

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（ $\delta^{18}\text{O}_{\text{PO}_4}$ ）を用いました。 $\delta^{18}\text{O}_{\text{PO}_4}$ とは、リン酸（ PO_4 ）の酸素（O）の安定同位体比（ ^{16}O と ^{18}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 $\delta^{18}\text{O}_{\text{PO}_4}$ 値を持つので、供給源と河川の $\delta^{18}\text{O}_{\text{PO}_4}$ 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のような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、 $\delta^{18}\text{O}_{\text{PO}_4}$ 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、 $\delta^{18}\text{O}_{\text{PO}_4}$ 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。 $\delta^{18}\text{O}_{\text{PO}_4}$ 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っても大変で、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

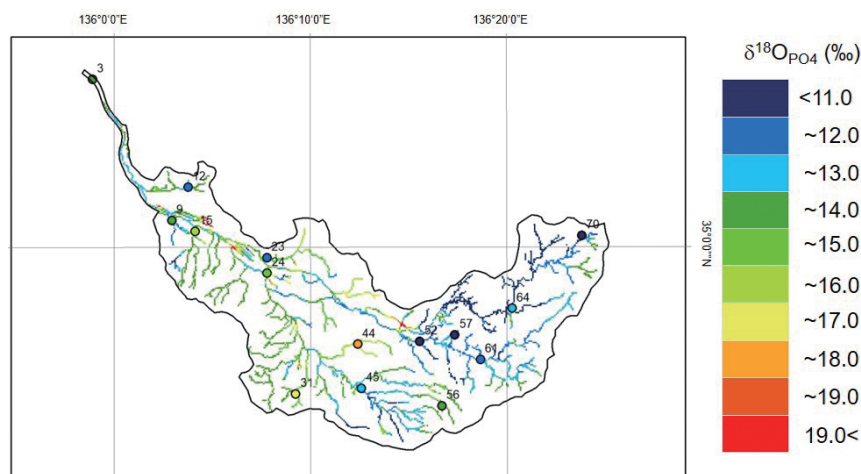


図 1. 野洲川のリン酸酸素安定同位体比の同位体地図。色の違いはリン酸酸素安定同位体比の違いを示している。○で示しているのが実際の調査地点で、ラインになっているものが予測した河川のリン酸酸素安定同位体比を示している。

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取得す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 $\delta^{18}\text{O}_{\text{PO}_4}$ 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 $\delta^{18}\text{O}_{\text{PO}_4}$ 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、 $\delta^{18}\text{O}_{\text{PO}_4}$ 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 $\delta^{18}\text{O}_{\text{PO}_4}$ 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 IBB, 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。

(2020 年 3 月 31 日掲載)