

令和 5 年 5 月 16 日現在

機関番号：82101

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19K06132

研究課題名（和文）火山灰による森林生態系へのカルシウム供給 - その重要性と普遍性の評価 -

研究課題名（英文）The contribution of volcanic ash in the Ca cycle in Japanese forest ecosystems.

研究代表者

越川 昌美（金尾昌美）（Koshikawa, Masami）

国立研究開発法人国立環境研究所・地域環境保全領域・主幹研究員

研究者番号：80291045

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、日本の森林土壌には数万年前に降下した火山灰が含まれており、火山灰から供給される栄養によって、どのような地質の地域でも豊かな森林が維持されている、という自然観を提示することを旨とした。そのために、火山灰の混入程度と地質が異なる複数地域において、森林の植物のストロンチウム同位体比を分析することにより、火山灰が植物へカルシウム（Ca）を供給する機能を評価した。その結果、Ca供給能が低い地質の地点だけでなく、Ca供給能が高い地質の地点でも火山灰の寄与が認められたことから、「Caが豊富な地質の地域であっても火山灰から供給されたCaが森林の植物に利用されている」と示すことができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまで土壌中における火山灰の機能に関する研究は、有機物やイオウに対する吸着保持作用を調べたものに限られていたが、我々は全く異なる視点から栄養であるCaの供給源として火山灰に着目し、森林土壌における物質循環研究にも新展開をもたらすことを目指した。我々は前課題において、渓流水に火山灰由来のCaが含まれることを示したが、本課題では植物にも火山灰由来のCaが含まれることを示すことができた。日本の森林土壌には数万年前に降下した火山灰が土壌に含まれており、火山灰からの栄養供給によって、どのような地質の地域でも豊かな森林が維持されている、ということを示すデータを得ることができた。

研究成果の概要（英文）：Ca deficiency may damage the ecosystems because Ca is an essential nutrient and serves as an acid neutralizer. In Japan, acid deposition has been widely reported since the 1980s, but Ca deficiency and subsequent acidification of stream water has rarely been reported. We propose that volcanic ash in forest soil is an important source of Ca in forest ecosystems in Japan. Volcanic ash is widely deposited in Japan from eruptions that occurred tens of thousands of years ago. In a previous study, we detected the contribution of volcanic ash to Ca in stream waters using stable isotopes of Sr, providing a proxy for Ca. In this study, we investigated bamboo leaves at eight sites in various bedrock types. The technique using stable isotopes of Sr revealed that Ca supply from volcanic ash to bamboo leaves could be detected at every site. The results suggested Japanese forest ecosystems on any kind of bedrocks are more or less supported by the nutrient supply from the volcanic ash.

研究分野：地球化学

キーワード：ストロンチウム同位体 火山灰 植物 森林 カルシウム供給源

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

火山灰を含む森林土壌は、一般にその吸着能が注目され、炭素・硫黄・酸の吸着保持による環境改善機能が強く評価されてきたが、栄養供給能の面ではリンの吸着能が高いために生産性が低い土壌と評価されてきた。しかし、カルシウム (Ca) 供給能が低い地質の地域において森林の植物が良好に生育するのは、「森林土壌中に混入している火山灰が植物への Ca 供給に大きく寄与しているから」という可能性がある。

Bailey et al. (1996) は、北米の花崗岩集水域において、ストロンチウム (Sr) と Ca の動態が類似している (大気降下物・植物・土壌・渓流水の Sr/Ca 比がほぼ一定の状態を循環している) ことを示したうえで、植物や渓流水に含まれる Ca の起源が、大気降下物と花崗岩の 2 成分系である場合、ストロンチウム同位体比 ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) を用いることで起源別寄与率を算出できることを示した。申請者は、この  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  を用いた方法を改良して、火山灰・基盤岩・大気降下物の 3 成分系でも渓流水中 Ca の起源を解析できることを見出し、茨城県筑波山の花崗岩集水域 (Koshikawa et al., 2016) および栃木県雨巻山のチャート集水域 (越川ら、科研費基盤 C 2016-2018 年度) における渓流水中 Ca の起源解析に適用してきた。これらの研究の過程において、Ca 供給能が低いと言われている花崗岩やチャートの地域の森林内を歩いてみると、樹木は大きく生育し、アオキやササなどの下草が繁茂しており、Ca 不足とは程遠い風景であったため、火山灰起源 Ca がこれらの植生を支えているのではないかと考えた。そこで植物を試験的に分析したところ、筑波山では樹木の幹 4 検体中 1 検体で  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  が基盤岩 > 大気降下物 > 渓流水 > 植物 > 火山灰となり、雨巻山ではアオキとササ各 1 検体について基盤岩 > 渓流水 > 大気降下物 > アオキ > ササ > 火山灰となり、植物への火山灰の寄与が示された。しかし、この結果だけでは、偶然、火山灰寄与が高い地点の植物を分析しただけである可能性が残るため、火山灰起源 Ca が日本の森林を支えているという説得力あるデータを示したいと考えて、本研究の着想に至った。

### 2. 研究の目的

本研究は、火山灰の混入程度と地質が異なる複数の地域において、森林の植物の  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  を分析することにより、火山灰が植物へ Ca を供給する機能の重要性と普遍性を明らかにすることを目的とする。具体的には、カルシウム (Ca) 供給能が低い地質の地域において森林の植物が良好に生育するのは森林土壌中に混入している火山灰が植物への Ca 供給に大きく寄与しているため、という仮説を確かめる。そのために、森林の植物および渓流水に含まれる Ca の起源を火山灰・基盤岩・大気降下物に分け、それぞれの寄与率を評価する。その際に Ca と動態が類似した Sr に着目し、その安定同位体比が起源毎に異なることを利用した解析を行う。この手法を用いて、火山灰量や基盤岩が異なる様々な地域で、植物や渓流水に含まれる Ca の起源解析を行い、どのような地域でも普遍的に、植物に対する火山灰起源の Ca 供給が見いだされることを示す。

### 3. 研究の方法

本研究では、火山灰が植物へ Ca を供給する機能の重要性と普遍性を明らかにするために、3 つのサブテーマを実施した。

#### サブテーマ 1. 火山灰起源 Ca 指標植物の選定

渓流水中 Ca への火山灰寄与が、チャート集水域では強く、砂岩集水域では弱く現れることを申請者が明らかにした栃木県雨巻山において、様々な植物の  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  を分析した。日本国内に広く分布しており他の地域での研究に応用可能な植物、かつ根の深さが異なっている植物として、アオキ・ササ・スギ・ヒノキ・コナラを対象とした。根の深さに注目するのは、土壌の表層 (A 層) に近いほど大気降下物の影響が強く、土壌の深部 (C 層) に近いほど基盤岩の影響が強く、ちょうどよい深度 (B 層) で火山灰の影響が強いと予想されるからである。それを確かめるために、土壌の深度別の試料も分析した。また、渓流水 (森林が涵養した水) を使用している水田のイネも試験的に分析して、森林土壌の火山灰起源の栄養が渓流水を介して平地の農作物にも及んでいる可能性を検討した。雨巻山において既に取得済みの火山灰・基盤岩・大気降下物の  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  のデータと、本研究で取得する植物の  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  を総合して、それぞれの植物に対する火山灰起源 Ca の寄与を評価した。以上の結果に基づいて、火山灰起源 Ca の影響を強く受けている植物を選定し、以降の実験で使用した。

#### サブテーマ 2. 火山灰寄与の簡易推定法の開発

基盤岩と大気降下物の  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  が未知の地域において植物への火山灰寄与を推定する手段として、渓流水と植物の  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  を比較して植物への火山灰寄与を評価する簡易推定法を、雨巻山におけるデータを用いて検討した。植物が吸収している土壌溶液が火山灰・基盤岩・大気降下物に由来する Ca を含んでおり、基盤岩と長期間接触した地下水が土壌溶液と混合したものが渓流水である、という前提が成立する場合、この手法は原理的に可能であると期待できる。具体的には、 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  が基盤岩 > 大気降下物 > 渓流水 > 植物 > 火山灰の順になっているかどうかを比

較した。

### サブテーマ3．火山灰起源 Ca 指標植物の多点調査

サブテーマ1と2で雨巻山のデータを用いて検討した、火山灰起源 Ca 指標植物と火山灰寄与の簡易推定法を用いて、多地点で植物と渓流水を採取し、 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  を分析した。具体的には、栃木県雨巻山のチャート地域および砂岩地域、茨城県筑波山の花崗岩地域、斑禰岩地域、変成岩地域の全8地点で行った。いずれも、群馬県赤城山の約3万年前の噴火による火山灰が降下した地域であり、赤城山からの距離および地形に応じて土壤中の火山灰混入量が異なる。チャート・砂岩・変成岩・花崗岩は一般に Ca 供給能が低く、斑禰岩は Ca 供給能が高いとされている。どの地点も、母岩の方が火山灰よりも  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  が高いと確認済であること、笹も渓流水も土壤に混入した火山灰由来の Sr と母岩由来の Sr を含んでいるが渓流水の方が母岩由来成分と長時間接触した地下水を含むと考えられることから、渓流水の方が  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  が高いと予想した。まず全体の傾向として、火山灰寄与が大きいのは、基盤岩の Ca 供給能が低く火山灰量が多い地域であるという結果が予想される。加えて、基盤岩の Ca 供給能が高い地域であっても植物には火山灰起源 Ca が含まれる、という結果が得られれば、「どのような地質の地域でも、程度の差はあっても普遍的に、火山灰起源 Ca が植物に供給されている」という説の根拠となることを期待した。

## 4．研究成果

### サブテーマ1．火山灰起源 Ca 指標植物の選定

1つの砂岩集水域内の数地点でアオキ、ササ、スギを採取し、分析値をこの集水域の Sr 供給源である火山灰、大気降下物、砂岩と比較した。さらに、基盤岩である砂岩の影響を植物よりも強くうけていると考えられる渓流水の分析値も比較した。 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  は、火山灰(0.707) < ササ(0.710) = 大気降下物(0.710) < アオキ(0.711) < スギ(0.713-0.716) < 渓流水(0.720) < 砂岩(0.730)であり、火山灰に最も近い値を示す植物はササであった。ササと大気降下物の  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  はほぼ一致したが、ササの Sr が大気降下物の Sr に100%由来するとは考えにくい。したがって、ササの  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  がアオキやスギよりも低いのは、ササがアオキやスギよりも火山灰起源 Sr の影響を強く受けていたため、と考えられた。また、この砂岩集水域の下流にある水田のイネを分析したところ、 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  は0.715であり、渓流水よりも低い(火山灰の値により近い)値であった。

1つのチャート集水域内の数地点でアオキ、ササ、ヒノキ、コナラを採取し、分析値をこの集水域の Sr 供給源である火山灰、大気降下物、チャートと比較した。さらに、基盤岩であるチャートの影響を植物よりも強くうけていると考えられる渓流水の分析値も比較した。その結果、 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  は、火山灰(0.7069) ~ ササ(0.7070-0.7071) ~ アオキ(0.7070-0.7073) ~ ヒノキ(0.7071-0.7074) ~ コナラ(0.7069-0.7074) < 渓流水(0.709) < 大気降下物(0.710) < チャート(0.717-0.720)であった。植物種間の違いは採取地点間の違いの範囲であり、どの植物が火山灰の影響をより強くうけているかを議論することは難しかったが、植物はいずれも火山灰の影響を示す値であった。また、このチャート集水域の下流にある水田のイネを分析したところ、 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  は0.709であり、渓流水と同程度の値であって、渓流水と同程度に火山灰由来 Sr の影響を受けていると考えられた。

イネの分析は試験的に1検体ずつを用いて実施したものであるが、森林土壤の火山灰起源の栄養が渓流水を介して平地の農作物にも及んでいる可能性を示す結果を得た。

本課題開始前に得ていたデータも含めて森林の植物の  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  を比較した結果、ササがアオキよりも火山灰の値に近いこと、スギ・ヒノキ・コナラと比較しても、ササはこれら樹木と同程度またはそれよりも火山灰に近く、調べたなかで最も火山灰の値に近い植物であることがわかった。

### サブテーマ2．火山灰寄与の簡易推定法の開発

栃木県雨巻山の複数地点の基盤岩、大気降下物、渓流水、植物、火山灰の  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  の大小関係を比較した結果、基盤岩 > 渓流水 > 大気降下物 > 植物 > 火山灰となる場合は定性的に火山灰寄与がわかることを確認した。

### サブテーマ3．火山灰起源 Ca 指標植物の多点調査

土壤への火山灰の混入程度と地質(母岩)が異なる8地点において、森林の笹および渓流水の  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  を分析した結果、全8地点で渓流水の方が笹よりも高い  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  を示した。このうち4地点では、笹の  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  は、大気降下物由来の  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  より低かったため、火山灰の寄与があることが明らかであった。Ca 供給能が低いチャートや花崗岩が母岩である地点だけでなく、Ca 供給能が高い斑禰岩の地点でも火山灰の寄与が認められたことから、「Ca が豊富な地質の地域であっても火山灰から供給された Ca が森林の植物に利用されている」と示すことができた。

### 本課題でやり残したこと

本課題期間内には、計算の困難さから、植物中の Sr を火山灰・基盤岩・大気降下物の3成分

系で起源別寄与率を算出するには至らなかった。渓流水で用いた Cl イオン濃度を大気降下物の指標とする計算を植物に適用することはできないが、元素比(Ca/Sr など)を用いる方法が使える可能性があるので、今後試みたい。

#### 得られた成果の国内外の位置づけ

これまで、土壌中における火山灰の機能に関する研究は、有機物やイオウに対する吸着保持作用を調べたものに限られている (Imaya et al., 2010; Tanikawa et al., 2013)。これに対し本研究は、全く異なる視点から Ca 供給源として火山灰に着目しており、森林土壌における火山灰の機能研究のみならず、Ca 循環研究にも新展開をもたらすことが期待できる。本研究は、森林生態系における Ca 動態解明に貢献するだけでなく、越境大気汚染や窒素飽和など、森林生態系が抱える様々な問題の影響解明研究への貢献も期待できる。また本研究の成果は、フィリピン、インドネシア、ニュージーランド、チリなど、土壌が火山灰を含む海外の地域でも広く役立つことが期待できる。

#### 引用文献

Bailey S, Hornbeck JW, Driscoll CT, Gaudette HE (1996) Calcium inputs and transport in a base-poor forest ecosystem as interpreted by Sr isotopes. *Water Resources Research*, 32, 707-719.

Imaya A, Yoshinaga S, Inagaki Y, Tanaka N, Ohta S (2010) Volcanic ash additions control soil carbon accumulation in brown forest soils in Japan. *Soil Science and Plant Nutrition*, 56, 734-744.

Koshikawa-K M, Watanabe M, Shin K, 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.

Tanikawa T, Yamashita N, Aizawa S, Ohnuki Y, Yoshinaga S, Takahashi M (2013) Soil sulfur content and its spatial distribution in a small catchment covered by volcanic soil in the montane zone of central Japan. *Geoderma*, 197, 1-8.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 Koshikawa-K.M., Watanabe Mirai., Murata T., Takamatsu T., Miura S., Ki-Cheol Shin, Takanori Nakano
2. 発表標題 Using Sr isotopes to determine the contribution of volcanic ash to Sr and Ca in stream waters in a chert watershed
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2019
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

国立環境研究所年報 令和2年度、令和3年度、令和4年度 <a href="https://www.nies.go.jp/kanko/nenpo/index.html">https://www.nies.go.jp/kanko/nenpo/index.html</a>
--

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	渡邊 未来  (Watanabe Mirai)  (50455250)	国立研究開発法人国立環境研究所・地域環境保全領域・主任 研究員    (82101)	

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	申 基澈  (Shin Ki-Cheol)	大学共同利用機関法人 人間文化研究機構本部・総合地球環 境学研究所・准教授   (82651)	本研究は、総合地球環境学研究所の同位体環境学共 同研究事業の支援により行った。

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------