

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 9 日現在

機関番号：13901

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2016

課題番号：15K14903

研究課題名(和文) 農業利用は熱帯泥炭の分解を本当に加速するか

研究課題名(英文) Does agricultural use of tropical peat soil really accelerate peat decomposition?

研究代表者

渡邊 彰 (WATANABE, Akira)

名古屋大学・生命農学研究科・教授

研究者番号：50231098

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,400,000円

研究成果の概要(和文)：熱帯泥炭湿地は、残された土地資源のひとつであるが、排水を伴う農地化によって泥炭として蓄積された大量の有機炭素の無機化が促進されることが懸念されている。しかし、ヤシ栽培下土壌でCO₂フラックスに変化が見られなかったこと等から、安定な有機物も多く存在する可能性が推察された。そこで、熱帯泥炭が恒常的に難分解性炭素を含むことの確認を目的として、マレーシアの各種森林およびヤシ栽培圃場の泥炭土壌を分析した。その結果、難分解性腐植物質は検出されず、ブラックカーボンは全炭素の1%未満であり、光分解前後の¹³C NMRスペクトルに有意な差がなかったこと等から、選択的に残留する有機成分の存在は確認されなかった。

研究成果の概要(英文)：Tropical peatland is one of the remaining land resources, and an acceleration of the mineralization of vast amount of soil organic carbon (SOC) stored as peat under agricultural use accompanying drainage has been concerned. On the other hand, the lack of significant change in the rate of SOC mineralization due to land use change suggested the presence of considerable amount of SOC stabilized. To confirm the existence of such SOC, forest and cultivated peat soils collected in Sarawak, Malaysia, were analyzed. Recalcitrant humic substances, based on the degree of darkening, were not detected in the fractionation humic acids. Black carbon content estimated by nitric acid oxidation was less than 1% of total SOC. ¹³C NMR spectra determined before and after irradiation did not differ, indicating similar sensitivity to photo-degradation among SOC components. Thus, the presence of persistent SOC in tropical peat soil was not proven in this study.

研究分野：物質循環学

キーワード：環境調和型農林水業 土壌圏現象 熱帯農業 泥炭

1. 研究開始当初の背景

熱帯泥炭湿地は、半分解した植物遺骸(泥炭)が湿地に堆積してできた自然の巨大 C 貯蔵庫である。東南アジアには 2,710 万 ha 存在し、約 70 Pg の炭素(C)を保有している (Page et al., *Global Change Biol.* 2011)。地下水位の高い泥炭湿地を畑地や樹園地として利用するためには排水が必要となるが、排水を行うことで土壌の収縮と泥炭の分解が促進され、二酸化炭素(CO₂)放出量が増大することが強く懸念されている。しかしながら、熱帯泥炭の分解速度と土地利用との関係について十分な情報があるわけではない。

実際、極度の排水を必要とする油ヤシ栽培、高い地下水位のもとで生育するサゴヤシ栽培のいずれにおいても、CO₂放出量と地下水位との関係は認められていない (Watanabe et al., *Agr. Ecosys. Environ.* 2009, Melling et al., in *Soil Carbon* 2013)。また、土壌からの CO₂放出量は栽培年数によって増大しないこと、近接した森林とも差が無いが下回ることも報告されており (Melling et al., *Soil Biol. Biochem.* 2005; Watanabe et al., *Sago Palm* 2007)、樹園地として利用しても懸念されるほど泥炭分解は加速されない可能性がある。申請者が C 循環の研究を行ってきたサゴヤシ栽培圃場は、1 km 以上離れた圃場で起こった火事の延焼で焼け、土壌が炭化物で覆われたが、以前から黒色有機物の存在は認められていた。これらのことから、熱帯泥炭土壌には火災の影響や乾季に腐植化が進むことで生成した分解され難い有機物が予想以上に広く分布しているのではないかと予想された。

2. 研究の目的

本研究では、熱帯泥炭土壌中に難分解性 C が存在することを示すとともに、その量と実体を明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

マレーシアの異なる土地利用下にある熱帯泥炭土壌について、腐植化の進んだ難分解性腐植物質の検出、炭化物(ブラックカーボン)の定量、光分解に対する耐性有機物の定量・定性、生物分解に対する耐性有機物の定量・定性を行った。

3-1. 試料

マレーシア・サラワク州 Maludam 国立公園、WTK 油ヤシプランテーションおよびその近郊の森林、Talau および Mukah サゴヤシ圃場および近郊の森林において採取した 3 種の一次林: Mixed peat swamp 林 (MSP)、Alan Batu 林 (ABt)、Alan Bunga 林 (ABg) 土壌、油ヤシ栽培土壌およびサゴヤシ栽培土壌(いずれも深さ 0~25 cm)の全てあるいは一部を以下の実験に供試した。

各試料の一部は凍結乾燥し、NC アナライザー (Flash2000、ThermoFisher Scientific) を用いて全 C 含量および定量性の高い (PASS 法 Ikeya and Watanabe, *Anal. Biochem. Chem.* 2016) による ramp ¹³C CPMAS NMR スペクトル (ECA-700、JEOL) の測定を行った。

3-2. 難分解性腐植物質の検出

難分解性腐植物質は、フミン酸中の高い黒色度をもつ画分のエタノール分別沈殿による検出 (Kawasaki et al., *Soil Sci. Plant Nutr.* 2008) を用いて評価した。フミン酸の抽出は NAGOYA 法 (Ikeya and Watanabe, *Soil Sci. Plant Nutr.* 2003) にしたがった。凍結乾燥試料に全 C 量の 300 倍容の 0.1 M NaOH を加え、N₂ 置換後、25°C で 24 時間振盪抽出を行った。抽出液と残渣の洗浄液に 6 M H₂SO₄ を加えて、pH 1 とし、フミン酸を沈殿させた。沈殿は遠心分離によって回収し、再溶解、遠心分離、再沈殿、遠心分離後、0.01 M NaOH に再溶解した。その後、エタノールを 20%、40%、60% (v/v) になるよう順次添加し、それぞれ 4°C に一晚静置後、遠心分離した。

3-3. ブラックカーボン含量の測定

ブラックカーボン含量の測定には硝酸酸化分解法 (Brodowski et al., *Org. Geochem.*, 2005) を用いた。土壌に 4 M トリフルオロ酢酸を加え、グラファイトブロック酸循環分解システム (エコプレ, Actac) 中で 105°C で 4 時間処理した。回収した残渣に 65% HNO₃ を加え、エコプレで 170°C で 8 時間加熱反応し、ブラックカーボンをベンゼンポリカルボン酸 (BPCAs) に酸化分解した。分解物を含む溶液を濾過し、H⁺型にしたカチオン交換樹脂 (Dowex-50) で処理、減圧乾固後、メタノールに溶解させた。内標 I としてメタノールに溶かした 250 μg mL⁻¹ 2,3-ナフタレンジカルボン酸を 200 μL 加え、ジアゾメタンを用いてメチル化した。乾固後、内標 II としてジクロロメタンに溶かした 500 μg mL⁻¹ ノナデカン酸メチル 200 μL を加え、ガスクロマトグラフィー (GC-14AFID、島津) で定量した。各 BPCA の収量の和に、内標 I の収量から求めたメチル化効率と HNO₃ 分解における損失分を補正する係数 2.27 をかけてブラックカーボン含量を求めた。

3-4. 光分解耐性 SOC の定量と構造解析

凍結乾燥した WTK 油ヤシ圃場土壌および近郊の森林土壌 100 mg をシャーレ (内径 35 mm) に厚さが均一 (1.5 mm) になるよう取り、水分含量が 80% になるように超純水を均質に添加した。試料を太陽光シミュレーター (サンテスト XLS+, Atlas) に置き、キセノンランプにより 300~800 nm、650 W m⁻² で 7 日間連続的に照射した (4 連)。この条件は、現地の 3 週間の照射量に相当

する。3、5、7 日目に重量を測定し、水分を補給した。急激に重量減少量が低下したことから7日間で終了した。その後、全C含量を測定して、C 減少量を求めるとともに、減少率が最大であった資料について¹³C CP/PASS NMR スペクトルを測定した。

3-5. 室内培養試験

未乾燥各泥炭試料 (< 2 mm) をプチルゴム栓付き三角フラスコに分取し、現地の平均値である水分含量 85%に調整、気相をCO₂ を含まない合成空気に置換して以下の3条件で3ヶ月間暗所で恒温培養した：pH未調整、温度25°C(対照区)、pH7(消石灰添加)、温度25°C(中性区)、pH未調整、温度35°C(高温区)。培養期間中、定期的に気相中のCO₂濃度をガスクロマトグラフィー(GC-14ATCD、島津)で測定した。気相のCO₂濃度が1%を越えたら、気相を人工空気で再置換し、また、重量に有意な低下が認められた場合には、蒸留水を補充した。最も分解速度が大きかった区については、CO₂測定を行わず、培養を1年間継続し、土壌を回収した。

4. 研究成果

サラワク泥炭土壌の¹³C CP/PASS NMR スペクトルは、森林タイプによってやや異なり、MPS 林土壌で相対的に *o*-アルキル C が少なく、アルキル C あるいは芳香族 C が多い傾向が認められた (Fig. 1)。油ヤシプランテーションとしての利用は、ABt 林、ABg 林土壌で *o*-アルキル C を減少させ、アルキル C (ABg) あるいは芳香族 C (ABt) の相対含量を増大させたが、MPS 林土壌では有意な変化は認められず、*o*-アルキル C

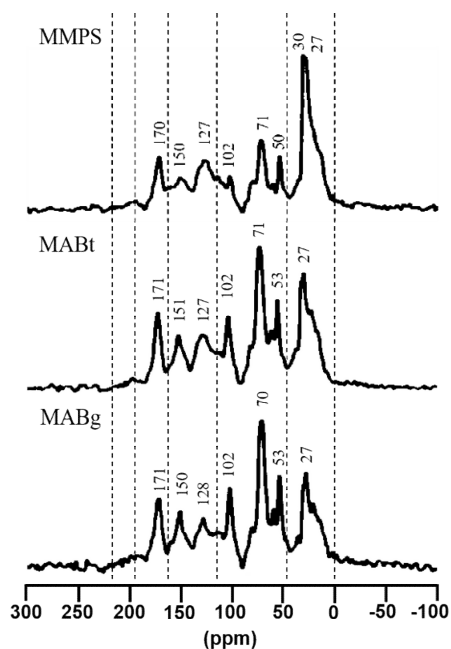


Fig. 1. ¹³C CP/PASS NMR spectra of three forest soils from Maludam national park. Upper, MSP; middle, ABt; lower, ABg.

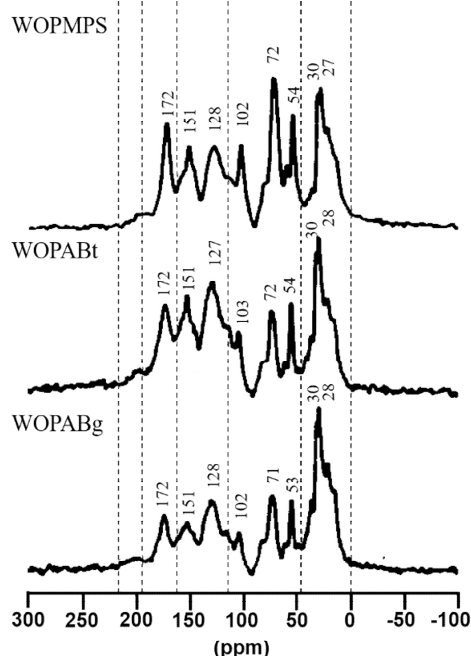


Fig. 2. ¹³C CP/PASS NMR spectra of three WTK oil palm plantation soils derived from different types of forests. Upper, MSP; middle, ABt; lower, ABg.

含量も維持されていた (Fig. 2)。同様の傾向は、MPS 林からサゴヤシ園に土地利用が変化した土壌でも認められた。このように、農地化後のC組成の変化は、森林タイプによって異なっており、C構造からのみでは安定性の違いを必ずしも推定できないことが示唆された。

分別沈殿法によるフミン酸の分画では、最大で全フミン酸Cの約30%が中程度に腐植化が進んだB型であったが、腐植化が最も進んだA型はいずれの土壌からも検出されなかった。

ブラックカーボン含量は、森林土壌では0.03~0.16 g C kg⁻¹であり、含量が高い土壌ではベンゼンヘキサカルボン酸 (B6CA) の割合が大きかった (Table 1)。この方法では、カルボキシ基数の多いBPCAほど環数の大きい縮合芳香環に由来することから、縮合度が高いブラックカーボンが土壌中でより安定であることが推察された。しかし、ブラックカーボンの総量はSOCの0.1%未満にすぎず、SOC全体の分解速度を左右することはないと考えられた。

Table 1 Black carbon content in three different forest soils in Maludam national park

Forest type	Percentage of BPCA (%)				BC content	
	B3CA	B4CA	B5CA	B6CA	(gC kg ⁻¹)	(%T-C)
MPS	5.9	36.4	31.7	25.9	0.16	0.030
ABt	16.9	25.0	34.3	23.8	0.09	0.020
ABg	26.5	26.5	27.2	19.7	0.03	0.004

光分解試験では、5~22%のCが失われた。その量は、MPS 林土壌およびABt 林、ABg 林に由来する油ヤシ圃場土壌で小さく(5.4~6.9%)、ABt 林土壌で最も大きかった。分解率が最も大きかったABt 林土壌の¹³C CP/PASS NMR スペクトルを比較した結果、スペクトルパターンには差は見られず、C組成においても*o*-アルキルCの相対含量が減少した以外の変化は認められなかった(Table 2)ため、光分解に対して高い耐性を示すC構造の存在は確認されなかった。

Table 2 Comparison of C composition as was estimated from ¹³C NMR CP/PASS NMR spectra of WTK Alan Batu forest soil before and after 7-day irradiation

	% Alkyl C	% O-alkyl C	% Aromatic C	% Carboxyl C	% Ketone C
Before	26.5	37.3	19.8	11.5	4.9
After	27.3	32.0	22.8	14.1	3.7

室内培養試験における二酸化炭素(CO₂)発生量は、対照区と高温区では、培養初期に最も高く、その後減少した。一方、中性区では、培養開始後、2週間後(Fig. 3a)から4週間後にかけて増大し、その後減少する傾向を示す場合が認められた。これは、pHの変化によってそれまで活動していなかった微生物の活性が増大し、その活性化までの日数に土壌間で差があったためと推察される。しかしながら、中性にしたことによるSOC分解速度の増大は必ず見られるわけではなく、Maludam 森林土壌ではいずれも対照区よりもCO₂発生量が小さかった(Fig. 3d)。この理由はまだ分かっていないが、生成したCO₂の一部が炭酸塩として土壌に保持されることで過小評価されている可能性があるため、補正が必要であろう。培養温度の増大もSOC分解速度を増大させたが、Mukah のサゴヤシ圃場土壌および近郊の森林土壌(Fig. 3c)以外では、対照区との差は大きなものではなかった。

培養期間中の総CO₂発生量は、対照区で24~88 μg C g⁻¹、中性区で14~168 μg C g⁻¹、高温区で38~144 μg C g⁻¹であった。中性区では対照区を下回る結果も認められたが、SOC分解量は最大4.2倍、高温区では最大3.1倍まで増大した。しかしながら、それらの処理区でも分解量は全SOCの<1%であり、質的な変化を解析するのは困難であった。また、Fig. 3a、3bのように急激な分解の進行は一時的なものであり、以降の分解パターンは処理区間で類似していたことから、培養条件の変化により分解基質の種類が大きく変化することはなかったと推察された。ただし、3ヶ月後にも対照区との差は維持されていたことから、室内培養実験でみられた経時的なCO₂発生量の低下は、圃場培養試験(Sangok et al., *Sci. Total Environ.*

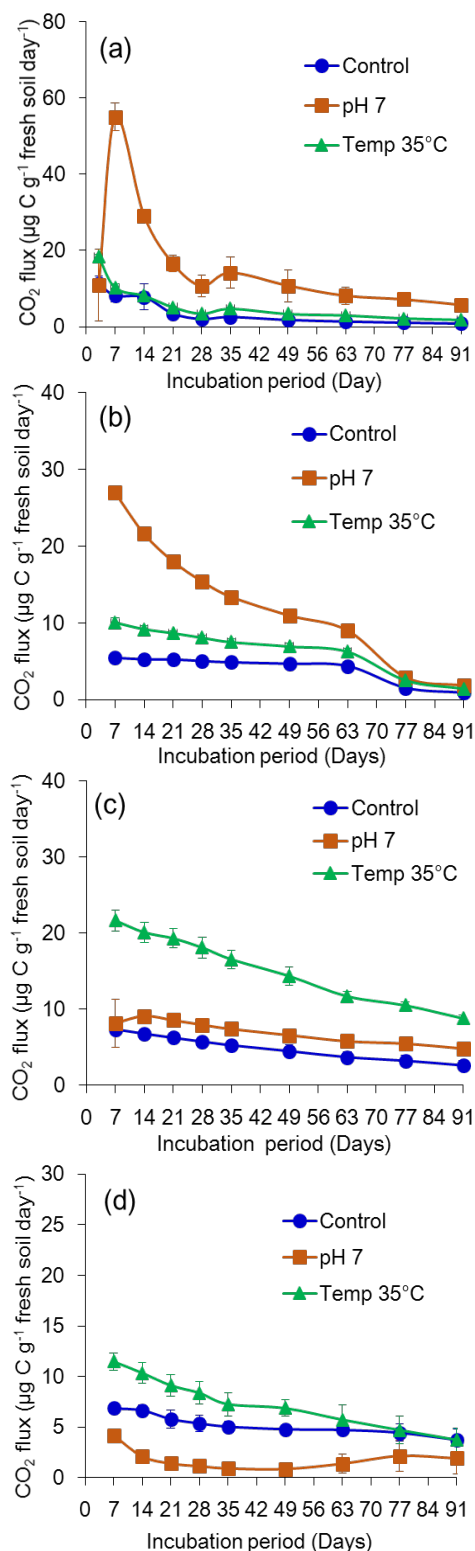


Fig. 3. CO₂ flux from Alan Batu forest soil near WTK oil palm plantation (a), WTK oil palm soil with mixed peak swamp forest as previous vegetation (b), Talau mixed peak swamp forest soil (c), and Maludam mixed peak swamp forest soil during 3-month laboratory incubation.

2017)では認められていないことから、分解生成物があるいは代謝産物が微生物活性を抑制している可能性もあるため、培養系の改善が必要と推察される。現在、最も分

解速度が大きかった中性区についてのみ行った1年の培養が終了したところであり、回収した土壌の分析を行っていく予定である。

室内培養実験における WTK 油ヤシ圃場土壌とそれぞれの前植生に相当する森林土壌、Talau (Mukah) のサゴヤシ圃場土壌と近接森林土壌との比較から、森林土壌と農地土壌との間にはSOCの分解されやすさに差が無いことが確認された。また、高温、中性化に対するSOC分解応答には森林土壌と農地土壌の間で一定の傾向が認められなかったが、高温の影響はいずれの土壌でも長く続いたこと、光分解試験で、短期間に有意な量のSOCが失われたことから、入射量とともに表層土壌の温度が上がるのが想定された裸地状態に長く置くことの危険性が示された。これらに対し、高温・光照射下で選択的に残留するあるいは化学的に難分解性であると推定されるSOCの存在は証明できなかったかあるいはごく微量であった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

Sangok, F.E., Maie, N., Melling, L., and Watanabe, A. 2017: Evaluation on the decomposability of tropical peat soils from different types of forest after conversion to an oil palm plantation. *Sci. Total Environ.*, 査読有り, 587/588, 381–388.

〔学会発表〕(計0件)

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計0件)

○取得状況(計0件)

6. 研究組織

(1)研究代表者

渡邊 彰 (Akira Watanabe)

名古屋大学大学院生命農学研究科・教授

研究者番号: 50231098