

(10) 遠賀川流域における汚濁負荷流出解析へのGISの利用

Application of GIS for Water Pollution Analysis in Onga Area

庄司智海*, 森山克美**, 古賀憲一***

Tomomi SHOJI*, Katsumi MORIYAMA**, Kenichi KOGA***

ABSTRACT: In this study, application of geographic information system, GIS, to development of a framework for pollutant load analysis in Onga area was discussed. Total-nitrogen, total-phosphate, and chemical oxygen demand were used for analysing pollutant load. The pollutants density and/or distribution of point and non-point sources in Onga area were demonstrated by using GIS data. The concentrations of T-N and T-P in the Onga River are affected by the area ratio of paddy field to forest. The ratio of population to forest area influences COD concentrations in the Onga River.

KEYWORDS: Water management, GIS, Water problems, Water pollution, Point source, Non-point source, Nutrients

1. はじめに

遠賀川水系を対象とした流域管理手法の検討を目的として、これまで遠賀川河口堰による湛水域、および水系全体の水質変動特性の把握と解析を行ってきた。その結果、河口堰による湛水域では、流水の富栄養化と湛水域への流入流量によりクロロフィルa濃度が年間平均で20～40 $\mu\text{g}/\ell$ 程度、毎年起こり得る高濃度値で約100 $\mu\text{g}/\ell$ を呈するような水質特性が明らかとなった。また、河口堰湛水域のみならず中流域においても場所によっては、T-N濃度が2 mg/ℓ 程度、T-P濃度が0.1 mg/ℓ 程度で、取水堰において高水温期には藻類が発生する傾向も確認されている。したがって、流域管理、特に水質管理上は、栄養塩の流出特性を流域全体で検討する必要がある。(森山ら:1996, 1997, 1998)

栄養塩の発生源としては、下水処理場、し尿処理場を含む特定事業所などの特定汚染源以外にも山林、農地、市街地などの非特定汚染源があり、流域面積の大きな河川においては水質管理上、後者の非特定汚染源からの流出負荷の評価が重要となる。このため、非特定汚染源からの流出負荷については、現場調査、実験などに基づく研究がなされている(日本水質汚濁研究協会, 1985)。しかしながら、発生原単位および排出原単位の見積りやその評価については未だ検討の余地が残されているようである。

一方、本論文で提案するGIS (Geographic Information System, 地理情報システム) を利用した汚濁負荷流出解析法の特長は、流域全体の国土数値情報および国勢調査地域メッシュ統計を利用することで、土地利用形態と人口、すなわち流域内における汚濁発生源の空間分布と密度の把握が可能となることである。さらに本法では、これら汚濁発生源の分布・密度と流域に配置されている河川水質観測所の水質データを重ね合わせて解析することにより、流域全体での特定・非特定汚染源からの汚濁物質の流出特性、河川水質への影響等に関する考察が可能になると考えられる。

本研究は、このGISを用いた解析法を遠賀川流域における特定汚染源、非特定汚染源からのT-N、T-PおよびCODの流出解析へ適用したものである。

* (株)リタ総合企画 RITA Engineering Consultants Co., Ltd.

** 九州共立大学工学部 Faculty of Engineering, Kyushu Kyoritsu University

*** 佐賀大学理工学部 Faculty of Science and Engineering, Saga University

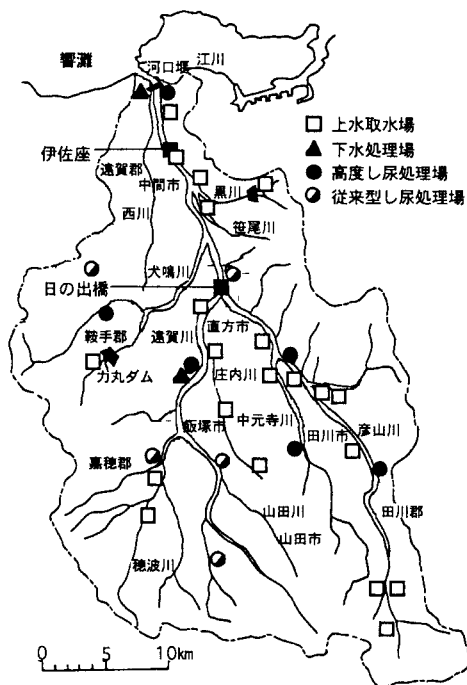


図-1 遠賀川流域の水循環に関わる施設

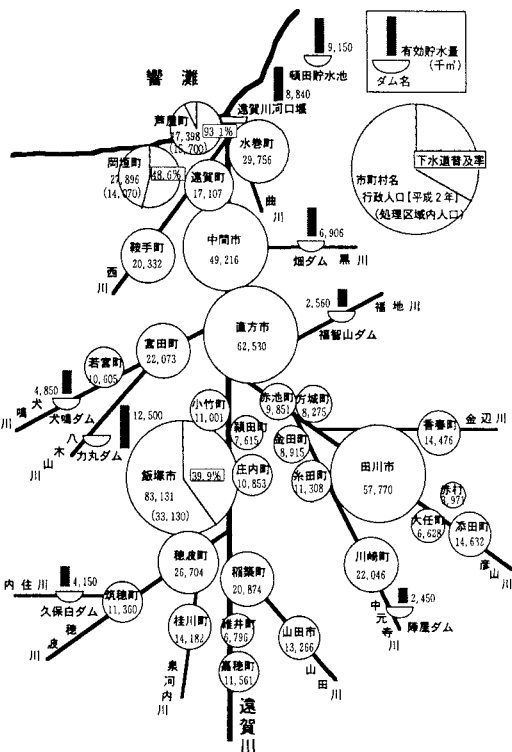


図-2 遠賀川流域の人口、下水道普及率、ダム施設

2. 遠賀川流域の概要

流域の概要を図-1、表-1に示す。遠賀川は、直方市において、遠賀川本川とほぼ同規模の支川彦山川とY字形に合流する。さらに犬鳴川等の支川とともに、響灘に注いでいる。年平均降水量は1,990mm程度で梅雨時が年間降水量の60%を占める。

本川は、古くは1936年に伊佐座の堰（現在の遠賀川河口堰の運用後に撤去）、1980年には遠賀川河口堰が建設され、北九州市の都市用水源となったのを始め、表-2に示す利水状況から分かるように流域市町村の主要な都市用水の水源である。これらの利水のための堰の設置数は、表-1に示すように総計71にのぼる。

流域人口は、6市25町1村で約63万人に達する。図-1および2に示すように、下水処理場は飯塚市（下水道普及率約40%）、芦屋町（同93%、放流先は河口堰下流）にあるものの、流域全体の下水道普及率は約6%と低く、し尿処理場が点在している。このため、最下流の遠賀川河口堰の貯留水を原水とした水道事業においては、高度浄水処理を実施している。

図-2に示す遠賀川水系のダム施設の中で、遠賀川河口堰は、力丸ダム、頓田貯水池について、有効貯水量では3番目となっている。

3. 解析方法

3.1 集水区域の決定と人口・土地利用形態の集計

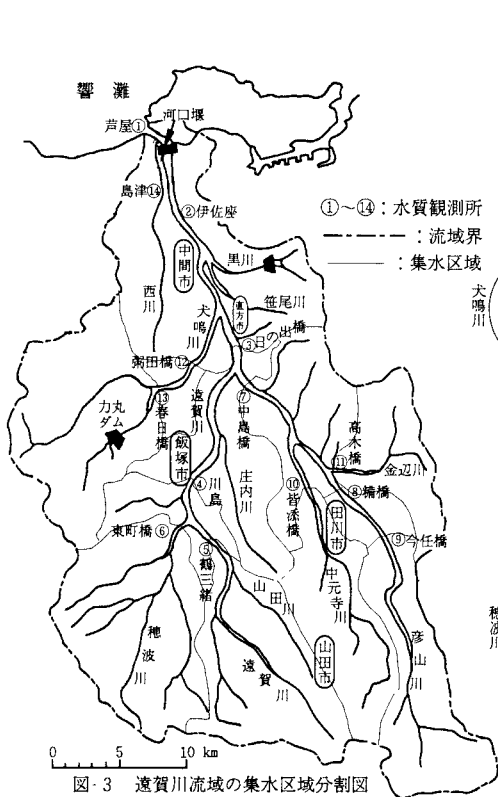
遠賀川には、流域全体で14箇所の水質観測所が設置されている。これを図-3に示す。このうちNo.1は河口堰下流側、No.2は河口堰の湛水域内、No.14は河口堰下流で遠賀川に合流する西川に設置されているので、本研

表-1 遠賀川流域の概要

流域面積	1,030 km ²
幹川流路延長	61.0 km
流域人口(平成2年現在)	約63万人
流域自治体数(同上)	6市25町1村
流域の下水道普及率(平成4年現在)	5.6%
水利権	631件
総計許可水量	57 m ³ /秒
取水堰総数	71

表-2 遠賀川の利水状況

	件数	許可量 m ³ /秒
上水道用水	39	9.06
工業用水	17	7.97
農業用水	570	40.13
発電	0	0
その他	5	0.25
総計	631	57.41
日の出橋5カ年平均流量(昭和63年～平成4年) 30.15 m ³ /秒		



究の検討対象から除外した。

まず、No.2～No.13までの12箇所の水質観測所を起点とする集水区域を求め、図-3に示す。次に、「国土数値情報」(平成2年)および「国勢調査地域メッシュ統計」(平成2年)の3次メッシュ情報をこの集水区域に重ね合わせる。一つのメッシュはおおよそ東西1,160m、南北924mであり、面積は約1.07km²となる。各集水区域内のメッシュ情報から、土地利用形態、人口を集計する。遠賀川流域全体で、3次メッシュは950個程である。

ここで求めた集水区域毎の面積を区間面積、人口を区間人口、さらに流域界から当該観測所まで累計した面積、人口をそれぞれ累計面積、累計人口と定義する。以上の集計結果を区間毎に示したものが、図-4である。また、図-3中の水質観測所地点No.3, 4, 7, 8, 12までの累計値を示したものが図-5である。土地利用形態の内訳は、図-4の凡例欄に示す10形態である。流域人口は、この20年間で59万人から63万人へ微増するにとどまっているので、土地利用形態にも大きな経年的変化はないものとした。

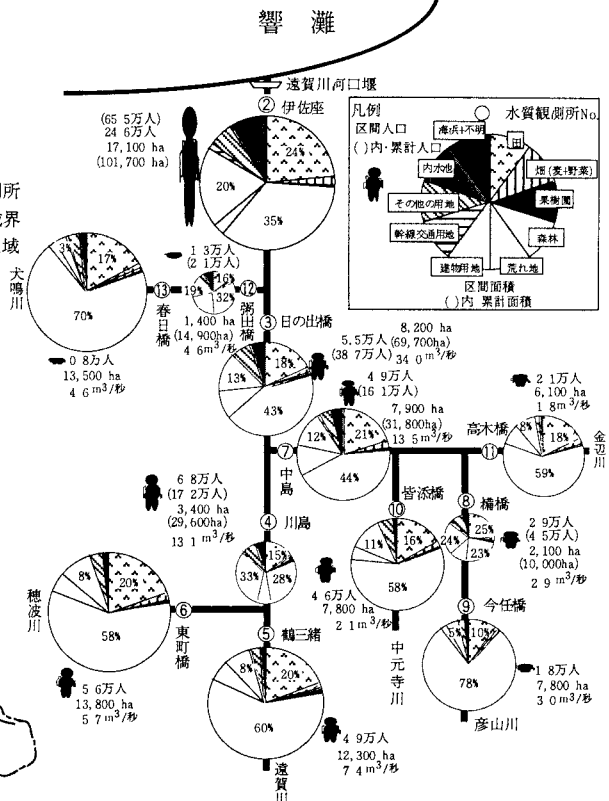


図-4 水質観測所を起点とする集水区域毎の区間人口と区間面積

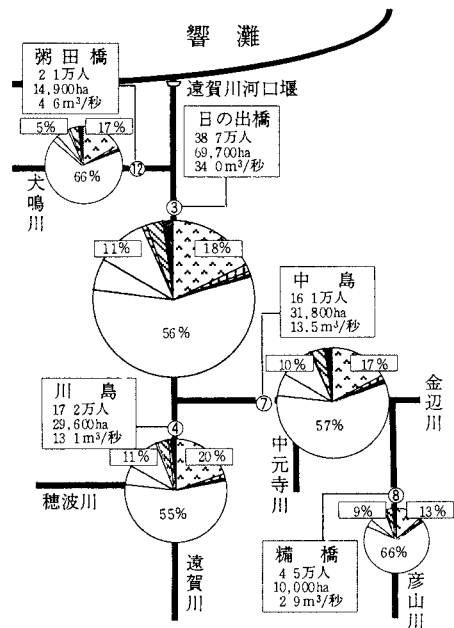


図-5 上流端から当該水質観測所までの累計人口と累計面積

3.2 平均水質の算出

本解析法では、GISデータ(平成2年)と対応させる水質の平均値が必要となる。本研究ではT-N、T-P、CODを検討対象とした。これらの水質に影響を及ぼす因子は、非特定汚染源では図-4の凡例に示す土地利用形態、また特定汚染源では下水処理場、し尿処理場、特定事業所および人口で示される生活系排水などが考えられる。下水道は飯塚市においてのみ昭和49年から供用開始されているが、平成4年現在、人口普及率約40%であり、流域全体では、人口普及率約6%程度にとどまっているので、下流域の水質値に大きな影響を与えることは考えられない。一方、嫌気性消化プロセスを採用していた昭和40年代から50年代に竣工したし尿処理場の放流水は、下流域の水質に大きな影響を与えていたが、近年、高度し尿処理を導入したことにより、その影響が大幅に改善されたことが報告されている(北九州市:1990)。以上の特定・非特定汚染源以外に水質に影響を及ぼす因子として、堰における滞留時の藻類増殖が考えられる。この現象はいくつかの中流域の堰で高水温期に発生するが、その頻度は少ないため水質平均値に与える影響の小さいことが筆者らにより明らかにされている(森山ら:1997)。

以上のことより、各水質観測所のT-N、T-P、CODの代表的な水質値としては、各観測所の1975～1993年までの19年間の全測定結果の経年変化に大きな変化がない場合には、原則として全データの平均値を採用した。排水対策や事業場の変化で水質改善が認められる箇所では、改善後のデータの平均値とした。経年的に水質が悪化する箇所はなかった。

3.3 水質影響因子の選定

本研究では、影響因子として人口以外に図-4の凡例欄に示す土地利用形態の中から、区間面積あるいは累計面積に占める割合の大きな田、森林、建物用地の3つを選定した。

一般的に人は表-3に示すような生活系排水の汚濁負荷量(日本下水道協会,1993)をもって生活しており、下水道が未整備の場合は、特にBOD₅またはCODで示される有機物の排出源となる。また、下水道が整備されるとし尿由来の栄養塩が流入することから、これらを高度に除去する処理方式が採用されないときは、栄養塩の排出源にもなり得る。田は、灌漑用水の河川からの取水と河川への還元過程をとおして、施用した肥料中の窒素・リンの一部が河川へ流出することから、河川流域での栄養塩の発生源となるものである。また、田は、水溶性土壌有機物を含むことからCODの発生源となることも考えられる。建物用地は、雨天時に市街地が非特定汚染源になりうることを考慮したものである。

図-6、7に人口、建物用地面積を示す。また、人口と建物用地面積の関係を図-8に示す。当然のことながら、人口と建物用地面積には比例関係が認められた。したがって、水質影響因子としては、どちらか一つを選定すればよい。本論文では人口を選定した。したがって、人口は、生活に起因する汚濁源と雨天時の市街地を非特定汚染源とみなす二つの意味を併せ持つことになる。

表-3 1人1日
たり汚濁負荷量
(単位:g/人・日)

項目	し尿	雑排水
BOD ₅	18	39
COD	10	18
SS	20	23
T-N	9	3
T-P	0.9	0.3

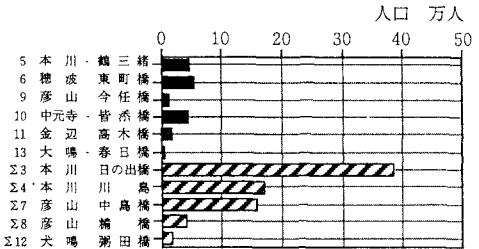


図-6 人口

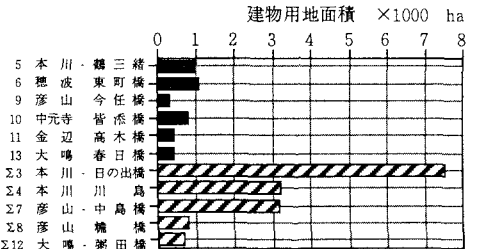


図-7 建物用地面積

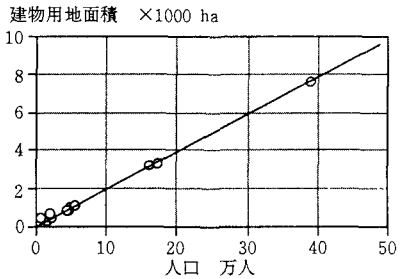


図-8 人口と建物用地面積との関係

3.4 パラメータの設定

森林は、降雨時に汚濁源となる場合もあるが、本流域においては都市活動（生活、事業）、生産活動（工業、畜産、農業）に比べれば、森林由来の汚濁原単位および負荷量の低いことが推察できる。したがって、本論文では、良好な水質の森林からの流出水量と森林以外の汚濁負荷，すなわち，本研究では人口と田によって下流域の水質が定まるものとして、

- ・人口 / 森林比（森林 1 ha 当たりの人口）
 - ・田 / 森林面積比（集水区域内の森林面積に対する田面積の比）
- の2つを水質影響因子のパラメータに設定した。

4. 解析結果と考察

4.1 田 / 森林面積比，人口 / 森林比および水質

田 / 森林面積比を図-9，人口 / 森林比を図-10に示す。また，水質3項目を図-11～13に示す。いずれの図も黒印は図-3の各支川の最上流側水質観測所に関するデータ，斜線印は図-5に示す観測所に関するデータである。これらの図で特徴的なことは，人口 / 森林比，田 / 森林面積比の小さな集水区域の観測所であるNo 9 今任橋では，いずれの水質項目も良好なことである。また，図-11に示されるCOD値は，今任橋を除くと3～5 mg / ℓであり，環境基準-湖沼-A類型の水道2，3級相当のCOD値3 mg / ℓを満足していない。図-12，13に示すT-NとT-Pについても同様に，環境基準-湖沼-I-Ⅲ類型（水道3級）のT-N 0.4 mg / ℓ，T-P 0.03 mg / ℓを超過しているのが遠賀川の現状である。

4.2 水質項目間の相関

水質項目間の相関を図-14，15に示す。図-14のT-NとT-Pの関係には，概ね比例関係が認められ，発生源が同一である可能性が高い。一方，図-15のCODとT-N，CODとT-Pの関係には，後出の図-16の結果も併せて判断すると，図-14におけるT-NとT-Pにみられるような関連性が認められない。すなわち，図-16では後述するようにCODには人口 / 森林比との関連性が認められる一方で，T-N，T-Pにはこの傾向が表れていない。したがって，T-N，T-Pの主要な排出源はCODのものと異なる可能性が高い。

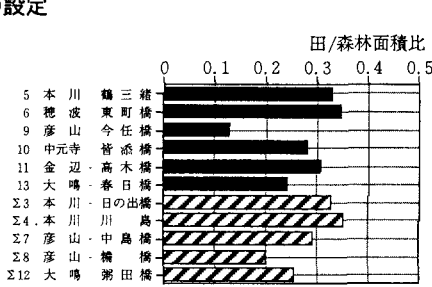


図-9 田/森林面積比

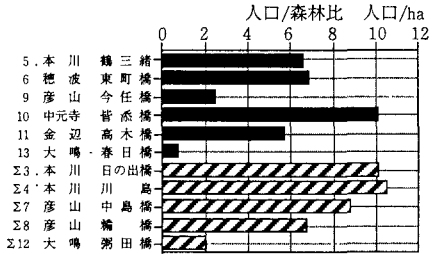


図-10 人口/森林比

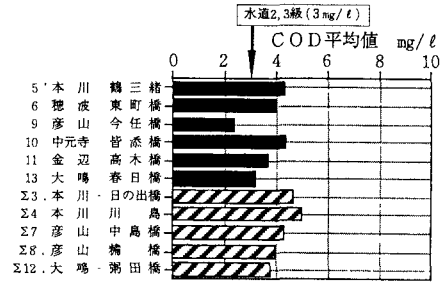


図-11 COD平均値

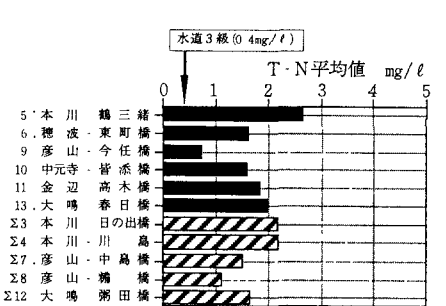


図-12 T-N平均値

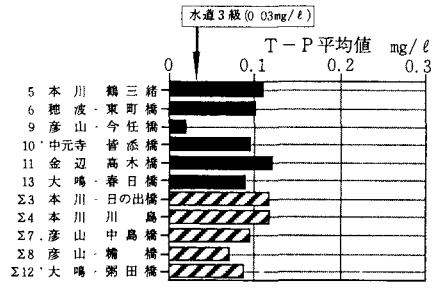


図-13 T-P平均値

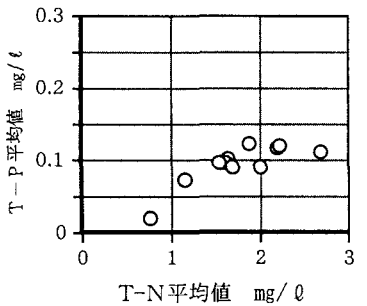


図-14 T-NとT-Pの関係

4.3 人口 / 森林比と水質の関係

図-16に人口 / 森林比と水質3項目の関係を示す。図-16によるとCODは人口 / 森林比に比例していることが認められる。人口 / 森林比1～2のときに、CODと人口 / 森林比の関係を示す実線から離れた点(*印付き)がある。これらの値と実線との差は、何らかの汚染源による濃度上昇と考えることが出来る。一方、T-N、T-Pと人口 / 森林比の関係をみると、これら二つの水質項目は人口 / 森林比に依存せず、ほぼ一定値となることが認められる。以上のことから、CODについては生活系雑排水、あるいは人口が代表している雨天時の市街地からの汚濁流出の影響が卓越しているためと思われる。なお、図の縦軸(COD平均値)の切片値(約1.5mg/l)は、森林流出水のCOD負荷によって支配されているものと思われる。

4.4 田 / 森林面積比と水質の関係

図-17に田 / 森林面積比と水質3項目の関係を示す。T-N、T-Pは、田 / 森林面積比に比例していることが認められる。これは図-16で示したように、T-N、T-Pが人口 / 森林比に依存せず、ほぼ一定値の分布を示したことと付随的關係にあるものと思われる。図-16、17の結果から、遠賀川水系の河川水中のT-N、T-Pのかなりの部分が田を発生源とする可能性の高いことが推察される。一方、同図に示すCODは、田 / 森林面積比との関連性がT-N、T-Pや、図-16に示された結果と比較して明瞭とは言えない。このことは、CODが人口 / 森林比に関連する結果とも考えられるが、田 / 森林面積比が代表する負荷が主として灌漑期に発生することを想定すると、灌漑期・非灌漑期別の水質平均値を用いた検討も必要と考えられる。

5. おわりに

本研究は、人口と土地利用形態に関するGIS情報と長期にわたって蓄積されている河川水質データを重ね合わせることで、河川流域における特定・非特定汚染源からの汚濁負荷流出を解析しようとしたものである。この手法を遠賀川流域に適用した結果、田 / 森林面積比によって遠賀川河川水の全窒素・全リンの負荷特性を把握できることが分かった。同様に有機物の指標であるCODについては、人口 / 森林比によってその負荷特性を把握できることが分かった。

田 / 森林面積比の影響については、水質項目によっては地下浸透や表面流出などの流出経路の違いで河川水質に及ぼす影響が通年あるいは灌漑期に限定される流出機構の可能性などを考慮の上、水質平均値を灌漑期・非灌漑期でそれぞれ求めた上で、より詳細に検討する必要がある。

土地利用形態を流域全体について検討し、水質については蓄積されたデータの利用が可能であれば10～20年の長期にわたる水質データを用いることから、本手法は、空間的にも、また、時間的にも代表性のある汚濁負荷流出解析に有効であると考えられる。

【参考文献】

- 1) 森山ら、1996:遠賀川水質の長期変動特性、平成8年度土木学会年次学術講演会、第7部門
- 2) 森山ら、1996:長期水質変動特性からみた遠賀川の水問題分析、環境システム研究、Vol. 24, pp. 667-672
- 3) 森山ら、1997:遠賀川の水質変動特性-河川流況と藻類の挙動について-、平成9年度土木学会年次学術講演会、第7部門
- 4) 森山ら、1998:遠賀川流域農耕地における栄養塩施用原単位の推定と施用実態、平成10年度土木学会年次学術講演会、第7部門
- 5) 日本水質汚濁研究協会、1985:非特定汚染源による汚染防止対策調査報告書-文献調査-
- 6) 北九州市水道局、1990:平成2年度水質試験年次報告
- 7) (社)日本下水道協会、1993:流域別下水道整備総合計画調査 - 指針と解説 -, p. 29

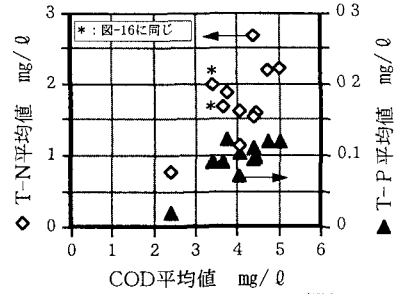


図-15 CODとT-N・T-Pの関係

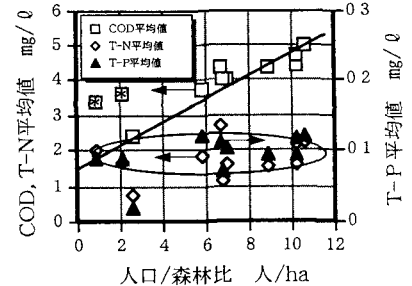


図-16 人口/森林比と水質3項目の関係

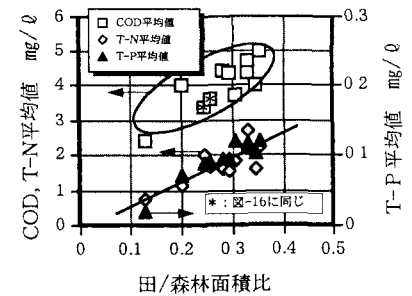


図-17 田/森林面積比と水質3項目の関係