

(続紙 1)

京都大学	博士 (地球環境学)	氏名	呂 晗 (LYU HAN)
論文題目	EFFECTS OF CLIMATE AND GEOCHEMISTRY ON SECONDARY MINERAL DISTRIBUTION AND SOIL ORGANIC CARBON POOLS IN TROPICAL VOLCANIC REGIONS (熱帯火山地域において気候と地球化学が土壌の二次鉱物分布と有機炭素プールに与える影響)		
(論文内容の要旨)			
<p>本論文は、気候と土壌を含む地球化学的要因が、二次鉱物の分布と有機炭素の安定性に与える影響を評価したものである。土壌中の二次鉱物は各種イオンを吸着し、また有機物の蓄積に強い影響を与える。そのため、二次鉱物の分布の理解は、生態系における元素循環を理解する上で不可欠である。しかし、熱帯火山帯、特に降水量が少ない地域においては、土壌二次鉱物に焦点を当てた研究は限られている。さらに、土壌有機炭素は、重要な炭素プールであるとともに、土壌の荷電特性や物理的特性に影響を与える。土壌への有機炭素の蓄積には、気候や二次鉱物が強く影響を与えることが示唆されているが、気候が二次鉱物の分布を介して与える影響の評価が不十分であるなど、その全像は不明なままである。本研究は、熱帯火山地域を対象として、気候が土壌二次鉱物の分布に与える影響、および気候と二次鉱物が有機炭素の量と分解性に与える影響を明らかにすることを目的として行われた。</p> <p>第1章は序論であり、この研究の背景である土壌中の二次鉱物と有機炭素が持つ環境および農業上の重要性について説明し、それぞれの分布に影響を与える因子とそのメカニズムについて従来研究をレビューした上で、本研究の目的を述べている。これまでの研究は、温帯から亜熱帯までを対象とし、また単一の因子が与える影響を解析していることが多い。本論文が対象とした熱帯の火山地域の土壌は、多様な温度・水分条件のもとで、類似した母材から生成しており、気候が二次鉱物の分布に与える影響、および分布する二次鉱物が気候とともに有機炭素の蓄積と安定性に与える影響を総合的に検討するために理想的な対象であることを説明した。</p> <p>第2章では、タンザニアの火山地域を対象として、土壌二次鉱物の分布に対する気候の影響を明らかにしている。タンザニア北部と南部の火山地域において、異なる気候条件下(標高 540~2800 m、半乾燥~湿潤気候)で生成した土壌を対象とし、土壌の二次鉱物組成を分析するとともに、土壌水抽出液の溶液組成に基づいて各種二次鉱物の熱力学的安定性を評価した。その結果、風化程度の弱い火山灰土壌においては、土壌水分と温度の双方がナノ結晶鉱物および結晶性粘土鉱物の分布を制御する要因であることを明らかにした。半乾燥地域では、湿潤条件下と比べナノ結晶鉱物の結晶化が進むため、水分条件がナノ結晶鉱物の分布を制限する重要な要因であること、また湿潤地域では、低温条件がナノ結晶鉱物の結晶化を遅らせるため、温度がナノ結晶鉱物の分布を制御する</p>			

主な要因であることを示した。

第3章では、土壤有機炭素を安定性の異なる3プールに分割し、各炭素プールのサイズと分解性を制御する要因を解析している。タンザニアおよびインドネシアの気候条件の異なる計4地域の火山地帯を対象とし、自然植生下の表層土壤を標高勾配に沿って採取し研究に用いた。表層土壤サンプルを適温適潤条件下で343日間培養し経時的に得られた二酸化炭素放出曲線を、安定性の異なる3つの有機炭素プール（不安定・中間・安定）を想定した一次反応速度論モデルによってフィッティングし、各プールのサイズと平均滞留時間を算出した。その上で気候および土壤特性値を用いた相関分析とパス解析を行った結果、全有機炭素の約半分を構成している中間プールは、説明因子として従来用いられてきた土性やpHではなく、主としてナノ結晶鉱物の含有量によって制御されていることを明らかにした。また、気候要因が主に不安定な炭素プールに影響を与える一方、土壤の因子はより安定したプールに対して影響することを示した。

第4章では、表層土壤と同地点で採取した下層の土壤について、第3章と同様の解析を行うことで、異なる土層における有機炭素安定化メカニズムを比較検討している。その結果、下層においては、ナノ結晶鉱物によって安定化された有機物が安定プールよりも中間プールに多いこと、また安定プールに対する温度の影響がより大きいことを明らかにした。このことは、下層土壤の有機炭素が、表層土壤の有機炭素よりも気候変動に対しより鋭敏に増減しうることを示した。

第5章では、タンザニアのキリマンジャロ地域を対象として、気候が土壤鉱物と有機物の分布を通じて土壤の陽イオン交換容量（CEC）に及ぼす影響を解析している。湿潤地域では、気温の低下に伴いナノ結晶鉱物および有機-無機複合体含有量が増加し、これらに起因する変異荷電によって土壤のCECが大幅に増加することを示した。一方より乾燥した地域においては、ナノ結晶鉱物の結晶化が進行するため、有機-無機複合体による変異荷電量が小さく、結晶性粘土鉱物に由来する一定荷電がCECに対して相対的に高く寄与することを明らかにした。すなわち、半乾燥地域の火山性土壤については、変異荷電に加えて結晶性粘土鉱物が持つ一定荷電のCECに対する寄与を考慮する必要性があることを示した。

第6章では、本論文の概要と結論を述べている。まず熱帯火山帯における土壤の二次鉱物分布の規定要因についてまとめ、次いで気候と土壤のナノ結晶鉱物が土壤有機炭素の安定化に及ぼす影響の重要性について、表層土壤と下層土壤を対比しながら示すとともに、これら土壤構成成分が土壤の荷電特性に及ぼす影響についてまとめている。

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、気候と土壌を含む地球化学的要因が、二次鉱物の分布と有機炭素の安定性に与える影響を評価したものである。土壌中の二次鉱物は各種イオンを吸着し、有機物の蓄積に強い影響を与える。また土壌有機炭素は、環境科学的に重要な炭素プールであるとともに、土壌の荷電特性や物理的特性といった土壌の機能にも影響を与える。本研究は、熱帯火山地域を対象として、気候が土壌二次鉱物の分布に与える影響、および気候と二次鉱物が有機炭素の量と分解性に与える影響を明らかにすることを目的として実施された研究結果をまとめたものであり、評価できる点は以下の通りである。

第一に、風化程度の弱い火山灰土壌においては、土壌水分と温度の双方がナノ結晶鉱物および結晶性粘土鉱物の分布を規定する要因であることを明らかにした。半乾燥地域では、湿潤条件下と比べナノ結晶鉱物の結晶化が進むため、水分条件がナノ結晶鉱物の分布を制限する重要な要因であること、また湿潤地域では、低温条件がナノ結晶鉱物の結晶化を遅らせるため、温度がナノ結晶鉱物の分布を制御する主な要因であることを示した。第二に、3成分(不安定・中間・安定)一次反応速度論モデルによって算出した土壌有機炭素各プールのサイズと平均滞留時間を対して、気候および土壌特性値を用いた相関分析とパス解析を行った結果、全有機炭素の約半分を構成している中間プールは、主としてナノ結晶鉱物の含有量によって制御されていることを明らかにした。また表層土壌と下層土壌における有機炭素安定化メカニズムを比較検討した結果、下層においては、ナノ結晶鉱物によって安定化された有機物が安定プールよりも中間プールに多いこと、また安定プールに対する温度の影響がより大きいことを明らかにした。これら熱帯の火山性土壌における二次鉱物分布と有機物蓄積に関して得られた知見は、本論文における主要な学術的成果として評価できる。

第二に、気候が直接的にだけでなく、ナノ結晶鉱物の生成を通して間接的に土壌有機物蓄積に与える影響について、主要な土壌有機物動態モデルに親和的な反応速度論的解析によって成果を得た点に関して、気候変動シミュレーションに対する土壌鉱物学の統合という当該学術分野を超えた地球環境学における意義として評価できる。

第三に、その第一次生産への高い適性から広く利用される火山性土壌において、下層土壌に蓄積された有機炭素が、表層土壌の有機炭素よりも気候変動に対しより鋭敏に増減しうることを本研究では示しており、人類や社会による火山性土壌の利用に適切な配慮を求めている点が本論文の社会的な意義として評価できる。

以上の成果により、本論文は、学術的・社会的に地球環境学の発展に大きく貢献した。よって本論文は博士(地球環境学)の学位論文として価値ある

ものと認める。また、令和3年2月8日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。

要旨公開可能日： _____ 年 _____ 月 _____ 日以降