

科学研究費助成事業（基盤研究（S））公表用資料  
〔令和3（2021）年度 中間評価用〕

令和元年度採択分  
令和3年3月31日現在

熱帯泥炭林のオイルパーム農園への転換による  
生態系機能の変化と大気環境への影響

Effects of land conversion from tropical peat swamp forest  
to oil palm plantations on ecosystem functions and the  
atmospheric environment

課題番号：19H05666

平野 高司 (HIRANO Takashi)

北海道大学・大学院農学研究院・教授



研究の概要

東南アジア島嶼部に広がる熱帯泥炭林は膨大な量の炭素を泥炭として蓄積してきた。しかし、オイルパーム農園の拡大による森林伐採と乾燥化が進み、泥炭炭素の脆弱性が高まってきた。本研究では、地上観測、衛星リモセン、生態系・地域気象モデルを利用し、オイルパーム農園の拡大が温室効果気体の排出や地域の気候システムに与える影響を定量化・モデル化する。

研究分野：環境解析評価およびその関連分野

キーワード：熱帯泥炭、オイルパーム、環境攪乱、温室効果気体、大気環境

1. 研究開始当初の背景

東南アジア島嶼部の低平地には熱帯泥炭地が広がり、泥炭林と共存して膨大な量の泥炭炭素を蓄積してきた。しかし近年、排水をとまうオイルパーム農園の開発・拡大による泥炭林の伐採と乾燥化が進み、泥炭の好氣的分解（CO<sub>2</sub>排出）が促進され、泥炭炭素の脆弱性が高まってきている。農園造成による大量のCO<sub>2</sub>排出だけでなく、造成後も農園から多くのCO<sub>2</sub>が排出されると予測されている。

2. 研究の目的

本研究の主な目的は 1) 熱帯泥炭林のオイルパーム農園への転換・拡大が炭素蓄積量と温室効果気体・イソプレン・エネルギーのフラックスに与える影響を解明すること、2) 熱帯泥炭地におけるオイルパーム農園の拡大が、地域規模の炭素蓄積量、温室効果気体の収支および気候システムに与える影響を定量化・モデル化することである。

3. 研究の方法

海外研究機関と連携して、オイルパーム農園を含む泥炭地生態系における地上観測をネットワーク化し、温室効果気体、反応性気体、エネルギーのフラックス（大気-生態系間の交換量）、気象・土壌環境、攪乱履歴、農園管理などに関するデータの蓄積を進める。さらに、これらのデータベースを用いた統合解析により、熱帯泥炭林のオイルパーム農園への転換が生態系の炭素蓄積量および温室効果気体・エネルギー収支に与える影響を解明する。また、衛星リモセンや生態系モ

デリング、地域気候シミュレーションを活用して、対象地域（スマトラ島、ボルネオ島、マレー半島）の泥炭地におけるオイルパーム農園の拡大が、温室効果気体の収支および地域規模の気候システムに与える影響を定量化・モデル化する。

4. これまでの成果

生態系スケールでのCO<sub>2</sub>収支については、マレーシア・サラワク州のオイルパーム農園が非常に大きなCO<sub>2</sub>ソースであることを明らかにした。この原因として、森林伐採後の農園造成時に泥炭の鎮圧が不十分であったため、多くのオイルパームが倒れたことを報告した。また、インドネシア・中部カリマンタン州の攪乱の異なる熱帯泥炭林の微気象およびCO<sub>2</sub>・エネルギー収支を解析し、エネルギー収支に大きな影響を与える日射反射率（アルベド）の環境応答、火災時と火災後のCO<sub>2</sub>収支や蒸発散の挙動などを明らかにした。これらは、熱帯泥炭生態系における初めての報告である。

地下水の溶存有機炭素（DOC）については、サラワク州での地下水分析の結果、泥炭林に比べてオイルパーム農園のDOC濃度が約2倍高く、農園への転換により地下水の炭素動態が変化することを示した。また、インドネシア・リアウ州と中部カリマンタン州の攪乱の程度が異なる泥炭地で採取した地下水試料についてDOC濃度と溶存有機物の蛍光特性の分析を行った。その結果、攪乱の程度・種類によって地下水のDOCの

特性が異なることが明らかとなった。

中部カリマンタン州の攪乱程度の異なる3サイト(①未攪乱、②排水された、③火災にあった泥炭林)の泥炭試料の炭素蓄積量と蓄積年代を加速器質量装置で分析し、放射性炭素( $^{14}\text{C}$ )同位体比を用いて解析した。その結果、②では①に比べ同じ深さで、バルク密度と $^{14}\text{C}$ 年代の増加がみられた。③では表層泥炭の $^{14}\text{C}$ 年代は3000年前以前と推定され、この $^{14}\text{C}$ 年代は②の40 cm深の泥炭と同程度であった。①では $^{14}\text{C}$ 年代が<1000年前の炭素が約23 kg C m<sup>-2</sup>蓄積されていたが、②では $^{14}\text{C}$ 年代が<1000年前の炭素の蓄積は約17 kg C m<sup>-2</sup>であった。したがって、1000年前までに蓄積された炭素が排水によって放出されたことが示唆された。また、②と③の比較から泥炭土壌の表層40 cmに蓄積されてきた約25 kg C m<sup>-2</sup>の炭素が火災によって失われたことが明らかになった。

光学センサMODISのデータをから2000、2019年の500 m解像度の土地被覆図を作成した。ボルネオ島やスマトラ島で、この19年間に多くの森林がオイルパーム農園に変化したことが確認された。合成開口レーダ(PALSAR、PALSAR-2)画像を併用した高精度化を準備中である。また、PALSAR-2による2時期の画像間の干渉解析により、泥炭地の地盤沈下量を検出して泥炭分解にともなうCO<sub>2</sub>排出量を推定した。2017年に泥炭林からオイルパーム農園に転換された泥炭地では、2017~2018年に急激な沈降が観測された。8ヶ月間で平均9.8 cm、最大で20.2 cmの沈降が観測され、CO<sub>2</sub>排出量は年換算で39.7 tC ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>と推定された。

領域大気モデルWRF/ARWを用いた数値実験を開始した。先行研究から、ボルネオ島の森林伐採がアルベド低下や蒸発散減少を引き起こして降水量を減少させることが分かっているが、ほとんどは特定期間を対象としたもので、再現結果が普遍的かどうか分からない。エルニーニョ年を対象に、熱帯林がボルネオ島を広く覆った現実的な対象実験と全域を裸地にした感度実験から、森林消失による降水量減少は雨季・乾季ともに明瞭であった。これは、通年実験にを行った本研究の新しい知見である。降水の減少幅は雨季初めに小さく、その後増加した。この時期にMJO(マデン・ジュリアン振動)による活発な対流活動域がボルネオ島周辺に到来していたことから、森林伐採の降水量への影響はMJOの位相に依存することが示唆された。このように熱帯の土地被覆変化による地域気候への影響は、土地利用シナリオだけでなく外的大気条件によっても規定されることが示唆された。この知見はアマゾンなど近年の森林伐採が顕著な他の熱帯地域にも適用できると考えられる。

##### 5. 今後の計画

観測ネットワークのデータベースを立ち上げ、統合研究に着手する。現地渡航が可能ならば、オイルパーム農園を中心に泥炭(炭素

や温室効果気体放出)の質や量の変化を調査する。また、異なる系統のオイルパーム苗を用いたイソブレン放出能力のスクリーニングを行う。一方、現地調査が困難な場合は、海外機関とオンライン会議を通じて綿密に連絡を取り、現地調査の一部を分担してもらう予定である。森林バイオマス地図については、PALSAR-2画像とNASAの衛星ライダーデータを組み合わせることで、全域の高精度な森林バイオマス地図を作成する。土地被覆と森林バイオマスの地図情報の経年変化から、土地被覆変化にともなう炭素排出量を州レベルで算定する。また、地上データを活用して、干渉解析による沈降評価の高精度化を目指す。地域気候への影響評価については、ラニーニャ年を含む複数年について領域気候実験を行う。また、より現実的な土地被覆変化シナリオについても実験を試みる。さらに、熱帯の降水変動において重要な役割を果たす積雲対流過程を精緻に表現するために、気候モデルの解像度を2~3 kmまで上げ、積雲対流を許容できる設定で地域気候の再現性を向上させる。

6. これまでの発表論文等(受賞等も含む)  
Ohkubo S, Hirano T, Kusin K: Influence of disturbances and environmental changes on albedo in tropical peat ecosystems. *Agricultural and Forest Meteorology*, 301-302, 108348, 2021.

Tani A, Mochizuki T: Review: Exchanges of volatile organic compounds between terrestrial ecosystems and the atmosphere. *Journal of Agricultural Meteorology*, 77, 66-80, 2021.

谷 晃, 増井 昇: 森の空気を科学する. *Aroma Research*, 85, 14-19, 2021.

Itoh M, Matsubara T, Shiodera S, et al.: Application of electrical resistivity to assess subsurface geological and hydrological conditions at post-tin mining sites in Indonesia. *Land Degradation & Development*, 31, 1217-1224, 2020.

Kiew F, Hirata R, Hirano T, et al.: Carbon dioxide balance of an oil palm plantation established on tropical peat. *Agricultural and Forest Meteorology*, 295, 108189, 2021.

塩寺さとみ, 伊藤雅之, 甲山治: 熱帯泥炭湿地林の人為的攪乱とその回復可能性. *日本生態学会誌*, 査読有, 70, 15-29, 2020.

Tani A, Muramatsu K, Mochizuki T: Emission of methyl ethyl ketone and 2-butanol converted from methyl vinyl ketone in plant leaves. *Atmosphere*, 11, 793, 2020.

Wong G, Hirata R, Hirano T, et al.: How do land use practices affect methane emissions from tropical peat ecosystems? *Agricultural and Forest Meteorology*, 282-283, 107869, 2020.

##### 7. ホームページ等

特になし。