

(続紙 1)

京都大学	博士（農学）	氏名	山下 尚之
論文題目	東南アジア熱帯林における土壌酸性の変動とその規定要因		
(論文内容の要旨)			
土壌酸性（pH）は植物成長にとって重要な意味を持つ。東南アジアに分布する熱帯林の多くは強風化土壌であるAcrisols上に成立しており、そのpHは一様に低いと考えられている。しかし、熱帯林における土壌pHの時間的・空間的な変動、ならびにその規定要因に関する知見は極めて限られている。本論文は、熱帯林土壌のpHが、植生の変容をはじめとする人為要因に加え、地形要素や落葉様式などの自然要因によってどのように変動しているかの実態を明らかにすると同時に、それぞれの変動を形成するメカニズムについて論じたものである。論文は次の3つのトピックから構成されている。			
1）東南アジア諸島部に広く分布する熱帯多雨林地帯ではダイナミックな植生の変容が進み、低地フタバガキ科林は劣化した二次林を経て最終的にはチガヤ（<i>Imperata cylindrica</i>）草原に変化し、さらにチガヤ草原はマメ科早生樹種であるアカシア（<i>Acacia mangium</i>）をはじめとする早生樹植林地に改変されてきた。本論文は、劣化二次林、チガヤ草原ならびにアカシア植林地の土壌化学性を比較することで、植生変化によるpH変動の実態を論じた。その結果、表層土壌のpHは二次林からチガヤ草原の植生変化に伴って上昇し、チガヤ草原からアカシア植林地の変化では低下することを明らかにすると共に、これらの変化が土壌中の交換性のCaやMg蓄積量の増減と共に生じたことを指摘した。塩基蓄積量は土壌に生得的な粘土量によっても制御されるため、粘土量を共変量とした共分散分析による比較を実施し、生得的な土壌の違いを考慮しても二次林とアカシア植林地の交換性CaならびにMg蓄積量はチガヤ草地のそれよりも低いことを示した。更に、アカシア植林地の土壌-植生系全体でのCa蓄積量はチガヤ草原におけるCa蓄積量とほぼ同じレベルであり、チガヤ草原ではその99%以上が土壌中に蓄積されていたのに対してアカシア植林地ではその66%が地上部バイオマス中に蓄積されていたことから、二次林のチガヤ草原化は、森林バイオマス中に含まれる塩基類が火入れによる灰化を経て土壌中に流入することでpH上昇がもたらされ、一方で、チガヤ草原へのアカシア植林は、林木の成長と共に塩基類が土壌から樹体バイオマス中へ移行・蓄積することによって土壌中の塩基蓄積量の減少とpH低下をもたらしたことを明らかにした。			
2）東南アジア大陸部に広く分布する熱帯季節林には顕著な落葉の季節・空間変動が見られる。大気や岩石風化に由来する系外からの塩基インプット（流入）が著しく小さい熱帯林においては、内部循環系におけるリター由来有機物が土壌への塩基類流入の主要なソースと考えられるため、これにより土壌pHが大きく変動している可能性がある。一方でまたpHは、地質・地形に代表される多様な立地環境要因によっても制御されるため、その規定要因を明らかにするためにはこれら複数の要因を分離して検出することが必要となる。本論文は、多変量地球統計学の手法を用いることで熱帯季節林斜面におけ			

るpH空間変動の実態を明らかにするとともに、複数のpH規定要因を分離・検出して明らかにした。土壌pHには季節変動が認められ、雨季のpHは乾季より高かったが、これは雨季における交換性K濃度の上昇に起因していた。土壌pHには86mと20mの長短2つの地理的スケールでの空間変動が認められ、86mスケールでの変動は砂含量や交換性Ca濃度と、20mスケールでの変動はリター堆積量や交換性K濃度と高い相関をそれぞれ持つことを示した。この結果から、斜面地形に沿った塩基類と土性の偏在分布が塩基飽和度を通じて長い地理的スケールでのpH空間変動を形成し、落葉に起因するリター堆積量の不均一性がリター由来有機物をソースとする土壌への塩基流入量を制御することで短い地理的スケールでのpH空間変動を形成している可能性が高いことを指摘した。

3) 2) で指摘した落葉に起因するpH変動のメカニズムを詳細に明らかにするため、リター層から土壌表層への無機態窒素・塩基性陽イオン流入フラックスならびに土壌層内での無機化・硝化・吸収の生物プロセスの季節・空間変動を明らかにし、それらとpHとの関連について論じた。リター層からの無機態窒素・塩基性陽イオン流入フラックスは雨季初期に有意に上昇し、特に NO_3 とKでその上昇率が大きかった。 NO_3 とK流入フラックスは雨季中期・後期に大幅に減少したものの、CaとMg流入フラックスは雨季中期・後期に低下せず雨季を通じてほぼ一定であった。さらに、鉍質土層中では雨季後期において硝化フラックスが減少し吸収フラックスが増加した結果、 NO_3 濃度が低下した。一方、リター層からの無機態窒素・塩基性陽イオン流入フラックスには顕著な空間変動が認められた。これらの結果から、雨季後期における表層土壌におけるpH上昇が、(a) 土壌中での硝化フラックスの減少と (b) リター層からの[塩基性陽イオン流入] / [NO_3 流入] 比の上昇によるプロトン消費の増大によって生じ、さらに[塩基性陽イオン流入] / [NO_3 流入] 比が大きい地点ほどpHの上昇率が大きいことを明らかにした。すなわち、落葉に由来するリター層からの陽イオン・陰イオン流入のフラックスと両者のバランスに加え土壌中での生物プロセスが、表層土壌pHに対し数m、数ヶ月スケールでの時空間変動をもたらしていることを明らかにした。

以上のように、東南アジア熱帯林のAcrisolsのpHには、規定要因に応じた様々な変動スケールと変動範囲が存在しており、特に短い時空間スケールでの土壌pHの決定には主にKが、長い時空間スケールでは主にCaが関与しており、イオン種による土壌中での移動性の違いがpHの変動スケールの形成に影響を及ぼしていることを指摘した。これらの成果に基づき、土壌酸性の多様性に留意した熱帯林での森林管理・物質動態予測に関する研究の蓄積が必要であることを論じた。

(論文審査の結果の要旨)

土壌酸性 (pH) は植物成長を規定する重要な土壌パラメータであるが、一般に強酸性土壌が広く分布するとされる東南アジア熱帯林域において土壌pHが時間的・空間的にどのような変動を示し、更にはそれら変動がどのような要因によって規定されているか、ほとんど未知である。本論文は、東南アジア熱帯林における土壌酸性 (pH) 変動の実態を多点サンプリングならびに多変量地球統計学の手法によって明らかにし、さらに物質フラックスに関する詳細な調査をおこなうことでその規定要因と変動メカニズムについて論じたものである。評価できる点として以下の3点をあげることができる。

1) インドネシア・スマトラ島の大規模早成樹植林地とその周辺地域において、広域・多点による土壌調査を行い、低地フタバガキ林に由来する二次林からチガヤ草原への退行遷移、その後のアカシア植林地への転換に伴って土壌pHが大きく変動する実態を明らかにした。また一般に、森林土壌は生得的に大きな空間的異質性を示すために植生変化に伴う土壌特性の変動要因を特定することが困難であったが、交換性塩基濃度と調和的に変動する粘土含量を共変量とする共分散分析によって植生変化による影響を分離して評価することを可能とした。加えて林木の成長に伴い塩基類が土壌からバイオマス中へ移行・蓄積するメカニズムを土壌・地上バイオマス中の塩基蓄積量を推定することで定量的に評価・実証することに成功した。本論文は、近年熱帯地域における新たな土地利用形態として急速に拡大しつつある早成樹種植林が土壌へ与える影響を世界に先駆け土壌化学的側面から系統的に明らかにしたもので、その成果は熱帯林地域における土地利用や土壌管理のあり方について重要な指針を与えるものである。

2) pHは土壌中の多岐にわたる生物的・化学的プロセスとこれをもたらす複数要因の結果として決定される。そのため、野外でのpH変動の規定要因を明らかにするためにはこれら複数のpH規定要因を分離して評価しなければならないが、本論文は、生態系内の規定要因がそれぞれに特徴的な地理的スケールを持つことに着目し、これに多変量地球統計学を適用することで、複数のpH規定要因を異なる地理的スケールに応じて抽出することに成功した。その結果、熱帯季節林からなる対象小集水域内でのpH空間変動には86mの長周期と20mの短周期の変動が存在し、それぞれ土壌の粒経組成と落葉供給の不均一性がその主要な規定要因であることを実証している。本成果は、小集水域スケールにおける土壌特性の空間的変動に対して、多変量地球統計学の適用に初めて成功した例であり、熱帯林生態系における物質循環の空間的異質性解明と今後の研究展開に重要な示唆を与えている。

3) 小集水域内において、リター投入・堆積量、土壌表層における溶存物質の流入・溶脱フラックスならびに土壌中での窒素の無機化・硝化・植物吸収に明瞭な時間的・空間的変動が存在することを示し、その結果としてのプロトン収支とイオンバランス

が土壌pHの変動を制御していることを明らかにした。この結果により、小集水域あるいは林分単位での物質循環や土壌pHの評価や予測を行う際には、空間異質性を考慮しつつ比較的短い地理的スケールでの変動を考慮する必要があることを示した。

以上のように本論文は、東南アジア熱帯林における土壌pH変動の実態を、土地利用や森林の季節応答、地形や生得的土壌特性との関連の下に明らかにすると同時に、土壌pHの空間構造とその支配要因を多変量地球統計により明らかにしたもので、土壌学、森林生態学、生物地球化学の発展ならびに、東南アジア熱帯林の保全・管理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22年2月17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。

注) Webでの即日公開を希望しない場合は、以下に公開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