

# 熱帯多雨林における集約的森林管理と森林資源の高度利用による 持続的利用パラダイムの創出

実施予定期間：平成 22 年度～平成 24 年度

代表機関：京都大学農学研究科

代表者：神崎 護

国内参画機関：宇都宮大学農学部

代表者：大久保 達弘

国外参画機関：インドネシア科学院

代表者：Bambang Subiyanto

国外参画機関：ボゴール農科大学林学部

代表者：Cecep Kusmana

国外参画機関：ガジャマダ大学林学部

代表者：Muhammad Naiem

国外参画機関：タンジュンブラ大学林学部

代表者：Yuliati Indrayani

## I. 概要

インドネシアの低地熱帯多雨林を対象として、集約的な森林管理と高度の林産物利用を実現することで、持続的な熱帯林利用を可能にし、REDD+に結びつく新しい天然林保全のパラダイムを創出する。具体的にはリモートセンシングによる生物資源モニタリング技術の開発、生態的・遺伝的に持続的な森林管理方法の確立、木材産物の高度利用技術の開発、伝統的資源の利用による地域社会発展モデルの構築を3年間に完了する。

### 1. 共同研究の内容

本研究は、中央カリマンタンの択伐天然林を対象としており、以下の3つのサブテーマで構成されている。サブテーマAは集約的な森林管理に、Bは森林資源の高度利用に、Cは地域住民との共存に関するもので、これらを組み合わせて持続的な森林利用のモデルを構築し、あらたな熱帯林保全のパラダイムとして位置づけることを目的としている。

A リモートセンシングと地上調査によるモニタリングに基づく適応的森林管理方法の確立

まず、生産の場である熱帯低地多雨林の資源状況を衛星ならびに空中写真などでリアルタイムでモニターするシステムの構築を行う。京都大学東南大学研究所と生存圏研究所が実施している衛星リモートセンシング技術の開発成果をこのモニタリングシステムの構築のために利用する。次に熱帯林の択伐後に有用樹種を集約的に植栽する現在のインドネシアの択伐林管理方法の持続性と森林全体の資源多様性の推移を、京都大学農学研究科とガジャマダ大学が森林動態モニタリングと動態モデルによる解析を組み合わせて検証し、持続性と多様性確保のために必要な管理方法の改善点を見つけ出す。さらに土壌有機物を含めた炭素動態モデルにより、炭素貯留量変動についても検証する。有用樹種の遺伝的多様性の劣化については、京都大学農学研究科が絶滅危惧生物などに適用している個体群の遺伝構造解析手法を適用して検証する。さらに地上性の哺乳動物と鳥類を対象とした動物相のモニタリングシステムを構築する。これらを組み合わせて、適応的森林管理手法を確立する。

B 新技術の導入による森林資源の高度利用技術の開発  
熱帯林が産出する多様な木材と天然化合物などの非木材林産物についての体系的なスクリーニングを実施し、今後の持続的な生産活動に利用可能な新たな林産物候補を発見する。木材については京都大学生存圏研究所が、天然化

合物については京都大学農学研究科が現在までに実施してきた研究蓄積を有効活用して、スクリーニングを実施する。次に京都大学生存圏研究所が進めているバイオエタノール化技術開発と、木材林産物の多角的有効利用技術の開発をインドネシアの熱帯林に応用して高度利用の実現を目指す。さらに、京都大学生存圏研究所が開発してきた分子育種技術を応用して、育種・繁殖技術の高度化を目指す。C 伝統的資源の活用による地域社会の発展モデルの構築  
地域研究の歴史に根ざした社会と生業についての統合的研究を、択伐林内外に生活する地域住民に対して行い、地域住民に対する熱帯林のサービス機能の強化、特に非木材林産物の利用による地域社会の発展モデルの構築を目指す。このために、伝統的な植物資源利用の歴史の変遷とそれら植物資源中の天然有機化合物のスクリーニングをサブテーマBの研究者と共同で実施する。さらに、焼畑後の二次林資源の実態を調査把握し、その高度利用を目指す。京都大学農学研究科、京都大学地域研究研究科、アジア・アフリカ地域研究研究科、宇都宮大学農学部、ボゴール農科大学が担当する。

### 2. ネットワーク構築の実現可能性

京都大学とボゴール農科大学は1983年に一般交流協定を、さらにアジア・アフリカ地域研究研究科と東南アジア研究所はボゴール農科大学と部局間協定（2001年締結）も結んでいる。これらの協定に基づき、ボゴール農科大学との共同研究や修士博士課程留学生の受け入れは恒常的に続いている。

京都大学生存圏研究所はインドネシア科学院と1984年に一般交流協定を締結した。その後京都大学はインドネシア科学院と1996年から2005年にかけて木質科学に関する拠点校プログラムを実施し、科学院、ボゴール農科大学、ガジャマダ大学、タンジュンブラ大学などインドネシアの25機関145名の研究者と交流実績をもっている。このプログラムによって、多くの共同研究と人材育成をおこない、その後もHumanosphere Science Schoolを毎年現地で共同開催している。これらの研究実績が基盤となって、科学院に生物材料研究ユニットが設置され、またインドネシア木材学会が創設された。また、科学院と京都大学は大学間学術交流協定（2006年締結）も締結した。

本プロジェクトのための折衝は、2009年夏から開始し、2010年9月には、調査地とする択伐林において伐採コンセッションを取得しているサリ・プミ・クスマ社と調査実施に関する協定書を締結、2011年1月には、関係するインドネシア研究機関との間の研究実施のための技術協定を締結した。同時に、インドネシア国内からの試料輸出に関連する物資輸送協定を個別に締結している。これとは、別個に2011年中にボゴール農科大学と宇都宮大学との間で研究協定を締結する予定である。

### 3. 本制度により取組を支援する必要性

現時点では熱帯林の集約的管理や高度利用の技術的な開発はいまだ完了していないため、ODAで供与できる段階には達していない。また、研究内容は大きく3つにわかれているが、これらを有機的につなげてひとつの林業システムのモデル構築を目標としているため、多分野の研究者が参画でき、海外調査も可能な大型の研究プログラムが必要である。また、現地研究機関や行政機関との共同研究推進が必須であり、科学振興調整費の国際共同

研究の推進枠の理念にふさわしい課題だと考えている。

本申請課題は集約的森林管理と森林資源の高度利用による持続的林業のパラダイムの創出にあるが、革新的な発想と多分野の協働による多角的な視点からの調査研究が必要であり、特定の技術開発に特化した産業界主導では実現がむずかしいと考えている。

研究代表者、分担者ともに、熱帯における研究活動の経験が長く、それぞれ科学研究費補助金や文部科学省、環境省などの事業へ参加している。しかし、今回のように森林生産の場である熱帯低地の択伐天然林とそこから生産される林産物、そして択伐林に隣接する地域社会を統合的に扱うプロジェクトに集結して、共同研究を実施するのは初の試みである。過去のそれぞれの分野での成果を有効に活用して、あらたなパラダイムの創出を試みるという挑戦的なプロジェクトと位置づけている。このため、予算規模が大きく分野横断型の研究が可能な本制度が最適と考えている。

#### 4. 継続性

インドネシア科学院、ボゴール農科大学とは、大学レベル、研究科レベルでのMOUのもと、長年にわたる協力関係を築いてきた。今回の共同研究においては、さらにガジャマダ大学、タンジュンプラ大学などとの緊密な協力関係を樹立する。研究終了後は、京都大学国際シンポジウムをインドネシアで開催して、本申請課題の研究成果を含めて、京都大学が熱帯各国で展開してきた熱帯林研究をレビューするような国際集会を実施することを予定している。さらに、今回の参画機関を中心に、熱帯林の保全のための基礎研究協定をマレーシア、タイ、カンボジア、フィリピン、ミャンマーなどの研究機関や森林局と締結し、熱帯林保全に寄与する共同研究をさらに外延的に推し進めていく協力体制を形成したいと考えている。

#### 5. 相手国・地域との政府レベルでの協力関係の強化・構築への発展性

平成21年10月25日に鳩山首相は、インドネシアのユドヨノ大統領との会談で気候変動対策として4億ドルの円借款を供与する考えを表明したが、インドネシア側は森

林消失、森林火災に対する取り組みにもこの資金を利用したいと考えている。本申請課題の成果は、インドネシア側の森林消失問題に対応するための政策立案にも貢献できるので、円借款の有効活用に繋がるだろう。

コペンハーゲンで行われた気候変動枠組み条約COP15においてREDD+は重要なトピックで、多くの開発途上国はREDD+にきわめて前向きである。特にインドネシアは従来からREDD+の推進を国際社会に表明しており、今回の申請課題について協力要請した林業省生産総局はREDD+担当機関でもあり、この課題の実施に強い関心を示している。

気候変動対策において、熱帯林の消失と劣化をくいとめることは、IPCCレポートや気候変動締約国会議において重要な目標として認識されている。日本は東南アジアの熱帯木材資源の輸入元であったことから、積極的にこの地域の森林消失問題に対して対応することが求められている。今回の研究成果を通して熱帯林保全の枠組みとしてのREDD+の可能性を現実化するための集約的森林管理と高度の資源利用を実現させることで、熱帯林の積極的利用による林業システムを提案し、新たな熱帯林保全のパラダイムを確立したいと考えている。本課題終了後は、林業システムの具体化と順応的管理方法の確立にむけた共同研究と必要な技術援助を行うプロジェクトへと移行したい。このため、ODAも含めた予算獲得を考えている。

#### 6. 生命倫理・安全面への配慮について

インドネシア原産の熱帯植物の持ち出しや交配植物の持込み、組換え植物の作出はカルタヘナ法によって手続きを進める。植物の移動については、「植物体の譲渡書」を交わし適法に処理する。生物資源を直接扱う今回のプロジェクトでは、一部試料を日本に持ち帰り、分析を実施する必要がある。これについては、インドネシア側、日本側双方の植物、動物、微生物、土壌の輸出入に関する法令を遵守し、適法に実施する。日本側の研究者はすでに、東南アジアをはじめとする海外での調査研究活動に長年従事しており、様々な規制や法的手続きについて熟知しており、生物多様性条約の規定や生物遺伝子資源の取り扱いにも十分留意して研究を遂行する。

#### 7. 研究実施体制

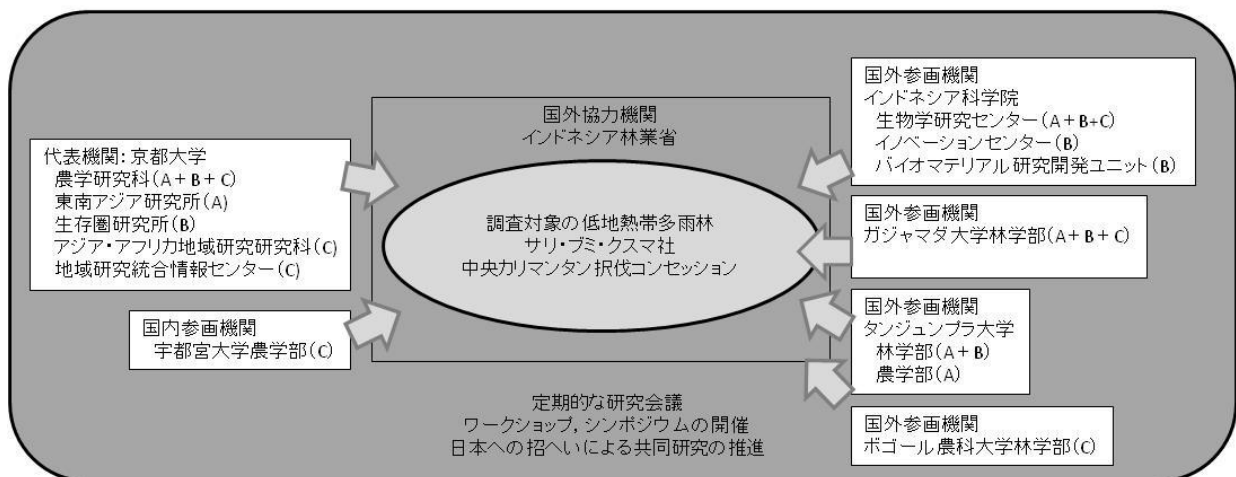
3つの研究サブテーマ

A リモートセンシングと地上調査によるモニタリングに基づく適応的森林管理方法の確立

B 新技術の導入による森林資源の高度利用技術の開発

C 伝統的資源の活用による地域社会の発展モデルの構築

下図の○内は各機関の担当サブテーマ



氏名	所属部局・職名	提案課題における役割
神崎 護	京都大学農学研究科・准教授	A リモートセンシングと地上調査によるモニタリングに基づく適応的森林管理方法の確立
甲山 治	京都大学東南アジア研究所・准教授	
河野 泰之	京都大学東南アジア研究所・教授	
渡辺 一生	京都大学東南アジア研究所・GCOE 研究員	
太田 誠一	京都大学農学研究科・教授	
金子 隆之	京都大学農学研究科・助教	
井鷲 裕司	京都大学農学研究科・教授	
藤田 素子	京都大学東南アジア研究所・GCOE 研究員	
Ruliyana Susanti	京都大学農学研究科・特定研究員	
小泉 都	京都大学農学研究科・研究員	
Ya Min Thant	京都大学農学研究科・技術補佐員	
高野 俊幸	京都大学農学研究科・教授	B 新技術の導入による森林資源の高度利用技術の開発
上高原 浩	京都大学農学研究科・助教	
川井 秀一	京都大学生存圏研究所・教授	
梅村 研二	京都大学生存圏研究所・助教	
渡邊 隆司	京都大学生存圏研究所・教授	
金子正和	京都大学生存圏研究所・研究員	
梅澤 俊明	京都大学生存圏研究所・教授	
服部 武文	京都大学生存圏研究所・助教	
鈴木 史朗	京都大学生存圏研究所・助教	C 伝統的資源の活用による地域社会の発展モデルの構築
柳沢 雅之	京都大学地域研究統合情報センター・准教授	
小林 繁男	京都大学アジア・アフリカ地域研究研究科・教授	
内藤 大輔	京都大学地域研究統合情報センター・研究員	C 伝統的資源の活用による地域社会の発展モデルの構築（二次林の活用）
大久保 達弘	宇都宮大学農学部・教授	
石栗 太	宇都宮大学農学部・准教授	B 新技術の導入による森林資源の高度利用技術の開発（未利用樹種活用）
Bambang Subiyanto	インドネシア科学院イノベーションセンター・教授	
Cecep Kusmana	ボゴール農科大学林学部・教授	C 伝統的資源の活用による地域社会の発展モデルの構築（二次林の活用）
Muhammad Naiem	ガジャマダ大学林学部・教授	A リモートセンシングと地上調査によるモニタリングに基づく適応的森林管理方法の確立（遺伝的多様性モニタリング）
Yuliati Indrayani	タンジュンプラ大学林学部・教授	B 新技術の導入による森林資源の高度利用技術の開発（未利用樹種シロアリ耐性試験）

## 8. 各年度の計画と実績

### a. 平成 22 年度実績

A リモートセンシングと地上調査によるモニタリングに基づく適応的森林管理方法の確立：衛星モニタリングシステム構築に必要な基礎データを完備し、土地利用と植被状態の長期変動を明らかにした。地上での樹木個体群と遺伝的多様性ならびに動物相のモニタリングシステムを現地に構築し、モニタリングを開始するとともに、伐採会社が実施してきた長期モニタリングデータを利用して、伐採後の森林回復過程にともなう、有用樹種の量的変動を明らかにした。

B 新技術の導入による森林資源の高度利用技術の開発：天然有機酸を接着成分とした新しい接着技術の導入の可能性を探るとともに、各種熱帯産樹種の酵素加水分解性を評価してエタノール生産に適した樹種のスクリーニングシステムを構築し採取した約 30 種についてスクリーニングを開始した。高機能品種の育種を成功させるために、熱帯アカシアの形質転換及び再分化系の構築を進めた。

C 伝統的資源の活用による地域社会の発展モデルの構築：地域住民によって伝統的に利用されてきた生物資源の聞き取り調査と、それら資源植物中の天然有機化合物のスクリーニングを約 80 種類について実施した。また、択伐コンセッション内と隣接する 10 集落についての集落調査を実施し、住民構成や集落の歴史を明らかにするとともに、地域住民がアクセスできる集落周辺の焼畑後二次林の過去の利用履歴を衛星画像によって明らかにした。

統括と境界領域の連携課題研究：各サブテーマのミッションを 3 つのサブテーマ担当者間で相互に理解し、連携して解決にあたるべき 3 つの課題を設定し、研究を開始した。

(1) サブテーマ C とサブテーマ B の連携課題として村落調査から明らかとなった、伝統的な薬用資源の有機化学的分析。

(2) サブテーマ A とサブテーマ B の連携課題として、早成樹種のプロラ調査に基づくバイオエタノール用樹木資源のスクリーニング

(3) サブテーマ A とサブテーマ B の連携課題として、*Shorea leprosura* における天然更新木と植栽木の生長速度解析と木材特性の比較

### b. 平成 23 年度実績

A リモートセンシングと地上調査によるモニタリングに基づく適応的森林管理方法の確立：集約的な森林管理を実現するために、衛星モニタリングと地上での森林バイオマス資源量と生物多様性モニタリングを前年度に引き続き実施し、あわせて熱帯多雨林の適応的な管理に必要な技術の開発を行った。衛星モニタリングでは、ALOS および TERRA SAR-X の SAR 画像を使った土地利用状況とバイオマス推定の精度向上のため、地形情報を組み込んだ解析を行い、推定精度向上の技術を開発し、今後の広域解析を可能にした。地上部でのモニタリングでは、新しいモニタリング調査区を設置し、人為的な攪乱をまったく受けていない原生林調査区の設置を完了し、今後の長期モニタリングに利用できるよう整備した。生物多様性においては、種子植物と哺乳動物、鳥類のモニタリングを継続し、当該地域では記録されていなかった哺乳類 1 種を発見することに成功した。集団遺伝的な調査からは、植栽された有用樹種の遺伝的多様性が高い状態で保存されていることを明らかにした。これら、モニタリングの情報を、

適応的な森林管理に活用するための技術開発を行った。B 新技術の導入による森林資源の高度利用技術の開発：林産物の高度利用実現のために、天然有機酸を接着成分とする接着技術の開発、遺伝子操作による熱帯アカシアの形質転換と再分化系の構築の実用化、バイオエタノール生産用木質材料発掘のための酵素加水分解性に関するスクリーニングを引き続き実施した。天然接着成分技術の開発においては、熱帯産木材をもとに合板を実際に作成し、強度や特性についての試験を行い、既存の無機接着剤と同等の強度を持つことを明らかにした。バイオエタノール生産用木質素材のスクリーニングでは、熱帯産の野生樹木の中で分解性の高い数種類の有望な樹種の発見に成功した。アカシアの形質転換においては再分化系の構築成功率向上に成功した。

C 伝統的資源の活用による地域社会の発展モデルの構築：地域住民の自発的発展のために、地域住民による伝統的資源利用と生業の歴史的発展を解明するとともに、伝統的植物資源中の機能性有機化合物のスクリーニングと化学構造の解明を進めて、住民と伐採企業による重層的な森林利用の実現への道筋を探った。機能性有機化合物のスクリーニングにおいては、分析をほぼ終了し、アカネ科樹木の根の中から高い機能性をもつと思われる有機化合物の分離同定に成功した。並行して、これら伝統的な資源を利用した地域振興の可能性について研究を進めた。

統括と境界領域の連携課題研究：平成 23 年 5 月に京都大学においてインドネシア側から 8 名、宇都宮大学から 3 名を招へいして、全体会議を開催、各サブテーマの研究進展状況を報告するとともに、平成 23 年度の研究計画を討議した。平成 24 年 2 月にはジャカルタにおいて国際シンポジウムをインドネシア科学院、ガジャマダ大学と共催して本プロジェクトの成果を紹介するとともに、最終年度に向けた課題について議論をおこなった。

### c. 平成 24 年度計画

A リモートセンシングと地上調査によるモニタリングに基づく適応的森林管理方法の確立：衛星モニタリングによる資源量と炭素蓄積量をモニターするシステムと地上モニタリングシステムを使用した、動態予測モデルを完成させ、適応的森林管理手法の確立を試みる。生物多様性と遺伝的多様性に与える択伐林業の影響を評価し、適切な改善方法を提言する。

B 新技術の導入による森林資源の高度利用技術の開発：熱帯林が産出する多様な木材と天然化合物などの非木材林産物についての体系的なスクリーニングを完了し、今後の持続的な生産活動に利用可能な新たな林産物候補を確定する。アカシアで開発した、分子育種技術の他樹種への展開の可能性を提言する。

C 伝統的資源の活用による地域社会の発展モデルの構築：地域住民に対する二次林のサービス機能の強化のための方策と、非木材林産物の利用による地域社会の発展モデルを構築する。

統括と境界領域の連携課題研究：3 つのサブテーマの成果と連携課題の成果を複合して、集約的森林管理と森林資源の高度利用にもとづく熱帯多雨林の持続的利用のパラダイムに基づく、森林管理の理念と持続的な森林利用のモデルを構築し、REDD+の実現への道筋を提示する。

9. 年次計画

研究項目	1年度目	2年度目	3年度目
<p>A リモートセンシングと地上調査によるモニタリングに基づく適応的森林管理方法の確立</p> <p>京都大学 ボゴール農科大学 ガジャマダ大学 インドネシア科学院</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>基礎資料の収集とモニタリングシステムの構築</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>アクティブセンサーによるバイオマス推定</li> <li>動態解析用データセットの完成</li> <li>遺伝的多様性比較</li> <li>動物多様性評価</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>衛星モニタリングと地上モニタリングに基づく適応的管理手法の構築</li> </ul>
<p>B 新技術を用いた高付加価値生産物の開発</p> <p>京都大学 インドネシア科学院</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>有機接着剤の導入試験</li> <li>エタノール生産のための樹種スクリーニングシステム構築</li> <li>遺伝育種の形質転換と再分化系構築</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>有機接着剤の合板への適用</li> <li>エタノール生産用樹種のスクリーニング</li> <li>木質形成関連遺伝子とストレス耐性遺伝子の機能調査</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>スクリーニングに基づく、利用可能な新たな林産物候補の提言と、アカシアで開発した分子育種技術の他樹種への展開の可能性提言</li> </ul>
<p>C 地域住民サービス拡充と伝統的林産物利用による地域社会の発展</p> <p>京都大学 宇都宮大学 ガジャマダ大学 ボゴール農科大学</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>伝統的生物資源の探査と、有機化合物スクリーニング</li> <li>二次林の利用履歴解明</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>択伐会社と地域住民の相関関係解明</li> <li>有機化合物スクリーニングと分子構造決定</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>地域住民に対する熱帯林のサービス機能強化と非木材林産物利用による地域社会発展モデルの構築</li> </ul>
<p>統括と境界領域の連携課題研究</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>各サブテーマにおけるミッションの相互理解と問題点の共有</li> <li>連携課題の設定</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>各サブテーマの成果の共同理解</li> <li>連携課題の遂行</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>成果統合と林業モデルの構築</li> </ul>