

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 26 日現在

機関番号：14301

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2020～2022

課題番号：20K22590

研究課題名（和文）汎熱帯規模での植物を介したケイ素循環の解明

研究課題名（英文）Silicon cycling via plants at a pan-tropical scale

研究代表者

中村 亮介（Ryosuke, Nakamura）

京都大学・アジア・アフリカ地域研究研究科・助教

研究者番号：10881443

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究プロジェクトは、東南アジアと中米の熱帯林のケイ素循環機構を比較分析することで、より一般性の高いパターンとして、低標高の森林における活発なケイ素循環がみられるかどうかを検証した。具体的には、標高と母岩、さらにそれらの要因とともに変化する種組成の影響を考慮し検証をおこなった。東南アジアの熱帯林では、低標高において活発なケイ素循環が認められた一方、中米の熱帯林では、中程度の標高においても低標高と同程度のケイ素循環が認められた。これらの結果は、東南アジアと中米で異なる種組成の影響を反映していると考えられ、さらに環境要因によって変化する種組成がケイ素循環を駆動していることが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

中米熱帯山地林におけるケイ素集積多様性を明らかにした本研究成果は、東南アジアの山地林とケイ素循環に関わる比較可能なデータを初めて提供するものである。森林を含めた陸上のケイ素動態は、陸上でケイ素を利用する生物のみならず、水域の生物（ケイ藻など）の個体群動態とも密接に関係する可能性がある。今回の熱帯山地林における森林ケイ素循環の報告は、この成果を元により大きな空間スケール（流域等）においての熱帯のケイ素動態の制御機構の解明に貢献していくと考える。また、山地林よりもさらに低標高の熱帯低地林においては、さらに活発なケイ素循環を示すデータも得られており、今後低地林でのケイ素動態解明にもつながるだろう。

研究成果の概要（英文）：This project compared silicon cycling mechanisms in tropical forests of Southeast Asia and Central America to examine whether a more general pattern of active silicon cycling can be observed in forests at lower elevations. Specifically, we considered the effects of elevation, parent material, and species composition, which vary with elevation and parent rock. In tropical forests in Southeast Asia, active silicon cycling was observed at low elevations, while in tropical forests in Central America, the same level of silicon cycling was observed at moderate elevations as at low elevations. These results may reflect the effects of different species compositions in Southeast Asia and Central America, and further suggest that species compositions changing due to environmental factors drive silicon cycling.

研究分野：森林生態学

キーワード：ケイ素集積 熱帯地域 熱帯山地林 土壌 植物ケイ酸体 熱帯樹木 物質循環 シリカ

1. 研究開始当初の背景

核心をなす「問い」は「強い土壌風化でケイ素を失っている熱帯林において、樹木はどのようにしてケイ素を持続的に利用しているのか？」である。この問いに、本研究は熱帯林樹木によるケイ素循環に着目して取り組んだ(図1)。

落葉を介したケイ素循環速度は、年間落葉生産量と落葉ケイ素濃度の積として定量される(以降、この積の値を落葉リターケイ素フラックスと呼ぶ)。東南アジアの湿潤熱帯林は、高い生産性とケイ素を高濃度で集積する植物を有する。そのため、熱帯は温帯よりも落葉リターケイ素フラックスが大きくなると考えられ、その生態系の持続的なケイ素利用を支えているかもしれない。しかし、本プロジェクト研究代表者の東南アジア地域における既往研究を除けば、熱帯林のケイ素循環に関する研究知見は著しく限られていた。そもそも、環境要因(標高)に応じて森林の種組成が変化の中で、出現する多様な熱帯樹木がどれくらいケイ素を集積するのかという基礎的な知見も不足していた。

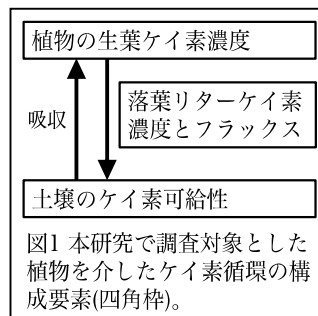


図1 本研究で調査対象とした植物を介したケイ素循環の構成要素(四角枠)。

2. 研究の目的

本研究は汎熱帯規模での植物を介したケイ素循環の解明を目的とし、中南米の熱帯において、新熱帯で樹木のケイ素集積多様性は標高が異なる群落間でどう変化するのか?という問いに取り組んだ。これまでの東南アジアでの研究成果を合わせ、新熱帯を含めて汎熱帯規模での植物を介したケイ素循環の解明を目指した。

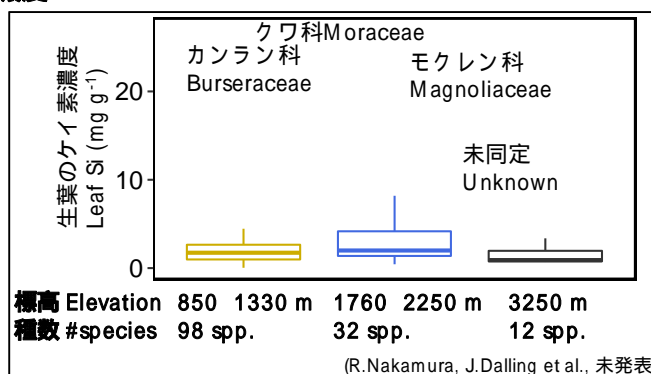
3. 研究の方法

本研究は中米パナマに位置するスミソニアン熱帯研究所の協力のもと、主にはパナマ西部のフォルトゥナ山岳地域を対象として、ケイ素循環を明らかにすべく調査をおこなった。同地域で長年研究をおこなってきた米国イリノイ大学 James Dalling 博士の協力を受け、樹木の葉におけるケイ素集積を定量するため、現地で標本として保管されていた試料の一部を譲り受けた。標本試料からは最大で6枚程度の葉を採集し、これらは再乾燥させたのち粉末にした。粉末試料は高温アルカリ抽出(1%炭酸ナトリウム水溶液を85度で5時間以上加熱)することでケイ素を溶液に溶かし、抽出液のケイ素濃度を比色法で測定することで定量した。また林内で採集する落葉試料は、森林における群落レベルのケイ素濃度を示す重要な試料であり、これらは1ヶ月間林内に設置した専用の回収ネットに入った落葉を集めることで試料を得た。落葉試料も標本葉の試料と同様に高温アルカリ抽出、比色法による一連の方法を用いて定量した。土壌はDalling博士らによって採集され保管されていた試料を用いた。植物遺体の影響を大きく受ける表層土壌(0-10cm)と深層土壌(20-50cm)から水抽出によってケイ素を溶液に溶かし、比色法によって抽出液のケイ素濃度を定量した。これらのデータは、東南アジアの熱帯山地林で用いた方法と同様の手法で得られており、中米のデータを東南アジアのデータと比較分析することが可能である。

4. 研究成果

(1) 各樹木樹の葉に集積したケイ素濃度

今回の調査ではパナマの熱帯山地林800-3,200mの標高に生育する142種のケイ素濃度が明らかになった。種多様性の高い低標高の森林ほど多くの種が採集され、その中にはクワ科やカンラン科といったケイ素集積の高い系統グループとして知られる科に属する種が認められた。最も標高が高い地点に生育する種の中には、未同定であるが、ケイ素集積が高い種が存在していた。パナマで明らかになったこの標高と関連したケイ素集積の傾向はこれまでの

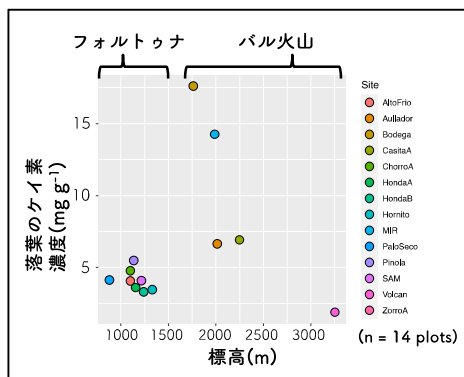


東南アジアで見られた傾向とは異なることが考えられた。ケイ素集積が最大で20 mg Si/g程度である点は東南アジアと比べて同様の傾向が見られたものの、中程度の標高(1,760-2,250m)においては東南アジアではケイ素集積が低くなる一方、パナマの山地林では平均的に値が増加していた。標高1,760-2,250mは、低標高の森林とは母岩が異なることがわかっており、火山灰等の火山由来の基質がもとになっている。これらの基質からはケイ素が水に溶けやすく、それによって土壌のケイ素可給性が上昇し、平均的に見て葉にケイ素が集積しやすくなったという点は考えられる。しかし、それ以上に種それぞれで異なるケイ素集積はそのばらつきが非常に大きく、

土壌のケイ素可給性以上に森林の種組成は樹木のケイ素濃度に大きな影響をおよぼす要因として考えることができるだろう。

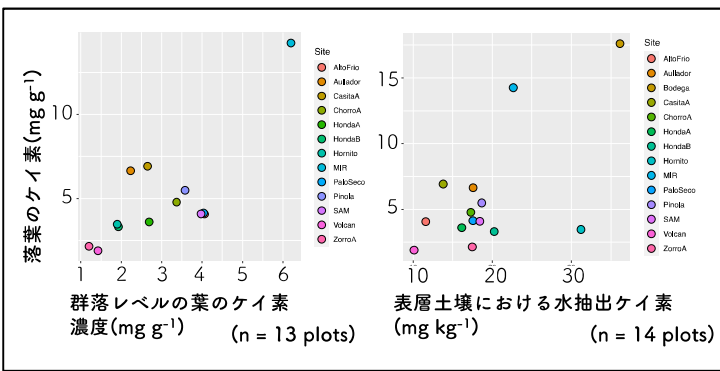
(2) 落葉におけるケイ素集積

落葉のケイ素濃度 (= 群落レベルのケイ素濃度) は、東南アジアでは標高が減少するに従って増加したが、右図のように中米パナマにおいては一貫した傾向が見られなかった。しかし、バル火山で採集された落葉(標高 1,760-3,250m) においては、標高が減少していくに従いケイ素濃度が増加するという同様の傾向が認められた。バル火山における上述した傾向を説明する要因としては、ケイ素集積が比較的高いブナ科樹木が中程度の標高(2,000m 前後) で大きく優占するためであると考えられる。落葉のケイ素濃度の値の範囲としては、東南アジアと中米の熱帯山地林で大きな違いはなかったが、中米の森林の方がわずかに高い傾向が見られた。



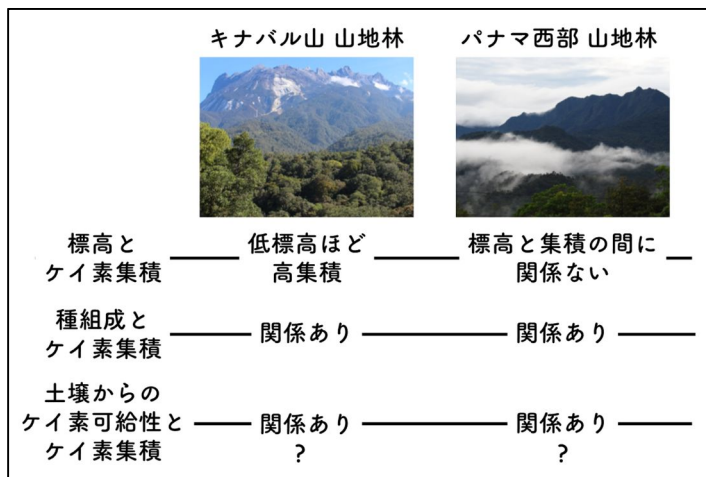
(3) 落葉におけるケイ素集積と生葉の群落レベルケイ素濃度と表層土壌ケイ素可給性の関係

落葉のケイ素濃度と群落レベルの葉のケイ素濃度(各群落における樹木の胸高断面積を考慮した重みづけにより計算)には正の関係が認められた。これは落葉のケイ素濃度に対して、生葉のケイ素濃度の値が反映されていることを示しており、今回採集した 142 種のケイ素濃度の評価でもって、生葉の群落レベルのケイ素濃度を代表する値が得られていることも示唆している。



一方で、表層土壌からのケイ素可給性は、落葉ケイ素濃度と統計的に明らかな関係は認められなかった。これは、群落レベルのケイ素濃度に種組成が重要な役割を果たすことを示しており、どの系統グループに属する種がその群落に存在しているか、という点が、森林のケイ素循環において、ケイ素の究極的な供給資源である土壌(岩石、つまり土壌鉱物)よりも重要である可能性を示している。上述した表層土壌と落葉ケイ素濃度の関係は、深層土壌(20-50 cm)との関係においても同様であった。

これらの成果をまとめると、東南アジアと中米の熱帯林のケイ素循環における類似点と相違点が見えてくる(右図)。まず、樹木のケイ素集積と標高の関係には、東南アジアのキナバル山では明瞭な関係が見えたものの、中米の熱帯山地林においては標高との関係が見られなかった。しかし、種組成の影響はどちらの地域においても顕著であると考えられ、森林のケイ素循環を駆動する要因としては、種ごとに異なるケイ素集積能力が大きく関係しているのではないかと結論づけられる。



また、本研究プロジェクトでは、コロナ禍で渡航ができない間に、北海道大学苫小牧演習林において、ケイ素循環が森林の発達段階によってどのように影響を受けるかを予備試験として調査した。その結果、森林の発達段階もケイ素循環を駆動する重要な要因の一つであることが明らかとなり、上述した熱帯林における森林においても、対象とした各森林における発達段階過程の違いも無視できないものとする。従って、今後は森林の発達段階については、環境要因と同様に考慮してケイ素循環機構を調査していく必要があるだろう。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 0件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Nakamura Ryosuke, Watanabe Tetsuhiro, Onoda Yusuke	4. 巻 in press
2. 論文標題 Contrasting Silicon Dynamics Between Aboveground Vegetation and Soil Along a Secondary Successional Gradient in a Cool-temperate Deciduous Forest	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Ecosystems	6. 最初と最後の頁 in press
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s10021-022-00816-y	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件／うち国際学会 0件）

1. 発表者名 Ryosuke Nakamura, S. Joseph Wright, Kaoru Kitajima
2. 発表標題 Diversity of leaf silicon accumulation and its contribution to silicon flux via leaf litter in Panamanian lowland forests
3. 学会等名 第31回日本熱帯生態学会（オンライン大会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Nakamura Ryosuke, Watanabe Tetsuhiro, Onoda Yusuke
2. 発表標題 Contrasting Silicon Dynamics Between Aboveground Vegetation and Soil Along a Secondary Successional Gradient in a Cool-temperate Deciduous Forest
3. 学会等名 第70回日本生態学会
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

日本生態学会 奨励（鈴木）賞 2023年
 パナマ日本人学校にて講演「パナマの熱帯の森の秘密」2022年
 日本熱帯生態学会 吉良賞奨励賞 2021年

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
--	---------------------------	-----------------------	----

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		
米国	Smithsonian Tropical Research Institute		