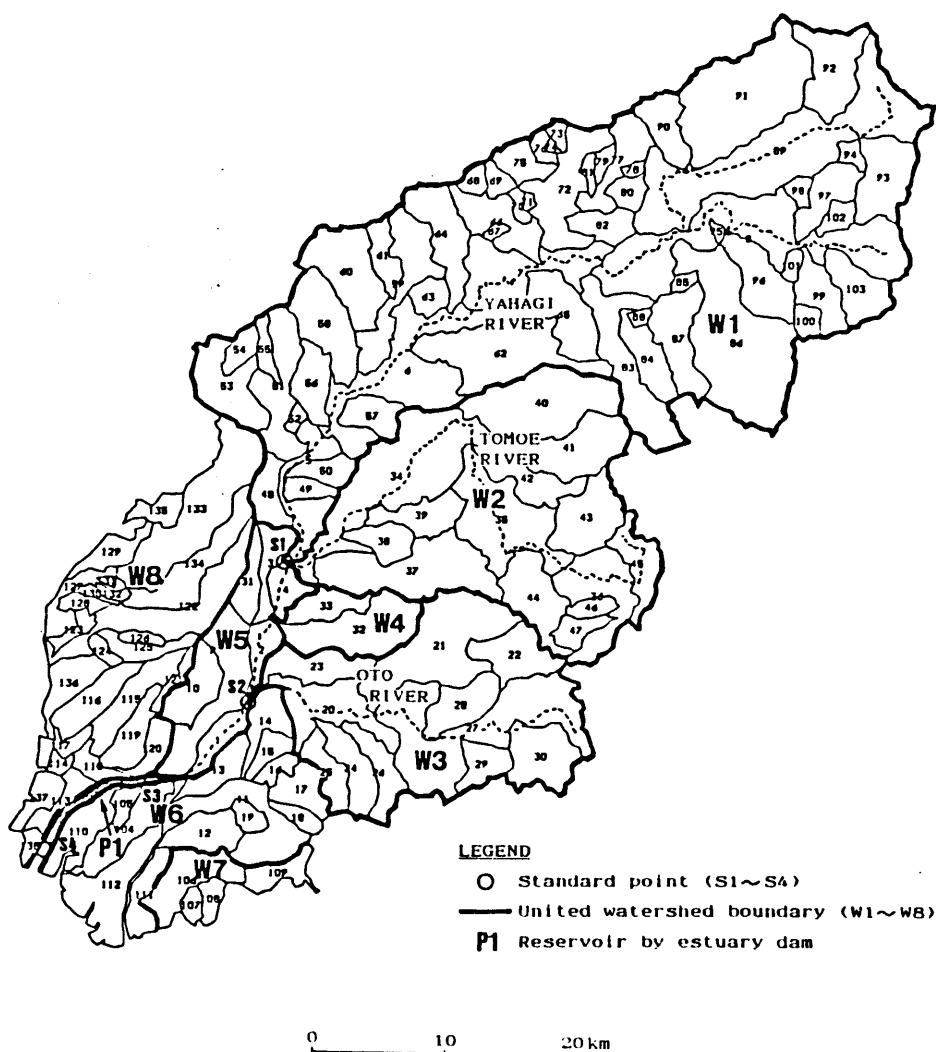


図2-5 矢作川の水収支評価のための中流域構造

矢作川の水収支は、既に原・宮沢（1975）が、樫根・竹内（1971）の報告に続いて、詳細な検討を行っている。そこでは、水の循環過程において、一定地域・一定期間の水収支を考えた場合、次の水収支方程式を仮定している。

$$P = E + (D_{out} - D_{in}) + (G_{out} - G_{in}) + \Delta G + \Delta M \quad \text{-----}(2-1)$$

ここで、

- P : 降水量
- E : 蒸発散量
- D_{in} : 他流域からの表流水の流入量
- D_{out} : 他流域への表流水の流出量
- G_{in} : 他流域からの地下水の流入量
- G_{out} : 他流域からの地下水の流出量
- ΔG : 地下水の増減量
- ΔM : 土湿増減量

今回の検討でも、上式に従い定量を行った。各項については、長期間を考えるので、 $\Delta M \approx 0$ とし、 ΔG も他の項と比べ極めて小さいと推定されるので無視した。また、PとEについては、原・宮沢（1975）の Thornthwaite の方法による定量結果を利用した。以上の方法による、水収支の推定結果を図2-6に示した。

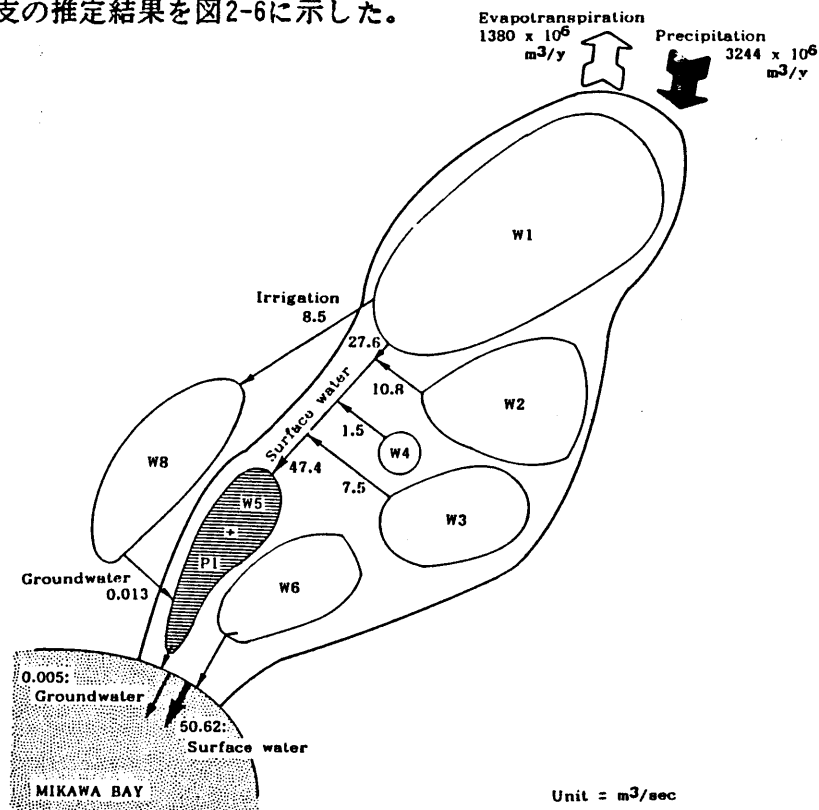


図2-6 矢作川流域における水収支

これに対して、水の利用量を、流域に張りめぐらされた用水システムの水利権を基に検討したのが表2-1である。

Irrigation water intake port in W1~W2 and P1	Maximum intake (water rights) m ³ /s	Water use
Iwakura (Yahagi North)	1.59	Agricultural
	3.20	Public water supply
	2.67	Industrial
Koshido (Shidare)	8.694	Agricultural
Meiji (Meiji)	30.0	Agricultural
	4.02	Industrial
Hosokawa (Yahagi 2) (Yahagi South)	16.85	Agricultural
	1.43	Agricultural
	1.23	Public water supply
Otokawa (Yahagi 2)	9.81	Agricultural
(planned)		
Tomoe dam	2.0	Public water supply
Yahagi estuary dam	3.0	Industrial

表2-1 各用水システムにおける最大取水量

水利権をベースにした、水使用量の現在の合計は、およそ80m³/secであり、これは、水収支からみた、流域の表流水の合計約48m³/secの、1.65倍に当たる。即ち流域の自然の水賦存量をはるかに上回る水利権が設定されていることになる。これが、限界利水と言われている由縁であり、ここに、流域規模の水環境を再検討する必要性があると言える。

2.3 ビジョン・シナリオの設定

流域の概要・環境の変遷で指摘したような問題に対応するため、以下の章では、流域で行われるあらゆる人間活動に対して、予め環境的な配慮を組み入れるための総合的な手段として、流域環境管理計画を提唱しそれを検討する。

およそ計画とは、目標・方針・手続き・プログラムの各々を、代替的なものから選択することと要約できよう。そして、計画を策定する行為の中身には、次の二つのことが含まれる。即ち、

- 1) 計画目標（ビジョン）を決定する。
- 2) 計画（シナリオ）の end state の良否を、客観的・科学的に評価する。

従来、後者の、計画を実施した場合にどのような影響が考えられるかという姿勢（例えば、環境アセスメント）は比較的強いが、前者の、「何をやるのか」に対する、決定方法に配慮することは余りなされておらず、末石（1978）の水資源問題に関する共同参加ゲームの提案など数例にすぎない。環境計画のように、「望ましい環境とは何か」といった価値観のともなう問題では、その目標をどのような観点及び手続きで決めて行くかは重要である。

流域環境管理計画も計画であるからには、ビジョンの設定は重要であり、計画行為の第一歩であるといえる。また、それは、下からの積み上げの計画であるべきと考えるので、地域運動の歴史的な経過をふまえ、住民が計画へ参加することは不可欠である。そこで本章では、流域環境管理計画における、住民参加を通じた、目標（ビジョン）の決定について論じる。以下では、まず矢作川流域で、今までどのような環境に関する地域運動があったかを簡単に振り返り、その後具体的なビジョンの設定について検討する。

矢作川流域においては、前述したような環境問題の発生と合い前後して、特に、水問題を中心とする、様々な自主的な地域運動が展開されてきた。この動きは昭和40年代の中ごろから始まった。当初は、水質汚濁の公害反対運動がその中心であったが、それから発展して、開発における社会的な合意形成システムの確立や積極的に河を美しくする住民の活動等が育ってきた。この様な活動は、その活動主体や活動の内容から、次の3つのタイプに分けられる。

1) 農業・漁業団体及び市町村による、流域の水質保全運動（矢水協）

昭和44年に、農・漁協などの下流の利水団体が大同団結して、「矢作川沿岸水質保全対策協議会」（矢水協）が結成され、農民や漁民さらには一般市民の生活を守ることを目的に、現在まで活動を続けている。当初、農業関係6団体、漁業関係7団体、関係6市町で発足したが、55年では農漁業関係24団体、21市町村となり、文字どおり流域規模となった。

活動は、水質汚濁の調査・発生源の監視・抗議・行政機関への陳情等に始まり、次に激しいパトロール活動が流域全体で展開された。46年施行された水質汚濁防止法の直罰規定により、47年には全国初の摘発があり、流域の浄化に対する確実なステップとなった。初期においては、水質汚濁の原因は上流の山砂利、けい砂、窯業原料採取であったが、47・49年の集中豪雨を契機に、自然を破壊する乱開発が最大の原因であることを認識し、以後の運動は、開发行為のチェックに重点がおかれるようになった。これは同時に、上・中流の乱開発を放置してきた、国・県や市の行政責任を追求することになった。

この様な積極的な活動が身を結び、いわゆる「矢作川方式」とよばれる社会システムが現在では定着した（内藤(1986)）。これは、開发行為に対して、矢水協が管理主体となって、通常的环境アセスメントを含む事前協議から、行政的許認可を経て、着工後のモニタリングまでを一貫したシステム（これについては、第4節においてもふれる）である。矢水協では、さらに地域住民と接触・啓蒙活動を強め、その成果を地域住民の中に、「河を

美しくする」自主的な運動として展開しつつある。

2) 市町村と研究者による流域経営への研究協議活動（矢流研）

昭和46年、「矢作川流域開発研究会」（矢流研）が、愛知・岐阜・長野三県下の流域全市町村のほか、学者・文化人により、新しい地域開発の理念と実戦を、地域学習と協議を通じて摸索し実現することを目的に発足された。「流域は一つ、運命共同体」を基礎理念に、これまで「水」「緑」「土地利用」「流域交通」「山村計画」「流域文化」などのテーマでユニークな研究を展開してきた。また、矢流研ではこうした自主的な研究を進めるとともに、流域問題に対する社会的な関心を高め、広範な地域住民の積極的な参加を通じて地域づくりの方向を摸索するため、すでに20回以上にわたって「流域シンポジウム」を開催してきた。さらに、具体的な企画行政への成果として、上流域と下流域の相互作用を促進させる制度である、「矢作川水源基金」を昭和53年に実現させている。

3) 川を軸とした住民運動・地域連帯（環境ボランティア団体）

矢水協・矢流研の活動が原動力となって、各地に自主的な地域活動が発展してきた。例えば、川を美しくする住民運動や、小・中学校の水をめぐる学習活動・環境教育、また姉妹協定などの、上流と下流の交流活動など事例は多い。

以上の、矢作川流域にみられる活発な地域運動の源泉となったのは、「川沿い文化」の時代に培われた、用水の公平な分配を中心とした村落社会の連合と協議の経験の蓄積であったことも見逃してはならない。こうした地域経営の経験の蓄積があったからこそ、「海沿い文明」のもたらした、急激な都市化と工業化に対応した、住民の地域運動が芽生えたのである。そこで、この様な住民運動を基に、流域環境管理計画を進めるには、どの様な計画目標を設定すればよいか、住民の意向はどうかを次に検討する。

末石（1978）は、計画目標・戦略・施策を樹系図の形に整理し、投票形式によって、その関連樹木の妥当性と施策の重要度を判定することを試みている。環境計画のシナリオを描くにあたり、これを基に流域環境をとりまく各グループ・インタレストを明らかにした。

まず、矢作川流域でこれまで行われた、住民意識調査（矢流研（1981）など）、ヒアリング、流域市町村の総合計画のレビューを通じて、住民と行政のギャップを把握した上で、「望ましい環境像・ニーズ」を明らかにし、そのための計画課題を抽出した。

流域の各市町村は、総合計画をそれぞれ持っており、環境に対する長期的なビジョンもそこには含まれている。しかし、その多くは、単にキャッチ・フレーズや願望を総花的に羅列したもので、各々の施策の優先順位や、相互の関係は余り示されていない。そこで、整合性のあるシナリオ（ビジョン実現のための手段）を描くためには、それぞれの計画課題の相互の関連を明らかにする必要がある。ここでは、これを「ビジョンの構造化」とよび、得られたものを「施策の構造表」とよぶ。

構造化されたビジョンに対して、その計画目標に対する住民・行政官の評価構造を明らかにするため、環境集会を開いて、参加ゲーミングを行った。実際に、表2-2のように合計4回の環境集会を開いて得られた、流域の環境目標に対する評価の構造を図2-7に示す。

参加者の構成	参加人数	実施日時
矢流研（矢作川流域開発研究会）	35人	'82.12.1
上矢作町住民	20人	'84.2.22
豊田市住民	24人	'84.2.15
西尾市住民	23人	'84.2.28

表2-2 環境集会の概要

表2-2において、

上矢作町は上流、豊田市は中流、西尾市は下流のそれぞれの代表地区

矢流研は、流域内26市町村の企画行政担当者

を表しており、またここでの住民とは、各層の市民代表（例えば、青年団、婦人会、大学生、老人会、学校関係者、農協、漁協、森林組合、商工会、企業、環境ボランティア団体等）で構成されている。

具体的な、施策の構造表（図2-7）について説明する。流域環境管理計画の究極の目標を設定するに当たり、

「流域の一体化をすすめ、発展をはかる」

という最上位のビジョンを設定した。これは、およそ次のような考え方（価値観）によっている。

流域が、戦後急速に「海沿い文明」へと傾斜し、都市化・工業化する過程で、住民の生活に係わる全ての面において、市場化が浸透し、利潤の対象となってしまった。その結果、私的資本と自然環境・都市環境等の社会的共通資本との間や上流と下流の間に、著しいアンバランスが生じ、経済循環（人間・環境資源の循環）メカニズムを非常に不安定なものにしてしまった。この例としては、巨大企業の豊田自動車の隆盛にもかかわらず豊田市には未だに公共下水道がないとか、円高といった外生的な条件の変化に、社会投資が左右されるとか枚挙に暇がない。では、この様な不均衡をなくし、経済循環のメカニズムを安定させるにはどうすべきなのか。単純な「川沿い文化」への回帰ではうまく行かないのは明かである。そこでまず、良好な自然環境、医療・衛生・教育・交通のサービスなど流域に住む市民として、当然享有されるべきであると考えられるものの最低水準（基本的人権）について、流域住民の間で合意を形成することが必要である。そして、それを軸にして、社会的共有資本（特に、共有財としての「水」）の条件に関する、環境基準を設定すべきであろう。

この様な観点から、流域の環境管理の最上位のビジョンとして、まず流域内の不均衡をなくすため、「流域が一体化すること」を掲げ、新たな経済・環境資源の循環のメカニズムに基づいた持続可能な社会を目指し「発展する」ことを考えるものである。

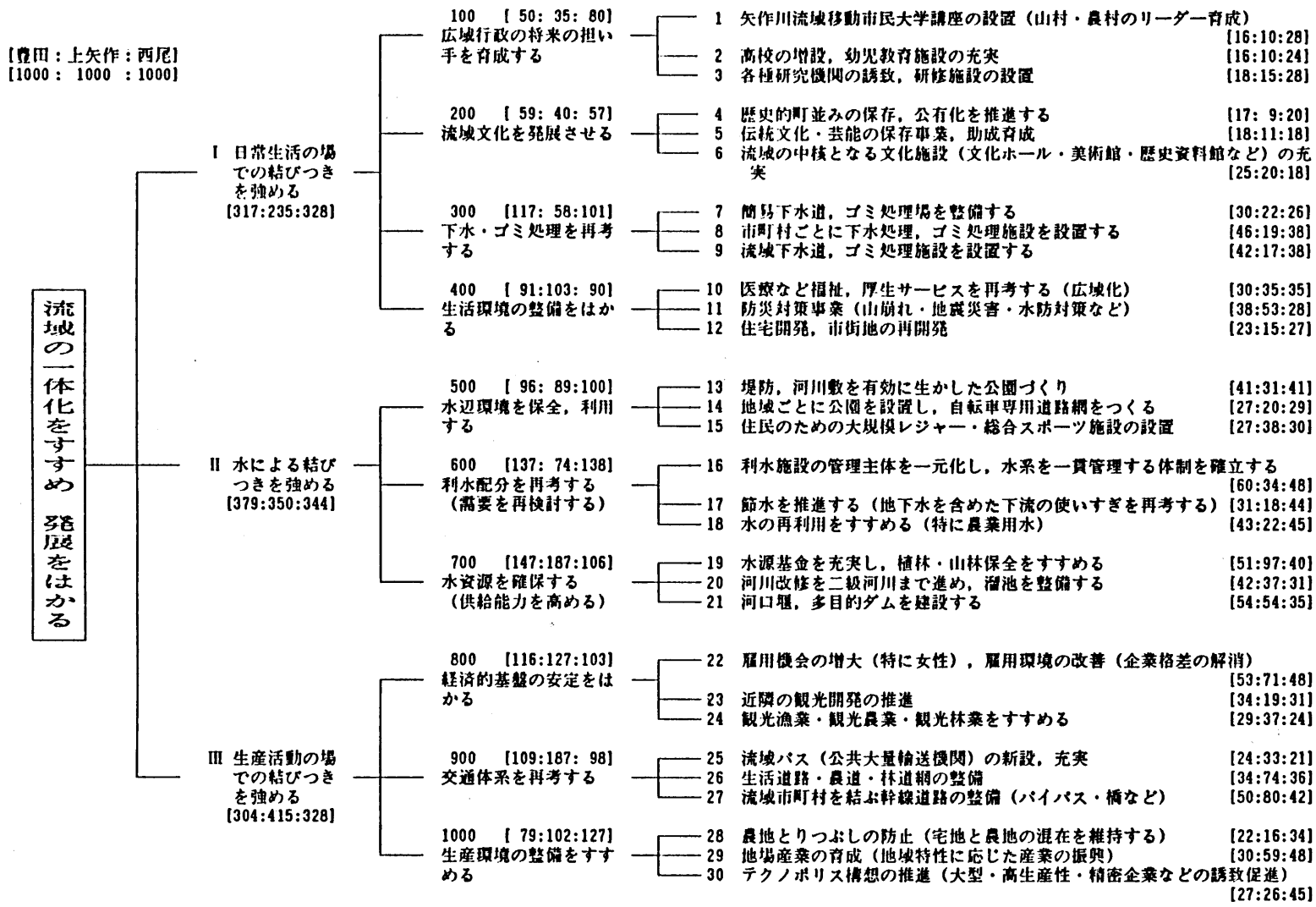


図2-7 流域の環境目標に関する評価の構造

それでは、流域が一体化して発展するためには、どの様なアプローチが有り得るのか。ここでは次の3つの考え方を示している。

施策の構造表の上位項目において、Iはいわば伝統的な「流域は運命共同体」の意識によるつながりを重視するもので日常の生活を中心とした、「心」による一体化と言える。これに対して、IIは「もの」としての水（「川沿い文化」の根幹であった）を重視して、社会的共有資本で一体化を図るアプローチである。これはさらに、水を共有財とみるか、単に資源として捉えるかで、対応も異なる。IIIは主として私的な資本を通じた、産業活動によって一体化を目指すもので、いわば「海沿い文明」の延長線上にあるもので、経済活動即ち「金」によるつながりを重視する。従って、このアプローチは、国の経済政策や企業の活動方針のような外因による変動を受け、不安定な要素を含んでいるといえよう。

さて、上位のビジョンを決定した後、抽出された各課題の相互関係を構造化するには、各種のシステムズアプローチ（KJ法（川喜田(1986)）、ISM（Warfield(1972)）、FSM（田崎(1979)）など）によるのが有効である。本例では、KJ法及びFSMによった。

施策の構造表において、上下関係は、目的（ビジョン）とそれを実現するための手段（シナリオ）となっており、上位ほどより広域かつ抽象的な課題である。従って、上に行くほど、トレード・オフの性質（あちら立てればこちら立たず）が色濃くなっている。また同じレベルでは、

「右側----内部条件の整備を重視、ソフト志向」

「左側----外部からの条件導入による実現、ハード志向」

「中央----右と左の中間・妥協的なアプローチ」

となっている。これらは代替案であり、投票という行為を通して、その1つを選択するのが「参加ゲーミング」の中身である。

具体的な投票は、10点の持ち点を各選択肢に、（3：3：4）（10：0：0）といったように配分する方式で行う。これは、yes or no の意志決定ではなく、代替案からの選択行い優先順位をつけることが目的だからである。その意味で、中間案を含めた3問からの選択は最低条件である。投票はまず、流域の概要や施策の構造表及び各施策の内容・トレードオフ関係を説明し、質疑応答を経た上で、下位の1～3、……28～30について順次行う。全ての下位項目についての投票が終れば、ここで集計を行い、結果を公表する。そして、中位項目に進み、同様の、投票・集計・公表を繰り返す。最上位まで進んだ所で、最上位のビジョンに1000点を与え、これまでの投票による点数配分結果から、個々の施策についての絶対得点を求める。以上のように、下から上に進むのは、より広域的で、抽象的な問題に対しては、他の人の具体的な問題についての動向を参照しながらの方が答え易いことによっている。

各々の環境集会の参加者集団における、各シナリオの絶対得点の配分結果は、図2-7の [] 及び () の中に示されている。同一のビジョンであっても、それぞれに内容（シナリオ）の差が相当あり、行政担当者と住民とのギャップや、上流・中流・下流の各々の意識構造の違いなどが考察される。図2-8は、上位・中位の項目についての各集団の絶対得点差を示したものである。さらに、図2-9に、各項目ごとに矢流研（行政）の得点を基準にして、中項目を表示し直したものを示した。また、表2-3には下位項目に高得点をあげた5施策を整理した。これらから、各参加集団のグループインタレストを比較し、流域環境管理計画の目標について検討した。

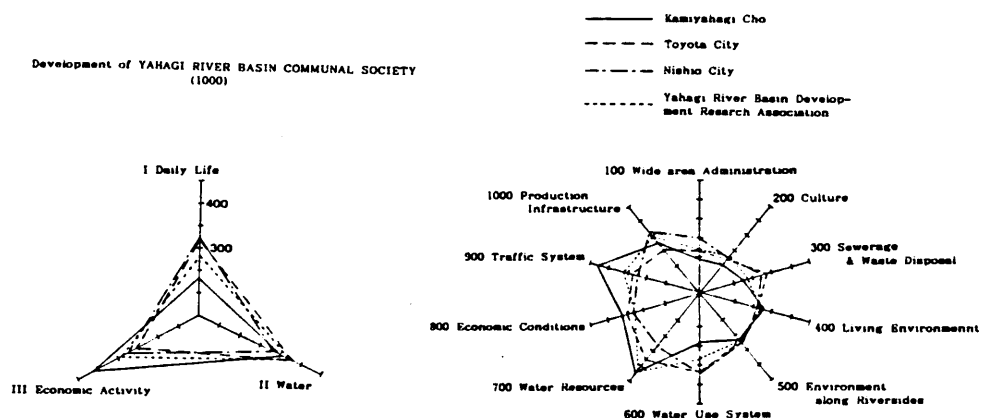


図2-8 上位（左図）・中位（右図）の項目における集団ごとの評価結果

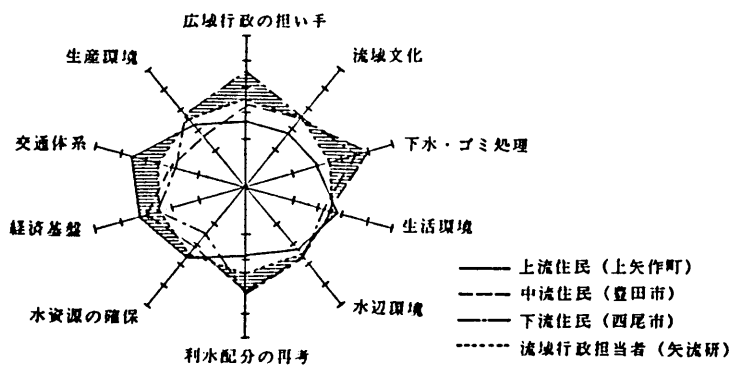


図2-9 中位項目の矢流研（行政）と住民の評価の比較構造

上位・中位の項目については、上矢作町を除いて他の3つのグループは余り大差がみられない。これは、流域環境管理を考える上で、少なくとも上流域に対しては特別な配慮が必要であることを示したものと見えよう。矢流研については、流域26市町村のうち、上流域は少数派であり、中・下流域の行政担当者の意向が集計に反映されたものであろう。

図2-8の右図において、右側の項目は、ソフト即ち「心」によるつながりに負う部分が多く、その大半は地域内で対応が可能であるのに対して、左側の項目は、ハード即ち、「もの」・「金」に帰属する部分が多く、経済的な外因の作用を受け易い。この図で、左半分に占める面積が大きいのは、行政も住民も未だに成長志向・「もの・金」志向であることの現れと考えられる。そして、上流域では、過疎に対する危機意識から特にその傾向が著しくなっている。

矢流研を中・下流域の行政の意識構造と捉え、中・下流域の住民と比較すれば、図2-9のように下水・ゴミ処理をめぐる問題のギャップが大きい。両市の住民は強く再考を望んでいるのに対して、行政側の対応は不十分といえる。これを図2-7の小項目まで分解して考えると、住民はその処理体系については、流域下水道・公共下水道のどちらでもよいとし、行政は、流域下水道にこだわっている。また、水資源問題については、住民は利水配分を検討し需要を見直すように望んでいるのに対して、行政は、水資源を確保し供給能力を高めることを重視している。特に、河口堰計画を抱えた、下流の西尾市の住民が、水資源の確保に対して消極的な結果となったことは注目される。

表2-3に現れた、下位項目における優先順位は、矢流研と上流域住民、中流域と下流域の住民がそれぞれ類似した結果となった。前者の最高得点項目の水源基金の制度は、いわば、「もの」をもらう代わりに「金」をだすという姿勢であり、他の項目をみても前者ほど「もの・金・ハードウェア」に傾いた開発志向は強くなっているといえよう。一方後者は、水系の一貫管理といったソフトウェアを重視した、保全志向が比較的現れている。また、際だって、高得点をあげた項目がみられないように、これらの計画目標は、同時並行的に進めなければならない、困難な状況下にあることが分かる。

<u>矢流研</u>		<u>上矢作町</u>	
① 水源基金・植林・山林保全	78	① 水源基金・植林・山林保全	97
② 河口堰・多目的ダム	54	② 幹線道路の整備	80
③ 幹線道路の整備	54	③ 生活道路・農林道	74
④ 地場産業の育成	52	④ 雇用機会・雇用環境	71
⑤ 生活道路・農林道	46	⑤ 地場産業の育成	59
<u>豊田市</u>		<u>西尾市</u>	
① 水系の一貫管理	60	① 水系の一貫管理	48
② 河口堰・多目的ダム	54	② 雇用機会・雇用環境	48
③ 雇用機会・雇用環境	53	③ 地場産業の育成	48
④ 水源基金・植林・山林保全	51	④ 水の再利用	45
⑤ 幹線道路の整備	50	⑤ テクノポリス構想	45

表2-3 下位項目の優先順位と得点

この様な投票によって、優先順位を決める際に、構造表に含まれた作成者の恣意性が、結果に与える影響についても注意せねばならない。この影響を検定するために、設問の組合せが結果に与える影響についてを、ゲーミング終了の直後に、最下位の30項目について重要と考える項目を3つまで選択する、という方法で検討した。結果は、ゲーミングで高得点を示したものは、自由選択でもやはり高い得票を示した。従って、組合せの影響は余り大きくないと考えられた。

結局この手法は、住民運動の成長を背景として、住民を環境の認知と評価ができる性能を持ったセンサーとして用い、センサー内の構造はブラックボックスとして、出てきた評価結果を組み上げ、施策に結び付けるといった、決定メカニズムと言えよう。

以上の参加ゲーミングを通して、流域の環境目標に対する評価構造、優先順位が明らかにされた。流域は一つといっても、上流域と中・下流域とはその評価は異なっていること、そして、文化・教育といった情緒的な環境意識にもとづいた流域圏構想には、まだ住民の意識が十分醸成されていないこと等が考察された。そこで、この様な結果を、流域環境管理計画に組み入れて、そのシナリオの柱とすべきものを次に検討する。

ゲーミングの結果から、資源としての「水」については関心が高いことが示された。従って、これを軸に一体化することは、より現実的な選択であろう。さらに、本流域の地域活動が、水質汚濁を中心にして進められてきた経緯を考えれば、少なくとも、流域環境管理計画において、水質管理についてを体系的に検討することは必要である。

また、住民・行政ともに、未だに開発志向の傾向がみられることから、開発に対して、その立地適性を流域的な規模で判断する基準が、流域環境管理計画において検討されることも必要であろう。この立地適性は、環境の観点から土地利用の類型化がなされていれば、決めることが出来よう。また、これには出来るだけ客観的な環境情報が、データベースの形で整備されていることが必要条件となる。

上述のような視点に立って、以降では次の順番で、流域環境管理計画の具体的なシナリオの検討が述べられる。

- 2.4 章 流域環境データベース
- 2.5 章 土地利用の類型化（ゾーニング）
- 3 節 水質管理計画（水環境容量）

2.4 環境データベース

流域環境管理計画を策定するに当たって、流域の自然・社会条件などの環境情報を野外調査や文献調査によって収集し、それらを整備・管理することは極めて重要である。この環境データベースは、流域の環境資源を定量的に把握し、その持っている価値を評価することを目的とする。従ってその内容も、表2-4に示すような、水象・地形・地質・植生・気象・土地利用形態・人口・経済活動・すぐれた自然・名所旧跡など、多種多様なデータを取り扱う必要がある。

		A	B	C	D	
hydrology	watershed structure		○		○	
	water balance	○			*	flux (low, average, high)
	water quality	○			*	PH, temperature, BOD, SS, Total N, P
	utilization of water		○			
	water service		○			
	discharge load		○			BOD, SS, T-N, T-P
natural environments	natural assets		○		*	
	vegetation		○		○	
	existing amounts of vegetation		○		○	
	topography		○		○	
	geology		○		○	
	surface soil		○		○	
	meteorology		○			
	natural disaster			○		*
social	land use pattern		○		○	
	population			○	○	household, tourism
	community structure			○	○	
	road		○		○	
	educational facilities			○	*	
	medical service			○	*	
	other public services			○	*	
	cultural assets		○		*	
economy	production of primary industry			○		
	production of secondary industry			○		
	production of tertiary industry			○	*	commercial and tourism
	fixed property			○		
	employment			○		
	income			○		
	revenue			○		
	claims on pollution		○		*	
	waste processing		○			

data type

- A field survey is essential
- B document survey complemented by field survey
- C document survey only
- D grid data
- * point information (comment to grid data file)

表2-4 環境管理に必要な最小限のデータ (Fukui, et al.(1981))

矢作川流域では、約140項目の1kmメッシュ・データと約50項目の138の小流域（図2-5参照）別データからなる流域環境データベースを持っている。流域環境データベースでは、メッシュ・データに行政コードの他に小流域コードを持つこと、あるいは、小流域毎に集約されたデータを持つことは必要条件と言える。これらのデータは、国土数値情報や国勢調査・事業所統計など一部を除いて、多くは行政区分によって集計されており、これを流域区分に統合し直すことには困難なことが多い。小流域のデータを整備するに当たっては、3つの文献（建設省河川局(1980,81)、林野庁(1980,81)、東海農政局(1983))のデータを主に参照した。このような情報は、蓄積・管理・検索・表示・伝達されて、はじめて有効に機能することが出来る。特に環境情報のように、一定の「場」を対象として考える場合、地図的情報（島津・浦部(1981)）として表現することは有効である。図2-10に、このデータベースを利用した検索例を示した。

これらのデータは、大型計算機（FORTRAN）・パソコン（BASIC）の両方で整備されている。従って、地域社会における「身近な環境診断」からの環境情報は、主として、パソコンを用いた市町村の地域環境データベースに蓄積されよう。図2-11この例を示す。上図は、豊田市において、身近な環境診断の一貫として実施された、動物分布の調査をメッシュ・データの形で、市町村環境データベースにまとめたものである。これと、下図に示したような、全流域データベースから市町村コードによって、切り出された各種の情報とを比較検討や・オーバーレイすることにより、解析を進めることが出来る。

また、流域環境データベースは、ある条件（シナリオ）に適合する場所を抽出（オーバーレイ）するのに有効である。この例として、住民の関心の高かった、下水の終末処理場の適地を、仮に、「愛知県下で、都市化が完全に進んだ地域」という設定で検索したのが、図2-12である。具体的なシナリオは、

- 1)自然環境の質を計る尺度としての「植生自然度」 ≤ 3
- 2)生産活動量を計る尺度としての「BOD負荷量」 $\geq 50 \text{ kg/day}\cdot\text{km}^2$
- 3)都市化の尺度としての「熱消費量」 $\geq 3000 \text{ kcal/day}\cdot\text{km}^2$
- 4)居住空間の質を計る尺度としての「人口密度」 $\geq 2500 \text{ 人}/\text{km}^2$

の4つの条件を満たすこととした。

一方、図2-13は、流域下水道の計画を示したものである。これと、抽出結果を比較すれば、次のことが言える。矢作川流域においては、都市化は中流域で著しく、ここで発生した下水を、大幹渠を建設して、長い距離を下流の終末処理場まで運ぶことは、経済・水質（漏水及び晴天時の滞留）の両面で問題であろう。

POPULATION(1975)

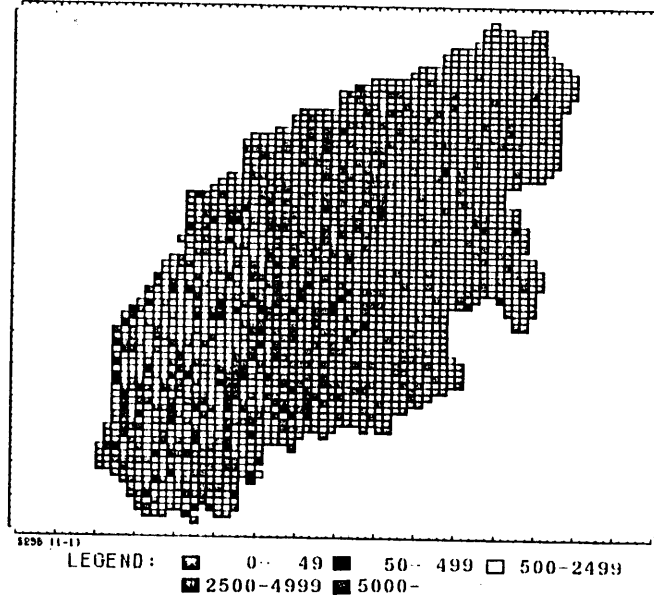
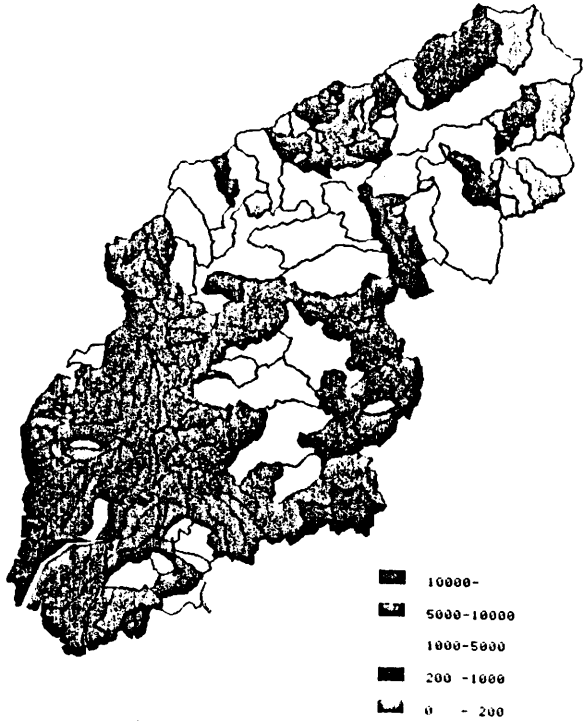


図2-10 流域環境情報データベースを利用した、メッシュ・小流域データの地図化例

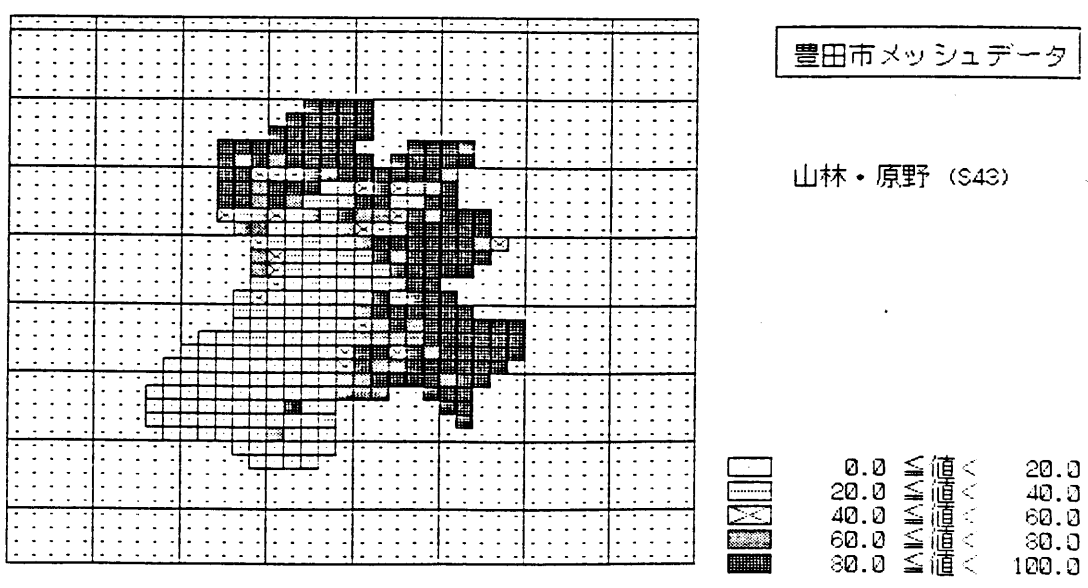
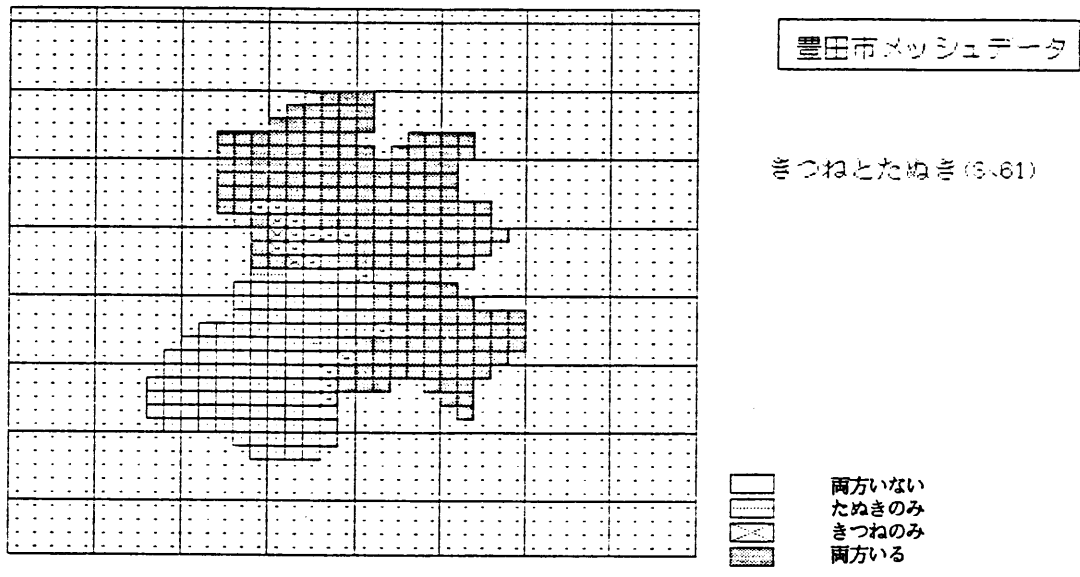
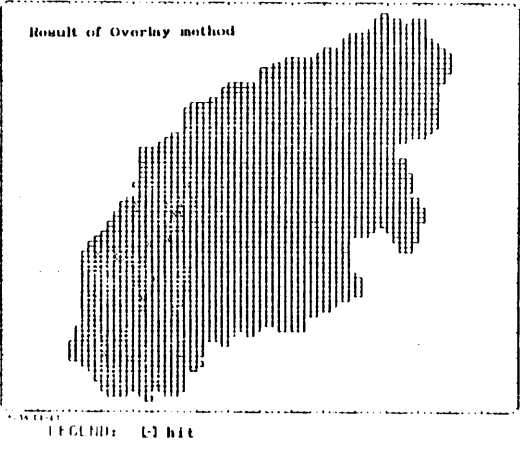
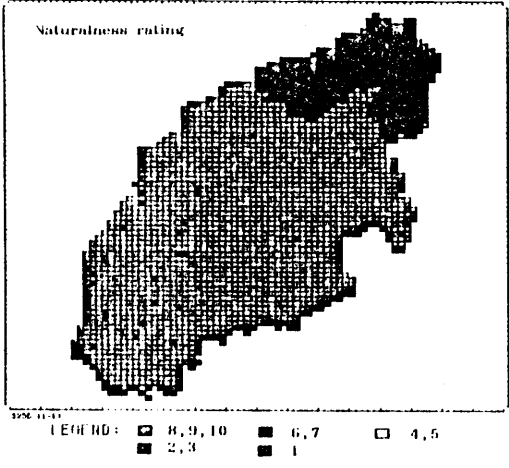
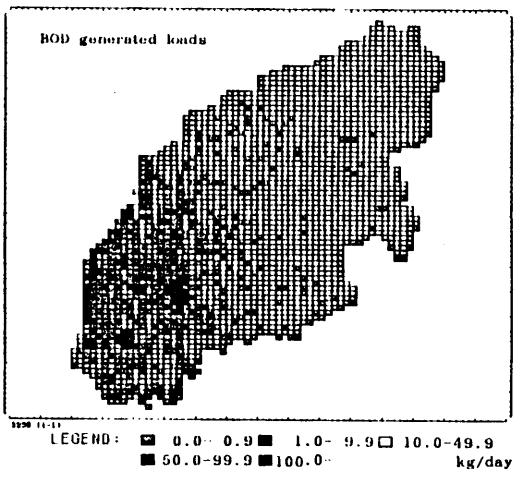
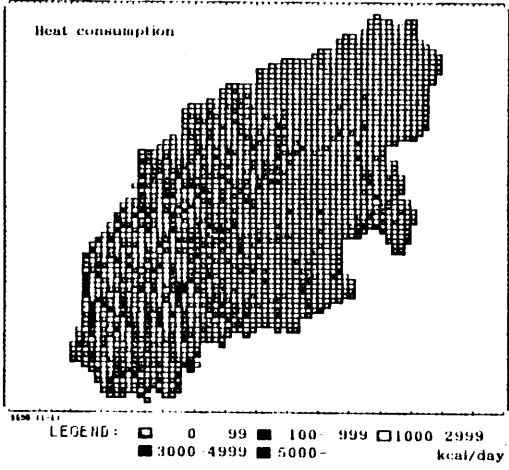


図2-11 市町村環境データベースの出力例

図2-12 メッシュ・データを利用した、オーバーレイによる適地抽出例



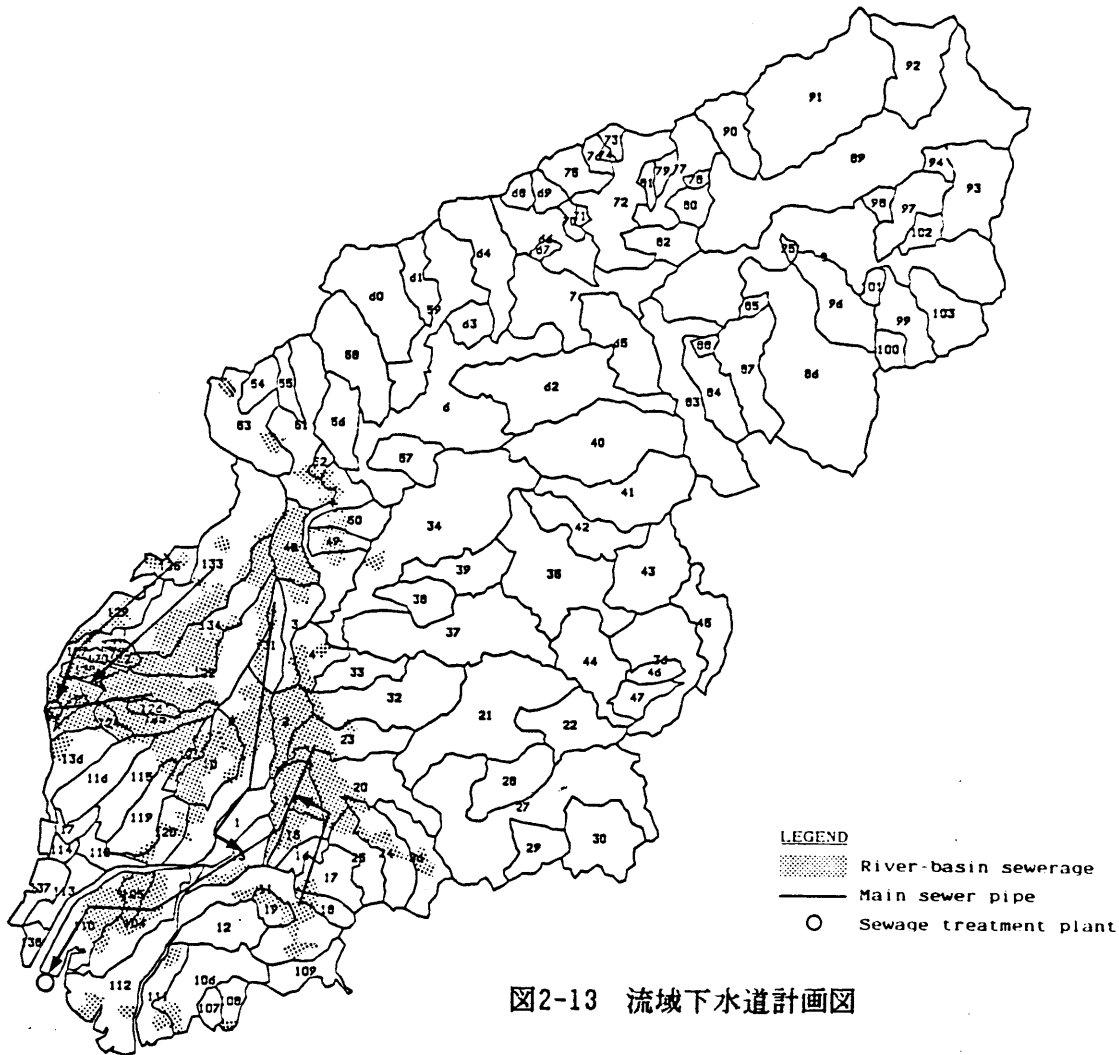


図2-13 流域下水道計画図

更に、小流域データには、各市町村の総合計画（簡単な外挿によっている）に基づいた、流域の将来予測値（1990年）が集約されている。これらはまた、任意の中流域に統合することも可能である。例えば、水収支の検討で考えた、各中流域の特性は、これによって、表2-5の様にまとめることが出来る。

次に、この様な客観的な環境データベースに基づいた、小流域の類型化について論ずる。

2.5 ゾーニング

流域環境管理計画において、できるだけ総合的な特性を考慮して、小流域を類型化し、土地利用の適性を評価（ゾーニング）することは重要である。これは、開発に対する、立地適性を判断する根拠となるからである。そこで矢作川流域において、前述のデータベースを用いて、計量的な手法による、客観的な小流域の類型化を検討した。

Watershed	area (km ²)	Land Use Composition									
		Forest (%)		Wet Field (%)		Dry Field (%)		Residential (%)		Others (%)	
		75	90	75	90	75	90	75	90	75	90
W 1	968.90	91.19	91.24	4.01	3.96	2.61	2.59	1.60	1.61	0.60	0.60
W 2	371.80	92.71	91.79	6.73	6.73	0.11	0.13	0.13	0.14	0.32	1.20
W 3	258.00	81.98	80.53	7.71	7.12	1.79	1.19	8.52	11.16	0.00	0.00
W 4	42.80	89.98	92.02	2.47	2.04	4.64	4.72	2.92	1.22	0.00	0.00
W 5	86.00	4.77	4.58	48.29	34.82	6.40	2.89	32.17	49.12	8.37	8.59
W 6	168.67	19.17	18.01	48.66	44.31	13.25	11.06	15.95	23.64	2.97	2.97
W 7	37.70	58.01	57.12	37.35	33.37	4.11	4.49	0.53	5.02	0.00	0.00
W 8	255.86	1.41	1.30	53.87	42.90	9.71	6.67	34.57	48.73	0.45	0.41

Watershed	Population		Industrial Output		Hogs		Cattle	
	75	90	75	90	75	90	75	90
W 1	140319	187238	637140	1271460	5996	5996	3329	3329
W 2	23223	29242	69926	133913	1922	1922	1228	1228
W 3	99480	123867	178720	470850	2159	2159	1218	1218
W 4	11903	15020	27267	74135	345	345	206	206
W 5	130556	173095	492409	1144410	6343	6343	2049	2049
W 6	170585	219582	310577	742261	21809	21809	6221	6221
W 7	11561	15276	12832	28704	3286	3286	1504	1504
W 8	424814	575731	2013260	4711870	13481	13481	2976	2976

表2-5 小流域データベースから求めた中流域の特性

ここでは、計量的な手法として、多変量解析の一手法である因子分析（主成分分析）を用いた。この手法は、多数の変数間の相互の依存関係を明らかにした上で、多変数を少数の主変数に集約する、科学的な簡潔性をもっている。従って、この主変数によるウェイト付けによって、類型化が可能である。

具体的には、地域の動向を検討するため、小流域データベースから、1975年および1990年のデータについて、表2-6に示した13の計量可能な変数を選び、各々のデータの相関行列に対して、別々に主成分分析を行った。結果は、第一主成分に全変動の42～43%、第二主成分に約11%、第三主成分に約9%が集まった。また、それらの固有ベクトルの係数は殆ど同じであった。表2-6には、そのうち1975年の結果を示す。また、図2-14には、13の因子の因子負荷量を、第一、第二主成分について表示した。

これらの結果は、次のように解釈できる。

- 1) 第一主成分 (Z1) は、小流域を、矢作川流域において、上流域か下流域かに分けるものである。これが際だっているのは、自然・社会条件の両面で、上流と下流の差が著しいことを示したものと見える。

2) 第二主成分 (Z2) は、農業的 (一次産業的) であるか、都市的 (二・三次産業的) であるかを対比する。

Principal Component	Eigen Value	Cumulated Proportion %	Variables	Eigen Vector		
				Z1	Z2	Z3
Z1	5.56	43	Population densities	0.28	0.44	-0.27
Z2	1.44	54	Industrial output	0.21	0.05	-0.41
Z3	1.18	63	Hogs	0.19	-0.53	-0.14
Z4	1.02	71	Forest area (%)	-0.40	-0.04	0.08
Z5	0.91	78	Wet field area (%)	0.31	-0.28	0.04
Z6	0.81	84	Dry field area (%)	0.17	-0.12	0.02
Z7	0.65	89	Residential area (%)	0.29	0.50	-0.16
Z8	0.52	93	Surface water area (%) (including road)	0.10	-0.37	-0.18
Z9	0.40	96	Shape of watershed [Area/(length of river) ²]	0.02	0.19	0.65
Z10	0.22	98	Relief	-0.38	0.00	-0.14
Z11	0.19	99	Numbers of land slides	-0.20	0.02	-0.40
Z12	0.08	100	Precipitation	-0.37	0.04	-0.14
Z13	0.00	100	Atmospheric temperature	0.37	-0.09	0.19

表2-6 小流域の類型化のための、主成分分析の結果 (1975)

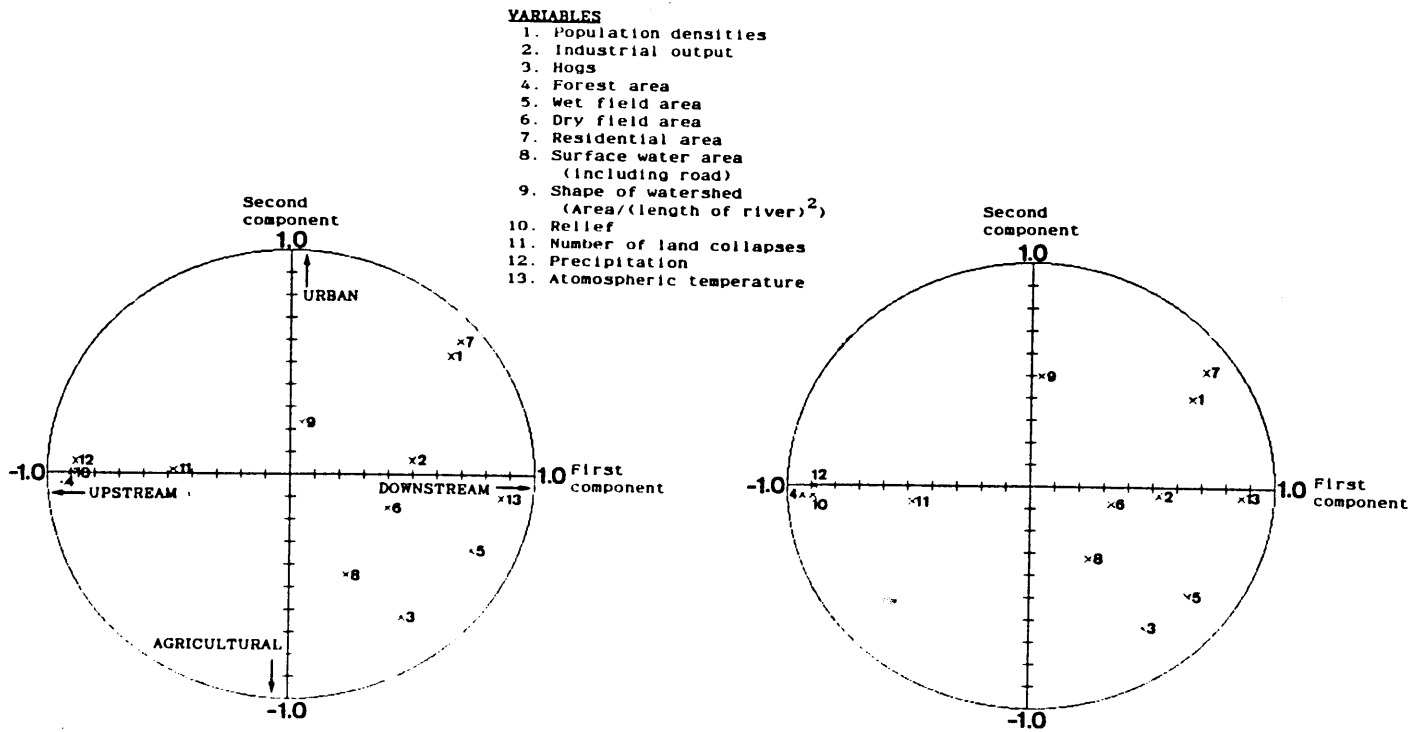


図2-14 各変数の因子負荷量による分布 (右図 : 1975、左図 : 1990)

図2-15は、第一・第二主成分についてのスコア（score）から、各小流域の分布を示したものである。（上図：1975、下図：1990）

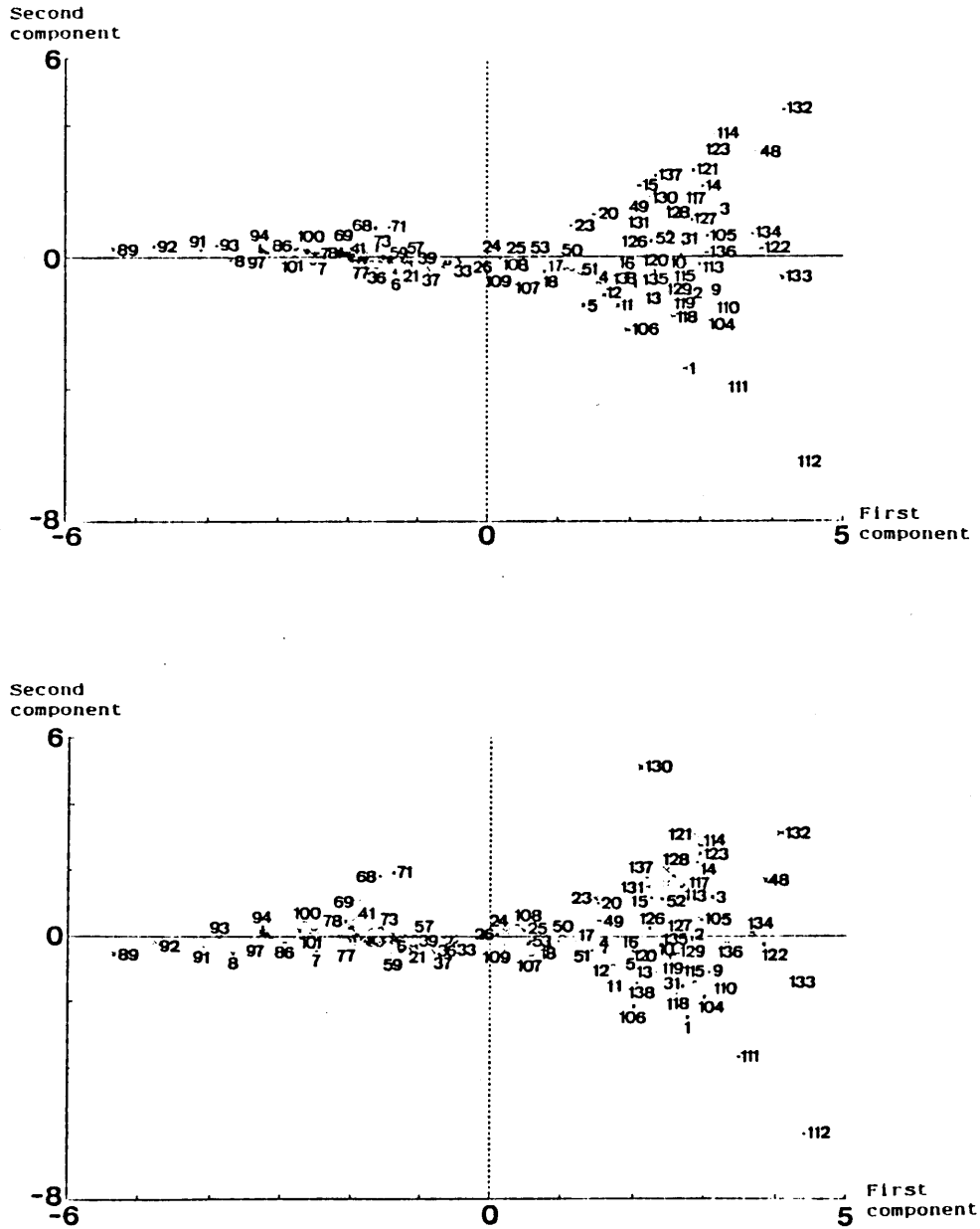


図2-15 各小流域のスコアによる散布図

結局、この主成分のスコアによって、各小流域を4つのグループ、即ち、都市型・混住型・農村型・山村型に類型化した。1975年と1990年の結果を、それぞれ図2-16、図2-17に示した。

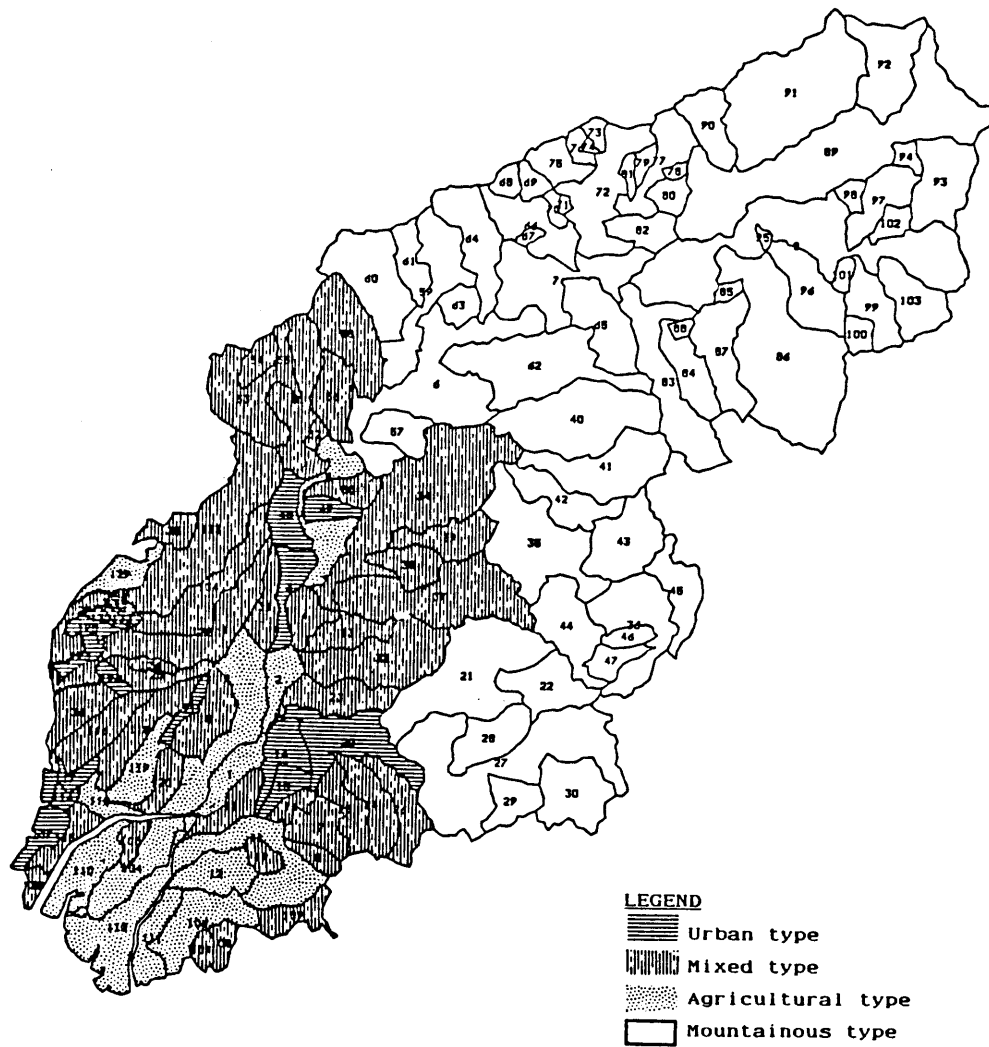


図2-26 小流域の類型化 (1975年)

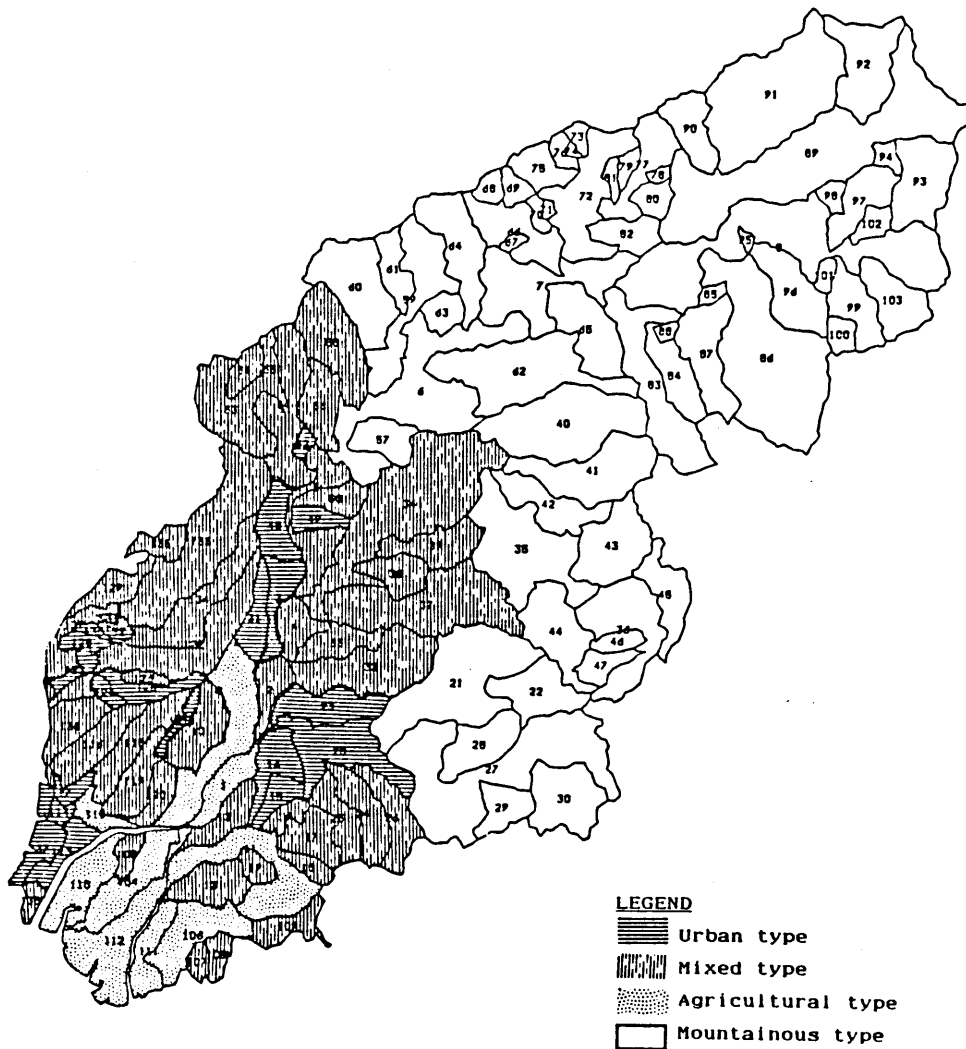


図2-27 小流域の類型化 (1990年)

得られた類型化は、今後の土地利用を考える上で、一つの指針となろう。即ち、少なくともこの4類型に対しては、別々の土地利用の誘導施策がとられる必要がある。特に、1975と1990年を比較して、混住型が増加していることが注目される。都市のスプロール化にともなって、この混住型は様々な環境問題が発生している地域である。

以上は、数量として把握された情報を基にした議論であった。これで大分類は可能であったが、より細かな評価を行うためには、質的な情報を利用するのが有効である。表2-7は、小流域の各々の属性間の関係及び、現在の小流域の土地利用が、小流域のどの様な属性と関係があるのかを見たクロス表である。この表において、対角線上の値は各々の属性において、各カテゴリーに所属する小流域の数を示している。そして、対角線以外の値からは、各属性の関係を検討できる。例えば、標高の列を順番に上から下へみて行くと、谷密度・卓越起伏量・卓越傾斜度・土壌のA層の厚さ・地位級の属性では、左上から右下の対角線に比較的まとまって大きな値が並んでいる。これは、標高と正の相関があることを示している。これに対して、卓越植生・気温では逆に右上から左下の対角線上に、大きな値が集中しているので、標高と負の相関を示していると解釈できる。

さらに、これらの質的な情報を基に、数量化理論等によって土地利用の判別を行うことも可能であるが、より詳細な土地分級は個別の小流域について、その自然・社会条件に基づき、きめ細かく行うことが現実的であろう。

	elevation							valley density		relief				inclination				geological type				weathering				soil type							A-horizon of soil				soil productivity				vegetation						atmospheric temperature				precipitation						designation of Natural Parks						
	1	2	3	4	5	6	7	1	2	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
elevation	1	2	3	4	5	6	7	1	2	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
valley density	1	2	3	4	5	6	7	1	2	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
relief	1	2	3	4	5	6	7	1	2	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
inclination	1	2	3	4	5	6	7	1	2	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
geological type	1	2	3	4	5	6	7	1	2	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
weathering	1	2	3	4	5	6	7	1	2	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
soil type	1	2	3	4	5	6	7	1	2	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
A-horizon of soil	1	2	3	4	5	6	7	1	2	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
soil productivity	1	2	3	4	5	6	7	1	2	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
vegetation	1	2	3	4	5	6	7	1	2	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
atmospheric temperature	1	2	3	4	5	6	7	1	2	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
precipitation	1	2	3	4	5	6	7	1	2	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
designation of Natural Parks	1	2	3	4	5	6	7	1	2	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
land use type	1	2	3	4	5	6	7	1	2	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			

(注) 各属性のカテゴリの分類は以下のようである。

属性	カテゴリ (合計60)								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1 卓越標高(m)	0-200	201-400	401-600	601-800	801-1000	1001-1200	1201-		
2 谷密度(本)	0-2	3-							
3 卓越起伏量(m)	0-50	51-100	101-150	151-200	201-				
4 卓越傾斜度(°)	0-5	6-10	11-15	16-20	20-				
5 卓越地質	未固結堆積物	固結堆積物	火山性岩石	深成岩					
6 風化度	なし	浅い(0-3m)	中 (4-9m)	深い(10-)					
7 卓越土壌	未熟土	黒ボク土	褐色森林土	赤黄色土	褐色低地土	灰色土	グライ土	泥炭土	ポドソソ
8 A層の厚さ(cm)	なし	1-9	10-29	30-					
9 地位きゅう	なし	1-4	5-7	8-					
10 卓越植生	ブナ・ナラ	コナラ	スギ・ヒノキ	クマツ	アカマツ・モリツツジ	なし			
11 気温 (°C)	0-10	11-12	13-14	15-					
12 降水量(mm)	0-1400	1401-1600	1601-1800	1801-2000	2001-2200	2201-			
13 公園指定	なし	国定公園	県立公園						

(土地利用の分類)

区分	小流域面積に占める割合
1 林地A	天然林80%以上
2 林地B	天然林+人口林 80%以上
3 農地A	水田70%以上
4 農地B	水田+畑 70%以上
5 市街地A	宅地10%以上
6 市街地B	宅地50%以上
7 その他	

表2-7 小流域属性のクロス表

2.6 参考文献

- 原昭宏・宮沢哲男、矢作川流域の水収支、愛知教育大学研究報告、24、1-30、1975。
- 榎根勇・竹内皓、本邦における河川の年流出率について、地理学評論、44、5、347-355
1971。
- 末石冨太郎、水資源危機、日経新書292、1978。
- 内藤連三、流域管理としての「矢作川方式」、環境、34、15-19、1986。
- 矢作川流域開発研究会、矢作川水資源とその流域に関する意識調査、1981。
- 川喜田二郎、K J法---渾沌をして語らしめる、1986。
- Warfield, J.N., et al., A United Systems Engineering Concept, Battele.M.Inst.,
1972。
- 田崎栄一郎、あいまい理論による社会システムの構造化、数理科学、17、5、54-66、
1979。
- Fukui, H., K. Ando, T. Nagai, S. K. Kim, and Y. Shimazu, Environmental Management
System for Rural Region - Case study at Atsumi District, Central Japan,
J. Earth Sci., Nagoya Univ., 29, 55-80, 1981。
- 建設省河川局、矢作川流域管理計画調査報告書、1980、81。
- 林野庁、矢作川流域管理計画調査報告書、1980、81。
- 東海農政局、矢作川流域農業開発調査に関する報告書、1983。
- 島津康男・浦部達夫、地図的情報、地球、3、5、1981。

3. 流域環境計画における水質管理と水環境容量の設定

3.1 従来の水質規制の問題点

現在わが国では、水環境評価のために、水質汚濁物質をその人体に対する影響から、健康項目及び生活環境項目の二つに大別している。前者は、水銀・Cd・鉛等の人体に直接害のある毒物であり、物質そのものの閉鎖系への流入に焦点を当てたものである。これによる水域汚濁は、排出規制により著しい改善を見た。

これに対して、物質が流出されるにともなって起こる水質現象に焦点を当てた、有機汚濁の指標である生活環境項目の、COD・BOD・栄養塩類については、水質汚濁の改善は進んでいない。特に、停滞性水域の内湾や湖沼における水質が悪化している（環境庁、1986）。この様な事態に対応すべく、水質改善政策も濃度規制に加えて、流入してくる総負荷量を問題にする、総量規制が取り入れられるようになった。そして、今後の主要な施策として、流域面全体からの汚濁負荷を考慮にいたした、水質管理の必要性が提起されている。

最近、水質観測が精力的に行われるにともなって、公共用水域に流入する総負荷量の多くが、降雨時にもたらされることが認識され始めた。ここで、汚濁負荷の発生源を、

- ・家庭、工場、事業所、下水処理場など、発生源を確定できる点源（ポイント・ソース）
- ・降雨等を介して流出する非点源（ノンポイント・ソース）

に分類したとき、晴天時には前者を制御すればよく、また雨天時には後者を配慮せねばならないことになる。ところが、従来から前者については比較的よく調査・研究が進められてきたが、雨天時における汚濁負荷の流出特性や、その水文量との関係に関するの研究は未だ十分ではない。従って、後者を考慮した水質管理計画も殆どみられないのが現状である。そこで、本節の目的は、両者を含めた水質管理の考え方を提示することにある。

水質管理計画は、水質を指標として、水資源・環境の諸問題を社会・経済活動との連関において把握し、総合的な視点から接近する必要がある、それにはシステム分析が有効である。このシステムの目標は、勿論水質保全であるが、その内容はさらに次の二つに集約できよう。即ち、

- 1) 晴天時において、上水道として利用可能な水質の水が流れ、親水環境（例えば、水遊び・魚釣りのできる水辺）が保全されている。
- 2) 流出先の閉鎖性水域の富栄養化を未然に防止する。

図 3-1は、このシステムをサブシステムに分解し、その構造を示したもので、本論文では、特に、点線内に示された内容についてモデルを新たに開発し、その他の諸因子につい

ては、定性的なシナリオ・ライティングによった。

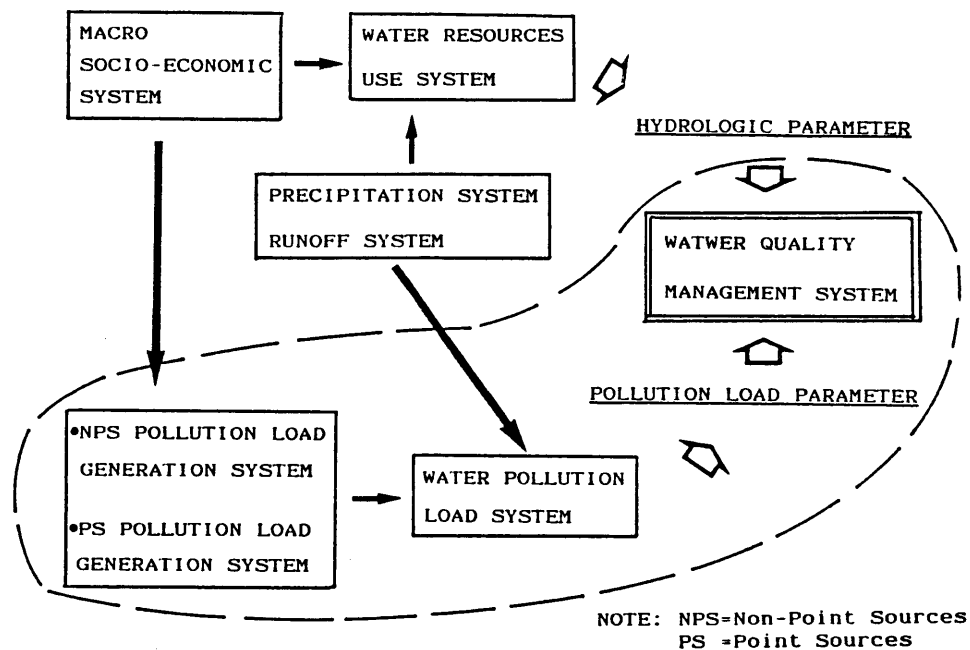


図3-1 水質管理の複合システム

水質管理を支える水質モデルについては、次の二つのアプローチが考えられる。一般に河川を流下する負荷量は、流域の自然・社会条件や水文学的要因によって支配される。そこで、各発生源と流域の間の因果関係を、個別のサブシステムごとに検討した汚濁負荷原単位・流達率などを先験的に与え、それらを積み上げて全体を表現するアプローチが考えられる。これを「原単位モデル」と呼ぼう。このモデルでは、定常状態（例えば、晴天時の低水流量の河川）における水質は予測できるが、その動的な挙動を追うことは出来ない。これに対して、流域を一つの積分器として捉え、因果関係はブラックボックスとして、出てきた出力（濃度、流量）の応答特性や相関関係に着目して、濃度と流量の積である負荷量を論じるアプローチも有り得、これを「応答モデル」と呼ぼう。この解析のためには、水質・流量の時系列データが必要であるが、流量や水質の自動計測が一般化したことにより、最近可能になってきた。

さて、水環境を評価するために、水質指標に何を選擇するかは重要である。序説において述べたように、環境とはシステムの状態変数のことであるから、変数の選擇は本質的な問題である。また、濃度規制のppm基準のようにフロー値に着目するのか、総量規制のようにストック量を求め環境容量を問題にするのかによって、変数も微分型（示強変数）や積分型（示量変数）で表現せねばならない。本節では、前述した行政上の環境基準において、いまなお悪化しつつある生活環境に係わる項目について検討するため、河川におい

てBOD、閉鎖性水域にの総量規制に対して、COD・N・Pを主要指標として考える。

以上のような観点から、晴天時・雨天時の汚濁負荷量の流出特性を考慮にいたした水質管理を検討するため、矢作川流域において具体的に次のことを行った。

- 1) 「原単位モデル」からのアプローチ
 - ・晴天時における河川のBODを指標とした水質管理
 - ・栄養塩類 (N・P) の総量管理
- 2) 「応答モデル」からのアプローチ
 - ・CODを指標とした有機汚濁の総量管理

3.2 晴天時における河川のBOD水質管理

晴天時における、流域の水代謝系に発生する水質汚濁は、廃水が河川に排出されたときに局所的に生ずる、高濃度成分が原因となる。具体的には、それはまず水中の溶存酸素の不足をもたらして、好気性の一般水棲生物群の生態を破壊することになる。このことが一番の水質環境の劣化であるとして、Streeter と Phelps は次の収支式でそれを表現した。

$$dD/dt = K_1L - K_2D \text{ ----- (3-1)}$$

ここに、D：飽和値からの酸素不足量、L：水中の生物分解性有機物濃度 (BOD)、K₁：脱酸素速度係数、K₂：再曝気係数、t：流下時間である。

しかし、日本のように河川が急流である場合、K₂が非常に大きく、結果として酸素不足は一部の感潮河川を除いて問題にならない。従って、河川環境の評価式も酸素不足の概念からはなれた、河川水中の生物分解性有機物 (BOD) が、流下時間に対し一次反動的に減少するといった、単純な次の動力学表現でよい。

$$dL/dt = -k_1L \text{ ----- (3-2)}$$

この式を t = 0 で L = L₀ という初期条件で解くと、次式が得られる。

$$\begin{aligned} L &= L_0 \exp(-k_1t) \\ &= L_0 10^{-k_1t} \text{ ----- (3-3)} \end{aligned}$$

ここで、k₁ は10を底にした時の反応速度係数である。

一方、晴天時に河川に流入する汚濁負荷は、すべてポイント・ソースから供給されると考えられる。従って、その排出負荷量を原単位によって与え、河川の浄化作用を式 3-3で評価することにより、基準地点における水質を求めることが出来る。

矢作川流域の本川における主要な水質基準点は、図3-2 のP1からP7までの各点である。図に示されるように流域を中流域に分割し、図の矢印で示された点において、それらは本流に流入するものとして、各基準点の水質の評価を行った。

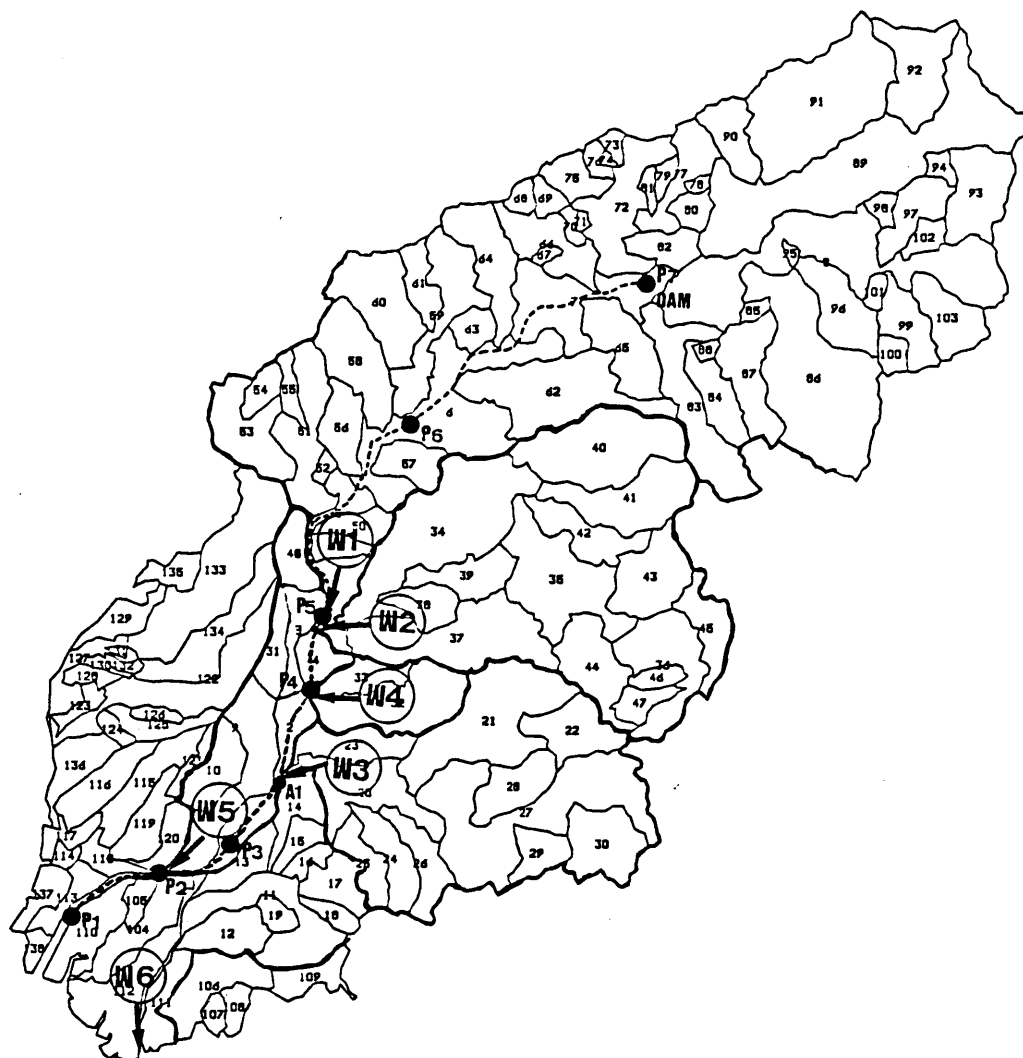


図3-2 BOD水質評価のための流域構造と基準点

図3-3 は、各基準点で観測された、年間の75% BOD5水質値の平均の経年変化を示したものである。全般的に、排水規制等によって水質は大きく改善されてきたが、最近になって改善率は鈍化あるいは下流部において微増の傾向がみられる。矢作川流域では、環境保全の要は「水」であるとの認識にたつて、次のような排水の上乗せ基準が定められている。

	国	県	矢作川流域
BOD (ppm)	160	25 - 90	10 - 20
SS (ppm)	200	30 - 100	20 - 30

その結果、工場排水等の規制は進んだが、その一方で本流域においては殆ど下水道が普及していないこともあって、家庭排水による汚濁は悪化傾向にある。

BOD₅

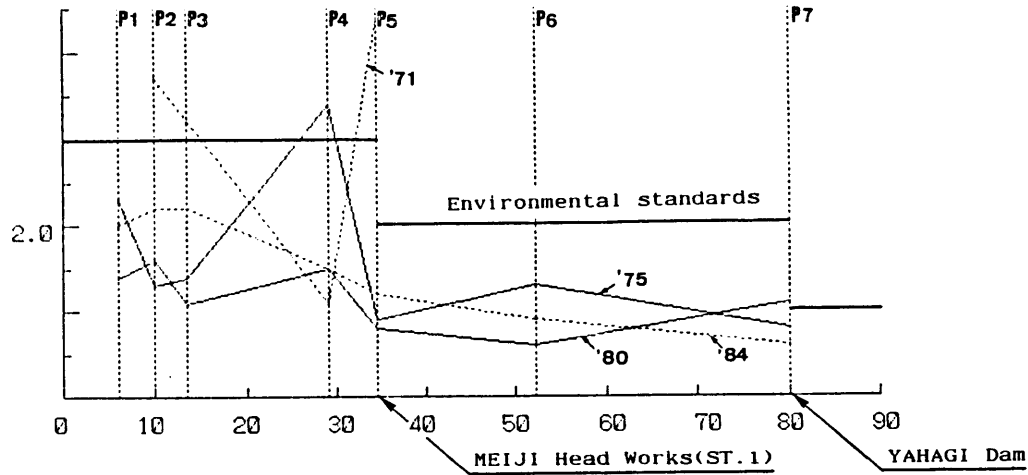


図3-3 BOD水質の経年変化（縦軸：mg/l、横軸：河口からの距離(km)）

ここで、将来の水質を2節で述べた流域データベースを用いて、式3-3 に従って予測した。現況の平均的な低水流量時の観測データを基に、式3-3 のパラメーターには次の値を用いた。

評価区間	k1 (1/day)	t (day)
P5 -- P4	0.15	0.11
P4 -- A1	0.20	0.18
A1 -- P2	0.25	0.24
P2 -- P1	0.50	0.13

具体的には、図3-4 に示されるような流れに従い、次のように算定した。

- 1) 排出負荷量を各中流域ごとに計算する。（結果を、表3-1 にまとめた）

家庭排水については、排出原単位を 51 g/人・日とし、

畜産排水については、牛・豚の排出原単位を各々 640と200 g/頭・日を用いた。

（鶏はその糞が全量肥料として使用されるので、排出負荷量は無視し得る）

工業排水については、排水量に排水基準（20 ppm）を乗じて求めた。

	Domestic		Livestock		Industrial	
	'75	'90	'75	'90	'75	'90
W1	5.65	7.47	3.08	3.08	8.96	17.66
W2	1.18	1.49	1.17	1.17	1.30	2.49
W3	5.07	6.32	1.21	1.21	3.33	8.77
W4	0.61	0.77	0.20	0.20	0.51	1.38
W5	8.17	10.90	2.83	2.83	12.08	27.33
W6	9.83	12.50	9.10	9.10	6.89	16.07

表3-1 BOD排出負荷量（単位：ton/日）

- 2) 本川への流達負荷量を計算する。
BODの流達率については、幾つかの観測値を基にここでは、すべて 0.20 とした。
- 3) 本川の自浄作用を、式3-3 で評価し、下流への到達負荷量を求める。
- 4) 基準地点への到達負荷量を、基準地点の低水流量で除して濃度を求める。
低水流量は、 $P_1=29.53$, $P_2=23.75$, $P_4=13.28$, $P_5=24.68$ m^3/sec とした。

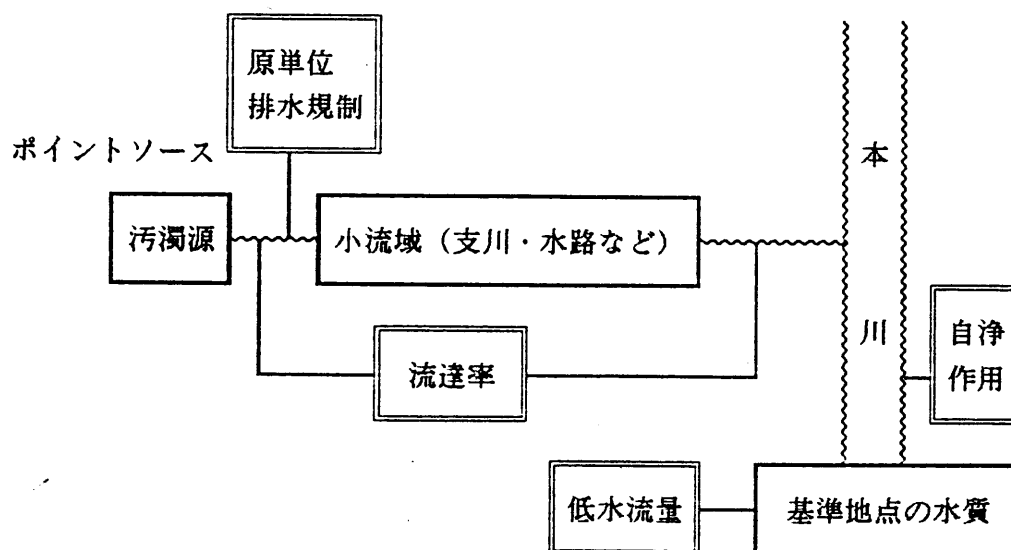


図3-4 基準地点におけるBOD水質算定の概念

流域データベースの1990年の予測値を用いて、将来の水質の予測にあたり、次のようなシナリオによってモデルの感度分析を行った。

- 1) present --- モデルの検証のため、流域データベースにある1975年のケース
- 2) case 1 --- 1990年まで何の対策もとられないケース（モデルのパラメーターは present と同じ）
- 3) case 2 --- 流域下水道を作り、中流域のW5とW3の家庭排水を、各々100%と80%処理して20ppmで直接海に排出（流量が減る）するケース
- 4) case 2' --- 公共下水道を作り、case 2と同じ汚濁の削減を行うが、この場合は処理排水を20ppmで河川に戻すケース
（家庭排水量の原単位は、 $0.39 \text{ m}^3 / \text{人} \cdot \text{日}$ とした）
- 5) case 3 --- case 2に加えて、工業排水の濃度規制を20ppmから10ppmにさらに強化するケース
- 6) case 3' --- case 2'に加えて、case 3と同じ工業排水規制の強化を行うケース

以上の予測結果を図3-5 に示す。

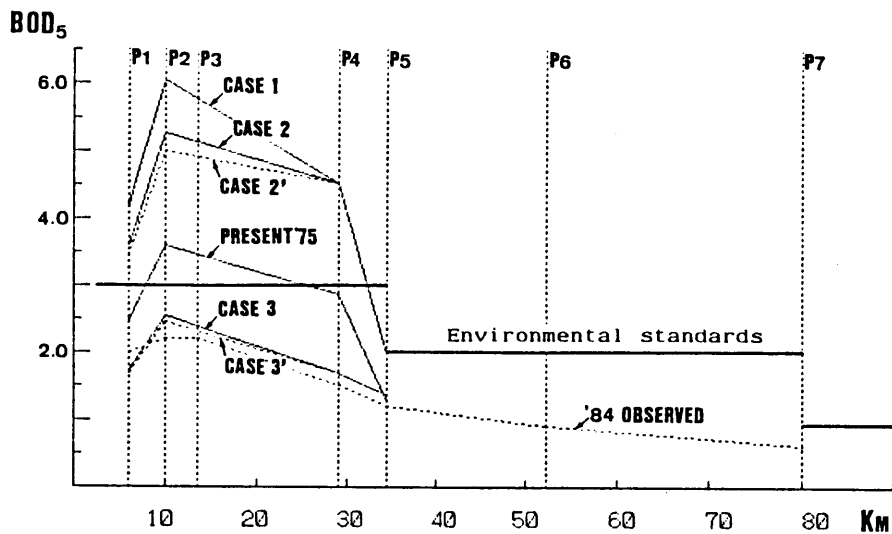


図3-5 BOD水質予測結果

予測結果から判断すれば、予測区間の環境基準（B類型、3ppm）を満たすことが出来るのは、case 3とcase 3'のみである。そして、下水処理よりも工業排水の規制強化の効果の方が、大きく水質を改善させている。また、流域下水道か公共下水道かの違いは、20ppm という放流基準では、殆ど水質に変化を与えていない。何れのケースにおいても、P2の基準点の水質が一番悪化しており、従って、中流域W5の水質管理が最も重要であると言える。

3.3 栄養塩類の総量管理

矢作川の流出する先は、三河湾という閉鎖性の水域である。近年、生活排水や産業排水に含まれる、無機栄養塩類（N・P）の流入によって富栄養化が進み、植物プランクトンが大量に発生して、有機物の内部負荷が顕著になってきた。従って富栄養化防止のために、陸域からどの程度の負荷量が、海域にもたらされるかを定量することが必要である。更に、本流域では河口堰の建設が計画されており、そのためにできる河口の河道貯水池の富栄養化も問題となる。そこで本章では、矢作川流域から排出されるNとPを具体的に定量し、あわせて河口の貯留域での富栄養化現象の発現の可能性を検討する。

現時点では、N・Pの連続観測データは存在しないため、定量に当たっては原単位モデルによって評価した。原単位は、流域の特性に左右され、特にノンポイント・ソースは水文条件や農業の形態によって大きく影響を受ける。また、Pは保存量として取り扱うこと

が出来るが、Nは生産有機物も考慮せねばならない。本評価においては、矢作川流域の地域特性を考慮して、表3-2,3-3,3-4 の排出原単位を用いた。

	Total Nitrogen		Total Phosphorus		
	75	90	75	90	
Domestic Waste Water	10.4	10.4	1.8	1.7	(g/person·day)
Livestock Waste Water	Cattle	28		4	(g/head·day)
	Hogs	25		2	

Source: Saijyo (1984)

表3-2 家庭及び畜産排水の排出原単位

Manufacturing Sector	% of Total output	(g/million yen·day)			
		Total Nitrogen		Total Phosphorus	
		75	90	75	90
1. Food	2.0	3.07	2.40	0.333	0.260
2. Textile	5.6	2.99	2.24	0.358	0.269
3. Timber	0.5	0.21	0.16	0.015	0.011
4. Furniture	0.4	0.05	0.03	0.004	0.003
5. Pulp	0.3	11.60	9.41	1.490	1.210
6. Chemical	7.7	4.74	3.01	0.406	0.258
7. Ceramic	2.1	0.14	0.08	0.017	0.010
8. Steel	2.3	1.30	0.53	0.156	0.063
9. Nonferrous metal	0.4	0.22	0.16	0.029	0.021
10. Metal	1.5	0.20	0.11	0.024	0.013
11. General machinery	5.4	0.03	0.03	0.004	0.003
12. Electrical machinery	0.6	0.03	0.03	0.003	0.003
13. Transport machinery	65.6	0.05	0.04	0.006	0.005
14. Precision machinery	0.9	0.04	0.03	0.005	0.003
15. Other industry	2.4	0.15	0.14	0.015	0.014

Source: Saijyo (1984), Monshi and Takai (1984)

表3-3 工業排水の排出原単位および流域の工業業種構成

	Total Nitrogen	Total Phosphorus	(t/km ² ·year)
Precipitation	1.5	0.05	
Dry Field	1.5	0.10	(fertilizer rich)
Wet Field	1.0	0.05	(no inflow from other river basin)
Residential area	1.0	0.05	
Others	1.0	0.05	
Forest	0.3	0.03	

Source: Tabuchi and Takamura (1985)

表3-4 ノンポイント・ソースの排出原単位

矢作川流域を、2節の水収支の評価と同じ中流域に分割し、そのうちW1からW5までが河口の河道貯水池に流入することになるので、これらの総量を評価の対象とした。2節で得られた流域データベースを用いて、各原単位からこの総量を計算した結果は図3-6のように要約される。

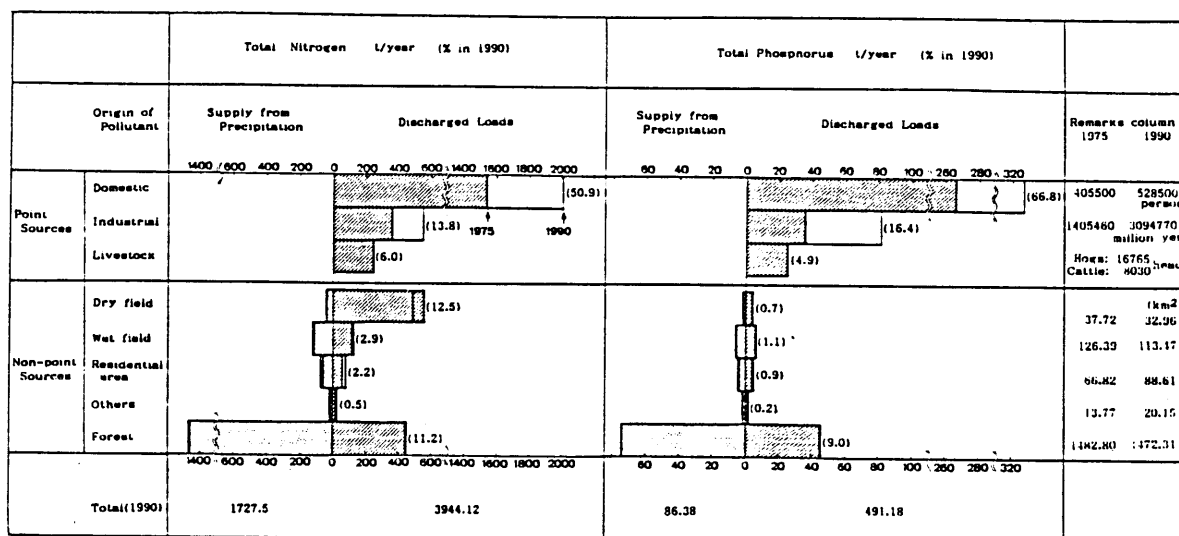


図3-6 河口貯水池に流入する排出源ごとのPとNの総量

ポイント・ソースでは、PとNの双方で、家庭排水からの排出負荷がかなりの部分を占めている（1990年で、Nは51%、Pは67%）。とくにPは、保存量として取り扱えることやノンポイント・ソースが制御困難であることを考慮すれば、殆どが家庭排水からの供給が問題であると言ってよい。従って、無リン洗剤の利用を進めることは、効果のあることである。一方、ノンポイント・ソースからの供給については、その土地利用形態が、どの程度浄化に寄与しているかを判断するため、降水による供給量との比較を試みた。その結果、PとNの双方で、収支としてみれば、浄化の機能を大きく果しているのは森林だけである。また、畑地がNを多く流出していることも注目される。水田を畑地に転用することは、この意味から問題とされよう。

河口貯水池が富栄養化現象を発生させるかどうかを、上述の総量を基に、2節で得られた水収支を利用して、平均的な議論を行った。1990年において、Nは 3944 ton/year、Pは 491 ton/year が総排出負荷量であり、一方、水収支から得られた平均的な総流出量は、47.4 m³/s より年量に換算すれば、1.49×10⁹ m³/year である。従って、その平均濃度は、Nで 2.6 mg/l、Pで 0.32 mg/l、となる。

一般に、流れ型のダムなどの河道貯水池では、Nで 0.5 mg/l、Pで 0.05 mg/l、また自然の湖沼のように滞留時間が長ければ、Nで 0.1~0.2 mg/l、Pで 0.01~0.02 mg/l 程度以下の濃度であれば、富栄養化による藻類の増殖の害が少ないとされている。平均的な議論で得られた濃度は、これらの値を上回り、富栄養化が生じうるレベルであると判断される。さらにノンポイント・ソースは、降雨時に高濃度で流出するから、降雨終了後のある時期に富栄養化は避けがたいであろう。この観点から、下流における貯水池は問題である。また、水資源の面からも、位置エネルギーを有効に利用できない難点を持つ。

3.4 CODを指標とする有機汚濁の総量管理

以上は、原単位モデルからのアプローチを述べたが、本章では主として「応答モデル」からの新しいアプローチについて論じる。

(3.4.1) 日データを用いたCOD水質・負荷量の流出特性の解析

総量規制の主指標であるCOD(KMnO₄)について、水質・負荷量の流出特性を水文量(流量)との関係において把握する。水文量を説明要因とするのは、降雨にともなって流出するノンポイント・ソースからの負荷量(ポイント・ソースから排出され、一時的に河道に滞留されている負荷量も含む)を正確に評価するためである。

以下の解析には、図3-7に示した明治用水頭首工(St.1)にある、愛知県環境部の自動観測点において測定された、水質・流量の日データを用いた。そして、St.1の集水域(W1)をモデルの同定のための流域(面積約 970 km²、人口約 14 万人)とした。

図3-8は、流量と水質(CODと濁度)のSt.1における、1年間(1984年)の時系列変化と上流のR1の雨量との対応を示した、水質ハイドログラフである。また、図3-9に

St.1の4月から9月までの、増水期における、水質と負荷量(水質×流量)の変動の詳細を示した。何れも、値は自動観測された、毎時の値の日間平均値であり、図3-9では、欠測値が補完法により、補ってある。これらから、CODおよび濁度は、その相当な部分が河川流量(降雨)に応答して、変動していることが分かる。

CODの水質・負荷量の応答特性を調べるために、水質・負荷量・流量の自己相関解析(図3-10)及び、流量に対する水質・負荷量の相互相関解析(図3-11)を行った。その結果を以下にまとめる。

1) 確率統計水文学によれば、降雨はランダムで、その自己相関係数はデルタ関数的であることが示されている。これに対して、流量やCODの濃度・負荷量とともに逓減部分が存在するため、図3-10のように自己相関関数はゆっくりと逓減している。

2) さらにこの逓減特性は、流量及び濃度に比べて、負荷量が急である。各々の自己相関係数は、2～3本の勾配の異なった直線で近似することが出来る。これは、逓減特性の異なった2ないし3成分に各々が分離可能であることを示している。

3) CODの水質及び負荷量は図3-11のように、流量と正の相関があり、負荷量は特に相関が高く、その関数の形は自己相関関数と相似である。そして、相互相関は1日遅れて最大となり、その後しばらく継続する（負荷量で約7日、水質で約4日）。それ以前の流量は、水質と負の相関があり希釈として作用していると考えられる。

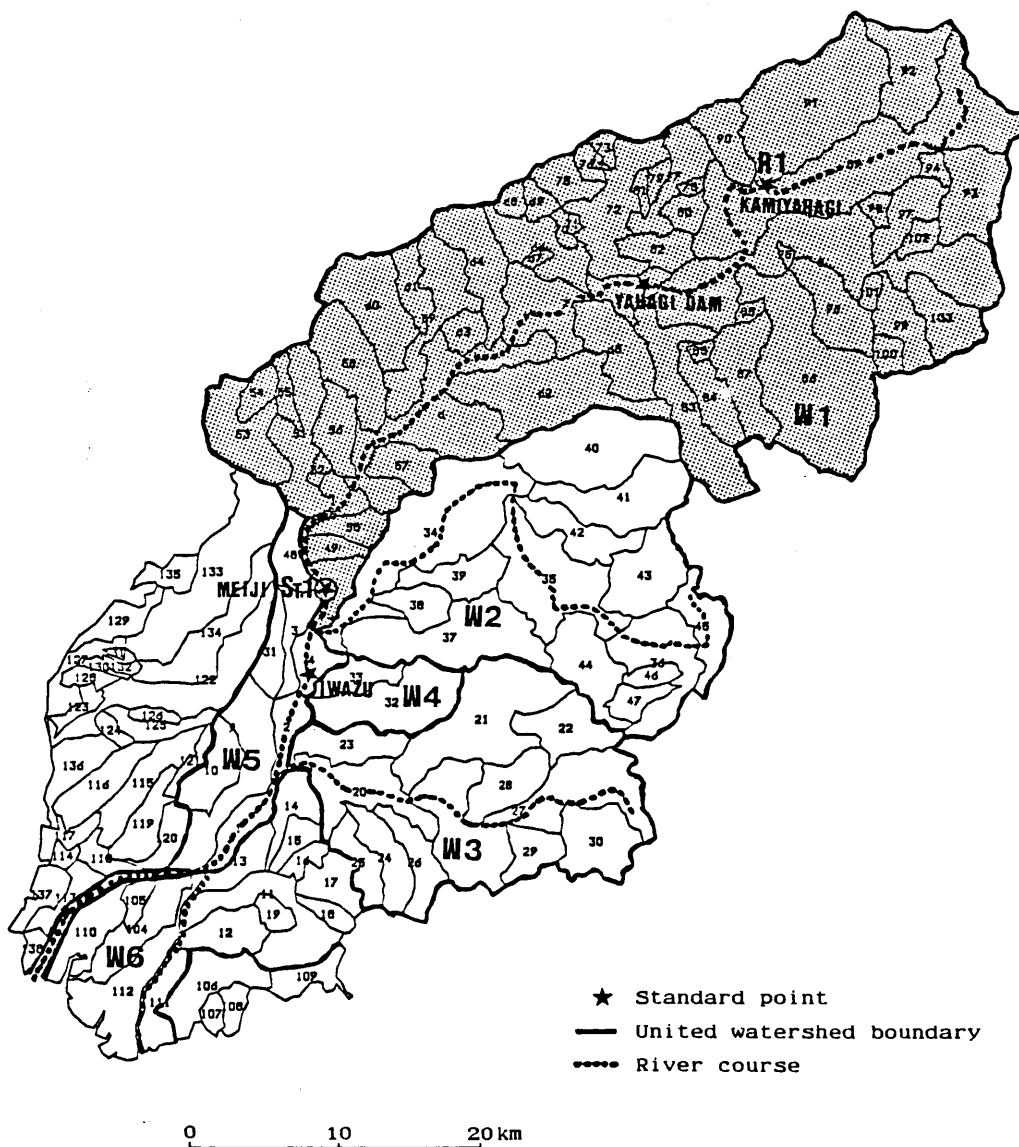


図3-7 COD総量管理のための流域概念図

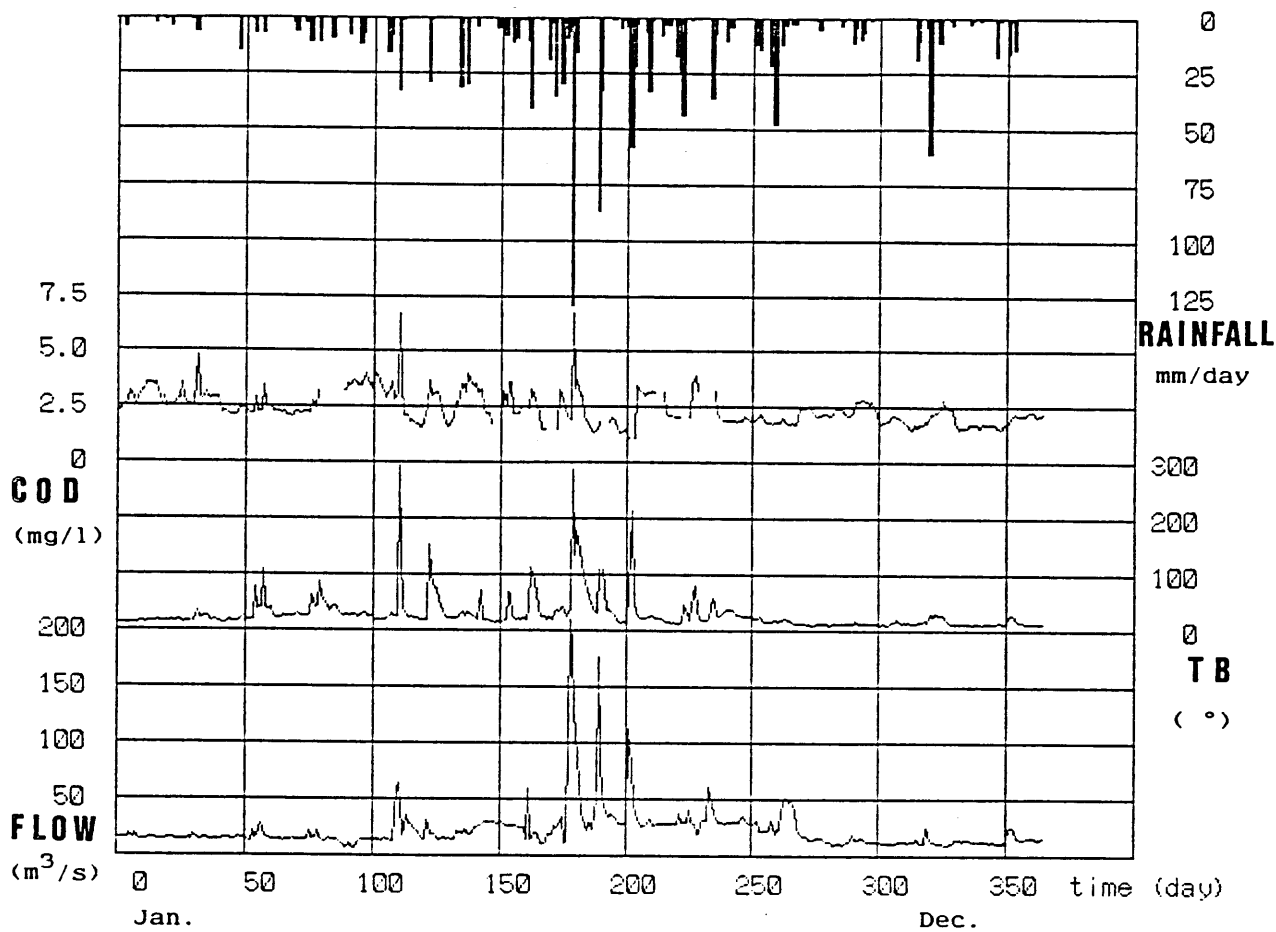


図3-8 COD水質・ハイドロ・ハイトグラフの年間変動特性 (1984, St.1)

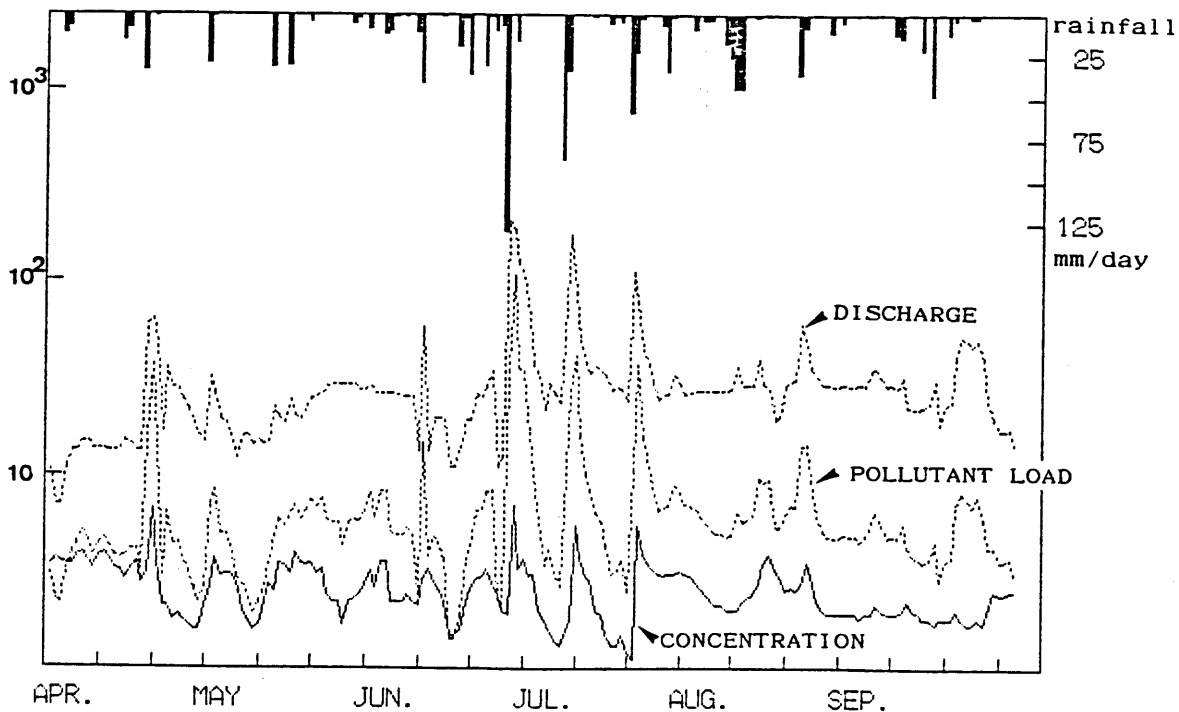


図3-9 COD水質・負荷量・ハイドログラフの増水期の変動特性

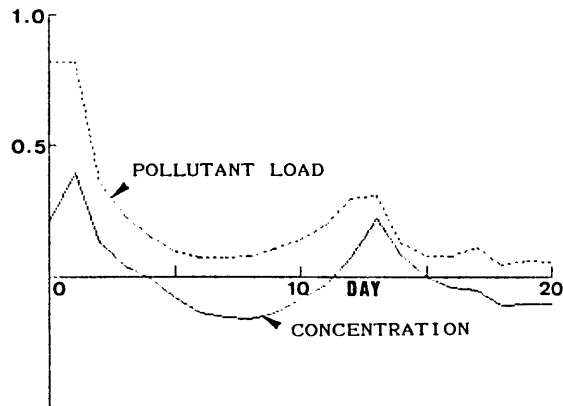
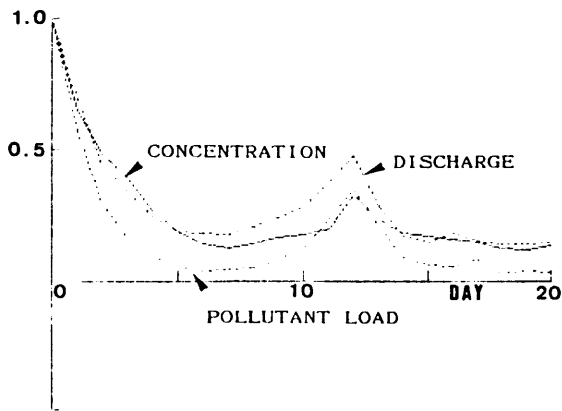
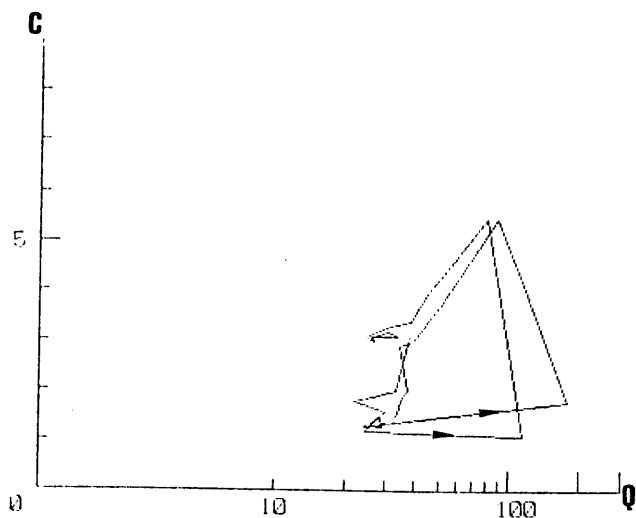
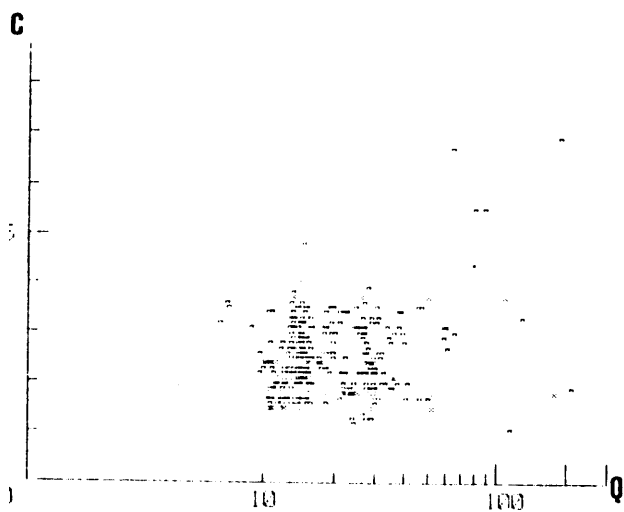


図3-10 年間データの自己相関関数 図3-11 年間データの流量との相互相関関数

図3-12と図3-13はCODについて、各々濃度(C)と負荷量(L)の出水時における特性を示したものである。各々の図において、左側の図は、1年間の濃度あるいは負荷量の流量(Q)との関係(レイティング・カーブ)を示し、右側の図は、7月の一ヶ月間の出水時の挙動を示している。

これらから、C~Q、L~Q関係は単一出水でみた場合、反時計回りのループを描き、減水時は増水時よりも大きな値をとる傾向が認められる。特にその差は、濃度において著しい。また、 $\log L \sim \log Q$ 関係は、上記のループ特性からばらつきがあるものの、比較的良好な直線関係を示している。また、濃度は、流量が小さいときに高くなることはない。



1984.7.1 - 7.30

図3-12 濃度(C)と流量(Q)との関係(単位: C (mg/l)、Q (m³/sec))

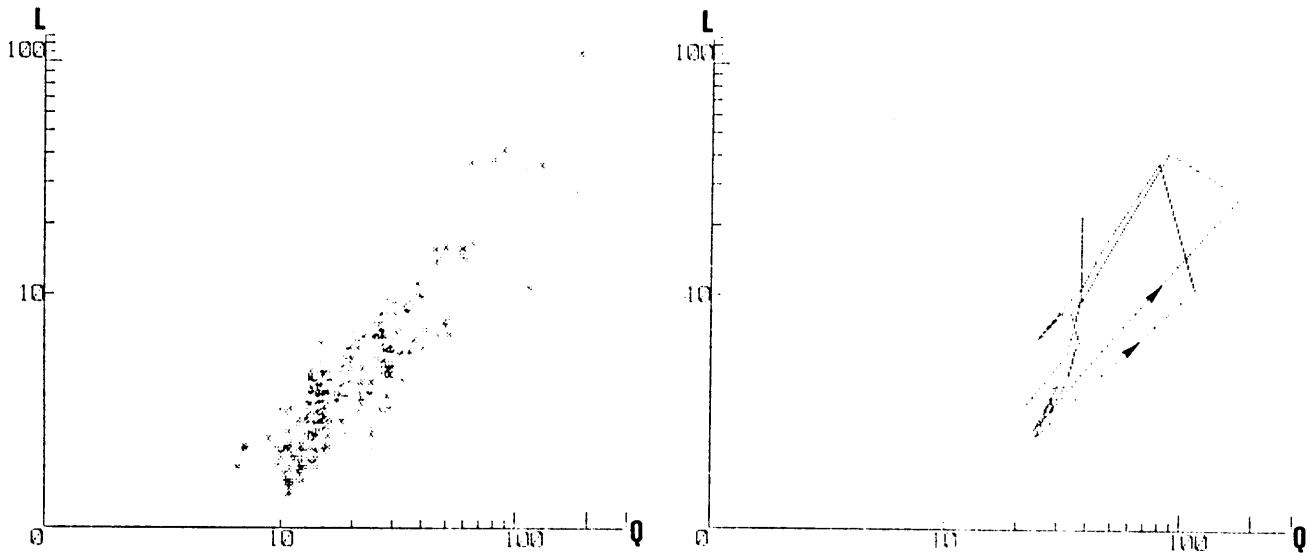


図3-13 負荷量 (L) と流量 (Q) との関係 (単位: L (ton/day)、Q (m³/sec))

単一出水時における、CとLの挙動は、結局、次の三段階に整理される。

- 1) Qが急に増水するのに対して、CとLは緩やかに増大する。
- 2) Qがやがて最大値に到達し、緩やかに減水し始めるのに対して、CとLは急に増大する。
- 3) その後、Qは急に減水するが、CとLは緩やかに減少する。

(3.4.2) ノンポイント・ソース負荷量とポイント・ソース負荷量の分離

前述のように、水質・流量の連続同時観測値の解析の結果、C～Q関係はばらつきがあるが、CODの濃度は流量に対応して同じ様なピークを示すことが分かった。従って、流量と濃度の積としての汚濁負荷総量の大半は、降雨（特に大雨時）にともなって流出するノンポイント・ソースからの負荷であることが分かる。即ち、ポイント・ソースからの定常的な排出負荷が、降雨によって希釈される効果は極僅かしか寄与しない。

以上の事実は、総量規制において、従来のようにポイント・ソースからの晴天時の平均水質を基準に考えることは、余り効果がないことを意味している。そこで、汚濁負荷をノンポイント・ソースからの寄与部分と、ポイント・ソースからの寄与部分とに分離して、実際に定量を行って、このことを実証した。

具体的な分離方法については、次の三つの手法を検討した。それぞれの分離手法の概念を図3-14に示す。

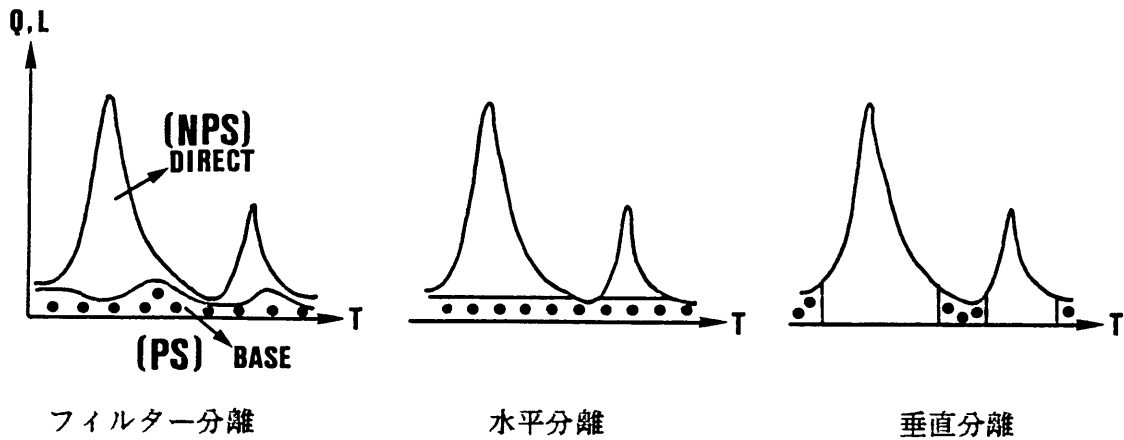


図3-14 分離手法の概念図

フィルター分離は、負荷量時系列を降雨（流量）に対して応答の早い高周波系列（これをDIRECT FLOWと呼ぶ）と逆に応答の遅い低周波系列（これをBASE FLOWと呼ぶ）とに、数値フィルターを用いて分離するものである。そして、前者を降雨を介して流出してくる、ノンポイント・ソース（NPS）からの寄与成分、後者を定常的に流出しているポイント・ソース（PS）からの寄与成分であると考えられる。

水平分離と垂直分離は、山口ほか（1980）が行った分離方法で、前者は晴天時に出ている負荷量（PS）と降雨・流出により増大して出ていく負荷量（NPS）の分離であり、後者は、晴天時（PS）と雨天時に出る負荷量（NPS）の分離をそれぞれ意味している。この手法では、分離のための基準流量を設定することが必要で、いずれもそれを一様に与えるから、そこに大きな誤差が生まれる可能性がある。

この三つの手法の内、フィルターを適切に設定することが出来れば、フィルター分離法が最も理にかなった、正確な分離を与えると予想される。そこで、この手法を用いて、以下では詳細に検討した。

本手法は次の3段階からなっている。即ち、

- 1) 日データの流量時系列を数値フィルターによって分離する。
- 2) 日データの負荷量時系列（流量時系列×濃度時系列）を数値フィルターによって分離する（NPSとPSの分離であり、各成分の総量、即ちストックの推定にあたる）。
- 3) (1)と(2)の結果から、(2)を(1)で除して、各流量成分の濃度時系列を推定する（NPSとPSのフローの変動の解析にあたる）。

数値フィルターを用い、各流量成分（表面流出と地下水流出）を分離する方法は、日野・長谷部（1980）によって提案されており、NPSとPSの分離にこの手法を応用した。

まず、流量時系列から、分離時定数（Tc）を決定する。次に、これに相当するカット・オフ周波数を持つ片側作用low-pass フィルターを設計し、流量時系列を2ないし3の成分時系列に分離する。分離の結果、各成分時系列は線形で表現できることになる。この解析において、降雨-流出の非線形性については、降雨を各成分降雨に分離する分離則にあると考えている。

フィルターの設計には、mass-dashpot-spring 系の非振動型の共振特性を利用する。いま、全流量 $y(t)$ と地下水流出量 $y_B(t)$ の関係を次の二階常微分方程式で表すとき、

$$d^2 y_B(t)/dt^2 + c_1 \cdot dy_B(t)/dt + c_0 y_B(t) = c_0 y(t) \quad \text{--- (3-4)}$$

フィルターの減衰が大きく非振動型の場合には、この系の単位インパルス応答関数 $w(\tau)$ 次のように書ける。

$$\begin{aligned} w(\tau) &= c_0 \exp(-c_1 \tau / 2) \sin(\sqrt{c_1^2 / 4 - c_0} \cdot \tau) / \\ &\quad \sqrt{c_1^2 / 4 - c_0} \quad (\tau \geq 0) \\ &= 0 \quad (\tau < 0) \end{aligned} \quad \text{--- (3-5)}$$

$w(\tau)$ の周波数応答特性は次のように表される。

$$|W(\omega)| = 1 / \sqrt{\{1 - (\omega / \omega_0)^2\}^2 + \delta^2 (\omega / \omega_0)^2} \quad \text{--- (3-6)}$$

$$\text{ここに、} \omega_0 = \sqrt{c_0} \quad \text{--- (3-7)}$$

なお、係数 c_0 、 c_1 はそれぞれ、フィルターの減衰と周期に関するパラメーターで、減衰係数 δ と時定数 Tc との間には次の関係がある。

$$Tc = c_1 / c_0 \quad , \quad \delta = c_1 / \sqrt{c_0} \quad \text{--- (3-8)}$$

このとき、 c_0 、 c_1 は次のように定まる。

$$c_0 = (\delta / Tc)^2 \quad , \quad c_1 = \delta^2 / Tc \quad \text{--- (3-9)}$$

従って、時定数 Tc と 式 3-6 を参考にして適当に選んだ減衰パラメータ（本解析においては、 $\delta = 2.3$ とした）から、片側作用のフィルター $w(\tau)$ が決定される。

この様に決められた、数値フィルターによって高周波成分を除いた地下水流出量 $y_B(t)$ を、次の重畳積分型の線形の入出力関係から分離する。

$$y_B(t) = \alpha \int_0^{\infty} w(\tau) \cdot y(t-\tau) d\tau \quad \text{--- (3-10)}$$

ここに、 α はフィルターの重みの性格を持ち、常に $\min \{y(t) - y_B(t)\} \geq 0$ を満たすように決定される。

さて、この方法によれば、予め分離のための時定数を決定しておく必要ある。分離時定数は、フィルターの特性を大きく左右するのでその決定には注意を要する。ここでは、観測データの入手とその精度の点から、降雨時系列を用いず、流量時系列のみから決定する方法を検討した。

図3-15は、矢作川本川における上・中・下流の各点における（図3-7参照）流量変動を増水期についてみたものである。上流の矢作ダムの値は、ダムに流入する自然流であり、中流の明治用水及び下流の岩津では、人工的な流量操作が加わっている。この年の人工的な操作の影響は、農業の灌水期には著しいが、大雨の出水時についてみる限り、3点とも同様な変動を示しており、あまり影響はないと言える。

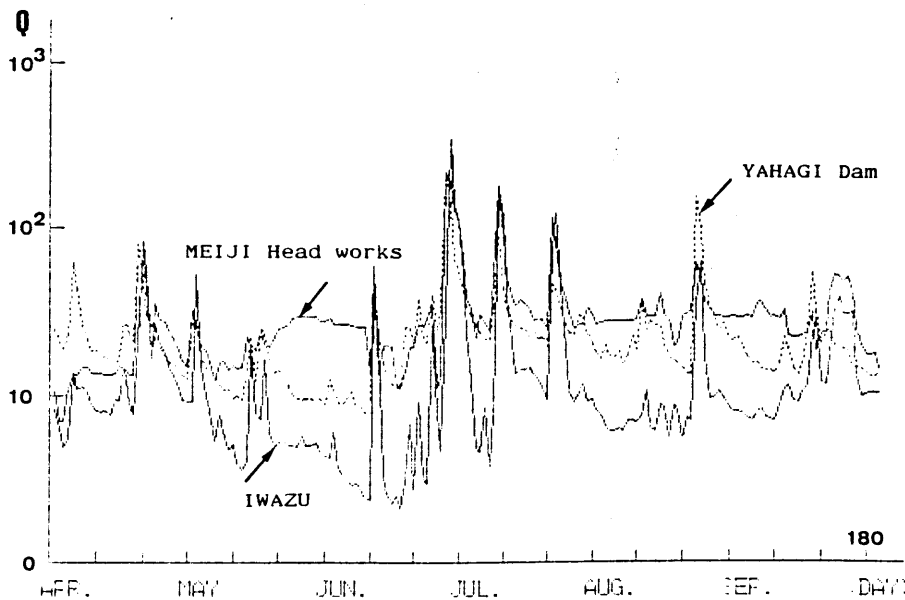


図3-15 矢作川本川における、流量変動パターン (1984.4-1984.9)

具体的には、次の三つの方法によった。

- 1) 流量時系列の対数プロットの勾配から決定する。(図3-16)
- 2) 流量時系列の自己相関係数の変化から決定する。(図3-17)
- 3) 流量時系列の自己回帰係数の変化から決定する。(表3-5)

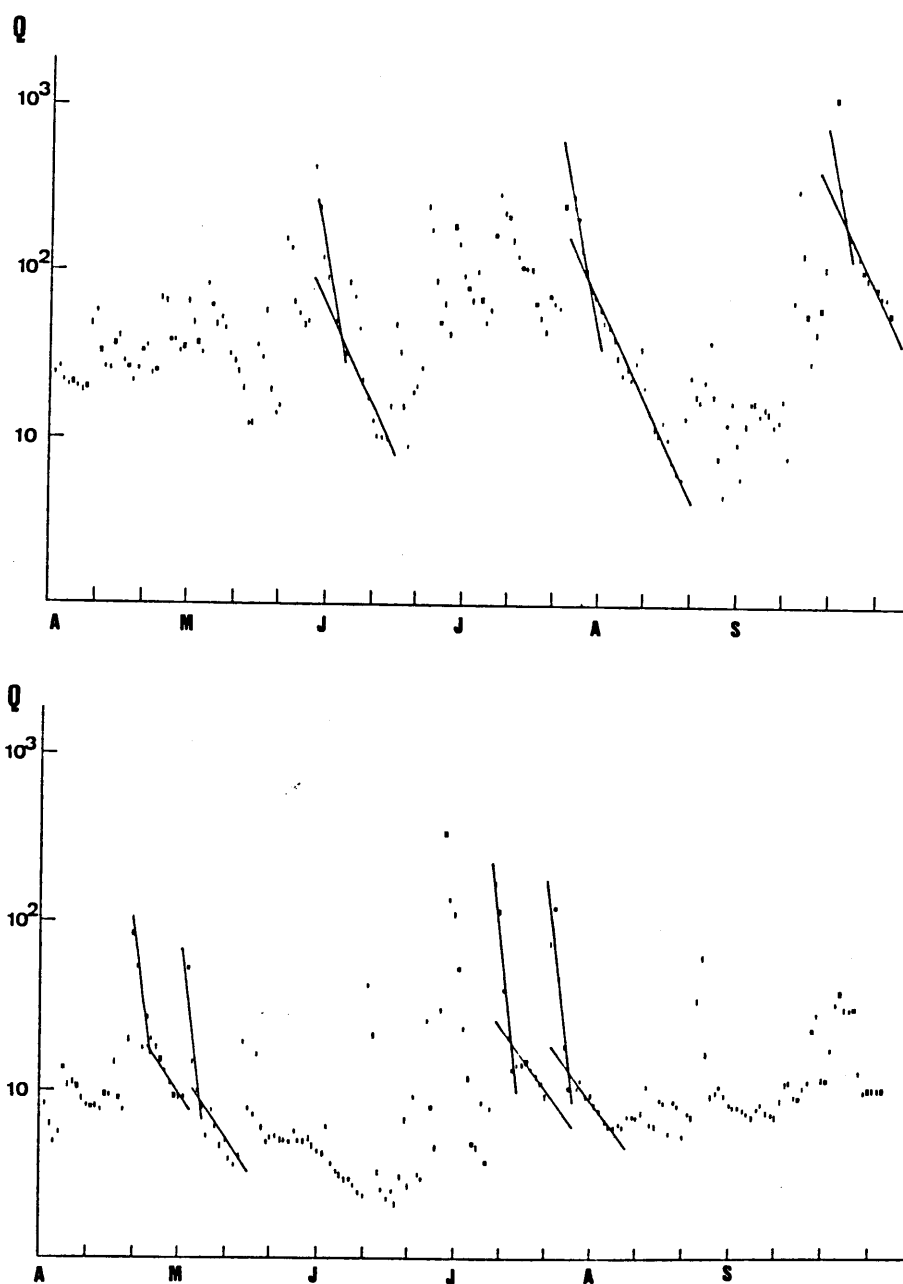


図3-16 日流量時系列（岩津）の片対数プロット（上図:1964、下図:1984）

図3-16は、いくつかの洪水の逓減期について、その流量の対数を時間に対してプロットしたものである。この時、グラフは部分的に直線区間からなり、次のように表せる。

$$\ln Q \propto -t / T_c \quad \text{--- (3-11)}$$

ダムによる制御が時定数にどのような影響を与えたかを見るため、ダムの完成前後で比較を行った。この結果、時定数は1964年で7日、1984年で11日と求められた。

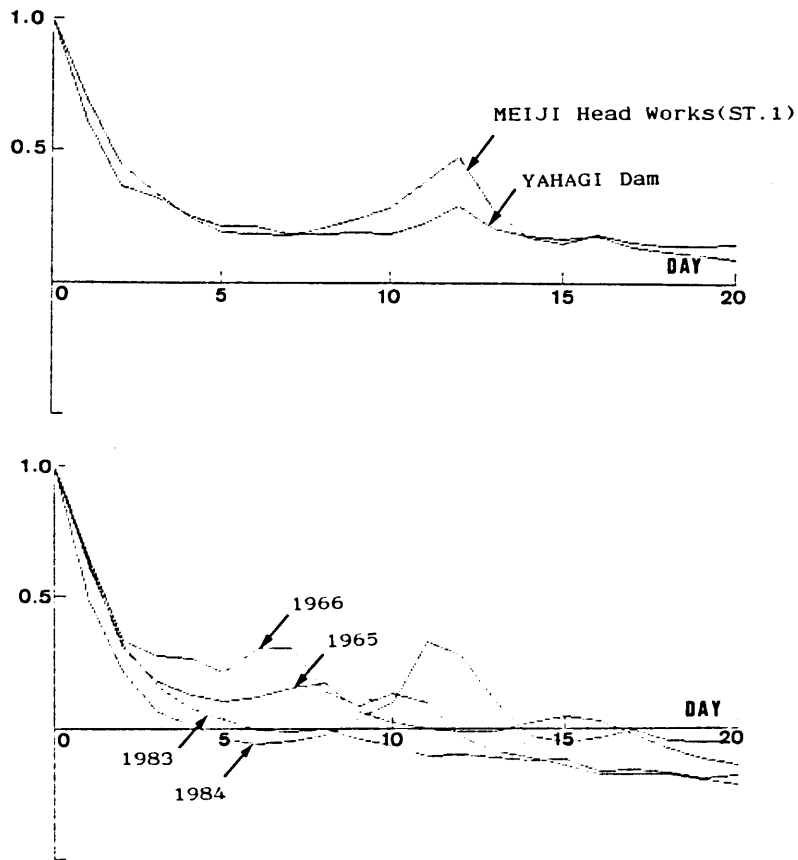


図3-17 自己相関係数の変動特性（上図：場所による違い、下図：経年変化）

次数	岩 津		明治用水		ダム	
	'65	'66	'83	'84	'84	'84
1	0.753	0.743	0.688	0.465	0.798	0.623
2	-0.261	-0.269	-0.199	0.023	-0.234	-0.189
3	0.132	0.097	0.090	-0.013	0.223	0.183
4	-0.039	0.092	-0.053	0.028	-0.231	-0.095
5	0.013	-0.189	0.026	-0.056	0.091	0.022
6	0.045	0.318	-0.038	-0.018	-0.010	0.038
7	-0.034	0.059	-0.019	0.004	-0.012	-0.033
8	0.207	-0.198	0.063	-0.014	0.032	0.026
9	-0.239	0.130	-0.078	0.050	-0.023	-0.008
10	0.144	0.004	0.045	-0.090	0.015	0.002
11	-0.089	0.076	-0.096	0.319	0.006	-0.013
12	0.044	-0.086	0.058	0.039	0.465	0.211
13	-0.039	-0.090	-0.058	-0.089	-0.489	-0.182
14	0.013	0.012	-0.014	-0.061	0.164	0.110
15	0.051	0.018	0.042	-0.019	-0.205	-0.122
16	-0.069	-0.088	-0.114	0.016	0.317	0.143
17	0.078	-0.037	0.050	0.072	-0.188	-0.097
18	-0.093	-0.014	-0.056	-0.048	0.053	0.019
19	0.032	0.040	-0.027	0.003	-0.035	-0.019
20	-0.062	-0.047	-0.044	-0.051	0.003	-0.023

表3-5 自己回帰係数の変化（増水期（4月～9月）のデータを利用）

以上の検討から、1984年の成分分離に当たって、 $T_c = 11$ 日を用いた。

流量時系列を前述のような数値フィルターで成分分離した結果を、図3-18に示した。

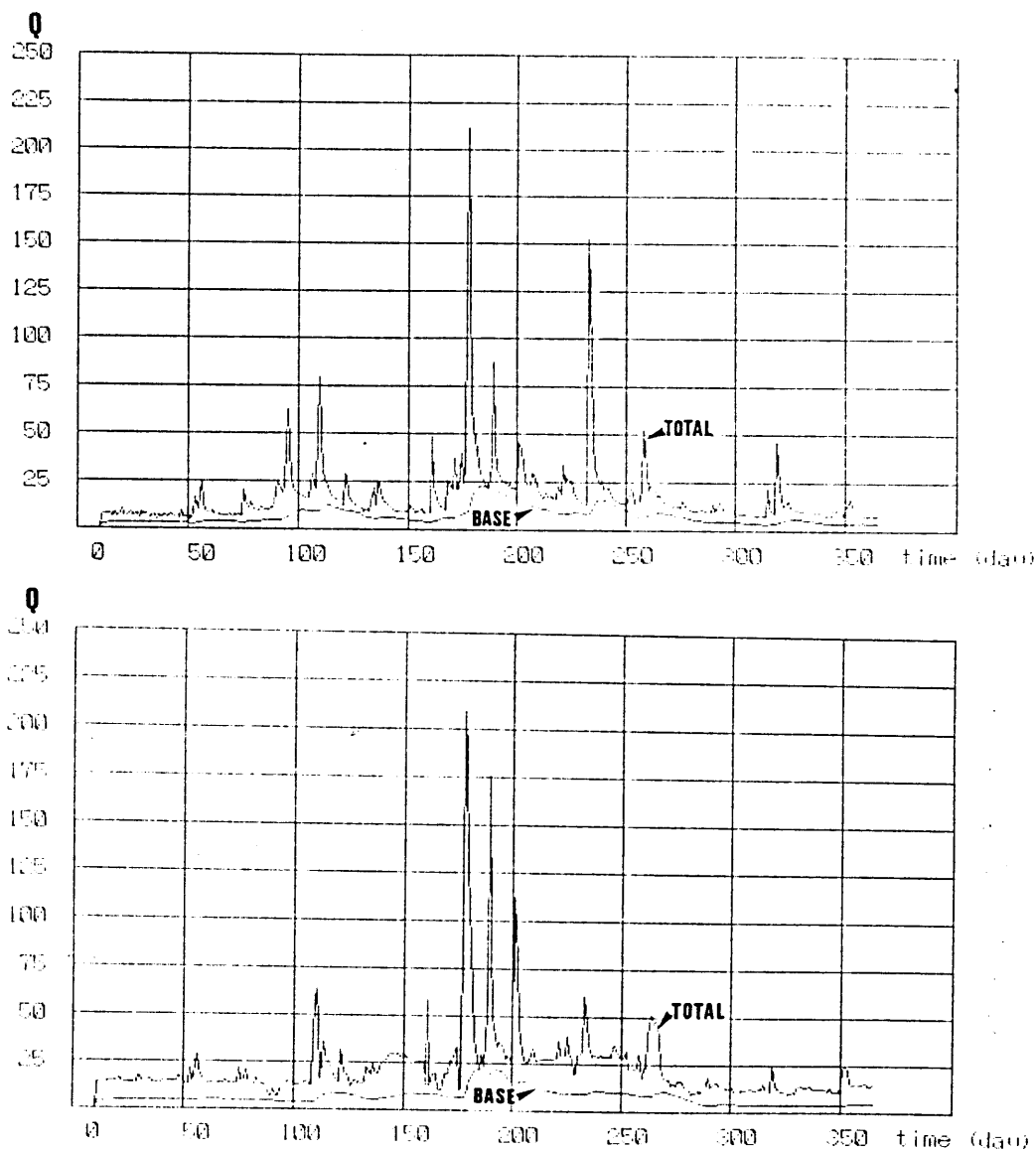


図3-18 流量（単位： m^3/sec ）分離結果（上図：矢作ダム、下図：St.1）

各成分の年間総流出高を、平均して流量に換算すると、次のようになる。

	St. 1	矢作ダム	
直接流出 (Q_D)	15.52 (68.3 %)	10.13 (59.4 %)	
基底流出 (Q_B)	7.20 (31.7 %)	6.93 (40.6 %)	
総流出 (Q)	22.72	17.06	単位： m^3/sec

次に、表3-6 に示すように自己回帰係数の変化は、流量・負荷量・濃度ともによく類似しているのので、同じフィルターを用いて、負荷量時系列について成分分離を行った結果を、図3-19に示す。

degree	discharge	load	concentration
1	0.803	0.568	0.574
2	-0.206	-0.030	0.077
3	0.208	-0.004	0.083
4	-0.205	0.022	-0.040
5	0.070	-0.013	-0.033
6	0.028	-0.005	-0.009
7	-0.021	0.021	-0.005
8	0.043	-0.014	0.039
9	-0.016	0.013	0.009
10	0.025	-0.017	-0.006
11	0.014	0.076	-0.061

表3-6 自己回帰係数の変化構造（年間データを用いた）

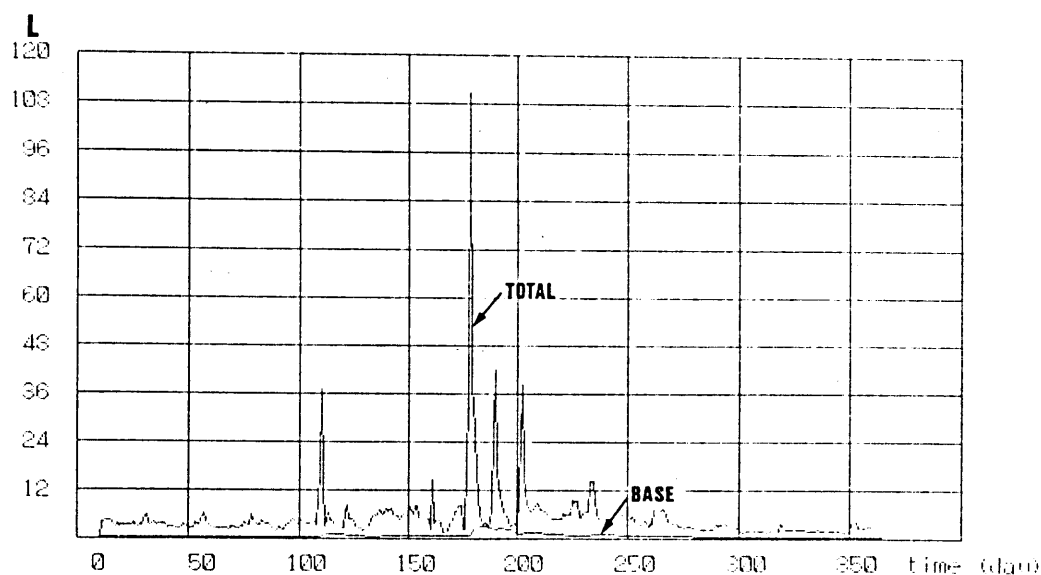


図3-19 負荷量時系列（単位：ton/day）の分離結果（St. 1）

各成分の年間総流出負荷量を、平均して日負荷量に換算すると、次のようになる。

	日負荷量 (ton/day)	年負荷量 (ton/year)
直接流出 (L_D)	4.44 (86.2 %)	1618
基底流出 (L_B)	0.71 (13.8 %)	262.5
総流出 (L)	5.15	1880.5

ここで、基底流出及び直接流出はそれぞれ、ポイント・ソース及びノンポイント・ソースからの汚濁負荷であると解釈することが出来る。これから明らかなように、汚濁量の大半

が、降雨を介して流出するノンポイント・ソースからもたらされることが分かる。後述するように、原単位から積み上げたポイント・ソースの負荷量に比べて、分離されたポイント・ソースの負荷量は小さくなっている。本手法は、周波数特性のみによって分離するものであり、この点を考えると、ポイント・ソースからもたらされた負荷量のかなりの部分が、流域内に滞留されており、それが降雨と共に、流出することが推定される。

分離された各成分は、線形系で表すことが出来るので、各成分に、離散型の自己回帰モデルを適用し、表3-7の自己回帰係数を求め、図3-20に示すような、各々の成分の応答関数を得た。これから、流量・負荷量ともに、直接流出成分は、2日後にピークがあり、約6日で流出している。また、基底流出成分は、ピークが6～7日ぐらいいあって、1か月ほどかかってゆっくりと流出している。これは、負荷量の滞留期間と考えてよいであろう。

以上の流量・負荷量が分離された結果を用いて、負荷量時系列を流量時系列で除して得られる、各成分の濃度の変動を図3-21に示した。

次数	流量		負荷量	
	直接流出	基底流出	直接流出	基底流出
1	0.799	2.311	0.566	2.056
2	-0.232	-1.932	-0.032	-1.392
3		0.879	-0.006	0.359
4		-0.448		-0.021
5		0.164		
6		0.147		

表3-7 分離された各成分時系列の自己回帰係数

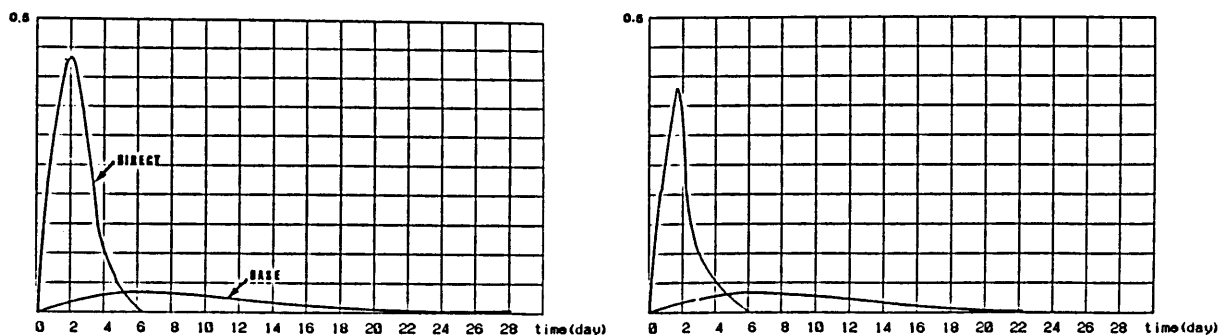


図3-20 直接流出成分と基底流出成分の応答関数
(左図：流量、右図：負荷量)

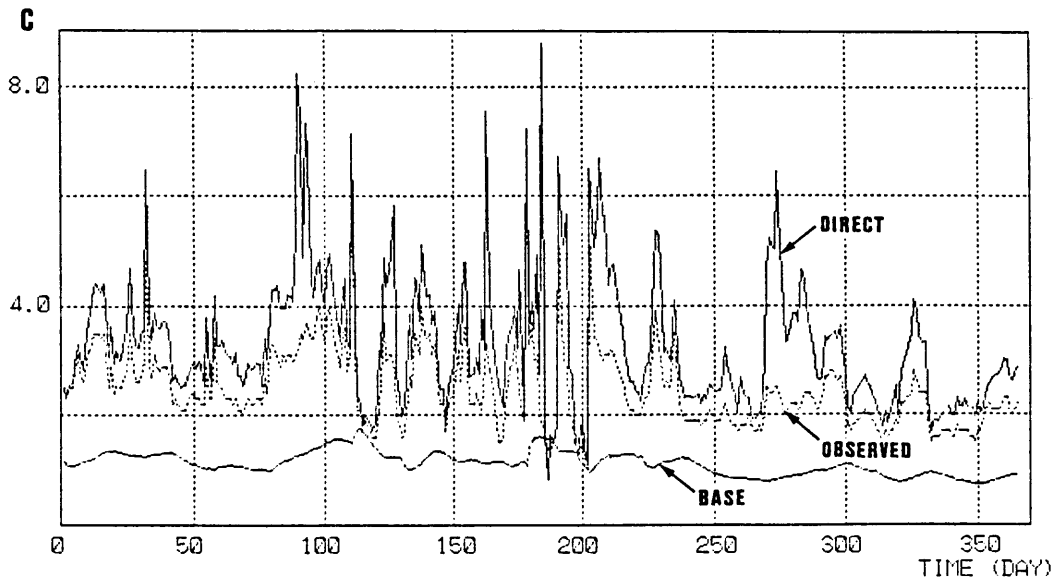


図3-21 直接流出成分と基底流出成分の濃度 (mg/l) の変動

基底流出成分の濃度は、殆ど安定した値を示している（変動係数：0.194、年間平均値：1.12 mg/l）。これに対して、直接流出成分の濃度の変動は激しく、また変動幅も大きい（変動係数：0.368、年間平均値：3.3）。従って、観測される濃度の変動は、その大半が直接流出成分に起因するものと推定される。そこで、直接流出量と一定の関係が認められる流量構成比率（ Q_D/Q ）と観測濃度との関係を図3-22に示した。3.4.1章で述べたように、単一出水時におけるループ特性によって多少ばらつきがあるが、直接流出成分の全流出量に占める割合が大きくなるほど、観測される濃度は高い値を示す傾向が認められる。

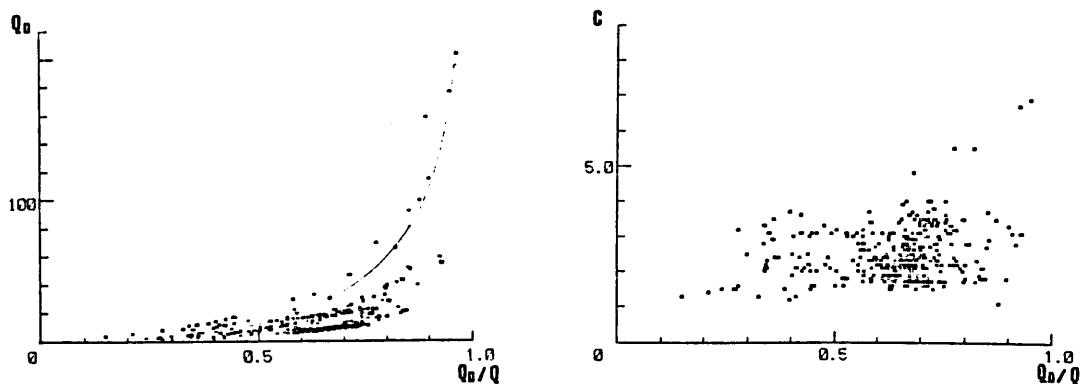


図3-22 直接流出量と流量構成比率（左図）及び観測濃度と流量構成比率の関係（右図）

以上の解析によって、河川のCOD汚濁負荷は、その大半が降雨時に直接流出すること、またその時には、濃度も高い値を示すことが分かった。

(3.4.3) 水文学的水質シミュレーション

COD汚濁負荷の大部分が、降雨を介して流入するノンポイント・ソースからの供給であることは、それが水文量に大きく影響を受けることを意味している。従って、水文量を説明変数として、負荷量を定量することを本章では考察する。水文量としては、降雨の形態や流域の特性が総ておりこまれている流量をとりあげる。

この流量を説明変数として、流出負荷量モデルを作る試みは、これまでも様々な水質項目について、いくつかのモデルが検討されている（例えば、Gunnerson(1967)、羽田(1977)、海老瀬ら(1979)、山口・吉田(1978,80)、海老瀬(1984,86)、和田・三浦(1985)など）。それらは大別すると、汚濁負荷量の流出に対して、流量の輸送能力のみに着目する「フロー型」と、それに加えて、流域内の負荷量の一時貯留をも考慮に入れる「ストック型」に分類できる。前者には、基本的な経験式、

$$L = a Q^b \quad \text{-----(3-12)}$$

(ここで、 a は定数、 b は指数である)や、さらに流量をいくつかの流出成分に分けた、

$$L = a_1 + a_2 \cdot Q_D + a_3 \cdot Q_B \quad \text{-----(3-13)}$$

(ここで、 a_1 、 a_2 、 a_3 は定数)等がある。

また後者は、晴天時に流域内に滞留した、主として負荷量のうちの浮遊成分（固形成分）が降雨とともに流出してくること、同一規模の連続した出水は二番目の方が汚濁負荷量が小さい傾向にあることなどから、次のような作業仮説によるものである。

$$L = a' Q^{b'} S^{c'} \quad \text{-----(3-14)}$$

ここで、 a' は定数、 b' 、 c' は指数であり、 S は汚濁物質の残留率や、先行晴天時間等によって決定される、負荷量のポテンシャルである。

本研究では、前述のCOD汚濁負荷量の流出特性でみたように、日データでは、負荷量と流量の応答のタイムラグが殆どないこと、また浮遊性の成分は多くないこと（COD汚濁物質の溶存成分と浮遊成分の量比が、矢作川流域において調査された資料はないが、浮田・中西(1985)は大河川における流達負荷に占める溶解成分のその割合は、70%前後であるとしている）などから、一次的な近似として、前者の「フロー型」によってモデルを検討し、日データによる負荷量のシミュレーションを行った。

(1) $L = a Q^b$ モデル

図3-23は、St. 1における1年間の、負荷量と流量の Rating Curve である。ただし、図において流量及び負荷量は各々の最大値で無次元化してある。

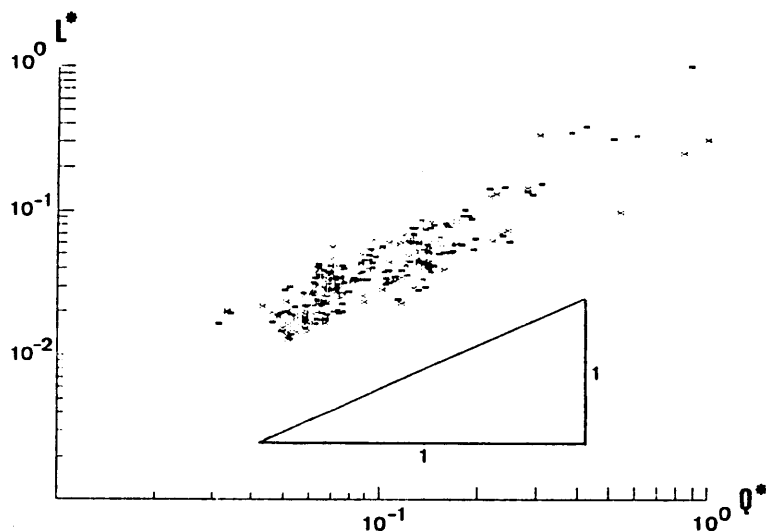


図3-23 流量と負荷量の Rating Curve

負荷量流出のループ特性から、ばらつきがあるが、2変量には直線的な関係が認められる。従って、回帰分析を行い、最小二乗法によって式3-15の係数を決定して式3-16を得た。

$$\log L'_i = a' + b' \log Q_i \text{、即ち } L'_i = 10^{a'} Q_i^{b'} \quad \text{-----}(3-15)$$

$$L_i = 0.177 \cdot Q_i^{1.051} \quad \text{-----}(3-16)$$

ここで、回帰式3-16の誤差について検討する。統計モデルによれば、基本的に次のことが仮定されている。

$$\log L_i = a + b \log Q_i + \varepsilon_i \quad \text{-----}(3-17)$$

ここに、 $\varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$ 、即ち、誤差は平均 0 分散 σ^2 の正規分布である。

このことは、次のように書き換えられる。

$$L_i = 10^a Q_i^b \eta_i \quad \text{-----}(3-18)$$

ここに、 $\log \eta_i = \varepsilon_i$ 即ち 対数正規分布の誤差 η_i が乗せられる。

この誤差の期待値は、

$$E(\eta_i) = \exp \{ \sigma^2 (\ln 10)^2 / 2 \} \quad \text{-----}(3-19)$$

で与えられるので、結局、真値と予測式の比の期待値は

$$E(L_i / L'_i) = 10^{a-a'} Q_i^{b-b'} \exp \{ \sigma^2 (\ln 10)^2 / 2 \} \quad \text{-----}(3-20)$$

となる。

Ferguson(1986)は、以上のような統計的な解釈を基にして、Rating curve 法から得られる式は、真値よりも過小に評価していることを示し、次の補正法を提案している。

即ち、

$$E(L_i / L'_i) = \exp(2.65 s^2) \quad \text{-----}(3-21)$$

ここに、

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\log L_i - \log L'_i)^2}{n-2} \quad \text{で、} n \text{ は観測値数である。}$$

流量・負荷量関係の分散は小さく ($s^2 = 0.014$)、従って補正項もこの場合小さかった。
($E(L_i / L'_i) = 1.038$)。

そこで、この補正をほどこせば、次の式が最終的に得られた。

$$L_i = 0.184 \cdot Q_i^{1.051} \quad \text{-----}(3-22)$$

図3-24は、この回帰モデルによって流量から負荷量を予測したものと、実際の観測値（濃度と流量の積）とを比較した、シュミレーションの結果である。本モデルでは、浮遊性の固形成分が正確に表現されていないと推定されるので、ピーク値や極小値において相違が認められるが、概ねよく観測値と適合している。

(2) $L = a_1 + a_2 Q_B + a_3 Q_D$ モデル

フィルター分離法で得た、流量の各成分に着目して、各々の成分がどの程度負荷量流出に寄与しているかの観点から、年間データを利用して、重回帰モデルを作成した。結果は次のように要約できる。

各変数の平均は、負荷量 (L) = 5.152 ton/day、基底流出 (Q_B) = 7.201 m³/sec、直接流出 (Q_D) = 15.522 m³/sec である。また、相関（上三角）・共分散（下三角）は、次のように整理される。

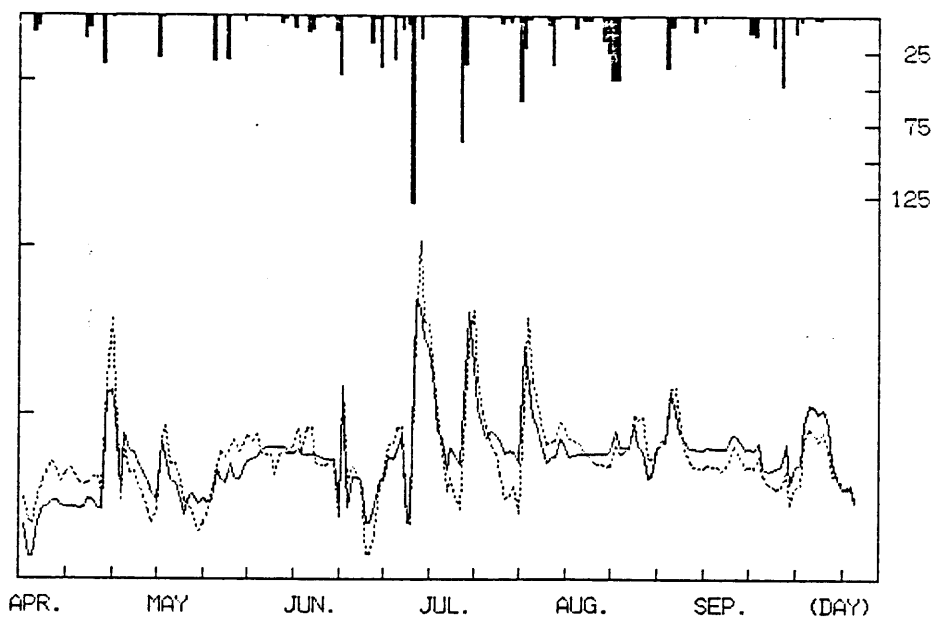
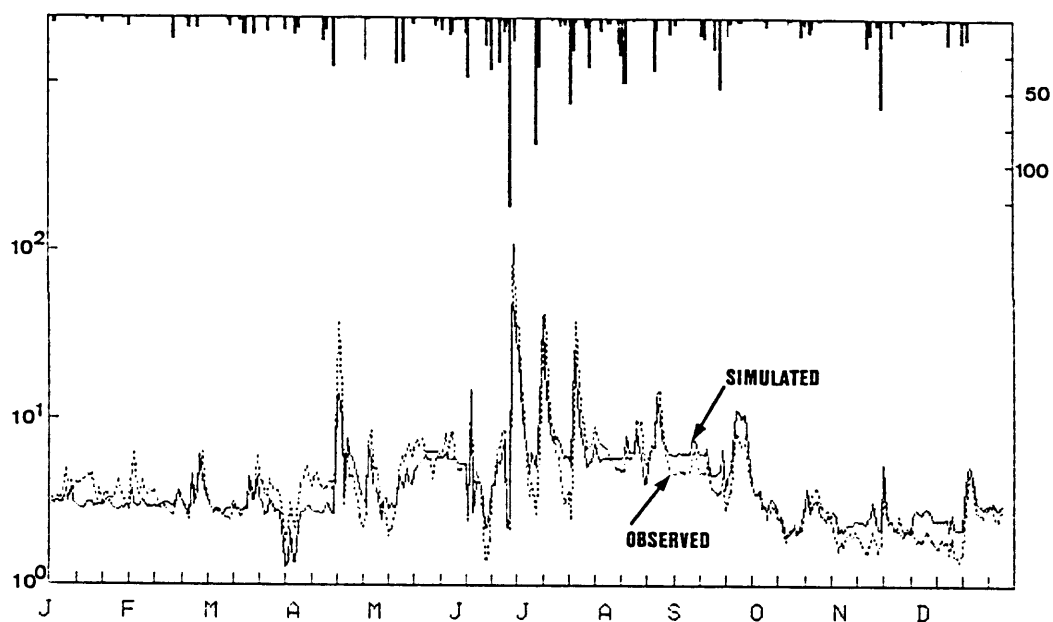


図3-24 $L = a Q^b$ モデルによる水質シュミレーション
(上図：1年間、下図：増水期)

即ち、相関、共分散は、

	L	Q_B	Q_D
L	55.682	0.27937	0.8199
Q_B	9.180	17.545	0.2694
Q_D	117.751	21.715	370.39

である。

これらを用いて、最小2乗法により重回帰式を求めると、次のようになる。

$$L = -0.6229 + 0.13993 \text{ QB} + 0.30971 \text{ QD} \quad \text{----(3-23)}$$

(0.44954) (0.01201) (0.05517)

カッコ内は、それぞれ推定値の標準偏差を表しており、また、決定係数は 0.678 であった。

この回帰式の有意性を、分散分析によって検定した。即ち、分散分析表は、

変動要因	平方和	自由度	不偏分散	分散比 (F 値)
回帰による相関	13742.0	2	6871.01	381.132
回帰からの残差	6526.1	362	18.03	
全体	10268.1	364		

2

分散分析の結果、 $F_0=381.13 > F_{362}(0.01)=4.75$ であるから、回帰は明らかに有意である。さらに、1つずつの回帰係数を検定すると、

$$H_0: \beta_1 = 0 \quad F_0 = 6.432 > F_{362}(0.05) = 3.90$$

$$H_0: \beta_2 = 0 \quad F_0 = 665.27 > F_{362}(0.01) = 6.80$$

となり、各々の係数について、0ではなく、負荷量の予測にとって、有意であることが確認された。また、偏相関係数はそれぞれ、 $r_{1,2}=0.132$ 、 $r_{2,1}=0.805$ であるから、特に直接流出成分と負荷量の相関が高いことが認識される。定数項が負の値を示しているのは、川道その他に、汚濁物質が蓄積されて流出しないことを表していると解釈できよう。

本モデルのように、二つの流出成分の線形結合で表した場合、各々の成分の係数が持っている次元は、濃度と同じ次元である。従って、各々の成分に対応した負荷量が存在すると仮定して、これらの係数は、その負荷量の重みを説明したものと見えよう。さらに、各々の流量成分については、周波数特性という物理的な根拠が存在しているので、その負荷量の供給源の寄与度をも、この係数は説明していると考えてよい。即ち、直接流出・基底流出に伴う負荷量の供給源は、それぞれノンポイントおよびポイント・ソースだから、両者の寄与の度合いが係数比（約3：1）であることを示している。

図3-25に重回帰モデルによる、水質シュミレーションの結果を示した。図3-24と比較して、重回帰による方が、より極値をとらえており、観測値に対する適合性がよくなったと推定される。（予測値と観測値の2乗平均誤差は、rating curve 法で 4.48、重回帰法で 4.23であり、全体としても後者が評価できる。）従って、流量を成分に分けることは、モデルの精度の向上に寄与していると結論できよう。

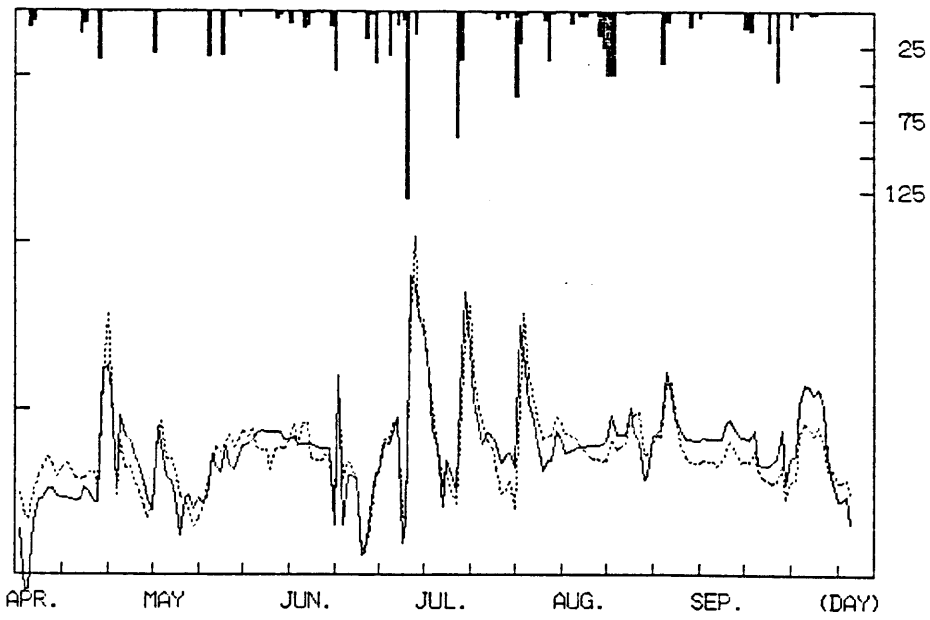
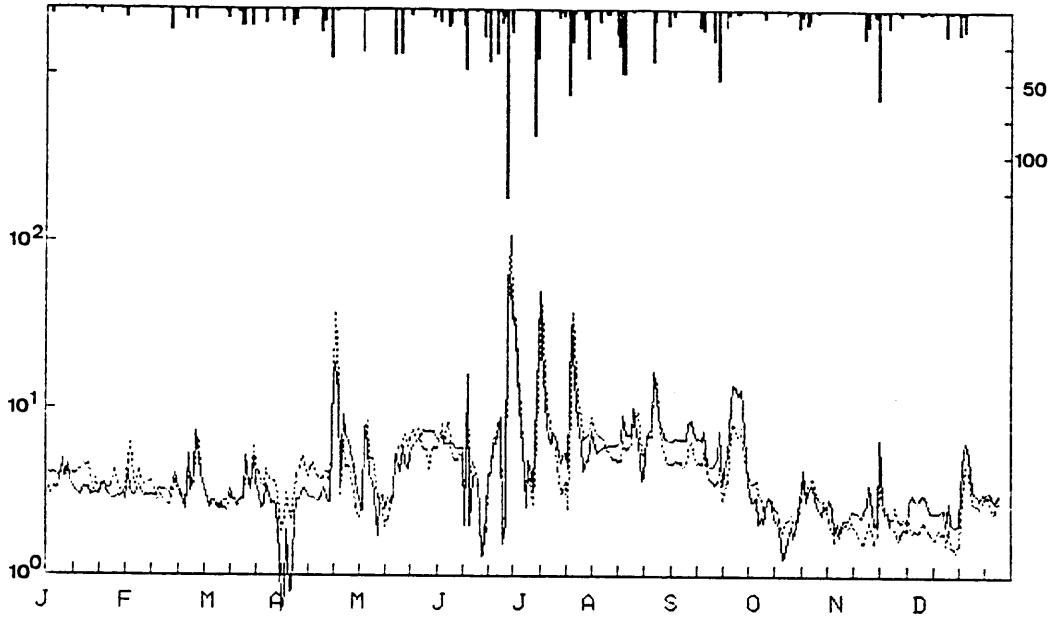


図3-25 $L = a_1 + a_2Q_B + a_3Q_D$ モデル による水質シュミレーション
 (上図：1年間、下図：増水期)

3.5 水環境容量の設定

以上の解析を基にして、水についての環境容量を本章において議論する。

「環境が汚濁を受け入れ、環境を維持していく能力」が環境容量の一般的な概念である。水環境の水質に限定すれば、その能力は大きく分けて2種類考えられよう。1つは汚濁物質の自浄（分解・同化）能力であり、いま1つは対象とする系の、移流・拡散・希釈等の物理的能力である。従って、環境容量の概念の中には、汚濁物質の通過する空間を規定すること、及びその通過速度（時間）を考慮することが含まれている。しかしながら、これらを科学的に規定することは容易ではない。例えば、汚濁の性質を同定すること、溶媒としての水の量を定めること、環境の境界条件（大気、底質（土）との物質のやり取り）を求めることなど、どれを取っても困難な問題である。

上述のように、総量規制や環境利用の制約条件の根拠として、登場した環境容量の概念には、未だ科学的な実体はともなっていないのが現状である。その対象を水環境から拡大して、人間の諸活動とその汚濁発生源の問題を含んだ「流域の環境容量」を論じるのは、さらに議論の厳密さを欠く恐れもある。しかし、環境の改善には多様なアプローチが有り得るとの考え方から、客観的な事実を基に、現状で可能な限りの推論を行うことには意義があるといえる。

ここでは、環境容量の定義を具体的に、「河川のある点での水質が環境基準を満たすための、それより上流での許容汚濁負荷量」とした。BOD・栄養塩については、既に前章でこの立場からの議論を行ったので、CODについて以下では述べる。

これまでの解析で明らかになった主な事は以下のように要約できる。

- 1) 濃度・流量の連続同時観測データは、同じ様なピークを示し、その変動特性には類似性が認められる。COD濃度が高くなるのは、流量が大きいときである。この逆は、出水時の応答のループ特性から必ずしも真ではない。
- 2) 流量と濃度の積としての汚濁負荷量は、その殆どが大雨時の流出で、ノンポイント・ソースからの供給である。
- 3) フィルター分離法により、降雨による流出部分（ノンポイント・ソース）と平常流による流出部分（ポイント・ソース）とを分離し定量した結果、全負荷量の約86%が前者であると推定された。
- 4) 全流量と負荷量との回帰、及び分離した2成分と負荷量との重回帰モデルは、どちらも観測負荷量をシュミレート出来る。特に後者の適合性がよい。
- 5) 重回帰モデルから、ノンポイント・ソースとポイント・ソースの全負荷量に対する寄与の割合は約3：1であることが推定された。

これから、流域全体の流出負荷量の定量を議論する。

前述の検討結果は、矢作川流域をその自然・社会特性から、中流域分割したなかの流域W1 (St. 1) での結果である。この流域は、矢作川流域において、中流域の末端と水質自動観測点の一致した唯一の流域である。また地質的な条件から（合流直前に基盤からなるゴルジュがある）この流域の水はすべて河川水となってSt. 1を通過するので、データは流域条件をもらさず反映させていると考えられる。さらに最上流に位置し、観測点の近くに大きなポイント・ソースもなく、面積が最大であるので、ノンポイント・ソースの平均的な自然負荷量を与えていると解釈される。この仮定を確認するために、中流域W3（大きなポイント・ソースは存在しない。）の合流点より上流に位置する観測点で測定された出水時のデータを利用し、St. 1とこの点における、同一出水時のフィルター分離法による、負荷量分離を行った。図3-26は、その結果を示したものである。

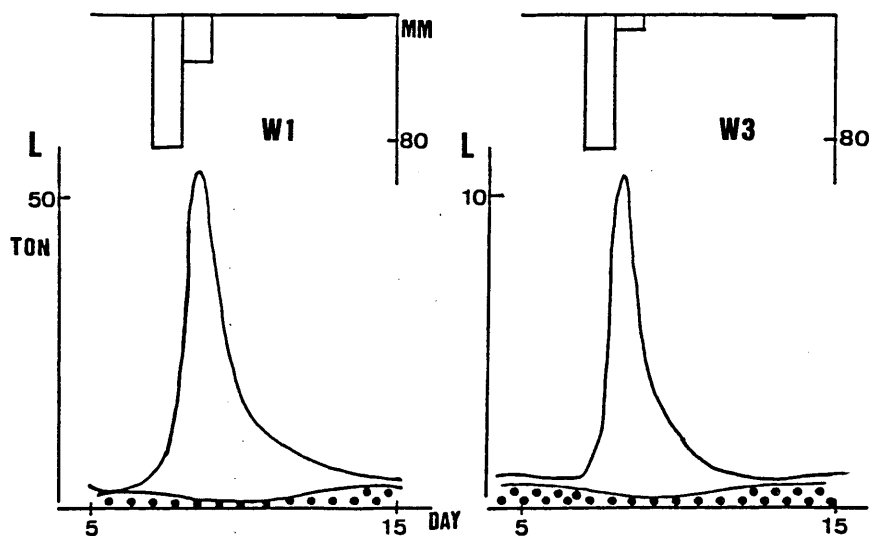


図3-26 W1とW3の同一出水時における負荷量分離の比較

分離に際しては、時定数が変わらないので同じフィルターを用い、図はそのうちの降水パターンが似た同一出水を示したものである。これから得られた、直接流出の負荷量（ノンポイント・ソース）の比は、W1とW3で約5：1であり、これはほぼこれらの観測点の集水域の面積比と一致している。従って、W1で得られた値を本流域における平均的な値と考えても良いであろう。そこで、矢作川流域で、観測点のない外の中流域のノンポイント・ソース負荷量を定量するのに、第一次近似として、W1の値（1618ton/年）を面積あたりの原単位として用いることを考えた。

回帰分析の結果から推定されるように、負荷量は、流量とほぼ比例しているので、直接流出負荷量は、流域の流出率にも左右されると考えられる。従って、W1と他流域の流出率の違いを補正する必要がある。具体的に、土地利用ごとの流出率の原単位（森林・水田

: 0.70、畑 : 0.60、宅地 : 0.80、その他 : 0.90) を用いて、これらと各土地利用面積の積の加重平均によって、中流域の流出率を評価すると、 $W1 \cdot W2 \cdot W4 = 0.7$, $W3 \cdot W6 = 0.71$, $W5 = 0.74$ であり、殆ど流域による変化は現れない。また、流域データベースから得られる、将来値から1990年の流出率を求めれば、 $W5$ と $W6$ でそれぞれ、0.03 と 0.01 大きくなったが、これも誤差の範囲であろう。従って、流出率の観点からも $W1$ を矢作川における定量の原単位とすることが出来る。

次に、 $W1$ のポイント・ソースの負荷量を原単位によって定量する。家庭排水については、25.5 g/人・日、畜産排水については、牛 : 520 g/頭・日、豚 : 130 g/頭・日を用いた。また、工業排水については、表3-8の原単位(単位はg/百万円・日)を用いた。さらに流達率については、中小河川の調査報告から、0.3を用いた。

業種	1975	1990	排水量
1. Food	25.60	20.00	0.53
2. Textile	35.80	26.90	0.88
3. Timber	1.66	1.26	0.03
4. Furniture	0.43	0.30	0.03
5. Pulp	233.00	189.00	3.98
6. Chemical	33.80	21.50	5.57
7. Ceramic	1.39	0.84	1.14
8. Steel	13.00	10.60	4.00
9. Nonferrous metal	3.68	2.61	2.01
10. Metal	1.96	1.08	0.13
11. Genetal machinery	0.34	0.29	0.10
12. Electrical machinery	0.40	0.33	0.14
13. Transport machinery	0.50	0.40	0.44
14. Precision machinery	0.41	0.26	0.07
15. Other industry	1.26	1.06	0.36

表3-8 工業排水原単位(排水量の単位は m^3 /百万円・日)

原単位から求めたポイント・ソースの負荷量は、914ton/年であり、St. 1の年間流出負荷量の総量(1881ton/年)からこの値を引いた値、即ち、約967ton/年がノンポイント・ソース負荷量となる。この値を信頼するならば、次のことが考察されよう。

本論文での、ポイント・ソース、ノンポイント・ソースの定義は、その字面とは裏腹に、互いが補集合の関係になっていない。それ故、フィルター分離から得た前述のノンポイント・ソース原単位(1618ton/年)は、周波数特性のみで分離したものだから、ポイント・ソースの一時的な滞留分も含まれて、分離されている。従って、フィルター分離によって得られた値と、ポイント・ソースから求めた値との差(651ton/年)は、この滞留分と推定される。

以上の検討から、今までの議論の中で「降雨を介して流入する負荷量（フィルター分離で求めた負荷量）」としてきた、ノンポイント・ソースの定義を、ここで改めて、その中に含まれているポイント・ソース起源の負荷量を除いた、

「ポイント・ソースでは説明できない負荷量」

と定義し直し（ポイント・ソースの定義は、これまでと同じ）、互いに補集合の関係とした（図3-27参照）。そして、その原単位を、上述の967ton/年をW1の流域面積（約965km²）で除した、「1.0 ton/km²・年」とした。

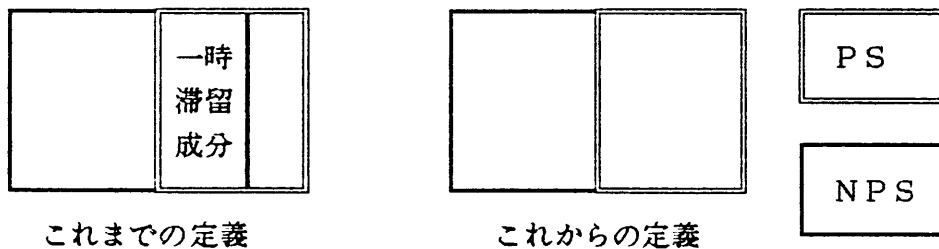


図3-27 ノンポイント・ソース（NPS）とポイント・ソース（PS）の定義変更

この原単位は、W1の負荷量グラフを、低水流量時の負荷量を晴天時の負荷量として水平分離して得られるノンポイント・ソースから求めた、原単位とほぼ等しかった。さらに、この値は、平年よりも雨量の少なかった、1984年の観測結果から求めた値であるから、平年値に直す必要がある。このため、2節で得た水収支の結果の平年値と1984年の値の比を乗じて、結局、1.26 ton/km²・年がノンポイント・ソースCOD負荷量原単位である。これは、浮田・中西(1985)にある 1.2 ~ 1.5 ton/km²・年と類似した値となった。

また、ノンポイント・ソースの負荷量は、土地利用形態からの影響を受けることが予想される。それは、主として流出率とその土地利用に内在する汚濁負荷のポテンシャルによる。後者については、降雨時を含めた年間の流出と土地利用形態の関係について論じた研究はなく、僅かに晴天時についての観測データを基にした議論があるのみである。海老瀬(1984)によれば、林地、市街地、田園地の順で負荷量が高くなるとしている。従って、W1の90%以上が林地であることを考えれば、これを流域の原単位とすると過小評価の可能性はある。

以上の問題を認識した上で、このノンポイント・ソースの原単位及びポイント・ソースの原単位を用いて、流域データベースから流域全体の負荷量の把握をしたのが、図3-28である。また、各中流域の汚濁源の構成を図3-29に示した。

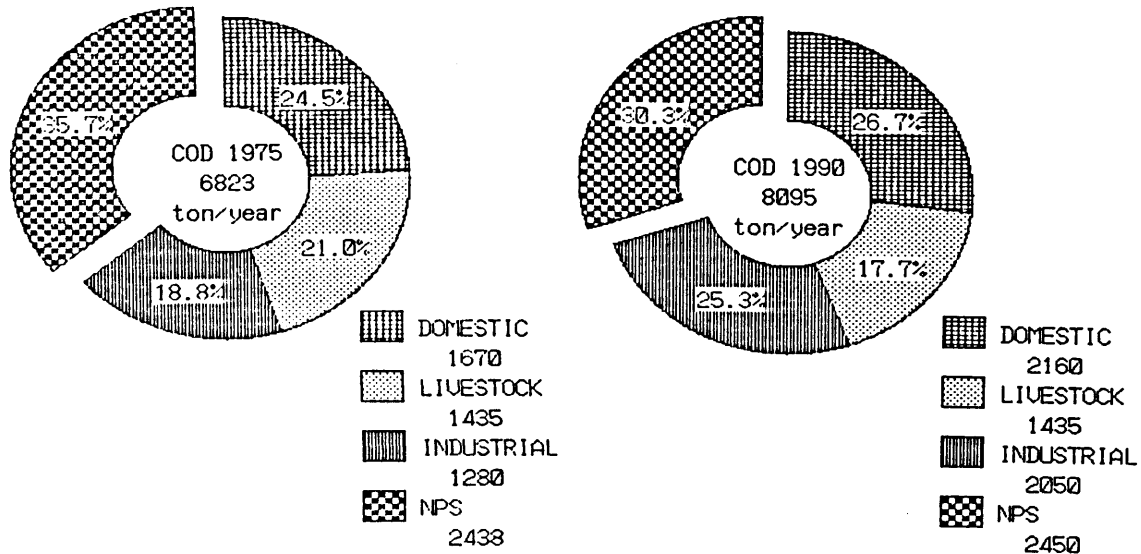


図3-28 矢作川流域の総排出COD負荷量

これらの総量が把握された結果、明らかになったことを次に要約する。

- 1) 流域全体の負荷量構成の変化から、工業負荷の割合が今後高まる傾向が示されている。従って、工業排水規制の強化が必要である。
- 2) 負荷量構成を中流域で比較すると、そのパターンの類似度から、次の4グループに分けられる。これは、地域特性の反映と考えられる。
 - (A) W1, W2 ---NPSの負荷量が占める割合が大きい。従って、土地利用変更を監視、制御する必要がある。
 - (B) W3, W4 ---流域全体のパターンと良く類似している。これは、COD汚濁負荷からみた流域の縮図と言える。そこで、この流域での汚濁負荷対策の経験が、流域全体の汚濁削減に役に立つ。
 - (C) W5 -----家庭・工業からの流出がともに大きく、都市化した流域である。下水道・工業排水対策が決め手となろう。
 - (D) W6 -----畜産排水の寄与が大きく、また都市化も進んでいるので、総合的な排水対策が要求される。

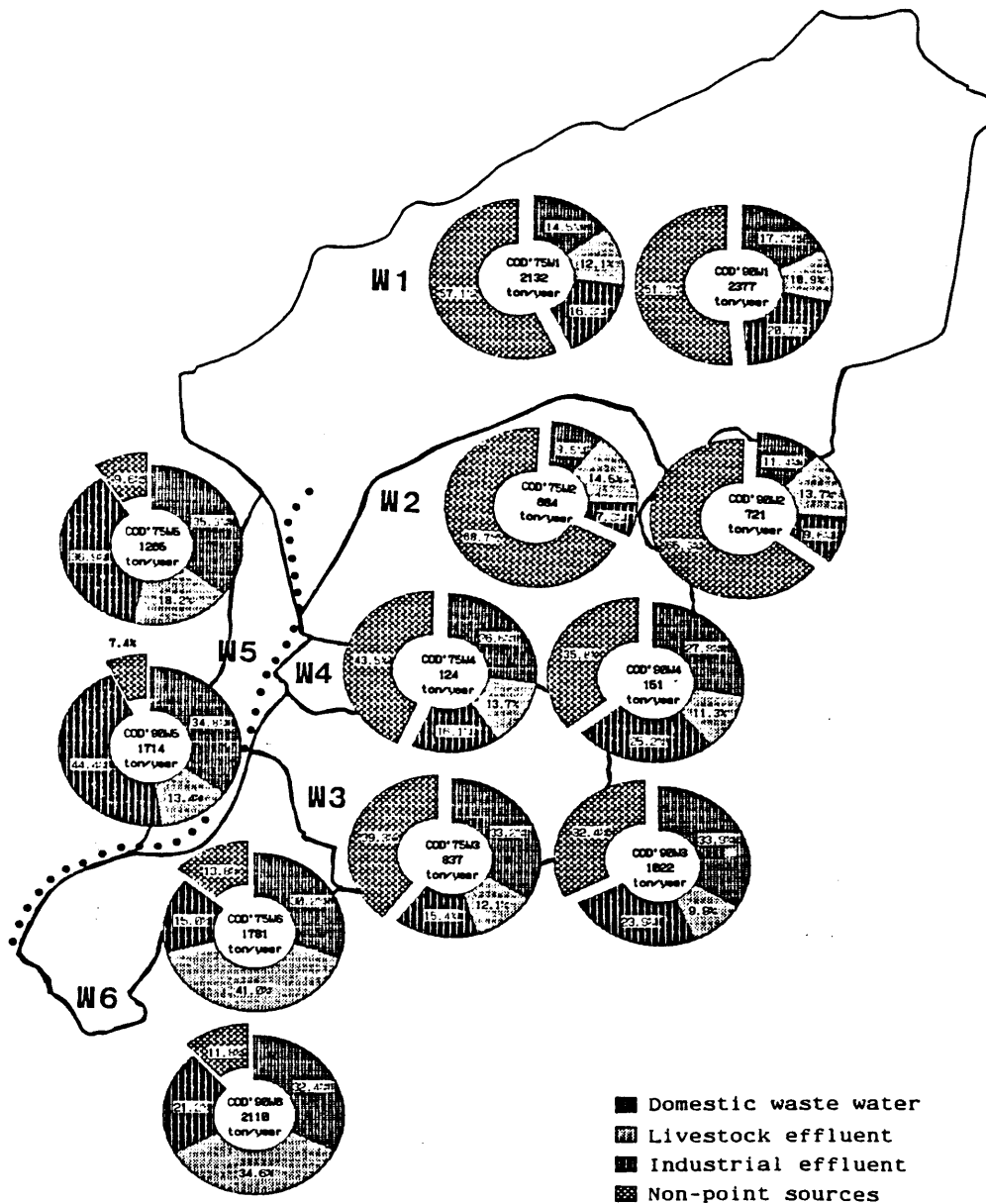


図3-29 中流域ごとのCOD汚濁発生源の構成

ここでの中流域分割は、流出先の本流を到着点と考えて分割したものである。W1, W2, W3, W4はそれぞれ1点において本流に流出し、閉じている。W5については、排水路によって、殆ど下流の一点で本流に流入するが、2、3の本流に横流入する支川がある。またW6は本流に流入せず、直接海に出る。従って、総排出量の計算においては、各中流域が本流に流入（W6は海）する負荷量を求めており、本流での負荷量の減少は考慮していない（この減少については、浮田・中西(1985)が流下距離による関数として与えた方法によれば、河口から約35kmはなれたW1で、約0.3の減少率である。）。従って、実

際に三河湾に流入する負荷量は、この値より幾らか減少する。汚濁対策は、まず個別の中
小流域から行って、それを積み上げるべきであるとの考え方によって、ここでは、各中流
域ごとに論じた。また、各中流域ごとの面積当りの負荷量（負荷密度）を表3-9に示した。

	1975	1990	増加率（'90/'75）
W 1	2.21	2.46	1.11
W 2	1.84	1.94	1.05
W 3	3.24	3.96	1.22
W 4	2.90	3.53	1.22
W 5	13.99	18.96	1.36
W 6	9.27	10.99	1.19
TOTAL	3.55	4.22	1.19

表3-9 各中流域の負荷密度（単位：ton/km²・year）

これより、ノンポイント・ソースの負荷原単位が 1.26ton/km²・yearであることを考え合
わせると、その差が面積当りのポイント・ソースの大きさを示すことになって、これは都
市化の進行度の尺度と解釈される。

以上は、矢作川流域についての定量的な議論であった。次に、これまでの解析から、一
般的に考えられる定性的な議論を行う。

河川における水質・流量の変動は、流域という積分器に対する様々な入力（例えば、溶
媒としての水を供給する降水、流域内で発生する人間を含めた、生物活動のもたらす汚濁
物質など）に対する応答である。従って、この応答の速さや大きさなどの特性を調べるこ
とは、それらを律する「流域の環境容量」を論ずることに外ならない。つまり、内部構造
に立ち入らないで、出力のみから内部の構造を知ろうとする、「逆問題」のアプローチの
一つであるといえる。

そこで、総量規制の指標項目であるCODの応答特性についての、一連の解析結果をも
とに、CODの流域環境容量の設定を検討した。

解析によれば、COD負荷量（L）と全流量（Q）の関係を示した、 $L = aQ^b$ の回
帰式において、 $b = 1.05$ であり、従って、負荷量は殆ど全流量で決まることが分かる。さ
らに全流量を、直接流出成分と基底流出成分に分離し、その線形結合と負荷量の重回帰分
析から、直接流出成分（主としてノンポイント・ソースに起因する）は基底流出成分の3
倍の重みで、負荷量に寄与することが明らかになった。この様な水文量と負荷量の関係の
把握は、水文量の変化から、水質（負荷量）の変化を予測することを可能にした。流域に
最大の水文量の変化を与えるのは、土地利用の改変であるから、これを以下で論じる。

従来、流域の土地利用形態の変化と、水環境の変化の関係の議論は、主として、「水の量」に着目して、水文条件の変化（保水機能の低下）を問題にする場合が殆どであって、「水質」に言及することは余りなかった。一方、水質予測の目的のためには、ノンポイント・ソースの把握が困難なことから、ポイント・ソースからの汚濁に焦点を当て、晴天時の低水流量のみを考える例が多い。しかし、汚濁負荷の大半は降雨とともに流入するため、総量規制の効果を上げるためには、水文量も問題にする必要が出てきた。この水文量を考慮した総量の把握は上述した通りである。ここでは、それをさらに進めて、土地利用の変化と水質の関係を、水文量の変化を介して考察し、水質の観点から、土地利用形態の変更の限界を設定することを論じる。

土地利用形態の変化と水文量の関係は、「都市化にともなう流出の変化」の問題として、これまで多くの研究が成されてきた。従って、流域が都市化した場合に、流出がどうなるかに対しては、比較的精度が高く予測できる。前章の負荷量と流量の解析から、総負荷量を定量する場合は、ピーク流出量が問題となろう。そこで、矢作川流域を100%開発した状態（流域が全て都市化された極限の状態）でのピーク流量を推算すれば、流量と負荷量の関係によって、その場合の流出負荷量を予測することができる。従って、その値と現況を比較することによって、現況の地形・地被（土地利用形態）が有している水質保全容量を推定することが可能である。

ピーク流量の計算は貯留関数法により行い、図3-30に示すように、流域分割及び現況の流域の諸定数は、1974年に行われた矢作川本川の計画高水流量算出時における値（建設省河川局(1981)）を用いた。また、将来の諸定数については、図3-31をもとに推定した。なお、流出計算の対象洪水は、降雨型の昭和34年9月洪水（伊勢湾台風）とした。岩津地点（集水面積：1356km²、図3-7参照）における戦後最大洪水相当量（確率1/30の流域平均2日雨量）時での計算結果は次の通りである。

・流域を100%開発した場合のピーク流量	13,000m ³ /s
・現況の土地利用形態のピーク流量	4,400m ³ /s

従って、前章で得られた流量－負荷量関係によって、流出負荷量を推算すると、

・流域を100%開発した場合のピーク流出負荷量	3,900t/day
・現況の土地利用形態のピーク流出負荷量	1,200t/day

となる。

結局、現況の土地利用形態（主として上流の山林）が有している水質保全容量は、その差約2,700ton/dayであり、水質保全機能は非常に大きいことが分かる。また、矢作ダムによるピーク流量の逓減効果は、約400m³/s（洪水調節方法は、調節開始流量800m³/s、一定率0.66の一定量放流方式と仮定）であり、これはピーク流出負荷量を約120ton/day逓減させる機能を果すことになる。

さらに、2節の1990年のデータベースを用いて、将来の開発によるピーク流量を求めると、岩津地点におけるその増加は、約 $50\text{m}^3/\text{s}$ と推算される（開発が予想される小流域は、図3-30にハッチングを施した地域で、殆どが岩津よりも下流部に位置するため小さな値となっている）。これはまた、流量-負荷量関係より、ピーク流出負荷量の約 $16\text{ton}/\text{day}$ 増加に相当する。

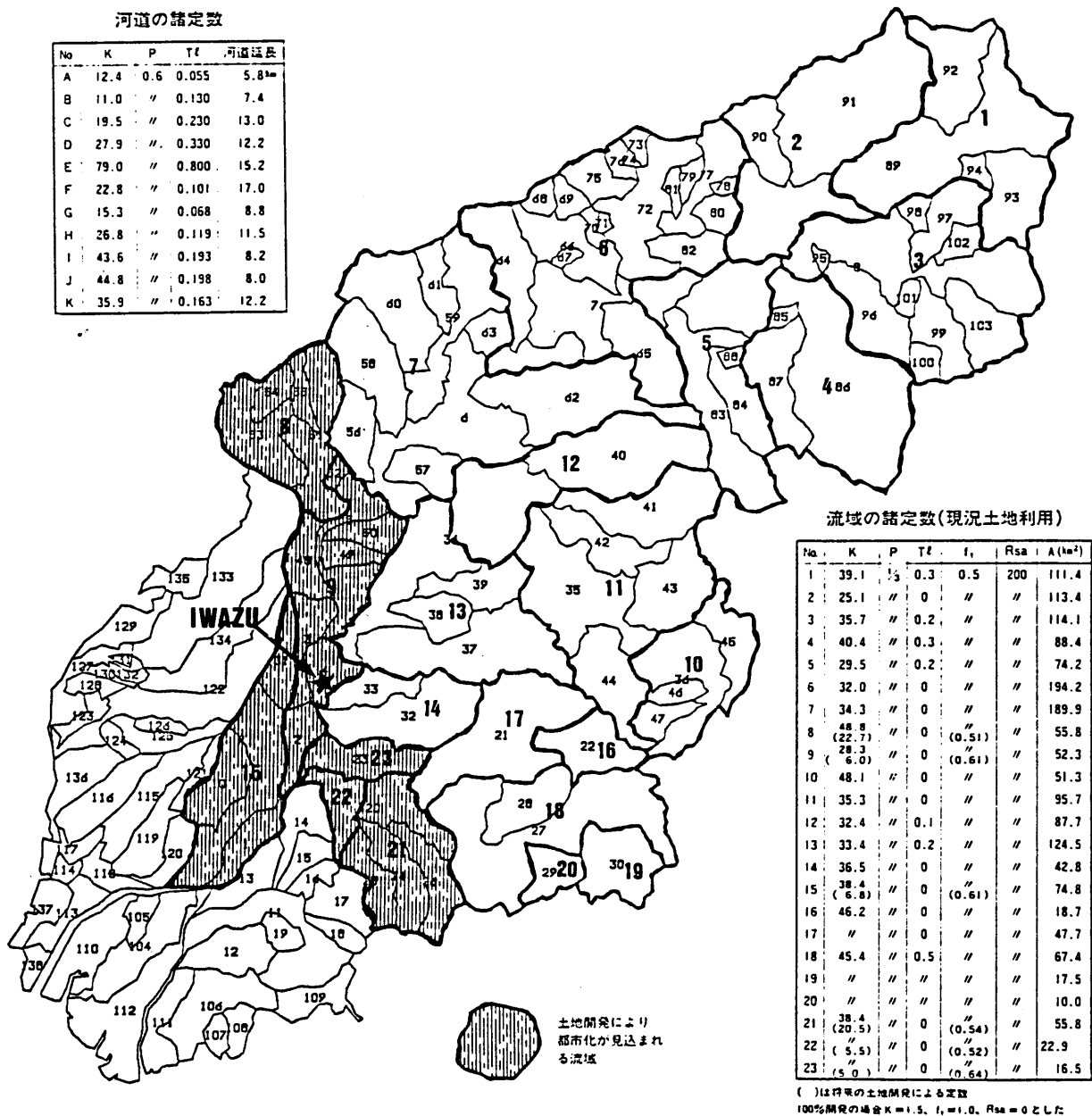


図3-30 矢作川流域の流出計算（貯留関数法）のための諸定数

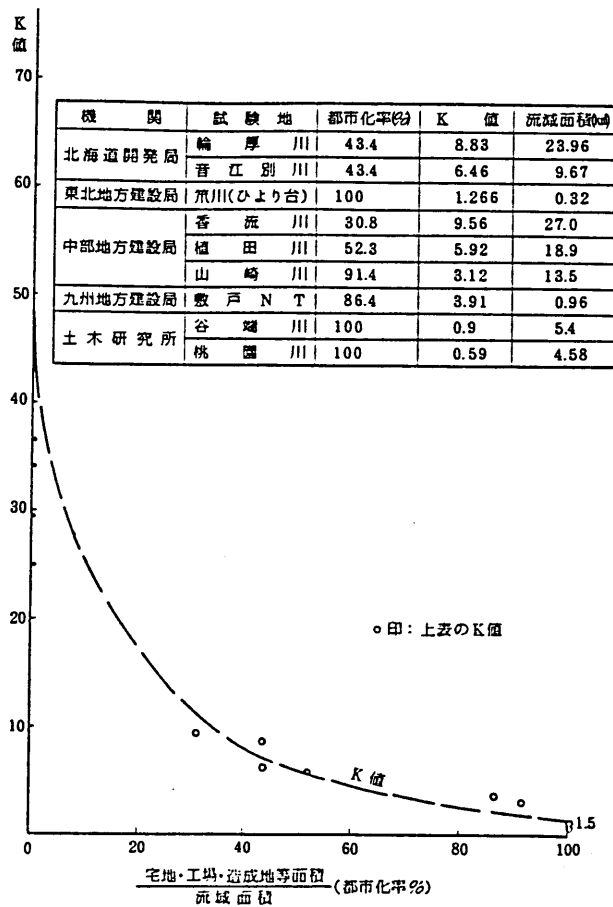


図3-31 土地利用形態（都市化）と流域定数K（貯留関数法）

実際の開発は、流域の部分開発であるからこの影響を次に考える。角屋(1985)は、マクロな議論ではいわゆる合理式（貯留関数法）で十分であるとして、ミクロな議論（とくに部分開発によるピーク流出を問題にするような場合）の立場で、開発によるハイドログラフの変化を、図3-32のように示している。

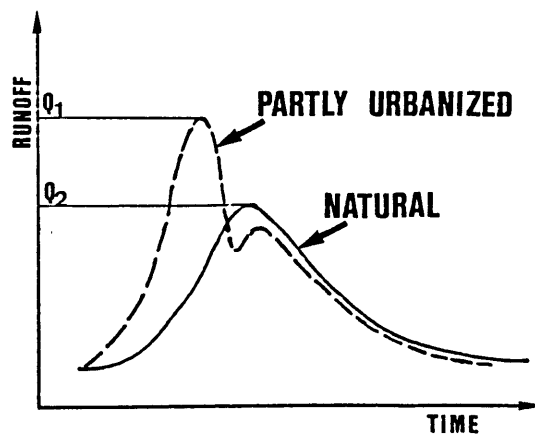


図3-32 開発によるハイドログラフの変化説明図

図は部分開発によって、ハイドログラフは2山になり、開発面積の拡大にともなって、市街地からの流出がピーク時に発生するピーク流量 Q_2 が、開発前のピーク流量 Q_1 を上回る過程を示したものである。そして、ピーク流出係数が1.5の時、全流域の都市化が進んだ場合、ピーク流量比は4～5倍（50%の都市化で2～3倍）になるとしている。これを水質の観点から議論すると、負荷量も少なくとも、4～5倍になる。さらに、流量が大きいときは、濃度も高い値をとること、直接流出の重みは3倍であることから、倍率はさらに上がることが予想される。これによれば、現行の総量規制における削減目標である、ポイント・ソース負荷量を1/2にするための削減負荷量は、矢作川の場合、流域のさらなる約30%の都市化によって増大する負荷量におよそ等しい。従って、ポイント・ソースのみ規制しても、総合的な土地利用のあり方が考慮されない限り、総負荷量の削減にはならないのである。

村上(1977)は、瀬戸内海の赤潮の発生は、昭和30年代にはなかったが、栄養塩の排出負荷量が2倍になった40年代に入って、発生するようになったことを報告している。海域には、およそ流入量の2～3桁大きい栄養塩が存在しており、1～2桁大きい量が水中、生物、底泥間でやり取りされているにもかかわらず、流入量の2倍の変化でシステムが異常を来したのである。このことから、海域の環境容量は意外に小さいことが分かる。

従って、

土地利用変更（例えば、上流の森林を消滅させて、裸地にする）

→流出量の増大（ピーク流量増大）

→流出負荷量増大

→ 閉鎖性水域の水質悪化

の流れの中で、最終流出先の環境容量が非常に小さいものであるため、水質による制約が非常に強く、このため流域の環境容量は小さいと言える。矢作川の流出先の三河湾において、夏の豪雨後における河川増水により、多量の栄養塩が内湾に短時日に流出するため、赤潮の大発生がみられる現状（坂本(1986)）を考えれば、既に環境容量は、飽和に近いとみた方がよい。

丹保（1976、1985）は、人間一人当たり必要な都市用水の量と、一人当たりが排出するBODの現行の下水処理レベルで希釈に要する水の量とを比較し、その比がおおよそ1：4であるとし、一過型の水利用では、上水道系に1、河に4の水がなければ、水質が保てないことを指摘している。これは、本論文の観点から考えれば、ポイント・ソースからの流域の水代謝容量の設定を述べたものである。本論文は、それを更に拡張して、上述のようにノンポイント・ソースからくる制約を論じた。そして、ポイントソースと比べて、制御が困難

なノンポイント・ソースは、流域環境容量の点で、土地利用の改変に対し厳しい制約を課すことが明きらかとなった。従って今後は、水量の確保よりも先に、まず水質が問題とされねばならないであろう。

ここで、この節で得られた、水に関する環境管理の内容を要約すれば、以下のようになる。

(管理の対象)	(管理の内容)
ポイント・ソース	排水規制の強化・下水道整備
ノンポイント・ソース	土地改変の規制
基底流量	森林保全・既存のダムによる管理
直接流量	土地改変の規制・ため池等による一次貯留

3.6 参考文献

- 西条八束編、内湾の環境科学、1984。
- 門司正三・高井康雄編、陸水と人間活動、1984。
- 田淵俊雄・高村義親、集水域からの窒素・リンの流出、1985。
- 山口高志・吉川勝秀・輿石洋、河川の水質・負荷量に関する水文学的研究、土木学会論文報告集、293、1、49-62、1980。
- 日野幹雄・長谷部正彦、流量時系列のみによる流出解析について、土木学会論文報告集、300、8、43-56、1980。
- Gunnerson,C.G., Streamflow and Quality in Columbia River Basin, Proc. of ASCE, ,93, SA-6, 1-16, 1967。
- 羽田守夫、雄物川の水質変動特性と其の変化、土木学会論文報告集、265、9、73-81、1977。
- 海老瀬潜一・宗宮功・平野良雄、タンクモデルを用いた降雨時流出負荷量解析、用水と廃水、21、12、46-56、1979。
- 山口高志・吉川勝秀、河川の水質・汚濁負荷量に関する研究（I）、土木研究所報告、151、1-53、1978。
- 山口高志・吉川勝秀、河川の水質・汚濁負荷量に関する研究（II）、土木研究所報告、154、1-43、1980。
- 海老瀬潜一、降雨時の流出負荷量の算定モデル、国立公害研究所研究報告、50、59-88、1984。
- 海老瀬潜一、流域内土地利用形態別流出負荷原単位の解析、国立公害研究所研究報告、5、89-102、1984。
- 海老瀬潜一、面原負荷の流出に及ぼす水文条件の影響、国立公害研究所研究報告、95、57-70、1986。
- 和田安彦・三浦浩之、中小河川における汚濁流出率の諸特性、土木学会論文報告集、363、4、215-223、1985。
- 浮田正夫・中西弘、河川の汚濁負荷流達率に関する研究、土木学会論文報告集、357、5、225-234。
- Ferguson,R.I., River Loads Underestimated by Rating Curves, Water Resources Reserach, 22, 74-76 ,1986。
- 建設省河川局、矢作川流域管理計画調査報告書、1981。
- 角屋睦、都市化に伴う流出の変化、土木学会報告集、363、11、23-34、1985。
- 村上彰男、海域の環境容量、環境情報科学、6、4、16-22、1977。
- 坂本充、内湾の水質汚濁と生態系、土木学会誌、71、9、29-33、1986。

丹保憲仁、都市・地域水代謝システムの構造と容量、水道協会雑誌、497、16-34、1976。
丹保憲仁、水環境工学における成分の流れと収支の評価、土木学会論文集、363、11、
35-45、1985。

4. 流域環境計画論

4.1 流域環境管理システムと矢作川方式

以上の事例研究を通じて、一般的な流域環境管理計画の考え方とそのフレームが明らかにされた。流域環境管理計画の基本原則は、

- 1) 生態系の単位として流域をとらえ、環境管理にあたっては、生産・生活、そしてココロのよりどころである「水」を軸に、土と緑を含めてワンセットと考える。
- 2) 地域社会からの「積み上げ」を重視し、そのため、住民が行動と情報を通じて参加をする。
- 3) 装置や効率を尊重する「テクノロジー主義」から、環境観や自然の仕組みを尊重する「エコロジー主義」に転換する。

ことに求められる（島津・福井(1987)）。

そして、具体的な流域環境管理計画のフレームは図4-1のように要約される。

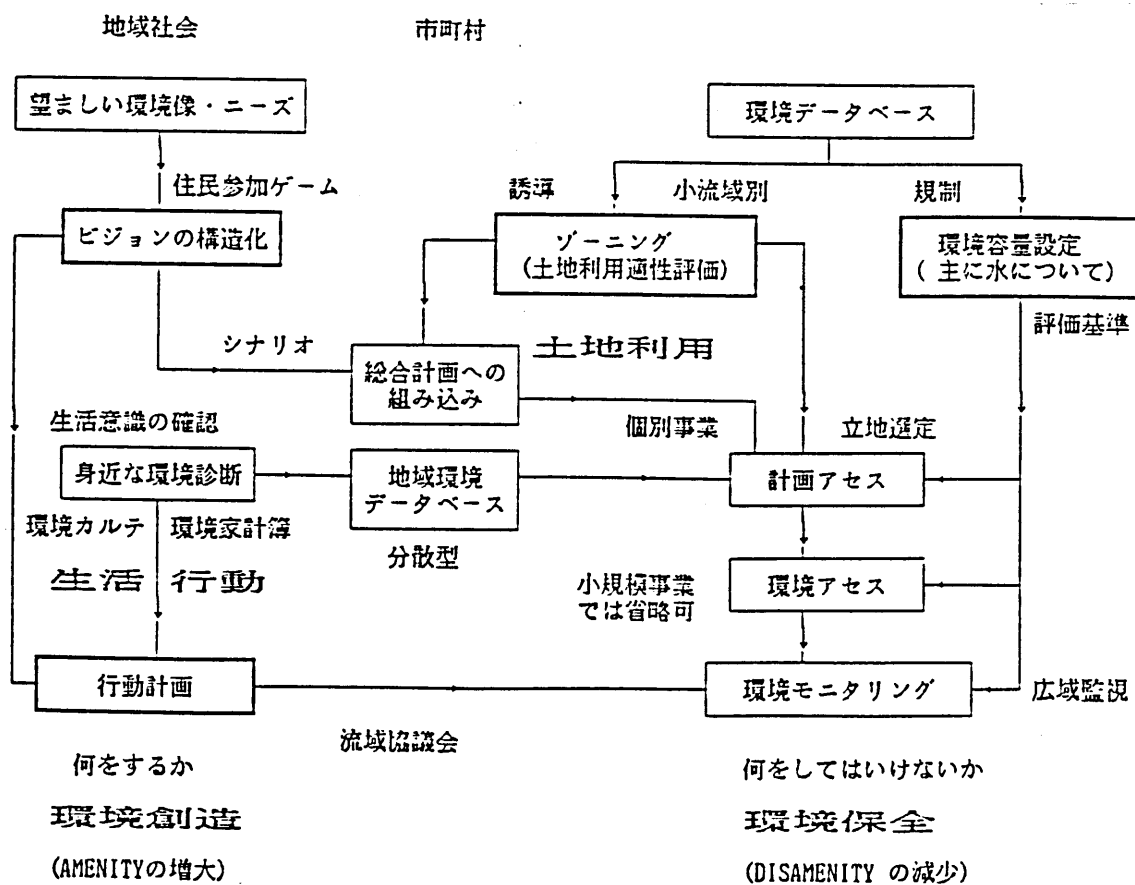


図4-1 流域環境計画

その内容は、

- 1) ビジョンの設定 (流域の将来の環境像)
- 2) シナリオ (ビジョン実現のための手段)

からなり、特にシナリオの柱となるのは、事例研究で明らかにしたような、

- 1) 小流域別のゾーニング (土地利用の適正評価)
- 2) 水を中心とした、環境容量の設定

である。

本論文では、計画段階における流域環境管理計画について、主に論じたが、実施段階では、矢作川流域において定着している「矢作川方式 (内藤(1986))」のように、環境モニタリングを徹底することは有効であろう。

4.2 参考文献

- 島津康男・福井弘道、地域環境計画の目標と実現--矢作川流域を例として、環境技術、
16、2、1987、印刷中。
- 内藤連三、流域管理としての「矢作川方式」、環境、34、15-19、1986。

謝辞

この研究の遂行に際し、今日まで御指導・御鞭達を賜った、名古屋大学理学部の島津康男教授に謹んで感謝の意を表す。また、終始有益な助言と御批判を頂いた名古屋大学大型計算機センターの浦部達夫助教授、並びに、理学部地球科学教室の諸先生方に、深甚の謝意を表す。さらに、社団法人環境アセスメントセンター専務理事の原嶋亮二氏には、温かな御鞭達と研究遂行上の数々の便宜を頂いた。ここに心よりお礼申し上げる。

また、本研究の過程では、多くの現場当事者の方々の御協力を頂いた。矢作川流域開発研究会及び矢作川沿岸水質保全対策協議会の事務局の方々、愛知県・矢作川流域関係市町村の行政官の方々、ゲーミングに参加頂いた流域住民・市民団体の方々、流域の環境アセスメントをてがけておられる民間コンサルタントの実務の方々に対しても厚くお礼申し上げます。

