

令和 2 年 5 月 20 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2019

課題番号：15K07467

研究課題名(和文)ボルネオ島熱帯雨林における炭素配分の季節変動

研究課題名(英文)Seasonal variation in carbon cycling in a Bornean tropical rainforest

研究代表者

片山 歩美 (Katayama, Ayumi)

九州大学・農学研究院・助教

研究者番号：70706845

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：ボルネオ低地熱帯雨林においては降水や気温に明確な季節変化がないため、樹木フェノロジーの季節性も明確ではない。このような森林で炭素循環がどのように変化するのは分かっていない。本研究では森林の炭素循環が土壌水分とどのような関係があるのかを明らかにした。その結果、幹呼吸速度、幹や葉の成長のタイミングは土壌水分と関係があることが明らかとなった。その一方で細根の生産量や呼吸速度、土壌呼吸速度も土壌水分とは関係が見られなかった。これらの結果より、樹種の多様性が非常に高い本試験地では、樹種によってフェノロジーが異なるため、炭素循環全体としては季節的にはほとんど変化しないことが明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

気候変動の将来予測などを行ううえで、熱帯雨林の炭素循環の理解は必要不可欠であるが、特に気象の季節性が不明瞭というアマゾンなどとは異なる特徴を持つアジア熱帯雨林において、森林の中のどこで、いつ、どのくらいのCO₂が蓄積・放出されるのかといった中身についての理解は進んでいないという問題点があった。本研究はアジア熱帯雨林で初めて、森林の炭素循環の各要素について長期間測定を行い、森林全体の炭素循環としてはあまり時間的な変化はないことを示した。この成果は、炭素循環モデリングでの精度向上など、今後の将来予測を行う際に非常に意義深いデータとなると考えられる。

研究成果の概要(英文)：Little is known about seasonal variation in carbon cycling with tree phenology in lowland Bornean tropical rainforests where there is little seasonality in temperature and precipitation. The objective of this study is to know how respiration and production of root and stem change with soil water availability.

Woody tissue respiration was positively related with soil water content. Stem growth was different among tree species, but stem growth was low in severe dry period and high in wet period for most tree species. LAI was also increased with soil water content. On the other hand, soil respiration and fine root respiration and biomass were not related to soil water availability. These results imply that seasonal variation in carbon cycling in this forest is relatively conservative even though there is clear phenology for some tree species with soil water availability.

研究分野：森林科学

キーワード：熱帯雨林 呼吸 NPP 乾燥 フェノロジー

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

気候変動や土地利用変化により、熱帯地域においては乾燥の頻度と規模が増大すると予測されている。したがって、アマゾンを中心とする熱帯雨林において、乾期と雨期の季節変化を軸に、炭素配分の季節変動のダイナミクスを調べる研究が近年活発に行われており、乾期には一次生産量 (NPP) が小さくなることや、葉・幹枝・根系への炭素配分比率が変化することが報告されている。一方、アジア熱帯雨林には、気温や降水に明確な季節性が存在しないという特徴を有する。この様な森林において、呼吸や生産といった炭素循環の各コンポーネントが季節的にどの様に変動するかを調べるには至っていない。

ボルネオ島熱帯雨林では、不定期に起こる乾燥により、展葉や一斉開花が起こるなど、乾燥と樹木のフェノロジーが関連していることが明らかとなっている。しかしながら、これらのフェノロジーを介して、数 ha の生態系スケールで量的にどの程度、炭素の配分量が変化するのは分かかっていない。各器官 (葉・幹枝・根系) の純一次生産量 (NPP) は時間的に変動し、また、バイオマス量の変化により各器官における呼吸量も時間的に変動することが予想される一方で、光合成産物である炭素は限られているため、器官間で時間的にトレードオフが存在し、それは不定期に起こる乾燥と関連づけられる可能性がある。

2. 研究の目的

本研究では異なる土壌水分環境のタイミングにおいて、葉、幹枝、根系の生産量および呼吸量を測定し、プロットスケールでの NPP および呼吸量と土壌水分との関係性を明らかにすることを目的とする。

3. 研究の方法

本研究は典型的なアジア低地熱帯雨林であるフタバガキ林が生育するボルネオ島ランビルヒルズ国立公園で行う。年平均気温は 25.8°C、年平均降水量は 2600 mm で明確な乾季がない。しかしながら、これまで本試験地で観測された 10 年間の気象データの解析結果 (Kume et al. 2011) によると、月蒸発散量が月降水量をうまわる乾燥月が 23 回、乾燥月が 2 ヶ月以上にわたる極端乾燥イベントが 5 回発生した。したがって、定期的な乾燥は起こらないが乾燥する時期は不定期に訪れる。

本研究の調査は、樹冠上のフラックス観測を行っている林冠観測用クレーンを中心に設置された 4ha プロットおよび隣接するサブプロット (20m×20m) で行った。

幹枝の呼吸は、チャンバー法 (Katayama et al. 2014) により測定を行う。サイズや樹種の異なるおよそ 40 個体の胸高において、計 12 回の測定を行った。呼吸測定時にはデンドロバンドを用いた胸高直径の記録も行った。また、幹呼吸速度は胸高で測定を行うが、幹呼吸速度は高さ変動があることが知られている。したがって、様々な高さにおいて幹呼吸速度を測定し、林分全体にスケールアップするために高さ変動をどのように扱うべきかという検討を行った。

根呼吸はサブプロット内の 9-12 地点において土壌 (直径 5 cm、30 cm 深さ) を採取し、速やかに実験室に持ち帰り、土壌から根をとりわけ、チャンバー法により根呼吸速度を測定した。直径が 2m 以下のものを細根、それ以上のものを粗根とした。呼吸測定後、乾重量あたりの呼吸速度を算定した。呼吸速度の測定と同時に、採取した土壌から細根、粗根、枯死根のバイオマスの測定も行った。土壌呼吸速度は、サブプロット内 12 地点において EGM-4 (PP system 社、アメリカ) を用いて行った。土壌呼吸速度の測定地点において、地温と土壌水分も同時に測定した。

葉の NPP はリターフォール量により推定した。リターフォール量は、4ha プロット内 80 箇所において毎月調査が行われた。葉バイオマスの季節変動を高さ別に知るために、地上から 50m まで、5m おきに LAI を測定した。測定は 4 地点で林冠アクセス用クレーンを使い、計 5 回行った。

幹枝の NPP は、胸高直径 (DBH) からアロメトリー式を利用して現存バイオマス量を推定し、調査期間ごとの差分を幹枝の NPP とする。4ha プロット内では毎年毎木調査が行われているが、数か月ごとの NPP を推定するために、幹呼吸速度測定木 (40 本) の胸高にデンドロバンドを設置し、調査ごとに mm 単位で胸高直径 (DBH) を測り、その変動をもとに、4ha スケールでの数か月ごとの NPP を推定した。

細根 NPP は、改良型イングロースコア法を用いた。すなわち、細根生産量を推定する際によく用いられるイングロースコア法は、一定期間中に枯死・分解される細根も存在するため、その分の過小評価が問題とされてきたが、本研究では、それを定量する新手法を初めて熱帯で適用し、細根生産量を推定する。細根フェノロジーを知るために、定期的に土壌コアサンプルを採取し、細根バイオマスから細根生産量の時間変動を明らかにするシーケンシャルコア法を用いる。同時に、土壌にアクリルボックスを埋め、定期的にそのボックス面に生育する土壌断面をスキャナで撮影し、細根動態を調べるスキャナ法も実施する。

4. 研究成果

本研究期間中、乾燥期の目安とされる 30 日積算降水量が 100mm を下回る時期が複数回あった (図 1a)。乾燥時期に調査を行い、いくつかの乾燥時のデータを取得することができた。

胸高の幹呼吸速度は土壌水分と正の相関関係があることが分かった。これは肥大成長のタイ

ミングと一致していた。様々な高さで幹呼吸速度を測定したところ、高さ変動のパターンは個体によって異なった。胸高の呼吸速度を林分スケールアップに利用しても、高さ変動によって生じる誤差は非常に小さいことが明らかとなった (Katayama et al. 2019a)。

細根呼吸速度や粗根呼吸速度、土壌呼吸速度は時間的に大きく変動していた (図 1b, c) が、土壌水分とは有意な関係は得られなかった。根呼吸速度と土壌呼吸速度の関係も明確ではなかった。

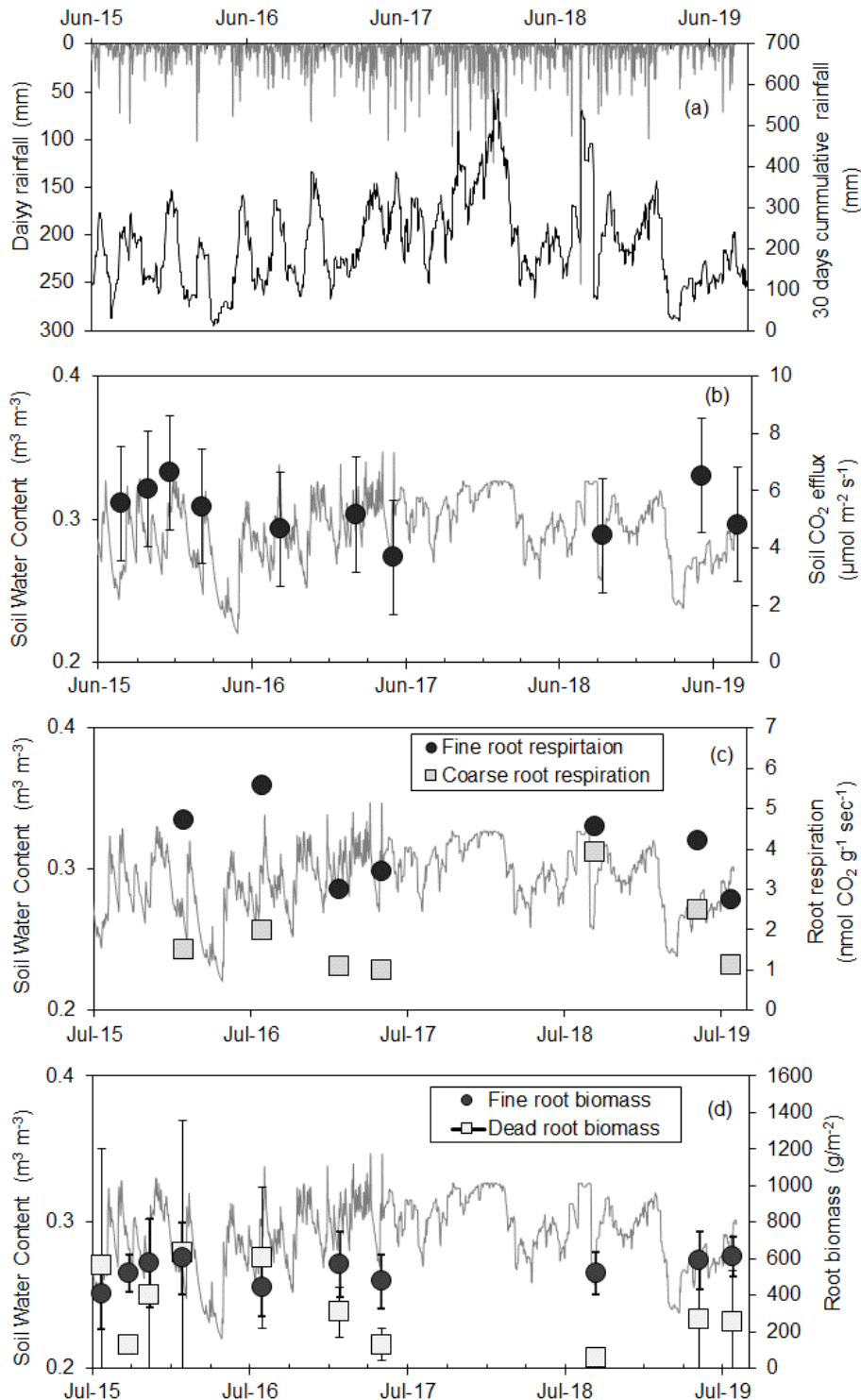


図 1 (a) 日降水量と 30 日積算降水量、(b) 体積土壌含水率と土壌呼吸速度、(c) 体積土壌含水率と根呼吸速度、(d) 体積土壌含水率と根バイオマス

LAI は土壌水分と有意な正の相関があった。0-50m の高さ別の LAI は地点によってばらつきが非常に大きく、高さによる時間変化は明確ではなかった。

幹の肥大成長は、湿潤期にピークを示すといった明確な季節性を示す樹種があった。しかしながら、個体間差や樹種間差が大きく、そのような樹種間差が地上部バイオマス生産量に与える影響を検討する必要がある。

改良型イングロースコア法で細根生産量を算定したところ、枯死根の寄与率は 20%程度であり、無視できない量であることが明らかとなった。また、埋設期間は 1 年以上が望ましいことが明らかとなった (Katayama et al. 2019b)。スキャナ法により細根生産量と枯死のタイミングを調べたところ、場所によってピークが異なり、気温や降水量と明確な関係性は観察されなかった (Endo et al. 2019)。実際にサンプリングによる細根や枯死根バイオマスも、土壌水分や積算降水量などとは有意な関係が得られなかった (図 1d)。

以上の結果より、呼吸速度や生産量の一部は乾燥と明確な関係があることが示されたが、特に地下部においてはその関係は明確ではなかった。これは、多様な樹種から構成され、かつ、環境の季節性が明確ではない本試験地においては、樹木フェノロジーも樹種によって異なるため、森林全体では乾燥が炭素循環に与える影響は小さく、環境への応答は保守的であることが示唆された。

(引用)

- Endo I, T Kume, LK Kho, A Katayama, N Makita, H Ikeno, J Ide, M Ohashi (2019) Spatial and temporal patterns of root dynamics in a Bornean tropical rainforest monitored using the root scanner method. *Plant and Soil* 443 (1-2), 323-335
- Katayama A, T Kume, R Ichihashi, M Nakagawa (2019a) Vertical variation in wood CO₂ efflux is not uniformly related to height: measurement across various species and sizes of Bornean tropical rainforest trees. *Tree physiology* 39 (6), 1000-1008
- Katayama A, LK Kho, N Makita, T Kume, K Matsumoto, M Ohashi (2019b) Estimating Fine Root Production from Ingrowth Cores and Decomposed Roots in a Bornean Tropical Rainforest. *Forests* 10 (1), 36
- Kume T, N Tanaka, K Kuraji, H Komatsu, N Yoshifuji, TM Saitoh, M Suzuki, T Kumagai (2011) Ten-year evapotranspiration estimates in a Bornean tropical rainforest. *Agricultural and Forest Meteorology* 151 (9), 1183-1192

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 6件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Kume Tomonori, Ohashi Mizue, Makita Naoki, Kho Lip Khoon, Katayama Ayumi, Endo Izuki, Matsumoto Kazuho, Ikeno Hidetoshi	4. 巻 38
2. 論文標題 Image analysis procedure for the optical scanning of fine-root dynamics: errors depending on the observer and root-viewing window size	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Tree Physiology	6. 最初と最後の頁 1927 ~ 1938
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/treephys/tpy124	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Ohashi Mizue, Makita Naoki, Katayama Ayumi, Kume Tomonori, Matsumoto Kazuho, Kumagai Tomomi, Endo Izuki, Kho Lip Khoon	4. 巻 436
2. 論文標題 Characteristics of root decomposition based on in situ experiments in a tropical rainforest in Sarawak, Malaysia: impacts of root diameter and soil biota	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Plant and Soil	6. 最初と最後の頁 439-448
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11104-018-03929-3	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Katayama Ayumi, Kho Lip, Makita Naoki, Kume Tomonori, Matsumoto Kazuho, Ohashi Mizue	4. 巻 10
2. 論文標題 Estimating Fine Root Production from Ingrowth Cores and Decomposed Roots in a Bornean Tropical Rainforest	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Forests	6. 最初と最後の頁 36 ~ 36
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/f10010036	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Ayumi KATAYAMA, Tsutomu ENOKI, Tomonori KUME, Kyoichi OTSUKI	4. 巻 74
2. 論文標題 Characteristics of soil respiration in upper and lower slope positions with different aboveground biomass: a case study in a Japanese cypress forest	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Agricultural Meteorology	6. 最初と最後の頁 63-70
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.2480/agrmet.D-17-00019	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 Katayama, A., Kume, T., Ohashi, M., Matsumoto, K., Nakagawa, M., Saito, T., Kumagai, T., Otsuki, K.	4. 巻 220
2. 論文標題 Characteristics of wood CO2 efflux in a Bornean tropical rainforest	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Agricultural and Forest Meteorology	6. 最初と最後の頁 190-199
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) http://doi.org/10.1016/j.agrformet.2016.01.140	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Endo I, T Kume, LK Kho, A Katayama, N Makita, H Ikeno, J Ide, M Ohashi	4. 巻 443
2. 論文標題 Spatial and temporal patterns of root dynamics in a Bornean tropical rainforest monitored using the root scanner method.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Plant and Soil	6. 最初と最後の頁 323-335
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1007/s11104-019-04203-w	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計11件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 4件)

1. 発表者名 片山歩美, 遠藤いず貴, 牧田直樹, 松本一穂, 久米朋宣, 大橋瑞江
2. 発表標題 ボルネオ島熱帯雨林における空中リターからのCO2放出
3. 学会等名 第66回日本生態学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 牧田直樹, 渡邊直人, 遠藤いず貴, 暁麻衣子, 矢原ひかり, 谷川夏子, 片山歩美, 久米朋宣, 松本一穂, 大橋瑞江
2. 発表標題 熱帯雨林における細根リター分解過程と微生物呼吸
3. 学会等名 第130回日本森林学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 遠藤いず貴, 久米朋宣, Lip Khoo Kho, 片山歩美, 牧田直樹, 池野英利, 大橋瑞江
2. 発表標題 ボルネオの熱帯雨林においてスキャナー法で可視化した細根と粗根動態のパターンと相違
3. 学会等名 第66回日本生態学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 遠藤いず貴, 山内里佳, 久米朋宣, Lip Khoo Kho, 片山歩美, 牧田直樹, 池野英利, 大橋瑞江
2. 発表標題 スキャナー画像を用いた熱帯雨林の細根動態の解析
3. 学会等名 日本森林学会第129回大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tomonori Kume, Mizue Ohashi, Naoki Makita, Lip Khoo Kho, Ayumi Katayama, Kazuho Matsumoto, Hidetoshi Ikeno
2. 発表標題 Applicability of optical scanner method for fine root dynamics
3. 学会等名 EGU General Assembly Conference (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Ayumi Katayama, Lip Khoo Koh, Tomonori Kume, Naoki Makita, Kazuho Matsumoto, Mizue Ohashi
2. 発表標題 Estimate of fine root production including the impact of decomposed roots in a Bornean tropical rainforest
3. 学会等名 EGU General Assembly Conference (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 片山歩美
2. 発表標題 ボルネオ島熱帯雨林における炭素循環の季節変化
3. 学会等名 日本生態学会第67回全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 久米朋宣, 大橋瑞江, 牧田直樹, Lip Khoon Kho, 片山歩美, 遠藤いず貴, 松本一穂, 池野英利
2. 発表標題 スキャナーによる土壌画像から細根動態を抽出する方法論: 観測者と画像サイズの影響
3. 学会等名 日本生態学会第66回全国大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 牧田直樹, 渡邊直人, 遠藤いず貴, 暁麻衣子, 矢原ひかり, 谷川夏子, 片山歩美, 久米朋宣, 松本一穂, 大橋瑞江
2. 発表標題 熱帯雨林における細根リター分解過程と微生物呼吸
3. 学会等名 第130回日本森林学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Endo I., Yamauchi R., Kume T., Kho L., Katayama A., Makita N., Ikeno H., Ohashi M.
2. 発表標題 Analysis of fine root growth and death using scanner image in tropical rainforest
3. 学会等名 EAFES (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Mizue Ohashi, Naoki Makita, Ayumi Katayama, Tomonori Kume, Lip Khoon Koh,
2. 発表標題 Characteristic of root decomposition in a tropical rainforest in Sarawak, Malaysia
3. 学会等名 EGU General Assembly Conference (国際学会)
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	大橋 瑞江 (Ohashi Mizue)		
研究協力者	久米 朋宣 (Kume Tomonori)		
研究協力者	松本 一穂 (Matsumoto Kazuho)		