

学 位 審 査 報 告 書

(ふ り が な) 氏 名	ひだか あまね 日 高 周
学 位 (専 攻 分 野)	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	理 博 第 号
学 位 授 与 の 日 付	平成 年 月 日
学 位 授 与 の 要 件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研 究 科 ・ 専 攻	理 学 研 究 科 生 物 科 学 専 攻
(学 位 論 文 題 目) The pattern and mechanisms of phosphorus-use efficiency of Bornean tropical rain forests (ボルネオ熱帯降雨林のリン利用効率—パターンとメカニズ ムの検証—)	
論 文 調 査 委 員	(主 査) 大園 享司 准教授 西村 いくこ教授 永益 英敏 准教授

理 学 研 究 科

(続紙 1)

京都大学	博士（理 学）	氏名	日高 周
論文題目	The pattern and mechanisms of phosphorus-use efficiency of Bornean tropical rain forests （ボルネオ熱帯降雨林のリン利用効率—パターンとメカニズムの検証—）		
（論文内容の要旨）			
森林生態系の機能の一つである物質循環は、栄養塩・水・光・熱などの非生物因子に規定され、森林を構成する生物によって動的にコントロールされている。従って、森林生態系の物質循環という現象を生物学的に理解するためには、非生物因子に対する生物の適応・応答を解明し、その適応機構がどのように物質循環に関わるか解明する必要がある。 地球上で最も複雑な生態系である熱帯降雨林は、高温多湿の気候下で土壌風化が進行しており、樹木が吸収・利用できる形態の可給態リンが土壌中に乏しいということが知られている。そのような低リン土壌に生育する熱帯樹種は、根や葉などの器官レベルでリンの獲得・利用において適応的な機構を発達させていることがこれまでに指摘されている。また、低リン土壌に適応的な樹種・樹木個体の集合である森林では、一次生産におけるリン利用効率が林分レベルで大きく増加することが報告されている。非生物因子が炭素・リン循環を一義的に規定するのであれば、林分のリン利用効率は大きく変化しないはずである。従って、林分のリン利用効率の増加は、非生物因子だけでなく、低リン土壌に対する樹種の適応機構が森林の炭素・リン循環を強く規定する可能性を示している。そのため、森林生態系の炭素・リン内部循環の形成過程を生物学的に理解するためには、リン利用効率増加のメカニズムを樹木の器官レベルで生理生態学的に解明することが必要である。 林分のリン利用効率の増加には、葉の特性が強く関わりと考えられる。それは葉という器官がリンを光合成で用いる同化器官であり、同時に、落葉によりリンを体外へ排出する器官であるためである。一方、幾つかの個葉特性（葉寿命の長期化・落葉前のリン再吸収）がリン利用効率増加のメカニズムとして挙げられてきたが、どれが相対的に重要であるかは解明されていなかった。また、リン利用効率に関わる個葉の特性には、リン酸・リン脂質・核酸といったリンを含む無機・有機物リン画分が生理学的に関係しているが、それらの葉内リン画分の配分パターンとリン利用効率増加の関係は未解明であった。 本研究では、森林生態系の一次生産の場である樹冠・個葉の特性に着目し、低リン土壌が分布するボルネオ島の熱帯降雨林を調査対象として、林分・個葉・葉内の各スケールにおいて、土壌リン可給性に対するリン利用効率の増加パターンを検証し、リン利用効率増加のメカニズムの解明を試みた。まず、ボルネオ熱帯降雨林において、林分のリン利用効率の空間変異とそのメカニズムを検証した。その結果、樹冠におけるリン滞留時間の長期化がリン利用効率増加に大きく寄与していることが示された。このリン滞留時間の長期化のメカニズムとして、落葉前のリン再吸収の増加が葉寿命の長期化よりも重要であることが示された。次に、マレーシア・サバ州の熱帯山地林における調査と世界中の文献データを基に、個葉におけるリン利用効率の増加要因を検証した。個葉レベルにおけるリン利用効率は、光合成のリン利用効率（最大光合成速度と生葉リン濃度の比）と葉寿命を用いた定義と、生葉リン濃度とリン再吸収率を用いた定義の2通りの定義が存在する。その両方について、個葉レベルのリン利用効率の増加メカニズムを検証した。その結果、光合成のリン利用効率の増加・葉寿命の長期化・生葉リン濃度の低下・リン再吸収率の増加の4つを同時に実現することが個葉のリン利用効率増加のメカニズムとして重要であることが示された。さらに、個葉リン利用効率増加をもたらす生理生態学的メカニズムを解明するため、葉内リン画分の濃度および配分比率と個葉リン利用効率の関係を検証した。土壌リン			

可給性の異なるマレーシアの3つの熱帯山地林において、各森林に優占する樹種7種（計21樹種）の生葉リンを構造態リン（リン脂質など細胞膜やオルガネラを構成する画分）・核酸態リン・代謝に関わるリン・残渣リンの4つに分画し、それぞれの画分のリン濃度を測定し、比較検証した。その結果、土壌リン可給性の低下に伴い、いずれの画分のリン濃度も低下するが、画分間のリン配分比は変化しないことが解明された。リン配分比が変化しないことは、光合成のリン利用効率の増加・葉寿命の長期化・生葉リン濃度の低下を同時に実現するメカニズムとして重要であることが示された。

(論文審査の結果の要旨)

森林群集は、土壌栄養塩が欠乏した場所では、吸収した栄養塩当たりの純一次生産速度を高めるような応答を示す。吸収した栄養塩当たりの純一次生産速度は栄養塩利用効率として定義される。土壌風化が進行した熱帯においては強いリン制限が生態系に働き、熱帯林群集は極めて高いリン利用効率を示すことが知られてきた。このリン利用の効率化によって熱帯林生態系は長期的に維持されているが、リン利用効率化のメカニズムについては不明であった。本研究はこの課題に取り組み、熱帯林のリン利用効率化のメカニズムを生物学的・生態学的に明らかにしたものである。本研究の評価できる点は以下である。

1) 窒素に関する先行研究から、土壌窒素が欠乏すると樹木の個葉における光合成の窒素利用効率は上昇するのではなく、むしろ低下することが知られていた。これは、窒素が欠乏すると、葉の寿命を増加させて窒素の葉内滞留時間を増大させるために窒素が細胞壁に投資され、その結果、光合成回路の炭酸同化酵素への窒素投資が減少するためだと解釈されてきた。これに対して、本研究では個葉におけるリン利用効率を多くの樹木で調べ、土壌リンが欠乏すると葉のリン滞留時間と光合成におけるリン利用効率は同時に増加することを見出した。このことは、無機・有機リン画分間での分配のトレードオフがリンでは生じておらず、窒素とは対照的であることを見出した。

2) 土壌リン可給性が異なる熱帯林において、多くの樹種の葉内リンを構造態リン・核酸態リン・代謝に関わるリン・残渣リンの4つに分画し、リン濃度の画分比を比較検討した。その結果、土壌リン可給性の低下に伴い、どの画分のリン濃度も低下するが、画分間のリンの配分比は土壌リン可給性に関わらず一定であることが明らかとなった。このことが、光合成のリン利用効率の増加とリンの滞留時間の調和的増加に効いていることを見出した。

3) ボルネオ島において、土壌リン可給性の異なる多くの熱帯林において、林分レベルでのリン利用効率を測定し、利用効率の増大のメカニズムを調べた。その結果、落葉前のリン再吸収の増加を通してリンの滞留時間が増加し、それが林分レベルでのリン利用効率増大に大きく寄与していることが明らかとなった。

本研究の結果から、樹木は葉内のリン濃度を低下させる際に画分間のリン濃度の比率を一定に保つことで個葉のリン利用効率を増加させ、これがリン欠乏への樹種特有な適応を支えていることが明らかとなった。この生理的なメカニズムにより、土壌リン可給性の低下に対して、より適応的な樹種へと優占樹種が交代し生態系を長期的に維持するという独創的な結論を導いた。

以上のように、本論文は、リン利用効率の高まりによる森林生態系の維持には、樹種の葉レベルでの適応機構が大きく関わっていることを明らかにしたものであり、森林生態学、熱帯林生態学、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(理学)の学位論文として価値あるものと認める。なお、平成23年2月2日、論文ならびに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。