

混合比から読み解く富士川濁水の起源と行方

鷹 野 真 也

（総合地球環境学研究所）

1. はじめに

「富士川の濁りが近年強くなってきている」

そんな声が流域に住む方々から届きました。

濁りがなぜ強くなったのか？ 発生源は何なのか？

下流や河口、海に棲む生き物への影響は？ これからどうなってしまうの？ 等々、考えてもわからないことだらけ。地域住民の不安は募るばかりです。

こんな時には、同位体を用いた環境トレーサビリティ手法が解決の糸口になるかもしれません。色々とわからないことばかりなら、まずは物事のベースとなる部分を押さえることが大切です。ここでは、濁りがどこからどれだけ来たのか（またそれはどこへ行くのか）、つまり濁りの起源を知ることがそれにあたります。本稿では富士川の濁りの起源をストロンチウム（Sr）同位体比を用いて推定した研究例を紹介します。

2. 富士川の濁り問題

富士川は主に山梨県と静岡県を南流し駿河湾へ注ぐ一級水系です（図1）。もともと日本三大急流河川に数えられるほど流れが速い、つまり土砂運搬能力が高い河川であり、流域の崩れやすい地質も相まって比較的濁りが発生しやすいことで知られています。

その富士川で、近年濁りが少しずつ強くなっていることが観測され（たかはし河川生物調査事務所，2016）、特に富士川の主要支流の1つである早川（及び早川水系の雨畑川；図1）から強い濁りが何度も見られるようになりました。時を同じくして、富士川中下流部におけるアユの目撃数の減少や、駿河湾でのサクラエビの不漁等が報告されるようになり、富士川の濁りが水圏生態系へ与える影響の懸念が強まり始めました。

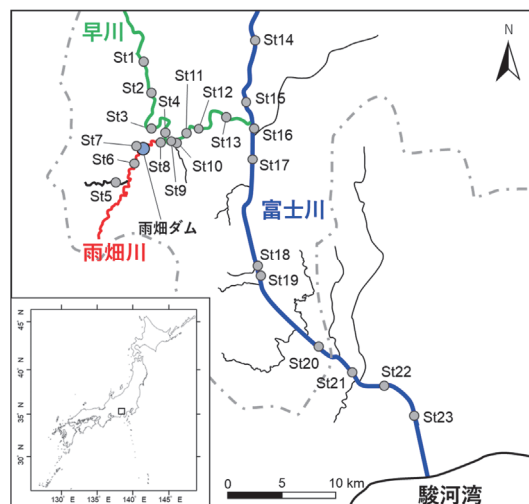


図1. 富士川中下流域の調査地点。一点鎖線は山梨県と静岡県の県境を示しています。

ここで、特に強い濁りが見られた早川と雨畑川が富士川の濁りの発生源ではないかという疑いがかけられました。確かに早川と雨畑川からは見るからに強い濁水が流れていました（図2a）。しかし一方で、早川と合流する前の富士川の水も充分濁っているように見えます（図2b）。では実際のところ、早川・雨畑川由来の濁水が合流後の富士川に対してどれだけ寄与しているのでしょうか？ その割合を Sr 同位体比と同位体マスバランス（混合理論）を用いて推定しました。

3. 富士川濁水の起源を解くために — 調査と手法

調査は2021～2022年の期間に月1～2回程度、早川と雨畑川を含む富士川中下流域の最大23地点で実施しました（図1）。各地点で河川水と河川水中の懸濁物質（SS: Suspended Solids）、及び河床堆積物を採取し、それらに含まれる Sr 濃度と Sr 同位体比（ $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ）を測定しました。（ $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ について、詳しくは第3章「重元素同位体」をご覧ください）

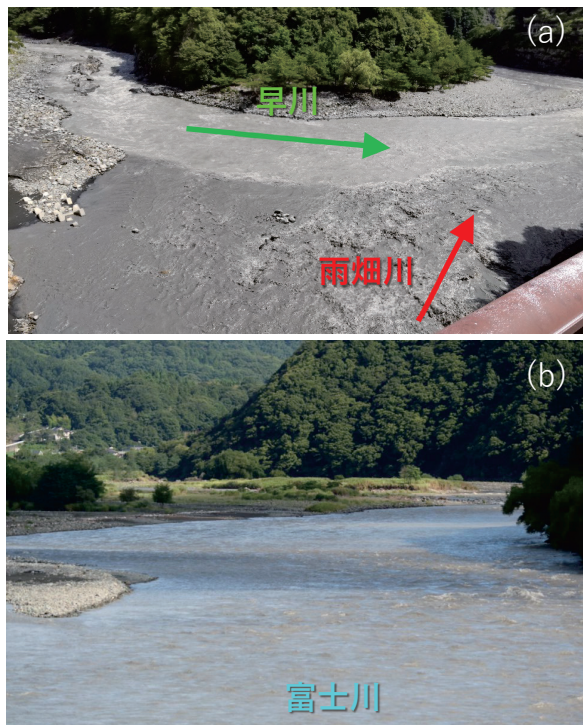


図 2. 早川・雨畑川 (a) と早川合流前の富士川 (b) の濁りの様子 (2021 年 8 月 19 日撮影)

測定したサンプルの Sr 濃度と Sr 同位体比から、同位体マスバランスモデル（混合理論）を用いて混合比（割合）を求めます（Faure and Mensing, 2005）。この理論では、異なる Sr 濃度と Sr 同位体比をもつ 2 つの成分（A と B）の混合体 M とした時、縦軸に $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 、横軸に Sr 濃度の逆数 ($1/\text{Sr}$) をとると、A と B のプロットを結んだ直線上に M のプロットが分布します（図 3）。この関係を用いて、M 中の A と B の混合比を推定します。詳しい式や計算方法は注釈として稿末に記載しましたので、興味があればぜひご覧下さい¹⁾。

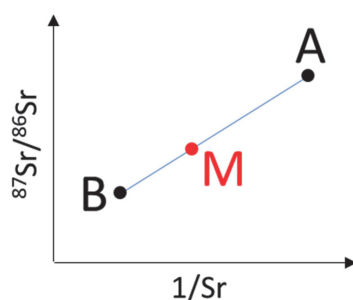


図 3. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ - $1/\text{Sr}$ 濃度ダイアグラム上での成分 A と B、その混合体 M の関係

4. 三つの産地（雨畑川と早川上流、及び富士川上流）のブレンド

河川水と河川水中の懸濁物質（以下、SS と表記）の Sr 濃度と Sr 同位体比を $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ - $1/\text{Sr}$ 濃度ダイアグラムにプロットしたものを図 4 に示しました。わかりやすい例として、河川水と SS とともに 2021 年 7 月に採取したサンプルのデータを使用しました。

まず河川水と SS とともに、雨畑川と早川上流（雨畑川との合流前）のプロットを結んだ直線（緑の破線）上に早川下流（雨畑川合流後）のプロットが分布しました。そして早川下流と富士川上流（早川との合流前）のプロットを結んだ直線（青の破線）上に富士川下流（早川合流後）のプロットが分布しました。これらのことから、雨畑川、早川上流、及び富士川上流を主要な成分（端成分）とした混合体として、合流後の河川水と SS が構成されていると考えられます。つまり、先述の混合理論からそれぞれの混合比を求めることができます。

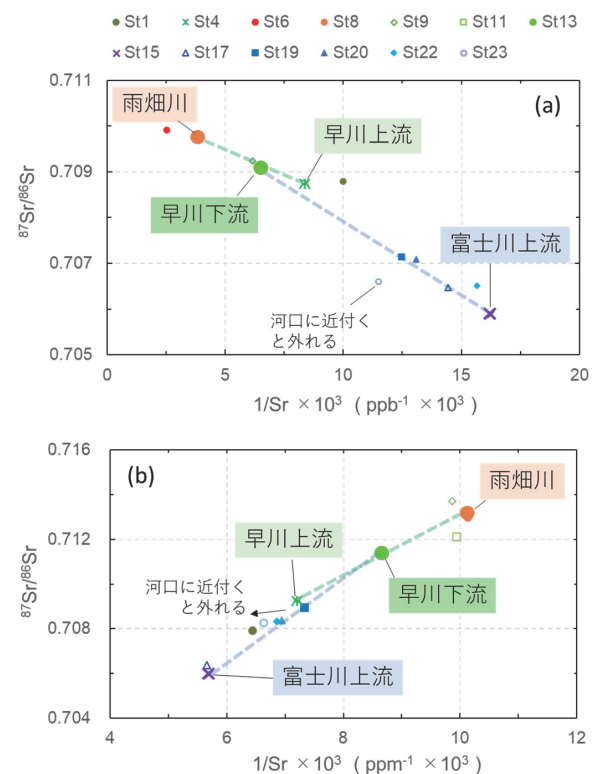


図 4. 河川水 (a) と SS (b) の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ - $1/\text{Sr}$ 濃度ダイアグラム。ともに 2021 年 7 月採取サンプル。

ちなみに、河川水と SS とともに富士川河口付近のプロットが青の破線から外れました。これは河口に近付くにつれて下流域由来の他の成分が混入したことによるズレと考えられます。

5. 混合比から濁水の起源と行方を読み解く

上記実測値と混合理論から、富士川下流における雨畑川と早川（上流及び水系全体）、及び富士川上流由来の成分の混合比を計算し、調査期間全体のデータを図 5 にまとめました。同様に河床堆積物についての混合比と、流域面積比も同図に示しています。データに少し幅があるものは中央値で議論しています。

まず河川水の混合比を見てみましょう。平時（低水位）の富士川下流河川水では、早川水系全体と雨畑川由来の水の割合がそれぞれ約 13% と約 4% でした。降水後の高水位時には、それらの割合はそれぞれ約 24% と約 10% に上昇しました。これは早川水系が国内でも屈指の降水量を誇る南アル

プスを源流部に持つためと考えられます。この河川水の混合比は、やや幅があるものの流域面積比と同程度の割合を示しました。

一方、SS の混合比を見てみると、早川水系由来が 60% 以上、そのうち約半分を雨畑川由来が占めていることがわかりました。これらは河川水や流域面積の割合と比べてかなり高く、早川水系由来の SS が富士川濁水の主要供給源であることを示唆しています。（裏を返せば、30% 程度は富士川上流由来であるとも言えます）

また、河床堆積物における混合比も推定したところ、早川水系由来と雨畑川由来がそれぞれ 11% と 1% 程度と、他と比べて最も低い割合を示しました。河床堆積物は一般的に河川による土砂運搬の履歴を反映していると考えられていますが、この結果から早川水系由来の SS は河床にあまり堆積していない可能性が示唆されました。つまり、早川水系由来 SS は富士川濁水の主要供給源であるものの、堆積しにくく大部分が駿河湾へ流出している可能性が考えられます。

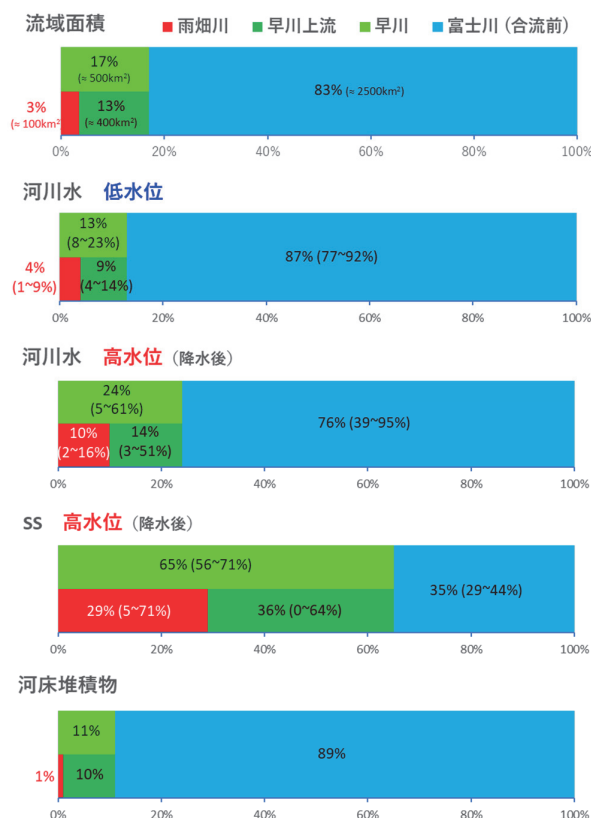


図 5. 河川水、SS、及び河床堆積物の混合比と流域面積比

6. おわりに

本研究では、富士川の濁水がどこから来てどこへ行くのかを、Sr 濃度と Sr 同位体比を用いて定量的に明らかにしました。富士川の高濃度の濁水は、流域の水棲生物の生育環境にとって悪影響を及ぼし得るものですが、河床に泥として堆積・残留している（またそれに伴う二次的な弊害の）可能性は低いのかもかもしれません。一方、濁水が流入する駿河湾の海洋生物への影響も懸念されているため、富士川の濁りの状態を今後注視し対策を講じる必要があります。

今後の課題として、この富士川（早川水系）の濁りの中から人為的影響（ダムや採石場の影響、産業廃棄汚泥の不法投棄など）を検出できるかどうかを現在検討しています。この濁水は天然要因（土砂崩れ）だけでなく人的要因の影響も少なくないのではないかという懸念があり、より詳細な発生源の解明が求められています。今回の Sr 同

位体を用いた手法からそれが可能なのか、はたまた他の同位体や元素濃度を用いたアプローチなら解決できるかどうか。まだ糸口を探っている段階ですが、良い報告ができるよう研究に邁進していきたいと思います。

また、“水質と物質循環、集水域特性”の「塩類の起源に迫る — 農地が汗をかくと塩をかく —（久米崇さん）」にて、本研究と同様に Sr 濃度と Sr 同位体比から混合比を求めた研究例（こちらは3成分の混合比計算です）が紹介されています。Sr 同位体比の混合理論を用いた手法の理解が深まると思いますので、ぜひ併せてご覧下さい。

注釈

- 1) 混合理論では、異なる Sr 濃度・Sr 同位体比をもつ2つの成分（A と B）の混合体 M とした時、M の Sr 同位体比を以下の式で表すことができます。

$$R_M = R_A f_A \left(\frac{Sr_A}{Sr_M} \right) + R_B (1 - f_A) \left(\frac{Sr_B}{Sr_M} \right)$$

ここで R_M 、 R_A 、 R_B は M、A、B の Sr 同位体比 ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) を、 Sr_M 、 Sr_A 、 Sr_B は M、A、B の Sr 濃度をそれぞれ示しています。また、 f_A は M 内の A の存在比（割合）を示しています（つまり $1-f_A$ は M 内の B の存在比を意味します）。この式は R_M が Sr_M の逆

数（つまり $1/Sr_M$ ）の一次関数であることを表しています。要するに、縦軸に $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 、横軸に Sr 濃度の逆数 ($1/Sr$) をとると、A と B のプロットを結んだ直線上に M のプロットが分布します（図3）。また、上記の式を変形して以下のように f_A を求め、混合比を推定します。

$$f_A = \frac{R_M Sr_M - R_B Sr_B}{R_A Sr_A - R_B Sr_B}$$

文献

たかはし河川生物調査事務所（2016）平成27年度 天然アユを指標とした富士川の環境保全調査報告書。

Faure G and Mensing T M (2005) Isotopes: Principles and Applications (third ed.), John Wiley and Sons Inc., Hoboken, New Jersey.

著者情報



鷹野真也（総合地球環境学研究所 環境トレーサビリティ特定推進研究 研究員）2019年北海道大学大学院環境科学院博士後期課程単位取得退学。2020年学位取得（環境科学）。北海道大学学術研究員を経て、2021年より現職。

（2023年3月31日掲載）