## 2章

# 私たちのくらしと同位体

「環境トレーサビリティー」コアプロジェクト (2017 ~ 2019 年度) では、 環境のつながりを調べる科学的な方法を用いて、

研究者と研究者以外の方たちが協力して研究してきました。 いろいろな方たちの声から、どのような研究が行われたか見てみましょう。

## 「環境トレーサビリティー」コアプロジェクト

**陀 安 一 郎** (総合地球環境学研究所)

#### 1. はじめに

総合地球環境学研究所(地球研)では、2016 年度から「コアプログラム」という仕組みをはじめました。コアプログラムとは、個別の課題や分野に限定されず、さまざまな地球環境問題に適用が可能であり、総合地球環境学としての基礎と汎用性を持った研究を進めようとするものです。その「コアプログラム」の中に「コアプロジェクト」が複数存在します。本項で紹介するコアプロジェクトは、2016年度に行った予備研究を経て、2017年度から2019年度の3年間において行った「環境研究における同位体を用いた環境トレーサビリティー手法の提案と有効性の検証(略称:環境トレーサビリティー)」です。ここでは、簡単にプロジェクトの経緯と成果についてお話しします。

#### 2. プロジェクトが目指したもの

地球研のプロジェクトでは、同位体を用いた研究が多くおこなわれてきました。物質を構成する元素レベルで見てみますと、同じ元素でも異なる「同位体比」を持つ物質は見分けることが可能であるという特徴を生かしたものです。物質レベルで見分けることが可能になりますと、環境中に存在する物質のつながりを示すことができます。これを「トレーサブル(追跡可能)」な指標として考えることができます。しかし、物質や生物に含まれる元素の同位体比は、環境基準<sup>1)</sup>のような「これ以下にするのが望ましい基準値」のようなものはありません。つまり、トレーサブル(追跡可能)な情報である同位体比は、単独で解釈することが難しいばかりか、それ自体に有害性がないため環

境モニタリング項目に採用されていませんし、社 会的認知度もありません。

一方、さまざまな元素濃度や同位体比を用いることで、ある物質の産地や発生源、それが生まれるプロセスが明らかになると期待され、環境診断の精度向上や学際的研究(Interdisciplinary research)のツールとして高い可能性を有しています。元素の同位体を用いた研究は、いろいろな分野の統合としての学際的研究に用いられるようになってきましたが、社会と連携した研究を目指した超学際的研究(Transdisciplinary research)<sup>2)</sup>において、トレーサブルな情報のもつ利点や価値、そしてそれらの情報をどのように使うことが可能か関しては、今まで考えられていませんでした。

そこで「環境トレーサビリティー」コアプロジェ クトでは、多元素安定同位体比を用いた同位体地 図(Multi-Isoscapes)作成などをとおして、地域 における環境問題を解決するうえで、この手法を どのように使うと研究者・住民・行政の間をつな ぐことができるかついて検証しました。特に、環 境の繋がりに関する情報を指す「環境トレーサビ リティ概念」が、地域における環境問題の解決に 至るステークホルダー (stakeholder)3) 間の共通 理解に果たす役割の有効性について検証しまし た。その手段として、地域の方々や、実践プロジェ クトとの共同研究をおこないました。一つひとつ の自然科学的測定値は、個別のステークホルダー にとって、それぞれ利用価値が異なると考えられ ます。そこで、本プロジェクトでは、利用価値を 行政側からの視点、住民側の視点、研究者側の視 点の相互作用としてとらえ、それぞれの視点を類 型化し、環境トレーサビリティ手法の有効性を検 証しました。また、環境トレーサビリティ概念は、ステークホルダーをつなぐ信頼性の構築という意味で、食のトレーサビリティと関係する概念だと考えられます。これについても実践プロジェクトと協働で検討しました。

#### 3. わかったこと

研究は、福井県大野市、愛媛県西条市、岩手県 上閉伊郡大槌町、山梨県南都留郡忍野村、兵庫県 千種川流域、滋賀県野洲川流域、フィリピン国シ ラン・サンタローザ川流域でおこないました。

各調査地において、環境トレーサビリティ手法を用いた研究の成果を紹介するシンポジウムを開催しました。そして、シンポジウムに来場された地域住民の方々に対して、環境トレーサビリティ手法の有効性を問うアンケート調査を行いました。

その結果、環境トレーサビリティ手法を、調査 地における環境問題の解決のために有効と判断し たステークホルダーのタイプについて、複数の調 査地間に共通して次の3つの特徴がみられまし た。それは、「調査地における環境保全の対象(地 下水や川)と、普段から関わりがある人」、「環境 トレーサビリティー手法で得られる情報に対し て、普段から関心が高い人」、「シンポジウムで研 究者によって説明される環境トレーサビリティ手 法についての理解度が高い人」でした。

これらのアンケート調査の結果を受けて、プロジェクトでは、環境トレーサビリティ手法に関心のある人を集め、興味が持てるようなウェブサイト作りに取り組んでいます。なお、各地域でいろいろな方とどのような研究を行ったかは、それぞれの項目をご覧ください。

#### 注

1) 環境基本法第十六条によれば、「政府は、大 気の汚染、水質の汚濁、土壌の汚染及び騒音 に係る環境上の条件について、それぞれ、人 の健康を保護し、及び生活環境を保全する上 で維持されることが望ましい基準を定めるものとする」と書かれています。このように、 定められた基準より数値を下げることを目標 とするというような具体的な指針を得ること ができます。

- 2) 環境研究においては、学際的研究は複数の学問分野が共同で環境問題に対する研究を行うことを指すのに対し、超学際的研究は学術界のみならずステークホルダーも含んだ研究を指します。前者に比べ、後者は「学問」の体系自体が変革する必要があると考えられています。
- 3) 近年の地球環境問題に関しては、科学者が事実を解明するだけでは解決に至らないため、地球環境問題を引き起こす原因を作っている人々、及びその影響を受ける人々と共に考えなければいけないとされています。「公害問題」と異なる点は、加害者と被害者が明確に分かれていず、地球温暖化の問題のように、温暖化を引き起こす要因となっている温室効果ガスの発生に関わる一方、影響を受ける立場でもあるということがあります。

#### 文献

Mauser M, Klepper G, Rice M, Schmalzbauer BS, Hackmann H, Leemans R, Moore H (2013) Transdisciplinary global change research: the co-creation of knowledge for sustainability. Current Opinion in Environmental Sustainability 5: 420-431. https://doi.org/10.1016/j.cosust.2013.07.001

藤吉麗、西村武司、加藤尊秋、陀安一郎(2019)「同位体を用いた地下水調査に対する住民意識 — 山梨県忍野村のシンポジウム参加者を対象に」環境情報科学学術研究論文集 33: 133-138 doi:10.11492/ceispapers.ceis33.0\_133

#### 著者情報



陀安一郎 (総合地球環境学研究所 研究基盤国際センター教授) 1997 年京都大学大学院理学研究科修 了、博士 (理学)。日本学術振興 会特別研究員・日本学術振興会海 外特別研究員を経て 2002 年総合 地球環境学研究所助手、2003 年 京都大学生態学研究センター助教 授・准教授、2014 年より現職。

## 愛媛県西条市

## 「千の水をとって~千点の地下水調査からわかったこと~」

#### 徳 増 実

(愛媛県西条市経営戦略部政策企画課地域創生室)

#### 1. はじめに

本市は、縦横に複数の断層が複雑に走った独特 の地下構造を有し、東の两条平野と两の周桑平野 (合わせて道前平野といいます) に、それぞれ地 下水を貯める帯水層1)が存在し、全国でもめずら しい広大な自噴域が、西条平野には8.1 km<sup>2</sup>、周 桑平野には $8.2 \text{ km}^2$ 広がっています (図1)。鋼管 を 20 m~30 m ほど地下に打ち込むだけで湧き上 がる地下水(自噴水)は「うちぬき」と呼ばれ、 その数は3.000 本を数えます。昭和60年に環境 省(当時環境庁)から「名水百選」に選定され、 さらに岐阜県揖斐川で開かれた、"いびがわ"ミ ズみずフェスタ「全国利き水大会」で2年連続全 国1位に選ばれた"おいしい水"です。また11 万人の市民のうち半数は自家水<sup>2)</sup> を利用してお り、水道普及率は50%ほどしかありません。つ まり、多くの市民が日本一おいしいミネラル

ウォーターに直接アクセスして暮らしていると 言っても過言ではありません。また、まちのいた るところに湧水(泉)が存在し、中小河川の源に なり、清く透きとおった水が市内の水路を縦横無 尽に流れています。このようなことから、本市は 「水の都」と呼ばれています。

山間部と平野の割合は日本の平均と同じ7:3 で、集水域<sup>3)</sup>には、石鎚山系や高縄山系の山々が 分布しています。この集水域もほぼ本市域内にあ るため、一体的な水管理が可能となっています。 平野部の年間降水量は1,400 mm 程度ですが、山 間部には2倍以上の降水量があり、瀬戸内海地域 でありながら水資源の豊富な地域になっていま す。

しかし、昭和の後半から平成にかけて、沿岸部では地下水の塩水化<sup>4)</sup>が進行し、その原因と対策を研究する必要が生じてきました。

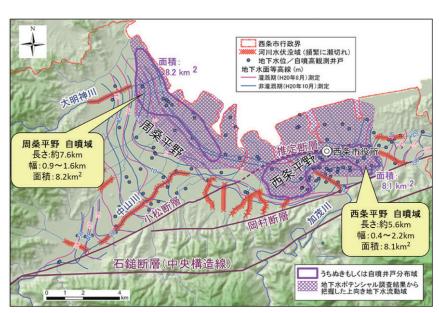


図1. 道前平野の自噴帯の分布 (出典 西条市(2017))

#### 2. 道前平野地下水資源調査研究委員会

このように地下水に恵まれているが故に、地下 水に強く依存している本市では、地下水を将来に わたって保全しなければなりません。前述の塩水 化や主要河川の加茂川の流況が悪くなるなど、地 下水資源への不安が強まったことから、本市では 市全域で地下水資源の調査をすることになりまし た。通常、行政の調査はコンサルタント会社に丸 投げして、調査結果を受け取って完了、というパ ターンが多いのですが、この地下水調査では、平 成19年4月に道前平野地下水資源調査研究委員 会を立ち上げて、この委員会の中で、調査内容や 手法を委託したコンサルタント会社と協議しなが ら調査を進めました。その委員には水文学、地質、 水質、流動解析など各分野から地下水の有識者の 方々に集まっていただきました。地球研からは谷 口真人副所長と中野孝教名誉教授に委員になって いただきました。この委員会発足が地球研と本市 の関わりの起点となりました。

#### 3-1. 水循環研究と水質調査

平成19年にこの委員会がたちあがると、各委員から実際に調査に加わりたいとの要望があり、中野孝教名誉教授を中心に谷口真人副所長ほか4年間に22のテーマで、地球研ほか7大学8名の先生方に調査に加わっていただきました。ここでは、中野孝教名誉教授とのコラボレーションを中心に紹介させていただきます。

地下水を持続的に利用するには、水循環の考え に立ち、地下水の涵養域<sup>5)</sup>と地下での流動を明ら かにした上で、流速や流量、人為影響を評価し、 将来の量と質を予測する科学情報が必要です。

量を予測する情報は実際の流速や流量の観測値です。河川の管理者が測定したり、管理者の許可を取って、研究者が測ったりします。今回、中野孝教名誉教授とコラボレーションしたのは水質の分野です。

分析の主な項目は安定同位体<sup>6)</sup> と微量金属です。水を構成する水素と酸素の安定同位体比は水



図 2. 水素・酸素同位体の地下でのフロー (出典 中野ら(2015))

の指紋と言われ、水に含まれる成分と共に、水のつながりを明示する履歴を表す指標として利用されてきました。例えば、降水の水素・酸素同位体比は標高と共に変化しますが、地下の岩石は水を含まないので、その値が保存され湧水や地下水の両安定同位体比は涵養域の推定や特定に有効です。例えば、4つの涵養域(1、2、3、4)の降水の平均的な水素・酸素の安定同位体比が異なれば、その雨に由来する地下水や湧水も降水に類似した値となります(図2)。一方ストロンチウムや硫黄の安定同位体比は地質や化学肥料によって特徴的な値を示すので、地下の堆積物や人為影響に関する情報が得られます。

水循環は、地下水と交流する地表水やその起源 である降水など、存在形態が異なる水を互いに比 較することによって明らかになります。現在では 上記元素の安定同位体や50種程度の元素の濃度 も比較的簡便かつ高精度で分析できるようになっ ています。したがって多数の水質項目を測定でき れば、水循環の保全や管理に必要な水の履歴に関 する情報を一挙に獲得できることになります。そ のためには、安定同位体も含め多くの水質項目を まとめて分析できる共用施設と共に、得られる水 質情報を共有し、水資源管理に活かす仕組みも併 せて重要となります。地球研は大学共同利用機関 として、こうした研究に応えうる実験施設が整備 されており、地球研との協働研究はとりわけ重要 でありがたいものでした。このようなことが契機 となり、平成21年8月に地球研と本市は交流協



図3. 西条市の河川流域(左)、地下水と河川水、降水の採水地点およびモニタリング地点(右) (出典 中野ら(2015))

定を締結し、水質履歴法の開発とその社会実装が より活発に進められました。

#### 3-2. 地表水の多項目水質マップ

河川水は地下水と交流しているので、地下水と 地表水を高密度に採水し、多項目にわたって水質 を比較することで、地下水の涵養域や流動に関す る基盤情報が得られるはずです。このため、まず 地表水の特徴を明らかにすることを目指し、山地 域を中心に河川の約150地点において、渇水期(梅 雨入り前)と豊水期(秋)の地表水を採水しまし た(図3)。試料は全て地球研にて53成分の水質 組成と4種類の安定同位体比が分析され、結果、 多くの水質項目について、1.季節変化より地理 的変化がはるかに大きいこと、2. 山地の河川水 は流域の地質や降水量の違いを強く反映するこ と、が明らかとなりました。市が採水している 91 カ所の地下水についても同様な分析が実施さ れ、相互に比較した結果、より多くの地点で地下 水の水質項目を地図化し、河川水の結果と重ね合 わせて比較することで、地下水の涵養域や流動を 解明できることが強く支持されました。

#### 3-3. 千の地下水の多項目水質マップ

市民に水への理解を深めてもらうことを意図して、平成20年9月に市民シンポジウムを開催しました。研究成果の紹介は一部に留め本市の水の豊さを伝えることを主眼とし、地球研スタッフと本市職員が自然科学および歴史文化の両面から講演し議論しました。台風が接近し雨中であるにもかかわらず300名弱の市民が参加し本市が水に恵

まれた市であることを再認識する良い機会となりました。このシンポジウム後、市民が中心になり多くの地点で井戸水の採水と水温を測定し、水質分析結果を市民と市に還元していただくプロジェクトが中野名誉教授から提案され、ありがたく受諾実施することになりました。「千の風になって」の歌手、秋川雅史氏が本市出身であることから、「千の水を採って」というプロジェクトの名称で市の広報に掲載し採水と水温測定を募りました。採水した地下水は1,032地点に及び地表水と同じ多項目水質分析が行われました(図3)。

結果を水質マップとして表現することにより、 地下水水質の全容が解明されました。

河川の流域規模や平均標高の違いにより、水素・酸素の安定同位体比は異なりました。例えば、加茂川や中山川など平均標高が高い河川は、平野域でも特徴的な同位体比を示しました。この特徴は予想通り地下水に現れており、河川水が川のよう

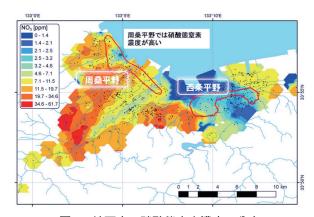


図4. 地下水の硝酸態窒素濃度の分布 (出典 西条市(2017))

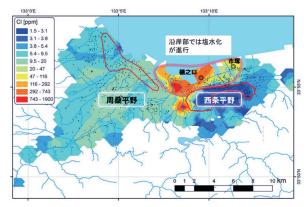


図 5. 地下水の塩化物イオン濃度の分布 (出典 西条市(2017))

に地下を流れる姿を可視化できました。地下水と 涵養する河川の関係が明確となり、河川水が流れ ている範囲など、水資源利用に重要な情報が得ら れました。

他の水質成分からは、さらに異なる情報が得られました。窒素汚染の実態は硝酸イオンの分布に現れており(図 4)、土地利用や窒素同位体情報から、その要因が施肥に起因すると示唆されました。塩化物イオンやマンガンなどの分布からは、塩水化は還元的環境下で進んでいることが示されました(図 5)。また輝安鉱の廃鉱山によるアンチモンが浅層地下水にのみ現れており、「うちぬき」の保全にとって貴重な情報も得られました。

ストロンチウムと硫黄の安定同位体比は流域地質と良い一致を示し、それらと相関の高いミネラル成分も含めて、岩石の化学風化と水質の関係も明らかになりました。これらの同位体情報は、水から養分を吸収する植物や農水産物に反映されます。本市は水を生かした農業を目指しており、地質に由来する同位体情報は、農水産物や食の地域認証指標として利用できます。また「うちぬき」の地下水を涵養する加茂川は、平野域に入る前から伏流でしており、断層によって陥没した砂礫層が地下水プールを形成し、断層や上位の地層を構成する細砂や粘土が不透水層となっている可能性など、自噴水形成に関与する地下環境についても新たな知見が得られました。

水質分析の結果は、採水に参加した市民一人一人に簡単な説明文を加えて報告されました。それと共に、第一回市民シンポジウムの成果を本としてまとめ、熊本などの地下水研究の先進事例の紹介も併せて、第二回目の市民シンポジウムを開催し、地下水分析全体の結果が中野名誉教授により報告されました。参加した市民は600人におよびました。同様な湧水・地下水問題を抱える自治体は多く、岩手県大槌町や山形県遊佐町、福井県大野市などからも首長や職員が参加し、後述のように新たな展開につながりました。

#### 3-4. 水質の経時的モニタリング

地表水と地下水の水質マップの作成と合成により、両水の因果関係が明確になり、水に及ぼす降水や地質などの自然環境、流域の人間活動の影響とその原因も明らかになってきました。しかし地下水資源の将来予測には、地下水流速などの情報も必要です。水質マップから鍵となる地点を選定できた(図3)ので、水循環を構成する地下水や河川水、降水を毎月回収し、水温と共に水質についても同様なモニタリングが実施されました。

同じ加茂川に由来する地下水であっても、浅層の地下水は水温変化が大きいのに対して、自噴水の水温変化はほぼありません。前者は水質マップから、加茂川が平野に入った後の伏流水であると考えられます。伏流する涵養地点と地下水地点(例えば大町小学校)における水温および水質の時間的な違いから、1日10mほどの流速がある非常に速い地下水であると考えられます。いっぽう自噴水の涵養域は、水質マップから浅層地下水よりさらに山地側にあることが判明しています。モニタリング結果も、水温や水質の季節変化が小さく、浅層地下水より涵養域が離れ、深部をゆっくり流動しているという考えを支持しています。水質情報をさらに解析され、流速も含めその流動が明確になることが期待されています。

降水の水素・酸素同位体からは、本市に降った 雨の再蒸発による寄与が指摘されています。一方 重金属元素濃度は地表水や地下水に比べて2桁程 度高く、中には水道水の水質基準をこえる鉛濃度 を示す降水も見られました。このことは、降水由 来の重金属元素は土壌に吸着されていること、す なわち地下水涵養域である山地の森林土壌が優れ た浄化機能を果たしていることを示しています。 重金属元素濃度が高い降水は冬季に多く、ストロ ンチウム同位体比を用いた解析からは、アジア大 陸からの越境汚染の可能性が指摘されています。 しかし鉛同位体比は10年前の中国鉛と異なる値 を示しており、中国の急激な経済成長に伴う発生 源の変化が示唆されています。このことは、同位 体も含めたモニタリングの実施と継続の重要性を 示しています。

#### 4. 今後の展望について

平成19年から実施されてきた道前平野地下水 資源調査の結果は、平成29年8月に西条市地下 水保全管理計画としてまとめられました。現在は、 この計画を基にした、地下水の保全に関する条例 の見直しを目指しています。

水質マップやモニタリングにより、本市一流域 においても、広域的な大気環境変化の影響を受け ていることが明らかになってきました。

本市では、同じような地下水・湧水問題を抱え る地域との連携が重要と考え、情報交換や交流を 行ってきました。岩手県大槌町でも沿岸域の湧水 利用に向けて、本市と同様な水質マップを作成し、 湧水保全域の基礎情報になっています。その成果 報告も兼ねて大槌町で開催された復興シンポジウ ムでは、私が参加しネットワークの強化を図りま した。秋田県遊佐町では、鳥海山山塊の岩石採取 に伴う出水により、山麓部の湧水枯れの可能性が 大きな問題になっています。同町においても、同 様な水質マップを作成して検討した結果、採石場 上流部の湿地帯の保全の重要性が指摘されまし た。いっぽう大野市では湧水再生室を設け、湧水 保全に向けた様々な取り組みを実施されています が、将来の環境教育の一環として、水質マップ作 りを学校教育の中で開始しています。こうした研 究により、各地域の水循環の特徴が明確になって きました。各地で得られるデータを利活用できる ようになれば、地域性の強い水循環の特徴を理解 する上でも有益であると考えています。

また、地球研と本市との交流協定に基づき、平成29年度から政策情報交換会を開催し、お互いのニーズやシーズを出し合い、さらにwin-winの関係を築いて行こうとしています。

#### 用語説明

1) 地下水で満たされた砂層等の透水性が比較的

- 良い地層であり、一般には地下水取水の対象 となり得る地層のこと
- 2) 各家が自らの土地にパイプを帯水層まで打ち 込みポンプ等でくみ上げた水
- 3) 降った雨や溶けた雪は地表を流れて川に流れ こみますが、雨や雪が流れ込む範囲
- 4) 地下水帯水層に海水が混入し、地下水の塩素イオン濃度(塩分濃度)が高くなること
- 5) 地表の水(降水を主としてほかにも、湖沼水・ 河川水、貯水池・雨水浸透ますなどの水、そ の他)が地下浸透して帯水層に水が供給され るエリア
- 6) 放射性同位体のように放射性崩壊をせず、一 定の比率で自然界に安定に存在する同位体
- 7) 河川水が河川敷や旧河道の下層にある砂礫層に流れ込むことを意味します。加茂川の場合、岡村断層の山側から裂罅水として、帯水層に流れ込んでいると考えられています。

#### 引用文献

中野孝教、斎藤 有、申 基澈、佐々木和乙、徳増 実(2015)「RIVER FRONT」Vol. 81、公益 財団法人リバーフロント研究所、pp. 26-29 徳増 実、山田佳裕、高瀬惠次、中野孝教(2019) 「長期観測結果からみた愛媛県西条平野の断 層が地下水位に及ぼす影響について」、地下 水学会誌、第61巻第3号、pp. 183-196 西条市(2017)、西条市地下水保全管理計画

#### 著者情報



徳増 実(西条市経営戦略部政策 企画課地域創生室)1982年愛媛 大学大学院農学研究科修士課程修 了、1982年道前福祉衛生事務組 合(構成団体:西條市ほか1市2町) 化学分析センター、2004年西条 市市民環境部環境課、2016年愛 媛大学大学院連合農学研究科博士

課程社会人コース入学、2017年より現職。

### 山梨県忍野村の取り組み

大森 昇 (山梨県忍野村 企画課)

#### 1. はじめに

本村は明治8年(1875年)に旧内野村と忍草村が合併し、現在忍野村役場は村のほぼ中心部にあり、役場より東側を内野地区、西側を忍草地区と称し、大きく二つに分かれています。

このような村ですが、忍草地区から縄文時代早期の土器が見つかったことや小臼・大臼をはじめ多くの遺跡があることから、村はすでに縄文時代ころから人が住んでいたと考えられています。特に「笹見原遺跡」からは平安時代の遺物として「水神・可」の墨書土器が見つかっていることから、忍野村は古くより水と深くかかわる文化を重んじ、生活用水や農業用水として利用されてきました。

しかし、昭和50年代後半になり地下水を生活 用水等として利用してきた井戸の水位が低下し始 め、生活用水を確保するためのボーリング工事が 行われるようになり、それを契機に村は住民の生 活用水等を確保するための上水道事業を計画し、 村全体に上水道を整備することに決め、昭和58 年度より事業着手し、昭和62年8月20日一部地 域で共用が開始されましたが、約20年が経過し たころで水源の水質悪化が確認されたため、新し い水源を確保し、安全で安定した給水が出来るよ う施設も移転し住民の生活用水の確保に努めてき ました。それと並行して地下水の保全にも力を注 ぐべく、地下水の村外持ち出し等を規制する地下 水資源保全条例を平成23年9月に制定し、村か ら地下水が持ち出されないように資源の保全に努 めているところです。

#### 2. 忍野村の異なる地盤

忍野村は山梨県の東南部、富士北麓に位置し、村内には富士山世界文化遺産の構成資産であり、国の天然記念物にも指定されている八つの湧水池「忍野八海」が点在している、風光明媚で水と自然に恵まれている面積 25.05 km。人口約 9,600 人の高原の村です。地形は平坦で、周囲を山々に囲まれ、居住地区は役場を中心とした東西の平坦な集落に集中しています。また、村の二地区は地盤(地質)も大きく異なり西側の忍草地区は地下水位が高く軟弱地盤の上に住宅が建てられ、一方東側の内野地区では富士山の溶岩流とみられる堅固な地盤の上に住宅が建てられているといった両極端な地盤となっている特徴があります。

#### 3. 地下水流動の把握

このような地形から近年多発しているゲリラ豪雨等の急激な降雨により居住地域内の排水路などから水が溢れ、住宅地への浸水や交通障害など日常生活に支障をきたす状況が生じたため、村として村民の安全・安心な暮らしを確保するべくゲリラ豪雨等による水害対策を検討することとなりました。検討の過程で調整池や既存河川の改修、河川隋道等が有力な候補案として出されました。

そこで問題となってきたのが地下水脈の把握でした。特に国の天然記念物や富士山世界文化遺産に登録された構成資産にもなっている「忍野八海」の存在でありました。調整池や河川改修、河川隋道を建設する場合には雨水を取り入れるための工事として、地中に溝を掘る導水路工事を行う必要があり、その工事を行うことで忍野八海の水脈に何かしらの影響があっては大変なことになると考

え、それならば事前に「忍野八海」を含む村内の 地下水の流動方向を確認するべきではないかとの 結論に至り調査を行うこととなりました。

#### 4. 地球研とのかかわり

しかし、いざ調査を行う段階になり本調査業務 を行えるところとはどの様な会社なのか、委託業 務先の見当すら全くつかない状況で困っていたと ころ、山梨県世界遺産センターのプレオープン時 に秋道所長と出会い、今の忍野村の課題を提示し たところ所長より「私が所属している『総合地球 環境学研究所(以後「地球研」という。)』では、 その様な調査・研究を専門として行っている研究 チーム(後の「コアプロジェクト」)がある」と の情報をいただいたため、秋道所長を介して「地 球研」の研究チームをご紹介いただき、本村の調 査目的や依頼内容を説明したところ、調査を引き 受けていただけることの了解を得たため、調査に 着手出来ることとなりました。また、同時に「コ アプロジェクト」のメンバー(自治体)としてプ ロジェクトへ参加させていただき、「地球研」と 協働で調査を行うこととなりました。

調査の事前準備として「地球研」のコアプログラムディレクターである谷口副所長やコアプロジェクトリーダーである同研究所の陀安教授とともに平成28年8月15日、9月7日及び11月11日と3回の打ち合わせを経て、同年11月11日に平成28年度の委託業務契約を締結し、平成29年1月17日~19日までの3日間の日程で1回目の現地調査に臨みました。調査にあたっては「地球研」の谷口副所長や陀安教授、地球研職員のほか村役場企画課職員とで3班に別れて村内の湧水地並びに個人宅の井戸等の地下水を採取し、現地では水温、PH値、電導度等を測定、また同位体比を測定するため採取したサンプル水を「地球研」へと送り、計測分析等を行っていただきました。

併せて毎月、富士山や杓子山など「忍野八海」 周辺地域の降雨を採取し、雨水と湧水の関係性に ついても調査を実施しているところです。 さらには平成29年8月7日~9日までの3日間の日程で2回目の現地調査に臨み、調査にあたっては前回と同様に3班に別れて村内の湧水地並びに個人宅の井戸等の地下水を採取し、前回と同様の作業を実施しました。

2回目の調査では前回とどのような変化が見られるのか解析なども併せて実施いたしました。

#### 5. これまでの取り組みで解明されたこと

2回の村内現地調査及び定期的な雨水採取など から忍野村の地下水について2つのことが判って きました。

- (1) 地下水の流動は南側から北側に向かう流れ と東側から西側に向かう流れの大きく2つ の流れがある。
- (2) 湧水の年代も遊水池で異なり、5~8年の 比較的短い期間と20~30年の長い年月と がある。

#### 6. 中間報告と意見・質問

調査の結果を受けて忍野村では「地球研」と協 議を行い、調査の中間報告として多くの人たちに 知っていただきたいとの思いから『富士山の湧水 と文化: 忍野八海 一 忍野の水はどこから来た の? - | と題して、平成30年1月20日に「地球 研」との共催で忍野村公開シンポジウムを開催し、 調査結果を踏まえた中間報告を「地球研」の薮崎 研究員が行い、基調講演として山梨県立富士山世 界センターの秋道所長はじめ元山梨県埋蔵文化セ ンターの新津所長、産業技術総合研究所地質調査 総合センターの戸崎研究員がそれぞれの分野での 講演を行っていただきました。また、シンポジウ ムには約300名余りの方々にご参加いただき、参 加者からは地下水の年代や地下貯水量など様々な 視点でのご意見・ご質問をいただき、少なからず シンポジウムに参加された方々については忍野村 の地下水流動についてご理解いただけたのではな いかと思っています。

#### 7. 今後の展開

現在も継続して流動調査を行っていますが、平成31年度(令和元年度)からは流動調査に加えて新たに地下貯水量の調査も始めたところなので、今後は両調査を継続して実施し、各種データを蓄積することで、詳細な分析・解析につながり、新たな事象が判明するのではないかと期待しているところです。

今後は調査において得た貴重なデータや資料などを多くの人に知っていただけるような周知の場や展示施設などを整備し、富士山と湧水の関係についても掘り下げていければと考えているところです。

また、富士山周辺の自治体との協力体制が整う

ならば、富士山に降った雨や雪などが地下水となり、富士山周辺地域にどの様な影響をもたらすのかなど解明できれば、富士山周辺に湧き出る地下水としての貴重な資料となるのではないかと期待を膨らましているところです。

#### 著者情報



大森昇(忍野村 企画課 課長) 昭和60年4月忍野村役場入庁、 建設課、教育委員会、水道課、観 光産業課等を経て、平成28年4 月より現職。

### 福井県大野市の取り組み

**帰山 寿 章** (福井県大野市 民生環境部上下水道課)

大野盆地は古くから地下水が豊富で、飲料水などの生活用水をはじめ、農業や工業など様々な用途に利用されています。また、名水百選に選ばれた「御清水」などの湧水地が点在するだけでなく市民と水の関わりには特に深いものがあり水と共生する生活様式や水に関わる伝承など特有の文化を育んできました。

しかし、高度経済成長期に地下水位が低下し、 湧水の減少・枯渇が進んだため本市特有の湧水文 化を後世に引き継ぐことが困難な状況になりつつ あったため、地下水を保全するための様々な施策 を行っています。

#### 1. はじめに

本市は、福井県の東部に位置し、北は石川県、 東は岐阜県に接し、大野盆地を中心に山々に囲ま れた地形であり、総面積872.43 km<sup>2</sup>の内約87% を森林が占める自然豊かな地方都市です。

また、白山を源とした九頭竜川とその支流である真名川、清滝川、赤根川の4つの一級河川がそれぞれ、北に向かって流れています。

大野盆地は古くから湧水が豊富で、人々はこの 湧水を「清水」と呼び親しんできました。

古くは約440年前に織田信長の家臣であった金森長近が湧水を利用した城下町を整備しましたが、その城下町は当時では珍しい上下水道を完備したものでありました。

現在でも中心市街地では各家庭に自家用ポンプが設置され、飲用や炊事用、あるいは風呂やトイレ、洗濯、洗車にも地下水を使用していることをはじめ、農業や工業など様々な用途に利用されています。

また、昭和60年に名水百選に選ばれた「御清水」

や平成20年に平成の名水百選に選ばれた「本願 清水」などの湧水地が点在するだけでなく、平成 8年には本市が「水の郷百選」に選ばれたように、 市民と水の関わりは特に深いものがあり、水と共 生する生活様式や水に関わる伝承など、特有の湧 水文化を育んできました。

#### 2. 地下水低下と湧水の枯渇

湧水と共に生きてきた本市ですが、昭和 40 年 代後半から 50 年代にかけて地下水位が低下しま した。これにより、多い時で約 1,000 軒の家庭で 井戸が枯れたり、名水百選の「御清水」や平成の 名水百選の「本願清水」が枯渇したりしました。

その原因としては、①九頭竜川や真名川の上流にダムができた、②市街地の上流域で土地改良事業が進み原野が無くなり保水力が落ち、かん養量が減った、③繊維産業が盛んで、市街地に約200社あった繊維工場が大量に地下水を使用した、など諸説あります。

#### 3. 地下水の保全施策

本市では、地下水を保全するために地下水審議会を昭和48年に設置し、昭和52年に地下水保全条例を制定しました。また、市民全体で地下水を守るために、新たに地下水を採取する者は届け出ることや、冬期間の融雪のために地下水を使用しないことなどを定めました。

また、地下水が低下する冬期間には、水田に水をため充て、かん養する「冬期水田湛水事業」を昭和53年から開始し、更に平成8年には、水環境のシンボルにするために水源地域にあるブナの天然林を約200haを購入しました。

平成12年には地下水保全基金をつくり、地下

水保全のための基金を市民から募集しました。そして平成13年・14年には本市の地下水の現状を総合的に把握するため「大野市地下水総合調査」を行いました。そしてこの調査に基づき地下水の健全な管理を行うことを目的に「大野市地下水保全管理計画」を策定しました。

その後、湧水をただ守るだけでなく、湧水に関わる文化も後世に残していく必要があると考え「越前おおの湧水文化再生計画」を平成23年に策定しています。

この「越前おおの湧水文化再生計画」では地下水位の最終目標値が設定されており、基本観測井の「御清水観測井」で1.2 m、「春日公園観測井」で5.5 m、「菖蒲池観測井」で7.0 m としていますが、これは先に記述した「大野市地下水総合調査」において、「御清水」が湧水で満たされるための水位が1.2 m とされており、「御清水観測井」の水位が1.2 m の時、「春日公園観測井」では5.5 m、「菖蒲池観測井」で7.0 m となるとされたためであります。

水位の観測を始めた昭和50年代にはこの目標水位より下回った日数は年間30日程度でありましが、過去10年平均をみると年間100日を超えており、平成21年には200日を超える状態でした。

しかし、平成23年に「越前おおの湧水文化再生計画」が策定され、国・県・市をはじめとする関係機関や団体などと連携し地下水保全の取組みを強化した結果、目標水位の超過日数は徐々に減り平成25年には0日となりました。

関係機関の取り組みの主なものとして、国土交通省 近畿地方整備局 九頭竜川ダム統合管理事務所による真名川ダム弾力的管理や福井県の真名川水際掘削及び河岸攪乱があります。これらにより地下水に大きく関与している真名川の澪筋の固定化や樹林化を解消され、真名川からの地下水浸透が進み、水位の改善が図られたものと考えています。

また、山林が外国資本に買収されるという事例を受け、平成24年には「大野市森・水保全条例」

を制定しました。この条例では、売買の事前の届 出のほか、山林の中で工作物を作る場合も届出を し、事前協議を行うこととしています。

市民の取り組みとして、国の天然記念物である「イトヨの生息地 本願清水」における清掃活動があります。本願清水では、過去には子どもたちがイトヨと一緒に泳いで遊んでいましたが、昭和53年には水枯れが起き枯渇状態になってしまったことを契機に、市民総出による湧水再生に向けた活動などが昭和60年代の初めから始まり、小学校の子どもたちと大人が一緒に清掃活動を行うなどの様々な努力の甲斐があり、現在は湧水地が復活したところもあります。

#### 4. 地球研とのかかわり

そんな中、平成24年に愛媛県西条市で開催された「名水サミット」において、大野市の「本願清水イトヨの里」の館長をお願いしている森教授の紹介で、総合地球環境学研究所の中野教授の「千の水をとって~千点の水の調査からわかったこと」の講演を聞き大野市でも調査をお願いしました。

総合地球環境学研究所、香川大学、同志社大学と、本市の小学校が連携し、本市の市街地にある約8,000本の井戸などから採取したデータを使って水温調査を行いました。これは、近年の地球温暖化により気温が上昇しているのに伴い、本市の地下水の温度も変化しているのかを調査するために行ったもので、市内の小学4年生~6年生に、各家庭で使っている地下水の温度を、調査日を定めて一斉に測定してもらうことで、本市の水温の変化を監視ししながら学童期からの啓発効果を狙っています。

地球研以外の研究機関・大学と連携した取り組みを行っています。筑波大学とは、平成25年度から大野盆地で安定同位体による水循環解析の調査を進めています。

また、国土交通省の国土技術政策総合研究所には、平成25年と26年の2か年で「水循環解析モ

デルによる大野盆地の地下水の流れ」を解析していただきました。

このように当市は水循環を考えていくうえでの 研究フィールドとして近年注目されています。

#### 5. 「水への恩返し」Carrying Water Project

これまでの取り組みにより大野市の地下水は回 復の兆しを見せていますが、市民には地下水は 「有って当たり前」の意識が根強く残っています。

そこで、市民が水への感謝と誇りを再認識し、その思いや行動を世界に向けて発信することで当市のブランド力を高め、交流人口の増加と人口減少対策の一つとして「水への恩返し」を基本理念に「Carrying Water Project(以下 CWP という。)」を実施しました。

CWP活動は市民・企業から寄付を募り、水環境に恵まれない地域への支援とともに、大野の恵まれた「水」を核とした地方創生に向けたブランディング活動を展開するものです。

大野の豊かな水について国内だけでなく世界に 発信することで、大野の人々が水に恵まれている ことを再認識するきっかけとするもので、これに より、産業や人材を育て特産品などの競争力を高 め、地域経済が活性化し、中長期的には人口減少 対策とする狙いです。

水環境に恵まれない地域への支援として、公益 財団法人日本ユニセフ協会とパートナーシップを 締結し、安全な水の確保に苦しむ東ティモール民 主共和国への2017年から3年間、現地の子供たち が清潔で安全な水を使えるように支援しました。

なお CWP に必要な資金は、市民、企業からの 寄付の他、ふるさと納税や「越前大野名水マラソ ン」などの各種イベントの参加者からの寄付を募 るなど、全国に支援の輪を広げていきました。

CWPを通じ、水に関して困難を抱える地域と 絆を結び、支援や交流を図ることによって、大野 市民が自らのアイデンティティをより深く理解す るきっかけとすると同時に、CWPは国際的な貢 献活動で「水で未来を拓くまち=大野市」を世界 へ発信し、ブランドを確立するための主要なプロ ジェクトと考えています。

#### 6. 今後の展開

本市では地球研と合同で古民家をリノベーションした「水のがっこう」の整備を進めています。

これは、「水」や「湧水文化」の保全・継承・ 活用に総合的に取り組むための施設を整備し、水 に関する学習や情報発信の拠点とするものです。

施設の1階は学習スペースとし、各大学の研究成果や地下水に関するパネルの展示、研究の発表会、情報交換会等を開催するほか、観光客や遠足で本市に訪れた方が自由に水について学習する場に利用します。

2階は研究室になります。水に関する研究者(大学、研究機関)がフィールドワークを行う時の活動拠点とし、簡単な検査や資材の保管場所として活用します。

多くの研究者にこの施設を利用していただくことで「水」という貴重な地域資源を生かし、大学等研究機関による研究の場、展示や情報発信等の場として活用し、地域の活性化を図りたいと考えています。

この施設は令和2年3月22日(世界水の日)にオープンしたばかりです。多くの皆様のお越しをお待ちしています。

#### 7. 著者情報



帰山寿章 (大野市民生環境部 上下水道課 課長) 1983 年大野市 役所入庁、2012 年大野市産経建 設部 建設整備課 湧水対策室に 配属、2019 年より現職。

### 兵庫県千種川流域

#### 一 地元住民の調査が原動力となった環境問題解決への取り組み 一

藤 吉 麗 (総合地球環境学研究所)

兵庫県西部に位置する千種川流域では、地元住民の手による「千種川一斉水温調査」が2002年から毎年続けられています。総合地球環境学研究所は2015年より神戸大学とともにこの調査に参画し、水の詳細な化学分析を通して千種川の水環境の解明を目指しています。地元住民による調査が原動力となり、千種川の水環境についてさまざまなことが明らかになってきました。

#### 1. 住民主体の「千種川一斉水温調査」

千種川では、毎年8月の第一日曜日に、川の源流から河口までの全94地点において、川の水温と電気伝導率を調べる「千種川一斉水温調査」が行われます。この調査は、「千種川の環境の現状を知りたい」という流域の住民の強い気持ちに応じて、兵庫県立人と自然の博物館の提案によって2002年に始まりました。調査のリーダーを務める横山正さんは、「元々は千種川を大事に思う住民が、川の上流や下流でホタルの観察やチチコ釣りなどの活動を個別に行っていた。千種川全体を視野に入れて、みんなで共通の活動をしたいと考えたときに、この形ができた」と調査のはじまった背景を説明しています。

水温は、水に溶ける酸素の量と関係し、水温が 上がると水に溶ける酸素の量が減少し、アユに代 表されるような生物の生息にとって悪影響を与え るため、水生生物の生息環境の指標となります。 また、電気伝導率は、数値が高いほど水に溶け込 む物質が多いことを示し、河川水の汚染の指標の 一つとなります。これらの指標を使うことで、だ れもが簡単に環境の良しあしを大まかにとらえる ことができます。さらに、膝まで川に浸かった時 に肌で感じる水温の冷たさやぬるさによって、川 の状態を実感することができます。

#### 2. 千種川の現状と課題

兵庫県西部に位置する千種川は、流域面積 754 km<sup>2</sup>、本川流路延長 72 km の二級河川で、流 域内には県内の2市4町(赤穂市、相生市、たつ の市、宍粟市、上郡町、佐用町)が含まれていま す。昭和の名水百選に選定された清流を有し、ア ユやオオサンショウウオなどの生物が生息してい ます。一方、2009年の兵庫県西・北部豪雨の洪 水被害を受けて、兵庫県は2015年にかけて大規 模な災害復旧工事を実施しました。その結果、川 幅拡張工事が行われた中流域を中心に水深が浅く なり、水温上昇が確認されています。2019年の 調査では、全地点のほぼ半数の45地点で水温が 30度を超えました。横山さんは、「災害復旧工事 は必要だったが、川に棲む生き物にとっては、夏 の暑さをしのぐために淵などが必要。今後、人工 的に瀬と淵を作るなど、生き物の生息環境への配 慮が必要。行政には、水温調査の結果を参考とし て活かしていただきたい」と話しています。

#### 3. 毎年の水温調査からわかってきたこと

調査をはじめるまでは、住民の方々がなんとなく感覚的に思い込んでいたことが、水温調査を継続していくことで様々な発見が蓄積されていきました。調査開始時には、「川は上流の千種が冷たく、下流の上郡や赤穂に行くほど高くなる」と思い込んでいたものが、実際は支流ごとに温度分布があ

ることに気がつきました。次の発見は、中流部でも最高水温を示す地点があったことです。農業用の風船ダムが100mの区間に2つ、3つもあり、川が流れておらず、農業に起因する環境であることがわかりました。さらに、水温の低い小さな支流が合流する地点では、スポット的に温度低下効果があることもわかり、細流の重要さを再発見しました。その後も、冷たい水塊が存在できる深い淵、たっぷり酸素や餌の虫を供給する瀬の重要さなど、当たり前の事実を再認識でき、アユやうなぎが減少する原因を実感しました。その一方で、2009年の水害後の災害復旧工事による短期間の環境変化、瀬や淵の消失、細流の水路化などの高水温エリアの拡大をも実感することとなりました。

## 4. 総合地球環境学研究所と神戸大学の参画による調査からわかってきたこと

総合地球環境学研究所は2015年より神戸大学とともにこの調査に参画しています。水温と電気 伝導率の測定に加えて、参加者の方々に採水をお 願いし、水の詳細な化学分析を行っています。

これまでに、カルシウムイオン、塩化物イオンなどの主要イオンの濃度を調べ、水質としての千種川の特徴を明らかにすることができました(図1)。

また、様々な人間活動(生活排水、農業の施肥など)から川に排出される硝酸イオンについて、川の中の硝酸イオンがどこからきたか? を、安定同位体分析<sup>1)</sup>とよばれる手法を用いて調査しています(図 2)。この調査から、流域内の 2 つの支川(大日山川、矢野川)では硝酸イオンの起源が有機質肥料と排水に由来する可能性が高いことが明らかになりました。

## 5. 研究成果を住民と共有し、視点を重ね合わせることの重要さ

総合地球環境学研究所と神戸大学の参画から得られた研究成果の一部は、2018年6月に開かれた、

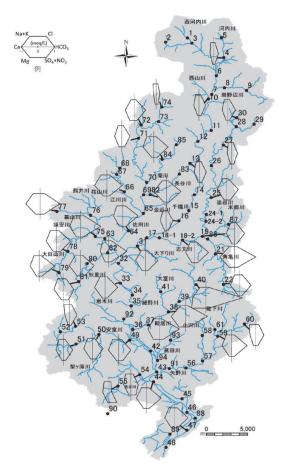


図1. 千種川流域の水質(ミネラル成分)の分布と特徴(山本2016)

流域の5つのライオンズクラブ合同主催による「千種川フォーラム」で紹介しました。また兵庫県立人と自然の博物館が開催する「共生のひろば」にて、2018年と2019年にポスター発表を行い、住民の方々から様々な意見をいただくことができました。

住民の方々からいただく意見は、「そこに住んでいるからこそ知っていること」であり、それが研究を進める上での大きな進捗のきっかけになることがあります。例えば、川の中の塩化物イオンの濃度について、地点ごとの濃度が高い低いなどの傾向がわかったが、その原因が見えなかったときに、「この辺りは冬に道路が凍結するから融雪剤をまく。その影響ではないか?」と鋭い指摘をいただきました。実際に起きている問題の解決の点でみると、住民の方々だからこそ気づく「生活者としての視点」と、研究者が提供できる「客観

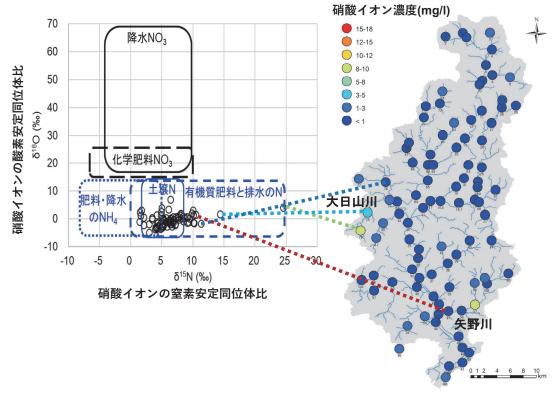


図2. 安定同位体分析を用いた、千種川流域の硝酸イオンの起源推定(右の図は、2018年8月の千種川流域の硝酸イオン濃度の空間分布。左の図は、安定同位体分析1)を通した硝酸イオンの起源推定に用いる図)

的な視点」を合わせることで、地域の問題解決に 向かいやすいのではないかと感じています。

「千種川一斉水温調査」は、年々参加者の高齢 化が進み、参加者人数も減少してきていることか ら、調査自体の継続が懸念されています。総合地 球環境学研究所と神戸大学は、調査を主導するメ ンバーの方々にこれまでの研究成果を全て還元 し、今後の調査の方向性を決めるためのサポート を全力で行う所存です。

#### 注

1) 硝酸イオン (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) は窒素原子1つと酸素原子3つからできています。窒素原子には、質量数14と15の二種類の、安定に存在する窒素原子があり、これらを互いに同位体といいます。同様に、酸素原子には、質量数16と18の二種類の、安定に存在する酸素原子があります。窒素および酸素に含まれるこれら同位体の比率を安定同位体比といい、窒素

および酸素の安定同位体比を調べることにより、硝酸イオンの起源や動態に関する情報を 得ることができます。

#### 文献

山本雄大(2016)卒業論文「兵庫県千種川の水質 に関する地球化学的研究」、神戸大学

#### 著者情報



藤吉麗 総合地球環境学研究所 「環境研究における同位体を用いた環境トレーサビリティー手法の 提案と有効性の検証」研究員。博士(環境科学)。2016年に北海道 大学大学院環境科学院で学位取得 後、山形大学農学部附属やまがた フィールド科学センター附属演習

林に技術補佐員として勤務。2017年6月より現職。

## リン酸酸素安定同位体比を使って リンはどこからやってくるのかを調べる

石 田 卓 也 (総合地球環境学研究所)

#### 1. リンが引き起こす環境問題

河川や湖沼に関わる環境問題として、富栄養化や赤潮といったことばを聞いたことがあるでしょうか。富栄養化は、水に溶けている栄養素が異常に増える現象で、家庭、工場、農業排水が未処理のまま河川などに流れることで発生します。富栄養化した状態の河川や湖沼では、増殖の速いプランクトンが異常繁茂します。プランクトンの色素によって水が赤く染まって見えることから赤潮と呼ばれます。プランクトンが異常繁茂すると、ほかの生物が生きられなくなります。

リンは生物にとって必須栄養元素でエネルギー 代謝や遺伝など多くの生命活動に関わっていま す。同時に、河川を含む多くの生態系において生 物に利用可能な量が少ないため、生物の成長や増 殖を制限する要因になっています。そのため、リ ンは最も富栄養化や赤潮の原因になりやすい栄養 素の一つといえます。リンがどこから河川や湖沼 にやってくるのか、リンの供給源を特定すること が富栄養化を改善するために非常に重要になりま す。

## 2. リン酸酸素安定同位体比でリンの供給源を調べる

リンは、岩石や土壌などの自然物から、そして 工場、家庭の排水や農業などの人間活動によって 河川へ流入します。これらのリンの供給源のうち、 どれが最も重要なのかを特定することは、その河 川流域の土地利用や地質、排水の処理状況など 様々な要因が関わってくるので、そう単純ではあ りません。そこで、私たちの研究グループでは、 河川へのリンの供給源を特定するために、リン酸 酸素安定同位体比 (δ<sup>18</sup>O<sub>PO4</sub>) を用いました。  $\delta^{18}O_{PO4}$ とは、リン酸  $(PO_4)$  の酸素 (O) の安定 同位体比(<sup>16</sup>O と <sup>18</sup>O の比)のことで、リンの供 給源や生態系内の循環プロセスを評価できること から、世界中の研究者が注目しています。リンの 供給源毎にある  $\delta^{18}O_{PO4}$  値を持つので、供給源と 河川の $\delta^{18}$ O<sub>PO4</sub>値をそれぞれ調べ、河川の値がど の供給源の値に近いのか、土地利用との関係はど うなのかなどを調べることで、どの供給源からの 負荷が大きいのかを評価することができる可能性 があります。しかし、分析方法が非常に難しいの で、世界的に見ても、δ<sup>18</sup>O<sub>PO4</sub>を分析している研 究室は多くありません。そのため、この分析によっ て実際に何がどこまでわかるのかは、あまりわ かっていませんでした。

私たちの研究グループでは、この分析技術を習得するため、多くの試行錯誤をくり返してきました。そして5年以上の歳月をかけ、ようやく分析できる目途がたち、 $\delta^{18}$ O $_{PO4}$ を適用した河川調査を行いました。調査は滋賀県の琵琶湖へ流れこむ河川の中で最大の野洲川で行いました。 $\delta^{18}$ O $_{PO4}$ を分析するためには、まず試料となる河川水を20~40 L 採取し、それを濾過・濃縮する必要があります。これを野洲川の上流から下流まで30地点で、くり返さなければならず、合計で800 Lの河川水を集めました。一つ20 kgのタンクを何回も持ち運ぶ作業は身体的にとても大変で、その後の試料処理は深夜にまで及び、精神的にもとてもつらいものがありました。その後、リン供給源の候補となる試料(下水処理水、水田土壌、森林

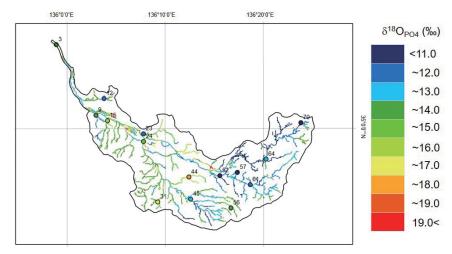


図 1. 野洲川のリン酸酸素安定同位体比の同位体地図。色の違いはリン酸酸素安定同位体比の違いを示している。〇で示しているのが実際の調査地点で、ラインになっているものが予測した河川のリン酸酸素安定同位体比を示している。

土壌、岩石、肥料)も採取しました。そのすべての 試料の実験処理にさらに 1 年以上が必要でした。 実験処理には、高度な専門知識と経験を必要とする操作がいくつもあります。分析技術を習得した とはいえ、私たちは多くの失敗をくり返してしまいました。それでも地道に作業をつづけ、ようや くリン供給源と 15 地点分の河川水のデータを得ることができました。残念ながら採取したうちの 半分、15 地点分の河川試料の実験はうまくいかず、データを失うことになりました。しかし、残りのデータから野洲川の  $\delta^{18}$ O<sub>PO4</sub> がどのような空間分布をしているのかを示すことができました。

河川と供給源の $\delta^{18}O_{PO4}$ と流域内の土地利用や地質などのデータを合わせて解析することで、野洲川流域では、岩石と水田が重要なリン起源であることが明らかになりました。さらに、土地利用や地質の情報を統合することで野洲川の安定同位体比地図を作成し、 $\delta^{18}O_{PO4}$ を「見える化」することができました(図1)。将来、流域内で新たなデータを手に入れたとき、この同位体地図と比較することで、今回の調査では見つけられなかったリン起源の有無を評価できると期待しています。

多くの時間がかかりましたが、この研究で、私たちは世界で初めて、流域スケールで $\delta^{18}O_{PO4}$ を適用し、リンの供給源評価に成功した先駆者とな

りました。この評価方法を活用することで、河川 や湖沼での効果的な水質改善策を考えるうえで重 要な情報を提供できると期待できます。現在、フィ リピンの人為かく乱の影響が強い河川でも同様の 調査をしており、フィリピンの水質保全対策へ活 かそうと考えています。

#### 文献

Ishida T, Uehara Y, Iwata T, Cid-Andres AP, Asano S, Ikeya T, Osaka K, Ide J, Privaldos OLA, Jesus IBBD, Peralta EM, Triño EMC, Ko CY, Paytan A, Tayasu I, Okuda N. (2019) Identification of Phosphorus Sources in a Watershed Using a Phosphate Oxygen Isoscape Approach. Environmental Science & Technology 53: 4707-4716.

https://doi.org/10.1021/acs.est.8b05837

#### 著者情報



石田卓也(総合地球環境学研究所 栄養循環プロジェクト研究員) 2015年名古屋大学大学院生命農 学研究科博士課程後期(農学)修 了。2016年から現職。