

紀ノ川の物質負荷量の推定と 土地利用との関係

RELATIONSHIP BETWEEN LAND USE AND MASS FLOW ESTIMATED IN THE KINOKAWA RIVER

荒木直哉¹・井伊博行²・平田健正³・金子泰純⁴・平出純一⁵・川上義之⁵

Naoya ARAKI, Hiroyuki II, Tatemasa HIRATA, Hirozumi KANEKO, Junichi HIRADE, Yoshiyuki KAWAKAMI

¹学生会員 和歌山大学大学院 システム工学研究科 (〒640-8510 和歌山市栄谷930)

²正会員 博(理) 和歌山大学教授 システム工学部 (同上)

³正会員 工博 和歌山大学教授 システム工学部 (同上)

⁴正会員 工修 和歌山大学助教授 システム工学部 (同上)

⁵国土交通省近畿地方整備局和歌山工事事務所 (〒640-8272 和歌山市砂山南3-1-15)

Annual mass flow values along the Kinokawa river were estimated from daily flow rate. Mass flow calculation needs both flow rate and concentrations. However BOD, Cl⁻, T-P and T-N concentrations were only measured once a month although flow rate was measured everyday. As good relation between flow rate and mass flow was found, daily mass flow can be estimated from the relation and daily flow rate. Daily mass flow was integrated into annual mass flow. Annual mass flows per areas and per the number of people of BOD, Cl⁻ and T-N reached maximum values at the downstream of Kinokawa river where industrial activity was high. On the other hand, daily mass flows per areas and per the number of people of T-P were high at the middle stream of the Kinokawa river where the main land use were orchard area.

Key words: Kinokawa, Mass flow, land use, BOD, Cl⁻

1. 背景と目的

われわれが普段、生活の中で利用する河川水は水道水、工業用水などに用いられ大変貴重な水源とされている。しかし、近年の都市化に伴い家庭排水、し尿、工場廃水などによる汚染物質は増加し、自然環境のなかに備わっていた浄化機能が、開発などによる環境破壊で低下し、河川水質は悪化しつつある¹⁾。流域によっては、排水規制の強化、下水道の整備、浄化用水の流入などによる汚染の改善がみられるが、環境基準を達成できない流域も存在している。有機物汚染の指標となるBOD(生物化学的酸素要求量)の環境基準達成率は、調査開始の1974年度以降で最も高い達成率の81.5%を1999年度に記録し、河川水の水質改善は進んでいる²⁾。しかし調査地域である紀ノ川においては下流2地点(藤崎・船戸)におけるBOD75%値が環境基準値(A類型: 2.0mg)を達成していない³⁾。そこで、本研究では、紀ノ川の汚染現況の把握と今後の水質改善のために、紀ノ川全流域の水質・流量のデータから単位人口、単位面積あたりの流入負荷量を推定して、河川水質が流下するにつれて、どのように変化するかを調べた。

2. 調査地域、測定概要

図-1に紀ノ川の概要を示す。調査対象流域の紀ノ川は日本最多雨地帯の奈良県南部の大台ヶ原を水源とし、北西に流れた後、西へ進路を変え、中央構造線に沿って、紀伊水道に注ぐ流域面積1,750km²、幹川流路延長136kmの一級河川であり、主な支川には左支川である秋野川、大和丹生川、紀伊丹生川、貴志川と右支川である高見川、橋本川がある。奈良県の五條市、和歌山県の橋本市、和歌山市を中心に給水人口約70万人を持つ重要な水源である⁴⁾。

土地利用は、最上流部ではほとんどが針葉樹による森林地帯となっており、奈良県東部の上流部においても集落と田畑がわずかに散在する程度で、主な土地利用は森林地帯である。中流部から下流部にかけては、五條市や橋本市などを中心に宅地や農地が多く見られるようになっている。橋本市から和歌山市の間では、桃、柿、みかん等の果樹園が広く分布している。

現地調査は、1999年7月、1999年11月、2000年7月の計3回行い、紀ノ川全域をカバーした。現地では水温、pH測定と共に、一般水質分析用に採水

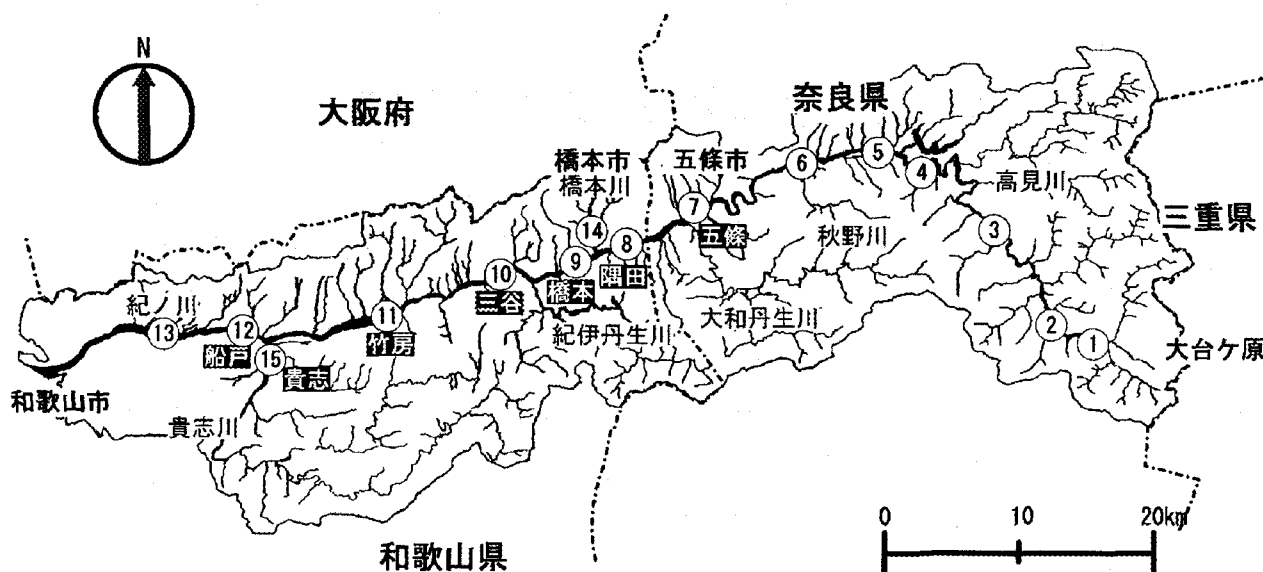


図-1 紀ノ川の概要と国土交通省の観測地点

を行い、採水したサンプルは分析を行なうまで冷暗所に保管した。また、サンプルは分析を行なうまでに、孔径 $0.45\mu\text{m}$ のメンブランフィルターで濾過を行なった。サンプルの分析は、ナトリウムイオン、カルシウムイオン、塩素イオン、硝酸イオン、硫酸イオンはイオンクロマトグラフィーで、重炭酸イオンは硫酸を用いた滴定で行なった。

また本研究では現地調査の結果に加えて、下流域での水質項目の濃度変化をより詳しく把握するために、国土交通省近畿地方整備局より入手した流量とBOD、塩素イオンなどの水質項目のデータを用いて紀ノ川下流域での濃度変化、物質収支、原単位の推定も行なった。塩素イオンとBODは1ヵ月毎、全窒素と全リンは3ヶ月毎のデータである。

3. 結果と考察

(1) 紀ノ川本流での溶存成分の濃度変化

紀ノ川本流での溶存成分の濃度変化を図-2に示

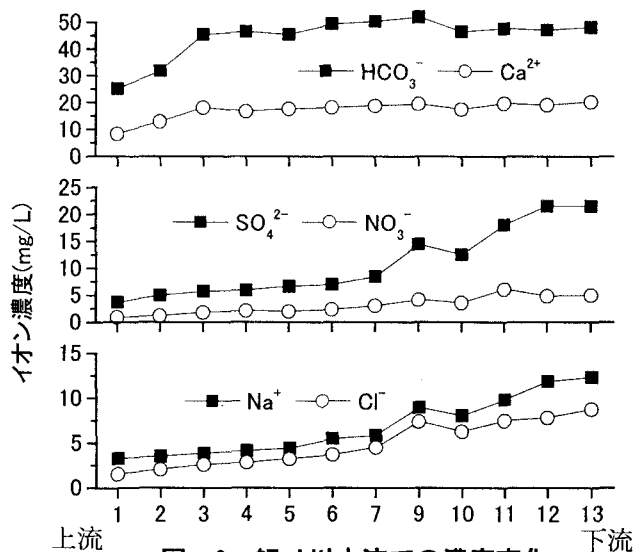
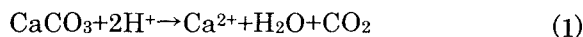


図-2 紀ノ川本流での濃度変化

す。この図は2000年7月の紀ノ川本流での各溶存イオンの濃度変化を示したものである。すべてのイオンが河川の流下とともに濃度が増加していることが判るが、その変化は一様ではない。この図より重炭酸イオンとカルシウムイオンは上流域で、濃度の増加が見られたが、中流から下流にかけて、濃度変化は、ほとんど見られず、ほぼ一定の濃度であった。硫酸イオン、硝酸イオン、塩素イオン、ナトリウムイオン濃度はよく似た変化をしており、上流ではあまり濃度は増加せずに、中流から下流にかけて濃度が増加する傾向が見られた。以上の結果より紀ノ川上流域において主な濃度変化の要因となっているのは、流域には石灰岩を含む秩父帯があり、実際に石灰岩の転石を多数観察できたことから、(1)式に示す石灰岩の溶解で、これに伴ってカルシウム、重炭酸イオンの濃度増加が起きたと考えられる⁶⁾。



他の硫酸イオン、硝酸イオン、塩素イオン、ナトリウムイオンは下流域での濃度増加が大きく、人間活動に伴う生活・農業排水の影響を受けて濃度が増加していると考えられる⁶⁾。しかし、地点9と地点10の間では濃度が減少している。地点10の手前で紀伊丹生川が合流しており、紀伊丹生川流域は土地利用のほとんどが森林地帯となっており、溶存イオンの濃度が低いと考えられ、紀ノ川流量の約10%をしめる河川であることから、地点10では紀伊丹生川から流入する河川水による希釈の影響を受けて濃度が減少していると考えられた。また、下流域で濃度が増加する傾向の見えるイオン（硝酸イオン、硫酸イオン、ナトリウムイオン、塩素イオン）は人間活動の影響を受けていると考えられ、中流から下流域での生活排水の影響の指標となるT-N(全窒素)、T-P(全リン)、BODの過去5年間の変化を図-3に示した。図より全窒素は紀ノ川中流にある五條から徐々に濃度が増加する傾向が見られた。しか

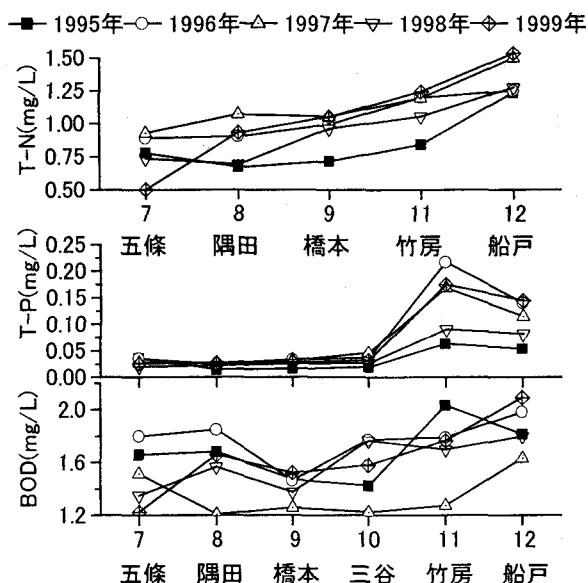


図-3 水質項目の濃度変化

し、全リンの濃度は、五條から三谷までは約0.02mg/Lと低い値を示しているが、竹房では約0.14とmg/Lと約7倍の値を示している。紀ノ川流域の三谷までは山の斜面が森林として利用されているが、竹房からは、有名な桃・柿・みかん等の果樹栽培地域となり、果樹園地では大量の肥料が使用されるとから、これらの土地利用の違いにより、全リン濃度の急増化を引き起こしたと考えられた。BODは年によるばらつきが大きいと全体的にみると、やはり流下に伴い、濃度が増加する傾向が見られた。

(2) 物質移動量、原単位の推定

物質移動量、原単位の推定は、1995年から1999年までの流量・水質のデータを用いて、五條から下流域におけるBOD、塩素イオン、全窒素、全リンについて行った。物質移動量の推定は以下に示す方法を用いて行った。

年間平均の物質移動量を求める際に、流量と濃度の積を物質移動量とするため、流量と濃度の情報が必要となる。しかし、流量は毎日観測しているが、水質の観測は1ヶ月から3ヶ月に1度である。そこで、水質を観測していない日の物質移動量を、毎日観測している流量から推定するために、各地点の流量とBOD、塩素イオン、全窒素、全リンの物質移動量の関係を調べ、図-4、図-5、図-6、図-7に示した。図に示すように流量と物質移動量は、一部データが少ないものを除き、相関係数が0.9以上で、流量の増加と共に物質移動量も増加していることが判る。この相関を用いて、水質観測を行っていない日の物質移動量を、流量から推定して、5年間の平均物質移動量を求めた。ただし、約10%の高流量時の水質データがないため、洪水時のなどの高流量時における負荷量は、高流量時の水質データを含まない図-4から図-7の相関から外

挿した。次に、求めた物質移動量の地点から地点までの増分を流域区分ごとの人口で除した値を、単位人口あたりに換算した流入量負荷量、流域区分ごとの面積で除した値を、単位面積あたりに換算した流入負荷量とした。図-8に各流域区間での単位人口あたりと単位面積あたりの流入負荷量を示す。

(a) BOD

単位人口あたりのBOD流入負荷量は最下流で44.9gと最高値を示し、中流の竹房から橋本で最低の5.3gを示すことから、有機物の単位人口あたりの流入量は地域によって異なっていることが判る。最下流や橋本などの人口の集中する地域の単位人口あたりの流入量が多いのは、流域内で生活習慣に大きな違いがないので、各家庭の生活排水量や有機物発生量が地域によって大きく変化しないと考えられることから、人口集中地域での産業活動(商店・工場)からの排水が河川の有機物を増加させたと考えられる。また竹房から橋本の区間で単位人口あたりの流入量が他と比べてかなり小さな値を示し、単位面積あたりの流入量も少ないため、産業活動由来の有機物発生量が少ないと考えられる。同様に単位面積あたりの流入量をみると、やはり最下流で最も高く、次に高いのは橋本から五條の区間となっている。これもこの地域での産業活動による排水が原因と考えられる。この値を同じ近畿圏の大和川と比較すると、大和川全域での単位人口あたりの流入量は13g⁷⁾で紀ノ川のほうが24gと高い値になっている。さらに大和川最下流の大阪府内での単位人口あたりの流入量は45gで紀ノ川最下流とほぼ同じ値となった。しかし単位面積あたりの有機物発生量では大和川全域で25.8kg、紀ノ川全域では3.7kgと単位面積あたりで紀ノ川のほうが低いことが判った。本論文の計算方法では単純に物質移動量の増分を人口や面積で割っているため単位人口あたりの流入負荷量では流域面積が大きく、その分農業負荷の多く、人口の少ない紀ノ川が多く、単位面積あたりの流入量では逆の結果となった。

(b) 塩素イオン

単位人口あたりの塩素イオンの流入量をみると、最も高い地域は橋本から五條で155g、その次が最下流の地域で122gとなっている。これらの地域は、ともに人口密度の高い地域であるため、BODと同様に産業活動からの排水がこれらの地域での単位人口あたりの流入量を大きくしたと考えられる。また、塩素イオンの単位人口あたりの流入量は、最上流部が88gと他と比べて少し小さな値になっているものの、BODと比べると、あまり地域による差が無いことが判る。これは塩素イオンがBODと比べて、家庭排水からの負荷の割合が大きいためであると考えられた。次に単位面積での流入量をみると、五條より上流では、森林地帯の面積が大きいと、8.6gと小さな値を示したが、他の地域では15~38gと大きくなった。

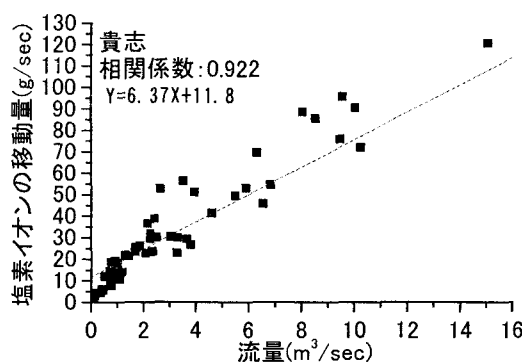
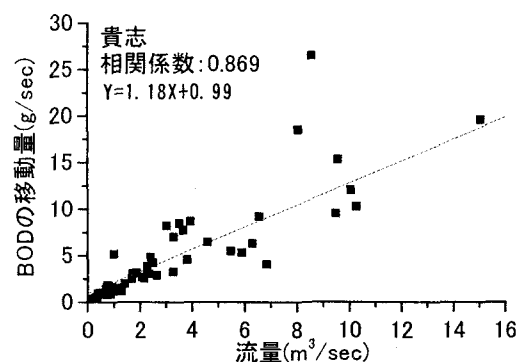
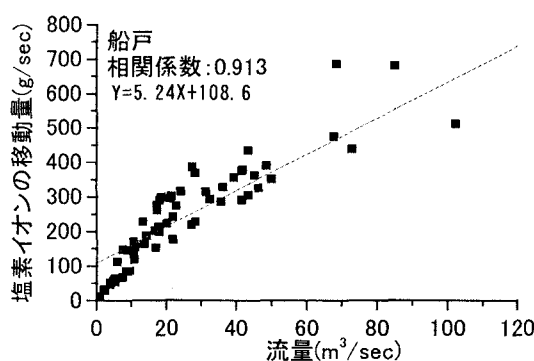
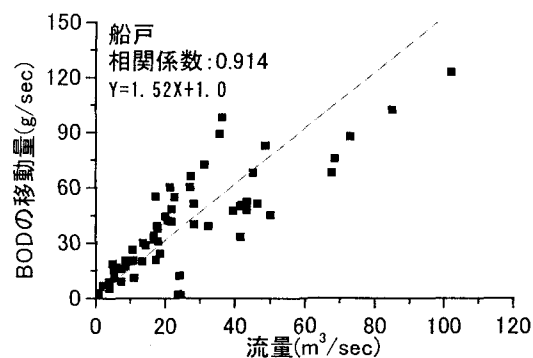
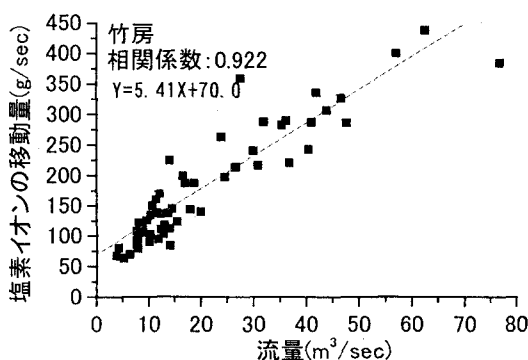
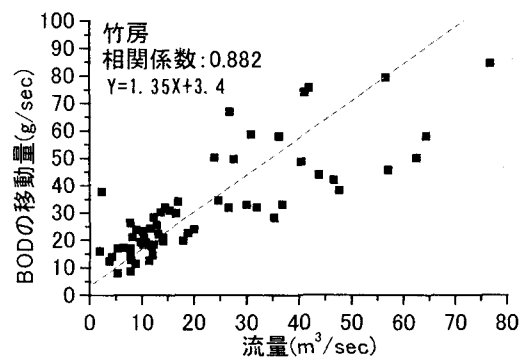
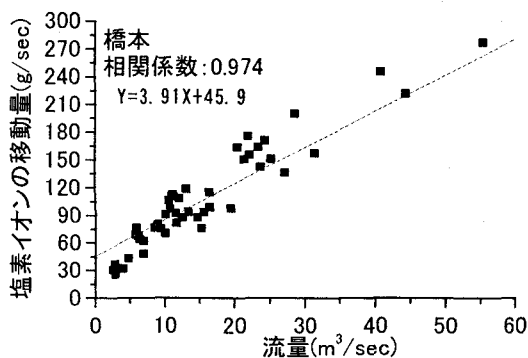
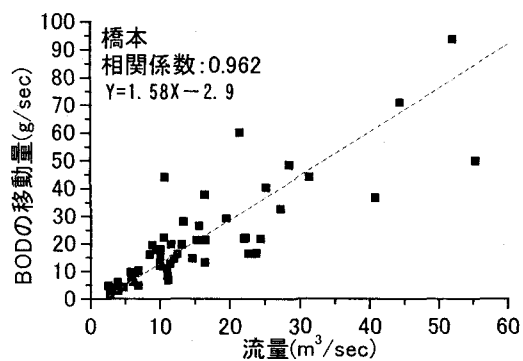
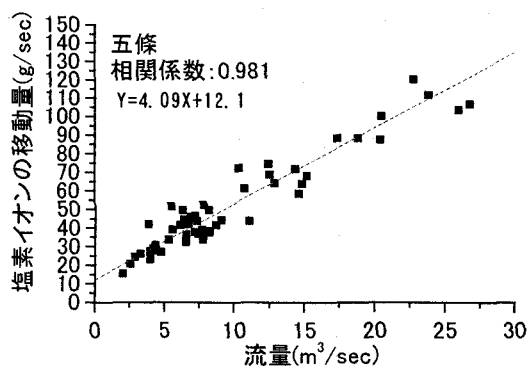
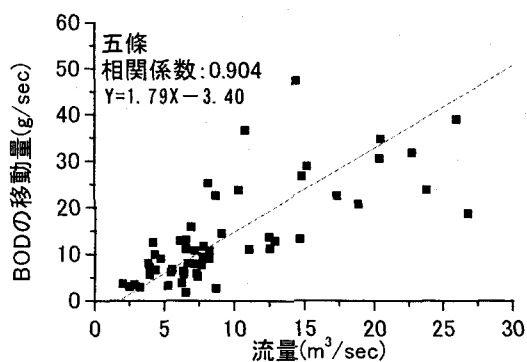


図-4 流量とBODの移動量の関係

図-5 流量と塩素イオンの移動量の関係

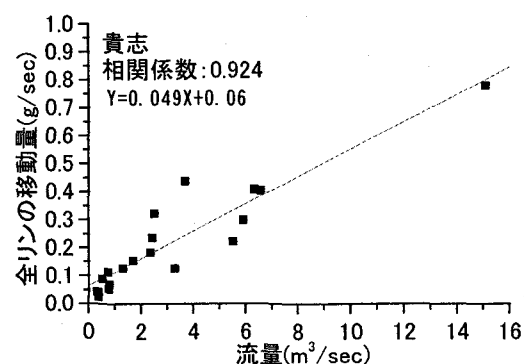
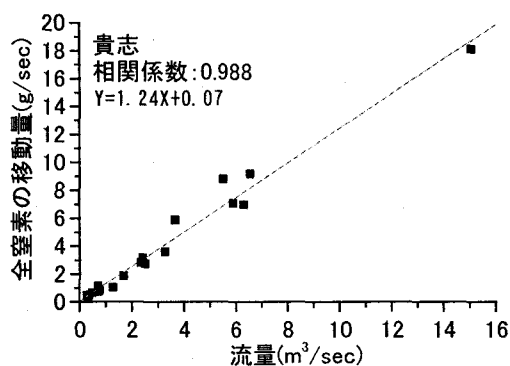
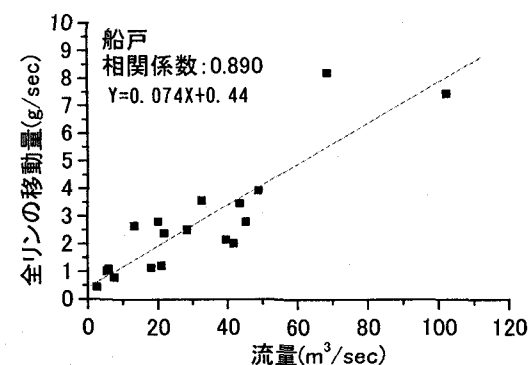
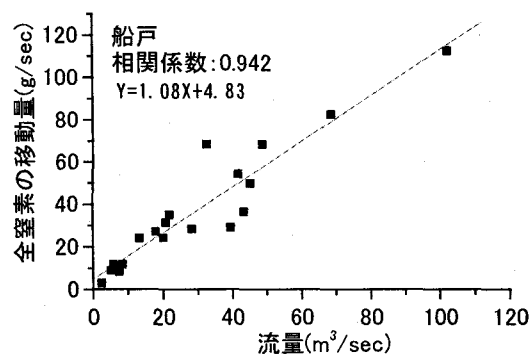
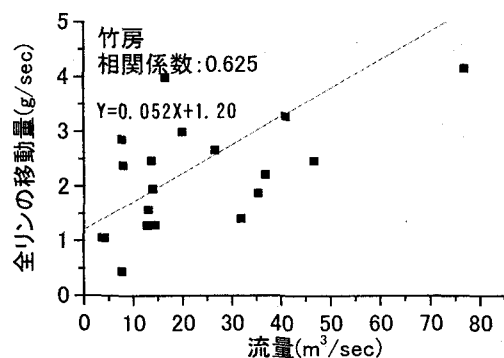
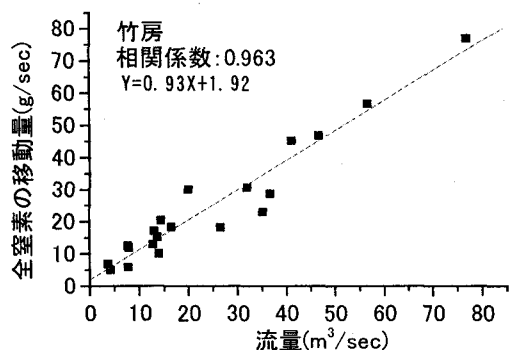
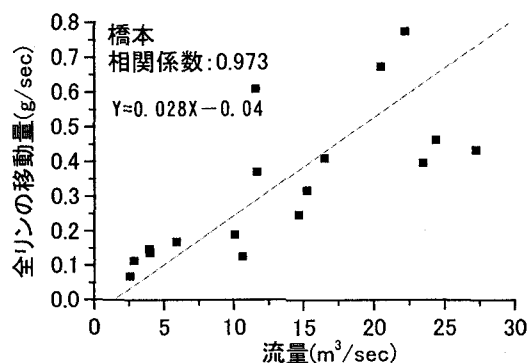
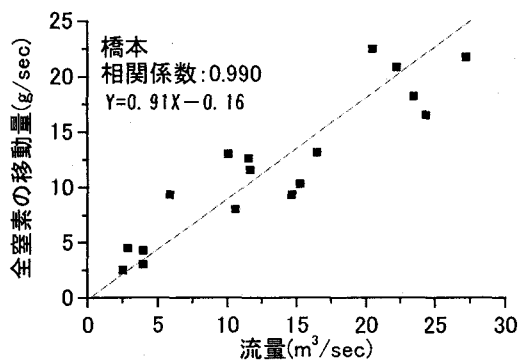
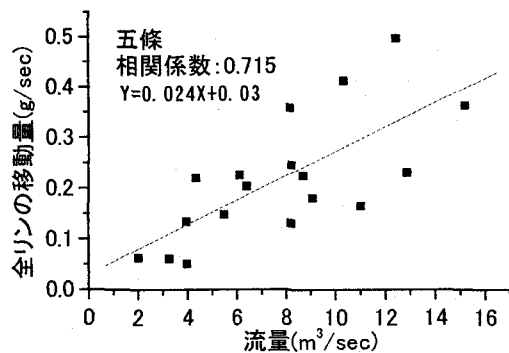
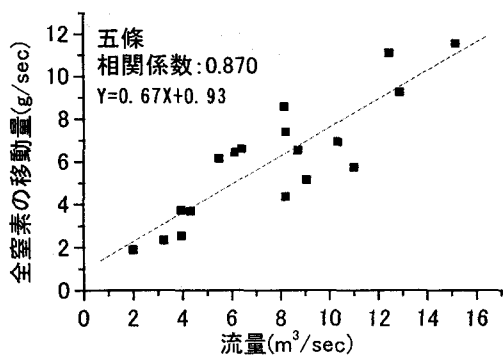


図-6 流量と全窒素の移動量の関係

図-7 流量と全リンの移動量の関係

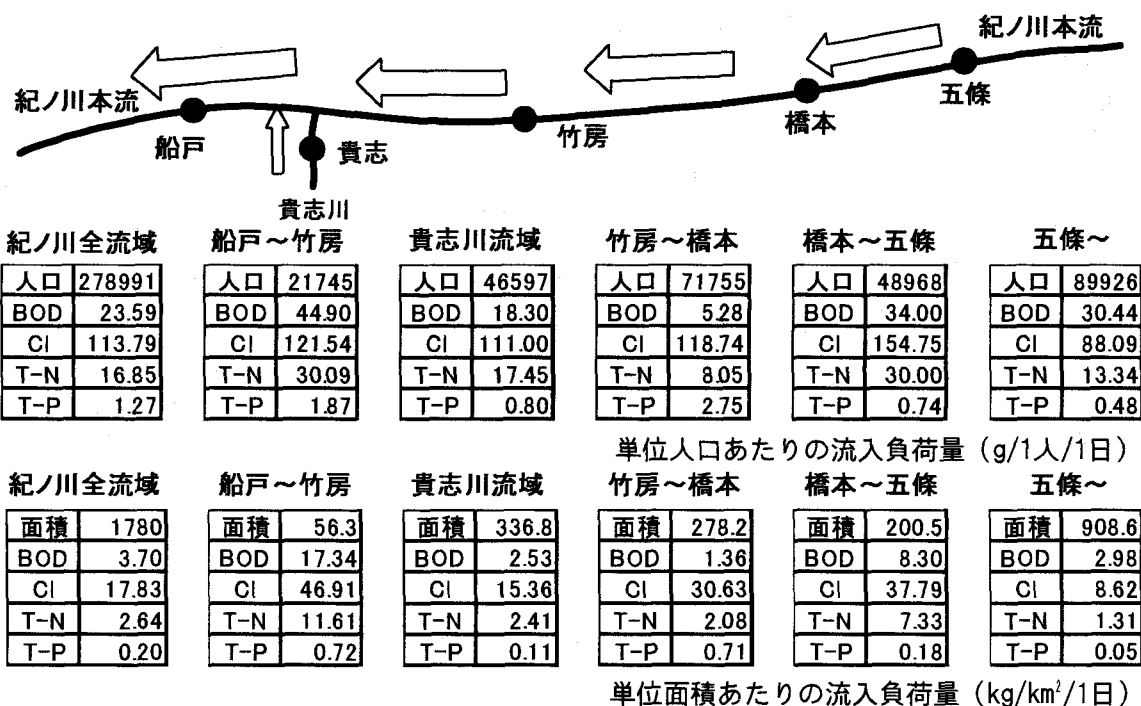


図-8 各流域区間での単位人口あたりと単位面積あたりの流入負荷量

(c) 全窒素

全窒素の単位人口あたりの流入量はBODと同じような増減を示し、全窒素の主な流入源はBODと同じように、生活排水によるものと考えられた。しかし大和川の下流地域と紀ノ川の下流地域を比べると、BODではほぼ同じ値になったが、全窒素では大和川の下流地域が8.6gなのに対して、紀ノ川の下流地域では、30.1gと高い値を示した。また単位面積あたりの流入量でも下流地域では、他の地域と比べてかなり大きな値を示しており、この地域では生活排水以外の窒素の流入も考えられた。

(d) 全リン

全リンは単位人口、単位面積あたりの流入量がどちらも他の水質項目とは異なり、船戸から竹房と竹房から橋本の地域で大きな値を示している。これは、全リンの主な流入源が生活排水以外であることが考えられる。それは、これらの地域では広域にわたって土地利用が果樹園地となっており、単位面積あたりの流入量で、0.7kgと他の地域に比べて高い値を示していることから、農業排水の流入によって、全リンの単位人口あたりの流入量が大きくなったと考えられる。この結果は図-3の全リン濃度の竹房で大きくなる結果と一致している。

4. まとめ

紀ノ川の河川水質が中流から下流にかけて、生活排水の影響を受け、悪化していることから、紀ノ川下流域でのBOD、塩素イオン、全窒素、全リンの単位人口あたり、単位面積あたりの流入負荷量の推定を行なった。その結果、BOD、塩素イオン、全窒素は生活排水からの負荷が大きいと考えられる物

質であるが、単位人口あたりの流入量には地域による違いがみられた。特に、BODと全窒素は人口密度の高い産業活動が盛んな地域で流入量が多いことから、家庭排水とは異なる商店などからの負荷が大きいと考えられた。全リンは、濃度が竹房で著しく増加し、この付近での、単位人口、単位面積あたりの流入量も大きくなり、この付近の主な土地利用が桃・柿・みかんなどの果樹園地であるため、それらの農業排水により負荷量が大きくなっていると考えられた。また大和川と比較してみると、紀ノ川の流域面積が大和川と比べて大きいと、単位面積あたりの流入量は小さいが、単位人口あたりの流入量では大和川の数値を上回っていることが判った。

参考文献

- 1) 高橋裕, 河田恵昭: 岩波講座, 地球環境学, 水環境と流域環境, 岩波書店, 1998
- 2) 環境省: 1999年度版環境白書
- 3) 和歌山県生活文化部自然環境課: 環境白書 (平成11年度版), p.45, 1999
- 4) 近畿地方建設局和歌山工事事務所: 一級河川紀ノ川の流域図, 1990年修正
- 5) 金子泰純, 井伊博行, 平田健正, 福島教之, 江種伸之, 谷川寛樹: 紀ノ川の水質特性と土地利用の関係, 水工学論文集, 第45巻, pp.1009~1014, 2001
- 6) 平田健正, 井伊博行, 長谷部正彦, 江種伸之, 坂本康, 桑川高德, 西川幸治, 酒井信行, 岩崎宏和: 土地利用特性の河川水質に及ぼす影響解明-大阪府石川流域-, 土木学会論文集, No.614/II-46, pp.97~107, 1999
- 7) 近畿地方建設局大和川工事事務所: 大和川流域保全検討 (その2) 業務報告書, 2001

(2001.10.1受付)