

戦略的創造研究推進事業 CREST
研究領域「二酸化炭素排出抑制に資する革新的技
術の創出」
研究課題「熱帯泥炭の保全と造林による木質バイ
オマス生産」

研究終了報告書

研究期間 平成20年10月～平成26年3月

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)

§ 1 研究実施の概要

(1) 実施概要

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を、湛水化による泥炭の保全と湛水耐性種の造林によって吸収源に戻し、さらに、生産された木質バイオマスを利用する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を目標とした。

グループ1は、再湛水化した熱帯泥炭土壌での造林技術の開発と、造成された森林の二酸化炭素固定量・バイオマス生産量の推定、生産された木質バイオマスの利用技術の開発を主に担当した。湛水耐性樹木の *Melaleuca cajuputi* Powell (メラルーカ) の苗の生産技術と植栽技術を確認した。他の有用樹種への技術の適用の拡大を目指し、種特性や環境耐性機構の解明といった基礎研究を行いつつ、フィールドでの適用試験を行った。苗畑における湛水前処理によって植栽後の生残が改善される種があり、湛水前処理による通気組織の発達との関連性が示唆された。メラルーカによる二酸化炭素のバイオマスへの固定量は大きく、バイオマス生産林として十分に利用可能な生産性があることがわかった。メラルーカを材料とした木質バイオマスの利用技術を開発し、CO₂ 排出と収益性の面から最適な資源配分を考案した。他の湿地生樹木についても利用可能性を提示した。

グループ2は、開発・排水された泥炭土壌および再湛水化された泥炭土壌からの二酸化炭素放出量の予測モデルの構築を主に担当した。変動水位環境下における長期観測システムを構築し、フィールドでの二酸化炭素放出のモニタリングデータを蓄積し、放出速度の環境応答解析を行った。実験室での二酸化炭素放出の環境応答解析、放出速度と泥炭土壌の化学性の関係、土壌微生物群集組成の水位応答性、熱帯泥炭土壌のガス拡散特性などを解析し、放出予測モデル構築のための基礎データを得た。これらの知見をもとに水位と温度を変数とする予測モデルと構築し、モニタリングデータにより適用可能性を検証した。

チーム全体としては、それぞれのグループの成果をもとに、泥炭保全、造林からバイオマスの最適利用までのシステムの提示を目指し、実際規模 (10,000 ha) での温室効果ガス収支、経済性についての評価を行った。泥炭保全および森林造成による二酸化炭素排出削減量は極めて大きく、再湛水化によるメタン放出の増大の懸念はなく、また経済的にも実行可能な排出抑制策であることがわかった。農家レベルでの収益は、オイルパーム園の収益のエリートデータにはかなわないものの、泥炭湿地でのオイルパーム園の実際の収益と遜色がないと予想され、経済的に適用可能なシステムであることがわかった。

(2) 顕著な成果

<優れた基礎研究としての成果>

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*, 52: 49-58, 2012. (DOI: 10.1016/j.sandf.2012.01.005)

概要:

タイの熱帯泥炭湿地および北海道の亜寒帯泥炭湿地より不攪乱採取した泥炭土壌を対象として、通気性・保水性を実測した。また、泥炭土壌中のガス発生・輸送現象を、これらをパラメータとしてモデル化し、泥炭地表面からの CO₂ 放出挙動への地下水位の影響を数値解析により予測した。その結果、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 CO₂ 放出量の抑制につながる可能性を指摘した。

2. Iiyama, I, Osawa, K, Nagai, T. A seasonal behavior of surface soil moisture condition in a reclaimed tropical peatland. *Soil Science and Plant Nutrition*, 58: 543-552, 2012. (DOI: 10.1080/00380768.2012.723222)

概要:

タイのオイルパーム園における土壌水分・地下水位の長期観測データと泥炭土層の保水性・透水性に係る実測土壌物理パラメータにより土壌水分条件のモデル化を行った。その結果、観測地での土壌水分条件は極めて乾燥した条件か土壌飽和条件かのいずれかに偏り、地表近くの土壌有機物が好気分解に適した水分条件におかれる期間が極めて限られることが示唆された。

3. Setiawan, Y, Yoshino, K, Philpot, W.D. Characterizing temporal vegetation dynamics of land use in regional scale of Java Island, Indonesia. Journal of Land Use Science, 8: 1-30, 2013. (DOI: 10.1080/1747423X.2011.605178)

概要:

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、全期間の土地利用・土地被覆図を作成し、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。

< 科学技術イノベーションに大きく寄与する成果 >

1. 多層積層型の木質複合材料, 林隆三, 児嶋美穂, 足立幸司, 平成 25 年 9 月 6 日, 特願 2013-185126

概要:

木質小片とポリマーシートを多層積層させて作成される新しい木質複合材料に関する発明である。従来の混練法を用いることなく、シート状のポリマーに木質小片、特に樹皮小片を散布し、これを多層積層することによって、木質複合材料を得られることを見出した。この手法は、原材料の形状などにこだわることなく、従来の混練方法よりも簡便で低コストな手法で木質複合材料を提供することができる。さらに、本発明の木質複合材料は、成形温度が、従来の混練方法よりも低く、木材の熱分解や抽出成分の揮発も少ないため、木材含有の成分を維持することができる。

§ 2. 研究構想

(1) 当初の研究構想

本研究は、これまでの研究成果を基盤とし、1.タイ国の泥炭土壌開発地における実証試験を通じ、泥炭保全による温暖化ガス排出削減量を算出する各種のモデルの適合性を検証し普遍性の高いものに改善すること、2.変動のある広範な水位条件での造林が可能になるように泥炭土壌での造林技術を改善すること、3.生態系の炭素収支を明らかにし排出削減量の現実的で確実な値を得ること、4.コストや投入二酸化炭素量、投入エネルギー量の現実的な値を得ること、さらに 5.生産される木質バイオマスの性状に適合した資源の有効利用技術を開発することを中心課題とする。これらの成果を統合し、地域社会の受容と持続性が保証された熱帯泥炭土壌での木質バイオマス生産のトータルシステムを提示し、その意義の科学的な説明と技術の適用範囲の拡大により、普遍性を高め温室効果ガス排出削減に貢献することが目標であり、社会受容性と実現可能性の高い熱帯泥炭土壌の持続的な利用システムの提案という他に類例のない独創性の高い提案となる。

上記の目標を達成するため、以下の4項目を柱に研究を推進する。

①泥炭保全技術の開発と二酸化炭素放出量の評価

泥炭土壌のベースラインの土地利用(オイルパーム園が想定される)および木質バイオマス生産プロジェクトによる土壌からの二酸化炭素放出量を推定することが、二酸化炭素放出抑制効果を明らかにするために不可欠である。本研究項目では、長期観測システムによる土壌からの二酸化炭素放出(土壌呼吸)のモニタリングと制御環境下における土壌からの二酸化炭素放出の環境応答解析によって変動水位環境下における熱帯泥炭土壌からの二酸化炭素放出の予測モデルを構築することを目的とする。

②泥炭湿地造林技術の開発と二酸化炭素固定量の評価

排水された熱帯泥炭土壌を再湛水して樹木を植栽して木質バイオマスを利用するシステムを提示するにあたり、提示するシステムを社会受容性と実現可能性の高いものとするためには、利用価値の高い樹種を用いた効率的な造林と精度の高い樹木の成長量推定が不可欠である。本研究項目では、造林技術の確立のために、湛水状態に維持された泥炭湿地に造林可能な有用樹種を探し出し、湿地林再生のための造林技術を開発するとともに、二酸化炭素固定量およびバイオマス量の推定のために、再生した湿地林生態系の炭素収支と樹木の部位別利用可能量を明らかにし、これにより湿地林再生による二酸化炭素排出削減ポテンシャルの推定とバイオマス利用システムの最適化のための基礎データを得ることを目的とする。

③湿地人工林の木質バイオマスの有効利用技術の開発

熱帯泥炭土壌での木質バイオマス生産プロジェクトを持続可能な取り組みとするためには、「泥炭保全～造林～木質バイオマス利用」のシステムが、環境負荷的にも経済的にもポジティブであることが不可欠である。なかでも、商品価値に優れ、安定供給可能な林産物を開発することが重要である。本研究項目では、これまでに湿地造林技術が確立し、ある程度のバイオマス生産が期待できるメラルーカと、未利用の熱帯泥炭湿地林材を材料とし、それらの材質特性の活用や新たな機能性の付与といった高価格戦略に適合した新規木製品および利用技術を開発することを目的とする。

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

本研究項目では、研究項目(1)・(2)で得られたデータをもとに、ベースラインのオイルパーム園とプロジェクトにより造成したバイオマス生産林のそれぞれの生態系炭素収支を推定し、プロジェクトによる温室効果ガス削減ポテンシャルを明らかにすること、および研究項目(3)で開発された木質バイオマス利用技術より、カスケード型のバイオマス利用システムを設計し、温室効果ガス収支、エネルギー収支、経済性の面で最適なシステムを提示することを目的とする。

(2)新たに追加・修正など変更した研究構想

①中間評価で受けた指摘や助言、それを踏まえて対応した結果について

中間評価において、当初予定していた実証試験地の設置が現地の異常気象や政治情勢等により遅れたことに対する懸念が表せられ、二酸化炭素放出観測網の強化が要請された。これに対しては、変動水位環境下における二酸化炭素放出の連続長期モニタリングによりデータを蓄積することによって実証試験地で得られるモニタリングデータを補う形でデータの蓄積が進み、水位・温度等への応答性の解析を進めることができた。また、追加的にインドネシア国リアウ州でも長期モニタリングを開始し、二酸化炭素放出の環境応答解析を進めた。当初予定していた実証試験地は、タイ国チャイパッター基金のメラルーカプロジェクトサイトの開設が遅れたため、一部にメラルーカを植栽したばかりであり、ここでの実証データの蓄積は十分ではないが、二酸化炭素放出フラックスの環境応答に関しては十分なデータを蓄積することができたと考えている。実証試験地で得られる予定であった泥炭沈降速度の水位応答性と二酸化炭素放出フラックスとの整合性に関する解析に関しては、プロジェクト開始以前に得た泥炭沈降モニタリングデータを活用し、その水位応答性と二酸化炭素フラックスとの整合性の解析を進め、二酸化炭素フラックスによる泥炭分解モニタリングの妥当性を検証することができた。

二酸化炭素放出の水位応答性の機構に関して、中間評価で、物理的な解析に加えて土壤化学的、また微生物生態学的なアプローチによる基礎科学的アプローチの強化が求められた。土壤化学的な側面に関しては、泥炭土壌の分解特性の変動要因としてホロセルロース含量に着目して解析をし、知見を得た。微生物生態学的側面に関しては、平成 24 年度から項目 1 のサブテーマとして「熱帯泥炭土壌地域の開発に伴う土壤微生物群集構造の変化」を新たに設け、知見を得た。

②上記以外で生まれた新たな展開について

項目 3 の木質バイオマスの有効利用に関しては、サブテーマ「バイオマス有効利用システムの設計」が当初見込みより早く完了したため、追加的に「バイオマス有効利用システムの実証試験」をサブテーマとして設定し、知見を得た。

§ 3 研究実施体制

(1) 研究チームの体制について

①グループ1

研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
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	H20. 10～
井上 雅文	東京大学アジア生物資源 環境研究センター	准教授	H20. 10～
則定 真利子	東京大学アジア生物資源 環境研究センター	特任講師	H20. 10～H23. 6
則定 真利子	東京大学アジア生物資源 環境研究センター	助教	H23. 7～
山ノ下 卓	東京大学アジア生物資源 環境研究センター	特任講師	H20. 10～
足立 幸司	東京大学アジア生物資源 環境研究センター	特任助教	H20. 10～H24. 3
足立 幸司	秋田県立大学木材高度 加工研究所	准教授	H24. 4～
蒲池 健	東京大学アジア生物資源 環境研究センター	特任助教	H21. 4～H24. 3
大前 芳美	東京大学大学院 農学生命科学研究科	博士課程	H21. 4～H22. 3
大前 芳美	東京大学アジア生物資源 環境研究センター	研究員	H22. 4～H22. 5
長藤 慎介	東京大学大学院 農学生命科学研究科	修士課程	H21. 4～H22. 3
横井 真美	東京大学大学院 農学生命科学研究科	修士課程	H21. 4～H22. 3
川原 康朋	東京大学大学院 農学生命科学研究科	修士課程	H21. 4～H22. 3
北村 健	東京大学大学院 農学生命科学研究科	修士課程	H21. 4～H22. 3
影山 溪	東京大学大学院 農学生命科学研究科	修士課程	H22. 4～H23. 3
大野 洋平	東京大学大学院 農学生命科学研究科	修士課程	H22. 4～H24. 3
腰塚 実穂	東京大学大学院 農学生命科学研究科	博士課程	H23. 4～
林 隆三	東京大学大学院 農学生命科学研究科	修士課程	H23. 4～H25. 3
嘉山 友理子	東京大学大学院 農学生命科学研究科	修士課程	H23. 4～H25. 3
児嶋 美穂	東京大学アジア生物資源 環境研究センター	特任助教	H24. 4～
古川原 聡	東京大学アジア生物資源 環境研究センター	特任助教	H25. 4～

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

研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
大澤 和敏	宇都宮大学農学部	准教授	H20. 10～
石田 朋靖	宇都宮大学	理事・教授 (農学部)	H20. 10～
長野 敏英	宇都宮大学農学部	特任教授	H20. 10～
飯山 一平	宇都宮大学農学部	准教授	H21. 7～
羽生 直人	宇都宮大学農学部	准教授	H20. 10～H23. 3
羽生 直人	宇都宮大学農学部	教授	H23. 4～
宗像 勇介	宇都宮大学大学院 農学研究科	修士課程	H21. 4～H23. 3
池田 廉	宇都宮大学大学院 農学研究科	修士課程	H21. 4～H24. 3
片桐 大蔵	宇都宮大学大学院 農学研究科	修士課程	H21. 4～H22. 3
山本 晴貴	宇都宮大学大学院 農学研究科	修士課程	H21. 4～H22. 3
木村 賢	宇都宮大学大学院 農学研究科	修士課程	H23. 4～H25. 3
永井 竜也	宇都宮大学大学院 農学研究科	修士課程	H23. 4～H25. 3
工藤 将志	宇都宮大学大学院 農学研究科	修士課程	H24. 4～
鈴木 優輔	宇都宮大学大学院 農学研究科	修士課程	H24. 4～
吉野 邦彦	筑波大学大学院 システム情報工学研究科	准教授	H21. 4～H22. 3
吉野 邦彦	筑波大学大学院 システム情報工学研究科	教授	H22. 4～
藪本 浩平	筑波大学大学院 生命環境科学研究科	修士課程	H21. 4～H22. 3
石井 寿樹	筑波大学大学院 生命環境科学研究科	修士課程	H21. 4～H22. 3
才木 祥史	筑波大学大学院 生命環境科学研究科	修士課程	H21. 4～H22. 3

ユディ セチア ワン	筑波大学大学院 生命環境科学研究科	修士課程	H21. 4～H22. 3
ユディ セチア ワン	筑波大学大学院 生命環境科学研究科	博士課程	H22. 10～
酒井 一人	琉球大学農学部	教授	H21. 4～
仲村渠 将	琉球大学農学部	助教	H21. 7～H24. 12
仲村渠 将	琉球大学農学部	准教授	H25. 1～
小野寺 あずさ	琉球大学大学院 農学研究科	修士課程	H21. 4～H22. 3
矢島 民子	琉球大学大学院 農学研究科	修士課程	H24. 4～H25. 3
吉田 誠	東京農工大学大学院 農学研究院	准教授	H24. 4～

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) 国内外の研究者や産業界等との連携によるネットワーク形成の状況について

タイ国においては、試験地の設置や管理の面でチャイパッタナー基金のピスット・ビジュアルソン氏の全面的な協力を得られ、研究を進めることができた。インドネシア国においてもボゴール農科大学のブディ・インドゥラ・セティアワン氏の強力な支援を得て、試験地の設置、管理を行うことができた。本プロジェクトにより、泥炭湿地関連の研究における両国での研究協力体制の強化が図られ、今後の研究推進のための土台が強固なものとなった。

§ 4 研究実施内容及び成果

研究項目1の「泥炭保全技術の開発と二酸化炭素放出量の評価」はグループ2が担当し、研究項目2の「泥炭湿地造林技術の開発と二酸化炭素固定量の評価」はグループ1が担当しているが、研究項目3の「湿地人工林の木質バイオマスの有効利用技術の開発」および研究項目4の「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」はグループ1、2が共同で実施している。このため、研究グループ毎ではなく、研究項目毎に研究実施内容を記載する。

4.1 泥炭保全技術の開発と二酸化炭素放出量の評価(グループ2)

泥炭地における土壌からの CO_2 放出を評価するために、タイ国およびインドネシア国においてモニタリングシステムを構築し、 CO_2 放出速度および CO_2 放出速度に影響を与える地温、水位、土壌水分等の計測を実施した。また、モニタリングの結果から得られた知見をもとに、水位変動に対する CO_2 放出に着目した泥炭土壌カラム実験、泥炭分解速度の水分依存性や基質依存性に着目したポテンシャル分解速度実験、そして泥炭地の微生物に着目した土壌微生物群集構造解析を実施した。二酸化炭素放出モデルの構築については、まず、土中のガス拡散を考慮した物理的な CO_2 放出モデルの構築を行い、 CO_2 放出速度の水位依存性や表層土壌の水分と水位の関係性について検討した。次に、物理的な CO_2 放出モデルは対象土壌のガス拡散係数や水分特性曲線等の多くのパラメータが必要となることから、地温や水位といった比較的簡易に計測または推定できる変数のみを用いた CO_2 放出モデルの構築を行った。

【実証試験地実施・泥炭消失モニタリング】

タイ国ナコンシタマラート県の約 200 ha のタイ王室チャイパッター基金メラルーカプロジェクトサイトに、水位レベルや土壌条件等が異なる試験区を設定し、環境モニタリング、泥炭消失量のモニタリング、土壌呼吸測定を行う予定であったが、メラルーカプロジェクトの開始が遅れているため試験区の設定が実現できなかった。代替策として、モニタリングについては変動水位環境下における二酸化炭素放出速度の長期モニタリングシステムを開発し、これにより二酸化炭素放出速度の環境応答性を解析することとした。

【環境モニタリング・土壌呼吸モニタリング】

変動水位環境における土壌呼吸速度の挙動を把握し、環境応答機構をふまえた CO_2 放出モデルを構築するために、フローティングチャンバーを用いた土壌呼吸の長期連続モニタリングシステムを構築した(図 1a)。タイ国ナコンシタマラート県の泥炭湿地のオイルパーム園にモニタリングシステムを設置して土壌呼吸速度のモニタリングを 2009 年 8 月から 2013 年 12 月まで実施した。また、温度や水位、土壌水分などの環境因子を同時に測定した。さらに、データロガーに通信用モデムを接続し、遠隔地からデータの回収や制御プログラムの変更が可能なシステムとした。また、モニタリングデータの代表性や汎用性を確認するため、インドネシア共和国リアウ州の泥炭地の裸地において、同様のシステムを用いて土壌呼吸速度のモニタリングを 2012 年 7 月から 2013 年 3 月まで実施した。なお、このサイトでは、湛水が発生しない場所にあるため、フローティングチャンバーではない自動開閉式チャンバーを用いたシステムとした

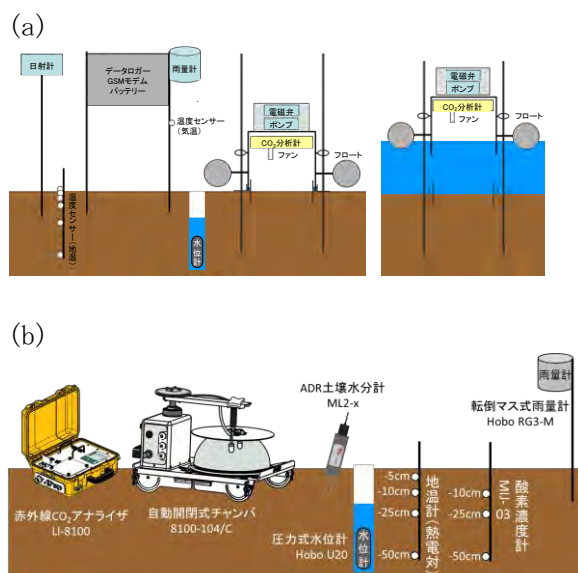


図 1. 土壌呼吸モニタリングの概要. (a)タイ国ナコンシタマラート県の泥炭湿地のオイルパーム園におけるシステム. 左:非湛水時、右:湛水時. (b)インドネシア共和国リアウ州の泥炭地の裸地におけるシステム.

(図 1b)。タイにおけるモニタリングでは、CO₂ 放出速度のデータ取得率は 88%と高かった(図 2a)。また、湛水と非湛水を繰り返す環境でも観測が可能であった。観測期間中の CO₂ 放出速度の平均値は 6.8 tC ha⁻¹ y⁻¹ と比較的小さかった。これは水位が-5 cm から湛水状態にあった期間が全期間の 52%を占めていたためである。一方、インドネシアにおけるモニタリングでは、CO₂ 放出速度のデータ取得率は 83%と高かった(図 2b)。観測期間中の CO₂ 放出速度の平均値は 15.0 tC ha⁻¹ y⁻¹ とタイにおける値より大きかった。これは、観測期間を通して湛水期間はなく、水位が常時-40 cm 以下と低かったためである。

土壌呼吸速度は土壌の温度や水分条件の影響を受けることが知られている。本モニタリングシステムでも、土壌温度の日変化に伴う土壌呼吸速度の日変化が観測され、水位の変動に伴う変化も観測されている(図 2)。土壌呼吸速度の水位に対する応答を解析した結果を図 3 に示す。タイでのモニタリングデータでは、湛水条件では土壌呼吸速度が 2~4 tC ha⁻¹ y⁻¹ と低い値を示し、非湛水条件では水位の低下に応じて土壌呼吸速度が増大するが、地下水位が-0.8 m 以下となる乾燥時には土壌呼吸速度が減少した。インドネシアのモニタリングデータでも、水位の低下に応じて土壌呼吸速度が増大する傾向が見られた。これらの水位の変動に伴う土壌呼吸速度の応答について詳しく調べるため、後述の泥炭土壌カラム実験を実施した。

一方で、タイにおける地下水位が-0.2~-0.1 m の間で、土壌呼吸速度の瞬間値に大きなばらつきが見られた。図 2a の CO₂ 放出速度に見られるように、日内での CO₂ 放出速度の変動が大きい場合(例えば 2012 年 4 月)、長期にわたって CO₂ 放出速度が高い時期(例えば 2013 年 4 月~7 月)や

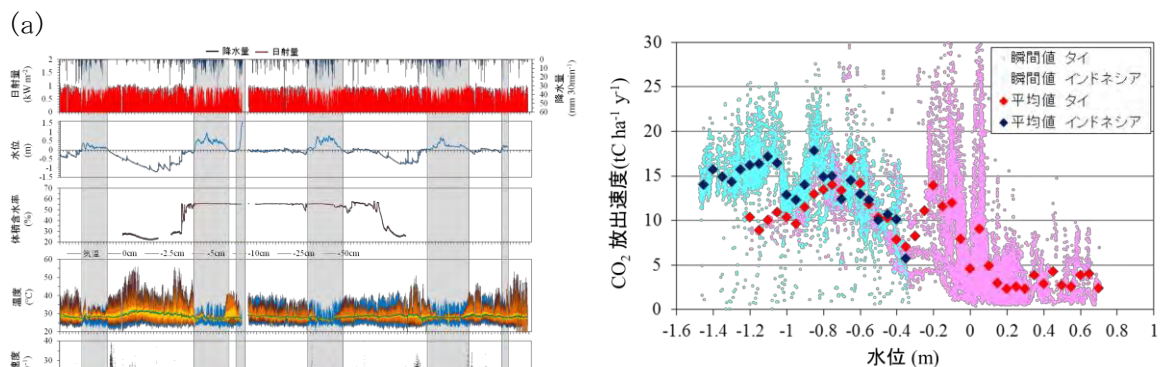


図 3. 土壌呼吸速度の水位依存性. 平均値とは、5 cm 毎の水位区分における CO₂ 放出速度の平均値を表す。

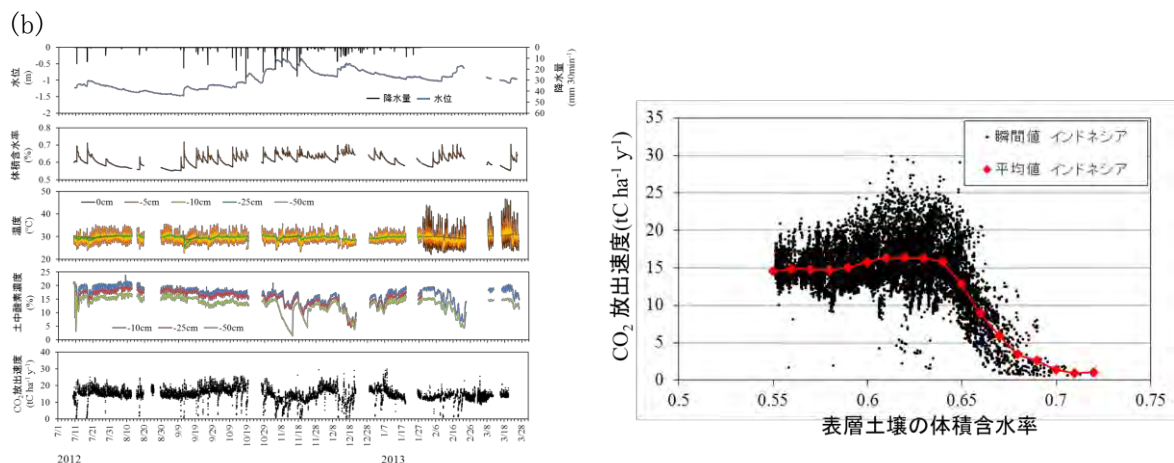


図 2. 土壌呼吸モニタリングの結果. (a)タイ国ナコンシタマラート県の泥炭湿地のオイルパーム園における結果. (b)インドネシア共和国リアウ州の泥炭地の裸地における結果. 両図の正数の水位は湛水状態であることを表す. 以降の図においても同様。

図 4. 土壌呼吸速度の土壌水分依存性. 平均値とは、0.1 毎の含水率区分における CO₂ 放出速度の平均値を表す。

低い時期(例えば 2011 年 4 月~8 月)が混在しているため、このようなばらつきとなっている。また、このばらつきは湛水状態から非湛水状態への遷移時に多く見られた。そのような CO_2 放出速度の変動の要因の一つとして、表層土壌の水分状態が影響しているものと考えられる。湛水状態から非湛水状態への遷移時に降雨が比較的少ない場合(例えば 2010 年 2 月や 2013 年 4 月)、表層土壌は適度に乾燥し、微生物の活性が増大し、 CO_2 放出速度が著しく増大したことが考えられる。一方、遷移時に降雨が比較的多い場合(例えば 2011 年 4 月~8 月)、表層土壌は飽和に近い水分状態となり、微生物の活性が抑制され、 CO_2 放出速度が小さかったことが考えられる。以上のように、湛水状態から非湛水状態への遷移時では CO_2 放出速度の変動が大きくなり、地下水位のみでは CO_2 放出速度を説明できない場合が多く、このような期間を多く含む本試験地のような場所での CO_2 放出量を見積もるためには注意が必要であることがわかった。このような泥炭地の水環境による微生物の活性を詳しく調べるため、後述の土壌微生物群集構造解析を実施した。

インドネシアにおけるモニタリングデータを用いて土壌呼吸速度の土壌水分に対する応答を解析した結果を図 4 に示す。降雨によって表層土壌が一時的に飽和状態になると土壌呼吸速度は著しく減少する。また、瞬間値の分布に着目すると、体積含水率が 0.63 程度で土壌呼吸速度は最大となり、それよりも体積含水率が減少すると土壌呼吸速度は減少傾向にあった。これらのことより、土壌呼吸は地表面の水分状態によって変動域が異なり、飽和状態による酸素拡散の低下や表層土壌の乾燥が土壌呼吸の律速要因となることが分かった。この知見を利用して、後述の泥炭のポテンシャル分解速度測定を実施した。

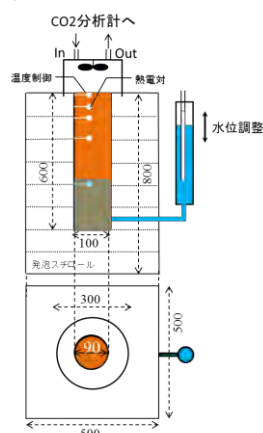
【泥炭土壌カラム実験】

・制御環境下における土壌からの二酸化炭素放出の環境応答解析

土壌カラムを用いて、現地の地温の鉛直分布変動を再現して地下水位に対する二酸化炭素放出速度の応答を調べた。二酸化炭素放出速度の測定はオープンチャンバー法で行った。タイ国ナラティワート県産の泥炭土壌を塩ビ管に詰め、 30°C に設定した恒温室内に設置した。水位はマリオート給水装置によって制御した(図 5a)。さらに、現地の地温の鉛直分布変動を再現するために、地表面温度の日周期を設定した。

現地観測の結果と同様に湛水条件では二酸化炭素放出速度が低く、水位が低下すると放出速度が増加したが、その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(図 5b)、 CO_2 放出モデルを構築する際には温度パラメータとしては日平均温度を与えればよいことがわかった。本実験における放出速度が現地観測の放出速度(図 2)と比較して著しく大きい、その主要因として土壌の乾燥密度が考えられる。現地観測の試験地では乾燥密度が $0.20\sim0.23\text{ g/cm}^3$ であるのに対して、本実験では 0.39 g/cm^3 であったため、単位体積当たり(単位表面積当たり)の二酸化炭素の放出量が大きかったと考えられる。

(a)



(b)

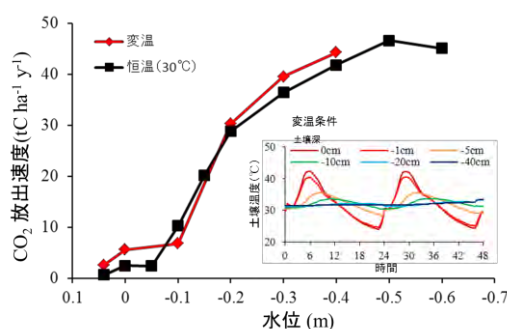


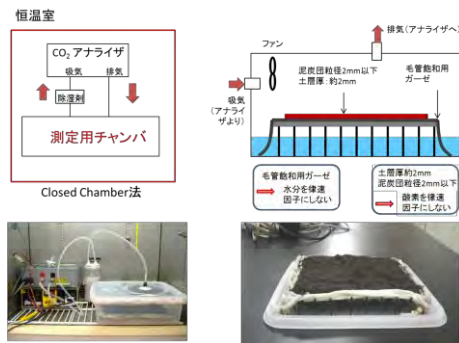
図 5. 制御環境下における土壌カラムを用いた土壌からの二酸化炭素放出の環境応答解析. (a): 実験システム. (b): 変温条件と恒温条件における土壌からの二酸化炭素放出速度の水位応答.

・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

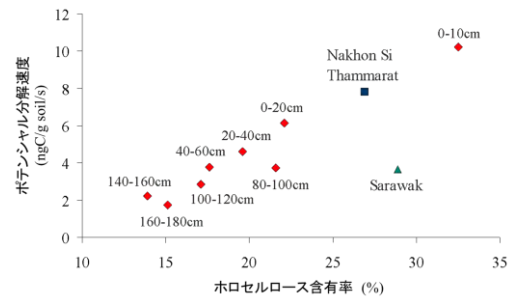
水位や土壌温度などの環境要因に加えて、泥炭土壌の性状も CO_2 放出に影響を与える。微生物による分解の基質となるホロセルロース(セルロース+ヘミセルロース)の含有量が多いほど分解速度が大きいと予想されるが、熱帯泥炭土壌の性質を考慮して分解速度を解析した例はない。泥炭土壌の分解されやすさを評価するために、酸素拡散と水分が律速要因とならない条件における泥炭土壌の分解速度をポテンシャル分解速度として制御環境下で測定した(図 6a)。

泥炭分解速度の水分依存性について検討した結果、含水比が 170%以上の状態で分解速度が最大(ポテンシャル分解速度)となることが分かった(図 6b)。また、含水比が 170%以下になると、分解速度が減少した。これは、土壌が乾燥した状態になったため、水分が律速要因となり、土壌微生物の活性が低下したためと考えられる。なお、含水比が 350%以上の飽和状態に近い高含水比に

(a)



(c)



(b)

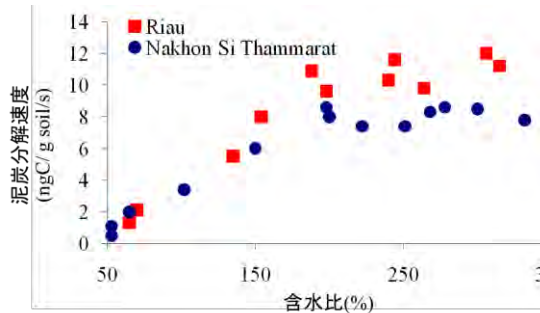


図 6. 泥炭土壌のポテンシャル分解速度. (a):測定系. (b) 分解速度の水分依存性, 両試料ともに含水比 170%以上で最大(ポテンシャル分解速度)となる. (c) 分解速度の基質依存性. 異なる地域あるいは土壌深度から採取した泥炭土壌試料のポテンシャル分解速度を 30℃で測定した.

対する分解速度は、本実験系では計測不能であったが、土壌の飽和による酸素拡散が律速要因となり、分解速度は減少することが予想される。

泥炭分解速度の基質依存性について検討した結果、ポテンシャル分解速度に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(図 6c)。一般的な泥炭地は図 6c のように土壌深度が大きくなるにつれてホロセルロースが減少する傾向にあると予想され、地表面からの CO_2 放出の寄与は下層ほど小さくなると考えられる。また、図 3 や図 4 で示したように、水位の低下に伴って CO_2 放出速度が頭打ちになる現象を説明する一つの要因となることが予想される。今後、さらにサン

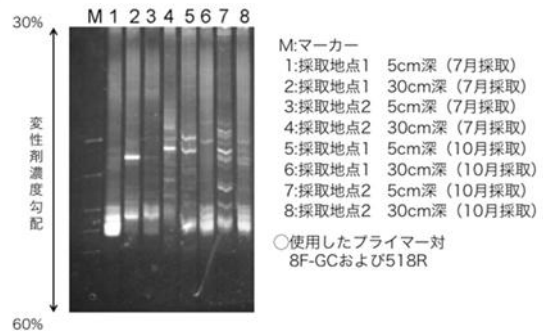


図 7. 土壌微生物群集の PCR-DGGE 解析.

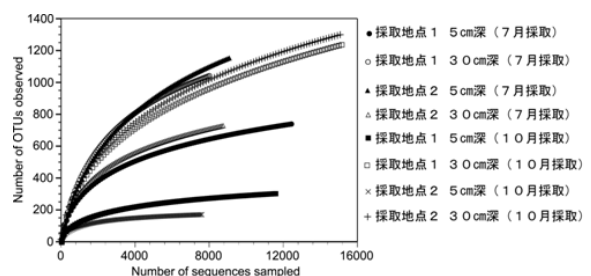


図 8. 土壌微生物群集の rarefaction curve.

プルを増やし、確度を高めた上で、有機物成分の鉛直分布を CO_2 放出モデルのパラメータとして組み込む必要がある。

【熱帯泥炭土壌地域の開発に伴う土壌微生物群集構造の変化】

タイの熱帯泥炭土壌の微生物群集構造について調査した。具体的には、泥炭地に存在する微生物群集の微生物種を網羅的に把握するため、土壌微生物の群集構造解析を試みた。

タイ国ナコンシタマラート県の泥炭地(オイルパーム園)から、7月(土壌水位-60 cm)と10月(土壌水位-25 cm)に、土壌深さ5 cmと30 cmの地点をサンプリングした。土壌から抽出したDNAを鋳型にして16Sリボソーム配列のPCR増幅を行い、得られた増幅産物を変性剤濃度勾配ゲル電気泳動(DGGE)に供した。その結果、それぞれのサンプルで得られるバンドパターンが異なっていたことから、土壌の深度および採取時期で微生物群集構造に大きな差異が存在することが示唆された(図7)。そこで、これらの微生物種を網羅的に把握するため、16Sリボソーム領域のPCR産物を次世代シーケンサー(GS Junior Bench Top System)により解析した。得られた配列をタグ分別後、ESPRITによりrarefaction curveを作成した(図8)。また、Chao1による微生物多様性の推定を試みた(表1)。その結果、微生物の多様性は、7月採取土壌では採取場所に依存するが、10月採取土壌では土壌深度が大きく影響することが明らかとなった。また、10月の土壌では、水が浸水することで微生物の多様性が大きく増大されることが明らかとなった。また、タグ分別後の配列をクラスタリングし、その代表配列を用いてRDP classifierにより系統分類を行った(図9)。その結果、7月の土壌では深さや採取場所に関わらずAcidobacteria、Crenarchaeota、Proteobacteriaなどが主要な微生物として同定された。一方、10月の土壌の主要な微生物は、深さ5 cmではFirmicutes、Euryarchaeotaなどであったが、深さ30 cmではCrenarchaeotaに加えて、未知の細菌類が多数存在していた。以上のことから、熱帯泥炭開発地域では、土壌水位の違いにより、微生物の多様性のみならず、群集構造にも差異が存在することが示唆された。

【二酸化炭素放出モデルの構築】

・土中のガス拡散を考慮した物理的な CO_2 放出モデルの構築

表1. 各土壌のリード数, OUT数, Chao1.

Sample	リード数	OUT数	Chao1
地点1-5cm 深さ(7月)	12574	793	1152
地点1-30cm 深さ(7月)	8134	1098	1622
地点2-5cm 深さ(7月)	9237	1144	1706
地点2-30cm 深さ(7月)	8932	782	1230
地点1-5cm 深さ(10月)	11709	345	483
地点1-30cm 深さ(10月)	15426	1300	2049
地点2-5cm 深さ(10月)	7731	211	309
地点2-30cm 深さ(10月)	15329	1329	2037

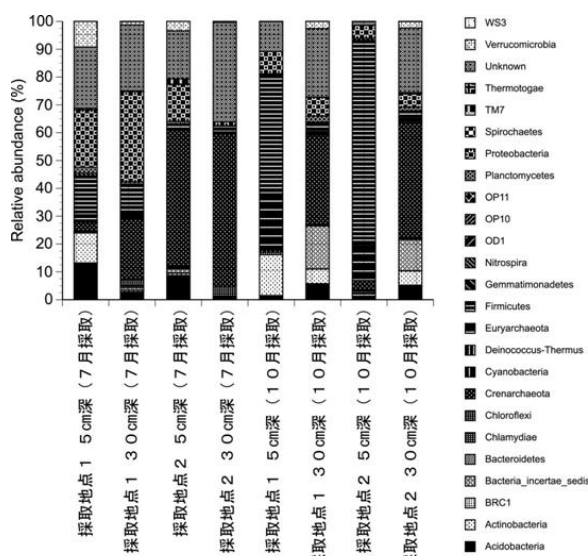


図9. 土壌微生物群集構造(門レベル).

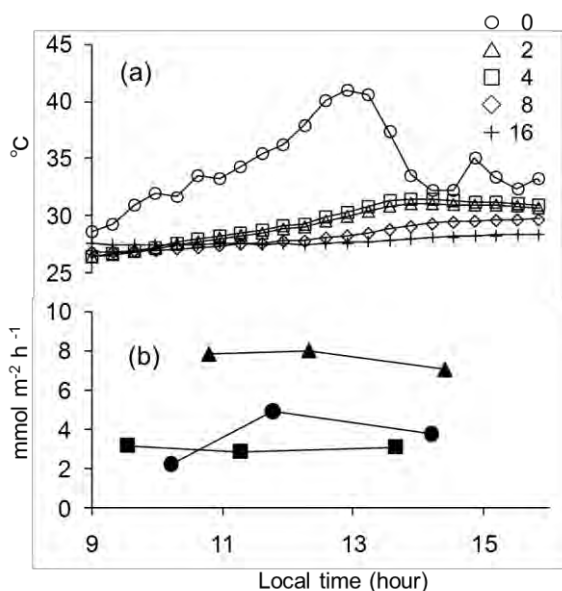


図10. タイ国ナコンシタマラート県の泥炭湿地上に開拓されたオイルパーム園内における (a) 地温(凡例数値は観測深度)および (b) 3地点の地表面 O_2 吸収速度の日変動例(2009年8月).

泥炭地表面 CO_2 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_2) 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た。よって、土壌中ガス挙動のモデル化に必要な実態把握を目的として、これらの現地計測系を作成し、現場計測を実施した。2009 年 8 月、タイ国ナコンシタマラート県のオイルパーム園内において、地表面 O_2 吸収速度をチャンバー法により 3 地点、深度別 O_2 濃度分布の時間変化を O_2 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。その結果、地表面 O_2 吸収速度は $2 \sim 8 \text{ mmol m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ (土壌呼吸による CO_2 放出量と 1:1 換算した場合約 $5 \text{ tC ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ 相当) であり、既往事例の CO_2 放出量に比べ低めであることが明らかになった (図 10)。これらの数値を得た背景として、現地の表層泥炭土層厚が 10~25 cm 程度と薄いこと等が挙げられた。深さ 5、10、20 cm の土壌中 O_2 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 (以上、Iiyama and Osawa, 2010)。

上記の結果を受け、タイの熱帯泥炭湿地より不攪乱採取した泥炭土壌を対象として通気性・保水性を実測するとともに、泥炭土壌中のガス発生・輸送現象を、これらをパラメータとしてモデル化の上、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た。その結果、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可能性があること、よって、地下水位低下に伴う地表面 CO_2 放出量が頭打ち傾向を示す可能性があることが示唆された (図 11; 以上、Iiyama et al., 2012)。

さらに、地表面 CO_2 放出挙動の制限要因としての土壌水分条件を対象に、その地下水位依存性を解明することを目的として、タイ国ナコンシタマラート県の試験地における土壌水分・地下水位の長期観測データを得るとともに、泥炭土壌の保水性・透水性に係る土壌物理パラメータを実測し、地表近傍の土壌水分の地下水位依存性を、これらの実測パラメータに基づいた物理モデルにより解析し、観測データを検証した。その結果、湛水期間が年間 120 日、地下水位深さが 30 cm 以深となる乾燥期間が年間 187 日との観測データからは、泥炭土壌の好気分解に適した水分条件にある期間が極めて限られることが示唆され、また、これに対応するモデル解析からは、地表付近の土壌水分条件の季節中の変動が小さく、雨期および乾期の 2 種類の期間平均 CO_2 放出量に基づく概算により年間 CO_2 放出挙動の実態を表せるものと判断できた (図 12; 以上、Iiyama et al., 2012)。

以上のように、土中のガス拡散を考慮した物理的な CO_2 放出モデルのプロトタイプが構築できた。

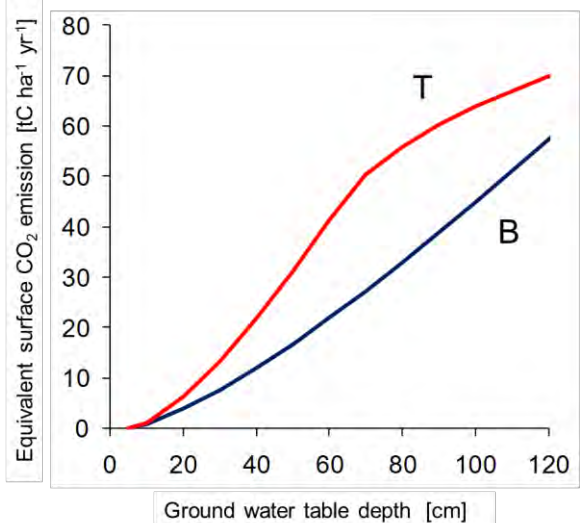


図 11. 泥炭地表面からの CO_2 放出挙動への地下水位依存性の数値解析例. (T)タイ国ナコンシタマラート県の Tropical 泥炭土層と(B)北海道美瑛市の Boreal 泥炭土層との比較。

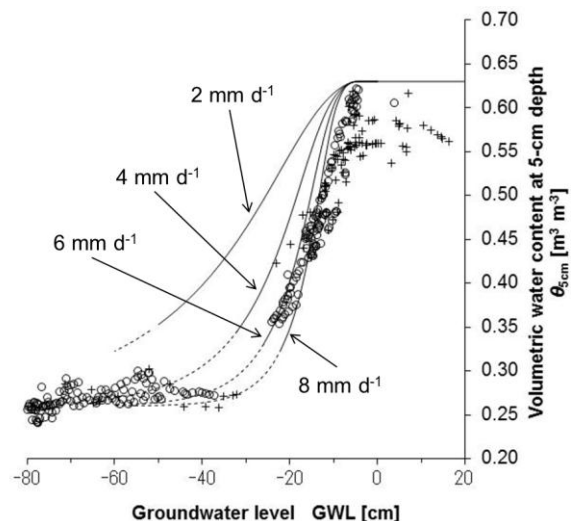


図 12. 地表近傍土壌水分の地下水位依存性の実測 (○および+)および数値解析結果 (線; 蒸発散速度毎の 4 シナリオ). 水位が正となる期間が年間 120 日、30cm 以深となる乾燥期間が年間 187 日との観測データから、体積含水率は $0.55 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ および $0.30 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ 以下の二種類に偏ると予想された。

今後、各種パラメータの同定やポテンシャル分解速度実験で得られた土壌水分や基質に対する CO₂ 放出速度の応答をモデルに組み込み、モニタリングで得られた観測値と合わせてモデルの適合性について検証する必要がある。一方で、本モデルの適用には、ガス拡散係数をはじめとする様々なパラメータを準備する必要があり、広域評価には相当な基礎的データの蓄積が必要となる。そのため、後述の地温や地下水位を変数とした CO₂ 放出モデルの構築を試みた。

・CO₂ 放出量を推定するモデルの構築

前述の土壌呼吸モニタリングの観測値を用いて、地温、地下水位に対する CO₂ 放出速度の応答を評価し、得られた結果をもとに CO₂ 放出モデルを構築した。地温、地下水位の他、泥炭密度とホロセルロース量を変数として考慮した。また、泥炭土壌では、土壌水分が平衡になるのは早く、日単位では地下水位に対し土壌水分分布は一意に決まり、その関係は上述の Iiyama et al. (2012) に示されている次式で表される、と仮定した。

$$\theta = \alpha_0 + \alpha_1 \log_{10}|h - h_b|$$

θ : 含水率[%]、 α_0 、 α_1 : パラメータ、 h : 土層深さ[cm]、 h_b : 地下水位[cm]

また、土壌の深さ別の各層での CO₂ 発生量は次式で表される DAMM モデル (Davidson et al., 2012) を用いて計算した。

$$R_{sx} = Vmax_{sx} \times \frac{[S_x]}{kM_{sx} + [S_x]} \times \frac{[O_2]}{kM_{O_2} + [O_2]}$$

R_{sx} : CO₂ 発生量、 $Vmax_{sx}$: CO₂ 発生量最大値、 $[S_x]$ 、 $[O_2]$: 基質と酸素の濃度、 kM_{sx} 、 kM_{O_2} : ミカエリス定数

CO₂ 放出量の計算は、土壌水分および酸素濃度に対応した各層での CO₂ 発生量を加味した一次元拡散を非定常に解くことによって求めた。DAMM モデルにおけるパラメータは、文献値 (Davidson et al., 2012) に示された値を基本とし、一部のパラメータは、計算結果がインドネシアでの観測値と合うように最適化した。さらに、ホロセルロース以外のパラメータに同じ値を用いてタイにおける観測値に対してモデルの適用を行った。なお、タイにおいては湛水する時期があり、その湛水期間中も平均約 2 tC ha⁻¹ yr⁻¹ の CO₂ 放出があった。これを反映するため、便宜的に湛水時は地下水位を -3 cm として CO₂ 放出量が計算されるようにした。CO₂ 放出量のモデルによる計算値と観測値の比較を図 13 (インドネシア) と図 14 (タイ) に示す。部分的に推定値が大きくなっているところがあるが、大まかな CO₂ 放出量の変動は捉えられている。

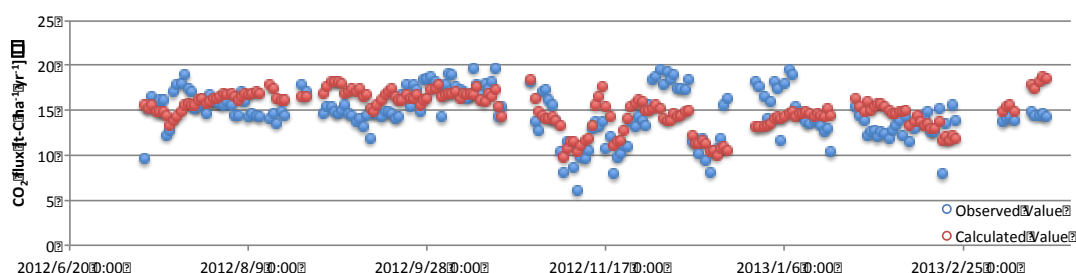


図 13. インドネシアにおける CO₂ 放出量モデルによる計算値と観測値の比較.

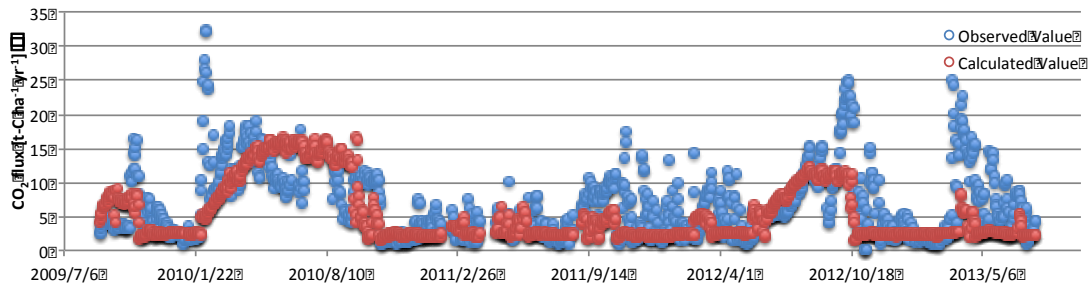
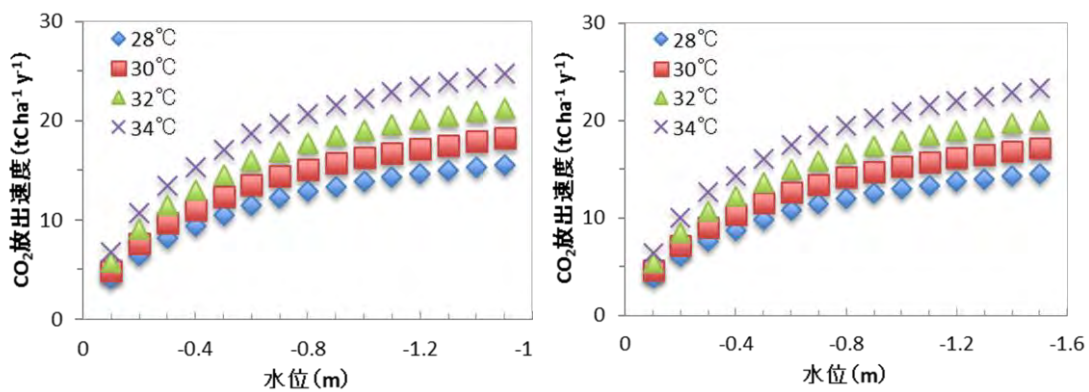


図 14. タイにおける CO₂ 放出モデルによる計算値と観測値の比較.

次に、地下水位、地温、ホロセルロース量を固定した定常状態での CO₂ 放出量を上記のモデルにより求め、地下水位、地温、ホロセルロース量の変数とした回帰式として CO₂ 放出量を表すモデルを構築した。

図 15 に地温、地下水位を変化させた時の定常状態での CO₂ 放出量の計算結果を示す。



a) インドネシア (ホロセルロース 15%)

b) タイ (ホロセルロース 7.8%)

図 15. 各温度における地下水位と CO₂ フラックスの計算結果.

図 15 の関係を次式により回帰し、パラメータを決定した。

$$CO_2flux = \exp(a_1 \times T + b_1)$$

$$a_1 = k \times \exp(-0.0005 \times WT)$$

$$k = 0.0845 \quad (WT < -10)$$

$$= 0.0824 \quad (WT > -10)$$

$$b_1 = a_2 \times \ln(WT) + b_2$$

$$a_2 = 0.0227 \times \ln(HO) + 0.4873$$

$$b_2 = 0.0469 \times \ln(HO) - 2.1783$$

CO_2flux : CO₂ 放出量[tC ha⁻¹ yr⁻¹], T: 温度[°C], WT: 土壌表面からの水位[cm], HO: ホロセルロース量[g/dry soil]

湛水時(WT>0)は、便宜的に $CO_2flux = 2$ とした。このモデル(回帰モデル)と上述の非定常計

算によるモデル(非定常モデル)による計算値と観測値の比較を図 16(インドネシア)と図 17(タイ)に示す。インドネシアでは、回帰モデルは非定常モデルより大きな値となり、観測値とのずれが大きい部分があった。これは、実際には定常状態ではない土壌水分状態である期間が長いことが原因であると考えられる。しかし、実際にプロジェクト実施現場で適用する際に求められる計算の簡易さを考えた場合、適用可能な精度でのモデル構築ができたといえる。

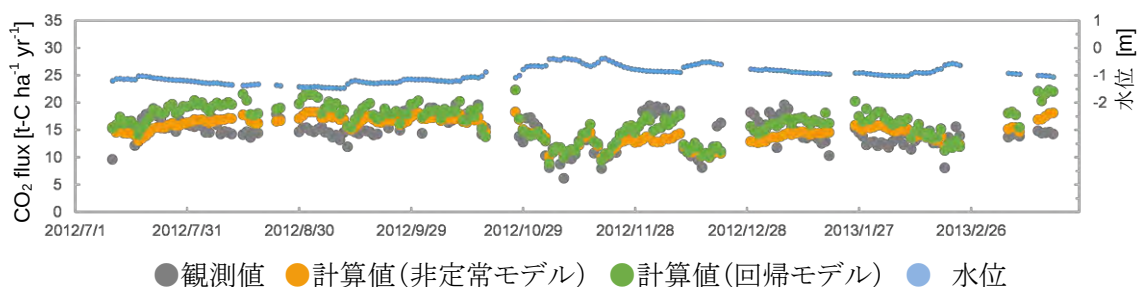


図 16. インドネシアにおける CO₂ 放出量モデルによる計算値と観測値の比較。

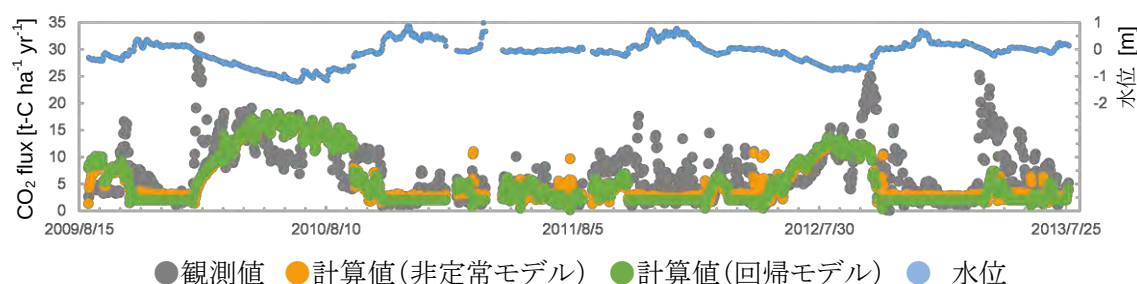


図 17. タイにおける CO₂ 放出量モデルによる計算値と観測値の比較。

ここで、本プロジェクトより以前に実施された泥炭沈下量や CO₂ 放出速度のモニタリング結果を用いて構築した水位のみを変数とした単純な CO₂ 放出モデルを示す。泥炭沈下速度はタイ国ナラティワート県において 5 地点の場所において 11~25 年間計測した結果をモデルの検証用の実測値として用いた。CO₂ 放出速度の観測値は、タイ国ナラティワート県、ナコンシタマラート県の泥炭地で実施したモニタリングデータおよびナラティワート県産泥炭土壌を用いた野外試験データを用いた。

水位と日平均 CO₂ 放出速度の関係を図 18 に示す。本プロジェクトにおける観測値(図 3)と比較するとデータ数は少なく、CO₂ 放出速度の最大値が異なったが、湛水状態では CO₂ 放出速度が小さく、水位の低下に伴って CO₂ 放出速度が増大し、ある程度の水位で頭打ちになる傾向は同様であった。この結果をもとに次式で示される日平均 CO₂ 放出速度モデル (Nagano-ISHIDA model) を定めた (Nagano et al., 2013)。

$$\begin{aligned} R_s &= 2.99 \quad (h > 0) & \text{(I)} \\ R_s &= -80.23h + 2.99 \quad (-0.3 \leq h \leq 0) & \text{(II)} \\ R_s &= 27.06 \quad (h < -0.3) & \text{(III)} \end{aligned}$$

R_s : 土壌呼吸量 ($\text{tC ha}^{-1} \text{y}^{-1}$)、 h : 水位 (m)

本モデルを泥炭沈下速度の測定地点に適用し、下記の条件や仮定を用いて沈下量を推定した。水位は日毎の実測値、泥炭の土壌物理性は乾燥密度 0.18 g/cm^3 、有機物含有率 0.8、有機物中の炭素含有率 0.5、リター供給は $1.4 \text{ tC ha}^{-1} \text{y}^{-1}$ 、系外への炭素流出は $1.3 \text{ tC ha}^{-1} \text{y}^{-1}$ とした適用結

果を図 19 に示す。モデルによる推定値と観測値はほぼ一致し、約 25 年間にわたる沈下量を的確に再現できている。また、他の 4 地点においても精度は同程度であった。測定地点により土壌呼吸量は大きく異なり、これは水環境による影響が大きい(表 2)。土壌呼吸量が最も少ない Bacho5 は保全地域であり、年間 67%の期間が湛水状態で管理されていた。開発地域では野火が多発しており、炭素放出量の 35～51%が野火による焼失である。

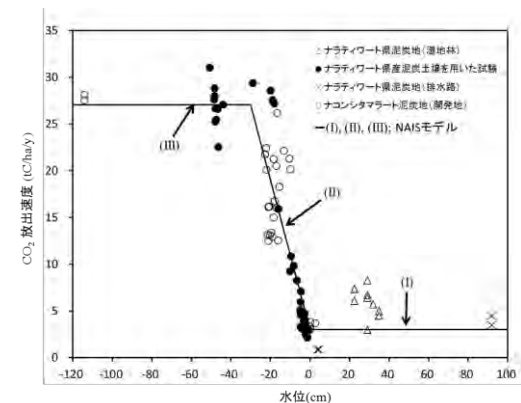


図 18. 水位に対する CO₂ 放出速度の関係性.

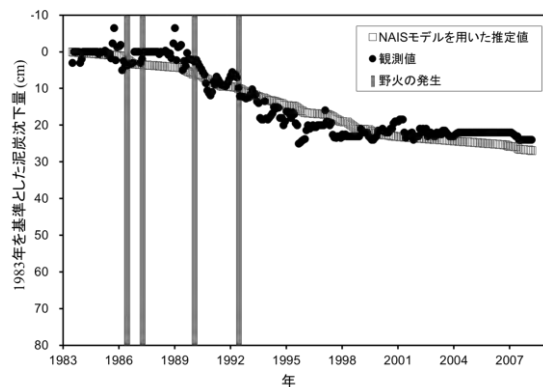


図 19. モデルを用いた泥炭沈下量の推定結果. 適用地点は水位が比較的高く維持されている保全地域の「Bacho5」.

表 2. モデルによる土壌呼吸量と泥炭沈下量から推定した土壌呼吸量の比較および野火による炭素放出量(tC ha⁻¹ y⁻¹).

測定点	NAIS Model	泥炭沈下量から推定			水環境 湛水割合(%)	観測期間
	土壌呼吸量	①土壌呼吸量	②野火	合計(①+②)		
Bacho1	12.5	13.9	11.7	25.6	46.9	1983 年 3 月 ～2005 年 2 月
Bacho2	15.0	13.5	8.9	22.6	35.9	1983 年 7 月 ～2000 年 8 月
Bacho3	15.7	17.0	9.1	26.4	29.2	1983 年 7 月 ～2006 年 1 月
Bacho4	18.3	18.6	19.3	37.9	31.0	1989 年 11 月 ～2000 年 10 月
Bacho5	8.0	7.2	0	7.2	67.0	1983 年 7 月 ～2008 年 3 月

(ただし、Bacho1、Bacho2、Bacho3、Bacho4 は開発地域、Bacho5 は保全地域)

4. 2 泥炭湿地造林技術の開発と二酸化炭素固定量の評価 (グループ1)

排水された熱帯泥炭土壌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を提示するにあたり、提示するシステムを社会受容性と実現可能性の高いものとするためには、利用価値の高い樹種を用いた効率的な造林と精度の高い樹木の成長量推定が不可欠である。本研究項目では、造林技術の確立のために、湛水状態に維持された泥炭湿地に造林可能な有用樹種を探し出し、湿地林再生のための造林技術を開発するとともに、二酸化炭素固定量およびバイオマス量の推定のために、再生した湿地林生態系の炭素収支と樹木の部位別利用可能量を明らかにし、これにより湿地林再生による二酸化炭素排出削減ポテンシャルの推定とバイオマス利用システムの最適化のための基礎データを取得した。

【実証試験地設置】

研究項目 1 で既述のとおり、タイ王室チャイパッタナー基金のメラルーカプロジェクトの開始が遅れているため試験区の設定が実現できなかったが、メラルーカプロジェクトサイトの一部にメラルーカ (*Melaleuca cajuputi*) の試験植栽を行い、初期生残率と成長量のモニタリングを行った。またメラルーカ以外の湿地林樹種の植栽試験は、メラルーカプロジェクトサイトの一部および別の湿地で行い、初期生残率と成長量のモニタリングを行った。

【育苗技術開発】

・メラルーカの育苗システム

泥炭湿地での造林に最も有望と考えられるメラルーカの育苗システムについて検討を行った。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った。苗畑で深さの異なる長方形(2m×5m)のプールを造成し、土を詰めたポットを並べてポット内に直接播種した。発芽後、順次間引きや鉢増しを行い樹齢や苗サイズの異なる苗を育成した。水位は土壌表面付近に保つよう管理した。育成した苗をナコンシタマラート県のクアンクレン湿地に植栽し、その後の生残を調べた。

プール内で育苗を行うことで、高い得苗率が得られた。これは、水内で管理するため、多少灌水に不備があっても影響が出にくいことや雑草がポット内へ侵入しにくくなったことによると考えられる。泥炭湿地への植栽試験で、苗のサイズが大きいほど植栽後の生残率が高く、樹高が同程度であった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より大きく寄与することがわかった(表3、図20)。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。

・メラルーカの根の炭素代謝

根圏低酸素環境下におけるメラルーカのエネルギー生産経路の推定と湛水前処理の有効性を検証するために、低酸素前処理をした苗木としない苗木を用いて低酸素環境に対する根の炭素動態の応答を室内実験で比較した。光合成産物の利用様式が異なると予想される木化した苗木と未木化した苗木を用いて応答を比較した。低酸素前処理によって茎下部の空隙率が木化苗で2倍、未木化苗で1.5倍に増加し、前処理による通気組織の発達が確認された。木化の程度によらず、解糖系中間代謝物のフルクトース-6リン酸やフルクトース-1,6ビスリン酸の濃度は変化しなかったが、3-ホスホグリセリン酸の濃度が低酸素処理で増加し、その増加率が前処理苗で低かったことから、低酸素に応答して解糖系下流以下のエネルギー生産経路への炭素の分配が増加しており、通気

表3. 植栽試験に用いたメラルーカ苗の樹齢とポットサイズ、樹高(平均値±標準偏差)。

苗の種類	樹齢	ポット	樹高 (cm)
①	19ヶ月	大ポット	81 ± 19
②	19ヶ月	小ポット	52 ± 19
③	12ヶ月	小ポット	21 ± 5
④	4ヶ月	小ポット	22 ± 6

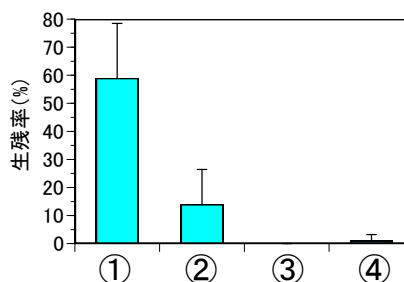


図2-1 樹齢、ポットサイズの異なるメラルーカ苗の泥炭湿地における植栽5ヵ月後の生残。横軸の番号は表1の苗の種類に相当する。誤差棒は標準偏差を示す。

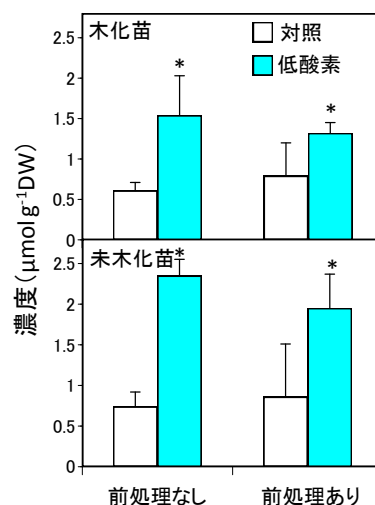


図2-3 低酸素条件2日後のメラルーカ(M. cajuputi)の根における3-ホスホグリセリン酸濃度。縦軸は画分濃度の合計に対する百分率、誤差棒は標準偏差を示す。

組織が発達すると、より少ない炭素流量の増加でエネルギー状態を維持できることが示唆された(図 21)。膜脂質合成の抑制に加えて、木化した前処理なし苗ではセルロース合成などが、木化した前処理苗と未木化苗ではリグニンなどの芳香族化合物の合成が抑制されて、解糖系への炭素源が確保されていると考えられた。 $^{13}\text{CO}_2$ 曝露実験により低酸素処理による光合成産物の構造的画分への分配比の低下が確認され(図 22)、セルロースやリグニンなどの二次細胞壁成分の合成の抑制がこの分配比の変化の原因のひとつであると考えられる。

・メラルーカの貯蔵炭素動態

光合成が抑制される湛水環境下では、貯蔵物質の利用が代謝活動の維持や成長に重要な意味を持つ。根圏の低酸素ストレス環境において貯蔵炭素が果たす役割を明らかにすることを目的にメラルーカを含めた低酸素ストレス耐性の異なるフトモモ科の 4 樹種の、低酸素環境による各器官のデンプンや糖濃度の変化を調べ、安定同位体炭素 ^{13}C で標識した実生を用いて低酸素ストレス下での炭素源としての新規光合成産物と貯蔵炭素の寄与度を調べた。

低酸素ストレスによる光合成や成長の障害が生じない高耐性種であるメラルーカや、障害後に回復する中耐性種である *Eucalyptus camaldulensis*、*E. pellita* では低酸素ストレス処理により茎のデンプン濃度が増加したが、障害されたまま回復しない非耐性種である *E. cloeziana* では増加しなかった。一方で、主根のデンプン濃度はどの種でも変化がなかった。高耐性種のメラルーカでも中耐性種の *E. camaldulensis* でも低酸素ストレスにより茎のデンプン画分の ^{13}C 濃度が増加し、茎のデンプン画分への新規光合成産物の転流量が増加していた(図 23)。中耐性種では、低酸素ストレス初期にみられる光合成やエネルギー状態の低下からの回復に対するデンプンの明らかな寄与はなかった。茎へのデンプン蓄積は、根圏低酸素環境ではなく、葉が水没するような深い湛水環境での生存に有利に働く可能性がある。

【植栽試験】

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、ナコンシタマラート県のトンサイ湿地に苗を植栽し、その後の湛水期間中の健全率や成長に対する苗サイズと水位の影響を調べた。また、メラルーカ以外の樹種について、湿地植栽前に苗畑において湛水处理を施すと植栽後の生残が改善される種があることをこれまでに明らかにしたが、この湛水前処理の効果は樹種ごとに異なることがわかっている。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 26 樹種について、湛水前処理の効果調べた。湛水前処理効果と関連がみられる茎の空隙率変化や、成長、湿地植栽後の生残や湛水条件下での生残

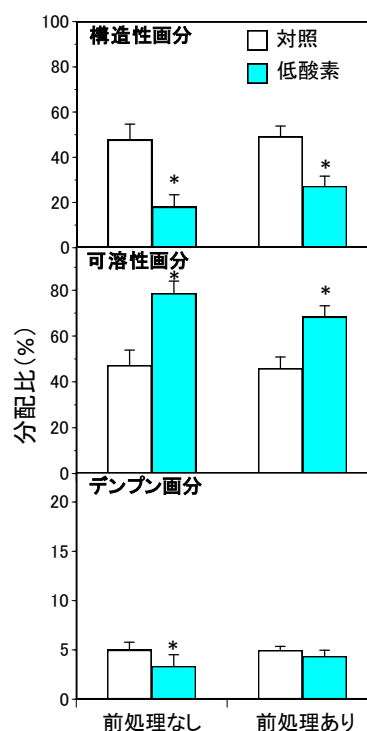


図 22. メラルーカの木化苗の根における光合成産物の分配。縦軸は画分の合計に対する百分率、誤差棒は標準偏差、*は本処理間での有意差(p < 0.05)を示す標準偏差、*は本処理間での有意差(p < 0.05)を示す

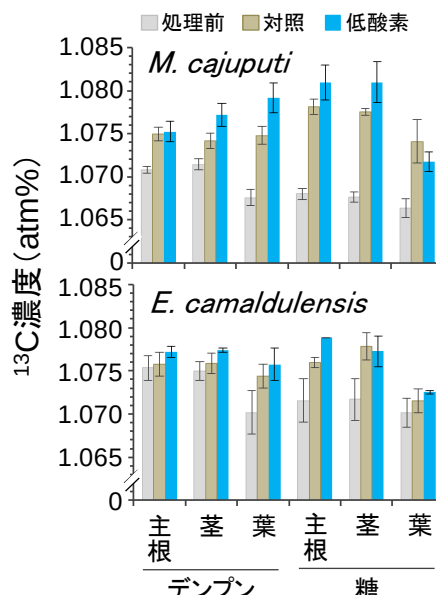


図 23. 根圏低酸素環境下での既存器官の糖・デンプン画分の ^{13}C 濃度の寄与。縦軸は ^{13}C 濃度、誤差棒は標準偏差を示す

から樹種を選抜した。

湿地に植栽後 4.5 ヶ月のメラルーカ苗の健全率に対して、水位は負の、樹高は正の影響を及ぼしていた(表 4)。これは、苗の樹高が高いほど傷害が起きにくく、水位の深い場所に植えると障害が起きやすいことを表す。樹高成長に対しては、水位と樹高による負の、直径による正の影響がみられた(表 4)。これは、傷害が起きなかった個体では、太い個体は成長が大きく、樹高が高い個体や水位の深い場所に植えた個体は樹高成長が小さい傾向があることを表す。樹高が高い個体で成長が小さかったのは、風による倒伏圧がかかりやすいことによると思われる。湿地への植栽に際しては、苗が冠水しにくく、また苗に蓄えられている貯蔵養分が多いという点で、樹高が高く直径が太い個体が適していると考えられる。しかし、樹高が高いと強風にあおられた時に苗の先端がストレスを受けるリスクが高まるため、植栽時に杭立てを同時に行い、苗上部を杭に結束して風の影響を軽減することが望ましい。

湿地林に生育する樹種であっても深い湛水環境下での造林に適するものとそうでないものがあつた。湛水前処理を行った後に模擬的に深い湛水環境下に移動した *Syzygium oblatum* の苗は 8 ヶ月たってもすべて生残していたが(図 24)、湛水した湿地に植栽した場合は 1 年後の生残が 61%と低くなっており、湛水する湿地への植栽は湛水によって葉まで水に浸かってしまうことや植栽時の根の安定性などが問題となることが示唆された。湛水前処理によって湿地植栽後の生残が改善される種はあつたが、悪化する種はなく、湛水前処理が湿地造林に有効な手法であることが確認できた。湛水前処理中に茎の空隙率が上昇して高い値になる樹種は概して湿地へ植栽後の、あるいは模擬的に湛水深を深くした環境下へ移行後の生残率が高かつた。図 24 に示した樹種では、*Myristica iners*、*Stemonurus secundiflorus*、*Syzygium longiflorum*、*Sy. oblatum* がこれにあたる。湛水前処理を行えば、*Horsfieldia irya*、*Ilex cymosa*、*Myristica iners*、*Stemonurus secundiflorus*、*Syzygium cinereum*、*Sy. kunstreli*、*Sy. longiflorum*、*Sy. oblatum* などが湿地への造林樹種として有望と考えられた。

表 4. ベイズ推定による植栽 4.5 ヶ月後のメラルーカ苗の健全率、成長に対する水位と苗の直径、樹高の影響解析結果。

変数	平均	標準偏差	誤差範囲 (2.5%, 97.5%)
健全率			
水位	-0.071	0.008	(-0.086, -0.056)
直径	0.118	0.262	(-0.390, 0.638)
樹高	0.059	0.009	(0.041, 0.077)
樹高成長			
水位	-0.103	0.025	(-0.152, -0.053)
直径	8.135	0.935	(6.33, 10.0)
樹高	-0.281	0.034	(-0.349, -0.215)

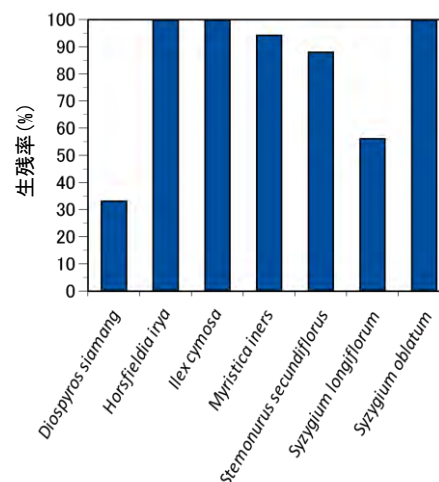


図 24. 湿地林生の 7 樹種の苗を深湛水条件で 8 ヶ月間育苗したときの生残率。

【二酸化炭素固定量およびバイオマス量の推定】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、ナコンシタマラート県のチャウアット近郊の、泥炭が消失し、酸性硫酸塩土壌が分布している湿地に植栽されたメラルーカ林を対象として林分バイオマス成長量を推定

表 5. バイオマス推定に用いた相対成長式の変数.

推定対象	変数	a	b	R ²	変数	a	b	R ²
皮無幹	D ² H	0.05695	0.8384	0.934	iD ² H	0.04520	0.9137	0.966
樹皮	D ² H	0.02954	0.6603	0.844				
枝	D	0.00574	2.6821	0.764	iD ² H	0.000054	1.5177	0.908
葉	D	0.01428	1.9628	0.794	iD	0.00554	2.4835	0.947
蒴果	D	0.00015	2.9252	0.535				
根	D	0.06284	2.0954	0.844	iD	0.01206	2.9907	0.959
皮無材積	D ² H	0.000077	0.8634	0.724	iD ² H	0.000061	0.9416	0.989
幹表面積	DH	368.3	0.8699	0.985				

(推定対象)=a(変数)^b

iDを用いたバイオマス推定は 17 年生、18 年生林のみ。

表 6. 胸高直径別皮無直径率.

	測定高 (m)							
	0.3		1.3		3.3		5.3	
	平均	cv (%)	平均	cv (%)	平均	cv (%)	平均	cv (%)
D<10cm	0.76	3.06	0.86	2.44	0.87	2.37	0.91	1.79
10cm≤D<18cm	0.77	9.34	0.87	5.39	0.89	3.07	0.92	3.15
18cm≤D	0.73	11.00	0.74	18.35	0.85	7.96	0.90	4.12

表 7. 15 年生メラルーカ林のバイオマス.

プロット	密度 (ha ⁻¹)	バイオマス (ton ha ⁻¹)								皮無材積 (m ³ ha ⁻¹)
		幹		枝	葉	花・実	地上部 合計	根	合計	
		皮無幹	樹皮							
1	3177	114	15	15	6.0	0.74	151	37	188	189
2	2475	85	11	12	4.6	0.58	113	29	142	141
3	2617	102	13	14	5.4	0.72	135	34	169	169
平均	2756	100	13	14	5.3	0.68	133	33	166	166

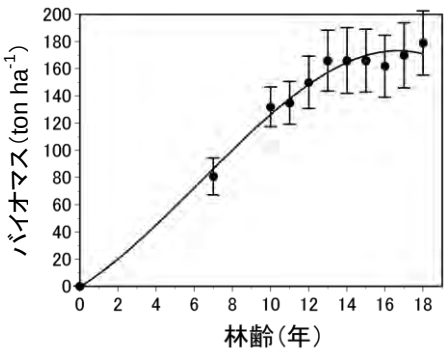


図 25. メラルーカ林のバイオマス量の経時変化. 誤差棒は標準偏差を示す.

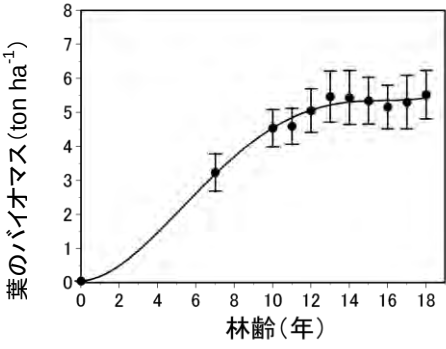


図 26. メラルーカ林の葉のバイオマス量の経時変化. 誤差棒は標準偏差.

した。メラルーカ林分内に 400 m² 前後のプロットを設け、プロット内の全個体について胸高直径 (D) と樹高 (H) を測定した。同林分内とクアングレン湿地から 29 個体を伐倒し、地上部各器官の乾重を測った。そのうち一部は、幹を樹皮と皮無幹に分けて乾重と皮無直径を測定し、さらにその一部の個体については根まで掘り取って乾重を測定した。得られた各器官乾重と D もしくは D²・H との関係の指数関数で近似し、各器官の相対成長式を求めた (表 5)。相対成長式とプロット内で測定した D と H によってバイオマス量および平均バイオマス成長量を推定した。通常は皮付直径で相対成長式を求めるが、樹皮を剥ぐことがその後の成長に影響を及ぼさないことを確認した後、大径木のみ樹皮を一部剥いで皮無直径 (iD) から乾重を推定した。植栽後 15 年間にメラルーカ林が固定した二酸化炭素量を評価するために純生産量推定を行った。林分のバイオマス量に加え、地下 35 cm までの細根量と細根の純生産量、枯死細根の分解速度、地上部リター量、葉の分解速度の測定値から純生産量を推定した。細根量は土壌コアから根をより分けて乾重を測定し、細根の純生産量はイングロース法によりもとめた。枯死細根と葉の分解速度はメッシュバッグ法で時間 (t) に対する減少量を測り、(残存率) = e^{-kt} から分解速度係数 k をもとめた。地上部リター量は林床の鉦質土層の上にあるリターを回収して乾重量を測った。細根の純生産量と落葉落枝量はそれぞれ根と葉のバイオマスに比例すると仮定した。

直径に対する皮無直径率のばらつきが大径木で大きいので (表 6)、胸高直径の値の大きい個体に乾重のばらつきが顕著になっていると考えられたため、大径木は皮無直径で乾重を推定するのが精度の面で妥当と考えられる。iD を用いることで、葉と枝、根のバイオマスと皮無材積の相対成長式の精度が顕著に改善し、それぞれ $R^2=0.794, 0.764, 0.844, 0.724$ から 0.947、0.908、0.959、0.989 に上がった (表 5)。メラルーカ林のバイオマス成長は初期の 10 年は年平均 13 ton ha⁻¹ 程度であったが、その後鈍化し、林齢 15 から 17 年程度で頭打ちになることが示唆された (図 25)。立地によって異なることが予想されるが、メラルーカ林で生産するのであれば、13 から 15 年程度を伐期とするのが効率的であると考えられる。本研究で対象としたメラルーカ林と同様の密度 (37500 本 ha⁻¹) で湿地に植栽した場合 15 年後に皮無材積 166 m³ ha⁻¹、皮無幹 100 ton ha⁻¹、樹皮 12.9 ton ha⁻¹、葉 5.3 ton ha⁻¹、地上部全バイオマス量 133 ton ha⁻¹ の収穫量が見込める (表 7)。葉のバイオマス量は林齢 13 年程度で頭打ちになり、5.5 ton ha⁻¹ 前後であった (図 26)。つまりこの立地では 5.5 ton ha⁻¹ の葉の光合成量がメラルーカ林の総生産量の上限となる。メラルーカ林の純生産量推定に、葉と枯死根の分解速度係数はそれぞれ $k = 0.551$ と 0.124 を用いた。メラルーカ林の 15 年間の純生産量は 327 ton ha⁻¹ と大きく (表 8)、年平均で 22 ton ha⁻¹ y⁻¹ のバイオマスに相当する二酸化炭素量を固定していたことになる。報告が少ないので熱帯の湿地林と比較することはできないが、湿地においてメラルーカ林は湿地以外の立地における熱帯林がとる値に匹敵する二酸化炭素固定速度をもつことがわかった。

表 8. 15 年生メラルーカ林の純生産量 (植栽後 15 年間) の内訳。

内訳	バイオマス量 (ton ha ⁻¹)
蓄積量	
バイオマス全体	168
地上部リター	39
枯死根	0.82
消失量	
地上部リター減少量	119
枯死根減少量	0.32
15 年間の純生産量	327

4. 3 湿地人工林の木質バイオマスの有効利用技術の開発 (グループ 1, 2)

開発された熱帯泥炭土壌を湛水化と造林により二酸化炭素の吸収源に戻すことを持続可能な取り組みとするためには、「泥炭保全～造林～木質バイオマス利用」のシステムが、環境負荷的にも経済的にもポジティブであることが不可欠である。なかでも、持続的な森林経営を成立させるためには、商品価値に優れ、安定供給可能な林産物を開発することが重要であり、それらを生み出すための基盤技術および実証化試験の蓄積が必須となる。湿地人工林から生産される木質バイオマスは、大量安価な天然ゴム廃木やユーカリ、アカシア等の早生樹材が競合素材となるため、泥炭

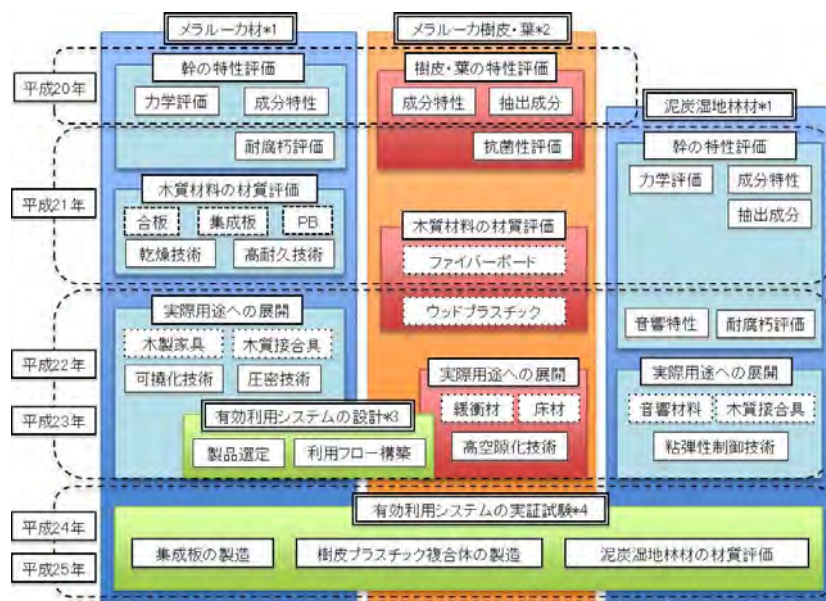


図 27. 「湿地人工林の木質バイオマスの有効利用技術の開発」の研究フロー。

*1: 高付加価値化木材, *2: 葉・樹皮の利用技術,

*3: バイオマス有効利用システム設計, *4: バイオマス有効利用システムの実証試験に該当

湿地林材の材質特性の活用や新たな機能性の付与といった高価格戦略に適合した新規木製品および利用技術の開発を行った。本研究項目の研究フローを図 27 に示す。

【高付加価値木材の開発】

・メラルーカ材の幹の特性評価

泥炭湿地でのバイオマス生産が期待できるメラルーカ (*Melaleuca cajuputi*) について、タイ国ナコンシタマラート県の人工林において材を採取し、幹材の基礎的な物理的特性 (密度、収縮率、弾性率、強度、粘弾性)、化学成分構成 (セルロース、ヘミセルロース、リグニン、抽出成分)、生物阻害活性 (耐腐朽性) を調査し、マテリアル原料としての利用分野を検討した。メラルーカ材の全乾密度は 0.68 g/cm^3 と中庸であり、曲げ性能は弾性率 12.8 GPa 、強度 147 MPa 、デュロメーター硬さは 65 であり、同密度帯の汎用広葉樹材 (ナラ、カエデ等) と遜色ない値であった。一方で、単板および角材の乾燥工程において生長/乾燥応力に起因する割裂が多く発生したが、乾燥前に予め表層を 2 から 5 mm 程度を選択的に横圧縮することで乾燥不具合が低減された。

・メラルーカ材の木質材料の材質評価

メラルーカを原料として各種木質材料 (合板、集成板、パーティクルボード) を製造し、切削性、接着性、強度性能を調査し、製品としての利用可能性を検討した。図 28a, b, c にメラルーカ材を原料として製造した合板、集成板、パーティクルボードを示す。いずれの木質材料においても、切削性、接着性、材色変化および強度特性に不具合は認められなかった。乾燥工程で割裂の発生が顕著であった単板

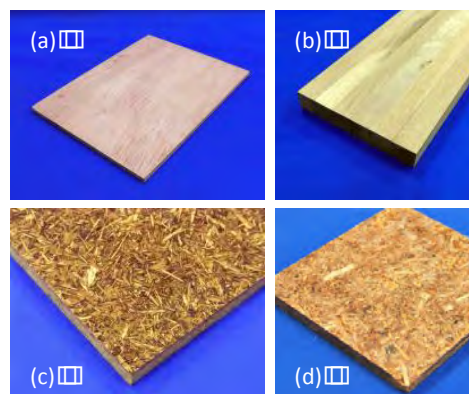


図 28. メラルーカを原料とした各種木質材料 (a) 合板 (b) 集成板 (c) パーティクルボード (d) 樹皮ボード。

およびラミナに関して、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具合が大幅に軽減された。以上のことから、原料供給が安定

確保されれば有効な資源となることが明らかとなった。

・メラルーカ材の実際用途への展開

メラルーカの材質および木質材料としての利用可能性を踏まえて、特に高付加価値化による展開が比較的容易な家具・楽器分野を対象とした新規木質材料を開発した。メラルーカ材は材質的には中庸であるため、家具用材の高付加価値化として図 29 に示すような屈曲性や捻回性に富んだ可撓性木質材料を開発した。湾曲・捻回が可能な剛性になるまで木材を薄板化し、粘性が高い樹脂を用いて接着接合することに特徴がある。本材料は、素材強度に依存することから、他の湿地林材にも適用可能であった。



図 29. 可撓性木質材料.

・泥炭湿地林材の幹の材質評価および実際用途への展開

造林候補樹種として期待される湿地林構成樹種を選抜し、各幹材の物理的特性、化学成分構成、生物阻害活性をメラルーカ材と同様に調査し、利用可能性のある分野を抽出した。さらに、利用可能性の高い木質材料や樹種について、実際用途への展開に必要な品質向上・機能性向上技術の開発に取り組んだ。メラルーカを含む 10 種の各種力学特性を表 9 に示す。*Syzygium kunstleri* と *Ploiarium alternifolium* は、密度が 0.9 g/cm^3 前後と高く、高級家具材としての利用可能性がある。特に *Ploiarium alternifolium* は、比ヤング率が $25.5 \text{ GPa}/\gamma$ と、楽器用響板として広く用いられているシトカスプルスに匹敵する値を示し、楽器用材として有用性が高いことが明らかとなった。一方、密度が 0.1 g/cm^3 台と低い *Alstonia spathulata* は、スポンジフォーム状で被削性に優れていることから、断熱材や緩衝材としての有用性が高いことが明らかとなった。図 30 に褐色腐朽菌および白色腐朽菌による腐朽試験結果を示す。*Vatica pauciflora*、*Syzygium kunstleri* および *Fagraea fragrans* で高い耐腐朽性能が確認され、外構用途への有用性が高いことが明らかとなった。

【葉・樹皮の利用技術の開発】

メラルーカの葉・樹皮の化学成分構成を調査し、抽出成分および抽出残渣の利用法を検討した。また、樹皮の材質特性を調査し、新規木質材料として、樹皮プラスチック複合材の開発に取り組み、利用可能な分野を抽出した。メラルーカの葉は、シネオールを主体としたテルペン類を多く含むこ

表 9. 泥炭湿地林材の各種力学特性.

	材名	密度	曲げ強さ	ヤング率	硬さ
	学名	(g/cm^3)	(MPa)	(GPa)	(DHD)
0	<i>Melaleuca cajuputi</i>	0.64	147	13.6	65
1	<i>Vatica pauciflora</i>	0.56	119	11.6	52
2	<i>Alstonia spathulata</i>	0.18	14	0.9	12
3	<i>Syzygium kunstleri</i>	0.86	146	12.6	73
4	<i>Syzygium longiflorum</i>	0.79	180	16.4	71
5	<i>Syzygium oblatum</i>	0.75	139	12.4	66
6	<i>Syzygium polyanthum</i>	0.61	140	10.7	66
7	<i>Ploiarium alternifolium</i>	0.94	237	24.6	76
8	<i>Camptosperma coriaceum</i>	0.49	109	9.3	63
9	<i>Fagraea fragrans</i>	0.76	173	13.7	73

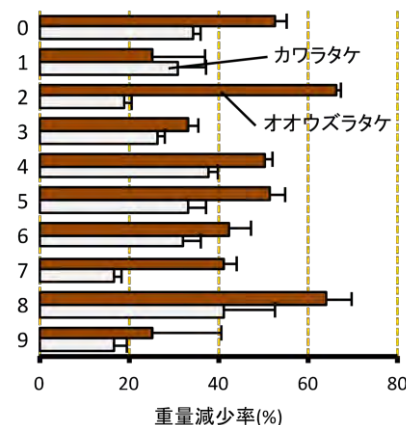


図 30. 泥炭湿地林材の耐腐朽性能.

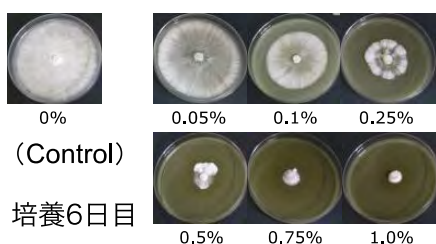


図 31. 葉の抽出物の抗菌性試験 (白色腐朽菌).



図 32. 樹皮プラスチック複合材.

とが知られており、本研究で採取した葉においても、エタノール抽出物に高い抗菌性(対象:褐色腐朽菌 *Fomitopsis palustris*、白色腐朽菌 *Trametes versicolor*)があることを確認した(図 31)。また、精油にポリスチレンを溶解し、精油の揮発速度を抑制した抗菌/防腐剤塗布方法を開発した。また、メラルーカの樹皮は、これまで工業的な利用は皆無であり、図 28d に示すように、細片化した樹皮ボードがこれまでに研究されているが、従前の製品との差別化は達成されていなかった。今回、ペーパー状で厚いというメラルーカ樹皮の独特の特徴を損なわないまま細片化する、という手法を新たに導入し、さらに、疎水性が高く、ポリエチレンやポリスチレン等の熱可塑性樹脂との相溶性に優れることを明らかにすることで、図 32 に示すようなコルクマット様のウッドプラスチックの開発に成功した。

【バイオマス有効利用システムの開発】

メラルーカ人工林から生産される木質バイオマスの利用システムを構築した。実用化の可能性の高い製品の選定と資源配分比を検討し、研究項目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」の二酸化炭素に関する LCI および経済性分析に必要なデータを供給した。研究項目2において、メラルーカ人工林のバイオマス調査から推定された 15 年生丸太は、元口直径 $D < 145$ mm 材が材積全体の 95.4%を占めることが明らかとなり、合板用材には不向きであった。メラルーカ材は硬質のため、床材や天板用途に適していることから、本プロジェクトでは、ラミナの製造歩留まりを考慮して、 $D \geq 85$ mm 材をマテリアル用途に、 $D < 85$ mm 材をエネルギー用途に振り分けるのが妥当であると判断した。また、樹皮に関しては、ウッドプラスチック材の原料に用いることに決定した。葉に関しては、水蒸気蒸留によって精油を得ることにした。

【バイオマス有効利用システムの実証試験】

本プロジェクトで開発した環境配慮および経済性を考慮した実用性の高い木材利用技術に関して、実用化を見据えた製品の加工条件の最適化に取り組んだ。また、生育段階・伐採後のメラルーカ材の材質特性を調査し、成熟材を安定して得るための植林・育林方法について考察した。

・メラルーカの生育と材質特性

タイ国のメラルーカ林において、直径 8.7~24.0 cm、傾斜角度 1~40°のメラルーカを対象とし、胸高部位において傾斜の上下および側面の成長応力解放ひずみを測定した。また、引張あて材の有無を確認するために、木口面から切片を作成し組織観察を行った。傾斜の上下の解放ひずみの値より傾斜が解放ひずみに与える影響について検討し、あて材の形成について検討を行った(図 33)。その結果、傾斜のない個体では、解放ひずみが小さく、伐採後の割れも他の早生樹に比べて小さいことが分かった。しかし、10°以上の傾斜では、解放ひずみの絶対値は大きく、少しの傾斜で大きなあてを形成することが分かった。また、傾斜の大きい個体のあて材部では、ゼラチン層が多く認められ、大きな引張あてを形成していることが分かった。

採取したメラルーカ材の密度の放射方向の分布を図 34 に示す。密度は髄で最も低く、髄から外側に向かって高くなり、3 個体の異なる直径の密度放射方向分布はほぼ同一曲線上にのり、成熟材形成は直径によって決まることが分かった。従って、成熟材形成は個体の樹齢に関係なく、ある直径に達しなければ始まらないということになる。つまり、植栽密度を疎にしたり、早めに間伐をしたりすることで、初期段階から成長を促進し、より早い段階で成熟材を形成させることができる。

以上より、メラルーカは成長速度が速くても伐採後の割れそりが大きくならないこと、成長速度が速い方が成熟材をより多く形成できることが明らかとなった。

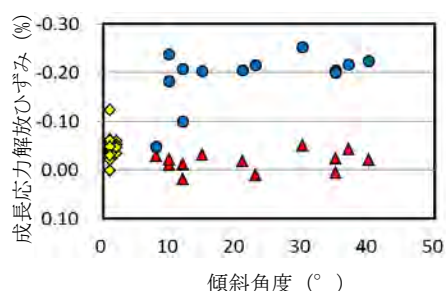


図 33. 傾斜角度が解放ひずみに与える影響.

●: 傾斜の下部(引張あて材部)
△: 傾斜の上部(オポジット材)
◇: 傾斜のない個体

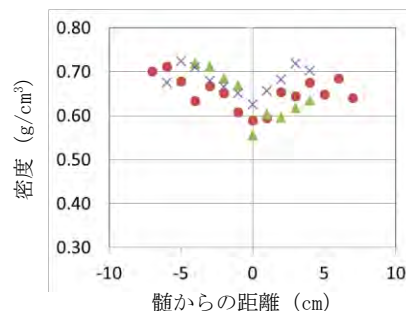


図 34. 密度の放射方向分布.

●: 大径木、×: 中径木、△: 小径木

・集成板の製造

タイ国のメラルーカ人工林にて集成板用のサンプルとして $92 \leq D \leq 213$ mm を採取し、厚さ 25 mm のラミナ乾燥材を製造時の歩留まりを算出したところ 32.7%であった。あて材の多い木材は、乾燥工程時に反りや割れが発生し易いため、内部応力の緩和や異常変形の抑制を目的とした乾燥技術が取り組まれているが、本研究では、髄を外して製材し、予めラミナ表層の四面をマイクロ波加熱後に横圧縮加工をすることでラミナの乾燥割れやねじれは軽減された。

・樹皮プラスチック複合材

シュレッターミル加工で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の寸法安定性と強度性能を向上させるために、樹皮とプラスチックとの混合方法や樹皮:プラスチック混合比を様々にした検討を行った。結果として、従前は樹皮小片とプラスチック粉体と攪拌混合していた手法に対して、樹皮小片をプラスチックシートで挟み込み、多層状に積層してゆく新たな混合方法を採用することで、厚さ方向の材質の偏りを大幅に低減することが可能となった。樹皮-プラスチック複合材は機械的性能が従来のウッドプラスチックよりは劣るものの、耐水性には優れていることが明らかとなり、供給不安定性と価格高騰が問題となっているコルク材の代替や高耐久性の外構用材料としての利用可能性が見出された。

4. 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(グループ1, 2)

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を提示するにあたり、温室効果ガス収支、エネルギー収支、経済性の面で最適なシステムを提示するために、以下の細目について検討した。研究項目1-3における研究の進展を踏まえながら評価の根拠となる各種の推定についてその精度を高め、実際規模でのプロジェクトの評価を行った。

【炭素収支の評価】

研究項目1および2で得られた成果をもとに、プロジェクトである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、表 10 にとりまとめた。オイルパーム園での泥炭分解速度についてはこれまでモニタリングデータや既報値から $20 \text{ tC ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ と想定していたが、モニタリングおよび土壌のガス拡散特性の解析を通じて、降雨による表層土壌の一時的な飽和化や土壌透水性の低さに起因する不飽和嫌気土層の発達などにより放出速度の減少が起こることが明らかになったことを考慮に入れ、 $15 \text{ tC ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ に下方修正した。それでもオイルパーム園では排水を前提としているため泥炭分解速度が大きく、系全体として大気中へ二酸化炭素を $10.5 \text{ tC ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ 放出すると推定された。オイルパームの成長や収穫に関しては立地環境のよい場所で得られたエリートデータをもとにしているため、この二酸化炭素放出量は過小な見積である。メラルーカ人工林は純生産量もオイルパーム園に比べて遜色なく、また湛水を前提としているために泥炭分解速度が小さく、その結果、系全体として大気中の二酸化炭素を $7.9 \text{ tC ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ 吸収すると推定された。

【メタン放出の評価】

再湛水化に伴うメタン放出量の変化による温室効果ガス排出削減効果への影響を評価した。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 $0.2 \text{ tC ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ (温室効果係数 21 を乗じた値) 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は測定地点による変動が非常に大きく、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 (図 35)。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、幹表面からメタンの放出の日変化が捉えられたが、日変動の要因として考えられる蒸散速度の日変化 (根から葉への樹液の移動) との関連については確証を得るには至らなかった。幹表面の放出は地際部からの放出量が多いことが明らかになった。これまでに得られた幹放出量の最大値とメラルーカ人工林のバイオマス調査から推定した林分あたりの幹表面積をもとに、地際から 1.3 m 高までは $0.86 \text{ mgCH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ 、それより高

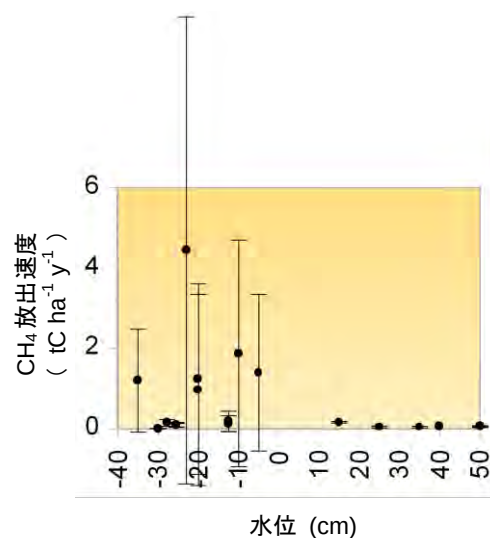


図 35. 地下水位が泥炭土壌からのメタン放出に与える影響。誤差棒は標準偏差。

く、日変動の要因として考えられる蒸散速度の日変化 (根から葉への樹液の移動) との関連については確証を得るには至らなかった。幹表面の放出は地際部からの放出量が多いことが明らかになった。これまでに得られた幹放出量の最大値とメラルーカ人工林のバイオマス調査から推定した林分あたりの幹表面積をもとに、地際から 1.3 m 高までは $0.86 \text{ mgCH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ 、それより高

表 10. 熱帯泥炭土壌におけるプロジェクトとベースラインの土地利用の炭素収支の評価 ($\text{tC ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$)。

	ベースライン オイルパーム園	プロジェクト メラルーカ林
a 地上部バイオマス成長	1.5	4.4
b 地下部バイオマス成長	0.3	1.2
c 落葉・落枝	3.5	5.3
d 枯死根	0.2	0.0
e 果実の収穫	5.5	0.0
f 純生産 (a+b+c+d+e)	11.0	10.9
g 泥炭分解 (土壌呼吸)	15.0	2.0
h 系外への流出	1.0	1.0
i 大気二酸化炭素固定量 (f-e-g-h)	-10.5	7.9
j 土壌 (泥炭) への蓄積 (c+d-g-h)	-12.3	2.3

注) すべての項目を実測したわけではない (オイルパームの成長・収穫については文献でのエリートデータ)。

い部位では高さによる放出量の減衰を考慮せずに $0.086 \text{ mgCH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ の放出速度を仮定して樹体からの放出量を保守的に推定したところ、 $0.032 \text{ tC ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ であった。再湛水による泥炭土壌からのメタン放出の増大の可能性は小さく、また樹体を介したメタンの放出も軽微であることから、泥炭保全および造林による CO_2 排出抑制を考える際にメタン放出による影響を考慮する必要はないと判断した。

【排出削減ポテンシャルの推定】

研究細目【炭素収支の評価】で得られた各土地利用における生態系の炭素収支および研究細目【メタン放出の評価】で得られた推定メタン放出量をもとにプロジェクト実施による温室効果ガス削減ポテンシャルを推定した。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土壌からは $15 \text{ tC ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ の CO_2 の放出が見込まれるのに対して、湛水条件では $2 \text{ tC ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ 程度に抑制されると見込まれる(表 10)。メラルーカ林の造成によるリター(落葉・落枝)の供給による泥炭蓄積効果を考慮すると正味 $14.6 \text{ tC ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ の排出削減効果が期待される(表 10, 11)。さらに、バイオマスへの固定量が $5.6 \text{ tC ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ と見積もられ、バイオマスを利用しない場合は、合計して $20.2 \text{ tC ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ の排出削減効果となる。

表 11. 木質バイオマス生産プロジェクトの CO_2 固定量($\text{tC ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$)。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)
総計	20.2	14.6
内訳		
泥炭保全	14.6	14.6
造林	5.6	

【木質バイオマス生産量推定】

研究項目2で得られたメラルーカのバイオマス量の推定値をもとに、木質バイオマス生産量を推定したところ、1 ha の 15 年生のメラルーカ人工林から 133 ton の地上部バイオマス(実・花を除く)が得られると見込まれる(表 7)。15 年生のメラルーカ人工林のバイオマス分配および材の径級分布から図 36 のようなメラルーカのバイオマスの資源配分が収益上、最適であると考えられる。当初は最終産物として、集成板、パーティクルボード、樹皮ボード、燃料チップ、精油を想定したが、収益性の面でも CO_2 排出の面でも見劣りするパーティクルボードの製造をやめ、集成板、ウッドプラスチック、燃料チップ、精油を最終産物とすることにした。

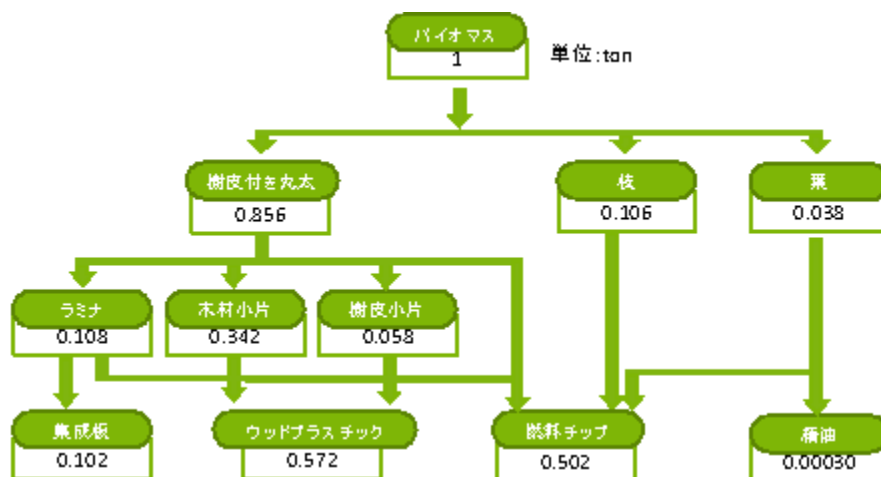


図 36. メラルーカバイオマス 1ton の資源配分と加工品生産量(単位:ton).

※樹皮付き丸太 0.856 の比率内訳(丸太+樹皮=0.758+0.098)

※樹皮付き丸太を1としたときの資源配分内訳(ラミナ:木材小片:樹皮:燃料チップ=0.126: 0.400: 0.068: 0.407)

※集成板の内訳(ラミナ 0.097, 接着剤 0.005)

※ウッドプラスチックの内訳(木材・樹皮小片 0.400+PE 0.171, 樹脂率 30%)

※燃料チップ 0.502 の比率内訳(製材屑 0.359+枝 0.106+葉抽出残渣 0.0377)

【LCI システムの構築】

熱帯泥炭湿地における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総合的なライフサイクルアセスメント(LCA)を可能とするためのライフサイクルインベントリ(LCI)の推計を行った。熱帯泥炭湿地開発地における木質バイオマス生産システムのプロセスフローを図 37 のように作成し、各プロセスにおけるインベントリデータを収集・算定した。

【経済性評価】

プロジェクト実施による波及効果として周辺地域での個別農家によるメラルーカ人工林造成の促進効果を評価するべく、加工製品の工場出荷価格からメラルーカのバイオマス買い取り価格を算出した。比較対照として、オイルパーム園から見込まれる収益をエリートデータの成長量(表 10)や資料調査およびナコンシタマラート県の搾油工場 A での聞き取り調査に基づいて算定した。得られた結果については【実際規模のプロジェクトの設計と評価】で述べる。

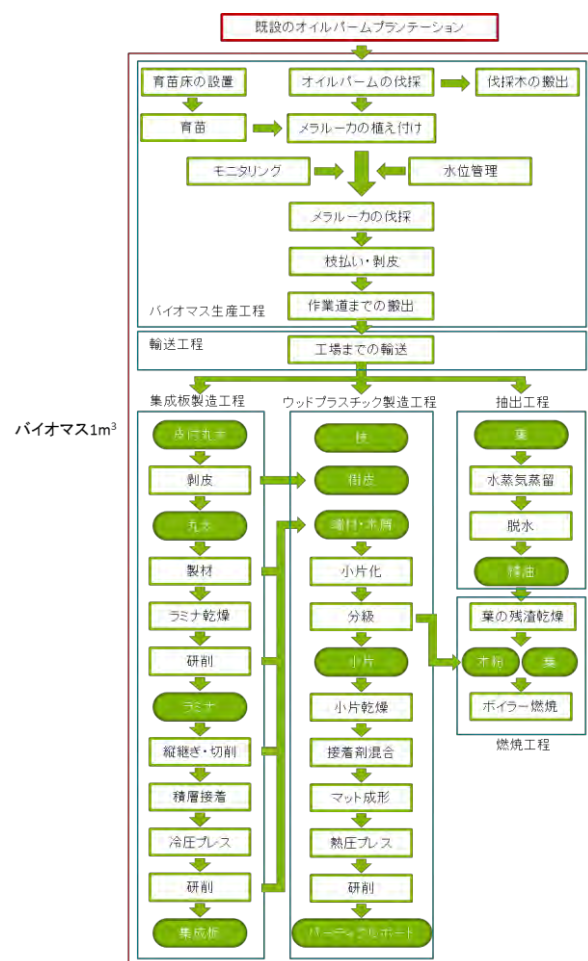


図 37. 木質バイオマス生産システムのプロセスフロー.

【適応可能面積推定】

・熱帯泥炭開発地の面積の推定

熱帯泥炭湿地における木質バイオマス生産プロジェクトが適応可能な熱帯泥炭開発地の面積を推定するため、GeoCover、GeoCover LC、SRTM、デジタル土壌図などのデジタル環境データを解析し、2000 年を基準年とする大縮尺の土地被覆図を東南アジア各地域毎に作成した。東南アジアの熱帯泥炭湿地の開発地面積は、660 万 ha(産業造林地、灌木地等 490 万 ha、裸地等 82 万 ha、農地、オイルパーム園 47 万 ha、草地 43 万 ha)と推定された。このうちの灌木地等の一部には、排水されていない開発地が含まれている可能性があるが、本プロジェクトの適応可能面積は非常に大きいと言える。

・土地利用・土地被覆変化の解析のためのアルゴリズムの開発

東南アジアに分布する熱帯泥炭湿地林地帯の土地利用・土地被覆変化を、衛星リモートセンシングデータを用いて時系列的に捉えるためのデータ解析アルゴリズムの開発とその性能評価のための現地調査(スマトラ島、ジャワ島)を行った。開発した解析アルゴリズムは、ほぼ期待通りの性能を示し、熱帯泥炭湿地林地帯の土地利用、土地被覆変化と土地利用変化ダイナミクスを精度 80% 程度の正答率で捉えられるものと期待できる。

・東南アジア熱帯泥炭湿地域の土地利用・土地被覆変化

東南アジアに約 25 万 km² 分布する熱帯泥炭湿地では、近年、土地利用や環境が変化しており、その変化の傾向を把握しておくことが、熱帯泥炭湿地での全球炭素収支モデリングや環境保全政策遂行上、有益である。本解析では、米国航空宇宙局(NASA)が打ち上げた地球観測衛星 TERRA/AQUA が撮影した MODIS 画像から作成した、地上解像度 500m×500m の土地利用プロダクト MCD12Q1 を用いて、2001 年～2012 年までの東南アジアの沿岸域に分布する熱帯泥炭地域内の土地利用の変化を分析した。熱帯泥炭湿地が分布する東南アジア各国の縮尺 1/100 万～1/50 万の土壌図から泥炭地域をデジタイズして、ポリゴンデータとして得たのち、土地利用データセット MCD12Q1 内の IGBP 土地利用分類データ(16 カテゴリー)から、各国内の熱帯泥炭湿地内の土地利用分布図を得た。東南アジア熱帯泥炭湿地を A マレー半島地域、B スマトラ島地域、C カリマンタン島地域、D 西パプア地域に区分して、各地域の 12 年間の土地利用変化をまとめた。東南アジア全体での熱帯泥炭湿地内において 2001 年から 2012 年にかけて森林面積が減少していた。灌木林など植皮率の低い自然植生や耕作地を開発の結果とみなすと約 300 万 ha の地域がこれに該当した。この他に西パプア域で森林の減少と並行して「湿地」カテゴリーの面積が拡大しており、開発の結果を反映していると考えられる。開発地と判定した地域の面積 300 万 ha は、上記の 2000 年を基準年とする土地被覆図を東南アジア各地域毎に作成した結果から得られた 660 万 ha の半分以下とかなり過小であるが、その理由は、MCD12Q1 の解像度が 500m×500m と低いことと、「湿地」カテゴリーに分類されている地域に開発地が含まれていることなどが考えられる。

【実際規模のプロジェクトの設計と評価】

H23 年度に実証試験地規模のプロジェクトの設計と評価を行った後、各研究項目で得られた知見等をもとにプロジェクトを見直し、実際規模のプロジェクトとして 100,000 tDW y⁻¹ 規模の木質バイオマス利用システムを想定し、木質バイオマス生産プロジェクトの温室効果ガス収支と経済性を評価した。温室効果ガス収支に関しては、森林造成工程に比べて加工工程での CO₂ 排出量が多いが、当初最終生産物として想定したパーティクルボードの製造をやめて、集成板、ウッドプラスチック、燃料チップ、精油を最終産物としたことにより、加工工程での CO₂ 排出量を大幅に縮小した(表 12)。

表 12. 10,000 ha の事業モデルの CO₂ 排出量 (tC ha⁻¹ y⁻¹). 10,000 ha のうち 2500 ha を除地として 7,500 ha を毎年 500 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 (133 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		
森林造成	オイルパーム伐採	0.022	-
	育苗	0.002	0.002
	植栽	0.007	0.007
	伐採・搬出	-	0.023
	枝払い・剥皮	-	0
	総計	0.031	0.033
加工	集成板		0.055
	ウッドプラスチック		0.104
	抽出成分		0.000
	ボイラー燃焼		0.001
	バイオマスボイラー		-0.028
	総計		0.131
総計		0.031	0.164

表 13. 10,000 ha の事業モデルのコストと収益 (円 ha⁻¹ y⁻¹). 10,000 ha のうち 2500 ha を除地として 7,500 ha を毎年 500 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 (133 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. 粗利は第二期のコストを売上高から差し引いて算出した.

工程	第一期 (15 年目まで)	第二期 (16 年以降)	売上高	粗利
オイルパーム伐採	2,731	-		
育苗	4,228	4,228		
植栽	2,932	2,932		
伐採・搬出	-	2,641		
枝払い・剥皮	-	305		
総計	9,891	10,106	78,896	68,790

表 14. 10,000 ha の事業モデルの製造工程のコストと収益. 15 年後の伐採時に 170 m³ の幹材積 (133 ton の幹・枝・葉) があると想定.

工程	メラルーカバイオマス 1 ton あたり (円 ton ⁻¹)			1 ha、1 年あたり (円 ha ⁻¹ y ⁻¹)		
	コスト	売上高	粗利	コスト	売上高	粗利
集成板	6,167	8,160		54,678	72,352	
ウッドプラスチック	28,607	42,900		253,650	380,380	
抽出成分	252	300		2,238	2,660	
総計	35,026	51,360	16,334	310,566	455,392	144,826

収益性に関しては、加工工場での買い取りを想定して農家収入を算定したところ、78,896 円 $\text{ha}^{-1} \text{y}^{-1}$ となった(表 13)。施業コストを差し引くと 68,790 円 $\text{ha}^{-1} \text{y}^{-1}$ の収益が見込める。オイルパーム園でのエリートデータとしての収益を見積もったところ、83,624 円 $\text{ha}^{-1} \text{y}^{-1}$ となり、メラルーカ植林に比べて 1.5 万円ほど高い。泥炭保全により 14.6 $\text{tC ha}^{-1} \text{y}^{-1}$ の排出抑制が見込まれるとすると、1 ton CO_2 に対して 277 円の炭素クレジットからの収入があればオイルパームと等価の収益が見込めることになり、最近の炭素クレジット価格の暴落を受けてもなお実現可能性の高いプロジェクトである。工場経営としてもメラルーカバイオマス 1 ton あたり 16,334 円、ヘクタール、年あたりで 144,826 円の粗利を見込める(表 14)。

§ 5 成果発表等

(1)原著論文発表 (国内(和文)誌 4 件、国際 (欧文) 誌 12 件)

1. Kogawara, S, Yamanoshita, T, Norisada, M, Kojima, K. Steady sucrose degradation is a prerequisite for tolerance to root hypoxia. *Tree Physiology*, 34: 229-240, 2014.
2. Tahara, K, Hashida, K, Otsuka, Y, Ohara, S, Kojima, K, Shinohara, K. Identification of a hydrolyzable tannin, oenothien B, as an aluminum-detoxifying ligand in a highly aluminum-resistant tree, *Eucalyptus camaldulensis*. *Plant Physiology*, 164: 683-693, 2014.
3. Tanaka, M, Yamamoto, H, Kojima, M, Yoshida, M, Matsuo, M, Lahjie, A.M, Hongo, I, Arizono, T. The interrelation between microfibril angle (MFA) and hygrothermal recovery (HTR) in compression wood and normal wood of *Sugi* and *Agathis*. *Holzforschung*: (Online first. DOI 10.1515/hf-2013-0153), 2014.
4. Nagano, T, Osawa, K, Ishida, T, Sakai, K, Vijarnsorn, P, Jongskul, A, Phetsuk, S, Waijaroen, S, Yamanoshita, T, Norisada, M, Kojima, K. Subsidence and soil CO₂ efflux in tropical peatland in southern Thailand under various water table and management conditions. *Mires and Peat*, 11: Article 6 (Published Online: <http://www.mires-and-peat.net/volumes/map11/map1106.php>), 2013.
5. Setiawan, Y, Yoshino, K, Philpot, DW. Characterizing temporal vegetation dynamics of land use in regional scale of Java Island, Indonesia. *Journal of Land Use Science*, 8: 1-30, 2013.
6. Iiyama, I, Osawa, K, Nagata, O. Soil O₂ profile affected by gas diffusivity and water retention in a drained peat layer. *Soils and Foundations*, 52: 49-58, 2012.
7. Iiyama I, Osawa K, Nagai T. A seasonal behavior of surface soil moisture condition in a reclaimed tropical peatland. *Soil Science and Plant Nutrition*, 58: 543-552, 2012.
8. Setiawan, Y, Yoshino, K. Change detection in land-use and land-cover dynamics at a regional scale from MODIS time-series imagery. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, I-7: 243-248, 2012.
9. 酒井一人, 仲村渠将, 吉永安俊, 長野敏英, 大澤和敏, 石田朋靖. 冬季の沖縄県北部亜熱帯広葉樹林地域における CO₂ フラックスの地点および観測日による変動実態. *土壌の物理性*, 122: 23-31, 2012.
10. 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: 347-352, 2012.
11. 広橋亜希, 児嶋美穂, 吉田正人, 山本浩之, 渡邊良広, 井上広喜, 鴨田重裕. 国産早生樹ユーカリ 6 樹種の材質特性. *木材学会誌*, 58: 339-346. 2012.
12. Tanaka, K, Masumori, M, Yamanoshita, T, Tange, T. Morphological and anatomical changes of *Melaleuca cajuputi* under submergence. *Trees*, 25: 695-704, 2011.
13. Iiyama, I, Osawa, K. Surface O₂ influx related to soil O₂ profiles in a drained tropical peatland. *Soil Science and Plant Nutrition*, 56: 517-520, 2010.
14. 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.
15. Iiyama, I, Osawa, K. Surface O₂ influx related to soil O₂ profiles in a drained tropical peatland. *Soil Science and Plant Nutrition*, 56: 517-520, 2010.
16. 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.

(2)その他の著作物(総説、書籍など)

1. 小島克己. 熱帯泥炭湿地を保全しながら利用するー再湛水化と木質バイオマス生産. pp. 200-215. アジア生物環境研究センター編, アジアの生物資源環境学, 東京大学出版会, 東京. 2013.
2. 小島克己. 生物資源環境学のめざすもの. pp. 233-237. アジア生物環境研究センター編, アジアの生物資源環境学, 東京大学出版会, 東京. 2013.

3. 小島克己. アジアの生物資源と環境. pp. 1-12. アジア生物環境研究センター編, アジアの生物資源環境学, 東京大学出版会, 東京. 2013.
4. 則定真利子. 荒廃地に森を作るー環境造林の方法. pp. 13-31. アジア生物環境研究センター編, アジアの生物資源環境学, 東京大学出版会, 東京. 2013.
5. 山ノ下卓. *Melaleuca cajuputi* の営み. p. 215. アジア生物環境研究センター編, アジアの生物資源環境学, 東京大学出版会, 東京. 2013.
6. 足立幸司, 熱帯泥炭湿地林材の高度利用を考える. *Journal of Timber Engineering*, 24: 252-257, 2011.
7. 児嶋美穂. 中央ラオスにおける植林ユーカリの成長と材質に及ぼす生育環境の影響. 海外の森林と林業, 87: 48-52, 2013.

(3)国際学会発表及び主要な国内学会発表

- ① 招待講演 (国内会議 2 件、国際会議 0 件)
 1. 小島克己(東京大、JST-CREST). (2009) 熱帯荒廃地の環境ストレスと樹木の応答. 第 18 回バイテク林木育種研究会(招待講演). 京都, 2009.3.28.
 2. 山ノ下卓(東京大、JST-CREST). (2009) 熱帯樹木の根の湛水ストレス応答. 第 120 回日本森林学会大会テーマ別シンポジウム「樹木の成長と環境」(招待講演), 京都, 2009.3.27.
- ② 口頭発表 (国内会議 21 件、国際会議 5 件)

〈国内〉

 1. 鈴木優輔, 大澤和敏, 長野敏英, 石田朋靖(宇都宮大, JST-CREST). インドネシア共和国の泥炭地における土壌呼吸量の長期観測. 第 64 回農業農村工学会関東支部大会講演会, 宇都宮, 2013.10.30.
 2. 児嶋美穂^{1,2}, 稲継実栗³, 矢野明日香³, 広橋亜希³, 山本浩之³, 吉田正人³, 梅村光俊³, 竹中千里³, 近藤稔³, 井上雅文^{1,2}, 福江陽子⁴, 村松拓⁴, 佐々木信弥⁴(1 東京大, 2 JST-CREST, 3 名古屋大, 4 王子ホールディングス(株)LPFL 社). 水環境の違いが樹幹材質におよぼす影響 III〜ラオス中部に植林されている Hybrid *Eucalyptus* を用いて〜. 第 63 回日本木材学会大会, 盛岡, 2013. 3. 27-29.
 3. 広橋亜希¹, 松尾美幸¹, 吉田正人¹, 山本浩之¹, 児嶋美穂^{2,3}, 渡邊良広², 井上広喜², 鴨田重裕² (1 名古屋大, 2 東京大, 3 JST-CREST). ユーカリ属における成長応力発生機構. 第 63 回日本木材学会大会, 盛岡, 2013. 3. 27-29.
 4. 白井達也¹, 松尾美幸¹, 吉田正人¹, 山本浩之¹, 児嶋美穂^{1,2,3}, Abubakar M Lahjie⁴, 有薗健志⁴, 本江一郎⁴(1 名古屋大, 2 東京大, 3 JST-CREST, 4 Mulawarman 大学). 裸子植物である *Gnetum gnemon* の傾斜樹幹に作られるあて材は、圧縮あて材か？それとも引張あて材か？ 第 63 回日本木材学会大会, 盛岡, 2013. 3. 27-29.
 5. 照屋央¹, 大澤和敏^{1,2}, 長野敏英^{1,2}, 石田朋靖^{1,2}(1 宇都宮大, 2 JST-CREST). 熱帯泥炭地域における土壌呼吸の地温・水位に対する応答解析およびモデル化. 平成 24 年度農業農村工学会大会講演会, 札幌, 2012.9.18-20.
 6. 鈴木優輔, 大澤和敏, 長野敏英, 石田朋靖(宇都宮大, JST-CREST). 熱帯泥炭地の再湛水に伴う CH₄ 及び CO₂ 放出速度の測定. 平成 24 年度農業農村工学会大会講演会, 札幌, 2012.9.18-20.
 7. 大澤和敏^{1,2}, 岩田真一¹, 石田朋靖^{1,2}, 長野敏英^{1,2}, 小島克己^{2,3}(1 宇都宮大, 2 JST-CREST, 3 東京大). 熱帯泥炭土壌の分解特性と有機物成分の関係. 平成 23 年度農業農村工学会大会講演会, 福岡, 2011.9.6-8.
 8. 飯田隆一¹, 大谷忠¹, 中井毅尚², 足立幸司^{3,4}, 井上雅文^{3,4}(1 東京学芸大, 2 島根大, 3 東京大, 4 JST-CREST). 木材表面の高速摩擦コーティング層における転写性とぬれ性の評価. 第 62 回日本木材学会大会, 札幌, 2012.3.15-3.17.
 9. 足立幸司^{1,2}, 相馬智明¹, 蒲池健¹, 井上雅文^{1,2}(1 東大, 2 JST-CREST). 木質バネの

- 開発. 第 61 回日本木材学会大会, 京都, 2011.3.18-3.20.
10. 大谷忠¹, 飯田隆一¹, 中井毅尚², 足立幸司^{3,4}, 井上雅文^{3,4} (1 東京学芸大, 2 島根大, 3 JST-CREST, 4 東京大). トライボロジーの摩擦条件を利用した木材の機械加工の特性. 第 61 回日本木材学会大会, 京都, 2011.3.18-3.20.
 11. 腰塚実穂¹, 大谷忠², 足立幸司^{1,3}, 井上雅文^{1,3} (1 東京大, 2 東京学芸大, 3 JST-CREST). 細胞に現れるき裂の進展と木材切削面の形成. 第 61 回日本木材学会大会, 京都, 2011.3.18-3.20.
 12. 酒井一人^{1,2}, 吉永安俊¹, 中西康博¹ (1 琉球大, 2 JST-CREST). 宮古島における DNDC モデルを用いた長期地下水硝酸態窒素濃度解析. 平成 22 年度日本雨水資源化システム学会, 岐阜, 2010.11.5.
 13. 長野敏英^{1,2}, Vijarnsorn, P³, Nuyim, T⁴, Jongskul, A⁵, 石田朋靖^{1,2}, 大澤和敏^{1,2}, 小島克己^{2,6}, 則定真利子^{2,6}, 山ノ下卓^{2,6}, 酒井一人^{2,7}, 吉野邦彦^{2,8} (1 宇都宮大, 2 JST-CREST, 3 Chaipattana Foundation, 4 Royal Forest Department, 5 Land Development Department, 6 東京大, 7 琉球大, 8 筑波大). 熱帯泥炭土壌地域における炭素動態—土壌呼吸量と地下水位—. 日本生物環境工学会 2010 年大会, 京都, 2010.9.8-10.
 14. 飯山一平 (宇都宮大, JST-CREST). 草本泥炭と木本泥炭の土壌ガス拡散係数. 日本土壌肥料学会 2010 年度北海道大会, 札幌, 2010.9.6-9.9.
 15. 宗像勇介^{1,2}, 大澤和敏^{1,2}, 袴田直幹¹, 石田朋靖^{1,2}, 長野敏英^{1,2} (1 宇都宮大, 2 JST-CREST). 東南アジア各地域における熱帯泥炭土壌の分解特性. 平成 22 年度農業農村工学会大会講演会, 神戸, 2010.8.31-9.2.
 16. 足立幸司^{1,2}, 山内秀文³, 井上雅文^{1,2} (1 東京大, 2 JST-CREST, 3 秋田県立大学). 可撓性単板積層材の力学特性とその応用 (2) 接着剤/粘着剤の組み合わせ塗布の有効性. 第 60 回日本木材学会大会, 宮崎, 2010.3.17-19.
 17. 大前芳美^{1,2}, 斎藤幸恵¹, 井上雅文^{1,2} (1 東京大, 2 JST-CREST). 炭化の雰囲気条件が竹炭の水分吸脱着機構に及ぼす影響. 第 60 回日本木材学会大会, 宮崎, 2010.3.17-19.
 18. 足立幸司^{1,2}, 蒲池健¹, 井上雅文^{1,2}, 相馬智明¹ (1 東京大, 2 JST-CREST). 木質材料の可撓化技術の開発と実用化に向けた取り組み. 第 14 回木質構造研究会技術発表会, 東京, 2010.12.3-4.
 19. 長野敏英^{1,2}, 石田朋靖^{1,2}, 大澤和敏^{1,2}, ビジヤンソン・ピソット³, ジョンスクル・アピチャー³ (1 宇都宮大, 2 JST-CREST, 3 チャイパッタナー基金, 4 土地開発局). 熱帯泥炭土壌地域からの炭素放出—タイ南部泥炭土壌地域を事例として—. 農業工学関連学会 2009, 東京, 2009.9.18.
 20. 荒井見和¹, 石田朋靖^{1,2}, 大澤和敏^{1,2}, 長野敏英^{1,2}, 片桐大蔵^{1,2} (1 宇都宮大, 2 JST-CREST). 水・温度環境が熱帯泥炭土壌に及ぼす影響. 農業工学関連学会 2009, 東京, 東京, 2009.9.18.
 21. 田中一生¹, 山ノ下卓^{1,2}, 益守眞也¹, 丹下健¹ (1 東京大, 2 JST-CREST). 沈水した *Melaleuca cajuputi* の成長と異形葉形成に及ぼす溶存二酸化炭素濃度の影響. 第 120 回日本森林学会大会, 京都, 2009.3.25-28.

〈国際〉

1. Norisada, M^{1,2}, Yamanoshita, T^{1,2}, Osawa, K^{2,3}, Adachi, K^{2,4}, Nagano, T^{2,3}, Iiyama, I^{2,3}, Habu, N^{2,3}, Yoshino, K^{2,5}, Kojima, M^{1,2}, Yoshida, M^{2,6}, Kogawara, S^{1,2}, Ishida, T^{2,3}, Inoue, M^{1,2}, Vijarnsorn, P⁷, Kojima, K^{1,2} (1. Univ Tokyo, 2. JST-CREST, 3. Utsunomiya Univ, 4. Akita Pref Univ, 5. Univ Tsukuba, 6. Tokyo Univ Agric Tech, 7. Chaipattana Foundation) Toward an approach for the sustainable use of tropical peatlands. International Seminar on “Sustainable utilization of biological resources and conservation of natural environment in Asia”, Harbin, July 27-28, 2013.
2. Norisada, M^{1,2}, Yamanoshita, T^{1,2}, Adachi, K^{1,2}, Osawa, K^{2,3}, Nagano, T^{2,3}, Inoue, M^{1,2}, Ishida, T^{2,3}, Vijarnsorn, P⁴, Kojima, K^{1,2} (1 Univ Tokyo, 2 JST-CREST, 3 Utsunomya

- Univ, 4 Chaipattana Foundation). A sustainable woody biomass production system for tropical peatlands. 14th International Peat Congress, Stockholm, Sweden, 3-8 June 2012.
3. Yoshino, K.^{1,2}, Ishida, T.^{2,3}, Nagano, T.^{2,3}, Setiawan Y.^{1,2} (1 Univ Tsukuba, 2 JST-CREST, 3 Ustunomiya Univ). Landcover pattern analysis of tropical peat swamp lands in Southeast Asia. International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Commission VIII, Kyoto, Japan, 2010.8.9-12.
 4. Yoshino, K.^{1,2}, Okarda, B.¹ (1 Univ Tsukuba, 2 JST-CREST). Three-dimensional modeling of a tropical tree, *Melaleuca* sp., using the digital photogrammetry. International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Commission VIII, Kyoto, Japan, 2010.8.9-12.
 5. Setiawan, Y, Yoshino, K (Univ Tsukuba, JST-CREST). Temporal pattern analysis of wavelet-filtered MODIS EVI to detect land use change in Java island, Indonesia. International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Commission VIII, Kyoto, Japan, 2010.8.9-12.

③ ポスター発表 (国内会議 22 件、国際会議 10 件)
 〈国内〉

1. 則定真利子, 山ノ下卓, 古川原聡, 小島克己(東京大, JST-CREST). 熱帯低湿地に生育する *Melaleuca cajuputi* の樹体からのメタン放出の経路の推定. 第 125 回日本森林学会大会, さいたま. 2014.3.26-30.
2. 児嶋美穂^{1,2}, 金洪民¹, 井上雅文^{1,2}, 山下香菜³, 藤原健³, 梅村光俊⁴, 山本浩之⁴, 竹中千里⁴, 村松拓⁵, 佐々木信弥⁵(1 東京大, 2 JST-CREST, 3 森林総合研究所, 4 名古屋大, 5 王子ホールディングス(株)LPFL 社) 水環境の違いが密度の放射方向分布パターンにおよぼす影響. 第 64 回日本木材学会大会, 松山, 2014. 3. 13-15.
3. 伊神裕司¹, 松村ゆかり¹, 村田光司¹, 鴨田重裕², 児嶋美穂^{2,3}, 腰塚実穂^{2,3}(1 森林総研, 2 東京大, 3 JST-CREST). 国産ユーカリの挽き材試験－鋸断特性について－. 第 31 回日本木材加工技術協会年次大会, 静岡, 2013. 10. 31-11.1.
4. 児嶋美穂^{1,2}, 足立幸司^{2,3}, 林隆三^{1,2}, 井上雅文^{1,2}(1 東京大, 2 JST-CREST, 3 秋田県立大). *Melaleuca cajuputi* のあて材特性. 第 63 回日本木材学会大会, 盛岡, 2013. 3. 27-29.
5. 林隆三^{1,2}, 児嶋美穂^{1,2}, 井上雅文^{1,2}, 足立幸司^{2,3}, 羽生直人^{2,4}(1 東京大, 2 JST-CREST, 3 秋田県立大, 4 宇都宮大). 熱可塑性樹脂シート積層法による木質ボード製造技術の提案～メラルーカ材および樹皮ボード～. 第 63 回日本木材学会大会, 盛岡, 2013. 3. 27-29.
6. 則定真利子^{1,2}, 嘉山友理子¹, 山ノ下卓^{1,2}, 小島克己^{1,2}(1 東京大, 2 JST-CREST). 根圏低酸素ストレス下における熱帯フトモモ科樹木の貯蔵炭素の役割. 第 124 回日本森林学会大会, 盛岡. 2013.3.25-28.
7. 永井竜也, 飯山一平, 大澤和敏(宇都宮大, JST-CREST). 泥炭湿地における土壌水分分布の地下水位依存性. 2012 年度土壌物理学大会, 帯広, 2012.11.2
8. 飯山一平, 大澤和敏, 永井竜也(宇都宮大, JST-CREST). 熱帯泥炭農地の表層土壌水分の季節変動. 日本土壌肥料学会 2012 年度鳥取大会, 鳥取, 2012.9.4-6.
9. 則定真利子, 山ノ下卓, 小島克己(東京大, JST-CREST). 熱帯泥炭湿地に生育する *Melaleuca cajuputi* の樹体からのメタン放出. 第 123 回日本森林学会大会, 宇都宮. 2012.3.26-29.
10. 嘉山友理子¹, 山ノ下卓^{1,2}, 則定真利子^{1,2}, 小島克己^{1,2}(1 東京大, 2 JST-CREST). 根の低酸素環境下における *Melaleuca cajuputi* と *Eucalyptus camaldulensis* の貯蔵炭水化物の動態. 第 123 回日本森林学会大会, 宇都宮. 2012.3.26-29.
11. 田中一生¹, 益守眞也¹, 山ノ下卓^{1,2}, 丹下健¹(1 東京大, 2 JST-CREST). 沈水環境下における *Melaleuca cajuputi* の通気組織の発達. 第 123 回日本森林学会大会, 宇都宮. 2012.3.26-29.
12. 林隆三¹, 足立幸司^{1,2}, 井上雅文^{1,2}, 羽生直人^{2,3}(1 東京大, 2 JST-CREST, 3 宇都宮

- 大). メラルーカ樹皮-プラスチック複合材の開発. 第 62 回日本木材学会大会, 札幌, 2012.3.15-3.17.
13. 池田廉^{1,2}, 大澤和敏^{1,2}, 中井香緒里¹, 平井英明¹(1 宇都宮大, 2 JST-CRSET). 農地における有機資材投入に伴う土壌有機炭素貯留. 平成 23 年度農業農村工学会大会講演会, 福岡, 2011.9.6-8.
 14. 飯山一平(宇都宮大, JST-CREST), 水分特性の変化が泥炭土壌のガス拡散性に与える影響, 日本土壌肥料学会 2011 年度つくば大会, つくば, 2011.8.8-10
 15. 石塚安佑未¹, 富岡明子¹, 羽生直人^{1,2}, 足立幸司^{2,3}, 井上雅文^{2,3}(1 宇都宮大学, 2 JST-CREST, 3 東京大学). タイ国の泥炭湿地林材の性状と耐朽性評価. 第 61 回日本木材学会大会, 京都, 2011.3.18-20.
 16. 山ノ下卓^{1,2}, 影山溪¹, 古川原聡³, 則定真利子^{1,2}, 小島克己^{1,2}(1 東京大, 2 JST-CREST, 3 森林総研). 生育段階が異なる *Melaleuca cajuputi* の根の低酸素環境における炭素代謝. 第 122 回日本森林学会大会, 静岡, 2011.3.25-28.
 17. 飯田隆一¹, 大谷忠¹, 中井毅尚², 足立幸司^{3,4}, 井上雅文^{3,4}(1 東京学芸大, 2 島根大学 3 東京大学, 4 JST-CREST). 高速回転のトライボロジー条件下における木材が受ける機械的および熱的作用の影響. 第 28 回日本木材加工技術協会年次大会, 奈良, 2010.10.7-8.
 18. 飯山一平(宇都宮大, JST-CREST). 草本泥炭と木本泥炭の土壌ガス拡散係数. 日本土壌肥料学会 2010 年度北海道大会, 札幌, 2010.9.7-9.
 19. 則定真利子^{1,2}, 山ノ下卓^{1,2}, ピスト=ビジャルンソン³, 小島克己^{1,2}(1 東京大, 2 JST-CREST, 3 チャイパッターナー基金). 熱帯泥炭湿地開発地の再湛水化とメタン放出. 第 121 回日本森林学会大会, つくば, 2010.4.2-5.
 20. 益守真也¹, 柳澤萌人¹, 丹下健¹, 山ノ下卓^{1,2}(1 東京大, 2 JST-CREST). 湿地生樹木の二次通気組織の発達と幹から根への酸素供給. 第 121 回日本森林学会大会, つくば, 2010.2010.4.2-5.
 21. 横井真美¹, 足立幸司^{1,2}, 蒲池健¹, 井上雅文^{1,2}(1 東京大, 2 JST-CREST). 圧密木質釘を用いた木製パレットの開発. 第 60 回日本木材学会大会, 宮崎, 2010.3.17-19.
 22. 長野敏英^{1,2}, 山ノ下卓^{2,3}, 石田朋靖^{1,2}, 則定真利子^{2,3}, タニット=ヌイム⁴, ピスト=ビジャルンソン⁵, 小島克己^{2,3}(1 宇都宮大, 2 JST-CREST, 3 東京大, 4 タイ国森林局, 5 タイ国チャイパッターナー基金). 荒廃熱帯泥炭地の泥炭保全と造林: 炭素排出源から吸収源への転換. 東京大学アジア生物資源環境研究センターセミナー, 東京, 2009.3.6.

〈国際〉

1. Ichimiya, T¹, Osumi, M¹, Kobayashi, Y², Kojima, M¹, Inoue, M¹ (1. Univ Tokyo, 2. Alfa Forum Co., Ltd). Comparison of GHG emissions in construction of timber and reinforced concrete structure. International Seminar on “Sustainable utilization of biological resources and conservation of natural environment in Asia”, Harbin, July 27-28, 2013.
2. Watanabe, S, Ichimiya, T, Chan, T, Kojima, M, Inoue, M. (Univ Tokyo). Comparison of economic repercussion effects in construction of timber and reinforced concrete structures. International Seminar on “Sustainable utilization of biological resources and conservation of natural environment in Asia”, Harbin, July 27-28, 2013.
3. Nagano T^{1,2}, Osawa K^{1,2}, Ishida T^{1,2}, Vijarnsorn P³, Jongskul A⁴, Phetsuk S⁴, Kojima K^{2,5}, Norisada M^{2,5}, Yamanoshita T^{2,5} (1 Utsunomiya Univ, 2 JST-CREST, 3 Chaipattana Foundation, 4 Land Development Department, 5 Univ Tokyo). Field observation on the tropical peat soil respiration rate under various ground water levels. 14th International Peat Congress, Stockholm, Sweden, June 4-8, 2012.
4. Adachi, K^{1,2}, Hayashi, R^{2,3}, Kojima, M^{2,3}, Inoue, M^{2,3}, Habu, N^{2,4} (1 Akita Pref Univ 2 JST-CREST, 3 Univ Tokyo, 4 Utsunomiya Univ). *Melaleuca* shredded bark-plastic composites. BIOCOMP2012. Shizuoka, Japan, November 27 - 30, 2012.
5. Norisada M^{1,2}, Yamanoshita T^{1,2}, Adachi K^{1,2}, Kamachi K^{1,2}, Inoue M^{1,2}, Osawa K^{1,3}, Nagano T^{1,3}, Ishida T^{1,3}, Vijarnsorn P⁴, Kojima K^{1,2} (1 JST-CREST, 2 Univ Tokyo, , 3

- Utsunomiya Univ, 4 Acid Sulfate Soil Improvement Project under Royal Initiatives, Chaipattana Foundation). Sustainable production of woody biomass in tropical peatlands. The Third Seminar on JSPS AA Science Platform Program: Environmental Restoration and Sustainable Use of Problem Soils, Nanjing, China, October 12-16, 2010.
6. Adachi K^{1,2}, Yamauchi H³, Inoue M^{1,2} (1 Univ Tokyo, 2 JST-CREST, 3 Akita Pref University). Flexible LVL: Potential for newly material design. The 52nd International Convention of Society of Wood Science and Technology, Geneva, Switzerland, October 11-14, 2010.
 7. Inoue M^{1,2}, Adachi K^{1,2}, Kamachi K¹, Yokoi M¹ (1 Univ Tokyo, 2 JST-CREST). Development of wooden-based nails for wooden pallet. The 52nd International Convention of Society of Wood Science and Technology, Geneva, Switzerland, October 11-14, 2010.
 8. Adachi K^{1,2}, Yamauchi H³, Kojima K^{1,2}, Inoue M^{1,2} (1 Univ Tokyo, 2 JST-CREST, 3 Akita Pref University). Improvement in flexibility of laminated veneer lumber by using pressure-sensitive adhesives. The 11th World Conference on Timber Engineering, Trentino, Italy, June 20-24, 2010.
 9. Kuribayashi T¹, Adachi K^{1,2}, Kamachi K¹, Inoue M^{1,2}, Hori N¹, Takemura A¹ (1 Univ Tokyo, 2 JST-CREST). Effects of the viscoelasticity of adhesives on mechanical properties of wood laminates. The Third Asian Conference on Adhesion, Hamamatsu, Japan, June 7-10, 2009.
 10. Norisada M^{1,2}, Yamanoshita T^{1,2}, Osawa K^{1,3}, Ishida T^{1,3}, Nagano T^{1,3}, Yoshino K^{1,4}, Sakai K^{1,5}, Adachi K^{1,2}, Kamachi K^{1,2}, Inoue M^{1,2}, Habu N^{1,3}, Vijarnsorn P^{6,7}, Kojima K^{1,2} (1 JST-CREST, 2 Univ Tokyo, 3 Utsunomiya Univ, 4 Univ Tsukuba, 5 Univ Ryukyus, 6 Chaipattana Foundation, 7 Land Development Department). Peat conservation and woody biomass production on degraded tropical peatland: toward a carbon positive development. The Second Seminar on JSPS AA Science Platform Program: Environmental Restoration and Sustainable Use of Problem Soils, Phnom Penh, Cambodia, November 16-20, 2009.

(4)知財出願

①国内出願 (1件)

1. 多層積層型の木質複合材料, 林隆三, 児嶋美穂, 足立幸司, 平成 25 年 9 月 6 日, 特願 2013-185126

②海外出願 (0件)

(5)受賞・報道等

児嶋美穂：早生樹材の材質と成熟材形成に及ぼす肥大成長速度の寄与，2012 年度日本木材学会奨励賞，2013. 1. 26.

(6)成果展開事例

①実用化に向けての展開

<木製家具の開発>

- ・ タイの主要林産業の一つに輸出家具産業があり、家具用材としての木材供給も泥炭林林業の収益構造を強化する上では重要な要素となる。現在、本プロジェクトで取り組んでいる新規木材加工技術を援用した家具の開発を民間会社と共同で取り組んでいる。

<木製楽器の開発>

- ・ 泥炭湿地林材のうち音響特性に優れた樹種について、打楽器(シロフォン・マリンバ)用材としての利用可能性を民間会社と検討している。本プロジェクトでは、タイの王女プロジェクトと一部協業しているが、王女はシロフォン演奏が好まれるため、開発が成功した場合には泥炭湿地林材製の楽器として献上する予定を立てている。

②社会還元的な展開活動

＜都市の木造化に関する PR 活動＞

- ・ 本プロジェクトで改良が進んだ木質材料を原料に、プロダクトデザイナーと協業でデザイン性の高いスツールを製作し、都市に木材(木造建築、木製内装材)を増やす PR 活動に参加している。これまでに、表参道(東京)、名古屋、静岡、札幌の巡回展にアイテムを展示した。制作した家具は世代を超えて好評であり、木製家具への興味を通じて、森林や地球環境の関心の人々を導くことに貢献している。

＜泥炭湿地林の環境貢献に関する PR 活動(計画のみ)＞

- ・ 2011 年度には、東日本大震災の影響により中止されたが林野庁主宰の「みどりの感謝祭」の併催行事である「森林の市」に、本プロジェクトのポスターおよび開発した木製品を展示し、森林保全の大切さとそこから生産される様々な材料の魅力を伝える予定であった。

§ 6 研究期間中の活動

主なワークショップ、シンポジウム、アウトリーチ等の活動

年月日	名称	場所	参加人数	概要
2009 年 9 月 15 日	チーム内ミーティング (非公開)	東京大学	10 人	研究経過と次年度計画に関する打ち合わせ
2010 年 6 月 11 日	チーム内ミーティング (非公開)	宇都宮大学	15 人	研究進捗報告と本年度研究計画のためのミーティング
2010 年 6 月 12 日	グループ 2 内ミーティング (非公開)	宇都宮大学	8 人	本年度計画の詳細打ち合わせのためのミーティング
2010 年 11 月 12 日	チーム内ミーティング (非公開)	東京大学	10 人	研究進捗報告と本年度取りまとめのためのミーティング
2011 年 4 月 14 日	チーム内ミーティング (非公開)	東京大学	12 人	研究進捗報告と本年度研究計画、サイトビジット準備のためのミーティング
2012 年 4 月 19 日	チーム内ミーティング (非公開)	東京大学	10 人	研究進捗報告、研究計画のためのミーティング
2012 年 12 月 18 日	チーム内ミーティング (非公開)	東京大学	10 人	研究進捗報告、研究計画のためのミーティング
2013 年 5 月 24 日	チーム内ミーティング (非公開)	東京大学	10 人	研究進捗報告、研究計画のためのミーティング

7 最後に

巨大な二酸化炭素放出源となっている熱帯泥炭湿地を再湛水化し、カーボンポジティブな木質バイオマス生産システムを提示することを目指して、二酸化炭素排出削減効果の評価のためのモニタリング、造林技術を確立するための育苗技術の開発と植栽試験、木質バイオマスの高度利用のための技術開発を一貫して進めてきた。当初計画の実証試験地の設置は叶わなかったが、それを補う形でモニタリングシステムを開発してデータを蓄積し、また、試験地開設予定地の一部で植栽試験を行うことにより、生産システム提示のための基盤となる知見を十分に得ることができた。主要対象樹種としたメラルーカについては育苗、造林技術から利用開発まで実用化に向けた技術開発が進んだ。メラルーカ以外の湿地生樹種についても、育苗試験と植栽試験により造林技術の開発が進み、また、利用開発の面でも技術開発の基礎となる材料特性に関する知見を得ることができ、今後の展開の礎を築くことができた。本プロジェクトにより、開発された熱帯泥炭湿地の土地利用の選択肢を提示できただけでなく、個々の基礎データは、熱帯泥炭湿地における温室効果ガスに関わる知見や熱帯泥炭湿地生樹木の造林特性や生理特性、材料特性に関わる知見がまだまだ限られていることを考えると、関連分野における諸研究の発展に大いに貢献すると考える。プロジェクト運営については、農業工学、造林学、木質材料学等の分野の異なる研究者がそれぞれの利を活かして1つの大きなテーマに取り組んだことによって、それぞれの分野の中では得難い意見や情報の交換をする機会を得、本プロジェクトを推進する上で大いに役に立っただけでなく、研究者の視野を広げたという点で、今後の各人の研究推進の上でも非常に有意義であった。研究費については、物品購入や渡航費などの研究推進の上で直接に必要な費用だけでなく、研究員の雇用にも充てることができたことは、本プロジェクトの推進のみならず、研究者育成の場としても大いに活用することができた。また、子育て支援対策など、若手研究者の研究環境の改善への配慮が厚い研究支援体制が整っていたことは、非常に有り難かった。



タイ国ナコンシタマラート試験地の土壌呼吸モニタリング
地点にて



インドネシアにおける CO₂ 放出測定に関するレクチャー



タイ国ナコンシタマラート県メラルーカ人工林バイオマス調査試験区にて(サイトビジット)



タイナコンシタマラート試験地におけるメラルーカの植栽