

大和川流域における物質移動量の推定

ESTIMATION OF MASS FLOW IN THE YAMATOGAWA BASIN

窪原拓馬¹・井伊博行²・平田健正³・石塚正秀⁴・谷口正伸¹・伊勢達男⁵・宮川勇二⁶
Takuma KUBOHARA, Hiroyuki II, Tatemasa HIRATA, Masahide ISHIZUKA,
Masanobu TANIGUCHI, 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) 和歌山大学助手 システム工学部 (同上)

⁵国土交通省近畿地方整備局兵庫国道工事事務所 (〒650-0042 神戸市中央区波止場町3番11号)

⁶国土交通省近畿地方整備局大和川工事事務所 (〒582-0009 柏原市大正2-10-8)

Daily mass flow values of COD, Cl^- , T-P and NO_3^- in the Yamatogawa basin could be calculated from daily flow rates because the mass flow values were proportionate to flow rate. Though flow rate was measured daily, the concentrations were measured once a month. Daily mass flow values of BOD and NH_4^+ could not be estimated from daily flow rate however because the mass flow values of BOD and NH_4^+ didn't depend on flow rate but rather on water temperature. The calculated daily mass flow value of COD per number of people was high in the high density population area. The values of Cl^- and NO_3^- per number of people were low but abnormally high in the high density population area. The values of T-P per the number of people and per area were high in the farmland area and low in both the forest area and the housing site. The values of COD, Cl^- and NO_3^- per area were high in the housing site.

Key Words : mass flow, flow rate, COD, Cl^- , T-P, NO_3^- -N

1. はじめに

わが国の河川の水質汚濁は、1960年代後半から1970年代にかけて、高度経済成長に伴ない、急激に進行したが、その後、排水規制や下水道整備などの水質改善対策により、河川の水質環境基準達成状況は年々上昇し、現在は、全体としては、水質は改善されつつある¹⁾。しかし、一部の都市河川においては、未だBOD環境基準の達成が困難な流域もある。本研究の対象地域である大和川もBOD環境基準を未だ達成できない流域の一つである。大和川の水質は、平成6年11月に策定された「大和川清流ルネッサンス21」による水質改善施策により、近年、低下傾向にあるが、平成12年度のBOD平均値は6.7mg/lで、BOD75%値では9.3mg/lと高く、環境基準の5mg/l(河川C類型)を達成しておらず、全国の一級河川のなかでワースト1位である^{2), 3)}。そのため、水質改善は依然、急務の課題である。本研究以前に、水質改善対策の一環として、支川の石川で土地利用と水質の関係⁴⁾や河川水と地下水の起源⁵⁾について、また、大和川全体を対象とした

水質特性についての研究⁶⁾もなされている。しかし、大和川全体を対象とした研究では、3回の調査データから考察しており、長期間の水質変化を考慮した大和川流域の平均的な水質特性については把握できていない。

このことから、大和川流域の平均的な水質特性を把握するために、1995年～1999年の5年間の水質、流量データを用いて、平均的な物質移動量と物質負荷量の推定を行なった。

2. 研究対象流域概要

研究対象流域図を図-1に示す。大和川は近畿地方に属し、淀川と紀ノ川の間に位置する一級河川で、奈良県西部の笠置山地に源を発し、初瀬川溪谷を北西に流れ、途中、奈良県の大和野でいくつかの支川と合流しながら西へ流下し、生駒山地と金剛山地の切れ間で「亀の瀬」と呼ばれる溪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、さらに西へ流下して2支川と

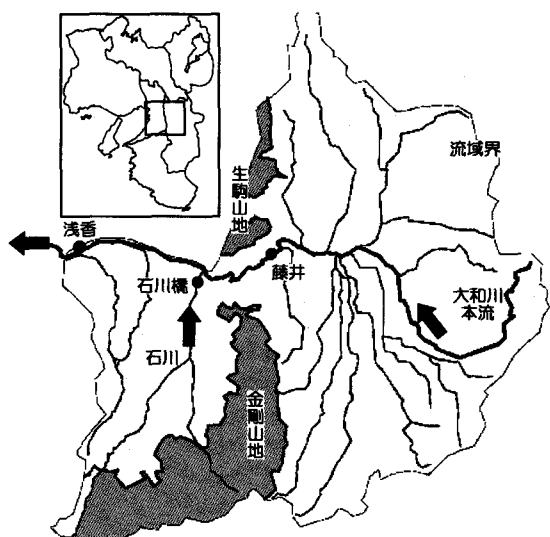


図-1 研究対象流域図

合流し、大阪湾へと注ぐ。年間降水量約1400mm、幹川流路延長約68km、流域面積約1070km²、流域人口約214万人で、奈良県、南大阪地域の主要河川である。研究対象地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。大和平野においては、石川流域の中流から下流の東側において、水田や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石川より下流の2支川の流域においてはほとんどが住宅地である。

3. 研究方法

本研究は、国土交通省近畿地方整備局大和川工事事務所が所有する水質、流量データを用いて研究を行なった。水質、流量データは1995年～1999年の5年分を用いた。観測地点は、図-1に示すように、大和川本流で奈良県の最下流に位置する藤井、大和川本流の最下流に位置する浅香、そして、支川である石川の最下流に位置する石川橋の3地点である。また、考察に用いた水質項目は、BOD、COD、塩素イオン、総リン、硝酸態窒素、アンモニア態窒素の6項目である。水質データの測定頻度は、藤井、浅香のBOD、COD、塩素イオン、総リン、アンモニア態窒素が毎月1回である。また、半年に1回、24時間連続測定(2時間毎に13回水質測定)も行なっている。次に、藤井、浅香の硝酸態窒素と石川橋のBOD、COD、塩素イオン、総リン、アンモニア態窒素の測定頻度は毎月1回で、石川橋の硝酸態窒素は3ヶ月に1回である。流量は、5年間の日流量データを用いた。

4. 結果と考察

(1) 日物質移動量の算定方法の比較

5年間の平均の物質移動量を求める際に、流量と濃度の積が物質移動量となるため、流量と濃度の情報が必要である。また、物質負荷量は、河川の測定地点から推定される流域の面積、人口などから計算される。ここで、流量は毎日の観測データが存在するが、水質データは1年に4～12回と年2回の24時間連続測定の分しかない。したがって、水質を測定していない日の濃度、または、物質移動量を推定する必要がある。そこで、1995年から1999年までの5年間の平均の物質移動量を算定するために2種類の方法が考えられる。

1つめは、水質データが存在する日の日流量と濃度の相関関係から回帰式を導き、その式から、1日毎の濃度を求め、求めた1日毎の濃度に当日の日流量を乗じて、1日毎の物質移動量を求める。これを5年分積分して、日あたりの物質移動量に換算する方法である。

2つめは、水質データが存在する日の日流量と濃度を乗じ、先に各測定日の物質移動量を算定し、そして、水質データが存在する日の日流量と物質移動量の相関関係から回帰式を導き、その式に1日毎に、5年分の日流量を代入し、求めた1日毎の物質移動量を積分して、日あたりの物質移動量に換算する方法である。

この2種類の算定方法を比較するために、代表として、図-2に、藤井における日流量とCODの関係、日流量とCOD移動量の関係を示す。日流量とCODの関係において、CODは流量の増加に伴ない減少しているが、その分布は直線ではなく双曲線に近く、相関関係が判りにくい。一方、日流量とCOD移動量の関係においては、COD負荷量は日流量の増加に伴ない増加し、日流量とCODの関係より相関関係が見やすい。このことから、物質移動量の算定には、水質データが存在する日の日流量と物質移動量の関係から回帰式を導く方法を適用する。

(2) 日物質移動量の算定

日流量と物質移動量の関係から求めた回帰式を用いて、藤井におけるCOD以外の物質についても日物質移動量を計算した。図-3～4に藤井における塩素イオン、総リン、硝酸態窒素、BOD、アンモニア態窒素の物質移動量と日流量の関係を示す。

塩素イオン、総リン、硝酸態窒素の物質移動量と日流量の関係においては、日流量の増加に伴ない、物質移動量も増加する傾向にある。この原因としては、COD、塩素イオン、総リン、硝酸態窒素は主として、流量依存性が強いことがわかる。一方、BOD、アンモニア態窒素の物質移動量と日流量の関係においては、日流量が同じでも物質移動量が大きく変動し、また、物質移動量が同じでも日流量が変動し、分布は直線上にない。この原因と

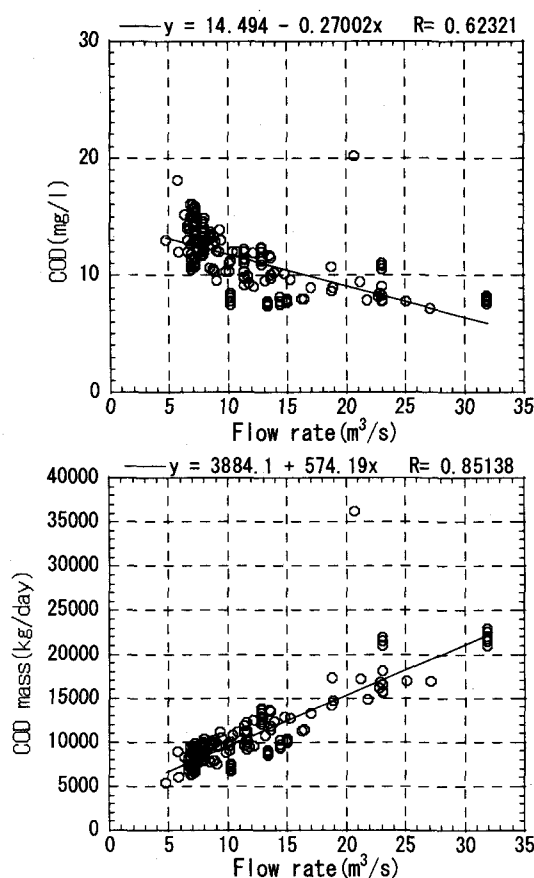


図-2 藤井における日流量とCOD, COD移動量の関係

しては、BOD、アンモニア態窒素については、河川水による希釈以外の効果が影響していると考えられる。図-4の分布を水温別にみると、BODは水温20℃以上では、流量が増加するとBOD移動量が増加する傾向にあるが、水温20℃未満では、BOD移動量が変化しても流量はほぼ一定である。アンモニア態窒素の移動量は20℃以上では、流量が変化してもほぼ一定で、20℃未満では、アンモニア態窒素移動量が変化しても流量はほぼ一定である。このことから、BOD、アンモニア態窒素移動量は、水温により移動量が変化する温度依存性があることがわかる。BOD、アンモニア態窒素に水温依存性がある理由は、BODは有機物汚濁を表わす指標であることから、微生物の有機物分解活動が水温に影響すると考えられるためである。また、アンモニウム態窒素は、有機物が増加する(BODが増加する)と、それに伴い有機物の分解物であるアンモニウム態窒素も増加すると考えられるためである。

よって、藤井においては、CODを含め、塩素イオン、総リン、硝酸態窒素についてはこの算定方法が適用できるが、BOD、アンモニア態窒素については水温依存性があるため適用できない。

次に、浅香、石川橋の各物質についても、この算定方法の適用について検討した。表-1に浅香、石川橋におけるCOD、塩素イオン、総リン、硝酸態窒素、BOD、アンモニア態窒素の物質移動量と日流量との相関係数を示す。石川橋では、藤井と同じく、COD、塩素イオン、総リン、硝酸態窒素の物質移動量と流量との相関係数が比較的高

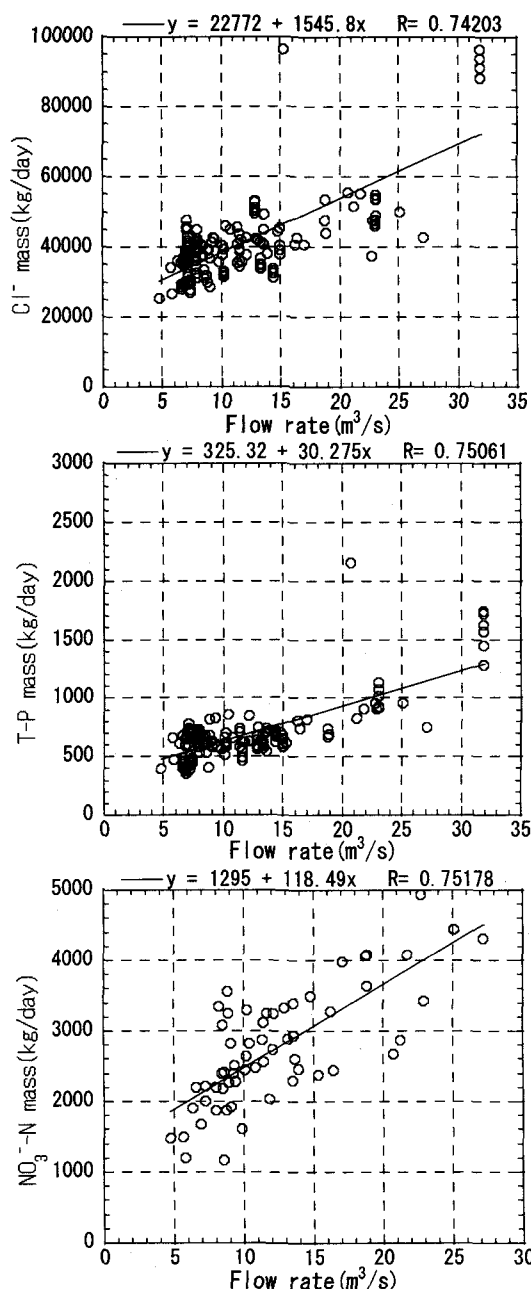


図-3 藤井における日流量とCl⁻, T-P, NO₃-N移動量の関係

く、BOD、アンモニア態窒素の物質移動量と流量との相関係数は低い。浅香では、COD、硝酸態窒素の物質移動量の流量との相関係数が比較的高いが、塩素イオン、総リン、BOD、アンモニア態窒素の物質移動量と流量との相関係数は低い。このことから、流量との相関係数が比較的高い、石川橋のCOD、塩素イオン、総リン、硝酸態窒素、浅香のCOD、硝酸態窒素は、流量依存性が強いことがわかる。したがって、これらの物質については水質データが存在する日の日流量と物質移動量の関係から回帰式を導く方法により求められた物質移動量を用いる。

流量との相関が低い浅香、石川橋のBOD、アンモニア態窒素は、藤井と同様に、水温により物質量が変化したため、水温依存性の効果があると考えられる。

藤井や石川橋では流量との相関が高かった塩素イオン、総リン移動量は、浅香でのみ、流量との相関係数が低

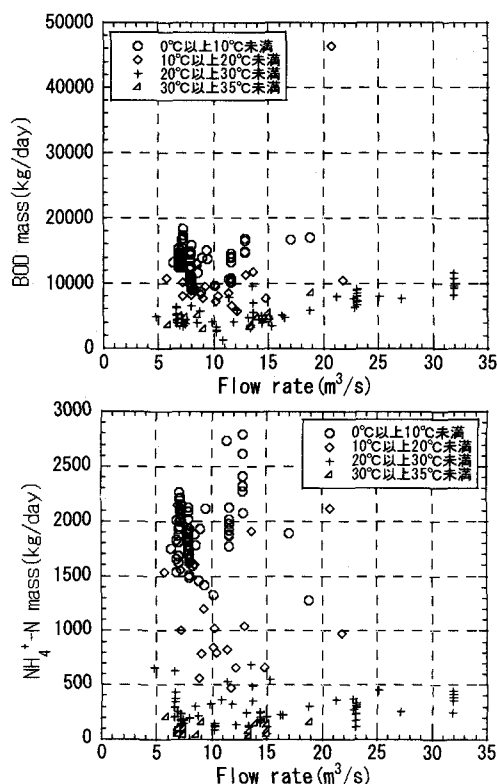


図-4 藤井における日流量とBOD, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 移動量の関係

表-1 各地点の物質移動量の日流量との相関係数

	COD移動量	Cl ⁻ 移動量	T-P移動量
浅香	0.65916	0.44837	0.50298
石川橋	0.75536	0.66596	0.70015
	$\text{NO}_3^-\text{-N}$ 移動量	BOD移動量	$\text{NH}_4^+\text{-N}$ 移動量
浅香	0.88542	0.15445	0.29861
石川橋	0.95854	0.35175	0.02677

かった。図-5に浅香における塩素イオン、総リンの物質移動量と日流量の関係を示す。塩素イオン、総リンの移動量は、流量が25~30 m^3/s 以上になると、一定になる傾向にある。このことから、流量がある程度大きくなると、より希釈の効果が強くなると考えられる。また、そのデータが、全体の相関係数を小さくしていると考えられる。しかし、最下流の浅香においてのみ、塩素イオン、総リンの希釈の効果が強くみられるのかは現時点では不明である。最後に、浅香の塩素イオン、総リンの物質移動量算定法の適用についてであるが、相関係数が低かったが、その原因は流量が大きくなると希釈の効果が大きくなるということで、流量依存性が見られることから、浅香の塩素イオン、総リンについても、この物質移動量算定法を適用する。

(3) 各流域の物質移動量の比較

各地点の各物質の物質移動量を算定した後、大和川流域を奈良県、大阪府、石川流域、大阪府下流域、流域全体の5つに分類し、各流域の物質移動量を比較した。なお、各流域からの物質移動量は、奈良県は奈良県内の大和川最下流の藤井における物質移動量、大阪府は大和川最下流の浅香の物質移動量から藤井の物質移動量を減じ

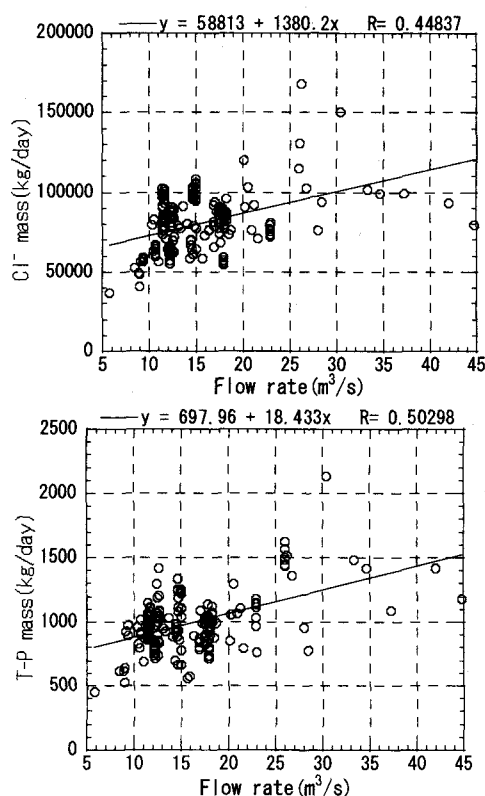


図-5 浅香における日流量と Cl^- , T-P移動量の関係

たもの、石川流域は石川最下流の石川橋における物質移動量、大阪府下流域は浅香の物質移動量から藤井、石川橋の物質移動量を減じたもの、流域全体は浅香における物質移動量を用いた。また、石川流域と大阪府下流域は大阪府を二分したものである。

表-2に各流域の物質移動量を示す。なお、物質移動量の算定には、洪水時の水質データがないために、結果として約10~15%の高流量時の流量データが含まれていない。そのため、洪水時などの高流量時における物質移動量は、高流量時の水質データを含まない日流量と物質移動量の相関から外挿した。COD、塩素イオン、総リン、硝酸態窒素の移動量は、ともに、大阪府に比べ、奈良県の方が大きい。しかし、塩素イオン、硝酸イオンの移動量は両流域での差は小さいが、COD、総リンの物質移動量は奈良県の方が格段に大きい。大阪府に比べ、奈良県の方が物質移動量が多い原因は、表-3に示すように、奈良県の流域面積が大阪府の流域面積の約2倍で、奈良県の方が面積が大きいためであると考えられる。次に、大阪府内で比較すると、COD、塩素イオン、総リン、硝酸態窒素の移動量はともに、大阪府下流域で格段に高い。この原因としては、表-3に示すように、大阪府下流域は、住宅地・建築物・道路面積が多く、また、石川流域は、森林面積が多いことが考えられる。

(4) 物質負荷量の算定と考察

各流域の物質移動量をその流域の人口、面積で除し、各流域の単位人口、単位面積あたりの物質負荷量を算定し、考察した。表-4に各流域からの単位人口および単

表-2 各流域の物質移動量

単位:kg/day	COD	Cl ⁻	T-P	NO ₃ ⁻ -N
奈良県(藤井)	17837	60336	1061	4174
大阪府(浅香-藤井)	9040	45646	267	3103
流域全体(浅香)	26877	105981	1328	7277
石川流域(石川橋)	2197	12258	72	547
大阪府下流域(浅香-藤井-石川橋)	6842	33388	195	2556

※物質移動量算定回帰式作成に用いた流量の最大流量を超える日流量の存在割合(=超過流量数/5年間全日流量数)

藤井: 14.6% 浅香: 14.7% 石川橋: 9.3%

表-3 各流域における土地利用別面積

(カッコ内数字は各流域における土地利用割合)

単位:km ² (%)	面積	森林	水田	畑地・果樹園	住宅地・建築物・道路
奈良県(藤井)	743	306(41.2)	215(29.0)	33(4.4)	169(22.8)
大阪府(浅香-藤井)	326	149(45.8)	49(15.2)	20(6.1)	92(28.3)
流域全体(浅香)	1069	455(42.6)	265(24.8)	52(4.9)	262(24.5)
石川流域(石川橋)	220	145(65.9)	29(13.1)	13(5.9)	31(14.1)
大阪府下流域(浅香-藤井-石川橋)	106	4(4.1)	21(19.6)	7(6.5)	61(57.8)

位面積あたりの物質負荷量を示す。

(a)COD

単位人口あたりのCOD負荷量は、流域全体では12.6g/人/dayで、流域別では奈良県からの方が大阪府からに比べ多い。単位人口あたりの負荷量は、生活排水起源で生活習慣が大きく変化しなければ、流域が異なっても変化しないと考えられる。また、下水道普及率は奈良県が57.8%、大阪府が51.2%で奈良県の方がやや高いがほぼ同じである⁷⁾。このように、生活習慣や排水条件が同じであるのに、奈良県の方が単位人口あたりのCOD負荷量が高くなっていることから、奈良県の方が大阪府に比べ、事業所などの生活排水以外からの排水の影響を強く受けていると考えられる。次に、単位面積あたりのCOD負荷量は、流域全体では25.1kg/km²/dayで、流域別でみると奈良県に比べ、大阪府の方が多い。先に述べたように、下水道普及率はほぼ同じである。また、表-3から、奈良県と大阪府の住宅地・建築物・道路面積を比較すると、奈良県の方が多いが、表-4から、人口密度を計算すると、奈良県では約1655人/km²、大阪府では約2791人/km²であることから、大阪府の方が人口密度が高いことが原因と考えられる。

大阪府内での石川流域と大阪府下流域を比較すると、単位人口あたりでは大阪府下流域からのCOD負荷量は、石川流域の約3.3倍でかなり多い。このことから、大阪府下流域では事業所から排出された有機物の影響を強く受けていると考えられる。単位面積あたりでも、大阪府下流域のCOD負荷量は石川流域の約6.5倍でかなり多い。これは、表-3から、石川流域では森林面積が多く、住宅地・建築物・道路面積が少なく、大阪府下流域では、森林面積が少なく、住宅地・建築物・道路面積が多いことが原因と考えられる。

(b)塩素イオン

単位人口あたりの塩素イオン負荷量は、流域全体では49.5g/人/dayで、流域別では、奈良県と大阪府はほぼ同

表-4 単位人口、単位面積あたりの物質負荷量

単位:g/人/day	人口(人)	COD	Cl ⁻	T-P	NO ₃ ⁻ -N
奈良県(藤井)	1230000	14.5	49.1	0.9	3.4
大阪府(浅香-藤井)	910000	9.9	50.2	0.3	3.4
流域全体(浅香)	2140000	12.6	49.5	0.6	3.4
石川流域(石川橋)	470000	4.7	26.1	0.2	1.2
大阪府下流域(浅香-藤井-石川橋)	440000	15.6	75.9	0.4	5.8

単位:kg/km ² /day	面積(km ²)	COD	Cl ⁻	T-P	NO ₃ ⁻ -N
奈良県(藤井)	743	24.0	81.2	1.4	5.6
大阪府(浅香-藤井)	326	27.7	140.0	0.8	9.5
流域全体(浅香)	1069	25.1	99.1	1.2	6.8
石川流域(石川橋)	220	10.0	55.7	0.3	2.5
大阪府下流域(浅香-藤井-石川橋)	106	64.6	315.0	1.8	24.1

じ値である。このことから、塩素イオンの負荷は、産業活動よりも、家庭からの生活排水の影響が大きいと考えられる。また、単位面積あたりの塩素イオン負荷量は、流域全体では99.1kg/km²/dayで、流域別でみると、奈良県に比べ、大阪府の方が多い。これは、COD同様、奈良県に比べ大阪府の方が、人口密度が高いことが原因と考えられる。

次に、大阪府内での石川流域と大阪府下流域を比較すると、単位人口あたりでは大阪府下流域からの塩素イオン負荷量は、石川流域の約3倍でかなり多い。このことから、大阪府下流域では事業所からの排水が塩素イオン負荷量を大きくしていると考えられる。単位面積あたりでも、大阪府下流域の塩素イオン負荷量は石川流域の約5.6倍でかなり多い。これは、COD同様、表-3から、石川流域では森林面積が多く、住宅地・建築物・道路面積が少なく、大阪府下流域では、森林面積が少なく、住宅地・建築物・道路面積が多いことが原因と考えられる。

(c)総リン

単位人口あたりの総リン負荷量は、流域全体では0.6g/人/dayで、流域別では奈良県からの方が大阪府からに比べ多い。生活排水起源で生活習慣が大きく変化しなければ、流域が異なっても変化しないと考えられ、さらに下水道普及率は奈良県と大阪府でほぼ同じであるため、生活排水以外の原因が影響していると考えられる。また、単位面積あたりの負荷量も、大阪府に比べ、奈良県の方が多い。表-3から、水田、畑地・果樹園といった農地と住宅地・建築物・道路の面積が、ともに、大阪府に比べ、奈良県の方が多いため、農地と事業所の両方が原因と考えられるが、表-4から、人口密度を計算すると、奈良県では約1655人/km²、大阪府では約2791人/km²で、人口密度の低い奈良県の方が総リン負荷量が多くなっていることから、大阪府に比べ、奈良県の総リン負荷量が大きい原因は、水田、畑地・果樹園といった農地からの排水が影響していると考えられる。

次に、大阪府内での石川流域と大阪府下流域を比較すると、単位人口あたりでは、石川流域と大阪府下流域でほぼ同じである。このことから、総リンの負荷は、産業活動よりも、家庭からの生活排水の影響が大きいと考えられる。単位面積あたりでは、大阪府下流域の総リン負

荷量は石川流域の6倍でかなり多い。これは、表-3から、石川流域では森林面積が多く、住宅地・建築物・道路面積が少なく、大阪府下流域では、森林面積が少なく、住宅地・建築物・道路面積が多いことが原因と考えられる。

(d)硝酸態窒素

単位人口あたりの硝酸態窒素負荷量は、流域全体では3.4g/人/dayで、流域別では大阪府、奈良県ともに3.4g/人/dayで同じであった。単位人口あたりでは、生活排水起源の物質移動量は生活習慣が大きく変化しなければ、流域が異なっても変化しないと考えられるため、硝酸態窒素の負荷は事業所からよりも、生活排水からの方が大きいと考えられる。次に、単位面積あたりの硝酸態窒素量は、流域全体では6.8kg/km²/dayで、流域別では奈良県に比べ大阪府の方が大きい。硝酸態窒素は住宅地からだけでなく、農地からも排出される⁸⁾が、水田、畑地・果樹園の面積は、奈良県に比べ、大阪府の方が小さい。しかし、人口密度は奈良県に比べ大阪府の方が高い。このことから、人口密度の影響(生活排水)で、大阪府の単位面積あたりの硝酸態窒素負荷量が奈良県に比べ大きくなっていると考えられる。

次に、大阪府内での石川流域と大阪府下流域を比較すると、単位人口あたりでは大阪府下流域からの硝酸態窒素負荷量は、石川流域の約5倍である。このことから、大阪府下流域では事業所からの排水が硝酸態窒素負荷量を大きくしていると考えられる。単位面積あたりでも、大阪府下流域の硝酸態窒素負荷量は石川流域の約10倍でかなり多い。これは、表-3から、石川流域では森林面積が多く、住宅地・建築物・道路面積が少なく、大阪府下流域では、森林面積が少なく、住宅地・建築物・道路面積が多いことが原因と考えられる。

5. まとめ

1995年～1999年の5年分の流量、水質データを用いて、平均的な物質移動量の推定を行なった結果、COD、塩素イオン、総リン、硝酸態窒素は、流量が増加すると物質移動量も増加するといった流量依存性が見られたことから、流量と物質移動量の関係から得られた回帰式に5年分の日流量を代入し毎日の物質移動量を求め、それを積分し、日あたりに換算する方法で、日物質移動量を算定することができた。しかし、BOD、アンモニア態窒素は、流量依存性が見られず、水温が高いと濃度が低く、水温が低いと濃度が高くなる水温依存性が見られたことから日物質移動量を算定することができなかった。

各流域の物質移動量は、COD、塩素イオン、総リン、硝酸態窒素とも奈良県が多く、流域面積が大きいことが原因と考えられた。また、大阪府内では、大阪府下流域で、COD、塩素イオン、総リン、硝酸態窒素の移動量が

格段に多く、住宅地等の面積が大きいことが原因と考えられた。

物質移動量から算定した物質負荷量より、単位人口あたりでは、COD負荷量は奈良県、大阪府下流域で高く、生活習慣が大きく変化しなければ、流域が異なっても変化せず、また、下水道普及率もほぼ同じであったことから、事業所からの有機物負荷が大きいと考えられた。塩素イオン、硝酸態窒素は、負荷量が大阪府、奈良県ともほぼ同じであったため、生活排水起源と考えられたが、大阪府内では、大阪府下流域の方が石川流域に比べて高く、事業所からの負荷が大きいと考えられた。総リンは、農地面積が多く、人口密度の低い奈良県で負荷量が高いことから農地排水起源と考えられた。しかし、大阪府内では、大阪府下流域と石川流域でほぼ同じであったため、生活排水起源と考えられた。単位面積あたりでは、COD、塩素イオン、硝酸態窒素の負荷量は、奈良県に比べ大阪府の方が多く、大阪府の人口密度が高いことが原因と考えられた。総リンは農地面積が多く、人口密度の低い奈良県で負荷量が高いことから農地排水起源と考えられた。大阪府内では、COD、塩素イオン、総リン、硝酸態窒素の負荷量は大阪府下流域で大きく、住宅地等の面積が多いことが原因と考えられた。

参考文献

- 1) 環境省：平成11年度公共用水域水質測定結果，http://www.env.go.jp/water/suiiki_h11/index.html，2000。
- 2) 国土交通省河川局：平成12年全国一級河川の水質現況 2. 河川(湖沼等を含む)の水質，http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha01/05/050726/050726_3_.html，2001。
- 3) 国土交通省近畿地方整備局大和川工事事務所：大和川水質データ <大和川の水質動向>，http://www.yamato.moc.go.jp/YKNET/kireini/d_02_c.html
- 4) 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。
- 5) 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。
- 6) 窪原拓馬・井伊博行・平田健正・江種伸之・石塚正秀・伊勢達男・宮川勇二：大和川流域における河川水の水質特性について，水工学論文集，第45巻，pp. 985-990，2001。
- 7) 応用地質株式会社：大和川流域水質保全検討(その2)業務報告書，2001。
- 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。

(2001. 10. 1受付)