

紀の川の水質特性と土地利用の関係

RELATIONSHIP BETWEEN RIVER WATER CHEMISTRIES AND LAND USE IN THE KINOKAWA-RIVER

金子 泰純¹・井伊 博行²・平田 健正³・福島 教之⁴・江種 伸之⁵・谷川 寛樹⁶
Hirozumi KANEKO, Hiroyuki I I, Tatemasa HIRATA, Takayuki FUKUSHIMA,
Nobuyuki EGUSA, Hiroki TANIKAWA

¹正会員 工修 和歌山大学助教授 システム工学部 (〒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(株) エステム (〒457-0821 名古屋市南区弥次エ町2-9-1)

⁵正会員 博(工) 和歌山大学講師 システム工学部 (〒640-8510 和歌山市栄谷930)

⁶正会員 博(工) 和歌山大学助手 システム工学部 (同上)

Soluble substances of the Kinokawa-river increased down the stream. Excluding weathering of limestone, soluble substances in the upper stream of the catchment covered with forest were very low and main components were HCO_3^- , SO_4^{2-} , Na^+ , and Ca^{2+} . Soluble substances in the upper stream of the forest catchment with limestone were high and the main components were Ca^{2+} and HCO_3^- . Ca^{2+} and HCO_3^- concentrations increased from the upper stream to the middle stream with forest, but Na^+ , Cl^- and SO_4^{2-} concentrations remained unchanged because of weathering of limestone and feldspar. In the lower stream of the catchment with farm land and housing site, the concentrations of Na^+ , Cl^- , NO_3^- and SO_4^{2-} were very high. It was concluded from the relation between land uses and water qualities that Na^+ and SO_4^{2-} origin were farmland, and Cl^- origin was sewage respectively, and NO_3^- was derived from both origins. Isotopic study of oxygen and hydrogen indicated that the river water originated from precipitation and isotopic ratios depended on mainly precipitation altitude.

Key Words : chemical composition, isotope, river water, land use

1. はじめに

奈良県南部の大台ヶ原に発し、奈良県と和歌山県を流れ紀伊水道に注ぐ紀の川は、幹川流路延長136 km、流域面積1,750km²の一級河川であり、奈良県・和歌山県下に上水道・農業用水・工業用水を供給する重要な河川である¹⁾。平成10年度の下流部の環境基準点(藤崎井堰、船戸)におけるBOD75%値は2.1mg/lで、環境基準(A類型: BOD2mg/l)を超えている²⁾。水質保全及びそのための流域管理の観点から、水質と土地利用の関係が環境同位体などを用いて研究されつつある^{3), 4)}。そこで、本研究では、紀の川の水質と流域の土地利用、地質条件との関係を明らかにするために現地調査を行い、水質との関係を考察した。

2. 調査地点と流域の概況

図-1に調査地域を示す。現地観測は、1999年7月と11月、2000年7月の3回行った。なお採水1ヶ月前の先行降雨量は、順に377.5mm, 77mm, 128.5mmであった。採水地点は、紀の川の上流から下流にかけて、99年7月は18ヶ所、11月は22ヶ所、2000年7月は23ヶ所とした。

地質は大台ヶ原付近の最上流部(大迫貯水池より上流とした)及び上流部(右支川の高見川合流点まで)は砂岩、泥岩、チャートを主に緑色岩類、石灰岩をわずかに伴う秩父帯、高見川流域と中流部の左岸は泥岩を主とし、一部に砂岩、チャート、石灰岩を伴う四万十帯、中流部の右岸は三波川帯(三波川変成岩)がみられる⁵⁾。また、上流部の一部は四万十帯であり、高見川の上流域の一部は中央構造線の北側にあたり、領家帯となっている⁵⁾。下流部(和歌山県域とした)は、紀の川沿いに中央構造線が走り、その南側(主に紀の川の左岸側)は三波川帯、北側(右岸側)は和泉層群となっている⁵⁾。

流域の土地利用は、東側の分水嶺付近には一部にまと

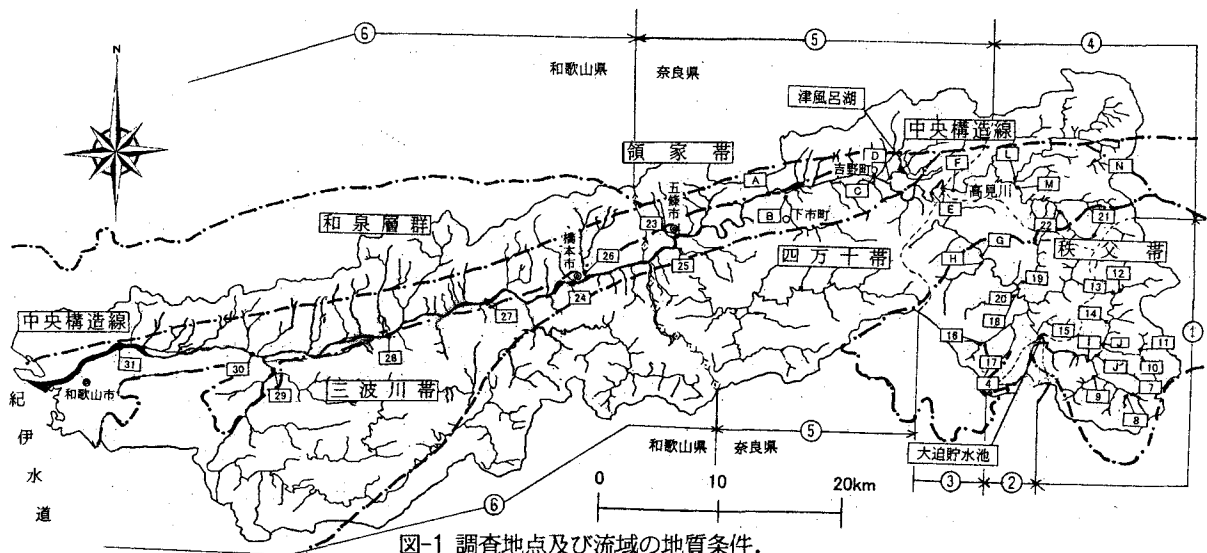


表-1 土地利用地質条件と採水地点の関係。

流域区分	主な土地利用	地 質	'99.7月の採水地点	'99.11月の採水地点	'00.7月の採水地点番号
① 最上流部	森林	秩父帯	7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14	7, J, J', I	1
② 最上流部		四万十帯	4	4	4
③ 上流部	森林及び小規模な宅地	秩父帯	16, 18, 19, 20	18, 19, 20, G, H	18, 19, 20, G, H
④ 高見川流域	森林及び小規模な宅地	四万十帯	21, 22	21, 22, N, M, L	F
⑤ 中流部	畑地・水田・宅地・森林	四万十帯・三波川帯	23	E, C, B, A, 23,	E, C, B, A, 23, 25,
⑥ 下流部	水田/畑地・樹園地・宅地・森林	三波川帯・和泉層群	24	24	24, 26, 27, 28, 29, 30, 31
⑦ ダム湖水	(大迫貯水池, 津風呂湖)		15	D	15, D

まって広葉樹が見られるが、最上流部は主に針葉樹からなる森林地域が大部分であり、上流部及び高見川流域は小集落とわずかな田畑が散在するものの大半は森林である。中流部では宅地及び農地が次第に広がり、橋本市から下流は樹園地を含む農地及び宅地の占める割合が次第に大きくなる。

3. 調査方法

(1)水質分析方法

試水は、100ml及び250mlのポリ容器に採水し、冷暗所に保管し、0.45μmのメンブランフィルターで濾過した後、溶存成分を分析した。分析方法は、カルシウムイオン、ナトリウムイオン、硫酸イオン、硝酸イオン、塩素イオンはイオンクロマトグラフィで分析し、重炭酸イオンは滴定で行った。電気伝導度及びpHは携帯用分析器を用いて現地で測定した。酸素及び水素の同位体比は質量分析計で測定した。

(2)流域区分

流域の地質条件及び土地利用が河川の水質にどのように影響するかを見るために、調査地点を表-1に示すように区分した。すなわち、①最上流部の森林地帯で秩父帯が分布する地域、②同じく最上流部の森林地帯であるが

四万十帯の分布する地域、③上流部の森林地帯で小規模の集落が散在し秩父帯の分布する地域、④上流部に合流する高見川の流域で、森林及び小規模な集落が見られ四万十帯が分布する地域、⑤中流部で畑地・水田・宅地・森林が混在し四万十帯及び三波川帯が分布する地域、⑥下流部の和歌山県域で水田、畑、樹園地、宅地の比率が高まる地域である。また、大迫貯水池 (No.15) と津風呂川流末 (No.D) は、⑦ダム湖水として別に扱う。

4. 水質分析結果

(1) 季節変化

重炭酸イオン、塩素イオン、硝酸イオン、硫酸イオン、ナトリウムイオン、カルシウムイオンの分析結果を図-2～図-7に示す。電気伝導度及び塩素イオン、硝酸イオン、硫酸イオン、ナトリウムイオン、カルシウムイオンの濃度は、下流部のNo.24を除きほとんど季節変化がない。

(2) 流域区分ごとの測定結果

① 最上流部の森林地帯で秩父帯の分布する地域

電気伝導度は41から86μS/cmと、流域で一番低く、重炭酸イオンは15～40mg/l、塩素イオンは1.2～1.9mg/l、硝酸イオンは0.5～2.4 mg/l、ナトリウムイオンは2.6～3.6 mg/l、カルシウムイオンは4～12 mg/lといずれも低

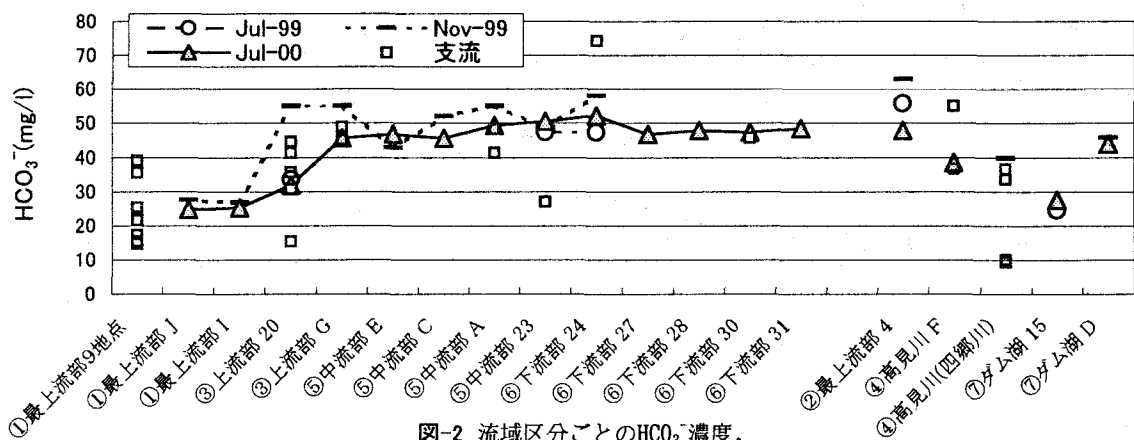


図-2 流域区分ごとの HCO_3^- 濃度.

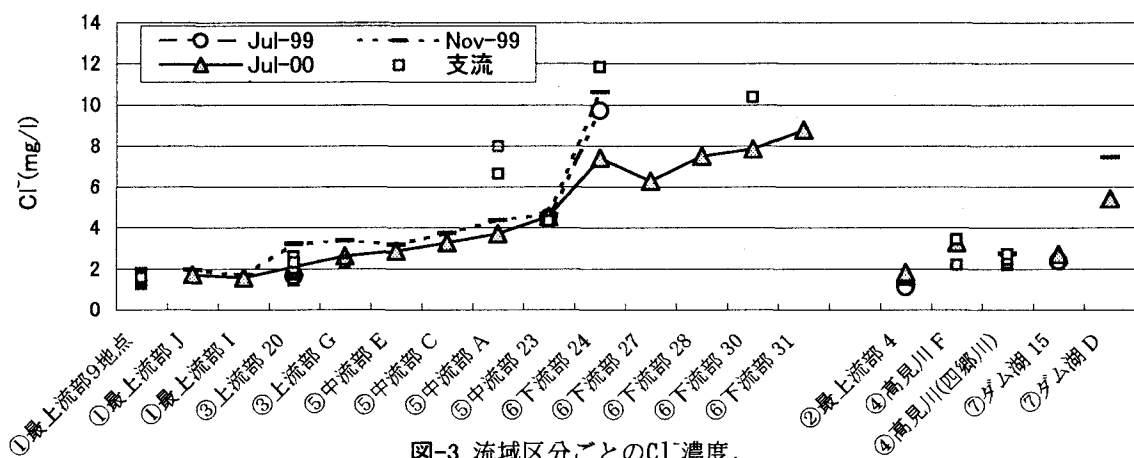


図-3 流域区分ごとの Cl^- 濃度.

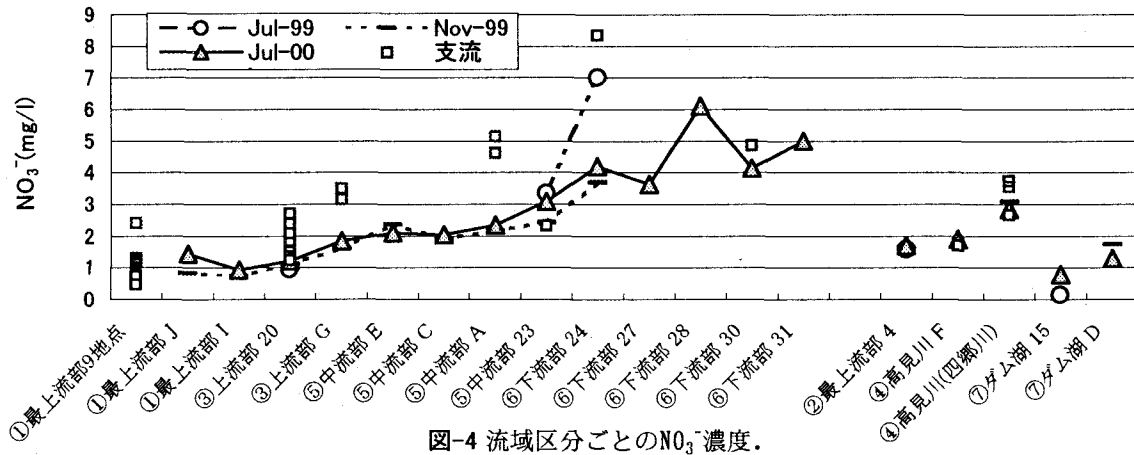


図-4 流域区分ごとの NO_3^- 濃度.

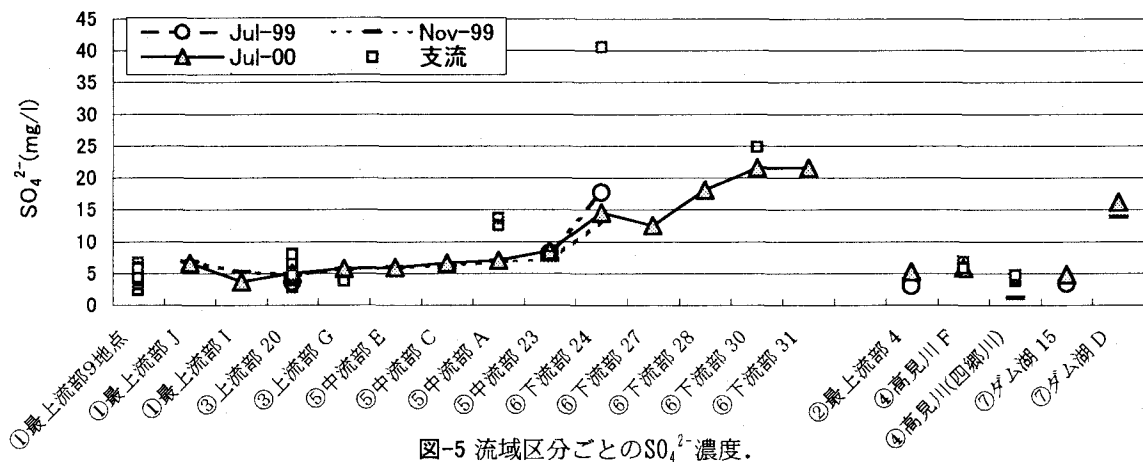


図-5 流域区分ごとの SO_4^{2-} 濃度.

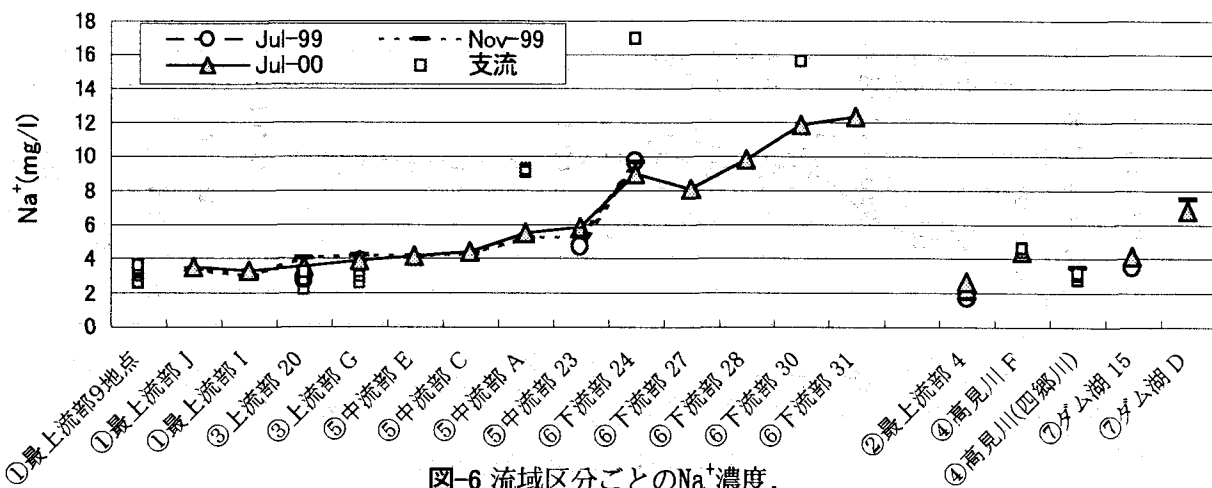


図-6 流域区分ごとのNa⁺濃度。

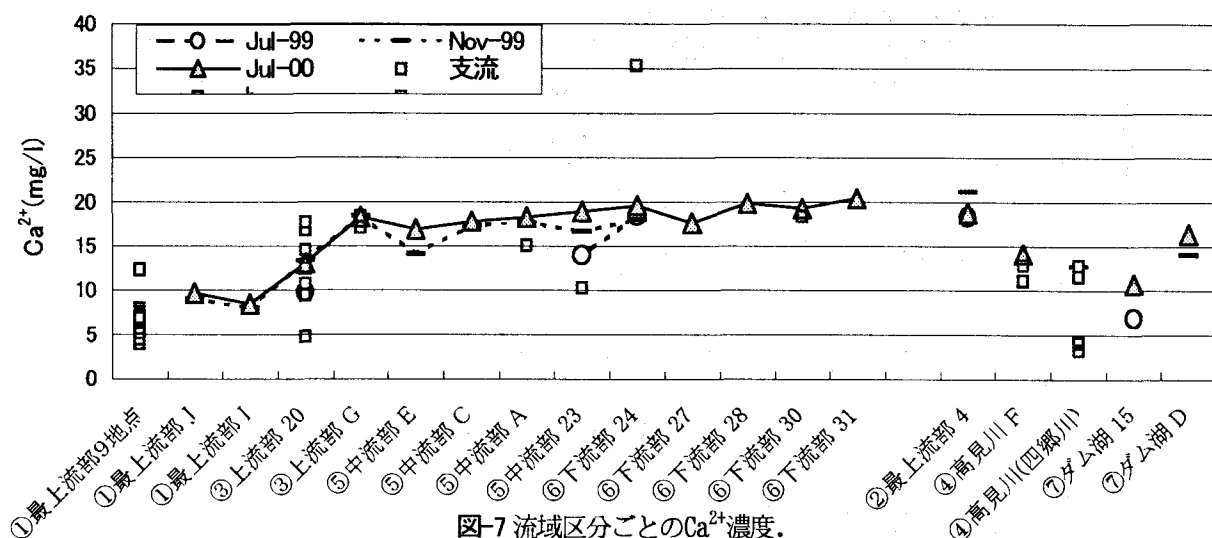
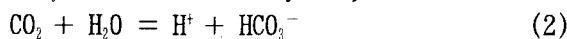
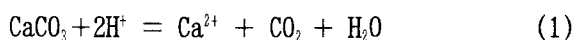


図-7 流域区分ごとのCa²⁺濃度。

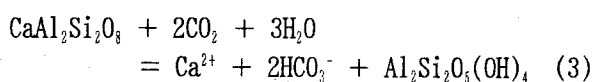
い値を示している。しかし、硫酸イオンについては2.3～6.8 mg/lであり、中流部及び高見川と同程度である。

② 最上流部の森林地帯で四万十帯の分布する地域

左支川の最上流部であり、電気伝導度は101～110 μ S/cmと中流部並みに高い。ただし、塩素イオン濃度は最大で1.8mg/l、ナトリウムイオン濃度は2.6mg/lと低く、人為的な汚染ではないと考えられる。溶存成分の中で重炭酸イオンが約60mg/l、カルシウムイオンが約20mg/lと明らかに高く、このことが同一土地利用条件の最上流部であるが秩父帯の地域との違いとなっている。採水地点周辺の河原に石灰岩の転石がみられたことから、式(1)・(2)に示すように石灰岩の溶解により重炭酸イオンやカルシウムイオンが供給されていることが原因として考えられる⁶⁾。



イオン1.6mg/l、硫酸イオン2.7 mg/l、ナトリウムイオン2.2mg/l、カルシウムイオン4.8 mg/lといずれも最上流部の最も低い値並みの濃度を示している。これ以外の地点では、電気伝導度は70から120 μ S/cm、重炭酸イオンは30～55mg/l、塩素イオンは1.6～3.4mg/l、硝酸イオンは0.95～3.5mg/l、硫酸イオンは3.5～8 mg/l、ナトリウムイオンは2.2～4.1mg/l、カルシウムイオンは9～18mg/lといずれも最上流部よりもかなり高い値である。特に重炭酸イオンとカルシウムイオンは最上流部の約2倍を示しており、下流部並みとなっているが、これは前述のように石灰岩からの溶解の可能性もあるが、石灰岩は見られなかったため、式(3)に示すようにカルシウム長石の風化による重炭酸イオン・カルシウムイオンの供給が考えられる⁶⁾。



③ 上流部の森林地帯で秩父帯の分布する地域

左支川の上多古川上流(No.16)は、電気伝導度40 μ S/cm、重炭酸イオン15mg/l、塩素イオン1.3mg/l、硝酸

④ 上流部に合流する高見川(四万十帯)の流域

高見川の左支川麦谷川上流(No.21)は、電気伝導度が40 μ S/cmと最上流部の値と同様に低く、特に重炭酸イ

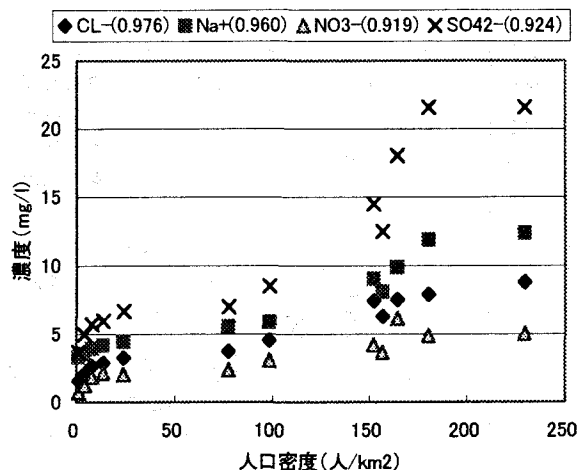


図-8 人口密度と Cl^- , Na^+ , NO_3^- , SO_4^{2-} の関係。

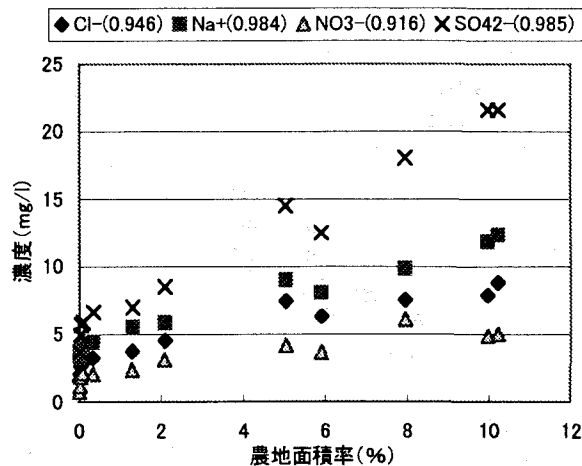


図-9 農地面積率と Cl^- , Na^+ , NO_3^- , SO_4^{2-} の関係。

オンは9~10mg/l, カルシウムイオンは3.1~4.1 mg/lと最も低い値である。なお、塩素イオン、硝酸イオン、硫酸イオン、ナトリウムイオンのいずれも上流部と同様に低い値を示している。これ以外の地点では、電気伝導度は82~92 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 重炭酸イオンは34~55mg/l, 塩素イオンは2.2~3.5mg/l, 硫酸イオンは1.1~5.8mg/l, ナトリウムイオンは2.8~4.6mg/lといずれも中流部とほぼ同じである。ただし、硝酸イオンは1.7~3.7mg/lで中流部に比べ少し高く、逆に、カルシウムイオンは11~14mg/lと少し低いことが異なっている点である。硝酸イオンが中流部の方が低いのは、⑦ダム湖のところで述べるように、大迫貯水池で硝酸イオンが消費されたためと考えられる。

⑤ 中流部

本川の中流部では、電気伝導度が100~123 $\mu\text{S}/\text{cm}$ とかなり高くなる。特に塩素イオンは2.8~4.6mg/l, ナトリウムイオンは4.1~5.8mg/lであり、この2種のイオンが上流部や中流部に比べて多くなっていることが電気伝導度の高い要因である。これは吉野町・五條市等の市街地からの生活排水が影響していると推定される。硫酸イオンも5.9~8.5 mg/lと多い。なお、硝酸イオンは2.1~3.3mg/l, 重炭酸イオンは43~55mg/l, カルシウムイオンは14~20 mg/lで、いずれも上流部と同じ程度である。また、下市町の市街地を流下するNo.B (左支川の秋野川) で、塩素イオン、ナトリウムイオン、硫酸イオン、硝酸イオンが本川より高い濃度である。

⑥ 下流部

本川の下流部では、電気伝導度が131~174 $\mu\text{S}/\text{cm}$ と高くなる。塩素イオンは6.2~8.8mg/l, ナトリウムイオンは8~12mg/l, 硫酸イオンは12~22mg/l, 硝酸イオンは3.6~6.1 mg/lと高い。なお、重炭酸イオンは45~58mg/l, カルシウムイオンは18~20 mg/lで、上流部・中流部と同じ程度である。またNo.26 (橋本川) は塩素イオン、硝酸イオン、硫酸イオン、ナトリウムイオン、重炭酸イオン、カルシウムイオンのいずれもが本川より高く、同様にNo.29 (貴志川) は塩素イオン、硫酸イオン、

ナトリウムイオンが本川より高くなっている。

⑦ ダム湖

大迫貯水池の水質は、7月だけのデータであるが、重炭酸イオン24~27mg/l, 硫酸イオン3.4~4.7 mg/l, ナトリウムイオンは3.5~4.1mg/l, カルシウムイオン6.9~10.7 mg/lであり、上流部の平均と同じ程度であるが、塩素イオンは2.3~2.7mg/lで少し高い。また、水が停滞するためにプランクトンの増殖により硝酸イオンが消費されたと考えられ、硝酸イオンは0.13~0.78mg/lと、河川水より1オーダー低い値を示した。

津風呂川の流末地点(No.D)は、津風呂湖から2km下流に当たるのでダム湖の水質とほぼ等しいとみなしたが、塩素イオンは5.4~7.4 mg/l, ナトリウムイオンは6.8~7.5 mg/l, また硫酸イオンも13.8から16.2 mg/lと本川の下流部と並び高い値を示した。しかしながら、硝酸イオンは1.3~1.7mg/lと低く、ダム湖での硝酸イオンの消費がうかがえる。

(3) 流下に伴う濃度変化と土地利用との関係

電気伝導度は、上流から下流に流下するにつれ上昇傾向がはっきりと現れている。塩素イオン、ナトリウムイオンについては、上流部から中流部での変化は小さく、下流部では増加が明らかである。硝酸イオンについては、流下途中のダム湖での濃度低下、逆に支流の高見川流域では上流部から高い傾向がみられ、複雑な変化を示すが、下流部に至り大幅に増加する。硫酸イオンについては上流から下流まで5 mg/l前後で変化が少なく、下流部で濃度が高くなる。しかし、重炭酸イオン、カルシウムイオンは中・下流域と上流部のNo.4地点で濃度が高く、他の溶存成分とは異なる様相を呈している。

流下に伴い濃度の上昇がみられる塩素イオン、ナトリウムイオン、硝酸イオン、硫酸イオン(本川の上流から順にI, 20, G, E, C, A, 23, 24, 27, 28, 30, 31地点の濃度)と土地利用の関係を、人口密度・農地面積率を指標にみると、図-8、図-9に示すように、両者の間には比較的良好な相関

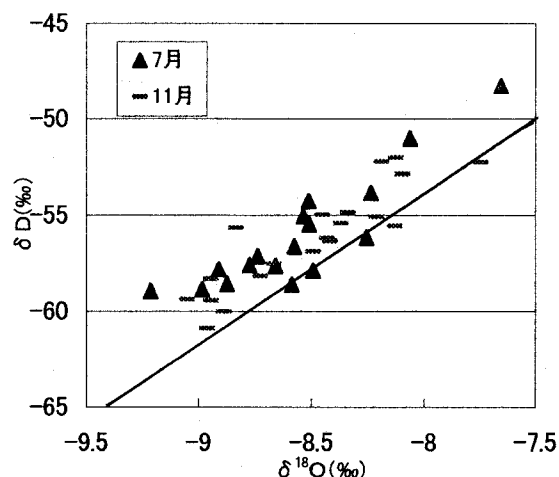


図-10 $\delta^{18}\text{O}$ と δD の関係。

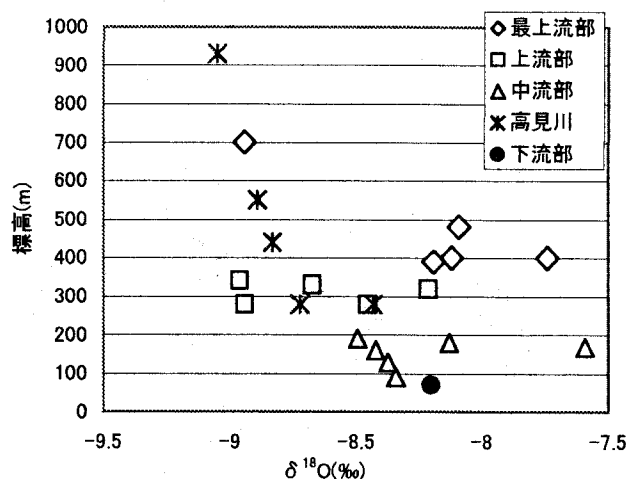


図-11 標高と $\delta^{18}\text{O}$ (11月)の関係。

があることが分かる(凡例の()内は相関係数を示す)。特に塩素イオンは人口密度との相関が高く、ナトリウムイオン、硫酸イオンは農地面積率との相関が高い。硝酸イオンは、人口密度や農地面積率よりも流域面積との相関が高い。すなわち、塩素イオンは生活廃水の影響が、ナトリウムイオン、硫酸イオンは農地の影響が強く、硝酸イオンは流域全体から流出する傾向が強い。なお、人口密度と農地面積率との相関係数は0.940を示した。

(4) 同位体比

安定同位体比は標準資料の同位体比からの偏差(δ 値)を千分率で表示したもので、式(4)で示される⁷⁾。

$$\delta = [(R_{\text{sample}}/R_{\text{standard}}) - 1] \times 1000 \quad (4)$$

ここで、 R は水素及び酸素の同位体比(D/H と H , ^{18}O と ^{16}O の比)で、 R_{sample} は対象試水、 R_{standard} は標準資料(標準平均海水)の同位体比である。

図-10に酸素、水素同位体比の関係を示す。図から、紀の川の河川水は、7月、11月ともほぼ天水直線上($\delta\text{D} = 8\delta^{18}\text{O} + 10$)にあり、降水以外の特殊な起源ではないことがわかる。また、季節変化も認められなかった。

図-11に標高と酸素同位体比(11月)の関係を示す。全般的な傾向として標高が高いほど同位体比が小さい傾向を示し標高効果がみられるが、最上流部及び上流部では標高の変化は小さいにもかかわらず同位体比が大きくなる傾向がみられる。

5. まとめ

一般化学組成と同位体比から紀ノ川の水質を調べた。その結果、紀ノ川の河川水は降水を起源とし、流下の過程で様々な溶存成分が次第に増加していることがわかった。すなわち、森林地帯の上流部の大部分を占める秩父

帯の流域では、他の地域に比べ溶存成分はいずれも低濃度であった。上流部でも四万十帯の分布する地域では石灰岩の溶解により重炭酸イオンとカルシウムイオンの増加が見られ、中流部の秩父帯でも石灰岩または長石の風化によりこれらのイオンの供給がある。塩素イオン、ナトリウムイオン、硫酸イオン、硝酸イオンは、流下とともに集落、農地が広がるにつれ増加しているが、土地利用とこれらの濃度との相関分析により塩素イオンは生活排水の影響が、またナトリウムイオン、硫酸イオンは農地の影響が強いことがわかった。ただし、硝酸イオンは、流域全体から流出する傾向にある。酸素同位体比の分析から、紀の川の河川水について標高効果が認められたが、上流部の測定値は大きくばらついていた。

参考文献

- 1) 近畿地方建設局和歌山工事事務所：一級河川紀の川流域図，1990修正。
- 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) 井伊博行 他：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，43，pp.205～210，1999。
- 4) 平田健正 他：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) 猪木幸男編：日本地質図体系 近畿地方，朝倉書店，1996。
- 6) Ii, H. and Misawa, S.: Groundwater chemistry within a plateau neighboring Matsumoto city, Japan, Environmental Geology, 24/3, pp.166～175, 1994。
- 7) 酒井均，松久幸敬：安定同位体地球化学，東京大学出版会，1996。

(2000.10.2受付)