

(続紙 1)

京都大学	博士（農学）	氏名	向井 真那
論文題目	Differentiation of the vegetation-soil system through the interactions of soil N and P availabilities along an elevational gradient on Yakushima Island, Japan（屋久島における標高傾度に沿った土壌窒素・リン可給性の相互作用を介した土壌－植生系の分化）		
(論文内容の要旨)			
現在、屋久島では低地から山地まで連続した森林植生帯が見られるが、これは7300年前の鬼界カルデラ噴火により厚く堆積したアカホヤ火山灰上の一次遷移の結果、形成されたと考えられる。本研究では屋久島の標高の異なる7つの森林調査区を用いて、現在の土壌－植生系がどのように形成されたのかを調べた。 第1章では、土壌風化に伴うリン・窒素可給性の変化と森林の生産性の変化についての既往研究を整理した。窒素とリンは風化程度に応じて異なる動態を示し、リンか窒素が風化段階の異なる時期に相対的に欠乏することにより森林の生産性に影響を与えることを指摘した。その一方で、標高傾度に沿っても気温変化を反映して風化の程度の差が見られること、さらに、第四紀の火山灰が堆積した山岳においては火山灰の風化傾度が標高傾度に沿ってより明瞭に現れる可能性を指摘した。また、窒素・リン可給性の標高パターンを観察することの意義を指摘し、第四紀の火山灰が堆積した山岳の標高傾度に沿った窒素・リン可給性と樹木応答に関する仮説を立てた。また、仮説を検証するための調査地として屋久島が有効である理由について述べた。 第2章では、標高傾度に沿った表層土壌のリン画分と窒素可給性（無機態窒素濃度）を明らかにした。標高の上昇に伴い一次鉱物起源のリン酸カルシウムや難分解性の吸蔵態リンの濃度は減少していた。リン酸カルシウム濃度が全リン濃度に占める割合はわずかに数パーセント程度しかなく、全標高でほとんど消失していた。全リン濃度も標高の上昇に伴い減少していた。また、無機態窒素濃度も標高の上昇に伴い減少していた。このように、土壌リン・窒素ともに、高標高に向けて可給性が同調して減少することが屋久島の特長と考えられた。土壌のリン・窒素可給性と樹木のリン・窒素利用効率には有意な負の相関が見られた。高標高では土壌のリン・窒素可給性の低下を反映して、リン・窒素利用効率の高い樹木が優占している可能性が示唆された。 第3章では、ストロンチウムと鉛の安定同位体比（$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$、$^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$）を用いて火山灰起源の栄養元素が現在の表層土壌にどの程度残留しているのかを推定した。表層土壌のカルシウムとマグネシウムへの寄与に関わる端成分として、母岩、火山灰、降水を考慮した。まず、表層土壌のマグネシウムとカルシウムへの3つの端成分の寄与率をそれぞれ算出し、その後求めた寄与率から降水の寄与率を除いて火山灰と母岩からなる寄与率を算出し、これを表層土壌リンへの2端成分の寄与率とした。表層土壌リンへの火山灰寄与率は5.6～90.0%の範囲で推移し、標高の上昇とともに火山灰寄与率は減少していた。この表層土壌リンへの火山灰寄与率には土壌リン濃度と正の相関が見られ、また、選択溶解法による非晶質鉱物（$\text{Al}_{0.41}/2\text{Fe}_0$）濃度と有意な正の相関が見られた。以上の結果から、残留する火山灰量が表層土壌の全リン濃度を支配し、残留火山灰が標高上昇とともに減少することにより、第2章で確かめられた土壌リン			

の勾配が形成されていることが示唆された。

第4章では、内在する土壌の有機物の質が土壌窒素純無機化速度に与える影響を明らかにした。窒素純無機化速度は野外では温度と難分解性物質の影響をともに受けており、どちらが窒素純無機化速度により強く影響を与えているのかを明らかにすることは難しい。そこで、異なる標高から採取した土壌を同じ温度で培養し、温度の影響を排除して土壌窒素純無機化速度を決定した。さらに、この実験を4つの温度（15、20、25、30℃）で繰り返した。どの培養温度でも土壌窒素純無機化速度は採取地点の標高に応じて減少し、特に15、25、30℃で培養した際には標高と有意な負の相関がみられた。また、標高に対する傾きは4温度間で有意差がなく、さらに15–25℃では切片が同じであった。また、土壌有機物の難分解性を指標するPhenolics/N比は標高と有意な正の相関を示し、15℃で培養したときの土壌窒素純無機化速度とは有意な負の相関を示した。以上の結果から、標高の上昇に伴う窒素可給性（窒素純無機化速度）の減少は、温度低下ではなく、土壌有機物の難分解性によって引き起こされている可能性が示唆された。

第5章では、イングロースコア法を用いて細根の生産速度を決定した。細根バイオマスも細根生産速度も中標高で高くなり、標高傾度に沿って一山型の傾向を示した。また、高標高の針葉樹林帯において根長/根重比は大きくなる傾向が見られた。低標高の常緑樹林帯では、細根の寿命や根長/根重比を大きくする代わりに、標高の上昇に伴い細根への炭素投資量や細根バイオマスを増加させ、その一方で、高標高の針葉樹林帯では、細根への炭素投資量を大きくする代わりに、根長/根重比を大きくすることにより、土壌栄養塩の減少や気温の低下に適応していると考えられた。このように、屋久島の標高傾度に沿った細根動態は気温や土壌栄養塩可給性に伴う線的な変化というよりも、常緑広葉樹林帯から常緑針葉樹林帯への樹種組成の変化を反映していることが示された。

第6章では、以上の結果を総合的に考察した。屋久島では残留する火山灰量が標高とともに減少することにより、土壌リン可給性の標高パターンが決定されたと考えられる。また、土壌窒素純無機化速度の標高上昇に伴う減少は土壌の有機物の難分解性が増加するためと解釈された。土壌窒素・リンの標高パターンを反映し、樹木の窒素・リン利用効率は標高の上昇に伴い上昇し、その結果、リターの窒素・リン濃度は標高とともに低下した。屋久島では高標高に向かい土壌有機物の質を低下させる正のフィードバックが働いて現在の土壌—植生系が成立していることが示唆された。

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)

日本の森林生態系において、噴火によって堆積した火山灰が森林樹木の栄養にどのような影響を与えているのかは明らかにされていない。現在、屋久島では低地から山地まで連続した森林植生帯が見られるが、これは7300年前の鬼界カルデラ噴火により厚く堆積したアカホヤ火山灰上の一次遷移の結果、形成されたと考えられる。本研究では屋久島の標高の異なる7つの森林調査区を用いて、堆積した火山灰上で現在の土壌－植生系がどのように形成されたのかを調べた。本研究の評価できる点は、以下の通りである。

1. 屋久島の標高傾度に沿って、土壌中の可給態リン、全リン及び無機態窒素の濃度が標高上昇に伴い同調的に減少しており、これが森林樹木のリン及び窒素利用効率の高まりを引き起こしていることを明らかにした。

2. ストロンチウムと鉛の安定同位体比を使った解析及び選択溶解法による非晶質鉱物の解析から、現在の表層土壌に残留する火山灰は標高の上昇とともに減少し、これが土壌全リン濃度の標高による低下を引き起こしていることを示した。

3. 土壌窒素純無機化速度は標高の上昇とともに低下したが、これは気温の直接的影響ではなく、土壌有機物の難分解性が高まることによって引き起こされていることを明らかにした。

4. 火山灰堆積後、残留する火山灰が高標高に向かい低下するとともに、土壌と植生の間には土壌有機物の難分解性を高めるような正のフィードバックが働き、現在の森林生態系が形成されてきた可能性を示した。

以上のように、本論文は、噴火によって堆積した火山灰が森林樹木の栄養にどのような影響を与えているのかを解明するとともに、窒素とリンの相互作用を介した一次遷移過程での土壌－植生系の分化を明らかにしたものであり、森林生態学、生態系生態学、生物地球化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、平成31年4月11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。

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）