

流域環境要因の時系列解析による魚類生態系変化の検討

——長良川支川吉田川流域を例として——

篠田成郎*・福本圭子**・野田幸嗣***・亀原 裕***・
湯浅 晶*・松井康雄****

*岐阜大学流域圏科学研究センター，**財団法人岐阜県環境管理技術センター

岐阜大学大学院工学研究科，*岐阜県環境局環境保全課

要 旨

最近10年間で急激な河川生息生物の減少が問題となっている木曾川水系長良川支川吉田川流域(190km²)を対象として、良好な流域環境創出に必要な人間活動制御の基本的指針策定に向けた基礎的知見を得ることを目的に、様々な流域環境要因相互の因果関係を検討されている。その結果、対象流域のような森林を多く含む流域では、森林状態が流域全体に及ぼす影響が極めて大きく、適切な森林管理が重要となることが示されている。また、農業および河川工事による土砂流出や水質汚濁も河川生息生物数減少に大きく関与しており、森林管理と農業系を中心とする人間活動制御が重要な対策となることが示唆されている。また、河川生物生息許容量に応じた稚魚放流も重要な対策であり、流域環境保全のためには、様々な視点からの検討が重要になることが主張されている。

キーワード：流域環境要因，時系列応答，河川生態系，人間活動，森林管理，GIS

1. 緒 言

近年の自然環境保全に対する住民意識の向上と相まって、対象地域の一般住民自らがその方策を検討する動きが出始めている。しかしながら、住民自らの取り組みはともすれば試行錯誤を伴うと同時に、効果的手法を見い出すことが難しい。これは住民参加型の環境保全策における有効性が具体的にどこにあり、住民参加の効果をいかに発揮させるべきかの方法論が確立していないことに起因すると考えられる。

著者らは、良好な流域環境の創出のためには、行政的な施策の重要性もさることながら、こうした住民の環境保全意識の高揚と住民自らによる環境保全策の実践が欠かせないとの立場から、木曾川水系長良川支川吉田川流域で発生している漁獲高減少の問

題に取り組み始めた。本研究は、流域環境を特徴づける様々な環境要因と河川水質および魚類生息数(漁獲高)との相互関係を検討することにより、生態系保全において重要な環境要因を明らかにすることを直接的な目的としている。また、こうした検討過程を通じて、地域環境研究における住民参加の重要性まで言及する。

2. 吉田川での環境保全に向けた取り組み概要

2.1 問題提起—吉田川での環境問題

岐阜県郡上郡八幡町と明宝村に位置する吉田川流域(約190km²)は、流域面積の約93%を森林が占め、上流部にはめいほうスキー場、明宝温泉が存在し、下流部には八幡町の市街地があり観光名所が点在している。また、八幡町と高山市とを結ぶせせらぎ街

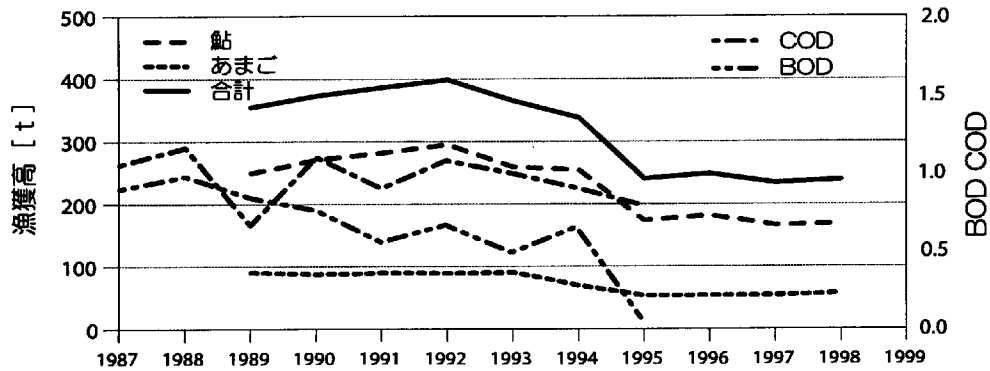


Fig. 1 Changes in the fish catch and water quality in the Yoshida River and the amount of anadromous in the Nagara River.

道が吉田川本川に沿うように走っており、1年中多くの人を訪れる。吉田川は古来より清浄な水と豊富な魚類で有名であり、八幡町や明宝村の住民たちにとっても、自然からの恵みの水の供給源であると同時に、漁業によって生計を立てることのできる貴重な川であった。

Fig. 1は、郡上漁業協同組合の調査による鮎、アマゴ、それらの合計に関する漁獲高の1987年(昭和62年)~1999年(平成11年)における経年変化を示したものである。郡上漁業協同組合の管轄河川区域は八幡町、美並村、大和町、明宝村、白鳥町、高鷲村地内の長良川本川および支川全域であるため、吉田川流域での漁獲高と完全に一致するものではないが、後述の聞き取り調査結果などと照らし合わせてみると、相対的な傾向としてはほぼ妥当なものと判断できる。この図から、1992年までは漸増傾向にあった漁獲高が、1993年~1995年の3ヶ年の間に激減し、1996年以降は低い値で一定となっていることがわかる。鮎については、最大漁獲高に対して2/3程度まで落ち込んでおり、この3ヶ年の間に、吉田川流域または長良川本川も含めた郡上郡周辺地域において、何らかの環境変化が起きていると予想される。

Fig. 1には、漁獲高と併せて、河川水質の環境基準項目であるCODおよびBODの年平均値や長良川を遡上する鮎の数量(長良川本川中流域の忠節橋付近における国土交通省調べ)の経年変化も示してある。これらの結果と併せて考察すれば、年々水質が改善されているにもかかわらず、漁獲高が減少しており、水質項目のみで河川環境を評価することの難しさを表す好例となっている。一方、長良川本川最下流端には、長良川河口堰が建設され、1995年から本格運用が始まっている。この年、鮎の遡上量は激減しているが、翌年から回復に転じ、郡上漁協の調査に見られるような漁獲高の減少傾向とは明らかに異なる様子を示している。

こうした吉田川における魚類生息数減少は、1つや2つの“原因”だけから生じているわけではなく、河川生態系を取り巻く様々な流域環境要因の変化の現れと理解される必要がある。環境問題全般において言えることであるが、顕在化した問題に対して初めから原因に対する目星をつけることよりも、あらゆる可能性を総合的に評価することが、複合的現象である環境問題に取り組む基本姿勢であろう。

2.2 環境保全策の全体像

上述のような環境問題に対処して適切な環境保全策を施すためには、科学的なデータ収集とこれに基づく詳細な現象解析が必要不可欠となる。吉田川における魚類生息数減少の問題を例に取れば、その原因を多方面から究明できる流域環境要因データを広域的・継続的・連続的に収集することが第一歩となる。また、こうしたデータに基づく物質循環過程および生物過程の検討が、原因説明のみならず、最も有効な対策の選定につながると考えられる。

一方、環境問題の“当事者”である住民の役割も重要である。概して、環境問題では、これに向き合う住民は“被害者”としてだけでなく、“加害者”としての側面も併せ持つことが多い。このため、正確な情報に基づき、住民一人一人が環境問題に向き合い、考え合うことが大切になる。

こうした科学的検討と住民参加の両面から、吉田川流域における長期的な環境保全策の戦略を考えてみた。Fig. 2は、吉田川流域での住民参加型環境保全策の全体的な概要を示したものである。このプロジェクトでは、全体が3つのphaseに分けられており、Phase 1が2000年度に実施した準備段階、Phase 2が住民の環境保全意識を高めるために実施した2001年度の活動、Phase 3が環境保全意識高揚によって期待される住民間合意形成の程度と環境改善効果との関係に関する検討(2002年度以降に予定)に相当している。また、図中の左半分が住民に対する働きかけ、

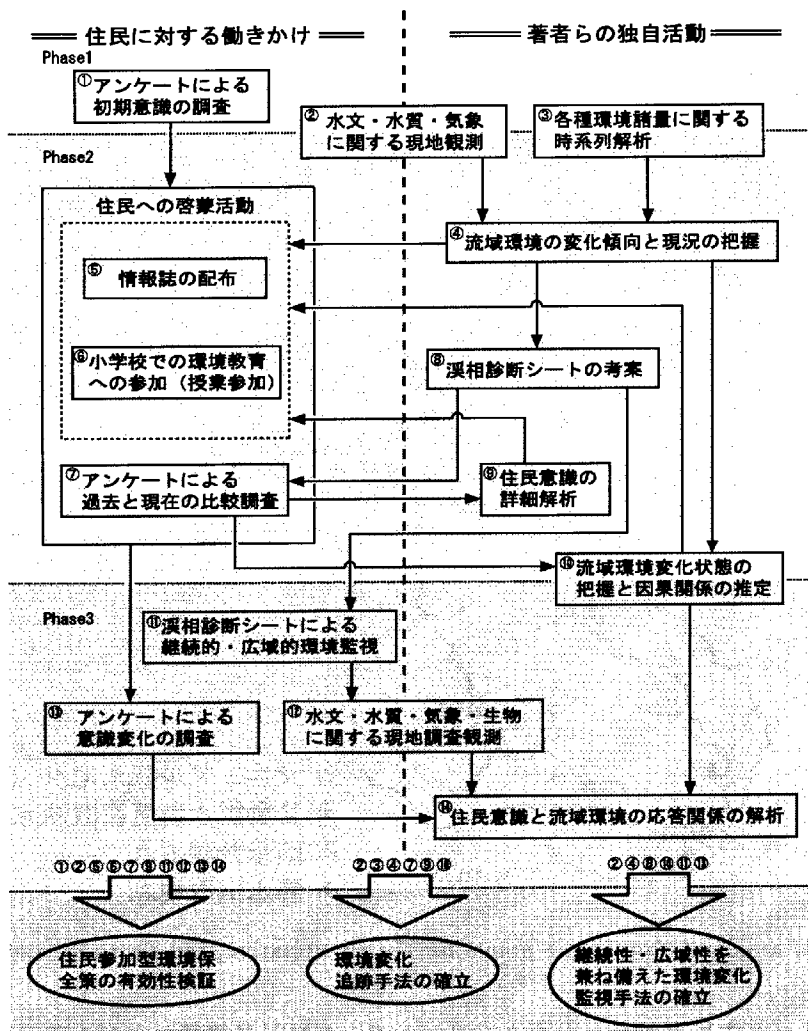


Fig. 2 The outline of the environmental assurance system with the community residents in the Yoshida River Basin.

右半分が著者らの独自活動を表している。

Phase 1 の①では、流域住民 100 人を対象として、何の働きかけもしていない段階での初期意識を調査した。その結果、危機意識を持っている人が少なく、持っていたとしても、自らの責任よりも、リゾート開発など、他者の影響によるものと信じている傾向がわかってきた。②では、地元の小中学校や企業の協力を得て、水文・水質・気象などに関する現地観測・調査を実施することにより、その目的を理解してもらうとともに、過去 10 数年間の環境諸量に関する時系列解析 (③) の結果と併せて、当該流域での環境変化と現況が把握 (④) された。

Phase 2 の段階では、現地観測に協力してもらった小中学校の児童生徒に情報誌という形でその成果をわかりやすく伝える (⑤) ことにより、学校や家庭での教材・話題としたり、小学校での環境学習に参加 (⑥) して、直接的に解析結果を紹介する試みが続ける。こうした住民への啓蒙活動の結果、「昔の川

は...だった」などの声が聞かれはじめ、自分たちの手で身近な環境を保全するためにはどうしたらよいのか? という問題意識が浸透し始めた。そこで、小中学生とその保護者 (児童生徒 690 名、父母・祖父母など 655 名; 回答率 70 %) を対象としたアンケートを実施 (⑦) し、過去と現在の流域環境の比較調査を行った。このアンケートは、別途新たに開発した溪相診断手法 (⑧) とリンクさせたものであり、住民意識の詳細な解析 (⑨) に供するだけでなく、流域環境の広域的な経時変化過程を追跡 (⑩) できるように工夫したものである。また、こうしたアンケートに回答する過程を通じて、住民意識のさらなる高揚も期待できる。

Phase 3 では、これまでの phase で住民参加の土壌が育ってきていることを期待して、溪相診断を地元有志によって実施してもらう (⑪) と同時に、②の現地観測に生物調査を加えたイベントを地元住民に働きかけ (⑫)、住民の自発的参加を促すことを計画し

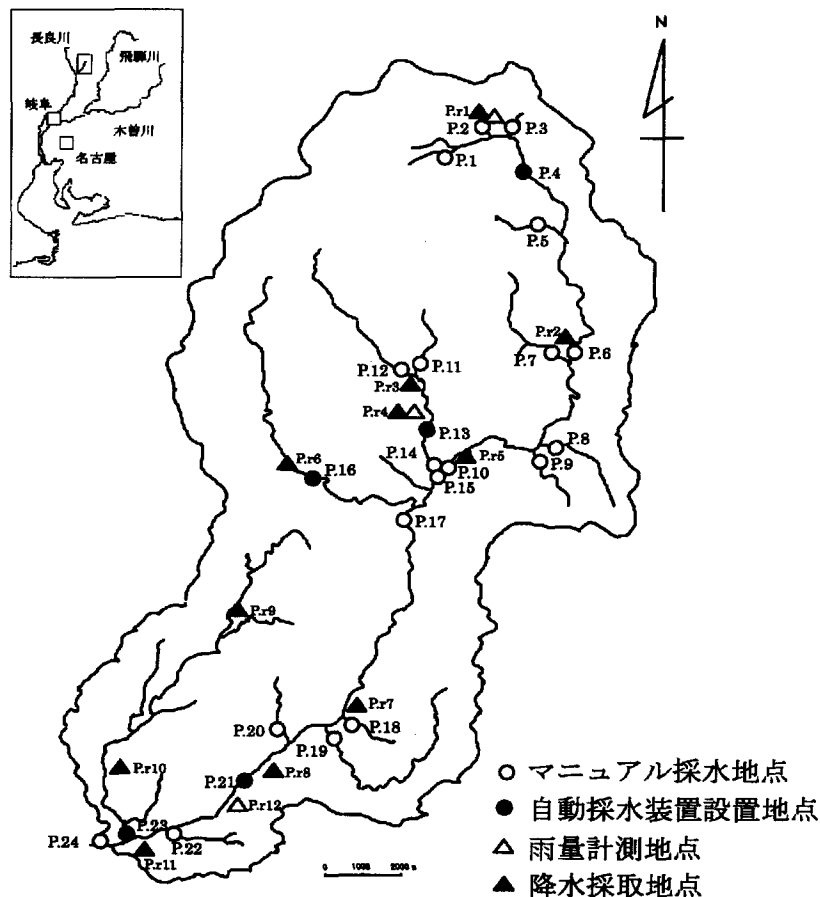


Fig. 3 Experimental area and observation points for the precipitation, the discharge and the water quality.

ている。また、最終的に、住民を対象とした3回目のアンケート(⑬)により、本プロジェクト実施に伴う住民意識の変化と流域環境の変化との応答関係解析から、住民の自発的な合意形成の有効性を客観的に検証する(⑭)。なお、こうした一連の活動・検討の最大の目的は、図中最下部に記載した、住民参加型環境保全策の有効性検証、環境変化追跡手法の確立、継続性・広域性を兼ね備えた環境変化監視手法の確立の3つの事項である。

このような背景から、本研究では、Fig. 2に示した②~④、⑩に焦点を絞り、魚類などの生物相まで含めた環境状態に及ぼす各種人間活動状況の影響を定性的に検討し、流域環境保全において検討が必要になる環境要因を明らかにする。

3. 河川水質に及ぼす人間活動の影響評価

河川水質に影響を及ぼすと考えられる要因は、降雨などの気象要因、気温や生物活動の長期的変動などによる季節的要因、地形要因、農耕地や市街地などの土地利用要因、人口、下水道整備、工業生産および観光イベントなどの人間活動要因等様々である。ここでは、河川水質に影響を及ぼす様々な要因の中

で、土地利用情報および人間活動情報を含めた土地被覆状況に着目し、その影響を評価する。

3.1 水文・水質に関する現地観測

(1) 現地観測の期間と方法

降水や河川水を通して輸送される物質量を観測することにより、流域内の人間活動が物質移動過程に及ぼす影響を検討し、流域環境に対する人為的インパクトを評価する目的で、現地観測を実施した。観測項目は、降水量、降水中全窒素量、河川流量、河川水中の全窒素量、全リン量および濁度の合計6項目である。Fig. 3に、観測対象とした吉田川流域と観測地点を示す。

(2) 降水観測

降水観測では、転倒杓型自記式雨量計による降水量の連続観測と降水採取装置による降水サンプルの採取を行った。雨量計はFig. 3中に△印で示す3箇所(最下流の測点は気象台の地域気象観測所)で計測され、降水採取は合計11箇所で行われた。観測期間は、2000年10月16日~12月13日の2ヶ月間である。降水サンプルの採取にあたっては、採取される降水量および降水中に含有される物質量の誤差を少

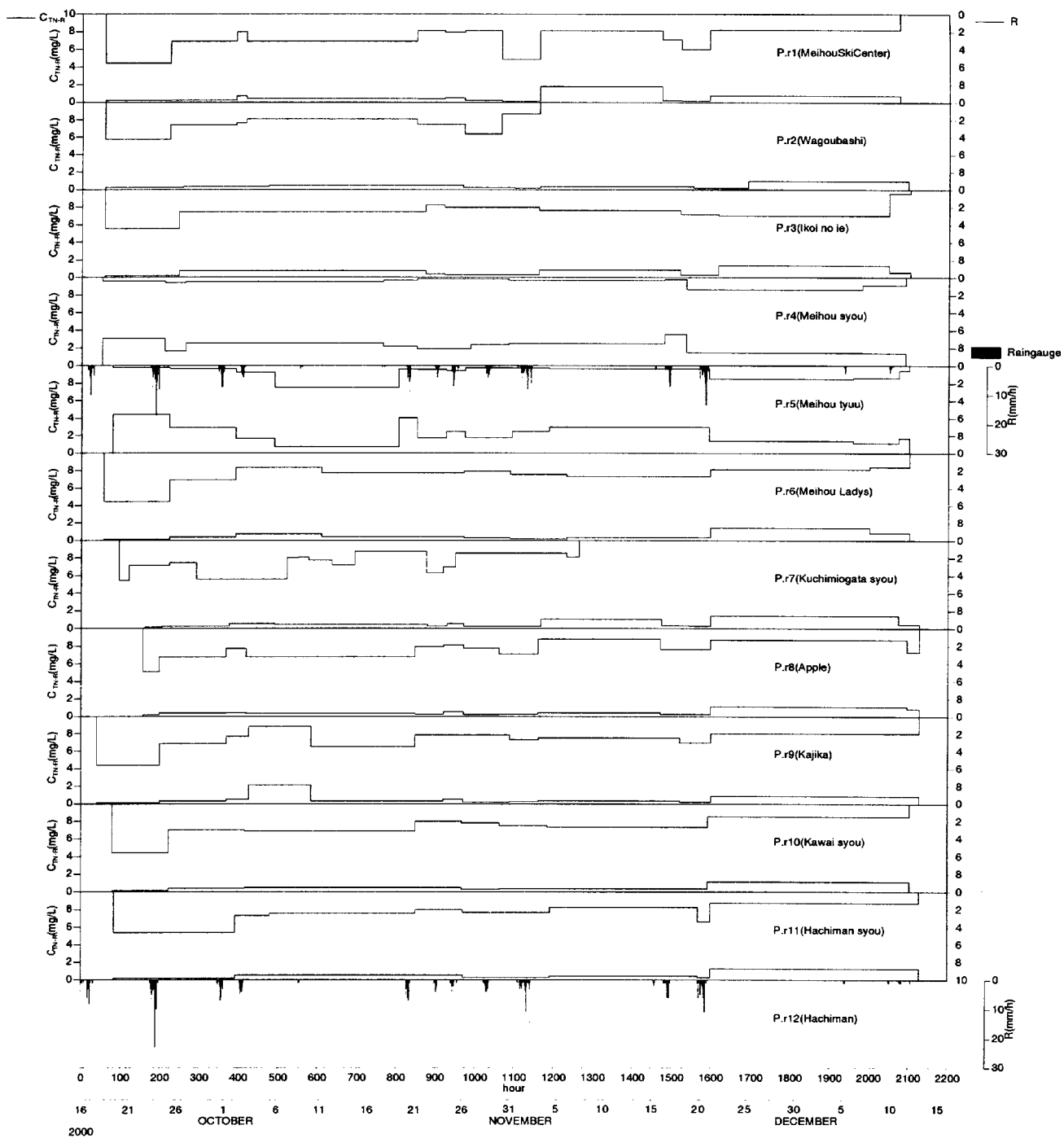


Fig. 4 Observation records of the precipitation R and the TN concentration C_{TN-R} in rain water.

なくするため、直径 30cm の漏斗を用いたサンプリングを実施した。また、1つの降雨について1回のサンプリングを行っている。Fig. 4 に、各測点ごとのハイエトグラフおよび降水中含有全窒素濃度の観測結果を示す。

(3) 河川水質観測

河川水質観測では、自動採水装置およびロガー付き水位計による連続観測と河道横断形状測量、水位・

流速測定およびマニュアル採水から成る広域観測の2種類を実施した。

連続観測では、Fig. 3中に示す測点P.4, 13, 16, 23の5地点にISCO社製2900型ウォーターサンプラーおよびログ電子製水位計を設置し、2000年8月23日～12月12日の112日間にわたる自動連続測定を実施した。また、この期間内、6回にわたり、全ての測点を対象とした広域観測を行っている。こうした観測

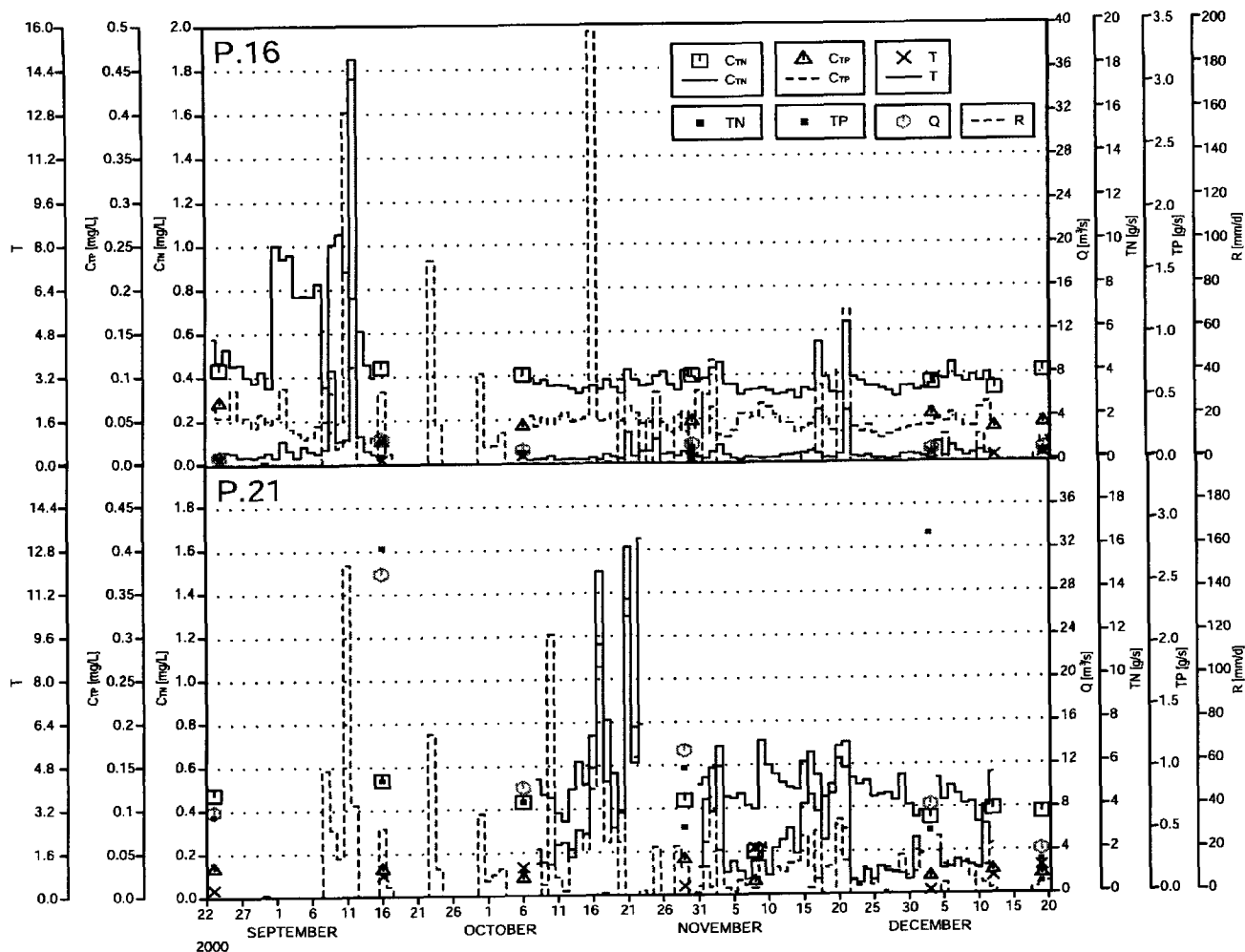


Fig. 5 Examples of observation records of the TN concentration C_{TN} , the TP concentration C_{TP} , the TN loading L_{TN} , the TP loading L_{TP} , the turbidity T of river water and the discharge Q .

により得られた河川水中の全窒素濃度 C_{TN} 、全リン濃度 C_{TP} 、全窒素負荷量 L_{TN} 、全リン負荷量 L_{TP} 、濁度 T 、流量 Q の例として、測点 P.16 および 21 の結果を Fig. 5 に示す。また、Fig. 6 に全ての測点における全窒素濃度 C_{TN} 、濁度 T および流量 Q の平均値および最大・最小値を示す。

3.2 土地利用分布と人間活動状況分布

(1) 土地利用分布

国土地理院数値地図情報 1/10 細分画土地利用データ (100m メッシュ) を用いて流域内の土地利用の状況を把握した。Fig. 7 (a) は吉田川流域における土地利用分布を示したものである。この図から対象流域のほとんどが森林であり、建物用地のほとんどが下流部の八幡町の市街地に集中していることがわかる。

(2) 植生分布

降水は、森林内物質循環の中で、生物的・化学的作用など様々な要因を経て森林域から溪流に流出する。降水の組成変化がたとえ小さくても、吉田川流

域のように森林面積がほとんどを占める流域においては森林面積は河川流量や水質の決定に重要な関わりを持つてくると考えられる。また、その樹種、材積、成長量などの植生特性量も大きく関わってくると考えられる。岐阜県農林水産局森林課より提供された森林簿データを用いて、各植生特性量を算出し、その分布を Fig. 7(b)~(d) に示す。(b) が樹種の分布、(c) が材積の分布、(d) 成長量の分布である。

(3) 人間活動状況分布

流域内人間活動の中で河川水質に影響を及ぼすと考えられる要因としてまず挙げられるものは、人口分布である。吉田川流域内においては未だ下水道が整備されておらず、し尿などは各家庭の浄化槽により浄化されるものの、家庭雑排水は直接排出されるケースが多いため、流域の人口分布状況は河川水質に大きく作用する。また、家庭雑排水に比べ非常に高い発生負荷原単位値を有する家畜の分布も河川水質に大きな影響を及ぼす。同様に、工場からの排水も河川汚濁の要因のひとつと考えられる。さらに、

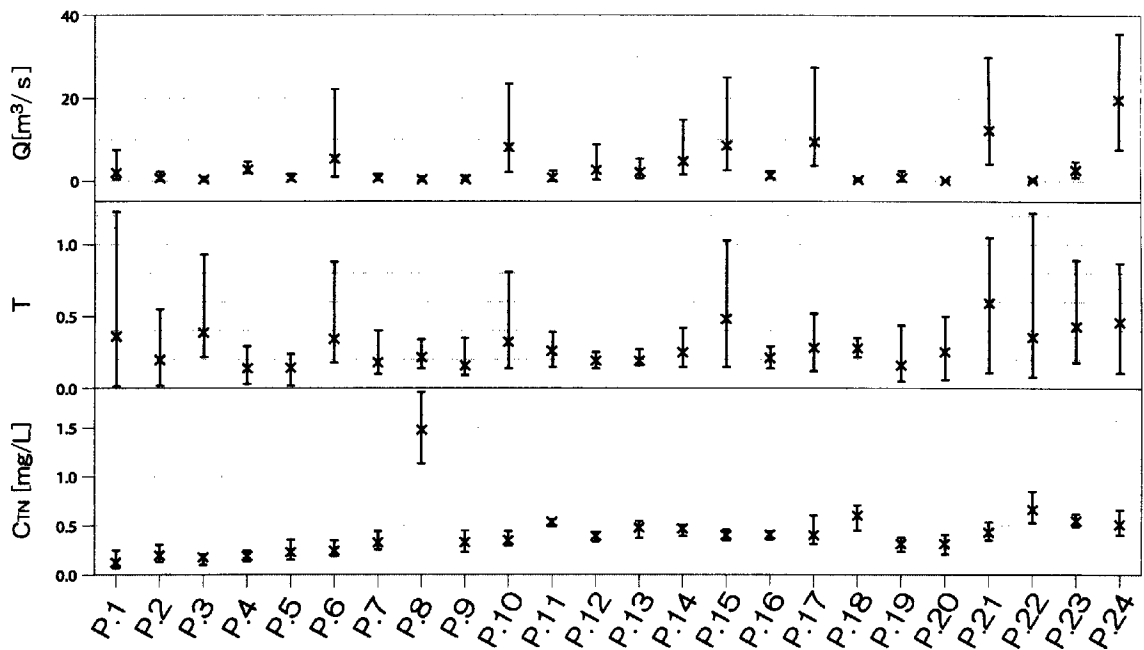


Fig. 6 Averaged values, maximum and minimum values of the observed TN concentration C_{TN} , the observed turbidity T , and the observed discharge Q .

本対象流域のように、農業が盛んな地域においては、そこで散布される農薬や肥料の影響は無視できないほど大きい。ただし、農業を農耕地面積として面的に捉えた場合、そこで供給されている肥料などの量と対応させることが容易ではなくなる。そこで、肥料などの投入量の大小はそこから上がる収益に応じてと仮定し、農業粗生産額を農業に関連した発生負荷算出の基数と考えることにする(篠田ら, 1999; 都築ら, 2000)。一方、河道内で行われる各種工事、土砂流出などにより、河川水質に強く関係する。以上より、吉田川流域での河川水質に関わる人間活動要因として、人口、工場排水量、農業粗生産額、牛および豚家畜頭数、河川工事箇所数を取り上げ、これらの情報整備を進める。

人口については、長良川ビジョンデータ(長良川ビジョン推進委員会, 1997)に掲載されている市町村提示データに基づき、Fig. 7(a)に示される建物メッシュへ人口を平均的に分割配分することにより、人口密度分布を算出した(Fig. 7(e))。

工場排水量についても、長良川ビジョンデータに掲載されている地区別の工場排水量データに基づき、Fig. 7(a)に示される建物メッシュへこの値を配分して分布データを作成した(Fig. 7(f))。なお、工場はある程度の広い建物用地が存在すると同時に、他の建物と離れていることがほとんどであることから、ある程度のかたまりを有しつつ、他の建物としてのメッシュと区別できるほど離れているメッシュを抽出することにより、工場用地を判別し、そこに工場排

水量を配分することにした。

農業粗生産額および家畜頭数については、岐阜県農林水産統計年報(東海農政局岐阜統計情報事務局, 1998)に掲載されている各作物別農業粗生産額および牛・豚頭数に基づき、該当メッシュを抽出した上で、これらの値を分配した(Fig. 7(g)~(l))。農業粗生産額に関しては、Fig. 7(a)に示される畑地、水田、樹木畑など、対応する各作物別の生産額を均等分配した。牛・豚頭数は、畜舎の分布状況と関係すると考えられるため、平均的な配分を行うことはできない。そこで、建物としてのメッシュが集中していない場合、すなわち着目メッシュに対するまわり8個のメッシュが耕地もしくは森林となっている割合を算出し、その割合に対して数居値を設けることにより畜舎の分布を求め、そこに牛・豚頭数を配することにした。

工事箇所数については、河川上流(吉田川)水質保全対策事業報告書(岐阜県環境局環境管理課, 2000)に掲載されている河川工事箇所数を基礎データとして用い、小集水域別に分配した(Fig. 7(m))。

3.3 多変量解析に基づく主要な人間活動因子の抽出

上述のようなGIS解析に基づき整備された各種人間活動状況に関する空間分布情報を説明変数とし、前節で観測された水質データを被説明変数とした多変量解析から、河川水質に影響を及ぼす人間活動因子の抽出を行う。

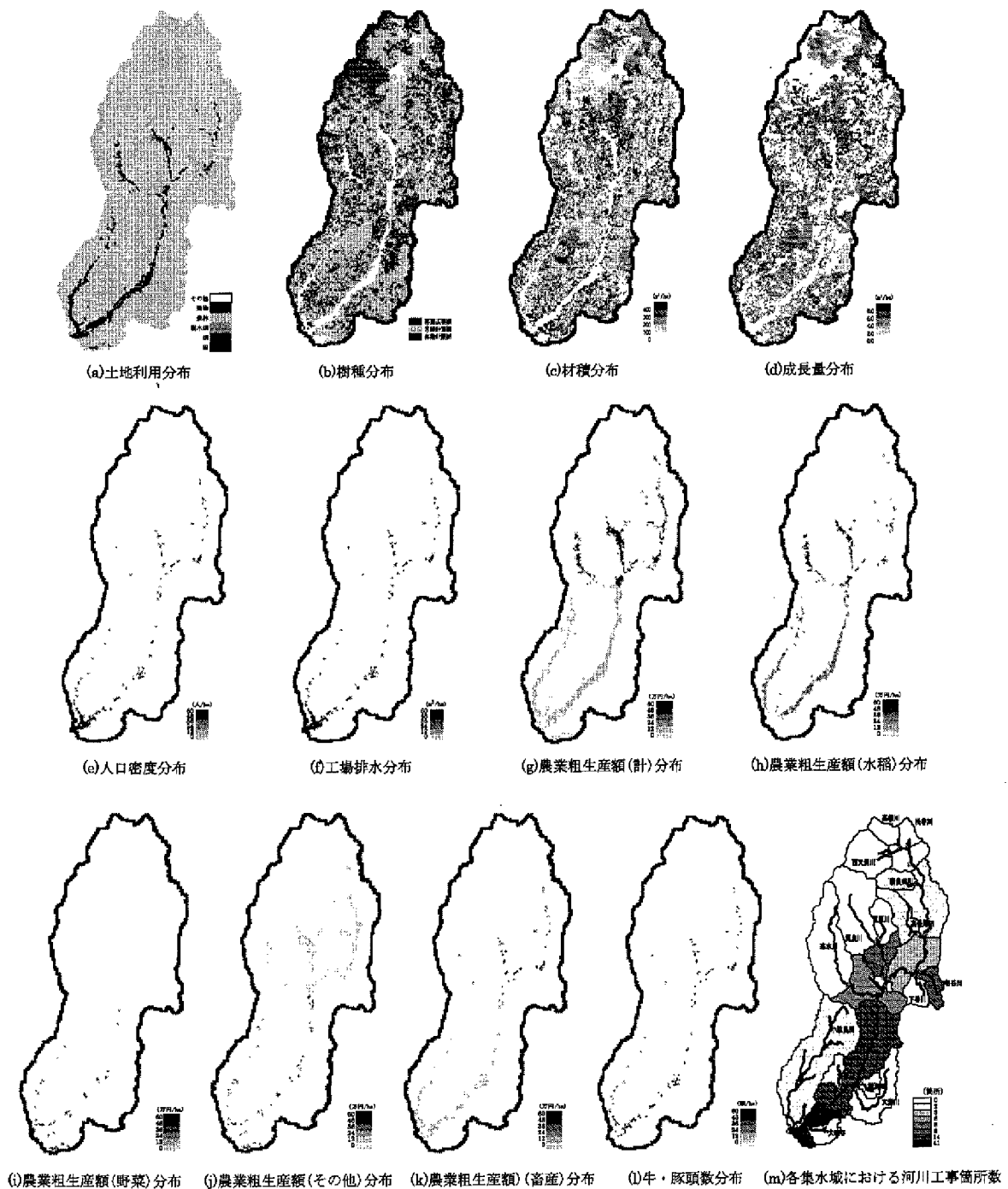


Fig. 7 Distributions of land coverage.

(1) 解析方法

流域内において人間が活動している限り、河川を流れる水は人間活動による何らかの影響を受けている。そこで、前述の土地利用種別および人間活動を表す土地被覆状態量を土地被覆特性量と総称し、これら諸量と河川水中の全窒素および濁度の流出負荷量との関係を検討することにする。以下での多変量解析において対象とする土地被覆状態量は次の通り

である。

- 1) 水田、畑地、果樹園、森林、建物用地およびその他の面積割合：土地利用としての地表面状態の相違
- 2) 人口密度および単位面積当たりの河川工事箇所数：人間活動の直接的影響の度合い
- 3) 単位面積当たりの農作物別農業粗生産額：耕地における農業経営規模や作物の違い
- 4) 単位面積当たりの牛・豚頭数：家畜のふん尿の

Table 1 The results of the multiple regression analysis.

被説明変数	説明変数			重相関係数
L_{TN}/A	水田面積割合 [kg/km ²] 12.931	建物面積割合 [kg/km ²] 109.498	単位面積あたり 工事箇所数 [g/箇所] 78.846	0.706
TQ/A	森林面積割合 [kg/km ²] 1.636	単位面積あたり農業粗 生産額(その他)[g/万円] 1.971	単位面積あたり 工事箇所数 [g/箇所] 49.024	0.302

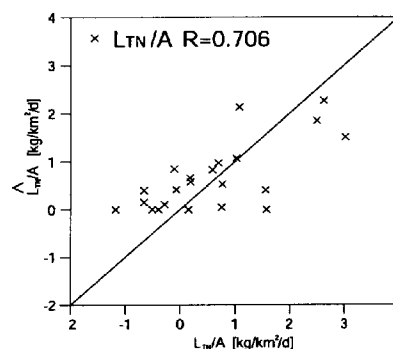
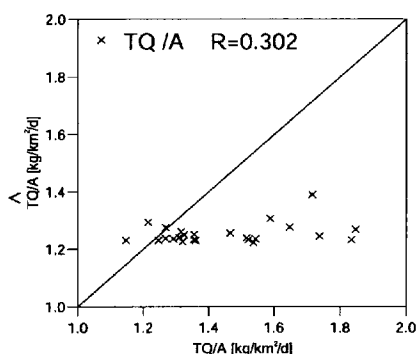


Fig. 8 Comparison of the water quality between the observed data and the estimated values by the multiple regression analysis.

影響度

5) 単位面積当たりの工場排水量：産業構造の違い

まず、河川水中の全窒素濃度 C_{TN} および濁度 T を流量データ Q からそれぞれの負荷量 $L_{TN} = C_{TN}Q$ および TQ に換算し、集水域面積 A で除したものの(比負荷)と上述の土地被覆特性量との相互関係を規定する因子数を主成分分析から決定する。一般に、因子分析では、因子数を決定するための基準として、主成分分析によって得られる累積寄与率が用いられるため、ここでは、変数の全変動の8割以上を表現できる(累積寄与率が0.8を超える)主成分の数を因子分析における因子数と扱うものとした。各観測データおよび平均値のいずれの解析結果においても、第3主成分までで初めて累積寄与率が0.8を上回っていることから、因子分析での因子数を3とした。次に、因子分析において特定の因子にのみ高い負荷量を示す変量をその因子を代表する変量として捉えることができるため、こうした変量を代表変量として抽出を行う。この時、因子間の相関が高いものを同時に抽出しないよう注意した。

なお、河川水中の全窒素量は、降水などの大気から供給される窒素成分、流域内森林域から供給される窒素成分および流域内での人間活動から供給される窒素成分から構成される。また、人間供給の窒素成分の中でも、人間1人当たりの排出全窒素原単位は高精度で与えられる。ここでは、人間活動、とくに面源負荷との直接的対応関係を検討することが目的であるため、河川水中の全窒素負荷量から大気供

給全窒素負荷量、森林供給全窒素負荷量および人間1人当たりの排出全窒素負荷量を減じて推定される流域内人間供給全窒素量(人口の影響を差し引いたもの)を被説明変数として扱うことにする。大気供給全窒素負荷量は、前節で述べた降水観測から小集水域ごとに算出される湿性および乾性降下全窒素量として与える。また、森林供給全窒素負荷量は、篠田ら(2001)による森林域での全窒素収支モデルに基づき、Fig. 7(b)~(d)に示した樹種ごとの材積および成長量から推定される結果を与える。

(2) 河川水質に及ぼす主要な人間活動因子

上述の主成分分析および因子分析の結果、全窒素比負荷 L_{TN}/A および濁度比負荷 TQ/A に及ぼす因子として、それぞれ水田面積割合、建物面積割合、単位面積あたり工事箇所数および森林面積割合、単位面積あたり農業粗生産額、単位面積あたり工事箇所数が抽出された。これらを説明変数とする重回帰係数を Table 1 に示す。また、Fig. 8 に実測比負荷と重回帰推定結果との比較を示す。これらの結果より、重相関係数は必ずしも高くはないが、吉田川流域内の河川水質には、農業と河川工事が大きく影響を及ぼしていることがわかる。

4. 流域環境要因に関する時系列応答解析

4.1 流域環境要因の定義

流域環境要因とは、流域内の様々な環境を支配する因子のことであり、大きく自然・地形要因と人間

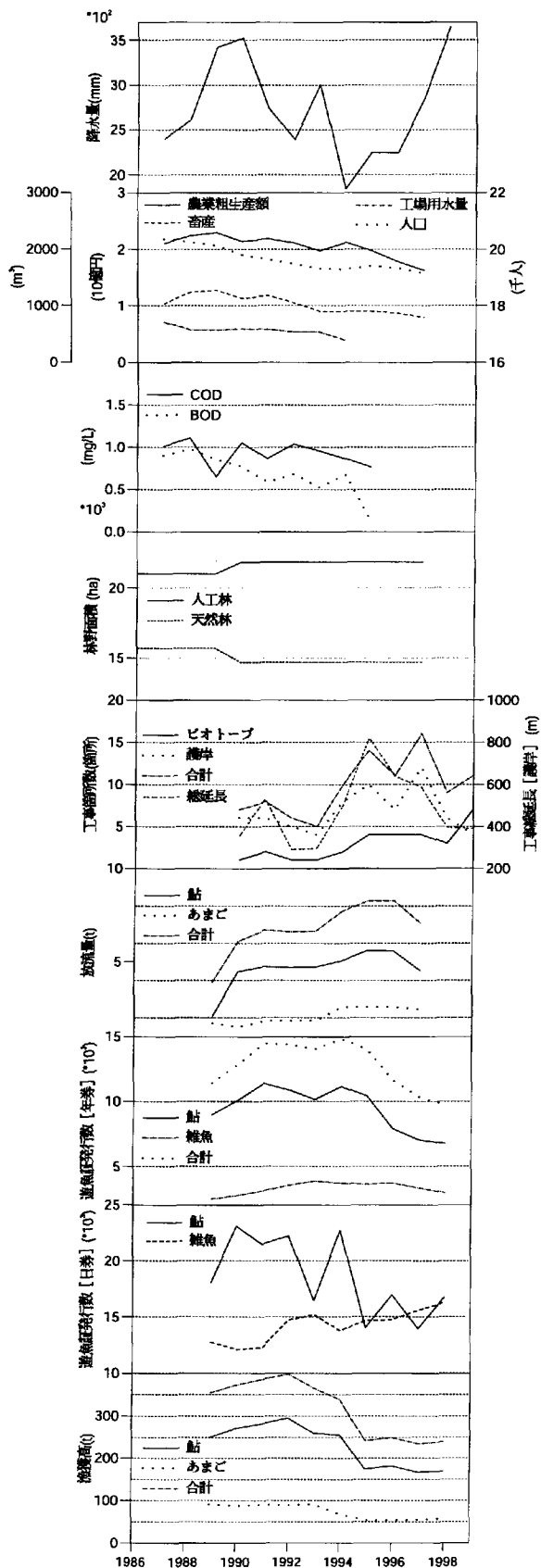


Fig. 9 Time series of various environmental factors collected by the government.

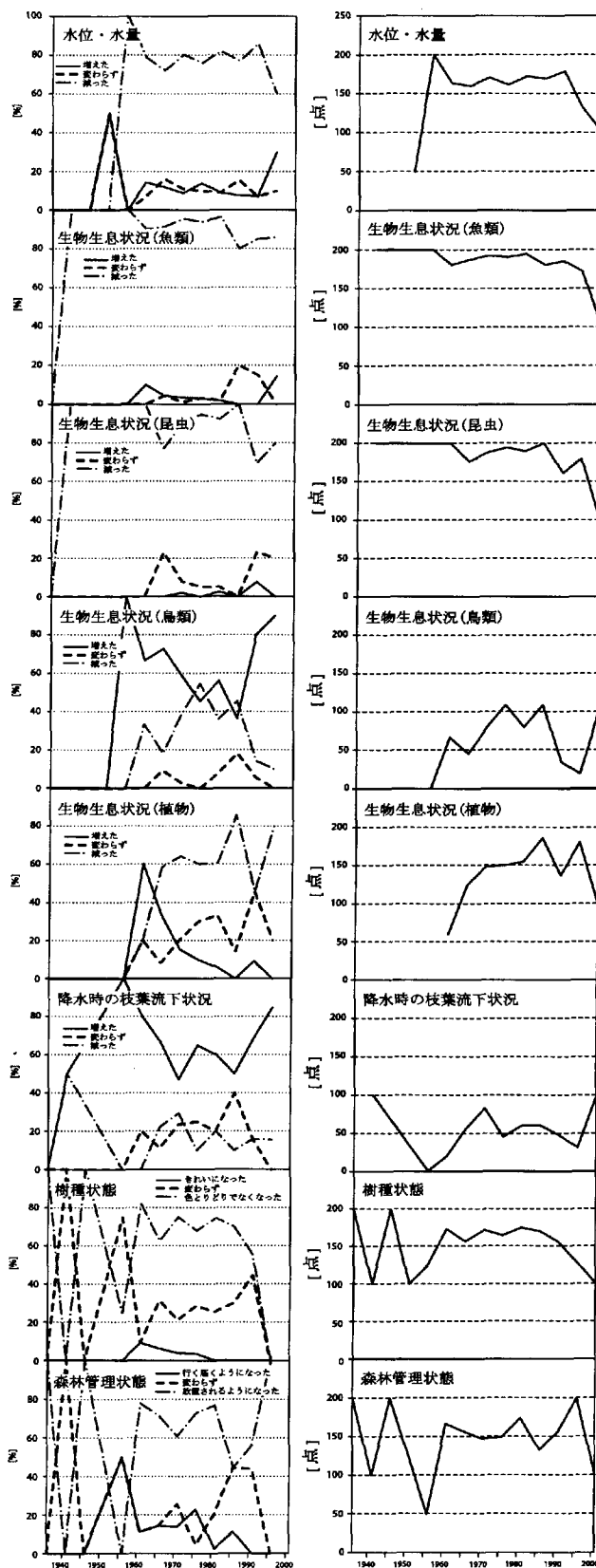


Fig. 10 The results of the questionnaire survey.

Fig. 11 Time series of various environmental factors estimated from the questionnaire survey.

要因の2種類に分けられる。自然・地形要因としては、降水量、気温、湿度などの気象要因、標高、斜面勾配などの地形要因、魚類生息数・種別数、植生などの生物要因が挙げられる。また、人間要因としては、生活、農業、畜産業、漁業、工業、工事などの影響を表す諸量が含まれる。一方、結果としての、河川水質や河川流量なども人間要因の中に分類されるかもしれない。

以下では、各種行政資料および著者らが独自に実施した住民へのアンケート調査結果からこうした各種流域環境要因相互の関係を時系列応答として検討し、流域内河川水質および魚類生態系に及ぼす流域環境要因の影響を定性的に調べてみる。

4.2 行政資料による流域環境要因の経年変化

Fig. 9は、各種行政資料に基づき、1987年(昭和62年)~1999年(平成11年)における各流域環境要因の経年変化をまとめて示したものである。年間降水量は、八幡町にある地域気象観測所(郡上郡八幡町旭田尻)での観測値、人口、農業粗生産額、畜産の農業粗生産額については、上述の岐阜農林水産統計年報などの資料に基づき、工業用水量は工業統計調査結果から算出してある。BOD値・COD値は、岐阜県公共水域および地下水の水質調査結果報告書(岐阜県衛生環境部)に記載されている八幡町内小野橋での観測値を年平均した値である。人工林および天然林の林野面積は、岐阜農林水産統計年報の利用地種別林野面積から集計してある。工事種類別工事箇所数は、水質保全対策事業報告書の河川工事箇所数(護岸工事、ビオトープ施工)に基づく。魚種別放流量、遊漁証発行数および漁獲高は、郡上漁業協同組合の調査による魚種別放流量(鮎、あまご、合計)、遊漁証発行枚数(鮎、雑魚、合計)、魚種別漁獲高(鮎、あまご、合計)を用いている。

4.3 住民アンケートから推定される流域環境要因の経年変化

上述のような行政資料だけでは、過去の資料整備状況などの理由により、過去数十年に及ぶ流域環境の変化を追跡することは困難である。現地観測の実施中、地元住民から様々な過去の流域環境情報を聞くことができ、それらを総合的に解析すれば、ある程度の精度で過去の環境状態を推定できるのではないかとの着想から、住民を対象としたアンケート調査を実施することにした。

アンケート調査は、2001年10月に、吉田川流域の小中学生とその保護者(児童生徒690名、父母・祖父母など655名;回答率70%)を対象として行われた。このアンケートは、回答者各自に「昔」を想定

してもらい、現在の河川環境との比較を回答してもらうもので、水文特性、生物生息状況、森林管理状況、河川への親しみに関する流域内各所の時間的変化を再現することを目的の一つとしている。このアンケート調査では、具体的な時間と場所の情報を特定化することがポイントとなるため、各設問項目に対して、回答者が想定した時期、場所を記入してもらう欄を設けている。

アンケート結果を小中学生と保護者の二つに分け、単純集計を行うことにより、詳細な住民意識を把握した。また、想定された時間および場所ごとの情報を得るため、時間・場所に関するクロス集計を行うことにより、流域環境の広域的な経時変化過程の把握を行った。この際、回答者の年代による想定した時期の偏りを考慮し、さらに各回答に重みづけをし、想定した時期の各流域環境要因の絶対値を現在からの偏差として把握することにより、過去の経年変化を表現した。

Fig. 10は、アンケート結果の一部を示したものであり、何年前を想定しながら回答しているかという情報に基づき、年代を5年ごとに区切り、回答内容を時系列表示してある。1960年以前については、回答者数が少なかったために、ばらつきの大きな結果となっているが、それ以降は、回答者数が少なくとも数十人存在するため、安定した傾向を示していると思われる。

こうしたアンケートの各項目の回答結果から、各流域環境要因の絶対値を把握するため、各回答(「増えた」、「変わらない」、「減った」)に重みづけをした。まず、回答者の年代により想定した時期が偏るため、想定した時期が同じ各回答の累計を、想定した時期の同じ回答全体で割り、現在の各流域環境要因の状態を100とし、「増えた」をマイナス、「変わらない」を±0、「減った」をプラスすることにより、想定した時期の各流域環境要因状態 X を数値化した。具体的には、各回答者数が、「増えた」を a 人、「変わらない」を b 人、「減った」を c 人とした時、 X の数値化に次式を用いた。

$$X = 100 - \frac{100a}{a+b+c} + \frac{100b}{a+b+c} \quad (1)$$

これにより得られる流域環境要因の時間変化をFig. 11に示す。水位・水量、生物生息状況(魚類、昆虫)については、近年減る傾向にあり、樹種状態、森林管理状態についても点数が下がる傾向が見られるが、生物生息状況(鳥類、植物)、降雨時の枝葉流下状況については逆に増える傾向が見られる。

4.4 流域環境要因間のクロスコレログラム

Fig. 9およびFig. 11に示した河川生物生息状況を

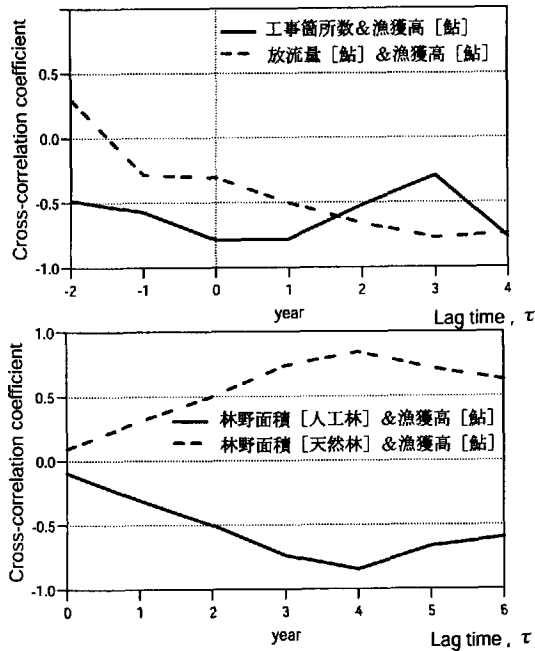


Fig. 12 Cross-correlations of the environmental factors collected by the government.

含む各種流域環境要因相互の関係を明らかにするため、様々な要因間に関する時系列応答解析を行った。

Fig. 12は、Fig. 9に示した行政資料による流域環境要因相互の相互相関解析の一例である。この図の上部が工事箇所数と鮎の漁獲高とのクロスコログラムおよび鮎の放流量と鮎の漁獲高とのクロスコログラムを表す。これより、工事箇所数が増えるとその当該年の漁獲高が減少し、放流量を増やすとその3年後に漁獲高が減少することがわかる。河川工事では、その種類や施工方法にも依存するものの、概して工事期間中の土砂流出が問題になる。こうした流出土砂は魚類の生息空間を減少させるのみならず、魚の餌である水生生物も減らすことにつながるため、即座に漁獲高に影響を及ぼしていると考えられる。一方、放流される鮎はほとんどが稚魚であるために、放流直後は際だった影響が現れないが、稚魚が成魚となり、魚1匹あたりの生息空間や餌が減ることにより、河川中での許容個体数を維持できなくなり、3年後あたりで漁獲高が減少すると予想される。ただし、かつては十分存在していただけの個体数を放流しているはずであることから、河川中での許容個体数そのものが減少してきていると考える

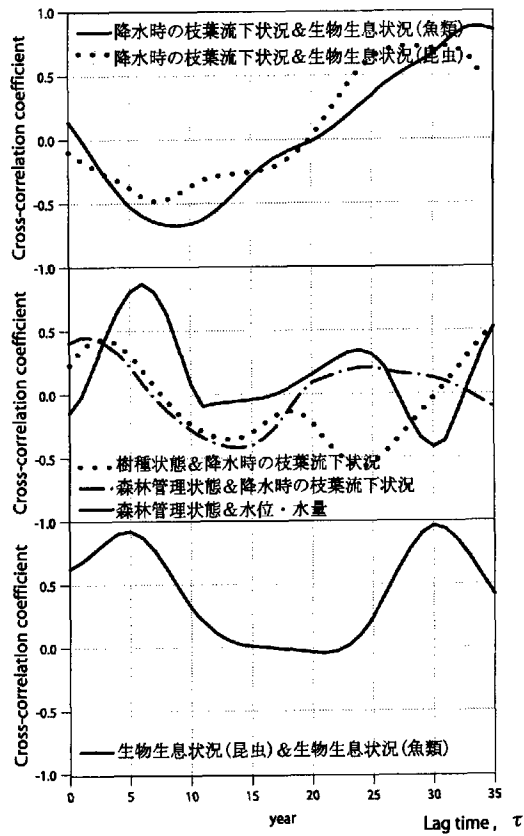


Fig. 13 Cross-correlations of the environmental factors estimated from the questionnaire survey.

必要がある。Fig. 12の下部は、人工林および天然林それぞれの林野面積と鮎の漁獲高とのクロスコログラムを示す。この結果より、人工林が増える、すなわち天然林が減ると、その4年後に漁獲高が減少することがわかる。林野面積の値は毎年調査されるものではなく、Fig. 9の上から4段目に示したような経年変化としてしか捉えられていないため、明確な結論を出すことはできないが、漁獲高が上流森林域の影響を受けていることの一端を示す結果とも言えるであろう。

Fig. 13は、Fig. 11に示したアンケート調査結果から得られる生物(魚類、昆虫、鳥類、植物)生息状況の変化、水位・水量の変化および森林状態(降水時の枝葉流下状況、樹種状態、森林管理状態)の変化について、各要因間の相互相関解析の一例である。この図の上段は、降水時の枝葉流下状況と生物生息状況(魚類、昆虫)とのクロスコログラムを示しており、枝葉の流下が顕著になると、その7年後に昆虫の数が減少し、10年後に魚類が減少する傾向が現れている。中段の図では、樹種の多様性が失われてくると、その3年後に枝葉の流下が顕著になることや、森林管理状態が悪化すると、その2年後に枝葉

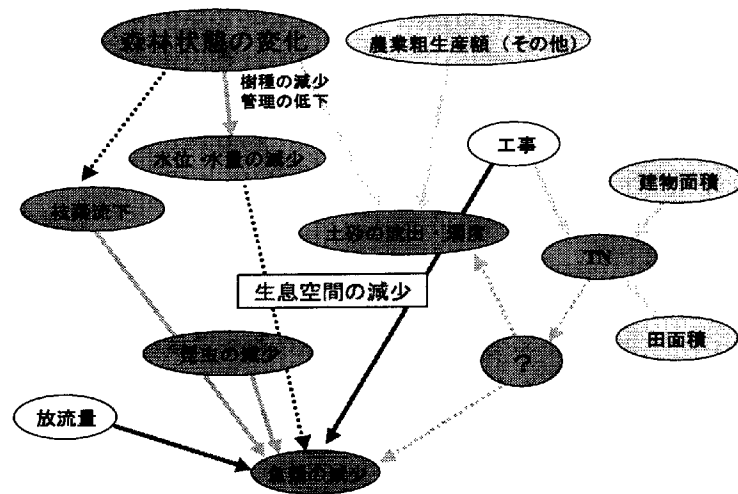


Fig. 14 Relationship among the various environmental factors.

の流下が顕著になり、6年後に水位・流量が減少する傾向が認められる。下段の図では、昆虫の生息数が減少してから5年後に魚類の数が減少してくる様子が現れている。つまり、森林管理が行き届かなくなり、枝葉が流出しやすくなると同時に、土砂流出も顕著となることにより、まず、河床に生息する昆虫類が減少し、その結果として、魚類が減少するというプロセスが見えてくる。また、こうした森林状態と生物との応答関係から、森林変化の影響が生物に及ぶまでに10年ほどの期間を要することがわかる。このように即座に影響が顕在化してこない現象を日頃から気にかけることは難しく、現象解明のためのデータを整備することも容易ではないと考えられる。この意味で、こうしたアンケート調査による環境変化解析が重要になると思われる。

4.5 流域環境要因と河川水質および漁獲高との関係

以上の検討および考察結果を概念的にまとめたものを Fig. 14 に示す。こうしてまとめてみると、本研究で対象としているような森林を多く含む流域では、森林状態の変化がほとんど全ての環境要因に大きな影響を及ぼしていることがわかる。森林での樹種の減少や管理の低下は、枝葉や土砂の流出を招くと同時に、水位・水量を低下させ、河川生物の減少の引き金になると考えられる。また、河川工事や農業活動、とくに畑作や果樹園などの影響により、土砂流出および濁度の増大を引き起こすことも無視できない。一方、栄養塩としての全窒素(TN)は、生活系および農業系からの寄与が大きく、魚類への間接的影響が予想される(図中の?部分)。地元住民、とくに漁業従事者の話では、河床に付着する藻類の品質が低下してきているとの情報もあり、栄養塩や土砂の影響が考えられる。こうした河川生物にとっての

生息環境の悪化により、生息ポテンシャルが低下しているところに、許容生息数以上の稚魚放流が行われることにより、劇的な魚類生息数減少を招いたことも予想される。

5. 結語

以上、なぜ吉田川流域で急激な生態系変化が生じたかという問題をきっかけとして、河川生物も対象にした流域内の総合的な環境要因相互の関係について、水文・水質に関する現地観測や流域環境に関する住民アンケート結果から得られる環境要因の時系列解析に基づき検討した。本研究による成果は次のように要約される。

- 1) 水文・水質に関する現地観測から、農業および河川工事が河川水質に及ぼす影響が大きいことが明らかとなった。
- 2) 行政資料を用いた相互相関解析の結果、吉田川の漁獲高の激減を招いた流域環境要因として工事箇所が増加、鮎の放流量の増加が最も直接的に生態系に影響を及ぼしていると考えられ、工事はその年から、放流量は1年後、2年後にもっと影響を及ぼすことがわかった。また、林野面積(人工林、天然林)とも密接に関わっていることがわかった。
- 3) アンケート調査結果を用いた相互相関解析の結果、生物生息状況(魚類、昆虫)と森林状態の間に密接な関わりがあることがわかった。さらに、過去における流域環境要因の経年変化の把握において、広範囲な住民を対象にしたアンケート調査がかなり有効な手法となり得ることを確認できた。

本研究では、あくまで複雑に絡み合う流域環境要因間の相互関係を定性的に把握することが目的であったが、今後、定量的な検討およびこれからの環境保全策提案に向けて、生物過程も含めた流域内物質輸送モデルを構築し、流域環境要因の変化に対応した総合的流域環境状態の変化予測を行えるようにすることが望まれる。

謝 辞

本研究の実施にあたり、吉田川流域での現地調査やアンケート実施にご協力いただいためいほうスキーセンター、明宝村役場、明宝中学校、明宝小学校、明宝レディース、口明方小学校、八幡小学校、川合小学校の方々、託児保育園アップルの清水博氏、八幡町河鹿井上久雄氏およびアンケートにご協力いただいた全ての住民の方々、さらに、岐阜県農林水産年報を提供していただいた岐阜県農林統計協会、岐阜県森林簿を提供していただいた岐阜県農林水産局森林課に深謝の意を表す。また、本研究が平成11～13年度文部科学省科学研究費補助金・地域連携推進研究(1)「木曾三川のエコロジカル流域管理計画—流域生態系の物質循環機能を生かした流域環境管理システムの提案」(課題番号11794029, 代表・秋山侃岐阜大学流域環境研究センター教授)、平成11～13年度文部科学省科学研究費補助金・基盤研究(B)(2)「農林地および草原の持続的生産性評価のための指標作成」(課題番号11490015, 代表・秋山侃岐阜大学流域環境研究センター教授)および平成12～13年度文部科学省科学研究費補助金・基盤研究(C)(2)「リ

モートセンシング画像と植生データベースを用いた森林流域内窒素固定能の広域的評価」(課題番号80187369, 代表・篠田成郎岐阜大学流域環境研究センター助教授)の一部であることを付記し、謝意を表す。

参考文献

- 岐阜県環境局環境管理課(2000):河川上流(吉田川)水質保全対策事業報告書,平成11年度版。
- 岐阜県衛生環境部:岐阜県公共水域および地下水の水質調査結果報告書,昭和58年度版～平成6年度版。
- 篠田成郎・都築克紀・山内幸雄・高坂宗和・田中雅彦・野村一保・湯浅晶(1999):長良川流域での全窒素・全リン流出特性に及ぼす土地被覆状態の影響評価,河川技術に関する論文集,Vol. 5, pp. 59-64。
- 篠田成郎・衣目純・福本圭子・前田敏昭・日置琢三・都築克紀(2001):山地森林流域での全窒素流出過程に及ぼす植生分布の影響評価,京都大学防災研究所年報, No. 44(B-2), pp. 229-245。
- 都築克紀・篠田成郎・山内幸雄・田中雅彦・野村一保・湯浅晶(2000):長良川流域内の全窒素・全リン流出特性に及ぼす土地被覆空間配置の影響評価,水工学論文集, Vol. 44, pp. 1143-1148。
- 東海農政局岐阜統計情報事務局(1998):岐阜県農林水産統計年報,平成9年度版。
- 長良川ビジョン推進委員会(1997):第1回長良川ビジョン“日本一の清流”推進委員会資料, No.3, pp.2-4, 11-12。

Evaluation of the Changes in Fishes Ecosystem in the Yoshida River Basin by the Time Series Analysis of Various Environmental Factors

Seirou SHINODA*, Keiko FUKUMOTO**, Koji NODA***, Yutaka KAMEHARA***, Akira YUASA* and Yasuo MATSUI****

* River Basin Research Center, Gifu University, Japan

** Gifu Prefectural Environment Convention Center, Japan

*** Graduate School of Engineering, Gifu University, Japan

**** Environmental Management Division, Gifu Prefectural Government, Japan

Synopsis

The catch of fishes living in the Yoshida River located in the central part of Japan has been decreasing in recent decade. To obtain the basin knowledge on the control method of human activities in a sound river basin environment, the relationship among various environmental factors was investigated by the time series analysis of meteorological data, hydrological data, river water quality, forest data, human activities, which data were collected by field observations and a questionnaire survey to the community residents. The amount of fishes was related to the condition of forestry management, the agricultural activities, the river construction work and the stocked fries to the river.

Keywords: river basin environmental factors; time series response; river ecosystem; human activity; forestry management, GIS