

( 続紙 1 )

京都大学	博士 ( 農 学 )	氏名	中村 亮介
論文題目	Diversity of silicon uptake by tropical forest trees and its implication for biogenic silicon flux through leaf-litter (熱帯林樹木のケイ素集積多様性とその落葉リターを介しての生物由来ケイ素フラックスとの関係)		
(論文内容の要旨)			
<p>ケイ素は植物にとって有益な元素であり、農学分野ではイネなどの作物を中心として、また生物地球化学分野では土壌や地殻中の主要元素として研究が行われてきたが、既往研究は温帯地域に集中している。本研究は植物多様性に富む東南アジアの熱帯林生態系に注目して、樹木種の葉中ケイ素濃度の多様性と、その生態系ケイ素循環における意義を評価することを目指した。具体的には、ボルネオ島の複数の熱帯低地林と山地林において、樹木種の葉中と落葉リター中のケイ素濃度を定量化し、土壌のケイ素可給性の空間分布との対応を、異なる空間スケール(林内～地域間)で比較した。</p> <p>第1章では、森林生態系におけるケイ素循環の概念を整理し、土壌から植物が吸収できる水溶化したケイ素が鉱物由来と生物由来に分けられること、また樹木の落葉リターに含まれるケイ素が土壌上部において生物由来ケイ素の重要な供給源となっていることを指摘し、第2章から第7章にわたって共通する概念や仮説を提示した。</p> <p>第2章では、植物試料からのケイ素の抽出法の比較と検討を行なった。ケイ素は他の栄養元素と異なり強酸性水溶液への溶解度が低い。よって、植物体に含まれるオパール(非晶質シリカ)を定量化するためには、フッ酸溶解やホウ酸融解を経ての化学分析や、高額な蛍光X線分析装置(EDX)を用いた解析などが用いられてきた。しかし、これらの方法は、実験室作業の安全性確保が難しい、また経費と時間のコストが高いなどの問題点がある。一方、アルカリ性の炭酸ナトリウム水溶液で抽出する方法は安価で簡便だが、ケイ素が完全に抽出できていないのでは、という懸念もあった。本章では、ケイ素高蓄積種を含む熱帯産樹種の葉のサンプルを用い、炭酸ナトリウム水溶液抽出法とホウ酸融解法の結果の比較を行った。さらに、水溶化したケイ素の濃度の測定においては、安価なモリブデンブルー法は炭酸ナトリウム抽出後に用いるのには問題がないが、リチウムメタホウ酸を用いたホウ酸融解法を経てケイ素高濃度試料から抽出する場合にはリチウムメタホウ酸の相対量が影響するという、これまで指摘されていなかった問題点を発見した。これらの一連の手法の開拓と定量的な評価は、今後の植物によるケイ素利用の研究に有益と考えられる。</p> <p>第3章では、ボルネオ島サラワク州のランビルヒルズ国立公園内の4haの低地熱帯雨林長期調査区において、樹木が落葉を介して土壌上部に還元するケイ素の量、および、土壌上部(A-層の深度0～10cm)のケイ素可給性の空間的な変動を明らかにするため、80地点で測定を行った。落葉のケイ素濃度や落葉から還元されるケイ素総量は土壌ケイ素可給性と相関せず、樹木が受動的にケイ素集積をするならば落葉のケイ素濃度は土壌のケイ素可給性を反映するはず、という予測には反していた。よって、樹木種はそれぞれ固有のケイ素集積戦略を持っており、土壌のケイ素可給性にかかわらずケイ素の集積または吸収回避を行っているという解釈が妥当とした。一方、野外での実測によると、土壌深度が浅いほど土壌水のケイ素濃度が高く、これは、樹木が落葉を介して土壌上部に還元するケイ素が森林生態系を循環するケイ素の総量に対して大きな割合を示すことを示唆する。</p> <p>第4章では、熱帯樹の落葉リターに含まれるケイ素が、落葉分解に伴いどのような速度で水溶化するかを、落葉リターのケイ素濃度が大きく異なるボルネオの熱帯樹12</p>			

種を用いて、2つの実験によって調べた。最初の実験では、落葉試料を蒸留水に入れて4時間振盪することで溶脱するケイ素量を測定した結果、溶け出す絶対量は落葉のケイ素濃度に正の相関を示した。2つ目の実験では、6種を用いてグロースチャンパー内での落葉分解実験を2つの温度条件下で2ヶ月にわたって行い、ケイ素が水溶化して失われる速度は、絶対量としては落葉のケイ素濃度に正の相関を示すが、落葉分解速度とは相関がなかった。また、両方の実験において、ケイ素水溶化の相対量（未分解の落葉に含まれるケイ素量に対する%）はケイ素濃度の高いものほど小さい傾向が見られ、葉に高濃度のケイ素を蓄積する種は水溶化しにくいオパールを多く含むことが示唆された。実際にオパールを抽出して走査電子顕微鏡で観察すると、これらの樹種間でオパールの形状や局在に大きな違いが見られた。

第5章では、熱帯低地林の樹種を対象とする第2～4章と比較するため、熱帯山地林を対象とした。キナバル山の海拔700～3100mの範囲にて、異なる2つの母岩（堆積岩、蛇紋岩）の上に生育する森林に設置された合計8調査区の比較では、母岩に関わらず、低標高ほど葉内ケイ素濃度が高い種が多く出現した。その結果、落葉リターのケイ素濃度もケイ素フラックスも低標高の樹木群集ほど大きかった。また、土壤のケイ素可給性も、標高が低いほど高い、という傾向を示した。これらの調査区間では、樹種構成が大きく異なり群集レベルでのケイ素フラックスの違いには樹種構成が大きい影響を与えていると考察される。

第6章では、サバ州の択伐手法実験サイト（デラマコット森林保護区）において、攪乱による森林構造や樹種組成の変化にともない、リターを介したケイ素フラックスがどのように影響されるかを調べた。伐採が行われていない熱帯低地林と比較すると、伐採後の森林では葉内のケイ素濃度が比較的高いフタバガキ科の樹種が減少するため、落葉リターを介したケイ素フラックスの減少につながった。一方、伐採後の森林ではタケ類や先駆樹種など比較的高濃度にケイ素集積を行う種が増加した。結果として、生態系のケイ素循環は攪乱に対して高いレジリエンスを有することが示された。

第7章では、第3～6章の複数の調査地における落葉リターを介したケイ素フラックスと土壤のケイ素可給性データに、マレー半島や中米のサイトで集められたデータも加えて解析した。大きな地理的範囲における熱帯低地林の比較から、土壤のケイ素可給性が大きく違っても、落葉リターを介したケイ素フラックスは一貫してボルネオの山地林よりも高いことが示された。これは、世界的な一般傾向として、熱帯低地林には葉内にケイ素を中～高濃度で集積する樹種が多く存在することを示唆する。

注)論文内容の要旨と論文審査の結果の要旨は1頁を38字×36行で作成し、合わせて、3,000字を標準とすること。

論文内容の要旨を英語で記入する場合は、400～1,100 words で作成し  
審査結果の要旨は日本語500～2,000字程度で作成すること。

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

近年、植物におけるケイ素の機能や植物が生態系のケイ素循環に及ぼす影響は大きな注目を浴びつつあるが、熱帯林生態系における研究は大変限られていた。本研究は多様な樹木種が存在する熱帯林において、樹種間のケイ素集積の違いを複数のサイトで調査し、ケイ素集積性における樹種間の多様性が、生態系ケイ素循環に与える影響を、数ヘクタールのサイト内の空間変異から大陸を越えてのサイト間比較までの、異なる空間スケールにおいて定量的に調査した。評価すべき点は以下の4点にまとめられる。

1. 多くのサンプルを分析する必要がある生態学的研究に有益な、安全で簡便な植物体ケイ素分析手法の精度を定量的に評価した。
2. 熱帯低地林には、葉内ケイ素濃度が比較的高い種が多いこと、さらに東南アジアの低地林で優占するフタバガキ科の属間と属内に、葉内ケイ素濃度の大きな種間変異があることを世界で初めて示し、その生態系ケイ素循環における意義を明らかにした。
3. 土壌のケイ素可給性と葉リターを介したケイ素フラックスはともに低地林で最も高く、海拔高度とともに低下することを示した。
4. 落葉分解時のケイ素溶出速度は、落葉分解速度自体よりもオパールが多寡と関係しており、樹種間の違いを理解するためには、オパールの形状や葉内での局在性なども考慮する必要があることを示した。

以上のように、本研究は、熱帯林生態系におけるケイ素循環に注目して新たな研究テーマを開拓し、複数の興味深い知見を得ており、今後の生態系ケイ素循環研究に大きく貢献し、熱帯林環境学、森林生態学、生態系生態学の発展に寄与するところが大きい。

よって、本論文は博士（農学）の学位論文として価値あるものと認める。

なお、令和2年1月22日、論文並びにそれに関連した分野にわたり試問した結果、博士（農学）の学位を授与される学力が十分あるものと認めた。

また、本論文は、京都大学学位規程第14条第2項に該当するものと判断し、公表に際しては、当該論文の全文に代えてその内容を要約したものとすることを認める。

おって、当該学生は、本学博士課程教育リーディングプログラム「グローバル生存学大学院連携プログラム」を履修し、令和2年1月22日に同プログラムにおける学修内容と提出学位論文との関連性等に関する事項について試問を行い、同プログラムの修了要件基準を満たしていることを確認し、次いで、令和2年2月21日に本学博士課程教育リーディングプログラム運営委員会において、上記と同様の基準を満たしていることを確認し、それぞれ合格と認められていることを併せて報告する。

注) 論文内容の要旨、審査の結果の要旨及び学位論文は、本学学術情報リポジトリに掲載し、公表とする。

ただし、特許申請、雑誌掲載等の関係により、要旨を学位授与後即日公表することに支障がある場合は、以下に公表可能とする日付を記入すること。

要旨公開可能日： 年 月 日以降 (学位授与日から3ヶ月以内)