

令和 3 年 4 月 8 日

海外特別研究員最終報告書

独立行政法人日本学術振興会 理事長 殿

採用年度 平成 31 年度

受付番号 201960412

氏 名 辻井 悠希

(氏名は必ず自署すること)

海外特別研究員としての派遣期間を終了しましたので、下記のとおり報告いたします。

なお、下記及び別紙記載の内容については相違ありません。

記

1. 用務地（派遣先国名）用務地： シドニー （国名： オーストラリア）

2. 研究課題名（和文）※研究課題名は申請時のものと変わらないように記載すること。

機能形質に基づく熱帯林生態系のリン循環モデルの構築

3. 派遣期間：平成 31 年 4 月 1 日 ～ 令和 3 年 3 月 31 日

4. 受入機関名及び部局名

受入機関名： マッコーリー大学

部局名： 生物学科

5. 所期の目的の遂行状況及び成果…書式任意 **書式任意 (A4 判相当 3 ページ以上、英語で記入も可)**

(研究・調査実施状況及びその成果の発表・関係学会への参加状況等)

(注)「6. 研究発表」以降については様式 10-別紙 1~4 に記入の上、併せて提出すること。

研究目的

風化の進んだ熱帯土壌では、植物の必須元素であるリンが欠乏している。こうした低リン土壌は森林衰退の原因になることが知られるが (Wardle et al. 2004)、低リン土壌上の熱帯林は巨大なバイオマスを維持している (Kitayama 2005)。これは、リン欠乏に対して樹木の適応が生じ、森林生態系が高いリン利用効率（土壌から獲得したリンあたりの生産量）を持つためだと考えられている (Vitousek 1984)。これまでの私の研究では、光合成や繁殖など個々の機能に着目することで、リン利用効率の生理生態学的メカニズムの詳細を明らかにしてきた (Tsuji et al. 2017ab, Tsujii & Kitayama 2018)。一方、機能間での交互作用が未解明なため、生態系への波及効果は未解明であった。そこで本課題では、機能生態学的観点から、森林生態系を個々の機能の集合としてとらえることで、生態系内のリン循環モデルを新たに提案した。このモデルを使い、樹木のリン利用戦略が森林生態系のリン循環に与える影響を定量することを目的とした。

参考文献

Kitayama, K. (2005). Comment on 'Ecosystem properties and forest decline in contrasting long-term chronosequences'. Science, 308, 633.

- Tsujii, Y., Oikawa, M., & Kitayama, K. (2017). Significance of the localization of phosphorus among tissues on a cross-section of leaf lamina of Bornean tree species for phosphorus-use efficiency. *Journal of Tropical Ecology*, 33, 237–240.
- Tsujii, Y., Onoda, Y., & Kitayama, K. (2017). Phosphorus and nitrogen resorption from different chemical fractions in senescing leaves of tropical tree species on Mount Kinabalu, Borneo. *Oecologia*, 185, 171–180.
- Tsujii Y, Kitayama K. 2018. Relationships of phosphorus concentration in reproductive organs with soil phosphorus availability for tropical rain-forest trees on Mount Kinabalu, Borneo. *Journal of Tropical Ecology*, 34 : 351–363.
- Vitousek, P. M. (1984). Litterfall, nutrient cycling, and nutrient limitation in tropical forests. *Ecology*, 65, 285–298.
- Wardle, D.A., Walker, L.R. & Bardgett, R.D. (2004) Ecosystem properties and forest decline in contrasting long-term chronosequences. *Science*, 305, 509– 513.

研究内容の概要

樹木は、落葉前に葉内の有機態リンを分解し無機化されたリンを樹木内に引き戻して再利用する。“落葉前リン再吸収”と呼ばれるこの仕組みは、樹木内のリン滞留時間を延長させる。リン再吸収の効率は、低リン環境ほど上昇し、樹木内でのリン滞留時間を上昇させる。このため、低リン環境ではリン滞留時間の長い種が適応的であり、生態系内でのリン循環速度が低下すると考えられてきた（図1のA）。

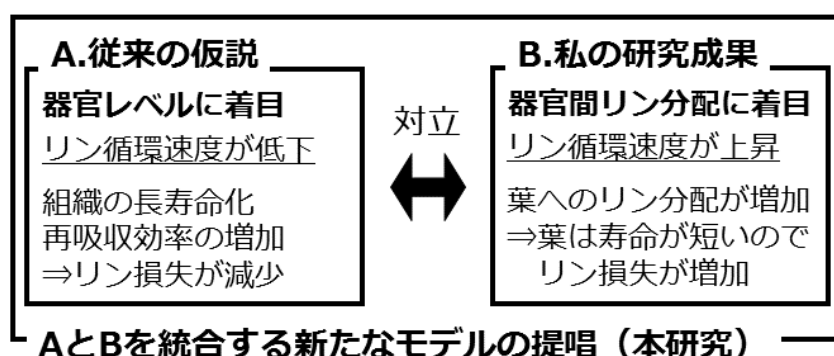


図1. 本研究におけるモデルの概要

器官レベルでのリン利用効率化はリン循環速度を低下させる（A.従来の仮説）。一方、器官間のリン分配の最適化はリン循環速度を上昇させる（B.私の研究成果）。

しかし私の博士課程での研究で、低リン環境の熱帯林ではリン循環速度が速いというまったく逆の仮説が支持された（図1のB）。この矛盾は、樹木の器官間のリン分配がリン循環速度に強く影響することを示唆している。すなわち、葉など短命な器官へのリン分配の増加が、リン循環速度の上昇を引き起こしている可能性がある。本研究では、これら相反するの2つの仮説を統合するための新たなモデル概念を提唱した。

遂行状況および成果

初年度は、ボルネオ島キナバル山の熱帯降雨林を対象として研究を行った。キナバル山の土壌リン可給性の異なる7つの森林において、樹木の機能形質（葉・材リン濃度など）を網羅的に解析し、落葉時のリン再吸収と器官間のリン分配を考慮したリン循環速度の数理モデルを新規に構築した（課題1）。課題1が順調に進んだため、樹木のリン利用様式の詳細なメカニズムに

関する追加実験を行った（課題 2）。

次年度は、コロナウイルス感染症関連の規制のため野外調査や化学実験を十分に行うことができなかった。代わりに、初年度のデータを利用し樹木のリン利用様式に関する新たな仮説を提案し、地球規模での解析を行うための国際研究協力関係の構築を行った。この国際協力関係に関する研究で、令和 3 年度の日本学術振興会特別研究員（P D）に採用された。

以下、各課題の詳細である。

課題 1）樹木の機能形質に基づく森林生態系のリン循環モデルの構築

キナバル山（ボルネオ島）の土壤リン可給性の異なる 7 つの森林において、リン滞留時間を推定した。リン滞留時間は、森林の地上部バイオマス中のリン現存量（葉および材内のリン現存量）と落葉、落枝、枯死などによるリン損失量の比として計算した。加えて、落葉時のリン再吸収が起こらないことを仮定したリン滞留時間を推定し、実際のリン滞留時間を比較することで、落葉時のリン再吸収が森林生態系のリン循環に与える影響を定量的に評価した。

リン滞留時間（2.7–9.8 年）は、バイオマスの滞留時間（地上部バイオマス／落葉・落枝・枯死量；19.8–48.8 年）の約 5 分の 1 と短かった。これは、葉へのリン分配率（葉内のリン現存量／樹木内のリン現存量；0.11–0.46）がバイオマスの分配率（葉バイオマス／樹木バイオマス；0.02–0.05）と比べて極端に大きいためであった。葉は本部組織（幹など）と比べ寿命が短いため、葉のリン分配の増加はリン滞留時間を減少させることが示唆された。

葉へのリン分配率は土壤リン可給性の低下に伴い増加し、リン滞留時間が減少することが予測された（図 2 の赤線）。しかし、リン滞留時間は土壤リン濃度にかかわらず一定であった（図 2 の青点線）。これは、落葉時のリン再吸収が低リン環境ほど卓越するためであった。リン再吸収は、リン滞留時間を最大で 2 倍以上に増加させていた。したがって、葉へのリン分配の増加によるリン滞留時間の減少効果を、落葉時のリン再吸収が相殺することにより、土壤リン可給性に関係なくリン滞留時間が一定になることが証明された。

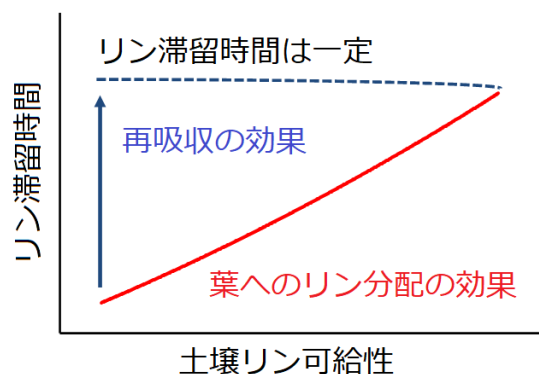


図 2. リン分配と再吸収の効果が相殺しあいリン滞留時間が一定になる。

この成果は、樹木のリン利用特性が生態系のリン循環速度を制御することを示唆しており、植物生態学にとどまらず、今後の生態系モデルの発展に大きく貢献すると期待される。本研究成果は、筆頭著者として、生態学の著名国際誌である Functional Ecology 誌で公表した。

課題 2）葉内のリン分配様式と葉寿命、光合成速度、リン再吸収効率の関係の解明

課題 1 が順調に進んだため、森林生態系のリン循環にかかわる生理生態学的背景についての追加実験を行った。マッコーリ大学の生態系保護区から合計 12 樹種の生葉を採取し、葉のリン画分濃度を測定した。さらに、光合成速度を測定した。また、落葉時のリン再吸収効率を測定するために、老化葉を採集した。2019 年の 9 月から 2020 年の 9 月まで、葉寿命のモニタリングをおこなった。

野外調査および化学実験により、光合成速度及び葉全リン濃度が種間で非常に大きく異なることが明らかにされた。これらの種間差の仕組みを明らかにすることで、課題 1 のリン滞留時間決定機構の一部を説明できる。本成果は、日本学術振興会特別研究員（PD）申請の際の予備データとして利用された。

2 年目後半は、クーリングアイチェイス国立公園において、リン利用特性の異なる 2 サイトから約 25 樹種の葉を採集した。現在は、マッコーリ大学の実験室にて、リン画分濃度を分析中である。同時に、シドニー大学との共同研究として、各サイトの土壌リン濃度のデータの収集を開始した。これら研究に関して、西オーストラリア大学、インペリアルカレッジロンドン、中国科学院、京都大学、九州大学などとの研究協力関係の構築を行った。これらの協力関係を基に、令和 3 年度学術振興会特別研究員（PD）では、地球規模での解析を進めていく。

成果の発表・関係学会への参加状況

1. 2019 年 11 月にキャンベラ大学で行われた“The conference of the Japan Society for the Promotion of Science Alumni Association in Australia”において、Phosphorus strategies of trees from cellular to global scales についての招待講演（口頭発表）を行った。
2. 課題 1 の研究成果は、“Phosphorus allocation to and resorption from leaves regulate the residence time of phosphorus in aboveground forest biomass on Mount Kinabalu, Borneo”というタイトルで、筆頭著者として生態学の著名国際誌である Functional Ecology に公表した。
3. 2021 年 3 月に、シドニー植物生理生態学グループにおいて、“Leaf phosphorus economics: implications from the plant-soil cycle of phosphorus in Bornean rain forests”というタイトルで発表し、活発な議論をおこない、共同研究体制を拡大した。
4. 課題 2 に関しては、2020 年 11 月に、“Roles of leaf phosphorus fractions in phosphorus-use efficiency for 12 coexisting NSW woody species”というタイトルで、オーストラリア生態学会において成果を発表した（査読あり、口頭発表）。この内容は新たな研究地を追加したのちに、1 編の論文を生態学のトップジャーナルに投稿予定である。