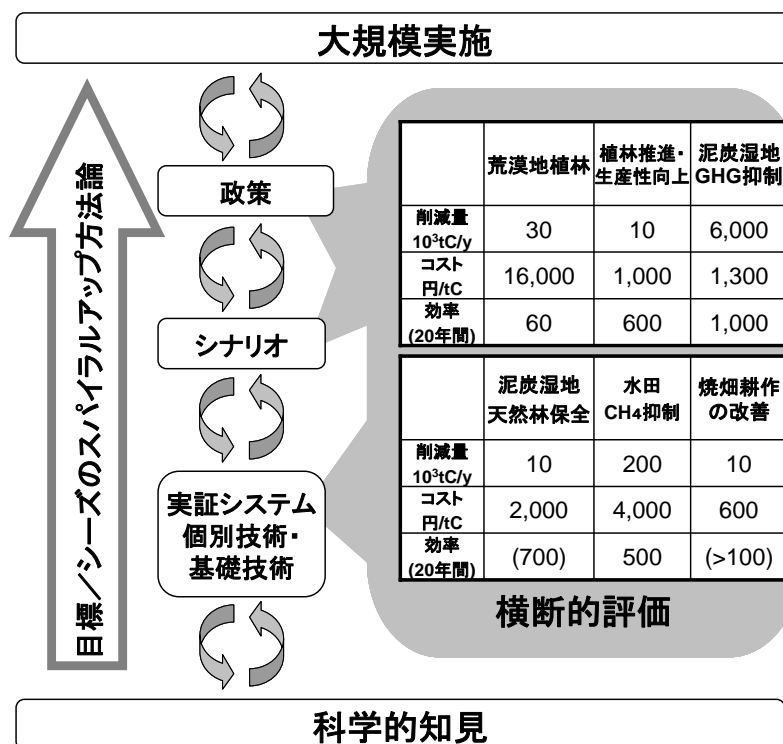


課題名	S-2 陸域生態系の活用・保全による温室効果ガスシンク・ソース制御技術の開発 - 大気中温室効果ガス濃度の安定化に向けた中長期的方策-		
課題代表者名	山田興一（成蹊大学 理工学部 特別研究招聘教授）		
研究期間	平成15-19年度	合計予算額	1,238,440千円（うち19年度 236,890千円） 「上記の合計予算額には、間接経費301,046千円を含む」
研究体制	<p>1：森林生態系を対象とした温室効果ガス吸収固定化技術の開発と評価</p> <p>(1 a) 荒漠地でのシステマ的植林による炭素固定量増大技術の開発に関する研究</p> <p>(1) 荒漠地でのシステマ的植林のための水・塩制御技術の開発に関する研究</p> <p>1) 広域水・塩移動解析モデルの開発および荒漠地における水収支測定と制御（成蹊大学）</p> <p>2) 荒漠地における土壌環境測定およびモデル化（金沢大学）</p> <p>3) 実証植林地の選定、植林、測定方法の検討による半乾燥地域への技術展開（成蹊大学）</p> <p>(2) 荒漠地でのシステマ的植林のための環境適応型植林・土壌制御術の開発に関する研究</p> <p>1) 荒漠地における樹木成長に及ぼす環境条件影響評価とこれに基づく樹種選択・植林法提案（独立行政法人森林総合研究所、三重大学）</p> <p>2) 荒漠地植林再生バイオマスの広域変動判定技術の確立に関する研究（筑波大学）</p> <p>(3) 荒漠地植林技術のプラットフォーム構築に関する研究（大阪大学・信州大学・成蹊大学）</p> <p>(1 b) 森林造成技術の高度化による熱帯林のCO₂シンク強化</p> <p>(1) 産地選択および個体選抜による早生樹種苗の遺伝的強化</p> <p>1) 新たな産地の導入を伴う実生採種林の造成・評価（独立行政法人林木育種センター、住友林業㈱）</p> <p>2) 材質及び成長量を指標とした優良木の評価手法の開発（名古屋大学、住友林業㈱）</p> <p>(2) 早生樹による森林育成技術の高度化</p> <p>1) 育苗技術の高度化（榊資生堂、住友林業㈱）</p> <p>2) DNAマーカーによる個体識別法の開発（東京大学、住友林業㈱）</p> <p>3) 最適育林法の開発とCO₂吸収評価（住友林業㈱）</p> <p>2：熱帯低湿地生態系を対象とした温室効果ガス吸収排出制御技術の開発と評価</p> <p>(2 a) 熱帯泥炭湿地のGHGソース制御・シンク強化技術開発</p> <p>可溶性有機物の定性・定量的解析と炭素シンク能評価、環境耐性樹種選抜、耐性樹種の環境ストレス応答の解析、造林試験、炭素収支の測定および荒廃湿地に適用可能な造林技術（東京大学）</p> <p>有機物の河川への流出量と泥炭の蓄積分解速度、土壌呼吸速度、湿地生樹種の呼吸速度の測定、泥炭地での炭素放出予測モデルの作成および泥炭保全に最適な水管理技術の開発（宇都宮大学）</p> <p>(2 b) 東南アジア低湿地における温暖化抑制のための土地資源管理オプションと地域社会エンパワーメントに関する研究</p> <p>(1) 淡水湿地林・泥炭湿地林・マングローブ林の維持機構と炭素固定機能の解明</p> <p>1) 湿地林の地上部炭素固定機能の解明（独立行政法人森林総合研究所）</p> <p>2) 湿地林の地下部炭素固定機能の解明（南山大学）</p> <p>(2) 森林から農地など土地利用転換に伴う炭素貯留量の変化の解明（京都大学大学院・愛媛大学）</p> <p>(3) 温暖化抑制（地球環境保全）を促す土地利用（湿地林の再生）のための地域社会エンパワーメント</p> <p>1) 土地利用別生産環境の評価（京都大学）</p> <p>2) 温暖化抑制のための地域社会のエンパワーメント（京都大学東南アジア研究所）</p> <p>(4) 低湿地の土地資源管理オプション、修復技術と社会活性化の統合（京都大学大学院）</p>		

- 3：農林業生態系を対象とした温室効果ガス吸収排出制御技術の開発と評価
- (3 a) 農業生態系におけるCH₄、N₂Oソース抑制技術の開発と評価
- (1) わが国とアジア諸国の農耕地におけるCH₄、N₂Oソース制御技術の開発と広域評価
- 1) わが国とアジア諸国の農耕地からの実効的CH₄、N₂Oソース制御技術の開発
- 中国におけるCH₄、N₂O発生制御（独立行政法人農業環境技術研究所）
 - 施設栽培からのN₂O発生制御（独立行政法人農業・生物系特定産業技術研究機構中央農業総合研究センター 北陸研究センター）
 - 関東地方の露地野菜畑からのN₂O発生制御（独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構野菜茶業研究所）
 - インドネシアとタイにおけるCH₄、N₂O発生制御（千葉大学）
 - 有機物管理技術による水田からのCH₄発生制御（山形県立農業総合研究センター）
 - 水管理と無代かき栽培による水田からのCH₄発生制御（福島県農業総合センター）
 - 基盤整備による水田からのCH₄発生制御（新潟県農業総合研究所）
 - 草地からのN₂O発生制御（北海道立根釧農業試験場）
 - 九州地方の露地野菜畑からのN₂O発生制御（熊本県農業研究センター生産環境研究所）
- 2) わが国とアジア諸国の農耕地におけるCH₄、N₂Oソースデータベースの構築と削減効果の広域評価
- CH₄、N₂Oソースデータベースの構築と統計モデルによる解析（独立行政法人農業環境技術研究所、独立行政法人海洋研究開発機構）
 - 水田からのCH₄発生評価に対するプロセスモデルの適用（独立行政法人農業環境技術研究所、北海道立上川農業試験場）
 - 流域複合生態系解析によるCH₄、N₂O削減効果の定量的評価（北海道大学）
- 3) 水田からのメタン発生量広域評価を目指した水田土壌化学性のパラメーター化（国際交流研究：独立行政法人農業環境技術研究所）
- 4) アジア諸国の農耕地におけるCH₄、N₂O発生量のモデリング（国際交流研究：独立行政法人農業環境技術研究所）
- (2) わが国とアジア諸国の畜産業に由来するCH₄、N₂Oソース制御技術の開発と広域評価
- 1) アジア諸国において有効な反すう家畜由来CH₄発生制御技術の開発とソースデータベースの構築及び削減効果の評価
- わが国、中国およびインドネシアにおける反すう家畜からのCH₄発生量に関する研究（独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構畜産草地研究所）
 - タイにおける反すう家畜からのCH₄発生量に関する研究（独立行政法人国際農林水産業研究センター）
- 2) アジア諸国において有効な畜産廃棄物由来CH₄、N₂O抑制技術の開発とソースデータベースの構築および削減効果の評価（独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構北海道農業研究センター）
- (3 b) 東南アジア山岳地帯における移動耕作生態系管理法と炭素蓄積機能の改善に関する研究
- (1) リモートセンシング等による移動耕作生態系の変動と立地環境の解明
- 1) リモートセンシング等による移動耕作生態系の動態解明（独立行政法人農業環境技術研究所）
- 2) 気象資源の広域的分布特性および生態系動態との関係解明（国際交流研究：農業環境技術研究所）
- 3) ラオス焼畑生態系における代替的土地利用・作付けシステムの社会経済的受容性に関する研究（国際交流研究：農業環境技術研究所）
- (2) 移動耕作生態系のシンク機能増強のための資源循環的輪作システムの開発・導入に関する検討（国立大学法人京都大学）
- (3) 生態系管理法の変更に伴う土地被覆変化モデルの構築と炭素収支への影響評価（独立行政法人森林総合研究所）
4. 研究プロジェクトの統合的推進のためのプラットフォーム形成と情報共有化（成蹊大学）

I. 戦略課題S-2の全体構成

本プロジェクトでは、陸域生態系の中でも、特に技術開発後の温暖化抑制ポテンシャルが大きいと期待される、森林生態系、熱帯低湿地生態系、農林業生態系のそれぞれについて、下図に示すような、各々2テーマずつを設置し、シンク・ソース技術を開発することを目指した。さらに、本研究プロジェクトでは、それぞれのテーマについて個別の技術開発をすすめるだけでなく、それぞれの研究成果情報を共有化・統合化し、開発された技術及び得られた知見を広範な地域へ適用した場合の温室効果ガス削減量、環境への影響、コスト等に関する技術的側面からまとめるプラットフォームとして横断的評価を実施し、情報の共有化を図ることにより、効率的なプロジェクト運営に努めた。



II. 本研究により得られた科学的成果

- ・ 1 a. 「荒漠地でのシステムの植林による炭素固定量増大技術の開発に関する研究」では、乾燥地・半乾燥地への植林技術、特に郷土樹種による植林技術が改善されたことにより、これらの地域および半乾燥地に広がる荒廃地などに科学的な根拠を基に植林を行うことが可能になり、炭素排出権取引を念頭に入れた炭素吸収・固定を目的とした植林を行う目処がついた。
- ・ 1 b. 「森林造成技術の高度化による熱帯林のCO₂シンク強化」では熱帯産早生樹について、育種的な改良に伴う成長量の増加を時系列的に予測することが可能となり、育種や施業による同樹種のCO₂シンク機能強化を実態に即して評価することができるようになった。また、DNAマーカーを用いて、木材製品の原料となった樹木の個体識別する技術を開発した。
- ・ 2 a. 「熱帯泥炭湿地のGHGソース制御・シンク強化技術開発」では熱帯泥炭保全によるGHG排出削減ポテンシャルが、単位面積当たりでも総量としても非常に大きいものであることを示し、湛水状態の泥炭土壌という通常は造林が困難な場所での造林樹種を見出し、造林法を開発した。また、泥炭地においてはモニタリングが困難である土壌炭素プールの変化量を算出するための、新しいモニタリング手法を開発した。
- ・ 2 b. 「東南アジア低湿地における温暖化抑制のための土地資源管理オプションと地域社会エンパワーメントに関する研究」では、マングローブ林、泥炭湿地林、淡水湿地林における地上部・地下部の炭素蓄積量と炭素蓄積速度の基準値を提示した。さらに、泥炭湿地林が土地利用転換されると森林バイオマスの消失と泥炭の分解が加速されることを明らかにし、泥炭の分解速度や回復時間を提示した。
- ・ 3 a. 「農業生態系におけるCH₄、N₂Oソース抑制技術の開発と評価」ではわが国と中国、インドネシア、タイ、ベトナムにおいて現地試験を行い、農耕地での水田水管理、有機物管理、施肥管

理や畜産での飼養管理、ふん尿処理など CH_4 、 N_2O 発生を大きく（10%～>50%）削減する実効的技術の効果を定量した。また、世界の水田や東南アジアの反すう家畜等について、 CH_4 、 N_2O ソースデータベースを構築し、排出係数と制御要因の寄与を広域推定するとともに、流域複合生態系解析手法やプロセスモデルを用いた農耕地からの CH_4 、 N_2O 発生量広域評価手法を開発した。

- ・ 3 b. 「東南アジア山岳地帯における移動耕作生態系管理法と炭素蓄積機能の改善に関する研究」ではラオス焼畑生態系の炭素固定容量の広域評価に必要な衛星画像・空中写真・地形図・気象資源等空間データを収集・GISとして構築し、生態系炭素ストックの動態を広域的に定量評価することを、はじめて可能とした。さらに、食糧生産性を増強する作付システムを含むシナリオを提示することで、現地住民の福祉に貢献する形で地球環境保全にも寄与する手立てを示した。
- ・ 4. 「研究プロジェクトの統合的推進のためのプラットフォーム形成と情報共有化」では、それぞれのチームの成果に基づき、開発された技術及び得られた知見を広範な地域へ適用した場合の温室効果ガス削減量、環境への影響、コスト等に関する技術的側面からの横断的評価を実施した。これは今後の政策決定に寄与するものと期待される。

Ⅲ. 成果の地球環境政策への貢献

- ・ 1 a. 「荒漠地でのシステムの植林による炭素固定量増大技術の開発に関する研究」では、乾燥地・半乾燥地での郷土樹種による植林技術の改善により、炭素排出権取引を念頭に入れた炭素吸収・固定を目的とした植林を行う目処がついた。さらに、オーストラリアと日本の間で将来的に乾燥地を利用した大規模JI（共同実施）植林が実施された場合の予想炭素クレジットを試算した。
- ・ 1 b. 「森林造成技術の高度化による熱帯林の CO_2 シンク強化」ではこれまで熱帯早生樹では、林分収穫量を予測する資料が乏しかったが、密度要因を加えた成長モデルを作成したことにより、密度管理理論にもとづく合理的な施業体系の検討が可能となった。さらには、このモデルを用いることにより、 CO_2 シンク機能を正確かつ多様な選択肢のもとに評価することが可能となり、地球環境政策、特に地球温暖化において我が国の政策の一つである「森林による CO_2 吸収」を科学的に説明することが可能になったと考えられる。
- ・ 2 a. 「熱帯泥炭湿地のGHGソース制御・シンク強化技術開発」では本研究の成果は、熱帯泥炭土壌地域における温室効果ガス排出削減ポテンシャルを定量的に示した最初の例となり、熱帯泥炭土壌の保全と森林再生による炭素排出削減の技術の確立に大きく寄与し、第2約束期間以降の吸収源CDM事業の科学的基礎をなすものである。加えて、泥炭土壌から流出した可溶性有機物の炭素シンクとしての安定性を明らかにしたことは、温暖化対策における陸域生態系の重要性を強く示すものである。
- ・ 2 b. 「東南アジア低湿地における温暖化抑制のための土地資源管理オプションと地域社会エンパワーメントに関する研究」では、泥炭湿地水田の廃棄にいたるメカニズムを明らかにし、再生方法を提示した。さらに、荒廃林再生にはメディエーターとファシリテーターを介した行政と住民との連携が必須で、地域社会エンパワーメントがキーになることを示した。
- ・ 3 a. 「農業生態系における CH_4 、 N_2O ソース抑制技術の開発と評価」では本研究の成果は、2006年改訂IPCCガイドラインにおける水田からの CH_4 および N_2O 排出係数デフォルト値、日本国温室効果ガスインベントリ報告書における農業セクターの排出係数と算定手法に盛り込まれた。また、水田からの CH_4 削減策として「農林水産省地球温暖化対策総合戦略（平成19年7月）」に盛り込まれ、来年度からの全国実証事業として予算化された。
- ・ 3 b. 「東南アジア山岳地帯における移動耕作生態系管理法と炭素蓄積機能の改善に関する研究」では山岳ラオスの焼畑生態系の土地利用ならびに生態系炭素ストックの広域的变化を定量的に解明した。この成果は、これまでデータの乏しかった地域に対する国際的な温暖化対策に係る「土地利用変化および森林変化（LULUCF）」の問題に対して基本的な情報を提供する。また、提案された食糧生産性と森林資源保全を目的とする生態系管理シナリオは、京都議定書で導入されたCDM事業に対してもひとつのオプションとなる可能性がある。
- ・ 4. 「研究プロジェクトの統合的推進のためのプラットフォーム形成と情報共有化」では実施した横断的評価の結果、各研究テーマによって研究開発された技術に基づく削減プロジェクトが全て実施されたとするとGHG削減ポテンシャルとして20年間で100億t-C以上になると推定された。このうち、最大のポテンシャルをもつのは開発により CO_2 排出が増大している東南アジア泥炭地であった。

IV. 研究概要

1. 序（研究背景等）

中長期的視点すなわち京都議定書第二約束期間以降を見据えた大気中の温室効果ガス濃度の安定化に向け、地球環境政策オプションを支える新たな技術開発が求められている。特に、陸域生態系の活用・保全を通じて温室効果ガスのシンクを増強し、ソースへの転換を防止あるいは排出抑制するための技術については、温暖化抑制技術としてのポテンシャルが非常に大きいと考えられており、また、人類が再生可能エネルギーへの完全転換を実現するまでの期間において、最も信頼でき、低コストで広範囲への適用が可能な貴重な技術として期待されているものの、科学的知見や基盤技術の整備は未だ非常に不十分な段階にとどまっている。今後、CDMあるいはJIへの適用を視野に入れた場合も含めて、このような技術の開発促進及びそれに伴う様々な環境影響の把握等、広範な科学的知見の蓄積が喫緊の課題となっている。

2. 研究目的

陸域生態系の中でも地球温暖化抑制ポテンシャルが大きいと期待される、森林生態系、熱帯低湿地生態系、農林業生態系において温室効果ガス（GHG）の排出量低減/固定量増加のためのシンク・ソース制御技術を開発することを本プロジェクトの目的とする。さらに、開発された技術及び得られた知見を広範な地域へ適用した場合の温室効果ガス削減ポテンシャル、環境への影響、コストを明らかにし環境政策へ役立てることも目的である。

3. 研究方法及び結果

1：森林生態系を対象とした温室効果ガス吸収固定化技術の開発と評価

（1 a） 荒漠地でのシステミック植林による炭素固定量増大技術の開発に関する研究

本研究は乾燥地植林として、食糧生産のための農地利用の難しく広大な乾燥地や半乾燥地を炭素吸収源として利用することを特徴とする。研究は大きく4つのカテゴリーに分けられ、水収支・植物体の観測・炭素動態の把握・モデル化からなる。そしてそれぞれが密接に連携しながら、炭素固定効率最大化という目的に向かって研究を重ねてきた。その結果、以下の成果が得られた。乾燥地・半乾燥地双方の調査地において、水収支を明らかにし、モデル化した。乾燥地や塩害の危険性の高い半乾燥地でも *Eucalyptus camaldulensis* が植林樹種として最適であることが成長観測、植物整理評価から判明した。また、炭素固定量として換算すべき5種の炭素プールの見積もり・モデル化が成功した。サイトにこれらの成果が乾燥地・半乾燥地の植林技術プラットフォームとしてまとめられ、汎用展開する準備を実施し、西オーストラリアや全球レベルで固定ポテンシャルを評価できるようになった。

（1 b） 森林造成技術の高度化による熱帯林のCO₂シンク強化

ファルカタで研究開発中の技術を、昨年度から新たに対象としたメリナに应用しながら研究開発を進めている。研究成果は（1）産地選択および個体選抜による早生樹種苗の遺伝的強化、（2）早生樹による森林育成技術の高度化、の順にまとめる。

（1） 産地選択および個体選抜による早生樹種苗の遺伝的強化

熱帯地域の早生樹を用いた森林造成において、産地選択および個体選抜によるCO₂シンク強化を評価するために、東ジャワ州ジュンブルに設定した *Paraserianthes falcataria* (L.) Nielsen (ファルカタ) を用いた産地密度試験地等3箇所と実生採種林2箇所半年間隔の成長調査を実施した。実生採種林では植栽後30ヶ月目にプラス木の選抜と間伐を実施し、86個体をプラス木として選抜した。また、昨年度の調査では実生採種林の比重の遺伝的改良が可能であることを明らかにしたピロディンを用いて、産地密度試験地の樹幹の比重を測定し、植栽密度間差と産地間差および植栽密度と産地の交互作用を認めた。実生採種林、産地密度試験地の成長・形態の継続的な定期調査および比重の調査とそれらの解析結果から、成長・樹幹の形態および比重についても遺伝的な改良が可能であることを確認した。さらに、植栽密度の違いが成長、形態および比重に与える影響が明らかになった。東部ジャワに3箇所設定したコスタリカ産の *Gmelina arborea* (メリナ) 種子を用いた産地試験地では年に2回の成長調査を実施した。強風による被害の影響が少ない1箇所の試験地を解析し植栽後半年から1年半後まで継続して遺伝的な違いに基づく産地間差を認めた。

熱帯（亜熱帯）の広範囲な地域において造成が可能な早生樹について、その高いCO₂吸収能（成長量）に着目し、人工林造成による大気中炭酸ガス濃度の緩和を目指すと同時に、早生樹人工林から得られる林産物の工業資源化を模索し、その永続供給システムを確立することにより、化石資源への依存圧の低減を図ることを目的としている。植林事業を成功させるためには、経済的価値を有する（材質が良い）優良木の生産を目的とする“材質育種法”の確立と、それによる資源利用のインセンティブ増加が不可欠である。そこで本研究では、材質育種法を確立するため、成長と材質との

関係、さらには加工性への影響を明らかにすることを目指す。7年生ソロモン産ファルカタと8年生ジャワ産ファルカタ及び3.5年生メリナと7年生メリナの材質調査を行った。ファルカタ、メリナともに、成熟材の形成は形成層齢よりも直径に依存的であることを解明した。

(2) 早生樹による森林育成技術の高度化

熱帯の広範囲な地域において植栽が可能な早生樹種について、他のテーマにおいて高CO₂吸収能（成長量大きい）を有し且つ経済性の高い（材質が良い）優良木が育種された場合、これをクローン増殖する必要がある。また、クローン増殖した苗を育苗する期間を短縮化することにより経営に係る負担を軽減することができる。本テーマでは、ファルカタを対象に、組織培養によるクローン増殖法、新規発根促進剤を用いた挿し木によるクローン増殖法の開発およびVA菌根菌を用いた育苗法の開発を行った。組織培養では、材料の内部殺菌を行うことにより、高い生存率が得られることが判明し、優良成木からのクローン増殖が可能となった。挿し木法では、IBLとKODAを組み合わせることにより発根に対して相乗効果が認められ、特許を出願した。育苗法では、VA菌根菌の場合と同様に、養分が乏しく、通気性及び通水性の良い土壌を用いることにより、窒素固定菌の感染が促されることが解明できた。

ファルカタおよびメリナについてゲノムDNA上のマイクロサテライト部位を増幅するプライマーを、ファルカタで9セット、メリナで8セット設計し、特許登録した。増幅の安定性などからファルカタ5セット、メリナ5セットが実用可能であり、多型性が高く個体識別に利用可能であった。これらをファルカタおよびメリナ合板から抽出したDNAに適用したところ、遺伝子型を特定できた。メリナについては製造過程と同様の230℃まで加熱しても識別が可能であった。従って木材製品の原料となった樹木の個体識別が可能であるといえる。育種素材の遺伝的背景を明らかにするため、ジャワ島の人工林8集団および本プロジェクトに使用した6産地由来の11集団、合計19のファルカタ集団についてDNA分析を行った。その結果、PNG集団の遺伝的多様性が高く、イリアンジャヤ集団は他の産地が持たない対立遺伝子を多く持っていた。さらに、イリアンジャヤ、PNG、ソロモンのジーンプールは既存のジャワ島集団のものとは明らかに異なり、新たな遺伝子資源として有望であると考えられた。ソロモン集団で連鎖不平衡な遺伝子座対が多く検出され、種子の家系数が少ないという問題が指摘される。メリナは、本プロジェクトでコスタリカより導入した5つのシードロットのDNA分析を行った。その結果、シードロットにより遺伝的多様性の程度が異なり、互いに遺伝的に異なっていた。3つのシードロットは近交係数が高く、近親交配の結果生産された種子、特に同じ母樹クローン間の交配の結果できた種子を多く含む可能性が示唆された。

本研究では森林のCO₂シンク強化を目的とし、早生樹による最適育林法を開発した。密度及び肥培管理による植栽木の成長制御技術を開発するため、インドネシア共和国東ジャワ州に、パプアニューギニア産のファルカタを14haに植栽した。施肥と間伐を行い、年2回の頻度で樹高と胸高直径を測定した結果、サブサブテーマ(1)-①で開発された林分成長の暫定モデルのパラメタの修正と予測精度の可能性が示唆された。施肥試験では、植栽後2年目以降の施肥量別平均樹高に有意差が認められず、植林木の成長を制御する要因は密度のみでよいことを明らかにした。さらに、林分成長モデル及び幹曲線式を用いて密度管理に対応した林分成長と出材丸太の歩留を予測した。その際、サブサブテーマ(1)-②の結果から、炭素固定量及び利益は、立木及び生産材積から直接計算した。その結果、事業期間を20年とし、2種類の密度管理を例に、あらゆる植栽・伐採のパターンに対して炭素固定量と収益をそれぞれシミュレートすることにより、事業の収益性を維持しつつ、CO₂固定機能を高める施業計画の立案する手法を示した。ファルカタで得られた結果を基に、メリナを対象とした施肥試験、密度管理試験を開始し、3地域に約15haの試験地を設定した。その結果、各地域間で立地条件の違いによると思われる成長差が認められた。

2：熱帯低湿地生態系を対象とした温室効果ガス吸収排出制御技術の開発と評価

(2 a) 熱帯泥炭湿地のGHGソース制御・シンク強化技術開発

東南アジアには2,000万ha以上にもおよぶ熱帯泥炭湿地が分布しており、炭素シンクとして重要な地位を占めてきた。耕地拡大を目的とした開発の進行により、熱帯泥炭湿地の大きな部分が乾地化し、炭素シンクとしての機能が失われ、大規模な二酸化炭素ソースとなってきた。本テーマでは、タイ国南部の熱帯泥炭湿地をフィールドとし、可溶性有機物の動態の解明に基づいた、土壌・水管理の最適化による二酸化炭素放出抑制技術と森林再生による二酸化炭素固定能強化技術の開発を行なうと同時に、リグニンの変性・動態を実地で定量的に把握することにより、炭素循環のミッシング・シンクを解明し、これらにより大気二酸化炭素濃度の安定のための熱帯泥炭湿地の最適な修復・管理手法を提示することを目指して研究を進め、以下の成果を得た。

(1) 熱帯泥炭湿地林は $3.7 \text{ tC ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ の炭素吸収量を持つと推定された。このうち森林のバイオマスとして蓄えられるのは $1.3 \text{ tC ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ であり、泥炭として蓄積されるものと系外へ流出するものの合計は $2.4 \text{ tC ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ と推定された。

- (2) 泥炭層の厚さの現地測定と GPS 測量により Bacho 湿地の泥炭層の厚さの平面的分布を推定したところ、泥炭層の厚さは平均約 1.1 m と推定され、海岸線に平行して縞状に厚い層が分布していることが明らかになった。
- (3) 泥炭消失の継続測定により、開発区の泥炭焼失による炭素放出は $21 \text{ tC ha}^{-1}\text{y}^{-1}$ 、泥炭分解による炭素放出は $14 \text{ tC ha}^{-1}\text{y}^{-1}$ と推定され、水位を高く保つように管理されていた保全区での炭素放出量は $1.2 \text{ tC ha}^{-1}\text{y}^{-1}$ と推定された。
- (4) 現地での土壌呼吸測定とモデル化により、泥炭分解による二酸化炭素放出量は、常時湛水を維持した場合は $0.9 \text{ tC ha}^{-1} \text{y}^{-1}$ に留まるが、排水を徹底させた開発地においては $24 \text{ tC ha}^{-1} \text{y}^{-1}$ に達すると推定された。
- (5) 泥炭のインキュベーション実験を行い、それをもとに泥炭からの二酸化炭素年間放出量のシミュレーションを行ったところ、水分不飽和の泥炭層が 50 cm 以上ある場合に放出量が最大値 $21 \text{ tC ha}^{-1} \text{y}^{-1}$ をとることが示された。
- (6) Wetland-DNDC モデルを用いて、泥炭試料の分析結果に基づき泥炭からの二酸化炭素とメタン、亜酸化窒素の放出量のシミュレーションを行ったところ、総量として湛水状態の方が温室効果ガスの放出が少なくなる結果を得た。
- (7) 水門の開閉と水位のデータから河川流出量を算定した。さらに地形図の標高データから、GIS を用いて各ゲートの集水面積を推定した。
- (8) 泥炭湿地林に流入する河川水に比べて流出する河川水の全有機体炭素濃度は採取時期による変動が大きかった。流入水に比べ流出水の 280 nm 吸光度、電気伝導度、化学的酸素要求量が高く、pH が低い傾向があった。これらの結果より、泥炭湿地林から芳香族性の電解質に富む有機物が溶出していることが示唆された。
- (9) 河川水中に含まれる全有機体炭素濃度、河川流量、流域面積から、泥炭湿地林から $1 \text{ tC ha}^{-1} \text{y}^{-1}$ の有機体炭素が流出していると推定された。
- (10) 泥炭中のリグニンの相対量は 77~87% であった。泥炭中のリグニンは蓄積中に微生物により著しく変性をうけ、水親和性の高いカルボキシル基が導入されていることが明らかになった。
- (11) 北海道美唄泥炭湿地の湿地水から可溶性有機物を単離し定性分析を行ったところ、主成分は著しく変性したリグニンで、示性式は $\text{C}_9\text{H}_{10.8}\text{O}_{13.4}(\text{Protein})_{0.68}$ であった。また、pH4.6 以上でアルミニウムと凝集反応を示した。To Daeng 泥炭湿地から流出する河川水の試料からも可溶性有機物を単離し、無機元素組成を明らかにした。
- (12) 植物細胞壁成分の超臨界水反応を行ったところ、多糖由来のフルフラールおよびリグニン由来の芳香族モノマーが分解生成物主成分として得られた。また種々の脂肪族炭化水素の存在も確認された。アカマツの木粉を炭酸カリウム存在下で水熱反応させたところ、多くの油状成分が得られた。美唄泥炭湿地の可溶性有機物および針葉樹材・広葉樹材から単離したリグニンの超臨界水反応を行ったところ、生成物は原油中の芳香族化合物に近い芳香核に置換したメトキシル基のメチル基が脱離した誘導体であった。
- (13) *Melaleuca cajuputi* 二次林の発達した林分の地上部現存量は 50 tC ha^{-1} 程度であり、それより若い林分の地上部現存量の年増加量は $3\sim 8 \text{ tC ha}^{-1} \text{y}^{-1}$ の範囲にあることを明らかにした。
- (14) 12 年生の *Melaleuca* 人工林の地上部現存量は $31\sim 56 \text{ tC ha}^{-1}$ の範囲にあり、地下部現存量は $9.1\sim 16 \text{ tC ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$ の範囲にあることを明らかにした。バイオマス成長量は $4.6\sim 6 \text{ tC ha}^{-1} \text{y}^{-1}$ と推定された。
- (15) 10~12 年生の *Melaleuca* 人工林の細根の現存量は 0.6 tC ha^{-1} 程度であり、季節変動が少ないことを明らかにした。細根の純生産量と回転率を推定したところ、それぞれ $0.55 \text{ tC ha}^{-1} \text{y}^{-1}$ 、 1.1 y^{-1} であった。
- (16) 樹高 5 m 内外の *Hopea odorata* 人工林の細根量は平均 $0.34\sim 1.06 \text{ tC ha}^{-1}$ であり、純生産量と回転率はそれぞれ、 $0.75 \text{ tC ha}^{-1} \text{y}^{-1}$ と 0.85 y^{-1} であった。
- (17) 12~13 年生の *Melaleuca cajuputi* 人工林の樹皮呼吸量と葉の呼吸量、根の呼吸量は、それぞれ平均 $8.8 \text{ tC ha}^{-1} \text{y}^{-1}$ 、 $12.6 \text{ tC ha}^{-1} \text{y}^{-1}$ 、 $9.3 \text{ tC ha}^{-1} \text{y}^{-1}$ と推定された。
- (18) 25 年生オイルパーム林の樹皮呼吸量と葉の呼吸量、根の呼吸量は、それぞれ $2.5 \text{ tC ha}^{-1} \text{y}^{-1}$ 、 $14.8 \text{ tC ha}^{-1} \text{y}^{-1}$ 、 $7.0 \text{ tC ha}^{-1} \text{y}^{-1}$ と推定された。
- (19) 泥炭湿地および酸性硫酸塩土壌における樹種選抜試験により、造林に使用可能な樹種を外来種と在来種から見出した。
- (20) 造林候補樹種の低酸素耐性が確認され、フトモモ科樹木の湛水耐性に通気組織の形成とスクロース分解活性が関与することが示唆された。
- (21) 排水されている泥炭湿地荒廢地に湛水ブロックと開発地域ブロックの試験圃場を造成し、両ブロックに造林候補樹種の苗を植栽して、泥炭湿地管理の実証試験を行った。開発地域ブロックの土壌呼吸量は日中に比べ、夜間で増大する結果が得られた。

- (22) 泥炭を詰めたカラムを用いた温度応答の測定では、土壌呼吸速度は40℃までは直線的に増加するが、その後は減少に転じ、60℃で再び増加した。この温度応答曲線を用いたシミュレーションでは、フィールドでの土壌呼吸量の日変化を再現できなかった。
- (23) 通常の苗木では湛水深が深い湿地への造林は困難であることがわかった。植栽前に湛水順化処理を行うことで、造林が困難であった湿地での植栽木の生残を改善することができた。
- (24) デジタル土壌図と衛星画像データより、東南アジアの泥炭湿地面積と開発地（裸地ないし低植被地）の面積を推定したところ、それぞれ2260万ha、514万haと推定された。

本研究で得られた成果を総合し、泥炭保全・湿地林再生プロジェクトを行った場合の*Melaleuca cajuputi*人工林とベースラインの土地利用であるオイルパームプランテーションと放棄地の炭素収支を推定した。この炭素収支より、プロジェクトによる単位面積当たりの排出削減ポテンシャルは、オイルパームプランテーション、放棄地、火災が頻繁に発生する放棄地をベースラインとした場合に、それぞれ18、30、51 tC ha⁻¹ y⁻¹と推定された。このように泥炭保全・湿地林再生による排出削減プロジェクトは単位面積当たりの排出削減量が非常に大きい。陸域生態系を利用した排出削減では、食料生産その他の土地利用と競合するような場合があり注意を要するが、このように単位面積当たりの排出削減効率が高いことと、さらに泥炭湿地の食料生産の生産性が低いことから、泥炭保全・湿地林再生は社会経済的影響の少ない排出削減プロジェクトであると考えられる。アジアの熱帯泥炭湿地開発地500万haが適用可能面積とすると、熱帯泥炭保全・湿地林再生による排出削減ポテンシャルは20年間で1.8 GtC以上と算定され、非常に大きいものであると言える。

(2b) 東南アジア低湿地における温暖化抑制のための土地資源管理オプションと地域社会エンパワーメントに関する研究

(1) 調査地と研究方法

マングローブ林はタイ国ラノン県プラパット海岸、トラン県カンタン郡ツラ島とその周辺、マレーシア、ケダー州ムルボックマングローブ、マレーシア、ペラック州マタンマングローブ、ミクロネシア連邦国ポンペイ州に試験区を設定した。淡水湿地林はタイ国東北部のメコン支流ムン川から派生してヤソトン県に試験区を設定した。泥炭湿地林はリアウ州シアク県のシアク川とカンパル川のほぼ中間地点に分布する森林内に試験地を設定した。毎木調査を行い、地上部現存量と炭素固定量を計測した。地下部炭素現存量はピートサンプラーを用いて行った。各試料は絶乾重量を測定後、容積重を算出すると共に、炭素・窒素含有率を測定した。インドネシアスマトラ島リアウ州カンパル川支流のクルムタン川周辺中央カリマンタンパラカラヤで熱帯泥炭湿地林をココナツ植林やゴム園、水田に転換するとそこでの環境の変化が泥炭の分解を加速するメカニズムを調査した。スマトラ・リアウ州泥炭地域と移住の様態の異なるカリマンタンの移住民社会を調査対象とし、政府プロジェクト崩壊後の移住民社会がどのような土地利用を行い、どのような生存戦略をとっているのか、その変化に焦点をあてた調査をおこなった。マングローブ林再生の課題を研究しているハサヌディン大学留学生およびスマトラのランブン州で地元住民による森林管理問題を支援しているインドネシア大学の研究グループ、P3AEUIの代表者を研究協力者として招請し、共同研究者として調査に参加した。マングローブ林再生の試みとそれをめぐる社会経済的調査を実施した。政府が実施するマングローブ植林事業の比較調査を同州沿岸部で実施した。インドネシア・ジャンビ州水路と水田でのアルミニウムと鉄化合物の凝集と溶解については満潮時の水路では潮汐水の浸入前線まで酸性水中の溶質がゲル化して大量のフロックが生じる。干潮時には再び酸性が卓越し、フロックが溶解して元の透明な酸性水に戻る。これらの現象の調査を行った。また、水稻栽培試験区の収量構成要素をとりまとめ、解析した。

(2) 結果

1) 発達した天然林から6年生の若い林までで、マングローブは282.2から38.2tonC/haの炭素を蓄積でき、その蓄積速度は若い林では5.5 tonC/ha/yrに及ぶことを明らかにした。また河畔の淡水湿地では冠水頻度により炭素蓄積機能には差がみられ、段丘上の冠水頻度の低い林が89 tonC/ha弱であったのに対し、河畔低地では23 ton C/ha程度と4倍近いひらきがみられた。蓄積速度は低地でも段丘上でも1 tonC/ha/yr程度であった。泥炭湿地林では貧栄養とみられる湿地中央部での炭素蓄積量は190 tonC/haであった。地下部炭素量は、西表島淡水湿地林で約200tC/ha（深度1m）、コスラエ島淡水湿地林堆積物中で約200tC/ha（深度65cm）、マングローブ泥炭層も含む深度4mまでで2,200tC/haと見積もられた。スマトラ島泥炭湿地林では、自然堤防背後でも層厚4m以上の泥炭層が存在し、深度5mまでの蓄積炭素量は約2000tC/ha、泥炭層厚9m以上のピートドーム中央部では2400tC/ha以上、地下部炭素蓄積速度は30~100g/m²/yr（0.3~1t/ha/yr）と見積もられた。ポナペ島マングローブ林下には泥炭層が堆積し、蓄積炭素量は、リゾフォーラ：ソネラティア群落で195tC/ha、リゾフォーラ：ブルゲイラ群落で585tC/ha、リゾフォーラ：ザイロカーパ

ス群落で1300tC/haと見積もられた。

2) 炭湿地林を焼畑、ゴム園、ココナツ園、パイナップル畑や水田に利用転換すると、泥炭湿地林では気温・地温とも低く強酸性の状態である状態と比較して、農地への転換は日気温・日地温の差が日中と夜間で大きく、泥炭はより中性であることが明らかになった。土地利用転換は泥炭をフアブリック泥炭からメッシュック泥炭へ、さらにサブリック泥炭に変化させ、分解消滅する。さらに、泥炭湿地林を伐採し、農地に転換すると泥炭の分解に伴う炭素の減少速度は0.035cCt/ha/年となった。有機物・泥炭の分解と堆積土地利用転換に伴う泥炭の分解では年平均リター量が6.23Ct/ha/yrで、分解率を50%とすると年平均リター蓄積量は $6.23 \times 0.5 \times 0.4 = 1.25$ Ct/ha/yrとなった。ツルックメランティにおいて泥炭湿地林を伐採し、ココナツ園に転換すると泥炭の分解に伴う炭素の減少速度は0.26Ct/ha/yr以下(5.25Ct/ha/20yr)となった。モデルの当てはめにより、泥炭・有機物の堆積速度を推定した。その結果、5年で28.5ton/haの泥炭・有機物が堆積すると推定された。

3) インドネシアの森林と農地の境界地域では、地元住民と中央・地方政府の間で森林地帯の土地利用をめぐる対立が頻発している。慣習法にもとづく住民による森林地帯内の土地所有権の主張、政府の脆弱な森林管理体制、頻繁に変更される林業政策など事態をさらに複雑にする要因は少なくない。とりわけ、スハルト体制崩壊後の地方分権化がいつそうこの問題を複雑にしている。本研究では、住民のエンパワーメントを通じた森林管理体制の確立が、結果的には温暖化抑制につながるとの仮説のもとに、スマトラ島ランポン州の社会林業プロジェクトとスラウェシ島南スラウェシ州のマングローブ林再生の2事例について、住民による森林管理の実態やその持続性をめぐる問題点を明らかにするための調査を実施した。村人の自発的なマングローブ植林が行われた南スラウェシ州の調査からは、再生されたマングローブ林と養魚池を共存させる、地元民が開発した土地利用システムが政府指導のモデルよりもより持続的であることを提案した。一方、ランポン州のブトゥン山麓の調査では、森林地帯内に開かれた農地への樹木性作物の導入によって住民の生活基盤が着実に形成されただけでなく、造成された混合樹園地がさまざまな生態系サービスを提供する可能性があることを明らかにした。また、地元住民と政府をつなぐファシリテーターの役割が重要であることを指摘した。5カ年にわたるブトゥン山麓の調査から、利害を同じくする地元住民の連携と連帯が、政府に対する交渉力の強化をもたらし、その交渉の過程で地方政府と住民との協力関係も生まれようとしていることが確認できた。また、調査地としたスンプル・アグン村の事例は全国的な社会林業の好事例として認知されるようになるなど、参加型調査の効果も確認することができた。

4) 調査地はスマトラ島ジャンビ州沿岸部の感潮帯に位置する東タンジュン・ジャブン県政府移民入植地である。その主要部9500ヘクタールの土地利用悉皆調査を行ったところ、放棄地が37%、極低収穫田が12%を占め、目的とした潮汐灌漑田は15%に留まっていた。同地区幹線水路の年間水質変化を明らかにし、水文・水質の面で取水口からの距離によりどの幹線水路も3帯に区分されることを結論づけた。農民の劣化農地2箇所4ヘクタールでオンファームの水稲栽培試験を行った。17年度は100ヘクタール、18年度、19年度は50ヘクタールだった。17年度、18年度に土壌、水の分析を進めた。沈香苗木25,000本を約550戸の農民に配布、屋敷地での植栽試験を行っている。ランタウ・ラサウ村の土地利用形態を示す。植物体の化学組成(Fe、Al)分析、圃場の土壌および灌漑水のFe、Alの季節変化について分析を行った。水稲体中のFe、Alの分析では酸性硫酸塩土壌で稲の障害を起こす原因は鉄の過剰障害にあると考えられてきたが、稲の葉の分析を行うと、Fe濃度は障害レベルになく、むしろAlが300から500ppmと高く、Alによる生育障害が原因であると推定された。粘土鉱物の崩壊については粘土鉱物の種類は表層の泥炭から下層のマングローブ土まで同じで、カオリン鉱物、雲母-イライト鉱物、スメクタイト-ヴァーミキュライト鉱物からなるが、表層ではスメクタイト-ヴァーミキュライト鉱物が減少し、雲母-イライト鉱物が増える。また、サイズや結晶度の低下が推察される。こうした変化は表層で強い酸による粘土の変成が生じていることを示す。

3：農林業生態系を対象とした温室効果ガス吸収排出制御技術の開発と評価

(3a) 農業生態系におけるCH₄、N₂Oソース抑制技術の開発と評価

地球規模でのメタン(CH₄)および亜酸化窒素(一酸化二窒素：N₂O)放出量のそれぞれ約40%は、農耕地と畜産業等、農業生態系が起源となっている。これらのソースは、農耕地の栽培管理、反芻動物の飼育方法、畜産廃棄物の処理方法などの技術開発により、地球温暖化の緩和へ大きな貢献の出来る可能性がある。

本テーマでは、わが国とアジア諸国の農耕地と畜産業における実効的なCH₄、N₂O発生制御技術の開発とその削減効果の広域予察評価を目的とした。そのために、わが国の農耕地と畜産業における、現場で実用可能なCH₄、N₂Oソース制御技術の開発試験を各地で行い、それらの定量的評価を行った。同時に、わが国で開発されたこれらの温室効果ガス(GHG)ソース制御技術について、アジア諸国での有効性を評価した。一方、わが国とアジア地域における農業生態系からのCH₄、N₂O発生に関する

るデータベースを構築し、そのGHGソース制御技術の定量結果から、わが国とアジア地域における農業生態系からのCH₄、N₂O発生制御技術の削減効果に対する広域評価を行った。

(1) わが国とアジア諸国の農耕地におけるCH₄、N₂Oソース制御技術の開発と広域評価

1) わが国とアジア諸国の農耕地からの実効的CH₄、N₂Oソース制御技術の開発

わが国の水田における試験から、稲わら春すき込みを家畜ふん堆肥に置き換える有機物管理、中干し期間の長期化や栽培後期の水管理改善、無代かき栽培、および基盤整備による土壌浸透能改善の各技術が、CH₄発生を大きく(10%~>50%)削減する有効な技術であることが示された。これらの技術の多くは水稲生産性低下やN₂O発生増大等のトレードオフ無しに適用可能であることから、農家への普及に対する障害は小さいものと考えられる。CH₄発生制御に対する有機物管理と水管理の有効性は、中国、インドネシア、およびタイの水田における試験でも確認された。施肥土壌からのN₂O発生に関しては、わが国での試験から、草地における季節的な施肥配分の改善と硝化抑制剤の使用および露地野菜(キャベツ)畑における堆肥と緩効性(肥効調節型)肥料の使用によるN₂O発生量低減が認められた。硝化抑制剤等の資材によるN₂O発生削減効果は中国東北部のトウモロコシ畑でも確認された。

現地試験より得られた削減データから、水田の有機物管理と水管理による削減ポテンシャルとして、わが国については、それぞれ年間0.25および0.67 Mt Cと見積もられた。また、これらの技術をアジア全体に拡大した場合、大きなGHG排出削減ポテンシャルを期待できることが示唆されるとともに、インドネシアでのケーススタディから小規模CDM事業の可能性が示された。各技術のコスト評価から、水田有機物管理や施肥管理については比較的大きなコスト増加が示された。一方、水田水管理と中国製資材による施肥管理についてはコスト増加がきわめて小さく、有利なGHG発生制御技術であることが明らかにされた。

2) わが国とアジア諸国の農耕地におけるCH₄、N₂Oソースデータベースの構築と削減効果の広域評価

わが国とアジア地域の農耕地からのCH₄、N₂O発生実測値に関する既往文献の収集からデータベースを構築し、統計モデルによる解析から排出係数とその変動要因を評価した。この手法を用いた算定から、世界の水田からのCH₄発生量は25.1 Tg yr⁻¹であり、水管理と有機物管理により、それぞれ4.1 Tg yr⁻¹が削減可能であると推定された。また、わが国の農耕地からのN₂Oソースデータベースを整理し、合成肥料および有機肥料からのN₂O排出係数は、茶を除く畑、茶、および水田について、それぞれ0.62%、2.9%、および0.31%を用いることが適切であると考えられた。

北海道中央部の集水域を対象に、農耕地からのGHG発生量を流域レベルで推定するため、モニタリングによる測定結果を土壌環境因子と肥培管理因子によってパラメタリゼーションして推定する手法(流域複合生態系解析手法)を開発した。その解析の結果、水田、たまねぎ、穀類の土地利用種がGHG発生量に寄与の大きいことが示され、これらの生産性により環境負荷が増加していることが明らかになった。さらに、エコバランスのシナリオ解析により、各年のGWPを6%削減するためには豆類を増加し水田を減少させるなど、望ましい土地利用計画を策定した。

GHGソース削減効果のTier 3手法による広域評価を可能とするため、わが国各地の水田からのCH₄発生実測データを用いてプロセスモデル(DNDCモデル)の改良を行い、土壌型と稲わら施肥法が異なる水田からのCH₄発生量をほぼ推定できた。さらに、北海道について広域評価を試み、全道の水田からの平均年間CH₄排出量(CO₂換算)は4.2 Mg CO₂ ha⁻¹ yr⁻¹で、水管理の改善により発生量を約40%削減できると推定された。

3) 水田からのメタン発生量広域評価を目指した水田土壌化学性のパラメーター化(国際交流研究)

日本全国から圃場試験を行っている10種類の水田土壌を収集し、同一条件での室内培養実験を行った。その結果、収集した水田土壌の理化学性とCH₄生成量は異なり、CH₄生成量を制御する最も重要な要因は易分解性炭素量(二酸化炭素とCH₄の生成量)と被還元性鉄量であることが明らかになった。また、易分解性炭素量と可給態窒素量との間には強い正の相互関係が認められたほか、土壌全鉄量と被還元性鉄量との間にも有意な相互関係が認められた。これらのことから、CH₄生成量と可給態窒素量および全鉄量の関係を数式化した。

4) アジア諸国の農耕地におけるCH₄、N₂O発生量のモデリング(国際交流研究)

タイ各地の水田からのCH₄、N₂O発生に対し、サブサブテーマ(1)-2)において改良されたDNDCモデルを適用し、その予測精度を検証するとともに、削減技術の効果を予測した。圃場試験データを用いた改良DNDCモデルの検証結果はCH₄発生については良好であり、削減効果の予測に利用可能と判断された。しかし、N₂O発生については実測値を大きく過小評価し、さらにモデルを改良する必要性が指摘された。さらに、CH₄発生に対する予測とその解析から、水田からのCH₄発生量を削減する実用可能な方策として、以下の削減方策が推奨された: 1) 土壌にすき込む稲わらの量を少なくすること、2) 期間と水稲生育ステージを考慮した排水を行うこと、3) CH₄生成に適した還元状態を軽減すると同時に水稲収量を維持するために適当な化学肥料を選択すること。

(2) わが国とアジア諸国の畜産業に由来するCH₄、N₂Oソース制御技術の開発と広域評価

1) アジア諸国において有効な反すう家畜由来CH₄発生制御技術の開発とソースデータベースの構築及び削減効果の評価

測定例のほとんどないインドネシア、中国、タイ等のアジア地域における代表的飼養条件下の反すう家畜からのCH₄発生量データを蓄積し排出係数を求めた。さらに、人工ルーメンを用いて上記地域の多様な飼料給与時におけるCH₄排出量を推定する手法を開発するとともに、アジア地域に適用できる簡易で安価な削減技術の開発と評価を行なった。

ルーメンでの蛋白質や炭水化物の分解性が異なる飼料をホルスタイン種泌乳牛に給与した結果、大麦よりもトウモロコシを給与した場合にCH₄発生量が多いこと、ルーメン内温度が高い場合にCH₄発生量は減少することを明らかにした。一方、モネンシン、フマル酸を飼料に添加することでCH₄発生量が10～30%減少することが明らかになった。また、製造副産物である糖蜜・尿素、醤油製造副産物、ビール粕、トウフ粕、およびポラードを粗飼料に添加することで、反すう家畜からのCH₄発生量が減少（乾物摂取1 kg当たり7.9～22.6%）するとともに、増体日量も増えたことから、生産性の向上とともにCH₄発生量の抑制が可能であることが示された。そのほか、タンニンについて検討した結果、加水分解型より縮合型タンニンでCH₄発生抑制効果が高く、飼料中に縮合型タンニンを2.5%添加することで生産性に影響を及ぼすことなく、CH₄発生抑制が可能であることが明らかとなった。また、反すう家畜からのCH₄発生の簡易推定法として、インビトロガス培養法が実用的な方法であることを明らかにした。

2) アジア諸国において有効な畜産廃棄物由来CH₄、N₂O抑制技術の開発とソースデータベースの構築および削減効果の評価

養豚農家等の調査からアジアで増加の顕著な養豚の標準的飼料体系（米ぬか主体飼料と穀物主体飼料）を明らかにし、この結果に基づき作成されたGHG削減飼料の給与試験を行った。GHG削減飼料は、通常飼料より低蛋白であるがアミノ酸（リジン、トレオニン、メチオニン、バリンなど）を添加することで窒素の利用性を改善し、強力なGHGであるN₂O発生の元となる排泄窒素量低減した。米ぬか主体飼料では、アミノ酸を利用したGHG削減飼料でふん尿中への窒素排泄量を17%削減可能であることを飼養試験によって確認した。穀物主体の飼料では、飼料原料の粒度に考慮した実験でも低蛋白アミノ酸添加飼料で豚の増体量が低下したことから、既存の報告とは異なる結果を確認した。豚の消化器官において添加アミノ酸の吸収機序は、ペプチド状態の飼料原料由来のアミノ酸とは異なる可能性が示唆された。しかし、穀物主体の飼料でも不断給餌による飼養試験で、生産性を低下させることなく窒素排泄量を低減できる飼料の開発の目処が立ち、窒素の利用性を改善することでGHG削減が可能であることを確認した。家畜排泄物の堆肥化処理においては、堆肥化堆積物中での増殖の遅い亜硝酸酸化細菌が、結果として堆積物中の亜硝酸態窒素の蓄積とN₂Oの放出を引き起こすことが明らかとなった。すなわち、堆肥化過程で発生するN₂Oを抑制するためには、亜硝酸態窒素の蓄積をできるだけ早く解消することが重要であり、またそれは完熟堆肥（亜硝酸酸化細菌を含有する）の添加という比較的容易な方法で成し遂げられることがこの試験で実証された。また、鶏ふんペレット堆肥施用時のN₂O放出は、粉状の鶏ふん堆肥施用時に比べ多く、豚ふん堆肥で報告されたようなN₂O放出の抑制効果は認められなかった。

(3b) 東南アジア山岳地帯における移動耕作生態系管理法と炭素蓄積機能の改善に関する研究

本研究は、途上国における生態系と土地資源の劣化が食糧の安全保障とカプリングした状況下での環境問題に直接コミットすることを目指した研究である。近年、山岳東南アジアでは焼畑面積と利用圧の拡大が顕著になり、自然資源の劣化が急速に進みつつある。それは土壌の流亡、肥沃度の低下など食糧生産性の問題だけでなく、CO₂の放出と炭素蓄積機能の低下を介して温暖化などメソスケールの気候変化にも少なからぬ影響を与えることが懸念されている。したがって、フードセキュリティだけでなく地球環境の視点からもこれを改善することが期待されているが、これらを同時に考慮した研究は見当たらない。

そこで、本課題では貧困問題と地球環境問題が不可分な状況になっているラオス北部山岳地帯の焼畑生態系に着目し、①広域のかつ正確な実態観測に基づいた土地利用およびバイオマス等基礎諸量の動態解明、②食糧生産性が高く生態系スケールでの炭素固定シンクを増強する持続的な土地利用・作付体系の考案と検証、ならびに、③それを導入した場合の生態系スケールの炭素動態の評価を行い、これらを通して、生態系炭素固定容量の増強と食糧生産・資源保全に資する技術オプションを提示することを目的として研究を進めた。

本研究期間中に、焼畑生態系における土壌炭素、休閒バイオマス、土地利用等炭素動態に関する基本諸量のデータを充実させるとともに、これらを総合化して生態系スケールにおける炭素固定容量の広域的評価を可能にした。また、生態系炭素ストックを増強する土地利用・作付システムの技術要素とシステム化のための実験を進めるとともに、現地への導入・普及に関する社会的受容性を

分析し、代替シナリオの成立条件等に見通しをつけた。主要な成果は以下のように要約される。

(1) 焼畑地における土壌炭素動態の解明

焼畑栽培での稲作付け期および休閑期における炭素収支構成要素の測定により、土壌炭素ストックの経年変化の解明を進めた。Luang Prabang県内の3年生および10年生休閑地において、火入れ前後の炭素動態を測定した結果、火入れ前の全植生炭素ストックは8.5 tC/ha (3年休閑区) および45.3tC/ha (10年休閑区)、火入れ後のそれはそれぞれ0.09 tC/ha (火入れ前の1%) および5.50 tC/ha (同12%) となり、火入れにより炭素ストックの大部分がCO₂として放出されていることを明らかにした。

また、焼畑作付地と休閑経過年数(1~20年目)の異なる11地点の土壌呼吸量は、年間12.5~21.3 tC/ha/yrと推定され、作付中に最も小さく休閑年数の経過とともに増加した。この変化は主に植物体地下部重の増加に起因していた。地上部バイオマスの系年増加量、リター・枯死根の発生量と土壌腐食への分配率などを考慮して試算した土壌炭素含量(SOC)の時系列変化から、火入れ後SOCがもとの水準に戻るには11年間の休閑が必要と推定した。

(2) 食糧生産性の改善と炭素固定に寄与する作付システムの開発

農家圃場のイネ生産性は休閑年数の減少に伴って低下し、試験場の収量は作付期間中の降水量と正の相関を示した。イネ収量に対する各種肥料要素の施用効果のうち、窒素の施用効果が顕著であった。休閑が短いほど雑草が多くなり年間労働投入の半分以上が除草に当てられていた。これらより、ラオス北部焼畑地帯のイネ生産が、降雨量、休閑年数、土壌窒素供給および雑草害による強い制約を受けている実態が明らかになった。

また、現地圃場試験により、近年の改良陸稲品種は在来品種に比べて明らかに高い収量を上げることが明らかになった。各種有用植物の収益性、被覆作物・緑肥としての有用性を検討し、ペーパーマルベリーおよびスタイロの休閑時導入が有望であることをみとめた。それらに基づいて、在来品種の1年作付けと3年の休閑を繰返す現在の慣行作付体系に対して、改良品種を導入し、イネを2年連作にするとともに休閑期間を延長し、冬季にスタイロ、休閑初期にペーパーマルベリーを導入し、作付面積率を減らすとともに休閑期間をさらに8年まで延長する体系を考案した。この作付システムにより、米の増産と換金作物による収入が見込まれ、土壌肥沃度に影響するSOCの収支が現行よりも明らかに改善されると試算した。

(3) 休閑植生の炭素ストック動態の解明

焼畑休閑地の植物群落に設けた固定試験地で、バイオマスと枯死立木竹の定期調査を継続した。群落バイオマスは休閑年数とともに増加し、最後の収穫から15年を経過した時点で約100Mg ha⁻¹に達した。休閑期間を延長したときに期待される休閑期間平均のバイオマス、枯死木、リターの3炭素プールの炭素蓄積量合計を予測する式を作成し、休閑期間の延長の効果を評価したところ、休閑期間の2年から5年への延長は休閑期間を通じた炭素蓄積量合計の平均値を14.2から25.1 Mg C ha⁻¹に増やすと予測された。また、この期間延長により、休閑林の木材や非木材林産物(NTFPs)生産の機能は増加すると考えられた。住民の林産物利用を通じた休閑林からの炭素持ち出し量を推定するため、燃材採取、製炭、住宅建築について予備調査を行い、燃材採取量と焼畑造成による焼失バイオマス量の合計を推定する式を作成した。休閑後の年数、標高、休閑地放牧の有無を説明変数とする休閑地の炭素蓄積予測モデルを作成した。炭素蓄積の増加は低地で遅く、山地では速い傾向があることがわかった。

(4) 生態系スケールにおける土地利用、炭素動態の評価とシナリオ間比較

土地利用・炭素シンク/ソース容量の広域・長期の変化実態を解明し、代替管理法の改善効果を評価・予測するための基礎データとして構築している山岳ラオスの焼畑生態系約150km×150kmに関する衛星画像・地形図・気象資源等空間データセットを構築した。高解像度衛星ならびに長期観測衛星画像に基づいて焼畑地面積の精細な分布と時系列変化を明らかにした。焼畑面積は90年代以降年率2~5%程度で急速に増加し、2003年には多くの地域で約8~13%に達していた。また、休閑バイオマスの評価に重要な群落齢(休閑年数)の広域的な面積分布を明らかにし、短期休閑地が顕著に増加していること、休閑10年以内が約60%を占めること等を定量的に把握した。

さらに、2003~2004年時点の焼畑-休閑年数の面積比率の実態に基づいて、サブ課題(2)および(3)で得られた土壌炭素・休閑群落炭素の調査結果を総合化し、地域スケールの炭素ストックを算出した。生態系炭素ストックの長期/地域平均値は作付開始直前に対して約6.0 tC ha⁻¹ yr⁻¹であった。現状の短期休閑を、課題(2)で検討している2年作付+10年休閑の作付システム主体の土地利用シナリオに移行した場合、生態系炭素ストックは約20.7 tC ha⁻¹ yr⁻¹程度に増強されると推定した。また、この土地利用シナリオの改変にかかる費用、イネの生産性、換金作物による収益性、労働生産性の変化を地域スケールで総合的に試算し、14.8tC ha⁻¹ yr⁻¹程度の炭素ストック増を地域総収益増と両立させ得る可能性を示した。さらに、自然立地条件から類似シナリオを適用できる潜在面積はラオス北部に限定しても2万km²以上広がっていると推計した。

(5) 代替的作付システム・土地利用体系の導入のための社会経済的受容性

生態系炭素ストックの増強ポテンシャルに着目して検討が進めている作付システム・土地利用シナリオに関して、それらの重要な要素である主要な導入作物の市場的・社会的受容性を広範な現地調査および関連情報・データの収集に基づいて分析した。カジノキ (Paper mulberry) は生長が速く土着のため栽培も容易で、樹皮から生産される紙原料は良質で十分な国際市場が存在し、新規体系の中に組み込む意義は大きい。地域市場システムを充実させることが当面の課題である。イネの改良品種 (Improved rice) の導入は食糧生産性の改善と生態系保全のための新規作付システムの鍵となる重要な要素である。ただし、高い生産性を支えるため地力増強と雑草抑制効果のあるキマメ (Pigeon pea) とスタイロ (Stylosanthes guianensis) を間混作に効果的に組み入れるなどの手立てが必要となる。なお、これらの種苗は自給できる可能性が高いが、イネ新品種についての情報はまだ乏しく、今後の普及啓蒙活動の必要性が高い。

以上のように、広範なデータの統合化に基づいて、当該地域における生態系炭素ストックの広域的・定量的評価にはじめて道を拓いた学術的意義は高く、国際開発支援機関等が高い関心を寄せている。

現地の人口増加率は依然高く、収量低下・雑草繁茂・労働生産性の低下の進行は不可避と考えられる証拠も豊富である。短期休閑面積の増加および休閑期間の短期化に伴う稲収量の減少・雑草害増加がいずれの集落においても深刻化している。したがって、食糧・資源の生産持続性を増強し、かつ炭素ストックを増強させる上で、本研究で提示した土地利用・作付システムの開発と普及は現実に有望な方策のひとつであると考えられる。収量性の高い改良品種の導入やマメ科牧草 (スタイロ) 休閑などを組み込んだ作付システムに対しては、現地政府機関なども高い関心を寄せており、改良品種の種子生産や技術体系の現地検証試験等が開始されている。食糧保障への貢献とともに、炭素固定増強効果が導入・普及へのインセンティブになることも期待される。

土地利用・生態系管理方式の改変によるアプローチは、単位面積あたりの効果は希薄であるが、山岳東南アジアには同様な焼畑生態系が大きく広がっていることから、同様なアプローチによる広域的な集積効果は多大である。また、本アプローチは山岳地帯における焼畑の必然性を一定踏まえ、かつ現地住民にとって切実な稲の生産を機軸においたもので、特別なインフラや投資を必要とせず、既存の農業技術の実用化・普及体制にマッチする生態的技術ともいえる。

本研究は途上国における生態系と土地資源の劣化が食糧安全保障とカプリングした状況での炭素削減問題に直接コミットした研究であり、学術的な水準が高いだけでなく、近年のREDD等の動向に対する先駆的な研究と位置づけられ、今後の展開が期待される。

4：研究プロジェクトの統合的推進のためのプラットフォーム形成と情報共有化

陸域生態系の中でも、特に技術開発後の温暖化抑制ポテンシャルが大きいと期待される、森林生態系、熱帯低湿地生態系、農林業生態系のそれぞれについて、各々2テーマずつを設置し、シンク・ソース技術を開発することを目的として、本プロジェクトを進めた。

このように多岐に渡る研究テーマをプロジェクトの目的達成に向けて、効率的に推進し、実用可能な開発技術とするための統合的プラットフォームとして、各研究テーマから提案される削減技術を実施した場合のGHG削減・固定ポテンシャル、削減のためのコスト、プロジェクトとして実施されるまでのロードマップなどを横断的に評価する試みを実施した。対象や手法が異なる複数のプロジェクトを同じ基準で評価するには多くの手順が必要で、不確実性のため時に大胆な仮定も必要となったが、その作業を通じて各研究テーマでの目標の明確化とテーマ間での研究内容の相互理解が進むことによって、本研究の目的のひとつである効率的なプロジェクトの推進が実現されたと考える。

横断的評価の結果、各研究テーマによって研究開発された技術に基づく削減プロジェクトが全て実施されたとするとGHG削減ポテンシャルとして20年間で100億t-C以上になると推定された。このうち、最大のポテンシャルをもつのは開発によりCO₂排出が増大している東南アジア泥炭地であり、その量は36億トンCにも達した。

コスト、技術完成度、環境影響の観点から、短期間に実施可能で政策シナリオに結びつく方法を各研究テーマから抽出した。コストは目標とした100\$/tC以下の方法が大部分であった。

各チームから抽出されたテーマは1aではオーストラリア乾燥地でのハードパン爆破による植林CO₂固定方法、1bでは早生樹林育成と木材生産によるCO₂固定、2aでは泥炭開発地の再湿地化と植林によるCO₂排出量削減、2bでは泥炭開発地の水田化によるCO₂排出量削減、3aではインドネシア水田の水管理によるCH₄排出量削減、であった。

まとめを下表に示す。

表 1. GHG 排出削減コスト、効率および削減量の横断的評価の結果

GHG排出削減コスト、効率及び削減量

テーマ	固定/削減速度 (tC/ha・y)	コスト (円/tC)	効率* (20年間)	削減量2020年 (10 ³ tC/y)
1a	3.7	16,000	60	30
1b	1.2	1,000	600	10
2a	30	1,300	1,000	6,000
2b	18	2,000	(700)	10
3a	0.8 0.6(新潟)	4,000(インドネシア) 250,000(新潟)	500 5(新潟)	200 (40)
3b	1.7	600	(>100)	10

*効率=CO₂削減量/システム構築CO₂排出量 合計 6.5MtC/y

4. 考察

陸域生態系の中でも、特に技術開発後の温暖化抑制ポテンシャルが大きいと期待される、森林生態系、熱帯低湿地生態系、農林業生態系のそれぞれについて、各々2テーマずつを設置し、シンク・ソース技術を開発することを目的として、本プロジェクトを進めた。

このように多岐に渡る研究テーマをプロジェクトの目的達成に向けて、効率的に推進し、実用可能な開発技術とするための統合的プラットフォームとして、各研究テーマから提案される削減技術を実施した場合のGHG削減・固定ポテンシャル、削減のためのコスト、プロジェクトとして実施されるまでのロードマップなどを横断的に評価する試みを実施した。対象や手法が異なる複数のプロジェクトを同じ基準で評価するには多くの手順が必要で、不確実性のため時に大胆な仮定も必要となったが、その作業を通じて各研究テーマでの目標の明確化とテーマ間での研究内容の相互理解が進むことによって、本研究の目的のひとつである効率的なプロジェクトの推進が実現されたと考える。

横断的評価の結果、各研究テーマによって研究開発された技術に基づく削減プロジェクトが全て実施されたとするとGHG削減ポテンシャルとして20年間で100億t-C以上になると推定された。このうち、最大のポテンシャルをもつのは開発によりCO₂排出が増大している東南アジア泥炭地であった。

ポテンシャルの本年度はこれまでの技術開発を進めると共に政策シナリオに結びつくように各研究テーマを絞り、削減コスト計算ができるような整理をした。

1aではオーストラリア乾燥地でのハードパン爆破による植林と塩害防止植林によるCO₂固定の2方法、1bでは早生樹林育成と木材生産によるCO₂固定、2aでは泥炭開発地の再湿地化と植林によるCO₂排出量削減、2bでは泥炭開発地の水田化によるCO₂排出量削減、3aではインドネシア水田の水管理によるCH₄排出量削減、畜産業における最適飼料選択によるCH₄排出量削減、などである。

5. 研究者略歴

課題代表者：山田興一

1939年生まれ、横浜国立大学工学部電気化学科卒業、工学博士、
現在、成蹊大学・特別研究招聘教授

1：森林生態系を対象とした温室効果ガス吸収固定化技術の開発と評価

1 a. 荒漠地でのシステムの植林による炭素固定量増大技術の開発に関する研究

サブテーマ代表者：小島紀徳

1953年生まれ、東京大学工学部卒業、工学博士、現在 成蹊大学理工学部教授

(1)：小島紀徳(同上)

(2)：安部征雄

1943年生まれ、東京教育大学農学部卒業、農学博士、現在 筑波大学特任教授

(3) : 江頭靖幸

1962年生まれ、東京大学工学部卒業、工学博士、現在、大阪大学基礎工学部 准教授

1 b. 森林造成技術の高度化による熱帯林のCO₂シンク強化

サブテーマ代表者：井出雄二

1952年生まれ、東京大学農学部卒業、農学博士、現在東京大学大学院農学生命科学科生圏システム学専攻森圏管理学研究室

(1) 栗延 晋

1952年生まれ、九州大学農学部卒業、(独) 森林総合研究所林木育種センター関西育種場、育種課長(2008年4月より、同林木育種センター遺伝資源部、部長)

(2) 井出雄二(同上)

2 : 熱帯低湿地生態系を対象とした温室効果ガス吸収排出制御技術の開発と評価

2 a. 熱帯泥炭湿地のGHGソース制御・シンク強化技術開発

サブテーマ代表者：飯山賢治

1942年生まれ、東京大学農学部卒業、農学博士、東京大学アジア生物資源環境研究センター教授(センター長)、東京農業大学国際食料情報学部客員教授、現在(独) 国際農林水産業研究センター理事長、東京大学名誉教授

(1) : 飯山賢治(同上)

(2) : 長野敏英

1941年生まれ、香川大学農学部卒業、農学博士、東京農業大学国際食料情報学部教授、現在 宇都宮大学農学部特任教授

(3) : 石田朋靖

1955年生まれ、東京大学農学部卒業、農学博士、現在 宇都宮大学農学部教授

(4) : 丹下 健

1958年生まれ、東京大学農学部卒業、博士(農学)、現在 東京大学大学院農学生命科学研究科教授

(5) : 小島克己

1960年生まれ、東京大学農学部卒業、博士(農学)、現在 東京大学アジア生物資源環境研究センター教授

2 b. 東南アジア低湿地における温暖化抑制のための土地資源管理オプションと

地域社会エンパワーメントに関する研究

サブテーマ代表者：小林繁男

1949年生まれ、京都大学農学部林学科卒業、農学博士、独立行政法人森林総合研究所研究管理官を経て、現在、京都大学大学院アジア・アフリカ地域研究研究科、教授

(1) : 松本陽介

1953年生まれ、静岡大学農学部林学科卒業、東京大学大学院農学系研究科(林学専攻)博士課程修了、農学博士、独立行政法人 森林総合研究所 海外研究領域 海外森林資源保全研究室長、現在、独立行政法人 森林総合研究所 九州支所地域研究官

: 田淵隆一

1955年生まれ、信州大学農学部林学科卒業、京都大学大学院農学科博士課程修了、農学博士、独立行政法人 森林総合研究所、多摩森林科学園 教育的資源研究グループ長を経て現在、森林総合研究所 国際連携拠点推進長

: 藤本潔

1960年生まれ、東北大学大学院理学科博士課程修了、理学博士、森林総合研究所環境部、現在、南山大学 総合政策学部 教授

(2) : 小林繁男(同上)

: 百瀬邦泰

1968年生まれ、京都大学大学院理学科博士課程修了、理学博士、京都大学大学院 アジア・アフリカ地域研究研究科 助手、現在、愛媛大学農学部森林資源学専門教育コース森林資源生物研究室 助教授

(3) : 阿部健一

1960年生まれ、京都大学大学院農学科博士課程修了、農学修士、現在、国立民族学博物館 地域研究交流センター 助教授を経て、現在、京都大学地域研究統合情報センター 助教授

: 田中耕司

1947年生まれ、京都大学大学院農学科博士課程終了、農学修士、京都大学 東南アジア研究所 教授・所長を経て、現在、京都大学地域研究統合情報センター 教授・センター長

(4) : 古川久雄

1939年生まれ、京都大学大学院農学博士過程修了、農学博士、京都大学大学院 アジア・アフリカ地域研究研究科 教授退官、現在、名誉教授

: 竹田晋也

1961年生まれ、京都大学大学院農学博士課程修了、農学博士、現在、京都大学大学院 アジア・アフリカ地域研究研究科 助教授

3 : 農林業生態系を対象とした温室効果ガス吸収排出制御技術の開発と評価

3 a. 農業生態系におけるCH₄、N₂Oソース抑制技術の開発と評価

サブテーマ代表者：八木一行

1959年生まれ、名古屋大学大学院理学研究科博士前期課程修了、博士（農学）、現在、（独）農業環境技術研究所 物質循環研究領域 上席研究員

(1) -① : 犬伏和之

1956年生まれ、東京大学大学院農学系研究科博士課程修了、農学博士、現在、千葉大学大学院園芸学研究科 生物資源科学コース 土壌学研究室 教授

(1) -② : 八木一行（同上）

(1) -③ : 八木一行（同上）

(1) -④ : 八木一行（同上）

(2) -① : 永西 修

1960年生まれ、京都大学大学院農学研究科修了、博士（学術）、現在、（独）農業・食品産業技術総合研究機構 畜産草地研究所 畜産温暖化研究チーム チーム長

(2) -② : 長田隆

1960年生まれ、筑波大学第二学群生物学類卒業、博士（農学）、現在、（独）農業・食品産業技術総合研究機構 畜産草地研究所 畜産温暖化研究チーム 上席研究員
（前 北海道農業研究センター 資源化システム研究北海道サブチーム サブチーム長）

3 b. 東南アジア山岳地帯における移動耕作生態系管理法と炭素蓄積機能の改善に関する研究

サブテーマ代表者：井上吉雄

1953年生まれ、京都大学大学院（工学研究科・農学研究科）修了、農学博士、現在、（独）農業環境技術研究所生態系計測研究領域、上席研究員

(1) : 井上吉雄（同上）

(2) : 白岩立彦

1958年生まれ、京都大学農学部卒業、現在、京都大学大学院農学研究科、教授

(3) : 清野嘉之

1955年生まれ、東京大学大学院（農学研究科）修了、農学博士、現在、（独）森林総合研究所 温暖化対応推進拠点、拠点長

(4) 研究プロジェクトの統合的推進のためのプラットフォーム形成と情報共有化

サブテーマ代表者：山田興一（課題代表者と同じ）

6. 成果発表状況（本研究課題に係る論文発表状況。）

(1) 査読付き論文

(1) 小島紀徳，松本剛，池田裕弥，濱野裕之，加藤茂，岡田直紀，坪山良夫，斉藤昌宏，安部征雄，高橋伸英，山田興一：水文・水資源学会誌，16-5，518-526（2003）「安定同位体比分析を用いた豪州乾燥地域における樹木の水源推定に関する研究」

(2) S. Sinha, S. Kumar, T. Matsumoto, H. Hamano and T. Kojima: Arid Land Geography, 26-S, 66-71 (2003) "Salt and Water Movement in Standard Toyoura Sand: Theoretical Estimation and Experimental Evaluation"

(3) S. Sinha, S. Kumar, K. Tahara and T. Kojima: Arid Land Geography, 26-S, 96-99 (2003) "GMS Application for Mapping Siol Profile, Hardpan Depth and Ground Water Movement for Afforestation in Arid Areas and Desert"

- (4) T. Kojima, J. Ishida, H. Hamano, K. Tahara and K. Yamada: Arid Land Geography, 26-S, 100-103 (2003) "Evaluation of Mixing Effects of Soil Conditioners under Dry Condition"
- (5) H. Hamano and T. Kojima: Arid Land Geography, 26-S, 226-229 (2003) "Water and Heat Balance Analysis in Bare Soil for a Large Scale Afforestation"
- (6) T. Saito, Y. Abe, H. Yasuda, T. Kojima and K. Yamada: Arid Land Geography, 26-S, 233-236 (2003) "Runoff Water Collection and Evaporation Control by means of Highly Permeable Ditch"
- (7) Y. Abe, M. Taniguchi, H. Suganuma, M. Saito, T. Kojima, Y. Egashira, Y. Yamamoto and K. Yamada: J. Chem. Eng. Jpn., 36-4, 376-382 (2003) "Comparative analysis between biomass and topographic features in an arid land, Western Australia"
- (8) 安田 裕, 川戸 渉, 安部征雄, 山田興一: 沙漠研究, 13-2, 131-138 (2003) 「乾燥地月降雨量時系列と海面温度, 南方振動及び太陽黒点周期変動との関係について」
- (9) Y. Abe, M. Taniguchi, T. Saito, M. Saito, M. Owada, K. Yamada: Arid Land Geography, 26-S, 159-162 (2003) "Comparison of two methods to estimate biomass using Landsat TM in arid Western Australia"
- (10) T. Saito, Y. Abe, H. Yasuda, T. Kojima, K. Yamada: Arid Land Geography, 26-S, 233-236 (2003) "Runoff Water Collection and Evaporation Control By Highly Permeable Ditch"
- (11) Y. Egashira, D. Tomii, K. Ueyama, N. Takahashi, T. Kojima, Y. Abe, M. Saito and K. Yamada: J. Chem. Eng. Japan, 36, 383-390 (2003) "Development of Integrated Simulator of Water Transport and Plant Growth as an Evaluation Tool of Arid Land Afforestation for CO₂ Fixation"
- (12) N. Takahashi, K. Tahara, H., Utsugi, T. Kojima, Y. Egashira, Y. Abe, M. Saito and K. Yamada: J. Chem. Eng. Jpn., 36-4, 391-400 (2003) "Water Use Efficiency of *Eucalyptus Camaldulensis* Growing in Arid Regions in Western Australia"
- (13) 加藤茂, 照井岳也, 藤重正洋, 上宮成之, 小島紀徳, 山田興一: Macro Review, 16-2, 3-12, (2004) 「無機保水材焼成ポー キサイトの肥料吸着と溶出」
- (14) N. Saito, S. Kato, T. Kojima, H. Hamano, K. Tahara, N. Takahashi and K. Yamada: J. Arid Land Studies, 14-S, 53-56 (2004) "Establishment of the Method to Estimate of Water Requirement Per Unit Carbon Fixation of a Tree in Arid Land"
- (15) T. Matsumoto, S. Kato, S. Sinha, Sanjay Kumar, Y. Abe, T. Kojima and K. Yamada: J. Arid Land Studies, 14-S, 147-150 (2004) "Estimation of Water Behavior for Afforestation in Desert of Western Australia using Stable Isotope Ratio Analysis"
- (16) T. Kojima, E. Komaki, K. Hayakawa, S. Kato and H. Hamano: J. Arid Land Studies, 14-S, 151-154 (2004) "Quantitative Evaluative of Artificial Aggregate Formation"
- (17) H. Hamano, J. Ishida, T. Kojima, Y. Abe, M. Saito, N. Takahashi and K. Yamada: J. Arid Land Studies, 14-S, 219-222 (2004) "Infiltration Properties of Arid Land with Various Conditions in Leonora, Western Australia"
- (18) T. Kojima, N. Asaka, J. Ishida, H. Hamano and K. Yamada: J. Arid Land Studies, 14-S, 223-226 (2004) "Development of a Model for Large Scale Water Balance in Arid Land"
- (19) K. Shiono, Y. Kanri, Y. Abe, H. Tanouchi, T. Kojima, K. Yamada: J. Arid Land Studies, 14-S, 207-210 (2004) "Stand Growth Estimation of Representative Plant Communities in Arid Land of Western Australia"
- (20) H. Suganuma, Y. Abe, M. Taniguchi, M. Saito, K. Yamada: J. Arid Land Studies, 14-S, 85-88 (2004) "Fundamental Research on Detection of Stand Biomass Change in an Arid Rangeland"
- (21) 田内裕之, 宇都木玄, 濱野裕之, 高橋伸英, 安部征雄, 山田興一: 日本林学会関東支部大会発表論文集, 55, 131-132 (2004) 「肥大か膨張かー精密デンドロメータによる乾燥地樹木の成長動態解析からー」
- (22) 高橋伸英, 小林亮, 新井親夫, 小島紀徳, 山田興一: 化学工学論文集, 30-4, 537-540, (2004) 「焼成ポーキサイト混入による土壌の保水改善効果」
- (23) T. Hirukawa, N. Asak, C. Naito, H. Hamano, T. Kojima and K. Yamada: Proceeding of the Fifth Asia Pacific Conference on Sustainable Energy and Environment Technologies, 13-18 (2005) "A modeling methodology of large scale water balance for selection of afforestation site"
- (24) T. Kojima, S. Kaneoya, E. Komaki, H. Hamano, S. Kato and M. Matsukata: Proceeding of the Fifth Asia Pacific Conference on Sustainable Energy and Environment Technologies, 145-149 (2005) "Evaluation of mixing effect of various zeolites on soil properties"
- (25) E. Komaki, S. Kato, H. Hamano and T. Kojima: Proceeding of the Fifth Asia Pacific

- Conference on Sustainable Energy and Environment Technologies, 179-184 (2005) "Long term variation in soil physical properties by artificial aggregate formation"
- (26) 小島紀徳, 古牧絵莉, 加藤茂, 濱野裕之: 農業土木学会論文集, 73-3, 231-236 (2005) 「人工的団粒形成土壌の物理性評価」
- (27) H. Hamano, N. Saito, T. Kojima, S. Kato, M. Saito, A. Kinnerar and K. Yamada: J. Arid Land Studies, 15-4, 231-234 (2006) "Death of Trees in the Wheat Belt Western Australia: Identification of the Causes by Chemical Analysis of Soil"
- (28) Kinnerar, P. Curry, T. Kojima and K. Yamada: J. Arid Land Studies, 15-4, 239-242 (2006) "Soil Mites in Re-afforested, Semi-arid Landscapes in Western Australia",
- (29) T. Matsumoto, S. Kato, T. Abe and T. Kojima: J. Arid Land Studies, 15-4, 243-246 (2006) "Estimation of Water Availability Condition for Afforestation in Desert of Western Australia using Carbon Stable Isotope Ratio Analysis"
- (30) T. Hirukawa, N. Asaka, H. Hamano, K. Yamada and T. Kojima: J. Arid Land Studies, 15-4, 247-250 (2006) "A Modeling Methodology of Large Scale Water Balance and Salt Accumulation for Afforestation in Arid Land"
- (31) E. Komaki, Y. Umezawa, S. Kato, H. Hamano and T. Kojima: J. Arid Land Studies, 15-4, 279-282 (2006) "Quantitative Evaluation of Soil Improvement by Using Leaves of Eucalyptus Camaldulensis as a Soil Conditioner"
- (32) S. Kumer, A. Yadav and T. Kojima: J. Arid Land Studies, 15-4, 283-286 (2006) "Development of GAMS Computer Model for Renewable Energy Mix Optimization to Meet Rural Needs in Arid Areas"
- (33) T. Matsumoto and T. Kojima: J. Arid Land Studies, 16-1, 53-59 (2006) "Simulations of salt accumulation at soil surface under different annual precipitation amounts in arid Leonora area, Western Australia"
- (34) S. Kumada, T. Kawamishi, Y. Hayashi, K. Ogomori, Y. Kobayashi, N. Takahashi, M. Saito, H. Hamano, T. Kojima and K. Yamada: J. of Ecotechnology Research, 12, 167-170 (2006) "Litter and Soil Carbon Dynamics Model in Arid Forest Ecosystems: Application to Sturt Meadows Experiments in Western Australia"
- (35) K. Toshinori, H. Hamano, Y. Abe, H. Tanouchi, Y. Egashira, M. Saito, J. Law, N. Takahashi and K. Yamada: J. Arid Land Studies, 16-3, 167-174 (2006) "Basic Data of Research Project on Large Scale Afforestation of Arid Land for Carbon Fixation near Leonora in Western Australia"
- (36) S. Kawarasaki, S. Kaneoya, H. Tanouchi, H. Hamano, T. Kojima and K. Yamada: J. Arid Land Studies, 15-4, 235-238 (2006) "Effect of temperature and light on germination of 12 afforested trees in South Western Australia"
- (37) H. Tanouchi, H. Utsugi, N. Takahashi, H. Hamano, S. Kawarasaki, T. Kojima and K. Yamada: Journal of Arid Land Studies, 15-4, 267-270 (2006) "Water Use Efficiency of Trees in Arid Lands: Plasticity to Water Conditions."
- (38) 田内裕之、宇都木玄、濱野裕之、河原崎里子、高橋伸英、小島紀徳、山田興一: 日本林学会関東支部大会発表論文集、57 (2006) 「肥大動態から見た乾燥地樹木の水利用効率の評価」
- (39) H. Suganuma, Y. Abe, M. Taniguchi, H. Tanouchi, H. Utsugi, T. Kojima, K. Yamada: Forest Ecology and Management, 222, 75-87 (2006) "Stand biomass estimation method by canopy coverage for application to remote sensing in an arid area of Western Australia"
- (40) T. Saito, K. Maehara, H. Yasuda and Y. Abe: J. Arid Land Studies, 15-4, 379-382 (2006) "Experimental Study of Water Harvesting by Means of a Ditch Filled with Highly Permeable Material"
- (41) H. Suganuma, Y. Abe, H. Utsugi, H. Tanouchi, T. Kojima: J. Arid Land Studies, 15-4, 259-262 (2006) "Shrub-land biomass estimation method for application to remote sensing"
- (42) K. Shiono, H. Suganuma, Y. Abe, H. Tanouchi, H. Utsugi, M. Saito, N. Takahashi, T. Kojima, K. Yamada: J. Arid Land Studies, 15-4, 251-254 (2006) "Biomass growth estimation of an afforestation site and natural forests in an arid land of Western Australia"
- (43) H. Utsugi, H. Tanouchi, H. Hamano and N. Takahashi: J. Arid Land Studies, 15, 271-274 (2006) "The difference in leaf morphological and photosynthetic ability of *Eucalyptus camaldulensis* between natural growth and planted trees in desert western Australia"
- (44) 菅沼秀樹, 安部征雄, 谷口雅彦, 山田興一: 写真測量とリモートセンシング, 45-3, 12-23 (2006) 「乾燥地におけるデジタル航空写真解析による林分バイオマス推定手法の検証」

- (45) 菅沼秀樹, 長谷修平, 安部征雄, 田内裕之, 小島紀徳, 山田興一: 日本リモートセンシング学会誌, 26, 95-106 (2006) 「植生指数と植生分類を組み合わせた乾燥地林分バイオマス推定手法の有効性の検討」
- (46) N. Takahashi, H. Hamano, Y. Abe, T. Kojima and K. Yamada: J. Arid Land Studies, 15-4, 275-278 (2006) "Effect of Calcined Bauxite as a Water-holding Material and a Way of Mixing it with Soil on Tree Growth"
- (47) Y. Egashira, M. Shibata, K. Ueyama, H. Utsugi, N. Takahashi, S. Kawarasaki, T. Kojima and K. Yamada: J. Arid Land Studies, 15-4, 263-266 (2006) "Development of tree growth simulator based on a process model of photosynthesis for *Eucalyptus camaldulensis* in arid land"
- (48) 小島紀徳, 齊藤則子, 田中淑子, 濱野裕之, 加藤茂, 田原聖隆, 高橋伸英, 山田興一: 水文・水資源学会誌, 20-4, 340-346 (2007) 「西オーストラリア乾燥地における *Eucalyptus camaldulensis* の樹液中塩類の挙動」
- (49) 塩野克宏, 安部征雄, 河原崎里子, 濱野裕之, 田内裕之, 小島紀徳, 山田興一: 水文・水資源学会誌, 20-5, 409-423 (2007) 「酸素安定同位体分析によるハードパン破砕土壌に植林された樹木の水源深度の推定」
- (50) K. Shiono, Y. Abe, H. Tanouchi, H. Utsugi, N. Takahashi, H. Hamano, T. Kojima and K. Yamada: J. Arid Land Studies, 17-1, 11-22 (2007) "Growth and Survival of Arid Land Forestation Species (*Acacia aneura*, *Eucalyptus camaldulensis* and *E. salubris*) with Hardpan Blasting"
- (51) 田内裕之, 河原崎里子, 相川真一, 宇都木玄, 齋藤昌弘: 関東森林研究, 59, 153-154 (2007) 「荒漠地植林によるバイオマス生産の可能性」
- (52) 濱野裕之, 齊藤則子, 加藤茂, 北原弘道, 高橋伸英, 山田興一, 小島紀徳: 水文・水資源学会誌, 21-1, 32-38 (2008) 「ハードパン破砕を伴う乾燥地植林における土壌化学性評価による持続可能性の検討」
- (53) 濱野裕之, 小島紀徳, 河原崎里子, 高橋伸英: 沙漠研究, 16-1, 31-38 (2008) 「乾燥地における焼成ボーキサイトの土壌改良材としての利用」
- (54) S. Kumada, T. Kawanishi, Y. Hayashi, K. Ogomori, Y. Kobayashi, N. Takahashi, M. Saito, H. Hamano, T. Kojima and K. Yamada: Ecological Modelling (2008) "Litter carbon dynamics analysis in forests in an arid ecosystem with a model incorporating the physical removal of litter" (In Press)
- (55) 江頭靖幸: 「水学への誘い」大垣 一成, 江頭 靖幸, 渡會 仁, 松村 道雄, 中辻 啓二 編著, 大阪大学出版会, 230-239 (2008) 「降水の有効利用による乾燥地植林と植林による塩害防止」
- (56) 高橋伸英, 藤原 尚, 小林 敦, 福長 博, 岩崎 博, 小島紀徳, 山田興一: 沙漠研究, 17-4, 157-165 (2008) 「*Eucalyptus camaldulensis* の生育限界水分条件」
- (57) 横山峰幸, 中村健太郎: 資生堂, 住友林業; 「挿し木の発根法」, 特開2007-167055, 平成18年4月24日
- (58) 井出雄二, 齊藤陽子: 東京大学; 「モルッカネムの個体識別用プライマーセットおよびそれを用いた個体識別方法」, 特願2004-339726, 平成16年11月25日
- (59) 石尾将吾, 中村健太郎: 住友林業; 「木材製品の管理方法およびプライマーセット」, 特願2006-343720, 平成18年12月21日
- (60) 小島克己: 日本林学会誌, 86, 61-68 (2004) 「熱帯樹木の環境ストレス応答」
- (61) H. Saito, K. Yoshino, T. Ishida, T. Nagano, W. Sirichuaychoo, A. Jagruskl, and N. Haraguchi: Geoderma, 125, 235-247 (2004) "Geostatistical estimation of tropical peat soil volume at Bacho, Thailand"
- (62) M. Norisada and K. Kojima: For. Ecol. Manage. 216, 175-186 (2005) "Nitrogen form preference of six dipterocarp species"
- (63) M. Norisada and K. Kojima: Photosynthetica 43, 491-499 (2005) "Photosynthetic characteristics of dipterocarp species planted on degraded sandy soils in southern Thailand"
- (64) K. Tahara, M. Norisada, T. Hogetsu, and K. Kojima: J. For. Res. 10, 325-333 (2005) "Aluminum tolerance and aluminum-induced deposition of callose and lignin in the root tips of *Melaleuca* and *Eucalyptus* species"
- (65) T. Yamanoshita, M. Masumori, H. Yagi, and K. Kojima: J. For. Res., 10, 199-204 (2005) "Effects of flooding on downstream processes of glycolysis and fermentation in roots of *Melaleuca cajuputi* seedlings"
- (66) Z. Jin, K.S. Katsumata, T. B. T. Lam, and K. Iiyama: Biopolymers, 83, 103-110 (2006)

- “Covalent linkages between cellulose and lignin in cell walls of coniferous and nonconiferous woods”
- (67) Z. Jin, Y. Matsumoto, S. Shao, T. Akiyama, K. Iiyama, and S. Watanabe : Bull. Tokyo Univ. For., 115, 37-51 (2006) “Leaf litter decomposition of selected urban tree species during mulching”
- (68) S. Kogawara, T. Yamanoshita, M. Norisada, M. Masumori, and K. Kojima : Tree Physiol., 26, 1413-1423 (2006) “Photosynthesis and photoassimilate transport during root hypoxia in *Melaleuca cajuputi*, a flood-tolerant species, and in *Eucalyptus camaldulensis*, a moderately flood-tolerant species”
- (69) Z. Jin, Y. Matsumoto, S. Shao, T. Akiyama, K. Iiyama and S. Watanabe : Bull. Tokyo Univ. For., 115, 51-64 (2006) “Structural difference between leafblade and petiole of original and mulched leaf litter of *Ginkgo biloba*”
- (70) M. Norisada and K. Kojima : Photosynthetica, 45, 153-155 (2007) “*Dipterocarpus obtusifolius* exhibits enhanced photosynthetic capacity at high temperatures”
- (71) Z. Jin, Y. Matsumoto, T. Tange and K. Iiyama : J. Wood Sci., 53, 412-418 (2007) “Structural characteristics of lignin in primitive Pteridophytes: *Selaginella* species”
- (72) K.S. Katsumata, Z. Jin, K. Hori and K. Iiyama : J. Wood Sci., 53, 419-426 (2007) “Structural changes in lignin of tropical woods during digestion by termite, *Cryptotermes brevis*”
- (73) 長野敏英 : Japan InfoMAB News Letter on MAB Activities in Japan, No. 32 2007. 3, 2-4 (2007) 「熱帯泥炭土壌の沈下－タイ南部 Narathiwat 県を事例として－」
- (74) F. Tsai, E.-K. Lin, and K. Yoshino : Int. J. Remote Sensing, 28, 1023-1039 (2007) “Spectrally segmented principal component analysis of hyperspectral imagery for mapping invasive plant species”
- (75) K. Tahara, M. Norisada, T. Yamanoshita, and K. Kojima : Plant and Soil, 302, 175-187 (2008) “Role of aluminum-binding ligands in aluminum resistance of *Eucalyptus camaldulensis* and *Melaleuca cajuputi*.”
- (76) K. Kushida, K. Yoshino, T. Nagano, and T. Ishida : Photogrammetric Eng Remote Sensing (2008) “Automated 3D forest surface structure extraction from balloon photographs” (in press)
- (77) Z. Jin, S. Shao, K.S. Katsumata, T. Ishida, and K. Iiyama : Jpn. Agric. Res. Quart. 42 (2008) “Structural modification of lignin in peat during peat formation at tropical swamp” (in press)
- (78) Kitao, M., H. Utsugi, S. Kuramoto, R. Tabuchi, K. Fujimoto and S. Liphai : Physiologia Plantarum, 117-3. 376-382 (2003) “Light dependent photosynthetic characteristics indicated by chlorophyll fluorescence in five mangrove species native to Pohnpei Island, Micronesia”
- (79) 石原修一, 藤本 潔, 川西基博, 渡辺 亮, 田中伸治 : 森林立地, 46-1, 9-19 (2004) 「奄美大島マングローブ林の植生と立地の関係およびメヒルギ林の炭素蓄積量」
- (80) Marta Vannucci編 : Mangrove Management & Conservation : Present & Future, United Nations University Press, 138-146 (2004) “Below-ground carbon sequestration of mangrove forests in the Asia-Pacific region (執筆担当 : 藤本 潔)”
- (81) 松本陽介, 田淵隆一, 平田泰雅, 藤岡義三, P. Patanaponpaiboon, S. Pongparn : 森林立地, 48-1, 43-56 (2006) 「タイ国マレー半島西岸における海岸林の津波被害-2004年12月26日のスマトラ島沖地震の影響-」
- (82) 米田令二, 田淵隆一, P. Sasitorn, 佐野真, 高橋興明, P. Pipat : 日林関東支部論, 51, 101-104 (2006) 「東北タイヤソトン県における溪畔湿地林のリター量分布」
- (83) R. Tabuchi, D. Hoshino, H. Tanouchi, Y. Fujioka, Y. Hanamura, C. Aryuthaka, S. Nimsanticharoen, P.E. Cheeand and R. Siow : JIRCAS working report, 44, 37-40 (2006) “Estimation of mangrove stands productivity and litter production as potential food source to aquatic animals”
- (84) K. Ono, K. Fujimoto, M. Hiraide, S. Lihpai and R. Tabuchi : Tropics, 15-1, 73-82 (2006) “Aboveground litter production, accumulation, decomposition, and tidal transportation of coral reef-type mangrove forest on Pohnpei Island, Federated States of Micronesia”
- (85) T. Shimamura, K. Momose and S. Kobayashi : Ecological Research, 21, 759-767 (2006) “A comparison of sites suitable for the seeding establishment of two co-occurring species,

- Swintonia glauca* and *Stemonurus scorpioides*, in a tropical peat swamp forest”
- (86) 嶋村鉄也, 尾坂兼一, 伊藤雅之, 大手信人, 竹門康弘: 防災研究所年報, 49, 691-699 (2006)
「深泥池における水質形成機構」
- (87) 米田令二, 田淵隆一, P. Sasitorn, 佐野真, 高橋興明, P. Pipat: 日林関東支部論 (2006)
「東北タイヤソトン県における溪畔湿地林のリター量分布」
- (88) R. Tabuchi, D. Hoshino, H. Tanouchi, Y. Fujioka, Y. Hanamura, C. Aryuthaka, S. Nimsanticharoen, P.E. Chee and R. Siow: JIRCAS working report, 44, 37-40 (2006) ” Estimation of mangrove stands productivity and litter production as potential food source to aquatic animals”
- (89) 松本陽介, 田淵隆一, 平田泰雅, 藤岡義三, P. Patanaponpaiboon, S. Pongparn: 森林立地, 48-1, 43-56 (2006) 「タイ国マレー半島西岸における海岸林の津波被害-2004年12月26日のスマトラ島沖地震の影響-」
- (90) T. Shimamura, K. Momose and S. Kobayashi: Ecological Research, 21, 759-767 (2006) “A comparison of sites suitable for the seeding establishment of two co-occurring species, *Swintonia glauca* and *Stemonurus scorpioides*, in a tropical peat swamp forest”
- (91) 嶋村鉄也, 尾坂兼一, 伊藤雅之, 大手信人, 竹門康弘: 防災研究所年報, 49, 691-699 (2006)
「深泥池における水質形成機構」
- (92) R. Tabuchi: In “Small scale livelihoods nad natural resource management in marginal areas of monsoon Asia” . K.G. Saxena, L. Liang, Y. Kono, S. Miyata eds. Bishen Singh Mahendra Pla Singh, India. P81-86, 177pp. (2006) Rehabilitation of mangroves in south-east Asia
- (93) R. Kusumaningtyas, S. Kobayashi, S. Takeda: J. Tropical Agriculture, 44, 15-22 (2006)
“Mixed species gardens of Java and the transmigration areas in Sumatra, Indonesia: a comparison”
S. Kobayashi: Current Science, 93, 1596-1603 (2007) “An overview of techniques for the rehabilitation of degraded tropical forests and biodiversity conservation”
- (94) S. Kobayashi, C. Yarwudhi, L. Puangchit, B. Thaiutsa: Proceedings of International Workshop on Thinning as an Essential Management Tool of Sustainable Teak Plantation. Kasetsart University and Kyoto University, 13-36 (2007) “Thinning effects and coppices regeneration at the teak (*Tectona grandis*) plantation in Thong Pha Phum, Thailand-Management option for teak plantation”
- (95) R. Tateno, N. Tokuchi, N. Yamanaka, S. Du, K. Otsuki, T. Shimamura, Z. Xue, S. Wang, Q. Hou: Forest Ecology and Management, 24, 84-90 (2007) “Comparison of litterfall production and leaf litter decomposition between an exotic black locust plantation and an indigenous oak forest near Yan’an on the Loess Plateau, China”
- (96) T. Shimamura and K. Momose: Asian and African Area Studies, ASAFAS Kyoto University, 16, 279-296 (2007) “Reciprocal Interactions between Carbon Storage Function and Plant Species Diversity in a Tropical Peat Swamp Forest”
- (97) K.A. Petrus, and M. Shimagami: *In Search of New Paradigm on Sustainable Humansphere: Proceedings of the First Kyoto University and LIPI Southeast Asian Forum in Indonesia*, pp. 123-135 (2007) “Empowering Local Institutions for Sustainable Forest Management: Lessons from “Facilitative Research” on Community Forestry in Sumber Agung Village, Lampung Province”
- (98) R. Tateno, N. Tokuchi, N. Yamanaka, S. Du, K. Otsuki, T. Shimamura, Z. Xue, S. Wang, Q. Hou: Forest Ecology and Management, 24, 84-90 (2007) “Comparison of litterfall production and leaf litter decomposition between an exotic black locust plantation and an indigenous oak forest near Yan’an on the Loess Plateau, China”
- (99) T. Shimamura and K. Momose: Asian and African Area Studies, ASAFAS Kyoto University, 16, 279-296 (2007) “Reciprocal Interactions between Carbon Storage Function and Plant Species Diversity in a Tropical Peat Swamp Forest”
- (100) Tetsuya SHIMAMURA and Kuniyasu MOMOSE, “Relations between Organic Matter
- (101) Dynamics and Plant Species Coexistence in a Tropical Peat Swamp Forest” , Proceedings of the international symposium and workshop on tropical peatland, Palangka Raya, pp218-228, 2007
- (102) Tetsuya Shimamura, Ken’ ichi Osaka, Masayuki Itoh, Nobuhito Ohte & Yasuhiro Takemon 6:129-137, 2007 (2007) “Spatial distribution of nitrate in a Mizoro-ga-ike, a pond with floating mat bog” Advances in Geosciences

- (103) H. Akiyama, K. Yagi and Yan, X.: Global Biogeochem. Cycle, 19, GB1005, doi:10.1029/2004GB002378 (2005) "Direct N₂O emissions from rice paddy fields: summary of available data"
- (104) X. Yan, K. Yagi, H. Akiyama and H. Akimoto: Global Change Biol., 11(7), 1311-1141 (2005) "Statistical analysis of the major variables controlling methane emission from rice fields"
- (105) Y. Fukumoto, K. Suzuki, T. Osada, K. Kuroda, D. Hanajima, T. Yasuda and K. Haga: Environ. Sci. Technol., 40(21), 6787-6791 (2006) "Reduction of nitrous oxide emission from pig manure composting by addition of nitrite-oxidizing bacteria"
- (106) S.D. Kimura, Z. Mu, Y. Toma and R. Hatano: R.: Soil Sci. Plant Nutr., 53, 373-386 (2007) "An Eco-Balance Analysis of Six Agricultural Land Uses in the Ikushunbetsu Watershed"
- (107) W. Cheng, K. Yagi, H. Akiyama, S. Nishimura, S. Sudo, T. Fumoto, T. Hasegawa, A.E. Hartley and J.P. Megoniga: J. Environ. Qual., 36, 1920-1925 (2007) "An empirical model of soil chemical properties that regulate methane production in Japanese rice paddy soils"
- (108) R. Bhatta, K. Tajima, N. Takusari, K. Higuchi, O. Enishi and M. Kurihara: Asian-Aust. J. Anim. Sci., 20, 1049-1056 (2007) "Comparison of In vivo and In vitro techniques for methane production from ruminant diets"
- (109) Enishi, N. Takusari, K. Higuchi, I. Nonaka, M. Kurihara and F. Terada: Energy Protein Metabolism Nutr., 619-620 (2007) "Enteric methane emission of Japanese native goats"
- (110) Purnomoadi, F.Y. Devi, R. Adiwiniari, E. Rianto, O. Enishi and M. Kurihara: Energy Protein Metabolism Nutr., 611-612 (2007) "Energy utilisation and methane conversion rate in Indonesian indigenous sheep fed Napier grass supplemented with pollard. Energy and protein metabolism and nutrition"
- (111) T. Fumoto, K. Kobayashi, C. Li, K. Yagi and T. Hasegawa: Global Change Biol., 14, 382-402 (2008) "Revising a process-based biogeochemistry model (DNDC) to simulate methane emission from rice paddy fields under various residue management and fertilizer regimes"
- (113) Hadi, O. Jumadi, K. Inubushi and K. Yagi: Soil Sci. Plant Nutr., 54 (in press) "Mitigation options for N₂O emission from a corn field in Kalimantan, Indonesia: A case study"
- (114) Y. Inoue: Plant Production Science, 6, 3-16 (2003) "Synergy of remote sensing and modeling for estimating ecophysiological processes in plant production"
- (115) P.L. Nagler, Y. Inoue, E.P. Glenn, A.L. Russ, C.S.T. Daughtry: Remote Sensing of Environment, 87, 310-325 (2003) "Cellulose absorption index (CAI) to quantify mixed soil - plant litter scenes"
- (116) E. Choi, 井上吉雄: 農業気象, 60, 33-41 (2004) 「黒ボク畑地におけるCO₂フラックスの動態と熱赤外放射測温による土壌面温度との関係」
- (117) E. Choi, 井上吉雄: 農業気象, 60, 43-53 (2004) 「作物群落における蒸散、蒸発散と日射強度および分光反射特性の関係ーリモートセンシングと日射法に基づいた群落蒸散の簡易評価についてー」
- (118) Y. Inoue and A. Olioso: 日本リモートセンシング学会誌, 24, 1-17 (2004) "Synergistic linkage between remote sensing and biophysical models for estimating plant ecophysiological processes"
- (119) Y. Inoue and A. Olioso, E. Choi: International Journal of Remote Sensing, 25, 1881-1892 (2004) "Dynamic change of CO₂ flux over bare soil field and its relationship with remotely sensed surface temperature"
- (120) Y. Inoue and A. Olioso: Global Environmental Change in the Ocean and on Land (Eds, Shiyomi, M. et al.), Terrapub, 375-390 (2004) "Estimating dynamics of CO₂ flux in agro-ecosystems based on synergy of remote sensing and process modeling - a methodological study - "
- (121) Y. Inoue and A. Olioso: 農業気象, 60, 561-564 (2005) "Synergy of remote sensing and biophysical process-based modeling for estimating dynamics of CO₂ flux in agro-ecosystems"
- (122) C. Olioso, Y. Inoue, S. Ortega-Farias, J. Demarty, J.P. Wigneron, I. Braud, F. Jacob, P. Lecharpentier, C. Otlé, J.C. Calvet, N. Brisson: Irrigation and Drainage Systems, 19,

- 377-412 (2005) "Future directions for advanced evapotranspiration modeling: Assimilation of remote sensing data into crop simulation models and SVAT models"
- (123) Y. Inoue and A. Olioso: Global Climate Change and Response of Carbon Cycle in the Equatorial Pacific and Indian Oceans and Adjacent Landmasses (Eds. Kawahata, H and Awaya, Y.), p.295-333, Elsevier, Amsterdam. (2006) "Methods of estimating plant productivity and CO₂ flux in agro-ecosystems - linking measurements, process models and remotely sensed information - "
- (124) Y. Inoue and A. Olioso: Journal of Geophysical Research, 111, D24S91, doi:10.1029/2006JD007469. (2006) "Estimating dynamics of ecosystem CO₂ flux and biomass production in agricultural field on the basis of synergy between process models and remotely sensed signatures"
- (125) Y. Inoue and J. Penuelas: International Journal of Remote Sensing, 27, 5249-5254. (2006) "Relationship between light use efficiency and photochemical reflectance index as affected by soil water content"
- (126) L. Douangsavanh, V. Manivong, A. Polthane, R. Katawatin and Y. Inoue: Journal of Mountain Science, 3, 247-258 (2006) "Indigenous knowledge on soil classification of ethnic groups in Luang Prabang Province of the Lao PDR"
- (127) L. Douangsavanh, A. Polthane and R. Katawatin: Journal of Mountain Science, 3, 48-57 (2006) "Food security of shifting cultivation systems: case studies from Luang Prabang and Oudomxay Provinces, Lao PDR"
- (128) K. Saito, B. Linqvist, G.N. Atlin, K. Phanthaboon, T. Shiraiwa, T. Horie: Field Crops Research 96, 216-223 (2006) "Response of traditional and improved upland rice cultivars to N and P fertilizer in northern Laos"
- (129) K. Saito, B. Linqvist, B. Keobualapha, K. Phanthaboon, T. Shiraiwa, T. Horie: Field Crops Research 96, 438-447 (2006) "Stylosanthes guianensis as a short-term fallow crop for improving upland rice productivity in northern Laos"
- (130) K. Saito, B. Linqvist, B., Keobualapha, K. Phanthaboon, T. Shiraiwa, T. Horie: Plant and Soil 284, 175-785 (2006) "Cropping intensity and rainfall effects on upland rice yields in northern Laos"
- (131) K. Saito, B. Linqvist, B., Keobualapha, T. Shiraiwa, T. Horie: Geoderma 136, 64-74 (2006) "Farmers' knowledge of soils in relation to cropping practices: A case study of farmers in upland rice based slash-and-burn systems of northern Laos"
- (132) Y. Inoue, J. Penuelas, A. Miyata, M. Mano: Recent Advances in Quantitative Remote Sensing, 2, 455-460 (2007) "Relationship of reflectance spectra with light use efficiency and canopy CO₂ flux at canopy scale"
- (133) Y. Inoue, J. Qi, A. Olioso, Y. Kiyono, Y. Ochiai, T. Horie, H. Asai, K. Saito, T. Shiraiwa, L. Douangsavanh: International Journal of Remote Sensing, 28, 5641-5648 (2007) "Traceability of slash-and-burn land-use history using optical satellite sensor imagery: a basis for chrono-sequential assessment of ecosystem carbon stock in Laos"
- (134) B.A. Malmgren, R. Ranatunge, G. Lindeberg, Y. Inoue, Y. Hayashi, T. Mikami: Theoretical and Applied Climatology, 89, 115-125 (2007) "Oscillatory behavior of monsoon rainfall over Sri Lanka during the late 19th and 20th centuries and its relationships to SSTs in the Indian Ocean and ENSO" .
- (135) K. Saito, G.N. Atlin, B. Linqvist, K. Phanthaboon, T. Shiraiwa, T. Horie: Crop Sci. 47, 2473-2481 (2007) "Performance of traditional and improved upland rice cultivars under nonfertilized and fertilized conditions in northern Laos"
- (136) Y. Kiyono, Y. Ochiai, Y. Chiba, H. Asai, K. Saito, T. Shiraiwa, T. Horie, V. Songnouxhai, V. Navongxai, Y. Inoue: Journal of Forest Research, 12, 371-383 (2007) "Predicting chronosequential changes in carbon stocks of pachymorph bamboo communities in slash-and-burn agricultural fallow, northern Lao People's Democratic Republic"
- (137) Y. Inoue, J. Penuelas, A. Miyata, M. Mano: Remote Sensing of Environment, 112-1, 156-172 (2008) "Normalized difference spectral indices for estimating photosynthetic efficiency and capacity at a canopy scale derived from hyperspectral and CO₂ flux measurements in rice"
- (138) 井上吉雄: 日本作物学会紀事, 77, 233-235 (2008) 「多波長画像からの形態情報抽出法－細胞組織から生態系まで－」

- (139) Y. Inoue, J. Qi, A. Olioso, Y. Kiyono, Y. Ochiai, K. Saito, H. Asai, T. Horie, T. Shiraiwa, L. Dounagsavanh: International Journal of Remote Sensing, 29, 2011-2019 (2008) “Reflectance characteristics of major land surfaces in slash-and-burn ecosystems in Laos”
- (140) Y. Inoue, J. Qi, Y. Kiyono, Y. Ochiai, S. Saito, H. Asai, T. Horie, T. Shiraiwa, L. Dounagsavanh, A. Olioso: Advances in Remote Sensing and Geoinformation Processing for Land Degradation Assessment. Taylor & Francis (2008) (in press) “Land use and carbon stock capacity in slash-and-burn ecosystems in mountainous mainland of Laos”
- (141) 清野嘉之, 千葉幸弘, 浅井英利, 白岩立彦, 井上吉雄: 関東森林研究, 59, 149-152 (2008) 「ラオス北部山岳地の焼畑休閑林の生長と乾季の日の出前の湿度」
- (142) H. Asai, K. Saito, B. Samson, K. Vongmixay, Y. Kiyono, Y. Inoue, T. Shiraiwa, K. Homma, T. Horie: Proc. The 2nd International Conference on Rice for the Future, November 5-9 2007, Bangkok, Thailand (2008) (in press) “Quantification of soil organic carbon dynamics and assessment of upland rice productivity under the shifting cultivation systems in northern Laos”
- (143) K. Yamada, T. Kojima, Y. Abe, M. Saito, Y. Egashira, N. Takahashi, K. Tahara and J. Law: J. Chem. Eng. Japan, 36, 328-332 (2003) “Restructuring and afforestation of hardpan area to sequester carbon”
- (144) 山田興一, 小島紀徳, 安部征, 江頭靖幸, 田内裕之, 高橋伸英, 濱野裕之, 田原聖隆: エネルギー・資源, 26-6, 435-441 (2005) 「乾燥地植林による炭素固定システム構築-土壌構造改良による炭素固定促進-」

3aは全査読付き論文(51報)うち、主要な論文(10報)のみを掲載。全査読付き論文のリストは、詳細版S-2-3aの該当頁を参照。

(2) 査読付論文に準ずる成果発表(社会科学系の課題のみ記載可)

- (1) 栗延晋: 林木育種センターだより, 34, 7 (2004) 「外部資金を活用した業務の紹介」
- (2) 千吉良治: 海外林木育種技術情報, 13-1, 1-3 (2004) 「環境省地球環境推進費を用いた研究テーマ「熱帯林造成技術の高度化による熱帯林のCO₂シンク強化」の紹介」
- (3) 千吉良治, 高垣和士, 松根健二, 栗延晋: 林木の育種特別号2005, 1-3 (2005) 「植栽7ヶ月目の*Paraserianthes falcataria*の諸形質の家系間差」
- (4) Chigira, K. Matsune and S. Kurinobu: Proceeding of Enhancement of CO₂ sink and wood production through genetic improvement of tropical fast growing tree species 2005, Tokyo, 47-50 (2005) “Family variation in one year old seedling seed orchard of *Paraserianthes falcataria* in East Java, Indonesia”
- (5) S. Kurinobu, O. Chigira, K. Matsune, K. Nakamura and M. Naiem: Proceedings of the Enhancement of CO₂ sink and wood production through genetic improvement of tropical fast growing tree species 2005, Tokyo, 39-45 (2005) “Current progress of study to evaluate the enhancement in CO₂ sinks potential of Segon plantation (*Paraserianthes falcataria*) through genetic improvement”
- (6) 栗延晋: 関西育種場だより, 51, 3 (2006) 「環境省地球環境研究プロジェクトの最近の進捗状況について」
- (7) S. Kurinobu, P. Daryono, M. Naiem, O. Chigira, K. Matsune, K. Nakamura and Y. Ide: Proceedings of the Improvement of Tropical Forest for Global Environment, Yogyakarta (2007) “Predicting a contribution of genetic improvement to increase carbon sink potential of plantation of *P. falcataria* with stand growth model developed in East Java - Two stages of prediction on volume productivity and log production for merchantable size”
- (8) Chigira, Y. Ogawa, K. Matsune and S. Kurinobu: Proceedings of the Improvement of Tropical Forest for Global Environment, Yogyakarta (2007) “Three years result of genetic trials of *Paraserianthes falcataria* in Jember East-Java Indonesia”
- (8) 栗延晋: 海外林木育種技術情報, 17-1, 19-21 (2008) 「環境省地球環境研究プロジェクト5カ年の成果 -CO₂シンク強化に向けたファルカタの育種の中長期的な貢献度-」
- (9) 千吉良治: 海外林木育種技術情報, 17-1, 22-24 (2008) 「環境省地球環境プロジェクト5年間の成果(インドネシアでの*Paraserianthes falcataria*の育種・施業試験地の調査結果)」

- (10) K. Matsune, K. Nakamura: Development optimal regimes of density control and fertilization. Proceeding, Tokyo (2005) “Enhancement of CO₂ sink and wood production through genetic improvement of tropical fast growing tree species 2005”
- (11) K. Matsune: (2007) Approach for optimal management of *Paraserianthes falcataria* forest plantation. Proceeding “Improvement of Tropical Forest for Global Environment 2007”, Jogjakarta, Indonesia
- (12) 田淵隆一: 520-521, 生態学事典 (2003) 「マングローブ」
- (13) 宮城豊彦、安食和宏、藤本 潔: マングローブーなりたち、人びと、みらいー, 古今書院, 43-56, 124-126, 132-138 (2003) 「マングローブ林の立地変動史、海面上昇とマングローブ林、マングローブ生態系の炭素蓄積機能 (執筆担当者: 藤本 潔)」
- (14) 宮城豊彦、安食和宏、藤本 潔: マングローブーなりたち、人びと、みらいー, 古今書院, 43-56, 124-126, 132-138 (2003) 「マングローブ林の立地変動史、海面上昇とマングローブ林、マングローブ生態系の炭素蓄積機能 (執筆担当者: 藤本 潔)」
- (15) 田中耕司: 農業, 1479, 4-5 (2006) 「論壇: 農業の多面的機能: 途上国から見ると」
- (16) 田中耕司: 農業, 1486, 4-5 (2006) 「論壇: 論壇: 鳥の目と虫の目ー農業景観へのアプローチ」
- (17) 島上宗子: 龍谷大学国際社会文化研究所紀要, 8 372-383 (2006) 「日本とインドネシアの山村の知恵を結ぶーコモنزの保全をめざして」
- (18) 杉島敬志, 中村潔編: 現代インドネシアの地方社会: ミクロロジーのアプローチ, NTT出版, 43-66 (2006) 「分権化に伴う暴力集団の政治的台頭ーバンテン州におけるその歴史的背景と社会的特徴 (執筆担当: 岡本正明)」
- (19) Abdul Malik dan Delfion Saputra (eds.) *Dinamika Otonomi Daerah di Banten* (バンテンにおける地方自治のダイナミクス) 169-184 (2006) “Epilog: Otonomi Masyarakat dan Pembangunan dari Dalam; Belajar dari Jepang” (エピローグ: 住民自治と内発的発展: 日本の経験から)
- (20) 田中耕司: 農業, 1486号, 4-5 (2006) 「論壇: 論壇: 鳥の目と虫の目ー農業景観へのアプローチ」
- (21) 島上宗子: 龍谷大学国際社会文化研究所紀要, 8, 372-383 (2006) 「日本とインドネシアの山村の知恵を結ぶーコモنزの保全をめざして」
- (22) 杉島敬志、中村潔編『現代インドネシアの地方社会 ミクロロジーのアプローチ』 NTT出版67-88 (2006)
- (23) Masaaki and A. Rozaki (eds.) “*Kelompok Kekerasan dan Bos Lokal di Indonesia Era Reformasi* (改革期における地方の暴力集団と地方ボス)”, IRE Press, 183頁 (2007)
- (23) 阿部健一 “だれのための森か” 日高敏隆・秋道智彌編「森はだれのものかーアジアの森と人の未来」 地球研業書 昭和堂 109-133 (2007)
- (24) 田中耕司: 国際連携推進拠点 (編) 『知の共有を目指して: 森の恵みと人とのかわりを探る』 (独) 森林総合研究所, 8-10 (2007) 「熱帯林と人そして社会ー地域研究の立場から」
- (25) 阿部健一 “「開発」を振り返るー中カリマンタン泥炭湿地林開拓移住者のミクロロジー”
- (26) D. Donovan, Wil de Jong, K. Abe: *Extreme Conflict and Tropical Forests*, 1-16, Springer (2007) “Tropical Forests and Extreme Conflict,” in Deanna Donovan, Wil de Jong, ABE Ken-ichi, eds.
- (27) Wil de Jong, D. Donovan, K. Abe eds.: *World Forests Volume V*, pp 184, Springer, The Netherland. (2007) “Extreme Conflict and Tropical Forests”
- (28) K. Fujimoto, M. Umitsu, K. Kawase, V.L. Nguyen, T.K.O. Ta and D.H. Huynh: JSPS Asia and Africa science platform program, geomorphological comparative research on natural disaster mitigation in the coastal regions of tropical Asia. Proceedings of Phuket, Ho Chi Minh, and Pattaya conferences, 75-83 (2008) “Geomorphological evolution and mangrove habitat dynamics of the Northern Mekong River Delta and the Dong Nai River Delta”