

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 6 日現在

機関番号：24506

研究種目：基盤研究(B) (海外学術調査)

研究期間：2013～2016

課題番号：25304027

研究課題名(和文) 東南アジア熱帯林における樹木根系を介した土壌の炭素蓄積と放出メカニズムの解明

研究課題名(英文) Role of tree root systems on soil carbon sequestration and emission in a tropical forest in southeast Asia.

研究代表者

大橋 瑞江(Ohashi, Mizue)

兵庫県立大学・環境人間学部・教授

研究者番号：30453153

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 11,600,000円

研究成果の概要(和文)：マレーシア、サラワク州のランビルヒルズ国立公園において、(1)細根の生産量と枯死量の評価、(2)細根の成長と枯死の変動要因、(3)細根の成長や枯死と土壌圏の炭素動態との関わり、を検討した。その結果、細根生産量は生態系総生産量の10%程度であること、粗根に比べると、細根の方が、分解が遅いことが明らかとなった。また土壌からのCO₂フラックスの変動は細菌による枯死根分解と強い関係があると予想された。細根の成長量と枯死量の変動は、平均降水量との間に正の相関が、平均気温との間に負の相関がみられ、環境要因の変動に対応してしていると予想された。

研究成果の概要(英文)：We investigated (1) amount of fine root production and mortality, (2) factors controlling fine root dynamics, (3) the impact of fine root dynamics on soil carbon cycling, in a tropical rainforest in Lambir Hills National park in Sarawak, Malaysia. We found that fine root production in this forest accounted 10% of gross primary production and thicker roots decomposed faster than finer roots in this forest. Also, we clarified the clear impact of soil bacterial on soils carbon flux originating from root decomposition. Our results showed positive impact of rainfall and negative impact of temperature on fine root production and mortality, suggesting the controls of environmental factors on fine root dynamics in this forest.

研究分野：森林生態学

キーワード：熱帯林 樹木根系 細根 生産量 枯死量 炭素循環 分解

1. 研究開始当初の背景

世界の陸域面積に占める森林の割合は 30% にすぎないが (FAO, 2010)、森林は陸域炭素の約半分である 2000Pg の炭素を貯蔵し、年間 100Pg もの炭素を大気と交換している (Lorenz and Lal, 2010)。熱帯林には地球の森林全体の炭素貯留量の約 6 割が存在し (Dixon et al., 1994)、その炭素循環は温帯や亜寒帯の 2-5 倍も速い (Luysaert et al., 2007)。しかし、熱帯林の炭素循環を記述する様々なモデルが開発され、気候変動を予測するシミュレーションが試みられてきたにも関わらず、モデルの精度は未だ十分ではなく、シミュレーション結果には大きなばらつきがある。その原因の一つに、熱帯林の地下部の炭素動態に関する記述が貧弱で不正確であることが挙げられる。

根系は森林バイオマスの約 20% を占め、根の成長や呼吸、菌根との共生や根からの浸出物のために光合成産物の最大 80% が地上部から地下部へ移動する (Gill and Jackson, 2000 など)。根系は、樹体の支持を担う直径 2mm 以上の粗根と、養水分を吸収する直径 2mm 以下の細根に大別することが出来、根系バイオマスの殆どを前者が占めるのに対し、後者は成長と枯死のサイクル (ターンオーバー) が早く、葉のように大量の根リターを地中に供給する。枯死した大量の細根は、土壤有機物となって地下部の炭素貯留機能に大きく貢献していると予想される。

しかし、このように熱帯林における土壤圏の炭素の貯留や放出における根系の重要性が指摘されてきているにも関わらず、東南アジア熱帯林において根系を介した炭素移動を詳細に調べた研究は未だ殆ど見られない。その大きな原因として、アクセスや実験環境の厳しさに加え、地上部に比べて樹木根を対象とする研究は実験手法に様々な制約があることが挙げられる。例えば、根のデータを取得するには地面を掘る、根を土から選り分けるといった多くの労力を必要とする。また、土壤のかく乱や根の切断などに起因する様々な要因が、結果に大きな誤差を与える場合もある。よって熱帯樹木の根系に関する情報は極めて限られており、根系を介した炭素動態が熱帯林土壤における炭素蓄積、炭素放出に及ぼすインパクトは未だ不明である。

2. 研究の目的

本研究では、熱帯林における土壤圏の炭素貯留と炭素放出における根系の役割を評価することを目的に、マレーシア、サラワク州のランビルヒルズ国立公園において以下の実験に取り組んだ。

- (1) 熱帯林の細根の生産量と枯死量の評価
- (2) 細根の成長と枯死の変動要因
- (3) 細根の成長や枯死が土壤圏の炭素動態にもたらす影響

3. 研究の方法

(1) 試験地

実験は、マレーシア、サラワク州にある Lambir Hills 国立公園の 4ha クレーンサイトで行った。同試験地はブルネイとの国境に近いミリ市から約 40km 南西に位置する。

(2) 根の成長量・枯死量の評価と炭素動態との関係

ここでは細根を除去した土壌を詰めた筒 (イングロース) を地面に一定期間埋設し、そこに成長した根の量を求めるイングロースコア法を用いた。Osawa et al. (2012) は、細根のターンオーバーを正確に見積もるためには、イングロースに細根だけではなく、土壤有機物 (SOM) も除去した土壌 (Organic-free-soil) を詰め、根の成長量と枯死量を同時に求める必要があるとした。

そこで本研究では、Osawa et al. (2012) の提案に基づき、Organic-free-soil のみと Organic-free-soil と枯死根を詰めた 2 種類のイングロースを準備した。さらに根の動態を細根部分と菌根部分に分けて評価できるように、イングロースを 15mm メッシュで作ったもの (根も菌根も通過する)、透根防水シートで覆ったもの (根は通過しないが、菌根は通過する)、透湿防水シートで覆ったもの (根も菌根も通過せず、空気は通過する)、の 3 タイプを準備し、計 6 種のイングロースを作った。

各プロットに埋設したイングロースは 2-6 カ月置きに回収し、生きた根を粗根と細根により分けた。その後、根の生産速度と分解速度をそれぞれ求めて、試験地の根の動態量とした。

(3) 細根の成長・枯死パターンと変動要因の解明

ランダムに選択した 5 地点 (No.1~5) にスキャナを埋設し、その画像を 2 週間から 1 か月置きに 2 年間取得した。

最初の 1 年目の画像は解析方法の確立に用い、2 年目の画像は細根の動態測定に用いた。スキャナ画像の解析にあたり、画像中の細根の現存量を手動で抽出し、それをもとにして変化した部分 (成長量、枯死量) のみを抽出するというマニュアルを作成した。また、解析者間の個人差が小さくなるように、画像中の細根をトレースする際に用いる線の太さの指定などの具体的なルールを設けた。

研究歴の異なる 5 名の共同研究者でマニュアルに沿って解析を行い、結果を比較した。人為差が生じた結果を受け、人為差を小さくするための対策をマニュアルに追加した。マニュアルを改変した後に再度解析を行い、人為差を比較した。

また、細根動態の測定のために、細根の現存量、成長量、枯死量をバイオマスで算出し、それぞれの経時変化を見た。加えて、細根の成長・枯死パターンと試験地の降水量・気温

との関連性について調べた。

4. 研究成果

(1) 根の成長・枯死と炭素動態との関係

推定された細根生産量は、地上部の生長量及びリターフォール量と同当であり、生態系総生産量の10%程度であった。イングロースコアの設置中に枯死した分解量は生産量の18%を占めていたことから、Osawa et al. (2012)の指摘通り、イングロースコアを用いた熱帯域の根の生産量の推定には、枯死根の分解による過小評価を考慮する必要がある。

また本研究の結果、粗根は2年間で約80%が分解したのに対し、細根は60%しか分解しなかった。また粗根に比べると細根の方が、初期の窒素やリン、多くの微量成分において有意に高い結果が得られた。分解速度は異なるシートで覆われたコア間で有意に異なり、土壌動物及び根系、菌糸、細菌の各生物集団が、枯死根の分解にそれぞれ関与していると示唆された。防菌糸シートで覆った土壌コアにおいて、土壌からのCO₂フラックスと根系の分解で失われた炭素量との間に明瞭な正の相関がみられた。このコアでは細菌以外の生物が除去されることから、土壌からのCO₂フラックスの変動は細菌による枯死根分解と強い関係があると予想された。土壌からのCO₂フラックスの変動に細菌が大きく貢献していると予想された。

(2) 細根の成長・枯死の変動要因の解明

解析方法の確立において、1回目の解析では人為差が大きく、特に枯死量でばらつきが目立った。原因は個人によって枯死の判断が異なっていたためであると考えられた。その結果を受け、消失した根および黒く変色した根の部分のみを枯死と判断するルールを設けた。また、画像の明るさ・コントラストを調節し、画像を見やすくするという手順をマニュアルに追加した。新たなマニュアルに沿って再解析を行ったところ、人為差が小さくなり、枯死量のばらつきが改善された。

細根の成長量・枯死量は2015年1月から2月にかけて多かった。成長量と枯死量との間には正の相関($R=0.78, p<0.05$)が得られた。

また、成長量および枯死量と平均降水量との間に正の相関(それぞれ $R=0.46, p<0.001$ および $R=0.55, p<0.001$)、平均気温との間に負の相関(それぞれ $R=-0.60, p<0.001$ および $R=-0.68, p<0.001$)が得られ、成長量と枯死量で類似した傾向が見られた(図1, 図2)

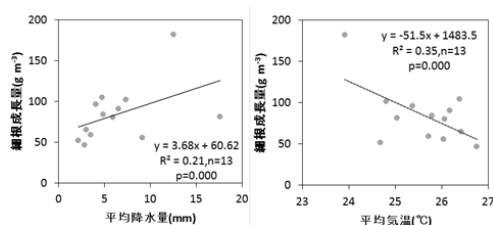


図1 細根成長量と環境因子との関係

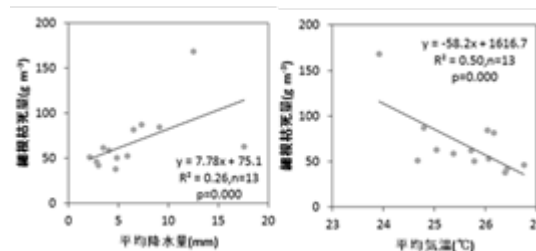


図2 細根枯死量と環境要因との関係

<引用文献>

FAO (2010) Global Forest Resources Assessment, pp9-48.

Dixon, R. K., Solomon, A.M., Brown, S., Houghton, R. A, Trexier, M. C, Wisniewski, J. (1994) Carbon pools and flux of global forest ecosystems. Science, 263, 185-190.

Lorenz and Lal. (2010) Carbon Sequestration in Forest Ecosystems, pp1-22.

Luysaert, S., Inglima, I., Jung, M., Richardson, A. D., Reichstein, M., Papale, D. (2007) CO₂ balance of boreal, temperate, and tropical forests derived from a global database. Global Change Biology, 13, 2509-2537.

Gill, R. A., Jackson, R. B. (2000) Global patterns of root turnover for terrestrial ecosystems. New Phytol., 147, 13-31.

Osawa, A., Aizawa, R. (2012) A new approach to estimate fine root production, mortality, and decomposition using litter bag experiments and soil core techniques. Plant Soil, 355, 167-181.

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計7件)

Ohashi, M., Maekawa, Y., Hashimoto, Y., Takematsu, Y., Hasin, S., Yamane, S. 2017. CO₂ emission from subterranean nests of ants and termites in a tropical rain forest in Sarawak, Malaysia. Applied Soil Ecology, 117-118, 147-155. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.04.016>

Risch, A. C., Zimmermann, S., Ohashi, M., Finér, L., Kho, L. K., Schütz, M. 2016. First evidence that the sodium ecosystem

respiration (SER) hypothesis may also hold for a coastal tropical rainforest. *Applied Soil Ecology*, 108, 92-95.

<https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2016.08.007>

Hsieh, I. F., Kume T., Lin, M. Y., Cheng C. H., Miki, T. 2016. Characteristics of soil CO₂ efflux under an invasive species, Moso bamboo, in forests of central Taiwan. *Trees*. 30, 1749-1759, doi:10.1007/s00468-016-1405-6

Katayama, A., Kume, T., Ohashi, M., Matsumoto, K. Nakagawa, M., Saito, T., Kumagai, T., Otsuki, K. 2016. Characteristics of wood CO₂ efflux in a Bornean tropical rainforest. *Agricultural and Forest Meteorology* 220, 190-199. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2016.01.140>

Ohashi, M., Kume, T., Yosifuji, N., Kho, L. K., Nakashizuka, T. 2015. Variations in soil respiration around emergent trees during an induced drought in a Bornean tropical rainforest, Malaysia. *Plant and Soil*, 387, 337-349. doi:10.1007/s11104-014-2303-6

Hasin, S., Ohashi, M., Yamada, A., Hashimoto, Y., Tasen, W., Kume, T., Yamane, S. 2014. CO₂ efflux from subterranean nests of ant communities in a seasonal tropical forest, Thailand. *Ecology and Evolution*, 4, 3929-3939. doi:10.1002/ece3.1255

Katayama, A., Kume, T., Komatsu, H., Saitoh, M. T., Ohashi, M., Nakagawa, M., Suzuki, M., Otsuki, K., Kumagai, T. 2013. Carbon allocation in a Bornean tropical rainforest without dry seasons. *J. Plant Res.* 126, 505-515.

[学会発表](計22件)

松本一穂・寺澤慧・谷口真吾・高嶋敦史・片山歩美・久米朋宣・大橋瑞江. 2017. 沖縄の亜熱帯常緑広葉樹林における土壌呼吸量とその空間変動. 日本生態学会第64回全国大会, 2017年3月14-18日. 早稲田大学(東京都新宿区).

Matsumoto, K., Terasawa, K., Taniguchi, S., Takashima, A., Katayama, A., Ohashi, M. 2016. Spatial and temporal variation in the soil CO₂ efflux in a subtropical broadleaved forest in Okinawa, Japan.

European Geosciences. 17-22 April 2016, EGU General Assembly 2016. Vienna (Austria).

Katayama, A., Koh, L. P., Kume, T., Makita, N., Matsumoto, K., Ohashi, M. Estimate of fine root production including the impact of decomposed roots in a Bornean tropical rainforest. 17-22 April 2016, EGU General Assembly 2016. Vienna (Austria).

Kume, T., Ohashi, M., Makita, N., Katayama, A., Matsumoto, K., Ikeno, H. Applicability of optical scanner method for fine root dynamics. 17-22 April 2016, EGU General Assembly 2016. Vienna (Austria).

Ohashi, M., Makita, N., Katayama, A., Kume, T., Matsumoto, K., Kho, L. K. Characteristic of root decomposition in a tropical rainforest in Sarawak, Malaysia. 17-22 April 2016, EGU General Assembly 2016. Vienna (Austria).

Kume, T., Ohashi, M., Kho, L. K., Makita, N., Katayama, A., Matsumoto, K. Applicability of optical scanner method for fine root dynamics in a Bornean tropical rainforest. *ESJ* 63, 20-24 March 2016, 仙台国際センター (宮城県仙台市),

寺澤慧・松本一穂・谷口真吾・大橋瑞江・高嶋敦史・片山歩美. 沖縄島の亜熱帯常緑広葉樹林における土壌呼吸量の時空間変動. 第127回日本森林学会, 2016年3月27-30日. 日本大学(神奈川県藤沢市).

Kume, T. Impact of short-term drought on water use in Bornean tropical rainforest trees. 7 December 2014, International semi-open workshop on carbon cycling in the tropical and subtropical forests, University of Ryukyus, Okinawa, (Japan).

Kume, T. How emergent trees in a Bornean tropical rainforest can mitigate impacts of drought? 8th-13th September 2014, Nagoya university, Japan. The 6th International Symposium on Physiological Processes in Roots of Woody Plants, Nagoya (Japan).

Terasawa, K. Spatial-temporal variation of soil respiration in the subtropical forest in Okinawa. 7 December 2014, International semi-open workshop on carbon cycling in the tropical and subtropical forests, University of

Ryukyus, Okinawa (Japan).

Kho, L. K. Net primary productivity and carbon dynamics of tropical ecosystems. 7 December 2014, International semi-open workshop on carbon cycling in the tropical and subtropical forests, University of Ryukyus, Okinawa (Japan).

Ohashi, M., Nakagawa, Y. Biological control of soil carbon dynamics in a tropical forest ecosystem. 11 February 2015, LHNP International Open Seminar: Carbon, Water and Nutrient Cycling in Forest Ecosystems in Different Biomes, Lambir Hills National Park, Sarawak (Malaysia).

Katayama, A. Carbon allocation in Lambir, 11 February 2015. LHNP International Open Seminar: Carbon, Water and Nutrient Cycling in Forest Ecosystems in Different Biomes, Lambir Hills National Park, Sarawak (Malaysia).

Kho, L. K. The oil palm and tropical forest carbon cycle. 11 February 2015, LHNP International Open Seminar: Carbon, Water and Nutrient Cycling in Forest Ecosystems in Different Biomes, Lambir Hills National Park (Sarawak, Malaysia)

片山歩美. ボルネオ島熱帯雨林における炭素配分 - 根圏はどのくらいの炭素を利用するのか? 2015年3月26-29日 日本森林学会, 北海道大学(北海道札幌市).

大橋瑞江 熱帯林の土壌呼吸 - なぜこんなにダイナミックなのか? - 公開シンポジウム『熱帯・亜熱帯の森のはたらきに迫る - 炭素循環研究の最前線 - 』. 2015年12月6日. 琉球大学 (沖縄県那覇市)

寺澤慧・松本一穂・片山歩美・高嶋敦史・大橋瑞江・谷口真吾. 亜熱帯常緑広葉樹林における土壌呼吸量の時空間変動とその制御要因の解明. 日本生態学会. 2015年3月18-22日. 鹿児島大学 (鹿児島県鹿児島市)

Ohashi, M., Kume, T., Yoshifuji, N., Kho L. K., Nakashizuka, T. How the spatial and temporal changes of soil respiration occur in a tropical forest ecosystem? 9-11 April 2014, The 6th EAFES International congress, HUANDAO Ti DE Hotel, Hainan, (China).

Ohashi, M., Hirano, Y., Noguchi, K., Finer, L. Root mesh method for measuring fine root production. 6-7 September 2014,

JSRR meetings, Nagoya University, Nagoya (Japan).

Katayama, A., Koh, L. K., Kume, T., Makita, N., Matsumoto, K., Ohashi, M. Growth and decomposition rates of roots in a Bornean tropical rainforest. 8-13 September 2014, The 6th International Symposium on Physiological Processes in Roots of Woody Plants, Nagoya University, Nagoya (Japan)

② Ohashi, M., Kume, T., Yoshifuji, N. Controlling factors of soil respiration in a Bornean tropical rainforest in Sarawak, Malaysia. May 27 - 29, 2013. International conference for Soil Carbon Sequestration for climate, food security and ecosystem services. Grand Hotel, Reykjavik (Iceland).

② 大橋瑞江・久米朋宣・吉藤奈津子. マレーシア熱帯多雨林における乾燥処理に伴う土壌呼吸及び細根呼吸の変化. 2014年3月26-30日. 第125回日本森林学会大会. 大宮ソニックシティ(埼玉県大宮市).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大橋 瑞江 (OHASHI Mizue)
兵庫県立大学環境人間学部
研究者番号: 30453153

(2) 研究分担者

牧田 直樹 (MAKITA Naoki)
信州大学理学研究院・助教
研究者番号: 40723086

片山 歩美 (KATAYAMA Ayumi)
九州大学農学研究院・助教
研究者番号: 0706845

松本一穂 (MATUMOTO Kazuho)
琉球大学農学部・准教授
研究者番号: 20528707

(3) 連携研究者

熊谷 朝臣 (KUMAGAI Tomoomi)
名古屋大学地球水循環研究センター・准教授
研究者番号: 50304770

檀浦 正子 (DANNOURA Masako)
京都大学(連合)農学研究科(研究院)・助教
研究者番号: 50304770

(4) 研究協力者

久米 朋宣 (KUME Tomonori)
国立台湾大学・准教授