

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 22 年度は、基本的にタイの現地フィールドでの観測、測定と実験室での計測、実験、解析を継続した。タイの現地フィールドでの土壌呼吸量モニタリングを継続し、実験室において土中のガス挙動特性の解析と泥炭分解速度の環境応答を調べた。これらにより泥炭湿地からの CO₂ の放出予測モデルを構築し、実証試験地でのモニタリングを行い、抑制効果を実証する。

メラルーカの育苗方法の改善のための植栽試験を行い、メラルーカ人工林のバイオマス成長量の測定を継続して行った。今後、バイオマス生産量と CO₂ 固定量のデータを蓄積して評価を精緻化し、実証試験地においてその評価を検証する。

メラルーカ材の材質、加工特性について検討し、用途の開発を進めた。また、メラルーカ以外の泥炭湿地林材の材料特性についても検討を開始した。今後は生産されたバイオマスの総合的な利用システムを構築する。

これまで得られたデータから、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 CO₂ 排出量とコストを 200 ha の事業規模で試算した。今後、CO₂ 放出抑制の予測、CO₂ 固定効果の評価、利用技術の開発を進めながら、最終的に CO₂ 収支とコストの面で最適な木質バイオマス利用システムの提示をする。

§2. 研究実施体制

(1)「東京大学」グループ

① 研究分担グループ長: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)「宇都宮大学」グループ

① 研究分担グループ長: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

§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運転】実証試験地における CO₂ の長期モニタリングのために設計した、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を、昨年度設置したオイルパーム畑の脇の排水路の湛水面にも設置し、試験運転を開始した。湛水面からの CO₂ フラックスはオイルパーム畑に比べて小さく、ほぼ安定した値を示している。オイルパーム畑の泥炭表面からの CO₂ フラックスは、水位と温度の変動に応じた変動が捉えられているが、これらの環境要因では説明できない挙動もあり、今後変動要因の解析を進める。

【泥炭土壌カラムによる分解速度のシミュレーション】泥炭土壌カラムを用いて、現地の地温の鉛直分布の日変動を再現して地下水位に対する泥炭分解速度の応答を調べた。地下水位に対する応答は変温条件下でも恒温条件下と同様であったことから、泥炭湿地からの CO₂ 放出の予測モデルを構築する際には温度パラメータとしては日あるいは月の平均温度を与えればよいと考えられる。

【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】泥炭試料を厚さ約 2 mm に敷き詰めた泥炭薄層を用いてガス拡散特性の影響を排除した条件での泥炭分解速度(泥炭ポテンシャル分解速度)を測定した。インドネシア共和国リアウ州の湿地から採取した泥炭試料を測定に供した。含水比 150-325%の水分条件で最大の分解速度が得られることが 30°C 条件下の測定でわかった。今後、ポテンシャル分解速度の温度応答性を東南アジア各地の湿地の泥炭試料を用いて比較し、東南アジアの泥炭湿地からの CO₂ 放出の予測モデル構築のための基礎データを得る。

【泥炭土壌中のガスの挙動特性】泥炭表面からの CO₂ の放出を規定する要因である泥炭土壌中のガスの挙動特性を解析したところ、地下水位がある程度低くなると、地下水位よりも浅い層で酸素が枯渇してしまう特性が認められ、泥炭表層からの CO₂ の放出に対する地下水位の影響が弱まる可能性が示唆された。

今後、現地でのモニタリングと実験室での環境応答解析を通じて泥炭湿地からの CO₂ の放出予測モデルを構築し、再湛水化による放出抑制効果を評価する。実証試験地を設置して CO₂ 放出のモニタリングを行い、抑制効果を実証する。

(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】メラルーカの育苗方法の最適化のための基礎データを得るために、苗齢の異なるメラルーカ苗を植栽した。今後、植栽木の生残、成長を比較し、植栽に適した苗齢を検討する。

【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、メラルーカ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、15年で 140 t ha⁻¹の地上部バイオマスと 35 t ha⁻¹の地

下部バイオマスが得られ、 $170 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ の幹材積を産出することができることがわかった。今後、バイオマス生産量と CO_2 固定量のデータを蓄積して評価を精緻化し、実証試験地においてその評価を検証する。

(3) 湿地人工林の木質バイオマスの有効利用技術の開発

【メラルーカ材の加工性】メラルーカ材は、レース単板・ラミナの切削性および乾燥性には問題がなく、端材や小径材からも変色の少ない良質な木片を製造することができた。それらを原料とした合板、集成板、パーティクルボードに関しては、同密度の汎用広葉樹材と同等の強度性能が認められ、原料供給が安定確保されれば有効な資源と成りうることが明らかとなった。今後は、メラルーカ材の野外暴露性能や海洋暴露性等の生物劣化抵抗に関する試験を進め、樹種特有の利用法を探究する。

【メラルーカ以外の湿地林材の特性】メラルーカ以外の泥炭湿地林材も収縮率や強度、硬さなどの物理的性質は汎用的な広葉樹と同様に密度との相関性が高く、同様の利用が可能である。一方、密度が 0.1 g/cm^3 台と低い Kabui は緩衝材や断熱材用途に適しており、密度が 0.9 g/cm^3 前後の Waa hin や Chamuang kwaang は高級家具や楽器用材などへの利用可能性がある。今後、熱伝導性や動的粘弾性の評価、熱処理による材色制御技術を検討していく。

【メラルーカの総合的利用】メラルーカの葉のエタノール抽出分には、抗菌性試験から褐色腐朽菌・白色腐朽菌に対して共に約 80%の抗菌指数が認められた。この葉の抽出成分の腐朽菌成長阻害効果を活かしたメラルーカ材の機能性材料の開発を検討し、バイオマスの総合的利用システムの構築を進める。

(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

今後の更なるデータの蓄積が必要な段階ではあるが、これまでの現場での CO_2 放出速度の断続的な測定や実験室での泥炭土壌カラムを用いた測定、さらに既往の研究により、大まかな予測としては、排水された熱帯泥炭湿地からは $20 \text{ tC ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ の CO_2 の放出が見込まれるのに対して、湛水条件では $2.5 \text{ tC ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ 程度に抑制され、正味 $17.5 \text{ tC ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ の放出抑制が期待される。再湛水化によって生じうるメタンの放出も現場での測定や既往の研究により CO_2 の放出抑制を相殺するほどには大きくない。

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 200 ha の事業規模で試算した。排出削減効果は森林造成に伴う CO_2 排出に比べて極めて大きく、またコストの面でも実行可能な排出抑制策である(表 1)。森林造成の工程に比べて加工工程での CO_2 排出は大きいものの、1 ton (=1833 kg CO_2 当量)のメラルーカを利用するのに排出する CO_2 は 187 kg CO_2 程度である(表 2)。集成板に比べてパーティクルボードの製造は CO_2 排出量が多いため、なるべく集成板としての利用が増えるようにシステムを改善していくことにより、システムの CO_2 排出量をより小さくすることができる。

今後、 CO_2 放出抑制の予測、 CO_2 固定効果の評価、利用技術の開発を進めながら、最終的に

CO₂収支とコストの面で最適な木質バイオマス利用システムの提示をする。

表 1 200 ha の事業モデルの CO₂ 固定量と固定コスト。

CO₂ 固定(排出削減)量でバイオマス生産コスト(表 2)を除いて固定コストを算出した。第一期(15 年間)は森林造成が完了するまでで、利用はしない。第二期(16 年目以降)は造成された森林を持続的に利用する(毎年一部を伐り、伐った面積を造林する)場合。

	第一期(15 年目まで)		第二期(16 年目以降)	
	CO ₂ 固定量 (tC ha ⁻¹ y ⁻¹)	固定コスト (円/tCO ₂)	CO ₂ 固定量 (tC ha ⁻¹ y ⁻¹)	固定コスト (円/tCO ₂)
総計	22.15	119	17.50	164
内訳				
泥炭保全	17.50		17.50	
造林	4.65			

表 2 200ha の事業モデルの CO₂ 排出量とコスト。

200 ha のうち 50 ha を除地として 150 ha を毎年 10 ha ずつ 15 年かけて植えると想定。10,000 本 ha⁻¹の密度で植栽し、15 年後の伐採時に 170 m³の幹材積(139 ton の幹・枝・葉)があると想定。第一期(15 年間)は森林造成が完了するまでで、利用はしない。第二期(16 年目以降)は造成された森林を持続的に利用する場合。

工程		第一期(15 年目まで)		第二期(16 年目以降)	
大工程	小工程	CO ₂ 排出量 (tC ha ⁻¹ y ⁻¹)	コスト (円 ha ⁻¹ y ⁻¹)	CO ₂ 排出量 (tC ha ⁻¹ y ⁻¹)	コスト (円 ha ⁻¹ y ⁻¹)
バイオマス生産	オイルパーム伐採	0.015	1,953	-	-
	育苗	0.002	4,535	0.002	4,535
	植栽	0.007	3,145	0.007	3,145
	伐採・搬出	-	-	0.023	2,833
	総計	0.024	9,634	0.033	10,514
加工	集成板			0.023	データ未取得
	パーティクルボード			0.504	データ未取得
	精油			0.033	データ未取得
	燃焼			0.001	データ未取得
	バイオマスボイラー			-0.086	データ未取得
	総計			0.474	データ未取得
総計		0.024	9,634	0.507	10,514

§4. 成果発表等

(4-1) 原著論文発表

●論文詳細情報

1. Adachi, K., Takehira, K., Soma, T., Inoue, M., “Study of mechanical property in wooden bolt-nut connector I: Effect of thread angle on thread strength”, *Journal of Wood Science*, 56,502-506, 2010 (DOI: 10.1007/s10086-010-1120-7)
2. 足立幸司, 栗本康司, 山内秀文, 井上雅文, 「圧密木炭の形状変化とその制御」, *木材学会誌*, 56, 235-242, 2010
3. Tanaka, K., Masumori, M., Yamanoshita, T., Tange, T., “Morphological and anatomical changes of *Melaleuca cajuputi* under submergence”, *Trees*, accepted