

(17) 紀ノ川の水質特性と流域内の物質負荷量の算定について

The river water quality and estimation of pollutant loads in the Kinokawa catchments

谷口正伸*, 井伊博行**, 江種伸之**, 平田健正**, 荒木直哉***

Masanobu TANIGUCHI *, Hiroyuki. II **, Nobuyuki. EGUSA **, Tatemasa HIRATA **, Naoya ARAKI ***

ABSTRACT; Water quality of the Kinokawa River has not been satisfied with the Japanese environmental quality standard. Then, origins of pollution of Kinokwa River were analyzed by L-Q equation and pollutant load per unit production using a field survey result and previous data. As a result, BOD and T-N values calculated from L-Q method were in good agreement with those calculated from pollutant load unit production method. The difference of T-P values between two methods was twice. Pollutant load source was estimated by pollutant load per unit production method. Main sources of BOD, T-N, and T-P in Kinokawa catchments were estimated to be domestic sewage, orchard, and industrial wastewater respectively. Comparing lower and upper stream of Kinokawa catchments, main sources of BOD and T-P in the upper stream were forest. Main sources of BOD and T-P in the lower stream were domestic sewage and industrial wastewater. Main sources of T-N in both streams were orchards. Therefore, each main source was various and comprehensive plan is necessary for controlling river water quality.

KEYWORDS; Kinokawa, land use, L-Q equation, pollutant load per unit production, BOD, T-N, T-P

1 はじめに

われわれが普段、生活の中で利用する河川水は生活用水、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、し尿、工場排水などを起源とする汚染物質が増加し、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⁾。調査対象地域である紀ノ川においても、一部の地域では排水規制の強化、下水道の整備、浄化用水の流入などにより水質の改善がみられるが、紀ノ川下流の船戸でのBOD75%値は環境基準値 (A類型: 2.0mg/l 以下) を超過する年がある。また、流域には環境基準値を達成できない支流河川もあり、水質悪化が問題となっている²⁾。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を目的とし、土地利用形態が紀ノ川の水質に与える影響について考察するため、原単位法を用いた負荷量解析を行った。

2 対象流域概要

図-1は紀ノ川流域の国土交通省および現地調査の観測地点を示す。調査対象流域の紀ノ川は日本最多雨地帯である奈良県南部の大台ヶ原を水源とし、北西に流れた後、西南西へ進路を変え、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の一級河川である。主に左支川では上流から秋野川、

* 和歌山大学大学院システム工学研究科博士後期課程(Graduate School of Systems Engineering, Wakayama University)

** 和歌山大学システム工学部環境システム学科(Department of Systems Engineering, Wakayama University)

*** 和歌山大学大学院システム工学研究科博士前期課程(現在 岩出町役場 Town government of Iwade)

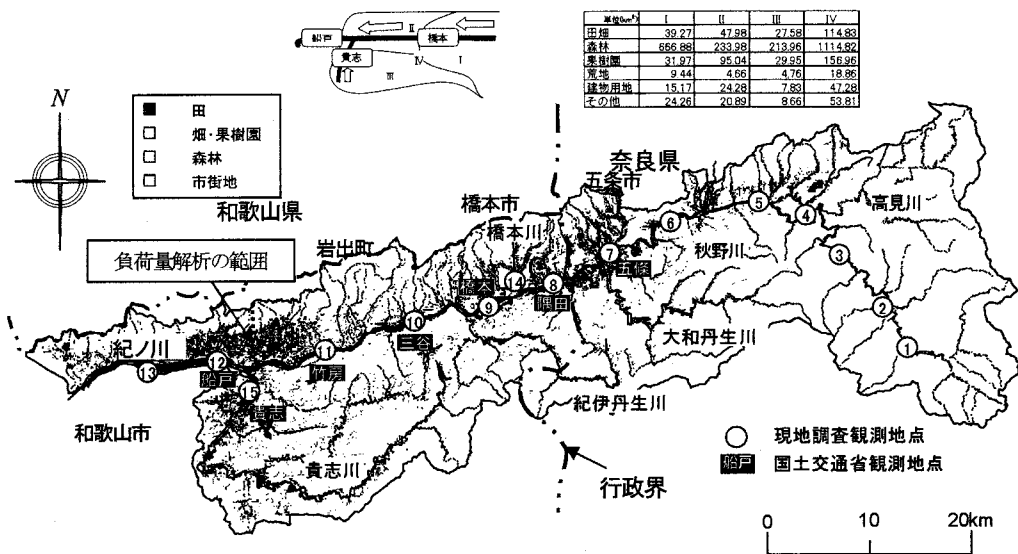


図-1 紀ノ川流域の観測地点

大和丹生川、紀伊丹生川、貴志川などがあり、右支川では高見川、橋本川などがある。①～⑮は現地調査の地点を示し、白抜き文字が国土交通省の観測地点である。ここで、国土交通省のデータは最上流部のデータは五条であり、その上流の変化を現地観測のデータを用いて考察を行う。流域内には奈良県、和歌山県に計23の市町村がある。また、紀ノ川流域の給水人口は約70万人であり、重要な水源となっている³⁾。流域人口は岩出町や橋本市などで大幅に増加しており、一部の市町村で過疎化により減少しているが、流域全体では増加傾向にある。上流部は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、主に針葉樹による森林地帯となっている。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みられるようになっていく。橋本市から和歌山市の間では、桃、柿、みかん等の果樹園の割合が多くなっている。このように主に土地利用は上流から森林、農地、果樹園の順に多く分布する。

3 紀ノ川の流下に伴う水質特性の変化について

3.1 現地調査による紀ノ川の流下に伴うイオン濃度の変化

上流からの詳細な変化を見るため、2000年7月に最上流から15地点の調査を行い、紀ノ川全域を調査対象地とした。現地では水温、pH測定と共に、一般水質分析用に採水を行い、採水したサンプルは冷暗所に保管され、分析の直前に孔径0.45 μ mのメンブランフィルターで濾過を行い、懸濁物を除去した。サンプルの分析において、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により測定した。

図-2は紀ノ川本流での溶存成分の濃度変化を示す。2000年7月の調査における紀ノ川本流での各溶存イオンの上流から下流にかけての濃度変化を示したものである。すべての物質濃度は河川の流下とともに増加している傾向があるが、その変化は一様ではない。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みられたが、調査地点3から下流にかけて、濃度変化はほとんどみられず、ほぼ一定の濃度であった。しかし、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類似した変化を示しており、上流ではあまり濃度は増加せず、調査地点の7(五条)から下流にかけて濃度が増加する傾向がみられた。以上の結果と土地利用から、紀ノ川上流域においてカルシウムイオンと重炭酸イオンの主な濃度変化の要因となるのは、流域に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、石灰岩の溶解であり、

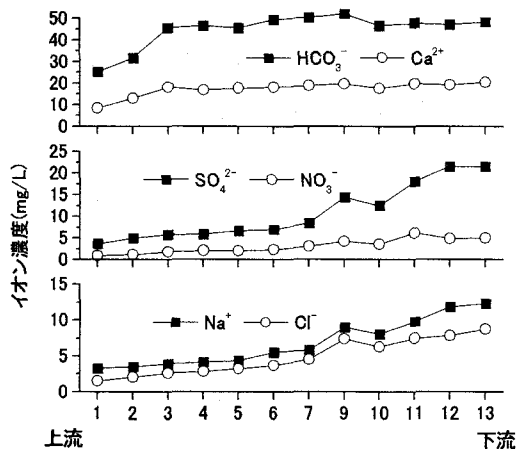


図-2 紀ノ川本流でのイオン濃度の変化

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⁴⁾。一方、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、人間活動に伴い生活・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⁵⁾。この結果、人的影響の見られたイオンについては調査地点7(五條)からデータの多い国土交通省のデータを用いて考察することができると考えられる。

3.2 5年間の紀ノ川本流での有機物及び栄養塩の濃度変化

図-3はT-N(全窒素)、T-P(全リン)、BODの過去5年間の流下に伴う濃度変化を示す。年間での変化を考察するため、国土交通省の1995年から1999年までのデータを使用した。T-N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。5年間では1995年以降濃度が各地点で増加の傾向である。しかし、T-Pの濃度は、五條から三谷までは5年間を通じ約0.02mg/Lと低い値を示しているが、竹房では約0.14mg/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の土地利用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ことから、これらの土地利用の違いにより、T-P濃度の急上昇を引き起こしている可能性があると考えられた。BODは年により変動が大きい、全体的にみると流下に伴い濃度が増加する傾向がみられた。

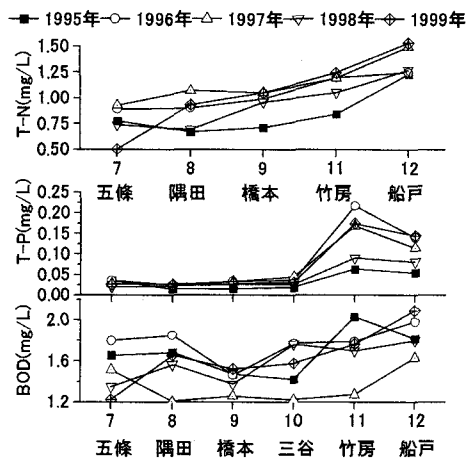


図-3 5年間のT-N, T-P, BODの濃度変化
船戸 1995-1999

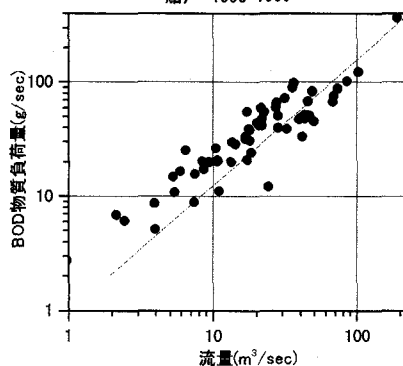


図-4 船戸における流量とBOD 負荷量との関係

4 物質負荷量の算定

4.1 L-Q式による物質負荷量(実測負荷量)の算定方法

ここでは国土交通省から入手した水質、流量データを用いて、L-Q式から有機物や溶存イオンの物質負荷量を算定し、その算定結果から流域区分ごとの物質負荷量を計算し、流域区分ごとの物質負荷量と土地利用との関係について考察した。物質負荷量を求めるには、流量と濃度の積により求める事が出来るが、年間の平均的な物質負荷量を求める際には流量、水質データの観測頻度によりいろいろな算定方法がある⁷⁾。本研究で取り扱うデータは水質の観測が1ヶ月から3ヶ月に1度であり、流量は毎日観測されている。そこで、本研究では図4に示すように、流量-負荷量相関図を作成し、次式(1)のような相関式(L-Q式)から年間の負荷

総量を算定する方法を用いた。

$$L = aQ^b \quad (1)$$

ここに、 L ：実測負荷量、 Q ：流量、 a 、 b ：それぞれ定数であり、得られた結果を図5に示す。両対数グラフの縦軸に負荷量を、横軸に流量をプロットした場合概ね直線関係が得られ、その勾配が定数 b を与える。上式のような相関式を求めることにより、日流量から水質を観測していない日でも日負荷量を求める事が可能になり、1年間積算することによって年間の物質負荷量を算出する事が出来る⁷⁾。この場合 L - Q 式には、低水時、高水時のデータを出来るだけ多く含む必要があるが、本研究では約10%の高水時の水質データが得られなかったため、洪水時などの高水時における負荷量も、 L - Q 式からの外挿となった。しかし、河川への負荷の影響を考察する場合、平水時の負荷量が重要であるため、解析としては十分に利用できる指標であると考えられる。

4.2 流域区分による物質負荷量原単位の違い

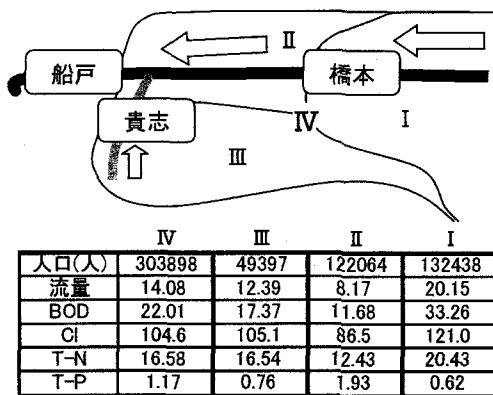
物質負荷量の地点から地点までの増分を流域区分ごとの人口で除した値を、単位人口あたりに換算した実測負荷量、流域区分ごとの面積で除した値を、単位面積あたりに換算した実測負荷量とし、それぞれその流域区分での土地利用との関係について考察した。図5に各流域区分での単位人口あたりと単位面積あたりの実測負荷量を示す。ここで、流域区分はⅠ橋本流域、Ⅱ橋本から船戸の本流沿いの地域、Ⅲ貴志川流域、Ⅳ船戸から上流の全流域である。ここで、Ⅱの橋本から船戸の本流沿いの地域はⅣからⅠとⅢを差し引いた値である。

塩素イオンは流域区分ごとと単位人口あたりの実測負荷量の違いが小さいことから、塩素イオンの実測負荷量は生活排水による影響が大きいと言える。また、BODは塩素イオンとともに生活排水の影響を強く受けると考えられる物質であり、単位人口あたりの実測負荷量は流域区分ごとに違いがあるので、1人あたりの生活排水からの負荷量が同じ日本の同一流域で異なるとは考えられないことから、BODの実測負荷量は処理形態別の違いもしくは生活排水以外からの影響があることが考えられる。しかし、T-N、T-PはⅡで単位面積あたりの実測負荷量が大きくなっていることから、この地域では果樹の栽培が盛んであるために施肥の影響により、T-N、T-Pが多量に河川に流入している可能性があると考えられた⁶⁾。

5 汚濁負荷量解析

5.1 結論及び用語の定義

BODやT-N、T-Pの実測負荷量に違いが見られたため、さらに詳細な負荷源を解明するため、紀ノ川流域での流達負荷量を算定し、実測負荷量との比較検討を行う。用語の定義を右に示す。流達負荷量は自然系（水田、畑、果樹園、森林）、生活系、産業系に



単位人口当たりの物質負荷量(g/1人/day)

	Ⅳ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅰ
面積(km ²)	1427	295	331	801
流量	3.00	2.08	3.01	3.33
BOD	4.69	2.91	4.31	5.50
Cl	22.27	17.61	31.90	20.01
T-N	3.53	2.77	4.59	3.38
T-P	0.25	0.13	0.71	0.10

単位面積当たりの物質負荷量(kg/km²/day)

地点	a				b				R(相関係数)			
	BOD	Cl	T-N	T-P	BOD	Cl	T-N	T-P	BOD	Cl	T-N	T-P
五條	230	10.06	1.14	0.04	0.82	0.74	0.83	0.82	0.75	0.96	0.87	0.72
橋本	0.99	16.85	0.82	0.02	1.10	0.71	1.03	1.07	0.96	0.97	0.99	0.97
貴志	2.14	17.37	1.37	0.11	0.79	0.86	0.96	0.72	0.88	0.96	0.99	0.93
船戸	0.97	35.88	2.24	0.13	1.10	0.82	0.85	0.89	0.93	0.95	0.95	0.88

図-5 流域区分別の単位人口及び単位面積での実測負荷量

発生負荷量：各汚濁源から発生する量
排出負荷量：各汚濁源から河川に排出する量
流達負荷量：水質基準点に流達する量
排出率 = $\frac{\text{排出負荷量}}{\text{発生負荷量}}$
流達率 = $\frac{\text{流達負荷量}}{\text{排出負荷量}}$

分類し、それぞれ原単位法を用いて算定した。実測負荷量はL-Q式により求めたものである。自然系、生活系、産業系の各汚濁源から発生する量を発生負荷量とし、実際に河川に排出される量を排出負荷量とする。また、排出負荷量から河川の水質基準点に達する量を流達負荷量とし、流達負荷量と実測負荷量とする。

5.2 原単位を用いた負荷量の算定方法

(1) 生活系排出負荷量

生活系からの排出負荷量を求めるには、1人1日あたりの発生原単位に流域内の人口を乗じる。ここで河川への排出量を評価するには、市町村別に流域内の生活用水の処理形態を考慮する必要がある。1：公共下水道、2：単独処理槽、3：合併処理槽、4：汲み取り式、5：農業集落排水事業に分けて算定する。次に、処理形態別人口に処理形態別の排出率をかけることによって、処理形態別の排出負荷量の和が各市町村の排出負荷量となり、各市町村の合計が流域における排出負荷量である。式(2)に生活系排出負荷量の算定式を示す。

$$L_{pl} = \sum_i \sum_j (G_L \times P_i \times R_{ij} \times B_j \times 365 / 10^6) \quad (2)$$

ここに L_{pl} は生活系排出負荷量(t/year)、 i は各自治体である。 j は各処理形態を表し、また、 G_L は発生原単位(g/人/day)、 P_i は各自治体の人口、 R_{ij} は処理形態別普及割合(%), B_j は処理形態別排出率(%)を表す。表-1は流域内市町村の人口及び、処理形態別普及率を示す。処理形態は和歌山県域においては和歌山県ホームページ⁸⁾より、奈良県域においては、奈良県廃棄物対策課、下水道課、農林部耕地課より入手したデータを用いた。表-2

に生活系発生原単位及び処理形態別排出率を示す。生活系発生原単位はBOD、T-N、T-Pについて、文献7の値を用いた。処理形態別の排出率と下水道の排出率は、文献7の値を用い、単独処理槽、合併処理槽、汲み取り式、農業集落排水事業に関してはそれぞれ、発生原単位のうち、生活雑排水とし尿に含まれる割合から、それぞれの処理率を計算して求めた。以上により、式(2)によって求めた各市町村の生活系排出負荷量の総和を紀ノ川流域における生活系排出負荷量とする。

(2) 産業系排出負荷量

産業系の排出負荷量は、流域内市町村の中分類ごとに定められた排出原単位に流域内の事業所数の割合を乗じたものを流域全体で合計する。表-3に中分類別排出原単位の計算結果を示す。また、式(3)に産業系排出負荷量の式を示す。

$$D_i = \sum_i \sum_j (G_j \times M_{ij} \times C_j \times 365 / 10^6) \quad (3)$$

ここで、 i は自治体別、 j は中分類別に、 D_i は産業系排出負荷量(t/year)、 G_j は中分類 j の排出原単位(g/day/百万円)、 M_{ij} は自治体 i の中分類 j の工業出荷額(百万円)、 C_j は自治体 i の中分類 j の総事業所数に占める割

表-1 流域内市町村の人口及び処理形態別普及率(%)

	i	P_i	R_{i1}	R_{i2}	R_{i3}	R_{i4}	R_{i5}
和歌山市	1	394095	12.6	43.2	10.5	33.6	0.0
海南市	2	47203	0.0	9.9	24.1	66.0	0.0
橋本市	3	55610	0.0	40.5	36.7	22.7	0.0
野上町	4	8576	0.0	13.2	18.0	68.8	0.0
美里町	5	4357	0.0	14.7	24.8	60.5	0.0
打田町	6	15253	0.0	19.9	18.7	61.5	0.0
粉河町	7	17326	0.0	20.8	20.9	58.4	0.0
那賀町	8	8996	0.0	11.6	22.5	65.9	0.0
桃山町	9	8214	0.0	24.0	13.6	62.5	0.0
貴志川町	10	21840	11.4	26.7	11.7	50.3	0.0
岩出町	11	48146	0.0	25.8	14.7	59.5	0.0
かつらぎ町	12	20918	0.0	6.0	33.5	60.4	0.0
高野町	13	15817	0.0	6.3	48.2	45.5	0.0
九度山町	14	6271	0.0	2.4	39.9	57.7	0.0
高野町	15	4947	68.8	6.4	4.9	19.8	0.0
五條市	16	36378	44.1	16.9	2.2	36.8	0.0
吉野町	17	11561	11.2	30.4	14.4	41.5	2.5
大淀町	18	20837	20.2	25.9	35.0	18.9	0.0
下市町	19	8668	6.7	37.9	9.1	46.3	0.0
黒滝村	20	1254	0.0	0.0	34.7	65.3	0.0
西吉野村	21	4082	0.0	13.7	6.2	76.4	3.8
川上村	22	2660	0.0	69.1	4.1	26.7	0.0
東吉野村	23	3176	0.0	8.3	11.0	80.6	0.0

表-2 生活系発生原単位(g/1人/day)及び処理形態別排出率(%)

	G_L	B_1	B_2	B_3	B_4	B_5
BOD	58.0	7.0	80.0	10.0	67.5	10.0
T-N	11.0	61.0	76.7	49.0	16.9	49.0
T-P	1.3	39.0	50.0	65.0	31.0	64.0

合である。ここで、排出原単位は式(4)で示される。

$$G_j = \frac{\sum_k J_k \times K_k}{\sum_k M_k} \quad (4)$$

ここで、 k は中分類 j における細分類、 J_k は細分類 k の工場排水水質(mg/L)、 K_k は細分類 k の工場排水量(m³/day)、 M_k は細分類 k の工業出荷額(百万円)である。式(4)で示されるように、排出原単位を求めるにあたり、細分類別工業出荷額、工場排水量が必要である。しかし、対象流域内での全自治体で細分類別の出荷額を整備されていないため、今回は流域別下水道整備総合計画調査 指標と解説⁷⁾、平成12年 工業統計調査 産業細分類別工業統計表を用いて和歌山県平均の原単位を求めて、利用することにした。再分類 k の排水量は細分類の排水量原単位 (m³/day/百万円) に和歌山県の細分類出荷額を乗じて求めた。また、事業所等から発生した汚濁物質は公共用水域には直接排出されずに、水質汚濁防止法や下水道法により、一定の排水基準を満たしてから排出される⁹⁾。今回は規制対象の事業所に関するデータが得られなかったため、平均排水量 50m³/s 以上、かつ工場発生水質が水質汚濁防止法の排水基準値より高い細分類では排水水質として排水基準値を用いた。

(3) 自然系負荷量

表-4 に自然系の土地利用別排出原単位の計算結果を示す。自然系からの排出負荷量も生活系、産業系と同様に排出原単位(kg/km²/year)に土地利用別面積(km²)を乗じて求めた。ここで、自然系の排出負荷量は処理されずに直接河川に流れるため、発生源単位をそのまま排出原単位に用いる。BOD の発生原単位は文献から得られなかったが、COD の原単位は得られる。BOD の発生原単位はBOD 値とCOD 値にほぼ正の相関があることから¹⁰⁾、閉鎖性水域を対象としたCOD 原単位⁷⁾を用いて、BOD 原単位を換算して求めた。COD、BOD の原単位と比流量のそれぞれの関係を式(5)、(6)に示す。

$$\text{COD} : Gn = 0.1486 \times q^{0.8763} \times 365 \quad (5)$$

$$\text{BOD} : Gn = 0.0702 \times q^{0.9671} \times 365 \quad (6)$$

ここで Gn は発生原単位(kg/km²/year)、 q は比流量(l/km²/s)を示す。紀ノ川流域の船戸における比流量は25.69l/km²/sであるため、CODは11110 kg/km²/year、BODは7048 kg/km²/yearとなり、BODとCODの比は0.63:1となるため、COD原単位の0.63倍の値をBOD原単位として用いた。T-Nの発生原単位は、文献⁷⁾の水田、畑地、森林の原単位の平均値を用いた。一方、紀ノ川流域で主に栽培されているみかん、桃、柿はそれぞれ30t/km²/year、16t/km²/year、15t/km²/yearのT-Nが施肥される¹¹⁾。ここで、みかんのT-Nの原単位は文献より⁷⁾、14.5t/km²/year⁷⁾であるが、桃、柿の原単位が求められていない。そこで、みかんの施肥料と発生原単位の割合から、桃、柿のT-Nの原単位を求めた。この3種類の作物が流域での主な作物

表-3 中分類別汚濁負荷排出原単位(g/百万円/day)

(分類番号) 産業中分類	BOD	T-N	T-P
(12) 食料品	38.78	5.26	0.83
(13) 飲料・たばこ・飼料	14.05	1.42	0.20
(14) 繊維工業	38.44	13.15	1.89
(15) 衣服・その他の繊維製品	7.73	1.09	0.10
(16) 木材・木製品(家具を除く)	3.68	0.18	0.03
(17) 家具・装備品	2.25	0.10	0.06
(18) パルプ・紙・紙加工品	7.47	0.80	0.02
(19) 出版・印刷・同関連産業	1.71	0.10	0.03
(20) 化学工業	24.71	9.75	1.28
(21) 石油製品・石炭製品	3.20	0.28	0.11
(22) プラスチック製品	5.17	0.27	0.15
(23) ゴム製品	1.50	0.14	0.26
(24) なめし革・同製品・毛皮	216.72	13.32	1.55
(25) 窯業・土石製品	2.70	0.24	0.05
(26) 鉄鋼業	1.34	0.38	0.03
(27) 非鉄金属			
(28) 金属製品	2.88	0.88	1.24
(29) 一般機械器具	1.66	0.76	0.78
(30) 電気機械器具	7.06	0.73	0.42
(31) 輸送用機械器具	7.08	1.13	1.04
(32) 精密機械器具	2.25	0.52	0.13
(34) その他	29.82	9.72	9.54

表-4 土地利用別汚濁負荷排出原単位(kg/km²/year)

	水田	畑	果樹園	森林
BOD	7078	1694	1694	1586
T-N	1280	6710	9827	440
T-P	165	72	125	34

表-5 年間負荷量に関する平均的なBOD流達率

比流量($\text{m}^3/\text{km}^2/\text{day}$)	BOD流達率
2000未満	0.1
2000～3000	0.15
3000～4000	0.3
4000～5000	0.45
5000～6000	0.75
6000以上	1

表-6 本解析で用いた流達率

	橋本	船戸	貴志
BOD	0.33	0.25	0.17
T-N	0.78	0.73	0.65
T-P	0.78	0.69	0.54

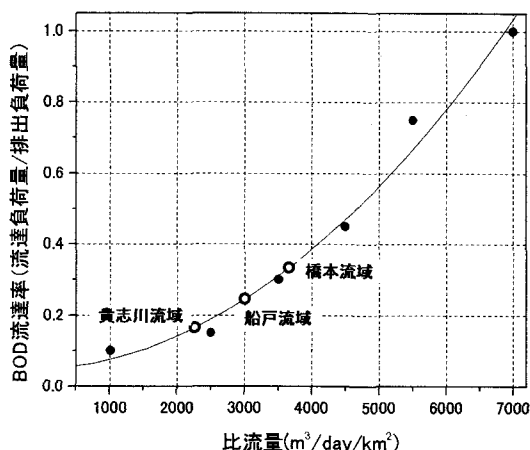


図-6 年間負荷量に関する BOD 流達率と比流量の関係

となっているため、この3種類の作物の平均値を紀ノ川流域での果樹園の原単位とした。T-P の発生原単位も T-N と同様に水田、畑地、森林、については文献⁷⁾の平均値を用い、果樹園においては、文献⁷⁾の中から、栽培形態が紀ノ川流域と類似している地域の原単位を用いた。

5.3 流達率の算定方法

負荷量解析を行ううえで、河川に流達する負荷量を正しくつかむことは重要な事項である。一般に流域の全負荷量が水域に流入している地点

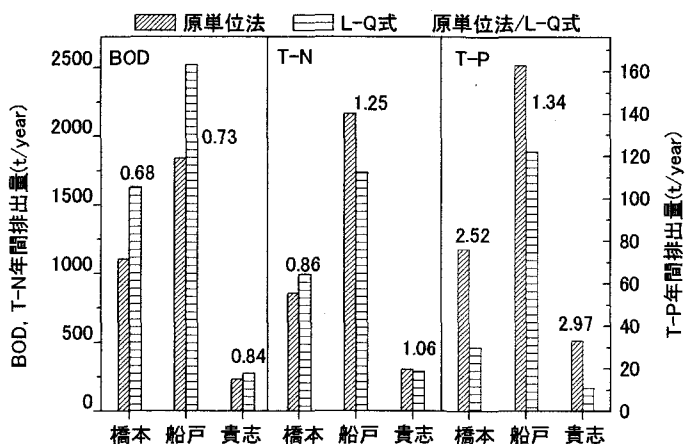


図-7 負荷量解析結果とL-Q式からの算定結果との比較

において、実測した排出負荷量は流域内の排出負荷量に比べてかなり小さいのが通常である。これは、汚濁物質が流下する過程で沈殿したり、酸化を受けたり、あるいは汚水が地下浸透するためだと考えられる。このため、流達率を設定しなければならない。BOD の年間負荷量とその流達率についての既存の資料はあまり多くないが、文献⁷⁾の整理した結果によれば、年間負荷量に関する平均的な流達率は、流域面積や流域の人口密度などとはあまり関係なく、流域の比流量と比較的相関があると報告されている。このため、対象流域について実測値に基づいた流達率を定める事が出来ない場合は、当該流域の比流量に応じて、表-5 に示す文献値を用いるものとする。また、表-6 に本解析に用いた流達率を示す。図-6 に BOD 流達率と比流量の関係を示すように、表 5 の比流量の中間値と流達率の関係から●で示すように、比流量と BOD 流達率の関係から近似式を求め、○で示すように本研究の各地点の比流量から逆算して流達率を求めた。また、T-N, T-P の流達率も流域面積に依存するが、流達率に関する、平均的な値の資料がないため、文献値¹²⁾の中から本流域に最も流域面積の近い流域での値を用いた。

5.4 解析結果の精度

負荷量解析結果の精度を確認するため、原単位法から求めた流達負荷量と L-Q 式から求めた実測負荷量との比較検討を行う。実測負荷量は橋本、船戸、貴志の3地点のデータを用い、橋本流域は表1に示す紀ノ川

流域市町村の内、奈良県内の市町村全てと橋本市の和を用いた。貴志川流域は貴志川流域と紀ノ川流域にまたがる市町村に関して、各流域の面積割合を国土数値情報から GIS 上で作成し、その面積割合を市町村別の排出負荷量に乗じて求めた。船戸から上流の全流域は紀ノ川流域市町村のうち、和歌山市を省き、岩出町の 1/2 の値を用いた。図-7 は負荷量解析の原単位法から求めた流達負荷量、L-Q 式の結果およびその比較値を示す。原単位法の結果は流達率の値に大きく左右されるため、比較値(原単位法の結果/L-Q 式の結果)だけで、精度を評価することができないが、同じ水質項目で流域区分での違いをみると、BOD、T-N は地点による差は小さく、精度の良い解析が行えた。一方、T-P に関しては船戸と橋本で比較値に約 2 倍の差がみられ、精度の良い結果とはならなかった。このことは年間排出量が小さいため、あるいは負荷源が BOD、T-N と異なっていることから、誤差が大きくなっていると考えられる。しかし、地域別には原単位法と L-Q 式で同様の傾向が顕著に現れているため、解析に十分対応できると考えられる。

5.5 紀ノ川流域の汚濁負荷量

図-8 に紀ノ川流域の負荷源別排出負荷量を示す。紀ノ川流域では BOD の排出負荷量が多く 7337t/year、T-N が 2930t/year、T-P は 231t/year

となっている。生活系は BOD の排出量が大きく、T-N、T-P は割合が低くなっている。一方、果樹園は T-N のみ高い割合を示し、BOD、T-P は低い割合を示した。産業系は T-P の割合が高い傾向を示した。森林は BOD、T-N、T-P とともに同様の割合である。田の排出負荷量は低い傾向である。このことから、主な BOD の負荷源は生活系、T-N の負荷源は果樹園、T-P の負荷源は産業系であることがわかった。さらに詳細な負荷源を考察するために、紀ノ川流域の和歌山県域と奈良県域の負荷量形態の違いについて考察する。図-9 は県別の排出負荷量及び排出負荷割合を示す。排出負荷量を比較すると、BOD、T-N、T-P とともに和歌山県の排出負荷量の割合が多くなっている。和歌山県と奈良県で比較すると、BOD、T-N の排出負荷量は 2 倍程度であるが、T-P は約 3 倍ある。BOD をみると、自然系の割合は半分に減っており、和歌山県、奈良県共に負荷量は変わらない。しかし、生活系、産業系はともに増加しており、和歌山県に負荷源があると考えられる。一方、T-N の負荷は和歌山県と奈良県で産業系、生活系、自然系の負荷割合が変化せず、自然系の負荷が大きい。T-P をみると、産業系の割合が和歌山県で大きくなっている。一方、自然系は和歌山県の T-P の割合は約半分になっており、自然系の T-P の排出負荷量は産業系に比べ、奈良県から和歌山県にかけての増加はわずかである。したがって、T-P の負荷源は和歌山県の産業系にあるとわかった。

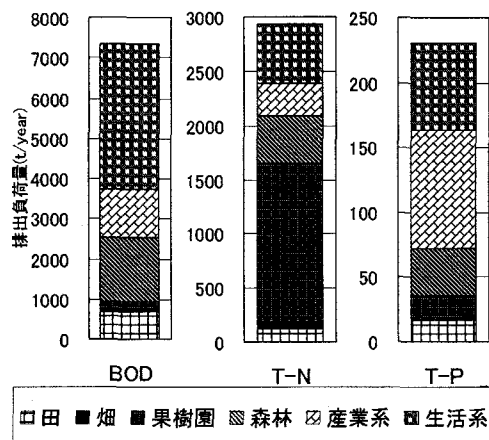


図-8 紀ノ川流域の負荷源別排出負荷量

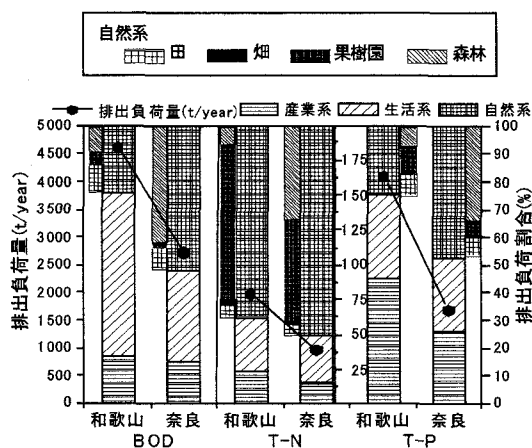


図-9 県別の排出負荷量及び排出負荷割合

6 まとめ

本研究では紀ノ川の水質が近年 BOD の環境基準値を満足できていないという現状から汚濁形態の解明を目的として現地調査や既往データの解析を行った。紀ノ川本流での各溶存イオン、BOD、T-N、T-P の上流から下流にかけての濃度変化を解析した結果、上流から流下するにつれて、各濃度の増加に違いがみられた。また、面積別、人口別に負荷量を調べた結果、生活、産業、農地などの影響があることが推察された。そこで、原単位法による負荷量解析をした結果、BOD、T-N は地点による差は小さく、精度の良い解析結果が得られたが、T-P は誤差が大きい結果となった。しかし、T-P の原単位法と L-Q 式の結果は、地域ごとに同様の傾向を示したため、ある程度の指標として利用できると考えられた。水質特性の解析の結果、BOD 値は竹房で大きく増加しており、負荷量解析の結果、生活系に負荷源があることがわかった。T-N 濃度は上流から流下につれて増加しており、五条市から下流で大きく増加する。負荷量解析の結果からは奈良県と和歌山県を比較すると、和歌山県が 2 倍の負荷がある。T-N 負荷は自然系によるもので紀ノ川流域の排出負荷量から、果樹園に負荷源があると考えられる。一方、T-P 濃度は竹房で急激な濃度増加が見られた。T-P の負荷量解析を行うと、紀ノ川流域の産業系の T-P が高いことから、和歌山県の産業系に負荷源があることが判明した。したがって、BOD、T-N、T-P は負荷源が多岐にわたっており、生活、工業、果樹園での総合的な水質改善計画を実施しなければならないと考えられる。

参考文献

- 1) 多賀光彦, 那須淑子: 地球の科学と環境, 第二版, 三共出版株式会社, 1998
- 2) 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
- 3) 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
- 4) 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
- 5) 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
- 6) 荒木直哉, 井伊博行, 平田健正, 金子泰純, 平出純一, 川上義之, 紀ノ川の物質負荷量の推定と土地利用との関係, 水工学論文集, 第 46 巻, pp. 241~246, 2002
- 7) 建設省都市局下水道部監修: 流域下水道整備総合計画調査 指針と解説, 日本下水道協会, 1999
- 8) 和歌山県庁ホームページ: <http://www.wakayama.go.jp/prefg/020300/nenkan/2002/index.html>
- 9) 環境保全対策研究会: 二訂・水質汚濁対策の基礎知識, 社団法人 産業環境管理協会
- 10) 半谷高久, 小倉紀雄: 第 3 版 水質調査法, 丸善株式会社, pp. 268-270, 1995
- 11) 熊代克己: 果樹栽培の基礎, 農文協, pp. 67-68, 2000
- 12) 浮田正夫, 中西弘: 河川の汚濁負荷流達率に関する研究, 土木学会論文集, No. 357, pp. 225~234, 1985.