

大阪府石川流域における河川水質と 土地利用の関係について

RELATIONSHIP OF LAND USE ON RIVER WATER QUALITY IN THE ISHIKAWA RIVER BASIN IN OSAKA PREFECTURE

井伊博行¹・平田健正²・江種伸之³・長谷部正彦⁴・
坂本康⁵・桑川高德⁶・西山幸治⁷・酒井信行⁷

Hiroyuki II, Tatemasa HIRATA, Nobuyuki EGUSA, Masahiko HASEBE,
Yasushi SAKAMOTO, Koji NISHIYAMA and Nobuyuki SAKAI

¹ 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)

² 正会員 工博 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 博(工) 和歌山大学助教授 システム工学部 (〒640-8510 和歌山市栄谷 930)

⁴ 正会員 工博 宇都宮大学教授 工学部 (〒321-8585 宇都宮市陽東 7-1-2)

⁵ 正会員 工博 山梨大学教授 工学部 (〒400-8511 甲府市武田 4-3-11)

⁶ 正会員 工修 宇都宮工業高校 (〒320-8558 宇都宮市京町 9-25)

⁷ 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)

In order to evaluate the relationship of land use to river water quality, inorganic ion concentrations and isotopic ratios were monitored in river water and groundwater in the Ishikawa river basin. Because $\delta^{18}\text{O}$ values vary with the sampling altitudes, the oxygen isotope could be used as a tracer to specify the sources of river water and groundwater. It was clear that $\delta^{13}\text{C}$ values were in agreement with that of soil and HCO_3^- in water was reflecting the geology conditions as a result. NO_3^- concentrations and $\delta^{15}\text{N}$ values of NO_3^- in river water varied with land use of sampling points. Therefore, the source of nitrate nitrogen could be estimated from $\delta^{15}\text{N}$ values of NO_3^- in water. And also, it was clear that the sources of SO_4^{2-} in river water could be specified by monitoring $\delta^{34}\text{S}$ values.

Key words: river water quality, land use, isotope, $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, $\delta^{34}\text{S}$

1. はじめに

河川水や地下水などは多様な物質を含んでおり、流域内の水循環過程におけるこれら物質濃度の変化は、地質構造や人間・社会活動などの関与を示唆する重要な証拠となる。すなわち、河川水や地下水などに含まれ、保存性が高く、由来を特定しやすい物質をトレーサーとして利用すれば、流域の水循環調査が今以上に容易になる。特に、河川の水質汚濁が問題となる場合には、物質トレーサーを利用した調査が、汚濁負荷源の特定等に役立つ。

著者らは、大阪府南部を流れる石川およびその支川を対象として、河川懇談会による共同研究(課題:物質トレーサーによる水循環調査の新たな手法の開発,代表:長谷部正彦)を平成8年度から10年度まで実施した。研究の目的は、トレーサーとして利用可能な物質の抽出と物質トレーサーによる新たな水循環調査手法の開発である。

本研究では、安定同位体比に注目し、一般化学組成と

比較して、物質トレーサーとしての利用可能性について検討した。さらに、安定同位体比を用いた水循環調査によって、水循環経路や汚濁負荷源を特定することが可能か検討した。特に、土地利用や地質条件の違いが河川水質に与える影響について評価を行った。なお、本稿は、これまでに報告された研究成果¹⁾⁴⁾を安定同位体比を中心に整理したものである。

2. 流域の概要

奈良県から大阪府を流れる大和川は、一級河川の中でも水質の良くない河川として知られている。しかし、その支川の一つで本研究の対象となった石川は比較的良好な水質を保ち、大和川の水質悪化を緩和する機能を果たしてきた。ところが、石川流域でも近年開発が進み、大和川の水質環境のさらなる悪化が危惧されている。

図-1には、石川流域の土地利用と地質条件の概略を示

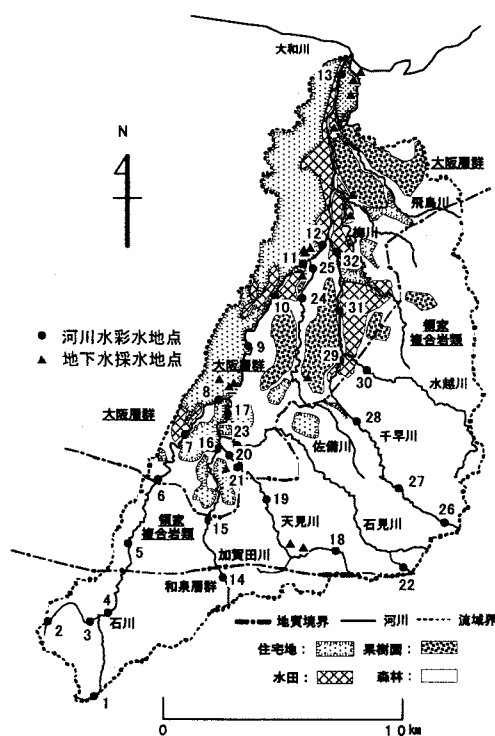


図-1 石川流域の土地利用と地質条件の概略

している。石川は流路延長が約30km、流域面積が約220km²の南大阪最大の河川である。山地が流域の東側から南側にあり、北側と西側が開けているため、流域内の水は北西方向または北に向かって流れている。流域の土地利用は、上流から下流に向かって、森林、水田、畑地、住宅地と変化していく。地質構造は、山地に固結した泥岩、砂岩、礫岩からなる和泉層群と花崗岩および変成岩からなる領家複合岩類、平野部に未固結の泥岩と砂岩からなる大阪層群が分布している。

3. 調査方法

調査は、平成8年度から10年度までの3年間に計5回、主に夏と冬に実施した。図-1に河川水と地下水(井戸水)の採水地点を示している。採水は河川水36地点、地下水18地点で行った。また、河川水の採水地点の中から19地点を選んで流量を測定した。

水温、pH、電気伝導度、酸化還元電位および溶存酸素濃度は携帯用分析器を用いて現地で測定し、その他の項目は室内に持ち帰ってから分析した。室内分析項目のうち、カルシウムイオン、ナトリウムイオンはプラズマ発光分析計で、硫酸イオン、硝酸イオン、および塩化物イオンはイオンクロマトグラフィで分析した。また、重炭酸イオン濃度は滴定で求め、水素、酸素、炭素、窒素および硫黄の安定同位体比は質量分析計を用いて測定した。

4. 結果と考察

(1) 一般化学組成から見た水質特性

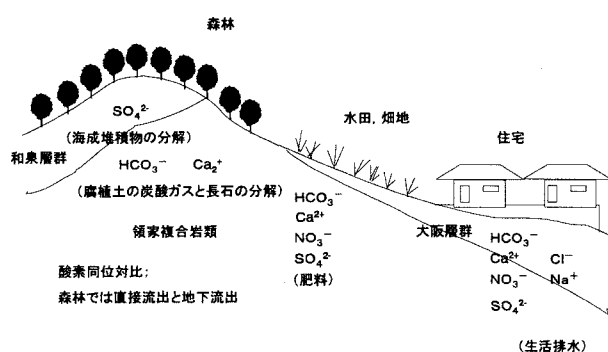


図-2 土地利用と地質条件が河川水質に及ぼす影響

図-2には、一般化学組成の分析結果をもとに、土地利用と地質条件の違いが河川水質に及ぼす影響を模式的に示している²⁾。和泉層群の森林地域では、河川水中の溶存イオン濃度が領家複合岩類よりも全体的に低い傾向にあった。ただし、硫酸イオン濃度だけは海成堆積物の分解の影響を受けて高くなっていた。同じ森林地域でも領家複合岩類の河川水では、重炭酸イオンとカルシウムイオン濃度が腐植土の炭酸ガスと長石の分解の影響を受けて高くなっていた。中流部の水田・畑地では、上流部よりも重炭酸イオン、カルシウムイオン、硝酸イオン、および硫酸イオン濃度が増加し、住宅地ではさらに塩化物イオンとナトリウムイオン濃度の増加も見られた。水田・畑地では、肥料中に窒素や硫黄が含まれており、また、肥料が酸性を呈する場合には中和剤として石灰などが施用されるため、農地からの流出水は、重炭酸イオン、カルシウムイオン、硝酸イオン、硫酸イオンに富んでいる⁵⁾。また、生活排水には、様々な有機物や無機物が含まれている。したがって、中流部の水田・畑地では肥料の影響、住宅地では生活排水の影響により、河川水中の溶存イオン濃度が増加したと考えられる。一方、下流部では、塩化物イオン、ナトリウムイオン、重炭酸イオン、およびカルシウムイオン濃度が高くなっていた。これは生活排水だけでなく、溶存イオン濃度の非常に高い深層地下水が図-1中の21番の採水地点付近に流出している影響もあると考えられている。

(2) 安定同位体比から見た水質特性

a) 酸素

図-3には酸素の安定同位体比と採水地点の標高の関係を示している。ただし、深層地下水の影響を受けた21番の採水地点の安定同位体比は高く、一般化学組成と同様に他の河川水とは値が異なっていたので、この水が流れ込む下流部は評価の対象から外し、図には載せていない。

河川水の安定同位体比は、冬場で標高100mの-8‰から標高700mの-9.5‰、夏場で標高100mの-7.5‰から標高700mの-9‰と、採水地点の標高が上がるにつれて小さくなっている。一般に、降水中の酸素の安定同位体比は降水地点の標高が高いと小さくなる傾向があるが⁶⁾、石川流域の河川水中の安定同位体比にも同ような標高効果

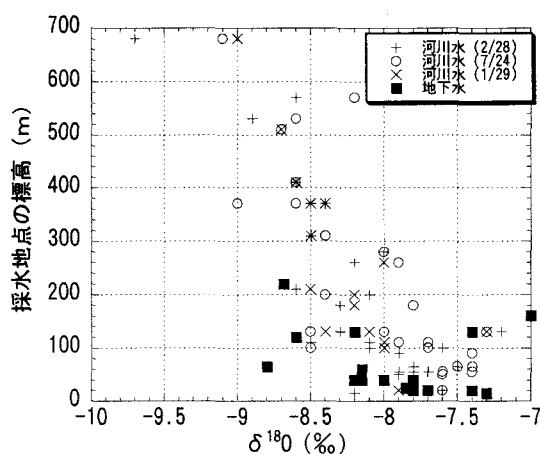


図-3 酸素の安定同位体比と採水地点の標高の関係

が見られる。すなわち、酸素の安定同位体比を測れば、河川水がどの地点に降った雨の影響を受けているかおおよそ判断できる。

ただし、標高の違いによる安定同位体比の差は1.5‰程度である。また、季節変化も約0.5‰でしかなく、流域全体でそれほど大きな違いは見られない。一般に、降水時の温度が0.5℃高くなると、安定同位体比は1‰増加する⁷⁾。夏と冬の気温差は20℃以上あるので、温度差が安定同位体比にそのまま反映されると、夏と冬で40‰の差が生じることになる。すなわち、河川水中の安定同位体比の差がわずかしかないう調査結果は、降水の直接流出よりも、安定同位体比が平滑化して季節変化のなくなった水(地下水流出成分)の影響が大きいことを示している。

地下水の安定同位体比を河川水と比較すると、安定同位体比が-8‰より大きい場合には、同じ値を持つ地下水と河川水の標高はほぼ等しいが、-8‰より小さい場合には、同じ値を持つ河川水よりも地下水の標高は100mから200mだけ低くなっている。これは、下流の地下水の起源はその地域の河川水と同じ、上流の地下水の起源はその地域の河川水とは異なり、より上流に降った軽い雨の影響を受けている可能性の高いことを示している。すなわち、下流域では河川水が地下浸透しているか地下水が河川へ流出している影響、上流域ではより上流から流下してきた地下水の影響を表していると判断できる。

b) 炭素

図-4には、重炭酸イオン濃度と重炭酸イオン中の炭素の安定同位体比の関係を示している。河川水や地下水の炭素の起源は、大気中の炭酸ガス、土壌中(腐植土中)の炭酸ガス、岩石、生活排水などである。大気中の炭酸ガスの安定同位体比は-7‰、針葉樹や広葉樹などの陸上植物は-22から-32‰である⁹⁾。岩石はバラツキがあるが、一般的には大気中の炭酸ガスよりも高い値を示す。また、火山ガスは-5‰前後である。腐植土中の炭酸ガスや生活排水の主な起源は植物なので、ほぼ-20‰前後である⁹⁾。

21番の採水地点付近に流出している深層地下水の安定同位体比は-4.5‰と高く、その起源は安定同位体比の高

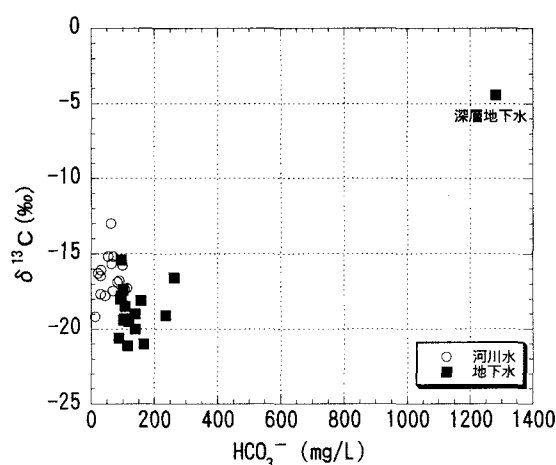


図-4 重炭酸イオン濃度と炭素の安定同位体比の関係

い岩石と考えられる。一方、深層地下水を除く他の地下水の安定同位体比は腐植土中の炭酸ガスとほぼ同じ程度を示していることから、その起源は腐植土中の炭酸ガスの可能性が高い。このことは、溶存イオン濃度の分析結果からも推察されている⁴⁾。すなわち、現地では地下水中の炭酸ガス分圧が大気中の炭酸ガス分圧よりも高い状態で平衡関係にあり、その原因は腐植土からの炭酸ガスの供給であると考えられている。

一方、河川水の安定同位体比は、21番の採水地点を除いた地下水の値よりも高い。溶存イオン濃度の分析結果から、河川水は、大気中の炭酸ガス分圧と平衡かそれよりも高い分圧の条件にあり、地下水よりも大気中の炭酸ガスの影響を受けていると考えられる⁴⁾。すなわち、河川水中の安定同位体比は、大気中の安定同位体比の高い炭酸ガスの影響を受けて、地下水よりも高くなっている可能性が高い。

c) 窒素

図-5には、土地利用・地質条件と窒素の安定同位体比の関係を示している。ここでは、①最上流部の森林地帯で和泉層群が分布する地域(1,2,3,4,14番の採水地点)、②最上流部の森林地帯で領家複合岩類が分布する地域(18,22,26番の採水地点)、③上流部の森林地帯で領家複合岩類が分布する地域(5,15,27,28,30番の採水地点)、④中流部の水田・畑地で大阪層群が見られる地域(24,29,31,32番の採水地点)、⑤中流部の住宅地で大阪層群が見られる地域(6,7,8,16,19,23番の採水地点)、⑥下流部の住宅地で大阪層群が見られる地域(12,13番の採水地点)、⑦深層地下水が流れ込んでいる地点(21番の採水地点)に分けている。

石川流域の窒素の安定同位体比は、森林地帯で3‰以下、水田、畑地、住宅地で2から10‰、特に住宅地では10‰と高くなっている。一般に、窒素の安定同位体比は、大気中の窒素ガスで0‰、森林土壌や降水で負の値を示し、また、無機肥料で約0‰、有機肥料で3から15‰、生活排水で8から18‰と言われている⁹⁾。このことから、石川流域の河川水中の安定同位体比には、周辺の土地利用の影響が顕著に表れているといえる。すなわち、今回の

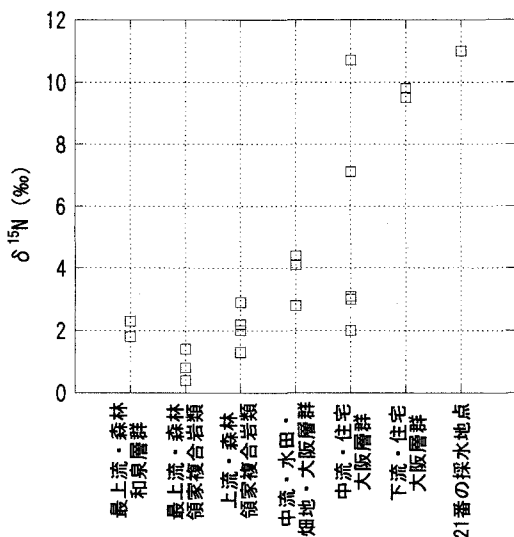


図-5 土地利用・地質条件と窒素の安定同位体比の関係

調査結果には、森林地帯では降水や森林土壌起源の安定同位体比の低い窒素が、畑地・水田では肥料起源の安定同位体比の高い窒素が、住宅地では生活排水起源の安定同位体比の著しく高い窒素が供給されている影響が表れている。

d) 硫黄

図-6には、硫酸イオンの濃縮係数と硫黄の安定同位体比の関係を示している。濃縮係数とは、試料中の対象溶存イオンと塩化物イオン濃度の等量比を海水中的の対象溶存イオンと塩化物イオンの等量比で除した値であり、試料中の対象溶存イオンが海水に比べてどの程度濃縮されているか判断する指標である。降水には海水起源の硫酸イオンが含まれているため、河川水や地下水の硫酸イオンが海水起源であれば、硫酸イオンの濃縮係数は1、安定同位体比は約20‰近くなる。一方、岩石に含まれる安定同位体比は、花崗岩で0から8‰、堆積岩では産地・種類によってかなり変動する⁹⁾。

和泉層群の河川水(1番の採水地点)は、この地域の他の水に比べて硫酸イオンの濃縮係数が高く、安定同位体比が小さい。また、他の河川水も濃縮係数が高いと、安定同位体比が小さくなる傾向がある。これは、地層の形成過程で、海水の高い安定同位体比から出発して、他の起源の硫黄が混入するにともない、安定同位体比が小さくなった効果と考えられる。

上流部の硫酸イオンの起源としては、和泉層群の河川水の濃縮係数と硫酸イオン濃度が領家複合岩類の河川水(5番と26番の採水地点)よりも高いことから、地層中の硫黄が河川水の硫酸イオンの起源と考えられる。和泉層群には、黒色の泥岩や泥質の砂岩と共にアンモナイトや2枚貝が含まれ、これは、現在の海底の腐食泥が固結した堆積物に相当する⁹⁾。したがって、還元環境下で海水に含まれている硫酸や腐食泥中の硫酸化合物が硫黄や硫化物に固定されたこと、すなわち和泉層群の泥岩の硫黄含有量の多いことが¹⁰⁾、和泉層群の河川水の硫酸イオン濃

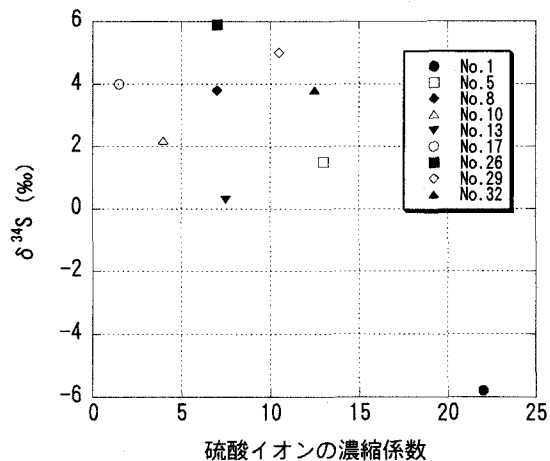


図-6 硫酸イオンの濃縮係数と硫黄の安定同位体比の関係

度を上昇させた原因と考えられる。また、中下流部の水田・畑地(1,5,26番以外の採水地点)の硫酸イオンの起源は、硫酸などの肥料に含まれる硫黄が原因と考えられる⁹⁾。

5. おわりに

本研究では、大阪府南部の石川流域を対象として、安定同位体比の物質トレーサーとしての利用可能性を調査した。特に、安定同位体比を利用して、土地利用・地質条件と河川水質の関係をどの程度まで明らかにできるか検討した。その結果、酸素の安定同位体比は水の起源や循環経路、炭素と硫黄の安定同位体比は地質の影響、窒素の安定同位体比は河川水中の窒素の起源の推定に有効なことが確認できた。今後、より多くの流域でデータを蓄積していけば、安定同位体比を物質トレーサーに利用した水循環調査の精度をさらに高めていけるだろう。

参考文献

- 1) 長谷部正彦ほか：石川流域における水循環調査について、水工学論文集,Vol.42,pp.307-312,1998.
- 2) 平田健正ほか：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.
- 3) 井伊博行ほか：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,Vol.43,pp.205-210,1999.
- 4) 長谷部正彦ほか：土地利用・地質構造が異なる流域の河川水質の比較-札内川流域と石川流域-,土木学会論文集, No.663/II-53,pp.131-136,2000.
- 5) 井伊博行ほか：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,Vol.41,pp.575-580,1997.
- 6) 酒井均・松久幸敬：安定同位体地球化学,東京大学出版会,1996.
- 7) International Atomic Energy Agency : Isotope techniques in the hydrogeological assessment of potential sites for the disposal of high-level radioactive wastes. Vienna : Technical reports series 228,1983.
- 8) 松尾慎士：地球化学,講談社サイエンティフィック,1989.
- 9) 中沢圭二ほか：日本の地質6 近畿地方,共立出版,1987.
- 10) 佐々木昭ほか：岩波講座 地球科学14 地球の資源/地表の開発,岩波書店,1979.

(2002. 4. 15 受付)