

報告番号	※	第	号
------	---	---	---

## 主論文の要旨

論文題目 Dynamics of soil organic matter in tropical peat soils  
(熱帯泥炭土壤中における土壌有機物の動態)

氏名 ANAK SANGOK Faustina Elfrida

## 論文内容の要旨

泥炭土壌は、浅い湖沼や浅海に面した地域に植物遺体が半分解、半腐植化状態で堆積することで形成される有機質土壌であり、地下水位が高いことに加え、pHが低く、無機養分に乏しいため本来農業利用には適さない。一方、400 Gtに昇る膨大な量の炭素(C)を蓄積する巨大なCプールとして地球C循環において重要な役割を果たしている。その主な分布域は北半球の寒帯～冷温帯であるが、熱帯にも東南アジアや中南米を中心に約44万km<sup>2</sup>分布している。熱帯泥炭は湿地林下で発達する(木質泥炭)点で寒帯～冷温帯の泥炭と異なる。マレーシアの泥炭土壌は64%がボルネオ島サラワク州に存在するが、近年油ヤシプランテーション化を中心に排水を伴う農地化が進んでおり、土壌有機物(Soil Organic Matter; SOM)の分解速度の増大による温室効果ガスフラックスの増大(C蓄積量の減少)、地盤沈下、火災発生頻度の増大等が懸念されている。サラワクの熱帯林は樹種や樹木の形態的特徴の違いに基づいて分類されており、そのうちMixed Peat Swamp (MPS)林、Alan Batu (ABt)林、Alan Bunga (ABg)林の3群の分布域が大きい。これらの森林土壌間でSOMの組成・構造が異なり、農地化後の分解速度にも差があると予想されるが、これまで森林タイプ別にSOMの化学的性質や安定性を分析した研究は存在しない。本研究では、東南アジアにおける泥炭湿地の開発が土壌へのC蓄積量に及ぼす影響をより正確に把握するために、森林タイプの違い、土地利用の違いを考慮して熱帯泥炭土壌におけるSOMの動態を明らかにすることを目的とした。

まず、一次林が保護されているMaludam国立公園において、泥炭(土壌)蓄積速度とSOMの構造特性との関係を調べた。MPS林、ABt林、ABg林各2地点において埋没泥炭土壌層が無機質土壌層が現れる深さ(0.5～4.5 mまたは2～7ないし8 m)まで50 cmまたは1 m間隔で採取した。各土壌試料の<sup>14</sup>C年代を測定するとともに、ramp CPMAS <sup>13</sup>C NMRによるSOM中のC組成の推定を行った。<sup>14</sup>C年代は、酸-アルカリ

ー酸処理によって上下層からの混入の可能性のある可溶性腐植を除去した後に測定し、その結果より、Maludam 泥炭湿地の形成が 4,900 年前に最外部に位置する MPS 林で始まり、現在の中心部に向かって ABt 林 (4,000 年前)、ABg 林 (3,300 年前) の順に起こったことを明らかにした。ABt 林および ABg 林では、土壌深と  $^{14}\text{C}$  年代との関係はほぼ一定であり、一次式への回帰から泥炭蓄積速度は ABg  $0.18 \text{ cm y}^{-1}$ 、ABt  $0.16 \text{ cm y}^{-1}$  であったと推定された。一方、MPS 林の泥炭蓄積速度は、約 3,000 年前に堆積した土壌層までは ABg 林、ABt 林と同程度かより大きかった ( $\sim 0.24 \text{ cm y}^{-1}$ ) が、それ以降  $0.03 \sim 0.07 \text{ cm y}^{-1}$  まで低下した。また、泥炭蓄積速度の低下と対応して、SOM 中の O-アルキル C の割合の減少とアルキル C の割合の増大が認められた。C 組成における類似の変動は 3,000 年前以前の層や他の土壌断面では認められず、また、アルキル C/O-アルキル C 比は植物遺体の分解程度の指標 (分解が進んでいるほど大きい) として用いられていることから、MPS 林における泥炭蓄積速度の低下は、SOM 分解速度の増大によるものであり、上層ほど他の 2 林より分解・腐植化の進んだ有機物が多く存在すると推察された。また、芳香族 C 含量は、層間で多少の増減は見られたものの、森林タイプに関わらず、熱帯泥炭土壌中において主要かつ安定な C 形態であることが示唆された。

次に、泥炭湿地林を油ヤシプランテーションにした際の森林タイプによる土壌有機炭素 (SOC) の安定性の違いを調べることを目的として、Maludam 各森林から土壌を採取して、同州 Sibuluan にある油ヤシ園に運び、底にフィルターを貼った塩ビ製パイプ (長さ  $20 \text{ cm} \times 4$  本直列) に充填した後、油ヤシから  $4 \text{ m}$  の位置に土壌表面の高さが同じになるよう埋設した (5 連)。土壌試料にはプランテーション化による排水の影響を最も強く受ける次表層 ( $20 \sim 40 \text{ cm}$  深) を用いた。3 年間土壌 (パイプ) からの二酸化炭素 ( $\text{CO}_2$ ) およびメタンフラックスをクロズドチャンバー法を用いて計測するとともに地温、土壌水分、地下水位の変動を記録した。その後、土壌を回収して SOC 量の変化を調べた。 $\text{CO}_2$  およびメタンフラックスは、それぞれ地下水位との間に正および負の相関を示したが、各年の総フラックスはどちらのガスも  $\text{ABg} > \text{ABt} > \text{MPS}$  土壌の順に高かった。また、いずれの土壌においても 1~3 年目の間で総フラックスに差は無かった。土壌からの  $\text{CO}_2$  フラックスには、SOC の無機化のほか植物の根呼吸も寄与するが、本試験では、3 年間の総  $\text{CO}_2$  フラックスが土壌分析に基づく同期間の SOC 減少量とほぼ一致していたため、油ヤシの根呼吸は有意に影響していなかったと推定された。これらの結果より、3 年間に土壌中の C の 6 (MPS) ~ 18 (ABg) % が失われたことが示された。また、埋設前の SOM の C 組成は ABg、ABt、MPS 土壌の順に O-アルキル C 含有率が高く、アルキル C 含有率が低かったことから、蓄積している SOM に占める易分解性成分 (主に炭水化物) の割合の差が、森林を油ヤシプランテーションにした後の SOM の安定性に差異をもたらすと考えられた。

泥炭湿地林の農地化では、排水による表層土壌への酸素供給量増大の影響のほか、植生による被覆が減少することによる地温の上昇、日射量の増大や石灰施用による土壌酸性の緩和等の影響を受ける。そこで、サラワク州 Maludam, Sibuluan, Batong, Talau,

Mukah の森林 (MPS, ABt, ABg), 開発後 5 年以上経った油ヤシプランテーションおよびサゴヤシ園から表層土壌 20 試料を採取し, 土壌理化学性および  $^{13}\text{C}$  CP/PASS NMR による C 組成の解析を行って各土地利用下土壌の SOM を特徴づけるとともに, 3 ヶ月間の室内土壌培養試験によって温度上昇 ( $25^{\circ}\text{C}$  vs  $35^{\circ}\text{C}$ ), pH 上昇 (約 3 (未調整) vs 7) による SOC 無機化速度の変化を分析した。また, 太陽光シミュレーターを用いて光分解性を評価した。油ヤシ・サゴヤシ土壌と森林土壌との C 組成の比較は, 樹園地化による C 量の減少が *O*-アルキル C で大きく, 芳香族 C で小さいことを示唆した。また, 森林間の比較では Maludam の亜表層と同様, *O*-アルキル C とアルキル C の含有率に差が認められた。高温培養は対照区と比較して SOC 無機化速度を 1.2~3.1 倍まで増大させた。一方, 石灰添加による中和では, 培養初期に無機化が抑制された土壌が複数存在した。その多くは 3 週目までに無機化速度が上昇したため, 3 ヶ月間の  $\text{CO}_2$  生成量は対照区の 1.4~2 倍に達した。温度や pH の変化に伴う SOC 無機化速度の変化と土地利用や C 組成との間には全ての地域に共通する傾向は認められず, 地域によって土壌微生物の環境変化に対する応答が異なる可能性が考えられた。光分解試験では, 現地における約 3 週間相当の日射量によって 2~22% の SOC が失われ, 土壌最表層では, 微生物分解だけでなく光分解も SOC の減少に寄与していることが示唆された。SOC 分解率と土地利用や C 組成との関係は認められず, また, C 分解率が高かった土壌においても試験前後で  $^{13}\text{C}$  NMR スペクトルに差がみられなかったため, 光分解性の違いが何に起因しているのかについては不明であり, 今後更なる解析の必要がある。

以上のように, 本研究ではマレーシア・サラワク州の熱帯泥炭湿地の生成過程や SOM の化学的性質に現植生と対応した差異が存在すること, 温度や pH 変化に伴う SOC 無機化速度の変化や光分解性には森林土壌と開発後 5 年以上を経た樹園地土壌との間で明確な差がないことが明らかになった。これらの結果に基づき, 特に ABt 林や ABg 林では泥炭層は厚いものの排水を伴う農地化では急速かつ継続的に泥炭の分解が進む可能性が高いことから, その利用にあたっては地下水位を高く維持する等の方策が必要であることが示唆された。