

大和川流域における河川水の水質特性について

CHARACTERISTIC OF RIVER WATER CHEMISTRY IN THE YAMATOGAWA BASIN

窪原拓馬¹・井伊博行²・平田健正³・江種伸之⁴・石塚正秀⁵・伊勢達男⁶・宮川勇二⁶
Takuma KUBOHARA, Hiroyuki II, Tatemasa HIRATA, Nobuyuki EGUSA, Masahide ISHIZUKA,
Tatsuo ISE and Yuji MIYAGAWA

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 (〒640-8510 和歌山市栄谷930)

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 博(工) 和歌山大学助教授 システム工学部 (同上)

⁵正会員 博(工) 和歌山大学助手 システム工学部 (同上)

⁶建設省近畿地方建設局大和川工事事務所 (〒582-0009 柏原市大正2-10-8)

The flux of NO_3^- and BOD values in the Yamato river water directly increased with precipitation. Therefore, the NO_3^- was considered to originate mainly from fertilizer(A) because it was reported that the flux of NO_3^- in farmland drainage increased with precipitation, although domestic sewage(B) also contains a lot of NO_3^- . As sediments in the river channels and drains containing organic compounds migrated on rainy days, river BOD values are considered to increase after rain. On the other hand, NO_3^- origins in branch rivers of the Yamato river are various combinations of (A) and (B). The NO_3^- origins of branch rivers were determined by whether the flux of NO_3^- increased with the flow rate or not. On the other hand, Cl^- concentration in the Yamato river water is considered to strongly depend on the amount of domestic sewage. Although the flow rate in the river changed remarkably due to heavy rains, the flux of Cl^- remained unchanged because the volume of domestic sewage did not change even on a rainy day.

Key Words : Cl^- , NO_3^- , BOD, flow rate, land use, rain

1. はじめに

近年、河川や池・湖沼、海洋などの水域における水質汚濁が問題となっている。水域の水質汚濁は、水道用水の取水の支障、工業用水や農業用水への利水障害、生態系の破壊、親水空間としての価値の損失など、様々な問題を引き起こし、貴重な水資源の価値を大幅に低下させるとともに、人の健康や生活環境にも、さまざまな悪影響を与える。その中で、河川の水質汚濁においては、流域内の都市化に伴う生活排水や工場排水などの汚水の流入量の増加や下水道整備の遅れなどが大きな要因となっている。本研究の調査地域である大和川についても、都市化に伴う生活排水や工場排水の増加、下水道整備の遅れによる河川水の水質汚濁が問題となっている。大和川の水質は、昭和30年代後半以降の急激な都市化に伴い悪化し、昭和40年代に最も悪化し、BOD75%値で約20mg/lであった。最近では10mg/l前後になっているものの、

全国の一級河川(109水系)のなかで、BOD値において、ワースト2位(平成9年度)である。そのため、水質改善が緊急の課題となっている。その水質改善対策として、平成6年11月に「大和川清流ルネッサンス21」が策定され、水質改善のために、水質浄化施設の建設や下水道整備、河川愛護活動など、様々な施策が行なわれている¹⁾²⁾。また、本研究以前に、支川の石川において、土地利用と水質の関係³⁾や河川水と地下水の起源⁴⁾について研究がなされている。これらの背景をふまえ、本研究では、さらに対象を拡大し、大和川全流域を対象に、大和川流域の水質改善対策のための一資料とすべく、現在の大和川流域における河川水の水質特性を把握することが目的である。

2. 調査対象流域概要

調査対象流域図を土地利用分布とともに図-1に示す。

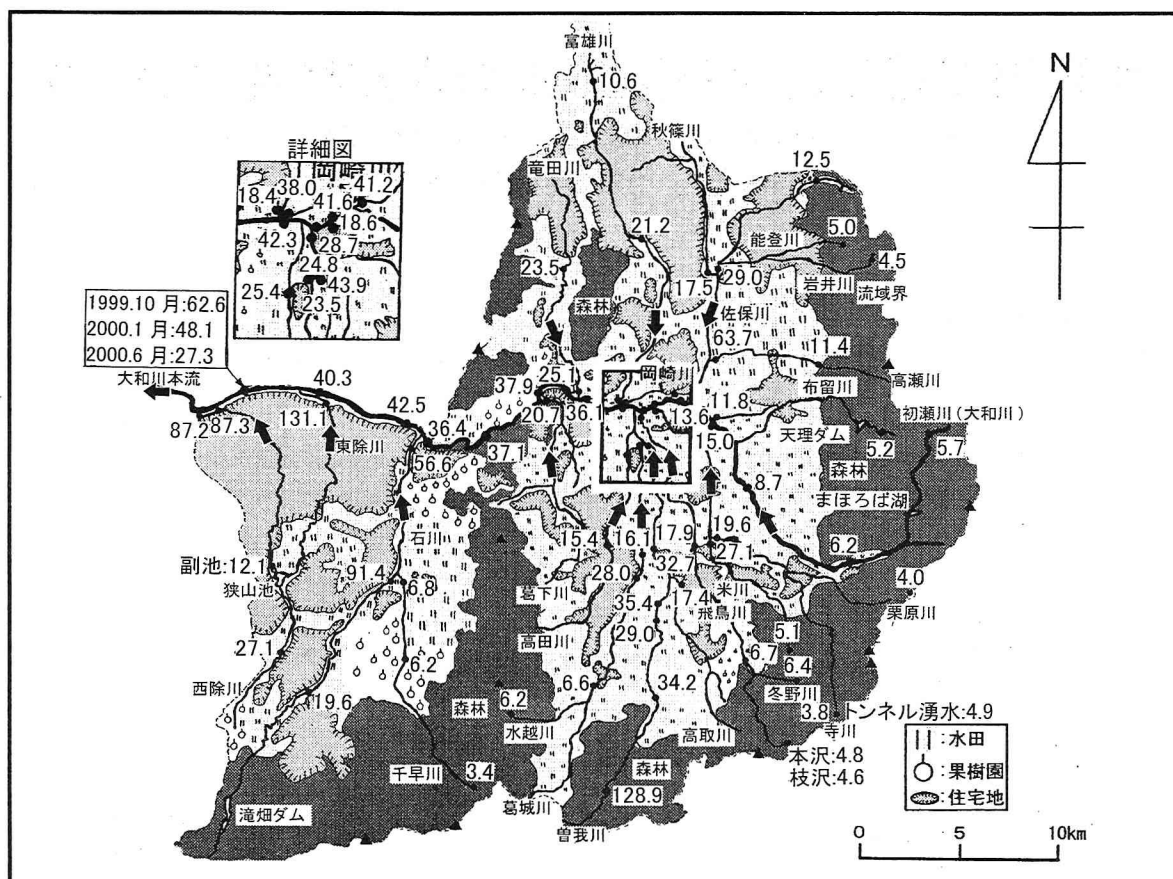


図-1 調査対象流域図(数字は1999年10月の塩素イオン濃度(mg/l), 矢印は河川の流下方向を示す)。

図中の佐保川、寺川、飛鳥川、曾我川、岡崎川、富雄川が大和川本流へ流入する部分は、採水地点が密になるためその部分は図面の左上部に詳細図を示す。大和川は淀川と紀ノ川の間に位置する近畿中央の一級河川で、奈良県西部の笠置山地に源を発し、初瀬川渓谷を北西に流れ、途中、奈良県の大和平野で大小いくつかの支川と合流しながら西へ下流し、生駒山地と金剛山地の切れ間で「亀の瀬」と呼ばれる渓谷部を経て大阪平野に入り、和泉山地を源とする石川と合流し、さらに西へ下流して東除川、西除川と合流し、大阪湾へと注ぐ一級河川である。年間降水量約1400mm、幹川流路延長約68km、流域面積は約1070km²で奈良県、南大阪地域の主要河川である。調査対象流域の土地利用分布は、流域の東部から南部の河川の最上流部においては森林が分布している。奈良県側の大和平野においては、水田と住宅地が分布し、大和川本流より南側に位置する河川の流域においては、中流部で住宅地が密集しており、大和川本流より北側の河川の流域においては上流から下流にかけて住宅地が分布している。大阪平野においては、石川流域の中流から下流の東側において、水田と果樹園が広く分布するが、石川流域の中流から下流の西側および東除川流域、西除川流域においてはほとんどが住宅地である。

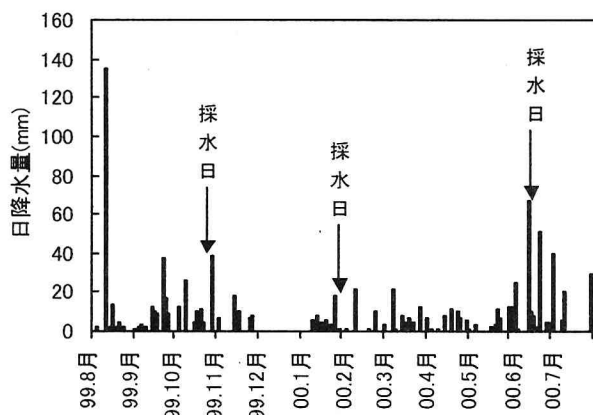


図-2 王寺雨量観測所における日降水量。

3. 調査および分析方法

調査は、大和川全流域を対象に、1999年10月25～26日、2000年1月24～25日、6月12～13日の日程で計3回行なった。図-2に1999年8月～2000年7月までの日降水量の変化を示す。図-2示すように、2000年1月24～25日、6月12～13日の調査は、調査直前に降雨があった。1999年10月25～26日の調査においては、晴天で降雨の影響はなかった。調査地点数は1999年10月25～26日で70地点、2000年1月24～25日で69地点、2000年6月12～13日では62

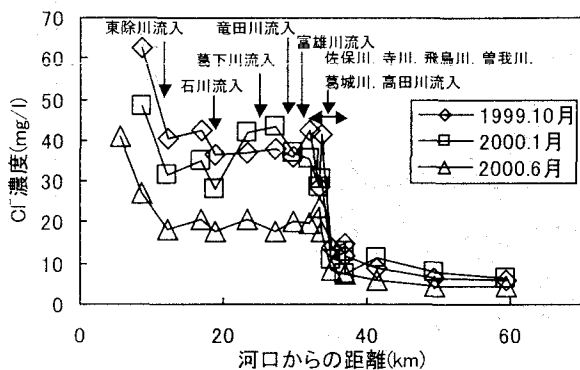


図-3 大和川本流の河口からの距離と塩素イオン濃度の関係。

地点である。現地調査においては、一般水質分析用に採水を行ない、さらに、全調査地点のうち、26ヶ所では、建設省「河川砂防技術基準(案)」に従う方法で、流量観測も行なった。現地調査で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 μm 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、リン酸イオンは、イオンクロマトグラフィーで、重炭酸イオンは滴定で行なった。有機汚濁の指標となるBODは、最も標準的な方法(JIS K0102 21および32.3)で測定した。

4. 水質分析結果と考察

(1) 塩素イオン濃度の流域内分布

図-1に1999年10月の流域内における塩素イオン濃度の分布を示す。最上流部の森林部では濃度が低く、住宅地が分布する部分を通過すると塩素イオン濃度は上昇する。これは住宅地からの生活排水の流入が原因であると考えられる。流域上流部でも、佐保川中流や曾我川上流のように、一部高い塩素イオン濃度を示す地点があるが、全体的にみて流下に伴い塩素イオン濃度は上昇する傾向にある。流域上流部で塩素イオン濃度が高い曾我川上流と佐保川中流の地点の原因は、曾我川上流の地点については、この地点より上流に団地がみられたことから、団地からの排水が原因と考えられる。佐保川中流の地点については周囲に工場群が存在したため、そこからの排水の流入が原因と考えられる。また、2000年1月、6月の分布についても、1999年10月と同様の変化を示した。

(2) 大和川本流の塩素イオン濃度の変化

大和川流域は多くの支川が存在し、それらの支川が大和川本流の塩素イオン濃度にどのような影響を与えているかをみるため、大和川本流の地点の河口からの距離と塩素イオン濃度の関係を調べた。大和川本流の地点の河口からの距離と塩素イオン濃度の関係を図-3に示す。

図-1、3から前項で述べたように、流下に伴い塩素イ

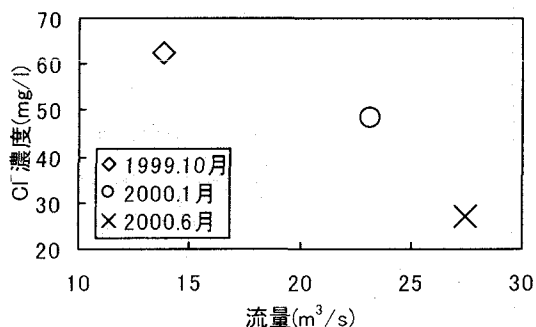


図-4 本流下流部の流量と塩素イオン濃度の関係。

オン濃度が上昇しており、様々な支川の流入により塩素イオン濃度が上昇することがわかる。また、河口からの距離が30~35km付近で塩素イオン濃度が大きく上昇している。この原因としては、河口からの距離が30~35km付近は、住宅地が多く存在することによって塩素イオン濃度が大和川本流より高くなった佐保川、寺川、飛鳥川、曾我川、葛城川、高田川が合流する部分で、それらの多くの支川がまとまって流入するためと考えられる。特に、その支川のなかでも、図-1から、佐保川、曾我川から流入する河川水の塩素イオン濃度が高いことから、佐保川、曾我川からの河川水の流入が大和川本流の塩素イオン濃度の上昇に大きく影響していると考えられる。また、佐保川、曾我川からの河川水の塩素イオン濃度が高い原因として、佐保川中流、曾我川上流の塩素イオン濃度が比較的高い地点の河川水が影響していることが考えられる。

(3) 大和川本流の塩素イオン濃度の季節変化

流域全体としての季節変化をみるため、大和川本流下流部の西除川合流前の地点での塩素イオン濃度を流域全体の代表値とした。その地点での塩素イオン濃度と流量の関係を図-4に示す。図-4から、流量の増加とともに塩素イオン濃度は減少していることがわかる。また、2000年1月、6月の調査時には降雨があった。これらのことから、大和川本流の最下流の地点における塩素イオン濃度の季節変化は降雨による希釈の影響だと考えられる。また、他の地点の季節変化は、代表として、図-3に示す大和川本流の地点の塩素イオン濃度を比較すると、下流部(約20km以下)では、降雨直後の雨水による希釈がみられるが、上流部(35km以上)では塩素イオン濃度はあまり変わらない。

(4) 硝酸イオン濃度の流域内分布と季節変化

図-5に、1999年10月の流域内における硝酸イオン濃度の分布を示す。図-5から、全体的にみて、流下による硝酸イオン濃度の変化は一様ではない。また、流域上流部において、曾我川上流や佐保川中流の地点では、塩素イオン同様、比較的高い濃度を示し、この他にも、葛城川支流の水越川上流も高い硝酸イオン濃度を示した。

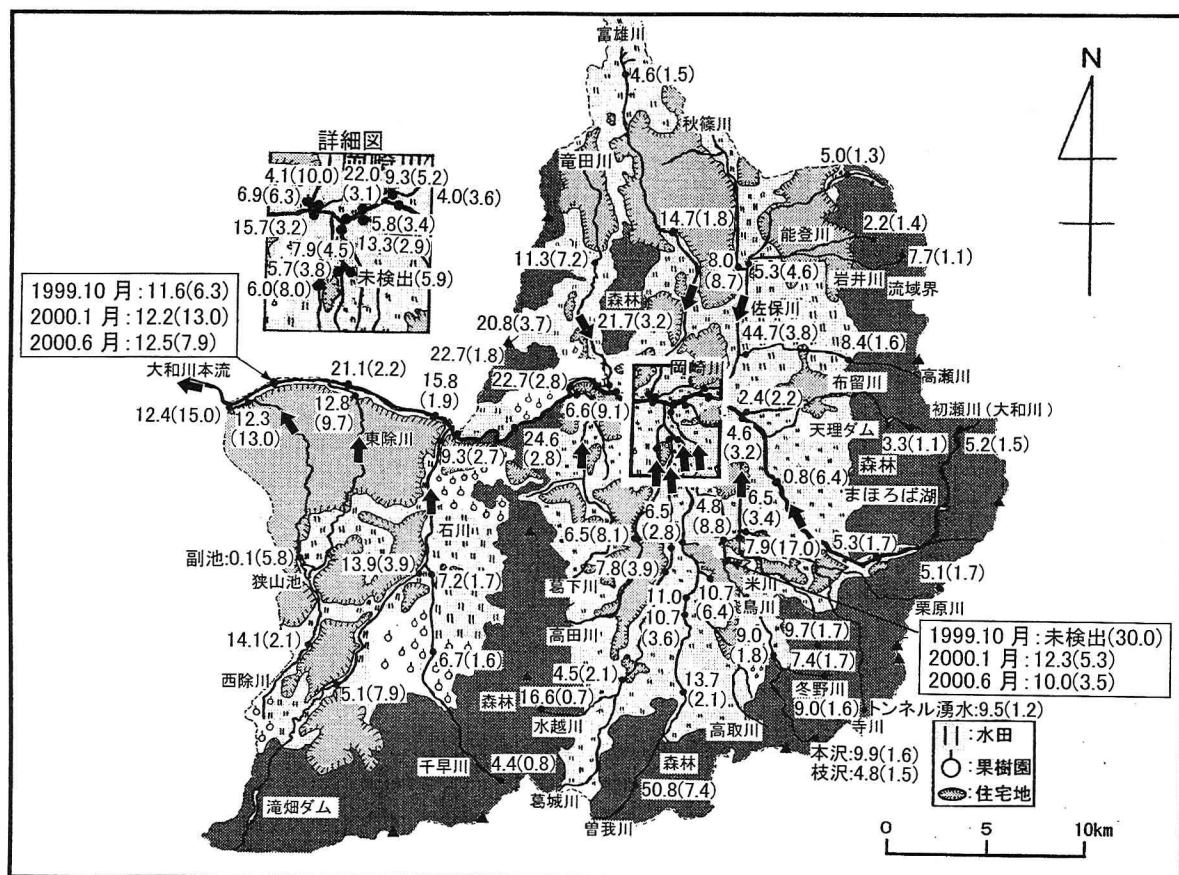


図-5 1999年10月の硝酸イオン濃度(mg/l)の流域内分布(カッコ内数字はBOD(mg/l), 矢印は河川の流下方向を示す).

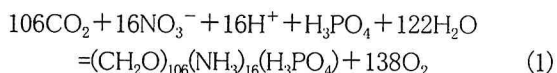
この原因としては、塩素イオン同様、曾我川上流については団地の影響だと考えられるが、佐保川中流、水越川上流については現段階では原因は不明である。また、2000年1月、6月の分布についても、全体的に、1999年10月と同様の変化を示した。

流域全体としての季節変化をみるため、大和川本流下流部の西除川合流前の地点の硝酸イオン濃度を流域全体の代表値とした。その地点での硝酸イオン濃度の季節変化をみると、1999年10月で11.6mg/l、2000年1月で12.2mg/l、2000年6月で12.5mg/lと、どの月もほぼ同じ濃度を示し、明瞭な季節変化は見られない。他の地点においては、流域最上流部の森林部では、曾我川上流を除いて、明瞭な季節変化はみられず、その他の地点は、地点ごとに季節変化は異なった。

(5) BODの流域内分布と季節変化

図-5に1999年10月の流域内におけるBODの分布を示す。図-5から、流域上流部の森林部では、曾我川上流の地点を除いて低い値を示す。そして、水田や果樹園といった農地や住宅地を通過すると濃度は上昇する。この原因としては農地や住宅地からの有機物を含んだ排水の流入が考えられる。また、1999年10月において、曾我川中流でBODが30mg/lと極端に高い値を示す地点がある。この原因としては光合成の影響が考えられる。一般的に藻類などのプランクトンによる光合成の反応式は次式で

表される³⁾。



(1)式から光合成においては硝酸イオンが必要なことから、図-5より、BODが30mg/lを示した曾我川中流の地点の硝酸イオン濃度をみると、上流では50.8mg/lであった硝酸イオン濃度は、検出されないくらいまで減少していることがわかる。逆にBODは上流の7.4mg/lから30.0mg/lに増加している。また、(1)式の反応において、光合成にはリン酸(H_3PO_4)も必要なことから、リン酸イオンも測定したが、1999年10月のこの地点においては、リン酸イオンは検出されなかった。さらに、曾我川流域にはいくつか堰が存在し、この堰によって水が堰き止められ、河川水の流れがほとんどない状態になった部分が多くみられ、この曾我川中流の地点も水の流れが止まったような状態になっていた。そのため、光合成がより起こり易い状況になっていたことも考えられる。これらのことから、曾我川中流の地点でBODが30.0mg/lとかなり高い値を示した原因は、上流から高濃度の硝酸イオンが流入し、堰によって河川水の流れがほとんどなくなったことにより、硝酸イオンが検出されないくらいまで光合成が十分に行なわれたためだと考えられる。次に、この地点における2000年1月のBODと硝酸イオン濃度をみると、BODは

5.3mg/lで1999年10月にくらべ大きく減少している。また、硝酸イオン濃度は逆に12.3mg/lと大きく増加し、リン酸イオンも0.1mg/lと検出された。さらに、2000年1月の調査は前日まで降雨があったため、この地点の河川水に流れがあった。このことから、2000年1月はこの地点において流れがあったため、光合成は起こらず、光合成に必要な物質や有機物は流されていることが考えられる。また、2000年1月にこの地点でリン酸イオンが検出されたのも光合成により使用されず、残ったためと考えられる。2000年6月は、BODが3.5mg/l、硝酸イオン濃度が10.0mg/lと2000年1月にくらべいずれも減少している。これは、調査前一週間の降雨量が120mm(葛城⁶⁾)と大量の降雨があったことから、降雨による希釈が考えられる。また、2000年1月、6月の分布については、全体的に、1999年10月と同様の変化を示した。

流域内の季節変化は、塩素イオン、硝酸イオンと同様に、大和川本流下流部の西除川合流前の地点のBODを流域全体の代表値とした。その地点でのBODの季節変化をみると、1999年10月は6.3mg/l、2000年1月は13.0mg/l、2000年6月は7.9mg/lで2000年1月のBODが最も高い。他の地点においては、流域最上流部の森林部では、曾我川上流を除いては、明瞭な季節変化はみられなかったが、その他の地点は、地点によって季節変化は異なった。

(6) 大和川流域からの物質の流出負荷量の季節変化

大和川流域からの塩素イオン、硝酸イオン、ナトリウムイオン、カルシウムイオン、重炭酸イオン、硫酸イオン、BODの流出負荷量の季節変化から、それらの物質がどの発生源の影響を強く受けているかについて考察した。表-1に、各物質の流域全体からの流量と月当たりの流出負荷量を示す。表-1の流出負荷量は、大和川本流下流部の西除川流入前の地点を流域全体の代表地点とし、そこで得られた上記の物質の水質データと流量を乗じ、月当たりの量に換算して算定した。表-1のカッコ内は、各物質と流量の1999年10月の値に対する増加率を示す。

これらの結果から、塩素イオンの負荷量は、流量が増加してもほとんど変化しない。住宅地からの生活排水は季節や時間によりある程度は変動するが、住宅地の面積が大きく増加しなければ生活排水も大きく増加しないと考えられる。また、塩素イオンが住宅地の影響を強く受けるなら、降水により流量が増加しても、塩素イオン量は増加せず、排出量は一定であると考えられる。このことから、塩素イオンの負荷量は、生活排水の影響を強く受けていると考えられる。

次に、硝酸イオン量は1999年10月、2000年1月、6月の順に増加し、流量の増加に伴い硝酸イオンの流出負荷量も増加していることがわかる。また、2000年1月、6月の硝酸イオンの増加率は流量の増加率とほぼ一致する。流量が増加すると硝酸イオン量が増加する原因として、土壌中の硝酸イオンが流出したと考えられる。2000年1月

表-1 大和川本流下流地点の物質負荷量と流量

(カッコ内数字は1999年10月に対する増加率)。

	1999.10月	2000.1月	2000.6月
Cl ⁻ (t/month)	2317(1.00)	2993(1.29)	1943(0.84)
NO ₃ ⁻ (t/month)	429(1.00)	759(1.77)	889(2.07)
BOD(t/month)	233(1.00)	808(3.47)	563(2.42)
Na ⁺ (t/month)	1844(1.00)	2168(1.18)	1610(0.87)
Ca ²⁺ (t/month)	1143(1.00)	1551(1.36)	1902(1.66)
HCO ₃ ⁻ (t/month)	4299(1.00)	5593(1.30)	5510(1.28)
SO ₄ ²⁻ (t/month)	1220(1.00)	1571(1.29)	1721(1.41)
流量(m ³ /s)	13.83(1.00)	23.21(1.68)	27.50(1.99)

と6月の調査時には降雨があった。降雨時には、農耕地や山地から土壌層中に存在する硝酸イオンが流出することが知られている⁷⁾。よって、硝酸イオンの負荷量は農地からの流出水の影響を強く受けていると考えられる。

BODの流出負荷量については、1999年10月に比べ2000年1月は急増し、2000年6月は2000年1月に比べると少なくなっているが1999年10月に比べるとBODの流出負荷量は大きい。また、先にも述べたように、2000年1月は調査前日まで、6月は調査初日まで降雨があった。そのため、表-1より、流量も1999年10月に比べ、2000年1月、6月は大幅に増加している。降雨時には、流量増加により水路や河道内に貯留、堆積した物質を運搬し、懸濁態物質が流出することが知られている⁷⁾。よって、これらのことから、BOD量の変化は、住宅地や農地からの排水だけでなく、河道や水路に貯留・堆積する有機物の流出の有無も影響することが考えられる。

ナトリウムイオン、重炭酸イオンは、流出負荷量の変化や増加率の変化が、流量の増加に対して小さくなく、塩素イオンと同様の変化を示すことから、住宅地からの生活排水の影響を強く受けていると考えられる。カルシウムイオン、硫酸イオンは、流量の増加とともにそれぞれの物質質量と増加率が増加し、また、畑地・水田には、施肥される肥料中に硫黄が含まれ、そして、土壌の酸性化の中和剤として石灰などが施用されるため、農地からの排水には硫酸イオンやカルシウムイオンが含まれていることが知られている⁸⁾。このことは、石川流域でも確認されている³⁾。これらのことから、硫酸イオン、カルシウムイオンは農地からの流出水の影響を強く受けていると考えられる。

(7) 大和川流域の支川の水質特性

大和川流域の各支川の水質特性を把握するため、図-6に各支川末端の地点の、流量の増加率に対する硝酸イオン量の増加率を示す。流量、硝酸イオン量の増加率は、すべて1999年10月の値に対するものである。しかし、曾我川の硝酸イオン量の増加率は、曾我川末端の地点の1999年10月の硝酸イオンが未検出であったため、2000年1月に対する増加率とした。東除川のデータは流量を測

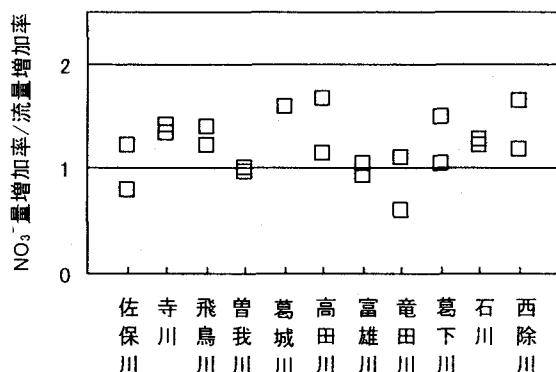


図-6 各支川の流量増加率に対するNO₃⁻量増加率

定していないため掲載していない。流量の増加率に対する硝酸イオン量の増加率は、基本的に、生活排水の影響を強く受けていると、1よりも小さくなり、農地からの流出水の影響を強く受けていると、1以上になると考えることができる。

図-6から、佐保川、富雄川、竜田川は、流量の増加率に対する硝酸イオン量の増加率が1を越える点もあるが、全体的に値は低い。また、これらの流域は図-1に示すように住宅地が多い。よって、これらのことから、佐保川、富雄川、竜田川は生活排水の影響の強い流域であると考えられる。

寺川、飛鳥川、葛城川、高田川、葛下川、石川は、流量の増加率に対する硝酸イオン量の増加率が1以上である。曾我川は、2000年1月に対する割合をとっているため、値は1を示すが、2000年6月の値もほぼ1であるため、流量の増加により硝酸イオンは増加していると考えられる。また、これらの河川の流域には農地が多く分布する。これらのことから、寺川、飛鳥川、葛城川、高田川、葛下川、石川、曾我川は農地からの流出水の影響が強い流域であると考えられる。

しかしながら、西除川は、流量の増加率に対する硝酸イオン量の増加率が比較的高いが、これらの流域は住宅地が多く分布し、必ずしもこの指標が土地利用と一致していなかった。この原因として、西除川は住宅地が多く分布する都市河川であることから、降雨時までには生活排水などにより河道内に堆積した有機堆積物が、降雨時に流出したことが考えられる。

最後に、本研究の結論として、(1)~(7)項の結果から、広い流域の河川水の水質の変化をみる場合においては、濃度だけでなく、流量と物質の流出負荷量の変化も考慮する必要があると考えられる。

5. まとめ

大和川流域の塩素イオン濃度は、住宅地が分布すると

ころで高かったため、生活排水の流入が考えられた。また、塩素イオンの流出負荷量は、降雨により流量が増加しても、大きく変化しなかった。この原因として、降雨により流量が増加しても生活排水の流入量は大きく変化しないためと考えられた。しかし、硝酸イオンの流出負荷量は、流量とともに増加した。この原因として、降雨時には、農耕地や山地から土壌層中に存在する硝酸イオンが流出することが知られていることから、農地からの流出水の影響を強く受ける物質であると考えられた。BODの流出負荷量も降雨時に増加し、降雨時には、流量増加により水路や河道内に貯留、堆積した有機物のような懸濁態物質が流出することが知られているため、生活排水や農地からの流出水以外にも、河道や水路に貯留・堆積する物質も影響することが考えられた。大和川流域の支川の硝酸イオンの起源は、硝酸イオンの流出負荷量が流量とともに増加するかしないかによって推定され、その結果、起源は支川によってさまざまだった。

まとめとして、広い流域の河川水の水質の変化をみる場合においては、濃度だけでなく、流量と物質の流出負荷量の変化も考慮する必要があると考えられた。

参考文献

- 1) 大和川清流ルネッサンス21協議会：大和川水系水環境改善緊急行動計画(清流ルネッサンス21), 1994.
- 2) 大和川清流ルネッサンス21協議会：水環境改善緊急行動計画 大和川清流ルネッサンス21.
- 3) 平田健正・井伊博行・長谷部正彦・江種伸之・坂本康・糸川高德・西山幸治・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—大阪府石川流域—, 土木学会論文集, No.614/II-46, pp. 97-107, 1999.
- 4) 井伊博行・平田健正・長谷部正彦・江種伸之・坂本康・糸川高德・西山幸治・酒井信行・堀井壮夫：環境同位体及び化学組成からみた石川流域の河川水と地下水の起源について, 水工学論文集, 第43巻, pp. 205-210, 1999.
- 5) 井伊博行・平田健正・松尾宏・田瀬則雄・西川雅高：茶畑周辺の池水中のpH変化と窒素、リン、硫黄、アルミニウムの挙動について, 土木学会論文集, No.594/VII-7, pp. 57-63, 1998.
- 6) 建設省大和川工事事務所：大和川流域葛城地点雨量データ, 2000. 6月.
- 7) 国松孝男・村岡浩爾 編著：河川汚濁のモデル解析, 技報堂出版, 1989.
- 8) 井伊博行・平田健正・松尾宏・田瀬則雄・西川雅高：茶畑施肥に由来する硝酸性窒素と周辺表流水に及ぼす影響, 水工学論文集, 第41巻, pp. 575-580, 1997.

(2000.10.2受付)