

「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

H23 年度
実績報告

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. 研究実施体制

(1) グループ1

① 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)

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 主たる共同研究者: 大澤 和敏 (宇都宮大学農学部、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

§ 2. 研究実施内容

(文中に番号がある場合は(3-1)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運転】湛水深の変動に対応可能なフローティングチャンバーシステムによる土壌呼吸量の長期モニタリングを継続実施した。平成 23 年度は降水量が平年より著しく多く、年間の大部分が湛水状態にあった。その結果、地下水位の低下に伴う泥炭表面からの土壌呼吸の増大をとらえることができなかったが、再湛水した際の土壌呼吸量の試算のために本観測値が活用できる。また、日本国内からインターネット通信によって観測データ

や観測地写真を確認できるようにした。成果の一般化に向けて、インドネシア国リアウ州(スマトラ島)の泥炭地で土壌呼吸量長期モニタリングを開始するため、数日間の試験測定を行った。

【土壌呼吸モデルの構築】土壌呼吸量長期観測データから、地温、地下水位、土壌水分量に対する土壌呼吸速度の応答を解析し、得られた結果を基に土壌呼吸モデルのプロトタイプを構築した。土壌呼吸速度は、湛水状態では小さい値を示し、地下水位の低下に伴い増加し、いったん頭打ちとなったあと、減少する傾向を示した。地下水位低下に伴う土壌呼吸速度の減少部分は、土壌の異常乾燥が原因だと考えられた。地温および地下水位と土壌呼吸速度の関係の結果を基に、2つのロジスティック曲線を組み合わせた土壌呼吸モデルを構築した。今後、土壌の乾燥密度や有機物成分等の因子もモデルに組み込んだ形でモデルを改良し、更なる検証を重ねる。

【東南アジア各地域における泥炭のポテンシャル分解速度】水位や土壌温度などの環境要因に加えて、泥炭土壌の性状も土壌呼吸に影響を与える。酸素拡散と水分が律速要因とならない条件における泥炭土壌の分解速度(ポテンシャル分解速度)を測定したところ、地域や土壌深度による違いが確認され、泥炭試料のホロセルロース含量と相関があることが示された。

【泥炭土壌中のガスの挙動特性】平成22年度までに、タイ国の泥炭地のオイルパーム園で土壌中 O_2 濃度分布を実測し、地表から供給される O_2 が到達しきらない不飽和嫌気層の存在を示唆する結果を得た(Iiyama and Osawa, 2010)。平成23年度では、現地泥炭土壌の通気性・保水性をパラメータとした土壌中ガス発生・輸送を、泥炭地表面からの CO_2 放出挙動への地下水位の影響を数値解析により予測し、熱帯泥炭土壌の保水性の高さに起因する通気性の低さが、不飽和嫌気層の発達および地表面 CO_2 放出量の抑制につながるシナリオの存在可能性を確認した(原著論文1)。

(2) 泥炭湿地造林技術の開発と二酸化炭素固定量の評価

【メラルーカの育苗システム】これまで泥炭湿地にメラルーカを植栽する際には植栽2、3ヶ月前に山引きした(森林内に自然に発生した稚樹を掘りとりポットに詰めた)苗が用いられてきた。そのため、得苗率が低く、山引きから期間が経過するほどさらに得苗率が低下してしまい、育苗法の改善が困難な状況であった。泥炭湿地植栽に適したメラルーカの育苗法を開発するため、まず実生苗生産を行い、さらに生産した実生苗について樹齢、ポットサイズの異なるメラルーカの苗を用いて泥炭湿地での植栽試験を行った。その結果、苗のサイズが大きいほど植栽後の生残率が高く、12ヶ月生苗と4ヶ月生苗の生残率が同程度であったことから、樹齢より、苗サイズが植栽後の生残に大きく寄与することがわかった。また、12ヶ月生苗と4ヶ月生苗の樹高が同等であることから、無施肥下で植替えをしない場合は育苗では4ヶ月ですでに成長が頭打ちとなることがわかった。これらのことから、3、4ヶ月置きに植替えを行うと大きい苗を短期間で育成できると考えられ、コストの面から、雨季の湛水強度によって使用するポットサイズを決定するのが望ましい。本研究で構築した

メラルーカの育苗システムは、播種から植栽直前まで湛水状態で管理するもので、これにより、従来行われてきた山引きした苗を用いる育苗法に比べて、苗の大量生産、高得苗率、苗畑管理の簡易化を達成できた。

【造林試験】植栽時期の検討と水位環境による成長量の違いを検討するため、600本の苗木を乾季の終わりに泥炭湿地に植栽し、各植栽木がさらされている湛水深を測定した。今後、植栽木の生残、成長を追跡する。

【バイオマス生産量推定】メラルーカの相対成長式の精度の向上ため、サンプル木を逐次増やし、推定精度の向上を図った。その結果、葉と枝の乾燥重量についてはそれぞれ胸高直径、(胸高直径)²・樹高から $R^2=0.865$ 、 0.800 の精度で推定式が得られた(サンプル木26本)。また、樹皮を剥いだ幹(以下、皮無幹)と樹皮の乾燥重量は(胸高直径)²・樹高からそれぞれ $R^2=0.916$ 、 0.887 (サンプル木14本)、根の乾燥重量は胸高直径から $R^2=0.849$ 、皮無幹材積は(胸高直径)²・樹高から $R^2=0.907$ (サンプル木16本)の精度で推定式が得られた。メラルーカ人工林に設けたプロットで毎年測定してきた全個体の胸高直径と樹高の実測値と、得られた相対成長式を基に1995年に植栽されたメラルーカ林の16年生までのバイオマス量を推定したところ、バイオマス増加量が13年生の段階で鈍化し始め、15年生の段階で頭打ちとなっていた。15年生林のバイオマス量と皮無幹材積はそれぞれ 168 t ha^{-1} 、 $165 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ であった。

(3) 湿地人工林の木質バイオマスの有効利用技術の開発

【メラルーカ材からの木質系新素材の創製】メラルーカ樹皮の薄層構造を保持したまま小片化するために、小片の寸法形状の均質性と歩留まりの高いシュレツダーミル加工を新たに考案した。小片化した樹皮とオレフィン系プラスチックを原料とした樹皮-プラスチック複合材を試作し、高い寸法安定性が発現することを確認した。さらに、タイ国にて土中埋設試験をした結果、従来の木片-プラスチック複合材よりも、樹皮-プラスチック複合材の耐久性が高いことを明らかにした。現在、木材とプラスチックの混合方法の最適化、混合条件と材料物性との関係について検討している。また、メラルーカ葉精油の高い生物阻害活性を利用した木質系新素材の開発を進めている。

【泥炭湿地林材の高度利用化技術の開発】前年度に引き続いて造林候補樹種の材質を評価した。動的粘弾性測定の結果、*Syzigium longiflorum*、*Ploiarium alternifolium*、*Fagraea fragrans*は高密度かつ比ヤング率が高く、音響材料としての有用性が見出された。中でも、*Ploiarium alternifolium*については、 E/g が極めて高く、 $\tan \delta$ も低い傾向がある。また、音響特性に優れる樹種は、ローズウッドに代表されるように抽出成分に特徴がある場合も多く、引き続き、材質解明の取り組みを継続する。高付加価値化の実用展開として、フローリング材に供する表面加工技術、屋根材やデッキ材に供する高強度化・高耐久化技術、楽器用材に供する乾燥技術の検討を進め、表面加工技術に関しては高速摩擦加工による撥水作用を、高強度化技術に関しては薄板の部分補強による

強度信頼性の向上効果を見出した。

(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

【東南アジアにおける熱帯泥炭湿地分布の推定】熱帯泥炭湿地域を含む東南アジア全域における、2000年以降の土地利用変化を追跡するための時系列衛星RS画像データを用いた計算アルゴリズムを開発した。開発したアルゴリズムで全期間の土地利用・土地被覆図を作成し、その分類精度を評価した。使用した衛星RSデータの空間解像を考えると、概ね実用に耐える分類精度が得られることを現地データとの比較により検証した(原著論文2)。今後このアルゴリズムによる解析結果を泥炭湿地域に限定し、森林、二次林、開発地等の2000年以降の10年間の変容を把握する。

【メタン放出量の評価】土壌表面からのメタン放出は、湛水深による変動がみられるものの、湛水状態でも $0.2 \text{ tC(CO}_2\text{) ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ を超えるメタン放出はほとんど確認されなかった。非湛水状態においても湛水状態と同程度あるいはそれ以上のメタン放出が確認された。土壌呼吸量長期モニタリング地点においても同様の結果であった。更なるデータの蓄積が必要な段階ではあるが、再湛水化によるメタン放出の増大はほとんどないと思われる。メラルーカの樹体を介した泥炭土壌中のメタンの放出に関しては、湛水面近くの幹表面からメタンの放出が確認された。幹の部位による違いや時間変動、水位条件による変動などに関する解析が必要な段階ではあるが、得られた放出速度と林分あたりの推定幹表面積から林分あたりの放出速度を試算すると $0.39 \text{ tC(CO}_2\text{) ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ となり、温室効果ガス排出削減効果に与える影響は小さい。切断面法により測定したメタン放出速度は個体全体を覆ったチャンバーで測定した放出速度と相関があり、切断面法の適用可能性が示された。今後、データを蓄積して切断面法の妥当性を検証した上で、同法により成木からのメタン放出速度の推定をする。変動要因も考慮しながらメラルーカを介したメタンの放出が再湛水による二酸化炭素削減効果に与える影響を評価する。

【炭素収支の評価と排出削減ポテンシャルの推定】昨年度、メラルーカ人工林とベースラインとしてのオイルパーム園の炭素収支を推定し、排水された熱帯泥炭湿地を再湛水してメラルーカを植栽して木質バイオマスを利用するシステムの CO_2 排出量とコストを200haの事業規模で試算した。今年度はこれらの推定値の精度の向上を図った。

§ 3. 成果発表等

(3-1) 原著論文発表

●論文詳細情報

1. Iiyama I., Osawa K., Nagata O., “Soil O₂ profile affected by gas diffusivity and water retention in a drained peat layer”, *Soils and Foundations*, vol. 52, No.1, 49-58, 2012 (DOI: 10.1016/j.sandf.2012.01.005)
2. Setiawan, Y., Yoshino, K., William D. Philpot, D. W., “Characterizing temporal vegetation dynamics of land use in regional scale of Java Island, Indonesia”, *Journal of Land Use Science*, iFirst, 1-30, 2011 (DOI: 10.1080/1747423X.2011.605178)
3. 森拓郎、足立幸司、梅村研二、山内秀文、矢野浩之, 「集成材の補強・補修用木質テープの開発」, *材料*, 61, 4, 347-352, 2012