

国立公害研究所研究報告 第21号

Research Report from the National Institute for Environmental Studies, No.21, 1981.

陸水域の富栄養化に関する総合研究(V)

Comprehensive Studies on the Eutrophication of Fresh-water Areas

## 霞ヶ浦流入河川の流出負荷量変化とその評価

*Variation of Pollutant Load by Influent Rivers to Lake Kasumigaura*

昭和53～54年度

1978—1979

海老瀬 潜 一

Senichi EBISE

環境庁 国立公害研究所

THE NATIONAL INSTITUTE FOR ENVIRONMENTAL STUDIES

## 序

本冊は特別研究「陸水域の富栄養化に関する総合研究」の昭和53～54年度報告となった8分冊の一つである。

湖沼、ダム湖および内湾などの閉鎖的な水域の水質汚染、とくに富栄養化現象を解明するには流入量と流出量との推定が重要である。

ここで対象としている霞ヶ浦には全部で51の河川があって、いずれも中小河川であるために流出量、流出負荷量の降水による影響が大きく。これらの諸量が著しく変動するので推測が困難である。したがって晴天時と降雨時の流出負荷量の量的対比と負荷の内容も受水域水質への影響の評価に反映させる必要がある。水質変化を予測したり、診断したりするためには、河川についての綿密な観測データの蓄積の下で、水文学的要因による変動特性を考慮した総流出負荷量モデルの構築が必要である。

本冊では流入河川の水量、水質に関するデータを解析し、平常時と降雨時とに分けて流出負荷量を推定する数学モデルを導いている。

昭和56年1月

国立公害研究所

所長 近藤次郎

## 緒 言

**本冊の内容概要** 特別研究「陸水域の富栄養化に関する総合研究」において本冊は、霞ヶ浦（西浦）流入河川による各態栄養塩およびCOD、SSの流出率とその変動形態を調べ、非点源負荷流出特性を明らかにしようとしたもので、従来建設省や茨城大学が得た成果を整理、展望し、高浜流入入主要三河川について流出負荷量の時間的変化、晴天時流出負荷並びに降雨時流出負荷の変動特性を大量の実測データから図化、相関性などを解析した。

負荷量計算のための種々のモデルのどれが適合するかを対比詳論している。降雨時流出負荷などが、都市河川型の河川（山王川）、農耕地と集落による平坦な流域を流れる河川（園部川）、山地型河川（恋瀬川）の各タイプにつき明らかにされた。

**研究のいきさつ** この特別研究は当研究所創立の翌年、すなわち昭和50年に企画され、約1年での準備・調整期間を経て実施に移されたもので、対象陸水として研究所から至近の距離にある霞ヶ浦を選び、フィールド調査とデータ収集が始まった。52年4月に特別研究として正式にスタートしてからは霞ヶ浦のみでなく、全国の湖沼と汚染源の流域の比較的關係が比較的シンプルな系として独自の調査を行った湯の湖を除き、霞ヶ浦以外の湖沼では霞ヶ浦で行ったようなルーチンサーベイが不可能であったので、主として夏期における各湖沼の水質特性をつかむためのフィールド調査のみに止め、その成果は湖沼一般の富栄養度評価の研究や、他湖沼との比較における霞ヶ浦の特性把握に役立てた。

**研究スタッフと研究の性格** この特別研究には、研究所の9部のうち6部が参加し、35名の研究者が寄与している。その内訳は水質土壌環境部13、総合解析部6、生物環境部5、環境情報部5、計測技術部4および技術部2である。その専門分野も陸水学、生態学、環境工学のようなフィールド調査に直接関係のあるものから、気象学、地文学、情報工学、社会工学といった諸分野にまで亘っていて、まさに典型的な学際研究である。第1期の特別研究の特徴は、第2期（昭55年4月より）のそれが「陸水域の富栄養化防止」をかかげたのに対し、明らかに基礎研究の色彩が濃い。

霞ヶ浦でいえば、その流域、背後地まで含めた面、空間でみられる物質移動、状態変化から、視覚・心理学的価値評価まで、富栄養化に関連する可能な限りの角度からスポットをあてて、その実態、実相をつかむことを試みた。

**本報告各分冊の紹介** 成果をまとめて1冊にするには種々難点があるので、全体をRシリーズで8冊分（R-19……R-26）、プラス総括編（R-27）計9冊とした。本冊はその一つであるが、全体との関係を知って貰うため分冊のタイトルを紹介すると、Ⅲ.「霞ヶ浦（西浦）の湖流」、Ⅳ.「霞ヶ浦の微地形、気象水文特性およびその湖水環境に及ぼす影響」、Ⅴ.「霞ヶ浦流入河川の流出負荷量変化とその評価」、Ⅵ.「霞ヶ浦の生態系の構造と生物現存量」、Ⅶ.「湖沼の富栄養化状態指標に関する基礎的研究」、Ⅷ.「富栄養化が湖利用に及ぼす影響の定量化に関する研究」、Ⅸ.「*Microcystis*の増

殖特性」, X、「藻類培養試験法によるAGPの測定」で、これに加えて総括編がある。

Ⅲ～Xを通じて、Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ、Ⅵは標題が示す通り霞ヶ浦、とくに西浦の現象を扱ったもので、Ⅷもその色彩が強い。

霞ヶ浦をめぐる行政の現実と研究の今後 第一期特別研究のこれらの成果（Ⅰ～Ⅹ）を足がかりに第二期特研で富栄養化防止策を研究するにあたり、霞ヶ浦の現実を見直すと、一方で現行水質環境基準A類型を達成すべしという命題が重くのしかかっており、富栄養化防止関係の諸要求充足のための対応策を早急に講じなければならない。また一方では、水資源公団が昭和60年度完成を期している霞ヶ浦開発事業があって、その主たる目的である $43\text{m}^3/\text{秒}$ の新規利水と沿岸の浸水や塩害防止のため湖周の護岸や常陸川水門の改造が行われ、それにより調節可能水深は2.85mとなり、治水容量3.4億 $\text{m}^3$ 、利水容量2.8億 $\text{m}^3$ となる。この合計である有効貯水量6.2億 $\text{m}^3$ は、霞ヶ浦の現貯水容量8.8億 $\text{m}^3$ に比し極めて大きな数字であり、この新規利水により常陸川水門を流下する放流量は、現在の14億 $\text{m}^3/\text{年}$ から5億 $\text{m}^3/\text{年}$ と大幅に減ずる。富栄養化しやすい浅湖の代表である霞ヶ浦にとって極めて重大なこの改造が将来水質にどう影響するかの予測も重要な課題である。われわれはこうした行政上の現実を注視して今後の研究を有効に展開することを心掛けるつもりだが、将来水質の予測は正直なところ難しいものになると予想される。研究グループがなお保持している高いポテンシャルに期待するのみである。

昭和 56 年 1 月

国立公害研究所

水質土壌環境部長

合 田 健

# 目 次

1. はじめに .....	2
2. 霞ヶ浦流入河川の概要 .....	4
3. 従来の研究成果の概要 .....	7
3-1 建設省霞ヶ浦工事事務所の調査研究 .....	7
3-2 茨城大学農学部の研究 .....	11
3-3 その他の研究 .....	12
4. 高浜入流入河川の流出負荷量変化 .....	14
4-1 流入河川水量と高浜入滞留時間 .....	15
4-2 高浜入流入3河川の流域概要 .....	15
4-3 調査内容と観測地点 .....	16
4-4 流出負荷量定期観測結果 .....	19
4-4-1 年間流出負荷量の相違 .....	30
4-4-2 季節別流出負荷量の変化とその特性 .....	42
4-4-3 月別流出負荷量の変化とその特性 .....	42
4-5 晴天時流出負荷量の周日変化特性 .....	54
4-6 降雨時流出負荷量変化とその特性 .....	57
4-6-1 流出負荷量と流量の関係 .....	59
4-6-2 直接流出による累加負荷量 .....	67
4-7 河道内貯留・堆積物質量の評価 .....	73
5. 流出負荷量変化の解析モデル .....	77
5-1 既往のモデル .....	77
5-1-1 水文量による解析モデル .....	77
5-1-2 統計モデル .....	79
5-2 期間総流出負荷量モデル .....	81
5-2-1 比流出負荷量としての取り扱い .....	81
5-2-2 平常時の流出分と降雨時の流出分 .....	82
5-2-3 平常時の流出負荷量 .....	83
5-2-4 平常時の流出負荷量と流量の関係 .....	84
5-2-5 三軸グラフによる流域負荷特性の表現 .....	85
5-3 降雨時流出負荷量の定量化 .....	90
5-3-1 直接流出による降雨時流出負荷量の大きさ .....	90

5-3-2	降雨の分類	91
5-3-3	有効雨量による流出負荷量の定量化	92
5-3-4	平均有効降雨強度による流出負荷量の定量化	101
5-3-5	降雨流出負荷量補正	104
6.	おわりに	107
	引用文献	109
	資料	111

## CONTENTS

1. Introduction .....	2
2. Outline of influent rivers into Lake Kasumigaura .....	4
3. Former studies on influent rivers load of nutrients and pollutants to Lake Kasumigaura .....	7
3-1 Study by Ministry of Construction .....	7
3-2 Study by Faculty of Agriculture, Ibaraki Univ. ....	11
3-3 Other studies .....	12
4. Variation of influents rivers load of nutrients and pollutants to Takahama- iri Bay .....	14
4-1 Relationships between discharge of influent rivers and retention time time in Takahama-iri Bay .....	15
4-2 Outline of three influent rivers into Takahama-iri Bay .....	15
4-3 Details of investigation and observation points .....	16
4-4 Results of weekly influent rivers load investigation .....	19
4-4-1 Variation of annual total load .....	30
4-4-2 Variation of seasonal total load .....	42
4-4-3 Variation of monthly total load .....	42
4-5 Diurnal variation of hourly load in dry weather days .....	54
4-6 Variation of direct runoff load by rain events .....	57
4-6-1 Relationships between flow and load .....	59
4-6-2 Cumulative load by direct runoff .....	67
4-7 Evaluation of deposit and periphyton on the river bed .....	73
5. Analytical modelling on variation of river load .....	77
5-1 Various models .....	77
5-1-1 Analytical models by hydrological factors .....	77
5-1-2 Statistical models .....	79
5-2 Model of total river load .....	81
5-2-1 Consideration as specific load .....	81
5-2-2 Dividing of total load into load in usual days and load in rainy days .....	82

5-2-3	River load in usual days .....	83
5-2-4	Relationships between load and flow in usual days .....	84
5-2-5	Expression of river basin load characteristics by isometric triangle graph .....	85
5-3	Estimation of direct runoff load by rain events .....	90
5-3-1	Weight of direct runoff load in total load .....	90
5-3-2	Classification of rain events .....	91
5-3-3	Estimation of direct runoff load by effective rainfall .....	92
5-3-4	Estimation of direct runoff load by mean effective rainfall intensity .....	101
5-3-5	Correcting of total load with direct runoff load .....	104
6.	Conclusion .....	107
	References .....	109
	Data of weekly observation .....	111



# Variation of Pollutant Load by Influent Rivers to Lake Kasumigaura

by

Senichi EBISE

## Abstract

More than fifty rivers drain into Lake Kasumigaura, and these influent rivers load has significantly influenced the water quality, particularly, eutrophication of stagnant water body. Therefore, the estimation on annual total load of each river for its nutrients and pollutants is asked for as the input load into the lake. For three influent rivers into Takahama-iri Bay of Lake Kasumigaura, the weekly and timefixed observation of load had been continued for two years (from June 1978 to May 1980 ). However, the weekly sampling data are not enough to estimate the exact annual total load, because the frequency of observation is too few to cover the whole runoff load of small rivers by many rain events.

The frequency distribution of weekly load data made clear that the load for the cases of larger discharge has large weight in the annual total load. The yearly variation of annual total river load for nutrients and pollutants is mainly induced by hydrological factors of each year. Especially, because the greater parts of the catchment area are occupied by paddy field, forest and urban area, the load from these non-point sources is main part of direct runoff load by rain events. Furthermore, much particulate pollutant load is deposited on the river bed for dry weather days, and various nutrients concentrated in the sediment should be considered enriching the first flush load by direct runoff.

Therefore, the author considered annual total load to consist of dry weather days load and wet weather days load, and estimated the annual total load adding the direct runoff load to weekly observed load, for the cases of more than 21 mm rain events. Here, the direct runoff load was estimated by the regression equations of specific cumulative load and specific cumulative flow for T-N, T-P, T-COD and SS. Due to these corrected results, the annual total load is 116-145 % in T-N, 125-189 % in T-P and 159-242 % in T-COD of the annual total load obtained only with the weekly load data, respectively. Similarly these procedures should be able to apply to other river basins as well as the three influent rivers into Takahama-iri Bay with compensating direct runoff load to dry weather days load. By the classification of three typical river basin load patterns which are rural river basin, urban river basin and their intermediate river basin, with the isometric triangle graph of specific T-N, T-P and T-COD loads, the accuracy of estimation for annual total load will be improved.

## 1. はじめに

河川の流出負荷量はその受水域水質に及ぼす影響を評価しようとする場合、一定期間における種々の変化を含めた総流出負荷量の算定が必須のものとなる。とくに、受水域が湖沼、ダム湖および内湾などの閉鎖的な水域であれば、その滞留時間の大きさと、算定期間の長さや算定精度のレベルとの対応関係は重要な問題である。一般に、河川長が短く、流域面積の小さい中小河川は、大河川と比較して、流出負荷量の変動は急激で、かつ、変動幅も大きいのが特徴であり、一定期間の総流出負荷量の実測値の精度は、観測頻度に大きく左右される。とくに、降雨時流出は高流量だけでなく高負荷量でもあるため、晴天時流出の場合を平常値とするならば、これを大きく上回り、豪雨時のそれは数オーダー高いものとなり、異常値に相当する。異常値は、平均量や累加量を大きく引き上げることになるため、降雨時流出の評価の正確さは、流出負荷量算定精度を支配する大きな要因となる。

しかし、これまでの公共水域の水質規制が濃度規制であった経緯もあり、実際の観測値の多くは濃度値のみのことが多く、流量が同時に測定されている場合は少い。受水域への流入河川の影響を評価する場合、同一濃度であってもその時の流量が大きく異なれば、現象としてはかなり異なったものとなるのが通常であり、濃度と流量を分離して取り扱うのではなく、負荷量として把握することが肝要である。このことは、後述の定時流量観測値と負荷量頻度分布や、多くの水質項目の負荷量が流量の1次を超える関数となることから明らかとなる。

流出負荷量の推定には、流域内の発生負荷原単位を求めて発生負荷量を算出し、これに流出率あるいは流達率を乗じて流出負荷量を算定する原単位による手法がある。これは、広大な流域に対する長期間の将来の流出負荷量の大枠の推定法としては有力であるが、発生原単位の地域格差、エネルギーや用水コストなど経済情勢、排水規制や技術革新などとの関係によって精度が左右される。また、長期間の人間の生産および生活活動による傾向変化をカバーすることが主目的であり、水文学的原因による短期的および長期的変動を追うことはできない。さらに、流出率・流達率の算定が晴天時のみのデータによっているものが多いほか、発生源として含まれないものや発生原単位の枠を超える流出も出現するなど、降雨時流出の高負荷量への配慮に欠けている。

したがって、晴天時と降雨時の流出負荷量の量的対比と内容構成の相違も受水域水質への影響の評価に反映させる必要がある。これには、数多くの河川についての綿密な観測データの蓄積の下に、水文学的要因による変動特性を考慮した総流出負荷量モデルの構築が必須のものとなる。この総流出負荷量モデルが多くの実測値の裏付けを得て確立すれば、閉鎖的な水域での水質汚濁や富栄養化機構の解明に役立つほか、水質変化を予測するためのシミュレーションの極めて有力な入力条件となる。

さらに、広大な湖沼や内湾等に流入する河川はかなりの数にのぼるため、モデルとしては、各河川毎に多くの観測データの蓄積を必要とする経験式（例えば、流量と負荷量の指数関数式）によらぬものが望ましい。それには、河川一般に共通した法則に従ったモデルを骨格に、各河川ごとの流域特性を加味するモデルが必要となり、しかも、一般に手に入り易い入力条件および流域特性諸要素をパラメータとして操作できるモデルが要求されることになる。その流域特性としては、流域面積の大きさと、流域内の土地利用状態の違いが重要な要素であると考えられる。

## 2. 霞ヶ浦流入河川の概要

霞ヶ浦流域は、関東平野の北東の周縁部を占め、北側から延びてくる八溝山地の南端部を含むが、流域の大半は平坦な常盤台地にある。この流域地表面を構成する土壌は、黒ボク土を中心に褐色森林土、グライ土、泥炭土等が混入する構成となっている<sup>1)</sup>。霞ヶ浦流域では、茨城県内でも農畜産業のウエイトが高い地域であり、平野部を利用して水田のほか、畑作も多く、果樹栽培も盛んである。畜産業としては、牛、豚、鶏の飼育が盛んで、とくに、豚の飼育頭数は極めて多く、小規模な養豚が多いため、その排水負荷の大きさは注目に値するものである。また、工場・事業場は土浦市、石岡市およびその周辺地域に多い。このような産業構成を反映して、霞ヶ浦流域全体での土地利用状態の内訳は、畑27.8%、山林25.0%、水田23.4%、市街地5.0%、その他18.8%となっている。西浦の流域に限って言えば、山林23.3%、水田21.9%、畑15.9%、その他38.9%となり<sup>3)</sup>、霞ヶ浦全流域に比べると、耕地の水田率が高く、平地の林地の多い中で筑波山系の山地の占めるウエイトが高く、市街地も多くなっている。

霞ヶ浦に流入する河川は、大小合せて51流あり、そのうち1級河川が22流を占めるが、最大流域面積；かつ、最大河川長(約54Km)の桜川をはじめとして、いずれも中小河川である。とくに、北浦流入河川では、流域面積131.8 km<sup>2</sup>の巴川と流域面積52.7 km<sup>2</sup>の鉾田川を除くと全て小河川となる。西浦流入河川では、図2.1に示すように流域面積が350.3 km<sup>2</sup>の桜川、212.6 km<sup>2</sup>の恋瀬川、184.0 km<sup>2</sup>の新利根川、175.5 km<sup>2</sup>の小野川の4河川が大きく、続いて、流域面積が79.3 km<sup>2</sup>の園部川、38.8 km<sup>2</sup>の花室川、30.7 km<sup>2</sup>の榎無川、29.4 km<sup>2</sup>の一ノ瀬川、25.5 km<sup>2</sup>の清明川、23.7 km<sup>2</sup>の菱木川の順となる。これら流入河川と流域面積の一覧を表2.1に示す<sup>4)</sup>。

流域内に山地を有する河川は、筑波山系の西麓と東麓を流れる桜川と恋瀬川にほぼ限定され、これらの支川の一部が少し高い河床勾配を有する程度で、いずれも平地河川と言える。また、西浦流域では、土浦市、石岡市、筑波研究学園都市など多くの流域人口をかかえる市街地を流下する小河川が多い。石岡市を貫流する山王川、土浦市を流下する新川と備前川、学園都市を流れる花室川がこの例である。

霞ヶ浦流域では、全国平均と比べるとかなり少雨の地域であり、1901年から1975年までの75年間の年間平均降水量は1,370 mmである<sup>2)</sup>。さらに太平洋側から遠ざかって内陸部に入るとともに降水量が少くなる傾向があるため、西浦流入河川流域ではこれより小さな値となる。また、植生や土壌および平地面積率などの流域特性から、流出率が40~50%と低い河川が多い。したがって、農業用水として地下水や河川水のポンプ揚水による用水網がはりめぐらされている所が多い。これに対して、前述の市街地河川では、他の流域から導水される上水や工業用水等の排水を受けるほか、自流域に不透水地表面を多くもつため、100%を超える流出率となっており、生活排水負荷の高い河川である。

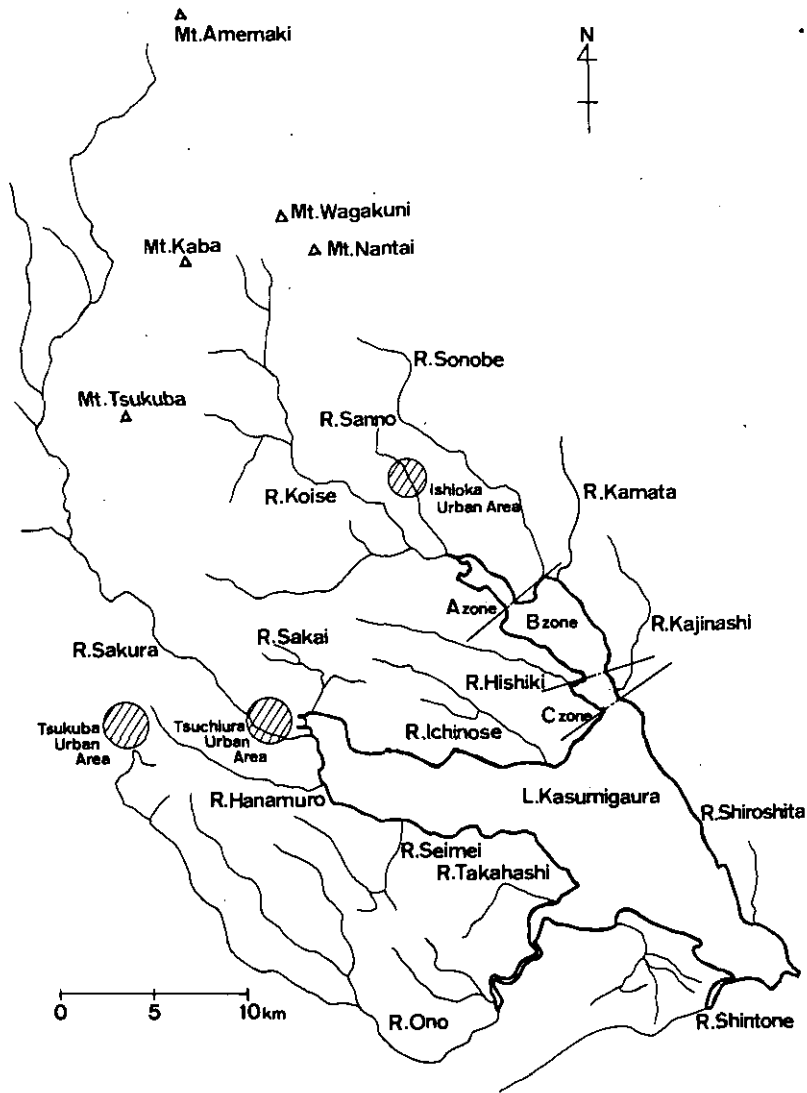


図 2.1 霞ヶ浦（西浦）流入河川  
 Fig. 2.1 Influent rivers into Lake Kasumigaura

また、霞ヶ浦の水質保全施策の一環として緒に着いたばかりの下水道整備は、研究学園都市を中心とした霞ヶ浦常南流域下水道が先行して一部通水され、潮来町を対象とした潮来公共下水道も一部稼働し、土浦市、石岡市、阿見町を中心とした霞ヶ浦湖北流域下水道はようやく1974年に一部処理が開始され、土浦市内の3万<sup>3</sup>m<sup>3</sup>の排水を受けるに至っている。しかし、学園都市と土浦市など人口集中地域から下水道が整備されつつあり、整備計画の進展とともに市街地からの生活排水負荷の減少が期待される。

表 2.1 霞ヶ浦流入河川と流域面積

Table 2.1 Inluent rivers into Lake Kasumigaura and their river basin areas

区 域	No	河 川 名	面積 (km <sup>2</sup> )	区 域	No	河 川 名	面積 (km <sup>2</sup> )
西 浦	1	麻 生 前 川	4.0	外 浪 逆 浦	3	中 里 川	8.1
	2	城 下 川	7.4		4	居 合 排 水 路	7.7
	3	弁 財 天 川	5.2		5	武 井 川	3.6
	4	船 子 川	11.8		6	沼 里 排 水 路	7.2
	5	新 田 川	2.7		7	白 鳥 川	5.5
	6	船 川	1.9		8	大 洋 川	3.4
	7	手 賀 川	5.2		9	境 川	4.5
	8	梶 無 川	30.7		10	二 重 作 大 排 水 路	8.9
	9	沖 州 川	16.6		11	二 重 作 第 二 排 水 路	4.7
	10	園 部 川	79.3		12	長 茂 川	6.4
	11	山 王 川	12.3		13	鉾 田 川	52.7
	12	恋 瀬 川	212.6		14	巴 川	131.8
	13	菱 木 川	23.7		15	長 川	6.6
	14	一 ノ 瀬 川	29.4		16	武 田 川	19.7
	15	川 尻 川	15.0		17	山 田 川	19.9
	16	田 村 川	6.7		18	大 川	6.8
	17	境 川	19.9		19	蔵 川	16.1
	18	新 川	15.6		20	雁 通 川	8.2
	19	桜 川	350.3		21	堀 川	2.9
	20	備 前 川	3.7			北 浦 残 流 域	60.3
	21	花 室 川	38.8		計		394.5
	22	清 明 川	25.5		1	前 川	11.7
	23	余郷入干拓承水路	9.7		2	夜 越 川	16.4
	24	高 橋 川	15.8		3	横 川	6.5
	25	小 野 川	175.7		4	与 田 浦	30.1
	26	新 利 根 川	184.0		5	鱒 川	30.1
	西 浦 残 流 域	293.5		外 浪 逆 浦 残 流 域	70.4		
計		1,597.0	計		165.2		
北 浦	1	流 川	3.6	霞 ヶ 浦	計		2,156.7
	2	水 押 川	5.9				

昭和52年度「河川現況調査」による。

このように、霞ヶ浦流域は研究学園都市関連の事業所の新設や将来の科学博関連の建設のほか、土浦市以南では東京への通勤圏としてのベッドタウン化もまだ進行中の段階であり、居住人口の増加、土地利用状態や産業形態の変化の大きい地域である。したがって、原単位法による流域負荷のフレームの経年変化が著しいのが特徴である。

### 3. 従来の研究成果の概要

霞ヶ浦流入河川の水質負荷量に関する調査研究は、霞ヶ浦の富栄養化の歴史の古さに比べると、比較的新しいものばかりである。とくに、流入河川の水質濃度の測定値は散発的に見られるものの、同時に流量観測がなされていないため、水質負荷量としての扱え方ではなかった。水質汚濁防止法に基づく公共用水域の常時監視の義務のため、霞ヶ浦の湖沼水と流入河川の主なものについても、茨城県が毎月1回水質濃度の定期観測を行っている。別に、茨城県では、最近、主要な流入河川の日流量観測を実施しているが、水質負荷量としての公表資料はない。一般に、公共用水域の水質観測は、作業の能率上、晴天時に実施されることが多いため、平常時のデータと言えるものの、1日の周日変化の中の1時点の値であり、日平均値のデータになるとは限らないこと、前回以前の降雨による長期的変化の中の1時点のデータでもあることなどの留意が必要である。

したがって、霞ヶ浦流入河川の水質負荷量についての研究は、建設省霞ヶ浦工事事務所によるものと、茨城大学農学部によるものの2つに絞られる。以下に、この両者の研究成果を概述する。

#### 3-1 建設省霞ヶ浦工事事務所の調査研究

建設省関東地方建設局霞ヶ浦工事事務所では、霞ヶ浦水質保全対策調査として、1971年3月から1972年3月までの1年間にわたり、桜川、恋瀬川、小野川、園部川、清明川、山王川および巴川の7河川に対して日流量観測を実施したほか、西浦高浜入に流入する恋瀬川、山王川および園部川については併せて水質濃度観測を行っている。この調査水質項目は、BOD、COD、TOC、ケルダール窒素およびT-Pである。これらの調査結果に基づく水質負荷量解析の研究成果が1978~1980年に発表

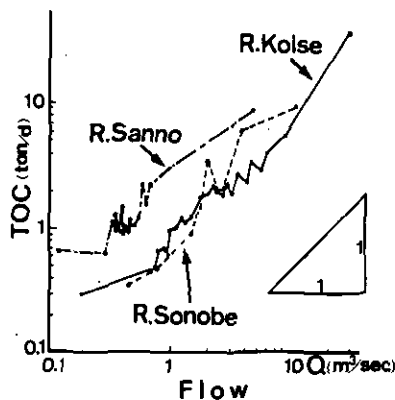


図 3.1 流量とTOC負荷量の関係  
Fig. 3.1 Relationship between flow and TOC load

されている<sup>5~9)</sup>。

高浜入流入3河川の年間流出負荷量、流域内土地利用状態、牛・豚の飼育頭数、工業出荷額等の一  
覧を表3.1に示す。

また、前記3河川の流量(Q)と負荷量(L)の関係をTOC、T-Pおよびケルダール窒素(Kj-N)  
について示したものが図3.1から図3.3であり、経験式 $L=a \cdot Q^n$ の形で示したものが表3.2である<sup>5)</sup>。  
図3.1から図3.3については、1年間の日データとしてではなく、流量規模別にクラス分けした二

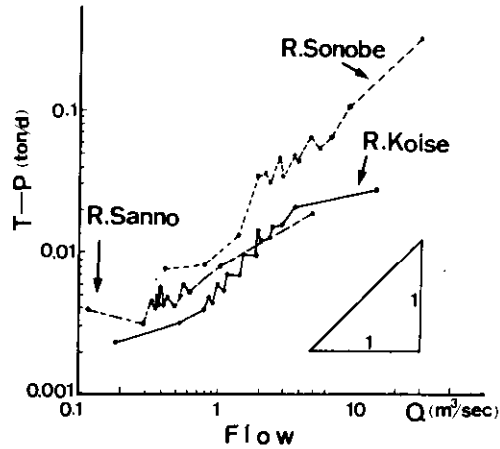


図 3.2 流量とT-P負荷量の関係  
Fig. 3.2 Relationship between flow and T-P load

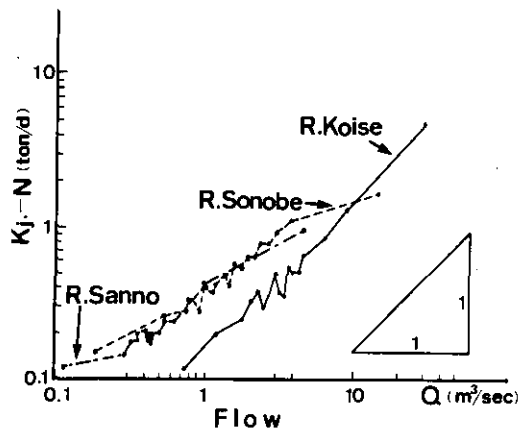


図 3.3 流量とKj-N負荷量の関係  
Fig. 3.3 Relationship between flow and Kj-N load



表 3.1 高浜入流入3河川の流域特性

Table3.1 River basin characteristics of three influent rivers into Takahama-iri Bay

(昭和47年)

		園部川	恋瀬川	山王川	
河	流域面積 (km <sup>2</sup> )	81.8	209.0	12.3	
	雨量 (mm/年)	1,404	1,404	1,404	
	流量 (m <sup>3</sup> /sec)	1.90	4.19	0.57	
況	負荷量 (ton/年)	COD	607.4	1,173.5	580.7
		BOD	558.1	570.1	836.9
		Kj-N	213.9	247.1	92.7
		TOC	733.3	1,571.3	608.1
		T-P	35.4	20.4	20.4
環	土地利用 (ha)	出	727.4	3,011.5	236.9
		畑	1,222.7	2,100.9	187.6
		田畑合計※1	1,950.1 (390.4)	5,112.4 (1,318.8)	424.5 (8.0)
		山林	300	14,100	0
人 口 (千人)	人口	20.9	53.5	7.9	
	うち下水道人口				
畜 産 (千頭)	牛	3,738	2,926	0.177	
	豚	13,423	39,146	2,883	
境	※2 工業出荷額 (億円)	計	97.58	235.44	66.76
		うち食料品			14.30
		繊維工業			7.57
		化学・石油・石炭			0

(注) ・※1 ( ) 内はカンガイ面積を示す。

・※2 昭和48年の値

表 3.2 経験式 ( $L=a \cdot Q^n$ ,  $C=b \cdot Q^m$ ) による表現

Table3.2 Expression by regression ( $L=a \cdot Q^n$  or  $C=b \cdot Q^m$ )

水質項目	河 川	負 荷 量 (L)	濃 度 (C)
Kj-N	園部川	$L = 0.327 \cdot Q^{0.84}$ ( $r = 0.84$ )	$C = 3.78 \cdot Q^{-0.16}$ ( $r = 0.25$ )
	恋瀬川	$L = 0.119 \cdot Q^{1.09}$ ( $r = 0.84$ )	$C = 1.38 \cdot Q^{0.086}$ ( $r = 0.15$ )
	山王川	$L = 0.386 \cdot Q^{0.84}$ ( $r = 0.76$ )	$C = 4.47 \cdot Q^{-0.16}$ ( $r = 0.22$ )
TOC	園部川	$L = 0.595 \cdot Q^{1.10}$ ( $r = 0.79$ )	$C = 8.82 \cdot Q^{0.18}$ ( $r = 0.02$ )
	恋瀬川	$L = 0.762 \cdot Q^{1.13}$ ( $r = 0.84$ )	$C = 6.89 \cdot Q^{0.10}$ ( $r = 0.12$ )
	山王川	$L = 2.29 \cdot Q^{0.97}$ ( $r = 0.57$ )	$C = 26.5 \cdot Q^{0.33}$ ( $r = 0.18$ )
T-P	園部川	$L = 0.048 \cdot Q^{1.01}$ ( $r = 0.81$ )	$C = 0.561 \cdot Q^{0.0087}$ ( $r = 0.01$ )
	恋瀬川	$L = 0.012 \cdot Q^{1.01}$ ( $r = 0.83$ )	$C = 0.136 \cdot Q^{0.0058}$ ( $r = 0.01$ )
	山王川	$L = 0.077 \cdot Q^{0.69}$ ( $r = 0.53$ )	$C = 0.086 \cdot Q^{-0.31}$ ( $r = 0.30$ )

十数点としてあるが、全体の傾向を読みとることができる。表 3.2 の経験式表示では、濃度(C)について  $C = b \cdot Q^n$  式での山王川の相関係数が低く、負荷量(L)について  $L = a \cdot Q^n$  式での山王川の相関係数が恋瀬川、園部川に比べて低いのが目立った特徴である。さらに、1年間の日流出負荷量の流量規模別に見たウェイトの比較を示したのが表 3.3 である<sup>5)</sup>。これより高流量、すなわち、降雨流出に伴う流出負荷量のウェイトの大きさを知ることができる。また、この3河川の1年間の単位流域面積当りの流出負荷量(年間比負荷量)と1年間の単位流域面積当りの流出流量(比流量)、流域人口密度、あるいは、単位流域面積当りの工業出荷額との関係なども示している。その結果より、工場を多く抱える市街地を流下する山王川と、農耕地を流下する恋瀬川の両極端な流域特性の例と、その中間的な性格を有している園部川の流域特性とがよく表われている。

また、同じ3河川の月平均の流出負荷量あるいは濃度と、月平均の流量との関係を1年間を通し

表 3.3 流量規模別負荷量比  
Table 3.3 Ratio of river load with classification of flow

水質項目	河川	5 %	10 %	25 % (豊水流量)	50 % (平水流量)	75 % (低水流量)
Kj-N	園部川	15	25	45	75	90
	恋瀬川	35	35	50	70	90
	山王川	25	20	45	60	80
TOC	園部川	45	50	65	80	90
	恋瀬川	25	40	60	75	90
	山王川	25	35	55	70	85
T-P	園部川	15	25	45	75	90
	恋瀬川	25	35	50	70	90
	山王川	15	20	45	60	80

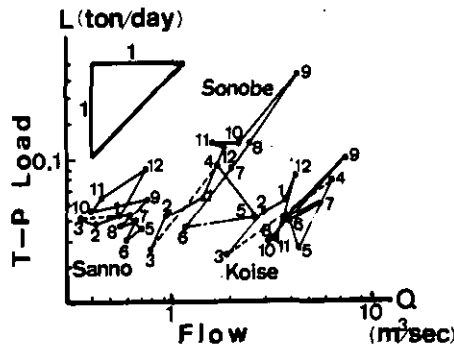


図 3.4 T-P負荷量の月別変化  
Fig. 3.4 Monthly variation of T-P load

て見たものが図3.4であり、その季節変化パターンを知ることができる。

これらの研究成果は、後述の著者が研究対象とした3河川についてのものだけに、測定水質項目がかなり異なり、調査年月が約7年異なるものの、大いに参考になるものである。

### 3-2 茨城大学農学部の研究

茨城大学農学部教官を中心とする霞ヶ浦研究会は、霞ヶ浦の富栄養化に関して、先駆的かつ総合的な研究を集中して行い、多くの研究成果をあげている<sup>10)</sup>。とくに、田淵・高村らは、農耕地からの排水負荷の研究<sup>11)</sup>に加えて、工場排水および生活排水負荷にも注目し、西浦に流入する主要な12河川について、1973年から1975年にかけてほぼ2か月間隔で水質濃度観測を実施して、流入河川による負荷の実態を明らかにしている。前記12河川の総流出負荷量の2年半にわたる変化を示したものが図3.5<sup>10)</sup>であり、これより求めた年間総流出負荷量の大きさと負荷発生源を点源と面源に分離

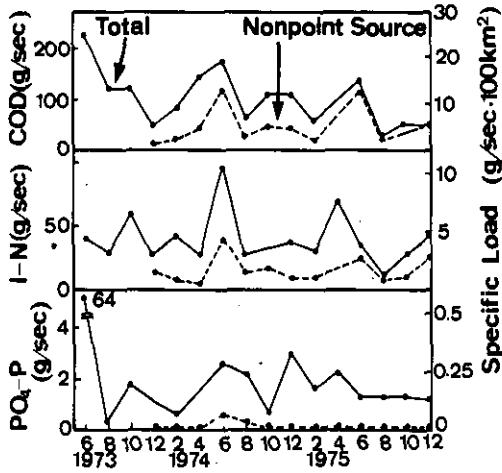


図 3.5 西浦流入12河川による総流出負荷量の変化  
Fig. 3.5 Variation of total load by twelve influent rivers to Lake Nishiura

表 3.4 西浦流入12河川による流出負荷量  
Table 3.4 Total load by twelve influent rivers to Lake Nishiura

	点源 (ton/年)	面源 (ton/年)	総負荷量 (ton/年)
COD	1,300	1,900	3,200
T-N	1,020	880	1,900
Inorg-N	810	490	1,300
T-P	66	28	94
PO <sub>4</sub> -P	40	9	49

(1973年6月~1975年2月)

した流出負荷量を示したのが表 3.4 である<sup>9)</sup>。

さらに、12河川流域の人口密度と比負荷の相関や、水稻元肥施肥密度と比負荷の相関の高さを指摘したほか、ほとんどの工場が操業を停止する正月の2日に4河川の流出負荷量調査を実施して、工場排水負荷のウェイトを図 3.6 のように示している<sup>12)</sup>。また、河川の流出負荷量の周日変化観測や流下方向における流出負荷量変化調査(図 3.7)も行っている。

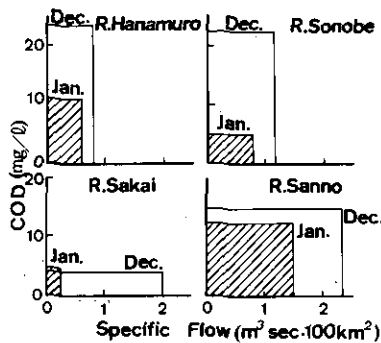


図 3.6 正月休みにおける河川水質変化 (COD)  
Fig. 3.6 Comparison of load in New Year's holiday with load in December day

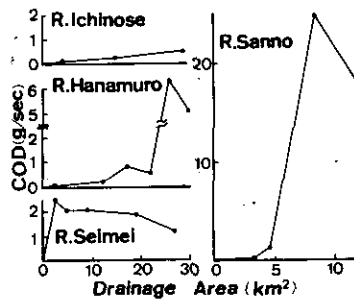


図 3.7 河川流下負荷量の流程変化 (COD)  
Fig. 3.7 Variation of river load in direction of flowing down

これらの研究対象となった12の西浦流入河川は、流出水量、流出負荷量とも大きな河川は全て含んでいるため、河川による西浦への負荷量のほとんど押えている。しかし、これらの調査がほぼ晴天時に行われているため、総流出負荷量に占めるウェイトの大きい降雨時流出負荷量の評価がなされていない。

### 3-3 その他の研究

茨城県でも霞ヶ浦の富栄養化制御のために、霞ヶ浦水質保全に関する研究会を組織し、多くの機

関の調査結果を分析するとともに、流域内の発生負荷量の実態を資料の積み上げから明らかにしている。

また、文部省環境科学特別研究環境動態領域の陸域部門霞ヶ浦研究班でも研究が行われているが、流入河川としてではなく、林地や農地の栄養塩収支と土地利用状態を中心とした研究が進められつつある<sup>1)</sup>。

さらに、筑波大学でも山地小流域の降雨流出の研究や、桜川の水質濃度変化の調査研究は行われている<sup>13,14)</sup>。しかし、いずれも流出負荷量としての扱いはなされていない。

したがって、流域内の土地利用状態をはじめとする流域特性については各分野での成果を利用できるが、河川の流出負荷量の研究成果は3.1, 3.2にほぼ限定されることになる。

## 4. 高浜入流入河川の流出負荷量変化

この研究の目的は、富栄養化が深刻化している西浦高浜入湾形部への流入河川による栄養塩や汚濁物質の寄与分を明らかにし、かつ、高浜入湾形部における栄養塩の挙動や物質収支との関係から、季節別あるいは月別の変化特性も含めて、流入河川の湖に与えるインパクトの大きさをも評価することである。そして、霞ヶ浦流入河川全体に適用できる流出負荷量算定モデルの骨格を得ることを目指している。

国立公害研究所で流出負荷量調査を実施した河川は、高浜入に流入する恋瀬川、園部川および山王川の3河川であり、その流入水量も流入負荷量とともに霞ヶ浦の富栄養化に対して重要な河川である。

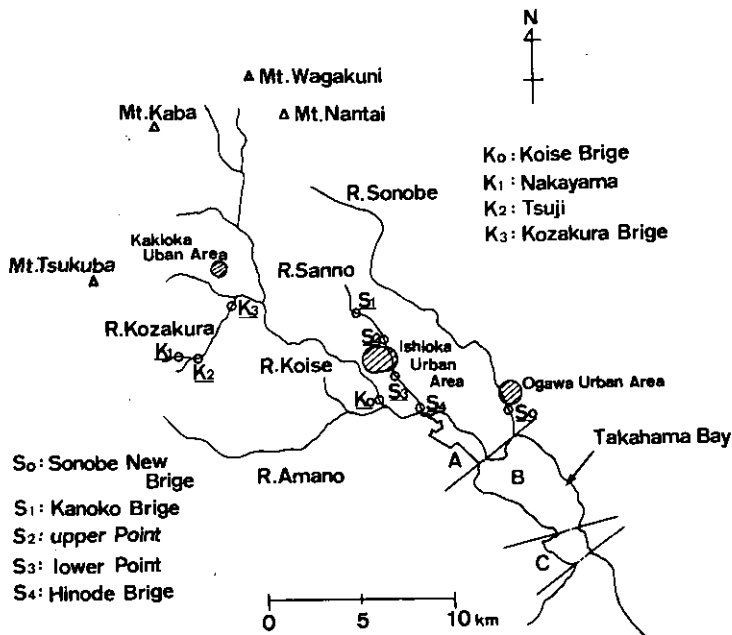


図 4.1 高浜入流入3河川と観測地点

Fig. 4.1 Observation points in three influent rivers into Takahama-iri Bay

図 4.1 および 2.1 からわかるように、高浜入湾形部への流入河川は、湾口部に近いCゾーンにその両側から流入する菱木川と梶無川、高浜入最奥の高崎入湾形部(Aゾーン)に合流して流入する恋瀬川と山王川、AゾーンとCゾーンに挟まれた広い水表面積を有するBゾーンに流入する園部川と鎌田川の6河川で全てである。

#### 4-1 流入河川水量と高浜入滞留時間

まず、高浜入湾形部への流入6河川と高浜入湖水との対応関係を水理的滞留時間から検討する。高崎入湾形部（Aゾーン）は、水表面積約3.9 km<sup>2</sup>、平均水深約1.68 m、容積約6.52×10<sup>3</sup> m<sup>3</sup>であり、恋瀬川と山王川の年間総流入水量（定期観測値）より平均約15日の滞留時間となる。さらに水表面積約16.6 km<sup>2</sup>、平均水深約3.66m、容積55.6×10<sup>3</sup> m<sup>3</sup>のBゾーンを加えた（A+B）ゾーンについては、園部川と鎌田川が加わった4河川の年間総流入水量より平均約102日の滞留時間となる。同様に、小さな水表面積のCゾーンを加えた高浜入湾形部全体（A+B+C）での滞留時間は、菱木川と梶無川の推定年間総流入水量を含めた6河川全部のそれより、平均103日である。したがって、高崎入（Aゾーン）への流入河川水の影響が際だって大きいことが予測される。ここで、恋瀬川、山王川および園部川の湾奥部への流入水量は、建設省の実測値を用い、菱木川、梶無川および鎌田川の3河川には実測値のある同様の流域特性かつ同規模の河川の比流量の適用によって推定した流量を用いた。

この水理的滞留時間は、単なる平均的な目安に過ぎず、極端な場合、高崎入（Aゾーン）のように小さな湾形部では、年に7回あるかないかの45 mm以上の連続した1降雨、すなわち、豪雨時にはおよそ2日間程度の直接流出による河水が湖水と入れ替ってしまう。このような豪雨流出による流入河水は、底泥中の間隙水の性質をも一変させるほど<sup>15)</sup>、湖水を湾口部に押しやってしまう入力となっている。また、1974年12月と1975年2月の上・中旬にかけてのように、ほぼ20日間という長期間にわたり無降雨状態が継続することもあり、その後も大きな降雨がなかったこともあって、高崎入（Aゾーン）の平均滞留時間の2～3倍以上の滞留時間となることは、年に3回程度ある。したがって、高崎入（Aゾーン）のように小さな湾形部の水質には、流入河川水の影響が非常に大きいことがわかる。これは、国立公害研究所の西浦定期観測（地点1）の結果からも支持されるものである<sup>16)</sup>。

#### 4-2 高浜入流入3河川の流域概要

恋瀬川は、桜川に次いで大きな流域規模を有する河川で、上流は西側の筑波山・加波山系、東側の難台山・吾国山系の狭間を流下し、水田・畑地・樹園地の中・下流部を流れ、下流部で筑波山系の南端を流れる最も大きな支流の天の川と合流する。園部川は、西浦流入河川で5番目、高浜入では2番目の流域規模の河川であり、吾国山・難台山の東麓に源を発し、恋瀬川と北浦流入河川で最大流域規模の巴川に囲まれた流域となり、畑地と水田ほぼ同じ面積の農耕地や樹園地を流下し、下流端近くで小川町の中心街を流域内に擁する河川である。山王川は、恋瀬川と園部川に囲まれた狭小な流域であるが、上流部に石岡工業団地と樹園地を有し、中流部で石岡市街地を貫流し、下流部に水田と畑地を持ち、小流域ながら人為的な流出負荷の大きな河川である。3河川の流域特性の一覧を表4-1に示す。

恋瀬川と園部川は上流に山地を有するが、流域面積の大半は表土が関東ローム層の常陸台地にあ

表 4.1 3 河川の流域特性

Table 4.1 River basin characteristics of three influent rivers into Takahama-iri Bay

	流域面積 (km <sup>2</sup> )	河川長 (km)	河川勾配 (%)	流出率 (%)	山林面積 (ha)	田面積 (ha)	畑面積 (ha)	その他面積 (ha)	流域人口 (人)	牛頭数 (頭)	豚頭数 (頭)
恋瀬川	209.0	25	4.0	43.8	7,059	3,313	2,003	8,525	51,674	3,764	52,029
山王川	12.8	8	2.9	111.3	146	405	309	370	19,659	356	5,264
園部川	81.8	22	2.7	45.5	2,013	1,258	1,289	3,620	26,718	2,540	18,158

り、畑地を主とした浸透面の占める比率の高さと河床勾配の小さなことなどから予想されるように、この両河川とも流出率が44～45%と低い。これは降雨による直接流出量が小さいことも示唆している。これに対して、石岡市街地を流下する山王川は、別水系あるいは地下水に依存する上水や工業用水の排水を受け、屋根・道路など不浸透面比率の高さと相まって、恋瀬・園部の両河川と対照の流域特性を有している。

市街地河川の山王川流域は、人口密度では他の2河川より1オーダー高いのは当然のことながら、豚・牛の飼育頭数もかなり多く、飼育頭数では恋瀬川と園部川流域より1オーダー低いにもかかわらず、その流域面積当りの頭数では3河川中で1位あるいは1位に近いレベルとなっている。また、山王川は、水田および畑地の面積が他の2河川に比べて1オーダー低い値であるが、その流域面積が小さいため、流域面積当りの比率が最も高い河川となっている。

#### 4-3 調査内容と観測地点

毎週1回(水曜日)2年間(1978年6月～1980年5月)の定期かつ定時の水質負荷量調査を、恋瀬川下流端近くの恋瀬橋、園部川下流部の園部新橋、山王川の下流端近くの日の出橋、上流部の鹿ノ子橋で実施し、3河川の湖への流入負荷量を求めた<sup>17)～20)</sup>。さらに、後半の1年間(1979年6月～1980年5月)には、図4.2に示す山王川の石岡市街地のの上流端と下流端の2観測地点を追加した同様の調査を行い、石岡市街地からの流出負荷量を算定した<sup>19,20)</sup>。

また、2年間定期観測を実施した4観測地点については、1977年～78年の晴天時に流出負荷量周日変化調査を行い、定期観測による流出負荷量値の周日変化における位置づけを先に行っている<sup>17,18)</sup>。

小流域ながら汚濁負荷量が高く、流出負荷量の周日変化の幅が大きい山王川については、1979年～1980年の1年間に前述の4観測地点から鹿ノ子橋を除いた3地点で、晴天時の24時間周日変化観測を4回実施して、市街地河川の周日変化を詳細に検討した。

上記の流出負荷量の周日変化観測はすべて晴天時のデータであり、定期観測のデータは一部に降雨流出時のデータを含むものの、降雨流出時の流出過程のどの時点でもらえているかが不明の上、データ量が十分なほど観測頻度が高くないため、総流出負荷量の評価はむろんのこと、その中に占



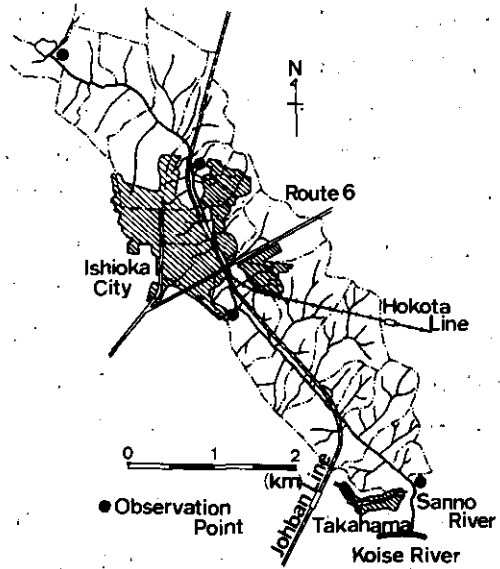


図 4.2 山王川流域概要  
 Fig. 4.2 River basin of R. Sanno

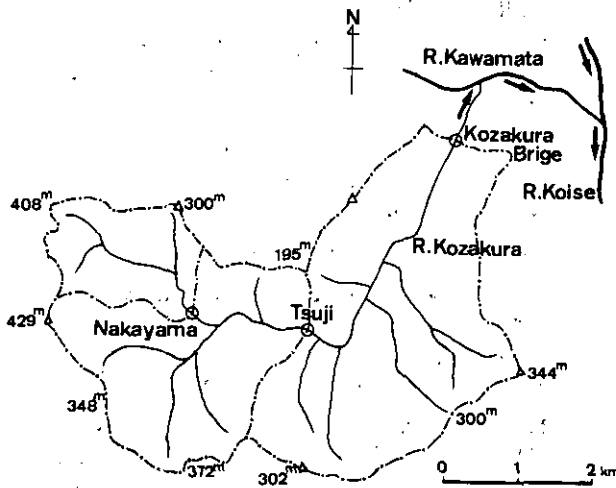


図 4.3 小桜川流域概要  
 Fig. 4.3 River basin of R. Kozakura

める降雨時流出負荷量のウェイトを正確に評価できない。このため、市街地を有する山王川と、山地および農耕地を有する恋瀬川の一支流（小桜川）において降雨時流出負荷量観測を行った。

山王川での調査は、前述の晴天時流出負荷量周日変化観測と同じく、石岡市街地の上・下流端と山王川下流端近くの日の出橋の3地点において、1979年から1980年にかけて3回実施した。小桜川

での調査は、図 4.3 に示す筑波山東麓の山地部の中山岐れと辻ポンプ場前、水田・畑地の農耕地が加わった小桜橋の3地点で、1980年に2回行われた。これらの降雨時流出負荷量観測から、土地利用状態の異なる各小流域からの降雨の直接流出に伴う比流出負荷量の算定が可能となる。

さらに、山王川については、晴天時流出物質の河道内での貯留・堆積量の算定、付着藻類や糸状菌など河床付着生物群の現存量の評価、および、これらの降雨流出や晴天期間、水温など気象条件による変化をも追跡するための調査も併せて実施した。期間は2年間の定期観測の後半の1年間、地点は石岡市街地上・下流端および山王川下流端近くの日の出橋の3地点である。調査内容は、後者2地点の底泥の分析を2週間間隔で、コンクリートブロックを人工付着板として用いた堆積物質・付着生物現存量の測定を2週間間隔と毎月1回は1週間間隔で前述の3地点で行った。この定期調査より、沈殿・堆積物質、付着生物現存量の季節変化や気象条件の違いによる影響の程度を知ることができる<sup>19)</sup>。

また、2年間にわたる流出負荷量の定期観測における測定水質項目と分析法の一覧を表4.2に示す。このほか、水温、pHおよび透視度の測定も行っている。CODは、後半の1年間について測定した。降雨時流出負荷量調査では、さらにいくつかの無機イオンを追加するなど、

表 4.2 測定項目と分析方法  
Table 4.2 Water quality indicators and their analytical methods

item	method
Flow	propeller - typed current meter
$\text{NH}_4^+ - \text{N}$	Phenol - hypochlorite or modified Nessler's reagent method
$\text{NO}_2^- - \text{N}$	N - 1 - Naphthylethylenediamine - Sulfanilamide method
$\text{NO}_3^- - \text{P}$	raduction with Hydrazine Sulfate and method for $\text{NO}_3^- - \text{N}$ , or Phenoldisulfonic acid method
T - P	Kjeldahl method, or nitrification by oxidation with Potassiumperoxodisulfate and method for $\text{NO}_3^- - \text{N}$
$\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$	Molybdate - blue method, of mixed reagent method proposed by EPA
T - P	decomposition to $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$ with Perchloric acid or Potassiumperoxodisulfate and method for $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$
DIP	decomposition with Sulfuric and method for $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$
Cl <sup>-</sup>	Mercuric thiocyanate or Silver nitrate method
COD	Alkali - potassium - permanganate method
SS	Glassfiber filter method
pH	pH meter
water temperature	mercurial thermometer

堆積物質や付着生物現存量調査を含めて、多くの項目の測定も併せて行っている。

#### 4-4 流出負荷量定期観測結果

1978年6月7日より1980年5月28日までの2年間104週間に及ぶ水質流出負荷量の各1年ごとの日負荷量と年間負荷量の形として3河川それぞれについて、表4.3に示す。河川の流域面積および

表 4.3 定期観測による日負荷量と年間負荷量  
Table4.3 Diurnal load and annual total load by weekly data

期間	恋 瀬 川						
		流 量	Inorg.-N	T-N	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P	T-P	T-COD
1978年6月	日負荷量	165	311	416	9.5	28.5	-
∩	(単位)	(10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	
1979年5月	年間負荷量	60.2	114	152	3.5	10.4	-
(365日分)	(単位)	(10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	(ton)	(ton)	(ton)	(ton)	
1979年6月	日負荷量	206	460	591	19.2	51.3	1.01
∩	(単位)	(10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(ton)
1980年5月	年間負荷量	75.1	168	216	7.0	18.7	371
(365日分)	(単位)	(10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	(ton)	(ton)	(ton)	(ton)	(ton)
期間	山 王 川						
		流 量	Inorg.-N	T-N	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P	T-P	T-COD
1978年6月	日負荷量	33.7	70	101	14.7	19.0	-
∩	(単位)	(10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	
1979年5月	年間負荷量	12.3	26	37	5.4	6.9	-
(365日分)	(単位)	(10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	(ton)	(ton)	(ton)	(ton)	
1979年6月	日負荷量	40.5	101	155	13.1	25.1	0.36
∩	(単位)	(10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(ton)
1980年5月	年間負荷量	14.8	37	57	4.8	9.1	132
(365日分)	(単位)	(10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	(ton)	(ton)	(ton)	(ton)	(ton)
期間	園 部 川						
		流 量	Inorg.-N	T-N	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P	T-P	T-COD
1978年6月	日負荷量	93	480	577	30.4	40.2	-
∩	(単位)	(10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	
1979年5月	年間負荷量	34.1	175	211	11.1	14.7	-
(365日分)	(単位)	(10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	(ton)	(ton)	(ton)	(ton)	
1979年6月	日負荷量	142	726	906	28.6	55.1	1.09
∩	(単位)	(10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(ton)
1980年5月	年間負荷量	51.9	265	330	10.5	20.1	400
(365日分)	(単位)	(10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	(ton)	(ton)	(ton)	(ton)	(ton)

表 4.4 定期負荷量  
Table 4.4 Fluctuation

	河川		流量	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	Inorg.-N'
1978年 6月	恋瀬川	平均値	1.91	0.77	0.09	2.80	3.60
		標準偏差	1.65	0.93	0.09	3.87	4.43
		変動係数	0.87	1.20	1.01	1.39	1.23
1979年 5月 (1年間)	園部川	平均値	1.08	2.96	0.37	2.31	5.67
		標準偏差	0.89	1.76	0.28	1.88	3.17
		変動係数	0.82	0.59	0.74	0.81	0.56
1979年 6月	山王川	平均値	0.39	0.37	0.07	0.35	0.81
		標準偏差	0.18	0.15	0.05	0.50	0.61
		変動係数	0.47	0.42	0.69	1.45	0.75
1979年 6月	恋瀬川	平均値	2.38	1.03	0.13	4.19	5.33
		標準偏差	2.11	1.83	0.11	4.85	5.86
		変動係数	0.89	1.77	0.83	1.16	1.10
1980年 5月 (1年間)	園部川	平均値	1.65	3.14	0.97	4.29	8.40
		標準偏差	1.71	3.01	0.67	5.91	9.18
		変動係数	1.04	0.96	0.69	1.38	1.09
1980年 5月 (1年間)	山王川	平均値	0.47	0.43	0.14	0.60	1.17
		標準偏差	0.24	0.19	0.13	0.54	0.65
		変動係数	0.52	0.43	0.88	0.90	0.56
1978年 6月	恋瀬川	平均値	2.14	0.90	0.11	3.49	4.47
		標準偏差	1.91	1.45	0.10	4.44	5.26
		変動係数	0.89	1.61	0.92	1.27	1.18
1980年 5月 (2年間)	園部川	平均値	1.36	3.03	0.68	3.28	7.00
		標準偏差	1.39	2.48	0.59	4.49	7.03
		変動係数	1.02	0.82	0.87	1.37	1.01
1980年 5月 (2年間)	山王川	平均値	0.43	0.40	0.10	0.47	0.99
		標準偏差	0.22	0.17	0.10	0.54	0.65
		変動係数	0.51	0.43	0.99	1.13	0.66

(単位は、流量 (m<sup>3</sup>/sec), 負荷量 (g/sec) である)

観測値の変動特性

characteristics of weekly load data

Org.-N	T-N	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P	DIP	Org-P	T-P	Cl-	SS	T-COD
1.22	4.81	0.11	0.16	0.18	0.33	28	65	
1.88	5.66	0.10	0.18	0.20	0.28	24	118	-
1.54	1.18	0.91	1.09	1.08	0.86	0.87	1.82	
1.29	6.77	0.53	0.59	0.09	0.68	23	12	
2.42	4.60	1.27	1.41	0.09	1.40	15	20	-
1.88	0.68	2.38	2.39	1.03	2.07	0.66	1.74	
0.37	1.17	0.17	0.18	0.04	0.22	10	8	
0.34	0.83	0.06	0.06	0.04	0.07	5	17	-
0.91	0.71	0.33	0.33	1.16	0.31	0.44	2.18	
1.45	6.84	0.22	0.26	0.34	0.59	32	69	12
2.11	7.64	0.55	0.58	0.67	1.19	25	218	17
1.46	1.12	2.48	2.24	2.01	2.00	0.79	3.15	1.45
2.10	10.48	0.33	0.37	0.28	0.64	35	40	13
3.09	12.02	0.26	0.29	0.37	0.58	34	125	13
1.47	1.15	0.79	0.79	1.34	0.90	0.96	3.11	1.03
0.62	1.79	0.15	0.16	0.13	0.29	12	12	4
0.66	1.05	0.05	0.06	0.15	0.19	4	16	3
1.06	0.58	0.35	0.38	1.17	0.64	0.32	1.41	0.65
1.33	5.82	0.17	0.21	0.26	0.46	30.0	67	
2.00	6.78	0.40	0.42	0.50	0.87	24.6	177	-
1.50	1.17	2.39	2.03	1.93	1.89	0.83	2.63	
1.56	8.57	0.34	0.38	0.18	0.53	29	27	
2.73	9.25	0.28	0.29	0.29	0.42	27	92	-
1.75	1.08	0.81	0.78	1.60	0.78	0.94	3.48	
0.49	1.48	0.16	0.17	0.08	0.25	11	9.9	
0.53	0.99	0.06	0.06	0.12	0.14	4.3	17.0	-
1.08	0.67	0.34	0.35	1.46	0.57	0.38	1.72	

流量の大きい恋瀬川がほとんどの水質項目について最も大きな平均値となっている。しかし、流域面積は小さいが、人為負荷の大きな山王川（日の出橋地点）は、その小さな流域規模にもかかわらず大きな流出負荷量を呈し、他の2河川にひけをとらぬ大きな値となっている。この流出負荷量の、1年あるいは2年という期間に対する各河川の変動特性を見るために示したのが表4.4である。

この平均値が大きな意味をもつか否かは、各水質項目ごとの流出負荷量の頻度分布を調べれば明らかになる。単なる算術平均値が重要な目安として意味をもつには、原データが正規分布の場合であり、その標準偏差と平均値の関係を表わす変動係数から見て、水質項目によっては、平均値から期間当りの流出負荷量を算定することに疑義が残る。それは変動係数の大きい浮遊物質あるいは懸濁態成分、さらに、懸濁態成分が大きなウェイトを占めるTotal量表示の水質項目に対してである。

各水質項目の2年間104個のデータについて、その頻度分布を示したものが図4.4(a)から図4.4(m)である。これらの図より、流量自身が正規分布でないため、各水質負荷量も正規分布のものは少なくなる。これを判断するには、データを大小順にして、正規確率紙、あるいは、対数正規確率紙上にプロットすれば、分布形が明らかとなる。その例を流量について示したものが図4.5(a), (b)である。このように、水質濃度で正規分布するものが多いにもかかわらず、ほとんどの水質負荷量は対数正規分布に近い形となる<sup>21, 22, 23</sup>。CI-は濃度、負荷量ともにほぼ正規分布に近いように、河川や水質によっては正規分布として取り扱うるものもある。しかし、浮遊物質、懸濁態成分のウェイトの高い水質項目については、対数正規分布か、ほぼ対数正規分布形で幾分か上下で歪んだものとなる。

このような頻度分布や変動係数から考えると、水質負荷量に関しては、毎週1回程度の粗い間隔

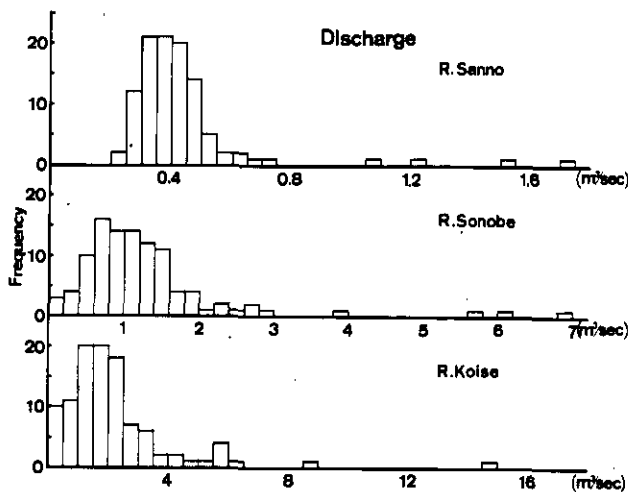


図 4.4(a) 流量の頻度分布  
Fig. 4.4(a) Frequency distribution of flow

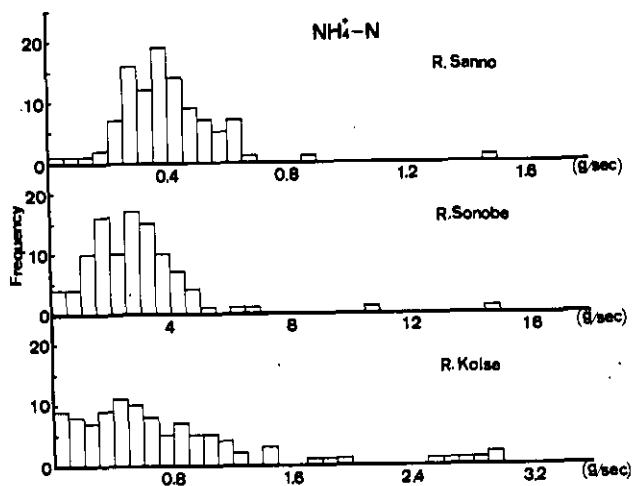


図 4.4(b)  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  負荷量の頻度分布  
 Fig. 4.4(b) Frequency distribution of  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  load

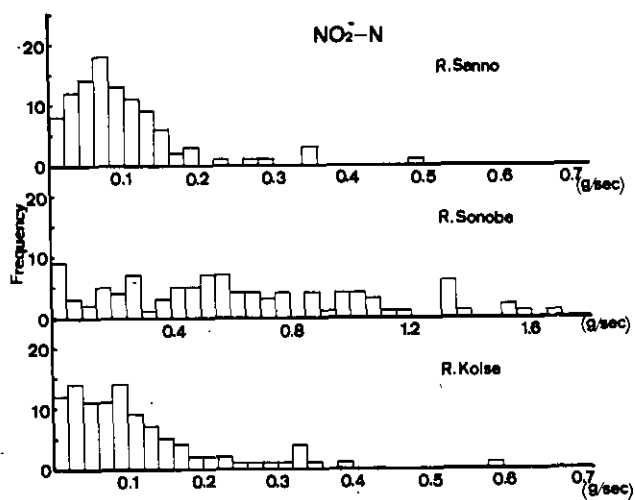


図 4.4(c)  $\text{NO}_2^--\text{N}$  負荷量の頻度分布  
 Fig. 4.4(c) Frequency distribution of  $\text{NO}_2^--\text{N}$  load

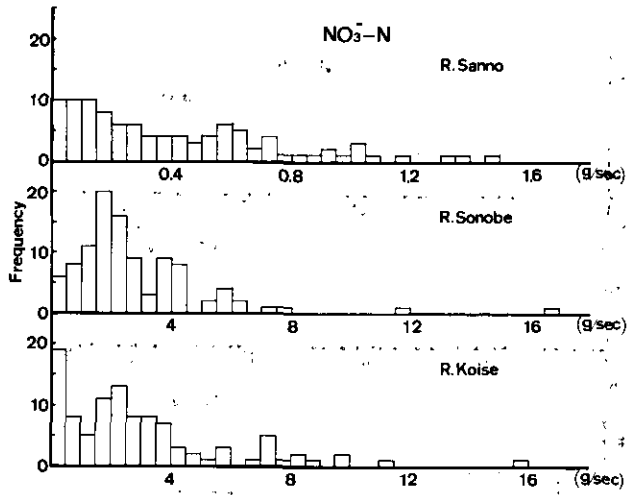


図 4.4(d)  $\text{NO}_3\text{-N}$  負荷量の頻度分布  
 Fig. 4.4(d) Frequency distribution of  $\text{NO}_3\text{-N}$  load

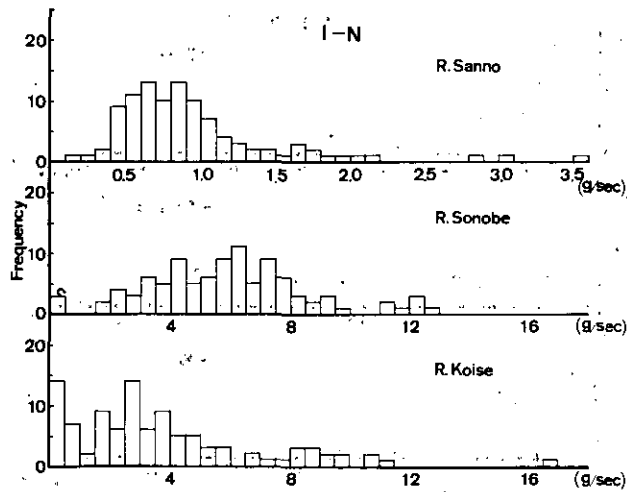


図 4.4(e) Inorg.-N 負荷量の頻度分布  
 Fig. 4.4(e) Frequency distribution of Inorg.-N load



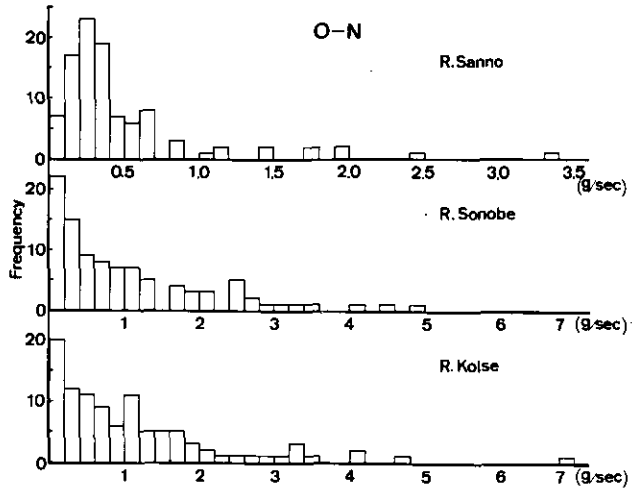


図 4.4(f) Org.-N負荷量の頻度分布  
 Fig. 4.4(f) Frequency distribution of Org.-N load

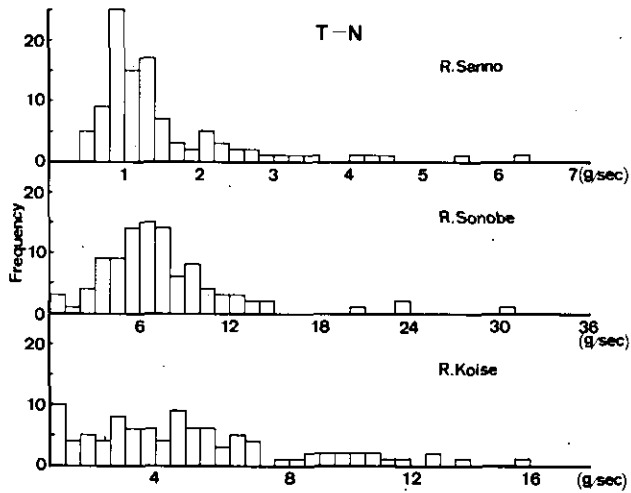


図 4.4(g) T-N負荷量の頻度分布  
 Fig. 4.4(g) Frequency distribution of T-N load

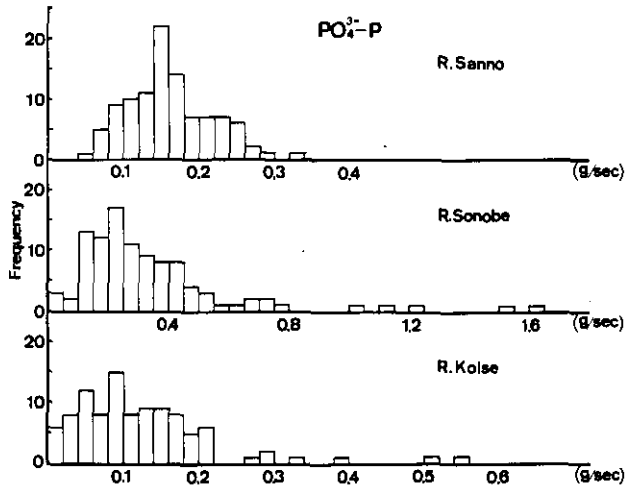


図 4.4(h) PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P 負荷量の頻度分布  
 Fig. 4.4(h) Frequency distribution of PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P load

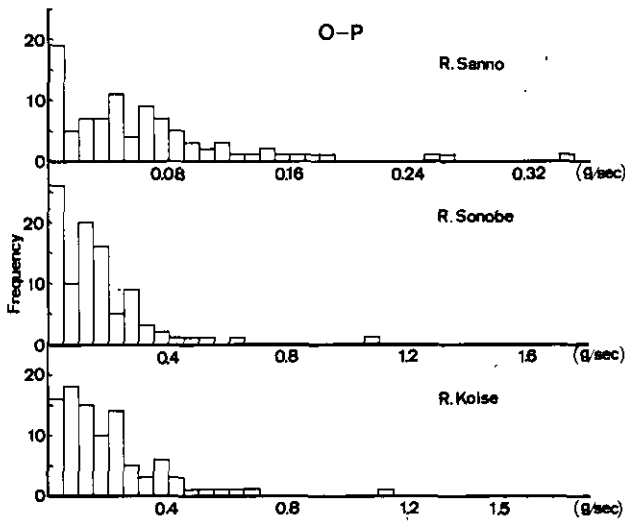


図 4.4(i) Org.-P 負荷量の頻度分布  
 Fig. 4.4(i) Frequency distribution of Org.-P load

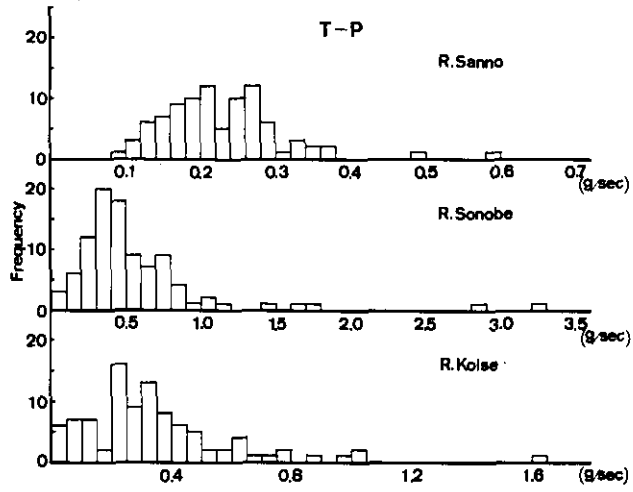


図 4.4(j) T-P 負荷量の頻度分布  
 Fig. 4.4(j) Frequency distribution of T-P load

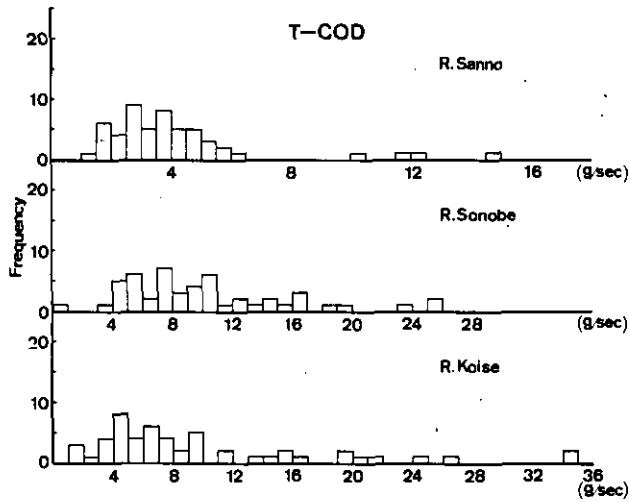


図 4.4(k) T-COD 負荷量の頻度分布  
 Fig. 4.4(k) Frequency distribution of T-COD load

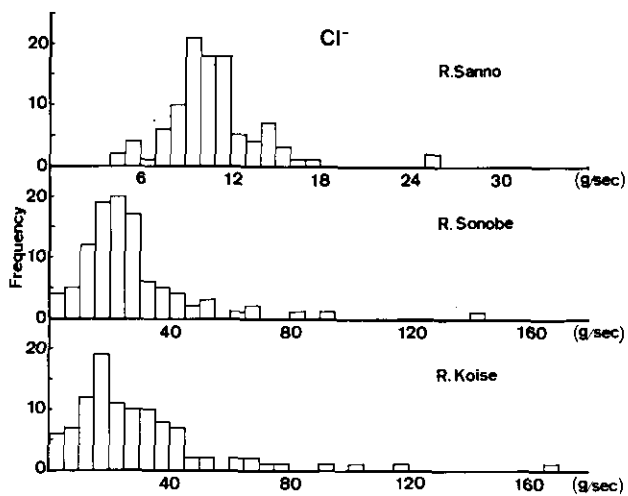


図 4.4(1)  $Cl^-$  負荷量の頻度分布  
 Fig. 4.4(1) Frequency distribution of  $Cl^-$  load

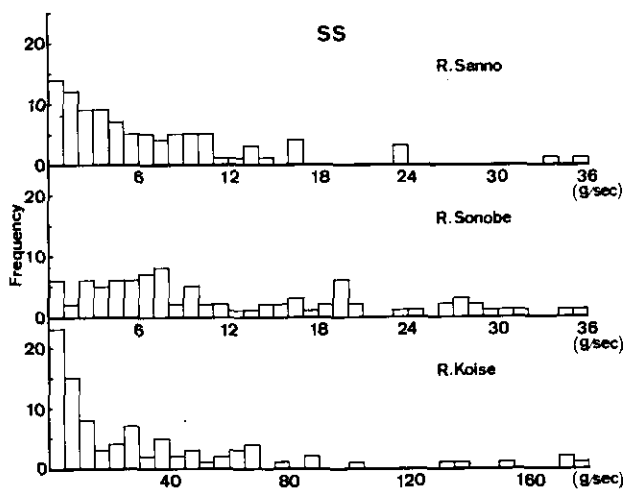


図 4.4(m) SS 負荷量の頻度分布  
 Fig. 4.4(m) Frequency distribution of SS load

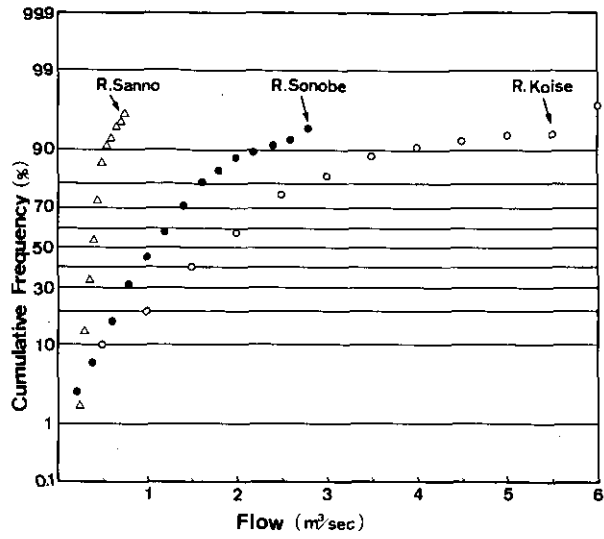


図 4.5(a) 正規確率紙による流量の累積頻度分布  
 Fig. 4.5(a) Cumulative frequency distribution of flow on normal probability paper

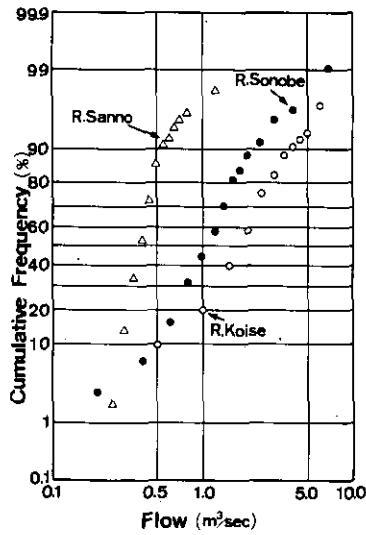


図 4.5(b) 対数正規確率紙による流量の累積頻度  
 Fig. 4.5(b) Cumulative frequency distribution of flow on logarithmic normal probability paper

の定期観測値をもとにした平均値を、長い算定期間にそのまま全体の平均値として適用し、期間中の総流出負荷量を推定するには、その精度に関する十分な吟味が必要となる。

したがって、以下に、各回の観測値が各週の代表値であると考えて、年間、季節別および月別の流出負荷量の変化とその特性の検討を行う。さらに、毎週1回の定期観測値が24時間の周日変化においてどのような位置を占めるかを検討することにする。

#### 4-4-1 年間流出負荷量の相違

一般に、時期が違えば、負荷発生源や負荷発生量は異なるけれども、この連続した2年間には、3河川流域とも負荷発生源には大きな変化はなく、差違があるとしても無視し得る程度であると考えて、以下の議論を進めることにする。

恋瀬川、園部川および山王川の霞ヶ浦への流入端近くの観測地点について、1978年6月から1979年5月までの1年間(52回)の各種水質負荷量の平均値を100としたとき、1979年6月から1980年5月までの1年間(52回)のそれぞれの値の大きさを、降雨量や流量のそれと併せて示したものが図4.6である。この図より、恋瀬川では、降雨量と流量がともに20%強と同程度の増加であるのに対して、 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ とInorg.  $-\text{N}$ は50%の増加、 $\text{PO}_4^{3-} \text{-P}$ 、Org.  $-\text{P}$ およびT-Pはそれぞれ2.0倍、1.8倍および1.8倍とさらに大幅の増加となっている。これらの大きな増加率に対して、Org.  $-\text{N}$ 、Cl $^-$ およびSSはそれぞれ19%、16%および7%の増加と、流量の増加率を下回っている。この増加率の低いグループと、リン関係の高い増加率グループの間に、 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ の35%増加、T-Nの42%増加のように窒素関係が32%~50%増加の中位グループを形成している。

園部川では、流量の増加率が53%と大きく、Cl $^-$ 、Inorg.  $-\text{N}$ およびT-Nが50%前後と流量と同

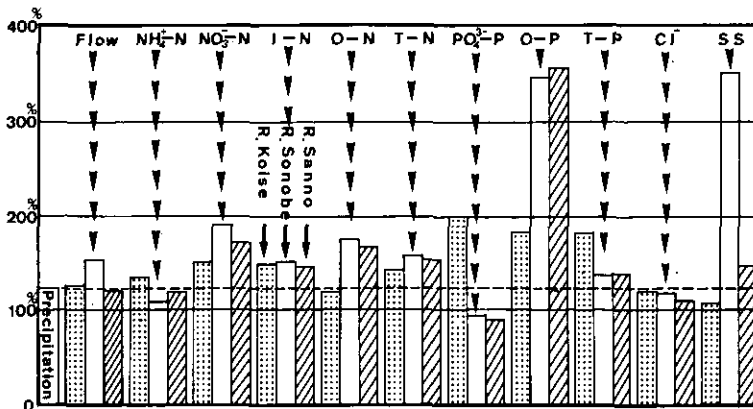


図 4.6 年間流出負荷量の経年変化

Fig. 4.6 Variation of annual total load with weekly data

程度の増加率である。増加率の高いものはOrg.-PとSSとともに3.4倍と著しい増加であり、Org.-NとT-Nはそれぞれ75%、85%の増加となっている。流量より増加率の低いものに8%増加の $\text{NH}_4^+-\text{N}$ 、37%増加のT-Pのほか、 $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$ の6%減少が目立った特徴である。

山王川では、恋瀬川とほぼ同率の20%増加の流量に対して、 $\text{NH}_4^+-\text{N}$ が18%、Inorg.-Nが45%、T-Nが53%、Org.-Nが66%、 $\text{NO}_3^--\text{N}$ が71%の順に窒素関係が増加している。Org.-Pが3.6倍もの大きな増加率となっているほか、 $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$ の11%減少が目立った特徴である。そのほか、Cl<sup>-</sup>は10%と増加率が低く、T-PとSSはそれぞれ34%と46%の増加で、流量の増加率を上回っている。

3河川全体については、Cl<sup>-</sup>と $\text{NH}_4^+-\text{N}$ が流量の増加率並か、それを下回る程度の増加にとどまり、Org.-Nは流量の増加率並か、それを少し上回る程度しか増加しないのに対して、 $\text{NO}_3^--\text{N}$ は流量の増加率をかなり上回るほか、Org.-Pの増加は1.8~3.6倍とはるかに大きな値となっている。このほか、リンに関しては、 $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$ 、T-Pのいずれにおいても各河川ごとの変動が大きく現われ、不揃いの増加率を示している。このことは、SSについても同様のことが言える。各河川に関しては、園部川での増加率の高さが著しく、恋瀬川ではリンの増加率が高く、山王川ではOrg.-Pのみの増加率の高さが目立った特徴である。これらは、最も大きな流域面積で農耕地を流れる恋瀬川と小さな流域面積に人口や工場の集中する市街地を流下する山王川では比較的变化が小さく、その流域規模と流域内の土地利用状態がともに中間的な性格の園部川で変化が大ききことを示している。それは、流量の増加率が園部川で最も大きいことから、定期観測値に降雨時流出の影響がどの程度反映されているか、さらに、各河川での土地利用状態をはじめとする流域特性と流量・負荷量の流出特性の関係がどの程度支配的な因子となっているかによると考えられる。

この3河川の定期観測値の流量と水質負荷量の関係を、2年間（CODについては後半の1年間のデータについてプロットしたのが図4.7から図4.9である。恋瀬川では、全般に、流量と水質負荷量の関係が対数紙上で線形に近い分布を示している。これは、流域内に山林や農耕地など自然的な地表面構成が多く残されていることを示しているが、 $\text{NH}_4^+-\text{N}$ やOrg.-Pなどでは必ずしもそうではなく、園部川のように、線形の一部を残しながらも幾分乱れた分布となる。市街地河川の山王川では、 $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$ 、 $\text{NH}_4^+-\text{N}$ 、CODなど人為的な汚濁負荷の影響を強く反映する水質因子については、流量と流出負荷量の関係が定かではなく、T-Pが一群の分布となるのは注目に値する。これは、山王川が石岡市街地の生活排水や工場排水を受け、その負荷量がかなり安定した一定量に近いことを表わしており、市街地からの負荷が全流域からの負荷の中で占めるウエイトの高さを如実に示すものである。

流量変化に対して最も鋭敏な応答を示す水質因子はSSであるが、T-Pも流量変化に対してかなり明確な追従を見せる。むしろ、Cl<sup>-</sup>の流量との相関の高さは際立ったものであるが、両対数紙上の線形関係の勾配が市街地河川の山王川で小さく、田園地河川の恋瀬川と中間的な性格の園部川では大きく、両者はほぼ同じ勾配であった。SSについてもCl<sup>-</sup>と同様のことが言えるが、園部川が恋瀬川より大きな勾配となっている。

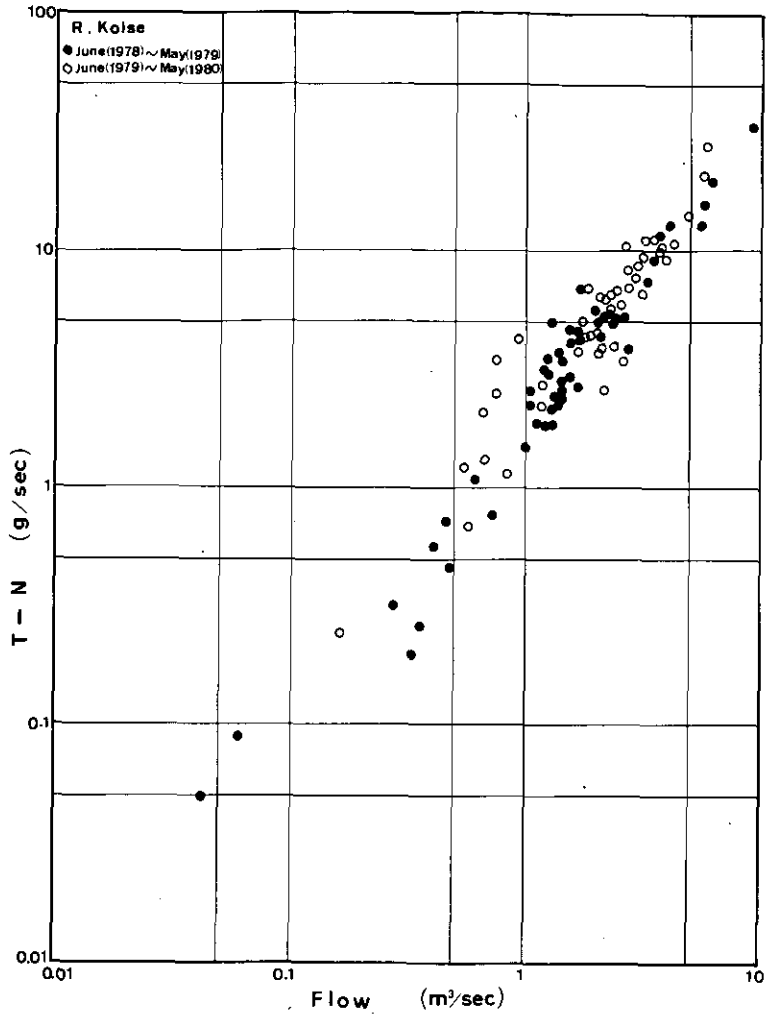


図 4.7(a) 流量とT-N負荷量の関係 (恋瀬川)  
 Fig. 4.7(a) Relationship between flow and T-N load (R. Koise)



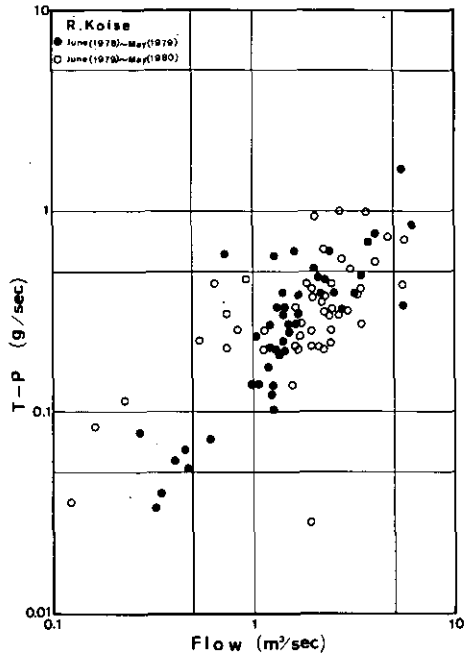


図 4.7(b) 流量とT-P負荷量の関係 (恋瀬川)  
 Fig. 4.7(b) Relationship between flow and T-P load (R. Koise)

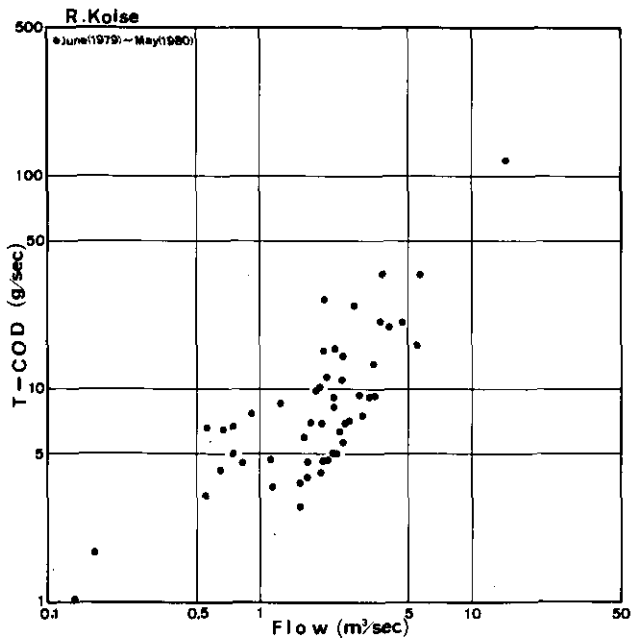


図 4.7(c) 流量とT-COD負荷量の関係 (恋瀬川)  
 Fig. 4.7(c) Relationship between flow and T-COD load (R. Koise)

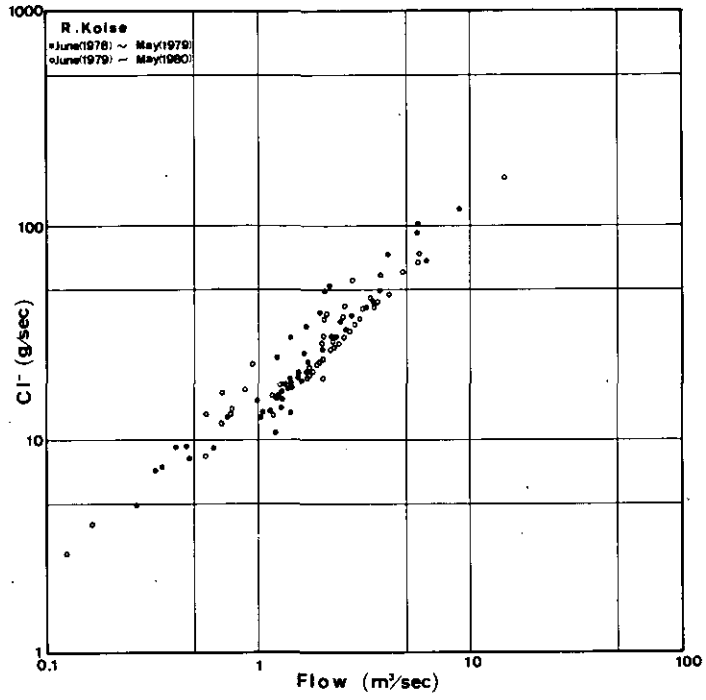


図 4.7(d) 流量とCl<sup>-</sup>負荷量の関係 (恋瀬川)  
 Fig. 4.7(d) Relationship between flow and Cl<sup>-</sup> load (R. Koise)

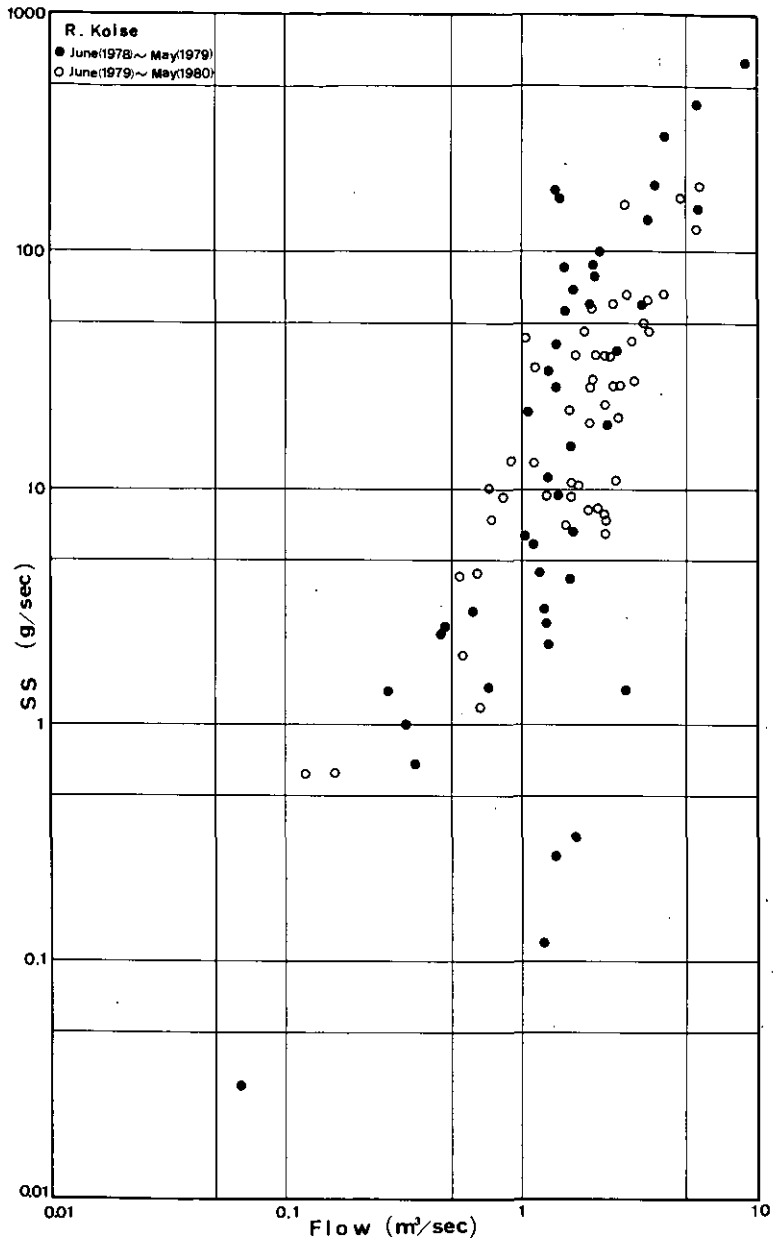


図 4.7(e) 流量とSS負荷量の関係 (恋瀬川)  
 Fig. 4.7(e) Relationship between flow and SS load (R. Koise)

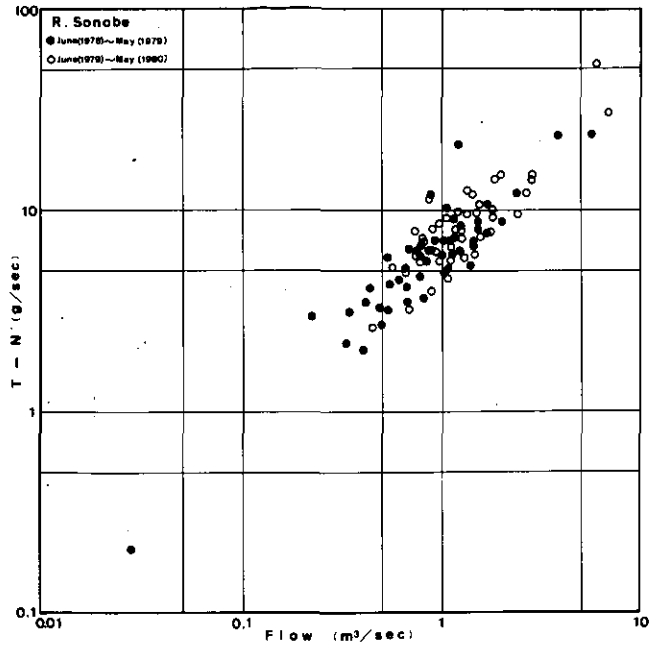


図 4.8(a) 流量とT-N負荷量の関係 (園部川)  
 Fig. 4.8(a) Relationship between flow and T-N load (R. Sonobe)

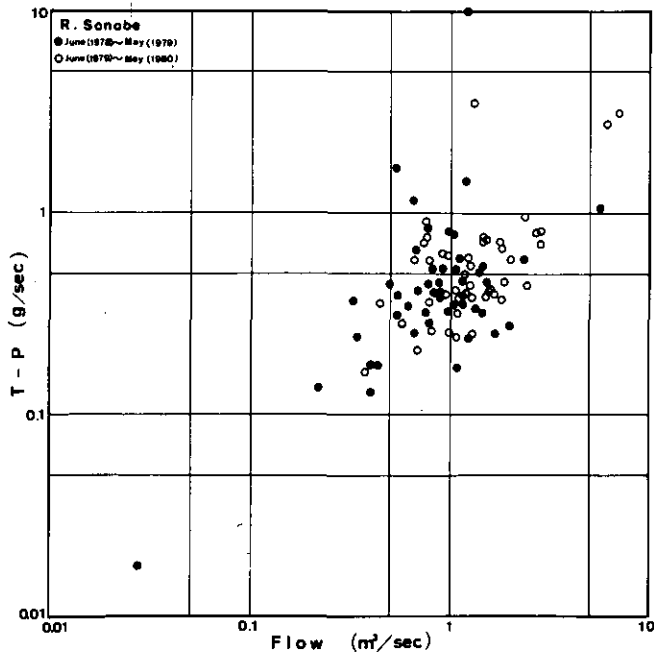


図 4.8(b) 流量とT-P負荷量の関係 (園部川)  
 Fig. 4.8(b) Relationship between flow and T-P load (R. Sonobe)

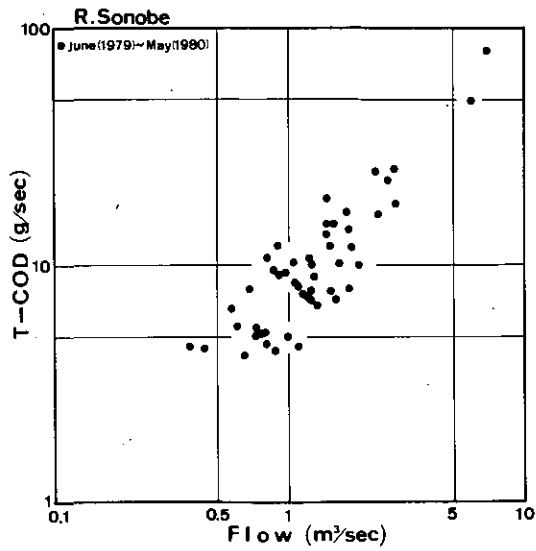


図 4.8(c) 流量とT-COD負荷量の関係 (園部川)  
 Fig. 4.8(c) Relationship between flow and T-COD load (R. Sonobe)

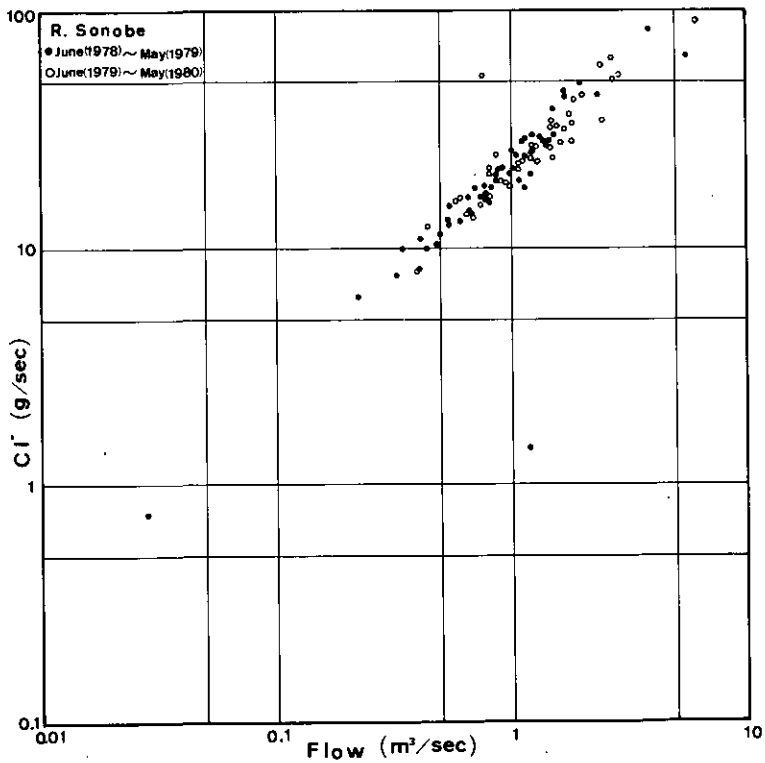


図 4.8(d) 流量とCl⁻負荷量の関係 (園部川)  
 Fig. 4.8(d) Relationship between flow and Cl⁻ load (R. Sonobe)

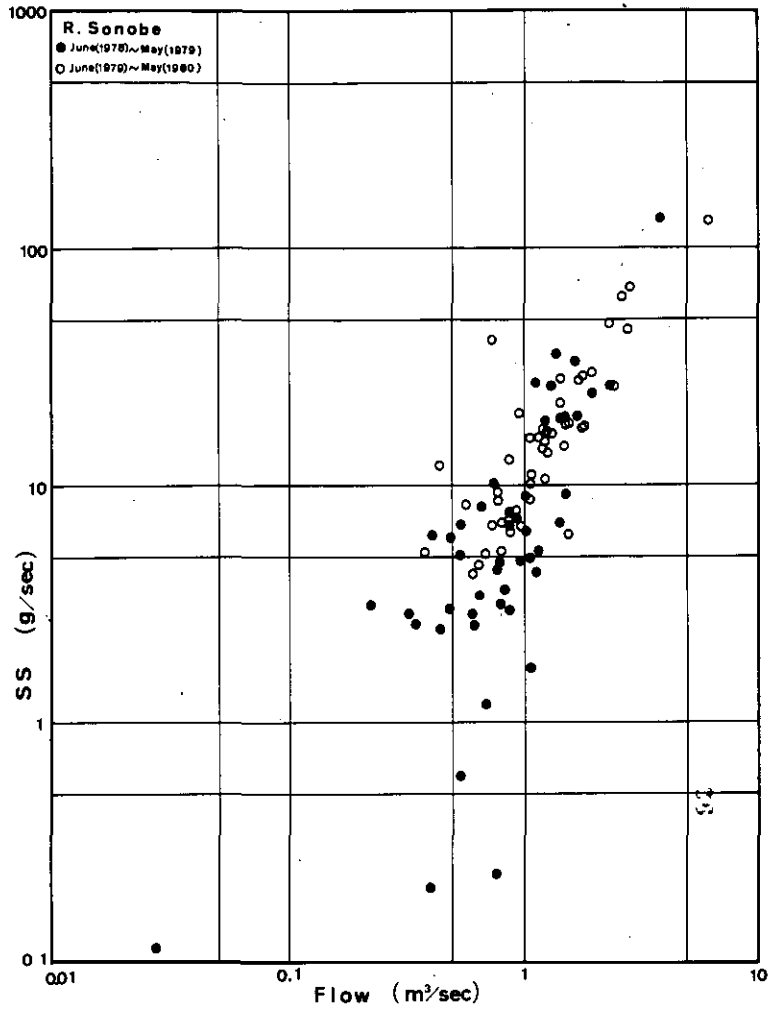


図 4.8(e) 流量とSS負荷量の関係(園部川)  
 Fig. 4.8(e) Relationship between flow and SS load (R. Sonobe)

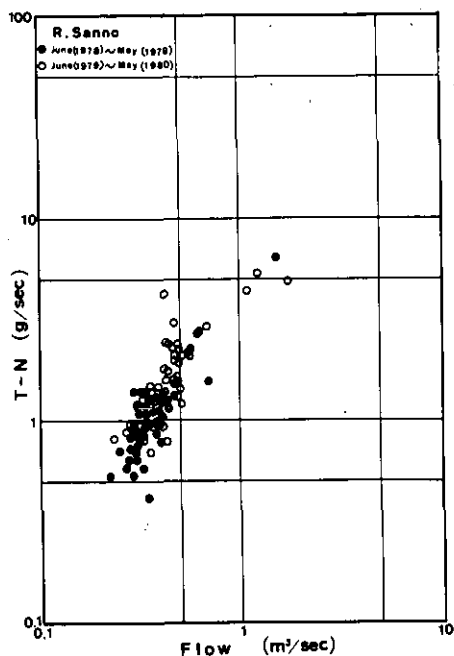


図 4.9(a) 流量とT-N負荷量の関係 (山王川)  
 Fig. 4.9(a) Relationship between flow and T-N load (R. Sanno)

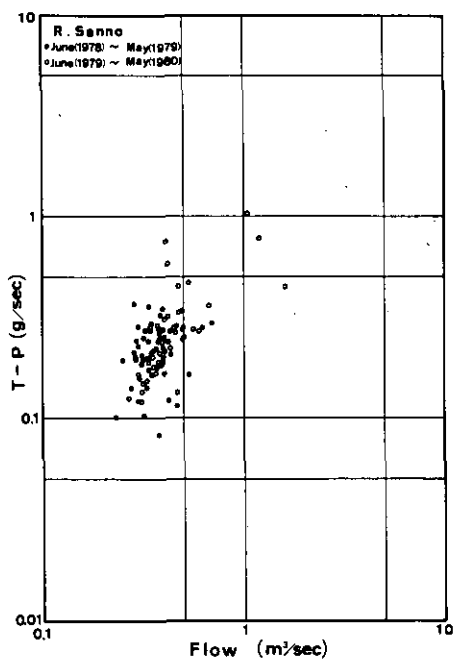


図 4.9(b) 流量とT-P負荷量の関係 (山王川)  
 Fig. 4.9(b) Relationship between flow and T-P load (R. Sanno)

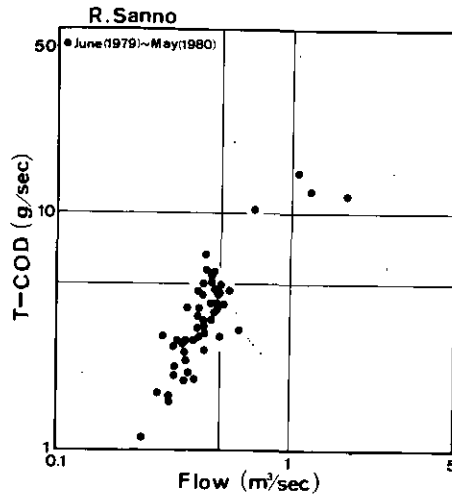


図 4.9(c) 流量とT-COD負荷量の関係 (山王川)  
 Fig. 4.9(c) Relationship between flow and T-COD load (R. Sanno)

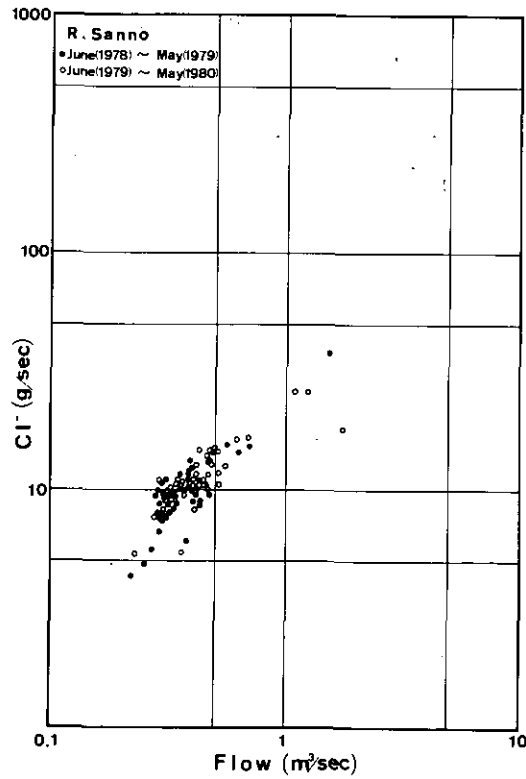


図 4.9(d) 流量とCl⁻ 負荷量の関係 (山王川)  
 Fig. 4.9(d) Relationship between flow and Cl⁻ load (R. Sanno)



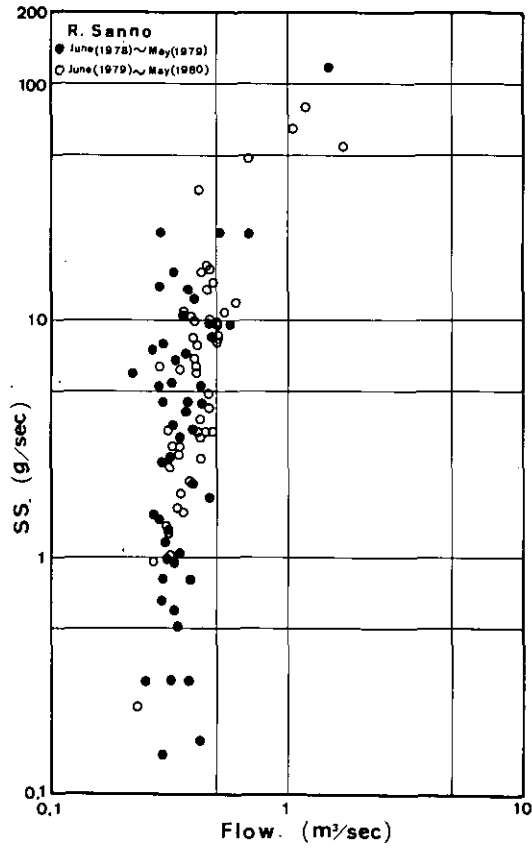


図 4.9(e) 流量とSS負荷量の関係 (山王川)  
 Fig. 4.9(e) Relationship between flow and SS load (R. Sanno)

#### 4-4-2 季節別流出負荷量の変化とその特性

1年間52回の観測値を4つの季節、夏(6月~8月)、秋(9月~11月)、冬(12月~2月)、春(3月~5月)に分け、各々13回ずつの観測の平均および変動係数によって、各季節流出負荷量の変化とその特性を2年間の8個のデータから検討した。

各季節の平均値と変動係数を示したものが表4.5(a)~(c)である。このうち6月から8月までの夏季間は、灌漑期のため、下流端での流量の低さが、降水量の小ささ以上に目立ち、多くの水質項目でその流出負荷量が最も小さい季節であることが、3河川に共通した特徴である。このように、降雨量の季節的な大きな偏りのために、流出負荷量の変動の大きな水質項目では、季節流出負荷量の平均値に大きな差違がもたらされることになる。例えば、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ では、最大の季節と最小の季節の差が園部川で11倍、恋瀬川で5.5倍、山王川で5倍となる。さらにSSでは10倍から15倍と差が開いている。これらの例は、流量の季節間差の2倍から3倍を大きく上回るものであり、流量変化の幅に対して水質負荷量変化の幅がさらに大きいことが、ここでも明らかとなる。

図4.10(a)から図4.10(k)は、3河川それぞれの各種の水質項目について、8個のデータによる流量と流出負荷量の関係を両対数紙上で示したものである。4-4-1における1年間52個のデータの場合と比べると、グループ化により多少バラツキが目立つが、全体の傾向には大きな変化は見られない。 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ とOrg.-Nが流量変化によく対応した流出負荷量変化を呈している。山王川では、 $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$ 、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、COD、T-Pなどが一群の分布となり、流出負荷量があまり流量の影響を受けていないことを示している。

3河川全体について、降雨量もあまり多くなく、灌漑用水取水により下流での流量レベルの低さが目立つ夏季と、降雨量の少い冬季に、多くの水質項目で低い流出負荷量となり、降雨量も流量も多い秋季と春季にほとんどの水質項目で高い流出負荷量となる傾向が見られる。この傾向は、田園地河川の恋瀬川で最も著しく、市街地河川の山王川では明確に現われず、この傾向から外れる水質項目が多い。

#### 4-4-3 月別流出負荷量の変化とその特性

月別の流出負荷量は、月によって観測回数が4回あるいは5回と異なることのほか、その観測回数が少ないので、季節別流出負荷量よりも変動が激しいことは当然予想される。また、4ないし5回の観測の中に降雨時流出の大きな影響が含まれているか否かも大きな変動の要因と考えられる。

例えば、恋瀬川では、渇水時の1978年8月に対する豊水時の1979年5月の比が流量で13.3倍になるほか、水質負荷量では $\text{NO}_3^- - \text{N}$ の93.8倍を最高に、Org.-Nや $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ が22倍から28倍にも達する。園部川では、1979年7月の渇水時に対する同年10月の豊水時の比が流量で11.1倍であるが水質負荷量ではさらに差が大きくなり、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ の15倍、Org.-Nの22倍など流量の比を大きく上回る。しかし、山王川での流量変化の幅は小さく、差も最大の大きいものが1979年9月と10月の間で、それもせいぜい3.1倍になる程度と小さい。水質負荷量では $\text{NO}_3^- - \text{N}$ の1979年7月と10月の間の10.6倍

が最大で、比較的安定した変化特性となっている。ただ、SSの流出負荷量は、月別の最大値と最小値の間には、恋瀬川で362倍、園部川で47倍、山王川で26倍と、群を抜く差違が出現している。

この月別流出負荷量と流量の関係をT-NとT-Pについて両対数紙上にプロットした例が、図4.11(a)~図4.11(c)である。これを、4-4-1の2年間データのプロットや4-4-2の季節別のデータのプロットと対照すれば、その変動幅や両者の関係はさらに明らかなものとなる。

このように、月別流出負荷量は変動幅がかなり大きなものとなり、期間の区切り方や観測頻度のとり方によっては、期間総流出負荷量の算定で、大きな差違が出現することになる。したがって、毎週1回程度の定時観測の頻度では、統計的に精度の高い月別流出負荷量を得ることが難しいと考えられる。

表 4.5(a) 流出負荷量とその変動係数の季節変化 (恋瀬川)  
 Table 4.5(a) Seasonal variation of river load and its coefficient of variance  
 (R. Koise)

	季節	降雨量		流量	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	Inorg.-N	Org.-N	T-N	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P	Org.-P	T-P	Cl <sup>-</sup>	SS	T-COD
1978年 6月	6~8月	154 mm	平均値	1.15	0.39	0.96	1.41	1.14	2.55	0.09	0.13	0.25	17	22	-
			変動係数	1.38	1.97	1.65	1.71	2.42	2.01	1.64	1.33	1.13	0.98	2.57	-
9~11月	353 mm	平均値	2.31	0.87	2.79	3.61	1.98	5.59	0.13	0.19	0.35	34	45	-	
		変動係数	0.53	1.31	0.82	0.71	0.91	0.72	0.47	0.79	0.53	0.72	1.86	-	
1979年 5月	12~2月	174 mm	平均値	1.83	0.86	3.34	4.23	0.41	4.63	0.11	0.18	0.33	23	47	-
			変動係数	0.51	0.98	0.68	0.67	0.67	0.62	0.83	0.67	0.58	0.55	1.23	-
3~5月	411 mm	平均値	2.34	0.97	4.10	5.15	1.34	6.49	0.13	0.25	0.40	37	132	-	
		変動係数	0.97	0.82	1.58	1.38	1.03	1.28	0.72	1.23	1.05	0.86	1.36	-	
1979年 6月	6~8月	284 mm	平均値	1.10	0.46	0.70	1.20	0.79	1.91	0.07	0.17	0.24	16	11	7.5
			変動係数	0.70	0.97	0.94	0.82	1.19	0.89	0.74	0.89	0.78	0.68	1.12	0.91
9~11月	520 mm	平均値	3.76	0.83	7.72	8.68	2.46	11.14	0.20	0.43	0.69	47	170	17.9	
		変動係数	0.89	0.76	0.98	0.95	1.49	1.06	0.77	2.17	1.70	0.80	2.39	1.65	
12~2月	115 mm	平均値	2.06	0.84	3.85	4.79	1.35	6.11	0.12	0.17	0.31	26	22	6.8	
		変動係数	0.23	0.36	0.41	0.35	0.39	0.32	0.38	0.57	0.40	0.24	0.75	0.79	
1980年 5月	3~5月	413 mm	平均値	2.60	1.98	4.49	6.62	1.15	7.80	0.48	0.54	1.06	38	73	14.7
			変動係数	0.50	1.68	0.63	0.87	0.91	0.78	2.12	1.54	1.74	0.47	0.93	0.67

(単位は、流量 (m<sup>3</sup>/sec), 負荷量 (g/sec) である)

表 4.5(b) 流出負荷量とその変動係数の季節変化 (園部川)  
 Table 4.5(b) Seasonal variation of river load and its coefficient of variance  
 (R. Sonobe)

	季節	降雨量		流量	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	Inorg.-N	Org.-N	T-N	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P	Org.-P	T-P	Cl <sup>-</sup>	SS	T-COD
1978年 6月	6~8月	154	平均値	1.07	2.94	1.37	4.62	2.17	6.80	0.44	0.06	0.55	17	4.9	--
			変動係数	1.28	0.89	0.99	0.71	1.87	1.00	0.74	1.47	0.75	0.92	0.57	
1979年 5月	9~11月	353	平均値	1.02	2.79	2.32	5.68	1.30	6.88	0.46	0.08	0.57	24	8.3	--
			変動係数	0.42	0.41	0.36	0.32	0.95	0.39	0.86	0.75	0.70	0.47	0.87	
1979年 5月	12~2月	174	平均値	1.05	2.82	2.94	5.96	0.38	6.33	0.30	0.08	0.41	22	6.3	--
			変動係数	0.49	0.54	0.54	0.42	1.17	--	0.52	1.22	0.43	0.43	0.81	
1979年 6月	3~5月	411	平均値	1.17	3.33	2.68	6.49	0.92	7.40	0.23	0.12	0.34	28	26.5	--
			変動係数	0.78	0.38	1.05	0.66	1.06	0.68	0.38	0.74	0.32	0.69	1.32	
1979年 6月	6~8月	284	平均値	0.77	2.23	1.40	4.10	1.12	5.31	0.20	0.17	0.40	18	9.5	7.4
			変動係数	0.50	0.49	0.62	0.46	1.33	0.52	0.53	0.94	0.60	0.48	0.58	0.60
1979年 6月	9~11月	520	平均値	2.56	3.89	7.73	12.69	3.59	15.96	0.43	0.41	0.86	52	102.2	16.8
			変動係数	1.07	1.16	1.25	1.15	1.14	1.15	0.58	1.53	0.91	0.98	2.30	1.22
1960年 5月	12~2月	115	平均値	1.73	3.82	4.84	9.88	2.72	12.60	0.38	0.27	0.68	37	26.0	13.5
			変動係数	0.79	0.87	0.92	0.85	1.28	0.93	0.98	0.94	0.95	0.88	1.28	0.89
1960年 5月	3~5月	413	平均値	1.54	2.63	3.20	6.94	0.71	7.65	0.30	0.24	0.56	33	23.9	12.9
			変動係数	0.37	0.37	0.41	0.30	0.82	0.31	0.50	0.46	0.43	0.44	0.69	0.48

(単位は、流量 (m<sup>3</sup>/sec)、負荷量 (g/sec) である)

表 4.5(c) 流出負荷量とその変動係数の季節変化 (山王川)

Table 4.5(c) Seasonal variation of river load and its coefficient of variance  
(R. Sanno)

	季節	降雨量		流量	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	Inorg.-N	Org.-N	T-N	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P	Org.-P	T-P	Cl <sup>-</sup>	SS	T-COD
1978年 6月	6~8月	154 mm	平均値	0.38	0.38	0.18	0.62	0.39	1.02	0.16	0.04	0.22	10.3	9.3	-
			変動係数	0.03	0.32	0.89	0.42	0.95	0.55	0.37	1.17	0.37	0.31	0.63	-
1979年 5月	9~11月	353 mm	平均値	0.35	0.30	0.14	0.63	0.47	1.05	0.19	0.04	0.24	10.1	7.5	-
			変動係数	0.17	0.42	1.20	0.46	0.62	0.38	0.29	0.83	0.32	0.12	0.92	-
1979年 5月	12~2月	174 mm	平均値	0.26	0.37	0.37	0.80	0.14	0.94	0.15	0.02	0.19	9.3	1.4	-
			変動係数	0.20	0.32	0.68	0.35	0.35	0.30	0.30	0.98	0.22	0.21	0.77	-
1979年 6月	3~5月	411 mm	平均値	0.50	0.41	0.69	1.18	0.49	1.67	0.17	0.05	0.23	12.3	14.2	-
			変動係数	0.63	0.50	1.21	0.86	0.80	0.82	0.30	1.22	0.18	0.66	2.19	-
1979年 6月	6~8月	284 mm	平均値	0.29	0.46	0.28	0.90	1.05	1.94	0.18	0.15	0.36	10.7	7.4	4.0
			変動係数	0.33	0.22	0.71	0.26	0.95	0.55	0.26	1.17	0.51	0.14	0.52	0.23
1979年 6月	9~11月	520 mm	平均値	0.59	0.38	0.91	1.44	0.68	2.12	0.15	0.15	0.31	13.3	18.9	4.6
			変動係数	0.67	0.33	0.85	0.60	0.80	0.60	0.29	0.30	0.57	0.33	1.19	0.71
1980年 5月	12~2月	115 mm	平均値	0.41	0.50	0.50	1.08	0.44	1.52	0.13	0.10	0.23	11.0	10.0	3.5
			変動係数	0.50	0.60	0.78	0.62	0.73	0.64	0.48	1.78	1.01	0.46	1.81	0.99
1980年 5月	3~5月	413 mm	平均値	0.44	0.39	0.69	1.27	0.34	1.60	0.14	0.12	0.27	11.5	10.5	4.5
			変動係数	0.23	0.26	0.52	0.41	0.66	0.37	0.30	0.70	0.32	0.16	1.12	0.46

(単位は、流量 (m<sup>3</sup>/sec), 負荷量 (g/sec) である)

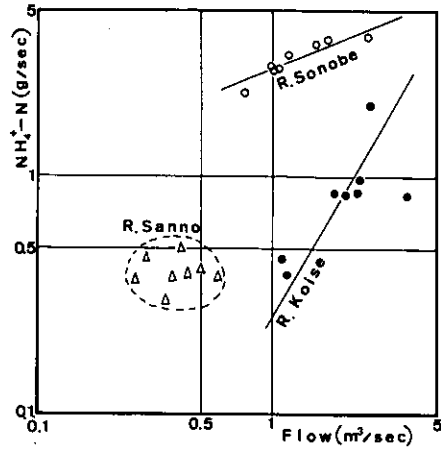


図 4.10(a) 季節別の流量と $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 負荷量の関係  
 Fig. 4.10(a) Relationship between seasonal flow and  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  load

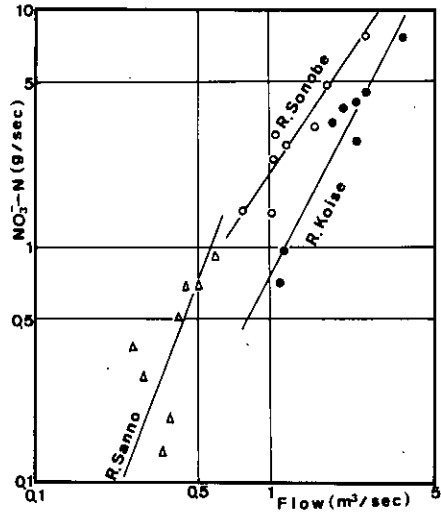


図 4.10(b) 季節別の流量と $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 負荷量の関係  
 Fig. 4.10(b) Relationship between seasonal flow and  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  load

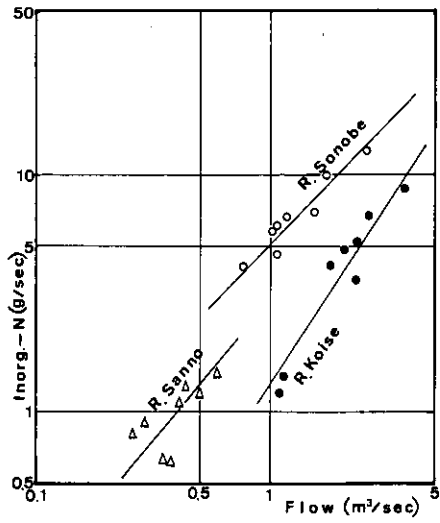


図 4.10(c) 季節別の流量とInorg.-N負荷量の関係  
 Fig. 4.10(c) Relationship between seasonal flow and Inorg.-N load

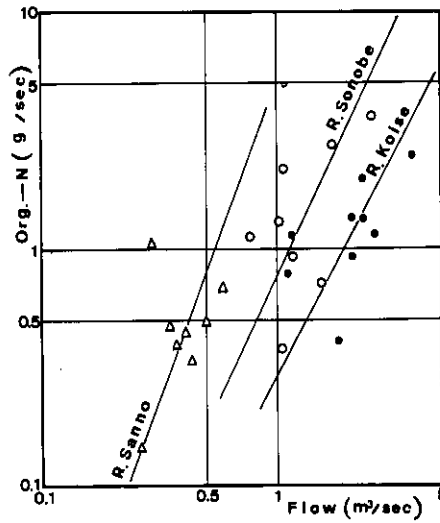


図 4.10(d) 季節別の流量とOrg.-N負荷量の関係  
 Fig. 4.10(d) Relationship between seasonal flow and Org.-N load



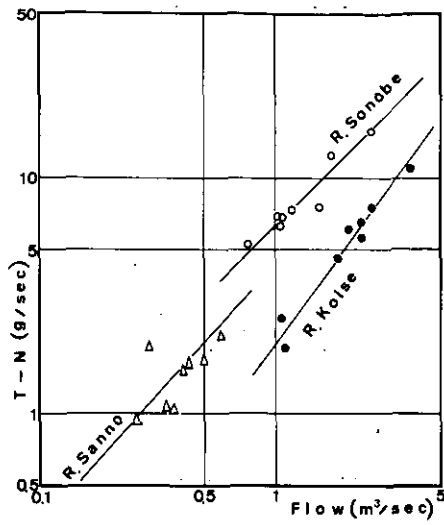


図 4.10(e) 季節別の流量とT-N負荷量の関係  
 Fig. 4.10(e) Relationship between seasonal flow and T-N load

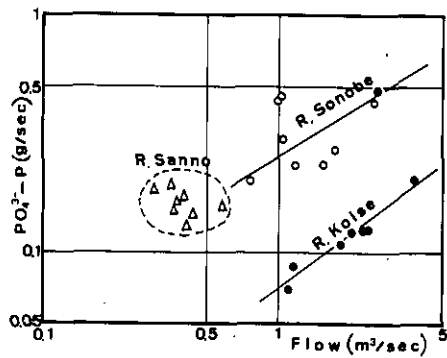


図 4.10(f) 季節別の流量とPO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P負荷量の関係  
 Fig. 4.10(f) Relationship between seasonal flow and PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P load

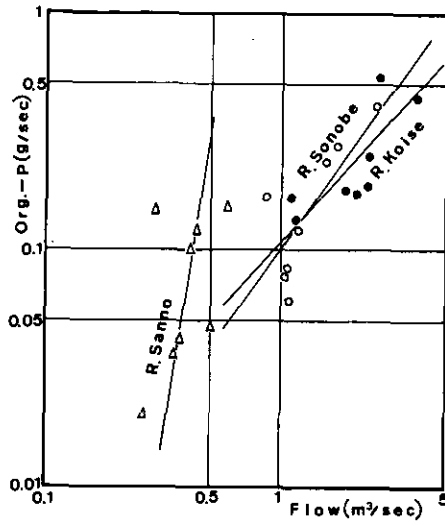


図 4.10(g) 季節別の流量とOrg.-P負荷量の関係  
 Fig. 4.10(g) Relationship between seasonal flow and Org.-P load

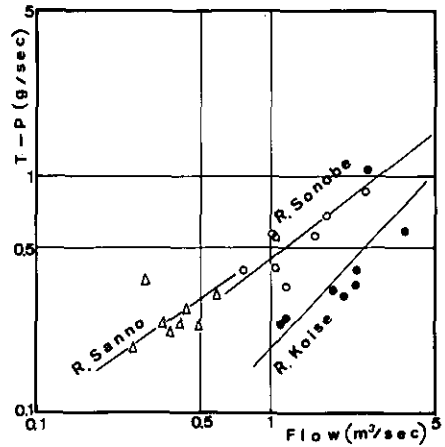


図 4.10(h) 季節別の流量とT-P負荷量の関係  
 Fig. 4.10(h) Relationship between seasonal flow and T-P load

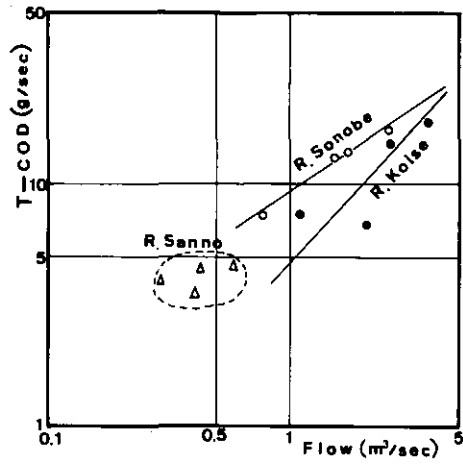


図 4.10(i) 季節別の流量とT-COD負荷量の関係  
 Fig. 4.10(i) Relationship between seasonal flow and T-COD load

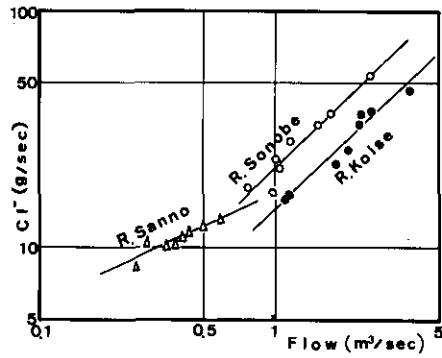


図 4.10(j) 季節別の流量とCl⁻負荷量の関係  
 Fig. 4.10(j) Relationship between seasonal flow and Cl⁻ load

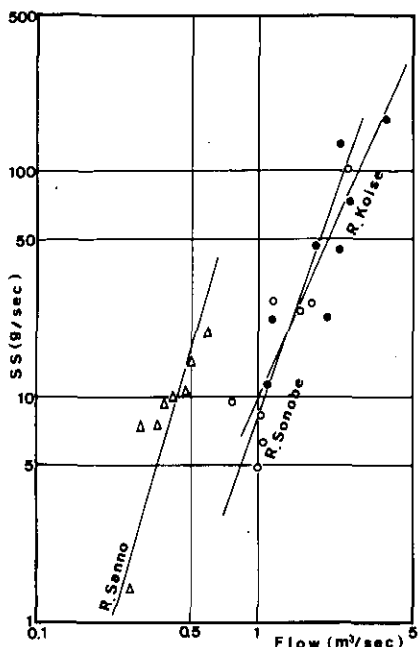


図 4.10(k) 季節別の流量とSS負荷量の関係  
 Fig. 4.10(k) Relationship between seasonal flow and SS load

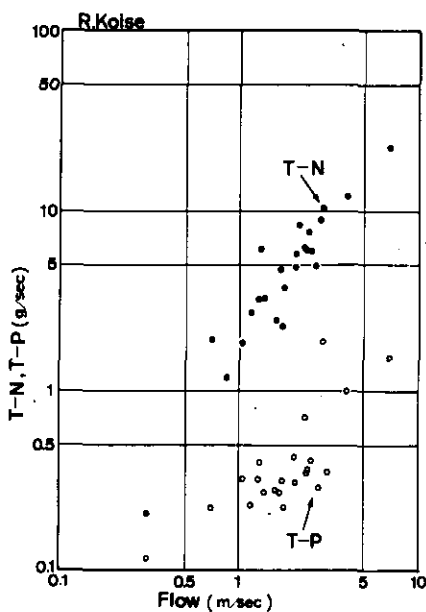


図 4.11(a) 月別の流量とT-N, T-P負荷量の関係 (恋瀬川)  
 Fig. 4.11(a) Relationship between monthly flow and T-N or T-P load (R. Koise)

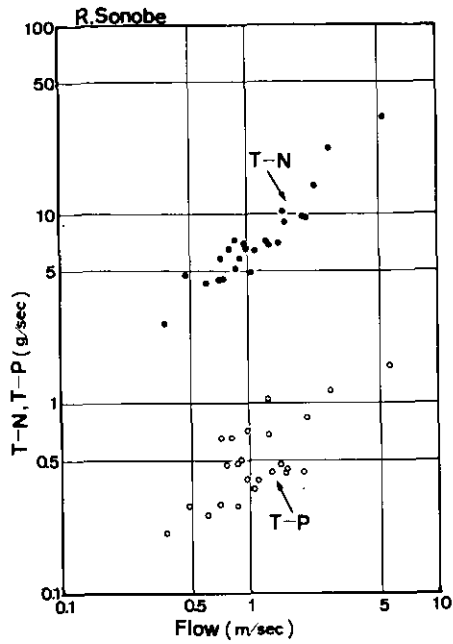


図 4.11(b) 月別の流量とT-N, T-P負荷量の関係 (園部川)  
 Fig. 4.11(b) Relationship between monthly flow and T-N or T-P load (R. Sonobe)

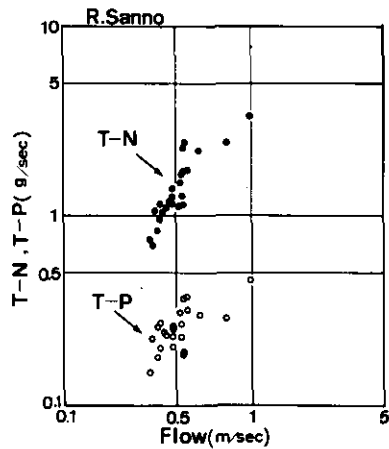


図 4.11(c) 月別の流量とT-N, T-P負荷量の関係 (山王川)  
 Fig. 4.11(c) Relationship between monthly flow and T-N and T-P loads (R. Sanno)

#### 4-5 晴天時流出負荷量の周日変化特性

恋瀬川と園部川は、その流域内の負荷発生源の構成とそれぞれの全体に占めるウェイトを考慮しても、その晴天時の流量はむろんのこと流出負荷量の周日変化は小さいことが予想される。このことは、現に、津野らによる平均3時間半と少し粗い間隔の周日変化調査によっても明らかにされている<sup>24)</sup>。とくに、自流量に対する上水や工業用水などの排水流量がさほど大きくないため、流出負荷量の周日変化は水質濃度変化の方により大きく出現し易い恋瀬川ではOrg.-Nの変化がT-Nの変化に影響を及ぼしており、園部川ではNH<sub>4</sub><sup>+</sup>-NがT-Nの変化に寄与していることが多少目につく程度で、他の水質項目の変化はかなり小さなものであった。

しかし、市街地河川の山王川における流出負荷量の周日変化は大きく、毎週1回の定時観測値の周日変化の中での位置づけが重要な問題となる。山王川の流出負荷量周日変化調査は、津野らが1977年8月から1978年2月までに3回<sup>18)</sup>、著者らが1979年6月から1980年2月までに4回実施している。これは、全て1時間間隔の調査であり、合計7回の調査によってその周日変化パターンは十分おさえられている。7回の調査結果による日流出負荷量および日流出流量を表4.6にまとめて示す。日流量の差は渇水時と豊水時の間で2倍に開くが、日流出負荷量の最大の差はInorg.-Nで5.4倍、T-Nで4.2倍、DIPで2.7倍、T-Pで2.3倍、CODで2倍となっている。SSにはさらに大きな差違が現われる。

また、毎週1回の定時観測値の周日変化における位置づけは、日平均値に対して、流量では107%、流出負荷量では負荷発生源の差異の影響を反映して、T-Pで87%、Inorg.-Nで134%など水質項目によって少しずつ日平均値からのズレが異なることに留意する必要がある。このほか、SSを除くと日平均値からはば15%前後のズレの範囲におさまる水質項目が多い。

表 4.6 山王川の日流量と日流出負荷量の観測値 (日の出橋)  
Table 4.6 Diurnal river load with hourly data in dry weather days (R. Sanno, at Hinode B.)

Date 調査年月日	先行降雨	Discharge 日流量 (m <sup>3</sup> /d)	Load, 日流出負荷量 (kg/d)				
			Inorg.-N	T-N	DIP	T-P	COD
Aug. 11~12, '77	Aug. 10~11 8 mm	43.4×10 <sup>3</sup>	61.5	99.8	20.8	25.2	-
Nov. 29~30, '77	Nov. 26~27 6 mm	28.7×10 <sup>3</sup>	43.1	66.3	11.2	45.1	201
Feb. 22~23, '78	Feb. 12 6 mm	29.4×10 <sup>3</sup>	40.9	113.0	17.9	58.5	336
June. 27~28, '79	June. 14 11 mm	40.5×10 <sup>3</sup>	73.8	133.8	25.2	31.9	319
July. 30~31, '79	July. 29 9 mm	45.9×10 <sup>3</sup>	59.3	117.0	26.8	35.7	349
Oct. 22~23, '79	Oct. 18~19 105 mm	57.9×10 <sup>3</sup>	220.5	275.5	9.8	25.0	410
Feb. 27~28, '80	Feb. 9 7 mm	28.5×10 <sup>3</sup>	60.0	87.1	22.6	28.5	224
7回 平均値		38.5×10 <sup>3</sup>	79.9	127.5	19.2	35.7	307

表 4.7 山王川の日流出負荷量観測の変動特性 (日の出橋)  
 Table 4.7 Fluctuation characteristics of diurnal river load  
 (R. Sanno, at Hinode B.)

水質項目	$\text{NH}_4^+-\text{N}$	$\text{NO}_3^--\text{N}$	Inorg.-N	Org.-N	T-N	$\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$	Org.-P
平均値	0.648	0.033	0.695	0.313	1.008	0.259	0.068
標準偏差	0.120	0.026	0.146	0.062	0.186	0.189	0.017
変動係数	0.19	0.79	0.21	0.20	0.18	0.73	0.25

水質項目	T-P	$\text{Cl}^-$	SS	T-COD	D-COD	流量
平均値	0.330	11.9	3.1	2.59	2.01	0.300
標準偏差	0.108	2.2	0.97	0.76	0.57	0.062
変動係数	0.33	0.18	0.31	0.29	0.28	0.21

(単位は、負荷量 (g/sec), 流量 ( $\text{m}^3/\text{sec}$ ) である)

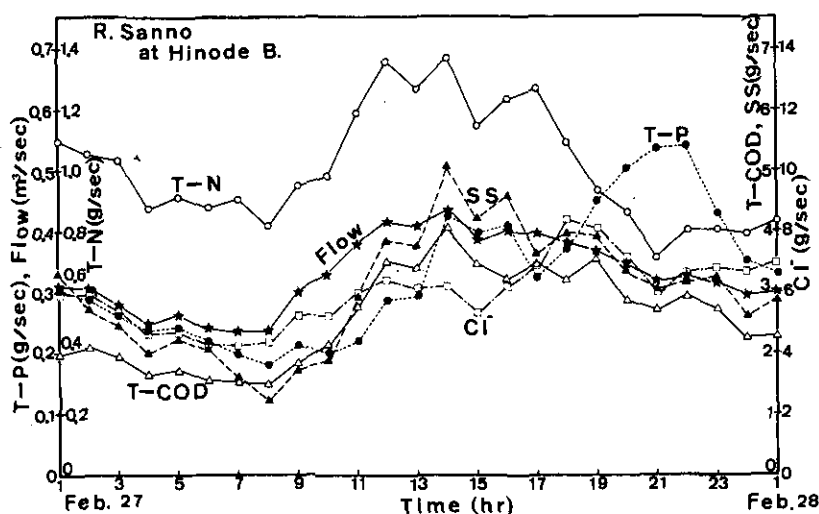


図 4.12 山王川の流出負荷量の周日変化 (日の出橋)  
 Fig. 4.12 Diurnal variation of river load in R. Sanno (at Hinode B.)

山王川日の出橋における流量および流出負荷量の周日変化の例(2月27~28日)を図4.12に示し、その平均値と変動係数を表4.7に示す。人為的な汚濁負荷の影響を強く反映する水質項目、例えば  $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$  の変動は大きい、 $\text{NH}_4^+-\text{N}$ 、D-COD、 $\text{Cl}^-$  の変動は比較的小さく安定している。

つぎに、山王川の晴天時における流量および水質負荷量の周日変化が、流域内中流部の市街地の生活排水や工場排水など人為的な汚濁負荷の影響を強く反映した典型的な市街地河川の変化パターンを呈し、長期的で安定した流出負荷量変化を見せる田園地河川とは性格を異にすることを、石岡

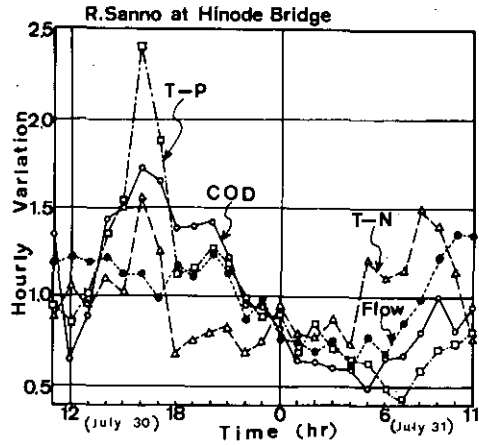


図 4.13 石岡市街地からの流出負荷量の周日変化 (山王川)  
 Fig. 4.13 Diurnal variation of load from Ishioka urban area into R. Sanno

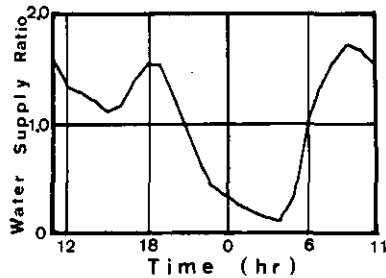


図 4.14 都市上水道の配水量の周日変化  
 Fig. 4.14 Diurnal variation of water supply in a general city

市街地直下流の地点での観測結果から明らかにする。図 4.13は1979年7月30～31日の観測結果より、流量および水質濃度それぞれの各時刻の観測値の24時間平均値から変動量を示したものである。流量、水質濃度とも昼間に高く、夜間に低い特徴ある周日変化パターンが見られる。これは、さらに流量と水質濃度の積としての水質負荷量の周日変化として見れば、さらに凹凸の顕著な周日変化パターンとなることは自明である。

このように市街地直下流における流出負荷量の変化は、あまり流下時間の大きくない都市下水の変化と酷似する。ひいては、図 4.14に示す一般的な都市上水道の配水量の周日変化<sup>25)</sup> に幾分か時間遅れをもたせて歪ませたパターンとなる。すなわち、山王川の流出負荷量の周日変化は、都市用水の排出パターンに大きく支配されていることが明らかとなる。ただし、図 4.13の流量については、変動がほとんどなく安定している石岡市街地直上流地点における流量の24時間平均値を差し引いて



示している。また、石岡市街地直上流地点の流出負荷量は、直下流地点のそれと比べると、無視しうるほど小さなものである。

このほか、6月27～28日、10月22～23日に実施した24時間流出負荷量観測の結果も含めた検討では、流量・流出負荷量とも先行降雨の条件をはじめとする長期的な流量変化による日平均値の差違は認められるものの、その周日変化パターンには大きな違いはなかった。これまでの7回の24時間流出負荷量調査の曜日、木曜日から金曜日にかけてが3回、月曜日から火曜日にかけてが2回、火曜日から水曜日にかけてと水曜日から木曜日にかけてがそれぞれ1回であった。これらは全て平日であり、日曜日や土曜日を調査日に含んでいないため、その週間変化の検討はできない。しかし、休日と平日の流出負荷量の周日変化パターンや日平均値には多少の相違は予想される。

#### 4-6 降雨時流出負荷量変化とその特性

降雨時の流出負荷量を正確に押さえるには、降雨流出の影響の出現する直前から、流量変化に追随した測水・採水間隔で観測を行い、流出後半の流量でい減状態において流量が降雨流出直前のレベルに復帰するまでの期間の観測が必要である。降雨量が40mm前後になれば、流量で2オーダー、浮遊物質濃度で3～4オーダー高いピークが出現するのが通常である。

市街地河川の山王川（日の出橋）での58mmの降雨流出の観測例を図4.15に、上流部が山地、中下流部が農耕地の恋瀬川支流の小桜川における62mmの豪雨流出の流下方向3地点での観測を図4.16に示す。図4.16は流量と最も変化幅の大きいSS負荷量を、図4.15は流量とSSのほかT-COD、T-NおよびT-P負荷量の変化も併せて示している。これより、降雨流出前の負荷量と降雨流出により付加される負荷量の大きさの違いが明らかとなる。

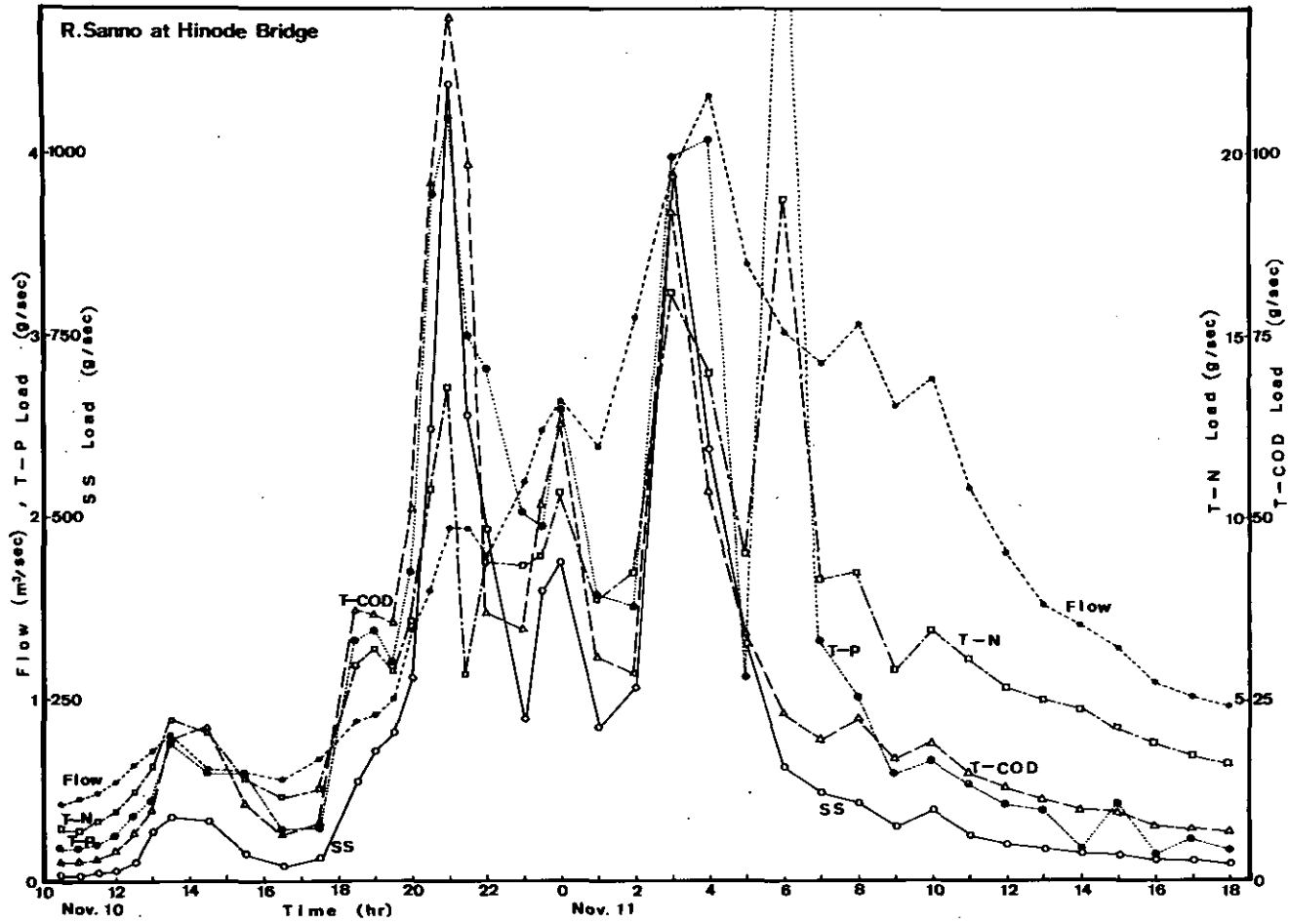


図 4.15 山王川の降雨時流出負荷量変化 (日の出橋)  
Fig. 4.15 Variation of direct runoff load in R. Sanno (at Hinode B.)

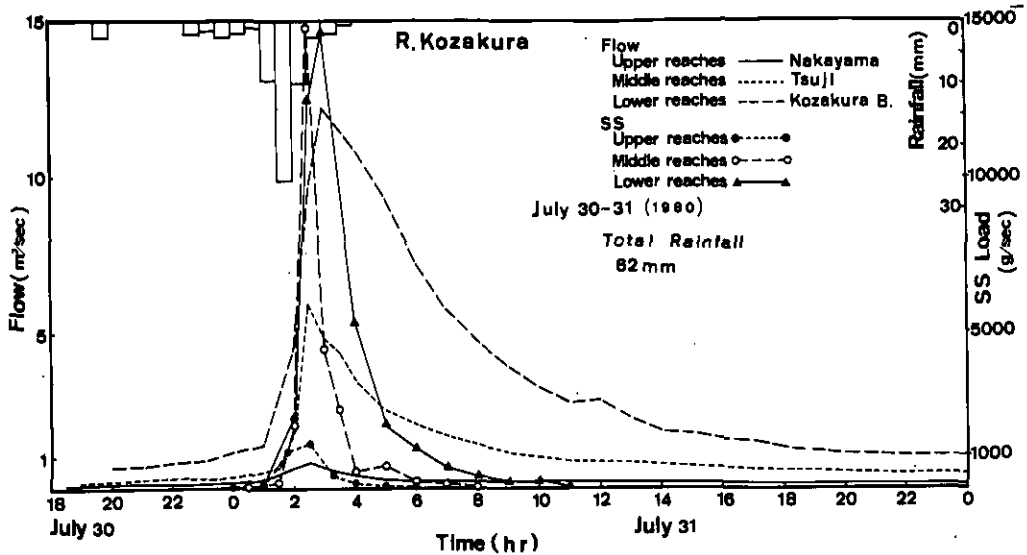


図 4.16 小桜川の降雨時流出負荷量の流下方向における変化  
 Fig. 4.16 Variation of direct runoff load in direction of flowing down  
 (R. Kozakura)

#### 4-6-1 流出負荷量と流量の関係

つぎに、浮遊物質を中心に、各種水質項目の流出負荷量変化と流量変化の関係を、両対数紙上にプロットし、流出負荷量を流量のみの関数とした場合の精度と限界について検討を行う。

図 4.17と図 4.18は、山地河川の小桜川での2回の豪雨による流出負荷量観測結果を示したものである。7月30～31日は、時間最大降雨量が40.5 mm という極端な豪雨の場合の、上流部の中山（流域面積 2.4 Km<sup>2</sup>）、中流部の辻（同 8.0 Km<sup>2</sup>）、下流部の小桜橋（同17.6 Km<sup>2</sup>）の3地点での変化である。筑波山の東麓を上流とする中山地点では、最遠点の分水界から平均傾斜度14%の急流河川である。中・下流部は、低い山あいの水田・畑地に占められている。図 4.17の3地点のSS負荷量と流量の関係から、上流部および中流部の山地と畑地からの浮遊物質の供給が大きく、上流部の流量およびSS負荷量の変化パターンが最下流部まで伝播した形となり、上流部の影響が下流部に強く現われている。

この降雨流出には、初めの20分間に2.5 mmの先ぶれがあったが、上流部のほかにはほとんど影響が現われなかった。降雨の集中した時間に対応した流量の上昇期の上流部中山の勾配(n 値)は、およそ3であり、ほぼ2の中・下流部の勾配を上回っており、上流部の山地がSSの河川への供給に大きく寄与することがわかる。

図 4.17は、時間最大降雨強度が13 mm と極端に強い雨ではなかったため、降雨流出の初期の段階の first flush 時の勾配は、先行降雨以来の河道や流域地表上の貯留・堆積物質の流出によりかなり高いけれども、流量とSS負荷量はともに1オーダー低い流出となっている。中・下流部での流出変化はほとんど同じパターンとなった。

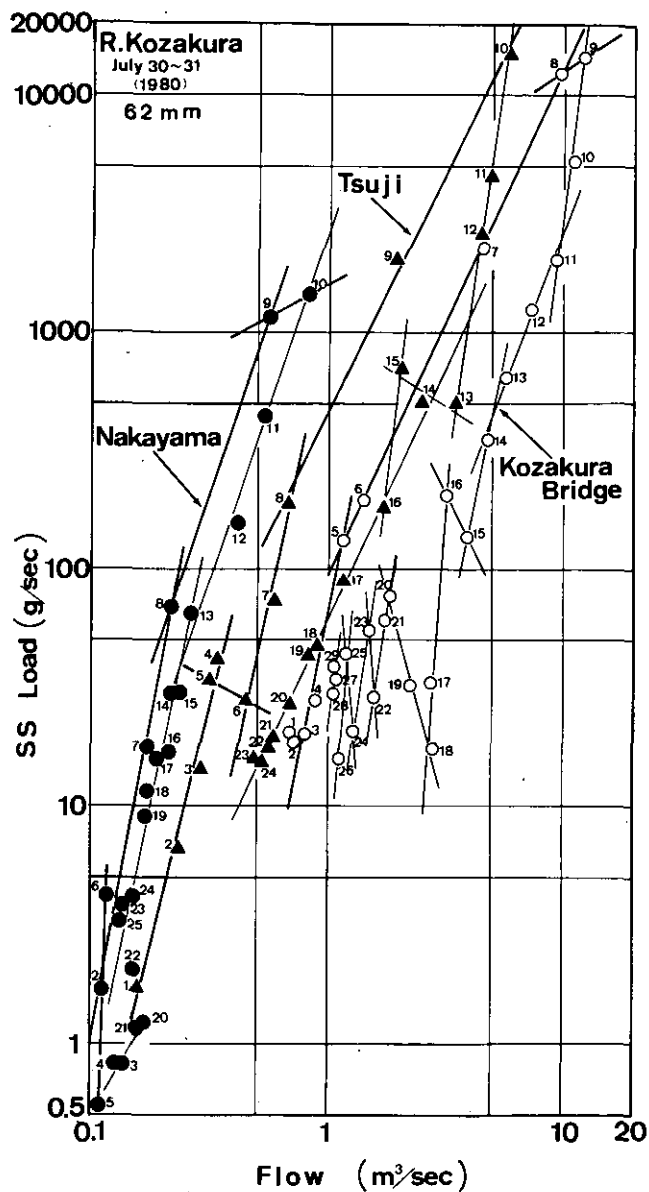


図 4.17 小桜川の降雨時流出の流量とSS負荷量の関係 (7月30日)  
 Fig. 4.17 Relationship between flow and SS load for direct runoff  
 (R. Kozakura, July 30)

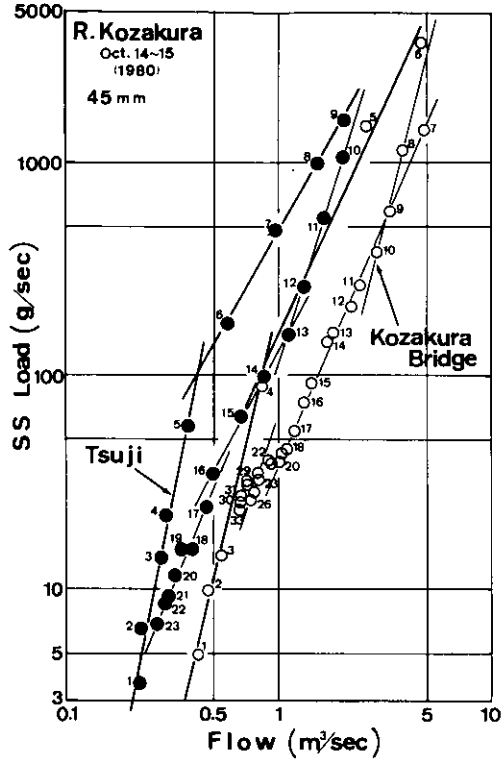


図 4.18 小桜川の降雨時流出の流量とSS負荷量の関係 (10月14日)  
 Fig. 4.18 Relationship between flow and SS load for direct runoff  
 (R. Kozakura, Oct. 14)

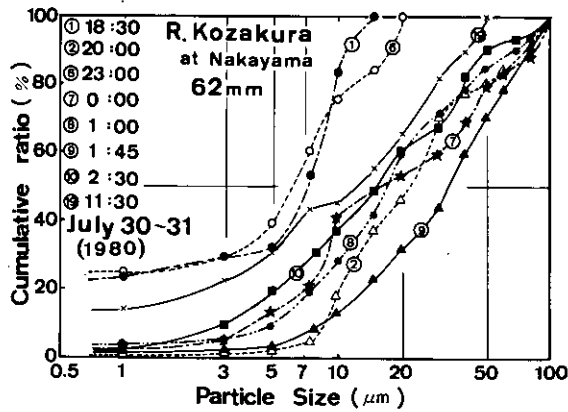


図 4.19 降雨時流出における浮遊物質の粒径構成変化 (小桜川)  
 Fig. 4.19 Variation of particle size constitution of direct runoff  
 (R. Kozakura)

また、図 4.19 は、上流部中山地点における流水中の 0.1 mm 以下の粒径の浮遊物質について、その粒径構成の変化を示したものである。先おれの 2.5 mm の降雨によって、降雨流出の影響のない時点①の 90% が 10  $\mu$  以下の粒径から、②の時点の 90% が 10  $\mu$  以上の粒径へと大きく変化する。⑥の時点ではほぼ降雨流出前の状態まで復帰した。その後の豪雨によって、⑨の時点で粒径構成が最も大粒径側に傾いたが、流量の最大ピークの時点⑩では、⑨の時点より少し小粒径側での構成となっている。筑波山麓は、黒ボク土を中心とした林地土壌構成となっており、0.1 mm 以下の粒子も腐植を含む表層土の流出によっており、それ以上の粒径も含めた SS には、多量の有機物質を含んでいる。したがって、T-COD、T-N および T-P の懸濁態成分に注目し、P-COD、PTN および PTP の負荷量と流量の関係を示したものが図 4.20 ~ 図 4.22 である。これらはほとんど全てが懸濁態の有機物質として流出しており、先述の表層土の流出のほか、first flush には、流路内の付着生物を含む有機態の貯留・堆積物質の流出の寄与も大きい。これは、後の 4-7 で検討を加える。

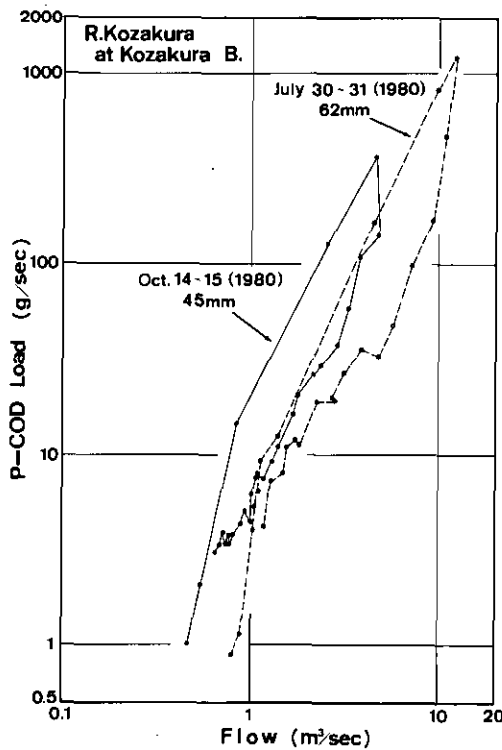


図 4.20 降雨時流出の流量と P-COD 負荷量の関係 (小桜川)  
 Fig. 4.20 Relationship between flow and P-COD load for direct runoff  
 (R. Kozakura)

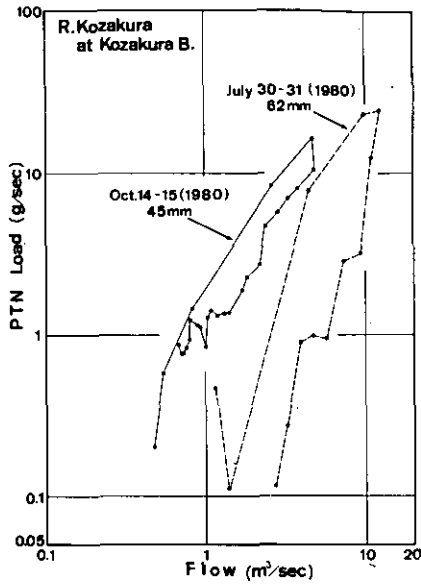


図 4.21 降雨時流出の流量とPTN負荷量の関係 (小桜川)  
 Fig. 4.21 Relationship between flow and PTN load for direct runoff  
 (R. Kozakura)

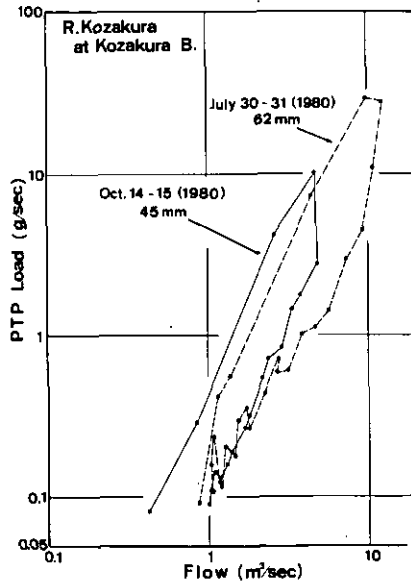


図 4.22 降雨時流出の流量とPTP負荷量の関係 (小桜川)  
 Fig. 4.22 Relationship between flow and PTP load for direct runoff  
 (R. Kozakura)

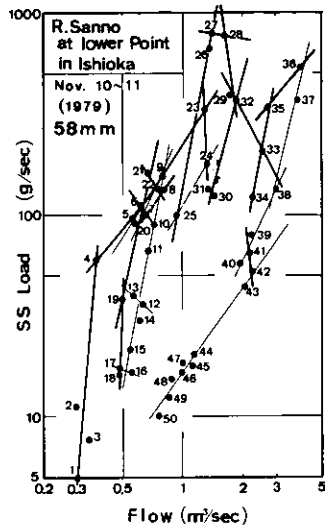


図 4.23 降雨時流出の流量とSS負荷量の関係 (石岡市街地下流)  
 Fig. 4.23 Relationship between flow and SS load for direct runoff  
 (at lower reach in Ishioka urban area)

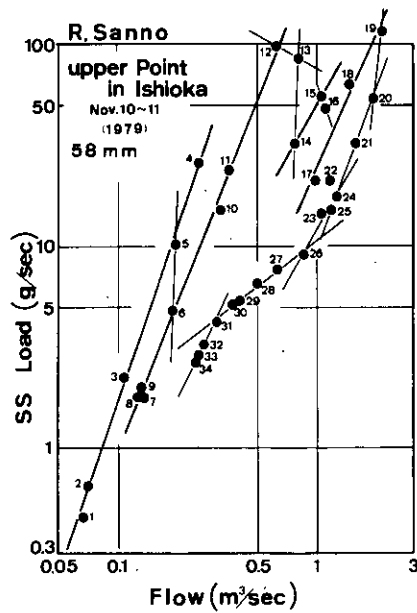


図 4.24 降雨時流出の流量とSS負荷量の関係 (石岡市街地上流)  
 Fig. 4.24 Relationship between flow and SS load for direct runoff  
 (at upper reach in Ishioka urban area)



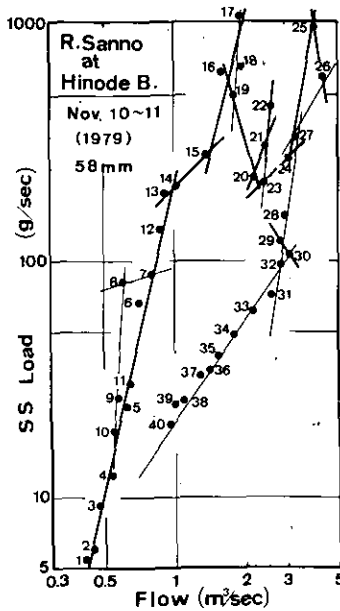


図 4.25 降雨時流出の流量とSS負荷量の関係（日の出橋）  
 Fig. 4.25 Relationship between flow and SS load for direct runoff  
 (at Hinode .B.)

小河川では、流域面積が小さいため、流下方向での流域特性の変化が、降雨流出の流出物質量の変化に大きく反映される。とくに、中流部に市街地を擁する山王川では、流達時間の早さと流出率の高さの著しい市街地下流部での流量とSS負荷量の変化（図4.23）は、その市街地上流部での変化（図4.24）とは変化パターン、流出負荷量の大きさが大きく異なり、最下流部の日の出橋での変化パターン（図4.25）をも支配するほど、流域内での市街地部流出負荷量のウェイトが高い。

また、同じ山王川の日の出橋での別の降雨による流量とSS負荷量の変化を示したものが図4.26である。前述の降雨流出の図4.25と比較すると、降雨強度の分布、すなわち、降雨パターンによって、流量 $Q$ と負荷量 $L$ の関係は大きく左右されることがわかる。

一般には、 $L$ と $Q$ の両対数紙上での関係は、1本の直線あるいはその近傍での上下変化、すなわち、 $L = a \cdot Q^n$  式の1つの直線上の変化と見なせることが多い。しかし、降雨継続時間が長く、降雨がいくつか山のある波状パターンとなる場合には、各ピーク毎の降雨入力 of 合成された結果としての応答となり、 $L$ と $Q$ は両対数紙上でいくつかの直線群で構成されるループ状の変化となることが多い。とくに、流域内で土地利用状態が大きく変化する構成となっている場合、その流出特性の違いが現われ、複雑な変化を呈する。まして、先行降雨以来の河道や流域内地表面での貯留・堆積物質のfirst flushが大きなウェイトを占める場合、必ずしも時計回りの変化ではなく、反時計回りの変化も含めて、複雑な直線群ループとなる。これは、浮遊物質あるいは懸濁態成分に著しい現象

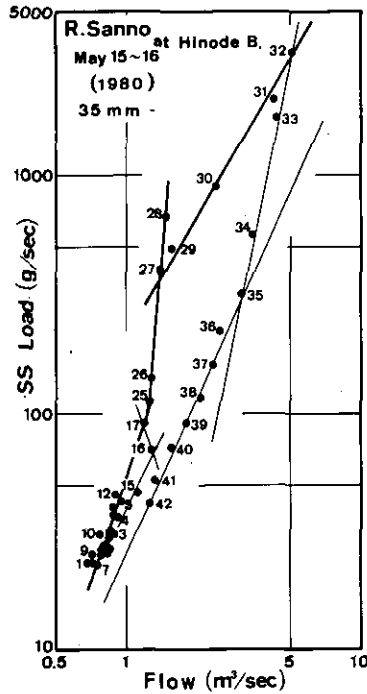


図 4.26 降雨時流出の流量とSS負荷量の関係 (日の出橋)  
 Fig. 4.26 Relationship between flow and SS load for direct runoff  
 (at Hinode B.)

であるが、溶存態物質でも詳細に検討すれば認められるものである。

この降雨流出負荷量  $L$  と流量  $Q$  の関係を、流出の初めから流量の最大ピークの時点までを流出前半とし、流量の最大ピークから後を流出後半とし、この2分した前後半を通じた全体と、3つに分けたそれぞれについて  $L = a \cdot Q^n$  式への回帰の結果を示したのが表4.8と表4.9である。表4.8の山王川での観測例では、市街地の前後での  $a$  の値の差が大きいこと、市街地下流と最下流の日の出橋での差違は、 $Cl^-$  以外は常に市街地下流の  $a$  の値が大きく、 $n$  の値が小さいという結果となっている。表4.9の小桜川での観測例では、2回の降雨とも流量ピークが1つの豪雨流出のため、相関が全般に高く、 $n$  の値も高い。両降雨とも上流ほど  $a$  の値、 $n$  の値が大きい結果となっている。

一般に、多くの勾配の異なる直線群で構成される流出負荷量と流量の両対数紙上の関係は、1本の直線では表現し難い場合が多いため、単なる1本の回帰式では片付けられないが、その回帰式の  $a$  および  $n$  の値からある程度の流域特性を得ることはできる。降雨ごとに  $a$ 、 $n$  の値は異なるため、同一降雨での比較には、とくに意味がある。流域面積が小さく、流出率の高い流域、とくに河床勾配や流域内の平均傾斜度の高い上流側で  $a$  の値は大きくなる傾向がある。また、 $n$  は流出負荷量の大きい流域、すなわち、降雨を入力として流出する負荷量の大きい面源負荷のウェイトの高い流域で大きくなることが多い。

#### 4-6-2 直接流出による異加負荷量

1 降雨の直接流出による総流出負荷量の算定には、累加流量と累加負荷量との関係の検討を欠かすことはできない。とりわけ、直接流出分のウェイトの高い浮遊物質について、この両者の関係を両対数紙上にプロットしたものが図4.27と図4.28である。図からも明らかなように、直接流出の終期段階の累加流量の微増状態に対する累加負荷量の頭打ち現象から、かなり精度の高い直接流出による総流出負荷量の定量化が可能となる<sup>25,27)</sup>。すなわち、浮遊物質の直接流出による総流出負荷量は、流出後半の流量変化のてい減状態 (tailing) 下での累加負荷量の上限值への漸近現象として、明瞭に把握することができる。

霞ヶ浦への流入河川は、市街地河川を除いて全般に流出率が低い。例えば、上流に山地を有する琵琶湖西岸への流入河川の真野川や大宮川では、流出率は高く、さらにその変化の上限は大きくなる。この例を参考のために、図4.29に示す。この中で、9月3～5日の真野川の例は、降雨パターンが初めの6時間に29mm、少し時間をおいて4時間に38mm、また時間をおいて1時間に10mmと3回に分けて降雨が集中した極端な例である。このように極端な場合に限らず、降雨にいくつか山

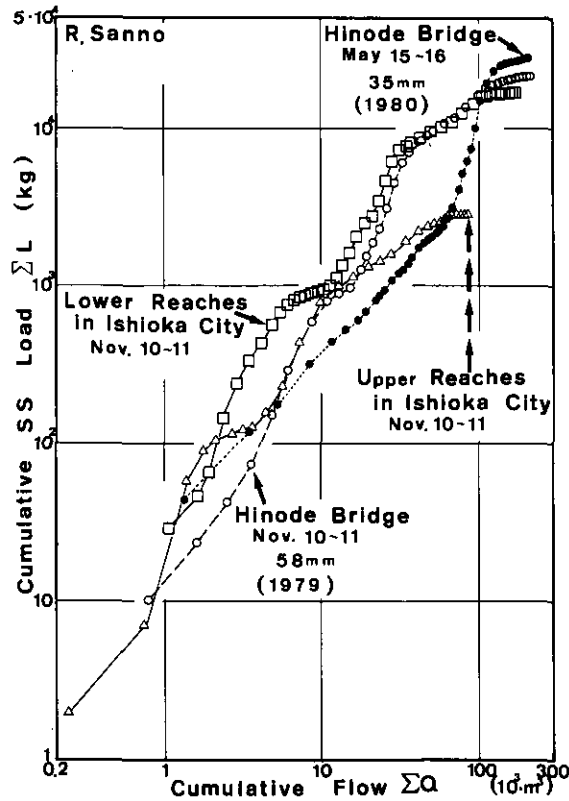


図 4.27 降雨時流出の累加流量とSS累加負荷量の関係 (日の出橋)  
 Fig. 4.27 Relationship between cumulative flow and cumulative SS load direct runoff (R. Sanno)

表 4.8 降雨時流出の負荷量と流  
Table 4.8 Regression equation of  
rain events (R. Sanno)

		T - C O D			T - N		
		前 半	後 半	全 体	前 半	後 半	全 体
日 の 出 橋  (12.4 km <sup>2</sup> )	Nov. 10~11 (1979) 58 mm	17.7 · Q <sup>1.36</sup> (0.83)	6.67 · Q <sup>1.18</sup> (0.97)	13.3 · Q <sup>1.04</sup> (0.69)	4.39 · Q <sup>0.95</sup> (0.92)	3.32 · Q <sup>0.93</sup> (0.89)	4.06 · Q <sup>0.86</sup> (0.89)
	May. 15~16 (1980) 35 mm	13.2 · Q <sup>1.99</sup> (0.99)	6.75 · Q <sup>2.07</sup> (0.95)	12.1 · Q <sup>1.74</sup> (0.96)	2.58 · Q <sup>1.33</sup> (0.94)	2.30 · Q <sup>1.14</sup> (0.94)	2.50 · Q <sup>1.17</sup> (0.93)
	Feb. 29 (1980) 7 mm	13.3 · Q <sup>1.69</sup> (0.99)	17.2 · Q <sup>1.54</sup> (0.90)	15.2 · Q <sup>1.68</sup> (0.89)	4.18 · Q <sup>1.40</sup> (0.98)	6.73 · Q <sup>1.75</sup> (0.93)	4.93 · Q <sup>1.52</sup> (0.90)
石 岡 下 流  (8.3 km <sup>2</sup> )	Nov. 10~11 (1979) 58 mm	23.6 · Q <sup>1.08</sup> (0.74)	6.80 · Q <sup>1.14</sup> (0.93)	16.2 · Q <sup>0.73</sup> (0.54)	5.03 · Q <sup>0.72</sup> (0.81)	4.13 · Q <sup>0.63</sup> (0.83)	4.68 · Q <sup>0.63</sup> (0.79)
	May. 15~16 (1980) 35 mm	21.3 · Q <sup>1.89</sup> (0.93)	—	—	3.96 · Q <sup>1.15</sup> (0.91)	—	—
石 岡 上 流  (6.2 km <sup>2</sup> )	Nov. 10~11 (1979) 58 mm	9.54 · Q <sup>1.02</sup> (0.93)	5.15 · Q <sup>1.09</sup> (0.98)	6.47 · Q <sup>0.91</sup> (0.89)	2.42 · Q <sup>0.66</sup> (0.97)	2.27 · Q <sup>0.51</sup> (0.95)	2.34 · Q <sup>0.62</sup> (0.96)
	May. 15~16 (1980) 35 mm	23.9 · Q <sup>1.61</sup> (0.95)	—	—	3.45 · Q <sup>0.95</sup> (0.95)	—	—

(単位は、流量 (m<sup>3</sup>/sec), 負荷量 (g/sec), ( ) 内の数値は相関係数である)

量の回帰関係 (山王川)

flow and river load for direct runoff by

T - P			S S			C I -		
前 半	後 半	全 体	前 半	後 半	全 体	前 半	後 半	全 体
0.82 · Q <sup>1.34</sup> (0.90)	0.15 · Q <sup>1.99</sup> (0.87)	0.56 · Q <sup>1.09</sup> (0.68)	84.1 · Q <sup>1.98</sup> (0.89)	18.0 · Q <sup>1.93</sup> (0.94)	55.0 · Q <sup>1.54</sup> (0.74)	20.3 · Q <sup>0.45</sup> (0.92)	19.1 · Q <sup>0.41</sup> (0.92)	19.9 · Q <sup>0.42</sup> (0.91)
0.63 · Q <sup>1.80</sup> (0.98)	0.19 · Q <sup>2.23</sup> (0.93)	0.55 · Q <sup>1.48</sup> (0.90)	50.4 · Q <sup>2.54</sup> (0.99)	17.1 · Q <sup>2.84</sup> (0.98)	45.0 · Q <sup>2.28</sup> (0.97)	22.8 · Q <sup>0.48</sup> (0.79)	25.1 · Q <sup>0.28</sup> (0.67)	0.78 · Q <sup>0.41</sup> (0.78)
0.43 · Q <sup>0.31</sup> (0.33)	1.24 · Q <sup>1.71</sup> (0.89)	0.57 · Q <sup>0.66</sup> (0.49)	42.9 · Q <sup>2.20</sup> (0.96)	107. · Q <sup>2.97</sup> (0.80)	57.9 · Q <sup>2.42</sup> (0.82)	18.9 · Q <sup>0.21</sup> (0.39)	22.1 · Q <sup>0.78</sup> (0.83)	18.2 · Q <sup>0.38</sup> (0.38)
0.83 · Q <sup>1.03</sup> (0.75)	0.28 · Q <sup>1.12</sup> (0.81)	0.60 · Q <sup>0.73</sup> (0.55)	118. · Q <sup>1.65</sup> (0.82)	18.4 · Q <sup>1.94</sup> (0.94)	69.6 · Q <sup>1.21</sup> (0.62)	19.3 · Q <sup>0.44</sup> (0.78)	17.3 · Q <sup>0.35</sup> (0.96)	18.5 · Q <sup>0.39</sup> (0.78)
0.93 · Q <sup>1.72</sup> (0.94)	—	—	46.5 · Q <sup>3.02</sup> (0.93)	—	—	20.2 · Q <sup>0.47</sup> (0.71)	—	—
0.44 · Q <sup>0.96</sup> (0.92)	0.17 · Q <sup>1.08</sup> (0.95)	0.24 · Q <sup>0.78</sup> (0.79)	60.4 · Q <sup>1.52</sup> (0.93)	18.0 · Q <sup>1.40</sup> (0.96)	28.8 · Q <sup>1.26</sup> (0.85)	9.85 · Q <sup>0.50</sup> (0.93)	10.2 · Q <sup>0.52</sup> (0.97)	10.2 · Q <sup>0.52</sup> (0.95)
0.88 · Q <sup>1.44</sup> (0.92)	—	—	204. · Q <sup>2.41</sup> (0.91)	—	—	11.0 · Q <sup>0.37</sup> (0.54)	—	—

表 4.9 降雨時流出の負荷量と流量の  
Table 4.9 Regression equation of flow  
rain events (R. Kozakura)

		T - C O D			T - N		
		前 半	後 半	全 体	前 半	後 半	全 体
小 桜 橋  (17.6 km <sup>2</sup> )	July, 30~31 (1980) 62 mm	8.28 · Q <sup>2.07</sup> (1.00)	6.40 · Q <sup>1.69</sup> (0.97)	6.85 · Q <sup>1.75</sup> (0.97)	1.72 · Q <sup>1.39</sup> (0.99)	1.92 · Q <sup>1.19</sup> (1.00)	1.80 · Q <sup>1.26</sup> (0.99)
	Oct. 14~15 (1980) 45 mm	13.1 · Q <sup>2.09</sup> (0.98)	9.65 · Q <sup>1.82</sup> (1.00)	10.2 · Q <sup>1.96</sup> (0.98)	3.64 · Q <sup>1.37</sup> (0.99)	3.69 · Q <sup>1.28</sup> (0.99)	3.73 · Q <sup>1.19</sup> (1.00)
辻  (8.0 km <sup>2</sup> )	July, 30~31 (1980) 62 mm	39.3 · Q <sup>1.97</sup> (0.96)	10.4 · Q <sup>2.27</sup> (0.99)	18.0 · Q <sup>1.78</sup> (0.92)	2.40 · Q <sup>1.38</sup> (0.87)	1.82 · Q <sup>1.31</sup> (0.99)	1.97 · Q <sup>1.27</sup> (0.91)
	Oct. 14~15 (1980) 45 mm	64.5 · Q <sup>2.40</sup> (0.98)	27.6 · Q <sup>2.34</sup> (0.99)	35.8 · Q <sup>2.27</sup> (0.96)	5.09 · Q <sup>1.75</sup> (0.98)	3.44 · Q <sup>1.42</sup> (1.00)	3.93 · Q <sup>1.55</sup> (0.98)
中 山  (2.4 km <sup>2</sup> )	July, 30~31 (1980) 62 mm	253 · Q <sup>2.32</sup> (0.98)	234 · Q <sup>2.89</sup> (0.99)	156 · Q <sup>2.39</sup> (0.91)	5.05 · Q <sup>1.64</sup> (0.99)	5.20 · Q <sup>1.71</sup> (1.00)	4.87 · Q <sup>1.65</sup> (0.99)

(単位は、流量 (m<sup>3</sup>/sec), 負荷量 (g/sec), ( ) 内の数値は相関係数である)

回帰関係 (小桜川)

and river logd for direct runoff by

T - P			S S			C I -		
前 半	後 半	全 体	前 半	後 半	全 体	前 半	後 半	全 体
0.25 · Q <sup>2.05</sup> (0.98)	0.16 · Q <sup>1.73</sup> (0.96)	0.19 · Q <sup>1.77</sup> (0.95)	49.7 · Q <sup>2.41</sup> (0.99)	14.2 · Q <sup>2.22</sup> (0.91)	22.8 · Q <sup>2.10</sup> (0.89)	8.18 · Q <sup>0.76</sup> (1.00)	6.95 · Q <sup>0.78</sup> (1.00)	7.42 · Q <sup>0.75</sup> (0.99)
0.39 · Q <sup>1.88</sup> (0.97)	0.16 · Q <sup>1.88</sup> (0.99)	0.19 · Q <sup>1.91</sup> (0.94)	69.9 · Q <sup>2.47</sup> (0.98)	50.7 · Q <sup>2.00</sup> (0.99)	53.3 · Q <sup>2.23</sup> (0.97)	7.92 · Q <sup>1.07</sup> (1.00)	9.14 · Q <sup>0.91</sup> (1.00)	8.84 · Q <sup>0.99</sup> (0.99)
0.76 · Q <sup>1.97</sup> (0.89)	0.18 · Q <sup>2.10</sup> (0.97)	0.32 · Q <sup>1.67</sup> (0.86)	296 · Q <sup>2.43</sup> (0.98)	69.8 · Q <sup>2.50</sup> (0.98)	119 · Q <sup>2.08</sup> (0.94)	5.57 · Q <sup>0.82</sup> (0.96)	4.76 · Q <sup>0.83</sup> (1.00)	5.06 · Q <sup>0.79</sup> (0.98)
0.65 · Q <sup>2.34</sup> (0.98)	0.37 · Q <sup>1.92</sup> (0.92)	0.43 · Q <sup>2.02</sup> (0.93)	418 · Q <sup>2.61</sup> (0.98)	176 · Q <sup>2.48</sup> (0.99)	227 · Q <sup>2.43</sup> (0.96)	7.18 · Q <sup>1.11</sup> (0.99)	6.11 · Q <sup>0.95</sup> (0.95)	7.06 · Q <sup>0.99</sup> (0.83)
4.28 · Q <sup>2.32</sup> (0.97)	3.56 · Q <sup>2.84</sup> (0.99)	2.62 · Q <sup>2.39</sup> (0.91)	6390 · Q <sup>3.74</sup> (0.94)	4870 · Q <sup>3.75</sup> (0.95)	6070 · Q <sup>3.81</sup> (0.93)	3.75 · Q <sup>0.79</sup> (0.99)	3.66 · Q <sup>0.77</sup> (0.99)	3.81 · Q <sup>0.80</sup> (0.99)

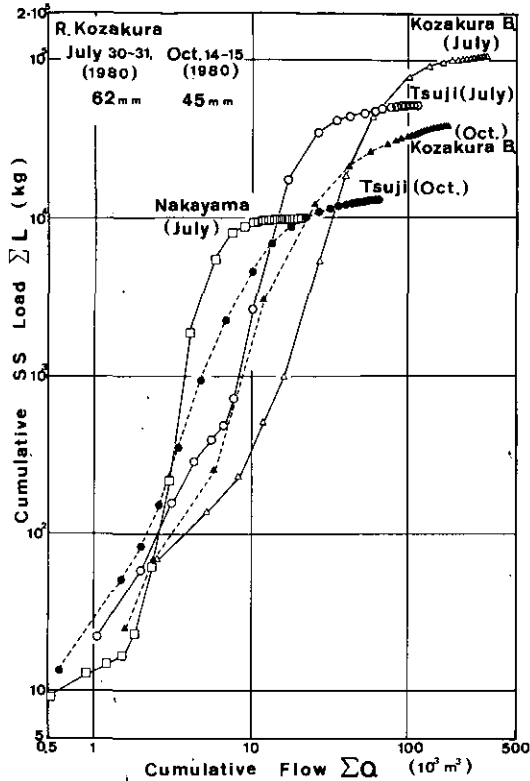


図 4.28 降雨時流出の累加流量とSS累加負荷量の関係(小桜川)  
 Fig. 4.28 Relationship between cumulative flow and cumulative SS load ]  
 direct runoff (R. Kozakura)

のある波状パターンとなった場合、降雨の1つ1つの山が別個の流出、すなわち、それまでの流出をベースに、新しい初期条件ですぐ次の降雨があった場合のように、一連の降雨をいくつかの降雨に分離して取り扱える場合も少くない。これは、累加流量と累加負荷量の両対数紙上の関係で、流出過程における中間段階での累加負荷量の頭打ち現象としても捉えることができることを示している。

このような累加流量と累加負荷量の関係は、単にSSのみにとどまらず、懸濁態成分のP-COD、PTNおよびPTPについても、SSほど変化の幅は大きくないが、同様のことが言える。とくに、PTNとPTPについては、懸濁態成分がほぼそのまま有機態成分というような構成となっているため、Org.-NとOrg.-Pについてもこの特性が見られることとなる。さらに、降雨量や降雨強度の大きな降雨流出では、これらP-COD、PTNおよびPTPが、それぞれT-COD、T-NおよびT-PのTotal水質項目の直接流出全体を通しての総流出負荷量の3分の2以上を占めることが多いため、T-COD、T-NおよびT-Pについても同様の傾向となる。このうち、T-PがそのPTPの比率の高さから最も明瞭に認められ、次いでT-COD、中間流出でNO<sub>3</sub>-Nの負荷量の



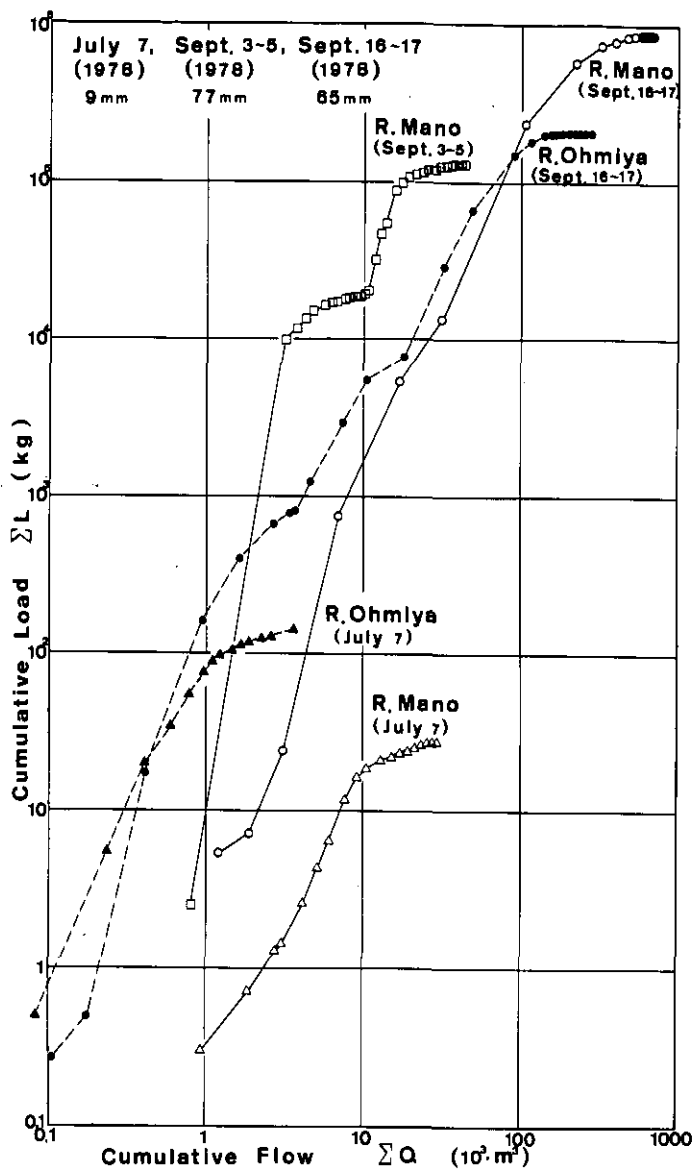


図 4.29 降雨時流出の累加流量とSS累加負荷量の関係(真野川・大宮川)  
 Fig. 4.29 Relationship between cumulative flow and cumulative SS load for direct runoff (R. Mano and R. Ohmiya)

ウェイトの増すT-Nが少し不鮮明な傾向となる。

#### 4-7 河道内貯留・堆積物質量の評価

毎週1回の定期観測調査による期間流出負荷量の算定の粗さを補うものとして、降雨時流出負荷

量調査や晴天時24時間周日負荷量変化調査のほかに、流量・水質負荷量の変化の履歴をとどめる河道内貯留・堆積物質の定期調査もある。すなわち、先行降雨および先行晴天期間内の流域地表面上や水路内での「積み残し」あるいは「荷くずれ」分の負荷の挙動の評価である。これは、降雨時流出の初期の段階の first flush のウェイトを支配する重要な要因である。

この河道内貯留・堆積物質量の大きさは、山王川の中流部の石岡市街地下流と最下流の日の出橋での両流出負荷量観測値の差違から知ることができる。まず、毎週1回の定期負荷量観測値では、地点ごとの時間変化による差違がかなりあるものの、懸濁態成分およびそれを多量に含む Total 水質項目で、最下流の値が市街地下流の値をかなり下回っている事実である。さらに、同じ1年間に4回実施した晴天時24時間負荷量観測値でも同様の事実がある。そして、降雨時流出においても、その先行降雨と先行晴天期間や、降雨パターンによっては、河道内での「荷くずれ」分の負荷量の存在が大きい場合、浮遊物質や懸濁態成分について両地点ではほぼ同じ値となったり、逆転したりする（マイナス値になる）ことがある。これをまとめて示したものが、表 4.10 である。

表 4.10 石岡市街地より下流域からの流出負荷量（山王川）  
Table 4.10 River load for the reach from lower point of Ishioka urban area to Hinode B. (R. Sanno)

	流 量	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	Inorg-N	Org-N	T-N	DTN	PTN	PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> -P
定期負荷量観測	2.9	- 4.3	- 0.7	- 2.6	- 8.3	- 15.0	- 22.6	(- 17.7)	(- 18.0)	- 5.5
日負荷量観測	6.6	4.8	- 1.4	16.9	20.9	- 33.7	- 12.7	( 15.7)	(- 7.5)	- 1.4
11月の降雨時観測	34.9	6.5	5.4	96.4	108.2	33.8	142.2	120	21.8	- 6.2
	DIP	Org-P	T-P	DTP	PTP	Cl-	SS	T-COD	D-COD	P-COD
定期負荷量観測	- 6.7	- 7.0	- 13.8	(- 9.2)	(- 4.0)	- 42	-270	-110	-	-
日負荷量観測	- 1.3	- 3.7	- 5.0	(- 1.5)	(- 0.5)	33	-248	- 52	- 1	- 57
11月の降雨時観測	0.9	57.7	58.6	0.3	58.3	463	5040	565	301	263

(単位は、流量 (10<sup>3</sup> m<sup>3</sup>/日)、負荷量 (kg/日) である。ただし、降雨時流出観測は31時間分である。  
また、( ) 内の数値は、欠測のあったものである)

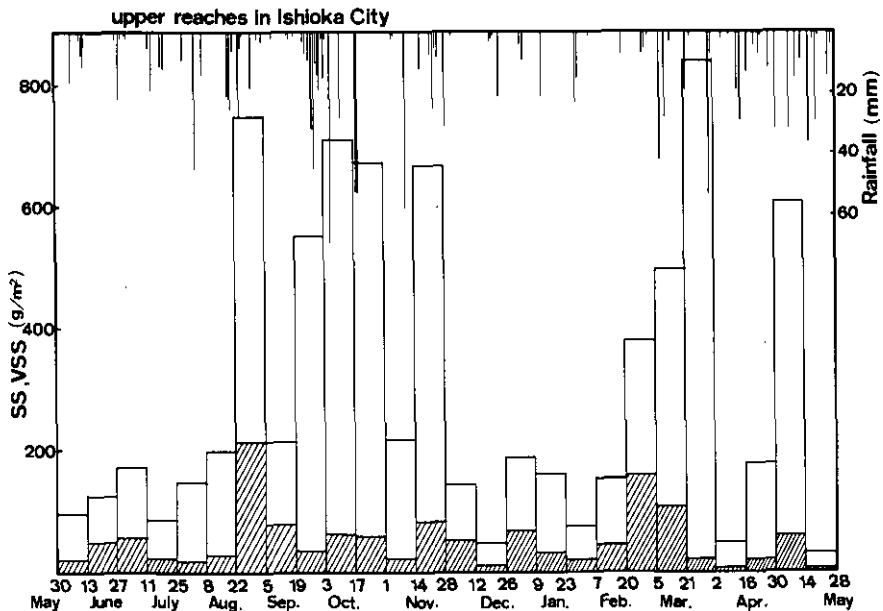
石岡市街地下流の山王川は、河床勾配がその上流部より小さく、市街地から側溝などを通じて流出した懸濁態成分は、河道に達し、流水断面の拡大と流速の減少によって、河道内に貯留・堆積する。

このほか、河道内にはミズワタと称される糸状菌のスフェロチルス (Sphelotilus) や付着性藻類、さらに原生動物を含めて構成される付着微生物群の増殖が見られ、有機物質の貯留、あるいは、栄養塩類の有機物質への転換などが行われている<sup>26, 28)</sup>。この付着微生物群は、ある程度増殖を続けると増殖量と流れによる剥離量が平衡に達し、常時一部の剥離を伴いながら増殖を行い、現存量としてはほぼ一定量を維持することが多い。また、付着微生物群には、浮遊物質の trapping

作用があり、微生物群集の周囲には多くの浮遊物質が trap されることになる。これらは全て晴天時の流量変化の少ない場合の現象であり、一旦、大きな降雨流出があれば、そのほとんどが剥離・流出し、河道内の他の貯留・堆積物質の浮上・流出とともに、first flush の有機態の浮遊物質のウェイトを高める結果となる。

これらの現象は、石岡市街地上流、石岡市街地下流および最下流の日の出橋の河床に、10 cm × 20 cm × 5 cm のコンクリートブロックを人工付着板として敷設して、ブロック上の沈殿堆積物質量および付着生物量の分析を行った 2 週間間隔調査（図 4.30 から図 4.32 参照；VSS は SS 中の斜線部として表示）や毎月 1 回実施した 1 週間間隔調査結果からも明らかとなる。全体的な傾向としては、降雨流出によって人工付着板上の微生物群や沈殿堆積物質は剥離あるいは浮上・流出し、流量の最大ピーク後は、無機態の大きな径の粒子を主とした浮遊物質が沈殿・堆積する。その後の晴天期間に有機物質の沈殿が加わり、付着微生物群も増殖し、剥離・浮上・流出の繰り返しパターンとなる。

流量、流速および水深がともに小さく、比較的汚濁されていない石岡市街地上流では、付着性藻類や *Sphelotilus* の現存量が大きかったため、SS、VSS とも 3 地点の中で最も大きい。次いで、石岡市街地下流の SS、VSS が高く、とくに、晴天期間 SS、VSS が日の出橋より少し高い値となっている。



〔 図 4.30 人工付着板上のSSとVSS現存量の変化(石岡市街地上流)  
〔 Fig. 4.30 Variations of SS and VSS on artificial substratum  
(at lower reach in Ishioka urban area)

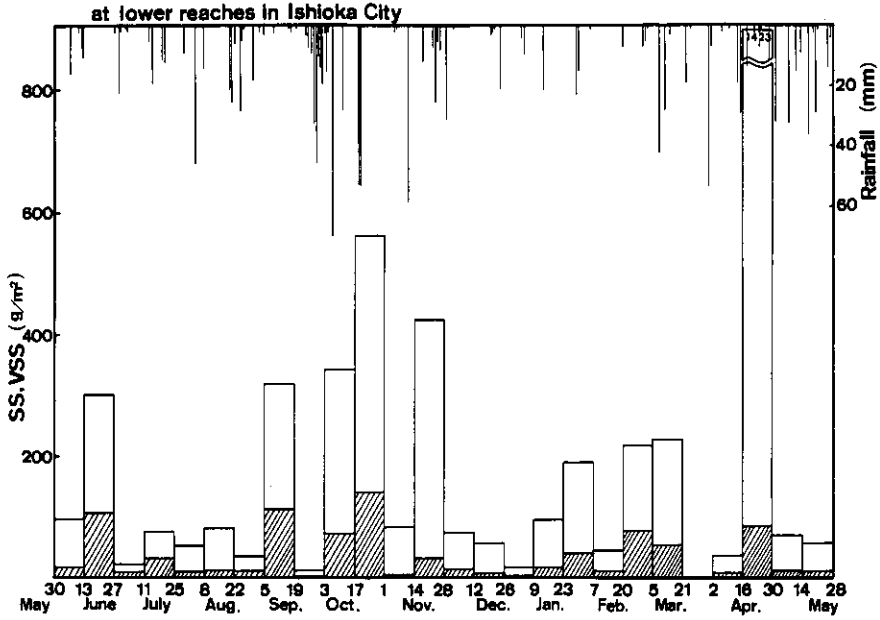


図 4.31 人工付着板上のSSとVSS現存量の変化(石岡市街地下流)  
 Fig. 4.31 Variations of SS and VSS on artificial substratum  
 (at lower reach in Ishioka urban area)

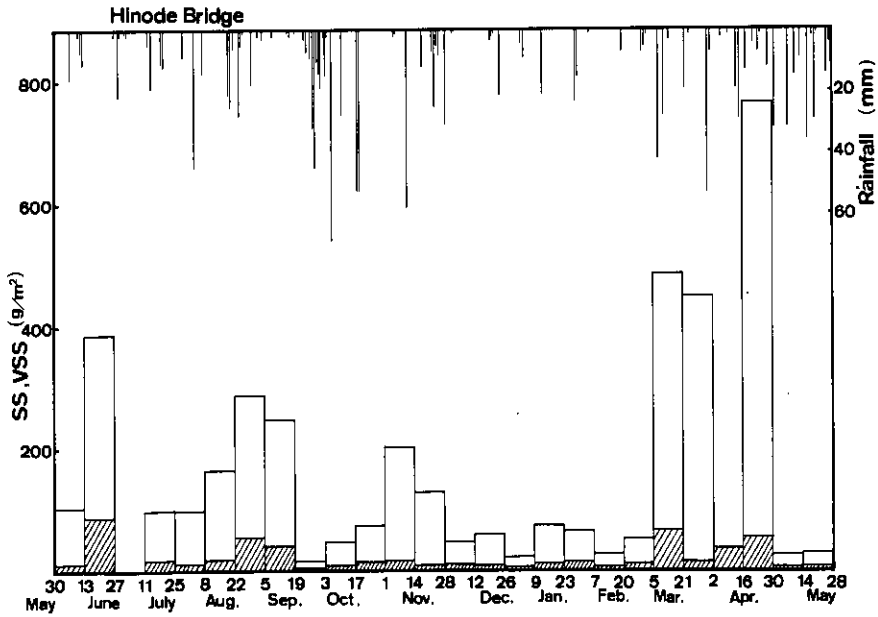


図 4.32 人工付着板上のSSとVSS現存量の変化(日の出橋)  
 Fig. 4.32 Variations of SS and VSS on artificial substratum  
 (at Hinode B.)

## 5. 流出負荷量変化の解析モデル

流出負荷量の推定法として大きな流域に適用される原単位法は、期間内の総流出負荷量を求める手法であり、発生負荷原単位（基数）や流達率・流出率を固定しているため、それ自体では流出負荷量の期間内変化までは追求し得ない。しかし、実際河川での実測値とのチェックが可能で、推定された期間総流出負荷量の精度が高い場合、期間総流出負荷量を、バックグラウンド的な性質を有する晴天時流出分と、日流量や日降雨量などの水文学に比例すると考える降雨時流出分とに分けて、期間内配分することによって時間分布をもたせることができる。これはあくまで便法であり、期間総流出負荷量の算定の精度と、各水質因子の流量あるいは降雨量と流出負荷量の相関性の問題があるが、河川での綿密な観測値を必要としないで、経日変化程度の流出負荷量の変化をシミュレートすることは可能である。

しかし、降雨時流出を考えると、1降雨の降雨量が大きくなればなるほど、直接流出量が大きくなり、流域内の面源あるいは非点源の負荷発生源からの流出負荷量が増加する。とくに、降雨強度も降雨量も大きな豪雨時流出の場合、山地斜面や畑地などの浸食・崩壊による表土の流亡や河床構成物質の流出によって、発生源や発生量および流達率・流出率の設定の枠を越える流出負荷量が観測されることが多い。このような豪雨流出が算定期間内に何回も出現すると、期間総流出負荷量を大幅に上まわることになり、原単位法の適用は不可能となる。したがって、降雨量や流量など水文学を説明変数とする算定モデルが必要となる。

流出負荷量変化の推定モデルとしては、各水質因子の流出機構を考慮した水文学を関数としたモデルと、長期間の時系列データから最適因子とパラメータを設定する統計モデルの2通りがある。これらを以下に要約し、その得失を明らかにした後、第4節での観測結果をもとに、霞ヶ浦流入河川に適用するモデルの構築を行う。

### 5-1 既往のモデル

#### 5-1-1 水文学による解析モデル

河川水質は、一般に、晴天時には地質をはじめとする自然的な要素をバックグラウンドとして、これに人為的な要素が変動を支配している。降雨時流出の場合は、降雨量や流量変化に加えて、先行降雨の条件や先行晴天期間などの降雨以前の履歴を含めた流域の状態、とくに、河道内や流域の地表面上の貯留・堆積物質量が降雨時流出負荷量の初期条件として重要な因子となる。

既往のモデルで最も単純なものは、経験式と称され、流出負荷量を $L(t)$ 、流量を $Q(t)$ とすれば、

$$L(t) = a \cdot [Q(t)]^n \quad (1)$$

あるいは、水質濃度を  $C(t)$  とすれば、

$$C(t) = b \cdot [Q(t)]^m \quad (2)$$

ここで、 $a$ 、 $b$ 、 $n$  および  $m$  : 係数、である。この(2)式が成立するには、各水質因子の水質濃度と流量の相関関係が高いことが条件となる。一般に、溶存態の無機物質のように自然的な要素に支配されるものには成立しやすい。しかし、降雨時流出の first flush からピーク流量時までや、渇水時の人為的な高濃度負荷の場合などは、晴天時の場合とは異なった関係となる。

また、(1)式の関係は  $L(t) = C(t) \cdot Q(t)$  のように、 $L(t)$  に  $Q(t)$  の因子が含まれ、(2)式に比べて相関性は高くなるが、上記の場合とはとくに改善されることはない。

Ledbetter らは、(2)式中の係数  $m$  を次式のような関数として表示した<sup>30)</sup>。

$$m = P \cdot Q^l \quad (3)$$

ここで、 $P$ 、 $l$  : 係数、である。

さらに、流量の履歴を先行流量として係数  $m$  の記述の改善を行い、次式を導いた。

$$m = f + g \cdot \log A_{gh} + h \cdot Q^l \quad (4)$$

$$A_{gh} = \sum_{i=1}^{30} Q_i / i \quad (5)$$

ここで、 $A_{gh}$  : 先行流量、 $f$ 、 $g$ 、 $h$  : 回帰係数、

$i$  :  $k$  日以降の日数

これは、(1)式あるいは(2)式の式の形はそのままにして、係数  $n$  あるいは  $m$  だけ処理しようとしているが、係数  $a$  あるいは  $b$  にも問題が残されている。

また、降雨を入力とした長期流出の観点から、流出を表面流出、中間流出および地下水流出の3成分に分離して、それぞれに応じた流出負荷量が存在し、その和の形として表現できるとしたモデルがある。溶存態物質については、Hart らが次式を提案している<sup>31)</sup>。

$$L = a_1 \cdot Q_G + a_2 \cdot Q_I + a_3 \cdot Q_S \quad (6)$$

ここで、 $Q_G$  : 地下水流出流量

$Q_I$  : 中間流出流量

$Q_S$  : 表面流出流量

$a_1$ 、 $a_2$ 、 $a_3$  : 係数

このほか、山口らは、合流式下水道の降雨時流出越流水が公共水域水質に及ぼす影響に関するアプローチから、流域内残存負荷量  $S(t)$  という概念を導入した流出負荷量解析モデルを示した<sup>32)</sup>。

また、懸濁態物質については、限界掃流量  $Q_C$  を考慮した以下のモデルとなる。

$$L(t) = K \cdot S(t)^m \cdot Q(t)^{n-1} \cdot (Q(t) - Q_c) \quad (7)$$

$$S(t) = S_0 - \int_0^t L(t) dt \quad (8)$$

ここで、 $S_0$ ：初期 ( $t=0$ ) 残存負荷量、

$K, m, n$ ：係数

著者は、小河川の降雨時流出の多くの観測より、先行晴天期間内の河道内貯留・堆積物質量の大きさと、表面流出と中間流出とでは、流出機構と流出物質が異なることに注目して、以下のモデルを提案した<sup>33)</sup>。

すなわち、降雨流出の初期の段階や前半において、懸濁物質の多くが流出してしまい、その first flush で流出するものは、河道、側溝、および流域地表面上で先行晴天期間において貯留・堆積した物質と考えられ、これには表面流出成分によるところが多い。したがって、モデルは、懸濁態物質と溶存態物質では、貯留・堆積量の有無と、流出における流量との関係の違いから、式の形は異なったものとなる。

降雨流出の表面流出、中間流出および地下水流出の3流出成分を3段直列のタンクの各段流出分と見たタンクモデルを小河川流域に適用し、急激な変化を伴う短期流出として直接流出による流出負荷量算定を行った。第1段タンク（表面流出）と第2段タンク（中間流出）の流出成分  $Q_1$  と  $Q_2$  による負荷の和として表わされる。

懸濁態物質については、

$$L(t) = a_1 \cdot S(t)^m \cdot Q_1 \cdot (Q_1 - Q_c) + a_2 \cdot Q_2^2 + L_{01} \quad (9)$$

$$S(t) = S_0 - \int_0^t L(t) dt \quad (10)$$

溶存態物質については、

$$L(t) = a_3 \cdot Q_1 + a_4 \cdot Q_2 + L_{02} \quad (11)$$

ここで、 $a_1, a_2, a_3, a_4$ ：係数

$L_{01}, L_{02}$ ：定数

以上のモデルは、いずれもその機構は考慮しているが、流量のみの関数としたものであるため、流量が常時測定されている河川にしか適用できない。

### 5-1-2 統計モデル

統計モデルは、長期間の時系列データをもとに、最適な因子と関数形の組み合わせを決定し、最終的には、その現象の機構には抱束されない予測モデルである。すなわち、入力と出力に関する過去

の情報から、現象の完全な記述を追求するのではなく、ブラックボックスとして、有用な予測を旨とする手法である。

その1つのカルマンフィルター法は、非線形不規則変動現象の推定法で、常に最新の入力データによってパラメータを決定して、予測を進めることになる。対象とする水質や流量の変化過程を、白色雑音を入力とする差分方程式あるいは微分方程式からの出力として表わす形となり、入力としてのデータは、毎日の定時観測値のような離散的な時系列データである。具体的には、予測の対象となる水質因子の負荷量をはじめ、これと関連の強い水文学量や水質量（例えば、流量  $Q(t)$ 、降雨量  $R(t)$ 、気温  $T(t)$ ）などの数日前までのデータ）を状態変数とした関数形としてシステムの最適状態の推定を行う制御理論の適用である<sup>34,36)</sup>。すなわち、

$$\begin{aligned} L(t) = & f(Q(t-1), Q(t-2), Q(t-3), \dots, R(t-1), R(t-2), \\ & R(t-3), \dots, T(t-1), T(t-2), T(t-3), \dots, L(t-1), \\ & L(t-2), L(t-3), \dots, \dots) \end{aligned} \quad (12)$$

最適なパラメータによる最適な組み合わせを最新の時系列データから各時間ステップごとに選択して行くことになる。このような考え方は、もう1つの発見的自己組織化法（GMDH法）とも共通したものである。

GMDH法は、状況が流動的で、代替案（ここでは表現法）が多い場合に、過去の経験と知識に基づいた代替案（表現法）の中から最も確からしいものを選択するアルゴリズムの利用であり、水質変化や流量変化の予測にも適用できる。具体的には、まず、現象に関連する因子の選択をし、その中から有用な入力変数を選び、入力変数の組み合わせによって構造式をつくる。つぎに、過去の時系列データを構造式の係数決定のためのトレーニング用と結果の予測への適合性（誤差評価）のチェック用とに分割し、一般には多項式である中間表現の構造式の中から予測値として最適な最終表現の構造式を決定する。その構造式の関数形は、因子群を  $x_i, x_j, x_k, \dots$  とし、 $a_i$  を係数とすると次式の形となる<sup>36)</sup>。

$$\begin{aligned} f(x_i, x_j, x_k, \dots) = & b_0 + \sum_i a_i x_i + \sum_i \sum_j a_{ij} x_i x_j \\ & + \sum_i \sum_j \sum_k a_{ijk} x_i x_j x_k + \dots \end{aligned} \quad (13)$$

また、このほかの統計モデルとして、多変量解析として最も一般的な重回帰分析がある<sup>34,35)</sup>。これは、流出負荷量  $L(t)$  がその時点の  $Q(t)$  や  $S(t)$  だけで表わせない場合に、以前の  $L(t-1)$  をはじめとする過去の時系列データを用いた重回帰式表現となる。すなわち、予測の対象とする水質負荷量と関連する因子から、相関関係で意味のある因子と係数の線形結合をつくるものである。以下のような多項式表示の例がある。



$$L(t) = aQ(t) + \sum_{i=1}^n b_i R(t-i) + \sum_{i=1}^n c_i T(t-i) + k \quad (14)$$

$$L(t) = a'Q(t) + \sum_{i=1}^n b_i' Q(t-i) + k' = \sum_{i=0}^n b_i' Q(t-i) + k' \quad (15)$$

ここで、 $a$ 、 $a'$ 、 $b_i$ 、 $b_i'$ 、 $c_i$ は係数であり、 $k$ 、 $k'$ は定数である。

以上は、いずれも、利用できる過去の時系列データの観測項目や観測精度はむろんのこと、観測間隔あるいは観測頻度も重要な因子となる。その上、降雨時流出のように急激な短期変動に追従できるモデル構造にはなっていないため、大きな降雨と降雨の間や季節変化のような長期変動を把握するのに適用できるモデルと言える。

## 5-2 期間総流出負荷量モデル

### 5-2-1 比流出負荷量としての取り扱い

河川の流域特性と流出負荷量の流出特性との関係の共通法則を見出し、その一般化を行うことは、各河川毎の緻密な流出負荷量観測が困難な現状を考慮すれば、重要で緊急を要する問題である。これには、同様の観測頻度や観測精度の流出負荷量観測資料を備えた河川を対象にした統計的な解析と評価が有効な手段となる。各河川の流域内の土地利用状態をはじめとする流域特性の総括化は、多くの因子が複雑にからみ合っているため困難を伴うが、有力な因子を抽出してそれに替えるなど改善の策も必要であろう。ここでは、流域面積が各河川の流域規模を表わす最も主要な因子であると考え、各河川の流量あるいは流出負荷量をそれぞれの流域面積で除した比流量あるいは比負荷の形で比較検討を試みることにする<sup>27,37,38,39</sup>。すなわち、まず流域規模の違いによる影響を除いた比流量や比負荷量の流出特性を用いることによって、一般性を持たせた形で各河川の流出負荷特性を論じ、河川の性格づけによる分類あるいはグループ化を行うことにする。

ここでも、恋瀬川、園部川の各下流端、および、山王川の下流端の日の出橋と上流部の鹿ノ子橋の4地点における2年間104個の観測値、それに、山王川の石岡市街地上流側地点および下流側地点の1年間52個の観測値を加えて、比流量あるいは比(流出)負荷量を検討した。表5.1は、4つの観測地点における2年間の観測値の平均値から求めた比流出負荷量と流出負荷量の変動係数の一

表 5.1 定期負荷量観測に基く比流出負荷量と流出負荷量の変動係数  
Table 5.1 Specific load with weekly data and coefficient of variance

河川		流量	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	I <sup>inorg</sup> -N	Org.-N	T-N	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P	Org.-P	T-P	Cl <sup>-</sup>	SS
恋瀬川	比流出負荷量	1.21	0.51	1.97	2.53	0.75	3.28	0.10	0.16	0.26	17	38.0
	変動係数	0.89	1.60	1.27	1.17	1.49	1.16	2.39	1.92	1.88	0.82	2.62
園部川	比流出負荷量	1.47	3.27	3.55	7.55	1.68	9.26	0.37	0.19	0.58	31	29
	変動係数	1.01	0.82	1.36	1.00	1.74	1.07	0.80	1.60	0.78	0.93	3.46
山王川 (日の出橋)	比流出負荷量	2.99	2.78	3.30	6.91	3.44	10.3	1.11	0.57	1.76	77	69
	変動係数	0.51	0.43	1.13	0.66	1.08	0.67	0.34	1.45	0.57	0.38	1.71
山王川 (鹿ノ子橋)	比流出負荷量	1.54	1.22	4.78	7.44	2.57	9.98	0.53	0.85	1.42	76	54
	変動係数	1.03	1.89	1.10	1.10	2.66	1.21	1.59	7.58	4.96	0.57	6.48

覧である。これより、山王川（日の出橋）の比流出負荷量の大きさと、恋瀬川のそれの小ささの対比が明らかとなったほか、園部川は山王川と肩を並べるほど比流出負荷量の大きい水質項目が多い。山王川の鹿ノ子橋地点での比流出負荷量は小さく、中流部の石岡市街地下流からの負荷のウェイトの高さが理解できる。

また、2年間の変動係数は、恋瀬川>園部川>山王川、の順に並ぶ水質因子が多い。しかし、流量の変動係数が3河川中で最も大きい園部川では、流量との相関の高いSS、Cl<sup>-</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-NおよびOng.-Nの流出負荷量の変動係数が恋瀬川のそれを上回り、園部川>恋瀬川>山王川、の順となっている。

### 5-2-2 平常時の流出分と降雨時の流出分

琵琶湖や霞ヶ浦は、それ自体が1級河川と同様の取り扱いとなっており、湖沼への総流入量は計測されている総流出量と湖沼の水位変動の観測値をもとに大まかに把握されている。しかし、これらに流入する河川の多くは1級河川の指定を受けているが、その大半を占めるのが中小河川であるため、ほとんど連続的な流量観測がなされていないのが現状である。したがって、流入河川全ての流量の連続観測による時系列データの入手は期待できない。それゆえ、流量と負荷量の回帰式の関係を晴天時あるいは通常時に適用して期間流出負荷量を算定することは、常時流量観測がなされて

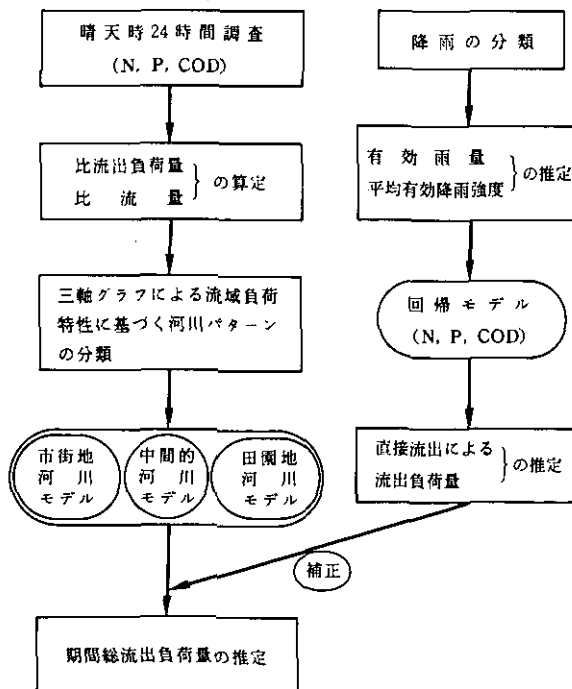


図 5.1 期間総流出負荷量算定のためのフローチャート

Fig. 5.1 Flow chart of estimating total river load for a fixed period

いない場合には不可能となる。これに代わり、入手可能な水文量データは、総降雨量および時間降雨量に限定され、これを用いて流出量を推定する流出モデルが頼りとなる。すなわち、降雨は流出量の入力として、長期的かつ短期的な変動を左右する最も重要で、入手可能な唯一の水文量となる。

この点を考慮し、期間流出負荷量の算定は、図 5.1 に示すフローチャートのように、まず長期的変化は通常時の観測値ではほぼ押さえられると考え、毎週 1 回の定期観測値をベースとして用い、晴天時の 24 時間周日負荷量変化観測値のチェックを行い、その修正を受けた上で、晴天時のデータとして用いる。短期的な変化は、1 降雨ごとの直接流出、すなわち、表面流出と早い中間流出によって構成される流出を対象とし、晴天時の日流量や各種水質の日流出負荷量をかかなり上回る降雨について、晴天時とは流出形態の異なる現象として別扱いとして検討する<sup>40,41)</sup>。したがって、期間総流出負荷量は、晴天時あるいは通常時の流出分と、降雨による直接流出分とに分離して取り扱うことになる。ここで、降雨による直接流出分としての取り扱いを、日流量や日流出負荷量を上回る降雨に限定するため、流出負荷量への影響の小さい降雨の場合は晴天時の場合を含めて取り扱い、両者を併せて平常時の場合と呼ぶことにする。

### 5-2-3 平常時の流出負荷量

毎週 1 回の定期負荷量観測値の 1 年間 52 週の平均値と、この 1 年間に 4 回実施した晴天時 24 時間流出負荷量観測値による日流出負荷量の平均値の比較を、晴天時に最も変動の大きい市街地河川の山王川最下流部の日の出橋地点について示したものが、表 5.2 である。むろん、前出の 7 回の 24 時

表 5.2 定期負荷量観測に基づく日流出負荷量と 4 回の日負荷量観測の平均値の比較

Table 5.2 Comparison of diurnal load with weekly data and mean of four diurnal load observation values (R. Sanno)

	流 量	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	Inorg.-N	Org.-N	T-N	DTN	PTN	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P
定期負荷量観測	40.5	37.3	12.4	51.4	101	53.3	155	(136)	(18)	13.1
日負荷量観測	43.2	40.5	9.2	53.7	103	49.9	153	(159)	(23)	20.4
	DIP	Org.-P	T-P	DTP	PTP	Cl <sup>-</sup>	SS	T-COD	D-COD	P-COD
定期負荷量観測	14.3	11.1	25.1	(16.3)	(9.2)	1000	1100	359	-	-
日負荷量観測	21.1	9.2	30.3	(17.0)	(9.8)	1120	672	326	227	99

(単位は、流量 (10<sup>3</sup> m<sup>3</sup>/日)、負荷量 (kg/日) である。( ) 内の数値は欠測のあったものである)

間観測値でもほとんど変わることはない。この表より、4 回あるいは 7 回の観測値で必ずしも十分とは言えないが、毎週 1 回定期観測値と 24 時間観測値のそれぞれの平均値がほぼ等しいことから、毎週 1 回の定期観測値の平均値は、いくつかの降雨流出はとらえているものの、SS 以外では降雨流出の影響をあまり反映しておらず、そのまま平常時の流出負荷量として、利用できるものとする。なお、正確には、観測時刻の観測値の周日変化パターンの中での位置づけによって、各水質項目ごとに修正する必要がある。

5-2-4 平常時の流出負荷量と流量の関係

流出負荷量と流量の関係の経験的な指数関数表示は、とくに精度の良い推定法とは言えないが、これによって、各種水質負荷量の流域特性を知る1つの目安ともなり、流域相互の比較をすることもできる。表5.3は、恋瀬川、園部川および山王川の2地点での流量 $Q$  (m<sup>3</sup>/sec)に対する流出負荷

表 5.3 定期負荷量観測値の回帰式 ( $L=a \cdot Q^n$ ) 表現  
Table 5.3 Regression equation ( $L=a \cdot Q^n$ ) with weekly river load data

	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	Inorg.-N	Org.-N	T-N	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P	Org.-P	T-P	Cl <sup>-</sup>	SS	T-COD
恋瀬川 (橋)	0.32 · Q <sup>1.1</sup> (0.83)	0.84 · Q <sup>1.6</sup> (0.93)	1.3 · Q <sup>1.4</sup> (0.92)	0.42 · Q <sup>0.97</sup> (0.67)	2.0 · Q <sup>1.2</sup> (0.91)	0.064 · Q <sup>0.88</sup> (0.79)	0.093 · Q <sup>0.93</sup> (0.68)	0.18 · Q <sup>0.90</sup> (0.81)	16 · Q <sup>0.83</sup> (0.93)	7.0 · Q <sup>1.8</sup> (0.82)	5.2 · Q <sup>0.70</sup> (0.68)
園部川 (新橋)	2.4 · Q <sup>0.57</sup> (0.63)	2.2 · Q <sup>1.0</sup> (0.91)	5.4 · Q <sup>0.82</sup> (0.90)	0.70 · Q <sup>1.2</sup> (0.65)	6.4 · Q <sup>0.86</sup> (0.91)	0.27 · Q <sup>0.45</sup> (0.49)	0.13 · Q <sup>0.89</sup> (0.63)	0.44 · Q <sup>0.64</sup> (0.70)	22 · Q <sup>0.89</sup> (0.89)	9.4 · Q <sup>1.5</sup> (0.82)	7.8 · Q <sup>0.90</sup> (0.88)
山王川 (日の出橋)	0.58 · Q <sup>0.51</sup> (0.37)	1.7 · Q <sup>2.0</sup> (0.57)	2.6 · Q <sup>1.2</sup> (0.78)	1.2 · Q <sup>1.4</sup> (0.55)	4.0 · Q <sup>1.2</sup> (0.81)	0.19 · Q <sup>0.25</sup> (0.23)	0.31 · Q <sup>2.0</sup> (0.54)	0.50 · Q <sup>0.83</sup> (0.61)	21 · Q <sup>0.77</sup> (0.83)	50 · Q <sup>2.6</sup> (0.62)	10 · Q <sup>1.3</sup> (0.85)
山王川 (鹿ノ子橋)	0.73 · Q <sup>1.1</sup> (0.60)	1.4 · Q <sup>0.77</sup> (0.59)	3.5 · Q <sup>0.94</sup> (0.63)	1.6 · Q <sup>1.2</sup> (0.55)	4.3 · Q <sup>0.99</sup> (0.69)	0.15 · Q <sup>0.85</sup> (0.42)	0.72 · Q <sup>1.6</sup> (0.65)	0.62 · Q <sup>1.1</sup> (0.57)	37 · Q <sup>0.81</sup> (0.75)	57 · Q <sup>1.8</sup> (0.67)	20 · Q <sup>1.4</sup> (0.80)

(単位は、負荷量 $L$  (g/sec), 流量 $Q$  (m<sup>3</sup>/sec)であり、( )内の数値は相関係数である)

量 $L$  (g/sec) の関係を $L=a \cdot Q^n$ 式に相関係数をつけて示したものである。COD以外は、2年間の毎週1回の定時負荷量観測値104個のデータの解析結果であり、CODにその後半の1年間の52個のデータによっている。これらの関係は、4-4の図4.7から図4.9までに示した流出負荷量と流量の両対数紙上でのプロットによって、その相関の大きさ、あるいは、バラツキからおおよそは知ることができる。

表5.3より、Cl<sup>-</sup>については、河川あるいは地点による相違が最も小さいが、その他の水質項目について係数 $a$ と指数 $n$ の値に大きな差違が見られ、流域特性の違いを反映していることがわかる。

全般的には、Cl<sup>-</sup>, SS, CODの相関係数が大きい、市街地河川の山王川(日の出橋)では、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P, Org.-N, Org.-Pなど人為的な汚濁負荷の影響の大きいものでの相関が低い。これに対して、田園地河川の恋瀬川では、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N, Inorg.-N, T-NとNに関する相関の高さが注目される。また、市街地河川の山王川の upstream の鹿ノ子橋と最下流の日の出橋での比較では、 $a$ の値より $n$ の値の違いが目立ち、中流部に市街地を有する影響の大きさが明らかとなる。

この結果から、流出負荷量が流量の関数として、ある程度表現しうることがわかった。しかし、一般には河川や流域、あるいは、水質項目によって相関係数が異なり、単純に、流量から流出負荷

量を計算する場合は、その算定精度に注意が必要となる。また、この流量が常時測定されていることは、小河川では非常に少く、この手法は、水質変動が比較的安定している大河川に適している<sup>41,42)</sup>。

以上の2年間104個のデータによる流出負荷量と流量の関係は、そのデータ数から統計的にも意味がある。しかし、季節別あるいは月別の平均値をプロットした関係は、すでに原データの性質とは異なっており、各グループにどれだけの範囲のパラツキが見られるかは明らかになるものの、各グループ平均値による $L = a \cdot Q^n$ の関係は、降雨流出の影響をどの程度把えているかによって左右され、原データの関係とはかなり異なったものとなる(表5.4)。

表 5.4 季節別平均値による回帰式 ( $L = a \cdot Q^n$ ) 表現

Table 5.4 Regression equation ( $L = a \cdot Q^n$ ) with seasonal mean of weekly river load data

	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	Inorg.-N	Org.-N	T-N	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P	Org.-P	T-P	Cl <sup>-</sup>	SS
恋(恋瀬瀬川橋)	0.44 · Q <sup>0.86</sup> (0.72)	0.76 · Q <sup>1.9</sup> (0.96)	1.2 · Q <sup>1.6</sup> (0.96)	0.70 · Q <sup>0.76</sup> (0.57)	2.0 · Q <sup>1.4</sup> (0.98)	0.067 · Q <sup>1.0</sup> (0.71)	0.12 · Q <sup>0.94</sup> (0.78)	0.20 · Q <sup>0.98</sup> (0.78)	15 · Q <sup>0.93</sup> (0.97)	12 · Q <sup>2.0</sup> (0.87)
岡(岡部新橋)	2.7 · Q <sup>0.40</sup> (0.80)	2.0 · Q <sup>1.4</sup> (0.92)	11 · Q <sup>0.16</sup> (0.04)	0.99 · Q <sup>1.1</sup> (0.54)	6.4 · Q <sup>0.93</sup> (0.95)	0.30 · Q <sup>0.36</sup> (0.47)	0.10 · Q <sup>1.4</sup> (0.75)	0.45 · Q <sup>0.64</sup> (0.79)	22 · Q <sup>0.93</sup> (0.94)	9.2 · Q <sup>2.3</sup> (0.85)
山(山の出川)	0.41 · Q <sup>0.04</sup> (0.04)	1.8 · Q <sup>1.6</sup> (0.64)	2.0 · Q <sup>0.82</sup> (0.69)	0.89 · Q <sup>0.75</sup> (0.35)	2.7 · Q <sup>0.68</sup> (0.59)	0.14 · Q <sup>0.11</sup> (-0.22)	0.23 · Q <sup>1.3</sup> (0.48)	0.30 · Q <sup>0.21</sup> (0.27)	16 · Q <sup>0.39</sup> (0.93)	87 · Q <sup>2.5</sup> (0.86)
山(鹿ノ子橋)	0.38 · Q <sup>0.77</sup> (0.46)	2.4 · Q <sup>0.92</sup> (0.69)	4.0 · Q <sup>0.95</sup> (0.65)	0.98 · Q <sup>0.88</sup> (0.39)	5.3 · Q <sup>0.95</sup> (0.63)	2.7 · Q <sup>0.08</sup> (0.06)	0.24 · Q <sup>1.1</sup> (0.29)	0.14 · Q <sup>0.45</sup> (0.18)	4.4 · Q <sup>0.10</sup> (0.19)	47 · Q <sup>2.4</sup> (0.95)

(単位は、負荷量 $L$  (g/sec), 流量 $Q$  (m<sup>3</sup>/sec)であり、( )内の数値は相関係数である)

これは、対象とする水質項目の実際の変動特性とサンプリング間隔とが関係する重要な問題である。したがって、2年間の104個のデータ自身のサンプリング間隔あるいは観測頻度の不十分さのほか、少数データから全体の傾向の推定を行うことの難しさが明らかとなった。とくに、降雨時の直接流出が比較的短期間で終わる小河川では、その変化を把えるにはより高い頻度の観測に留意する必要がある。

#### 5-2-5 三軸グラフによる流域負荷特性の表現

湖沼の富栄養化や水質汚濁現象を対象とした場合、流入河川による負荷として最も重要な水質項目として取り上げるものを最小限にとどめれば、T-N、T-PおよびT-CODの3つに絞ることができる。この3水質項目の比流出負荷量の大きさ関係から、各河川の流出負荷量による流域特性の性格づけを行うことができる。

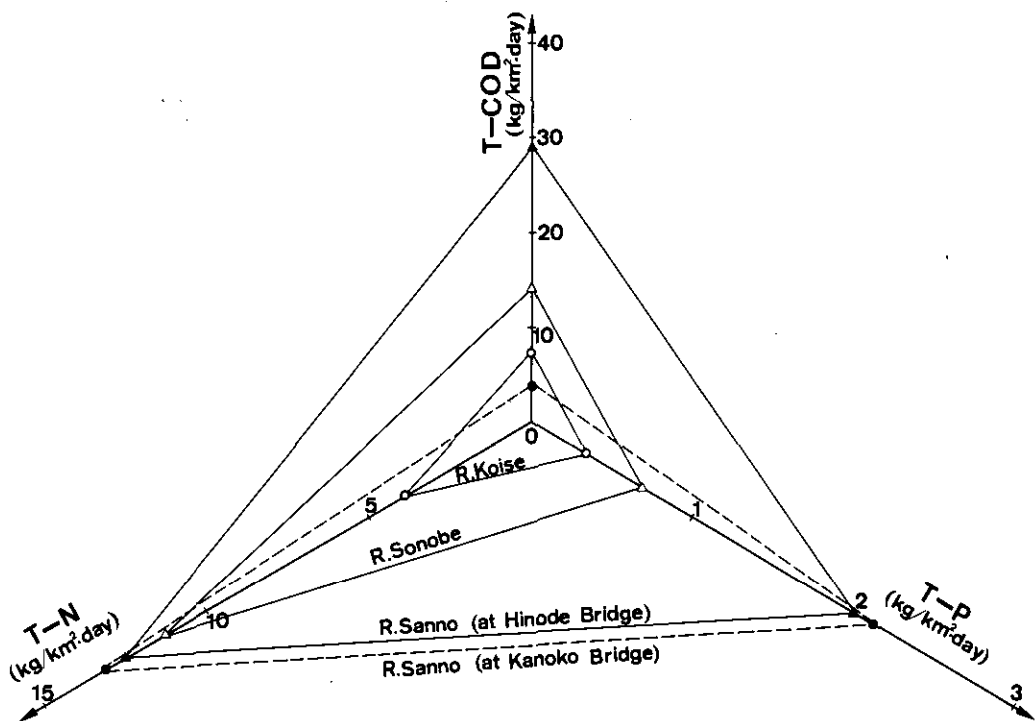


図 5.2 比流出負荷量の3軸グラフによる河川流域負荷特性の比較  
 Fig. 5.2 Comparison of river basin load characteristics by isometric triangle graph of specific T-N, T-P and T-COD loads

図 5.2 は、恋瀬川，園部川および山王川における毎週1回定期負荷量観測の後半の1年間の平均値を比流出負荷量として表わしたものである。この三軸グラフでは，比流出負荷量の最も高い山王川（日の出橋）の3水質項目で正三角形に近い形になるように3つの座標軸の目盛づけがしてある。山王川は典型的な市街地河川であり，T-COD や T-P など生活排水や工場排水による人為的な汚濁負荷を強く反映している。これに対して，恋瀬川は田園地河川の代表的なもので，T-N はかなり高い値を示すが，T-COD と T-P がかなり低い値となり，T-N を頂点とした2等辺三角形のような配置となる。園部川は両河川の間中間的な性格を有しており，小型の市街地河川，すなわち，山王川とよく似かよった三角形パターンとなっており，これは，また田園地河川に人為的な汚濁負荷の加わった形とも捉えることができる。

図 5.3 は，同じ毎週1回の定期負荷量観測の後半の1年間の平均値を，山王川の4地点について示したものであり，石岡市街地下流の群を抜いた比流出負荷量の大きさがわかり，その上流の2地点とは大きく異なっている（表 5.5）。また，最下流の日の出橋地点では，石岡市街地下流の影響が大きく現われている。これは，石岡市街地のの上流側と下流側の差としては，石岡市街地の比流出負荷量と，鹿ノ子橋と石岡市街地のの上流側との間の上流田園地の比流出負荷量を，日の出橋や鹿ノ子橋

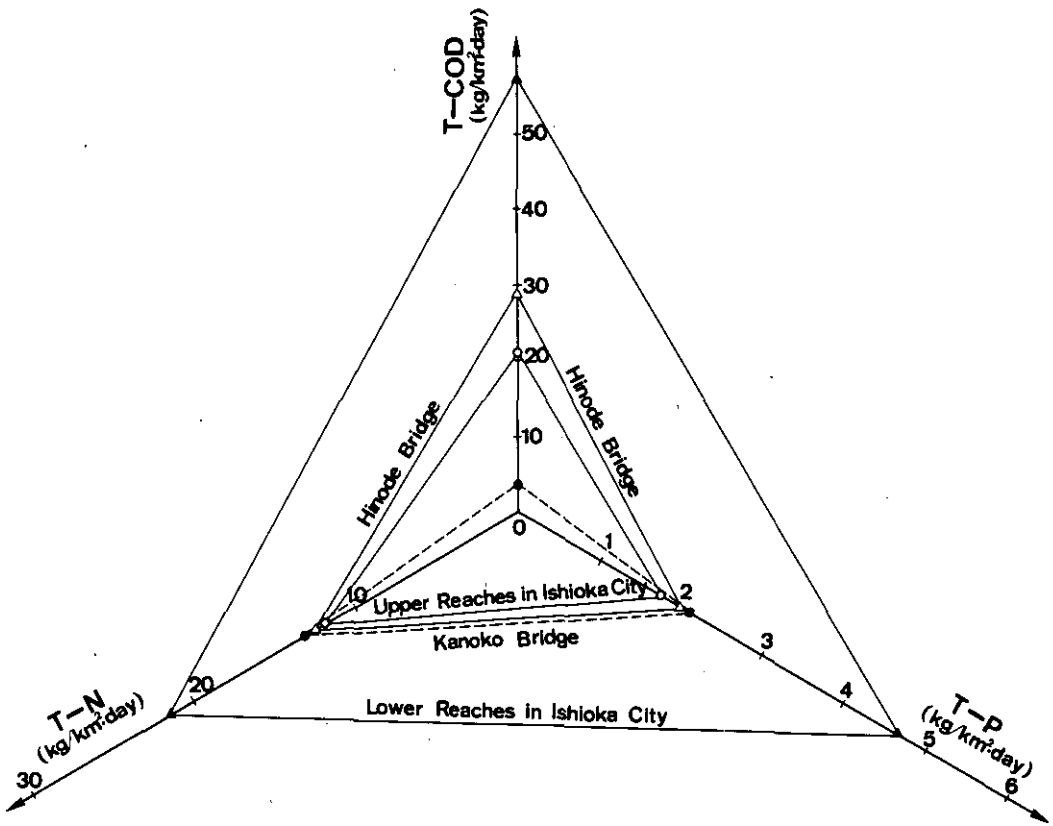


図 5.3 比流出負荷量の3軸グラフによる流域負荷特性の比較 (山王川)  
 Fig. 5.3 Comparison of river basin load characteristics by isometric triangle graph of specific T-N, T-P and T-COD loads (R. Sanno)

での比流出負荷量と比較するために示した図 5.4 から、さらに明らかなものとなる。

さらに、同じ山王川の場合について、日の出橋での流出負荷量と石岡市街地からの流出負荷量について、毎週 1 回の定期観測によるものと、4 回の晴天時 24 時間負荷量観測によるものを比較のために示したものが図 5.5 である。どちらの観測値によっても大きな差違のないことが明らかである。

以上のような検討を踏まえて、T-N、T-P および T-COD の比流出負荷量を三軸とするグラフによって、流域負荷特性に基いた河川の分類を行い、典型的あるいは代表的な流域負荷特性の例をいくつか用意する。そして、調査を行わなかった河川の土地利用状態による典型河川例への当てはめあるいは分類に基いた流出負荷量の推定が考えられる。典型的な河川例としては、市街地河川の山王川、田園地河川の恋瀬川および中間的な性格の河川の園部川である。また、同様に、山王川での 4 地点での観測を生かして、樹園地と畜産排水のある田園地上流部、水田を主とした田園地に工場排水のある中間的な性格の中流部、それに、生活排水と工場排水の負荷の大きい市街地部の 3 つも代表的な土地利用状態の流域特性を示す比流出負荷量パターンとして利用できる。

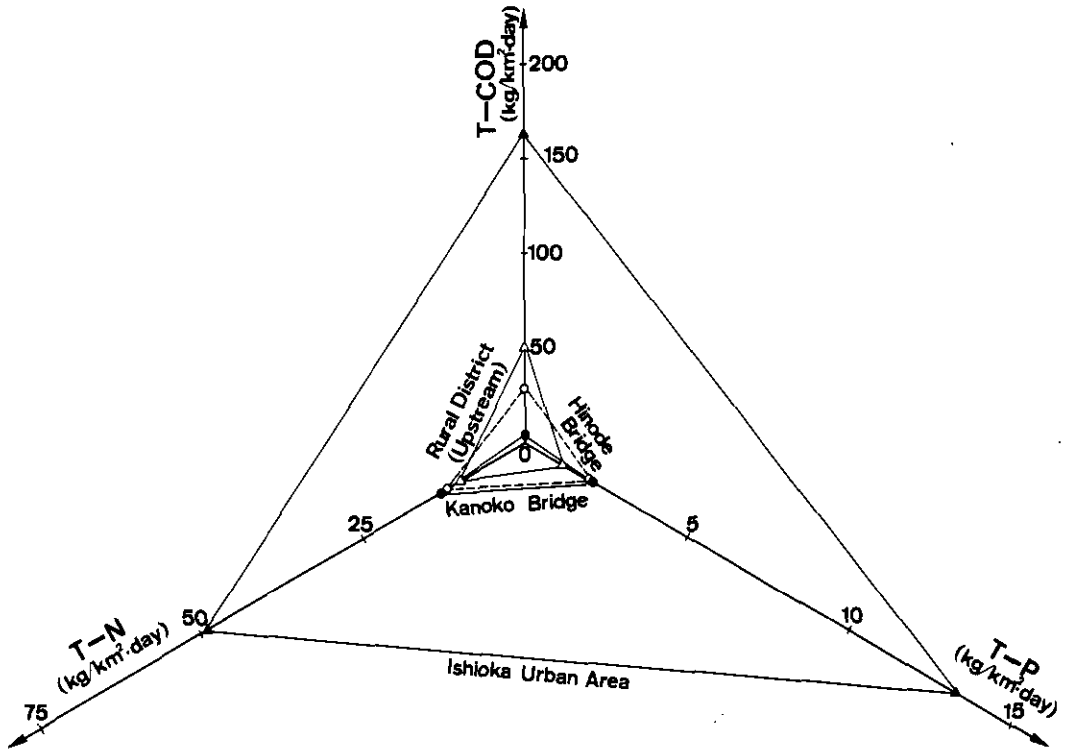


図 5.4 比流出負荷量の3軸グラフによる流域負荷特性の比較 (山王川)  
 Fig. 5.4 Comparison of river basin load characteristics by isometric triangle graph of specific T-N, T-P and T-COD loads (R. Sanno)

表 5.5 山王川各観測地点における  
 Table 5.5 Comparison of specific observation points in

		流 量	$\text{NH}_4^+ - \text{N}$	$\text{NO}_3^- - \text{N}$	Inorg.-N	Org.-N	T-N
日の出橋 (12.4 km <sup>2</sup> )	比流出負荷量 変動係数	3.27 0.51	3.0 0.42	4.2 0.90	8.2 0.55	4.3 1.05	12.5 0.58
石岡下流 (8.3 km <sup>2</sup> )	比流出負荷量 変動係数	4.53 0.37	5.0 0.56	6.5 0.64	13.2 0.42	8.2 0.66	21.4 0.40
石岡上流 (6.2 km <sup>2</sup> )	比流出負荷量 変動係数	2.22 0.64	2.2 0.46	5.7 0.58	8.9 0.44	3.0 0.99	11.9 0.49
鹿ノ子橋 (3.9 km <sup>2</sup> )	比流出負荷量 変動係数	1.66 0.81	1.0 0.70	5.9 0.94	9.3 0.97	3.9 2.41	13.1 1.12
恋瀬川 (153 km <sup>2</sup> )	比流出負荷量 変動係数	1.34 0.88	0.6 1.76	2.4 1.15	3.0 1.09	0.8 1.44	3.9 1.11
岡部川 (80 km <sup>2</sup> )	比流出負荷量 変動係数	1.78 1.03	3.4 0.95	2.4 1.36	9.1 1.08	2.1 1.52	11.3 1.06



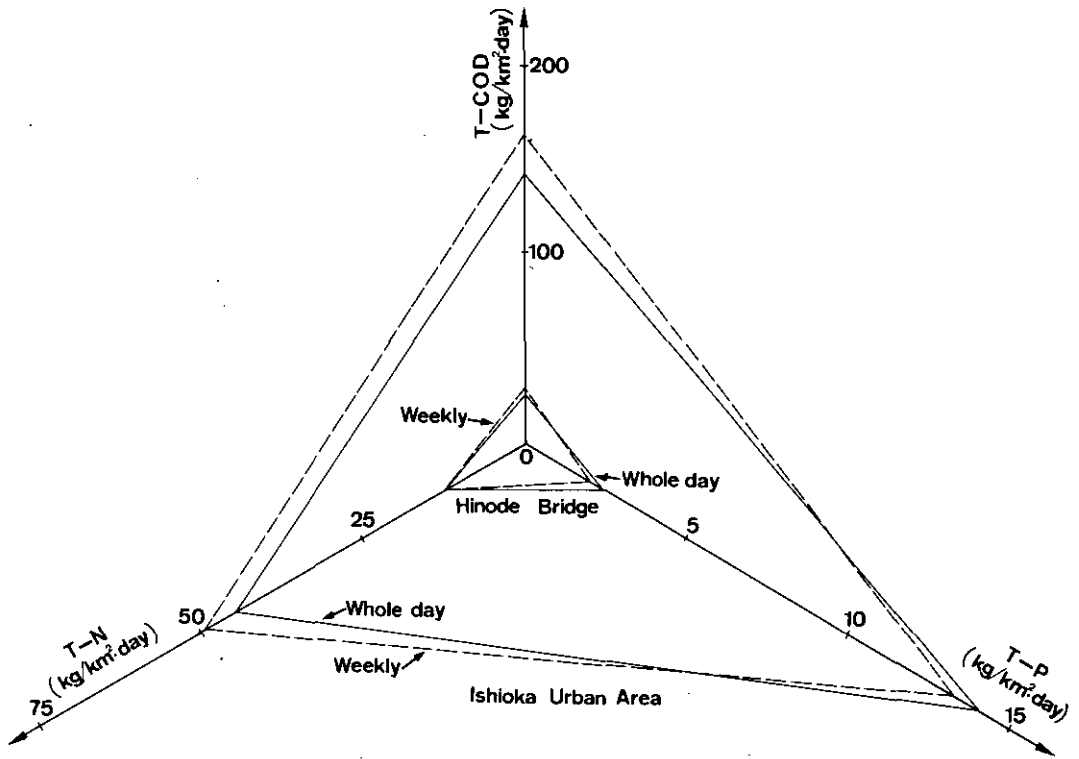


図 5.5 3軸グラフによる定期観測と日負荷量観測による比流出負荷量の比較  
 Fig. 5.5 Comparison of specific load by weekly observation data and diurnal observation data

比流出負荷量と流出負荷量の変動係数の比較  
 loads and coefficients of variance at  
 R. Sanno

		PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P	Org.-P	T-P	Cl <sup>-</sup>	SS	COD
日の出橋 (12.4 km)	比流出負荷量	1.04	0.88	2.02	81	82	29
	変動係数	0.35	1.16	0.63	0.32	1.40	0.64
石岡下流 (8.3 km)	比流出負荷量	2.24	2.18	4.67	126	154	57
	変動係数	0.37	0.74	0.44	0.29	1.75	0.65
石岡上流 (6.2 km)	比流出負荷量	0.98	0.67	1.76	71	44	21
	変動係数	0.52	1.30	0.75	0.35	2.67	1.15
鹿ノ子橋 (3.9 km)	比流出負荷量	0.51	1.57	2.12	68	81	3.7
	変動係数	1.92	5.73	4.67	0.60	5.81	5.12
恋瀬川 (153 km)	比流出負荷量	0.12	0.19	0.34	18	39	6.6
	変動係数	2.46	1.99	1.98	0.78	3.12	1.43
南部川 (80 km)	比流出負荷量	0.36	0.30	0.69	38	44	14
	変動係数	0.78	1.33	0.90	0.95	3.08	1.02

(単位は、比流量 (10<sup>3</sup> m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>・日), 比流出負荷量 (kg/km<sup>2</sup>・日) である)

### 5-3 降雨時流出負荷量の定量化

#### 5-3-1 直接流出による降雨流出負荷量の大きさ

降雨流出による流出形態の平常時との違いは、表面流出、中間流出および地下水流出の流出構成3成分のうち、表面流出と早い中間流出による直接流出の短期変化と、遅い中間流出と地下水流出による長期変化との違いと考える。とくに、雨滴によるはく離と表流水による浸食をはじめ、流域内地表面上の浮遊物質の流路への輸送のほか、流路内まで持ち込まれた先行降雨以来の貯留・堆積物質の輸送など浮遊物質の挙動に著しい差違がある。また、溶存態物質でも、早い中間流出によるもののほかに、一種のtrapping作用からの解放や凹地貯留によるものの流出など、平常時をはるかに上回る流出負荷量となる水質項目もある。

実際に、降雨時流出負荷量が晴天時流出負荷量を大きく上回る水質項目としては、懸濁態成分と懸濁態成分を含めたTotalの水質項目で、SS、P-COD（したがって、T-COD）、PTN（同様に、T-NあるいはOrg.-N）、PTP（同様に、T-PあるいはOrg.-P）である。このほか、流量変化により追従性を見せる $Cl^-$ 、主に中間流出にのって流出する $NO_3^- - N$ 、降雨流出の初期の段階のfirst flushに多いD-CODなどの溶存態成分の流出も、懸濁態成分ほどの大きさにはならないものの、晴天時の流出分を上回る。したがって、これらの水質項目には降雨流出の補正が必要である。その差違は、晴天時の流出負荷量の大きい市街地河川の山王川（日の出橋）の観測例でも明らかである。表5.6は、毎週1回1年間の定期観測の平均値、4回の24時間流出負荷量観測値の平均値、58、35および7mmの降雨による直接流出をそれぞれ32、35および16時間の累加流出負荷量で示したものである。初めの2つの降雨流出が1.3日間、1.5日間とは言え、晴天時1日分のT-COD

表 5.6 平常時の流出負荷量と降雨時流出負荷量の比較

Table 5.6 Comparison of river load in usual days and runoff load in rainy days

	降雨量	観測時間	流量	$NH_4^+ - N$	$NO_3^- - N$	Inorg.-N	Org.-N	T-N
定期観測	-	-	41	37	51	101	53	155
日負荷量観測	-	24 hrs	43	41	54	103	50	153
降雨(11月10日)	58 mm	32 hrs	208	57	305	386	389	776
降雨(5月15日)	35 mm	36 hrs	196	106	212	357	191	548
降雨(2月29日)	7 mm	16 hrs	31	49	20	73	41	114
	$PO_4^{3-} - P$	Org.-P	T-P	$Cl^-$	SS	T-COD	T-COD	T-COD
定期観測	13	11	25	1,000	1,010	359	-	-
日負荷量観測	20	9	30	1,170	672	326	227	99
降雨(11月10日)	14	131	153	2,760	22,000	3,120	940	2,180
降雨(5月15日)	26	141	167	3,350	29,000	4,250	1,140	3,110
降雨(2月29日)	11	11	22	886	881	322	216	96

で9~12倍, T-Nで4~5倍, T-Pで6~7倍となっている。山地河川や田園地河川では, 晴天時の流出負荷量が小さいため, 降雨流出による負荷量はさらに大きな倍率となり, 降雨流出のウエイトが増すことになる。

この降雨流出の補正は, より細分化した成分に対して行う方が正確ではあるが, 観測例の少なさ, 分析項目の不揃いなどの現状を考慮し, T-COD, T-NおよびT-PのTotalの水質項目として補正し, Overallで精度を合わせることにする。

### 5-3-2 降雨の分類

対象とした3河川流域で毎週1回の定期観測を行った2年間の降雨の内容を検討し, 平常時(晴天時)の負荷量として取り扱える降雨と, 降雨時流出の負荷量として別扱いの必要のある降雨の分類を行うことにする。

3河川流域での降雨を柿岡の降雨観測所の記録を基準にとると, 1978年6月から1979年5月までの前半の1年間には1,092mmで, 寡雨の年であり, 1979年6月から1980年5月までの後半の1年間には1,332mmで, ほぼ平年並みの年であった。内容的には, 前線性の長雨もあり, 一連の降雨としての分離は困難な場合もあったが, 8時間にわたって降雨量0が継続すれば, 別個の降雨として数えることにすれば, 前半の1年間に93回, 後半の1年間に76回と, 2年間ではほぼ4日に1度, 約14.3mmの降雨があったことになる。

降雨の内訳は表5.7のとおりで, 169回の降雨のうちの半分の降雨は8mm以下の降雨に占められる。この8mm以下の降雨は, 降雨強度が高いか, 先降晴天期間が短いものでなければ, 山地河川や田園地河川には降雨による直接流出の影響はほとんど現われない。また, 流量や流出負荷量に大きな影響を及ぼすことの多い21mm以上の降雨は, 2年間の降雨量の64%を占め, 1カ月に1回

表 5.7 降雨の分類  
Table 5.7 Classification of annual rain events

	降雨量範囲	40mm以上	31~40mm	21~30mm	16~20mm	11~15mm	6~10mm	1~5mm
1978年6月	降雨回数	4回	6回	7回	7回	5回	17回	30回
∩	合計降雨量	325mm	199mm	169mm	123mm	61mm	134mm	81mm
1979年5月	降雨量比率	30%	18%	15%	11%	6%	12%	7%
1979年6月	降雨回数	7回	5回	11回	7回	12回	14回	37回
∩	合計降雨量	416mm	163mm	272mm	128mm	158mm	112mm	83mm
1980年5月	降雨量比率	31%	12%	21%	10%	12%	8%	6%
1978年6月	降雨回数	12回	11回	18回	14回	17回	31回	67回
∩	合計降雨量	741mm	362mm	441mm	251mm	219mm	246mm	164mm
1980年5月	降雨量比率	31%	15%	18%	10%	9%	10%	7%

ないし2回の頻度であり、その多くが2日間にわたる降雨となっている。41mmを超える豪雨が11回あり、2カ月に1回程度の頻度で出現している。この2年間の一連の降雨で大きかったものは、137mm、105mmと100mmを超えるものが2回、80mm、69mm、67mmと60mm以上が5回、53mm以上が7回となっている。

このように40mmを超える豪雨でもなければ、通常の中小河川では、降雨流出の流出負荷量への影響は2～3日間程度であり、短期間で降雨流出前の流出負荷量レベルに復帰することが多い。

### 5-3-3 有効雨量による流出負荷量の定量化

1降雨の直接流出による総流出流量や総流出負荷量は、晴天時の流出の場合とは流出形態が異なるため少し別の意味で、流域の地形・地質・土地利用状態などを反映した結果となる。とくに、降雨を入力として、主として表面流出によって負荷が排出されることの多い面源（あるいは非点源）負荷のウェイトの高い流域は注目される。また、先行降雨の直接流出直後を初期条件とし、流路内の貯留・堆積物質かつ先行晴天期間に流路に貯留・堆積する物質量の多い流域や降雨についても注目が必要である。

直接流出による懸濁態物質の総流出負荷量 $\sum L$ は、累加流量と累加負荷量の関係から漸近する上限値としてかなり正確に決定できるが、総流出流量 $\sum Q$ は、流出負荷量が降雨流出の影響を受け始めてから、降雨流出前の負荷量レベルに復帰した時点までの累加流量とする。この総流出流量と総流出負荷量についても、流域特性の比較のために流域規模の違いの影響を除去するため、流域面積 $A$ 当りの総流出流量 $\sum Q/A$ と総流出負荷量 $\sum L/A$ としての取り扱いをする。このうち、直接流出による流域面積当たりの総流出流量 $\sum Q/A$ は、水文学における有効雨量に当たり、重要な水文量である。この有効雨量は、各河川について、降雨データをもとにして種々の降雨流出モデルによってかなりの精度で推定可能な水文量である。

図5.6は、1降雨による有効雨量 $\sum Q/A$ と比流出負荷量 $\sum L/A$ の関係をSSについて両対数紙上に示したものである。この図中には、霞ヶ浦流入河川での降雨流出観測例の少なさによる両者の関係の統計的なデータ不足を補うため、前述の琵琶湖流入河川の観測例を加えてある<sup>45)</sup>。それらの河川は、比叡山・比良山系を上流に有し、琵琶湖西岸に流入する大宮川と真野川であり、上流に山地を有し、大津市膳所地区の市街地を流下し琵琶湖南岸に流入する相模川であり、水源は上流部の山地に発し、近江盆地の湖東平野を流下し、下流で天井川となる葉山川である。このうち、大宮川は、山地直下に市街化された門前町を流下し、真野川は水田地帯を流下する河川である。（図5.7参照）

図より、直接流出率の高い琵琶湖流入河川での有効雨量の大きさが目立つほか、市街地河川の山王川と相模川の比流出負荷量が相対的に高いことがわかる。この霞ヶ浦および琵琶湖流入の6河川の観測値の中でも降雨流出の大きかった図中のデータのみについては、破線内のかなり限られた範囲に分布し、SSの $\sum L/A$ は有効雨量の1.9乗に比例した回帰式で表わされる。すなわち、 $L$  (kg),

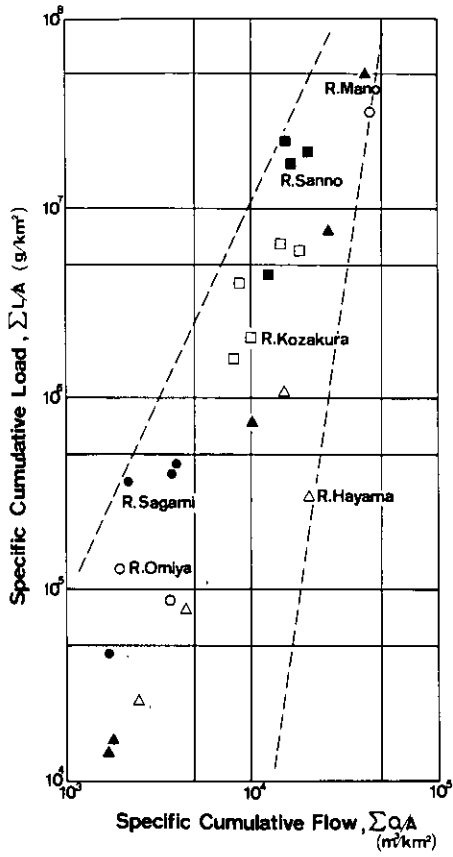


図 5.6 比累加流量（有効雨量）と比累加負荷量の関係（SS）  
 Fig. 5.6 Relationship between effective rainfall and specific cumulative SS load

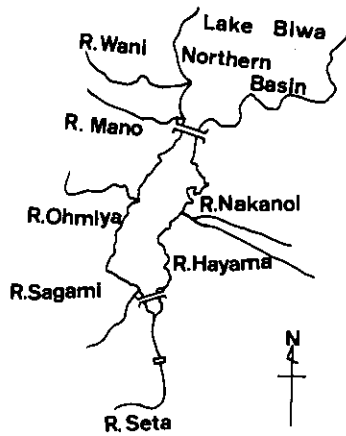


図 5.7 琵琶湖流入河川  
 Fig. 5.7 Influent rivers investigated into Lake Biwa

$A$  ( $\text{km}^2$ ),  $Q$  ( $10^3 \cdot \text{m}^3$ ) とすれば, 相関係数  $r=0.88$  で次式となる。

$$\Sigma L/A = 15 \cdot (\Sigma Q/A)^{1.9} \quad (16)$$

したがって, 1 降雨の有効雨量が推定できれば, SS の総流出負荷量のラフな予測が可能となる。

このような関係は, これまでの議論から当然のことながら, P-COD, PTN および PTP についても成り立つ。これを山王川と小桜川の観測例で示したものが図 5.8 ~ 図 5.10 である。PTP はか

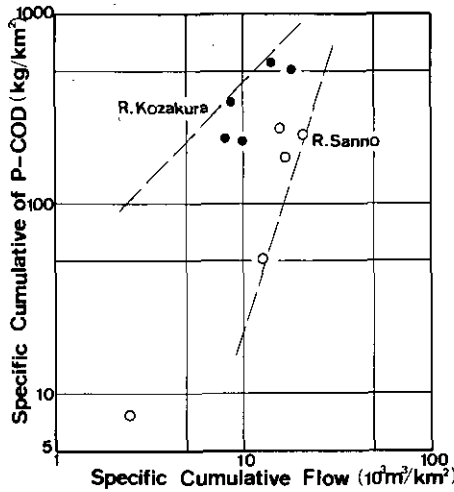


図 5.8 比累加流量 (有効雨量) と比累加負荷量の関係 (P-COD)  
 Fig. 5.8 Relationship between effective rainfall and specific cumulative P-COD load

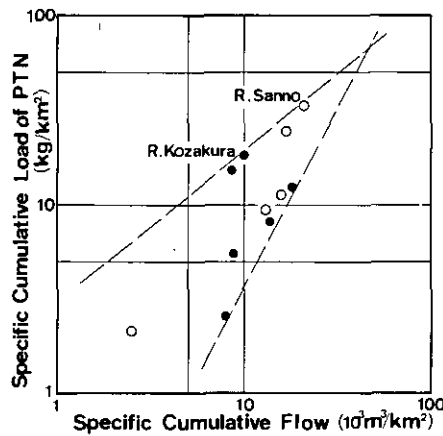


図 5.9 比累加流量 (有効雨量) と比累加負荷量の関係 (PTN)  
 Fig. 5.9 Relationship between effective rainfall and specific cumulative PTN load

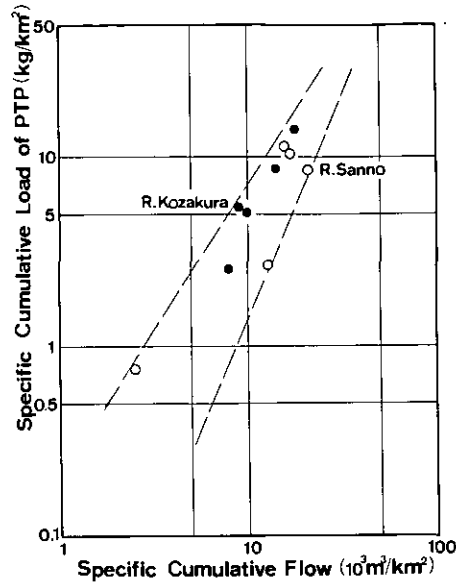


図 5.10 比累加流量（有効雨量）と比累加負荷量の関係（PTP）  
 Fig. 5.10 Relationship between effective rainfall and specific cumulative PTP load

なり狭い範囲内の分布となるが、P-CODとPTNは少し幅の広い分布となっている。PTPおよびPTNについては琵琶湖流入河川では観測例が1例のみであり、CODに関しては琵琶湖流入河川は重クロム酸カリウム法によっており、簡単に比較できない。

したがって、このデータ不足を補い、統計的な基盤を固めることと、期間流出負荷量の降雨流出の補正をその分析項目をも考慮して、すべてTotal表示の水質項目について行うことにする。

琵琶湖流入4河川の観測例を含めたT-NおよびT-Pの有効雨量 $\sum Q/A$ と比流出負荷量 $\sum L/A$ の関係を示したものが、図5.11と図5.12である。T-NはSSと同じ程度のバラツキであるが、T-Pはかなり狭い範囲に分布する。さらに、山王川と小桜川について示したアルカリ性過マンガン酸カリウム法によるT-CODについて示した図5.13も、非常に狭い範囲に分布している。データ数は少ないが、T-N（図5.14）、T-P（図5.15）についても、同様のことが言える。

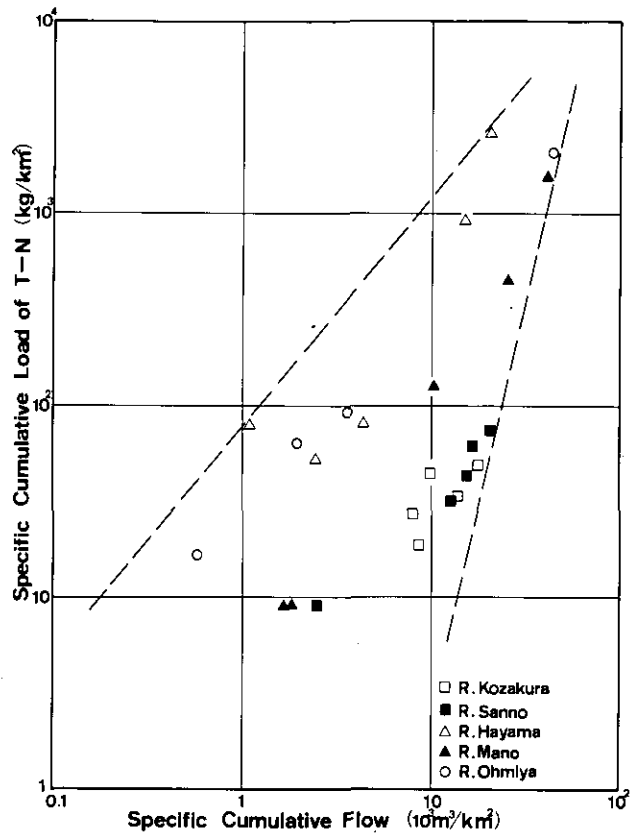


図 5.11 比累加流量（有効雨量）と比累加負荷量の関係（T-N）  
 Fig. 5.11 Relationship between effective rainfall and specific cumulative T-N load



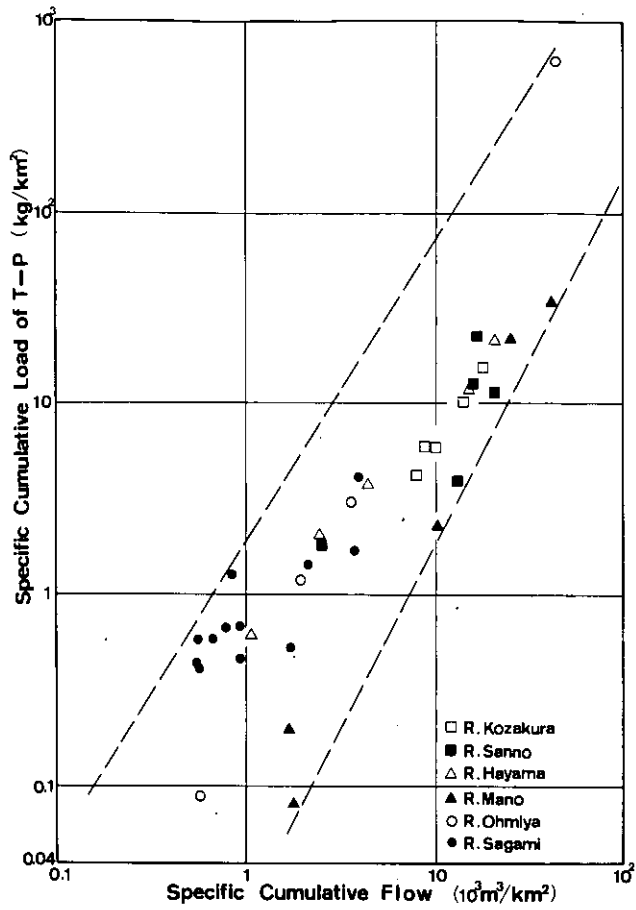


図 5.12 比累加流量（有効雨量）と比累加負荷量の関係（T-P）  
 Fig. 5.12 Relationship between effective rainfall and specific cumulative T-P load

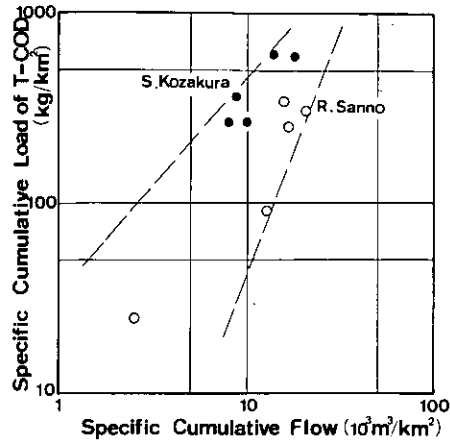


図 5.13 比累加流量（有効雨量）と比累加負荷量の関係（T-COD）  
 Fig. 5.13 Relationship between effective rainfall and specific cumulative T-COD load

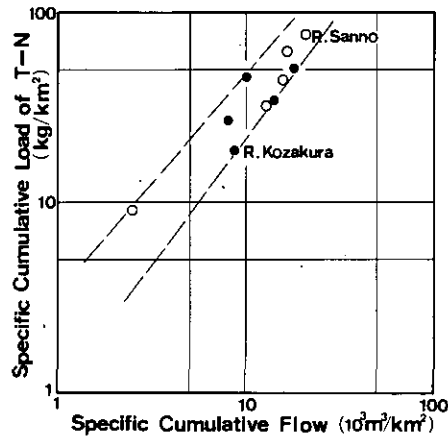


図 5.14 比累加流量（有効雨量）と比累加負荷量の関係（T-N）  
 Fig. 5.14 Relationship between effective rainfall and specific cumulative T-N load

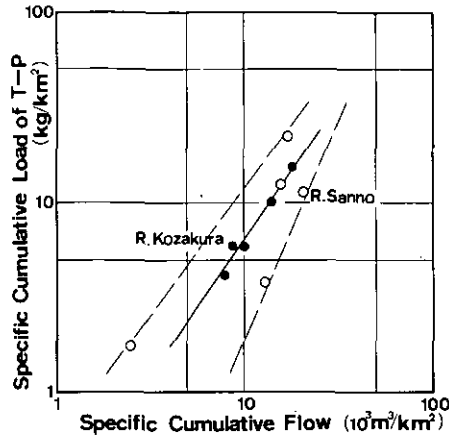


図 5.15 比累加流量（有効雨量）と比累加負荷量の関係（T-P）  
 Fig. 5.15 Relationship between effective rainfall and specific cumulative T-P load

これら3水質項目について、両者の関係を回帰式で表示すると、SSと同じ単位を用いれば、以下のとおりとなる。

霞ヶ浦流入河川については、

$$T-P: \quad \Sigma L/A = 0.57 \cdot (\Sigma Q/A)^{1.03} \quad (17)$$

( $r = 0.88$ )

$$T-N: \quad \Sigma L/A = 1.3 \cdot (\Sigma Q/A)^{0.92} \quad (18)$$

( $r = 0.92$ )

$$T-COD_{Mn}: \quad \Sigma L/A = 13 \cdot (\Sigma Q/A)^{1.17} \quad (19)$$

( $r = 0.83$ )

$$SS: \quad \Sigma L/A = 34 \cdot (\Sigma Q/A)^{1.61} \quad (20)$$

( $r = 0.74$ )

となる。

さらに、霞ヶ浦および琵琶湖流入河川については、

$$T-P: \quad \Sigma L/A = 0.51 \cdot (\Sigma Q/A)^{1.10} \quad (21)$$

( $r = 0.86$ )

$$T-N: \quad \Sigma L/A = 2.0 \cdot (\Sigma Q/A)^{1.06} \quad (22)$$

( $r = 0.88$ )

$$\text{SS : } \quad \Sigma L/A = 38 \cdot (\Sigma Q/A)^{1.48} \quad (23)$$

$$\quad \quad \quad (r = 0.88)$$

となる。

ちなみに、琵琶湖流入河川については、次式の通りである。

$$\text{T-P : } \quad \Sigma L/A = 0.51 \cdot (\Sigma Q/A)^{1.13} \quad (24)$$

$$\quad \quad \quad (r = 0.83)$$

$$\text{T-N : } \quad \Sigma L/A = 1.8 \cdot (\Sigma Q/A)^{1.00} \quad (25)$$

$$\quad \quad \quad (r = 0.87)$$

$$\text{T-COD}_{cr} : \quad \Sigma L/A = 34 \cdot (\Sigma Q/A)^{0.98} \quad (26)$$

$$\quad \quad \quad (r = 0.83)$$

$$\text{SS : } \quad \Sigma L/A = 38 \cdot (\Sigma Q/A)^{1.41} \quad (27)$$

$$\quad \quad \quad (r = 0.85)$$

霞ヶ浦流入河川については、データの少なさを補うため、山王川の3降雨（うち1回は3観測地点）、小桜川の2降雨（うち1回は3観測地点、他の1回は2観測地点）の10個のデータによっている。また、琵琶湖流入河川は、真野川の5降雨、大宮川の4降雨、相模川の12降雨、葉山川の4降雨での26個のデータとなるが、測定項目がそろっていないT-Nのみは相模川を除いた14個のデータとなっている。

霞ヶ浦流入河川（1979～1980年の観測）と琵琶湖流入河川（1976～1978年の観測）との相対的な比較を、データ数の不足や不揃いを棚上げして行えば、T-Pに関しては大差はないが、T-Nに関しては霞ヶ浦の方が $a$ の値が大きく、 $n$ の値が小さくなっている。T-CODは、分析法が異なるから、 $a$ の値は酸化力の程度の大きい重クロム酸カリウム法の琵琶湖の方が大きい、 $n$ の値は霞ヶ浦の方が大きい。また、SSについては、流出率の高い琵琶湖の方の $n$ の値が小さく、 $a$ の値が大きくなっている。

このように、流域特性に若干の相違はあるけれども、流域特性の異なる多くの小河川を含んだものの統計解析の結果であり、その相関係数も高いため、有効雨量さえ既知であれば、Total表示の上記の水質項目の総流出負荷量の推定は可能である。

また、D-CODや $\text{Cl}^-$ についてもこれを拡張することは可能であるが、その精度はかなり低いものとなり、市街地河川のように、晴天時でのその流出負荷量レベルの高い河川では誤差が大きくなる<sup>25)</sup>。

### 5-3-4 平均有効降雨強度による流出負荷量の定量化

有効雨量による懸濁態物質を主とする流出負荷量の推定式では、総降雨量の大きさは反映されても、表面流出量を大きく支配し、流域地表面から流路への供給量を左右する降雨強度、すなわち、降雨パターンの差違が十分表現されていない。したがって、有効雨量を降雨のあった実質的な降雨継続時間  $T$  で除し、これを平均有効降雨強度  $\Sigma Q / (A \cdot T)$  とし、比流出負荷量  $\Sigma L / A$  との関係、SS について両対数紙上にプロットしたものが図 5.16 である。

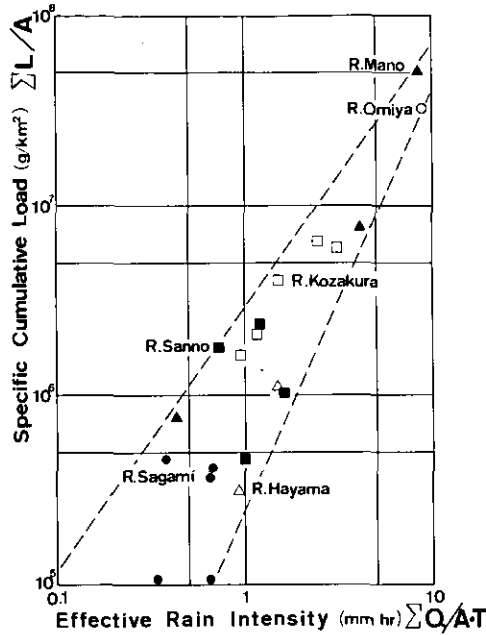


図 5.16 平均有効降雨強度と比累加負荷量の関係 (SS)

Fig. 5.16 Relationship of mean effective rainfall intensity and specific cumulative SS load

この両者の関係は、前述の有効雨量と比流出負荷量の関係よりさらに精度を上げるために平均有効降雨強度に変えた形となり、観測値はより狭い範囲に分布している。この平均降雨強度と比流出負荷量の大きい図中のデータについては、SS の比流出負荷量  $\Sigma L / A$  は平均有効降雨強度  $\Sigma Q / (A \cdot T)$  の 1.7 乗に比例した回帰式となる。 $L$  (kg),  $A$  ( $\text{km}^2$ ),  $Q$  ( $10^3 \cdot \text{m}^3$ ) および  $T$  (hr) とすれば、相関係数  $r = 0.90$  で次式の形となる。

$$\Sigma L / A = 1100 \cdot (\Sigma Q / (A \cdot T))^{1.7} \quad (28)$$

この平均有効降雨強度は、流量には表面流出を左右する有効雨量の地表面での浸透能との関係、浮遊物質の流出負荷量には降雨による表土の浸食との関係をつなぐ重要な水文学量である。降雨の時

間とともに変化する実質の有効降雨強度の平均値は、各降雨ごとの降雨前の地表面の乾湿状態に左右されるために求め難いので、これに代わる平均有効降雨強度は十分意味をもつと考える。また、図 5.16は、降雨量や降雨強度の大きい豪雨流出のデータがほとんどであるため、降雨前の流路や地表面上での貯留・堆積物質量が総流出負荷量に大きなウェイトを占めない。すなわち、各降雨流出の初期条件が無視できうる場合が多く、その相関度も高くなる結果となっている。

また、懸濁態成分の P-COD、PTP および PTN について、平均有効降雨強度  $\sum Q / (A \cdot T)$  と比流出負荷量の関係を示したものが、図 5.17～図 5.19 である。P-COD は分析方法の違いのため

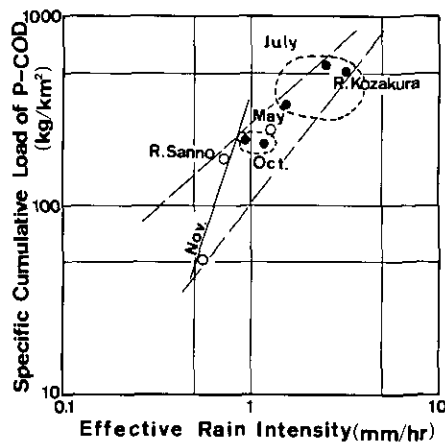


図 5.17 平均有効降雨強度と比累加負荷量の関係 (P-COD)  
 Fig. 5.17 Relationship between mean effective rainfall intensity and specific cumulative P-COD load

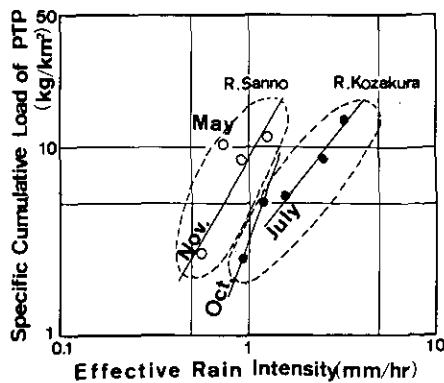


図 5.18 平均有効降雨強度と比累加負荷量の関係 (PTP)  
 Fig. 5.18 Relationship between mean effective rainfall intensity and specific cumulative PTP load

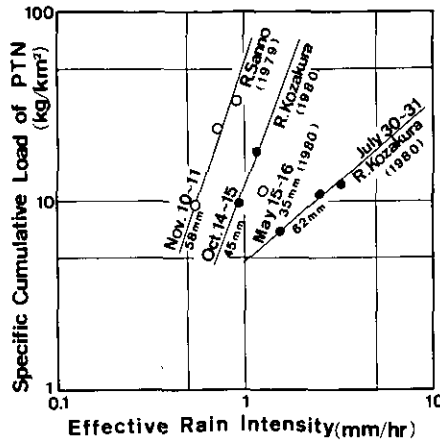


図 5.19 平均有効降雨強度と比累加負荷量の関係 (PTN)

Fig. 5.19 Relationship between mean effective rainfall intensity and specific cumulative PTN load

霞ヶ浦流入河川のデータのみであるが、琵琶湖流入河川についての  $P-COD_{cr}$  でもよい相関となる。また、PTPは降雨ごとに1つの直線上にのり、全体的にはバラツキが大きい。PTNに至っては、各降雨ごとにそれぞれの観測地点のデータが直線にのり、全体としては全く相関の認められない分布となる。したがって、さらにデータの蓄積のもとに詳細な検討を行う必要がある。

$P-COD_{Mn}$  について、回帰式をSSと同じ単位を用いて示すと、

$$\sum L/A = 190 \cdot (\sum Q/(A \cdot T))^{1.11} \quad (29)$$

( $r = 0.90$ )

ただし、小桜川と山王川とに分けると、 $n$ の値は0.84と1.83のように大きく異なる。

ちなみに、琵琶湖流入河川に対しての  $P-COD_{cr}$  の関係は、

$$\sum L/A = 140 \cdot (\sum Q/(A \cdot T))^{1.28} \quad (30)$$

( $r = 0.80$ )

そのうちの6回の豪雨流出については、相関係数  $r = 0.97$  で、 $\sum L/A = 316 \cdot (\sum Q/(A \cdot T))^{1.17}$  と、 $a$ の値が大きくなり、 $n$ の値が小さくなる結果となっている。

また、山王川と小桜川のPTPについては、同じ単位を用いて、

$$\sum L/A = 5.8 \cdot (\sum Q/(A \cdot T))^{0.60} \quad (31)$$

( $r = 0.56$ )

となるが、小桜川については、

$$\Sigma L/A = 3.3 \cdot (\Sigma Q/(A \cdot T))^{1.19} \quad (32)$$

( $r = 0.97$ )

山王川については、

$$\Sigma L/A = 9.6 \cdot (\Sigma Q/(A \cdot T))^{1.51} \quad (33)$$

( $r = 0.79$ )

と相関が高く、 $n$ の値も大きい。

この山王川と小桜川では、その流域の土地利用状態や晴天時の汚濁負荷量が大きく異なることが、平均降雨強度と比流出負荷量の関係に明らかな影響となって出現したと考えられる。とくに、小桜川の中・下流部は水田と畑地の農耕地を流下するため、灌漑期と非灌漑期、あるいは、施肥の時期など、小流域ゆえの変化が表われていることも考えられる。

#### 5-3-5 降雨流出負荷量補正

5-3-3 で求めた直接流出を対象とする有効雨量による降雨流出量の回帰式を用いて、平常時の流出負荷量に対する降雨時の流出負荷量の算定を行うことにする。

対象とする河川は、毎週1回定期観測を実施した高浜入流入河川の山王川、恋瀬川および園部川である。降雨時流出負荷量観測を実施した河川は、山王川と恋瀬川の1支流の小桜川であるが、前述の回帰モデルは、有効雨量と比流出負荷量の流域面積当りの量とし、両河川の流域特性の変化する流下方向の各観測地点のデータを併せた結果であるため、恋瀬川と園部川にも適用可能と考える。また、T-CODは、定期観測の前半の1年間の測定がなかったため、補正とはならず、降雨時流出分の値のみとなる。

まず、降雨時流出負荷量は、定期観測による平常時流出分には、一部の降雨時流出の観測値も含まれていること、さらに、7回の晴天時24時間負荷量観測による1日流出負荷量が最大の日の比流量や比負荷量の大きさを考慮して、1降雨の降雨量が21mmを越える場合について補正を行うことにする。また、21~30mmと31~40mmの範囲内の降雨は、それぞれのグループ内の平均値で代表して一括補正し、41mm以上は各降雨ごとに流出負荷量を求めることにする。回帰式は、霞ヶ浦流入河川に対するものを用いる。

各降雨の有効雨量は、山王川と小桜川の直接流出の流出率、さらに、恋瀬川と園部川については定期観測による年間流出量の比率を考慮して、市街地河川の山王川を0.35、田園地河川の恋瀬川を0.21、中間的な性格の園部川を0.25の直接流出の流出率として、どの降雨にも一律に与えることとした。また、直接流出は、3河川ともに共通に、21~30mmの降雨は1日、31~40mmの降雨は1.5日、41~60mmの降雨は2日、61~80mmは2.5日、81~100mmの降雨は3日、101~120mmの降雨には3.5日、121~140mmの降雨は4日間にわたるとして、この間の平常時分の負荷量は



除くことにする。したがって、定期観測の前半の1年間では17降雨分で27日間、後半の1年間では23降雨分で34.5日間の平常時負荷量を降雨時負荷量に差し替えることになる。

この結果を、定期観測のあった前半・後半の1年間ごと、各河川ごとに示したものが、表 5.8(a), (b)である。流量も補正の目安として、有効雨量から算定してあり、昭和47年の建設省の流量データとのチェックも可能である。年間の降雨量の違いもあって、後半の1年間は、山王川では補正された流量は、建設省の昭和47年の調査の場合より低い。恋瀬川と園部川とは観測地点が異なるため、そのまま比較できない。

降雨時流出負荷量分の期間総流出負荷量に占めるウェイトは、T-CODで最も大きく、とりわけ恋瀬川では平常時分を上回るほど高く、T-Nが最も小さく、とくに園部川での値が小さい。T-Pもかなり大きく、恋瀬川での値が高い。

市街地河川の山王川では、平常時の流出負荷量のレベルが高いため、降雨時流出負荷のウェイトが相対的に小さくなっている。それでも、補正まえの平常時の年間負荷量に対して、小さい方のT-Nで24, 25%, 大きい方のT-CODで59% (後半の1年間), T-Pで25, 28%となっている。

これに対して田園地河川の恋瀬川では、平常時の流出負荷量レベルが低いため、小さい方のT-Nで平常時の年間負荷量の39, 45%, 大きい方のT-CODで142%, T-Pで89, 131%と降雨時流出負荷のウェイトが高くなっている。

また、中間的な性格の園部川では、小さい方のT-Nで平常時の年間負荷量の16, 20%, 大きい方のT-CODで85%, T-Pで52, 58%となっている。

3河川の流域特性はかなり異なるため、三軸グラフ表示の河川パターンの分類のように、各河川ごとの降雨時流出負荷量観測データが十分あれば、それぞれの河川についての回帰モデルが利用でき、さらに精度の高い補正が可能となる。

この降雨時流出負荷量補正を行った後の期間総流出負荷量は、結果的にはT-PとT-CODの大幅な修正となってしまった。しかし、この河川からの流入負荷量の湖水に与える影響を考えると、補正分は明らかにそのほとんどが懸濁態成分であるため、湖への流入後、河川流出端付近に沈殿・堆積することになる。したがって、湾奥部の湖水を入れ替えるような降雨流出後の湾奥部の湖底表面での分解や溶出はどうなるのか、この河川と湖沼の接点部での栄養塩や有機物質の挙動に関する研究が、今後重要となってくると考えられる。

この降雨時流出負荷量の補正後の期間総流出負荷量は、発生負荷量と流出あるいは流達負荷量の関係から見ると、単に、流出率あるいは流達率の大幅修正として、結果的に処理できる<sup>45)</sup>。しかし、降雨時流出負荷量を面源負荷との関係から見ると、発生負荷量の固定化は面源負荷の流出機構と相容れない本質的な問題点があり、算定精度ともからんで、その適用範囲はかなりせばめられることになる。

表 5.8(a) 年間総流出負荷量 (1978年6月~1979年5月)  
 Table 5.8(a) Annual total load corrected with runoff load by rain events  
 (June '78—May '79)

	山 王 川				恋 瀬 川				園 部 川			
	T-N	T-P	T-COD	流 量	T-N	T-P	T-COD	流 量	T-N	T-P	T-COD	流 量
平常時年間負荷量	37	6.9	—	12.3	152	10.4	—	60	211	14.7	—	34
降雨時流出負荷量	9.2	1.9	69	3.0	68	13.6	445	22	42	8.5	286	14
降雨時流出の平常時分	2.9	0.5	—	0.9	11	0.8	—	4.5	16	1.9	—	2.5
年間総流出負荷量	43	8.3	—	14.4	209	23.2	—	78	238	21.3	—	45
降雨時分 / 平常時分	25%	28%	—	24%	45%	131%	—	37%	20%	58%	—	41%

(ただし、負荷量は ton, 流量は  $10^6 \cdot m^3$ )

表 5.8(b) 年間総流出負荷量 (1979年6月~1980年5月)  
 Table 5.8(b) Annual total load corrected with runoff load by rain events  
 (June '79—May '80)

	山 王 川				恋 瀬 川				園 部 川			
	T-N	T-P	T-COD	流 量	T-N	T-P	T-COD	流 量	T-N	T-P	T-COD	流 量
平常時年間負荷量	57	9.1	132	14.8	216	18.7	371	75	330	20.1	400	52
降雨時流出負荷量	13.6	2.3	78	3.7	85	16.6	528	27	52	10.4	339	17
降雨時流出の平常時分	5.3	0.9	12	1.4	20	1.8	35	7.1	31	1.9	38	4.9
年間総流出負荷量	63	10.5	196	17.1	281	33.5	864	95	351	28.6	701	64
降雨時分 / 平常時分	25%	24%	59%	25%	39%	89%	142%	36%	16%	52%	85%	33%

(ただし、負荷量は ton, 流量は  $10^6 \cdot m^3$ )

## 6. おわりに

霞ヶ浦は、その流域の干拓や開墾の歴史から見て、舟運や漁業に比し、水資源としてのウェイトは比較的小さいものであったが、近年の首都圏の拡大に伴う生活用水、工業用水等の需要の急増に伴ない、霞ヶ浦の水資源としての位置が大きくクローズ・アップされている。しかし、霞ヶ浦のすでに富栄養化した現状では、不可能なことから、陸域からの栄養塩の流入を全面阻止しても、湖水と湖泥に蓄えられた豊富な栄養塩で、しばらくは富栄養化状態が維持されるであろうといった悲観的な見通しまで出されている。

霞ヶ浦集水域では、全般に窒素濃度のレベルが高い上に、集約農業の結果としての多量の肥料の投入、リン含有の合成洗剤の排水に加えて、豚・牛を主とした畜産排水の負荷が大きいのが特徴である。この栄養塩の負荷の高さは、流出率の低い低平地河川水のみならず、地下水の栄養塩濃度の高いレベルとなって現われている。

過去に、水資源としての位置づけの低かったこともあって、霞ヶ浦流入河川の流出負荷量の研究もそう多くない。とくに、一過性の河川の性格と、流入河川の数の多さが、比較的観測の容易な貯留水としての湖内の物質収支から流入負荷を把握しようとする研究に遅れをとってきた。集水域内の発生負荷量は押さえられても、湖への流入負荷の実際は未着手で、不明瞭な部分が多かった。

緻密な観測、とくに、精度の揃った観測資料の蓄積のない場合、解析は断片的に陥りやすく、総合的な解析は難しい。ここでは、数多い流入河川の流出負荷の特性をいちいち明らかにするほど、調査や資料が十分ではなかったため、数少ない観測結果を十分に活かすことを考え、流域面積当りの流出負荷量、すなわち、比流出負荷量として流域特性を表現した取扱いに終始することとなった。

まず、高浜流入3河川での各種の観測結果から、その特徴ある流出負荷の量および構成内容を、とくに、晴天時と降雨時の流出形態の違いに重点を置いて、明らかにした。河川の流域特性を、比流量、比流出負荷量としての取り扱いでカバーし、T-COD、T-NおよびT-Pの3水質項目に焦点を絞り、その比流出負荷量の大きさのバランスで流域を分類し、既存のパターンの活用によって、観測資料の十分でない河川の流出負荷量の推定を行なう手法を工夫した。

期間総流出負荷量は、定期観測値を平常時分の流出負荷量とし、直接流出による降雨時流出負荷量を、有効雨量に対する比累加流出負荷量の回帰式を利用して推定し、直接流出時の平常時分の流出負荷量に差し替えることによって、補正を行なった。その結果は、降雨時流出負荷量が定期観測から求めた年間流出負荷量の、T-CODは59~142%、T-Pで25~89%、T-Nで16~45%にも達することが判明した。したがって、降雨時流出負荷量の期間総流出負荷量に占めるウェイトの大きさが明らかとなり、粗い間隔の定期調査では、降雨時流出負荷量の補正なしに期間総流出負荷量の算定を行なうことの問題点を指摘できた。

このように定期観測値のみによる期間総流出負荷量の算定は、各水質項目ごとの流出負荷量の頻度分布では、対数正規分布をはじめとして正規分布をするものがほとんどないこと、しかも、規模の大きな降雨流出が異常値をもたらす、全体の平均値あるいは累計値を左右することを考慮すれば、明らかに粗い頻度の定期観測値は降雨流出分の補正が必要となる。実際、通常の汚濁負荷量が少ない河川ほど晴天時と降雨時の流出負荷量の差違が大きく、粗い間隔の定期観測では、流出変化は比較的短時間ながら流出負荷量のウェイトの高い小河川の降雨流出を十分把えることは困難である。とくに、面源負荷の場合は、降雨を入力とした流出負荷が支配的であることを考えれば、なおさら補正は必要となる。

したがって、入手可能な水文量データとして総降雨量と時間降雨量に注目して、1降雨の直接流出の比累加流量（有効雨量）あるいは平均有効降雨強度による比累加流出負荷量の推定式による降雨流出負荷量補正を案出した。これらは、必ずしも十分な観測データ数ではないけれども、琵琶湖流入河川での観測例を加えることで、その統計的基盤の補強を行なっている。

これらの研究対象となった河川は、全て中小河川であったけれども、大河川の上流部や支流をはじめとし、土地利用状態の違いによって区分される小流域に対しても、同様の研究手法の適用が可能であると考えられる。

## 謝 辞

この研究は、著者のみでなせたものでは決してない。共同研究者として多くの方の御協力を仰いでいる。まず、水質土壌環境部、合田健部長には現地踏査に御参加頂いたのをはじめ、水質環境計画研究室の村岡浩爾室長、相崎守弘、大坪国順両研究員には、多くの分担を引き受けて頂いた。また、著者が国立公害研究所に赴任するまで中心となって仕事を進められた津野洋氏（現、環境庁水質保全局）と共同研究員の楢戸良雄氏（現、茨城県教員）によるところは大きい。上記の方々に、深甚の謝意を表する次第です。

さらに、岩田敏研究員にも多くの協力を得ており、分析に協力して頂いた筑波大学出身の沼田哲一氏、降雨時観測に参加して頂いた大阪大学工学部の夏期実習生など、多くの方々の御協力に感謝致します。

## 引用文献

- 1) 戸塚積・清水英幸 (1978) : 霞ヶ浦周辺域における土壌の性質—特に塩類吸収容量について—。文部省「環境科学」特別研究報告集, B3-R-12-1, 15-26.
- 2) 建設省関東地方建設局霞ヶ浦工事事務所 (1980) : 霞ヶ浦—環境と水質—
- 3) 岩城英夫 (1980) : 霞ヶ浦 (西浦) 周辺地域の農業活動の変遷と窒素の流れ。文部省「環境科学」特別研究報告集, B3-R-12-1, 45-53.
- 4) 建設省関東地方建設局霞ヶ浦工事事務所 (1980) : かすみ, 14.
- 5) 山口高志・吉川勝秀 (1978) : 河川の水質・汚濁負荷量に関する研究 I) — 汚濁流出特性への水文学的アプローチ —。土木研究所報告, 第151号, 1-53
- 6) 荒井治・佐藤定平 (1979) : 河川水質変動の一般的特徴。河川, No. 401, 20-37.
- 7) 山口高志・吉川勝秀・興石洋 (1980) : 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, 第293号, 49-63.
- 8) 吉川勝秀 (1980) : 河川水質・負荷量への変動特性とその推定。第24回水理講演会論文集 (土木学会), 167-172.
- 9) 山口高志・吉川勝秀 (1980) : 河川の水質・汚濁負荷量に関する研究 II) — 水質・負荷量の水文学的なシミュレーションおよび限られたサンプルによる総負荷量の推定を中心として。土木研究所報告, 第154号, 1-43.
- 10) 茨城大学農学部霞ヶ浦研究会編 (1977) : 霞ヶ浦。三共科学選書7, p. 203, 三共出版。
- 11) 田淵俊雄・高村義親・久保田治夫・鈴木誠治 (1975) : 水田施肥期の河川水質と流出負荷 — 霞ヶ浦流入河川の水質汚濁と流出負荷に関する研究 III。農業土木学会論文集, 第57号, 7-13.
- 12) 田淵俊雄・高村義親 (1975) : 正月の河川水質と負荷。用水と廃水, 17(3), 3-9
- 13) 芹澤雅之 (1980) : 山地小流域における降雨時の流出現象について。筑波大学水理実験センター報告, 第4号, 97.
- 14) Seki, H., Y. Hara and S. Ichimura (1979) : Impact of Nutrient transfer into a water system of River Sakuragawa and Kasumigaura, Japan. Arch. Hydrobiol., 85(3), 291-301.
- 15) 河合崇欣・大槻晃・相崎守弘・西川雅高 (1981) : 高浜入における底泥間隙水の組成変動からみたリンの可溶性について。国立公害研究所研究報告, 第22号, —
- 16) 海老瀬潜一 (1980) : 浅い湖沼における懸濁態物質の挙動。第35回土木学会年次学術講演会講演概要集, 780-781.
- 17) 津野洋・相崎守弘・大槻晃・村岡浩爾・植戸良雄 (1979) : 高浜入水域への栄養塩の河川からの流入量について。国立公害研究所研究報告, 第6号, 55-63.
- 18) 津野洋・村岡浩爾・細見正明 (1979) : 山王川流出汚濁負荷量に関する研究。国立公害研究所研究報告, 第6号, 45-53.
- 19) 海老瀬潜一・村岡浩爾・大坪国順 (1980) : 小河川における総流出負荷量の観測と評価。第24回水理講演会論文集 (土木学会), 161-166.
- 20) 海老瀬潜一・村岡浩爾・相崎守弘・大坪国順 (1980) : 中小河川における期間総流出負荷量の変化とその評価。第8回環境問題シンポジウム講演論文集 (土木学会), 118-123.
- 21) 新田正 (1961) : 河川の水質の変動に関する研究。東京工業大学学报, No. 20, 1-96.
- 22) 寺島泰・神田博行 (1975) : 河川日水質および負荷変動の統計的諸特性について。第3回環境問題シンポジウム講演集 (土木学会), 62-67.
- 23) 海老瀬潜一・宗宮功・大楽尚史 (1978) : 市街地小河川の水質および負荷量の変動特性。第12回水質汚濁研究に関するシンポジウム講演集, 111-116.
- 24) 津野洋 (1978) : 国立公害研究所 所内研究会資料。

- 25) 海老瀬 潜一・宗宮功・大楽尚史 (1979) : 市街地河川における降雨時流出負荷量の変化特性. 水質汚濁研究, 2(1), 33-44.
- 26) 海老瀬 潜一・宗宮功・平野良雄・安達伸光 (1979) : 降雨流出過程における流出物質の挙動. 第7回環境シンポジウム講演論文集 (土木学会), 124 - 131.
- 27) 海老瀬 潜一 (1980) : 小河川の降雨時流出負荷量の算定と評価. 環境技術, 9(4), 5-13.
- 28) 海老瀬 潜一・宗宮功・大楽尚史 (1978), (1979) : 市街地河川流達負荷量変化と河床付着性生物群1), (2). 用水と廃水, 20(12), 17-29, 22(2), 45-53.
- 29) 日本水道協会 (1966) : 水道施設基準解説. 日本水道協会.
- 30) Ledbetter, J. O. and E. F. Gloyna (1964) : Predictive Techniques for Water Quality Inorganics. Proc. of ASCE, 90, No SA1, 127 - 151.
- 31) Gunnerson, C. G. (1967) : Streamflow and Quality in the COLUMBIA River Basin. Proc. of ASCE, 93, No SA 6, 1 - 16.
- 32) 山口高志 (1976) : 雨天時合流式下水道からの汚濁流出シミュレーション——都内谷端川排水区の場合. 土木技術資料, 18(2), pp. 15-20.
- 33) 海老瀬 潜一・宗宮功・平野良雄 (1979) : 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.
- 34) 寺島泰 (1975) : 河川水質日変動特性の解析ならびに重回帰分析, Kalman filter による日変動の予測—淀川下流部水質変動を対象として. 第11回衛生工学研究討論会講演論文集 (土木学会), 130 - 135.
- 35) 羽田守夫 (1978) : 水文因子による河川の水質変動の評価について. 第6回環境問題シンポジウム講演論文集 (土木学会), 71-77.
- 36) 市川新・池田三郎 (1976) : 発見的自己組織化法による水質予測. 土木学会論文報告集, 第246号, 47-56.
- 37) 洞沢勇 (1973) : 河川上流部における自然汚濁量と比流出量について. 用水と廃水, 15(11), 43-47.
- 38) 芦部良生, 村瀬義典 (1975) : 自然汚濁負荷に関する一考察. 第12回下水道研究発表会講演集 (日本下水道協会), 449 - 451.
- 39) 和田安彦 (1978) : 河川上流部の自然負荷の定量化とその特性. 用水と廃水, 20(4), 50-60.
- 40) 市川新・横山道子 (1980) : 累積汚濁負荷曲線 (Ripple 図)による年間負荷量の解析. 第14回日本水質汚濁研究会年次学術講演会講演集, 51-52.
- 41) 山本哲也・大賀守也・北修・唐沢貞次・江尻敏夫・田口勝久 (1980) : 霞ヶ浦流入河川水質の動向と窒素・リンの流出特性について. 第14回日本水質汚濁研究会年次学術講演会講演集, 61-63.
- 42) 橋治国・那須義和 (1977) : 河川における汚濁物質の流出機構——増水時についての考察. 第11回水質汚濁研究に関するシンポジウム講演集, 37-42.
- 43) 羽田守夫 (1977) : 雄物川の水質変動特性とそのモデル化. 土木学会論文報告集, 第265号, 73-81.
- 44) 水戸地方気象台 (1978~1980) : 茨城県気象月報.
- 45) 海老瀬 潜一・村岡浩爾・大坪国順 (1981) : 小河川における豪雨による浮遊物質流出量の定量化. 第25回水理講演会論文集 (土木学会), 473 ~ 479.
- 46) 浮田正夫・中西弘 (1976) : 小河川における N, P 流達率に関する研究. 第12回衛生工学研究討論会講演論文集 (土木学会), 114 - 119.

## 資 料

定期観測結果（毎週水曜日定時）

1. 期間：1978年6月～1979年5月

観測地点（4地点）

- ① 恋瀬川（恋瀬橋）
- ② 園部川（園部新橋）
- ③ 山王川（日の出橋）
- ④ 山王川（鹿ノ子橋）

2. 期間：1979年6月～1980年5月

観測地点（6地点）

- ① 恋瀬川（恋瀬橋）
- ② 園部川（園部新橋）
- ③ 山王川（日の出橋）
- ④ 山王川（石岡市街地下流）
- ⑤ 山王川（石岡市街地上流）
- ⑥ 山王川（鹿ノ子橋）

## ① 恋瀬川 (恋瀬橋) '78-'79

No 1

DATE	DISCHARGE (m <sup>3</sup> /sec)	W. TEMP. (°C)	pH	CONCENTRATIONS OF WATER ITEMS (mg/liter)									
				NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	T-N	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P	DIP	T-P	Cl <sup>-</sup>	SS	COD
June 7	1.23	19.8	-	0.25	0.05	1.14	1.49	0.03	0.03	0.22	19.6	-	
14	1.40	21.4	-	0.38	0.08	0.81	1.70	0.05	0.05	0.29	21.3	-	
21	0.41	26.8	7.4	0.17	0.07	0.65	1.37	0.07	-	0.14	22.3	-	
28	6.18	20.2	7.0	0.48	0.05	0.95	3.19	0.09	0.13	0.14	10.0	-	
July 5	2.42	26.5	6.8	0.21	0.06	1.09	2.10	0.07	0.10	0.26	14.7	75.0	
12	0.99	27.9	7.2	0.23	0.03	0.52	1.51	0.09	0.10	0.14	15.5	9.4	
19	0.27	28.1	(8.4)	0.07	0.03	0.45	1.15	0.04	0.07	0.29	18.1	5.1	
26	0.48	29.3	7.6	0.23	0.03	0.36	0.96	0.11	0.11	0.11	17.0	5.4	
Aug. 2	0.72	28.7	7.4	0.22	0.03	0.37	1.07	0.08	0.09	0.86	17.6	2.0	
9	0.05	28.5	(8.4)	0.12	0.03	0.06	0.84	0.08	0.10	0.14	23.3	1.8	
16	0.06	27.5	7.3	0.55	0.07	0.30	1.39	0.20	0.22	0.22	36.0	0.4	
23	0.36	27.8	7.6	0.15	0.03	0.21	0.72	0.06	0.08	0.11	20.9	1.9	
30	0.33	26.5	7.4	0.15	0.01	0.16	0.59	0.05	0.06	0.10	22.0	3.0	
Sept. 6	4.07	20.2	6.6	1.11	0.03	1.21	3.15	0.07	0.08	0.19	17.8	74.8	
13	5.64	19.1	6.8	0.31	0.06	1.71	2.81	0.03	0.06	0.06	17.9	27.1	5.5
20	1.64	21.3	7.0	0.18	0.05	0.99	1.62	0.04	0.06	0.06	15.4	9.2	
27	1.29	20.1	7.1	0.13	0.04	0.72	1.69	0.04	0.07	0.16	11.0	1.7	
Oct. 4	1.28	19.3	7.0	0.19	0.25	0.21	1.44	0.07	0.08	0.09	12.0	2.1	
11	2.74	17.8	6.8	0.13	0.08	0.74	1.40	0.04	0.05	0.12	13.7	5.2	
18	1.38	14.8	7.0	0.14	0.06	1.03	1.62	0.07	0.07	0.14	12.5	0.2	
25	1.70	14.8	7.0	0.29	0.14	1.23	4.09	0.07	0.07	0.18	13.5	0.2	
Nov. 1	2.55	13.9	6.9	0.09	0.13	1.29	2.10	0.04	0.05	0.15	12.8	15.2	
8	1.58	13.8	7.0	0.67	0.10	1.28	2.58	0.10	0.12	0.40	12.0	2.6	
15	2.30	13.3	6.8	0.37	0.07	1.13	2.15	0.08	0.08	0.20	13.2	8.1	
22	1.65	8.4	6.9	0.31	0.13	1.16	2.75	0.07	0.11	0.17	12.5	3.9	
29	2.21	8.5	7.0	0.28	0.05	1.57	2.41	0.04	0.04	0.18	13.7	13.0	



## ① 恋瀬川 (恋瀬橋) '78 - '79

No 2

DATE	DISCHARGE (m <sup>3</sup> /sec)	W. TEMP. (°C)	pH	CONCENTRATIONS OF WATER ITEMS (mg/liter)									
				NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	T-N	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P	DIP	T-P	Cl <sup>-</sup>	SS	COD
Dec. 7	1.13	4.8	7.0	0.25	0.02	1.38	1.68	0.04	0.05	0.12	12.0	5.2	2.6
13	1.33	5.5	7.0	0.24	0.02	1.23	1.83	0.04	0.07	0.25	13.5	23.9	4.2
20	1.28	6.5	7.0	2.01	0.04	1.24	3.96	0.30	0.30	0.47	13.1	8.7	6.9
27	1.43	5.8	7.0	0.09	0.01	1.75	2.43	0.03	0.06	0.14	9.3	6.4	
Jan. 5	1.23	4.5	7.0	0.24	0.02	2.46	2.84	0.08	0.11	0.17	12.7	0.1	
10	1.20	8.0	7.0	0.29	0.02	2.05	2.60	0.06	0.08	0.14	9.0	3.7	
17	1.25	3.5	6.8	0.36	0.01	1.51	2.40	0.05	0.07	0.10	12.9	2.5	
24	1.06	4.5	7.0	0.38	0.02	1.37	2.13	0.05	0.07	0.13	12.5	20.2	
31	3.71	4.8	6.6	0.76	0.02	2.29	3.16	0.05	0.07	0.19	13.3	52.3	
Feb. 7	3.47	6.5	6.6	0.31	0.02	2.13	2.60	0.03	0.06	0.14	12.5	39.9	
14	2.02	9.2	6.8	0.58	0.03	1.64	2.46	0.07	0.09	0.26	12.9	43.7	
21	1.41	7.6	6.8	0.27	0.03	1.50	1.82	0.04	0.07	0.16	13.3	28.8	
28	3.26	7.0	6.8	0.29	0.01	1.82	2.20	0.03	0.05	0.12	12.7	18.6	
Mar. 7	1.53	8.2	7.0	0.26	0.03	1.61	1.92	0.03	0.06	0.16	12.7	56.5	
14	1.44	7.0	6.8	0.32	0.04	1.55	1.96	0.04	0.08	0.23	12.2	117.9	
22	1.04	8.3	7.0	0.74	0.04	1.44	2.45	0.12	0.17	0.23	12.3	6.0	
28	1.53	11.0	6.8	0.35	0.04	1.64	3.04	0.05	0.08	0.18	13.4	37.3	
Apr. 4	2.14	11.1	6.8	0.45	0.03	1.16	2.47	0.06	0.08	0.22	24.2	46.9	
11	1.41	14.6	6.9	0.68	0.07	1.37	2.64	0.06	0.09	0.22	13.2	19.0	
18	0.62	11.0	7.0	0.24	0.05	1.27	1.76	0.05	0.09	0.12	14.7	4.8	
25	0.46	19.5	7.0	0.33	0.05	0.89	1.57	0.06	0.08	0.14	20.0	5.3	
May 2	1.68	10.4	6.6	0.53	0.05	1.16	2.51	0.06	0.09	0.23	20.3	40.8	
10	5.59	18.0	6.4	0.50	0.01	1.21	2.32	0.06	0.09	0.29	16.5	75.9	10.7
17	9.00	14.2	6.4	0.29	0.03	2.87	3.72	0.03	-	-	13.0	70.6	
23	1.94	20.2	6.6	0.41	0.07	1.84	2.86	0.07	-	-	20.3	31.0	

② 園部川 (園部新橋) '78-'79

No.1

DATE	DISCHARGE (m <sup>3</sup> /sec)	W. TEMP. (°C)	pH	CONCENTRATIONS OF WATER ITEMS (mg/liter)									
				NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	T-N	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P	DIP	T-P	Cl <sup>-</sup>	SS	COD
June 7	1.21	22.1	-	2.93	0.35	1.83	5.11	1.00	1.18	1.18	26.8	-	
14	1.23	22.6	-	8.89	0.43	0.90	16.92	(7.58)	(8.10)	(8.10)	16.9	-	
21	1.12	25.9	7.0	4.42	0.53	1.13	6.28	0.53	-	0.53	25.4	-	
28	5.61	20.2	7.0	0.53	0.12	1.00	4.16	0.12	0.15	0.19	11.6	-	
July 5	1.00	28.1	7.0	2.98	0.50	1.81	6.04	0.71	0.74	0.80	20.8	4.9	
12	1.03	27.9	7.0	2.03	0.44	1.63	6.78	0.53	0.59	0.76	21.1	8.9	
19	0.33	27.0	7.0	3.28	0.54	2.32	6.75	0.40	0.48	1.10	23.5	8.8	
26	0.50	27.5	7.0	2.56	0.32	1.52	5.46	0.87	0.87	-	23.3	12.2	
Aug. 2	0.68	26.6	7.0	2.88	0.47	1.38	5.15	0.29	0.38	0.38	21.2	12.2	
9	0.26	27.2	7.1	4.74	0.56	2.13	8.61	0.51	0.60	0.60	27.7	14.1	
16	0.03	27.2	7.0	4.09	0.48	1.65	7.46	0.53	0.63	0.63	27.0	4.0	
23	0.55	27.0	7.0	6.02	0.29	0.73	7.70	0.69	0.69	0.69	27.2	12.6	
30	0.35	25.5	6.9	5.58	0.43	2.03	8.93	0.68	0.69	0.69	27.6	7.6	
Sept. 6	2.00	21.8	6.8	1.56	0.30	2.00	4.32	0.09	0.09	0.14	24.7	12.3	
13	1.71	19.5	6.8	2.20	0.45	2.04	6.17	0.11	0.15	0.15	26.2	11.6	6.4
20	0.81	22.0	6.9	0.91	0.34	2.24	4.48	0.64	0.65	0.65	19.6	3.9	
27	0.54	19.2	6.8	-	0.91	2.70	10.71	2.80	2.90	3.10	24.2	9.6	
Oct. 4	0.66	19.8	6.9	3.66	0.65	2.80	7.76	1.67	1.71	1.77	24.9	3.9	
11	1.03	17.6	6.8	1.53	0.06	2.07	4.78	0.21	0.23	0.34	24.9	6.3	
18	0.68	15.5	6.8	2.48	0.38	2.62	6.14	0.91	0.95	0.95	20.5	5.1	
25	0.88	16.0	7.0	3.37	0.59	4.40	13.47	0.34	0.40	0.52	23.1	3.4	
Nov. 1	0.93	15.5	6.9	3.85	0.77	2.20	7.57	0.45	0.48	0.58	23.2	7.8	
8	0.49	14.9	7.0	3.34	0.59	2.68	6.67	0.37	0.47	0.66	21.2	6.2	
15	1.15	14.2	6.9	2.73	0.53	1.70	5.25	0.14	0.15	0.31	21.2	6.9	
22	1.06	10.6	7.0	4.41	0.72	1.97	9.58	0.33	0.37	0.50	23.1	4.7	
29	1.26	10.7	7.0	3.23	0.55	1.87	6.51	0.18	0.18	0.19	22.9	15.2	

② 園部川 (園部新橋) '78 - '79

No.2

DATE	DISCHARGE (m <sup>3</sup> /sec)	W. TEMP. (°C)	pH	CONCENTRATIONS OF WATER ITEMS (mg/liter)									
				NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	T-N	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P	DIP	T-P	Cl <sup>-</sup>	SS	COD
Dec. 7	0.78	8.5	7.0	5.21	0.31	2.09	7.63	0.96	1.09	1.09	21.8	5.8	4.4
13	0.55	9.0	7.0	3.02	0.53	1.93	5.84	0.42	0.43	0.57	23.0	1.1	4.8
20	0.81	8.5	7.0	4.72	0.40	1.91	7.40	0.38	0.40	0.56	21.2	4.7	7.9
27	1.15	7.5	7.2	2.87	0.03	5.08	7.93	0.31	0.33	0.34	25.3	3.8	
Jan. 5	1.08	6.8	7.0	1.21	0.02	3.53	4.76	0.13	0.16	0.16	18.2	1.6	
10	0.78	10.1	7.2	0.52	0.04	5.14	5.98	0.44	0.57	0.57	20.8	0.3	
17	0.41	6.8	7.0	1.86	0.01	3.13	-	0.29	0.30	0.32	20.0	0.5	
24	0.70	7.5	7.0	5.85	0.16	3.20	-	0.57	0.60	0.60	25.7	1.7	
31	2.36	6.5	6.8	2.56	0.02	2.55	-	0.09	0.10	0.25	18.7	11.4	
Feb. 7	1.45	7.6	6.8	2.33	0.35	2.05	-	0.11	0.13	0.22	19.3	4.8	
14	1.46	10.8	7.0	1.24	0.19	2.46	4.58	0.21	0.22	0.37	19.0	13.3	
21	0.84	9.8	7.0	4.03	0.27	2.41	6.85	0.41	0.41	0.48	21.7	4.4	
28	1.54	9.2	6.9	2.36	0.31	1.71	5.19	0.20	0.21	0.30	19.5	6.0	
Mar. 7	0.79	10.8	7.0	4.89	0.54	2.27	8.09	0.25	0.25	0.36	23.4	6.0	
14	0.88	9.0	7.0	3.93	0.61	2.38	7.15	0.40	0.41	0.44	22.1	8.0	
22	0.44	11.0	7.1	6.10	0.57	2.44	9.21	0.29	0.31	0.40	22.6	5.7	
28	0.76	13.5	7.0	5.04	0.51	2.11	8.23	0.31	0.33	0.42	22.1	13.9	
Apr. 4	1.15	13.5	7.0	2.35	0.31	1.53	6.35	0.13	0.13	0.40	15.9	23.9	
11	0.89	16.8	7.0	3.42	0.49	2.19	7.04	0.29	0.31	0.45	23.8	8.7	
18	(0.0)	(12.0)	(7.0)	(4.59)	(0.51)	(2.29)	(8.31)	(0.42)	(0.44)	(0.52)	(22.8)	(15.1)	
25	0.41	19.5	6.9	5.67	0.23	2.24	8.48	0.31	0.33	0.43	26.9	15.2	
May 2	1.40	14.0	6.7	1.29	0.34	1.38	3.83	0.22	0.23	0.37	20.1	25.7	
10	1.35	20.0	6.6	1.36	0.04	1.16	2.86	0.08	0.11	0.25	21.5	19.7	9.1
17	3.85	15.8	6.8	1.75	0.40	3.08	6.04	0.07	-	-	21.9	35.3	
23	1.53	21.0	6.8	2.14	0.39	1.95	5.63	0.26	-	-	25.5	12.7	

## ③ 山王川 (日の出橋) '78-'79

No. 1

DATE	DISCHARGE (m <sup>3</sup> /sec)	W. TEMP. (°C)	pH	CONCENTRATIONS OF WATER ITEMS (mg/liter)									
				NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	T-N	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P	DIP	T-P	Cl <sup>-</sup>	SS	COD
June 7	0.386	22.4	-	0.85	0.14	0.47	2.26	0.29	0.31	0.45	30.6	-	
14	0.389	23.2	-	0.92	0.29	1.18	2.39	0.44	0.45	0.45	34.3	-	
21	0.329	27.8	7.5	0.79	0.14	0.30	1.75	0.43	-	0.43	30.3	-	
28	0.632	20.9	7.1	0.86	0.20	0.89	4.32	0.42	0.44	0.44	23.0	-	
July 5	0.491	27.7	7.0	1.08	0.21	0.58	3.18	0.51	0.53	0.69	29.3	17.3	
12	0.386	26.5	6.9	0.88	0.17	0.19	2.80	0.62	0.66	0.84	30.4	11.7	
19	0.400	29.0	7.6	0.93	0.18	0.34	1.97	0.33	0.40	0.86	31.4	5.0	
26	0.402	28.0	7.0	1.41	0.11	0.07	2.57	0.54	0.55	0.55	28.7	31.3	
Aug. 2	0.370	29.0	7.0	1.46	0.14	0.34	2.95	0.36	0.47	0.59	26.4	28.3	
9	0.299	27.5	7.2	1.08	0.12	0.21	2.14	0.36	0.41	0.41	26.0	26.9	
16	0.222	26.8	7.2	0.94	0.12	0.27	2.42	0.31	0.36	0.46	19.5	27.3	
23	0.293	28.3	7.7	1.18	0.17	0.48	3.05	0.48	0.49	0.62	23.0	80.6	
30	0.272	26.4	7.4	0.74	0.17	0.29	2.17	0.43	0.43	0.65	20.5	27.5	
Sept. 6	0.385	22.7	6.8	0.16	0.11	1.05	2.44	0.19	0.19	0.22	28.9	34.9	
13	0.526	20.6	6.8	0.44	0.05	1.04	4.14	0.29	0.32	0.32	22.7	45.5	10.3
20	0.295	23.6	7.1	1.22	0.10	0.25	3.17	0.60	0.60	0.68	30.0	47.1	
27	0.338	22.3	6.9	0.85	0.04	0.00	2.91	0.85	0.86	1.06	30.4	47.5	
Oct. 4	0.327	21.8	7.0	0.93	0.29	0.40	2.57	0.78	0.83	0.83	28.9	16.6	
11	0.344	20.3	6.8	0.71	0.36	-	1.21	0.64	0.67	0.79	25.2	1.5	
18	0.307	19.5	6.8	1.36	0.04	0.11	2.42	0.67	0.70	0.70	36.2	3.8	
25	0.302	18.7	6.8	0.44	0.13	0.02	4.36	0.59	0.62	0.93	24.9	15.0	
Nov. 1	0.382	19.2	6.8	0.66	0.35	0.05	2.57	0.51	0.54	0.62	26.2	19.2	
8	0.287	17.0	7.0	2.00	0.11	0.15	2.86	0.90	1.09	1.27	37.5	18.2	
15	0.381	17.0	7.0	1.16	0.19	0.33	2.52	0.43	0.49	0.70	27.1	10.9	
22	0.315	16.0	7.0	0.85	0.48	0.75	4.04	0.47	0.47	0.59	29.8	3.1	
29	0.353	13.8	7.0	0.98	0.39	1.06	3.49	0.39	0.39	0.46	32.9	2.9	

③ 山王川 (日の出橋) '78-'79

No 2

DATE	DISCHARGE (m <sup>3</sup> /sec)	W. TEMP. (°C)	pH	CONCENTRATIONS OF WATER ITEMS (mg/liter)									
				NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	T-N	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P	DIP	T-P	Cl <sup>-</sup>	SS	COD
Dec. 7	0.295	8.0	7.0	1.00	0.15	0.23	1.78	0.61	0.67	0.67	36.6	0.5	5.9
13	0.288	13.0	7.0	1.01	0.18	0.54	2.47	0.55	0.55	0.73	28.1	5.1	7.5
20	0.319	12.0	7.0	1.45	0.11	0.53	2.70	0.76	0.77	0.78	27.1	9.5	8.5
27	0.297	10.0	6.8	1.21	0.00	0.49	2.34	0.70	0.81	0.82	26.3	2.2	
Jan. 5	0.252	9.5	6.9	1.76	0.01	0.60	2.80	0.61	0.71	0.76	19.3	1.2	
10	0.302	14.0	6.9	0.13	0.02	2.43	2.80	0.56	0.67	0.76	25.4	8.4	
17	0.339	10.0	7.0	1.06	0.01	1.78	3.21	0.42	0.51	0.52	30.4	2.8	
24	0.281	12.0	7.0	1.78	0.06	0.17	2.37	0.43	0.48	0.50	34.2	5.3	
31	0.468	9.1	6.9	0.97	0.39	1.40	3.16	0.10	0.12	0.25	27.9	3.8	
Feb. 7	0.429	11.5	6.9	0.81	0.19	1.68	2.88	0.24	0.24	0.29	25.7	0.4	
14	0.404	12.0	6.8	1.24	0.20	1.12	3.06	0.39	0.40	0.50	22.3	2.0	
21	0.305	14.0	7.0	1.17	0.27	1.13	2.87	0.50	0.50	0.52	31.9	2.7	
28	0.406	13.2	7.0	1.00	0.18	1.52	3.23	0.35	0.36	0.41	24.7	8.5	
Mar. 7	0.339	13.0	7.2	1.04	0.16	1.07	2.77	0.50	0.51	0.59	27.7	2.0	
14	0.335	12.0	7.2	0.98	0.28	1.54	3.48	0.62	0.64	0.71	26.2	1.8	
22	0.314	12.7	7.4	1.26	0.23	1.35	3.65	0.60	0.60	0.65	30.4	4.1	
28	0.333	15.5	7.0	0.64	0.22	1.81	4.10	0.46	0.47	0.47	25.3	10.7	
Apr. 4	0.383	14.2	7.0	0.39	0.09	0.77	3.37	0.19	0.19	0.64	15.6	0.8	
11	0.357	18.5	7.1	0.69	0.24	1.71	3.46	0.43	0.43	0.60	28.3	8.9	
18	0.321	15.2	7.1	1.12	0.24	1.18	3.41	0.57	0.58	0.60	24.9	8.2	
25	0.435	21.5	6.8	1.33	0.12	0.48	2.65	0.54	0.57	0.61	20.3	12.1	
May 2	0.469	15.2	6.8	1.00	0.09	0.73	2.81	0.59	0.60	0.61	20.3	20.9	
10	0.701	21.6	6.8	0.89	0.02	0.78	2.21	0.20	0.22	0.42	21.9	33.9	
17	1.524	16.0	6.8	0.58	0.11	2.31	4.13	0.13	-	-	25.5	78.7	
23	0.567	22.0	7.0	1.09	0.26	1.51	3.90	0.30	-	-	27.4	16.9	

## ④ 山王川 (鹿ノ子橋) '78-'79

No. 1

DATE	DISCHARGE (m <sup>3</sup> /sec)	W. TEMP. (°C)	pH	CONCENTRATIONS OF WATER ITEMS (mg/liter)									
				NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	T-N	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P	DIP	T-P	Cl <sup>-</sup>	SS	COD
June 7	0.060	21.0	—	0.52	0.05	2.26	4.03	0.04	0.05	0.47	44.6	—	
14	0.041	21.9	—	0.20	0.05	2.04	2.74	0.02	0.04	0.29	55.3	—	
21	0.049	23.4	7.1	0.07	0.08	2.19	3.16	0.20	—	0.20	82.6	—	
28	0.116	21.4	6.8	0.12	0.03	0.81	1.95	0.06	0.07	0.07	33.5	—	
July 5	0.064	25.7	6.8	0.36	0.08	5.39	5.86	2.36	2.47	2.47	72.6	5.0	
12	0.043	25.0	6.9	1.28	0.13	2.30	5.63	0.41	0.42	0.49	79.3	12.9	
19	0.069	26.5	7.5	0.28	0.11	2.35	3.86	0.89	1.09	1.24	104.4	11.7	
26	0.045	27.8	7.0	0.25	0.04	0.97	1.79	0.19	0.21	0.21	66.1	5.8	
Aug. 2	0.036	26.8	7.4	0.66	0.09	1.74	—	0.45	0.62	0.86	47.8	—	
9	0.065	27.8	7.8	0.38	0.13	1.24	2.24	0.83	0.97	0.97	91.8	6.4	
16	0.025	26.5	7.1	0.09	0.04	0.82	1.14	0.21	0.24	0.26	70.3	0.1	
23	0.039	27.5	7.6	0.40	0.11	2.51	3.71	1.94	2.00	2.00	86.7	6.7	
30	0.053	26.8	8.2	0.23	0.05	1.32	2.56	0.99	0.99	0.99	137.8	11.6	
Sept. 6	0.065	23.4	7.6	1.11	0.15	1.98	4.32	1.23	1.30	1.30	95.1	13.1	
13	0.066	21.8	7.1	0.95	0.22	2.00	4.61	0.24	0.26	0.26	69.6	2.7	
20	0.056	24.3	7.7	0.38	0.10	1.15	2.95	1.80	1.92	1.92	92.5	9.8	
27	0.048	23.3	7.2	1.15	0.14	0.96	3.00	0.37	0.38	0.40	65.0	4.9	
Oct. 4	0.029	22.7	7.2	0.31	1.26	1.00	2.18	0.41	0.44	0.50	50.6	2.4	
11	0.042	21.0	7.0	0.62	0.31	1.12	2.76	0.15	0.15	0.29	74.6	3.7	
18	0.028	19.8	7.4	0.82	0.13	3.57	6.43	1.17	1.48	1.48	87.0	10.9	
25	0.037	20.0	6.8	1.74	0.18	2.66	8.61	0.10	0.10	0.20	77.6	—	
Nov. 1	0.061	18.6	7.1	2.02	0.19	2.56	5.81	0.28	0.30	0.37	63.2	3.0	
8	0.070	18.8	7.5	1.29	0.21	2.13	4.88	0.34	0.44	0.96	87.0	23.1	
15	0.074	18.3	7.2	1.72	0.53	1.73	4.59	0.33	0.40	0.48	75.5	5.7	
22	0.040	16.3	7.2	1.13	1.85	3.25	9.37	0.48	0.57	0.78	86.4	1.3	
29	0.043	15.5	7.6	0.88	2.35	3.81	10.81	0.42	0.48	0.48	75.7	2.0	

## ④ 山王川 (鹿ノ子橋) '78-'79

No. 2

DATE	DISCHARGE (m <sup>3</sup> /sec)	W. TEMP. (°C)	pH	CONCENTRATIONS OF WATER ITEMS (mg/liter)									
				NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	T-N	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P	DIP	T-P	Cl <sup>-</sup>	SS	COD
Dec. 7	0.043	6.2	8.0	1.22	1.43	3.01	7.19	0.67	0.80	0.81	70.8	6.9	9.7
13	0.037	7.0	6.9	1.76	1.89	3.75	9.99	0.23	0.23	0.42	72.3	1.6	7.5
20	0.033	16.0	7.1	1.64	3.90	8.17	13.80	0.36	0.40	0.56	65.0	2.5	9.7
27	0.051	13.0	8.4	1.86	0.02	2.77	5.23	0.27	0.41	0.47	78.8	5.4	
Jan. 5	0.016	11.4	6.9	0.19	0.00	1.67	2.31	0.02	0.06	0.07	21.2	7.5	
10	0.050	16.5	7.6	3.22	0.01	16.70	-	0.72	0.72	0.95	97.3	28.9	
17	0.022	12.5	8.2	0.81	0.01	2.38	3.61	0.64	0.71	0.71	94.7	8.1	
24	0.044	13.8	7.4	0.85	0.09	4.26	5.28	0.45	0.45	0.45	95.2	2.0	
31	0.066	12.7	7.2	0.63	0.82	3.08	4.68	0.17	0.18	0.29	58.3	8.1	
Feb. 7	0.064	13.0	7.4	0.39	0.39	2.49	3.41	0.27	0.28	0.35	60.0	5.9	
14	0.045	14.8	7.2	0.70	0.25	2.88	4.10	0.13	0.14	0.21	54.8	3.0	
21	0.058	14.5	7.4	0.87	0.35	2.75	4.49	0.21	0.22	0.31	70.8	7.6	
28	0.067	12.2	7.3	0.75	0.50	2.74	4.53	0.23	0.23	0.30	58.5	4.6	
Mar. 7	0.063	14.5	6.9	1.07	0.15	2.61	4.31	0.15	0.16	0.24	66.4	2.0	
14	0.076	15.0	8.4	0.45	0.14	1.48	2.65	0.30	0.30	0.48	74.4	8.3	
22	0.050	16.3	7.4	0.63	1.11	3.88	6.73	0.25	0.26	0.36	62.8	6.2	
28	0.037	16.5	7.2	0.64	0.22	1.81	4.10	0.46	0.47	0.47	25.3	8.8	
Apr. 4	0.050	16.0	7.2	0.42	0.53	3.35	5.73	0.15	0.15	0.35	55.3	0.1	
11	0.038	18.2	7.4	1.22	0.63	3.30	6.63	0.36	0.39	0.49	78.3	3.3	
18	0.057	16.0	7.2	0.48	0.57	2.50	4.16	0.14	0.18	0.23	53.2	3.0	
25	0.044	22.0	7.4	0.20	1.08	3.70	6.27	0.15	0.17	0.25	46.1	10.5	
May 2	0.053	17.0	6.6	0.49	0.04	1.63	3.01	0.06	0.08	0.16	58.3	0.5	
10	0.137	20.0	7.2	7.24	0.05	1.50	-	0.82	0.84	0.96	52.8	46.0	11.5
17	0.617	16.0	6.6	0.64	0.14	2.28	3.63	0.04	-	-	20.2	48.8	
23	0.079	20.0	6.8	0.57	0.31	2.89	4.44	0.12	-	-	36.4	0.7	

## ① 恋瀬川 (恋瀬橋) '79-'80

No. 1

DATE	DISCHARGE (m <sup>3</sup> /sec)	W. TEMP. (°C)	pH	CONCENTRATIONS OF WATER ITEMS (mg/liter)									
				NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	T-N	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P	DIP	T-P	Cl <sup>-</sup>	SS	COD
June 6	0.56	23.8	6.8	0.13	0.05	0.65	1.20	0.05	-	-	23.4	3.6	11.8
13	2.03	23.0	6.8	0.33	0.06	0.72	1.26	0.07	-	-	17.9	22.3	13.0
20	0.68	27.0	7.0	0.32	0.09	0.63	1.89	0.09	-	-	24.7	1.8	9.5
27	0.16	26.3	7.0	0.47	0.06	0.28	1.41	0.03	0.07	0.52	24.4	3.9	10.3
July 5	0.66	25.8	7.0	0.50	0.19	0.64	3.05	0.09	0.09	0.67	18.3	6.9	6.4
11	0.12	25.5	7.0	0.60	0.06	0.14	3.99	-	0.06	0.29	24.1	5.1	8.4
18	1.27	22.5	6.9	0.34	0.04	0.86	-	0.02	0.02	0.09	14.2	7.6	6.8
25	0.75	27.0	6.8	2.43	0.10	0.73	4.36	0.20	0.21	0.41	17.9	13.8	9.0
Aug. 1	0.55	(31.0)	7.0	0.33	0.04	0.49	2.17	0.04	0.04	0.41	15.4	7.8	5.7
8	2.26	27.0	6.8	0.28	0.04	0.85	2.82	0.04	0.07	0.29	12.6	10.5	6.9
15	0.84	28.4	7.2	0.44	0.07	0.38	1.32	0.17	0.18	0.31	20.4	11.4	5.4
22	2.46	25.0	6.7	0.30	0.04	0.82	1.36	0.04	0.04	0.09	15.0	11.4	4.5
29	1.94	23.6	6.8	0.21	0.05	1.17	1.65	0.06	0.07	0.13	13.4	38.0	4.7
Sept. 5	2.25	26.0	7.0	0.23	0.06	1.10	1.69	0.09	0.10	0.16	13.4	17.0	4.1
12	1.14	23.8	7.1	0.56	0.08	0.80	1.90	0.11	0.13	0.05	14.3	11.7	4.1
19	1.15	23.5	7.0	0.44	0.03	0.68	1.41	0.16	0.18	0.22	11.5	29.0	3.0
26	2.45	20.5	6.8	0.28	0.07	1.20	2.00	0.07	0.08	0.18	12.7	25.5	5.9
Oct. 3	4.69	20.2	6.6	0.20	0.04	2.09	2.98	0.04	0.05	0.16	12.9	37.9	4.4
11	14.65	19.0	6.8	0.20	0.04	2.02	3.26	0.05	0.07	0.32	11.5	107.0	8.1
17	2.96	17.5	6.8	0.21	0.04	2.43	3.13	0.05	0.06	0.11	12.4	14.9	3.2
24	5.54	16.0	6.6	0.11	0.03	2.85	3.59	0.03	0.04	0.08	12.2	23.5	2.9
Nov. 1	2.54	16.2	6.8	0.42	0.04	2.31	3.18	0.06	0.07	0.10	12.3	8.2	2.7
7	2.27	15.0	6.9	0.18	0.05	1.98	2.27	0.04	0.06	0.09	12.4	3.5	2.2
14	3.48	12.1	6.8	0.16	0.05	2.15	2.98	0.04	0.05	0.08	12.7	13.9	2.7
21	2.49	11.0	6.9	0.33	0.12	2.91	4.08	0.07	0.08	0.13	17.1	4.5	2.3
28	3.31	13.0	6.8	0.15	0.04	2.41	3.34	0.05	0.05	0.12	13.5	15.6	2.8



## ① 恋瀬川 (恋瀬橋) '79-'80

No. 2

DATE	DISCHARGE (m <sup>3</sup> /sec)	W. TEMP. (°C)	pH	CONCENTRATIONS OF WATER ITEMS (mg/liter)									
				NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	T-N	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P	DIP	T-P	Cl <sup>-</sup>	SS	COD
Dec. 5	3.05	13.0	6.8	0.28	0.06	2.75	3.60	0.05	0.05	0.17	13.0	9.7	2.4
12	2.12	7.2	6.8	0.23	0.04	2.10	2.92	0.05	0.06	0.10	12.5	4.0	2.2
19	1.97	7.0	6.8	0.45	0.08	1.91	3.28	0.11	0.11	0.21	13.9	10.1	3.5
26	2.63	8.0	6.8	0.34	0.04	1.81	2.62	0.05	0.05	0.12	12.6	10.8	2.7
Jan. 4	2.28	10.5	6.9	0.46	0.05	1.67	2.95	0.07	0.09	0.14	12.8	2.9	2.2
9	1.71	3.0	6.8	0.34	0.04	1.61	2.50	0.05	0.06	0.14	12.6	22.4	2.7
16	1.97	5.0	6.8	0.39	0.03	1.79	2.81	0.03	0.05	0.13	12.5	14.8	2.3
23	1.56	5.5	6.8	0.38	0.04	1.49	2.58	0.04	0.05	0.09	12.5	4.6	2.3
30	2.81	8.0	6.8	0.51	0.05	1.78	3.03	0.06	0.07	0.21	12.4	24.3	8.8
Feb. 7	1.69	3.0	6.8	0.42	0.03	1.89	2.94	0.05	0.06	0.12	12.1	6.4	2.3
13	1.64	6.0	6.7	0.49	0.05	1.60	2.61	0.05	0.07	0.13	12.1	5.8	1.7
20	1.75	4.0	6.9	0.83	0.05	1.72	3.95	0.08	0.09	0.16	12.2	6.1	4.0
27	1.62	12.0	6.9	0.28	0.05	1.48	2.28	0.08	0.10	0.21	12.3	13.7	3.7
Mar. 5	1.84	7.0	6.9	0.64	0.05	1.35	2.35	0.10	0.12	0.25	12.1	25.9	5.3
11	3.48	7.0	6.8	0.27	0.03	2.09	2.83	0.04	0.06	0.12	11.9	18.8	3.8
19	1.96	10.0	6.8	0.30	0.04	1.56	2.17	0.05	0.06	0.11	12.0	14.2	2.1
26	2.38	8.0	6.9	0.46	0.04	1.67	2.47	0.05	0.06	0.13	12.5	15.9	-
Apr. 2	5.64	10.1	6.6	2.38	0.04	2.01	4.81	0.71	0.72	1.31	13.3	35.6	6.1
9	2.25	11.8	6.8	0.27	0.04	1.68	2.68	0.04	0.06	0.17	12.7	3.5	3.7
16	4.08	10.0	6.7	0.36	0.03	2.20	2.62	0.05	0.05	0.14	11.4	17.0	4.8
23	2.05	14.5	6.9	0.59	0.17	2.07	3.08	0.25	0.28	0.47	18.8	18.6	5.7
30	0.75	15.8	6.8	0.66	0.15	1.30	3.28	0.10	0.11	0.28	18.8	9.9	6.5
May 7	0.92	16.2	6.8	1.40	0.43	2.47	4.48	0.22	0.23	0.50	24.5	14.9	8.3
14	2.74	19.0	6.4	0.71	0.09	1.32	2.79	0.08	0.13	0.37	20.0	63.6	7.7
21	3.73	19.5	6.6	0.30	0.09	0.92	2.40	0.08	0.08	0.27	18.3	54.0	9.4
28	1.98	19.0	6.6	0.18	0.08	1.46	1.91	0.07	0.07	0.19	15.3	30.2	7.7

## ② 園部川 (園部新橋) '79-'80

No. 1

DATE	DISCHARGE (m <sup>3</sup> /sec)	W. TEMP. (°C)	pH	CONCENTRATIONS OF WATER ITEMS (mg/liter)									
				NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	T-N	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P	DIP	T-P	Cl <sup>-</sup>	SS	COD
June 6	0.81	24.5	6.9	3.56	0.33	1.72	6.94	0.37	-	-	27.4	8.7	13.3
13	1.47	22.0	6.8	1.48	0.41	1.47	4.02	0.28	-	-	23.8	13.0	12.9
20	0.61	28.0	7.0	4.31	0.73	2.07	7.26	0.44	-	-	27.1	7.2	9.3
27	0.58	26.5	7.1	7.40	0.47	1.09	7.81	0.33	0.42	0.50	28.0	14.9	11.5
July 5	(0.00)	(25.5)	(6.9)	(2.20)	(1.05)	(1.77)	(7.02)	(0.27)	(0.27)	(1.16)	(21.4)	(12.8)	(9.3)
11	0.86	25.0	7.0	3.97	0.89	2.16	12.75	-	0.60	0.90	29.6	15.2	11.0
18	0.38	21.8	6.8	2.53	0.48	2.60	-	0.29	0.32	0.43	21.1	14.2	9.6
25	0.69	28.0	6.6	1.71	0.52	2.34	-	0.18	0.20	0.31	19.5	7.7	11.6
Aug. 1	0.74	29.0	6.8	2.24	0.68	2.66	10.30	0.26	0.27	0.99	20.9	9.6	7.4
8	1.22	27.5	6.9	2.20	0.95	1.86	5.95	0.22	0.39	0.51	20.2	12.8	8.7
15	0.45	28.0	7.0	4.21	0.01	(0.00)	5.73	0.18	0.19	0.82	28.4	28.3	10.2
22	0.88	26.0	6.8	2.48	0.55	1.10	4.51	0.31	0.34	0.46	24.4	8.0	5.1
29	1.26	26.0	6.9	2.47	0.82	2.47	6.25	0.17	0.17	0.31	21.6	14.4	6.3
Sept. 5	0.78	26.5	6.8	5.71	1.27	2.17	-	0.52	0.53	0.77	26.6	11.6	6.8
12	0.66	22.0	6.8	2.71	0.82	2.84	7.29	0.74	0.75	0.92	21.4	7.3	6.4
19	0.75	25.0	6.8	1.99	0.76	2.77	7.72	1.02	1.05	1.26	72.2	56.9	6.8
26	1.80	21.5	6.6	0.84	0.58	2.48	5.02	0.23	0.24	0.39	16.1	16.7	7.9
Oct. 3	2.84	21.0	6.7	1.02	0.33	2.64	5.17	0.14	0.16	0.30	19.3	25.1	6.5
11	6.96	20.0	6.3	0.45	0.10	2.44	4.31	0.10	0.11	0.47	13.4	130.1	11.6
17	1.33	24.0	6.7	1.87	0.60	3.34	7.05	0.16	0.17	0.27	22.0	12.8	5.1
24	10.32	16.5	6.8	1.84	0.33	3.74	7.36	0.10	0.11	0.17	20.7	14.1	3.8
Nov. 1	1.21	23.0	7.0	3.30	0.48	3.54	7.97	0.19	0.21	0.33	21.4	12.3	6.0
7	1.25	16.0	6.8	1.96	0.79	3.23	6.37	0.18	0.19	0.36	22.2	8.8	5.7
14	1.81	14.0	6.9	0.87	0.33	1.97	5.45	0.11	0.12	0.21	19.1	15.3	4.5
21	1.86	13.0	7.0	2.62	0.91	2.92	7.45	0.14	0.16	0.26	23.0	15.4	6.4
28	1.66	13.5	6.8	0.60	0.53	3.36	6.05	0.14	0.14	0.25	19.9	12.1	6.1

## ② 園部川 (園部新橋) '79-'80

No.2

DATE	DISCHARGE (m <sup>3</sup> /sec)	W. TEMP. (°C)	pH	CONCENTRATIONS OF WATER ITEMS (mg/liter)									
				NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	T-N	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P	DIP	T-P	Cl <sup>-</sup>	SS	COD
Dec. 5	1.98	13.2	6.8	1.59	0.76	3.77	7.43	0.19	0.22	0.31	22.9	15.7	5.1
12	6.04	8.5	7.0	2.42	0.64	3.18	8.65	0.27	0.29	0.47	23.6	22.2	8.4
19	1.44	9.0	7.0	2.71	0.96	2.76	8.15	0.28	0.29	0.52	22.8	15.9	9.4
26	1.56	9.0	6.9	2.21	0.68	2.64	6.69	0.15	0.16	0.27	21.5	12.0	9.7
Jan. 4	1.60	11.5	6.9	0.81	0.41	2.52	4.61	0.19	0.22	0.27	18.4	4.1	4.5
9	0.99	8.0	6.9	1.63	0.60	2.49	5.64	0.16	0.16	0.27	19.1	7.2	5.2
16	1.50	7.0	7.0	1.69	0.89	2.38	6.32	0.08	0.09	0.27	16.5	13.1	7.0
23	1.06	6.0	7.0	4.13	0.70	2.33	8.36	0.24	0.24	0.41	22.2	8.7	7.9
30	2.80	8.0	6.8	1.80	0.35	2.15	4.90	0.11	0.12	0.26	18.9	16.6	9.2
Feb. 7	0.81	10.0	6.9	3.51	1.07	2.91	8.52	0.19	0.19	0.33	20.9	6.7	5.9
13	0.78	7.0	6.8	1.38	1.09	2.17	6.94	0.27	0.28	0.47	21.1	12.3	6.8
20	0.97	6.5	7.0	2.94	1.01	2.77	9.75	0.35	0.38	0.66	21.1	21.7	9.6
27	0.90	9.0	7.0	2.22	1.26	3.17	8.83	0.55	0.58	0.72	22.5	7.4	13.4
Mar. 5	0.93	8.0	7.0	2.91	1.11	2.05	6.58	0.29	0.30	0.44	23.1	8.6	9.8
11	1.29	11.0	6.9	1.10	0.56	2.45	4.40	0.09	0.11	0.20	18.0	11.0	7.0
19	1.17	12.0	7.0	3.30	0.91	2.21	6.65	0.29	0.30	0.44	21.7	14.0	6.5
26	1.10	10.0	6.8	2.36	1.20	2.14	5.89	0.20	0.21	0.35	21.7	10.3	—
Apr. 2	2.42	12.0	6.7	0.87	0.36	2.20	3.84	0.05	0.07	0.19	14.7	11.4	6.9
9	1.25	13.0	6.9	2.20	1.04	1.90	5.68	0.19	0.22	0.45	21.4	14.2	8.1
16	1.09	12.0	6.8	1.49	0.97	2.53	5.03	0.09	0.09	0.23	18.0	9.6	7.6
23	1.51	15.0	6.8	2.03	0.87	2.42	5.77	0.28	0.32	0.51	21.0	10.1	7.9
30	1.06	16.0	6.9	1.26	0.56	1.17	4.30	0.20	0.21	0.31	21.3	15.6	9.5
May 7	1.46	16.0	6.7	1.37	0.70	1.87	4.22	0.37	0.37	0.53	25.9	20.3	10.1
14	2.64	20.4	6.7	1.77	0.51	1.49	4.56	0.17	0.19	0.31	24.7	24.4	8.7
21	2.35	21.5	6.7	1.52	0.67	2.51	5.24	0.20	0.23	0.43	25.9	21.2	10.7
28	1.76	20.6	6.8	1.41	0.74	2.07	4.40	0.26	0.28	0.43	21.2	16.3	9.5

## ③ 山王川 (日の出橋) '79-'80

No. 1

DATE	DISCHARGE (m <sup>3</sup> /sec)	W. TEMP. (°C)	pH	CONCENTRATIONS OF WATER ITEMS (mg/liter)									
				NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	T-N	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P	DIP	T-P	Cl <sup>-</sup>	SS	COD
June 6	0.459	26.0	7.0	0.71	0.19	1.15	2.91	0.37	-	-	24.6	10.6	11.5
13	0.437	23.0	7.0	0.93	0.31	0.67	2.80	0.36	-	-	25.6	5.9	13.0
20	0.423	27.2	7.0	0.91	0.20	0.40	2.82	0.39	-	-	22.8	7.8	8.3
27	0.432	26.1	7.0	1.07	0.17	0.16	1.84	0.39	0.50	0.56	22.9	9.8	7.2
July 5	0.429	27.0	7.2	0.95	0.81	0.23	4.07	0.40	0.49	1.38	25.9	11.9	11.7
11	0.486	26.0	7.0	1.23	0.56	0.28	7.01	-	0.64	0.94	29.6	20.0	9.2
18	0.400	23.0	6.9	1.08	0.35	0.72	-	0.56	0.57	0.69	25.2	20.8	8.8
25	0.470	28.5	7.0	1.00	0.23	0.30	4.60	0.54	0.54	0.32	26.4	35.5	9.8
Aug. 1	0.416	29.8	6.8	1.46	0.30	0.48	10.40	0.57	0.58	1.84	22.8	18.0	8.2
8	0.462	28.2	6.9	0.77	0.37	1.29	6.71	0.16	0.58	0.59	22.0	29.0	9.0
15	0.505	28.0	7.4	1.30	0.13	0.36	2.40	0.33	0.33	0.48	20.4	15.8	5.9
22	0.404	27.5	6.8	0.95	0.17	0.55	2.35	0.39	0.44	0.60	20.8	16.9	7.4
29	0.415	28.0	7.0	1.07	0.85	1.78	4.49	0.56	0.58	0.76	25.0	14.2	7.7
Sept. 5	0.355	29.7	7.0	0.74	0.40	0.09	1.97	0.58	0.59	0.82	31.0	17.1	8.2
12	0.315	25.9	7.0	0.95	0.48	0.37	2.61	0.37	0.37	0.50	29.3	10.8	8.7
29	0.425	26.5	7.0	1.47	0.28	0.04	5.81	0.48	0.49	0.76	33.9	83.5	10.6
26	0.466	23.8	6.8	0.70	0.32	1.23	3.45	0.23	0.23	0.59	21.0	36.0	10.8
Oct. 3	1.212	22.2	6.6	0.51	0.41	1.99	4.51	0.21	0.22	0.72	21.3	65.5	10.2
11	1.733	21.2	6.5	0.15	0.05	1.46	2.31	0.10	0.11	0.26	10.3	31.2	6.8
17	0.398	23.0	7.0	0.69	0.28	1.48	3.38	0.35	0.35	0.62	25.8	25.7	8.1
24	0.608	19.8	6.9	0.67	0.19	2.46	4.47	0.26	0.26	0.45	26.3	19.2	5.3
Nov. 1	0.426	21.2	7.1	1.15	0.23	1.67	3.69	0.35	0.36	0.53	26.2	8.8	6.2
7	0.350	19.0	7.0	1.08	0.29	1.77	3.55	0.33	0.33	0.54	29.2	8.3	5.6
14	0.470	16.5	7.0	0.80	0.25	1.95	4.28	0.27	0.27	0.59	26.8	21.4	8.0
21	0.391	16.0	7.0	0.58	0.22	2.00	3.78	0.25	0.26	0.50	26.7	8.5	5.1
28	0.507	16.0	7.0	0.78	0.37	2.01	4.18	0.30	0.36	0.50	27.6	16.8	8.1

## ③ 山王川 (日の出橋) '79-'80

No.2

DATE	DISCHARGE (m <sup>3</sup> /sec)	W. TEMP. (°C)	pH	CONCENTRATIONS OF WATER ITEMS (mg/liter)									
				NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	T-N	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P	DIP	T-P	Cl <sup>-</sup>	SS	COD
Dec. 5	0.456	15.5	6.8	0.85	0.27	2.62	5.07	0.20	0.23	0.46	29.2	73.2	7.8
12	0.491	13.5	7.0	1.27	0.24	1.92	4.53	0.30	0.35	0.52	29.4	29.2	8.0
19	0.318	14.0	7.0	0.81	0.24	1.08	2.96	0.30	0.32	0.43	31.1	7.4	7.1
26	0.471	12.2	7.0	0.58	0.20	0.96	2.83	0.19	0.20	0.29	30.0	9.0	11.9
Jan. 4	0.231	13.0	7.0	1.73	0.12	1.11	3.57	0.36	0.38	0.44	22.0	1.0	4.9
9	0.364	9.5	7.1	1.10	0.20	1.51	3.75	0.36	0.36	0.47	27.2	4.2	5.9
16	0.311	11.0	6.9	1.22	0.25	1.43	3.83	0.24	0.24	0.39	28.6	4.1	5.1
23	0.321	10.0	7.9	0.89	0.21	0.71	2.67	0.34	0.34	0.48	30.4	3.1	6.4
30	1.065	10.2	6.8	1.37	0.18	1.29	4.17	0.30	0.30	0.98	23.9	60.6	13.9
Feb. 7	0.268	10.0	7.1	1.40	0.14	0.75	3.32	0.33	0.34	0.48	28.1	3.5	6.5
13	0.306	12.0	7.2	1.73	0.11	0.54	2.87	0.42	0.43	0.54	27.1	4.3	5.5
20	0.355	12.5	7.1	1.45	0.15	0.87	4.28	0.40	0.42	0.60	14.9	7.6	7.2
27	0.355	13.5	7.2	1.63	0.09	0.25	2.70	0.45	0.46	0.58	31.3	5.1	6.7
Mar. 5	0.286	13.0	7.0	1.48	0.20	0.44	3.33	0.79	0.80	1.03	34.0	22.2	10.4
11	0.408	13.8	6.8	1.03	0.24	1.38	3.42	0.32	0.33	0.61	30.1	15.2	9.7
19	0.344	14.2	7.2	1.43	0.19	0.47	2.82	0.41	0.41	0.55	30.2	4.6	6.6
26	0.385	13.0	7.0	0.78	0.18	1.05	2.83	0.33	0.34	0.55	28.9	5.3	-
Apr. 2	0.486	14.5	6.9	0.61	0.16	2.12	3.38	0.17	0.17	0.70	23.8	6.9	8.5
9	0.329	16.5	7.1	0.76	0.42	1.33	3.76	0.28	0.28	0.47	32.1	8.9	8.6
16	0.545	15.5	6.9	0.85	0.22	2.40	3.97	0.23	0.26	0.88	22.2	19.6	8.7
23	0.361	17.0	6.9	1.08	0.35	1.82	3.51	0.29	0.32	0.51	25.9	29.3	11.1
30	0.406	17.0	7.0	0.70	0.29	0.96	3.13	0.29	0.30	0.47	23.2	24.1	11.5
May 7	0.435	18.3	6.8	0.97	1.75	2.32	5.63	0.44	0.44	0.64	25.1	36.8	15.3
14	0.680	22.9	6.9	0.92	0.51	1.43	4.35	0.31	0.36	0.54	23.9	71.2	15.3
21	0.491	22.0	7.0	0.92	0.58	2.14	4.02	0.37	0.39	0.58	29.1	19.8	9.1
28	0.503	22.3	6.9	0.60	0.44	1.59	2.89	0.28	0.28	0.55	22.7	16.3	9.7

## ④ 山王川 (石岡市街地下流) '79-'80

No.1

DATE	DISCHARGE (m <sup>3</sup> /sec)	W. TEMP. (°C)	pH	CONCENTRATIONS OF WATER ITEMS (mg/liter)									
				NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	T-N	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P	DIP	T-P	Cl <sup>-</sup>	SS	COD
June 6	0.292	24.2	6.9	0.98	0.16	1.55	3.58	0.46	-	-	28.7	7.8	13.0
13	0.303	22.8	7.0	0.95	0.21	0.90	2.84	0.45	-	-	25.0	11.1	12.8
20	0.406	27.0	6.9	1.12	0.22	0.89	3.64	0.52	-	-	26.2	21.6	11.8
27	0.363	26.1	6.9	1.16	0.31	1.21	3.95	0.53	1.04	1.11	29.2	16.4	11.8
July 5	0.309	26.3	7.0	1.23	1.00	1.26	5.65	0.74	0.84	1.91	31.0	10.5	9.8
11	0.311	26.0	7.1	1.64	0.25	0.51	7.99	-	0.71	1.03	31.5	16.3	9.7
18	0.445	23.0	7.0	1.79	0.30	1.06	-	0.68	0.68	0.92	25.6	12.2	9.7
25	0.384	28.0	6.8	0.42	0.27	0.44	4.28	0.69	0.69	0.91	33.5	15.8	11.3
Aug. 1	0.367	28.0	7.0	1.12	0.51	1.31	5.25	0.79	0.79	2.80	28.0	17.0	11.9
8	0.400	27.2	6.8	0.65	0.35	1.76	7.03	0.41	0.70	1.24	23.6	26.6	10.3
15	0.134	27.0	6.8	1.66	0.23	0.32	3.24	0.49	0.55	0.97	37.3	18.1	8.3
22	0.371	26.5	6.7	0.66	0.31	0.49	2.63	0.62	0.67	0.92	22.7	15.2	8.4
29	0.437	26.0	6.8	0.53	1.11	1.16	4.42	0.63	0.65	1.54	25.9	50.7	14.5
Sept. 5	0.357	28.1	6.9	0.38	0.45	0.15	6.82	0.61	0.61	1.12	33.8	15.7	9.3
12	0.328	25.0	6.8	0.88	0.64	0.66	5.41	0.63	0.66	1.03	31.3	17.6	13.0
19	0.391	26.0	6.8	0.88	1.10	0.59	7.23	0.57	0.57	1.10	40.3	108.9	13.5
26	0.301	23.0	6.8	0.59	0.33	1.55	3.58	0.49	0.56	1.01	28.1	267.0	14.1
Oct. 3	0.558	22.2	6.8	0.29	0.21	1.26	3.85	0.25	0.25	1.03	16.1	101.8	13.2
11	0.965	21.1	6.7	0.08	0.09	1.75	2.98	0.11	0.13	0.33	13.6	30.2	6.9
17	0.279	22.5	6.8	0.47	0.23	1.27	3.10	0.44	0.45	0.77	25.3	27.9	9.2
24	0.502	20.0	6.8	0.64	0.15	2.54	4.66	0.38	0.40	0.65	27.1	19.2	6.2
Nov. 1	0.323	20.5	6.8	1.46	0.22	1.60	4.31	0.42	0.44	0.65	28.1	8.6	7.7
7	0.388	20.0	6.8	1.38	0.28	1.62	4.29	0.49	0.51	0.95	29.4	19.8	7.9
14	0.552	17.0	6.8	1.00	0.24	1.97	4.86	0.40	0.44	0.82	28.6	16.7	9.6
21	0.461	16.0	6.9	1.35	0.21	1.97	4.80	0.48	0.51	0.82	27.3	13.7	7.4
28	0.461	16.2	6.8	0.95	0.26	2.50	5.30	0.38	0.47	0.67	28.8	14.2	8.0

## ④ 山王川 (石岡市街地下流) '79-'80

No 2

DATE	DISCHARGE (m <sup>3</sup> /sec)	W. TEMP. (°C)	pH	CONCENTRATIONS OF WATER ITEMS (mg/liter)									
				NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	T-N	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P	DIP	T-P	Cl <sup>-</sup>	SS	COD
Dec. 5	0.507	16.0	6.8	1.50	0.32	2.61	6.02	0.50	0.67	0.92	35.4	19.2	10.0
12	0.455	15.0	6.8	1.22	0.27	1.79	4.79	0.46	0.57	0.83	26.2	17.8	11.4
19	0.443	15.0	6.9	1.43	0.39	1.22	4.94	0.48	0.56	0.91	34.3	33.6	26.2
26	0.387	14.0	6.8	1.50	0.18	1.77	4.91	0.41	0.51	0.97	32.0	20.4	15.0
Jan. 4	0.273	13.0	6.9	2.22	0.20	1.58	5.27	0.56	0.62	0.76	24.7	9.2	9.0
9	0.375	11.0	6.8	1.17	0.22	1.57	4.35	0.56	0.59	0.99	27.7	18.5	10.7
16	0.505	12.0	7.0	1.69	0.29	2.16	5.72	0.63	0.70	1.15	28.4	18.4	9.9
23	0.376	12.0	6.8	1.13	0.28	1.03	4.36	0.53	0.57	1.13	28.8	25.4	12.6
30	1.222	11.0	6.9	1.08	0.17	1.31	4.18	0.28	0.29	0.90	16.2	140.0	21.2
Feb. 7	0.513	12.0	7.0	1.90	0.27	1.28	7.20	0.57	0.62	1.10	30.3	22.6	14.6
13	0.559	13.0	6.9	2.17	0.25	0.61	5.60	0.71	0.77	1.50	28.4	43.4	14.7
20	0.488	13.0	7.0	1.66	0.19	0.91	7.28	0.58	0.65	1.07	30.2	31.8	13.9
27	0.508	15.0	6.8	1.99	0.15	0.35	5.13	1.07	1.09	1.65	29.0	21.6	18.5
Mar. 5	0.436	12.8	7.0	1.44	0.10	0.38	3.71	0.47	0.48	1.19	37.7	19.5	19.3
11	0.547	13.0	6.9	1.15	0.27	2.04	4.33	0.50	0.53	0.93	44.9	27.5	16.9
19	0.334	16.0	6.8	1.32	0.46	0.40	3.54	0.62	0.63	1.07	30.2	18.0	13.6
26	0.521	14.0	6.8	1.57	0.23	1.43	4.68	0.61	0.68	1.23	30.7	21.6	-
Apr. 2	0.554	15.0	6.9	1.14	0.22	2.30	4.55	0.37	0.42	1.38	28.0	10.6	11.7
9	0.361	17.5	6.9	0.70	0.61	1.14	3.38	0.42	0.45	0.73	30.1	18.7	16.9
16	0.520	15.0	6.9	0.94	0.21	2.52	4.52	0.37	0.41	1.03	23.1	9.2	15.9
23	0.393	17.2	6.8	0.75	0.75	1.19	3.58	0.52	0.62	1.02	27.1	19.2	8.7
30	0.301	17.0	7.2	0.95	0.38	1.22	3.75	0.56	0.59	0.83	27.6	73.8	15.3
May 7	0.323	19.2	7.0	0.97	1.73	2.65	6.70	0.39	0.44	0.67	26.2	5.4	10.8
14	0.497	22.5	6.9	0.84	0.63	1.65	4.15	0.41	0.45	1.00	24.7	5.1	9.8
21	0.344	21.5	6.8	0.92	0.51	1.92	4.12	0.40	0.41	0.71	33.7	14.3	12.3
28	0.483	22.5	6.9	0.80	0.53	2.20	4.44	0.36	0.39	0.74	26.1	16.2	11.0

## ⑤ 山王川 (石岡市街地上流) '79-'80

No.1

DATE	DISCHARGE (m <sup>3</sup> /sec)	W. TEMP. (°C)	pH	CONCENTRATIONS OF WATER ITEMS (mg/liter)									
				NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	T-N	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P	DIP	T-P	Cl <sup>-</sup>	SS	COD
June 6	0.164	24.0	6.8	0.68	0.23	1.71	3.77	0.38	-	-	31.0	6.0	10.4
13	0.145	22.1	6.9	1.13	0.54	2.15	4.61	0.40	-	-	30.9	4.3	13.6
20	0.111	26.1	6.9	0.75	0.15	1.06	2.98	0.44	-	-	34.6	3.9	9.5
27	0.102	26.0	6.8	1.39	0.33	1.39	3.72	0.45	0.58	0.58	38.3	6.8	7.6
July 5	0.112	27.0	6.9	1.52	2.02	3.48	9.68	0.64	0.65	1.47	46.3	7.6	9.1
11	0.129	25.0	7.1	1.18	0.53	1.81	11.14	-	0.49	0.77	46.3	9.5	10.2
18	0.092	23.0	6.8	1.11	0.49	2.55	-	0.55	0.60	0.69	29.3	5.8	8.1
25	0.110	27.2	7.0	1.62	0.26	1.26	3.59	0.94	0.98	1.08	49.6	8.4	8.4
Aug. 1	0.088	28.0	7.1	1.18	1.38	4.11	8.81	0.63	0.64	1.19	30.9	6.2	5.6
8	0.151	28.0	6.8	0.67	1.25	3.21	-	0.34	0.73	1.32	31.2	6.4	8.9
15	0.090	27.0	7.2	1.32	0.14	0.91	3.20	0.75	0.79	0.99	24.4	6.8	6.3
22	0.136	27.0	6.6	0.86	0.22	1.67	3.57	0.73	0.75	0.79	25.2	5.9	6.1
29	0.122	26.0	6.8	1.17	0.43	2.65	5.14	0.72	0.74	0.90	30.0	3.2	6.8
Sept. 5	0.067	28.5	6.9	1.13	1.40	3.16	7.52	0.82	0.83	1.05	45.0	7.4	7.6
12	0.115	28.2	7.0	1.04	0.68	2.50	5.36	0.85	0.88	1.18	36.9	9.1	11.9
19	0.101	26.0	6.9	1.39	0.88	2.90	6.64	0.52	0.53	0.83	37.5	71.0	10.9
26	0.167	23.0	6.3	0.77	0.69	3.24	5.97	0.32	0.34	0.68	28.1	9.2	6.3
Oct. 3	0.351	22.1	6.8	0.46	0.37	1.85	3.74	0.21	0.21	0.47	17.0	43.7	7.8
11	0.667	21.0	6.1	0.21	0.09	2.04	3.01	0.07	0.07	0.14	14.3	16.0	4.6
17	0.166	22.5	6.8	0.46	0.18	2.50	4.18	0.37	0.40	0.56	28.5	8.2	5.5
24	0.272	19.6	6.6	0.39	0.11	3.54	5.36	0.18	0.19	0.32	28.1	6.8	4.7
Nov. 1	0.172	20.0	6.8	0.82	0.22	2.80	4.79	0.42	0.46	0.66	39.7	3.9	6.9
7	0.154	19.3	6.8	0.78	0.29	2.63	4.50	0.42	0.45	0.74	36.8	7.0	6.7
14	0.207	16.8	6.9	0.32	0.42	1.52	7.05	0.32	0.32	0.50	29.5	6.8	16.8
21	0.202	16.5	6.7	1.07	0.21	2.43	5.06	0.55	0.60	0.93	29.3	10.7	7.2
28	0.222	16.0	6.5	1.22	0.26	3.55	6.27	0.17	0.19	0.44	37.4	90.1	6.6



## ⑤ 山王川 (石岡市街地上流) '79-'80

No 2

DATE	DISCHARGE (m <sup>3</sup> /sec)	W. TEMP. (°C)	pH	CONCENTRATIONS OF WATER ITEMS (mg/liter)									
				NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	T-N	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P	DIP	T-P	Cl <sup>-</sup>	SS	COD
Dec. 5	0.202	16.0	6.6	0.45	0.36	3.48	5.75	0.29	0.37	0.58	41.7	8.4	5.6
12	0.152	14.5	6.8	1.04	0.42	3.21	6.20	0.44	0.53	0.67	33.0	5.8	6.8
19	0.133	14.0	6.9	2.17	0.73	2.77	7.20	0.66	0.79	1.03	48.3	8.2	8.9
26	0.129	12.5	6.8	1.55	0.16	2.79	5.67	0.45	0.53	0.70	43.7	4.9	8.1
Jan. 4	0.068	12.8	6.6	1.19	0.15	2.67	5.44	0.29	0.34	0.43	24.9	1.8	5.1
9	0.078	10.0	7.0	1.41	0.35	2.88	6.36	0.58	0.62	0.93	43.7	7.0	10.1
16	0.151	10.0	6.8	1.55	0.51	3.70	8.05	0.66	0.74	1.07	37.4	6.0	7.4
23	0.085	10.5	6.9	3.43	0.61	2.55	8.25	0.90	0.98	1.38	34.8	14.8	10.7
30	0.501	10.2	6.8	0.87	0.27	1.77	4.90	0.56	0.56	1.46	20.8	115.5	25.6
Feb. 7	0.098	10.0	6.8	1.58	0.45	3.35	7.20	0.74	0.80	1.18	37.9	12.3	9.5
13	0.081	11.5	6.9	1.83	0.41	2.52	6.29	0.82	0.93	1.24	43.7	8.6	8.9
20	0.109	11.0	6.9	1.94	0.29	2.74	7.77	0.72	0.79	1.12	50.9	13.6	10.3
27	0.106	13.0	7.0	2.37	0.40	2.28	6.03	1.09	1.15	1.56	44.5	26.1	7.4
Mar. 5	0.081	11.0	7.0	1.57	0.48	2.20	5.26	0.90	0.91	1.19	52.6	6.1	14.0
11	0.122	13.0	6.8	0.74	0.36	2.83	4.92	0.45	0.51	0.90	36.7	10.7	10.1
19	0.098	13.0	6.8	1.69	0.64	3.35	6.10	0.78	0.84	1.04	48.1	7.1	7.9
26	0.134	13.0	6.8	1.43	0.36	2.68	5.56	0.58	0.66	1.08	36.7	7.4	—
Apr. 2	0.210	13.5	6.6	0.68	0.34	3.10	5.01	0.46	0.48	0.77	29.4	6.1	8.4
9	0.142	15.5	6.9	1.62	0.50	2.45	6.57	0.73	0.79	1.09	43.5	7.3	10.8
16	0.142	13.5	6.8	0.72	0.58	3.31	4.95	0.24	0.27	0.67	26.4	10.6	9.4
23	0.158	16.0	6.7	0.82	0.43	2.77	4.50	0.45	0.53	0.72	33.3	6.8	12.8
30	0.114	18.5	6.8	0.74	0.31	2.22	4.61	0.39	0.39	1.19	33.2	9.1	9.6
May 7	0.081	17.5	6.8	0.97	2.73	2.78	7.60	0.22	0.25	0.47	34.6	5.4	9.8
14	0.188	21.5	6.7	0.63	1.07	2.51	5.78	0.20	0.26	0.42	31.1	22.3	9.9
21	0.234	21.0	6.8	1.42	0.77	3.08	5.90	0.33	0.34	0.51	32.7	9.7	8.6
28	0.214	21.8	6.8	0.80	0.82	3.05	4.98	0.26	0.29	0.56	28.2	10.5	8.6

## ⑥ 山王川 (鹿ノ子橋) '79-'80

No 1

DATE	DISCHARGE (m <sup>3</sup> /sec)	W. TEMP. (°C)	pH	CONCENTRATIONS OF WATER ITEMS (mg/liter)									
				NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	T-N	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P	DIP	T-P	Cl <sup>-</sup>	SS	COD
June 6	0.040	22.6	6.8	0.60	0.49	3.03	5.95	0.07	-	-	41.3	1.2	9.5
13	0.061	22.2	7.3	0.49	0.72	2.28	4.56	0.41	-	-	67.5	1.0	10.7
20	0.053	27.0	7.4	0.85	0.71	2.56	5.73	0.65	-	-	80.8	16.1	12.8
27	0.030	25.5	6.9	2.31	0.10	1.15	3.83	0.06	0.11	0.29	69.6	5.1	7.0
July 5	0.033	26.3	6.9	0.34	4.41	16.07	23.88	0.41	0.47	1.43	108.3	5.6	9.0
11	0.054	24.8	7.2	0.50	1.01	2.17	11.84	-	0.26	0.46	73.5	4.3	7.8
18	0.038	23.0	7.0	0.84	0.79	4.24	-	0.21	0.22	0.26	44.7	3.6	6.7
25	0.057	27.0	7.1	0.67	0.58	2.44	-	0.23	0.25	0.72	40.9	3.2	5.0
Aug. 1	0.061	27.0	7.0	1.13	1.49	3.56	15.00	0.18	0.18	0.67	53.0	2.5	3.2
8	0.060	28.0	7.0	0.23	1.64	3.21	-	0.12	0.27	1.05	59.4	9.3	8.1
15	0.028	24.8	7.0	0.10	0.05	0.92	1.08	0.11	0.12	0.14	17.3	2.1	2.0
22	0.038	26.5	7.1	1.41	0.55	3.48	6.58	0.91	0.96	0.99	107.6	7.5	6.1
29	0.058	25.0	7.2	0.12	1.15	3.12	5.59	0.37	0.44	0.44	55.3	3.3	5.9
Sept. 5	0.028	27.1	7.1	0.40	3.03	4.84	8.51	0.26	0.26	0.28	47.6	1.2	4.8
12	0.041	26.1	8.2	0.38	1.55	2.95	8.45	0.98	1.03	1.30	98.9	12.2	11.6
19	0.034	25.5	6.9	0.45	3.69	8.30	14.07	0.24	0.26	0.57	18.1	72.4	12.0
26	0.046	22.8	7.4	0.15	1.96	6.10	8.78	0.54	0.61	0.67	50.1	6.3	6.8
Oct. 3	0.191	22.2	6.9	0.28	0.74	2.44	4.57	0.16	0.16	0.24	27.4	16.8	6.1
11	0.304	20.8	6.2	0.37	0.17	2.68	4.01	0.06	0.07	0.10	18.1	16.0	4.2
17	0.094	22.5	6.6	0.28	0.25	2.66	3.87	0.05	0.06	0.08	27.9	2.3	2.7
24	0.149	20.3	6.8	0.38	0.10	2.90	4.53	0.25	0.25	0.61	40.4	11.9	5.5
Nov. 1	0.097	20.5	7.0	0.42	0.16	2.10	3.67	0.31	0.33	0.66	64.2	9.7	6.7
7	0.078	20.8	7.0	0.42	0.16	1.75	2.77	0.20	0.20	0.45	52.5	1.7	4.2
14	0.089	18.5	6.9	0.27	0.15	2.17	3.71	0.17	0.18	0.29	22.3	4.3	5.0
21	0.084	17.0	7.2	0.27	0.07	1.66	3.30	0.48	0.49	0.80	39.4	11.4	10.1
28	0.088	17.0	7.0	0.48	0.17	2.44	4.00	0.37	0.45	0.50	55.0	4.9	6.7

## ⑥ 山王川 (鹿ノ子橋) '79-'80

No.2

DATE	DISCHARGE (m <sup>3</sup> /sec)	W. TEMP. (°C)	pH	CONCENTRATIONS OF WATER ITEMS (mg/liter)									
				NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	T-N	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P	DIP	T-P	Cl <sup>-</sup>	SS	COD
Dec. 5	0.100	17.0	7.0	0.47	0.26	2.97	4.73	0.20	0.26	0.46	57.8	6.2	7.1
12	0.059	15.5	7.0	0.91	0.21	2.33	4.56	0.15	0.19	0.29	24.0	4.8	5.0
19	0.051	16.0	6.8	2.04	2.31	2.84	10.32	0.24	0.26	0.42	32.7	3.0	6.9
26	0.066	14.5	6.8	0.54	0.10	2.47	4.11	0.13	0.14	0.23	22.3	3.4	4.9
Jan. 4	0.018	14.0	6.4	0.11	0.02	2.66	3.60	0.01	0.03	0.04	13.1	1.5	1.5
9	0.043	12.5	7.0	0.31	1.21	3.02	6.68	0.15	0.15	0.22	25.5	1.0	4.7
16	0.031	13.0	6.9	0.72	0.74	3.25	6.31	0.15	0.16	0.24	23.2	1.4	3.1
23	0.045	13.5	7.2	0.68	0.78	2.62	8.01	3.52	3.69	4.50	68.9	20.2	13.4
30	0.368	8.0	6.9	0.44	0.47	1.36	10.37	0.80	0.81	8.64	30.4	442.0	116.9
Feb. 7	0.041	12.0	7.0	0.37	0.77	2.87	5.29	0.11	0.11	0.21	52.4	2.0	4.2
13	0.067	13.5	7.0	1.57	5.70	15.28	26.33	0.34	0.38	0.57	42.7	5.0	11.2
20	0.033	13.0	7.0	1.21	0.57	2.88	7.03	0.28	0.29	0.41	45.2	3.8	7.2
27	0.060	15.0	7.0	0.98	5.30	16.65	24.06	0.25	0.26	0.52	54.6	28.6	12.5
Mar. 5	0.026	14.2	7.0	0.81	0.63	2.77	4.91	0.34	0.35	0.60	54.0	7.9	5.8
11	0.063	12.0	6.8	0.67	0.81	3.73	6.37	0.14	0.14	0.25	36.4	6.7	5.5
19	0.049	15.8	7.0	1.21	1.54	3.00	7.47	0.24	0.26	0.50	40.9	3.1	5.2
26	0.073	14.0	6.9	0.58	1.50	3.12	7.04	0.12	0.13	0.32	30.5	4.3	-
Apr. 2	0.092	14.2	6.6	0.70	0.64	3.08	5.07	0.08	0.10	0.18	24.5	11.0	5.8
9	0.069	15.5	6.8	0.98	2.22	3.08	8.80	0.19	0.20	0.31	33.5	2.4	5.9
16	0.124	13.5	6.6	0.63	1.05	3.52	5.68	0.12	0.12	0.24	18.6	2.8	5.6
23	0.065	16.5	6.6	0.69	15.26	17.99	42.59	0.14	0.15	0.35	27.1	4.3	15.1
30	0.074	17.2	6.7	0.46	0.88	2.19	4.85	0.24	0.25	0.29	45.1	1.0	4.0
May 7	0.071	18.0	6.6	0.87	8.97	10.09	20.13	0.05	0.05	0.13	41.0	1.4	8.8
14	0.080	20.3	6.6	1.07	5.70	1.84	9.08	0.09	0.09	0.17	34.7	7.4	6.4
21	0.106	19.5	6.7	0.38	0.35	1.83	3.78	0.05	0.08	0.17	41.9	60.4	5.6
28	0.106	20.5	6.7	0.53	3.27	2.73	8.69	0.20	0.21	0.35	39.9	10.2	7.1

## 国立公害研究所特別研究成果報告

- 第 1 号 陸水域の富栄養化に関する総合研究 — 霞ヶ浦を対象域として。(1977)  
第 2 号 陸上植物による大気汚染環境の評価と改善に関する基礎的研究 — 昭和51/52年度研究報告。(1978)

(改 称)

## 国立公害研究所研究報告

- 第 3 号 A comparative study of adults and immature stages of nine Japanese species of the genus *Chironomus* (Diptera, Chironomidae) (1978)  
(日本産ユスリカ科 *Chironomus* 属 9 種の成虫, サナギ, 幼虫の形態の比較)
- 第 4 号 スモッグチャンバーによる炭化水素 — 窒素酸化物系光化学反応の研究 — 昭和52年度中間報告。(1978)
- 第 5 号 芳香族炭化水素 — 窒素酸化物系の光酸化反応機構と光酸化二次生成物の培養細胞に及ぼす影響に関する研究 — 昭和51/52年度研究報告。(1978)
- 第 6 号 陸水域の富栄養化に関する総合研究(Ⅱ) — 霞ヶ浦を中心として。(1979)
- 第 7 号 A morphological study of adults and immature stages of 20 Japanese species of the family Chironomidae (Diptera). (1979)  
(日本産ユスリカ科20種の成虫, サナギ, 幼虫の形態学的研究)
- 第 8 号 大気汚染物質の単一および複合汚染の生体に対する影響に関する実験的研究 — 昭和52/53年度研究報告。(1979)
- 第 9 号 スモッグチャンバーによる炭化水素 — 窒素酸化物系光化学反応の研究 — 昭和53年度中間報告。(1979)
- 第 10 号 陸上植物による大気汚染環境の評価と改善に関する基礎的研究 — 昭和51/53年度特別研究報告。(1979)
- 第 11 号 Studies on the effects of air pollutants on plants and mechanisms of phytotoxicity. (1980)  
(大気汚染物質の植物影響およびその植物毒性の機構に関する研究)
- 第 12 号 Multielement analysis studies by flame and inductively coupled plasma spectroscopy utilizing computer-controlled instrumentation. (1980)  
(コンピュータ制御装置を利用したフレイムおよび誘導結合プラズマ分光法による多元素同時分析)
- 第 13 号 Studies on chironomid midges of the Tama River. (1980)  
Part 1. The distribution of chironomid species in a tributary in relation to the degree of pollution with sewage water.  
Part 2. Description of 20 species of Chironominae recovered from a tributary.  
(多摩川に発生するユスリカの研究  
— 第1報 その一支流に見出されたユスリカ各種の分布と下水による汚染度との関係 —  
— 第2報 その一支流に見出された Chironominae 亜科の20種について —)
- 第 14 号 有機廃棄物, 合成有機化合物, 重金属等の土壌生態系に及ぼす影響と浄化に関する研究 — 昭和53, 54年度特別研究報告。(1980)
- 第 15 号 大気汚染物質の単一および複合汚染の生体に対する影響に関する実験的研究 — 昭和54年度特別研究報告。(1980)
- 第 16 号 計測車レーザーレーダーによる大気汚染遠隔計測。(1980)
- 第 17 号 流体の運動および輸送過程に及ぼす浮力効果 — 臨海地域の気象特性と大気拡散現象の研究 — 昭和53/54年度 特別研究報告。(1980)

- 第 18 号 Preparation, analysis and certification of PEPPERBUSH standard reference material. (1980)  
(環境標準試料「リョウブ」の調製, 分析および保証値)
- 第 19 号 陸水域の富栄養化に関する総合研究(Ⅲ) — 霞ヶ浦(西浦)の湖流 — 昭和53/54年度. (1981)
- 第 20 号 陸水域の富栄養化に関する総合研究(Ⅳ) — 霞ヶ浦流域の地形, 気象水文特性およびその湖水環境に及ぼす影響 — 昭和53/54年度. (1981)
- 第 21 号 陸水域の富栄養化に関する総合研究(Ⅴ) — 霞ヶ浦流入河川の流出負荷量変化とその評価 — 昭和53/54年度. (1981)
- 第 22 号 陸水域の富栄養化に関する総合研究(Ⅵ) — 霞ヶ浦の生態系の構造と生物現存量 — 昭和53/54年度. (1981)
- 第 23 号 陸水域の富栄養化に関する総合研究(Ⅶ) — 湖沼の富栄養化状態指標に関する基礎的研究 — 昭和53/54年度. (1981)
- 第 24 号 陸水域の富栄養化に関する総合研究(Ⅷ) — 富栄養化が湖利用に及ぼす影響の定量化に関する研究 — 昭和53/54年度. (1981)
- 第 25 号 陸水域の富栄養化に関する総合研究(Ⅸ) — *Microcystis* (藍藻類) の増殖特性 — 昭和53/54年度. (1981)
- 第 26 号 陸水域の富栄養化に関する総合研究(X) — 藻類培養試験法によるAGPの測定 — 昭和53/54年度. (1981)

### Report of Special Research Project the National Institute for Environmental Studies

- No. 1\* Man activity and aquatic environment – with special references to Lake Kasumigaura – Progress report in 1966. (1977)
- No. 2\* Studies on evaluation and amelioration of air pollution by plants – Progress report in 1976-1977. (1978)

[ Starting with Report No. 3, the new title for NIES Reports was changed to: ]

### Research Report from the National Institute for Environmental Studies

- No. 3 A comparative study of adults and immature stages of nine Japanese species of the genus *Chironomus* (Diptera, Chironomidae). (1978)
- No. 4\* Smog chamber studies on photochemical reactions of hydrocarbon-nitrogen oxides system – Progress report in 1977. (1978)
- No. 5\* Studies on the photooxidation products of the alkylbenzene-nitrogen oxides system, and on their effects on Cultured Cells – Research report in 1976-1977. (1978)
- No. 6\* Man activity and aquatic environment – with special references to Lake Kasumigaura – Progress report in 1977-1978. (1979)
- No. 7 A morphological study of adults and immature stages of 20 Japanese species of the family Chironomidae (Diptera). (1979)
- No. 8\* Studies on the biological effects of single and combined exposure of air pollutants – Research report in 1977-1978. (1979)
- No. 9\* Smog chamber studies on photochemical reactions of hydrocarbon-nitrogen oxides system – Progress report in 1978. (1979)
- No.10\* Studies on evaluation and amelioration of air pollution by plants – Progress report in 1976-1978. (1979)
- No.11 Studies on the effects of air pollutants on plants and mechanisms of phytotoxicity. (1980)
- No.12 Multielement analysis studies by flame and inductively coupled plasma spectroscopy utilizing computer-controlled instrumentation. (1980)
- No.13 Studies on chironomid midges of the Tama River. (1980)
- No.14\* Studies on the effect of organic wastes on the soil ecosystem – Progress report in 1978-1979. (1980)
- No.15\* Studies on the biological effects of single and combined exposure of air pollutants – Research report in 1979. (1980)
- No.16\* Remote measurement of air pollution by a mobile laser radar. (1980)
- No.17\* Influence of buoyancy on fluid motions and transport processes – Meteorological characteristics and atmospheric diffusion phenomena in the coastal region. (1980)
- No.18 Preparation, analysis and certification of PEPPERBUSH standard reference material. (1980)
- No.19\* Comprehensive studies on the eutrophication of fresh-water areas – Lake current of Kasumigaura (Nishiura) – 1978- 1979. (1981)
- No.20\* Comprehensive studies on the eutrophication of fresh-water areas – Geomorphological and hydro-meteorological characteristics of Kasumigaura watershed as related to the lake environment – 1978-1979. (1981)
- No.21\* Comprehensive studies on the eutrophication of fresh-water areas – Variation of pollutant load by influent rivers to Lake Kasumigaura – 1978-1979. (1981)

- No.22\* Comprehensive studies on the eutrophication of fresh-water areas - Structure of ecosystem and standing crops in Lake Kasumigaura - 1978-1979. (1981)
- No.23\* Comprehensive studies on the eutrophication of fresh-water areas - Applicability of trophic state indices for lakes - 1978-1979. (1981)
- No.24\* Comprehensive studies on the eutrophication of fresh-water areas - Quantitative analysis of eutrophication effects on main utilization of lake water resources - 1978-1979. (1981)
- No.25\* Comprehensive studies on the eutrophication of fresh-water areas - Growth characteristics of *Microcystis* - 1978-1979. (1981)
- No.26\* Comprehensive studies on the eutrophication of fresh-water areas - Determination of algal growth potential by algal assay procedure - 1978-1979. (1981)

\* in Japanese