

令和 2 年 6 月 8 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(A) (海外学術調査)

研究期間：2015～2018

課題番号：15H02645

研究課題名(和文) アブラヤシ農園の拡大が東南アジア熱帯林の水・炭素循環に与えるインパクト

研究課題名(英文) Impact of expanding oil palm plantations on water and carbon cycling in Southeast Asian tropical forests

研究代表者

熊谷 朝臣 (Kumagai, Tomo'omi)

東京大学・大学院農学生命科学研究科(農学部)・教授

研究者番号：50304770

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 32,900,000円

研究成果の概要(和文)：熱帯林域において、天然林からアブラヤシ農園への土地利用変化は、熱帯林破壊の元凶であり、生物多様性や地域環境に及ぼす悪影響が指摘されているが、その定量的評価は絶対的に不足している。本研究では、マレーシア・ボルネオのアブラヤシ農園拡大域においてアブラヤシ農園造成が地域環境に及ぼす影響を明らかにするため、アブラヤシ農園の個体レベル～農園レベルでの水・炭素循環とその環境応答を主にタワーフラックス観測により定量的に明らかにした。さらに、近隣の熱帯雨林天然林の同様のデータセットとの比較により、土地利用変化の影響を考察した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

世界のヤシ油需要は常に増加しており、特に東南アジアにおいて、アブラヤシ農園が急速に拡大しており、今後さらに加速すると予測されている。アブラヤシ農園への土地利用変化は、熱帯林破壊の元凶であり、生物多様性や地域環境に及ぼす悪影響が指摘されている。ヤシ油生産国にとってアブラヤシ農園は国全体にとっても地域経済にとっても重要な収入源であり続けている。現在のアブラヤシ農園拡大の速度から考えて、ヤシ油生産と環境保全のバランスを取る合理的な理由を見つけることが喫緊の要事である。本研究の成果は、その合理的理由の大勢を決するものと考えられる。

研究成果の概要(英文)：While land use changes from natural forests to oil palm plantations in tropical forest regions might deteriorate the local environments and biodiversity, there is a lack of qualitative researches on it. In this study, to clarify the effect of the expansion of oil palm plantations on the local environment in Borneo, we conducted observations of water and carbon cycling at individuals to plot scales mainly using eddy-covariance measurement system with a flux-tower. Furthermore, the comparison with water and carbon cycling data in a neighboring natural tropical rainforest allowed us to consider the effect of the land use changes.

研究分野：森林科学

キーワード：フラックス 土地利用変化 物質循環 気候変動

1. 研究開始当初の背景

世界のヤシ油需要は常に増加しており、特に東南アジアにおいて、アブラヤシ農園が急速に拡大しており、今後さらに加速すると予測されている。アブラヤシ農園への土地利用変化は、熱帯林破壊の元凶であり、生物多様性や地域環境に及ぼす悪影響が指摘されているが、その定量的評価は絶対的に不足している。一方で、ヤシ油生産国にとってアブラヤシ農園は国全体にとっても地域経済にとっても重要な収入源であり続けている。現在のアブラヤシ農園拡大の速度から考えて、ヤシ油生産と環境保全のバランスを取る合理的な理由を見つけることが喫緊の要事である。

2. 研究の目的

本研究の目的は、マレーシア・ボルネオのアブラヤシ農園拡大域においてアブラヤシ農園造成が地域環境に及ぼす影響を明らかにし、また、同時にアブラヤシの生理生態学的計測からその生産性の環境応答特性をも明らかにして、環境保全とヤシ油生産のバランスを考えたアブラヤシ農園管理のための科学的情報を提供することである。

3. 研究の方法

マレーシア・ボルネオ島に展開されている複数の研究サイトを利用したが、特に本研究では、ランビル国立公園 (LHNP) 近郊にある Sarawak Oil Palms Berhad (SOPB) 所有のアブラヤシ農園サイト (LMOP) を新規設定し、コアサイトとして利用した。LMOP では、30 m 高クラスのフラックスタワーを建設し、以下のような、世界的に見てもアブラヤシに関するものとして極めて貴重なデータを取得した。

熱・水・二酸化炭素・VOC フラックス、一般微気象、土壌水分・熱流、樹冠構造、個体バイオマス、ヤシ油生産量、個体群動態、土壌物理性、個葉レベル生理 (光合成・気孔開度)、個体樹液流測定による水分生理・林分蒸散量推定、樹冠遮断量

LHNP では、長年に渡る熱帯雨林天然林における上記項目の観測データが存在している。本研究では、LHNP と主に LMOP で得られたデータの比較により、熱帯雨林がアブラヤシ農園に転換された場合、どのような環境変化が起きるのかを考察した。

4. 研究成果

(1) アブラヤシ農園の水収支：天然林との比較

LMOP において、林外雨量に対する林内雨量・樹幹流量の割合はそれぞれ 87、1.6% となり、結果的に遮断蒸発率は 11% と算定された。LHNP の遮断蒸発率は 8% と報告されており、アブラヤシ農園の方が天然林より、わずかに高い結果となった。

樹液流測定の結果、アブラヤシ個体平均蒸散量は 73.7 kg/day、プロットの平均蒸散量は 1.31 mm/day となり、推定される年間平均蒸散量は 478 mm (総降水量の 18%) となった。同地域の天然林における総降水量に対する蒸散量の割合は 43% であり、蒸散量の大幅な減少が推測された。総降水量を 100% としたとき天然林の蒸発散率は 51% である一方、アブラヤシ農園における蒸発散率は 29% となった (図 1)。

単位葉面積当たりの蒸散量を比較すると天然林は 0.49 mm/day、アブラヤシ農園は 0.58 mm/day と大きな差はないが、LAI は天然林が 6.2 であるのに対しアブラヤシ農園では 2.3 と小さい (図 2)。つまり、アブラヤシの蒸発散量の大幅な減少は、天然林に比較して極めて小さな葉量に起因すると考えられた。また、このような大幅な蒸発散量の低下は、広域に拡大されたアブラヤシ農園からの流出水を大幅に増大させる可能性を示唆した。

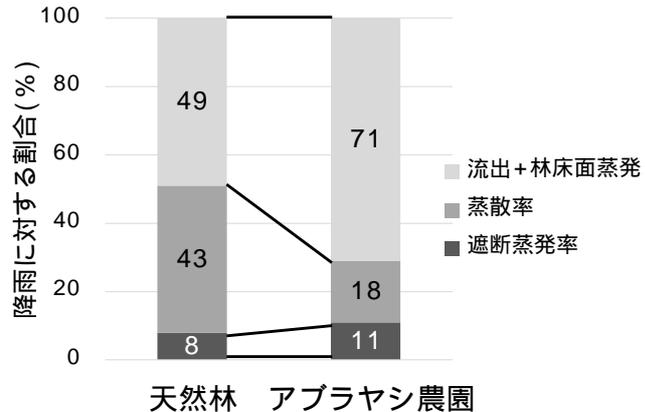


図 1. 天然林とアブラヤシ農園における水収支率

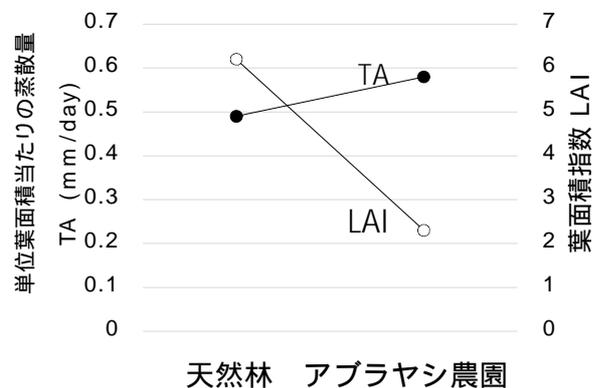


図 2. 天然林とアブラヤシ農園における単位葉面積当たりの蒸散量 (TA) と葉面積指数 (LAI)

(2) アブラヤシ農園の純生産：天然林との比較

LMOP の純二酸化炭素交換速度は、乏しい季節性の中、4～8月の比較的降水量の少ない時期に低い傾向が見られた(図3)。日ピークは平均的に $-25 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ に達し、高い生産力で知られるLHNPより約 $5 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ (絶対値)大きかった。夜間生態系呼吸速度もLMOPは約5

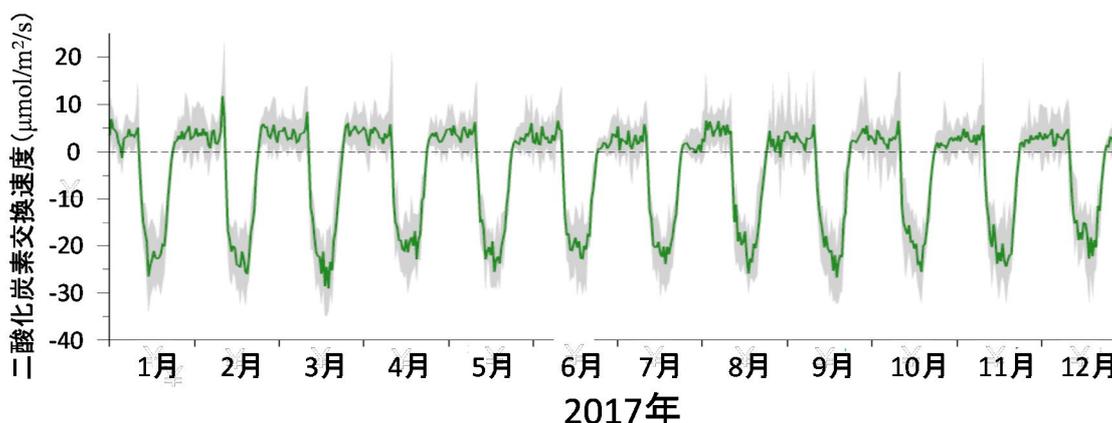


図3. アブラヤシ農園における月平均の大気間二酸化炭素交換速度日変化。太線は30分間データの月別中央値、灰色部は第1・第3四分位数。

$\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ と、LHNPの約 $10 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ より格段に小さかった。個葉レベルの光合成特性においても、アブラヤシの最大カルボキシル化速度($V_{\text{cmax}25}$)は、平均で約 $70 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ で、LHNPの天然林で得られた最大値を超えていた。

以上で得られた、アブラヤシの高い個葉光合成能力、気孔開度(個葉蒸散効率から推定)、プロットスケールの低い生態系呼吸が、年間炭素吸収量約 $18 \text{ tC}/\text{ha}/\text{yr}$ という常識を外れた高い値を実現したと考えられる(LHNPの天然林では、 $2\sim 6 \text{ tC}/\text{ha}/\text{yr}$ の範囲内で年々変動)。

(3) アブラヤシ農園における観測のこれから

本研究が始まり、タワーが建設され、観測が始まり間もなく分かったことであるが、LMOPは地形的に水が集まりやすく、定期的に湛水する場所である。近年、アブラヤシは植栽適所に関係なく泥炭湿地のような不適と考えられるような場所にも植栽される例が多く見られるようになった。

LMOPは、湿地と呼ぶことができるほど常に湿潤条件にあるわけではないが、年間で必ず湛水状態(時に水位 1 m 近くまで)になる場所である。このことが本研究の進捗を遅らせる要因にもなったのだが、一方で、新しい研究のチャンスを得ることもできた。LMOPでは、土壌からの二酸化炭素放出速度を計測していたが、併せて、さらに凶悪な温室効果ガスであるメタンと一酸化二窒素も計測していた。両者とも土壌が還元条件で生成・放出されるが、LMOPで当初まったく予想できていなかった量の放出が検出された。泥炭湿地におけるメタン放出は、地球温暖化研究において最近の最重要課題の一つであり、LMOPにおけるメタン放出とその環境応答に関する研究は、この種の研究成果が世界的に見ていまだ不十分である現状からすると極めて重要な研究であると言える。よって、この予想外の観測結果を受けて、本研究の最終年度ではあったが、急遽、大気間メタン交換速度観測システムを設定し、観測を開始した。現在のところ、このメタン観測結果の整理・解析はまだ行われておらず、観測システムもいまだ安定していないが、本科研は終了することになる。しかし、その重要性から、このメタン観測研究はあらゆる手段を講じて継続せねばならないと考えている。

<参考文献>

Kumagai, T., Katul, G. G., Porporato, A., Saitoh, T. M., Ohashi, M., Ichie, T. and Suzuki, M. (2004) Carbon and water cycling in a Bornean tropical rainforest under current and future climate scenarios. *Advances in Water Resources*, 27(12), 1135-1150.

Kumagai, T., Saitoh, T. M., Sato, Y., Takahashi, H., Manfroi, O. J., Morooka, T., Kuraji, K., Suzuki, M., Yasunari, T. and Komatsu, H. (2005) Annual water balance and seasonality of evapotranspiration in a Bornean tropical rainforest. *Agricultural and Forest Meteorology*, 128(1-2), 81-92.

Kume, T., Tanaka, N., Kuraji, K., Komatsu, H., Yoshifuji, N., Saitoh, T. M., Suzuki, M. and Kumagai, T. (2011) Ten-year evapotranspiration estimates in a Bornean tropical rainforest. *Agricultural and Forest Meteorology*, 151(9), 1183-1192.

Kumagai, T. and Kume, T. (2012) Influences of diurnal rainfall cycle on CO₂ exchange over Bornean tropical rainforests. *Ecological Modelling*, 246, 91-98.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 5件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Miyazawa, Y., Du, S., Taniguchi, T., Yamanaka, N. and Kumagai, T.	4. 巻 38
2. 論文標題 Gas exchange by the mesic-origin, arid land plantation species <i>Robinia pseudoacacia</i> under annual summer reduction in plant hydraulic conductance	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Tree Physiology	6. 最初と最後の頁 1166-1179
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	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 Inoue, Y., Ichie, T., Kenzo, T., Yoneyama, A., Kumagai, T. and Nakashizuka, T.	4. 巻 37
2. 論文標題 Effects of rainfall exclusion on leaf gas exchange traits and osmotic adjustment in mature canopy trees of <i>Dryobalanops aromatica</i> (Dipterocarpaceae) in a Malaysian tropical rain forest	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Tree Physiology	6. 最初と最後の頁 1301-1311
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	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 -
1. 著者名 Takahashi, A., Kumagai, T., Kanamori, H., Fujinami, H., Hiyama, T. and Hara, M.	4. 巻 18
2. 論文標題 Impact of tropical deforestation and forest degradation on precipitation over Borneo Island	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Hydrometeorology	6. 最初と最後の頁 2907-2922
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	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 -
1. 著者名 Tanaka, N., Levia, D., Igarashi, Y., Yoshifuji, N., Tanaka, K., Tantasirin, C., Nanko, K., Suzuki, M. and Kumagai, T.	4. 巻 544
2. 論文標題 What factors are most influential in governing stemflow production from plantation-grown teak trees?	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Hydrology	6. 最初と最後の頁 10-20
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	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 Ghannam, K., Nakai, T., Paschalis, A., Oishi, A. C., Kotani, A., Igarashi, Y., Kumagai, T., Katul, G.	4. 巻 52
2. 論文標題 Persistence and memory timescales in root-zone soil moisture dynamics	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Water Resources Research	6. 最初と最後の頁 1427-1445
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/2015WR017983	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 Giambelluca, T. W., Mudd, R. G., Liu, W., Ziegler, A. D., Kobayashi, N., Kumagai, T., Miyazawa, Y., Lim, T. K., Huang, M., Fox, J., Yin, S., Mak, S. V. and Kasemsap, P.	4. 巻 52
2. 論文標題 Evapotranspiration of rubber (<i>Hevea brasiliensis</i>) cultivated at two sites in southeast Asia	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Water Resources Research	6. 最初と最後の頁 660-679
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/2015WR017755	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 Katayama, A., Kume, T., Ohashi, M., Matsumoto, K., Nakagawa, M., Saito, T., Kumagai, T. and 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) なし	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0件

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Kumagai, T.	4. 発行年 2016年
2. 出版社 Springer-Verlag	5. 総ページ数 269-287
3. 書名 Observation and modelling of net ecosystem carbon exchange over canopy. (In: Canopy Photosynthesis: From Basics to Applications. Advances in Photosynthesis and Respiration, Eds. Hikosaka, K., Anten, N. and Niinemets, U.)	

〔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
研究分担者	松本 一穂 (Matsumoto Kazuho) (20528707)	琉球大学・農学部・准教授 (18001)	
研究分担者	檜山 哲哉 (Hiyama Tetsuya) (30283451)	名古屋大学・宇宙地球環境研究所・教授 (13901)	
研究分担者	永井 信 (Nagai Shin) (70452167)	国立研究開発法人海洋研究開発機構・地球環境観測研究開発センター・主任研究員 (82706)	
研究分担者	小田 智基 (Oda Tomoki) (70724855)	東京大学・大学院農学生命科学研究科(農学部)・助教 (12601)	
研究分担者	市榮 智明 (Ichie Tomoaki) (80403872)	高知大学・教育研究部自然科学系農学部門・准教授 (16401)	
研究分担者	藤波 初木 (Fujinami Hatsuki) (60402559)	名古屋大学・宇宙地球環境研究所・講師 (13901)	