

森林のカルシウム不足を火山灰が救う

越 川 昌 美
(国立環境研究所)

1. カルシウム不足と森林環境

酸性雨の生態系影響は、主に 1970 年代から 1990 年代に欧米で報告され、湖沼から魚がいなくなり森林が枯損するといった被害が大きな問題となりました。日本でも欧米と同程度の酸性雨が降っていますが、魚への被害や森林の成長抑制は認められていません。それはなぜでしょうか。この疑問に答えるために、本研究では土壌のカルシウムに注目しています。

土壌中のカルシウムは、イオン交換反応によって酸を中和できます。また、カルシウムは樹木など生物に欠かせない栄養であるため、土壌中カルシウムは養分供給の観点からも重要です。イオン交換にかかわるカルシウムを供給する鉱物は、基盤岩由来の鉱物だけでなく、黄砂や火山灰のようにあとから付加した鉱物もあります。日本各地に、数千年前から数万年前の大規模な火山活動で降下した火山灰は、風化が速く、カルシウムなどの塩基カチオン¹⁾の供給能力が高いため、火山灰を多く含む土壌は、酸中和能が高いと期待できます。しかし、山地斜面では火山灰の分布を把握するのが難しいため、山地斜面における火山灰のカルシウム供給能の評価は困難で、国内外を問わず報告されていません。

本研究は、森林のカルシウム循環への火山灰の寄与評価を目的として行いました。森林のカルシウム供給源を、大気降下物と土壌鉱物に分けたとき、土壌鉱物由来のカルシウムが酸の中和で消費されて不足してくると、大気降下物由来の寄与が相対的に高くなると予想されます。そこで、カルシウムの起源を解析して、森林生態系のカルシウムが十分足りているかを調べることにしました。

起源解析には、カルシウムとよく似た性質をもつストロンチウム（Sr）の同位体を使いました。また、より基礎的な研究課題として、大気降下物と基盤岩の 2 成分系の起源解析は行われていますが、そこに火山灰を加えた 3 成分系で起源解析を試みたことが、本研究の特徴です。

2. Sr 同位体比でカルシウムの供給源を調べる

観測は、茨城県筑波山の南側に位置する試験地で行いました。この地域の基盤岩は、花崗岩という、カルシウム供給能が低いといわれている岩です。そしてこの地域には、約 3 万年前に群馬県赤城山の噴火によって火山灰が降下したことがわかっています。試料採取地点（図 1）は、地形による火山灰の蓄積しやすさを考慮して選び、緩斜面、急斜面、谷部で土壌と植物を、溪流の上流・中流・下流で溪流水を採取しました。また、下流の近傍で降水と花崗岩を採取しました。



図 1. 試料採取地点

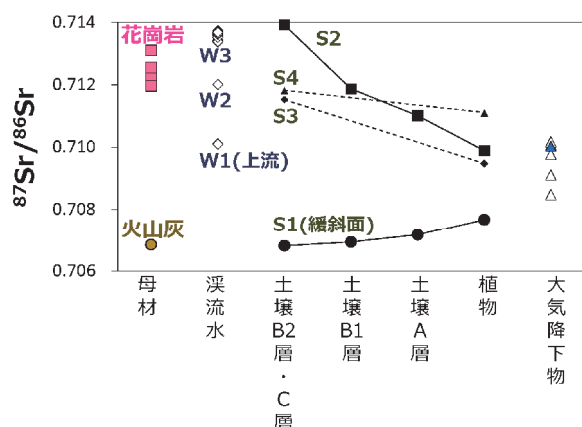


図 2. 森林の各種試料の Sr 同位体比。土壌は層別別に分析した。

採取した水試料は濾過し、固体試料は酸分解して、元素分析および Sr 同位体分析を行いました。土壌は酢酸アンモニウムで抽出して交換態も分析しました²⁾。

全試料の Sr 同位体比の概要が図 2 です。縦軸に Sr 同位体比を示しましたが、花崗岩・大気降下物・火山灰が離れた値を示し、渓流水・土壌・植物の試料がそれらのほぼ間の値を示しました。従って、試料の値が、花崗岩・大気降下物・火山灰の混合で説明できることがわかりました。緩斜面の S1 地点の土壌と植物は、火山灰と大気降下物の間の値を示し、火山灰の寄与があると考えられました。ほかの地点の試料は、大気降下物と花崗岩の間の値を示し、火山灰の寄与があるかどうかは、同位体比だけではわかりませんでした。

3. 土壌中の火山灰

風化した火山灰を含む土壌の性質は Andic properties と呼ばれ、図 3 の縦軸の値がその指標になります。横軸は、図 2 で示さなかった交換態の Sr 同位体比です。緩斜面の S1 地点は、どちらの軸から判断しても、火山灰を多く含むことが確認できました。そして、S2 地点や S3 地点の土壌は、酸分解の同位体比は大気降下物より花崗岩側にありましたが、土壌抽出液の同位体比は火山灰側にあり、これらの地点でも火山灰由来 Sr の寄与があることがわかりました。

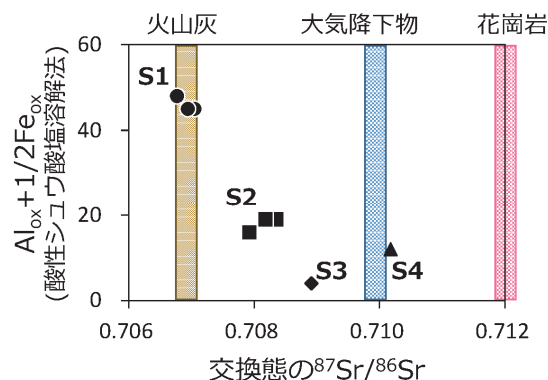


図 3. 土壌の交換態 Sr 同位体比と火山灰の指標 (Andic properties) となる値 ($Al_{ox} + \frac{1}{2}Fe_{ox}$) の関係

4. 渓流水中の火山灰由来 Sr

図 4 は下流地点の渓流水の Sr 同位体比と Sr 濃度の季節変化を、横軸を流量にして示した図です。上の図は、流量が上昇すると、同位体比が下がる傾向があります。この値は、花崗岩と大気降下物の間であり、火山灰はもっと低いので、同位体比が低下する原因が、大気降下物なのか火山灰なのか、この図だけでは判断できません。下の図は、流量が上昇すると、Sr 濃度が上昇する傾向があります。大気降下物の Sr 濃度は、渓流水の 1% 程度と低いので、この濃度変化は大気降下物ではなく火山灰の寄与によると考えられました。

以上に基づいて、渓流水中の Sr の起源を、図 5 の 3 つの式を使って計算しました。3 つめの

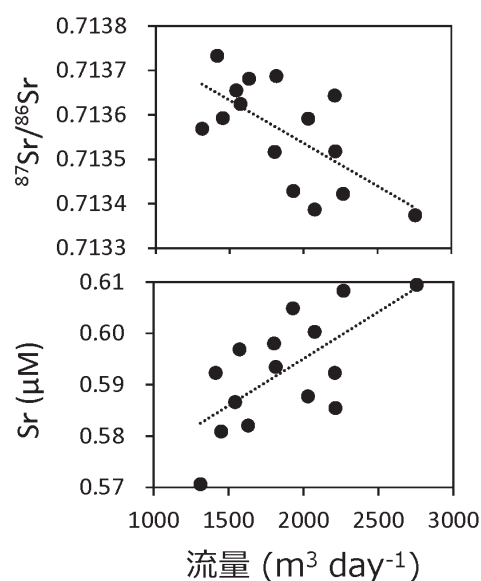


図 4. 渓流水の流量と Sr 同位体比や Sr 濃度の関係

$$\begin{aligned}
 & (^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_{\text{streamwater}} \\
 &= f_{\text{atmospheric}} (^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_{\text{atmospheric}} + f_{\text{granite}} (^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_{\text{granite}} \\
 &+ f_{\text{volcanic ash}} (^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_{\text{volcanic ash}} \quad \text{Eq. 1} \\
 &f_{\text{atmospheric}} + f_{\text{granite}} + f_{\text{volcanic ash}} = 1 \quad \text{Eq. 2} \\
 &f_{\text{atmospheric}} = (\text{Sr}/\text{Cl})_{\text{atmospheric}} / (\text{Sr}/\text{Cl})_{\text{streamwater}} \quad \text{Eq. 3}
 \end{aligned}$$

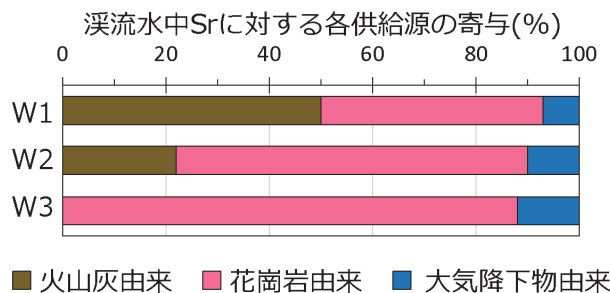


図5. 渓流水中 Sr に対する火山灰、基盤岩（この場合は花崗岩）、大気降水物の寄与率計算の式と結果

式は、塩化物イオン (Cl) を指標として、渓流水中の大気降水物由来成分の寄与を求める式を使用しました。その結果、大気降水物の寄与は青で示したとおり 1 割から 2 割程度であること、火山灰の寄与は上流の緩斜面で 50% と高く、下流では季節変化があっても 0-1% と低いことがわかりました。

5. 植物中の火山灰由来 Sr

植物中の Sr の起源を計算するときは、Cl を指標とした式が使えないので、仮定のもとで計算しました。S1 地点では、花崗岩の寄与がゼロであると仮定すると、火山灰の寄与が 74% となりました。実際は花崗岩由来もある程度含まれるため、それと釣り合いをとるために火山灰の寄与はこれより高くなります。

6. おわりに

以上をまとめますと、まず、山地斜面における火山灰の分布の特徴として、上流の緩斜面の渓流水や植物で火山灰由来の Sr の寄与が高いことがわかりました。Sr 同位体比を用いて、火山灰による Sr 供給の寄与を評価できることがわかりました。次に、大気降水物由来 Sr の寄与が、渓流水で 10-20%、植物で 50% 以下であったことから、文献値と比較しても大気降水物由来の寄与はそれ

火山灰の寄与

上流の緩斜面で高い
(50%, W1)

下流で低い
(0-1%, W3)

ほど高くなく、今回の試験地では火山灰や花崗岩による Sr の供給が十分であると考えられました。そして、以上の結果は、カルシウムについても同様と考えられました。

今後は、カルシウム供給能が花崗岩よりもさらに低いといわれている地質（チャートなど）の地域で、森林のカルシウム不足を火山灰由来カルシウムが補っている様子を調査する計画です。

注釈

- 1) 土壌に含まれる陽イオン（カチオン）のうち、カルシウム、マグネシウム、カリウム、ナトリウムを塩基カチオンと呼び、いずれもイオン交換により酸を中和する働きがある。
- 2) 土壌中の陽イオンは、土壌粒子の表面に弱く吸着して水に溶けやすく植物に吸収されやすい形態と、土壌粒子に強く結合して容易に水に溶けない形態で存在し、前者を交換態と呼ぶ。交換態の陽イオンは、土壌を 1 mol/L 酢酸アンモニウムで抽出して分析する。
- 3) 土壌学では土壌は水平に積み重なった層から成り立つとみなす。森林土壌は、堆積有機物層と鉱質土層に分かれ、鉱質土層は上から順に A 層（腐植に富む）、B 層（腐植が乏しい）、C 層（基盤岩の礫に富む）に分かれる。

文献

Koshikawa MK, Watanabe M, Shin K-C, Nishikiori T, Takamatsu T, Hayashi S, Nakano T (2016) Using isotopes to determine the contribution of volcanic ash to Sr and Ca in stream waters and plants in a granite watershed, Mt. Tsukuba, central Japan. *Environmental Earth Sciences* 75: 501.
<https://doi.org/10.1007/s12665-015-5097-9>

著者情報



越川昌美（国立環境研究所地域環境研究センター主任研究員）1996年京都大学大学院人間・環境学研究科修士課程修了。1996年国立環境研究所入所。博士（人間・環境学）。専門は水と土壌の無機分析化学。

（2021 年 3 月 31 日掲載）

（2022 年 3 月 31 日改版）