

「二酸化炭素排出抑制に資する革新的技術の創出」  
平成20年度採択研究代表者

小島 克己

東京大学アジア生物資源環境研究センター・教授

熱帯泥炭の保全と造林による木質バイオマス生産

## § 1. 研究実施の概要

本研究は、不適切な開発によって二酸化炭素放出源となっている熱帯泥炭土壌について、湛水化による泥炭の保全と湛水耐性種の造林によって、再び吸収源に戻す現地実証試験を行い、さらに、生産された木質バイオマスからのエネルギー用資源としての適合性、他の資源用としての応用の可能性などを検討することを目的としている。最終目標は、泥炭保全、造林からバイオマスの最適利用までのトータルシステムを提示し、排出削減ポテンシャルを確認するとともに、その実行可能性を明らかにすることにある。

平成21年度は、基本的に昨年度に開始した現地実証試験と実験室での計測、実験、解析を継続した。タイの現地サイトに土壌呼吸量長期観測システムを設置し、モニタリングを開始した。来年度は、水位環境の異なる地点でのモニタリングを開始する。昨年度に開発した泥炭分解シミュレータを用いて、土壌呼吸速度のシミュレーションを行った。今後は、土壌温度、土壌水分等の環境条件に対する土壌呼吸速度の応答を体系的に定量しモデルを構築する。土壌呼吸量のモデル化に必要な実態把握と検証データの取得に向けた準備のため、地表面  $O_2$  吸収量、土中  $O_2$  濃度の現地計測を行った。また泥炭地表面、水面からのメタン放出を測定し、予備的な数値を得た。

常時湛水した泥炭土壌に造林可能な樹種の検索を継続した。いくつかの候補樹種が見出されたが、苗木の生残率が低いため引き続き種の検索と造林法の改良に取り組む。*Melaleuca cajuputi* の播種・育苗法を改良し、管理労力や育苗期間中の枯死のリスクを大幅に軽減することができた。*Melaleuca cajuputi* 人工林のバイオマス成長量の測定を継続して行った。

*Melaleuca cajuputi* 材の物理的および化学的特性を評価した。各種強度は同程度の密度の他樹種と遜色なく、材質は均質で塗装性、接着性は良好であった。また、新たな乾燥法を開発し、割裂や反りを大幅に軽減することができた。得られた単板から作製したフローリング材は、他樹種と同様の表面硬さ性能を示した。また、新規木質材料として屈曲性や捻回性、衝撃吸収性に富んだ積層材料を開発した。今後は、木質材料の開発を継続し、合わせて樹皮の利用技術を開発する。

平成22年度中に新試験地での現地実証試験に着手し、実証試験地規模のプロジェクトの設計と評価を試行する計画である。

## § 2. 研究実施体制

### (1) グループ 1

① 研究分担グループ長: 小島 克己 (東京大学、教授)

#### ② 研究項目

- ・泥炭湿地造林技術の開発と二酸化炭素固定量の評価
- ・湿地人工林の木質バイオマスの有効利用技術の開発
- ・泥炭土壌での木質バイオマス生産プロジェクトのライフサイクルインベントリ

### (2) グループ 2

① 研究分担グループ長: 大澤 和敏 (宇都宮大学、准教授)

#### ② 研究項目

- ・泥炭保全技術の開発と二酸化炭素放出量の評価
- ・湿地人工林の木質バイオマスの有効利用技術の開発
- ・泥炭土壌での木質バイオマス生産プロジェクトのライフサイクルインベントリ

## § 3. 研究実施内容

(文中に番号がある場合は(4-1)に対応する)

### (1) 泥炭保全技術の開発と二酸化炭素放出量の評価

【泥炭地域における土壌呼吸量長期観測システムの開発】タイ国ナコンシタマラート県のオイルパーム農園内に、土壌呼吸量長期観測システムを設置した(図 1)。本システムは、湛水の有無、温度、地下水位などの諸条件に対する土壌呼吸量の応答を評価することを目的としており、土壌呼

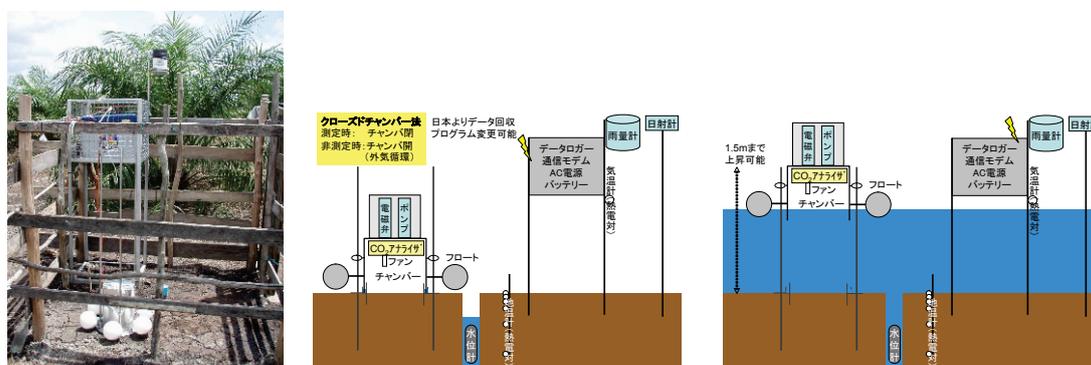


図1 土壌呼吸量長期観測システムの概要(左:写真, 中:非湛水時, 右:湛水時)

吸測定部にフローティング  
チャンバーを使用し、非湛  
水時には地表面上にチャン  
バーが置かれた状態で土  
壌呼吸量を測定し、湛水時  
にはチャンバーが水に浮い  
た状態で水面からのCO<sub>2</sub>放  
出量を測定することができる。降雨に伴い、地下水位  
が上昇していることや地温  
の変動とともに泥炭土壌か  
らのCO<sub>2</sub>フラックスの値が変  
動していることから、観測シ

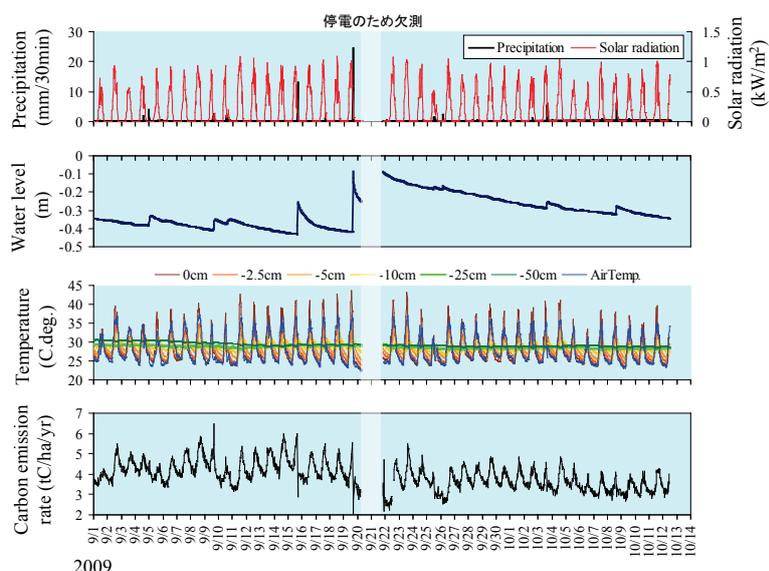


図2 土壌呼吸量長期観測システムの計測結果

ステムは十分に機能していると考えられる(図2)。今後は得られたデータの解析を進めるとともに、地盤の低い場所(湛水区)でのシステムの運用を行う。

【泥炭土壌カラムによる分解速度のシミュレーション】昨年度に開発した、現地の地下水位と地温環境を再現できる泥炭分解シミュレータを用いて、現地調査の結果に基づく土壌表面温度の日変化に対応した温水を循環させ、現地の地温の鉛直温度分布を再現し、地下水位0 cm、-3 cm、-10 cmの条件における泥炭分解速度を計測した(表1)。これまでの知見の通り、地下水位が低い状態ほど泥炭分解速度は増大する傾向にあった。今後、さらに水位を低く設定した実験を実施し、地温変化あるいは地下水位変化に伴う泥炭分解速度を評価する。さらに、異なる地域の泥炭土壌の分解速度を体系的に定量し、泥炭分解モデルを構築する。

表1 地下水位に対する泥炭分解速度

地下水位 (cm)	泥炭分解速度 (tC/ha/yr)
0	1.95
-3	2.89
-10	5.42

【CO<sub>2</sub>放出量予測モデルの構築に向けた地表面酸素吸収速度計測】泥炭地表面CO<sub>2</sub>放出量の地下水位依存性モデルに組み込まれるべき環境要因として、酸素(O<sub>2</sub>)の泥炭地表面からの供給速度および土壌中輸送速度が想定される。そのため、土壌中ガス挙動のモデル化に必要な実態把握およびモデル化後の検証作業を視野に、これらの現地計測系を作成し、現場計測を試行した。2009年8月、タイ国ナコンシタマラート県のオイルパーム農園内において、地表面O<sub>2</sub>吸収速度をチャンバー法により3地点、深度別O<sub>2</sub>濃度分布の時間変化をO<sub>2</sub>センサー内蔵型ガス採取管により2地点3深度(5、10、20 cm深)で測定した。地表面O<sub>2</sub>吸収速度は51.0、62.0、127.1 μmol m<sup>-2</sup> min<sup>-1</sup>(土壌呼吸によるCO<sub>2</sub>放出量と1:1換算した場合約5 tC ha<sup>-1</sup> y<sup>-1</sup>相当)であり、既往事例のCO<sub>2</sub>放出量に比べ低めだった。理由として、現地の表層泥炭土層厚が10~25cm程度と薄いこと等が考えられた。深さ5、10、20 cmの土壌中O<sub>2</sub>濃度は、地点1で18.1%、13.1%以下、7.0%以下、地点2で19.4%、14.9%、14.4%であった。次年度以降、モデル化・検証作業に必要な物理パラメ

一々の特定を目的に、不攪乱土壌を採取し、土壌ガス拡散係数および土壌水分特性を実測する。

【メタン放出速度の測定】泥炭湿地からのメタン放出に水位条件が与える影響を明らかにするため、クローズドチャンバ法により泥炭湿地からのメタン放出を、地下水位-40 cm、地下水位-20 cm、湛水の状態でそれぞれ測定し予備的な数値を得た。地下水位-40 cm に比べれば湛水状態のほうがメタン放出量が大きい、メタンの温暖化係数を21として換算しても0.050~0.075 tC ha<sup>-1</sup> y<sup>-1</sup>であり、再湛水化による泥炭分解の抑制によって見込まれる二酸化炭素放出の削減効果に比べればはるかに小さく、削減効果を相殺するものではない。

### (2) 泥炭湿地造林技術の開発と二酸化炭素固定量の評価

【造林試験】常時湛水した泥炭土壌に造林可能な樹種を検索するため、湿地に分布する樹木を中心に11樹種の苗を湿地へ植栽し、その後の生残を調べた。植栽後に水位が2 m程度になり、苗木が完全に水没していた期間があったにもかかわらず、*Syzygium cinereum* や *S. kunstreli*、*longiflorum*、*S. oblatum*、*S. polyanthum*、*Vatica pauciflora* に生残する個体があった。しかし、すべての種で半数以上の植栽木が1年以内に枯死していたので、引き続き種の検索と造林法の改良に取り組む必要がある。*Melaleuca cajuputi* の苗を安価かつ大量に供給するために、播種・育苗法の改良を試みた。培土を詰めたポットに直接播種し、そのポットを腰水状態にして管理することで、管理労力や育苗期間中の枯死のリスクを大幅に軽減することができた。

【バイオマス生産量推定】温室効果ガス削減ポテンシャル推定、木質バイオマス供給量推定のために、*Melaleuca cajuputi* 人工林のバイオマス成長量の測定を継続して行った。また、サンプル木を増やし、相対成長式の精度を上げた。これにより14年生の *Melaleuca cajuputi* 林の、細根を除いたバイオマスが190 Mg ha<sup>-1</sup>程度であり、平均成長量が14 Mg ha<sup>-1</sup> y<sup>-1</sup>程度あることがわかった。また、伐倒したサンプル木の幹の樹皮と皮なし材についても相対成長式を作成し、樹皮は12 Mg ha<sup>-1</sup>、皮なし材は121 Mg ha<sup>-1</sup>、201 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>の蓄積があることが推定できた。



図3.可とう性木質材料

### (3) 湿地人工林の木質バイオマスの有効利用技術の開発

タイ国ナコンシタマラート県泥炭林で採取した *Melaleuca cajuputi* の物理的および化学的特性を評価し、材質に適した木材乾燥および木質材料の開発に取り組んだ。採取した *Melaleuca cajuputi* の各種強度(曲げ・縦圧縮・せん断強さ、表面硬さ)は、同じ密度帯の他樹種(ナラ、カエデ等)と遜色なく、材質は均質で塗装性、接着性は良好であった。一方で、乾燥過程において生長/乾燥応力に起因する割裂が多く発生した。割裂抑制法として、乾燥前の木材に予め微小な亀裂や圧縮変形を付与したところ、乾燥時の応力集中が軽減されることで材料不

表2. *Melaleuca cajuputi* の成分

構成成分	幹	樹皮
αセルロース	47%	37%
ホロセルロース	80%	61%
Klasonリグニン	26%	34%
抽出成分	幹	樹皮
EtOH/Hexane抽出	0.3%	3.7%

具合が大幅に軽減され、平滑なレース単板を得ることに成功した。新規木質材料として、家具や建材、制震・免震材料用途として図 3 に示すような屈曲性や捻回性に富んだ積層材料を開発した。表 2 に *Melaleuca cajuputi* の幹および樹皮の構成成分を示す。他樹種と同様に、樹皮のリグニンや抽出成分の含有率が高かった。*Melaleuca cajuputi* は嵩高い樹皮が豊富であるため、木炭化や緩衝材への利用を検討中である。

#### (4) 泥炭土壌での木質バイオマス生産プロジェクトのライフサイクルインベントリ

熱帯泥炭土壌開発地の木質バイオマス生産プロジェクトの温室効果ガス収支、エネルギー収支に関するライフサイクルインベントリと取得できる炭素クレジットや経済性の評価を行い、プロジェクトの持続性を確認することが目的である。本年度は、抽出されたインベントリの項目に関して、解析に必要なデータの入手を行った。平成 22 年度にこれらの結果を取りまとめ、実証試験地規模のプロジェクトの設計と評価を試行する計画である。

## § 4. 成果発表等

### (4-1) 原著論文発表

#### ● 論文詳細情報

1. 足立幸司, 栗本康司, 山内秀文, 井上雅文(2010) 圧密木炭の形状変化とその制御. 木材学会誌, 受理.
2. Adachi K., Takehira K., Soma T., Inoue M.(2010) “Study of mechanical property in wooden bolt-nut connector I: Effect of thread angle on thread strength.” *Journal of Wood Science*, accepted.
3. Iiyama I., Osawa K. (2010) “Surface O<sub>2</sub> influx related to soil O<sub>2</sub> profiles in a drained tropical peatland.” *Soil Science and Plant Nutrition*, accepted.