

令和 4 年 6 月 5 日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2021

課題番号：19K15952

研究課題名(和文) 熱帯強風化土壌の肥沃度再考ーオキシソル土壌は貧しいのか？

研究課題名(英文) Revisiting the fertility of tropical highly weathered soils: Is Oxisols nutrient-poor?

研究代表者

柴田 誠 (SHIBATA, MAKOTO)

京都大学・地球環境学堂・助教

研究者番号：40799607

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、これまで、熱帯強風化土壌として一括りにされてきたオキシソル土壌とアルティソル土壌に成立する熱帯林の養分循環機構を比較し、「オキシソルという土壌は、従来考えてこられたように本当に貧栄養なのか？」について再考した。その結果、オキシソルでは下層土壌まで硝酸態窒素の溶脱が起きており、それに伴いカルシウムやマグネシウム等の陽イオンも下層へ移動していた。したがって、土壌中の養分ストックのみに焦点を当てるのではなく、土壌を介した養分フロー - - すなわち土壌-植生間の養分循環機構 - - に着目する事で、オキシソルに成立する生態系はダイナミックな養分循環を有する事が明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究によって、土壌-植生間の養分循環を評価することで、従来のように土壌中の養分賦存量のみに焦点を当てた静的な肥沃度評価では見えてこなかった、土壌生態系の姿が明らかになった。すなわち、これまで単に貧しい土壌と考えられてきたオキシソルに成立する森林生態系では養分がダイナミックに循環していた。オキシソル土壌の農業利用を考える上では、樹木作物を活かしたアグロフォレストリー的な利用にはアルティソルよりも適している可能性がある一方で、過度な伐採や単年性作物を主とした常畑利用によっては土壌養分が急速に枯渇する危険性について留意されるべきである。

研究成果の概要(英文)：In this study, we compared the nutrient cycling pattern of tropical forests on Oxisols and Ultisols, which have been lumped together just as highly weathered tropical soils. We reconsidered the question, "Is the Oxisols nutrient-poor soil as previously thought? The results showed that leaching of nitrate to the lower soil horizons occurred only in Oxisols, and that cations such as calcium and magnesium also moved to the lower soil horizons along with nitrate. Therefore, by focusing not only on the nutrient stock in the soil, but also on the nutrient flow through the soil, i.e., the nutrient cycling mechanism between plant and soil, we clarified the forest ecosystems on Oxisols have a dynamic nutrient cycle pattern.

研究分野：土壌学

キーワード：Oxisols Ultisols ベトナム 養分循環 アカシア 熱帯林 硝酸

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

オキシソルは、熱帯湿潤地域を代表する土壌型であるが、とにかく「貧栄養」な土壌であると認識されてきた。オキシソルは、カオリン鉱物や鉄/アルミニウム酸化物が卓越するため養分保持力が弱く、また、易風化性鉱物も乏しいため鉱物風化による養分放出もほとんど期待できない。故に、上記の概念に照らせば、オキシソルは養分保持能・供給能のいずれもが低い「貧栄養」な土壌であるということになる。湿潤熱帯では、リター(落葉落枝や作物残渣)として土壌に投入される有機物量および養分量が多い一方で、土壌微生物による有機物分解量および植物による養分吸収量も多い。このダイナミックな物質循環を反映して、温帯に比べて土壌中の養分蓄積量が小さい代わりに養分循環量が大きい。このことから、熱帯では、土壌中のストックを以て「貧栄養」と表現するよりも、土壌・植生間の養分フローを評価して、生態系としての植物生産力を表現する方が正確である。すなわち、熱帯では肥沃度の評価軸をストックからフローにする事で、ストック評価では見えなかった、土壌-植物間の養分循環機構が明らかになり、新たな視点から土地管理法を模索する事が出来る。アルティソルは、オキシソルと並んで湿潤熱帯の代表的な土壌型である。これら二つの土壌型は粘土鉱物性の違いに起因して、理化学性の特徴が大きく異なる。アルティソルは、膨潤性2:1型粘土鉱物を含むため養分保持力が比較的良好で、易風化性鉱物も認められる事から、ストックの面ではオキシソルに比べて肥沃である。しかし、その若い鉱物性が徒となり、保持サイトのほとんどが交換性アルミニウムで占められる事から、低pHの「強酸性」となる。これまでの熱帯林の物質動態研究では、これら二つの土壌型を「熱帯強風化/貧栄養土壌」として一括りにして取り扱ってきた。申請者はこれまで中部アフリカ熱帯林において、土壌酸度という点で大きく異なる二つの土壌型を区別し、オキシソルでの養分循環は開放的である一方、アルティソルでは閉鎖的であり、養分循環機構が土壌型によって異なる事を明らかにしてきた。

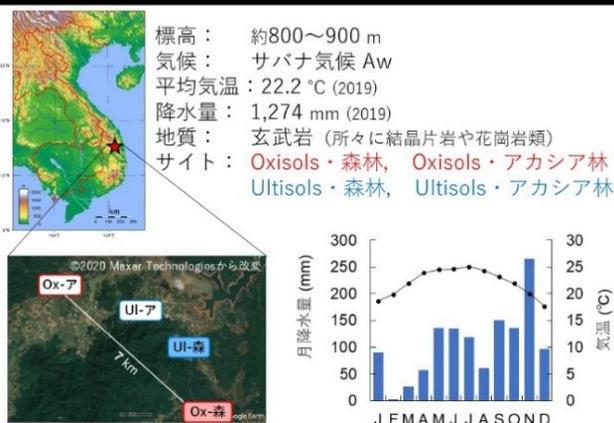
### 2. 研究の目的

これまで一括りに扱われてきた熱帯二大土壌型を明示的に区別して養分フローを評価し、「オキシソルは本当に貧しいのか?」という問いの検証を試みる。

### 3. 研究の方法

ベトナム中部高原において、直線距離約7 kmの範囲にオキシソル、アルティソルそれぞれにおいて自然林区、アカシア区を設定し、物質動態について、特に窒素の浸透パターンに着目して比較を行った。さらに、それぞれの生態系での窒素・リン制限を評価するために、樹木葉のN:P比と土壌微生物の基質添加に対する応答を比較した。

#### 調査地 | ベトナム中部高原 Gia Lai省



### 4. 研究成果

1) ベトナム中部高原の熱帯林において土壌型の違いが窒素浸透パターンに与える影響 ~ Oxisols と Ultisols の比較 ~

【背景】熱帯林における窒素(N)循環は、リターによる土壌への供給速度の大きさと、その急速な分解に引き続く植生吸収を特徴とする。熱帯林に代表的な Oxisols (Ox) と Ultisols (UI) は物理化学特性が大きく異なるが、その違いを比較した研究例は少なく、多くの先行研究はこれらを熱帯強風化土壌として一括りにしてきた。カメルーンにてこれらの土壌型を比較した先行研究によると、Ox では UI に比べ、N が次表層にまで深く浸透していた。これは UI の特徴である高い土壌酸度が細根を 0 層に集中させ、かつ硝化を抑制したためであると考えられた。そこで本研究では、土壌酸度が同等であっても Ox と UI において N 循環様式に違いが生じるかを調べた。

【方法】ベトナム中部高原の森林において直線距離約 2 km の隣接した Ox 区と UI 区を設けた。表層土の pH はそれぞれ 3.8、3.9 であった。2018 年 4 月 - 2019 年 3 月の 1 年間、リターと雨水、林内雨および 0 (0 層直下)、15、30 cm 深の土壌水を毎月採取した。リターは重量と N 含量の積により、溶液は溶存態 N 濃度と浸透水量の積によりそれぞれ年間 N フラックスを求めた。

【結果と考察】リターによる N 投入は Ox 区で 73 kg N ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup> (以下単位略)、UI 区で 60 であった(図 1)。溶液による N フラックスは 0 cm で両区とも約 25 であったものの、15、30 cm においては、Ox 区で 20、12 と緩やかに減少した一方、UI 区では 4、2 と急激に減少した。以上

より、土壌酸度が同等でも Ox 区では深層へ開いた N 循環、Ul 区では表層で閉じた N 循環が示唆された。Ul 区の細根は、土壌酸度が高いにも関わらず 0~15 cm 深に主に分布していたことから、鉍質表層にて完結する N 吸収が示唆された。Ox 区の  $\text{NO}_3^-$ -N フラックスは 0 cm で 9、15 cm で 18 と下層で増加したことから、強酸性の Ox 表層で硝化が起こった事が示唆された。今後 Ox における開いた N 循環の要因の解明のためには、強酸性の Ox で起こる硝化のメカニズムを調べる必要があると考えられた。

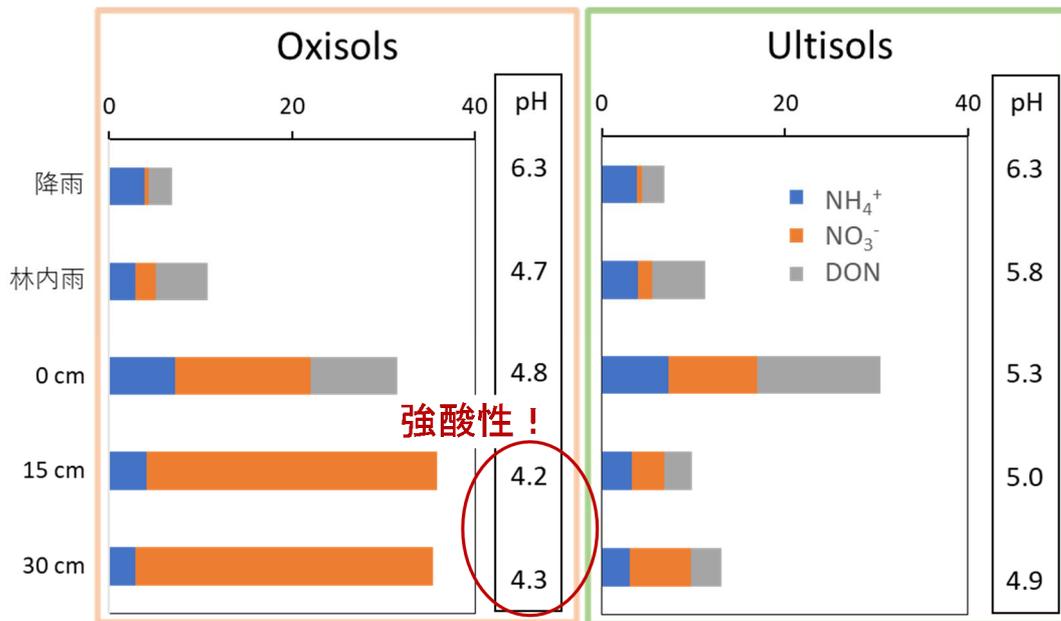


図 1 . 年間窒素フラックス ( $\text{kgN ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ ) と年平均溶液 pH

## 2) Oxisols と Ultisols が分布するベトナム中部高原の森林生態系における窒素・リン制限の評価 葉の N:P 比および基質添加に対する微生物応答を用いて

【背景】窒素 (N) とリン (P) は、陸域生態系の一次生産を制限する主要な要因である。養分制限の評価には、葉の N/P 比が多く用いられるが、種によって変動が大きいため評価が難しい。特に P については、熱帯の強風化土壌において全量が少なく、また植物が利用不可能な形態が多いため、その可給性が微生物に大きく左右される。そこで本研究では、熱帯強風化土壌において、葉の N:P 比に加え、基質添加に対する微生物応答から、森林および窒素固定能を持ち P 利用効率が高いとされるアカシア林の栄養制限を調べる事を目的とした。

【材料と方法】ベトナム中部高原の Ultisols および Oxisols において森林およびアカシア林の計 4 サイトを設けた。表層土の無機態 N と有効態 P を測定し、4 種類の処理 (+C、+CN、+CP、+CNP) をした際の微生物の増殖特性を分析した。また、主要な樹種から採取し N・P 含量を測定した。

【結果と考察】植物については、種に関わらず採取したすべての生葉の N:P 比は 16 を超えており (図 2)、有効態 P が高かった Ultisols の森林も含め (図 3)、P 制限を示した。微生物については、両土壌のアカシア林で低い有機物投入量 と対応して N 制限が見られた (図 4)。Ultisols の森林では、低い有効態 P と対応し P 制限であったが、Oxisols の森林では、有効態 P が低いにも関わらず P 制限を示さなかった。この理由としては Oxisols の全 P が粘土含量と連動して高く、微生物が有効態 P 以外の P を利用しているためと考えられた。以上より、葉の N:P 比と微生物の基質添加に対する反応が異なる制限を示したことから、植物と微生物の制限要因は必ずしも連動せず、熱帯林生態系の N・P 制限の解析には、生物プロセスを考えた複数のアプローチを用いて調査するべきと考えられた。

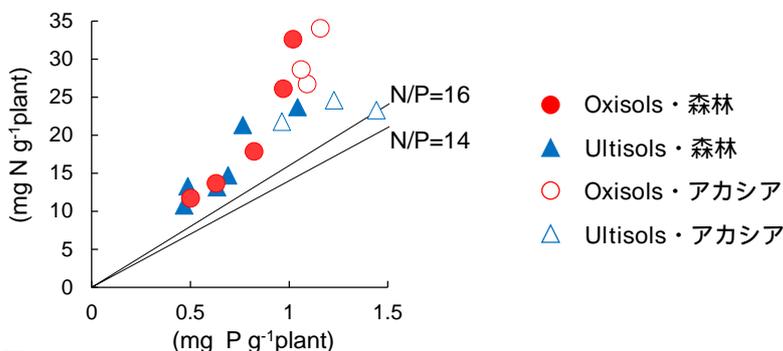
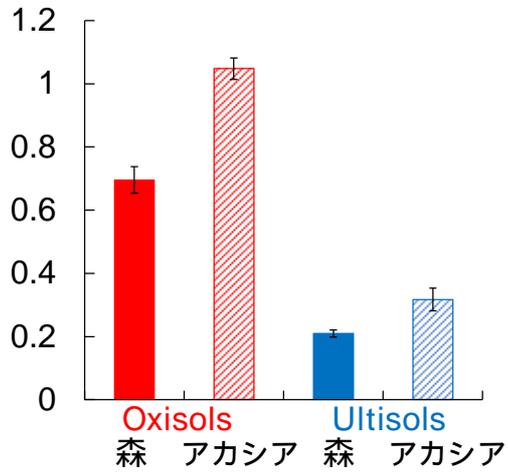


図 2 . 生の N/P 比

全リン(g P kg<sup>-1</sup>)



有効態リン(mg P kg<sup>-1</sup>)

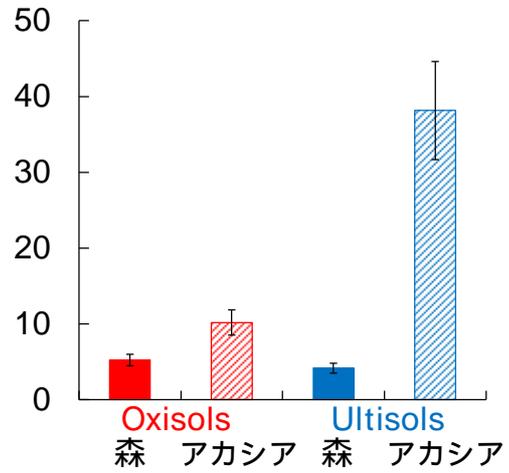
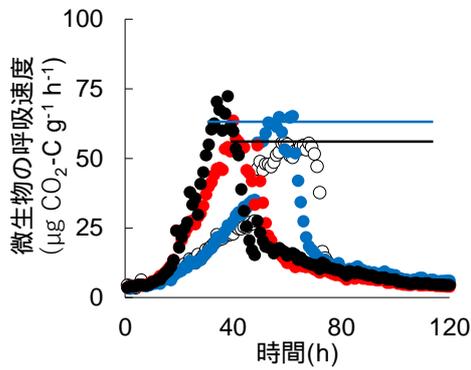
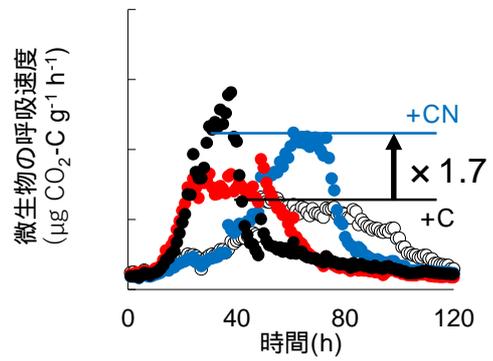


図3 . 土壌中の有効態リン・全リン

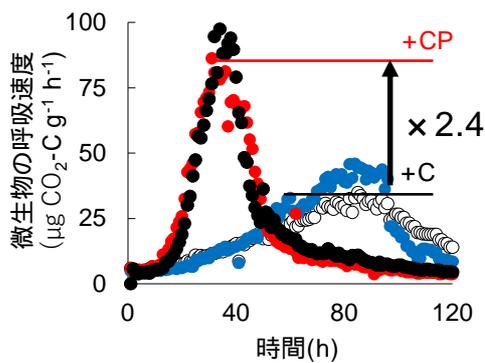
Oxisols-森林



Oxisols-アカシア林



Ultisols-森林



Ultisols-アカシア林

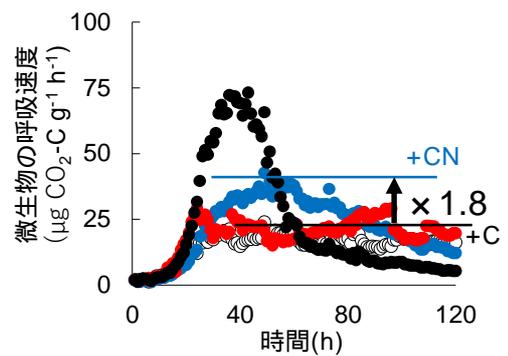


図4 . 基質添加に対する土壌微生物呼吸速度

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計10件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 渡辺伸一、Lion Marryanna、Iskandar Saiful、柴田誠、小杉緑子、舟川晋也
2. 発表標題 半島マレーシアの熱帯林に分布する2種類の土壌間における土壌層位内の硝酸フラックスの比較
3. 学会等名 日本土壌肥料学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 柴田誠、Napakod Sangsompaisarn、渡辺伸一、舟川晋也
2. 発表標題 北タイ山間地の焼畑農業下における土壌窒素の形態変化速度は休閑年数や土性が規定する
3. 学会等名 日本土壌肥料学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Chihiro OKADA (Kyoto University), Shinichi WATANABE (Kyoto University), Lam Ho NGUYEN (Hue University), Tetsuhiro WATANABE (Kyoto University), Shinya FUNAKAWA (Kyoto University)
2. 発表標題 Phosphorus and nitrogen limitation of biological processes in forest ecosystems of the Central Highlands in Vietnam-a soil science perspective
3. 学会等名 日本生態学会第67回全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岡田千裕、渡辺伸一、NGUYEN Lam Ho、渡邊哲弘、舟川晋也
2. 発表標題 ベトナム中部高地の森林生態系における生物学的過程への窒素・リン制限-土壌学の観点
3. 学会等名 日本生態学会第67回全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Johno S, Shibata M, Watanabe S, Nguyen HL, Funakawa S.
2. 発表標題 Effect of soil type on nitrogen flux pattern in tropical forests of Vietnam: a comparison of Oxisols and Ultisols
3. 学会等名 Kyoto University International ONLINE Symposium 2021 on Education and Research in Global Environmental Studies in Asia (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 城野沙織, 柴田誠, 渡辺伸一, Ngueyn Ho Lam, 舟川晋也.
2. 発表標題 ベトナム中部高原の熱帯林において土壌型の違いが窒素浸透パターンに与える影響 ~OxisolsとUltisolsの比較~
3. 学会等名 日本土壌肥料学会関西支部
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 柴田誠、岡田千裕、渡辺伸一、Nguyen Lam Ho、渡邊哲弘、舟川晋也.
2. 発表標題 OxisolsとUltisolsが分布するベトナム中部高原の森林生態系における窒素・リン制限の評価 葉のN:P比および基質添加に対する微生物応答を用いて
3. 学会等名 日本土壌肥料学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 渡辺伸一、柴田誠、Hartnono Arief、Lion Marryanna、小杉緑子、荒木茂、渡邊哲弘、舟川晋也
2. 発表標題 全窒素濃度とpHが酸性熱帯林土壌の総硝化速度に及ぼす影響 ~ 鉱質土層とO層の比較 ~
3. 学会等名 日本土壌肥料学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 城野沙織、柴田誠、渡辺伸一、Nguyen Ho Lam、舟川 晋也
2. 発表標題 ベトナム中部高原の強酸性熱帯林土壌において土壌型の違いが窒素循環に与える影響
3. 学会等名 日本土壌肥料学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 渡辺伸一、柴田誠、小杉緑子、Lion Marryanna、Saiful Iskandar、舟川晋也
2. 発表標題 マレーシアの熱帯林土壌における0層での硝化が土壌溶液組成に及ぼす影響
3. 学会等名 日本土壌肥料学会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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