課題名　　D-1005　生態系サービスからみた森林劣化抑止プログラム(REDD)の改良提案とその実証研究

課題代表者名　奥田敏統　（広島大学大学院総合科学研究科　環境自然科学講座　教授）

研究実施期間　平成22～24年度

累計予算額　　198,491千円（うち24年度65,023千円）
予算額は、間接経費を含む。

本研究のキー　熱帯林、生物多様性、地域住民、住民参加、コベネフィット、セーフガード、ガバナンス、炭素貯留量、エコシステムアプローチ、市場取引
ワード（５～10個以下程度）

研究体制

（１） 持続的森林経営評価による劣化抑止プログラムの改良策とその実現性に関する研究（鹿児島大学）
（２） 炭素ストックの強化による劣化抑止プログラムの改良策とその実現性に関する研究（(独）国立環境研究所）
（３） 森林の生物多様性評価による劣化抑止プログラムの改良策とその実現性に関する研究（広島大学）
（４） 劣化抑止プログラムによる経済効果の分析およびクレジットの市場取引の可能性に関する研究（日本福祉大学）
（５） 劣化抑止プログラムの導入にあたってのゾーニングとガバナンスに関する研究（共栄大学）
（６） 劣化抑止プログラムの導入による地域社会への影響評価と住民参加のためのインセンティブ導入方法に関する研究（東京大学）
（７） 劣化抑止プログラムと国際・国内現行法との整合性および問題点の検証（上智大学）
（８） エコシステムアプローチからみた森林劣化抑止プログラムの検証（東京都市大学）

研究協力機関

マレーシア森林研究所、インドネシア科学院、マレーシアプトラ大学、マレーシア工科大学、インドネシアボゴール農科大学、　ランプン国立大学、（株）建設技術研究所、三菱UFJリサーチ＆コンサルティング（株）

研究概要

１．はじめに（研究背景等）

森林由来の温室効果ガス排出を如何に削減するかが、今後の温暖化対策の鍵を握っており、とりわけ我が国としては2020年以降の当該分野でのイニシアチブを取るうえでの重要な課題となっている。また、同時に東南アジア等の近隣諸国での森林をはじめとする自然資源劣化に対して、どのように対処するかは今後当該地域でのエネルギー問題や安全保障上のネットワーク形成を推進する上でも、喫緊の課題といえる。近年、森林等の吸収源対策に加え、途上国における森林減少・劣化の防止による排出削減対策（以下REDD)が提唱され、途上国が温室効果対策として取り組める最も効果的な吸収源活動として期待され、現在パイロット的にプロジェクトが進行中である。とはいえ、こうした実証プロジェクトでは「森林面積の減少評価」に主眼が置かれており、REDDのもう一方の”D(森林劣化)”の評価手法や、それに対する社会・経済的な受容力についての分析は、未着手である。一方で熱帯林を抱える途上国においては、かねてより森林の持つ健全性を維持しつつ森林資源を持続的に管理し、吸収源機能を高めるための“仕組み”や資源利用のための“新技術”が強く求められてきているが、その実施にあたっては、「国際的な基準に則った森林資源利用を行っているという根拠」も必要である。現在REDD下でのFS（Feasibility study）では、それぞれの場所の特徴を活かしたものに留まっており、

今後、REDD＋のセーフガードで求められている「生物多様性保全や地域社会の便益」等の要素を盛り込む場合は、より普遍性の高いプロトコル（基準・指標）を設定する必要がある。

以上のことから、森林の面積減少を抑止するための様々なエフォートに加え、森林劣化の適正評価をREDD＋に取り込む場合のプロトコル作成とその実現性について、生態学的、社会・経済学的視点から分析する必要がある。このような背景を踏まえ、従来のREDD＋の考え方に「保全や森林の持続的経営」「生物多様性」「炭素の貯留機能」「地域社会との接点」「流域保全」等の生態系サービスの強化を取り入れた新たな仕組み創設のための独自性および多地域に応用できる普遍性の高いガイドラインの作成を早急に開始すべきと考えた。

２．研究開発目的

本研究の究極的な目標は、熱帯地域の森林生態系サービスをより高い次元に導くことであるが、この目標の達成のために、REDD＋によるインセンティブ導入がどのような効果をもたらすか、および生態系サービスを重視するためにはどのような改良が必要かについての実証研究を行い、その成果を独自の枠組として世界に向けて発信する（図1）。さらに、温室効果ガス削減活動と森林資源の保全活動および地域社会の発展のリンケージの構築の要求にも応える。この究極目標に向けて、以下の項目を本研究の至近的な目的とする。

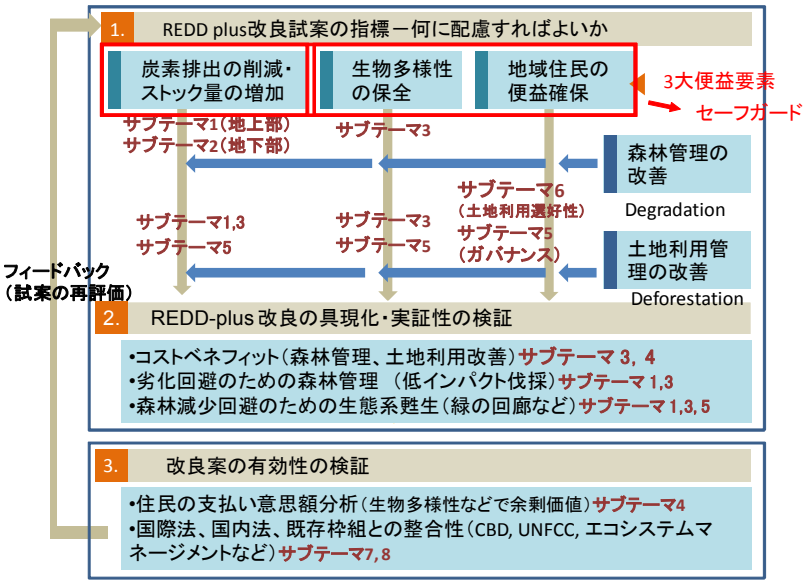


図1. 課題D1005の全体構成とサブテーマ間の関連，アウトプットまでのフロー

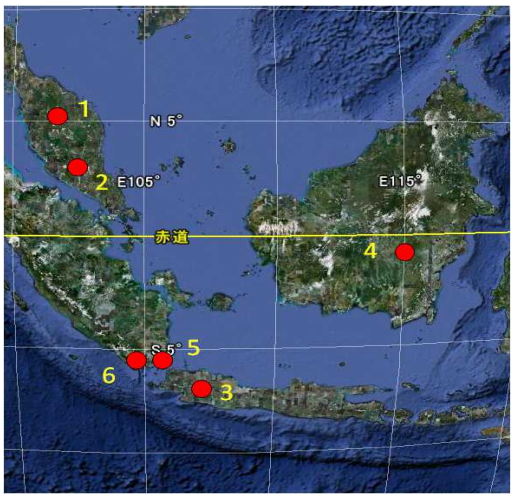


図2. 本課題で野外調査のために設置した主な研究サイト（●で示した）。1:マレーシアペラ州、テメンゴール施業区、2:同国、ネグリセンビラン州、パソ森林保護区、3:インドネシア ハリムンーサラック山国立公園、4:同国東カリマンタン西クタイ県サイト、5：ワイ・カンバス国立公園、6:南ブキット・バリサン国立公園

(1) 生態系サービス評価の視点をREDD＋に取り込むことにより森林劣化がどの程度抑止でき、森林からの放出量がどの程度抑止できるかを明らかにする。さらにREDD＋を実施する上で、実現可能な観測・評価項目の改良（例えば観測手法の標準化・簡素化やこれまで困難とされていた項目の定量化の試み）を提案する。

(2) 地域社会・住民による劣化抑止プログラムへの参加のためのインセンティブ導入方法の探索と問題点を抽出する。REDD＋によるクレジットの再配分方法に関して地域性やガバナンスの形態に応じたプランを提案する。

(3) REDD＋およびその改善プログラムの導入によって地域社会間およびそれらと国家や国際社会が相利共益の関係を築くためにはどのような法的根拠が必要なのか、慣習法や国内法の運用面からみた基準・指標を作成する。

上記の目的達成のために、それぞれのテーマに適切な調査地（図2）を選定し現地調査を実施した。

３．研究開発の方法

（１）持続的森林経営評価による劣化抑止プログラムの改良策とその実現性に関する研究

REDD＋の視点から、長期択伐林管理法の改良方法について伐期、伐採率、択伐後の残存木の枯死率

をパラメータとした森林管理法の解析モデルを構築した。具体的には従来型の森林伐採方式（SMS; Sustainable Management System）式により択伐された半島部マレーシアのパソ森林保護区内の47B 林班内に調査区を設置し、胸高直径30cm以上の生残木・立枯木・倒木・切り株の胸高直径、樹高および腐朽度の測定並びに、木材収穫量の推定を行った。同時に調査区上空で得られた航空機合成開口レーダーデータ（IFSAR）を用いて現存量推定の評価を行った。これらのデータをもとに調査区内の伐採後のバイオマス、大形枯死材（CWD）の集積量さらに純生態系生産力（NEP）をコンパートメントモデルにより評価し、さらにそれらの経年変動のシミュレーションを行い森林管理の方式（伐採密度の違い）がその後の森林回復にどのような影響を及ぼすかを評価し、REDD＋によるクレジット発生についての検証を行った。

また、REDD＋の地域社会への導入にあたり、住民参加型の生態系再生活動がどの程度有効に作用するかを明らかにする目的で、インドネシア、ハリムン - サラック山国立公園内の森林劣化が進行中の地域を対象として、現存量の変遷の評価、地域住民による植生回復事業の森林劣化抑止効果の検証、およびそれに伴う地域住民の森林減少・森林劣化に対する意識の変遷等について調査を行った。

（２）炭素ストックの強化による劣化抑止プログラムの改良策とその実現性に関する研究

森林から農地等への土地利用変化及び森林経営過程で生ずる商業伐採において地下部からの炭酸ガス発生がどのような影響を受けるかを明らかにすることを主題として、マレーシア半島の低地熱帯雨林（ネグリセンビラン州パソ森林保護区）とその周辺部、および半島北部の丘陵地帯（ペラ州テメンゴール施業区）土壌呼吸の時空間的変動の測定を行った。時間的変動については低地天然熱帯林に自動開閉チャンバーを設置し2010年12月から連続的に測定した。また、地下部からの根呼吸の影響の影響を排除するために、根除去（根切区：微生物呼吸）を設置し、コントロール区（根を排除しない処理区）との比較を行った。さらに伐採木周辺に測定プロットを設置し、伐採前後での土壌呼吸の経時変化を調査した。空間変動については伐採強度の異なる地区、伐採後に50年経過した二次林、アブラヤシ農園、ゴム農園に調査プロットを設置し、携帯型自動開閉チャンバーシステムを用いて土壌呼吸速度を定期的（2週間～1ヶ月毎）に測定した。

（３）森林の生物多様性評価による劣化抑止プログラムの改良策とその実現性に関する研究

REDD＋における「生物多様性への配慮」を具体的に実施していく際に必要となる生物多様性指標の抽出と有効性の検証と森林管理や生態系甦生への応用を目指して低地熱帯林（パソ森林保護区）や丘陵地熱帯雨林（テメンゴール施業区）を対象に以下にあげるサブ項目について調査を行った；１）リモートセンシングを用いた森林モニタリング手法の開発、２）森林伐採施業方法の改善による生物多様性の劣化抑止に関する分析（昆虫相および小型哺乳類相への影響）、３）選択的伐採施業の生物多様性持続性評価、４）生物多様性劣化抑止のための生態系甦生の実証研究、５）低インパクト伐採方法を採用した際の現存量、および炭素クレジットの発生量についての予測・分析、６）林道建設が及ぼす熱帯林への影響の定量化。

これらのサブ項目の結果をもとに「生物多様性への配慮」の指標と指針（伐採密度、路網密度、劣化した生態系の甦生）等を実施した場合のコストについても分析しREDD＋への当該項目の実現可能性について分析を行った。「生態系甦生」に当たってはアブラヤシ農園内の河川域を対象に自然林による「緑の回廊」設置を目指した実証実験を行い、地域住民参加が生態系再生事業の継続性へどのような効果をもたらすかについても調査行った。

（４）劣化抑止プログラムによる経済効果の分析およびクレジットの市場取引の可能性に関する研究

REDD＋によってもたらされる「生態系サービスの強化と便益現」を現地の住民がどの程度、経済的に評価しているのかを明らかにするため、マレーシアを対象とした選択型実験アンケート調査を実施した。この調査では、 REDD＋が実施された場合を想定し、私的財（木材関連製品）の購入行動を通じて、REDD＋での持続的な森林管理に対する人々の価値観を推定した。また、土地利用転換に伴う森林減少面積および生態系劣化のコストを総合的に評価するために、森林から農地への土地利用転換の際の「機会費用」を定量化した。調査・分析は、近年顕在化しているアブラヤシ農園開発に焦点をあて、マレーシアでの有識者へのヒアリングおよび、アブラヤシの作付面積・取引価格等のパーム油・木材の生産・貿易に関する統計データ、パーム油製造や木材生産の工程に関する資料をもとにした。得られた機会費用の推定値を用いて、割引現在価値を算出し、費用と便益に関する比較分析を行った。

（５）劣化抑止プログラムの導入にあたってのゾーニングとガバナンスに関する研究

森林減少を伴う土地利用転換に対してREDD＋がどのような効果をもたらしうるかという視点から保護地域のゾーニングを取り上げ、森林保全と地域生活との両立のためのガバナンスと地域住民との関わり方について、インドネシアの国立公園（ワイ・カンバス国立公園、南ブキット・バリサン国立公園、ハリムンーサラック山国立公園）で調査を行った。インドネシア林業省をはじめとする関係機関（国立公園管理事務所および管理官等）、大学およびNGO、国立公園内集落住民等を対象に、インドネシアの保護地域に関する法制度、管理計画等についてヒアリングを実施し、さらにそれぞれの国立公園のガバナンス、公園管理計画に基づくゾーニングと自然再生のための植林事業、地域住民と公園管理の関係等に関するデータ収集、並びに国立公園を含めた周辺域の衛星画像データをもとに、当該地域の森林変化、ゾーニングとガバナンスに関する制度の変遷とその背景との関連性について分析した。

（６）劣化抑止プログラムの導入による地域社会への影響評価と住民参加のためのインセンティブ導入方法に関する研究

REDD＋の導入に当たり、REDD＋の三大便益（二酸化炭素排出削減・生物多様性保護・貧困削減）の一つである「住民の参加や権利」という民主性をどう確保し、より高いインセンティブにより、REDD＋を推進していくか、地域社会から見た REDD＋の改良・改善点があるとすれば、どのような点に焦点を当てるべきかを明確にするために、国家および東カリマンタン州西クタイ県の地域住民を対象に、生活基盤（収入源）および土地利用に対する地域住民の選好性について現地調査を行った。調査は、上記エリアの４カ村でランダム抽出した「既婚男性」を対象とし「豊かさランキング法」で類型化し、現金収入源や土地利用への選好性については幾つかのオプションを提示し選択する方法で実施した。これらのデータをもとに主要な土地利用形態ごとの事業収支分析し、地域社会からみた REDD＋導入でのコストパーフォーマンスについて分析を行った。また REDD＋関連の国家および調査対象地プログラムについては、現行の法令類および政策ペーパーを収集し比較分析した。

（７）劣化抑止プログラムと国際・国内現行法との整合性および問題点の検証

REDD＋導入に当たっては、その原則・基準・手続きと、国際法や調査対象国における森林・生物多様性保全に関する現行法令・慣習法等との間の法的な整合性を明らかにする必要があることから、本課題の他のサブテーマの成果を参照しながら、関連する国際文書等の資料分析と現地でのヒアリング等をもとに、セーフガードに必要な原則・基準・手続きを探索・分析した。国際条約とREDD＋と関連性・整合性については、温暖化および自然環境に係わる多くの条約（例：気候変動条約・京都議定書、生物多様性条約、ラムサール条約、国際熱帯木材協定等）の最新の文書を中心に行った。対象国の国内法令としては、インドネシア、マレーシアの森林法、炭素吸収およびクレジットに関わる法令等を参考とした。REDD＋の法的枠組みと制度設計上の問題点、並びに現地でのREDD＋クレジットの有効性について、森林保全、森林管理、生物多様性、気候変動の各側面とREDD＋との相互関係という視点から、国際機関、現地行政機関、国内外のNGO等でヒアリングを実施し分析した。

（８）エコシステムアプローチからみた森林劣化抑止プログラムの検証

生物多様性条約で採択されている「エコシステムアプローチ」の、本課題で提案するREDD＋の改良提案を実施する際の評価指標や現地での森林保全活動を実施する際の汎用性について分析を行った。具体的にはREDD＋実施に伴う先住民や地域社会の懸念、REDD＋プロジェクトの望ましい在り方等についてインドネシア、マレーシアの森林専門機関を訪問し、先住民・地方社会構成員による森林利用実態についてのヒアリングを行った。これらを踏まえて、主に地域社会の便益確保の観点から、エコシステムアプローチの修正を検討した。こうした検討を通して地域社会の便益確保の観点からは、エコシステムアプローチにおいて求められている以上の原理・原則が必要とされることが明らかになり、それもエコシステムアプローチの原則等に統合した。

４．結果及び考察

（１）持続的森林経営評価による劣化抑止プログラムの改良策とその実現性に関する研究

低地熱帯林での調査から現存量の空間変動は伐採前の植生、伐採強度、土質、地形さらに林冠開空度（ギャプ）との位置関係等が強く関連することがわかった。一方、伐採後の残存木の枯死率を調べたところ、大径残存林冠木（胸高直径≧50cm）の伐採後6年間の平均枯死率は無伐採地と比べ顕著に高いことが分かった。これらから、現存量の回復と生態系生産量（NEP）をシミュレーションしたところ、現行の伐採方式では現存量は次の伐期（30～50年後）までに伐採前の半分にも達しないことが分かっ

た。さらに、伐採残材とその後の大径林冠木の高い枯死率により大量の大形枯死材（CWD）が生産され、大量の炭素が放出されるため、放出量が伐採後の植生再生により固定される炭素量と等しくなるためには伐採後42年間かかることが分かった。これらのことから炭素の視点から見た森林の全体的な評価は、NEPのみならず上記の収穫量、残渣木の枯死率の影響期間、伐採期間、およびそれらの環境効果等を考慮に入れる必要がり、特に残存木の枯死率への影響期間短縮は、伐期を長くするのと同様な効果があることが分かった。

一方、インドネシアハリムン - サラック山国立公園での調査結果から、REDD＋導入に当たっての保護区設定や周辺域での植生回復事業も森林の炭素蓄積確保という点において、重要な役割を果たすことが分かった。その際地域住民との協働作業が重要であり、森林を切り開いてきた住民による参加型森林再生事業ならば植生回復が見込め、植栽域の多様性も担保されることが分かった。

（２）炭素ストックの強化による劣化抑止プログラムの改良策とその実現性に関する研究

マレーシア低地天然林で根呼吸を除く微生物呼吸が総土壌呼吸量に占める割合は約63%、残りが根の呼吸由来であることが分かった。土壌呼吸は根呼吸と土壌含水率との間には正の相関が認められ、NEPは土壌水分によって強く影響を受けることが分かった。また、森林伐採地区で樹木の伐採後の土壌呼吸速度の時間的変動を調べたところ、伐採後、一時的に減少し、その後上昇したことから、枯死根の分解が関わっていることが考えられた。さらに、ゴム、アブラヤシ農園において土壌炭素貯留量を調べた結果、土地利用変化が土壌有機炭素を減少させていることが分かった。

（３）森林の生物多様性評価による劣化抑止プログラムの改良策とその実現性に関する研究

航空機搭載型レーザースキャンシステム（LiDAR）用いた森林構造の三次元計測を実施すれば、地上踏査によるデータと同等の高い精度の林冠高と地盤高が得られ、現存量の時空間的変動や森林内の木材搬出路の分布等詳細に分析できることが分かった。さらに航空機合成開口レーダによる森林計測によりスケールアップ出来ることも確認出来た。生物指標として採用した食糞性コガネムシ類（フン虫）や小型の哺乳類の組成、個体数、種多様性は林道や搬出路からの距離に大きく依存し、フン虫では林道から30m程度、小哺乳類では150～300mまで影響が及ぶことが分かった。一方、大・中型哺乳類は林道の利用頻度が高いことから、フン虫による糞塊利用頻度とその生態的機能の低下が予想された。調査地の空間情報を用いたシミュレーションは、こうしたフン虫や齧歯類の不在、偏在化が伐採後の森林の回復に強い影響を及ぼすことを明らかにした。さらに、森林の林冠を構成する樹種の個体群構造の回復にはバイオマス回復よりも遥かに長い年月を要することが分かった。生態系甦生活動が森林減少や劣化抑止に有効であることから、アブラヤシ農園内の小河川沿いに自然林を再生させる活動を地元研究機関、教育機関と共同で実施したところ、地域社会やNGO、マスコミ等から極めて高い評価を得た。河畔林は猛禽類を誘引し、アブラヤシ農園内のネズミ駆除に貢献することから、地域社会の便益と生物多様性保全両立型のREDD＋のプロジェクトのモデルになり得る。

（４）劣化抑止プログラムによる経済効果の分析およびクレジットの市場取引の可能性に関する研究

マレーシア国民を対象としたREDD＋および持続可能な森林管理施策に対する潜在意識や経済価値に関する選択型実験アンケート調査および日本国民を対象とした同様の調査では、持続可能な森林管理におけるCO_2排出の削減および生物多様性の保全に関する高い住民の潜在意識や経済価値が確認された。また、REDD＋の導入による森林保全の対極にあるアブラヤシ農園の造成に関する機会費用を推定したところ、US$ 39000～46000（5%割引率）であること、一方、アブラヤシ農園をやめた場合のREDDクレジットは、本研究では、1980～36850ドル/haとなりかなりの変動幅あることが分かった。ただし、その計算式に上述の経済価値（住民・消費者を対象に表明選好法）の推定結果を結合すると発生できるREDDクレジットは上記の機会費用の60～80倍の数値になることが分かった。REDDにおけるこのような潜在的な経済価値をどう取り込むか（付加する）かが課題である。ちなみに、炭素クレジットを活用するREDD制度については、「知っている」あるいは「聞いたことがある」と回答した人の割合は、日本では7%、マレーシアでは26%と、REDDの当事者国とそうでない国との意識の明瞭な違いがあることが分かった。

（５）劣化抑止プログラムの導入にあたってのゾーニングとガバナンスに関する研究

調査対象地において境界域の厳格な遵守を図ろうとする国立公園の管理当局側と地域内や周辺の地域社会との対立があることから、REDD＋プロジェクトを導入する際に想定される土地利用に関する諸問題と極めて高い類似性があることが分かった。そこで、国立公園の管理強制力と地域社会による土

地利用の自由度を指標として対象域を「地域住民を排除した専用的管理」、「地域住民による実効的な土地利用」、それらの中間の「公園管理と地域社会土地利用の両立（協働管理）」の3タイプに類型化した。調査対象地とした国立公園のゾーニングを分析した結果、公園地域の50%以上が自然保護上の核となるコアゾーンと原生ゾーンに位置づけられていること、類型化毎にゾーニングの特徴がみられることが分かった。また、原生林の面積率の経年変化にも公園間で差がみられ、特に「地域住民による実効的な土地利用」では大規模なエンクローチメントにより原生林率は40年間で大幅に減少していた。自然保護上の核となるゾーンでは、原生林の減少率は小さいものの、減少面積は大きく、生物多様性保全への影響が懸念されることも判明した。これらの結果を基に、REDD推進のためのゾーニングとガバナンスのあり方、および自然回復のための事業地の適正規模等が提案できた。

（６）劣化抑止プログラムの導入による地域社会への影響評価と住民参加のためのインセンティブ導入方法に関する研究

インドネシア国家政策の分析により、「林地」を対象とするREDD＋国家プログラムの中で、事業主/スポンサーが得る利益の観点から最も魅力的で、かつ三大便益（二酸化炭素排出削減・生物多様性保護・貧困削減）および実行可能性の観点からも望ましい活動は、生産林を対象とする「天然林の木材利用許可に基づく持続可能な森林管理」であることを示した。また、西クタイ県の現状分析により、「林地」を対象とする住民主体のREDD＋国家プログラムのなかで、「住民人工林の木材利用許可に基づく人工林管理」、「村落林の管理」、「コミュニティ林の管理」に焦点を絞った検討が必要であることを示した。次に、西クタイ県の住民への収入源及び土地利用の選好調査により次の結果を得た。地域住民が高い選好性を示したのは、焼畑農業、伝統的ゴム園、政府プログラムのゴム農園であった。選好性が中程度であったのは、カカオ農園と果樹園である。選好性が低かったのは、かつての主要現金収入源ともなっていたラタン園、およびアブラヤシ農園である。アブラヤシ農園開発は、村の居住地から離れた慣習林でのみ許容されることが分かった。以上のような地域住民の土地利用認識・選好を活かし、REDD＋メカニズムへの住民参加を促すための方策として「森林・土地修復プログラム」を国家のREDD＋プログラムとして選定することが推奨されることが分かった。ただし、RHLは再造林基金を原資としているので、政府への利益分配率は他のREDD＋プログラム（例えばコミュニティ林や村落林等）よりも高く設定するのが合理的である。

（７）劣化抑止プログラムと国際・国内現行法との整合性および問題点の検証

研究開発方法で示した参考資料中に定められているREDD＋に一般的に必要とされる原則・基準・指標・手続きの項目について国際法・国内法との整合性を検証したところ、基本項目および関連条約との間に法律上の問題は見られないが、国内法令が不備であることも考えられることから、プロジェクトの企画・運用の段階でセーフガードの確保を検証する必要があることが分かった。REDD＋は、当面は事業単位で基金に基づいて、さまざまな課題を抱えながら進められるため、以上のセーフガード項目がREDD＋事業の実施国において受け入れられることが肝心である。そのためには、第一に、国際法からのアプローチが有効であることが判明した。第二に、REDD＋事業を支援する国の国内法令からのアプローチも有効であることが分かった。たとえば、支援国の国内法令において、支援国の公的機関や企業に対して、セーフガードに関して適格でないREDD＋事業への関与、または、適格でないREDD＋事業の成果の受け入れを制限することが出来ると考えられる（例：グリーン購入法下での原産国法令違反の木材購入規制）。本サブテーマでは、以上のようREDD＋事業実施国の国内法令の遵守を要件にする規制措置と、それでも改善できない場合に備えて事業支援国の独自の判断に基づく規制措置という二段構えの国内法令アプローチを支援国が取れるような枠組を提案する。そのことで、REDD＋のセーフガードを確保することができると考えられる。

（８）エコシステムアプローチからみた森林劣化抑止プログラムの検証

エコシステムアプローチの１２の原則を手続的側面（原則：原則1、2、7、11、12）と実体的側面の原則（その他）に区分し、インドネシアREDD＋国家戦略を精査したところ、エコシステムアプローチの手続的側面に関する原則が反映されていることが分かった。これらの検討から、エコシステムアプローチの原則等の手続的側面が、劣化抑止プランの判断基準の中核となりうることが明らかとなった。さらに、これら諸原則等を超える原則等の必要性をローカルな観点から分析したところ、先住民社会等と企業とのモデル契約条項、伝統的土地利用の承認、法的権利の明確化、慣習的な権利の考慮、共同体的権利の承認、共同体による利益の受領・利益配分決定、自由で事前の情報に基づく同意原則の実施、先住民等による管理運営への参画等の必要性を追加すべきであることが分かった。これら追加

した事項のほとんどは、いずれも国際的な原則・基準・指標等の求めるところと概ね合致することが判明した。

（９）総合考察

熱帯地域での森林減少・劣化は複雑な社会背景やガバナンスが密接に絡んでいることから、本研究課題では「森林管理の改善」と「土地利用管理の改善」の2つのアプローチを想定した。「森林管理の改善」による森林劣化抑止に関しては地上部現存量の時空間的変動を高い精度で把握し、地下部、および施業後の森林残渣分解過程によるCO_2発生も含めた計測技術および予測モデルを構築することが出来た（サブテーマ1・２）。森林の現存量推定に関しては地上踏査～航空機測量～衛星探査によるスケールアップ技術開発と今後の改善方法についても提示することが出来た（サブテーマ３）。これらにより木材生産を目的とする商業伐採を行う際の、伐採強度、残渣の取り扱い方等に関する具体的な指針を提示することができた（サブテーマ1・２）。これらの成果を踏まえ、これまで困難とされてきた「森林劣化評価」のベースラインやレファレンスレベルの設定等が可能となった。さらに、セーフガードで組み込まれている、生物多様性への配慮に関しても、林内生物や林冠構成種の多様性データ、LiDARによるGISをもとに、シミュレーションモデルを構築し、林道面積の割合、林内集材・貯木方式のあり方、それらのメンテナンス方法、森林伐採強度等、具体的な基準を設定することが出来た（サブテーマ３）。

「土地利用管理の改善」に関しては、行政機関と住民によるガバナンスと地域社会での様々なステークホルダー間での協調・協働性が重要な鍵を握っていることが明らかとなった（サブテーマ5）。一方で住民側の選好から、法的な非林地の中に広く存在する果樹園等森林に類似した土地利用形態をREDD＋の活動として認めることが重要であることが示された(サブテーマ6)。これらの具現策として、国立公園周辺域での緑の回廊設置事業やアブラヤシ農園内での河川集水域等での地域住民参加による生態系再生事業が効果的であることが分かった（サブテーマ１・３）。

とはいえ、現地の政府・地方行政機関、地域住民を支えるNGO団体はREDD＋の実際の運用面のコストを憂慮しており、2010年、11年、12年に開催した国際シンポジウムやセミナーでも、この点がホスト国側の懸念材料として指摘された。本研究で提示できる「森林管理の改善」の費用対効果分析では認証等に掛かる費用を最小限に抑えれば、二酸化炭素価格にもよるが、REDD＋クレジットによって、充分補填できる可能性があることが分かった（サブテーマ３，４）。一方の「土地利用管理の改善」であるが、プランテーション開発・経営による現金収益（機会費用）がREDD＋等によるクレジットを遙かに上回るために、生態系サービスの価値の喪失への代価（補填）が必要である。この点についてマレーシアや日本の消費者を対象とした生態系サービスに対する支払い意思額を調査したところ、これらに掛かる費用の応分の負担に関しては一般消費者が充分認識していることが分かった（サブテーマ４）。

しかしながら、生態系サービスの価値をどのように具体化し、誰が負担し将来的にそのシステムをどう維持するかは、依然不透明である。この点について幾つかのポイントを整理し、以下のような提案をしておきたい。1つめは本課題で提案する生態系サービスに基づいた（３大便益を強調した）REDD＋の改善モデルが、既にCBD－COPで採択されているエコシステムアプローチの原理・原則に準拠しおり、逆に同アプローチの原則の中にREDD＋の視点からハイレベルの基準を設ける余地が充分あるという点である（サブテーマ８）。さらにこれらはホスト国、投資国側が締結している国際法とそれに準拠した国内法（もしくはその改善）が法的根拠になりうるという点である（サブテーマ７）。すなわち、国際社会で認識が進む生態系・生物多様配慮型の枠組や当事国間（２カ国間の場合特に）での国内法およびその整備によって、経済的補填が十分でない場合でも、３大便益を重視したREDD＋改善案の受入の素地は充分あると判断できる。２つめとして、現在、REDD＋を軌道に乗せるため、３つのフェーズ（基金による運営、マーケットベースへの移行期間、マーケットによる運営）が提案されたが、企業CSR活動の参画やNGO等による支援等を、より重視したREDD＋の運用やハイブリッドインセンティブメカニズム(井上、2011)（市場メカニズム＋基金によるREDD＋の運用）の導入を提案する。３つめとして、REDD＋に対して地域住民の積極的な生態系甦生活動を取り込むことを提案したい。本課題で明らかとなったように住民不在による一方的な行政ベースによるREDD＋プロジェクトは長期的には続かない（サブテーマ６）。ガバナンスもさることながら（サブテーマ５）、地域住民と中・高等教育機関の積極的な参加によって、地域社会のidentityが確立されれば、例えば河川集水域やバッファーゾーン形成等においては生態系劣化抑止活動として効果を上げ（サブテーマ１・３・５）、生態系サービスへの補填不足分は「社会的」に担保・許容出来る可能性が充分あるといえる。

５．本研究により得られた主な成果

（１）科学的意義

- これまで木材収穫量と森林が持つ環境機能の両者を統一して森林価値を評価することが困難であったが、今回の解析モデルで可能となった。
- 総土壌呼吸を、微生物呼吸と根呼吸に定量的に分離して評価することができた。
- 林道の影響が生物の群集構造の変化を通じて、生物がもつ生態系機能も変化することを立証した。こうした研究は他に類を見ない。
- 世界で初めて東南アジアのフン虫の種子散布距離を定量化した。
- インドネシアの国家政策を利害関係者が得る利益の観点、三大便益の観点、実行可能性の観点から科学的に分析した。
- カリマンタン先住民の近い将来の収入源及び土地利用に対する住民の選好性について初めて明らかにした。
- 本課題で明らかにした国立公園ガバナンスと地域社会との関係およびそれに基づく管理政策については、法制度によるもの以外、個別の国立公園の状況による要素が大きく、その関係を一般化、普遍化することはこれまで困難であった。
- 国立公園ガバナンスと地域社会との関係の3つの類型化およびそれぞれにおけるゾーニングと植林自然回復事業の適正規模等は、REDD＋導入に当たってのプロジェクトサイトサイト指定において適用可能である。

（２）環境政策への貢献

- 土地利用形態ごとの住民の選好性と事業収支分析の結果を合わせて住民による土地利用への認識・選好を明らかにし、インドネシアにおける実現可能な住民参加メカニズムとして（＝実証的な政策科学として）REDD＋プログラムの改善策を提言した。
- REDD＋活動に対して求められている生物多様性保全および人権保障に関するセーフガードを構成する原則・基準・指標・手続き等の基本項目を、国際法および国内法の観点から体系的に再構成して提示することが出来た。
- エコシステムアプローチ（CBC, COP5で採択）に地域社会の便益確保の観点を加えることで、正当なREDD＋事業であるか否かを判断する基準・指標を整理することができた。
- 伐採過程に伴う土壌炭素動態の観測データからREDDクレジットを試算し、科学的根拠によるREDD＋の改善案を提示できた。
- 農林水産技術会議による気候変動対策プロジェクト（森林系　REDD＋）に対して、生物多様性の視点からのインプットを行った。
- 日本製紙連合会及び海外産業植林センターによる「海外産業植林における生物多様性配慮に関する検討会」において、生物多様性保全と持続的森林経営についてインプットを行い、その結果を「生物多様性への配慮のあり方」としてまとめた。
- CBD COP10においてサイドイベントを開催し、内外のREDD＋関連、UNFCCCやCBD関連の行政担当者、研究者へのインプットが出来た（イギリスジャーナリストへのインプット）。
- 本課題プログラムのパンフレット（日本語版と英語版）を作り、CBD COP10の際に活動内容の発信を行った。
- マレーシア森林研究所やマレーシア・ペラ州林野局との合同セミナーにおいて、REDD＋の紹介や本研究成果の報告を行い、マレーシアのREDD＋への参加を呼びかけた。

＜行政が既に活用した成果＞

- 平成25年11月に仙台で開催予定の環境省および国際自然保護連合（IUCN）による「アジア国立公園会議」の企画立案において、アジアの熱帯林における森林劣化抑止（REDD）と保護地域管理における国際協力等、本研究の成果が取り込まれることになった。
- インドネシアの大統領府REDD＋タスクフォースでの議論で、本研究成果で示した「森林保全・劣化防止を実行する上での地域社会との協働管理」の重要性が認識され、REDD＋の改善策とそれが果たす役割に関して上記タスクフォース委員へ、インプット出来た。

＜行政が活用することが見込まれる成果＞

- 環境省および外務省においては､わが国における国立公園内に地域社会が包含される管理形態の経験を踏まえ、「協働型国立公園管理」の途上国支援による保護地域の森林劣化抑止、生物多様性保

全に貢献することを推進している。本研究で明らかになった保護地域ガバナンスとゾーニング、中でもハリムンーサラック山国立公園における事例等は、今後のアジアにおける保護地域の協働管理の推進に当たって行政に活用されることが期待される。

- セーフガードの基本項目の実効性について、国連大学や国際究機関との共同研究を通じて国内外に発信できる。
- 共同研究機関であるムラワルマン大学のスタッフが東カリマンタン州のREDD＋政策策定委員会の委員長であることから、本研究の成果である政策提言が、今後の東カリマンタン州や西クタイ県の政策策定に反映されることが見込まれる。
- 日本政府が国際的な議論の場で、研究対象地域（例：インドネシア）の環境政策に資する成果に基づく発言を行うことを通して、日本のプレゼンスを高めることができる。

６．研究成果の主な発表状況

（１）主な誌上発表

＜査読付き論文＞

1) 井上真：環境と公害，40，1，16-22（2010）.「REDD-plus制度におけるインセンティブ分配方式：トリプル・ベネフィットとレジティマシーの観点より」
2) 河合真之・井上真：林業経済，63，7，1-17（2010）.「大規模アブラヤシ農園に代わる『緩やかな産業化』の可能性：東カリマンタン州マハカム川中上流域を事例として」
3) 寺内大左・説田巧・井上真：日本森林学会誌，92，5，247-254（2010）.「ラタン、ゴム、アブラヤシに対する焼畑民の選好：インドネシア・東カリマンタン州ベシ村を事例として」
4) D. Terauchi and M. Inoue: TROPICS, 19, 2, 67-83 (2011)“Changes in cultural ecosystems of a swidden society caused by the introduction of rubber plantation”
5) M. Kawai and M. Inoue: TROPICS, 19, 4, 157-178 (2011)“The possibility and challenge of achieving sustainable rural finance by a credit union of the Dayak people: The case of the middle-upper Mahakam region in East Kalimantan, Indonesia”
6) D, Rosleine, E. Suzuki. Secondary Succession at Abandoned Grazing Sites, Pangandaran Nature Reserve, West Java, Indonesia. Tropics 21:91-103 (2012)
7) T. Yamada, Y. Yamada, T. Okuda and C. Flecher: Oecologia DOI 10.1007/s00442-012-2529-z (2013)“Soil-related variations in the population dynamics of six dipterocarp tree species with strong habitat preferences”
8) M. Inoue: Journal of Forest Science, 28, 3, 194-198 (2012) “Simple Method for the Local Stakeholders to Evaluate and Select National REDD-plus Program: A Case Study of Indonesia.”
9) 新美育文・松村弓彦・大塚直編：環境法大系、商事法務、933-951（2012）生物多様性に関する国際条約の展開ー必要とされる措置の体系化（磯崎博司）」
10) 大塚直・大村敦志・野澤正充編:社会の発展と権利の創造ー民法・環境法学の最前線、有斐閣、737-761（2012）「環境条約の地元における日常的な実施確保ー自然環境に関する条約を中心に（磯崎博司）」
11) M. Inoue, M. Kawai, N. Imang, D.Terauchi, F. Pambudhi, and M. A. Sardjono: International Journal of Environment and Sustainable Development, 12, 3, 244-263 (2013) (DOI: 10.1504/IJESD.2013.054951) “Implications of local peoples’ preferences in terms of income source and land use for Indonesia’s national REDD-plus policy: Evidence in East Kalimantan, Indonesia”
12) 磯崎博司：地球環境学（上智大学地球環境学研究科）、No.8、1-14（2013）「持続可能な開発に関するセーフガードー望ましいREDD＋に向けて」
13) 古川務：東京都市大学環境情報学部紀要、14、98－107（2013）「REDD＋活動に対するセーフガードと生態系アプローチーインドネシアREDD＋国家戦略を素材として」

＜その他誌上発表（査読なし）＞

1) 毛利勝彦編：生物多様性をめぐる国際関係、大学教育出版、177-207（2011）「第9章　生物多様性と地域開発　ー愛知ターゲットと保護地域ガバナンスー（執筆担当：高橋進）」。
2) 山田俊弘、奥田敏統： 健康と環境，25，367-374（2012）「熱帯木材の持続可能な利用とREDD＋」
3) T. Okuda, T. Yamada, Comprehensive standards for the good practice of REDD plus in Asian Tropics, Tanaka Print Co. Ltd (2013). 31 pp.

（２） 主な口頭発表（学会等）

1) N. Liang, M. Takada, T. Okuda, E. Philip, Rahim A. Nik: AsiaFlux Workshop 2011, Johor, Malaysia, 2011 “Soil Carbon Emission of Tropical Ecosystems and its Potential Role in REDD＋ mechanism”
2) T. Furukawa: Asian Wetland Symposium (AWS), Kota Kinabalu, Sabah, Malaysia, 2011, “Interfacing the climate change policy to the biodiversity conservation: wetland management and the ecosystem approach”
3) T. Yoneda: FRIM Seminar, Kuala Lumpur, Malaysia, 2012, “Dynamics of canopy trees and NEP of a regenerating forest from logging under SMS.”
4) E. Suzuki, D. Ekawati, A. Sundawiati, W. Septiana, S. Mulyati, D. Rosleine: The 55th Symposium of the International Association for Vegetation Science, Mokpo, Korea, 2012, “Forest Management and Rehabilitation in Gn. Halimun-Salak National Park, West Java.”
5) T. Yamada, T. Okuda: International symposium on costs and benefits of REDD plus, Kuala Lumpur, Malaysia, 2011 “Identification of costs and benefits in the implementation of REDD for forest management”
6) T. Yamada, T. Okuda: International Symposium on Southeast Asian Tropical Rain Forest Research related with Climate Change and Biodiversity, Tokyo, Japan, 2012, “Learning from Malaysian forests; towards an upgraded REDD＋ incorporating biodiversity”
7) 高橋進、Arief Darmawan：第22回日本熱帯生態学会年次大会（2012）「インドネシアにおける国立公園ガバナンスの類型化とREDD＋」
8) 寺内大左・ンダンイマン・井上真：第22回日本熱帯生態学会年次大会（2012）REDD＋によるアブラヤシ農園拡大抑止の可能性：インドネシア・東カリマンタンを事例に」
9) H. Isozaki: EU DG Environment Workshop, Brussels, Belgium, 2012, “REDD Safeguards and Domestic Law Approach”

他全83報

７．研究者略歴

課題代表者：奥田敏統、広島大学大学院理学研究科退学、理学博士、現在広島大学大学院総合科学研究科教授

（１）：鈴木英治、大阪市立大学理学研究科退学、理学博士、現在鹿児島大学理工学研究科教授
米田健、1947生まれ、大阪市立大学理学部部卒業、鹿児島大学農学部教授

（２）：梁乃申、新潟大学大学院自然科学研究科修了、学術博士、現在（独）国立環境研究所主任研究員
小熊宏之、千葉大学園芸学部園芸経済学科卒、博士（工学）、現在（独）国立環境研究所主任研究員

（３）：奥田敏統、（同上）
山田俊弘、大阪市立大学大学院理学研究科修了、博士（理学）、現在広島大学大学院総合科学研究科准教授

（４）：坂上雅治、京都大学大学院経済学研究科退学、博士（経済学）、現在日本福祉大学健康科学部准教授

（５）：高橋進、東京大学農学部卒業、現在共栄大学教育学部教授

（６）：井上真、東京大学農学部卒業、現在東京大学大学院農学生命科学研究科農学国際専攻教授

（７）：磯崎博司、東京都立大学大学院社会科学研究科中退、現在上智大学地球環境学研究科教授

（８）：古川努、西南学院大学大学院法学研究科退学、現在東京都市大学准教授

D-1005　生態系サービスからみた森林劣化抑止プログラム(REDD)の改良提案とその実証研究
(1)持続的森林経営評価による劣化抑止プログラムの改良策とその実現性に関する研究

鹿児島大学
理工学研究科　地球環境科学専攻　鈴木　英治
農学部　生物環境学科　米田　健

〈研究協力者〉
理工学研究科　地球環境科学専攻　博士後期課程　Dian Rosleine

平成22～24年度累計予算額：28,358千円
（うち24年度予算額：9,001千円）
予算額は、間接経費を含む。

［要旨］
REDDの観点から、択伐施業の経済性と森林が持つ地域・地球環境に対する生態系サービス機能を考慮した森林管理法の指針作成が重要である。マレーシアのパソ地域で現在行われている択伐施業林から指針作成に必要とする資料を収集し、それらにもとづき伐期、伐採率さらに択伐後の残存木の枯死率をパラメータとした炭素動態モデルを構築した。この動態モデルに、択伐林の森林価値を炭素の集積量と流量で評価する指数を導入することで、上記パラメータが森林価値に与える影響を定量的に評価することが可能となった。これらの成果は、熱帯雨林における択伐林の長期森林管理計画作成に大きく寄与できるであろう。

インドネシアのハリムン-サラック山国立公園では、2003年に国立公園に編入されたコリドー地域2437haで森林劣化が現在も進行中であり、その状態の調査と対策について調べた。Landsatの画像により森林面積の経年変化を調べると1989年の2,200haが2008年には1655haに減少していた。ただし、どの植生に変化したかについてはLandsat画像では判読ミスもあるように考えられた。森林植生を22個の調査区で分析するとLandsatでは同じ植生に判定されている部分でも、かなり異なっていた。国立公園といっても住民がその中で農作業を行うなどしている現状では、森林を容易には回復させられない。今まで森林を切り開いてきた住民が参加する森林再生事業ならば、可能性があるだろう。そこで試験的に約10haで森林再生のための植樹作業を行った。現在のところ順調に再生しつつあり、また多種の植樹なので多様性の減少も比較的少ないと考えられた。

［キーワード］
RIL、炭素動態、収穫量、長期森林管理、生態系サービス

１．はじめに

熱帯雨林を対象とした従来の択伐施業法では、伐採による森林の環境変化により、とくに再生初期段階における残存木枯死率や再生林の樹種構成が大きな影響を受けているとの報告がある[1)]。さらに森林の炭素代謝機能面からは、伐採残材の分解過程を通じて発生するCO_2が、再生林の純生

態系生産力に大きく影響している可能性があるが[2)]、その定量的な評価はまだなされていない。これら要因を考慮し、さらに択伐施業の経済性と森林が持つ地域・地球環境に対する生態系サービス機能を考慮した森林管理法の指針作成が喫緊の課題である。本研究は、この課題解決を目的とし、伐期、伐採率、択伐後の残存木の枯死率をパラメータとした森林管理法の解析モデルを構築する。

一方、組織的な林業施業ではなく住民が勝手に利用することによって森林劣化が起きている地域も特にインドネシアでは多い。その例としてハリムン - サラック国立公園のコリドー地域で森林劣化の現状を調べ、その状況をどのようにしたら改善できるかを考える。

２．研究開発目的

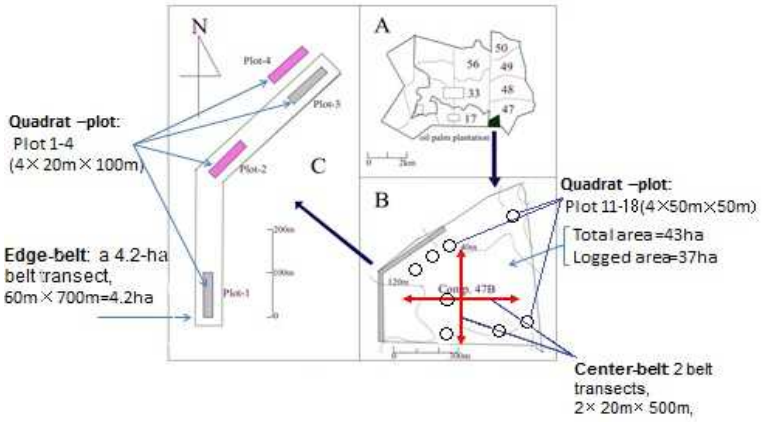
REDDの視点から、熱帯雨林を対象とした現行の択伐施業の問題点を明らかにし、その解決に向けた長期択伐林管理法の指針の基礎資料を収集し、基礎モデルの構築することを目的とする。
主に住民による森林の違法利用が劣化原因になっている地域での劣化の状況を調べ、その対策を考える。

３．研究開発方法

（１）マレーシアの調査地

2005年にSMS方式により択伐された半島部マレーシアのパソ森林保護区内の47B 林班を調査地とした。林班面積は43 haで、伐採許可面積は37 haである。

野外調査は、伐採前の収穫調査時に設置された17林班との境界域に位置するベルトトランセクト(60m幅×700m：4.2 ha)と林班のほぼ中央部に位置し十文字型のベルトトランセクト(30m幅×500m×2本：3 ha)を中心に、下記の2つの方法で実施した（図(1)-1）。1つは２ヶ所のベルトトランセクト全体を対象とした調査、他の1つは4.2haのベルトトランセクト内外に設置された４ヶ所の 20 m×100 m 調査区(P1-P4)と、バイオマスが大きく異なる8地点に設けた50 m×50 m 調査区(P11-P18)を対象とした調査である。なお、0.2 ha 調査区のP1、 P2、 P3は、ベルトトランセクト内にあり、P4はベルトトランセクトに隣接した伐採区域外（未伐採区）に設けられたコントロール調査区である。これら4調査区ではマレーシア森林研究所(FRIM)により伐採前に毎木調査が行われており、本研究ではその資料を活用することができた。



図(1)-1. 調査地の位置図。A: 約2400haの面積をもつパソ森林保護区全域図。B:47B林班区。両端矢印は十文字型ベルトトランセクト。円形は８ヶ所の0.25-ha調査区（P11-18）。C:林班境界の4.2-haベルトトランセクトと４ヶ所の0.2-ha 調査区（P1-4）。

１）野外調査法

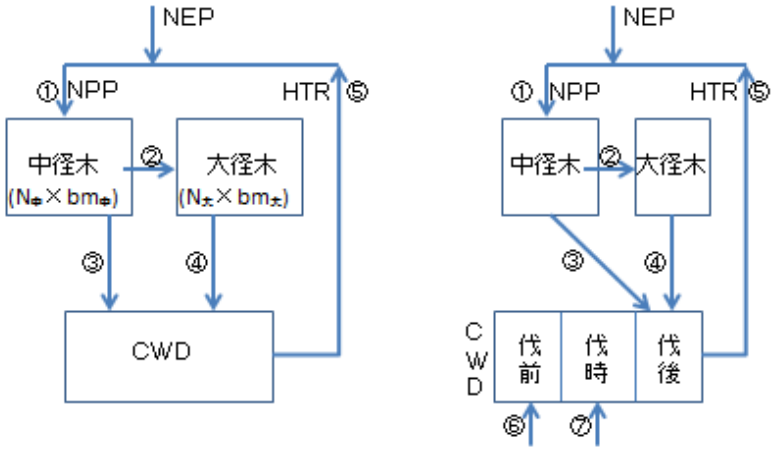
野外調査は2010年8月から2012年10月までの間に行った。ベルトトランセクトにおいては、胸高直径30㎝以上の生残木・立枯木・倒木・切り株を対象とし、倒木以外は位置、胸高直径、樹高（一部）、倒木は両端の直径と長さおよび腐朽度[3)]を観測した。生残木に対しては樹勢から健全度[4)]を観測した。また、調査区内の路網の分布図を作成した。伐採後の残存枯死木の死亡要因の解析のために、十文字型ベルトトランセクト内に分布した胸高直径30㎝以上の自然枯死木25本を対象とし、それらを中心に半径30ｍの円形調査区を設置しベルトトランセクト内と同様の調査を行った。P1-P4とP11-P18の方形調査区では対象木をそれぞれ５㎝以上と30㎝以上とし、ベルトトランセクトと同じ内容の調査を行った。

２）バイオマスおよび大形枯死材(CWD)の集積量推定法

野外調査資料にもとづき相対成長式[5)]を用いた推定法は2010年度の本プロジェクト業務報告書に、またリモートセンシング資料であるIFSARデータにもとづく推定法は2012年度の業務報告書に示した。

３）伐採率と残存木の死亡率をパラメータとする炭素動態のシミュレーション法

a. 単伐採による影響評価　本解析はバイオマス、CWD集積量さらに純生態系生産力（ＮＥＰ）の伐採後の経年変化をシミュレーションするものである。その要点は2012年度の業務報告書に示したが、“b.長期管理の影響評価シミュレーション”の基礎モデルでもあるため説明する。シミュレーションは図(1)-２に示すコンパートメントモデルを採用した。伐採率と伐採後の死亡率が両者間で大きく異なった観測結果にもとづき、バイオマスは胸高直径が30-50㎝の中径木と50㎝以上の大径木の二つに分けて評価した。両者による純生産速度（①：NPP=13.75 t/ha/y）は伐採前後で変化せずに一定とした。NPPの中径木と大径木間での配分比はそれらのバイオマスに比例するとした（②）。伐採後のCWDは(伐採前の残量)＋(伐採時の残材)＋(伐採後の枯死起源遺体)の3種から構成されるとした。(伐採前の集積量)は未伐採区であるP4の値（⑥：32t/ha）を採用し、(伐採残差)はベルトトランセクト7.2haでの観測結果にもとづき伐採量の25％とした(⑦)。(伐採後の自然枯死起源のCWD)は中径木と大径木のバイオマスと枯死率から推定した（③と④）。これらCWD全体の分解量（⑤）は分解が指数関数で近似できるものとし、平衡系（NPP=HTR(従属栄養生物による分解量)）から求めた分解率($\mu = 0.43\,y^{-1} = 13.75 \div 32$)を採用した。これらの条件で目的変量の伐採後50年間の経年変化をシミュレーションした。



図(1)-2. 森林生態系における大形材器官の動態。伐採前（左図）は各コンパートメントにおい動的平衡状態が維持されていると仮定する。右図は伐採後のモデル。

b. 長期管理の影響評価　この解析では、目的変量として単伐採による影響評価のシミュレーションの変量に木材収穫量も加えた。伐期と伐採率と枯死率上昇の継続期間（Td)の３種類を独立変量とし、施業を160年間継続した場合の影響をシミュレーションした。伐期は30年（現状）と、50年さらに80年の長伐期に変化させた場合を想定した。伐採率と残存木の枯死率との間に正の相関があることが本研究で確認できたが、その関係を定量化するまで至らなかった。そこで、本シミュレーションでは、枯死率は伐採率に比例するものと仮定し、本調査地での値（3-ha調査区）と伐採されていないPasoh森林保護区内の50ha Plotでの値から求めた下記関係を用いた（表(1)-1参照）。

中径木：　枯死率　＝0.259×伐採率（中径木）＋　0.00333　　($year^{-1}$, %)

大径木：　枯死率　＝0.0605×伐採率（大径木）＋ 0.0251　　($year^{-1}$, %)

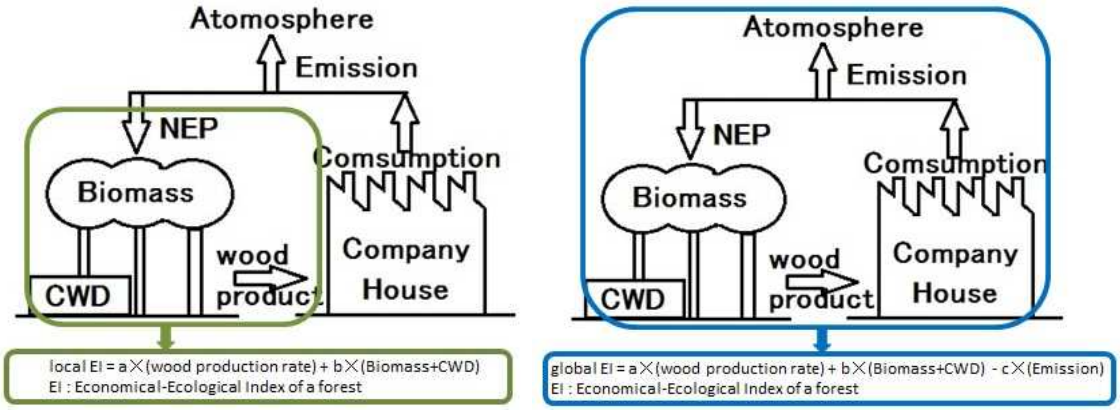
残存木の枯死率の増大現象が、伐採後少なくとも６年間は続くことが本研究で確認できたが、その継続期間は不明である。そこで、本モデルでは５年間、10年間、20年間の３通りで計算した。10年間が現状にもっとも近いものと考えるので、５年と20年の2ケースは、それぞれ施業方法の改善により短縮化できた場合とさらに影響が強く現れた場合に相当する。

160年間の施業による森林の価値を森林評価指数（EI: Economical & Ecological Index of a forest）として、木材収穫量に環境機能を合わせた基準で評価した（図(1)-３）。木材収穫量は160年間の操業での平均的な年間生産速度で評価し、環境機能は二つの基準で評価した。その一つは対象森林が分布する地域環境を注目した場合で（図(1)-3の左図）、環境評価変量として160年間のバイオマスとCWDの平均集積量の合計値を採用した。このパラメータは治水治山機能や生物多様性さらには木材の質にも関係していると推定できる。他の一つの環境評価基準は地域環境に加えて地球環境への効果を考慮したもので、地域環境変量から大気への炭素放出速度（平均木材収穫量-NEP）を減じた量で評価した(図(1)-３の右図)。この炭素放出量は毎年収穫された木材と等量の木材が事業所や家庭で消費された場合での大気への炭素の負荷量を現わす。それぞれのEI値は下式で計算した。

地域 EI = a×平均木材収穫量　+　b×（バイオマス＋CWD)　　(1)式

地球 EI =地域 EI -　c×（平均木材収穫量-NEP)　　(2)式

これらの変量はすべて炭素量で評価し、(バイオマス＋CWD)はその最大値をとる伐採前の値（最大集積量）に対する相対値、平均木材収穫量は30年伐期で残存木の死亡率上昇が発生しない場合の値（最大収穫量）に対する相対値、（平均木材収穫量 － NEP）は伐期30年で死亡率上昇がない場合の値（最大放出量）に対する相対値で評価した。a，b，cは各パラメータに対する重みづけ係数である。b,cは地域さらに地球環境に対す単位炭素当たりの機能価値評価係数で、b/aさらにc/aはそれらの木材価格に対する割合を示す。



図(1)-3.　160年の択伐施業で誕生する森林の評価モデル。左は木材生産量に地域環境を考慮した場合の模式図、右図はさらに地球環境を考慮した場合の模式図。詳細は本文参照。

（２）インドネシアの調査地　（ハリムンサラック山国立公園地域）

ハリムンサラック山国立公園は、ハリムン地域の40,000haがまず1935年に自然保護区に指定され、それが1992年に国立公園になった。2003年に別の保護区であったサラック地域を統合して現在の113,357haの国立公園となった。この時に、両者をつなぐコリドー地域2,437haも、自然度が高い両地域を繋ぐ地域として重要であるとして国立公園に編入された。国立公園に併合される以前のコリドー地域は林業公社が管理する地域で、植林もかなりの面積にわたって行われていた。また周辺住民も本来は違法であるが、かなり自由に林地で薪、木材を収穫したり、畑を開墾したりしていた。さらに1998年の政変とその後の混乱の期間には、無法状態に近くなり、多くの樹木が伐採されてしまった。2003年に国立公園に併合されてから、公園管理事務所のスタッフを中心として森林の保全を進める努力がなされて現在に至っている。

コリドー地域2437ha全体の植生の経年変化を調べるために、1989、2003、2007、2008年のLandsatデータを解析した。

衛星画像では種組成などは細かな違いはわからないので、コリドー地域の22カ所に100～400m^{2}の調査区を設定し、その中の植生を調べた。

この地域で森林劣化の大きな原因となっているのは、コリドー地域内やその周辺で生活している地域住民である。公園管理事務所職員によるパトロールも行われているが、現実問題としてすべてを取り締まることはできない。住民自身が森林を守ろうという意欲を持たない限りは、森林減少を止めることはできないであろう。住民の意識を変え、森林面積を増やすために考えられた一つの施策に、住民参加による植樹活動がある。インドネシアのNGOらが進めているが、本調査でもその一つを実行して、有効性を検討することにした。具体的にはコリドー内のガレホンという村の周辺10haに約5000本の苗を住民を中心として植える実験を行った。

４．結果及び考察

（１）IFSARデータ解析による択伐林班のバイオマス回復状況

現地での毎木調査結果にもとづくバイオマス量との照合の結果、IFSARデータからの推定法が緩傾斜地において有効であることを確認した。そこで47B小林班（43ha）の内、緩傾斜地33haをIFSARによるバイオマス推定の適用可能域と判断した。そして本適応可能域のバイオマスを、25m×25mのグリット毎に推定した。この結果，2012年現在での樹木の平均バイオマスは257 ton/haとなった（図表は2012年度業務報告参照）。地点間で現存量が大きく異なり、それには元の植生、伐採強度、土質、地形さらにギャプとの位置関係などが関連していた。たとえば、集材場所などの大きなギャップの周辺木では枯死した林冠木が多く存在した。これらの結果は、伐倒木の選抜において立地環境や大きなギャップをつくらないように分布パターンを配慮することの重要性を示唆している。

（２）残存林冠木の枯死率

2ヶ所のベルトトランセクトにおける大径残存林冠木（胸高直径≧50㎝）の伐採後6年間の平均枯死率は無伐採地に比べ明瞭に高かった（表(1)-１）。それらの枯死率と伐採率および路網密度との相関を調べた結果、円形調査区の資料からは枯死木からの半径15ｍの面積を評価単位とした場合、伐採率の高いグループの方が低いグループより枯死率が有意に高かく(表(1)-２)、路網率の高低グループ間では有意な差が認められなかった。一方、樹勢から判断した林冠木の健全度は、伐採率の高低間で有意差がなく、伐採後の枯死率の高いグループや路網密度が高いグループほどそれぞれの低いグループに比べ有意に健全度が低かった（表(1)-２）。健全度は枯死確率と有意な相関を示す測度である[4)]。すなわち、この関係は、伐採後初期段階の枯死率には伐採の直接の影響（伐採時のダメージや近接林冠木が欠如したことによる環境変化）が原因していることを示唆し、その後の死亡率は初期段階で発生した枯死率や路網の存在が原因となっていることを示唆している。その結果として、伐採による林冠木の死亡率の増大現象は、直接原因から間接原因に移行しながら広域に波及していくものと推察される。

表(1)-1. 残存林冠木（胸高直径(D)≧30cm）の伐採後6年間の平均枯死率

		4.2-ha ベルトトランセクト	3.0-ha ベルトトランセクト	成熟林 50-ha Plot
伐採率（本数%）	D≧30cm	30	21	0
枯死率（%/年）	D≧30 cm	3.52	5.97	3.02
	30-50 cm	3.01	5.25	3.30
	D≧50 cm	6.76	7.71	2.51

中径木（D=30-50 cm）の枯死率は無伐採地と大差なかった。2ヶ所のベルトトランセクトの伐採率は、D≧30㎝の林冠木を対象とした場合、それぞれ21％と30％であった（表(1)-1）。しかし、伐採対象木の大部分がD≧50㎝の大径木に偏っている。伐採前の資料があるP-１とP-2のD≧30㎝の平均伐採率は34％であったが、中径木と大径木に分けて伐採率を評価すると、それぞれ7.4％と85.7％と大きな違いが存在した。大径木ではバイオマスで評価した伐採率は93％に達していた。この伐採率の差が、伐採後の枯死率に影響したものと推察できる。

表(1)-2. 上：評価単位面積を変えて伐採率で高低の2グループに分類し、両者間での枯死率の有意差を検定した結果。単位面積は、ベルトトランセクト区では方形面積サイズを、円形プロットでは枯死木からの距離を変えている。下:上と同様に評価単位面積を変えて、伐採率、路網密度、伐採後の枯死率の高低でそれぞれ2グループに分類し、両者間での評価した健全度の有意差検定結果。

伐採率 低/高

	ベルトトランセクト				枯死木を中心とした円形Plot			
方形	n	R²	枯死率	伐採率	半径	n	R²	枯死率	伐採率
10×10	22/7	0.012	64.52/62.1	0/54.3	5	21/4	0.1718	49.10/100*	0/54.2
15×15	21/6	0.0664	38.20/55.00	0.8/49.2	10	18/7	0.099	20.6/36.7	2.8/45.6
30×30	20/38	0.1632	5.80/9.62	14.2/36.4	15	13/12	0.2135	6.63/9.21**	9.0/34.2
30×40	22/46	0.0131	5.53/5.19	15.7/35.2	20	8/17	0.004	4.50/6.86	13.8/34.4
30×60	14/62	0.011	5.60/3.90	10.5/8.9	25	6/19	0.0525	5.07/4.41	17.7/28.3
30×100	8/74	0.103	6.02/3.45	15.7/31.7	30	8/17	2E-0.5	3.66/3.62	17.3/28.3

*: P<0.05,**: P<0.001 2群の平均値に差有り

伐採率 低/高

方形	n	R²	枯死率	健全率
10×10	41/18	0.0008	1.17/1.28	89.0/91.7
15×15	55/32	0.0008	2.99/0.93	83.3/81.6
30×30	23/72	3E-0.5	5.04/3.69	84.5/80.4
30×40	22/72	0.001	5.53/3.32	81.1/81.9
30×60	14/62	0.016	5.60/3.93	80.2/84.6
30×100	8/76	0.0452	6.02/3.36	83.9/82.1

路網率 低/高

方形	n	R²	枯死率	健全率
10×10	89/17	0.0126	1.53/1.08	83.1/91.2
15×15	91/36	0.0542	1.96/2.62	85.6/78.3
30×30	37/58	0.0315	4.06/3.99	88.5/76.3*
30×40	44/50	0.0644	3.70/3.95	86.3/77.7
30×60	38/38	0.1022	3.85/4.62	86.3/81.3*
30×100	33/51	0.2048	3.29/3.82	87.2/79.1***

*:P<0.05,**P<0.01,***P<0.001 2群の平均値に差有り

枯死率 低/高

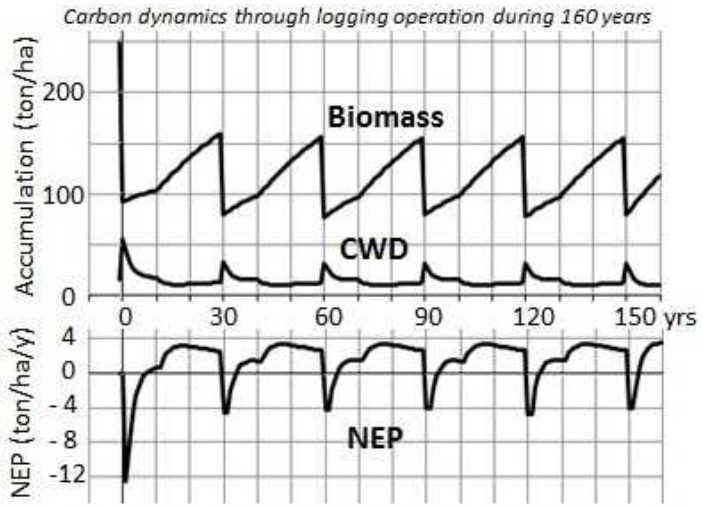
方形	n	R²	枯死率	健全率
10×10	94/12	0.0065	0/12.84	87.1/69.2
15×15	70/17	0.0242	0/11.44	85.0/72.9
30×30	55/40	0.0969	0.72/8.55	86.7/74.2*
30×40	48/46	0.1329	0.96/6.84	87.0/76.2*
30×60	29/47	0.2325	1.93/5.66	90.5/79.7**
30×100	41/43	0.1676	1.89/5.26	87.6/77.2***

（３）伐採率と残存木の死亡率をパラメータとする森林評価値のシミュレーション

１）　単伐採による影響評価　このシミュレーションの結果は2012年度の業務報告書に記載した。すなわち、現行の伐採率を採用し、伐採により増大した枯死率が今後も継続するとした場合(model-1)、現行の30－50年伐期ではバイオマスの回復は期間内には伐採前の半分にも達しない。さらに、伐採残材とその後の大径林冠木の高い枯死率により大量のCWDが生産され、それらの分解により生態系からの大量の炭素が放出される。その放出量が伐採後の植生再生により固定される炭素量と等しくなるのに伐採後42年間かかる。すなわち、伐採後42年間は、伐採跡地は炭素の放出源とし機能することを意味している。伐採率をmodel-1と同じとし、残存木の枯死率が伐採前程度に抑えることができた場合（model-2）は、植生の回復が早く、50年間で79％まで回復し、炭素放出の期間は10年まで短縮することができる。さらに伐採率を現在の半分にした場合（model-3）は、伐採後30年で伐採前の85％まで、50年で91%まで回復することを示している。このシミュレーション結果は、ＲＩＬのプロトコール設定に当たって、伐期を通した純生態系生産力（ＮＥＰ）を考慮することの重要性を示している。

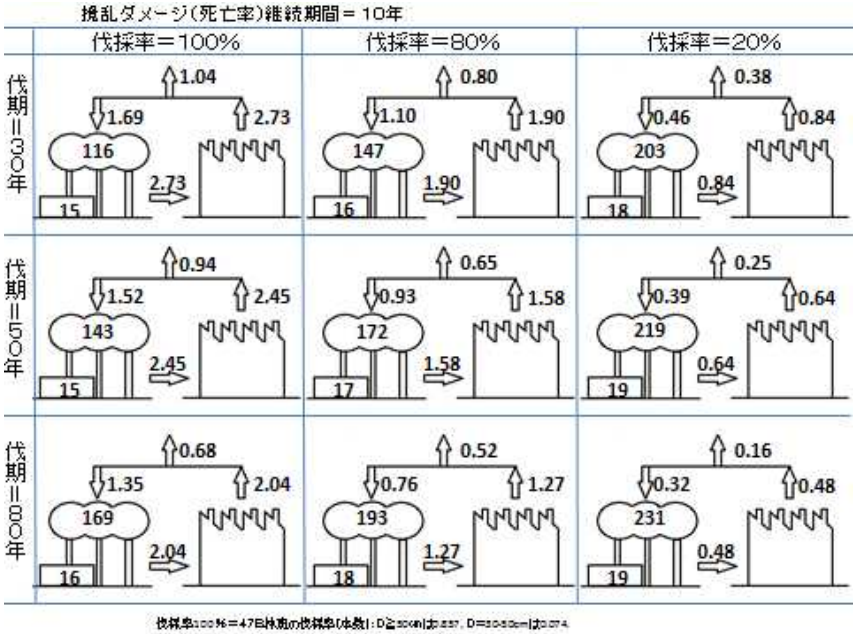
２）　長期管理の影響評価　伐期30年で伐採率100％、残存木の枯死率に対する影響期間（Td)を10年の条件で150年間管理した場合の計算結果を図(1)-４と図(1)-５の左上段に示した。バイオマスは初回の伐採で250 Carbonトン/haから100トン程度まで大きく減少するが次の伐期の30年間で

150トン程度まで回復する。その後150年間における5回の伐採に対しても同様なパターンを示し、150年間の平均バイオマスは116トンになる。各伐採後10年目で経年変化の変化率が変わるのは、枯死率の影響期間を10年とした条件による。CWDとＮＥＰも同様な経年変化パターンを示す。伐期30年の場合は150年間に6回の伐採施業が行われるが、それによる木材収穫量は年間当たりで2.73 Carbonトン/haと推定される。この収穫された木材は事業所や家庭で消費される。その年間消費量が年間木材収穫量と等量であるとすると、この森林＋木材消費系から大気中へ放出される年間炭素量は1.04炭素トン/(森林１ha+消費地)と推定できる。



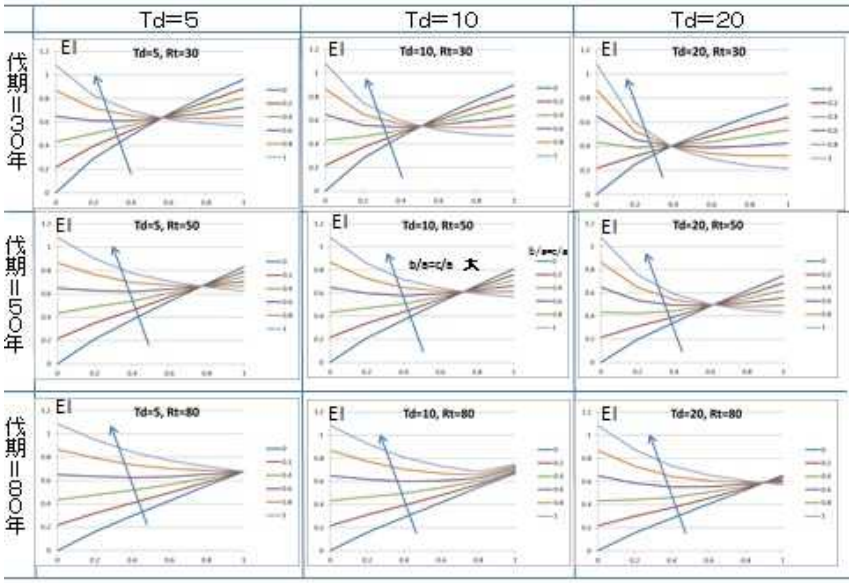
図(1)-4. 図2に示すコンパートメントモデルによるバイオマス、CWD、ＮＥＰの経年変化。伐期30年、伐採率100%、残存木の枯死率に対する影響期間を10年の条件で150年間管理したケース。値は炭素量で示す。

図(1)-５は枯死率への攪乱期間を10年と固定し、伐期と伐採率を変化させた場合の、各コンパートメントにおける平均炭素集積量と平均炭素流量の変化を示す。伐採率100%で3種類の伐期間の結果を比較すると、伐期が長くなるに伴い森林でのバイオマスとCWDでの平均炭素集積量は増大し、平均木材収穫量と大気への炭素放出速度が減少する。その変化率を80年伐期÷30年伐期で評価すると炭素集積量では1.46倍、木材収穫量では0.75倍、大気への放出速度では0.65倍となる。すなわち、木材収穫量は25%減であるが地域環境の評価要素とした炭素収穫量は46%増、地球環境の負の要素とした大気への炭素放出速度は35%減少することができる。ここに、EI値で森林を評価する意味がある。同様な変化は、伐期を固定して伐採率を減少させた場合にも発生する。



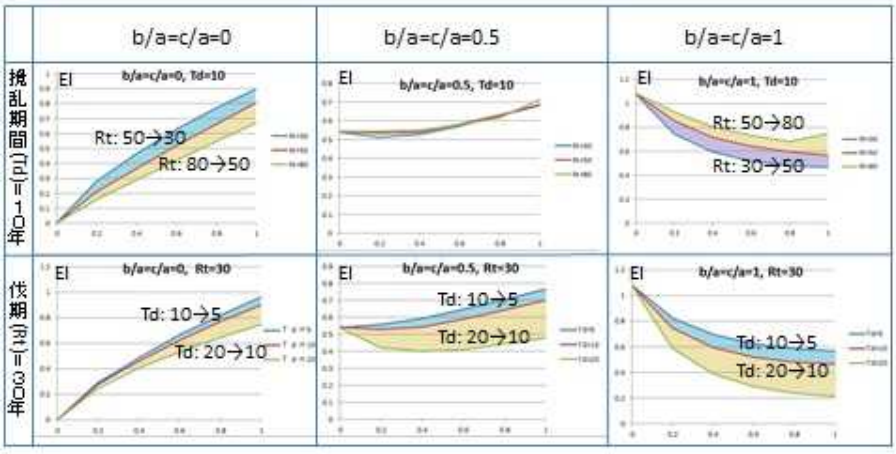
図(1)-5. 残存木の枯死率に対する影響期間を10年で固定し、伐期と伐採率を異なる条件で150年間択伐管理した場合の炭素動態のシミュレーション結果。

伐期と枯死率に対する影響期間(Td)を各3条件とし、伐採率をパラメータ（X軸）として長期択伐施業した場合の森林の価値（EI）を図(1)-６に示す。伐期30年でTd=10年のシミュレーション結果では、重みづけ係数が0.6程度でのEIは伐採率関係なくほぼ一定値をとるが、係数がそれより小さく評価すると高い伐採率ほど森林の価値が高く、0.6以上で評価すると伐採率が低いほどEIが高くなる。伐採率が47林班の伐採率（大径木で86%、中径木で7%）の50%程度であれば重みづけ係数の違いにかかわらずEIは一定値を示す。すなわち、ステークホールダーがこのEIの境界値より高い森林価値を求める場合は、重みづけ係数を0.6以上に評価し伐採率を50%以下に抑えるか、重みづけ係数を0.6以下に評価し伐採率を現行の50%以上にするにする方向のいずれかにインセンティブが働く。Tdを10年と固定して伐期を変えた場合、EIの境界値を示す伐採率は伐期が長くすることにより高くなる。伐期が80年の場合は、現在の伐採率付近で境界値が発生する。枯死率への影響期間(Td)の短縮は、伐期を長くするのと同様な効果があることが図から読み取れる。



図(1)-6. 伐期と枯死率に対する影響期間を各3条件で固定し、伐採率をパラメータ（X軸）として長期択伐施業した場合の森林の価値（EI）。各図中の6本の曲線は木材収穫量に対する地域環境と地球環境の評価の重みづけ値（(1)式と(2)式で示すb，c）をb/a=c/aとして０から１まで6段階に変化させた場合の変化を示す。

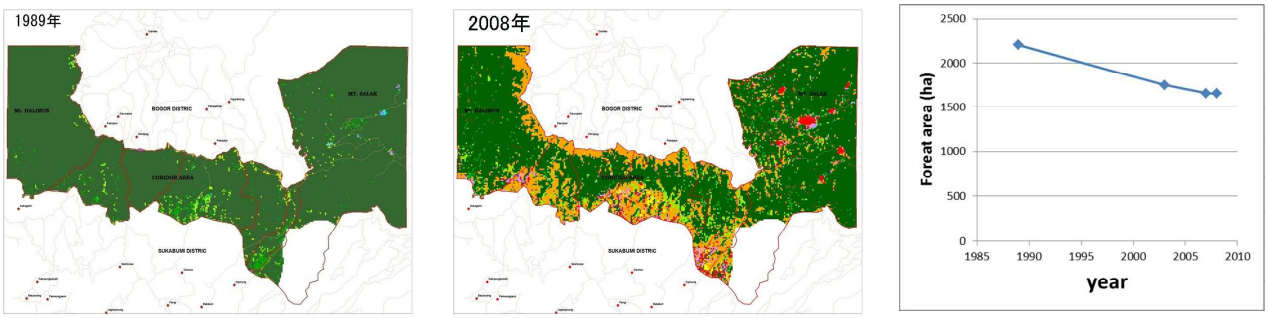
伐期の長期化およびTdの短縮化が森林価値（EI）に与えるプラス効果を図(1)-7に示す。上段の図はTd=10年で固定し、伐期を長期化した場合の効果で、下段は伐期を30年で固定しTdを短縮化させた場合の効果を示す。長期化の効果は、重みづけ係数が0.5以下では現れず、短伐期の方がEIが高い。0.5以上に環境効果を重みづければ伐採率の違いにかかわらずプラス効果が現れる。一方、Tdの短縮化は環境評価の重みづけの大小にかかわらず、当然のことであるが伐採率が高いほど大きく現れる。伐期30年でTd=10年が現在の施業ケースに近い。この条件は、RIL施業よりも従来型の施業に近いものと推察する。したがって、REDDの視点から、環境への重みづけ値を設定したうえで、伐期の設定とTdの短縮化にむけた施業方法の導入が必要と判断する。



図(1)-7. 伐期の長期化およびTdの短縮化が森林価値（EI）に与えるプラス効果図。上段は伐期（Rt）の変化による効果、下段は枯死率への影響期間を短縮化することによる効果を示す。

（４）ハリムン-サラック山国立公園コリドー地域の森林変化

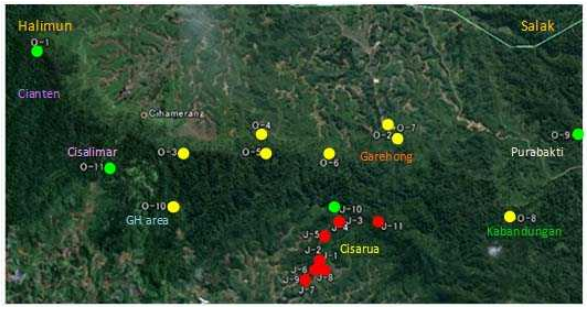
1986年と2008年のLandsatの衛星画像を図(1)－8に示す。森林と判定されている面積は1989年には2199.50haあったが、2008年には1655.35haになっており、この間に544.15ha減少していた。2003年に国立公園に編入されてからも森林減少率はあまり変化していない。なお濃い緑で示した森林以外に低木林、ゴム園、茶畑、草地、農地などに植生判別がなされているが、現地踏査の結果とそれらの判別には一致しない点もあり、Landsatデータでは細かな判別は難しいと思われた。



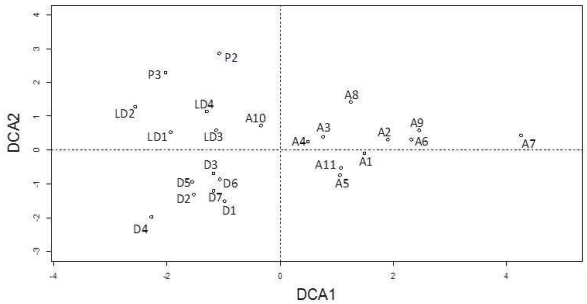
図(1)-8. ハリムン-サラック山地域の1989年～2008年の森林面積の変化。濃い緑が自然林。

（５）コリドー地帯の森林の組成

衛星画像では植生変化の詳細は分からないので、図(1)-9のようにコリドー地域の中に22個の調査区を設定してそれらの植生を調べた。南部のチサルア側には図中で赤丸で示した植林放棄地が多かった。住民の入り込みも多く、森林の状態は一番荒廃していた。中央部は元々自然林であるが比較的強くかく乱を受けて、二次林状態になっている地域が多かった。コリドーの両端側に近づくにつれて自然状態に近い森林が増加した。それらの種別胸高断面積合計を使ってDCA（Detrended Correspondence Analysis）分析を行い、調査区間の類似度を調べると、図（1）-10のようになった。図の右側ほど強度のかく乱を受けた場所が位置しており、およそ畑放棄地、植林放棄地、強度撹乱林、弱度撹乱林の順に配列していた。

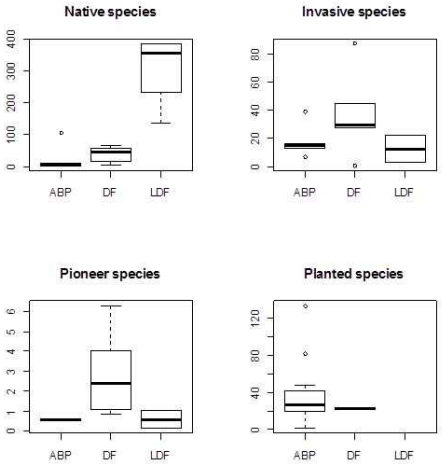


図(1)-9. コリドー地域に設置した調査区の位置。



図(1)-10. 調査区のDAC分析の結果。

それぞれの植生の現存量をYamakura et al.[6]の回帰式を使って、予測した結果が図(1)-11である。森林タイプを植林放棄地（ABP）,強度撹乱林（DF）、弱度撹乱林（LDF）に分け、さらに樹種を自然林種、移入種、自生先駆種、植林種に分けてある。弱度撹乱林は平均すると400ton/haほどの現存量があり、ハリムン地域で自然状態にある天然林で見られる現存量とほとんど変わらない。強度撹乱地では現存量は100ton/ha以下であり、自然林よりも大きく減っている。さらに種類も*Maesopsis eminii*、*Calliandra calothyrsus*など移入種が多い。植林放棄地ではまだ植樹された樹種が多く、自然林の樹種はごくわずかである。Landsatの衛星画像の解析では弱度と強度攪乱林はいずれも森林のカテゴリーに入れられているが、現存量が大きく異なる。



図(1)-11. 植林放棄地、強度かく乱林、弱度攪乱林の地上部現存量。

（６）住民参加型の植樹活動

2011年の秋にインドネシアのNGO組織と共同でコリドー地域のガレホン地区で住民参加型の植樹作業を行った（図(1)-12）。約10haの地域に約5000本の苗木を植えた。樹種はツバキ科の*Schima wallichii*（和名　イジュ）を中心にして26種余りが植えられた。苗は住民たちが近くから山引き苗を集めたり、種子から栽培したりしたもので、植樹作業の半年ほど前から準備してもらったものである。イジュは、この地域の極相に近い林で優占する種のひとつでるとともに、ほかの極相林樹種とは異なって遷移初期から発生しやすい性質があり、植樹も容易であるので選ばれている。ほかにはブナ科、クスノキ科、フトモモ科などの種があった。

この地域で森林が減少する主な要因は地域住民による違法な森林利用であり、それを減らさない限りは森林減少を止めることができない。かといって人口稠密なジャワ島では域外に住民を強制移住させるなどの方法で排除することも難しい。住民も植樹活動などによってある程度の利益を得、ある程度は公園内の利用を認めるなどの妥協的処置をしながら、共存の道を探ることが最善ではないかもしれないが、現実的な方法であろう。

植樹作業に出かける住民。

植樹を記念したセレモニー。

植樹作業のお礼に渡すヤギ。

皆で参加して進める植樹。

図(1)-12. 植樹作業の状況。

平均樹高が70cmの苗を植えた。翌年の5月に再測定をしたところ、約6割の苗が生き残っていた。生き残った個体では約40cm樹高が伸びていた。植樹活動のお礼として村人に渡したヤギも繁殖して子供を増やしていた。

５．本研究により得られた成果

（１）科学的意義

これまで木材収穫量と森林が持つ環境機能の両者を統一して森林価値を評価することが困難であったが、今回の解析モデルで可能となった。

（２）環境政策への貢献

＜行政が既に活用した成果＞

特に記載すべき事項はない。

＜行政が活用することが見込まれる成果＞

REDDに関わる行政において、長期の森林管理システム構築に向けた具体的な提言ができる。

６．国際共同研究等の状況

- マレーシア森林研究所（FRIM)と研究協力に関する包括協定締結にもとづき、本サブテーマを実施した。主なカウンタパートは、Wan Rashid Kadir（FRIM)。
- 国際共同研究計画名　ハリムンーサラック山国立公園コリドー地域の森林再生の研究　の下、カウンターパート Atih Sundawiati, Wardi Septiana　（ハリムンーサラック山国立公園管理事務所）と共同研究を行った。

７．研究成果の発表状況

（１）誌上発表

＜論文（査読あり）＞

1） Rosleine D and E. Suzuki: Tropics, 21, 91-103, 2012
“Secondary Succession at Abandoned Grazing Sites, Pangandaran Nature Reserve, West Java, Indonesia.”

＜その他誌上発表（査読なし）＞

特に記載すべき事項はない。

（２）口頭発表（学会等）

1） Hamada, T., T. Yoneda, T. Okuda and W.R. Kadir: ATBC Bali, Bali, Indonesia, 2010
“Soundness assessment of canopy trees at a 50-ha Plot in the Pasoh Forest Reserve.”
2） 原田晃太郎、米田健、Wan Rashida Kadir:第67回日本森林学会九州支部大会（2011）
「マレーシアでのSMS択伐施業法が残存する林冠木に与える影響」
3) 上田美佳子、米田健、奥田敏統、Wan Rashida Kadir:　第67回日本森林学会九州支部大会（2011）
「低地性熱帯多雨林における択伐施業跡地の林分構造について」
4) Rosleine, D. and E. Suzuki: 第59回日本生態学会（2012）
「Forest rehabilitation process in corridor area of Halimun Salak National Park (HSNP), West Java」
5) 上田尭史、米田健、Wan Rashida Kadir: 第59回日本生態学会（2012）
「マレーシアでのSMS択伐施業が林分構造に与える影響：伐採率・林道密度と択伐後5年間の林冠木動態との関係」
6) 濱田肇次、米田健、奥田敏統、Wan Rashida Kadir: 日本熱帯生態学会　(2012)
「マレーシア・Pasoh森林保護区における健全度を用いた大径木の枯死予測」
7) ビクトリア莉花久保田、米田健、奥田敏統、Wan Rashida Kadir: 日本熱帯生態学会（2012）
「IFSARデータを用いた熱帯雨林における択伐施業跡地のバイオマスの回復の評価」
8) 上田尭史、米田健、Wan Rashida Kadir: 日本熱帯生態学会（2012）
「マレーシアでのSMS択伐施業が林分構造に与える影響評価：伐採率・林道密度と択伐後6年間の林間木動態との関係」
9) Septiana W, E Suzuki, D. Ekawati, S. Mulyati, A. Sundawiati and D. Rosliene: 日本熱帯生態学会(2012)

「GIS Analysis for Land Cover Changes In Halimun- Salak Corridor, Gunung Halimun Salak National Park - Indonesia」
10) Sundawiati A, E. Suzuki, M. Suparmo, W. Septiana,M. M. S. Giri, S. Mulyati, D. Ekawati, D. Rosliene: 日本熱帯生態学会(2012)
「The permanent plots in Gunung Halimun Salak National Park, Indonesia」
11) Yoneda, T.: FRIM Seminar, Kuala Lumpur, Malaysia 2012
“Dynamics of canopy trees and NEP of a regenerating forest from logging under SMS.”
12) ビクトリア久保田、米田健、奥田敏統、Wan Rashidah Kadir:九州森林学会 (2012)
「IFSARデータを用いた熱帯雨林におけるバイオマス量推定の可能性」
13) 上田尭史、米田健、Wan Rashidah Kadir: 九州森林学会(2012)
「マレーシアでのSMS択伐施業が林分構造に与える影響評価 －伐採率，林道密度と択伐後6年間の林間木動態との関係－」
14) 新原一海、米田健、Wan Rashidah Kadir: 九州森林学会(2012)
「マレーシアSMS法による択伐跡地における下層植生の再生」
15) Suzuki E, D. Ekawati, A. Sundawiati, W. Septiana, S. Mulyati, and D. Rosleine: The 55th Symposium of the International Association for Vegetation Science, Mokpo, Korea, 2012
“Forest Management and Rehabilitation in Gn. Halimun-Salak National Park, West Java.”
16) Rosleine D, and Suzuki E.: 第60回日本生態学会 (2013)
「The recovery process of degraded forests in two conservation areas, West Java」

（３）出願特許

特に記載すべき事項はない。

（４）シンポジウム、セミナー等の開催（主催のもの）

特に記載すべき事項はない。

（５）マスコミ等への公表・報道等

特に記載すべき事項はない。

（６）その他

特に記載すべき事項はない。

８．引用文献

1) Nishimura, S., T. Okuda & N. Supardi (2009) Post logging biomass recovering process in the lowland dipterocarp forest in Peninsular Malaysia. 35-38. Progress report of NIES-FRIM-UPM Joint Research Project on tropical forest ecosystem and biodiversity.
2) Yoneda, T., H. Mizunaga, Y. Tashiro & T. Okuda (2004) Effects of a storm on NEP in a tropical rain forest, Pasoh Forest Reserve. 17-23. Annual report of the NIES-FRIM-UPM Joint Research Project on tropical forest ecosystem and biodiversity.

3) 米田健 (2003) 枯れ木の量　－大倒木は成熟林のあかしー.“森をはかる”　日本森林学会 「森林科学」編集委員会編, 26-29.　古今書院.

4) Hamada, T.,　T. Yoneda, T. Okuda & W.R. Kadir (2010) Soundness assessment of canopy trees at a 50-ha Plot in the Pasoh Forest Reserve. P01-41, ATBC2010, Bali.

5) Niiyama, K., T. Kajimoto, Y. Matura, T. Yamashita, N. Matsuo, Y. Yashiro, A. Riph, A.R. Kassim & N. Supardi (2010)　Estimation of root biomass based on excavation of individual root systems in a primary dipterocarp Forest Reserve, Peninsular Malaysia. J. Tropical Ecology 26; 271-284.

6) Yamakura, T. Hagihara, A., Sukardjo, S. & Ogawa, H. (1986) Aboveground biomass of tropical rain forest stands in Indonesian Borneo. Vegetatio, 68:71-82.

(2)炭素ストックの強化による劣化抑止プログラムの改良策とその実現性に関する研究

（独）国立環境研究所
地球環境研究センター炭素循環研究室　梁乃申
環境計測研究センター環境情報解析研究室　小熊宏之

〈研究協力者〉
国立環境研究所地球環境研究センター炭素循環研究室　寺本宗正
譚　正洪
マレーシア森林研究所（FRIM）　Christine Dawn Fletcher
Saw Leng Guan

平成22～24年度累計予算額：25,386千円
（うち平成24年度予算額：7,500千円）
予算額は、間接経費を含む。

［要旨］

本研究は、熱帯林における森林経営や伐採過程に伴う地上部、地下部の炭素ストックの変動や施業後の残渣の分解過程を明らかにし、さらに伐採過程及び土地利用変化に伴う熱帯林の劣化メカニズムを解明することを目的とする。そのために、マレーシア半島中央部のネグリセンビラン州にあるパソ低地熱帯雨林、および北部のペラ州の丘陵地帯にあるテメンゴール施業区に設置されている調査プロットにおいて、土壌呼吸の連続または集中測定を行った。パソの低地天然林において根切り（トレンチ）処理を行い、大型マルチ自動開閉チャンバーシステムを用いて測定した結果、総土壌呼吸量は約38 tC $ha^{-1}yr^{-1}$であった。そのうち、土壌有機炭素分解（微生物呼吸）の寄与は約62.6%と推定された。また、土壌呼吸、特に根呼吸と土壌含水率との間には正の相関が認められ、低地天然林でも一次総生産（光合成）は土壌水分によって制限を受けていることが示唆された。携帯型自動開閉チャンバーシステムを用いたテメンゴール施業区においての測定結果では、伐採直後、根呼吸の停止によって土壌呼吸速度は減少していた。しかし、その後に土壌呼吸速度が顕著に上昇したことから、枯死根の分解が活発に進行していたものと考えられる。また、低地熱帯雨林と丘陵熱帯雨林において、択伐施業に伴う林床部炭素放出量を測定したところ、天然林（6.93 μmol CO_2 m^{-2} s^{-1}）に比べて伐採後約7年経過した低インパクト伐採跡地における土壌呼吸速度は6.88 μmol CO_2 m^{-2} s^{-1}であった。対して通常の持続可能な経営システム法（Sustainable Management System: SMS）の伐採跡地での土壌呼吸速度は約19%低下していた事が明らかになった。同様の調査を二次林やゴム農園、アブラヤシ農園において実施した結果、土地利用変化がバイオマス及び土壌有機炭素を減少させ、熱帯生態系を劣化させていることが示唆された。さらに、施業前後の土壌有機炭素動態（土壌呼吸速度の変化）や残渣の分解過程およびバイオマスの変動から、通常のSMS伐採法と比べ、伐採率を30%とした低インパクト択伐方式による施業では、択伐後の初年度に約2,100 US$ ha^{-1}のREDDクレジットが得られるものと試算された。

［キーワード］
熱帯林、炭素、伐採、土地利用変化、土壌呼吸、REDDクレジット

１．はじめに

熱帯林は全陸域面積のわずか7%を覆うにすぎないが、地球上の生物種の半数以上が熱帯林地域に生息し、世界で最も多様な動植物を含む生態系が作り上げられ、生物多様性の観点から「種の宝庫」とよばれている。また、高い生産性機能をもつ熱帯林は、全陸域上の総一次生産量（植物の光合成による大気中のCO_2の吸収量［Gross Primary Production: GPP］）の約35%に寄与し、炭素ストックとしては、全球の植物バイオマスの約57%を占めている。そのため、地球規模の炭素循環という点では最も重要な役割を担っている生態系であるといえる。しかし1960年代から、熱帯地域では無秩序な商業伐採、アブラヤシ農園やゴム農園などの開発、農牧畜地域への土地利用の転換、伝統的慣行に従わない略奪的な焼畑やエルニーニョ現象に伴う大規模森林火災などによって、平均約1,500万 ha yr^{-1}の速度で熱帯林の減少、劣化が進み、生物多様性、地球環境そして地域住民の生活に深刻な影響が現れている。例えば、IPCC第4次評価報告書によると、世界全体の人為起源的年間CO_2排出量の約2割（15億 tC）は、熱帯林を中心とした森林減少、劣化に起因するものである[1)]。したがって、多様な生物の生息地であり地球規模での気候形成に重要な役割を果たしている熱帯林を保全することの重要性は明白である。近年、熱帯林保全へ向けた持続的管理の手法がさまざまな地域で模索されているにもかかわらず、森林の減少、劣化の速度に歯止めはかかっていない。このような中、近年、熱帯林を中心とした途上国における森林減少による温室効果ガス排出の削減、森林劣化防止による排出の削減に関して、森林の持続可能な経営、森林炭素ストックの保全および森林炭素ストックの向上活動をプラスしたREDD＋（Reducing Emissions from Deforestation and forest Degradation; and the role of conservation, sustainable management of forests and enhancement of forest carbon stocks in Developing countries）が提案され、将来の気候変動緩和策における重要課題の一つとして、議論が続けられている。そして、熱帯林炭素ストックの現状把握および劣化のメカニズムの解明、特に人為活動が熱帯林の炭素動態に及ぼす影響を評価することは国際的な急務となっている。そこで、炭素循環の観測データからREDDクレジットを試算し、科学的根拠を提供することで、熱帯林管理法の改善によるREDD＋の有効性評価を向上させることが期待される。

最新版の地球規模での森林資源評価（Global Forest Resources Assessment 2010: *FRA* 2010）によれば、熱帯林は、世界最大の陸上の炭素吸収源の一つであり、年間約16億 tの炭素を吸収している[2)]。アジア太平洋地域の熱帯林の面積は全熱帯林の面積の15～16%にしか過ぎないが、1970年代における国際生物学事業計画（International Biological Program: IBP）の報告書によれば、この地域における年間の炭素吸収量は約6億 tであり、全熱帯林の炭素吸収量の約37.5%を占めている。一方、炭素の放出源として見れば、土壌微生物や小動物の有機物分解（微生物呼吸）と植物根の呼吸（根呼吸）を合わせた「土壌呼吸」により、熱帯林の土壌からは大量のCO_2が大気中に放出されている。近年Nature誌に掲載された論文によれば、2008年における全球の土壌呼吸量は年間約980億 tCと推定され、1989年から2008年の20年間で、地球温暖化によって土壌呼吸量は年間約1億 tCの速度で上昇したとされている[3)]。また、熱帯域の土壌有機炭素量は全陸域の土壌炭素

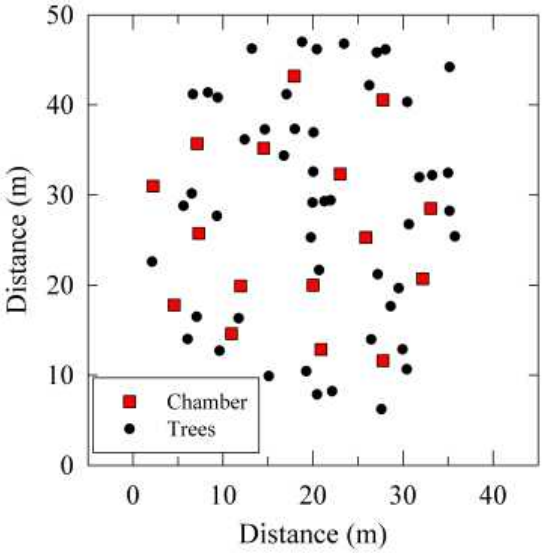
量（約15,500億 t）の約20%（約3,100億 t）であるが、その土壌呼吸量は全球の土壌呼吸量の約67%（657億 tC）を占めている。熱帯域の年間土壌呼吸量は、人為起源の炭素放出量（年間72億 t）の約9倍にも相当し、全陸域生態系の正味の炭素吸収量（年間10億 t）の約66倍に相当する量であると示唆されている。したがって、気候変動や森林減少、劣化によって熱帯林における土壌呼吸の速度が変動すれば、大気中へのCO_2放出量の変化を介し、全球レベルの炭素循環も著しい影響を受けることになる。なお、最近Science誌に発表された論文によれば、特に東南アジア熱帯林において観測データが圧倒的に不足していることから、全熱帯林炭素循環の推定結果の誤差が大きいことが指摘されている[4)]。

２．研究開発目的

東南アジアの熱帯林は、希少種を含む多様な生命が繊細な種間関係を築き上げた、極めて複雑な生態系である。しかし、日本のような温帯林に比べて、熱帯林の炭素循環に関する研究は極めて少なく、この地域の森林破壊、劣化の現状が非常に深刻な状況であることや、早急なCO_2の排出削減、吸収源対策の実施が望まれているという点から鑑みても、当該地域の炭素循環の解明は焦眉の急を要する課題である。こうした背景から、REDD+の実施活動による温室効果ガスの排出削減、吸収を定量的に把握するためには、有効な測定（Monitoring）、報告（Reporting）、検証（Verification）などの活動（MRV）を組み込むことが必要不可欠である。そこで、本研究では、土壌呼吸を指標として熱帯林の現状を把握し、熱帯林がどのように気候変動へ適応するのかを明らかにすること、さらには熱帯林の伐採過程や土地利用変化に伴う劣化メカニズムを解明することを目的とする。その上で、測定結果に基づき改良型劣化抑止プログラムの有効性の評価を向上するために必要な高精度なパラメータを提供する。さらにこれらの結果にもとづき、改良型劣化抑止プログラム（例えば低インパクト施業法）により森林の炭素貯留量及び放出量がどの程度改善可能か推定を行う。

３．研究開発方法

REDD＋におけるCO_2放出のベースライン設定を目的として、マレーシア半島中央部のネグリセンビラン州および北部のペラ州に設置されている熱帯林調査プロットにおいて、土壌呼吸に関する現地調査を行った。まず、これら調査プロットにおいて森林データおよびその立地条件に関するデータを収集した。具体的には、それぞれのプロットにおいて立木密度や材積量、種組成に関する既存データを収集するとともに、土壌の有機炭素密度及び物理化学特性の調査を行った。さらに、土壌呼吸速度の測定を行った。土壌呼吸速度測定システムは各サイトにおいて以下の通りである。



図(2)-1. 大型自動開閉チャンバープロット内の樹木（Trees）とチャンバー（Chamber）の位置。

（1） 低地熱帯雨林（ネグリセンビラン州）における調査

1） 低地天然熱帯林における土壌呼吸速度の測定

2010年12月に、パソ保護林（低地天然林：北緯2°58’、東経102°18’、標高75～150 m）の永久調査プロット（plot-1）において、50 m × 60 mの土壌呼吸サブプロットを設置した。プロットの中心において、国立環境研究所が開発した16基の自動開閉チャンバー（縦65 cm × 横50 cm × 高さ50 cm）を無作為に設置した（図(2)-1）。土壌微生物呼吸のみを測定するため、2011年2月、16基のチャンバーのうち8基のチャンバーについては、底面の1 m四方に沿って「根切り」（トレンチ処理）を行った後に、プラスチック板で土壌を仕切ることで、根呼吸の影響を排除した（図(2)-2）。したがって、根非除去（対照区：総土壌呼吸）と根除去（根切区：微生物呼吸）の2処理区をそれぞれ8反復設定したことになる。土壌呼吸速度の測定は、1基のチャンバーの上部開閉蓋を自動的に閉鎖して密閉し、チャンバー内のCO_2濃度変化を赤外線分析計（LI-840、Li-Cor社）を用いて測定することで行った。一つのチャンバーで測定している間、他のチャンバーは蓋を開けて上部を開放し、土壌条件を自然状態に戻している。1つのチャンバーの測定時間は225秒に設定し、16個のチャンバーの測定周期は1時間である[5)]。

図(2)-2．大型自動開閉チャンバーシステムを用いた熱帯雨林における総土壌呼吸（上）と微生物

呼吸（下）の連続測定。下の図は、トレンチ処理の様子を示す。

土壌呼吸速度の測定とともに、熱電対を用いて各チャンバー内の気温と深さ5 cmの土壌温度を測定した。また、16基全てのチャンバーについて、TDR型土壌水分センサー(Campbell社のCS616、4本；Vegetronics社のVH400、12本)で深さ10 cmでの土壌体積含水率を測定した。

2011年に連続して測定を行い、2012年も引き続いて連続測定を行った。これらの自動連続測定システムによって得られたCO_2濃度から土壌呼吸速度を算出するためには、環境省地球環境研究総合推進費課題「土壌呼吸に及ぼす温暖化影響の実験的評価（B-073）」において開発したプログラムを用いた[6)]。

土壌呼吸速度（R_s）の計算には(式2-1)を用いた。

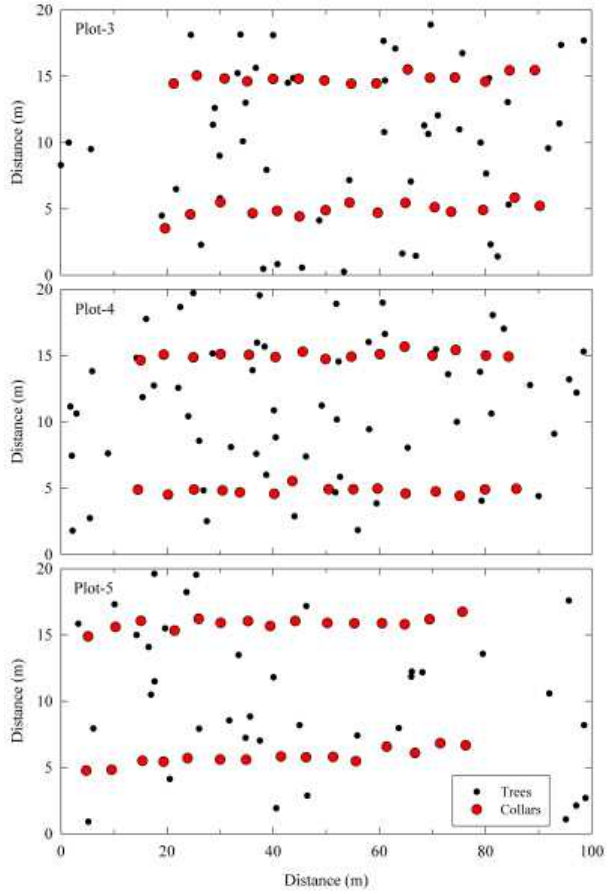
$$R_s = \frac{kPV}{S(T+273)}\left(\frac{\Delta C}{\Delta t}+\frac{C}{(1000-W)}\frac{\Delta W}{\Delta t}\right) \qquad (式2-1)$$

ここで、kは定数（1.2028）、Pは大気圧（kPa）、Vはチャンバー体積(cm^3)、Sはチャンバー底面積(cm^2)、Tはチャンバー内の気温(° C)、Cは平均CO_2濃度(μmol mol^{-1})、Wは平均水蒸気濃度(mmol mol^{-1})、$\Delta C/\Delta t$および$\Delta W/\Delta t$は、それぞれチャンバー内のCO_2濃度変化(μmol mol^{-1} s^{-1})と水蒸気濃度変化(mmol mol^{-1} s^{-1})である。

また、大量のデータを一括解析するために、個々の記録データの品質を簡便にチェックできる仕組みが必要となる。本研究で用いている計測システムでは、個々のチャンバー1回の測定につき、CO_2濃度等の呼吸速度計算に必要な要素を10秒間隔で約4分間、計23個のデータを記録している。土壌呼吸速度は、チャンバーの蓋が閉まった後のCO_2濃度の変化速度を計算することにより、式2-1を用いて算出する。そこで本研究では、a） 21個（蓋が閉まった直後の2データを除去）、b） 19個（aのデータから両端の1データずつを除去）、c） 17個（同両端の2データずつを除去）、のデータを使ってCO_2変化を計算し、a、b、c三者の濃度変化量が大きく変わらない場合に、そのデータが良質であるとした。判別式は(式2-2)と（式2-3）で表すことができる。

$$\frac{\left|\frac{\Delta C_a}{\Delta t_a}-\frac{\Delta C_b}{\Delta t_b}\right|}{\left|\frac{\Delta C_a}{\Delta t_a}\right|}\le\alpha \qquad (式2-2)、$$

$$\frac{\left|\frac{\Delta C_a}{\Delta t_a}-\frac{\Delta C_c}{\Delta t_c}\right|}{\left|\frac{\Delta C_a}{\Delta t_a}\right|}\le\alpha \qquad (式2-3)$$



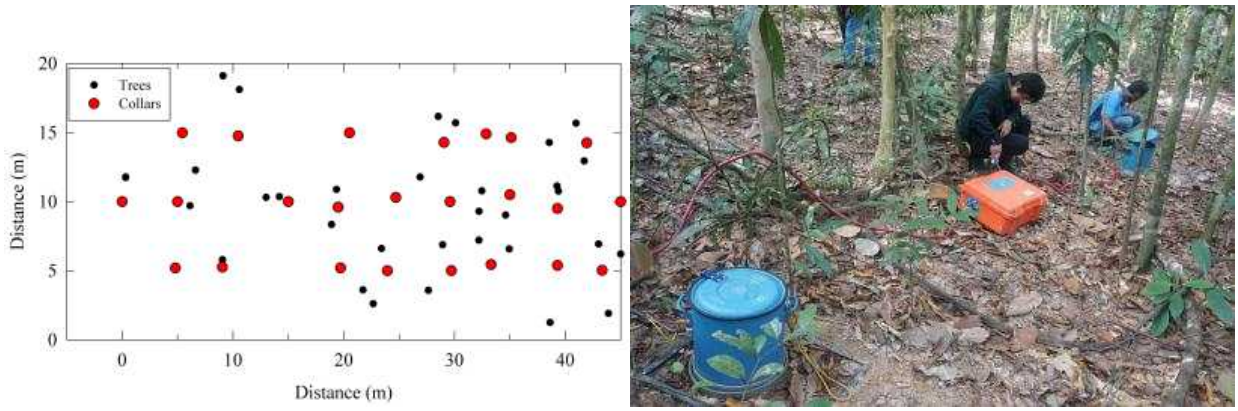
図(2)-3. 47林班における土壌呼吸プロットの配置図および測定の様子。

ここで、添え字a、b、cはそれぞれ、上記a）、b）、c)のデータ数に対応している。式2-2、式2-3はそれぞれ、a-b間、a-c間の濃度勾配の差が閾値αより小さい場合は良質であることを意味している。本研究では試行錯誤の結果αを0.3とし、(2)、(3)式のどちらの条件も満たす場合に良質なデータと定義し、これを解析に用いた。

2） 伐採林地における土壌呼吸の測定

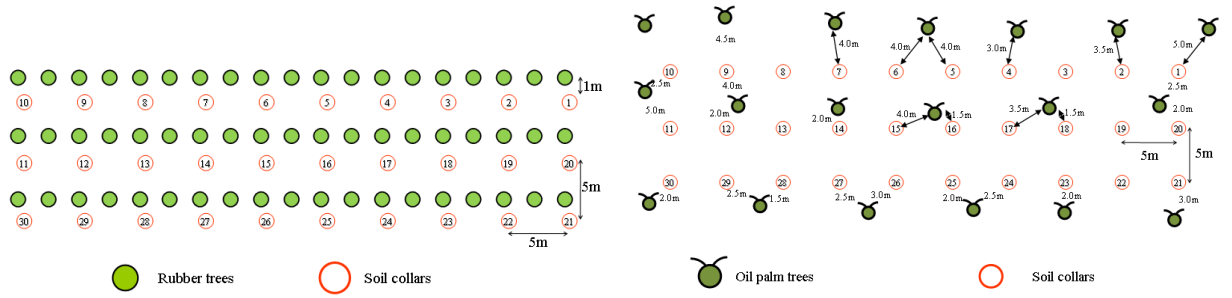
2010年8月にパソ保護林において、47林班における天然林区（plot-4）、2005年に持続可能な経営システム法（Sustainable Management System: SMS）で50～65%の現存量を択伐された林地（plot-3: SMS択伐区）および伐採率が30%程度の林地（plot-5: 低インパクト択伐区）の計3区

を選定し、それぞれに30 m × 100 mの土壌呼吸プロットを設定した（図(2)-3）。各プロットにおいて、10 m間隔で2列（1列15個）、合計30個（列内の間隔は5 mである）の土壌カラー（直径32 cm）を設置し、携帯型自動開閉チャンバーシステムを用いて土壌呼吸速度を定期的（2週間から1ヶ月）に測定した（図(2)-3）。土壌呼吸の測定とともに、熱電対プローブ（Omega社のMHP-14G）とTDR型土壌水分センサー（Delta-T社のSM300）を用い、深さ5 cmの土壌温度（°C）と深さ5～10 cmでの土壌体積含水率（%）を測定した。なお、2011年12月に行われた隣接林班（49林班）における伐採作業に際し、47林班までの通路が閉鎖されたため、2012年に測定を中断した。



図(2)-4. 二次林における土壌呼吸プロットの配置図および測定様子。

3）二次林における土壌呼吸の測定



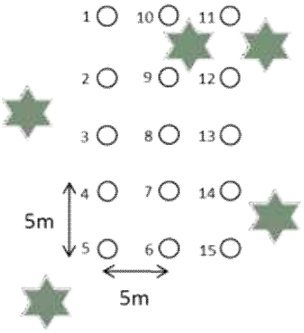
図(2)-5. ゴム農園とアブラヤシ農園における土壌呼吸プロットの配置図および測定の様子。

2011年2月に、パソ保護林における約50年生の二次林において、上述と同様に30個の土壌カラーを設置し、携帯型自動開閉チャンバーシステムを用いて土壌呼吸速度を2週間から1ヶ月の間隔で測定した（図(2)-4）。伐採記録から、調査区は1957年頃にMalayan Uniform System (MUS)という

伐採方式で伐採された林分である事が分かっている。1948～1970 年代まで行われたMUSは、低地フタバガキ林を対象とし、非有用木の除伐（まき枯らし）と有用後継樹種の生長を積極的に促す施業であり、パソ森林保護区を含むパイロットサイトの多くの場所で実施されたものである。2012年も引き続いて定期的に土壌呼吸速度の測定を行った。

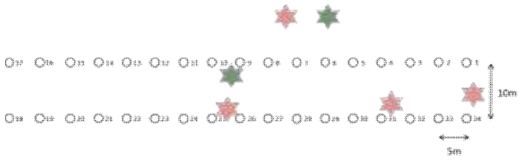
4）ゴム農園及びアブラヤシ農園における土壌呼吸の測定

2010年12月、パソ保護林周辺の輪作した4年生のゴム農園及び4年生のアブラヤシ農園において、それぞれ上述と同様に30個の土壌カラーを設置し、携帯型自動開閉チャンバーシステムを用いて、土壌呼吸速度を2週間から1ヶ月の間隔で測定した。2012年も引き続いて定期的に土壌呼吸速度の測定を行った（図(2)-5）。

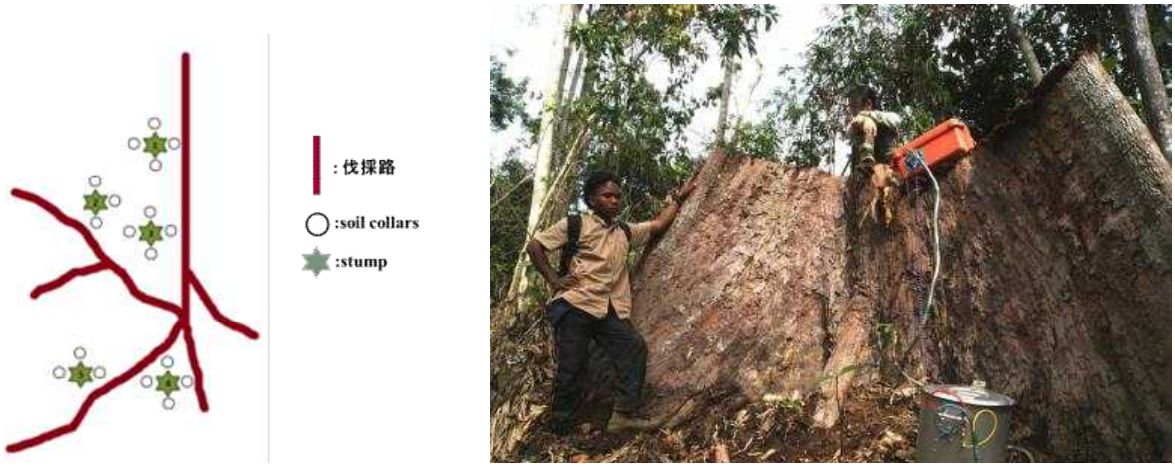


図(2)-6. テメンゴールの丘陵地天然熱帯雨林における土壌呼吸プロットの配置図。

（2） 丘陵地での伐採林地における土壌呼吸の測定



図(2)-7. テメンゴールの低インパクト択伐区における土壌呼吸プロットの配置図。



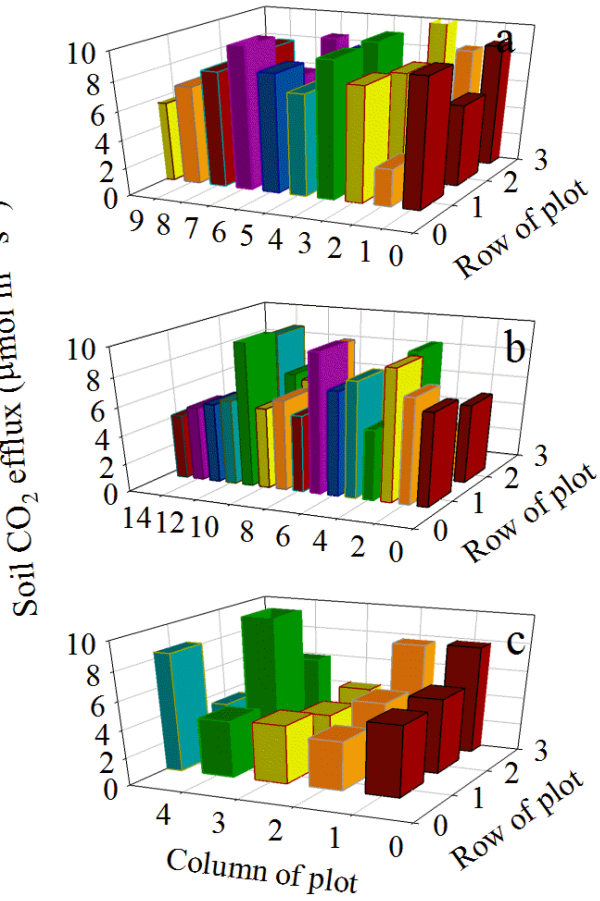
図(2)-8. テメンゴールの伐採された巨木周辺における土壌呼吸速度の測定。

マレーシア半島北部のペラ州にあるテメンゴール施業区（山地天然林：北緯5°33’、東経101°36’、標高800～900 m）において、マレーシア森林研究所（FRIM）が独自に設計した低インパクト伐採方式を採用した施業が試験的に行われている。2010年9月に、天然林区および2011年2月に伐採予定区において、土壌呼吸のプロットを1ヶ所ずつ設置した（22年度報告書に参考）。しかしながら、2011年2月に行われた伐採作業ですべてのプロットが攪乱されたため、2011年5月に新しいプロットを再設置した（図(2)-6、図(2)-7）。各プロットに、5 m間隔で合計15～30個の土壌カラーを設置し、携帯型自動開閉チャンバーシステムを用いて土壌呼吸速度を定期的（約3ヶ月間隔）に測定した。

また、2011年2月から、択伐施業が実施中の地域において、5本の巨木をターゲットにして、各木の周囲に沿って3～5個の土壌カラーを設置した。そして、携帯型自動開閉チャンバーシステムを用いて伐採前後の土壌呼吸速度の変化を測定した（図(2)-8）。

なお、2011年末に本営林区における伐採作業の終了に伴って林道のメンテナンスが行われなくなったため、観測装置の搬入が困難となり、2012年以降の測定は中止した。

４．結果と考察



図(2)-9. パソ及びテメンゴールの3つの天然林プロットにおける土壌呼吸速度の空間分布。a：パソPlot-1；b：パソ47林班（Plot-4）；c：テメンゴールPlot-1。

（１）熱帯林における土壌呼吸の空間変動

図(2)-9にパソ及びテメンゴールの3つの天然林プロットにおける土壌呼吸速度の空間分布を示した。2010年における観測では、パソのPlot-1と47林班（Plot-4）及びテメンゴールのPlot-1における土壌呼吸速度はそれぞれ平均6.92 ± 1.98、6.93 ± 2.85および6.81 ± 3.12 μmol CO_2 m^{-2} s^{-1}であった。樹種や根の空間分布の違い、微少地形の影響によって、森林の土壌呼吸は空間的に大きく変動する[7)]。本研究における土壌呼吸の空間的不均一性を評価するために、上記の3つのプロットについて、得られた結果を基に土壌呼吸速度の空間変動係数（CV = SD/Mean%）を求めると、それぞれ43%、41%および47%であった。Yoneda（2011）らによるパソ保護林での毎木調査では、この天然林では1ヘクタールあたり約130の樹種が確認されたが、立木サイズでも高い不均一性が示されている[8)]。また、Niiyamaら（2010）がパソ保護林で行った先行研究では、地下部根のバイオマスにも著しく高い空間的不均一性（22.9~97.5 kg m^{-2}）があると報告されている[9)]。なお、本研究で得られた空間変動係数は、これまで熱帯林の研究で報告された値よりも小さかった[10), 11), 12)]。この理由として、先行研究で使われている土壌呼吸チャンバー（直径11～13 cm）よりも、本研究に用いたチャンバーのサイズの方が大きかったことが考えられる。従来、市販されている土壌呼吸チャンバーは直径11 cmの円筒状のものが主流である（たとえば、米国Li-Cor社のLI-6400-09、

英国PP-System社のEGM-4）。対して本研究で用いた携帯型自動開閉チャンバーシステムは、直径32 cmのチャンバーを使用しており、土壌呼吸チャンバーのサイズを大きくしたことで、生態系の代表性やチャンバー自身の影響（edge effect）などが改善され、空間的不均一性を小さくする事ができたと推測される[7)]。そこで、各プロットにおける土壌呼吸速度の測定結果から、それぞれの調査地における生態系の、土壌呼吸速度に関する代表値を推定するための測定点数を式2-4で算出した。

$$n = \left[\frac{ts}{(1-D) \times 100} \right]^2 \qquad \text{（式2-4）}$$

ここで、nは最適な土壌呼吸速度の代表値推定に必要な測定点数、tはt分布における95%確率でのt値、sは標準偏差、1-Dは許容できる誤差範囲（%）を示す。表(2)-1は、3つのプロットにおいて、高い精度（平均の95%信頼区間の範囲が平均値の±10%と±20%）で土壌呼吸速度の推定を行うために必要な測定点数を示す。これによれば、各調査地において30地点の測定プロットを設置する事は、精度の面からも妥当と考えられる。

一方、2010年度のテメンゴールにおける集中観測の結果によれば、プロット間の土壌呼吸速度の差はパソでの変動幅に比べて大きかった。その原因としては、本地域は丘陵林であるため、複雑な地形によってその変動幅が生じたことが挙げられる（22年度報告書を参考）。また、低地熱

表(2)-1. 各天然林プロットにおける土壌呼吸速度（2010年）と適切な測定点数

調査地	実測点数	土壌呼吸速度±SD	必要な測定点数	
			10%範囲内	20%範囲内
Pasoh Plot-1[1)]	30	6.92 ± 1.98	75	19
Com47 Plot-4[2)]	30	6.93 ± 2.85	68	17
Temenggor Plot-1[3)]	30	6.81 ± 3.12	82	20
Automated chamber[4)]	16	8.17 ± 2.25	12	4

[1)] Pasoh Plot-1：パソ保護林の永久調査プロット（plot-1）

[2)] Com47 Plot-4：パソ保護林の47林班における天然林区（plot-4）

[3)] Temenggor Plot-1：テメンゴール施業区における天然林区（plot-1）

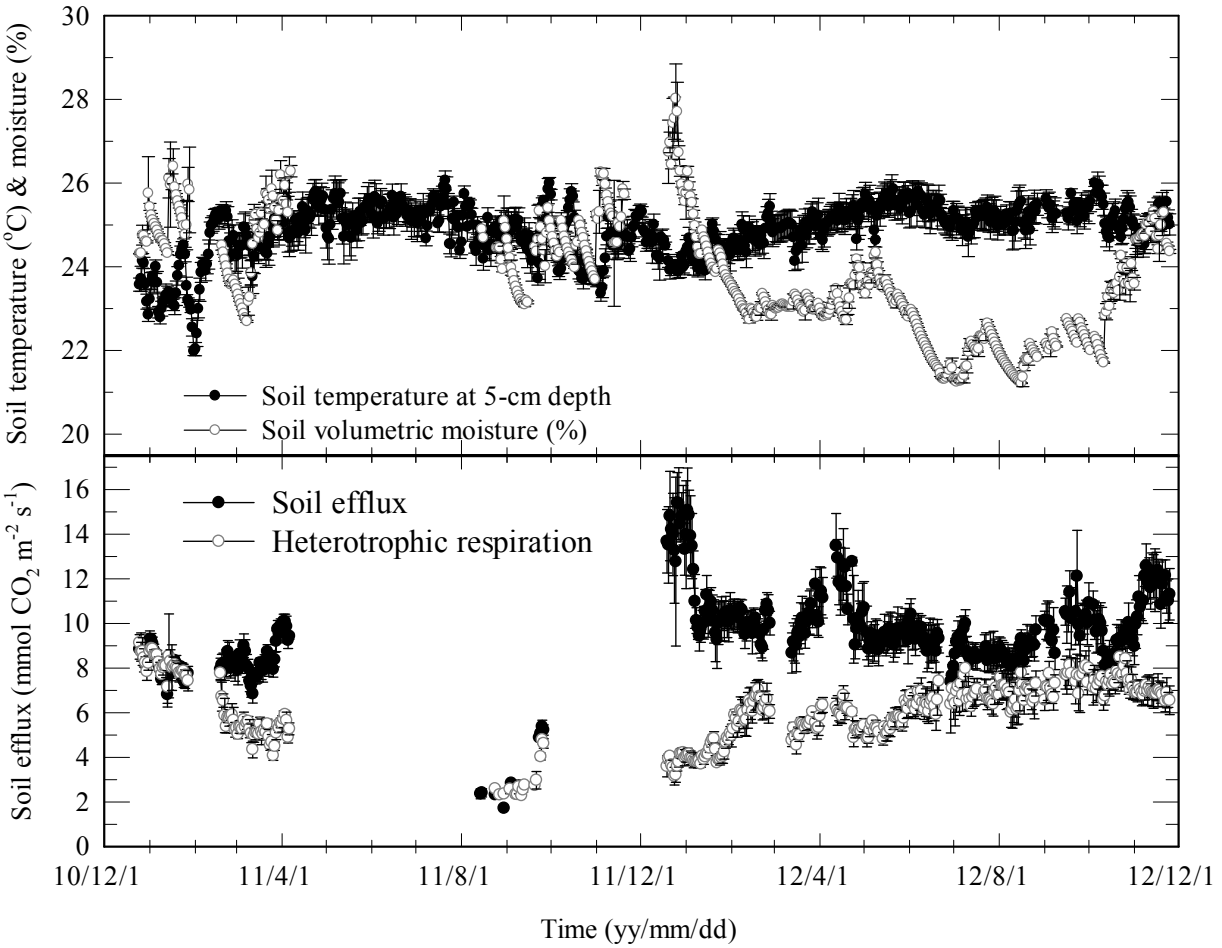
[4)] Automated chamber：パソ保護林に設置された自動連続測定システム

帯雨林に比べて、丘陵熱帯雨林における施業、特に伐採を伴う林道の建設は、その地域の土壌環境に対して大きな影響を与える可能性が高いと考えられる。

（２）土壌呼吸に及ぼす地温と土壌水分の影響

図(2)-10にパソの天然林における地温、土壌水分、総土壌呼吸速度および微生物呼吸速度の季節変化を示した。2011年においては、落雷によるチャンバーシステムの損傷により、欠測値が多かった。実験開始の2010年12月22日から、地温と土壌含水率の変化とともに土壌呼吸速度が大きく変動した。トレンチ処理を行う前の2010年12月22日から2011年2月18日では、全16基のチャンバーの土壌呼吸速度の平均は8.17 ± 2.25 μmol CO_2 m^{-2} s^{-1}であった。この結果より、大型自動開閉

チャンバーを用いた土壌呼吸速度の空間変動係数（CV）は27%と求められた（表(2)-1）。一方、トレンチ処理した直後から土壌呼吸速度が徐々に減少し、約一週間から十日間を経た後、総土壌呼吸に占める微生物呼吸の割合は平均約52%（変動範囲37～62%）に安定した。地上部が伐採されたことによって、ほとんどの個体が枯死し、根呼吸が停止したためと考えられる。したがって、この短期間の測定結果から、パソ熱帯林における総土壌呼吸に対する根呼吸の寄与率は48%と推定された。熱帯天然林の総土壌呼吸に占める根呼吸の割合は、モデルシミュレーションによる世界平均の約40%よりも高く、また日本の森林における20～30%と比較しても著しく高い値であった[3), 6)]。この原因としては、東南アジア熱帯雨林の地下部バイオマスが大きい（~232 t ha^{-1}）ことが考えられる[9)]。



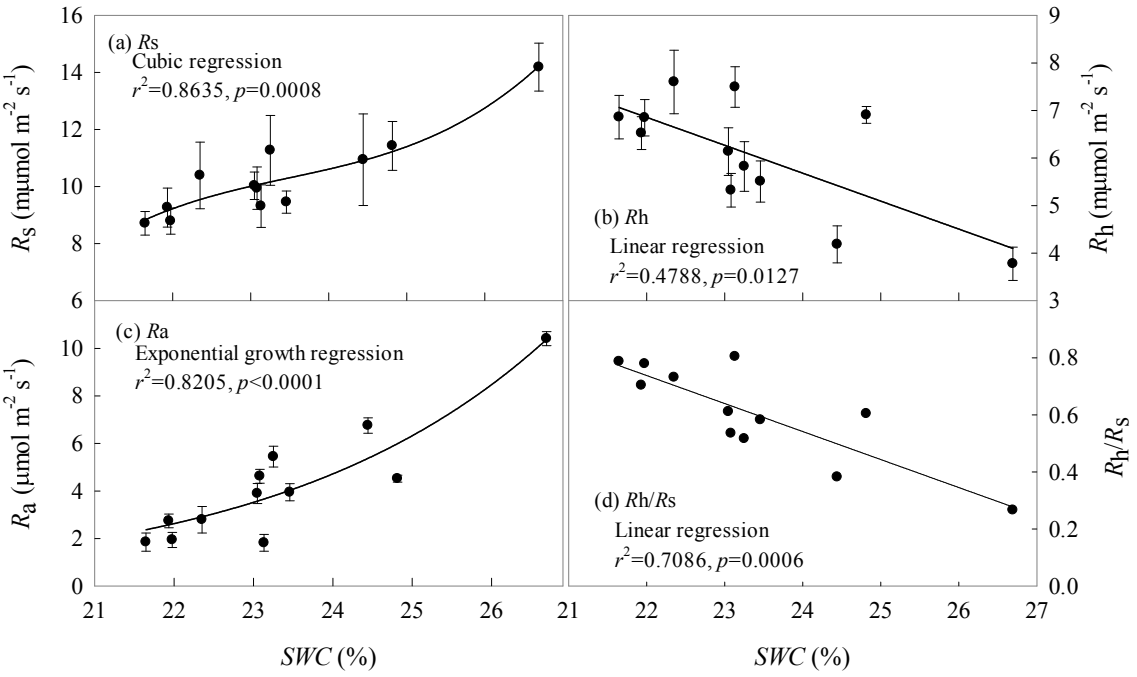
図(2)-10. パソ天然林における地温、土壌水分、土壌呼吸速度の季節変化。

ほとんどの生態系において、土壌呼吸の経時変化は地温に支配される[3), 13)]。パソの低地熱帯天然林では、樹木が高い密度で生育し、その樹冠で強い日射は遮られる。そのため、深さ5cmの地温は年間を通して25.0 ± 0.4°Cで安定しており、式(5)に示す土壌呼吸速度（R_s）と地温（T_s）との間の、顕著な指数的関係

$$R_s = a \times \exp^{b \times T_s} \qquad \text{(式2-5)}$$

は認められなかった。一方、深さ10 cmの土壌体積含水率には明確な季節変化が見られ、その季節変動パターンは概ね土壌呼吸速度の季節変動パターンと一致した。そのため、土壌呼吸速度は土壌水分に強く影響を受けていることが分かった。土壌水分に対する根呼吸（R_a）と微生物呼吸（R_h）は逆の反応パターンを示した。土壌体積含水率の上昇に伴い根呼吸は指数関数的に増加したが、微生物呼吸は直線的に減少した。その相互作用の結果として、土壌呼吸と土壌含水率との間には正の相関（三次曲線）が認められた（図(2)-11）。

（３）土壌有機炭素の分解



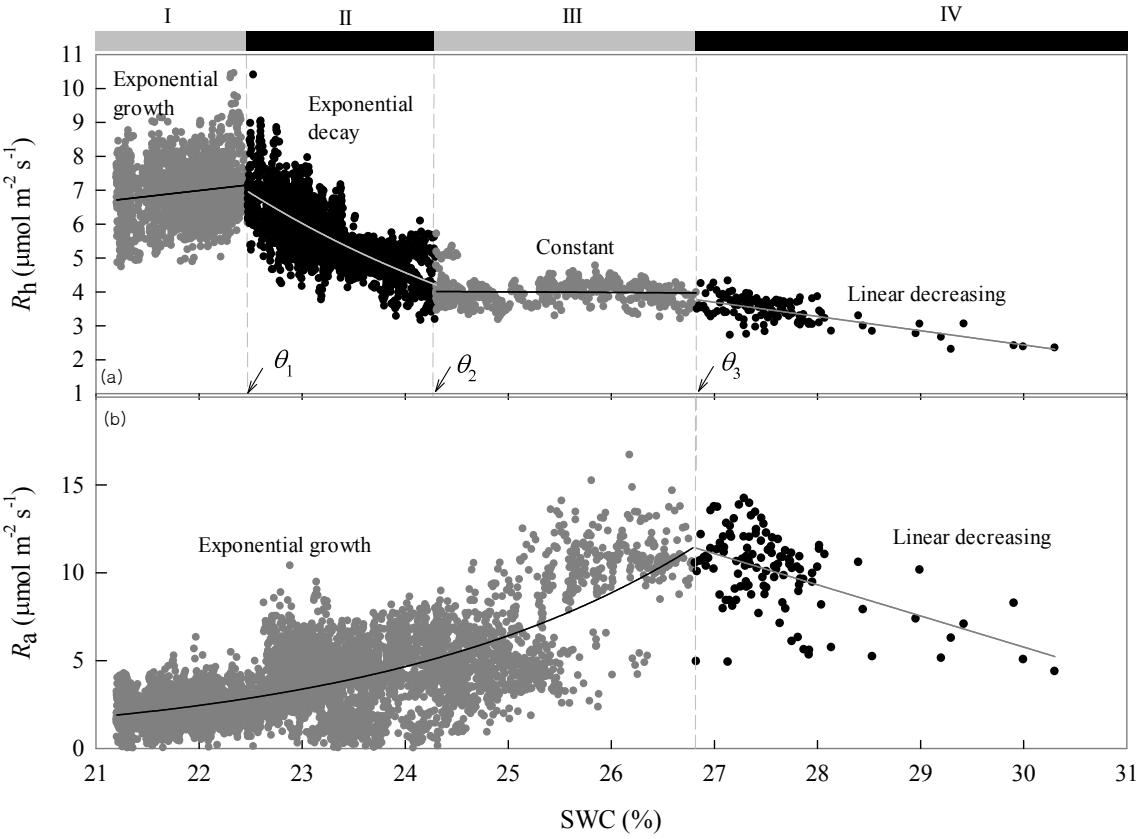
図(2)-11. パソ天然林における総土壌呼吸（a）、根呼吸（c）および微生物呼吸（bとd）に及ぼす土壌水分の影響。

2010年12月～2012年12月の観測期間を通して、総土壌呼吸（年平均10.10 ± 1.51 μmol CO_2 m^{-2} s^{-1}）に対する土壌微生物呼吸の寄与は約62.6%と推定された。初期（2010年12月22日から2011年2月18日）の観測結果に比べて、微生物呼吸の割合が明らかに高くなった点に関しては、切断した根の分解が寄与したものと考えられる。また、雨季などの湿った土壌に比べ、土壌水分が相対的に少ない乾季では、微生物呼吸速度は高かった（図(2)-12）。その原因としては、乾季には落葉量が増加し、リター層における分解が促進された一方で、雨期には熱帯林土壌における通気性の悪さが助長され、土壌有機炭素の分解速度が抑制された事が考えられる。

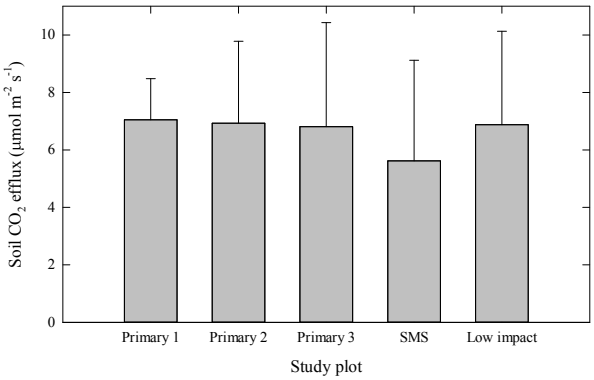
熱帯林は、高温、多湿であるために、微生物等の活発な分解作用によってCO_2の放出量が多い。本研究では、連続測定した土壌呼吸速度を用いることで、パソ天然林における土壌からの炭素放出量が約38 tC ha^{-1} yr^{-1}と推定された。これまでの報告と比較すると、本結果は熱帯林生態系における最大級の土壌呼吸速度となっている。その原因の一つとしては、従来の不定期的観測に比べて、本研究に用いた自動開閉チャンバーシステムは雨季、特に降雨の最中における、高い土壌呼吸速度をとらえたためと考えられる（図(2)-10）。一方、土壌呼吸速度と地温および土壌水分との間に信憑性の高いモデルを求めることが出来なかったため、2011年における長期間に渡る欠測

値の補完が不可能であった。したがって、熱帯林における土壌呼吸の年間値を推定するために、今後の長期連続観測が必要である。

（４）伐採残渣の寄与



図(2)-12. パソ天然林における微生物呼吸（a）と根呼吸（b）の土壌水分反応。



図(2)-13. 天然林および択伐跡地における土壌呼吸速度。Primary 1：パソplot-1；Primary 2：パソ47林班plot-4；Primary 3：テメンゴール施業区plot-1；SMS：パソ47林班Plot-3（SMS択伐区）；Low impact：パソ47林班Plot-5（低インパクト択伐）。

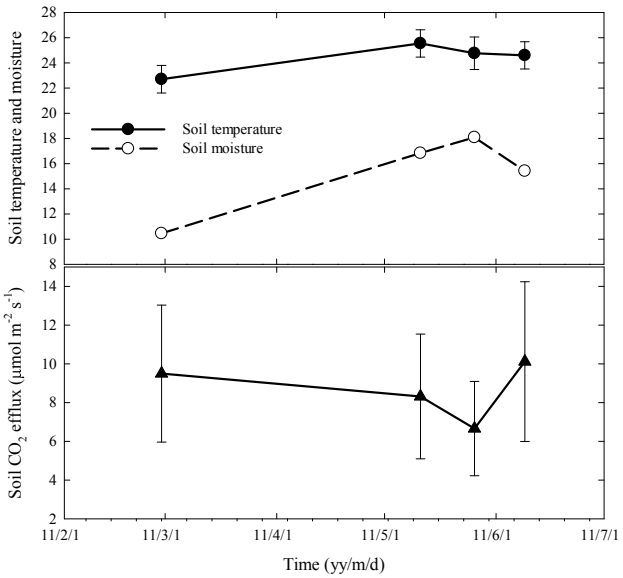
携帯型チャンバーシステムを用いた、3年間を通しての測定結果によると、天然林区に関しては、

パソplot-1では7.05 ± 1.43 μmol CO_2 m^{-2} s^{-1}、47林班plot-4では6.93 ± 2.85 μmol CO_2 m^{-2} s^{-1}、テメンゴール施業区plot-1では6.81 ± 3.62 μmol CO_2 m^{-2} s^{-1}となった（表(2)-1）。対して47林班における、伐採後7年経過したSMS伐採区および低インパクト択伐区での土壌呼吸速度はそれぞれ5.42 ± 3.50 μmol CO_2 m^{-2} s^{-1}、6.88 ± 3.25 μmol CO_2 m^{-2} s^{-1}であった（図(2)-13）。低インパクト択伐区では、土壌呼吸速度が天然林と同等の値になり、また、地上バイオマスはすでに天然林と同程度まで回復していた。一方、SMS択伐区での土壌呼吸速度は約19%低下していた事が明らかになった。

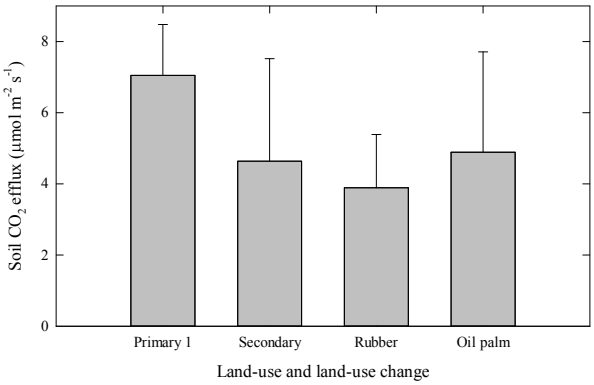
テメンゴール施業区における5本の巨木をターゲットにして、伐採日前日の2011年2月28日、根元周囲1m付近での土壌呼吸速度を測定した。その結果、土壌呼吸速度は9.50 ± 3.53 μmol CO_2 m^{-2} s^{-1}であった。2011年3月から5月末にかけての気温と土壌水分の上昇にも関わらず、伐採によって根呼吸を停止させたことで、土壌呼吸速度は減少していた（図(2)-14）。一方、その後の土壌呼吸速度が上昇していたため、枯死根の分解が活発に進行したことがうかがえる。以上の結果より、森林からのCO_2発生量を極力抑制するためには、伐採残渣の発生を抑え、後継樹をスムーズに育成できるような森林管理（たとえば、低インパクト伐採法）を行う事が必要であると考えられる。

（５）土地利用変化が熱帯生態系に及ぼす影響

パソの天然林区（パソplot-1: 7.05 ± 1.43 μmol CO_2 m^{-2} s^{-1}）に比べて、MUS方式による択伐後、約55数年経過した二次林での土壌呼吸速度は4.64 ± 2.88 μmol CO_2 m^{-2} s^{-1}であった（図(2)-15）。この55年生の二次林では、バイオマスは既に天然林に近い値にまで回復しているにも関わらず、土壌呼吸速度は低い値であった。この要因の一つとして、倒木や粗大落枝が少ないことが挙げられる。



図(2)-14. テメンゴール施業区の巨木の周囲1mにおける伐採前後の土壌呼吸速度の変化。上図：深さ5cmの地温（Soil temperature）と深さ5-10cmの土壌体積含水率（Soil moisture, %）。下図：5本の巨木×4地点の土壌呼吸速度の平均値と標準偏差。



図(2)-15. パソの天然林（Primary 1）、55年生の二次林（Secondary）、6年生のゴム農園（Rubber）とアブラヤシ農園（Oil palm）における土壌呼吸速度。

一方、輪作した6年生のゴム農園およびアブラヤシ農園における土壌呼吸速度はそれぞれ3.89 ± 1.44と4.89 ± 2.82 μmol CO_2 m^{-2} s^{-1}であった（図(2)-15）。どちらの農園においても、土壌呼吸速度は天然林よりも低い値であった。パソ天然林の地上部現存量は約600 t ha^{-1}と報告されているが、一旦アブラヤシ農園に転換すると、現存量は60～200 t ha^{-1}までに減少する[8), 9), 14)]。土地利用が変化することにより、バイオマスの減少とそれによる土壌有機炭素の減少が起こり、その結果として土壌呼吸速度が低下するという、一連の土壌生態系の劣化が示唆された。また、アブラヤシ農園における土壌呼吸速度とその空間変動は6年生のゴム農園に比べ大きかった。このことは、搬出路（収穫路）建設や切り株の分解、施肥強度などの管理方法によって生じたものと考えられた。

（６）REDDクレジットの試算

REDD＋は、熱帯地域の途上国が行う森林減少、森林劣化を抑制する取組み（「REDD」活動）から起因するCO_2の排出削減、森林保全等（「＋」活動）、および炭素固定による大気中のCO_2の削減に対し、何らかの経済的インセンティブ（資金やクレジット）を与えるというのが基本的な理念である。REDDクレジットとは、REDD＋プロジェクトおよびその実施による温室効果ガスの排出削減量、吸収量の増加が、クレジット登録機関で認証されたものを言う。2012年11月にドーハで開催された第18回気候変動枠組条約締約国会議（COP18）において、カナダ、ロシア、日本などが京都議定書第二約束期間へ不参加を表明した一方で、日本を含む諸先進国による「地球温暖化対策のための税（地球温暖化対策税）」が相次いで導入され、国際炭素取引の相場が大きく変動している中、2009年現在、EUでは1 t CO_2あたり約10.5 US$に安定している[18)]。本研究では、熱帯林における伐採前後の土壌炭素の動態からREDDクレジットの推定を試みた。

マレーシアの低地天然熱帯雨林では、年間を通して土壌温度は25.0 ° C ± 0.4 ° C（図(2)-10）に維持されているため、実測値から土壌呼吸のQ_{10}（土壌呼吸速度の温度依存性を表する指数であり、温度が10 °C上昇したときの土壌呼吸速度の変化率を意味する；式2-6）を求めることが不可能であった。

$$Q_{10} = \exp^{10b} \qquad \text{（式2-6）}$$

一方、土壌コアを用いたインキュベーション実験によって、タイとオーストラリアの熱帯林にお

ける土壌呼吸のQ_{10}は、それぞれ2.2と2.02-2.21と測定された[15),16)]。本報告書では暫定的にQ_{10}を2.2とし、実測された年平均土壌温度（25.0° C）と年平均土壌微生物呼吸速度（6.32 μmol CO_2 m^{-2} s^{-1}）を用い、マレーシア熱帯雨林の土壌呼吸速度と土壌温度の関係式（式2-7）を推定した。

$$R_s = 0.88 \times \exp^{0.0788 T_s} \quad \text{（式2-7）}$$

近年、マレーシアにおいては、持続的森林管理をめざした択伐施業法(SMS)が行われている。米田ら（環境省地球環境研究総合推進費22年度D-1005報告書）の先行調査データによれば、パソ保護区の低地天然熱帯雨林における胸高直径20 cm以上の林冠木に関し、大形材器官の平均現存量は、伐採前の2005年における平均618 t ha^{-1}から、伐採後265 t ha^{-1}減少した。伐採前の現存量ベースでの伐採率は、約43%であった。伐採された地上バイオマスのうち、約56%は有用材として搬出され、残りの約44%（117 t ha^{-1}）は残渣として放棄された（奥田ら、環境省地球環境研究総合推進費18年度E-4報告書）。また、Niiyamaら（2010）によれば、該当調査区における地下バイオマスと地上バイオマスの比率は約18%と報告しているため、地下部の残渣は48 t ha^{-1}と推定された[9)]。さらに、地上部残渣と地下部残渣の分解速度は、それぞれ19.5%と5.3%と報告されている（Kira, 1978）[13)]。したがって、伐採後一年目の炭素損失（t C ha^{-1} y^{-1}）は（式2-8）によって推定できた。

$$\sum C = \sum (0.88 \times (\exp^{0.0788 T_{s1}} - \exp^{0.0788 T_{s0}})) + C_a \times d_a + C_b \times d_b \quad \text{（式2-8）}$$

ここで、T_{s0}、T_{s1}、C_a、d_a、C_b、d_bはそれぞれ天然林における地温、SMS施業法の伐採跡地における地温、地上部残渣、地上部残渣の分解速度、地下部残渣、地下部残渣の分解速度を意味する。本研究では、SMS施業法のプロットにおいて、林冠密度の減少によって、深さ5 cmの地温は約1.6° C上昇したと測定された。それに従い、式2-8を用いた伐採後一年目における炭素の損失は

ΣC_1 = 11.77 + 42.19 + 4.62 = 58.58 tCO_2 （式2-9）

と推定できた。式2-9における11.77 t CO_2は、地温の上昇による土壌有機炭素分解（土壌微生物呼吸）の増加量を示す。また、42.19 t CO_2と4.62 t CO_2は、それぞれ地上部残渣と地下部残渣の分解による放出されたCO_2である。世界の北方林（平均180 t C ha^{-1}）と温帯林（平均220 t C ha^{-1}）の土壌に比べて、熱帯林の土壌（パソ天然林の土壌有機炭素ストックは 70 t C ha^{-1}である）は明らかに炭素貯蔵量が少ない傾向がある[17)]。その少ない炭素貯蔵量を鑑みれば、SMS施業法に準じた伐採によって、炭素土壌生態系の劣化が引き起こされる可能性がある。

一方、30%の伐採強度という「低インパクト伐採法」を応用した熱帯丘陵林のプロットにおいて、深さ5 cmの地温は、林冠密度の減少により約1.1 ° Cしか上昇しなかったことが確認された。それにより、同じ式2-8を用いた伐採後一年目における炭素の損失は

ΣC_2 = 7.93 + 29.16 + 3.22 = 40.31 tCO_2 （式2-10）

と推定された。したがって、通常のSMS伐採方式に比べ、低インパクト伐採法（伐採率30%）を応用した場合、式2-9と式2-10、および1 t CO_2あたり10.5US$の二酸化炭素価格を用いることで、得られるREDDクレジット（REDD Credit）が式2-11の様に推定された。

REDD Credit = （ΣC_1 - ΣC_2） × CO_2取引単価 = 192 US$ （式2-11）

また、低インパクト施業法によるバイオマス減少の軽減分（SMS伐採量（266 t ha^{-1}）－低インパクト伐採量（185 t ha^{-1}）= 約81 t ha^{-1}）と、それによる新しい炭素固定量および伐採に付随する作業で枯死した立木（伐採量の3分の1にも相当する；奥田ら、環境省地球環境研究総合推進費18

年度E-4報告書）を考慮すれば、式2-11で推定したREDDクレジットは、約1,908 US$の過小評価であることが見込まれた（式2-12）。

過小評価REDD Credit = (C_3 + C_4 + C_{a1} × d_a + C_{b1} × d_b) × CO_2取引単価　　（式2-12）

ここで、C_3、C_4、C_{a1}とC_{b1}は、それぞれバイオマス減少の軽減分と、それによる新しい炭素固定量、伐採に付随する作業で枯死した立木地上部現存量、地下部現存量を示す。そのうち、低インパクト施業法によるバイオマス減少の軽減分による新しい炭素固定量（バイオマスの回復）は、SMS伐採法後の新しい炭素固定量と同等と仮定した。したがって、通常のSMSと比べ、低インパクト択伐方式（伐採率30%）を応用することにより、択伐後の初年度に約2,100 US$ ha^{-1}（式2-11＋式2-12）のREDDクレジットを得ることが可能である。

（７）まとめ

大型マルチ自動開閉チャンバーシステムを用いて、マレーシアの低地熱帯雨林の健全な天然林分において土壌呼吸速度の連続測定を行うことで、初めて東南アジアの熱帯雨林における総土壌呼吸を、微生物呼吸と根呼吸に定量的に分離して評価することに成功した。観測された土壌呼吸速度（38 t C ha^{-1} yr^{-1}）は、これまでの報告と比すれば陸域生態系における最大級のものであり、「東南アジア熱帯林における高い生産性」を示す、IBP時代の報告に一致した。また、携帯型自動開閉チャンバーシステムを用い、低地熱帯雨林と丘陵地帯熱帯雨林において、異なる伐採法に伴う林床部からの炭素放出量を測定し、施業管理方法の改善とCO_2発生量への効果について分析した。伐採によって根呼吸速度が低下するにも関わらず、伐採跡地におけるCO_2放出速度が天然林区とほぼ同じ値であったことは、伐採残渣の分解が寄与していたためと考えられる。低インパクト伐採法などのREDD＋の活動を行うことで、伐採跡地からのCO_2発生量を抑制し、後継樹をスムーズに育成できるような森林管理手法を行うことが必要であるものと考えられる。さらに、同様の調査を二次林やゴム農園、アブラヤシ農園において実施した結果、土地利用変化がバイオマス及び土壌有機炭素を減少させ、熱帯生態系をさらに劣化させていることが示唆された。

現在のところ、国連気候変動枠組条約（UNFCCC）および京都議定書等の国際枠組みの下では、REDD＋の取り組みに基づく排出削減量をクレジットとして正式承認する仕組みはない。しかしながら、自主的なクレジット制度（Voluntary Emissions Reductions: VER）等を活用して、REDD＋の取り組みを進めることが世界的に提唱されている。そこで、日本では二国間オフセット・クレジット制度という新しい国際的な排出削減の仕組みを提案し、その中でREDD＋を扱う可能性について検討が進められている。本研究では、施業前後の土壌有機炭素動態（土壌呼吸速度の変化）および残渣の分解解析から、通常のSMSと比べ、低インパクト択伐方式（伐採率30%）による施業では、択伐後の初年度に約2,100 US$ ha^{-1}のREDDクレジットが得られるものと試算された。なお、この試算は幾つかの不確実性があるものと考えられる。一つには、低インパクト施業法による生物多様性の保全および原住民生活の持続的改善など、生態系サービスから派生するREDDクレジットを換算しなかった点である。また、伐採に際しては、林冠密度の減少、林床に到達する直射日光の増加、伐採路の建設による伐採後の気温の上昇と、それに伴う林床部の乾燥化など起こることが想定される。この乾燥化起源での追加枯死木を考慮しなかったという点では、今回のREDDクレジットに関する試算は過小評価であると言える。そして、乾燥化に起源する土壌有機物の分解速度の抑制に考慮すれば、今回は過大評価した事が考えられる。そのため、今後さらに細緻なフィールド調査が必要となる。

５．本研究により得られた成果

（１）科学的意義

本研究を実施することで、初めて東南アジアの熱帯雨林における総土壌呼吸を、微生物呼吸と根呼吸に定量的に分離して評価することに成功した。また、土壌呼吸を指標として、健全な熱帯雨林土壌からのCO_2発生量の現状を定量的に把握することで、伐採や土地利用変化がバイオマス及び土壌有機炭素を減少させ、熱帯生態系をさらに劣化させていることを明らかにした。さらに、異なる森林管理法による伐採前後の土壌炭素の動態、地上バイオマス（炭素ストック）の変化から、REDDクレジットを推定することが可能となった。

（２）環境政策への貢献

＜行政が既に使用した成果＞

なし。

＜行政が活用することが見込まれる成果＞

熱帯林保全へ向けた持続的管理の手法がさまざまな地域で模索されているにもかかわらず、森林の減少、劣化の速度に歯止めはかかっていない。こうした中、熱帯林を中心とした途上国における森林減少、森林劣化防止による温室効果ガスの排出削減に関して、森林の持続可能な管理、森林の炭素蓄積の保全および強化活動をプラスしたREDD＋は、気候変動対策に関する制度枠組みの重要な柱の一つと考えられている。そして、熱帯林炭素ストックの現状把握および劣化のメカニズムの解明、特に人為活動が熱帯林の炭素動態に及ぼす影響を評価することは、国際的な急務となっている。そこで、伐採過程に伴う土壌炭素動態の観測データからREDDクレジットを試算し、科学的根拠を提供することで、熱帯林管理法の改善によるREDD＋の有効性評価を向上させることが期待される。

６．国際共同研究等の状況

国立環境研究所（NIES）、マレーシア森林研究所（FRIM）、マレーシアプトラ大学（UPM）の3機関の間で締結した共同研究協定（NIES-FRIM-UPM MoU）に基づいて、熱帯林の炭素循環に関する研究を進めている。カウンターパートはマレーシア森林研究所のChristine Dawn Fletcher・Saw Leng Guanである。

７．研究成果の発表状況

（１）誌上発表

<論文（査読あり）>

なし

<その他誌上発表（査読なし）>

1） 梁　乃申：地球環境研究センターニュース、23、9、6-7、（2012）
「気候変動対策における熱帯林炭素循環研究の役割」

2） N. Liang, Wang Y., Zhang Y., He J., Li S., Piao S., Fang J., Hirano T., Takagi K., Fletcher

C.D., Teramoto M., Tan Z-H: AsiaFlux Newsletter, 35, 3-12, (2013)
“An Automated-Chamber Network for Evaluation of Carbon Budget of Asian Terrestrial Ecosystems.”

（２）口頭発表（学会等）

1) Liang N., M. Takada, T. Okuda, E. Philip, Rahim A. Nik: AsiaFlux Workshop 2011, Johor, Malaysia, 2011
“Soil Carbon Emission of Tropical Ecosystems and its Potential Role in REDD++ mechanism”
2) Liang N., Takagi K., Hirano T., Ishida S., Takagi M., Zhang Y., He J., Wang Y., Mizunaga H. The 55th Symposium of the International Association for Vegetation Science (IAVS2012), July 2012, Mokpo, Korea
“An Automated Chamber Network for Monitoring Terrestrial Carbon Cycle in East and Southeast Asia”
3) Liang N., Okuda T., Philip E., Rahim A. Nik. AOGS- AGU (WPGM) Joint Assembly, August 2012, Resorts World Convention Centre, Singapore (*invited*)
“Carbon Balance of Tropical Forests and REDD Credit”
4) Liang N., Okuda T., S.C. Fletcher. International Symposium on Southeast Asian Tropical Rainforest Research related with Climate Change and Biodiversity, September 2012, Tokyo
“Soil Carbon Dynamic and REDD Credit of Southeast Asian Tropical Ecosystems”
5) Liang N., Y. Wang, Y. Zhang, J. He, S. Li, S. Piao, J. Fang, T. Hirano, K. Takagi, C.D. Fletcher, M. Teramoto, Z-H. Tan. The International Conference on Global Change, Forest Adaptation and CO2, Water and Energy Flux Monitoring. December 12, National Taiwan University (*invited*)
“An Automated-Chamber Network to Evaluate Carbon Budget of Asian Terrestrial Ecosystems”

（３）出願特許

なし

（４）シンポジウム、セミナーの開催（主催のもの）

なし

（５）マスコミ等への公表・報道等

なし

（６）その他

1) 第1回Soil Respiration Campaign in Tropical Ecosystems：2012年2月17～24日にかけて、マレーシア半島部パソ周辺の熱帯生態系で主催した。参加者は国立環境研究所やマレーシア森林研究所(FRIM)、マレーシアオイルパーム研究所（MPOB）など6機関計26名。
2) 第2回Soil Respiration Campaign in Tropical Ecosystems: 2013年1月29日～2月6日にかけて

マレーシア半島部パソ周辺の熱帯生態系およびEndau Rompinの熱帯湿地開発区で主催した。参加者は国立環境研究所、マレーシア森林研究所(FRIM)およびマレーシアオイルパーム研究所（MPOB）3機関計14名

８．引用文献

1) IPCC: Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Cambridge Univ. Press., 2007.
2) FAO. 2010. *FRA 2010: Global forest resources assessment 2010 - Main report.* Rome, Italy. (Also available at www.fao.org/forestry/fra2010/en/).
3) Bond-Lamberty, B., and Thomson, A.: Temperature-associated increases in the global soil respiration record, Nature, 464, 579-U132, 10.1038/nature08930, 2010.
4) Pan, Y.D. et al., 2011. A Large and Persistent Carbon Sink in the World's Forests. Science, 333(6045): 988-993.
5) Liang, N., Inoue, G. and Fujinuma, Y., 2003. A multichannel automated chamber system for continuous measurement of forest soil CO2 efflux. Tree Physiology, 23(12): 825-832.
6) 梁　乃申、向井人史、高橋善幸、高木健太郎、角張嘉孝、中根周歩（2011）　土壌呼吸に及ぼす温暖化影響の実験的評価（B-073）、環境省地球環境研究総合推進費終了研究成果報告書、環境省地球環境局総務課研究調査室、88頁。
7) Liang, N. et al., 2004. In situ comparison of four approaches to estimating soil CO2 efflux in a northern larch (Larix kaempferi Sarg.) forest. Agricultural and Forest Meteorology, 123(1-2): 97-117.
8) Yoneda T., E. Thiam, K. Harada, T. Higo, W.W.K. Rasidah (2011) Logging impacts on stand structure and carbon metabolisms in Pasoh Forest Reserve. *Progress report - Joint research project on tropical forest ecology and biodiversity 2010 -:* 71-81.
9) Niiyama, K., Kajimoto, T., Matsuura, Y., Yamashita, T., Matsuo, N., Yashiro, Y., Ripin, A., Kassim, A. R., and Noor, N. S.: Estimation of root biomass based on excavation of individual root systems in a primary dipterocarp forest in Pasoh Forest Reserve, Peninsular Malaysia, Journal of Tropical Ecology, 26, 271-284, 10.1017/s0266467410000040, 2010.
10) Forbrich, I. et al., 2011. Cross-evaluation of measurements of peatland methane emissions on microform and ecosystem scales using high-resolution landcover classification and source weight modelling. Agricultural and Forest Meteorology, 151(7): 864-874.
11) Katayama, A. et al., 2009. Effect of forest structure on the spatial variation in soil respiration in a Bornean tropical rainforest. Agricultural and Forest Meteorology, 149(10): 1666-1673.
12) Schulz, K., Timmermann, T., Steffenhagen, P., Zerbe, S. and Succow, M., 2011. The effect of flooding on carbon and nutrient standing stocks of helophyte biomass in rewetted fens. Hydrobiologia, 674(1): 25-40.
13) Liang, N., Hirano, T., Zheng, Z.M., Tang, J. and Fujinuma, Y., 2010. Soil CO2 efflux of a larch forest in northern Japan. Biogeosciences, 7(11): 3447-3457.
14) Lasco, R. D.: Forest carbon budgets in Southeast Asia following harvesting and land

cover change, Science in China Series C-Life Sciences, 45, 55-64, 2002.
15) Hashimoto, S., 2005. Temperature sensitivity of soil CO2 production in a tropical hill evergreen forest in northern Thailand. Journal of Forest Research, 10(6): 497-503.
16) Zimmermann, M. and Bird, M.I., 2012. Temperature sensitivity of tropical forest soil respiration increase along an altitudinal gradient with ongoing decomposition. Geoderma, 187: 8-15.
17) Yoda, K. & Kira, T. (1982) Accumulation of organic matter, carbon, nitrogen and other nutrient elements in the soils of a lowland rainforest at Pasoh, Peninsular Malaysia. Jap. J. Ecol., 32, 275- 291.
18) Newell R.G., Pizer W.A., & Raimi D. 2013. Carbon Markets 15 Years after Kyoto: Lessons Learned, New Challenges. Journal of Economic Perspectives, 27: 123-146

(3) 森林の生物多様性評価による劣化抑止プログラムの改良策とその実現性に関する研究

広島大学
大学院総合科学研究科　奥田敏統
山田俊弘

＜研究協力者＞
大学院総合科学研究科　新納雅弘
吉田　聡
渡部清孝
高田モモ
国立環境研究所地球環境研究センター　小熊宏之
首都大学東京都市環境科学研究科　保坂哲朗
（株）パスコ生産技術本部 センシング技術部　宮作尚宏
（株）株式会社建設技術研究所　環境部　田頭直樹

平成22～24年度累計予算額：93,639千円
（うち、平成24年度予算額：33,727千円）
予算額は、間接経費を含む。

［要旨］
REDD＋の実施にあたり、セーフガードで謳われている「生物多様性の保全への配慮」に対して効果を発揮できるよう、有効な森林モニタリング手法の開発、および生物多様性の保全に配慮した持続的森林管理手法の提案とその経済的実現性に関する調査研究を行った。まず、商業伐採などに伴う森林劣化の状況を正確に把握し、時空間的変動から劣化のベースライン策定を行うために、LiDAR（航空機搭載型レーザースキャンシステム）を用いた森林構造の三次元計測を実施し、林冠高（DSM）と地盤高（DTM）を作成した。これらの結果は、路網密度の生物多様性への影響や適正な森林管理を行う際のパラ-メータとして利用した。さらにより広域の現存量把握のためのスケールアップ手法についても検討し、航空機SAR（合成開口レーダー）との併用が有効であることを明らかにした。一方、森林伐採を実施中の林班区において、食糞性コガネムシ類（フン虫）や小型の哺乳類の組成、個体数、種多様性を調べたところ、これらは林道や搬出路からの距離に大きく依存することが分かった。一方齧歯類などの小型の哺乳類は残渣木や倒木の密度と高い関連性があることも分かった。これらの結果をもとに、林道建設が昆虫・哺乳類などの種子散布者による森林更新過程にどのような影響を及ぼすかについて空間情報を用いたシミュレーションで検証したところ、林道が継続的に維持された場合、更新可能面積が約33%減少することが分かった。これらのことは伐採後約50年を経過した低地熱帯雨林の現存量回復や林分構造のシミュレーション分析においても確認され、伐採後の林道や搬出路の管理が強い影響を及ぼすことが分かった。農地開発を含めた生態系劣化と森林減少については、既に開発が進んでいるアブラヤシ農園内での河川集水域保全や修復活動がREDD+による経済的支援や地域社会的な受容性という点でも効果

が期待できることが分かった。

［キーワード］

生物多様性、リモートセンシング、低インパクト伐採（RIL）、緑の回廊、コスト・ベネフィット

１．はじめに

熱帯林は世界的に最も生物多様性が高い生態系であり、実に全生物種の半分以上が生息している[1)]。同時に、熱帯林は現在消失速度の最も著しい生態系でもあり[2)]、森林破壊の抑止による生物多様性の保全は急務の課題となっている。この問題意識は、現在策定が進められているREDDの枠組みにも反映されており、天然林やその生物多様性の保全は保護条項として盛り込まれる予定であり、森林利用や生物多様性に関するモニタリング技術の開発が必要とされている[3)]。一方で、熱帯林の多くは多様な木材・非木材林産物を供給する生産林として地域経済の根幹でもあるため、これらの経済活動を禁止するのではなく、緑の回廊や低インパクト伐採など生物多様性を損なわない森林管理手法への改善が現実的である。このような国際社会のニーズから、本サブテーマではREDDが生物多様性の保全にも効果を発揮できるよう、有効な森林モニタリング手法の開発、および生物多様性の保全に配慮した持続的森林管理手法の提案とその経済的実現性について調査研究を行ったものである。

２．研究開発目的

(1) リモートセンシングを用いた森林モニタリング手法の開発。
(2) 森林の生物多様性保全機能を損なわない森林管理手法の提案。
(3) 生物多様性保全のための土地利用管理・修復手法への提案。
(4) 低インパクト伐採によるコスト及びベネフィットの分析。

３．研究開発方法

（１）リモートセンシングを用いた森林モニタリング手法の開発

過度の森林伐採は林内に棲息する様々な生物や生息環境に多大な影響を及ぼすことが考えられることから、森林の構造や林道建設に伴う林床の改変状況の正確な把握を行うことが重要である。そうしたことから本サブテーマでは、航空機 LiDAR（レーザースキャンニングシステム）による森林の三次元構造の計測を行い、林冠面（DSM）および地盤高（DTM）を作成し、現存量、林道・搬出道の正確なトレーシング等を行った。さらにこれらの項目を正確かつ広域にスケールアップするために航空機合成開口レーダ（IFSAR）や人工衛星搭載の合成開口レーダー（TerraSAR-X）から得られる DSM、DTM（IFSAR のみ）との整合性の分析（相関分析）を行った。調査はマレーシア半島部（ペラ州テメンゴールの丘陵地林）で行った（図(3)-1）。

図(3)-1. 本サブテーマで野外調査のために設置した研究試験地（●で示した）。1:マレーシア、ペラ州、テメンゴールサイト、2:同国、ネグリセンビラン州、パソサイト（周辺域のプランテーションサイトも含む）。

（２）森林伐採施業方法の改善による生物多様性の劣化抑止に関する分析

１）食糞性コガネムシ類の指標性

熱帯における森林劣化の主要因として、森林内の有用樹木を選択的に伐採する択伐施業があげられる。ここでは択伐施業がどの程度森林を質的に劣化させるのか、生物多様性の視点から評価するとともに、生物多様性劣化抑止のために必要な森林伐採施業方法の改善を提案するための研究を行った。

択伐施業においては、伐採場所へのアクセス、木材の搬出・運搬および仮置きなどの目的で、林内に搬出道、林道、山土場など多くの路網が整備され、林内の高温化や乾燥化、土壌の流亡などを通して、森林生態系に大きな変化を引き起こす。したがって、これら路網の建設は、熱帯雨林に依存する多様な生物に負の影響を与える可能性がある。さらに、熱帯雨林は多様な生物間相互作用で成り立つ系であるので、路網建設による生物多様性の劣化は、それらの生物の持つ生態系機能の劣化にもつながり得る。しかしながら、路網建設が熱帯雨林の生物多様性やその生態系機能に与える影響については研究例が極めて少ないのが現状である。

そこで本研究では、ホ乳類など他の動物との結び付きも強く、熱帯林の環境指標生物として一般的に用いられる[4]食糞性コガネムシ類（以下フン虫）を対象として、これらの路網整備が生物多様性に与える影響の解明を目的とした。また、フン虫が行う糞の埋設や運搬などの活動は、養分循環や土壌の改善、種子の二次散布など、重要な生態系機能を担うことが近年指摘されている[5]。本研究ではこれらの活動量について定量化することで、路網整備がフン虫の生態系機能に及ぼす影響の解明をも目的とする。

調査は2010年10月～2012年8月にテメンゴール森林保護区（半島マレーシア、ペラ州）において行った（図(3)-1）。フン虫の多様性に関しては、林内（50地点）、搬出道上（幅4-5 m、15地点）、林道上（幅5-8 m、15地点）、山土場上（幅10-50 m、15地点）のそれぞれにおいて人糞を用いた誘因式ピットフォールトラップを設置し、捕獲されたフン虫について種の同定、個体数のカウントを行った。林内のトラップについては、搬出道もしくは林道から10 m、30 m、60 mのいずれか

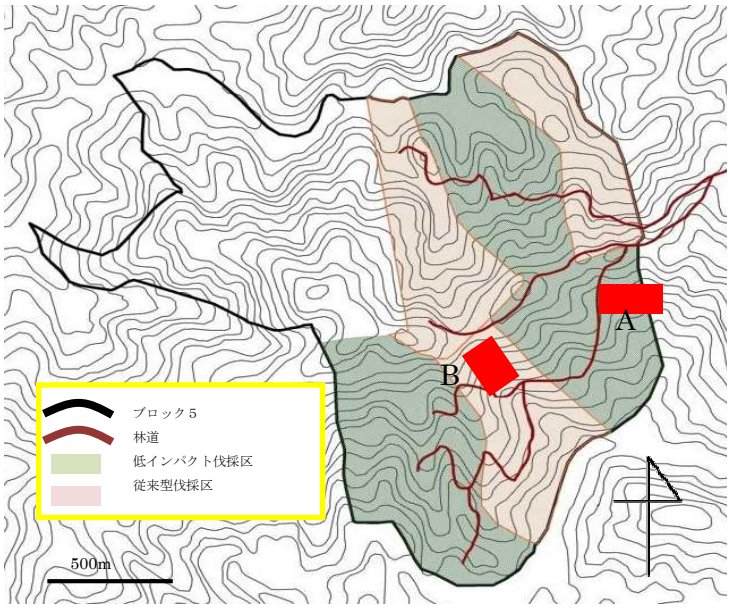
の場所に設置した。また、フン虫の生態系機能に関しては、林内（17地点）、搬出道上（14地点）、林道上（15地点）、山土場上（15地点）のそれぞれに約10gの糞塊を3個ずつ設置し、それぞれに疑似種子としてプラスチック製ビーズ（直径4-14 mm）を混ぜ、設置2日後に糞の消失率、およびビーズの運ばれた距離と埋められた深度について測定した。

２）小型哺乳類の指標性

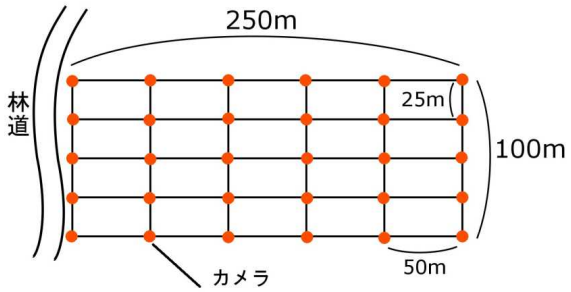
熱帯における主流の伐採施業方法である選択的伐採は、食糞性コガネムシだけでなく、森林生態系内で種子散布などの重要な役割を担っている小型哺乳類の生物多様性に影響を与える恐れがある。小型哺乳類は種子散布を通して森林の更新に影響を与えるため[6)]、択伐による小型哺乳類の多様性の変化は、択伐後の森林回復に負の影響を与える可能性が高い。そこで、択伐施業が小型哺乳類の多様性にどのような影響を与えるのか明らかにするために、また、小型哺乳類の生物多様性への影響が少ない森林伐採施業法を提案するために、マレーシア半島部のペラ州、テメンゴール森林保護区において調査を行った（図(3)-1）。

テメンゴール森林保護区ブロック５には、マレーシアで一般に行われている伐採方法を採用した従来型伐採と、それより伐採する本数を少なくした低インパクト伐採により択伐された森林がある（図(3)-2）。そのそれぞれに、2011年5月から9月にかけて、自動撮影装置[7)]を用いた野生動物相（主として小型哺乳類相）の調査を行い、択伐にともなう森林劣化（林道・搬出路の路網密度など）による動物の出現頻度や種組成への影響に関する調査を行った。

従来型伐採と低インパクト伐採により択伐された森林内それぞれに短辺１００ｍ、長辺２５０ｍの調査区を設置し、調査区内に自動撮影装置30台を格子状に約2週間設置した（図(3)-3）。この時バナナとピーナッツを誘引物に使用した。同時にカメラ周辺の環境（林道、倒木上、閉鎖林冠下、藪、竹藪）も測定し、小型哺乳類の出現頻度に与える林道からの距離と周辺環境の影響を解析した。小型哺乳類の多様性はシャノン・ウィーナーの多様性指数(H’)を用いて定量した。



図(3)-2.　テメンゴール森林保護区ブロック5と調査プロットの位置。緑のエリアが低インパクト伐採で伐採されたエリア、薄い赤のエリアが従来型の伐採方法で伐採されたエリアを示す。Aが低インパクト伐採の調査区、Bが従来型伐採の調査区を示す。



図(3)-3.　自動撮影装置30台を短辺100m、長辺250mの調査区内に格子状に設置した。長辺の自動撮影装置間の距離は50m、短辺の自動撮影装置間の距離は25mである。

３）伐採残差が小型哺乳類多様性保全に果たす役割

森林生態系において、倒木は小型哺乳類の営巣場所や餌場を提供するなど重要な役割を持っている。しかし熱帯林では択伐が行われた後、倒木が長期にわたり減少し[8)]、倒木に依存した小型哺乳類の多様性が減少することが知られている[9)]。一方、伐採木の林冠部や巻き沿い木などの伐採残渣は哺乳類の多様性を向上させる可能性があるが、その取扱いに関する規制は存在しない。近年は森林資源の効果的な活用のため、伐採残差を林外に持ち出すことも検討されている[10)]。しかしもし伐採残差が伐採直後の小型哺乳類の多様性に寄与しているのならば、伐採残差の持ち出しは生物多様性に負の影響を与えることになる。そこで、半島マレーシア北部の択伐林において、伐採後林内に放置された伐採残渣が小型哺乳類の多様性向上に貢献するかどうか確かめることを目的とした調査を行った。

調査は2012年8月にマレーシア・ペラ州に位置するテメンゴール保護林において行った（図(3)-1）。調査区には2010年の伐採の際に発生した伐採残渣が残置されている。これらの伐採残渣に対し1台ずつ、計18台の自動撮影装置を取り付けた。一方コントロールとして、それぞれの伐採残渣から25m以上離れた地上に自動撮影装置を合計17台設置し、10日間撮影を行った。自動撮影装置に写った個体を種、または属レベルで同定し、出現回数をカウントした。そして、伐採残渣有・無群間で種数、シャノン・ウィーナーの多様性指数(H’)、各種の出現回数の比較をMann WhitneyのU検定を用いて行った。

（３）森林伐採施業の林冠構成樹種の生物多様性の持続性評価

東南アジアの熱帯林で普通に行われている選択伐採の持続可能性の評価は、これまでは木材資源の供給の視点から行われてきた。選択伐採により生物多様性が脅かされることが指摘されているにもかかわらず[1)]、選択伐採の生物多様性の持続性の評価は、おそらく今まで一度もされていない。この研究では、伐採後の森林内において林冠構成樹種でかつ最優占種であるフタバガキ科樹種５種（*Shorea acuminata*、*S. macroptera*、*S. maxwelliana*、*S. parvifolia*、*S. pauciflora*）の個体群が持続可能かどうかを評価することで、選択伐採の生物多様性の持続性を評価した。もし選択伐採が生物多様性的に持続可能ならば、少なくともこの5種の個体群も持続可能なはずである。

また、一度伐採された森林は、時間をかけて伐採前の森林構造に戻ると信じられてきた[11)]。しかしこの考えは、本当に正しいのだろうか？もしこの命題が偽であれば、森林伐採による森林の変化は不可逆的であり、伐採の森林生態系（特に生物多様性）への影響も永続的だと考えるべきである。つまり森林伐採の生物多様性への長期影響評価の考え方を見直す必要が生じる。そこでこの命題の真偽を個体群動態的に検証した。

生物多様性の持続可能性評価と命題の検証は、マレーシアネグリセンビラン州の択伐後50年を経た二次林での1998年～2008年までの毎木調査データ（択伐後プロット）と伐採経験のない隣接する森林の1995年～2005年までの毎木調査データ（天然林プロット）を用いて行った（図(3)-1）。供試植物としてこの森林の最優占グループであるフタバガキ科5種を用い、個体群動態の解析には推移行列モデルを用いた[12)]。本研究ではまず毎木調査データを用いて、この5種に対して成長、生残、加入速度を決定した。そしてこの速度にもとづき、個体群動態を表す推移行列を種ごとに作成した。個体群持続性の評価のため、こうして作られた推移行列を用いて、個体群増加速度を

算出し、さらにLTRE（生命表反応実験）を行った。命題の検証のためには、推移行列の最大固有値の右固有ベクトルを算出した。この右固有ベクトルとは、定常状態に達した時（すなわち極相状態）における、個体群構造（安定サイズ構造）を示すことが知られている。

（４）生物多様性劣化抑止のための生態系甦生の実証研究

東南アジア諸国ではアブラヤシ農園が急速に拡大しており[13)]、その裏には森林生態系のアブラヤシ農園への転換の問題（森林減少）やアブラヤシ農園による森林の分断化（森林劣化）の問題が潜んでいる。アブラヤシ農園は森林生態系に比べて生物多様性が著しく低いので、アブラヤシ農園造園により生物多様性が劣化していると言える。そこでREDD+の改良案として、アブラヤシ農園内に地域住民の手による緑の回廊を設置することで、どの程度アブラヤシ農園造園による森林生態系の質的劣化（生物多様性減少）を抑止することが可能となるのか、次の 2 つの視点から調査を行った。まず、2012 年 9 月にアブラヤシ農園内の河川沿いに新たに自然林構成種を植栽した。これは 2003 年にパソ保護林（図(3)-1）周辺域のアブラヤシ農園内で地元地域住民の協力のもとに実施した、自然植生回復活動地（通称「緑の回廊」（図(3)-4）を再延長するものである。2012 年での植栽実験では、地元の小中校生、大学生、アブラヤシ農園の所有者、オイルパーム開発公社、マレーシア林業局、マレーシア森林研究所員、マレーシア在住の日本企業、など総勢 180 人が参加した。植栽作業にあたっては、こうした事業が地元住民や地域社会、初中等教育でどの程度受け入れられるのかを明らかにする目的で、事前にレクチャーを行い、植栽作業後やレクチャーを通して、生物多様性の保全に関する認識がどのように変わったかについて簡単なアンケート調査を行った。本調査はとりわけ、REDD + の重要項目の一つである「炭素蓄積量の増加」のみならず、地元住民参加による生物多様性劣化の抑止活動としての実証研究（土地利用区割り政策と地元住民の環境改善活動とのシナジー効果）として適切である。

もう一方の調査として、当該地区（パソ保護林周辺域 60km 四方）の 1970 年代から土地利用変化を分析し、アブラヤシ農園の機会費用（土地利用転換をしないで森林を温存しておいた場合の収益）が REDD+から得られるクレジットによってどの程度補填できるかを分析した。その際、アブラヤシ農園内での河川集水域だけを温存した場合の費用対効果についても分析し（オイルパーム売り上げの減少と CO_2 クレジットとの比較）、現存する河川沿いの断片化植生の活用や河川植生の保全・再生保全活動の実現性を「経済面＋地域住民参加」という視点から分析した。

図(3)-4. 緑の回廊植栽域。左は植栽直後（2003年）の植栽樹を示す。右は植栽後8年経過した植栽域（2012年）。

この地域において、緑の回廊が生物多様性回復にどの程度貢献しうるのかを明らかにするために 2003 年に植栽が終了し、すでにその多くが 5～15m 程度の中径木として生長している箇所（植栽域）と植栽を実施しなかった河川沿い（非植栽域）の間の野生生物相を比較した。非植栽域として植栽域と同一河川上の上流約 1km 以内の範囲にあるアブラヤシ農園を利用した。野生生物相を把握するため、自動撮影装置[7]を約 2 カ月間(56 日間)、植栽域に 6 台、非植栽域に 6 台設置した。自動撮影装置は植栽域では植栽した樹木に設置し、非植栽域では河川沿いのオイルパームに設置した。撮影された野生生物を見ると、クマネズミ属が他のいかなる野生生物種群に比べても出現回数が著しく大きかったため、クマネズミ属に特に注目して出現頻度を解析した。

（５）低インパクト伐採方法を採用した際の現存量、および炭素クレジットの発生量についての予測・分析

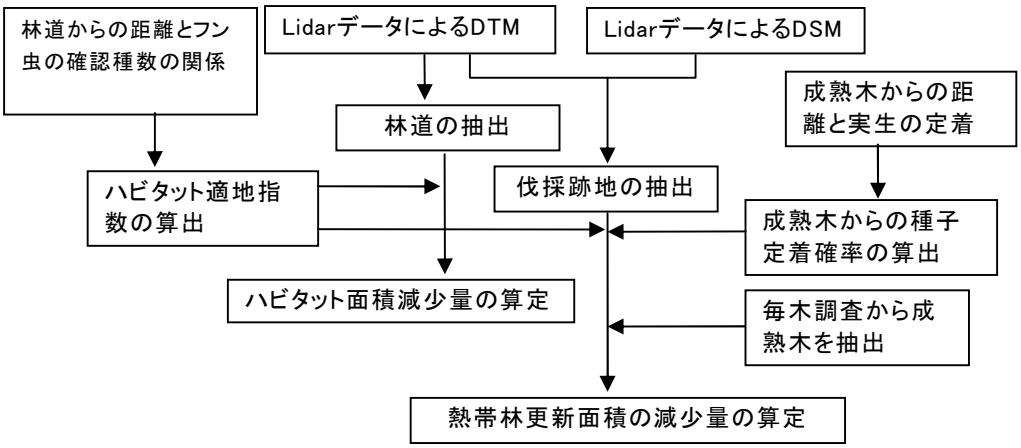
マレーシアでは低地フタバガキ林を対象とした、MUS (Malayan Uniform System)とよばれる択伐が1948年～1970年代まで行われた。MUSは有用樹であるフタバガキ科の密度を高め、多様性の高い森林から、有用樹の優占度の高い均質な森林への改良を念頭において実施された。本研究では、1958年にMUSがなされた森林内に1998年に設置された6 ha (300 m × 200 m)の調査プロットを対象とし、森林伐採後の再成長量および現存量の推移、低インパクト伐採方式を採用した際の現存量、および炭素クレジットの発生量についての予測・分析を行った。森林の再成長量の推定には、1998年以来当プロットで2年ごとに行われている毎木調査データ（直径１cm以上）に基づいた。現存量の推定は、積み上げ法により、毎木調査で得られた直径データから行った。パソでは積み上げ法で必要となる植物の各部分間のアロメトリー式を決定するために1970年代に、伐採調査が行われている[14]。この調査で得られたアロメトリー式を用いて個体の直径データから、その個体の幹、枝、葉の重量を推定し、これらの総和として個体重量を決定した。そしてこの作業をプロット内の全ての木について行うことで、森林の現存量を推定した。

低インパクト伐採の効果については、伐採量を33%減少させた（伐採直後の森林現存量を現行の150 t/ha程度から200t/ha程度に引き上げた）場合について成長量のシミュレーションを行い、現存量の回復にかかる時間を推定した。さらに、低インパクト伐採による現存量の上昇分につい

て、二酸化炭素価格を15 US$/tとして金額に換算し、REDD+による炭素クレジット量を推定した。

（６）林道建設が及ぼす熱帯林への影響の定量化

ペラ州テメンゴール森林保護区（ブロック５）の約2km×2kmの森林を対象に（図(3)-1）、林道建設によって熱帯林がもつ生態系サービスの劣化がどの程度見込まれるかを、「（１）リモートセンシングを用いた森林モニタリング手法の開発」で開発した手法を用いて定量的に把握した。生態系サービスへの影響は、林道建設によって減少する野生生物のハビタット面積の減少量と、伐採跡地が熱帯林として更新される面積の減少量で評価した。ハビタット面積については、減少量のみならず、断片化の有無についても確認した。これらの算定については、林道からの距離に応じたフン虫の確認種数、熱帯林の親木からの距離に応じた実生の定着割合を指標化し、林道からの距離と親木からの距離を変数とした確率分布で表した。定量化のフローは図(3)-5のとおりである。



図(3)-5. 定量化のフロー

１）LiDARデータの活用による林道と伐採跡地の抽出

LiDARデータによって得られた地盤の標高を表すDTM（Dingital Terrain Model：数値地形モデル）を用いて、地盤の形状（凹凸）をGIS上で再現し、林道を抽出した。さらに、地物の表面の標高を表すDSM（Digital Surface Model：数値表面モデル）の差分から地物高（DSM-DTM）を計算し、伐採跡地を抽出した。

２）林道周辺の生物多様性の視点からみたハビタット適地指数の算出とハビタット面積減少量の算定

既往の現地調査結果では、林道からの距離が遠くなるに従ってフン虫の確認種数が増加することが分かった。フン虫は哺乳類の糞を餌資源とする一群の昆虫であり、哺乳類の糞を分解する他、哺乳類の糞に含まれる植物の種子がフン虫によって地中に埋められることで、発芽率が上昇することが知られている。そこで、林道からの距離とフン虫の確認種数から回帰式を作成し、林道からの距離を変数とするハビタット適地指数（0～1）を算出した。

対象地域を1m×1mのメッシュで表現し、メッシュごとに林道からの距離を計算し、それに応じたハビタット適地指数を与え、林道建設後の有効ハビタット面積を算出した。

有効ハビタット面積＝面積　×　ハビタット適地指数

ハビタット適地指数：0～1の値をとる

ハビタット面積の減少量は、林道建設前のハビタット面積（＝対象地域の面積）から林道建設後のハビタット面積（林道周辺の劣化分を考慮）を引いて算出した。

３）成熟木からの種子定着確率の算出と熱帯林更新面積減少量の算定

既往の研究からDBHが50cm未満の樹木は種子生産量が低いこと、成熟木からの距離に応じて実生の個体密度が減少することが把握されている。そこで、成熟木からの距離を変数として、種子の定着割合を、最も実生個体密度が高い場合を1とする0～1の確率分布で算出した。また、林道からの距離によってハビタットが劣化する影響も考慮するものとし、以下の算定式で、熱帯林の更新確率を試算し、確率を考慮した有効更新面積を集計した。なお、成熟木の位置は、対象地域で実施された毎木調査結果による樹木の位置とDBHのデータを用いて作成した。

$g(x_1,x_2) = f_1(x_1) \times f_2(x_2)$

f_1：林道からの距離に応じたハビタット指数を示す確率分布

x_1：林道からの距離

f_2：成熟木からの距離に応じた種子の定着割合を示す確率分布

x_2：成熟木からの距離

熱帯林の有効更新面積 = Σ ($g(x_1,x_2)$ × 面積)

1m×1mのメッシュごとに林道からの距離と成熟木からの距離を計算し、伐採跡地のうち、種子が定着する面積を、林道からの距離と成熟木からの距離から求まる確率分布$g(x_1,x_2)$を用いて算定した。なお、林道からの影響の程度を2段階で把握するため、以下の3ケースについて試算し、林道分の影響量を定量化することとした。ケース3については、幹線林道以外は、索道などを利用して樹木を搬出した場合を想定したものである。

ケース1：林道の影響を考慮しない（$f_1(x_1)=1$とする）

ケース2：林道の影響を考慮する

ケース3：幹線林道と枝分かれした林道（便宜的に50m程度）の影響のみを考慮する

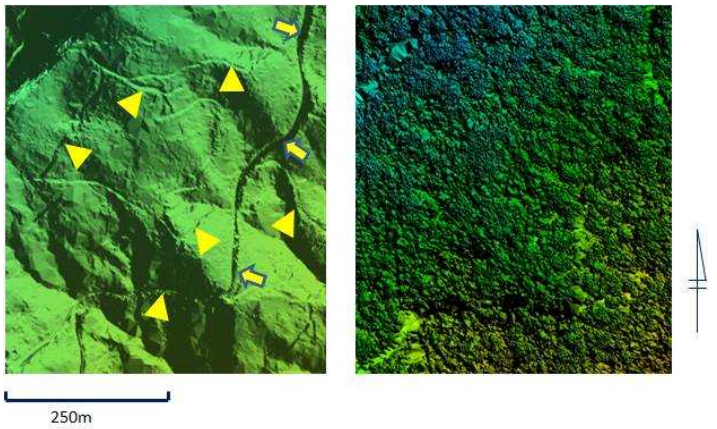
ケース1に対する、ケース2およびケース3の面積減少量が林道の影響分であると算定した。

４．結果及び考察

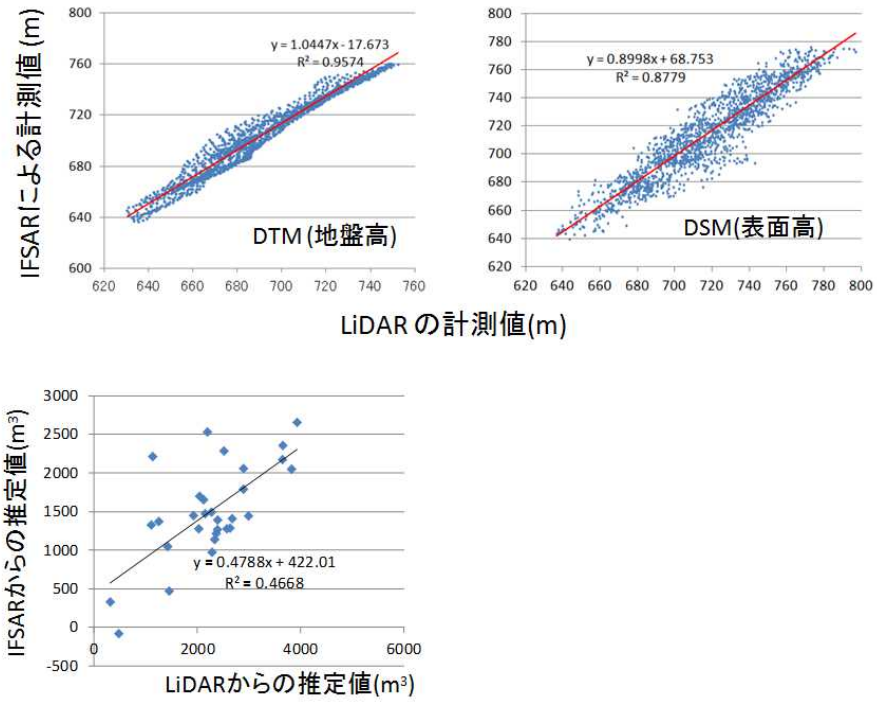
（１）リモートセンシングを用いた森林モニタリング手法の開発

現地調査の結果、半島マレーシア、パソでは生産林において現在択伐施業が実施中で、REDD+のベースライン調査に利用できることが分かった。ペラ州のテメンゴールでは従来型の森林施業を行う一方で、FRIM（マレーシア森林研究所）が独自に設計した低インパクト伐採方式を採用した施業が試験的に行われている。そのため、これらの施業方式が異なるサイト（林班区）を利用してREDD+のベースライン調査、参照レベル調査に適切であると判断し、LiDARや航空機SAR,衛星SARデータとの整合性の検証を行った。上記試験地においてテメンゴールで撮影した航空機搭載型レ

ーザープロファイラー(LiDAR)データをもとに林冠面構造モデル（Digital Surface Model：DSM）と地表面構造モデル（Digital Terrine Model）を作成し、同地区の森林状況と照合したところ、フィルタリング処理により作成したDTMでは基幹林道の概況のみならず、DSMでは不明瞭な搬出路の配置などが極めて細緻に捕捉できることが分かった（図(3)-6）。このことは、熱帯雨林のような閉鎖林冠で高木が密生し、かつ階層構造が複雑な森林においてもレーザービームが地表面まで達し、最終反射パルスが正確に捕捉できることを示しているが、一方で生物多様性の重要な指標である林内構造もLiDARを用いた森林計測によって再構築できることを示唆している。LiDARとIFSARデータ（DTM, DSM）のサンプルエリア内での空間変動を比較したところ、極めて高い相関が見られることが分かった（図(3)-7）の上２つの図）。ただし、両者のDSMとDTMの差から求めた林冠高についてLiDARとIFSAR間で比較したところ、相関係数は低いことが分かった（R=0.28）。これはIFSARによるDTM, DSMの変域がLiDARのそれに比べ狭いことが原因と考えられた。このため地上部の現存量の推定にあたっては、LiDARから求めたDTMを用いることとした。現存量推定に関しては体積換算法（林冠高をもとにした構造体の体積と地上での毎木調査から得た樹木の重さを基に地上部の現存量を推定する方法）が有効であることから、LiDARとIFSARから得た構造体体積の比較を行ったところ両者の間に有意な相関が得られた（R=0.68, P<0.01）。これらのことからIFSARで林冠高の時空的な変動や小規模林分（<1ha程度）での現存量の地形依存性などの分析を行う場合、既存の地形測量データやLiDARデータとの併用など行う必要があることが分かった。同様にLiDARとTerraSAR-Xとの整合性（DSMのみ）について分析をした結果、両者の間に高い相関が得られることが分かったが、LiDARデータのDSMで高海抜値（＞750m）として表されているエリアではTerraSAR-XデータでのDSMが過小評価される傾向が見られること、一方750m以下のエリアでは逆にLiDARデータの方が低く評価される点が多いことが分かった。この傾向はサンプル数を増やしても変わらなかった。両データセットともサンプルポイントを1mグリッドに再配列して作成したが、LiDARデータの照射密度が極めて高く、ほぼ1m以下の分解能が得られているのに対して、TerraSAR-Xでは地上分解能が若干粗く、照射点間が1mから10mまでにばらついており、欠測したグリッドでデータ補間を行ったことが原因とも考えられる。LiDARとTerraSAR-Xのデータとの相関についてはさらに調査地を広げて検証する必要があるが、両者の関係に一般性が見られればTerraSAR-Xを用いた広域の森林構造や現存量推定が行えるものと考えられる。



図(3)-6. マレーシアテメンゴールの調査サイトにおいて航空機LiDAR(レーザープロファイラー)計測によって作成した林冠面（DSM、右図）および地表面（DTM、左図）三次元構造。右図のDSMでは基幹林道の一部の判読は可能であるが、フィルタリング処理によるDTMでは基幹林道（矢印）以外の、細かな搬出路（△印で示した）の配置、形態なども克明に捕捉できる。



図(3)-7. マレーシアテメンゴールの調査サイトの同一箇所で撮影・計測した航空機LiDAR(レーザープロファイラー)による林冠表面データ（LiDAR）とTerraSAR-Xによる合成開口レーダによって得られた林冠面データ（TSX）の関係。X軸、Y軸ともに単位はm(メートル)で標高値を示す。回帰式は図中に示した（R=0.837, df=998）。

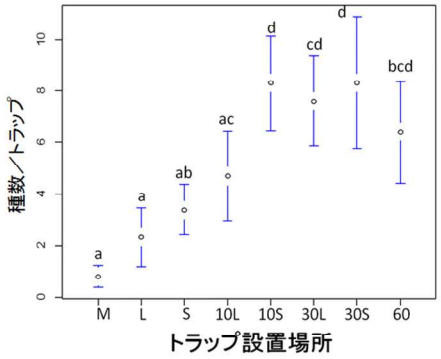
（２）森林伐採施業方法の改善による生物多様性の劣化抑止に関する分析

１）食糞性コガネムシ類の指標性

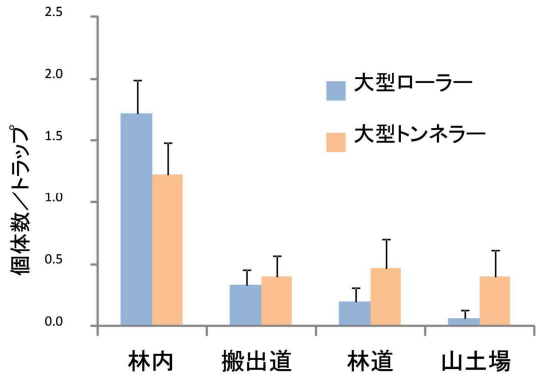
フン虫の種数は山土場上、林道上、搬出道上において極端に少なく、これらの路網上は幅が10 mに満たない小規模なものであっても、フン虫のような熱帯雨林の森林依存種にとって生息困難な環境を作り出していることが明らかになった（図(3)-8）。さらに林内であっても、林道から10 mの場所では路網上と種数の有意な違いは見られなかったことから、路網整備の影響は路網上のみならず周辺の林内にも影響を及ぼしていることが示唆された。また、糞の処理能力が高い大型フン虫[5)]の個体数は、林内ではローラー（糞を転がし、糞塊から離れた場所に埋めるグループ：本研究では*Synapsis* spp.および*Paragymnopleurus* spp.）の方がトンネラー（糞を転がさず、糞塊の直下に埋めるグループ：本研究では*Catharsius renadpauliani*）の個体数よりも多かったのに対し、山土場ではこの関係が逆転した（図(3)-9）。

糞の消失率に関しても、林内 > 搬出道上 > 林道上 > 山土場上のように、造成規模が大きくなるにつれて、低下した（図(3)-10）。これは路網上におけるフン虫の個体数、特に大型個体の減少によるものと考えられる（図(3)-10）。種子（ビーズ）の運搬に関しては、0-90 cmの移動がみられ、平均値では場所間に有意な差は見られなかったものの（図(3)-11左）、50 cm以上運ばれたビーズの割合は林内において他の場所よりも有意に高かった（Fisherの正確確率検定 P = 0.003）。一方で、種子の埋められた深さは山土場において他の場所よりも有意に深かった（図(3)-11右）。これらは、路網上では大型ローラーの個体数が大きく低下する一方、大型トンネラーが優占するといったフン虫の群集構造の変化に起因すると考えられる。なお、山土場では90%近くのビーズが3 cmより深くに埋められたが、多くの熱帯林の種子において、3 cm以上埋められると発芽率が低下することが知られている[5)]。

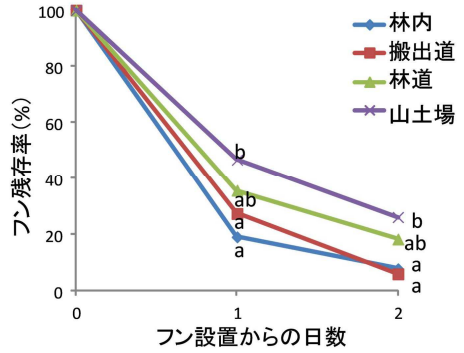
以上のように、本研究により熱帯雨林における路網整備はフン虫の多様性や種構成に影響を与え、その結果フン虫の生態系機能の低下を招くことが示唆された。したがって、路網密度の低減は炭素貯留量の増加のみならず、生物の多様性を維持し、生態系機能を保つ上でも効果的であると考えられる。



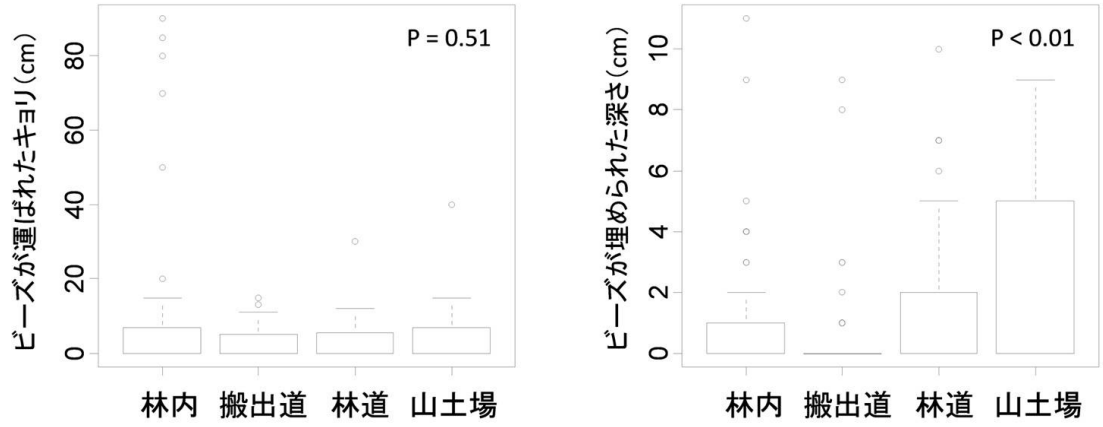
図(3)-8. 各場所におけるフン虫の種数。M:山土場、L:林道、S:搬出道、10L:林道から10m離れた林内、10S:搬出道から10m離れた林内、30L:林道から30m離れた林内、30S:搬出道から30m離れた林内、60:搬出道もしくは林道から60m離れた林内。異なるアルファベットは多重比較における平均値の有意差を表す（P < 0.05）。



図(3)-9. 各場所における大型ローラーと大型トンネラーの個体数。林内は搬出道・林道からの距離にかかわらずまとめてある。



図(3)-10. 各場所における設置1日後および2日後の糞の残存率。異なるアルファベットは多重比較における平均値の有意差を表す。



図(3)-11. 各場所におけるビーズ（疑似種子）が運ばれたキョリ（左）と埋められた深さ（右）。P値はKruskal-walis testによる。

２）小型哺乳類の指標性

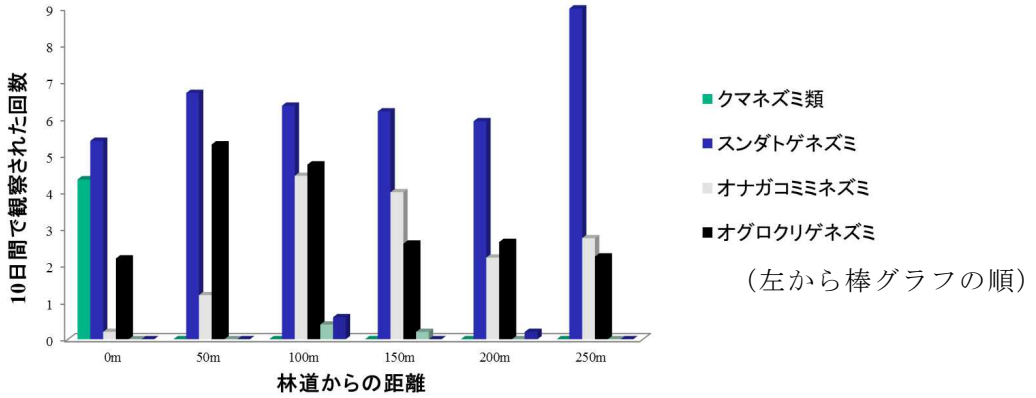
テメンゴール保護林の従来型伐採区と低インパクト伐採区それぞれに30台の自動撮影装置を設置して哺乳類相の調査を行ったところ、両調査区合わせて22種類の哺乳類が撮影された。このうち17種が従来型伐採区で、19種が低インパクト伐採区で確認された（表(3)-1）。また、14種が従来型伐採区と低インパクト伐採区の双方で共通しており、従来型伐採区のみで確認されたのはアカオオカミ（*Cuon alpinus*、準絶滅危惧種）、ベンガルヤマネコ（*Prionailurus bengalensis*），タイワンリス（*Callosciurus caniceps*）の3種、低インパクト伐採区のみで確認されたのはアジアゾウ(*Elephas maximus*、危急種)、マレーバク（*Tapirus indicus*、準絶滅危惧種）、マレーグマ(*Helarctos malayanus*、危急種）、オビリンサン(*Banded linsng*、準絶滅危惧種)、バウアーシロネズミ（*Berylmys bowersi*、絶滅危惧種）の5種であった。これを見るとマレーシアのレッドリスト[15)]に記載されている大型の種や肉食動物が低インパクト伐採区で多く撮影されていたことが分かる。こうした大型哺乳類は従来型伐採後に発生する密度の高い藪を忌避する傾向があり、この結果から密度の高い藪を発生させにくい低インパクト伐採には大型哺乳類の保全効果が期待できる。

齧歯類の出現パターンに注目すると、多くのネズミが伐採による森林の変化の影響を受けていた。クマネズミ属のネズミ（*Rattus* spp.）は、従来型伐採区、低インパクト伐採区ともに林道か

表（3）-1 従来型伐採区，低インパクト伐採区両プロットで記録された哺乳類のリスト。それぞれの伐採区における10日当たりの出現回数を表している。

学名	英名	従来型	低インパクト
Hylomys suillus	Short-tailed gymnure	1.5	2.0
Crocidura spp.		0.5	4.3
Tupaia glis	Common treeshrew	10.6	50.3
Macaca nemestrina	Southern pig-tailed macaque	3.8	1.0
Cuon alpines	Dhole	1.4	0.0
Helarctos malayanus	Sun bear	0.0	1.1
Paguma larvata	Masked palm civet	2.0	1.0
Prionodon linsang	Banded linsang	0.0	2.0
Prionailurus	Leopard cat	1.0	0.0
Elephas maximus	Asian elephant	0.0	1.3
Tapirus indicus	Asian tapir	0.0	2.0
Sus scrofa	Eurasian wild pig	0.6	1.0
Muntiacus muntjak	Red muntjac	1.9	1.0
Callosciurus caniceps	Grey-bellied squirrel	3.8	0.0
Sundasciurus spp.		0.5	8.4
Lariscus insignis	Three-striped ground squirrel	3.9	3.0
Rattus spp.		16.7	27.8
Sundamys mulleri	Muller’s rat	37.2	172.8
Niviventer	Dark-tailed niviventer	110.2	96.6
Lepoldamys sabanus	Long-tailed giant rat	401.0	446.8
Maxomys spp.		23.9	4.0
Berylmys bowersi	Bower’s rat	0.0	4.0

らごく近い場所にのみ分布していた（図(3)-12）。クマネズミ属は元来森林には住まないことから、林道建設に伴い森林に移入した地域的な外来種と考えるられる。反対に森林性のオナガコミミネズミ（*Leopoldamys sabanus*）やオグロクリゲネズミ（*Niviventer cremoriventer*）を見ると、本種は基幹林道を忌避しているようであり、基幹林道から150 mの場所までは出現頻度が低下することが分かった。一方でスンダトゲネズミ（*Maxomys* spp.）は基幹林道との距離とは独立に分布していた。



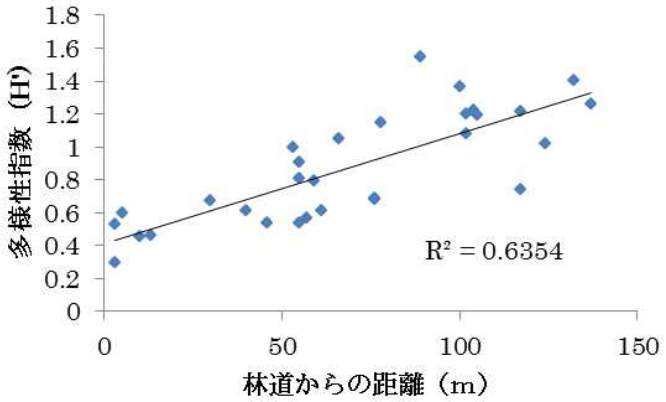
図(3)-12.　林道からの距離と小型哺乳類の撮影頻度の関係。

このように、森林伐採と林道建設は短期的には齧歯類の群集を変化させていた。この変化の結果、小型哺乳類の種多様性が基幹林道からの距離に応じてどのように変化するのかを解析すると、従来型伐採区では、林道からの距離が離れるにつれて種多様性が増加することが分かった($r=0.80$, $p<0.01$、（図(3)-13）。上述の通り齧歯類は、種子散布や種子食害など森林に対する影響が大きいグループなので、齧歯類群集の変化は、森林の構造や動態を変化させる可能性がある。伐採による齧歯類群集の変化は、さらなる連鎖的な反応として伐採後の森林の再成長速度に影響がでることが懸念されるところである。

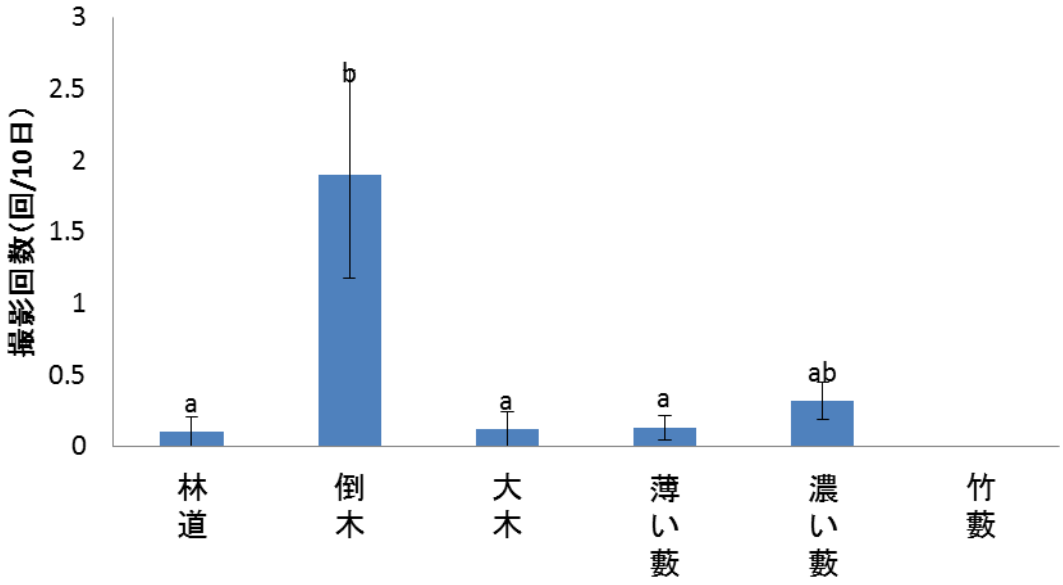
オナガコミミネズミやオグロクリゲネズミの結果から、基幹林道と基幹林道の間が300 m以内で建設・設置された場合、本種の生態に強く影響を及ぼすことが分かった。テメンゴール調査区では基幹林道は分岐点などを除いて概ね200m以上の距離が保たれているが、オナガコミミネズミやオグロクリゲネズミへの影響を考えると、基幹林道間の距離を現在より増やす必要がある。またマレーシアで一般的に行われている他地域での伐採施業を見ると、基幹林道間の距離がテメンゴール調査区よりずっと短い。今回の調査結果を受けて、森林動態へ大きな影響を与えるネズミなどの齧歯類の保全を考える場合、基幹林道間の距離を現在より広げるべきだという提言ができる。

半地上性の哺乳類の撮影回数がカメラを設置した周囲の環境に影響を受けるかどうかをクラスカルウォリス検定を用いて解析したところ、従来型伐採区、低インパクト伐採区ともに有意水準５％でカメラ周囲の環境が撮影回数に有意な影響を持つことが認められた。そして従来型伐採区と低インパクト区両方で、倒木における撮影回数が他の地域よりも多かった（図(3)-14）。調査地で見られた倒木の多くは伐採に伴う巻き添え木や伐採されたものの放置された木（伐採残差）であったことより、伐採残渣は小型哺乳類の生物多様性保護に寄与している可能性が高い。そこ

で、これについては「３）伐採残差が小型哺乳類多様性保全に果たす役割」でさらに詳しい調査を行うこととした。



図(3)-13.　従来型伐採区における林道または搬出道からの距離と多様性指数の関係。

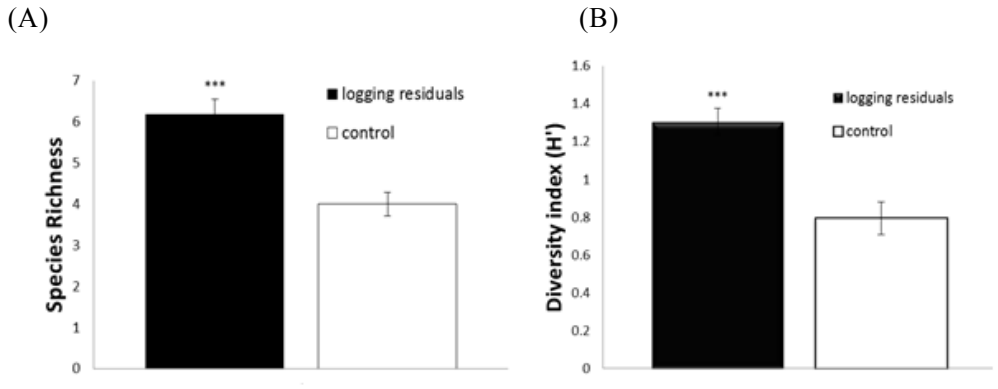


図(3)-14.　カメラを設置した環境と出現回数の関係。従来型伐採区での結果を示す。

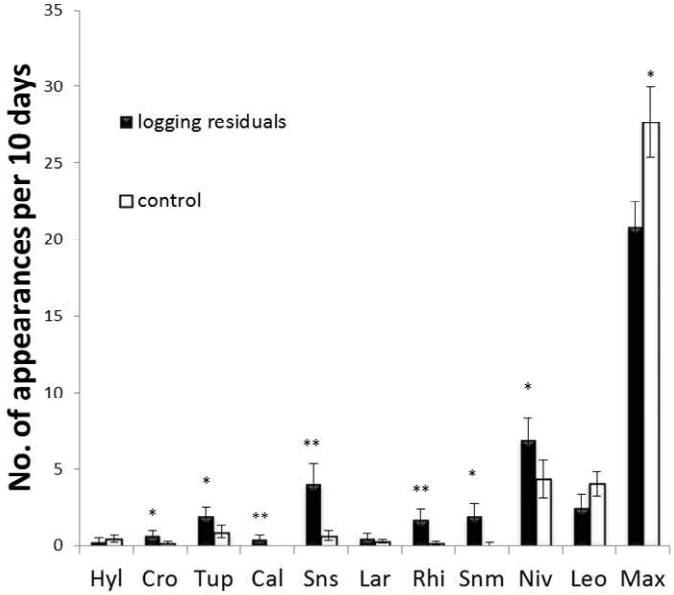
３）伐採残渣が小型哺乳類多様性保全に果たす役割

伐採残渣無群に比べて残渣有群の方が種数（図(3)-15A）、多様性指数（図(3)-15B）ともに有意に高かった（Mann Whitney のU検定、$P<0.001$）。このことは伐採残渣が小型哺乳類の種多様性を向上させることを示している。さらに、出現した小型哺乳類の各種の出現回数を2群間で比較すると、11種類中7種が残渣有群で、1種が残渣無群で有意に多く出現していた（（図(3)-16、Mann Whitney のU検定、$P<0.05$）。残渣有群の出現が多い種の多くは餌資源や営巣に倒木を利用する種

や樹上性の種であり、残渣無群の方が多く出現した種は地上性で地下に営巣する種であった。これらのことから、長期的な天然の倒木の減少を抑制する低インパクト伐採等と合わせて伐採後に伐採残渣の管理・活用を行うことで、小型哺乳類の多様性保全が効果的に行えることが分かった。



図(3)-15. 残渣無群（白棒）と残渣有群（黒棒）の間の種数（A）と多様性指数（B）の比較。棒は平均をエラーバーは標準誤差を示す。種数、多様性指数とも統計学的に有意に残渣無群より残渣有群のほうが高かった（Mann-Whitney U test、P<0.001）。



図(3)-16. それぞれの小型哺乳類における、残渣無群（白棒）と残渣有群（黒棒）の間の 10 日間の出現頻度の比較。平均値（棒）と標準誤差（エラーバー）が示されている。 *と ** はそれぞれ、残渣有群と残渣無群の間の差が 5%水準と 1%水準で有意であったことを示す（Mann-Whitney U test）。

（３）森林伐採施業の林冠構成樹種の生物多様性の持続性評価

調査対象とした5種の内、択伐後プロットと天然林プロットの間に生長速度の有意な差が見られたのはShorea auminataの中径木のクラスだけであり、成長速度は択伐後の再生二次林の方が天然

林に比べて有意に速かった(Mann-Whitney U-test, P<0.05、(図(3)-17)。死亡速度の種内プロット間の比較をしてみると、全て種の全てのサイズクラスで有意な差はみられなかった(フィッシャーの正確確率テスト、(図(3)-18)。一方、加入速度も同様に種内プロット間の比較をしてみると、全ての種で天然林の方が再生二次林に比べて有意に速いことが分かった(フィッシャーの正確確率テスト、P<0.05、(図(3)-19)。

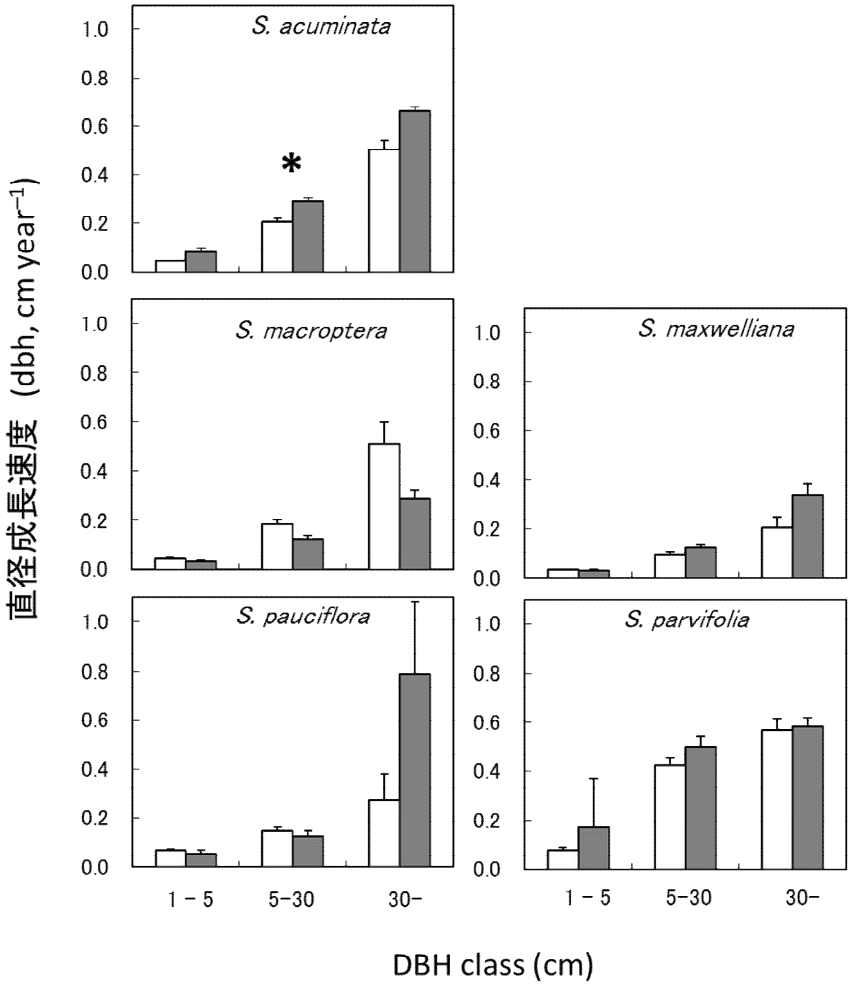
こうして求めた成長、生残、加入速度を利用して、種毎プロット毎に推移行列を作成し、将来の個体群動態を予測した。その結果、プロット間で加入速度が10倍以上の違いにもかかわらず、個体群増加速度はすべての種でプロット間に有意な差がなく、かつ個体数の平衡状態（時間とともに個体数が変化しない状態）を示す1.0から有意に離れていなかった（図(3)-20）。このことから択伐は生物多様性の観点から持続可能であると判定された。

同時に推移行列を利用してLTREを行ったところ、すべての種について択伐後プロットと天然林プロットの間で個体群動態もほとんど変わらないことも明らかになった。この点からも択伐の生物多様性持続性が支持された。

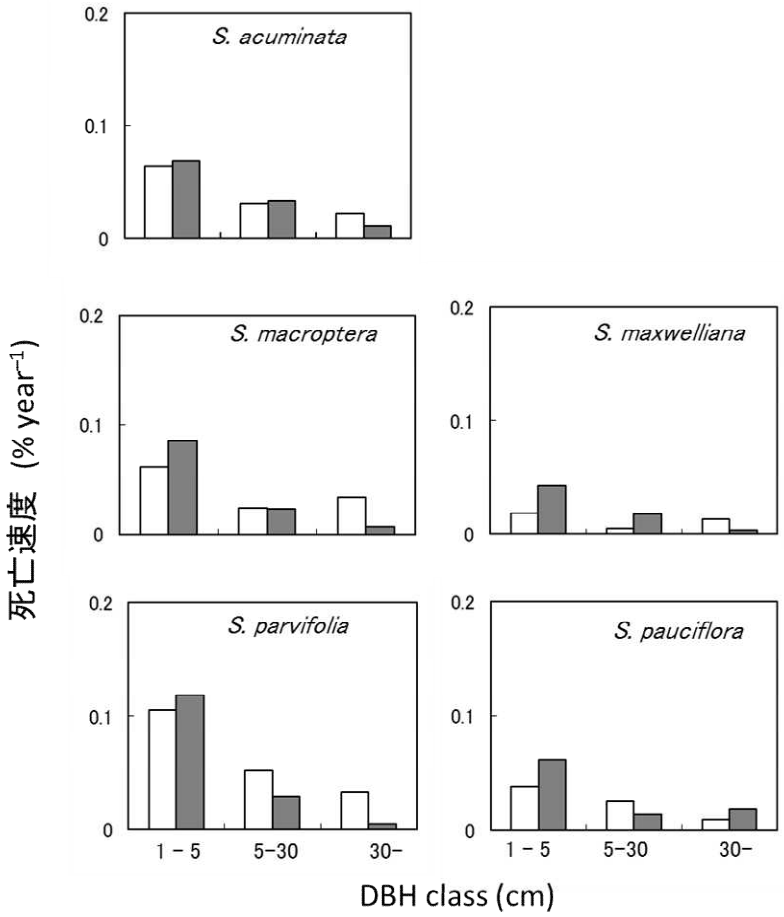
次に伐採された森林は、時間をかけて伐採前の状態に戻るという命題の真偽を科学的に検証した。ここでは先ほど紹介した推移行列の最大固有値の右固有ベクトル（安定サイズ構造）に注目する(図(3)-21)、安定サイズ構造は極相に達したときの個体群構造を示すことが知られている)。択伐後プロットでは、観察されたサイズ構造と安定サイズ構造は大きく異なっていた。具体的には、安定サイズ構造で出現が予想された直径70㎝以上の植物が択伐後プロットではほとんど観察されなかった。これは、択伐後50年が経過したとしても、直径70㎝を超える大木は出現できず、その出現には伐採後50年を超える非常に長い時間がかかることを示唆している。

次に天然林と択伐後プロットの安定サイズ構造を比較すると、数十パーセントを超える違いが見つかった。これは、択伐後の二次林がたとえ極相状態に達したとしても、そこに生える植物のサイズ構造は天然林とは異なるものになることを意味している。すなわち、“伐採された森林は、時間をかけて伐採前の状態に戻る”という命題は、個体群生態学的には偽であることが判明した。さらなる解析で、この違いの要因は10倍遅い二次林での加入速度であることも判明した。

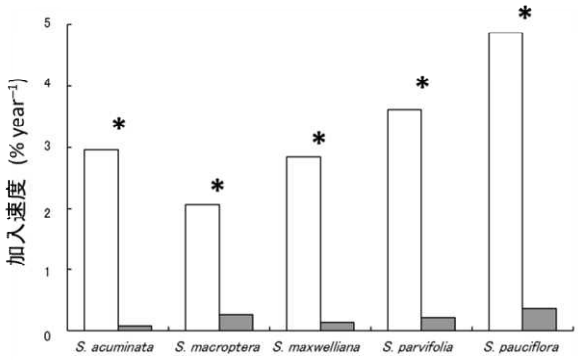
本研究により、現存量に注目すれば調査区では択伐後50年程度で天然林に近い値まで回復することが分かっていたが、個体群動態的には50年では個体群構造は到底回復できないことが示唆された。さらに、今後長時間が経過し、森林が安定（極相）状態に達したとしても、択伐後の二次林は天然林とは異なるサイズ構造を持つことも判明した。優占グループであるフタバガキ科植物のサイズ構造の変化は、森林全体のサイズ構造の変化に結び付き、ひいては森林の生物多様性に影響を与えることが懸念される。本研究により伐採による森林の変化が不可逆的であることが示唆されたので、今後森林伐採を行う場合は、将来の生物多様性への影響をさらに慎重に評価する必要があると強く提言できる。



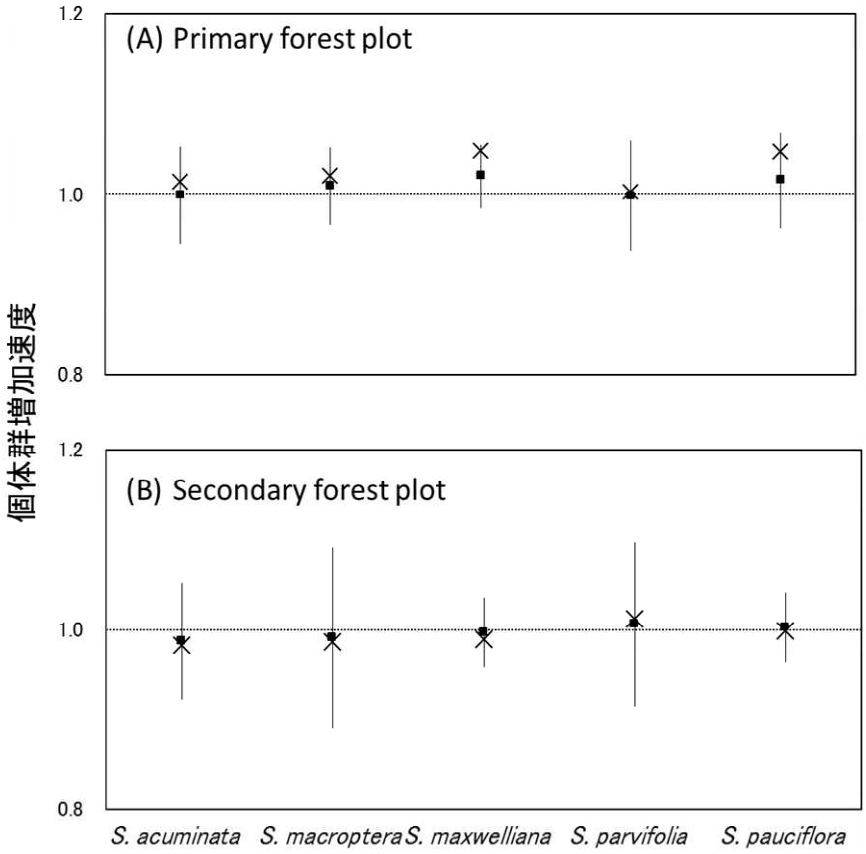
図(3)-17. 調査対象とした5種の直径成長速度。白い棒が天然林プロットのグレーの棒が択伐後プロットの平均値を示す。エラーバーは標準誤差を示す。アスタリスクはプロット間の有意な違いを示す。



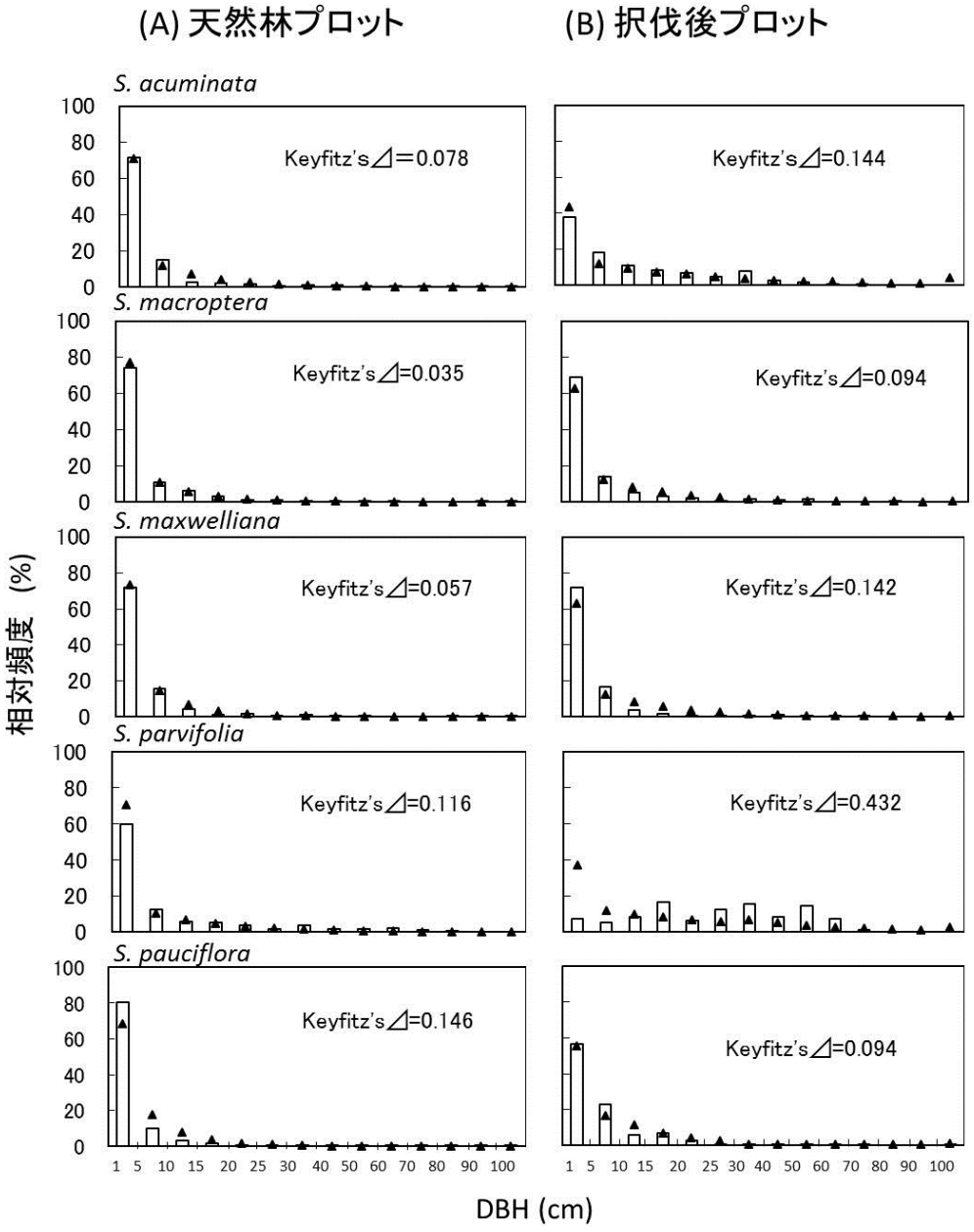
図(3)-18. 調査対象とした5種の死亡速度。白い棒が天然林プロットのグレーの棒が択伐後プロットの値を示す。すべてのサイズ・種においてプロット間の有意な差はなかった。



図(3)-19. 調査対象とした5種の加入速度。白い棒が天然林プロットのグレーの棒が択伐後プロットの値を示す。すべての種において加入速度のプロット間の有意な差があった。択伐後プロットの加入速度は天然プロットのそれの10分の1以下であった。アスタリスクはプロット間の有意な違いを示す。



図(3)-20. 調査対象とした5種の個体群増加速度。上のグラフが天然林プロットの下のグラフが択伐後プロットの値を示す。●が推移行列の最大固有値に基づく個体群増加速度を示す。エラーバーはその95%信頼区間を示す。×は今後50年間の個体群増加速度を示す。個体群増加速度が1.0の時、個体数は減りも増えもしない平衡状態にあることを示す。



図(3)-21. 調査対象とした5種の観察されたサイズ構造（棒）と推移行列に基づく安定サイズ構造（▲）。安定サイズ構造とは、極相に達したときの個体群構造を示している。安定サイズ構造を天然林（左）と択伐後の林（右）で比べると、大きく異なることがわかる。

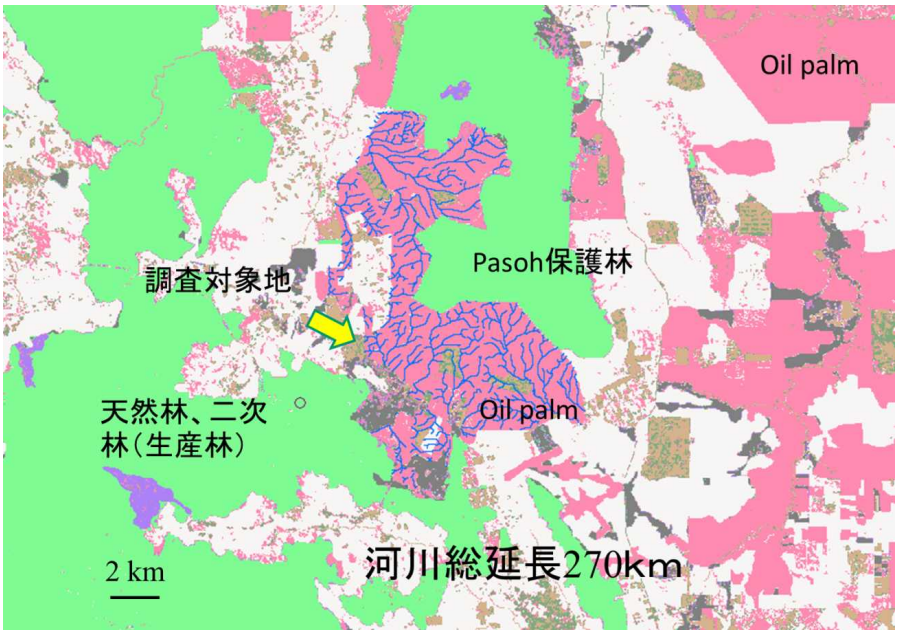
（4）生物多様性劣化抑止のための生態系甦生の実証研究

マレーシアネグリセンビラン州においてアブラヤシ農園内での河川沿いに、生物多様性改善を目的とした自然林構成種などによる緑の回廊造園事業が2003年頃に実施されたが、本サブテーマの一環として2012年、9月に地元の小中学生、大学生、プランテーションの所有者、オイルパーム開発公社、マレーシア林業局などの協力・参加を得て、回廊の延長実証実験を実施した。参加者

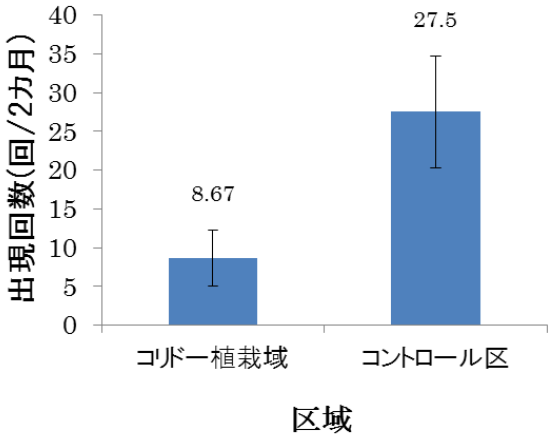
に植栽前後にアンケート調査を行ったところ、多くの地域住民はアブラヤシ農園から収入を得ているにもかかわらず、アブラヤシ農園などに代表される生物多様性が低い生態系よりも、生物多様性の高い森林生態系を選好することが分かった。さらに、若年層の参加者（中・大学生）では森林の吸収源としての役割や生物多様性への認識が大きく変わったことわかり、実体験に基づく環境教育が、REDD+のような温暖化対策や森林保全のためのインセンティブ導入にあたっては極めて重要な意味を持つことが判明した。また、アブラヤシ農園経営に関わる団体や地元マスコミ（大手新聞者）の注目を集め、こうした活動が単なる農業生産へのマイナス要因として認識されているのではなく、逆に住民は生物多様性保全に強い関心をもって、地域社会に受けいれられる素地が充分あることも分かった。

とはいえ、オイルパームの機会費用を森林保全によって補填することは極めて難しいことはサブテーマ４の結果などでも指摘されているとおりである。本サブテーマでもパソ保護林周辺域の1970年代からの土地利用変化データを分析したところ、森林保全から得られるCO_2クレジットはアブラヤシ農園を開発しなかった場合の損益の僅か3%程度しか補填出来ないことが分かった。一方、森林保全エリアを対象域の河川沿いだけに限定した場合の補填率は40%までに上がることも分かった（CO_2の価格が20$/tと設定）（図(3)-22）。アブラヤシ農園の開発を止めた場合の損益を100%補填するには、1970年代かからの土地利用転換（プランテーション開発）によって喪失した生態系サービス（土壌や塩類流出）などの経済価値を考慮しない限りは難しいが、もともとマレーシアでは河川沿いの自然植生の保全は義務づけられている。新たに造成した人工河川は対象外という見方もあるが、本課題のサブテーマ７や８で提示したエコシステムアプローチなどのような「世界基準」や当事国が締結した国際条約およびそれによって整備された国内法などを根拠にすれば、CO_2のクレジットに全てを依存する方式ではなくても「生物多様性への配慮」をとりいれたREDD+の実施の可能性は十分高い。その場合、CO_2のクレジットは回廊設置に掛かる費用に充てればよいことになる。

一方、こうした河畔林形成は哺乳類相に与える影響が大きいことも分かった（図(3)-23）。特にアブラヤシ農園の害獣であるクマネズミは植栽域を忌避する傾向が見られた。生長した樹木は猛禽類など天敵の止まり木として利用されていることが考えられる。実際、対象区近辺の農家ではフクロウなどの猛禽類の巣箱を農園（田畑）などに設置しており、天敵による防除は一定の効果をあげている。同様にクマネズミはオイルパームの主たる種子捕食者（＝害獣）としてみなされており、天敵の誘因効果の可能性がある樹木植栽は河川沿いという限定された場所であっても農園経営者へ受け入れられやすい。こうした地域社会と生態系保全の相利関係はREDD+で組み込まれている「生物多様性の配慮」と「地域社会への便益確保」への実証モデルとなりうるし、地域社会の積極的参加を誘導できるという点でもREDD＋の継続性に貢献できる。

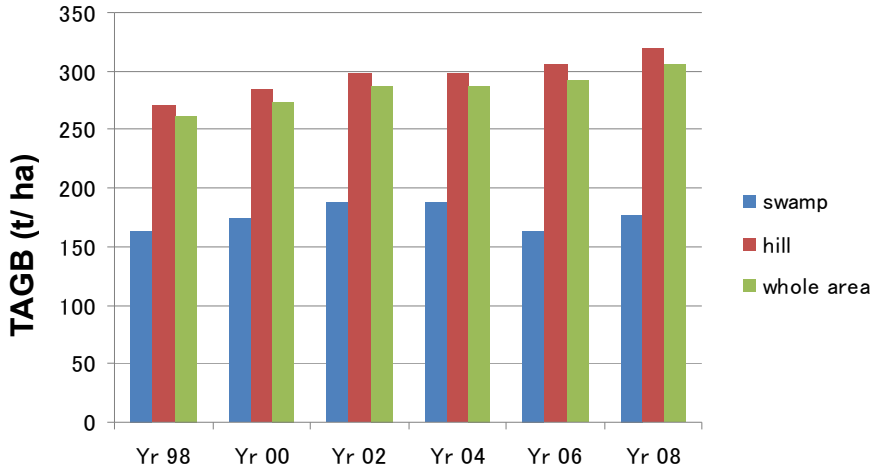


図(3)-22. パソ保護林とその周辺部。緑色（左）は森林部分、ピンク色がアブラヤシ園を示す。パソ保護林に隣接したアブラヤシ園を調査対象地とした。このアブラヤシ園内を流れる全河川をGISを利用して抽出した（青い線：地図中央の”oil palm”の中の毛細根状の線）。河川の総延長は270ｋｍに及んだ。



図(3)-23. クマネズミ類の緑の回廊植栽域（コリドー植栽域）とコントロール区における出現回数。棒の高さが出現回数の平均値を、エラーバーはその標準誤差を示す。棒の上に記された数値は、出現回数の平均値を示す。

（５）低インパクト伐採方法を採用した際の現存量、および炭素クレジットの発生量についての予測・分析



図(3)-24. パソ保護林の伐採された地域に設置された6 ha調査プロットにおける1998年から2008年までの現存量（TAGB, t/ha）の変化。（棒グラフ左からSwamp:湿地帯、hill:丘―屋根部、Whole area:プロット全体を示す。）6haのプロットを20×20mの小区画に区分し、それらの平均値をha当たりの値に変換した。

パソのMUSがなされた森林に設置した6 ha調査プロットでは、1998年から2008年の間、森林の現存量は概ね1.7%/年の成長率で回復していることが分かった。また同プロットにおける平均バイオマスは2008年には300t/haに達することも分かった。これはパソ天然林の平均現存量310t/haに迫るものである[14)]。

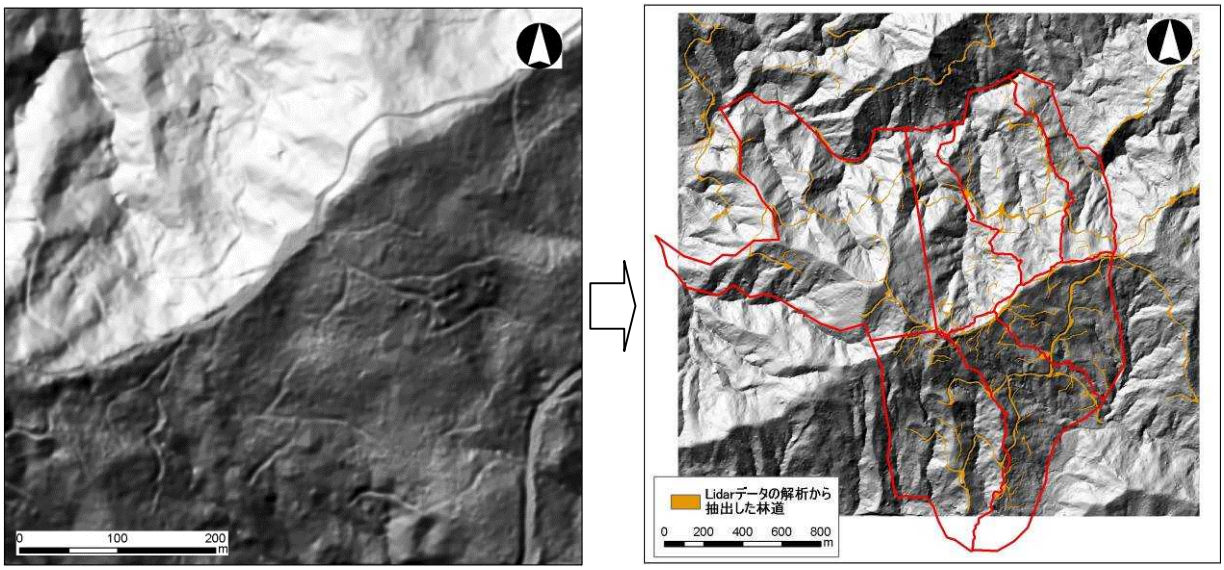
しかしこの成長率は空間的な不均質性を持ち、調査プロットの地形的要素によって強く影響を受けることも分かった。すなわち、丘陵部分はおおむね271-320 t/haほどの現存量があったにもかかわらず、湿地部分はわずか165-178 t/haほどの現存量しかなかった（図(3)-24）。

従来低地熱帯雨林での伐採後の現存量回復には100年程度かかるとの試算がなされていたが、調査プロットでは50年程度で天然林の現存量に近い値まで回復することが分かった。とはいえ1950年当時の伐採施業ではブルドーザーやトラクターなどの重機は用いられておらず、近年の伐採方式とは大きく異なる。伐採量そのものは現行の伐採方式によるものと殆ど相違ない（大径木を抽出すると30～50%の減少になる）はずなので、現在の重機を用いた伐採後の植生回復が、今回調べたMUS後の植生回復より遅いとするならば、それは現在の方法における林道と搬出路の密度により説明できると考えられる。つまり、現在の伐採方法であっても、林道と搬出路の密度を下げれば、植生回復の速度が大きく上昇することを示唆している。加えて前述のとおり、林道建設、搬出路形成の程度を改善することでREDD+へのクレジット発生も期待ができる。

（６）林道建設が及ぼす熱帯林への影響の定量化

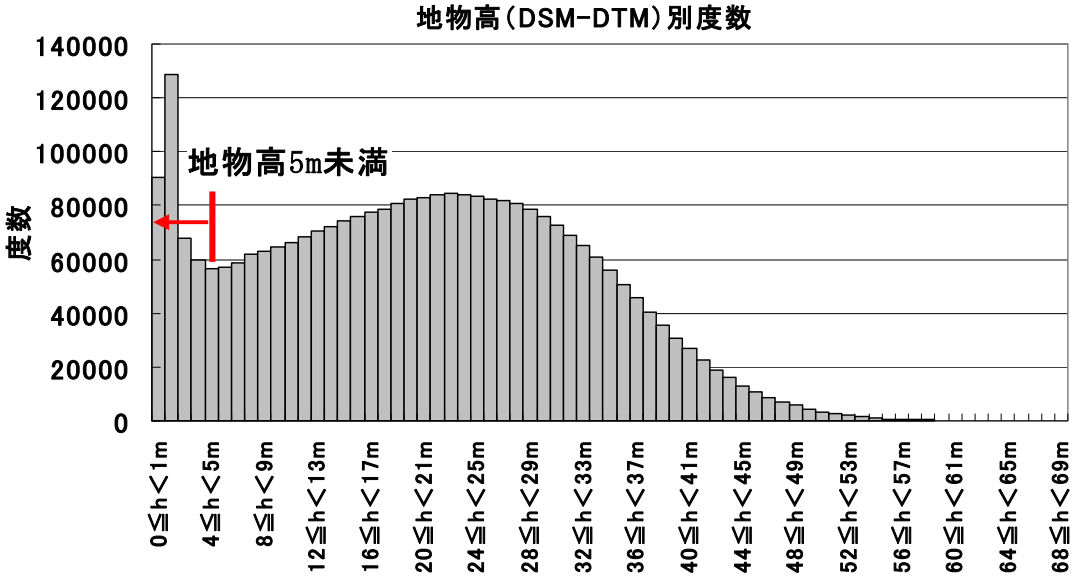
１）Lidarデータの活用による林道と伐採跡地の抽出

DTMから地形の凹凸をGIS上で再現し、林道部分を抽出した（図(3)-25）。

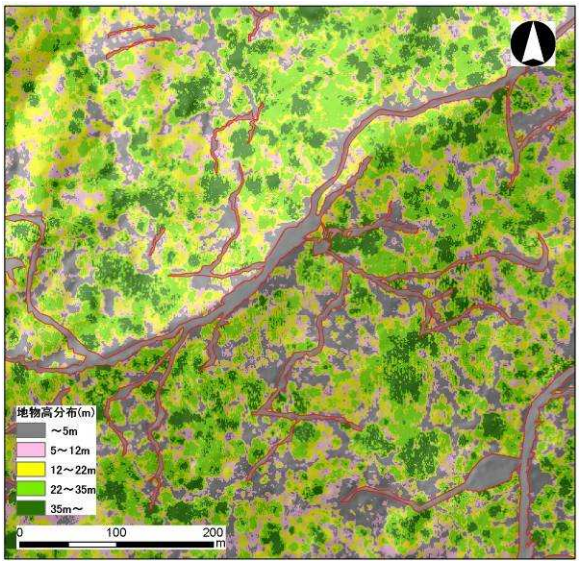


図(3)-25.　林道抽出状況

さらに、DSMとDTMの差分を計算し、地物の高さを算出した。対象地域を1m×1mのメッシュに分割し、各メッシュの地物高のヒストグラムから、地物高5m未満は伐採の影響を強く受けていると考えられたため、同範囲を伐採跡地として規定した（図(3)-26）。なお、林道であっても、地物高が5m以上ある箇所があったが、これは樹冠が覆っていることが想定されるため、林道と抽出した箇所の地物高は0mと修正した。伐採跡地は、林道周辺に分布していた（図(3)-27）。



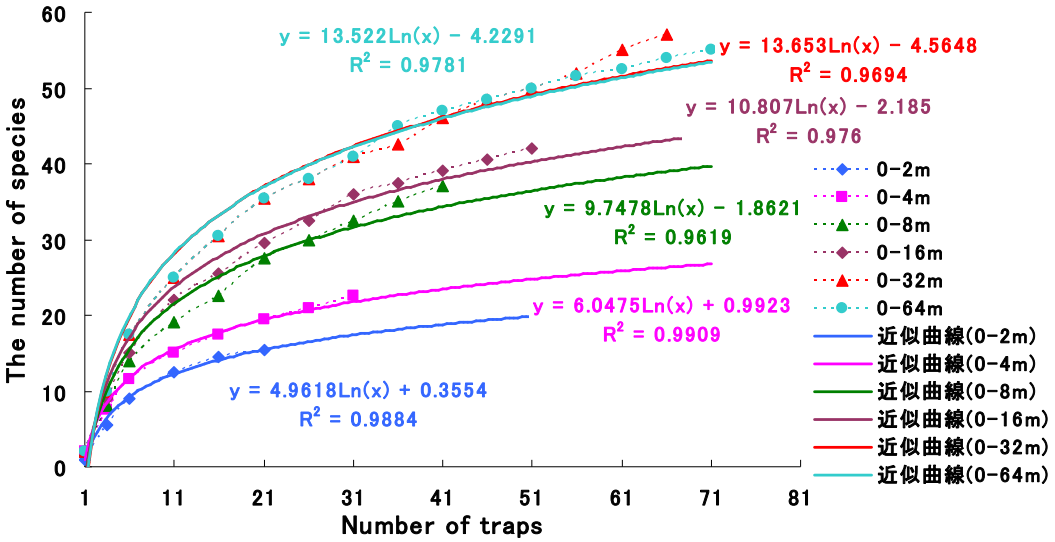
図(3)-26.　地物高（DSM-DTM）のヒストグラム



図(3)-27.　地物高の分布状況（伐採跡地は地物高<5m）

２）周辺の生物多様性の視点からみたハビタット適地指数の算出とハビタット面積減少量の算定

調査範囲を林道からの距離0～2m，0～4m，0～8m，0～16m，0～32m，0～64mの6ケースとした現地調査のフン虫の確認種数と調査地内のトラップ数の関係を、回帰式で表した（図(3)-28）。作成した回帰式を用いて、トラップ数別の確認種数（期待値）を算出した（表(3)-2）。結果をみると、0～32mと0～64mではほとんど差がないことが分かったため、影響範囲は32mであることが分かった。そこで、0～32mの値を1とした場合のトラップ数別の値を相対比で表し、それらを数値の変動が小さくなるトラップ数11以上で平均した値を算出した（表(3)-3）。これらを林道からの距離別にプロットし、ハビタットの適地指数と整理した（図(3)-29）。



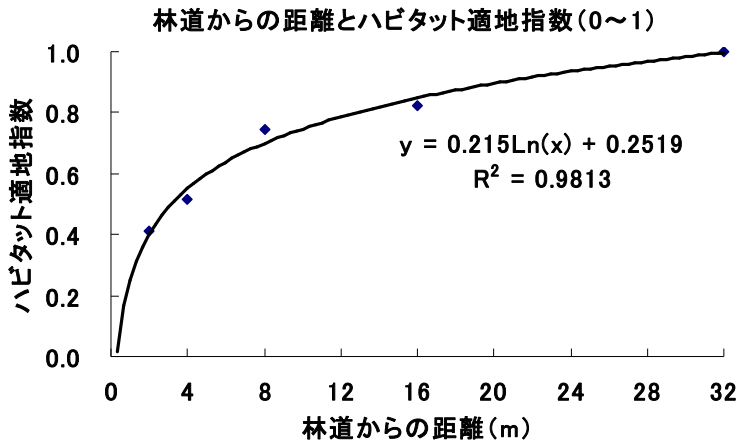
図(3)-28.　調査範囲及びトラップ数別の確認種数

表(3)-2　回帰式による確認種数

調査範囲	トラップ数														
	1	6	11	16	21	26	31	36	41	46	51	56	61	66	71
0～2m	0.36	9.25	12.25	14.11	15.46	16.52	17.39	18.14	18.78	19.35	19.86	20.33	20.75	21.14	21.51
0～4m	0.99	11.83	15.49	17.76	19.40	20.70	21.76	22.66	23.45	24.15	24.77	25.34	25.85	26.33	26.77
0～8m	-1.86	15.60	21.51	25.16	27.82	29.90	31.61	33.07	34.34	35.46	36.46	37.38	38.21	38.98	39.69
0～16m	-2.19	17.18	23.73	27.78	30.72	33.03	34.93	36.54	37.95	39.19	40.31	41.32	42.24	43.09	43.88
0～32m	-4.56	19.90	28.17	33.29	37.00	39.92	42.32	44.36	46.14	47.71	49.12	50.39	51.56	52.64	53.63
0～64m	-4.23	20.00	28.20	33.26	36.94	39.83	42.21	44.23	45.99	47.54	48.94	50.20	51.36	52.42	53.41

表(3)-3.　調査範囲0～32mの値を1とした場合の相対比

調査範囲	トラップ数															トラップ数11以上の平均値
	1	6	11	16	21	26	31	36	41	46	51	56	61	66	71	
0～2m	-0.08	0.46	0.43	0.42	0.42	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.41
0～4m	-0.22	0.59	0.55	0.53	0.52	0.52	0.51	0.51	0.51	0.51	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.51
0～8m	0.41	0.78	0.76	0.76	0.75	0.75	0.75	0.75	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.75
0～16m	0.48	0.86	0.84	0.83	0.83	0.83	0.83	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82
0～32m	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
0～64m	0.93	1.01	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00



図(3)-29.　林道からの距離とハビタット適地指数

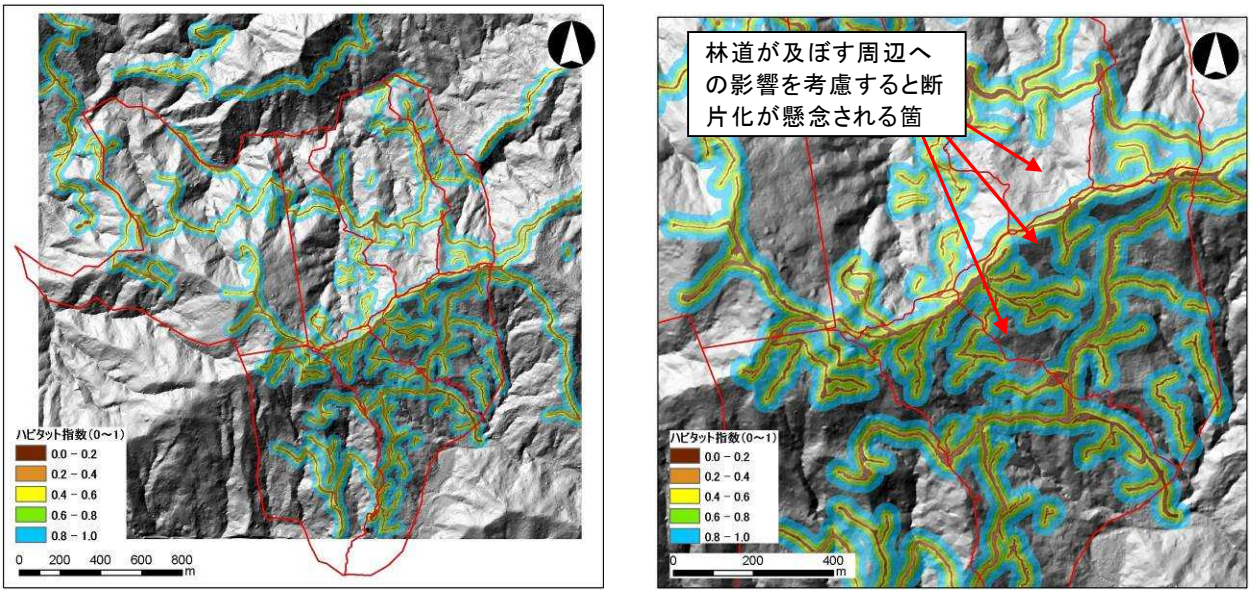
得られたハビタット適地指数は、林道からの距離を変数とした確率分布で表現されるため、対象地域を1m×1mのメッシュに分割し、各メッシュの林道からの距離とハビタット適地指数の確率分布から、有効ハビタット面積を算出した。

対象地域の全面積294.9haに対して、林道面積は12.3ha（対象地域の4.2%）であったにもかかわらず、林道建設後の有効ハビタット面積は256.4haと算定され、その減少分は、38.5haとなり、林道面積の約3倍、対象地域の全体面積比13.0%になることが分かった（表(3)-4）。

また、ハビタット適地指数が1以下となる範囲をみると、一部に断片化のおそれがあることが分かった（図（(3)-30）。

表(3)-4.　有効ハビタット面積

項目	面積ha	備考
対象地域全面積	294.9ha	①
林道面積	12.3ha	
有効ハビタット面積	256.4ha	②
林道による減少分	38.5ha	①－②



図(3)-30.　林道からの距離を考慮した場合のハビタット適地指数が1.0未満のエリアの分布状況

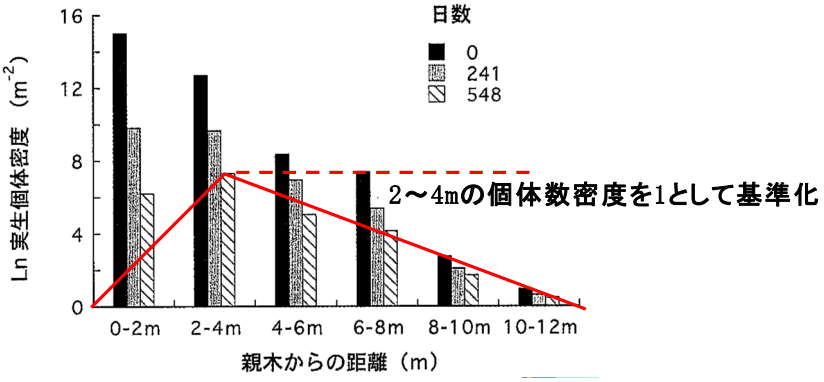
３）成熟木からの種子定着確率の算出と熱帯林更新面積減少量の算定

既往研究で調査された親木と実生個体数密度の関係から、種子が定着する割合の確率分布を設定した（図(3)-31）。設定した確率分布は、以下のとおりである。

$0 \leqq x < 3 \quad f(x) = 0.33x$

$3 \leqq x < 11.5 \quad f(x) = -0.12x + 1.35$

$11.5 \leqq x \quad f(x) = 0.0$



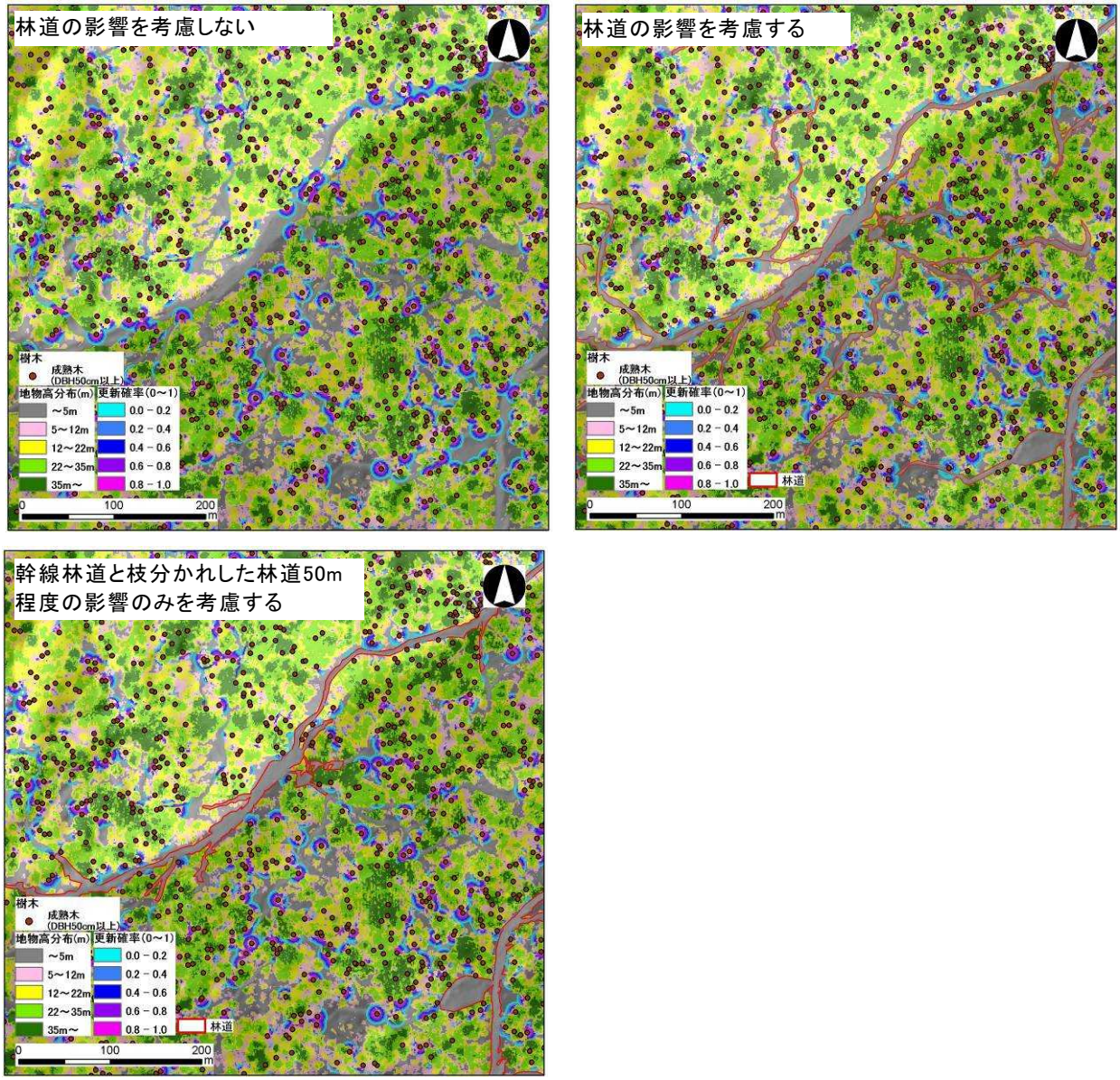
図(3)-31.　成熟木からの距離に応じた種子定着割合の確率分布

上記の確率分布を用いて、伐採跡地（林道部分含む）に種子が侵入・定着し、熱帯林が更新される確率を考慮した面積を算定した。なお、成熟木は、対象地域で実施された毎木調査の結果から、DBHが50cm以上の樹木とした。林道の影響の程度別の有効更新面積は、以下のとおりであった。

林道の影響を考慮すると、有効更新面積は6.80haから4.55haに減少し、約33.1%の減少率であった。一方、幹線林道と枝分かれした林道50m程度のみを考慮した場合は、5.59haまで回復し、約17.8%の減少率に抑えられることが分かった（表(3)-5、図(3)-32）。

表(3)-5.　有効更新面積

ケース	面積
対象地内の伐採跡地面積	38.4ha
林道の影響を考慮しない場合の有効更新面積	6.80ha
林道の影響を考慮する場合の有効更新面積	4.55ha
幹線林道と枝分かれした林道50m程度の影響のみを考慮する場合の有効更新面積	5.59ha



図(3)-32.　林道の影響の程度別　伐採跡地に対する更新確率

５．本研究により得られた成果

（１） 科学的意義

- 熱帯林のような閉鎖林冠においてもLiDARセンサスが有効に機能し、広域での林道・搬出路検出や現存量推定に高い精度で応用できることが分かった。さらに合成開口レーダによる林冠・林床データの相補性も確認でき、より広域での森林計測が可能であることを示すことができた。
- これまで、林道が熱帯の生物多様性に及ぼす影響に関する研究は幅10m以上の大規模な林道のみにほぼ限られていたが、本研究では幅10mに満たない搬出道や小規模な林道も熱帯雨林の生

物多様性に強い負の影響を与えることを立証した。

- さらに、林道の影響が生物の群集構造の変化を通じて、生物がもつ生態系機能も変化することを立証した。こうした研究は他に類を見ない。
- 世界で初めて東南アジアのフン虫の種子散布距離を定量化した。
- 伐採後に高密度の藪を発生させにくい低インパクト伐採が従来型伐採に比べ、大型哺乳類の保全に有効であることが分かった。
- 森林樹木に対し種子散布等の大きな相互作用を持つ齧歯類の生物多様性保全を考えた場合、林道と林道の間の間隔は、現在マレーシアで一般的な100m～200m程度では短すぎ、300m程度の間隔が必要なことが分かった。
- これまでバイオマスの回復に100年かかると試算されていた低地熱帯雨林において、重機の使用を抑えた低インパクト伐採を行えば、35-50年程度で回復が可能であることを明らかにした。
- 世界で初めて選択伐採の生物多様性の持続性を評価した。その結果マレーシアで1970年代まで行われていたMUS式の選択伐採は生物多様性的に持続可能であることを示すことができた。
- 一方、一度伐採された森林は、伐採前の状態に戻らないことが個体群動態的に示すことができた。伐採による森林の変化が不可逆的であることが分かったので、今後森林伐採を行う場合は、将来の生物多様性への影響をさらに慎重に評価する必要がある。
- 地域住民参加型の植栽活動のREDD+への可能性を考えた場合、1 ha以下の小規模植栽では植栽のコストがかかりすぎ、たとえREDD+の収入があっても経済的な採算性が保証できないことが示唆された。植栽コストを抑えられるかどうかが、こういった植栽活動の成功の鍵であると考察された。
- 一方、アブラヤシ農園の害獣であるクマネズミは植栽域を忌避することが分かった。クマネズミの植栽域の忌避は、害獣をコントロールしたいアブラヤシ農園関係者への植栽の新たなインセンティブになりうることが分かった。
- 伐採時に発生する伐採残渣の管理・活用を行うことが、小型哺乳類の多様性保全に貢献することを明らかにできた。
- 林道が森林施業地全体に対して占める面積はわずかであるが（調査対象地では４．２％）、林道により生物多様性が影響を受ける面積を見積もると、かなりの面積（調査対象地では１３％）に及ぶことが分かった。また、林道により森林が断片化を起こすことを明らかにできた。
- 伐採跡地における森林更新適地は、林道により33%も減少されることが明らかになった。このように林道建設の生物多様性と森林更新に与える影響が甚大であることを定量的に示すことに成功した。

（２）環境政策への貢献

＜行政が既に活用した成果＞

1) CBD COP10においてサイドイベントを開催し、内外のREDD+関連、UNFCCCやCBD関連の行政担当者、研究者へのインプットが出来た（イギリスジャーナリストへのインプット）。
2) 本課題プログラムのパンフレット（日本語版と英語版）を作り、CBD COP10の際に活動内容の発信を行った。

3) 2011年にKuala Lumpurで開催したREDD＋に関する国際シンポジウム（国連大，マレーシア森林研究所共催）を開催し、REDD＋に関する研究事例や本課題の研究成果の報告など行った。地元紙（New Straight Times）でも本シンポジウムについての記事が掲載され，マレーシア政府や関係機関，NGO（WWFなど）でのREDD+での認識や対応が変化し始めた。

＜行政が活用することが見込まれる成果＞

1) 本課題プログラムのパンフレット（英語版）を作成した。
2) 幅10mに満たない搬出道や小規模な林道も熱帯雨林の生物多様性に強い負の影響を与えることが分かった。これは、択伐地の生物多様性を保全する場合、搬出道や小規模な林道最小限に抑えるべきであるという提言につなげられる。
3) 択伐地での齧歯類の生物多様性保全を考えた場合、林道と林道の間の間隔は、現在マレーシアで一般的な100m ～ 200m程度では短すぎ、300m程度の間隔が必要なことが分かった。ここから基幹林道の間隔を現在からより広げるべきだという提言につなげられる。
4) マレーシアで1970年代まで行われていたMUS式の選択伐採は生物多様性的に持続可能であることから、MUS式程度の択伐は生物多様性的には容認できるという提言ができる。
5) 一方、一度伐採された森林は、伐採前の状態に戻らないことも示された。伐採による森林の変化が不可逆的であることが分かったので、択伐林以外に択伐しない森林を保護することが重要であることも提言できる。
6) 伐採時に発生する伐採残渣の管理・活用を行うことが、小型哺乳類の多様性保全に貢献することを明らかにすることができた。伐採残渣の管理・活用による小型哺乳類多様性の保護の提言につなげられる。
7) 以上の成果は、気候変動枠組条約のCOPにおけるサイドイベント，国際シンポジウム，学会シンポジウムなどを通じ、広報・普及に努めた。

６．国際共同研究等の状況

- マレーシア森林研究所（FRIM), マレーシアプトラ大学（UPM), マレーシア工科大学（UTM）と広島大学は研究協力に関する包括協定締結しており、これらの協力体制をベースに本サブテーマを実施した。
- 主なカウンタパート： Shamsudin Ibrahim (FRIM), Faridah Hanum Ibrahim (UPM), Mazlan Hashim (UTM)

７．研究成果の発表状況　※【別添】H24研究等報告書作成要領　参照

（１）誌上発表

＜論文（査読あり）＞

1) T. Yamada, Y. Yamada, Y. T. Okuda and C. Flecher: Oecologia DOI 10.1007/s00442-012-2529-z (2013) “Soil-related variations in the population dynamics of six dipterocarp tree species with strong habitat preferences”
2) Suzuki, R.O. Numata, S., Okuda, T., Nur Supardi M.N., Abd. Rahman K. & Kachi, N. J. Tropical

Ecology 28: 281-289 (2012) ”Species associations among dipterocarp species co-occurring in a Malaysian tropical rain forest”

＜その他誌上発表（査読なし）＞

1) T. Hosaka, T. Ebisu, T. Okuda, T. Yamada, C. Fletcher: Progress Report Joint Research Project on Tropical Forest Ecology and Biodiversity 2010, 102-114 (2010) “Impacts of Logging and Forest Edge on Community Structure of Terrestrial Mammals and Dung Beetles”
2) T. Ebisu, T. Okuda, T. Yamada, T. Hosaka, C. Fletcher: Progress Report Joint Research Project on Tropical Forest Ecology and Biodiversity 2010, 115-121 (2010) “Impacts of Logging and Logging Road on Terrestrial Mammals communities in Temengor Forest Reserve”
3) T. Okuda, T. Yamada, T. Hosaka, M. Hashim, S. Ibrahim: Progress Report Joint Research Project on Tropical Forest Ecology and Biodiversity 2010, 176-185 (2010) “Interlinkage between the Biodiversity and Climate Changes – Towards Good Use of Pasoh Assets-“
4) T. Okuda, T. Yamada, T. Hosaka, K. Niiyama, T. Sato, M. Hashim, E.S.Quah, S. Ibrahim: Progress Report Joint Research Project on Tropical Forest Ecology and Biodiversity 2010, 186-200 (2010) “Biomass Recovery 50 years After Selective Logging in a Lowland Tropical Rainforest in Peninsular Malaysia – Implications for Reduced Emission from Deforestation and Degradation Baseline Setting”
5) T. Okuda, T. Yamada, K. Watanabe, K. Kimura, T. Hosaka , T. Sugimoto, N. Tagashira, M. Chiba, Y. Noor Azlin., A. K. Azyyati, K. Nurfazliza, T. Ong, Y. Norsham, M. Roslina, M. Azmariah, M. I. Chong, E. S. Quah, Mazlan Hashim: Proceedings on Rehabilitation of Tropical Rainforest Ecosystem, UPM (Universiti Putra Malaysia), 189- 196 (2011) “Development of a forest corridor through an oil palm plantation as a long-term plan for ecosystem remediation and adaptive land use management in the tropics”
6) T. Hosaka, T. Okuda, T. Yamada, E. Butod, G. T. Lim: Progress Report Joint Research Project on Tropical Forest Ecology and Biodiversity 2011, 44-50 (2011) “Impacts of Logging Trails on Dung Beetle Communities and Suggestion on the Density of Trails for Mitigating Biodiversity Loss in Tropical Production Forest”
7) M. Niino, T. Okuda, T. Yamada, T. Hosaka, E. Butod, G. T. Lim: Progress Report Joint Research Project on Tropical Forest Ecology and Biodiversity 2011, 51-53 (2011) “Size-Related Differences in the Abundance and Diel Activity Patterns of Dung Beetles in Forest versus Small Open Land – REDD for Biodiversity”
8) S. Yoshida, T. Yamada, T. Okuda, T. Hosaka, S.A. Shamsuddin: Progress Report Joint Research Project on Tropical Forest Ecology and Biodiversity 2011, 54-59 (2011) “The Influences of Logging Roads on Terrestrial Mammals; using REDD to Safeguard Biodiversity”
9) T. Yamada, T. Okuda, S. Ibrahim, C. Fletcher: Progress Report Joint Research Project on Tropical Forest Ecology and Biodiversity 2011, 60-64 (2011) “Identification of Costs and Benefits in the Implementation of REDD for the Forest Management”
10) T. Yamada, T. Hosaka, T. Okuda, A. R. Kassim: Progress Report Joint Research Project on Tropical Forest Ecology and Biodiversity 2012, 65-80 (2012) “Effects of 50 years of selective logging on

demography of trees in a Malaysian lowland forest”

11) A. Mori, T. Yamada, T. Okuda, S. L. Guan: Progress Report Joint Research Project on Tropical Forest Ecology and Biodiversity 2012, 81-85 (2012) “The Role of Light Partitioning in Maintaining Diversity Among Dipterocarp species in a Malaysian Lowland Tropical Forest”

12) T. Hosaka, M. Niino, T. Yamada, T. Okuda, N. Z. A. Mustafa: Progress Report Joint Research Project on Tropical Forest Ecology and Biodiversity 2012, 86-94 (2012) “Effect of Road Networks for Selective Logging on Ecological Functions of Dung Beetles in peninsular Malaysia”

13) M. Niino, T. Hosaka, T. Yamada, T. Okuda, N. Z. A. Mustafa: Progress Report Joint Research Project on Tropical Forest Ecology and Biodiversity 2012, 95-96 (2012) “Effects of Small Scale Clearings in a Selectively Logged Forest on Dung Beetle Communities in Lower Mountain Rainforest in Peninsular Malaysia”

14) S. Yoshida, T. Yamada, T. Okuda, T. Hosaka, I. Shamsudin, C. Fletcher: Progress Report Joint Research Project on Tropical Forest Ecology and Biodiversity 2012, 97-101 (2012) “Use of Logging Residuals for the Conservation of Small Mammals in Temengor Forest Reserve, Perak, Peninsular Malaysia”

15) K. Watanabe, T. Yamada, T. Okuda, Y. N. Azlin: Progress Report Joint Research Project on Tropical Forest Ecology and Biodiversity 2012, 102-108 (2012) “Effects of Tree Planting and Ground Cover on the Encounters of Rattus Species in an Oil Palm Plantation in Peninsular Malaysia”

16) 山田俊弘、奥田敏統： 健康と環境, 25, 367-374 (2012) 「熱帯木材の持続可能な利用と REDD+」

17) T. Okuda, T. Yamada: Comprehensive standards for the good practice of REDD plus in Asian Tropics, Tanaka Print Co. Ltd (2013). 31 pp.

（２）口頭発表（学会等）

1) 吉岡藍子・山田俊弘・梁乃申・Christine Fletcher・Mazlan Hashim・奥田敏統: 第20回日本熱帯生態学会年次大会． （2010） 「低地熱帯雨林における林床光環境の時空間的変動」

2) 山田俊弘･鈴木英治･ズイデマ　ピーター：　生物系三学会大会中国四国支部･山口大会（2010） 「東南アジアの熱帯林で見られる一斉結実は本当に有利なのか？」

3) 山田俊弘・鈴木英治・ズイデマ　ピーター：　第20回日本熱帯生態学会年次大会（2010） 「個体群統計学からみた一斉結実　一斉結実は不利ではないのか！？」

4) Yamada, T. : International Workshop Plant Ecology and Diversity Observation Network and Capacity Building in Indonesia 2010
“Projection of population dynamics using matrix population model“

5) 山田俊弘：　平成２２年度広島大学公開講座　地球温暖化（気候変動）と生物多様性（2010） 「地球温暖化が私たちの生活に及ぼす影響」

6) Takemoto, M., Guan, S. L., Yamada, T., Liang, N. & Okuda, T.: Pasoh International Symposium Celebrating 25 Years of Lowland Tropical Forest Research，2010
“Function and ecological significance of drip tips”

7) Yoshioka, A., Hashim, M., Liang, N., Yamada, T. & Okuda, T.: Pasoh International Symposium

Celebrating 25 Years of Lowland Tropical Forest Research, 2010
"Spatiotemporal heterogeneity of light environment in primary and regenerating forests in Pasoh FR"

8) Okuda, T.: Pasoh International Symposium Celebrating 25 Years of Lowland Tropical Forest Research, 2010
"Inter linkage between the biodiversity and climate changes-Towards good use of Pasoh Assets"

9) 保坂哲朗・胡友貴・奥田敏統：第58回日本生態学会（2011）「熱帯雨林の択伐が地上性ほ乳類相、およびフン虫相に与える影響」

10) 奥田敏統・山田俊弘・保坂哲朗: 第21回日本熱帯生態学会（2011）「択伐後50 年を経た低地熱帯雨林の現存量回復　－REDD ベースライン設定への示唆－」

11) 山田俊弘・奥田敏統・保坂哲朗: 第21回日本熱帯生態学会（2011）「森林伐採とREDD－REDDは"穏やかな伐採"を推進する力になれるか？－」

12) 奥田敏統・ 山田俊弘・ 保坂哲朗　第21回日本熱帯生態学会（2011）「択伐後50 年を経た低地熱帯雨林の現存量回復－REDD ベースライン設定への示唆－」

13) T.　Okuda, T. Yamada, K. Watanabe, K. Kimura, T. Hosaka , T. Sugimoto, N. Tagashira, M. Chiba, Y. Noor Azlin., A. K. Azyyati, K. Nurfazliza, T. Ong, Y. Norsham, M. Roslina, M. Azmariah, M. I. Chong, E. S. Quah, Mazlan Hashim: International symposium on Rehabilitation of Tropical Rainforest Ecosystem, Malaysia 2011 "Development of a forest corridor through an oil palm plantation as a long-term plan for ecosystem remediation and adaptive land use management in the tropics"

14) T. Yamada, T. Okuda: International symposium on costs and benefits of REDD plus 2011
"Identification of costs and benefits in the implementation of REDD for forest management"

15)　M. Niino, T. Hosaka, T. Okuda, T. Yamada, E. Butod: International symposium on costs and benefits of REDD plus 2011
"Size-related differences in the abundance and diel activity patterns of dung beetles in forest versus small open land -REDD for biodiversity-"

16)　S. YOSHIDA, T. YAMADA T. OKUDA：International symposium on costs and benefits of REDD plus 2011
"The influences of logging roads on terrestrial mammals; using REDD to safeguard biodiversity"

17)　T. Hosaka, T. Ebisu, T. Okuda, T. Yamada,　E. Butod, LG. Kirton: International symposium on costs and benefits of REDD plus 2011
"Impacts of forest degradation on terrestrial mammals and dung beetles -toward biodiversity conservation through REDD-"

18)　山田俊弘・奥田敏統: REDD 研究開発センター・第一回公開セミナー（2011）「マレーシアにおけるコリドー植栽と低インパクト伐採の REDD への可能性」

19) 山田俊弘: 科学進歩日本委員会設立 20 周年記念会議（2011）「熱帯林の保護・再生と REDD」

20) M. Niino, T. Okuda, T. Yamada, T. Hosaka, E. Butod: 第59回日本生態学会大会 (2012)「Effects of selective logging on the species1 composition and ecological functions of dung beetle community in

lower mountain rain forest, Peninsular Malaysia -Big difference near the forest edge-.」

21) S. Yoshida, T. Yamada, T. Okuda, T. Hosaka: 第59回日本生態学会大会(2012)「How does selective logging change terrestrial mammalian community in a Malaysian rain forest?」

22) K. Watanabe, T. Okuda, T. Yamada, T. Hosaka, K. Kimura, N. Sugimoto, N. Tagashira, M. Chiba, Y. Noor Azlin, AK. Azyyati, K. Nurfazliza, T. Ong, Y. Norsham, SE. Quah, H. Mazlan: 第59回日本生態学会大会(2012)「Ecosystem Rehabilitation by establishing forest corridor in an oilpalm plantation in peninsular Malaysia.」

23) T. Hosaka, T. Okuda, T. Yamada, E. Butod: 第59回日本生態学会大会(2012)「Impact of logging road on dung beetle community in a Malaysian production forest.」

24) Y. Moriwaki, T. Yamada, T. Okuda, Abd. Rahman Kasim: 第59回日本生態学会大会(2012)「Difference in population dynamics between logged and unlogged forests in a lowland rain forest in peninsular Malaysia - for the implementation of biodiversity oriented REDD plus -.」

25) T. Yamada, T. Hosaka, T. Okuda, Abd. Rahman Kassim: the association for tropical biology and conservation – Asia Pacific Chapter Annual Meeting 2012
"Long term impact of selective logging on demography of trees in a Malaysian lowland forest."

26) K. Watanabe, T. Okuda, T. Yamada, T. Hosaka, K. Kimura, N. Sugimoto, N. Tagashira, M. Chiba, Y. Noor Azlin, AK. Azyyati, K. Nurfazliza, T. Ong, Y. Norsham, SE. Quah, H. Mazlan: Hiroshima International Symposium on Sustainability Sciences 2012
"The economic implementability of ecosystem rehabilitation by establishing forest corridor in an oil palm plantation in peninsular Malaysia"

27) T. Yamada, T. Okuda : Asia-Pacific Workshop Reduced Impact Logging: Challenges, opportunities and strategies in the merging forest carbon economy. Kota Kinabalu, Malaysia, 2012
"Can REDD+ promote RIL in Malaysian tropical forests?"

28) 山田俊弘、奥田敏統、 保坂哲朗、 Abdul Rahman Kassim：第 56 回日本生態学会 中国四国地区会 (2012)
「マレーシア低地熱帯林における選択伐採の森林動態への長期影響」

29) T. Okuda, T. Yamada, K. Watanabe, K. Kimura, T. Hosaka , T. Sugimoto, N. Tagashira, M. Chiba, Y. Noor Azlin., A. K. Azyyati , K. Nurfazliza, T. Ong, Y. Norsham, M. Roslina, M. Azmariah, M. I. Chong, E. S. Quah, Mazlan Hashim: The 5th EAFES International Congress, Ohtsu, 2012
"Remediation of ecosystem service and goods in south-east Asian tropics following REDD plus practice"

30) 渡部清孝、奥田敏統、山田俊弘、保坂哲朗、杉本龍志、Noor Azlin, Y.、Azyyati, A.K.、Nurfazliza, K.、Ong, T.、Norsham, Y.、S.Quah, E.、Mazlan Hashim：第 22 回熱帯生態学会 (2012)
「マレーシア、オイルパームプランテーション内での回廊造林植栽が哺乳類相に与える影響」

31) 保坂哲朗、奥田敏統、山田俊弘：第 22 回日本熱帯生態学会年次大会（2012）
「熱帯択伐林における生物多様性の保全に配慮した林道密度について」

32) 高田モモ、山田俊弘、奥田敏統、梁乃申、Wan Rasidah W K、E. Phillip、C. Fletcher、I. Shamsudin：第 22 回日本熱帯生態学会年次大会（2012）
「マレーシア丘陵地フタバガキ林における土壌呼吸の空間変動」

33) 山田俊弘、 奥田敏統、 保坂哲朗,Abdul Rahman Kassim：第 22 回熱帯生態学会 (2012)
「選択伐採後５０年経過した森林と非伐採林の間の森林動態の違い」

34) 奥田敏統、山田俊弘、保坂哲朗, Abdul Rahman Kassim：第 22 回熱帯生態学会 (2012)
「航空機SARおよびLiDAR利用による熱帯雨林の林冠解析」

35) K. Watanabe, T. Okuda, T. Yamada, T Hosaka, T. Sugimoto, Noor Azlin, Y., S.Quah, E., Mazlan Hashim : International Symposium on Southeast Asian Tropical Rain Forest Research related with Climate Change and Biodiversity, Tokyo, Japan, 2012
"Co-benefit of green corridor within oil palm plantation"

36) S. Yoshida, T. Yamada, T. Okuda, T. Hosaka : International Symposium on Southeast Asaian Tropical Rain Forest Reserch related with Climate Change and Biodiversity, Tokyo, Japan, 2012
"Use of unmerchant part of timber for the conservation of mammals in a Malaysian Forest"

37) M. Takada, T. Yamada, T. Okuda, N. Liang, S. Ibrahim : International Symposium on Southeast Asian Tropical Rain Forest Research related with Climate Change and Biodiversity, Tokyo, Japan, 2012
"Spatial heterogeneity of soil respiration in a tropical rainforest - towards the methodological insight for REDD practices -"

38) T. Yamada, T. Okuda : International Symposium on Southeast Asian Tropical Rain Forest Research related with Climate Change and Biodiversity, Tokyo, Japan, 2012
"Learning from Malaysian forests; towards an upgraded REDD+ incorporating biodiversity"

39) M. Takada, T. Yamada, T. Okuda, N. Liang, S. Ibrahim : The 2nd International Symposium Phoenix Leader Education Program (Hiroshima Initiative) for Renaissance from Radiation Disaster – Suggestion for the Renaissance from Radiation Disaster -, Hiroshima, Japan, 2013
"Effects of logging operation on soil CO2 efflux in a tropical rainforest"

40) S. Yoshida, T. Yamada, T. Okuda, T. Hosaka : The 2nd International Symposium Phoenix Leader Education Program (Hiroshima Initiative) for Renaissance from Radiation Disaster -Suggestion from the Radiation Disaster-, Hiroshima, Japan, 2013
"Can logging residuals be used for the conservation of small mammal communities in Malaysian tropical forest?"

41) K. Watanabe, T. Okuda, T. Yamada, Noor Azlin, Y : The 2nd International Symposium Phoenix Leader Education Program (Hiroshima Initiative) for Renaissance from Radiation Disaster -Suggestion from the Radiation Disaster-, Hiroshima, Japan, 2013
"How does *Rattus* spp. select habitat in an oil palm plantation in peninsular Malaysia?"

42) M. Niino, T. Okuda, T. Yamada, T. Hosaka, E. Butod, Z. Mustafa: The 2nd International Symposium Phoenix Leader Education Program (Hiroshima Initiative) for Renaissance from Radiation Disaster -Suggestion from the Radiation Disaster-, Hiroshima, Japan, 2013
"Effects of constructing logging roads on dung beetle communities in lower

Mountain rain forest, Peninsular Malaysia”

43) 吉田聡、山田俊弘、奥田敏統：第 60 回日本生態学会 (2013)
「半島マレーシア熱帯生産林において、伐採残渣は小型哺乳類の多様性を増加させた」

44) 渡部清孝、奥田敏統、山田俊弘、杉本龍志、Noor Azlin, Y.：第 60 回日本生態学会 (2013)
「Tracking tunnel による熱帯性クマネズミ属のハビタット選好性の推定 -マレーシア半島部のオイルパーム園での例-」

45) 新納雅裕、奥田敏統、山田俊弘、保坂哲朗、Z. Mustafa：第 60 回日本生態学会 (2013)
「マレーシア山地林における林道建設がフン虫の群集構造に与える影響」

46) 山田俊弘、奥田敏統：第 60 回日本生態学会 (2013)
「熱帯フタバガキ林における *Dipteocarpus sublamellatus* の葉形変化と葉上着生生物」

47) 保坂哲朗、新納雅裕、山田俊弘、奥田敏統：第 60 回日本生態学会 (2013)
「熱帯林における林道建設が生態系機能に与える影響―フン虫の事例」

48) M. Takada, T. Yamada, T. Okuda, S. Ibrahim : the Association for Tropical Biology & Conservation Asia-Pacific Chapter Annual Meeting, Banda Aceh, Indonesia, 2013
“Effects of logging operation on soil respiration in an upper tropical hill forest - a methodological contribution to REDD-plus practices -”

49) T. Yamada, Y. Moriwaki, T. Okuda, Abd. R. Kassim : the Association for Tropical Biology & Conservation Asia-Pacific Chapter Annual Meeting, Banda Aceh, Indonesia, 2013
“Population dynamics of dipterocarp species in a forest selectively logged 50 years ago in peninsular Malaysia”

（３）出願特許

特に記載すべき事項はない

（４）シンポジウム、セミナー等の開催（主催のもの）

1) 途上国における森林減少・劣化に由来する温室効果ガスの排出削減（REDD）と熱帯生態学（2010年6月20日、広島大学学士会館（第20回日本熱帯生態学会公開シンポジウム）、観客100名）

2) 熱帯林の多様性と森林生態に関する国際共同シンポジウム（Symposium on Biodiversity and Forest Ecology of Tropical forest）(2010年9月20日、国立環境研究所、観客40名)

3) Inter linkage between REDD mechanism and biodiversity conservation、2010年10月18日、名古屋国際会議場（CBD COP10サイドイベント）、観客100名）

4) Scaling up plant traits to species performance based on cost-benefit balances: Toward general concepts of trait-based community ecology（2011年3月10日、札幌コンベンションセンター（第58回日本生態学会企画シンポジウム）、観客150名）

5) International Symposium on Costs and Benefits of REDD Plus（2011年9月19日20日、マレーシアクアラルンプール　インターコンチネンタルホテル、観客:120名）

6) International Symposium on Southeast Asian Tropical Rain Forest Research related with Climate Change and Biodiversity (2012年9月25日～26日、Campus Innovation Center Tokyo,

東京、観客120名）

7) Ecosystem Assessment, Planning and Sustainable Management. The 5th EAFES International Congress (東アジア生態学会連合) (2012年3月18日，龍谷大学，大津，観客40名)

（５）マスコミ等への公表・報道等

1) New Straits Times（2011年9月20日、マレーシア英字新聞、21頁）
2) STAR (マレーシア地元英字新聞、1面記事、2013年、4月16日)

（６）その他

特に記載すべき事項はない

８．引用文献

1) S. L. Pimm, Raven, P: Nature 403, 843–845 (2000) “Biodiversity: extinction by numbers”
2) FAO: (2005) Global forest resources assessment 2005. Available at http://www.fao.org/forestry/fra/fra2005/en/
3) UNFCCC: (2010) Text to facilitate negotiations among Parties. Ad Hoc Working Group on Long-term Cooperative Action under Convention, tenth session, Bonn, Germany.
4) T. A. Gardner, J. Barlow, I. S. Araujo, T. C. Avila-Pires, A. B. Bonaldo, J. E. Costa, M. C. Esposito, L. V. Ferreira, J. Hawes, M. I. Hernandez, M. S. Hoogmoed, R. N. Leite, N. F. Lo-Man-Hung, J. R. Malcolm, M. B. Martins, L. A. Mestre, R. Miranda-Santos, W. L. Overal, L. Parry, S. L. Peters, M. A. Ribeiro-Junior, M. N. Da Silva, M. C. Da Silva, C. A. Peres: Ecology Letters, 11, 139-150 (2008) “The cost-effectiveness of biodiversity surveys in tropical forests”
5) E. S. Nichols, S. Spector, J. Louzada, T. Larsen, S. Amezquita, M. E. Favila, The Scarabaeinae Research Network: Biological Conservation, 141, 1461-1474 (2008) “Ecological functions and ecosystem services provided by Scarabaeinae dung beetles”
6) M. Yasuda: Mammal Study, 29, 37-46 (2000) “Monitoring diversity and abundance of mammals with camera traps: a case study on Mount Tsukuba, central Japan”
7) K. U. Karanth: Biological Conservation, 71, 139-151 (1995) “Estimating tiger *Panthera tigris* populations from camera-trap data using capture-recapture models”
8) S. J. DeWalt, S.K. Maliakal, S.J. Denslow, S.J: Forest Ecol. Manage. 182, 139-151. (2003) “Changes in vegetation structure and composition along a tropical forest chronosequence: implications for wildlife”
9) M. Yasuda, Ishii, N., Okuda, T. Hussein, N.A: In: Okuda, T., Niiyama, K., Thomas, S.C., Ashton, P.S. (Eds.). Pasoh: Ecology of a Rainforest in South East Asia Pasoh Ecology of a Lowland Rain Forest in Southeast Asia, Springer, Tokyo, pp. 533-346 (2002) “Small Mammal Community: Habitat Preference and Effects after Selective Logging”
10) M. Trockenbrodta, Imiyabirb, Z., and Josueb, J: Malaysia. Forest Ecol. Manage. 165, 141-150 (2002) “Hollow logs and logging residues from Deramakot Forest Reserve, Sabah”

11) P. W. Richards: Cambridge University Press, UK (1996) “The Tropical Rain Forest: An Ecological Study”
12) H. Caswell: Sinauer Associates, Sunderland (2001) “Matrix Population Models. Second Edition”
13) C. T. Edgar, L. Jake, T. Snaddon, T. M. Fayle, W. A. Foster: *PLoS ONE 3(2): e1572* (2008) “Oil Palm Research in Context: Identifying the Need for Biodiversity Assessment. doi:10.1371/journal.pone.0001572”
14) R. Kato, Y. Tadaki, H. Ogawa: Malayan Nature Journal 30, 211–224 (1978) “Plant biomass and growth increment studies in Pasoh forest”
15) DWNP: Department of Wildlife and National Parks (2010) “Red list of Mammals for Peninsular Malaysia”

(4)劣化抑止プログラムによる経済効果の分析およびクレジットの市場取引の可能性に関する検証

日本福祉大学
健康科学部　福祉工学科　坂上雅治

＜研究協力者＞
三菱UFJリサーチ＆コンサルティング㈱　齋木由利
マレーシア森林研究所(FRIM)　Lim Hin Fui

平成22～24年度累計予算額：10,937千円
（うち24年度予算額：2,739千円）
予算額は、間接経費を含む。

[要旨]

サブテーマ（４）で掲げられている「劣化抑止プログラムによる経済効果の分析およびクレジットの市場取引の可能性に関する研究」としてまず、当事者国（マレーシア）国民を対象とした選択型実験アンケート調査を実施し、REDD+および持続可能な森林管理施策に対する潜在意識や経済価値の定量化を試みた。その結果、これらに対する肯定的な潜在意識や経済価値が存在することが明らかにされた。次に、このようなマレーシアでの調査と同様の調査を、熱帯林を持たない先進国（日本）で実施した。その上で、REDD+および持続可能な森林施策に対する価値観の違いについて比較検討を行った。その結果、両国とも持続可能な森林管理を肯定的に評価していることが分った。REDDに関わる二酸化炭素価格については、日本における選択型実験調査からは、約350円/kgCO_2、マレーシアにおける調査からは、約RM7/kgCO_2という推定結果が得られた。ただし炭素クレジットを活用するREDD制度については、「知っている」あるいは「聞いたことがある」と回答した人の割合は、日本では7%、マレーシアでは26%と、REDDの当事者国とそうでない国との意識の違いがはっきりとあらわれた。

また、REDD+の導入により熱帯林域を保全しアブラヤシ農園の造園を止めた場合、その農園についての機会費用を考慮する必要があるが、本研究においてもマレーシアにおけるアブラヤシ農園の機会費用について推定を行い、break even priceの推定も行った。また、その計算式に上述の経済価値（非利用価値部分も含む）の推定結果を結合することを試みた。このような潜在的な経済価値は、22年度23年度で実施した表明選好法による解析技術でしか得られないものである

[キーワード]

REDD、選択型実験、持続的な森林管理、機会費用、アブラヤシ農園

１．はじめに

REDD＋の導入を検討するにあたっては、REDD+および持続的な森林管理施策に対し、熱帯林を抱

える当事者国の国民が抱く意識や価値観について知っておくことが重要である。そこで、このサブテーマにおいては、まず当事者国（マレーシア）国民を対象とした選択型実験アンケート調査を実施し、そのような潜在意識や価値観の定量化を試みた。次に、このようなマレーシアでの調査と同様の調査を、熱帯林を持たない先進国（日本）で実施した。その上で、REDD+および持続可能な森林施策に対する潜在意識や価値観の違いについて比較検討を行った。

また、REDD+を導入し、熱帯林域を保全してアブラヤシ農園の乱開発を食い止めた場合、その農園における機会費用を考慮する必要があるが、この点に関わる分析は、世銀やスターン報告Grieg-Granの分析などで数多く公表されている[1) 2) 3) 4)]。本研究でも、これらの先行する成果に基づいて、当プロジェクトにおける機会費用について推定を行い、マレーシアにおけるアブラヤシ農園の機会費用を推定することを試みた。さらにその結果を用いて、本研究の設定シナリオにおけるREDDクレジットに関するbreak even priceを計算した。また、その計算過程に、22年度23年度における潜在的便益（あるいは非利用価値）の推定結果を結合することも試みた。このような潜在的便益は、22年度23年度で実施した表明選好法による解析技術でしか得られないものである。

２．研究開発目的

サブテーマ（４）で掲げられている「劣化抑止プログラムによる経済効果の分析およびクレジットの市場取引の可能性に関する研究」としてまず、REDDの導入にあたって、REDDおよび持続的な森林管理に対する人々の経済的価値（あるいは自然環境の経済価値評価）を明らかにするため、選択型実験アンケート調査を実施した。調査対象地は当事者国（マレーシア）と先進国（日本）とした。具体的には、REDDの導入により持続的な森林管理がマレーシアで実施され熱帯林が保護される状況を想定してもらい、その仮想状況下において生産された私的財(木材関連製品：ノートブック)の購買行動を通したREDDに対する人々の抱く経済的価値を定量化する。

また、もう１つの目的として、REDDの導入にあたっての機会費用の推定およびREDDクレジットの市場取引可能性におけるbreak even priceの推定計算を試みる。

以下では、前者の調査テーマを４C、後者の調査テーマを４Oと記述する。

３．研究開発方法

（１）選択型実験調査：４C[5) 6)]

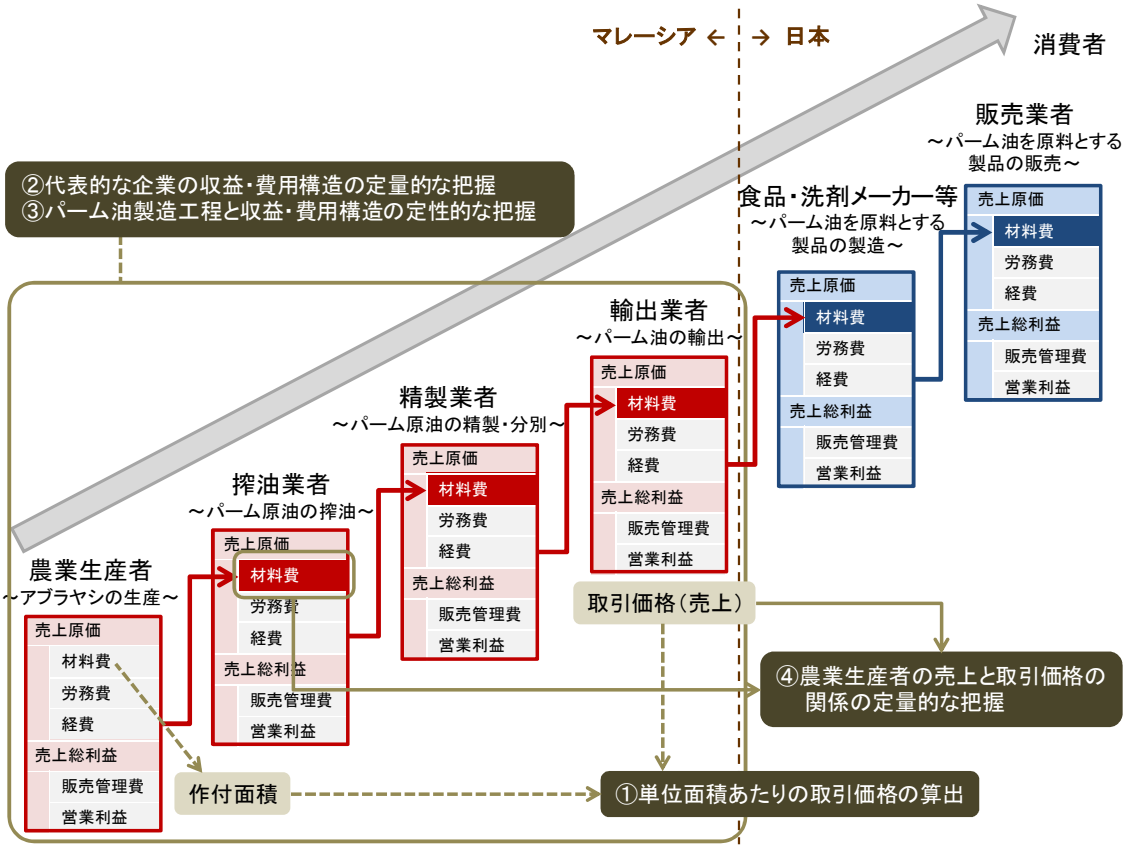
研究の方法としては、マーケティング分野や医療経済学、環境経済学分野で広く使われている経済価値評価手法である選択型実験を採用する。選択型実験は表明選好法であるため、熱帯林の持つ非利用価値（存在価値や遺贈価値など）な部分も含めて推定することができる。選択型実験では、まず評価対象を構成する主たる属性と水準を決定する。そしてこれらの組み合わせにより仮想的な評価対象を複数作成できるが、これらを同時に提示して被験者が最も好むものを選んでもらうという設問を繰り返し行う。そして得られた回答データを離散選択モデルで解析するが、ランダム効用理論にもとづくことで、経済理論の裏づけがある厚生測度(補償余剰、支払意志額)で価値を測定することが可能となる。離散選択モデルには条件付きロジットモデルがよく用いられてきている。条件付きロジットモデルは事前に選好の分布を仮定しそのパラメータをシミュレーションにより推定する。解は比較的安定的である。

今回の選択型実験アンケート調査では、評価対象となる私的財であるノートブックの属性として、①品質やデザイン、②生産過程におけるCO_2排出量、③生産過程における生物多様性の保全度、④価格の4つを設定した。①と④が伝統的な属性であり、これらの評価ウェイトが高くなることが事前に想定される。②は、CO_2を削減する持続的な森林管理により得られた原料(木材パルプ)を用いたノートブックであることを示す属性である。③は、生物多様性を保全する森林管理により得られた原料を用いたノートブックであることを示している。

（２）機会費用の推定：４０

この研究の実施にあたっては、アブラヤシ生産及び木材生産のそれぞれについて、調査対象およびその流れを次のように整理し設定した。

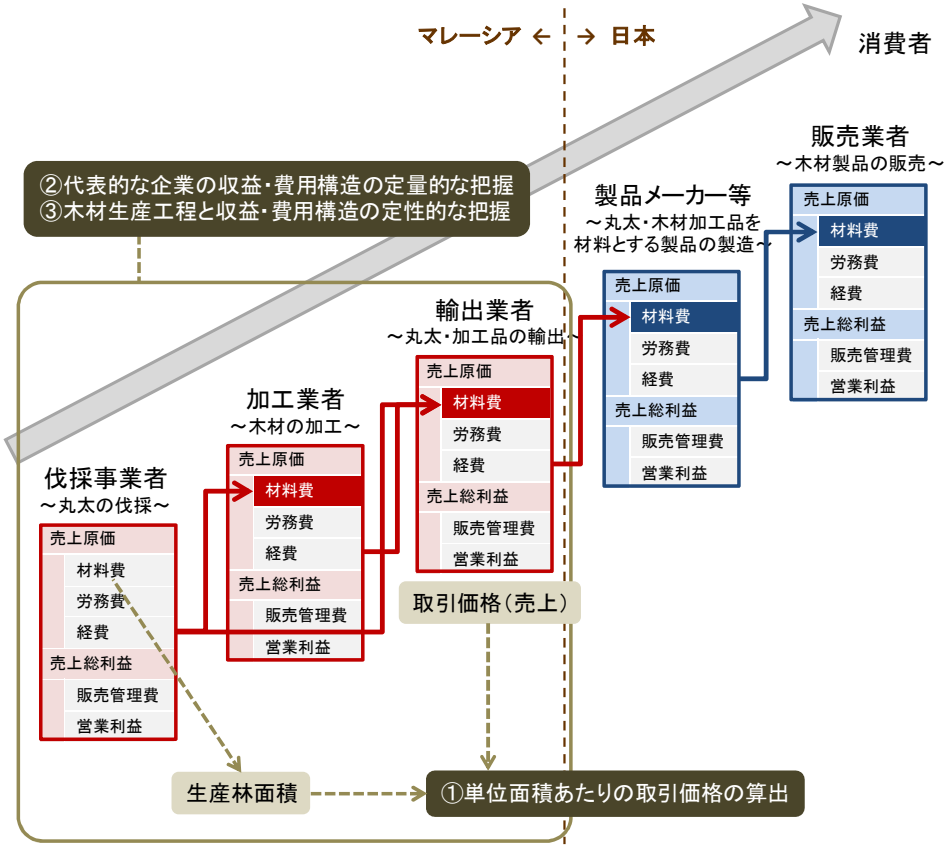
１）パーム油生産



図(4)-1.　パーム油の機会費用推定のフロー図。

パーム油を生産した場合に現地が得られる収益は、単位面積あたりで算出する必要がある。そのため、パーム油の取引価格とパーム油の原料となるアブラヤシの作付面積から、単位面積あたりの取引価格を算出した（図（4）-1）。また、アブラヤシ生産における収益とパーム油輸出における収益を比較するため、図（4）-1中の④農業生産者の売上と取引価格の関係の定量的な把握を行った。

２）木材生産



図(4)-2.　木材生産に関する調査のフロー図。

パーム油と同様に、木材を生産した場合に現地が得られる収益を単位面積あたりで算出するため、木材（丸太）の取引価格と木材が生産される生産林面積から、①単位面積あたりの取引価格を算出した（図（4）-2）。

３）調査の方法

調査は、文献・資料調査および有識者へのヒアリングにて実施した。なお、ヒアリングの結果については、機会費用の推定等の算出手順において主に反映されている。

（３）CO_2に関する意識アンケートの実施

CO_2クレジットの価格は、本研究のようなアプローチをとる研究においては重要な要素である。このため、CO_2クレジット取引市場（CO_2排出量取引市場）の状況が本研究の結果ひいてはREDDの導入についても少なからず影響を与えることが想定される。そこでCO_2クレジット取引市場の状況把握にもつながるひとつの側面として、人々がそのような市場にどのような意識を持っているかについてアンケートを実施した。

４．結果及び考察

（１）選択型実験の結果（４Cの結果）

選択型実験における推定の結果は表(4)-1、表(4)-2のとおりである。まず、価格属性がマイナスであること、すなわち価格が高いほど効用が低下するという購入選択行動における経済合理性が確かめられた。マレーシアでも日本でも、属性のなかで相対的に最も重視されたのは、やはりノートの品質やデザインに関する属性であった。ノートの購入選択行動においてこれは妥当な結果である。

次に重視された属性は、マレーシアの調査では明らかにCO_2排出量の属性だったが、日本の調査では、生物多様性属性とCO2排出属性はほぼ同様の評価となった。日本では生物多様性保全に対する評価が相対的に高くなったことになる。つまり日本の消費者は、REDD＋をはじめとする生物多様性およびCO_2削減に配慮した森林管理下で得られた木材を原料とする製品に対し、プレミア価値を置いたのである。

また、CO_2排出量の属性の係数からこの調査における二酸化炭素価格の推定計算すると、ノートブック生産時のCO_2排出量を1kg削減することに対し、日本の消費者は350円弱の支払意志額を示した。マレーシアでは、kg当たりRM7.7ほどの評価となった。

このように、マレーシアの国民と同様に、日本の国民も、REDD＋をはじめ熱帯林を保全する持続的な森林管理施策を肯定的に評価し、そこから得られた木材を原料とする私的財に付加価値を与えることが分かった。今回の結果から、生物多様性保全やCO_2削減をうたった森林管理に対する評価がとくに高いということが分かった。

表(4)-1. ロジットモデル推定結果（マレーシアにおける選択型実験の推定結果）

	係数	S.E.	t値
CO_2	0.001018	0.000106	9.63204
生物	0.01553	0.002326	6.67622
品質	0.788069	0.038028	20.7236
定数項	-0.27986	0.068355	-4.09424
価格	-0.13071	0.012058	-10.8399

表(4)-2. ロジットモデル推定結果（日本における選択型実験の推定結果）

	係数	S.E.	t値
定数項	0.153046	0.072241	2.119
CO_2	0.001818	0.000131	13.828
生物	0.560766	0.042147	13.305
品質	0.608067	0.047278	12.862
価格	-0.00521	0.000169	-30.841

（2）機会費用の推定およびアブラヤシ生産に関する基礎データ収集結果（４0の結果）

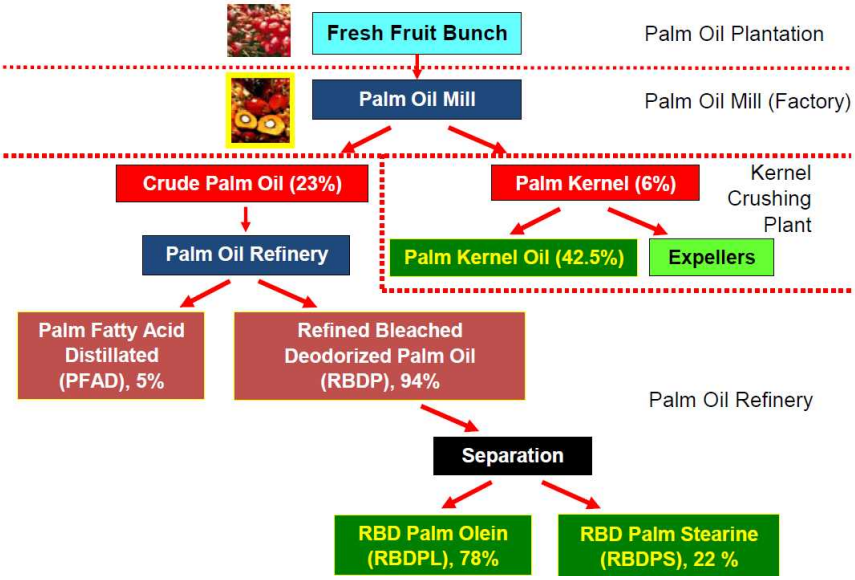
１）単位面積あたりの取引価格の算出

a算出の考え方[7)]

「作付面積あたりのパーム油の収量」×「パーム油の単位重量あたりの価格」にて、単位面積あたりのパーム油価格を算出する。

パーム油は、原料となるパーム果房FFB（Fresh Fruit Bunch）を蒸気滅菌した後、房茎果実を分離、果実を圧搾して抽出された油分を分離すると、粗製パーム油CPO（Crude Palm Oil）が得られる（図(4)-3）。また、圧搾後のケーキからナッツを取り出して分離するとパーム核PK（Palm Kernel）が得られ、これを圧搾すると粗製パーム核油CPKO（Crude Palm Kernel Oil）を得る。この粗製パーム油CPOと粗製パーム核油CPKOを精製することで、精製パーム油RBD Palm Oil（Refined Bleached Deodorized Palm Oil）、精製パーム核油RBD Palm Kernel Oil（Refined Bleached Deodorized Palm Kernel Oil）、パーム脂肪酸蒸留物PFAD（Palm Fatty Acid Distillate）を得ることができる。精製パーム油RBD Palm Oilを融点で分別すると、パームオレインRBDPL（RBD Palm Olein）、パームステアリンRBDPS（RBD Palm Stearine）が得られ、融点の違いを活用して食用（食用油、マーガリン等）・工業用（セッケン、洗剤等）の製品が製造される。パーム原油（粗製パーム油CPO、粗製パーム核油CPKO）、精製パーム油（精製パーム油RBD Palm Oil、精製パーム核油RBD Palm Kernel Oil）、パームオレイン、パームステアリン等、ぞれぞれの段階で取引が行われる。

ここでは、パーム果房FFBから初めに得られる粗製パーム油CPO、粗製パーム核油CPKOが精製・分別されず全量がそのまま取引された場合を想定し、粗製パーム油CPO、粗製パーム核油CPKOの取引価格を「パーム油の単位重量あたりの価格」として採用する。



図(4)-3. パーム油の製造の流れの概略。三菱化学テクノリサーチ（２０１１）[7]より抜粋。

b算出に必要なデータ収集

作付面積あたりのCPO収量はMalaysian Palm Oil Boradより、2012年の単収データを引用し、3.84t/haとした。作付面積あたりのCPKO収量の決定のため、まず、Malaysian Palm Oil Boradより、2012年のCPO及びCPKOの生産量を比較した。次に作付面積あたりのCPO収量から作付面積あたりのCPKO収量を算出した。これに基づき、作付面積あたりのCPKO収量を0.44t/haと算出した（3.84t/ha／18,785,139t×2,164,024t）。CPO、CPKO単位重量あたりの価格は、Malaysian Palm Oil Boradより、2012年の単位重量あたりの取引価格を引用し、CPOは 2,764.00RM/t、CPKOは 3,249.50 RM/tとした。

c算出結果

作付面積あたりのCPO収量（3.84t/ha）とCPO単位重量あたりの価格（2,764.00RM/t）の積と作付面積あたりのCPKO収量（0.44t/ha）とCPKO単位重量あたりの価格（3,249.50 RM/t）の積を足し合わせ、単位面積あたりのパーム油価格が12,043.54RM/haであることが分かった。

２）農業生産者の売上と取引価格の関係の定量的な把握

a算出の考え方

「作付面積あたりのパーム果房FFBの収量」×「FFBの単位重量あたりの価格」から「作付面積あたりのFFB価格」を算出し、１）にて算出した「作付面積あたりのパーム油価格」との定量的な関係を把握する。

農業生産者の売上をパーム果房FFBの売上と仮定し、単位重量あたりの価格に収量をかけることで売上額を求める。これを作付面積あたりで算出することで、パーム油価格との定量的な関係を把握する。

b算出に必要なデータ収集

作付面積あたりのパーム果房FFBの収量はMalaysian Palm Oil Boradより、2012年の単収データを引用し、18.89t/haとした。FFBの単位重量あたりの価格は、Malaysian Palm Oil Boradより、2012年12月の地域別単位重量当たりの取引価格の平均値を引用し391.83RM/tとした。

c算出結果

作付面積あたりのパーム果房FFBの収量（18.89t/ha）とFFBの単位重量あたりの価格（391.83RM/t）の積を求め、作付面積あたりのFFB価格が7,401.67RM/haであることを明らかにすることができた。

つまり、農業生産者のアブラヤシ生産における売上（7,401.67RM/ha）とパーム油輸出における収益（12,043.54RM/ha）を比べると、1.00：1.63となることが分かった。

（３）機会費用の推定試算結果

REDD導入における経済効果の分析およびクレジットの市場取引の可能性に関する検証のひとつとして、（２）の結果を用いて、マレーシアにおけるアブラヤシ農園の機会費用を計算した。割引率を5%と10%、推定計算期間を30年と50年として、アブラヤシ農園の機会費用の割引現在価値の推定計算を試みた。結果は以下のとおりである。

表(4)-3. 機会費用の推定結果　2つの推定期間（30年と50年）と2つの割引現在価値（5%と10%）のあらゆる４つのパターンで機会費用を推定した。

（単位:ドル）	5%	10%
30年	39293	25024
50年	46214	26195

さらに他のサブテーマで得られている成果を活用して[8)]、マレーシアのパソ地域における熱帯林の炭素量を108～201tC/haとし、さらに二酸化炭素取引価格を排出量取引市場動向に基づき5～

50ドル/tCO$_2$とした。当該市場は近年かなりの変動があるため、このような相当程度の幅のある設定とした。

アブラヤシ農園造園のため熱帯林を皆伐するような場合、アブラヤシ農園造園をやめた場合のREDDクレジットは、熱帯林が持つCO$_2$ベースの炭素量×二酸化炭素価格となり、本研究では、1980～36850ドル/haとなった。

また、このような結果について、これまでに22年度23年度において行ってきた表明選好法による解析結果を計算過程に結合し、REDDクレジットの推定計算を再度試みると、最大で約2579500ドル/haとなった。表明選好法における非利用的な経済価値の部分が含められたため、このような大きな額になったことが推察される。

さらに、これらの結果（表明選好法を結合した結果は除いている）に基づいて、break even priceの推定計算を行った。その結果、本研究においては、$33.9～116.7/tCO$_2$と推定された。

（４）CO$_2$に関する意識アンケートの実施結果

CO$_2$クレジット取引市場の状況把握にもつながるひとつの側面として、人々がそのような市場にどのような意識を持っているかについてアンケートを実施した。以下がその結果である。

表(4)-4. CO$_2$意識調査（アンケートの具体的項目および回答者属性の表示）

Q1	あなたは、CO$_2$の排出量が市場で取引されていることを知っていますか？ 単一回答	N	%
1	よく知っている	77	17.2
2	聞いたことがある	227	50.7
3	知らない	144	32.1
	全体	448	100.0

Q2	あなたは、CO$_2$排出量の市場価格を日常的にチェックしていますか？ 単一回答	N	%
1	いつもしている	2	0.7
2	時々している	8	2.6
3	ほとんどしていない	91	29.9
4	全くしていない	203	66.8
	全体	304	100.0

Q3	あなたは、CO$_2$排出量が市場で取引されていることについてどう思いますか？ 単一回答	N	%
1	良いことだと思う	32	7.1
2	地球温暖化防止に役立つなら良	214	47.8

	いと思う		
3	あまり良いこととは思わない	87	19.4
4	良くない	21	4.7
5	わからない	94	21.0
	全体	448	100.0

SEX	性別 単一回答	N	%
1	男性	236	52.7
2	女性	212	47.3
	全体	448	100.0

AGE	年齢 単一回答	N	%
1	12才未満	1	0.2
2	12才～19才	71	15.8
3	20才～24才	24	5.4
4	25才～29才	48	10.7
5	30才～34才	28	6.3
6	35才～39才	44	9.8
7	40才～44才	39	8.7
8	45才～49才	33	7.4
9	50才～54才	45	10.0
10	55才～59才	35	7.8
11	60才以上	80	17.9
	全体	448	100.0

MARRIED	未既婚 単一回答	N	%
1	未婚	206	46.0
2	既婚	242	54.0
	全体	448	100.0

CHILD	子供の有無 単一回答	N	%
1	子供なし	225	50.2
2	子供あり	223	49.8
	全体	448	100.0

1問目については、３割超の人がCO_2に関する排出量取引制度の存在を知らないと答えている。性別でみると、女性の比率が高く、年齢では12～19歳の層がやや多かった。

また3問目については、排出量取引制度に対してあまり良い印象を持たない人が24％程度を占めていることが分かる。このように当該取引制度に対して、国民はあまり認知していないことが分った。直接的に取引市場に影響するわけではないが、市場活性化の手段のひとつとしてもう少しは認知度を高めてみてはどうかという点を参考まで指摘しておきたい。

５．本研究開発により得られた成果

（１）科学的意義

選択型実験における条件付きロジットモデルを用いて、マレーシア消費者の環境配慮型の購入行動に関する統計的に有意な推定結果を得ることができた。

マレーシアにおけるアブラヤシ農園の機会費用の推定およびbreak even priceの推定を行った。加えて機会費用の推定計算に表明選好法による成果を導入した。これはおそらく世界で初めての試みである。

（２）環境政策への貢献

＜行政が既に活用した成果＞

特に記載すべき事項はない。

＜行政が活用すると見込まれる成果＞

マレーシアおよび日本の国民は、REDD＋をはじめ持続的な森林管理を行うことを肯定的に評価し、そこから得られた木材を用いた製品に対してプレミア価値を与えるということが明らかになった。つまり彼らは、熱帯林の減少を憂慮し、多少高くても熱帯林保全に配慮された製品をすすんで購入するということが分かった。さらに、持続的森林管理の目的別、すなわちCO_2削減や生物多様性保全という目的に対する潜在意識あるいは価値観を定量化すると、彼らは、CO_2の削減だけでなく、生物多様性の保全についても同じように重要視していることが分かった。

さて本研究での結果について少し視点を変えてみると、私的財の生産過程におけるCO_2排出量の表示に対する反応が有意に存在したことから、マレーシアや日本の国民は、カーボンフットプリント制度に対する受容性があるという点も指摘できる。また、本研究の結果から、CO_2排出量を1kg削減することに対し、日本では350円弱の支払意志額を示すことが、マレーシアではRM7.7程度の支払意志額を示すことがそれぞれ分かっている。これらの値は、市況にもよるが、二酸化炭素市場取引価格を大きく上回っている。

また、24年度の本研究では、アブラヤシ農園の機会費用の推定、他のサブテーマからの成果として得られた熱帯林が持つ炭素量に基づく（アブラヤシ農園造園をやめた場合の）REDDクレジットの推定、break even priceの推定計算等を行った。ちなみに、これらの成果を用いて、オイルパームの機会費用とCO_2の排出削減に関する便益を比較してみると場合によっては前者が後者を上回る場合もある。このことは、オイルパーム価格の近年の高騰と、二酸化炭素排出取引価格の近年の低迷傾向に一因があるとも考えられる。

一方で、上述のような22年度や23年度における本研究での成果、すなわち表明選好法（選択型

実験）によるREDDクレジットに関する非利用価値的な価値の推定におけるこれまでの成果を導入してみると、今度は、便益が費用を大幅に上回るものとなることが分かる。すなわち、表明選好法により得られた、人々が熱帯林に対して抱く非利用的価値の部分を考慮すると、熱帯林保護における便益の規模は非常に大きいということが確かめられた。このような研究は、我々の知る限り現状ではまだそれほど存在しないという点で意義がある。そして、このような成果は、今後さらに行政等が熱帯林およびREDDに関連する政策策定、機会費用や費用便益を推定していくうえでの重要な知見のひとつとして貢献することが期待される。

６．国際共同研究等の状況

本研究は、マレーシアとの共同研究で行った。カウンターパートはLim Hin Fui（Forest Research Institute Malaysia）である。

７．研究成果の発表状況

（１）誌上発表

＜論文（査読あり）＞

22年度、23年度分をまとめた学術論文を国際学術雑誌に投稿中

＜その他誌上発表（査読なし）＞

特に記載すべき事項はない

（２）口頭発表（学会等）

特に記載すべき事項はない。

（３）出願特許

特に記載すべき事項はない。

（４）シンポジウム、セミナー等の開催（主催のもの）

特に記載すべき事項はない。

（５）マスコミ等への公表・報道等

特に記載すべき事項はない。

（６）その他

特に記載すべき事項はない。

８．引用文献

１）Bellassen,V and V.Gitz, Reducing Emissions from Deforestation and Degradation in Cameroon ? Assessing costs and benefits, Ecological Economics 68,336-344,2008.

２）Butler, R.A., Koh, L.P., Ghazoul, J., REDD in the red: palm oil could undermine carbon payment schemes, Conservation Letters 2, 67-73, 2009.
３）Nepstad, D., Soares-Filho, B.S., Merry, F., Lima, A., Moutinho, P., Carter, J., Bowman, M.,Cattaneo, A., Rodrigues, H., Schwartzman, S., McGrath, D.G., Stickler, C.M., Lubowski,R., Piris-Cabezas, P., Rivero, S., Alencar, A., Almeida, O., Stella, O., The end of deforestation in the Brazilian Amazon, Science 326, 1350-1351, 2009.
４）Venter, O., Meijaard, E., Possingham, H., Dennis, R., Sheil, D., Wich, S., Hovani, L., Wilson,K., Carbon payments as a safeguard for threatened tropical mammals, Conservation Letters 2, 123-129, 2009.
５）Train,K.E. (2003), Discrete Choice Methods with Simulation, Cambridge University Press.
６）坂上雅治，栗山浩一 (2009)，エコシステムサービスの環境価値，晃洋書房.
７）㈱三菱化学テクノリサーチ；平成22年度経済連携促進のための産業高度化推進事業　インドネシアにおける油脂化学産業に関するミッション派遣事業，経済産業省委託調査報告書，2011.
８）Okuda, T., Suzuki, M., Adachi, N., Yoshida, K., Niiyama, K., Nur Supardi, M. N., Manokaran, N., Mazlan, H. Logging History and Its Impact on Forest Structure and Species Composition in the Pasoh Forest Reserve-Implication for the Sustainable Management of Natural Resources and Landscapes, in: Okuda, T., Niiyama, K., Thomas, S.C., Ashton, P.S. (Eds.), Pasoh: Ecology of a Rainforest in South East Asia Pasoh Ecology of a Lowland Rain Forest in Southeast Asia, Springer, Tokyo, pp. 15-34, 2003.

(5) 劣化抑止プログラムの導入にあたってのゾーニングとガバナンスに関する研究

共栄大学
教育学部　　高橋進

＜研究協力者＞
ランプン国立大学　　Arief Darmawan

平成22～24年度累計予算額：7,925千円
（うち、平成24年度予算額：2,596千円）
予算額は、間接経費を含む

［要旨］
熱帯林の保全・劣化防止は、生物多様性保全や地球温暖化対策からも重要であるが、大きな役割を担う保護地域の管理は必ずしも適切とはいえない。本研究では、保護地域のゾーニングなどの適正な設定・管理のあり方、劣化抑止と地域生活との両立のための保護地域ガバナンスのあり方などについて研究し、森林の劣化抑止に寄与することを目的とする。

研究対象地は、インドネシアの国立公園（ワイ・カンバス国立公園（TNWK）、南ブキット・バリサン国立公園（TNBBS）、ハリムンーサラック山国立公園（TNGHS））とし、資料収集と現地調査、および衛星画像の解析により、国立公園制度とガバナンスの変遷、植生変化と管理上の課題などを考察した。

国有地として専用的に管理されてきた国立公園においても、公園管理当局と地域内や周辺の地域社会との対立があることから、国立公園専用地域としての管理の強制力と地域社会による土地利用の自由度を指標として類型化を行った。この結果、地域住民を排除した専用的管理（TNWK）、その対極の地域住民による実効的な土地利用（TNBBS）、それらの中間の公園管理と地域社会土地利用の両立（協働管理）（TNGHS）の3タイプとなった。

ゾーニングでは、公園地域の50%以上が自然保護上の核となるコアゾーンと原生ゾーンに位置づけられていたほか、類型によってゾーニングに特徴がみられた。また、原生林の面積率の経年変化にも差がみられ、特にTNBBSでは大規模なエンクローチメントにより原生林率は40年間で大幅に減少していた。自然保護上の核となるゾーンでは、原生林の減少率は小さいものの、減少面積は大きく、生物多様性保全への影響が懸念されることも判明した。また、自然回復のゾーニングや植林事業推進においても、それぞれの類型で特徴がみられた。これらの結果を基に、REDD＋推進のための保護地域ガバナンスとゾーニングのありかたを提案した。

［キーワード］
保護地域ガバナンス、国立公園管理計画、生物多様性、協働管理、モデル保全集落(MKK)

１．はじめに

気候変動に関する政府間パネル(IPCC)によると、1990年代の森林減少による炭素排出量は年

間5.8ギガトンで地球全体の排出量の20%を占め、3番目に大きな排出源であることから、地球温暖化防止のための炭素排出量の減少のためには森林減少の抑止が効果的であるという[1)2)]。また、森林減少・劣化の多くは、主として途上国に位置する熱帯林であり、この熱帯林における森林減少・劣化の抑止により炭素排出量が半減するという試算もある[2)]。

生物多様性保全のためには、森林、特に熱帯林を保護地域として保全管理することは重要であるが、地球温暖化防止の観点からも保護地域の役割は重要である。実際、世界の陸上炭素蓄積量の15%は保護地域に存在している[2)3)]。IPCCでも保護地域による森林の減少・劣化抑止に期待しており、多くの国々がそれぞれの温暖化防止行動計画に保護地域を組み込んでいる[2)]。一方、保護地域は温暖化防止に重要な役割を担っているものの、その効果が発揮されるのは保護地域が適正に管理（ガバナンス）された場合だけである[2)]。しかし、この大きな役割を担う保護地域の管理は必ずしも適切とはいえない[4)]。途上国などでは単に地図上で指定しただけで、実際には保護地域として管理されておらず、その機能を有していないもの（実態のない地図上公園Paper Park）も多い。さらに多くの途上国では、国立公園などの保護地域は国有地であるにもかかわらず、周辺地域住民の保護地域内での違法伐採、あるいは指定前からの生物資源採取や居住なども続いている。地域住民と保護地域当局との対立も各地で生じている[5)]。

このように、保護地域の適正な配置・管理は、生物多様性保全のみならず、地球温暖化の防止のためにも重要であり、このための効果的な保護地域ガバナンスが求められている。

２．研究開発目的

前述のとおり、地球温暖化防止のための森林減少・劣化抑止（REDD＋）の推進のために途上国、特に熱帯地域の保護地域は大きな役割を担っているにもかかわらず、その管理が適切でないために十分な効果が発揮されていない。

インドネシアは、世界で第3番目に広大な熱帯林を有する国であり、アマゾンなどとともに生物多様性に富んだ地域である。REDD＋の面からも、世界で第4番目に炭素蓄積量の多い国（世界の8%）である一方で、森林や泥炭地からの炭素排出量は、米国や中国に次いで3番目で、森林関連からの排出量としては2番目となっている[1)]。

この熱帯林の生物多様性と生態系を保全するため、2,800万ha以上が保護地域となっているが、それにもかかわらず、インドネシア全体の2009-2010年にかけての1年間の森林減少は832,126.9haにのぼり、保護地域内だけでも67,329.5haにのぼる[7)]。森林火災も2007-2011年に、インドネシア全体で27,499.32ha、中でも国立公園内だけで19,394.85haで発生しているが、実際にはさらに大きな面積と考えられる[7)]。インドネシアにおける国立公園などの保護地域は、原則的には国有地であり、本来は指定目的に沿った適切な管理がなされれば、このような事態は避けられるはずである。しかし、保護地域周辺の住民は保護地域内の生物資源に依存した生活をしており、地域内に集落さえ存在する国立公園も多い。

このように、世界的な森林保有国として炭素蓄積・吸収と炭素排出の両面から森林減少・劣化抑止が求められるインドネシアにおいて、森林減少・劣化抑止の中核となる国立公園など保護地域の適正なガバナンスの確立は、REDD＋推進のためにも喫緊の課題である。また、保護地域の適正なガバナンスは、熱帯地域の森林減少・劣化抑止の推進はもとより、REDD＋推進の際にセーフガードとして求められている生物多様性保全、先住民や地域住民の知識や権利の

尊重などにも貢献するものでもある。

本研究は、インドネシアをケーススタディとして、保護地域のゾーニングなどの適正な設定・管理のあり方、森林劣化抑止と地域生活との両立のための保護地域ガバナンスのあり方について研究し、地球温暖化防止のための森林減少・劣化抑止（REDD＋）の推進に寄与することを目的とする。

３．研究開発方法

インドネシアの保護地域、特にその中核であり、面積的にも広大な地域を占める国立公園を研究対象とする。その中でも、国立公園ガバナンスの観点から、次の3公園を研究プロジェクトサイトとする（図（5）-1）。

スマトラ島は、2009-2010年にかけての1年間だけでも419,050haの森林減少があり、インドネシア国内でも最も森林減少・劣化が進行している地域である[7)]。そのスマトラ島に設定されている「ワイ・カンバス国立公園（Taman Nasional Way Kambas：TNWK）」および「南ブキット・バリサン国立公園（Taman Nasional Bukit Barisan Selatan：TNBBS）」は、ともに広くインドネシア全体あるいは途上国でのREDD＋推進のために、森林減少・劣化と保護地域ガバナンスを考察するうえで参考となる公園である。また、「ハリムンーサラック山国立公園（Taman Nasional Gunung Halimun Salak: TNGHS）」は、国立公園内外の地域社会との協働管理のモデルでもあり、インドネシアの国立公園ガバナンスの変更に大きな影響を与えた国立公園である。なおTNGHSは本課題のプロジェクトサイトでもある。

本研究においては、保護地域ガバナンスに関する文献・資料収集のほか、インドネシア林業省をはじめとする関係機関、大学およびNGOなどを訪問して、インドネシアの保護地域に関する法制度、管理計画等の文献・資料収集およびヒアリングを実施した。また、現地フィールド調査による国立公園管理事務所および管理官からの国立公園管理計画の入手とヒアリング、国立公園内集落住民に対してのヒアリングなどを行い、国立公園ガバナンス、国立公園管理計画に基づくゾーニングと自然再生のための植林事業、地域住民と公園管理の関係などに関する現状と課題などを考察するためのデータの収集を実施した。これらにより、ガバナンスに関する制度の変遷とその背景、および課題などを考察した。さらに、衛星画像データ（ALOS-AVNIR2，LANDSAT-TM）解析を行い、この結果を基に国立公園ごとの森林変化、ゾーニングとの関係などを比較解析した。

図(5)-1.　プロジェクトサイト位置図。

４．結果及び考察

（１）国立公園ガバナンスの変遷

１）森林保全と土地所有

インドネシアは、民族･文化のみならず、これを育んできた自然も変化に富んでおり、マングローブ林、低湿地から高山帯にいたる森林まで、多様な生息・生育環境、生態系を有しており、国内には約32万種といわれる多くの動植物が生息・生育している。中でも、哺乳類は515種（世界の12%に相当）で、一国に生息する種数としては世界最多であり、うち39%が固有種である。また、鳥類は1,531種（固有種26%）で世界第5位、さらにヤシ類は447種（固有種47%）と第1位で、顕花植物でも29,375種（固有種59%）で第7位であるなど、インドネシアはアマゾンなどとともに世界でも有数の生物の多様性に富んだ地域となっている[8）9）]。

インドネシアの自然保護の歴史は古く、マジャパヒト王朝時代の1395年の碑文には、すでに自然資源保護について言及されていた[6）]。大航海時代以降には、チョウジなどの香辛料等を求めてヨーロッパ勢がインドネシアに進出した。オランダは1602年の東インド会社によるジャワ島進出により実効的にインドネシアを植民地化したが、19世紀に入ると本国による直接統治が始まった。この植民地時代には、「土地法」（1870年）により、所有権の立証されない土地は国有地として管理された。1945年の独立後においても、「土地基本法」（1960年）により、所有権の確定していない森林は国有地として林業省が管理することとなった[10)]。
オランダ統治時代の1889年にはチボダス(Cibodas)自然保護地域が設定されたのをはじめ、独立後も各地で「自然保護区」が設定されていった[6）]。

２）国立公園制度の誕生と法整備

一方で、「国立公園」は比較的新しく、1980年に初めて当時担当の農業大臣により、グヌン・ルーサー（Gunung Leuser）、グデ・パンゴランゴ（Gede Pangrango）、ウジュン・クロン（Ujung Kulon）、バルラン（Baluran）、コモド（Komodo）の5公園が指定された。これらは、それまで自然保護区として指定されていたものである。その直後の1982年10月には、「第3回世界国立公園会議」がアジアで初めてバリ島で開催されている。

しかし、国立公園が法律により正式に位置づけられたのは、1990年代になってからである。世界的に、生物多様性条約（CBD）制定（1992年）もあり、国立公園管理にも生物多様性保全に焦点が当てられるようになってきた。インドネシアでも、1990年に「生物資源および生態系保全法」（法律第5号）が制定された。これにより、国立公園などの「自然保全地域」（Kawasan Pelestarian Alam）と自然保護区などの「自然保存地域」（Kawasan Suaka Alam）などが規定された。管理のためには、コアゾーン、利用ゾーンなどが設定されることになっており（第32条）、保全のための住民参加も規定されている（第37条）。その後、ゾーニングシステムなどの詳細は、「自然保存地域および自然保全地域に関する政令」（1998年政令第68号）により、「コアゾーン」、「森林ゾーン」、「利用ゾーン」、「その他ゾーン」とされたが、「その他ゾーン」については必要性に基づき大臣が決定する（第30条）としてこの段階では具体的には規定されなかった。この「その他ゾーン」については、後述のとおり2006年に「国立公園のゾーニングガイドライン大臣規則」（大臣規則第56号）によって4区分された。2010年12月現在では、陸域国立公園43（面積12,328,523.34ha）、海域国立公園7（面積4,043,541.30ha）の50国立公園[7）]が指定されている。

現行の1999年「森林法」（法律第41号）においては、権利の設定されていない森林は国有とされている。この森林法では、森林を「保全林（Hutan Konservasi）」、「保安林（Hutan Lindung）」、

および「生産林（Hutan Produksi）」の3種に区分している（第6条）。保全林は、さらに「自然保存林（Hutan Suaka Alam）」、「自然保全林（Hutan Pelestarian Alam）」、および「狩猟公園（Taman Buru）」に区分されている（第7条）。先行していた前述の「生物資源および生態系保全法」（1990年）と当該森林法（1999年）の地域区分の関係は必ずしも明確ではなく、保全林の3区分における利用も別途法令をもって定めるとされている（第25条）が、実態上では国立公園は保全林として位置づけられている。

オランダ統治時代のみならず独立後においても、国立公園などの自然保護地域は国有林に設定されていることから、保護地域内に居住することはもちろんのこと、保護地域内の自然資源利用も違法であった。インドネシアの保護地域は、地域社会を排除して管理されてきた。このように、保護地域が国有地として専用的に管理されるのは、植民地の経験を持つ多くの途上国に共通のシステムである。一般的には、世界で最初の国立公園である米国のイエローストーン国立公園と同様のシステムとして「イエローストーンモデル」あるいは「営造物制保護地域」とよばれている。

この公園管理と地域社会との関係に少し変化の兆しがみえてきたのは1980年代である。この時期は世界国立公園会議の開催(1982年) もあり、外国援助機関（ドナー）により法制度の整備や国立公園の管理に対する援助が行われた。その中で代表的なものは、世界銀行や世界自然保護基金（WWF）などによる「保全開発統合プロジェクト（ICDP）」で、クリンチ・スブラト（Kerinci Seblat）国立公園（スマトラ島）、グヌン・ルーサー（Gunung Leuser）国立公園（スマトラ島）など20以上の保護地域でプロジェクトが実施された。

３）協働管理への転換

その後、1980年代後半から90年代になると、生物多様性条約（CBD）制定（1992年）もあり、国立公園管理にも生物多様性保全に焦点が当てられるようになってきた。

こうした時期に日本は、米国との世界の生物多様性保全のための共同プロジェクト「日米コモンアジェンダ」に基づき、インドネシアにおいて「生物多様性保全プロジェクト」（1995～2003年）（以下、「JICAプロジェクト」）を実施した。JICAプロジェクトは、調査研究、情報整備、国立公園管理などの分野にわたる国際協力であり、国立公園に関しては、ハリムン山国立公園（当時：面積約4万ha）を対象地として、国立公園管理事務所とリサーチステーションを整備提供したほか、公園管理計画の策定や環境教育、エコツーリズムなどの技術協力が実施された。

JICAプロジェクト開始当時はハリムン山国立公園の指定後間もなく、公園管理のための管理計画の策定が急務とされた。当初JICAチームは、日本の地域制公園の経験も踏まえ地域との協働の観点から、伝統的利用地区（Traditional Use Zone）として地域住民による慣習的な植物採取などを許容する地区を設定する考えを提案したが、林業省での公園管理計画の地域地区としては未だオーソライズされておらず、考え方自体は関係者間で合意されたものの、正式な計画案に盛り込むまでには至らなかった[11)]。

その後2003年6月にはサラック山地域が拡張され、名称もハリムンーサラック山国立公園（Taman Nasional Gunung Halimun Salak: TNGHS）に改称されて、面積は11万3,000haとなった。この拡張に伴い、自然状態とは無関係にそれまで林業公社が管理していた土地などを機械的に

公園に編入したこともあり、さらに多くの集落や耕作地などが公園内に含まれることとなった。この結果、拡張前からのものも合わせ、公園内には300以上の集落、10万人以上が居住しているといわれている。インドネシアのそれまでの公園制度では、これらの集落、住民は、すべて違法であり、公園管理当局と地域住民との間には様々なトラブルが生じた。

これらへの対処もあり、2004年には「自然保存地域および自然保全地域の共同管理に関する大臣規則」（大臣規則第19号）により、公園指定前から居住している集落などを「モデル保全集落」（Model Kampung Konservasi: MKK）として指定し、住民との協働を目指す政策に転換した。さらに、2006年には「国立公園のゾーニングガイドライン大臣規則」（大臣規則第56号）により、地域住民が公園内の動植物などを利用することが可能な「伝統的ゾーン（Zona Tradisional）」とともに、既存の耕作地などを「特別ゾーン（Zona Khusus）」として明確に位置づけることになった。

４）モデル保全集落（MKK）と特別ゾーン

国立公園の制度上は、協働管理に関する大臣規則（2004年）によるMKKと、ゾーニングに関する大臣規則（2006年）の特別ゾーン設定により、ガバナンスとゾーニングの面から、公園管理の大きな阻害要因となっていた地域住民による違法行為（公園内居住、自然資源利用など）が解消したかに見える。特別ゾーンは公園当局と住民との対立を解消し、両者がともに利益を得る（win-win）制度と評価されている[12)]。しかし、制度上の整備と実効上はかい離があるのが特に途上国の常であり、インドネシアにおいても例外ではない。

ａ．モデル保全集落（MKK）

インドネシアにおける国立公園内の土地は基本的には国有地であるが、現実には公園周辺集落住民が薬草や薪炭を含めた多くの公園内自然資源に依存した生活をしている。いくら法律違反とはいえ、実際に公園指定時以前から居住している地域住民の全てを公園地域内から退去させるのは困難である。こうした背景をもとに前述のとおり、2004年に公園指定前から居住している集落などを「モデル保全集落（MKK）」として指定し、住民との協働を目指す政策に転換した。

TNGHSでは、チチェマット（Cicemeut）、チプタイ（ Cipeuteuy）、スカガリ（Skagalih）の3集落をモデルに国立公園管理事務所職員が集落住民と連携を取ってMKKプロジェクトを推進した。2006年以降は他の公園・地域にも拡大するため、「社会的保全集落（Masyarakat Kampung Konservasi : MKK）」として実施されている。 現在ではドナーや現地NGOの援助も受けて、TNGHS内だけでもレバック・サンカ（Lebak Sangka）、チクニン（Cikuning）など20余りの村落・集落で実施されている。主な活動は、チョウジなど有用樹種の植林、トウガラシや砂糖ヤシなど換金作物耕作、ヤギ飼育などにより、経済的な生活基盤の安定を図り、さらに住民自らのパトロールやコリドーへの植林による自然回復などを通しての自然資源への理解・認識を高めるものである。これにより経済的な安定が得られ、公園内の自然資源を利用することが少なくなり、森林劣化の防止と災害防止に貢献している。しかし、この段階に至るまでには、それまで対立していた公園当局管理官と住民との信頼関係の構築や公園当局と集落側との間でMOUを締結して林業省森林保護・自然保全総局（PHKA）にまで報告することが必要である。このため、NGOなどの援助および長い時間と協議が必要であり、現地管理官の熱意な

どに負う部分も大きい。

また、これらはあくまでも推進モデルとしてのプロジェクトであり、現在のところではすべての集落住民が恩恵を受けるものではない。MKK活動に参加しているのは、集落全体の一部の住民に過ぎず、たとえば、チクニン集落は850世帯、3千人近い大集落であるが、実際にMKK活動に参画しているのは100人程度という（NGO担当者および部落長談）。援助NGOや集落のリーダーなどは、できるだけ多くの住民に参加してほしいと考えているが、参加していない住民からは現金収入をめぐる妬みも受けている。林業省では、さらに国立公園以外の広範な森林での保全を目指して、「モデル保全村落（Model Desa Konservasi: MDK）」を開始した。これには、2009年12月現在、インドネシア全体で指定予定も含め144村落が報告されている（林業省資料）[13]。MKKはモデルケースとの位置づけであるが、これがさらに特別ゾーンなどに広く伝播して実施されなければ、住民による公園内自然資源利用の減少と森林劣化の抑止にはつながらない。

ｂ．特別ゾーン（Zona Khusus）

国立公園管理のためには管理計画が策定される。この管理計画は、20-25年の計画期間であり、さらに5か年計画、毎年次計画が策定されることになっている。また、管理計画では、自然状態や管理方針に合わせて公園地域をゾーニングすることになっている。法律上は最低限、「コアゾーン」、「利用ゾーン」および「その他ゾーン」に区分することとなっており、現在では必要に応じて前述の7ゾーンに区分されている。

この管理計画は、公園ごとに作成し、上級官庁である林業省森林保護・自然保全総局（PHKA）が承認することになっているが、承認事務が停滞しているという問題もある。2006年に全国展開のために50公園からモデル的な国立公園として選定された21公園でさえも、すべての公園で管理計画が策定されているものの、2006年時点で承認されたのは15公園（71.4%）であり[14]、2010年現在でも19%は未承認である[15]。このような状況において、2007-2026年管理計画が2007年6月に承認[16]されたTNGHSの例はむしろ特異といえるかもしれない。これにはJICAプロジェクト「グヌンハリムン・サラク国立公園管理計画」（2004-2009年）の関与の影響が大きい。

それまで対立していた公園当局と地元集落とが協働するというMKKは、国立公園ガバナンスの大きな転換の契機となった。しかし、これはモデルケースを推進するための制度であるものの、依然として公園内の集落住民にとっては、違法状態が続いていることに変わりなかった。これを制度上においても解消するため、「国立公園のゾーニングガイドライン大臣規則」（2006年大臣規則第56号）では、公園内を7ゾーンに分類して管理することとなった。すなわち、「自然保存地域および自然保全地域に関する政令」（1998年政令第68号）に基づく「コアゾーン（Zona Inti）」、「原生ゾーン（Zona Rimba）（海岸域では「海岸保護ゾーン」）」、「利用ゾーン（Zona Pemanfaatan）」、および「その他ゾーン（Zona Lain）」の4ゾーンに加え、「その他ゾーン」をさらに「伝統ゾーン（Zona Tradisional）」、「自然回復ゾーン（Zona Rehabilitasi）」、「宗教・文化・歴史ゾーン（Zona Religi, budaya dan sejarah）」および「特別ゾーン（Zona Khusus）」の4ゾーンに区分するものである。

「伝統ゾーン」は、地域住民による伝統的な手法での自然資源利用を許容するものである。これにより、前述のJICAプロジェクト（生物多様性プロジェクト）の公園管理計画での「伝統

的利用ゾーン」のゾーニング提案も制度上オーソライズされたと考えられる。しかし、協働管理が推進されているTNGHSでさえも公園当局は、伝統ゾーンの指定地域をできるだけ小面積としたいとの意向である。なお、「生物資源および生態系保全法」（1990年）と「自然保存地域および自然保全地域に関する政令」（1998年）で規定されている「利用ゾーン」における利用の概念は、観光レクリエーションあるいは研究・教育であり（1998年政令第5条）、直接的には伝統的な資源利用も含めた地域社会の利用を想定したものではない。また、「宗教・文化・歴史ゾーン」は、住民により維持されている宗教・慣習の儀式の場などが指定される（2006年大臣規則第5条）が、その目的はもっぱら儀式の場の保護と研究・教育および自然観光などのためである（同規則第6条）。

「特別ゾーン」は、国立公園内における地域住民による生物資源利用を認めたばかりか、公園指定前からという制限付きながらも居住まで追認したものであり、それまでのインドネシアでの国立公園管理政策、森林管理政策からすれば画期的な転換ともいえる。この契機となったのは、前述のTNGHSの拡大にともなう集落や耕作地の公園区域への包含であったが、さらにスハルト政権崩壊後の地方行政法（1999年法律第22号）など地方分権（autonomie daerah）の流れの影響も大きい。

この特別ゾーンは、電話、交通、電気関連施設など公園指定以前から地域住民の生活に必要な施設等があったと認められる区域（第1条・第5条）であり、公園指定以前から現地に生活している地域住民あるいは電話、交通、電気などの施設を妨げないように設定する（第6条）こととされている。すなわち、サラック山山麓で操業していた地熱発電所（PT Chevron Geothermal Salak）などを例外的に公園区域に取り込むことを想定していたと考えられる。

しかし実際には、単に送電線等の施設のみならず、住民の居住区、耕作地なども特別ゾーンとして公園管理上も容認されることへの期待が大きい。一方で、その取り扱いは公園により大差があるのが実情である。

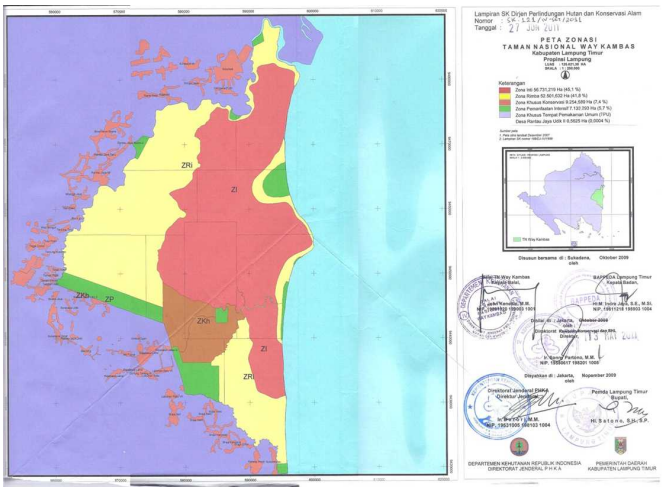
（２）国立公園ガバナンスと地域社会

研究プロジェクトサイト（3国立公園）における土地利用などの現地調査から、ガバナンスと地域社会との関係を把握した。それぞれの結果は、以下のとおりである。

１）ワイ・カンバス国立公園（TNWK）（スマトラ島、図（5）-2）

TNWKは、1930年代のオランダ統治時代から保護地域として指定されていた。国立公園候補地になったのは1991年3月で、実際に指定されたのは1997年3月である。

1960年代に移住省により約200人が現在の国立公園地域に入植して耕作地や学校を含む集落を形成した。しかし、1980年代になると移住省の了解のもと、これらの住民はランプン州北部に強制移住（追放）させられた。また、2000



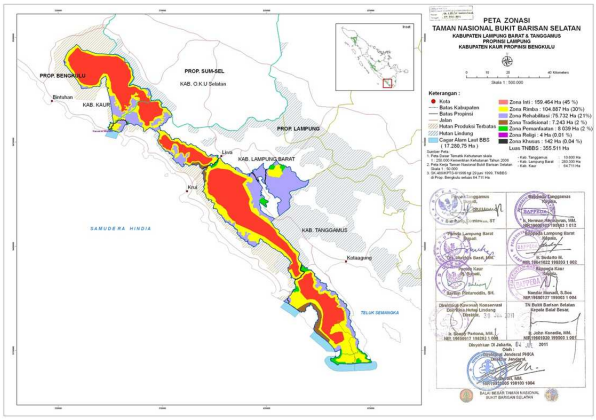
図(5)-2.　TNWKゾーニング。

年頃には公園外の住民のエンクローチメントにより、約6000haのシンンコン畑が不法開拓された。これは、2010年8月までにすべて強制退去させた。こうして、国立公園指定までの間に、人口過剰のジャワ島からの移民やエンクローチメントなどにより、公園地域の実に75%以上の熱帯林が伐採され、耕作地に変えられてしまったことになる。

これらの入植跡地は、現在放置されて自然回復しつつあるが、最近まで耕作されていたシンコン畑は草地のままである。このため、2010年より地域自治体や団体の協力も得て、自然回復事業の取組が開始された。また、公園内の野生ゾウが公園外の集落を襲う被害も多発しており、これへの対処も求められている。なお、墓地として使用されていた地域は、現在でも公園計画上の特別ゾーンとして、住民の利用を許容している。

２）南ブキット・バリサン国立公園（TNBBS）（スマトラ島、図（5）-3）

TNBBSは、世界自然遺産にも指定されているバリサン山脈の南部地域で、植民地時代から野生動物保護区に指定されている。国立公園内には日本の国立公園のように一般国道が通過しているが、公園入り口部には標識が設置されて国立公園の周知は十分なされている。しかし、国道の開通が、エンクローチメントを誘発し、国道沿いは天然林が残されているものの、国道から50メートル以上奥に入ると森林は皆伐され、コーヒー（ロブスタ種）やコショウの違法プランテーションが造成されている。コーヒーは通常は緑陰樹の下に植栽されるが、ここでは皆伐後の緑陰のない栽培形態で、品質は必ずしも良好ではないが安価な生産がなされ、エンクローチメントの違法入居者の現金収入となっている。



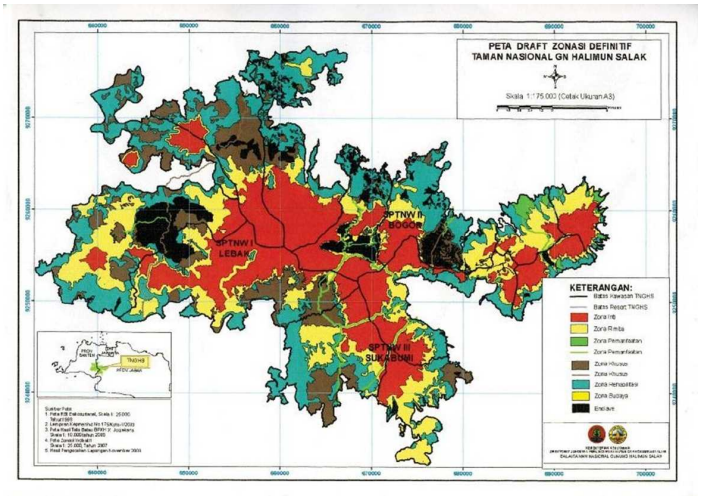
図(5)-3.　TNBBSゾーニング。

公園当局は、警察や国軍との共同パトロールも実施し、公園入り口部には2011年4月末までの期限で不法滞在者への退去命令も掲げているが効果はなく、違法プランテーションの操業が継続されている。現在では、自然回復とゾウ被害対策のための植林も実施されている。

３）ハリムン・サラック山国立公園（TNGHS）（ジャワ島、図（5）-4）

TNGHSは、ジャカルタの南西約100kmに位置し、1992年に指定された国立公園で、ヒョウやジャワギボンなどの希少動物も生息するジャワ島では残り少ない自然林の地域である。しかし、公園の中央部には指定前からの広大なティー・プランテーションと紅茶工場が操業されていた。この部分は公園指定地域からは除外されたものの、他にも集落や耕作地が公園内に点在し、こちらは違法居住、違法土地利用とみなされた。また、金鉱採掘などの違法行為も行われていた。

2004年の大臣規則により定められたモデル保全村（MKK）は28カ所とされているが、さまざまな段階・タイプがある。このうち、MOU締結はわずか（国立公園管理事務所との締結は3MKKのみ）である。国立公園当局においては、担当スタッフが少数であり、MOU締結に専念できないことも大きな理由となっている。



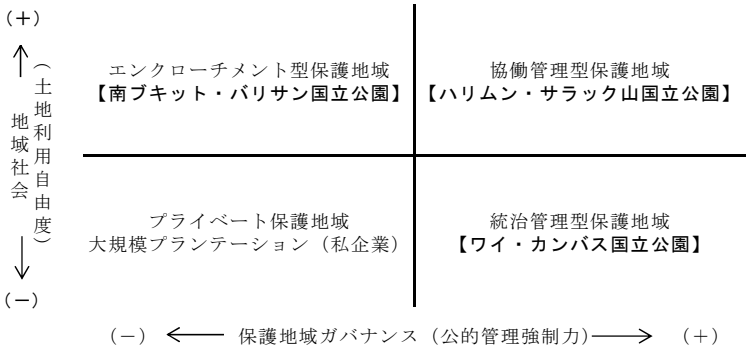
図(5)-4. TNGHSゾーニング。

MKKの活動例としては、住民が公園内の荒廃地で植林活動を実施し、さらに5年間の維持管理を地元集落に委託しているものなどがある。これらのMKKでは、公園の保護を公園当局と地元住民が共同で実施する、MOUで認められた範囲の行為の実施の際に住民の公園内への立ち入りに許可が不要である、アグロフォレストリーが認められる、などのメリットがある。しかし一方で、MKKは本来集落全員が参加することになっているが、MKKにより参加率が異なり、少数参加のMKKもある。MKKには、公園内に居住する住民が公園内で農業などをモデルとして実施しているものと、公園外に居住する住民が公園内でモデル的な農業を実施しているものとがある。

管理計画では従来はMKKを伝統的利用ゾーンに位置付けていたが、調査の結果、伝統的な生物資源の利用だけでなく、農地や建物も認められた。このため、管理計画変更に伴い2009年以降は伝統的利用ゾーンを設けず、特別ゾーンとしている。管理計画（2007-2026年）では、公園指定前からの地熱発電所などとともに、MKKのチプタイ（Cipeuteuy）村、グヌン・マラン（Gunung Malang）村を特別ゾーンとすることが明記されている[16)]。

（３）国立公園の類型化

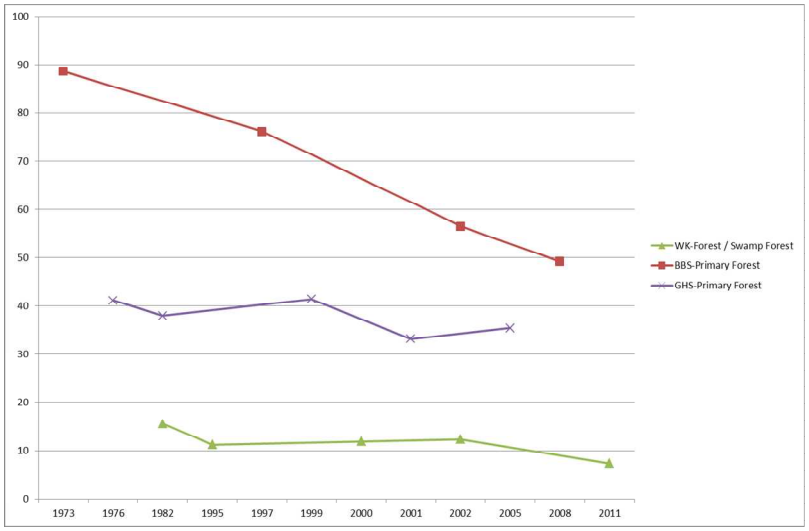
保護地域ガバナンスと地域社会との関係について、国立公園専用地域としての管理の強制力と地域社会による土地利用の自由度を指標とした類型化を試みた（図（5）-5）。この結果、地域住民を排除した専用的管理の「統治管理型保護地域」、その対極の地域住民による実効的な土地利用（エンクローチメント）が行われている「エンクローチメント型保護地域」、それらの中間の公園管理と地域社会土地利用の両立（協働管理）をめざす「協働管理型保護地域」、公的管



図(5)-5. 保護地域ガバナンス－地域社会の関係類型化。

理も住民による土地利用も希薄な保護地域などの「プライベート保護地域」の4事象に分類された。

これに本研究でのインドネシアの国立公園の調査結果を当てはめたところ、TNWKは統治管理型保護地域、TNBBSはエンクローチメント型保護地域、TNGHSは協働管理型保護地域の典型的な3類型となった。なお、第4分類のプライベート保護地域は、ラテンアメリカ、アフリカには多いが、土地所有制度の関係から東南アジアにはほとんど存在しないと考えられる。



図(5)-6. 3公園類型における原生林面積率の経年変化。

（４）ゾーニングと植生変化

公園管理のための公園管理計画に基づくゾーニングは、それぞれの公園により採用する地域地区（ゾーニング）の種類は異なるものの、自然保護上の核となるコアゾーンはTNWKが45.2%、TNBBSが44.9%、最も少ないTNGHSは30.2%であるが、原生ゾーンを加えるとそれぞれ87.0%、74.4%、50.8%と、公園地域の過半数が自然・生物多様性の保護地域として位置づけられている。一方で、住民の土地利用を許容する特別ゾーンの割合は、協働管理をめざすTNGHSにおいて19.6%と最も高く、TNWK、TNBBS、TNGHSの順となった。これは、上記で類型化した公園のガバナンス(強制力)と住民の土地利用自由度の関係が如実に反映されているといえる。また、森林回復のための自然回復ゾーンは、公園内での地域住民利用を排除したTNWKでは設定そのものがなされていないのに対し、TNBBSおよびTNGHSにおいては、それぞれ公園面積の21.3%、26.8%が設定されている。

ガバナンス類型により、ゾーニングと森林減少の様相（特に原生林減少）の違いも判明した。公園地域全体での原生林の減少は、公園内での居住あるいはキャッサバ畑などの地域住民利用を追放・禁止したTNWKと地域住民との協働管理を進めているTNGHSでは比較的変化は少なかったが、TNBBSでは大規模なエンクローチメントにより原生林率は1973年の88.6%から、40年間で49.2%にまで減少し、代わってブッシュ／コーヒープランテーションが1.5%から21.2%にまで増加した（図（5）-6）。

コアゾーンあるいは原生ゾーンにおいては、各公園とも原生林の減少は少なく、TNBBSコアゾーンで83.2%（1973年）から80.0%（2008年）、TNGHSコアゾーンで63.1%（1976年）から62.3%（2005年）であり、低地湿地林の多いTNWKコアゾーンでも17.9%（1982年）から15.2%（2011年）と、生物多様性の保全が比較的確保されている。

一方で、TNBBSの利用ゾーンでは、原生林が95.1%（1973年）から23.9%（2008年）にまで大

幅に低下し、二次林と灌木林・コーヒープランテーション（違法）がそれぞれ1973年の0.0%、0.7%から、2008年の20.1%、41.6%にまで増加している。他の2公園では変化が少ないことから、顕著な傾向といえる。また、宗教ゾーンや特別ゾーンのようにもともと地域住民のためのゾーンの原生林率も、TNBBSではそれぞれ1973年の50.1%、91.9%から2008年には0.0%、46.6%にまで減少しているが、他の公園ではゾーンが設定されていないか、変化は少ない。

以上のとおり、TNBBSにおいて原生林が大幅に減少したのは、減少率からは利用ゾーンや特別ゾーンである。一方で、面積の大きいコアゾーンや原生ゾーンでは、減少率は小さいものの、両ゾーン合計で1,558.5haの原生林が減少しており、利用ゾーンと特別ゾーンの原生林減少面積143.4haを大きく上回る。TNWKおよびTNGHSにおいても同様に、原生林の減少率は小さいものの、コアゾーンと原生ゾーン合計で、それぞれ7,125.6ha（1982～2011年）、3,180.1ha（1976～2005年）の原生林が減少した。すなわち、当初から土地利用を想定してゾーニングされた地域では、改変許容面積をできるだけ小さく計画することから、原生林減少率は大きいものの、減少面積は小さいと考えられる。このことから、公園の核心的地域であるコアゾーンや原生ゾーンの管理の強化が望まれる。

TNBBSおよびTNGHSでは、自然回復のための自然回復ゾーンが設定されており、植林事業なども実施されている。TNBBSでは21.3%が自然回復ゾーンに設定されており、そこでの原生林率は91.8%（1973年）から18.5%（2008年）と大幅に減少しているが、これはむしろ原生林の伐採跡地を管理計画改定により自然回復ゾーンとして設定したためである。なお、公園内での地域住民利用を排除したTNWKでは前述のとおり設定そのものがなされていないが、エンクローチメント跡地や森林火災跡地などでは、植林活動が実施されている。

（５）自然回復のための植林事業

エンクローチメント跡地の回復や住民との協働管理の一形態としての植林事業にも、公園により特徴がみられた。地域住民を排除したTNWKでは、植林事業の多くは政府（公園管理当局）により実施されているが、その目的は本来の公園内の自然回復と同時に、ゾウによる周辺村落への被害防止のための森林回復（ゾウの餌場・生息地確保）の要素が強い。TNBBSでは、ゾウの被害防止の目的と同時に、エンクローチメント跡地の回復に住民が参加することにより、労働対価としての現金収入を与えることによるエンクローチメント防止の観点が強い。また、TNGHSにおいては、もっぱら自然回復に住民が協働参加することによる保護意識の向上と現金収入による生活安定からの公園内資源保護の観点が強かった。

植林のための事業資金援助について、TNWKおよびTNBBSでは、野生動物（ゾウ）保護のための森林回復（植林）事業地に対してはNGOや企業の援助もあるが、単なる自然回復目的の事業地では援助がなく、もっぱら政府の単独実施であった。TNGHSでは、MKKでの自然回復事業にもNGOや企業の援助があった。植栽樹は、もっぱら公園内からの播種により育成した稚樹が主体である。植林プロジェクトにおける植栽面積、本数、参加住民数などは、プロジェクトの性格（目的）、実施場所および実施主体（援助の有無）などにより多様であるが、年間2～10haの面積を対象に3,000～10,000本程度が多かった（サブテーマ1の調査結果を含む）。

（６）保護地域ガバナンスとREDD＋事業

これら保護や自然回復の事業を実施するためのTNWK事務所の予算はRp.95,386,121,000（2010-2014年）、職員数は245名である。同様に、TNBBSは予算がRp.119,843,138,000で、職員数は140名、TNGHSでは予算Rp.36,790,361,000、職員数50名である。職員一人あたりの予算はそれぞれ、Rp.389,331,106、Rp.856,022,414、Rp.735,807,220となる。また、一人あたりの公園面積は、512.7ha、2,539.4ha、2,103.5haである。TNWKは職員数が多く、そのため一人あたりの予算額は他よりも少ないが、それでも1/2程度である。一方、一人あたりの公園面積は他公園の1/4から1/5程度であり、TNWKの管理体制は他に比して充実しているといえる。TNBBSのように、一人あたりの公園が2,500haを超えるようではエンクローチメントなどに対して適切な対処は困難である。実際、担当区18,493haの50%以上の不法侵入地に1,400名の住民という例もある。

本研究により得られた結果では、典型3タイプの公園とも、コアゾーンは公園面積の大小にかかわらず公園全体の30～45%を占め、原生ゾーンを含めると各公園とも50%を超えており、これらのゾーンでの原生林などの自然保護の公園管理はおおむね良好であり、原生林減少率も小さい。

しかし、TNWKにおいては、コアゾーンや特別保全ゾーン（Zona Khusus Konservasi）では森林が安定して保全されているものの、原生ゾーンでは森林・湿地林が1982年の14.0%から2011年には1.9%にまで減少してしまうなど、地域住民を排除したにもかかわらず排除前の開拓と森林火災による影響が残り、その結果、餌の少なくなった野生ゾウが公園外の耕作地を荒らす被害などが依然として生じている。TNBBSにおいても、前述のとおり、エンクローチメントによる影響が大きく、原生林はコアゾーンと原生ゾーン以外では、急激に減少している。一方で、公園内に集落が存在し、地域住民との協働管理を進めているTNGHSでは、植生変化は比較的安定している。

これらの結果から、地球温暖化防止や生物多様性保全のための保護地域における森林劣化抑止（REDD）のためには、少なくとも保護地域の30～45%程度は自然保護のための厳正的な管理のための地域としてゾーニングする必要があると考えられる。サブテーマ3の研究結果により、一度伐採された森林は伐採前の状態に戻らないことが個体群動態的に示されていることからも、厳正な管理がなされる核心的なゾーンの設定と管理が求められる。また、保護地域ガバナンスとして、管理組織（職員、予算など）の充実が図られる場合には、職員一人あたりの面積は500ha以下が望ましい。

自然回復のための植林事業は、野生生物保護のための植林と地域住民の生計支援を兼ねた植林とで多少の相違はあるものの、事業実施の実効性からプロジェクトサイトとしてはおおよそ2～10ha程度が適当と考えられる。サブテーマ1の調査結果によっても、地域住民参加型の植栽活動のREDD＋への可能性を考えた場合、1ha以下の小規模植栽では植栽のコストがかかりすぎ、たとえREDD＋の収入があっても経済的な採算性が保証できないことが示唆されている。

一方で、国内50国立公園において、管理体制、予算、職員能力レベルなどで大きな差がある。また、同じ法制度の下でも、管理事務所所長の意識も含めて管理実態の差が大きい。前述のTNGHSとTNWKの居住民への対処の違いは、所長の意識によるところが大きく、またTNGHSにおいても所長の交代により住民との連携はやや後退したといわれている。

さらに、国立公園境界も含め、ゾーニングの境界線が不明確な点も管理の曖昧さと、公園管理当局と住民との軋轢を生じさせる原因ともなっている。林業省が選定したモデル的な21公園でさえも、ゾーニングが承認されているのは16公園（76.2%）で、公園境界が規定されているのは11公園（52.4%）（いずれも2006年時点）に過ぎない[14)]。現金収入への欲求、伐採開墾地になれば森林扱い（国有林・国立公園）ではなくなるとの住民の認識、そして不明確な境界線により、スマトラ島の研究対象2公園以外の他の公園でも、あるいはインドネシア各地の森林でも、キャッサバやコーヒー、さらにオイルパームなどのプランテーションが不法に拡大されている。TNBBSの例では、公園当局の少ない管理官では、多人数の侵入者には対処できず、また警察の援助を仰ぐためには予算が不足している。この点は、違法行為にはもっぱら警察が対処する日本の地域制公園制度と比較して、営造物管理の弱点でもある。当然のことながら、このような違法な侵入（エンクローチメント）に対して、特別ゾーンがその隠れ蓑となってはならない。

また、MKKのようなパラダイムシフトは、一見すると日本の国立公園ガバナンスのように公園内にも民有地などが存在する制度と類似しているようではあるが、インドネシアでは土地所有権は変更せず国有のままで、土地利用権のみを付与するものであることにも留意する必要がある。

森林劣化・減少の抑止および回復においては、これまで述べてきたようなガバナンス類型とゾーニング（特に特別ゾーン、自然回復ゾーン）、さらには援助実態も踏まえて検討する必要がある。特に、企業援助の対象となりにくい森林回復こそは、REDD＋事業の対象とすることが求められる。

保護地域、特にその中核となる国立公園は、REDD＋推進のために大きな役割を担っている。また、国立公園管理と地域住民との連携のあり方は、森林の減少・劣化防止のみならず、生物多様性保全、地域社会への配慮といったREDD＋のセーフガードとしても重要であり、国立公園の適正なガバナンスと具体的なゾーニング手法の確立はREDD＋導入の面からも喫緊の課題である。このためには、これまでみてきたような保護地域ガバナンスとしての地域社会の包含、あるいは地域住民の土地利用なども許容するゾーニング制度についての変遷と課題などが、インドネシア固有のものであるのか、研究対象の国立公園特有のものであるのか、など他の熱帯途上国への適応可能性とその実効性などについても検証していく必要がある。

５．本研究により得られた成果

（１）科学的意義

国立公園ガバナンスと地域社会との関係およびそれに基づく管理政策については、法制度によるもの以外、個別の国立公園の状況による要素が大きく、その関係を一般化、普遍化することはこれまで困難であった。本研究の成果で明らかになった国立公園ガバナンスと地域社会との関係の3類型化およびそれぞれにおけるゾーニングと植林自然回復事業の適正規模などは、他地域の国立公園、あるいは他国での国立公園においても、3類型の移行状態にある、あるいはモザイク状態である、とみなすことにより、ガバナンスおよび管理政策の一般化、普遍化が可能となる。これにより、本研究でのREDDの保護地域への適用による改良提案も、一般化、普遍化が見込まれる。

（２）環境政策への貢献

＜行政が既に活用した成果＞

環境省および国際自然保護連合（IUCN）により本年（平成25年）11月に仙台で開催される「アジア国立公園会議」において、サブテーマ5担当者はワーキンググループ5「保護地域に関する国際連携」の議長を務めることになった。議長としてワーキンググループ議事進行の企画を進める中で、地球温暖化と保護地域も勘案し、アジアの熱帯林における森林劣化抑止（REDD）と保護地域管理における国際協力など、本研究の成果を踏まえた企画と運営をすることとした。

また、インドネシア国においては、大統領府REDD+タスクフォースでの議論で、国立公園は林業省が管轄する保護地域であり、本来業務にREDD+財源を振り向けるべきではないとの意見が大勢であった。これに対し、本研究成果を基に地域社会との協働管理が森林保全・劣化防止上も重要であり、そのためのインセンティブとしてREDD+が貢献する可能性がある旨、タスクフォースの一員であるサブテーマ5のカウンターパートを通じてインプットをした。

＜行政が活用することが見込まれる成果＞

環境省および外務省においては、わが国における国立公園内に地域社会が包含される管理形態の経験を踏まえ、「協働型国立公園管理」の途上国支援による保護地域の森林劣化抑止、生物多様性保全に貢献することを推進している。本研究で明らかになった保護地域ガバナンスとゾーニング、中でもハリムンーサラック山国立公園における事例などは、今後のアジアにおける保護地域の協働管理の推進に当たって行政に活用されることが期待される。

６．国際共同研究等の状況

「ランプン国立大学と共栄大学における研究および教育に関する協定」(MOU)に基づく研究協力

カウンターパート: Arief Darmawan　ランプン国立大学ランプン・マングローブセンター（インドネシア）

MOUに基づく研究協力として、調査等に参画。平成23・24年度においては、サブテーマ5の研究業務の一部（衛星画像解析など）を外注した。

また、カウンターパートDarmawan氏は、インドネシア大統領府REDD＋タスクフォースに平成22年度から参画しており、研究成果がインドネシアにおけるREDD＋プロジェクト推進等に反映されることが期待される。

７．研究成果の発表状況

（１）誌上発表

＜論文（査読あり）＞

特に記載すべき事項はない。

＜その他誌上発表（査読なし）＞

1)　毛利勝彦編：生物多様性をめぐる国際関係、大学教育出版、177-207（2011）

「第9章　生物多様性と地域開発　－愛知ターゲットと保護地域ガバナンス－（執筆担当：

高橋進）」

（２）口頭発表（学会等）

1) 高橋進、Arief Darmawan：第22回日本熱帯生態学会年次大会（2012）
「インドネシアにおける国立公園ガバナンスの類型化とREDD＋」
2) 高橋進、Arief Darmawan：第23回日本熱帯生態学会年次大会（2013）
「国立公園におけるゾーニングおよびガバナンスによる植生変化」（要旨受理済み）

（３）出願特許

特に記載すべき事項はない。

（４）シンポジウム、セミナー等の開催（主催のもの）

特に記載すべき事項はない。

（５）マスコミ等への公表・報道等

特に記載すべき事項はない。

（６）その他

特に記載すべき事項はない。

８．引用文献

1）Springate-Baginski, Oliver and Eva Wollenberg (eds.) （2010）REDD, forest governance and rural livelihoods: The emerging agenda. CIFOR, Bogor.

2）Dudley, Nigel et al. （2010）Natural Solutions: Protected Areas Helping Peaple Cope with Climate Change. IUCN-WCPA, Gland.

3）Brandon, Katrina and Michael Wells (2010）Lessons for REDD+ from protected areas and integrated conservation and development projects. In Arild Angelsen (ed.) Realising REDD+: National strategy and policy options, CIFOR, Bogor, pp.225-235.

4）Secretariat of the Convention on Biological Diversity(2010) Global Biodiversity Outlook 3. Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Montreal.

5）高橋進（2004）海外の保護地域政策　－途上国における地域住民の公園管理への参加・協働体制の状況．平成15年度自然公園のあり方検討調査業務報告書,（財）国立公園協会, pp.357-375.

6）PHKA (2008）Kawasan Konservasi Indonesia Tahun 2006. Direktoral Jenderal Perlindungan Hutan dan Konservasi Alam, Jakarta.

7）Departemen Kehutanan (2012）Statistik Kehutanan Indonesia Tahun 2011. Departemen Kehutanan, Jakarta.

8）BAPPENAS (1993) Biodiversity Action Plan for Indonesia. Ministry of National Development Planning, Jakarta.

9）PHKA (2007) 50 Taman Nasional di Indonesia. Direktoral Jenderal Perlindungan Hutan dan Konservasi Alam, Jakarta.
10）田中耕司（2009）「森林と農地の境界をめぐる自然資源とコモンズ　－現代の環境政策と地域住民」.『地球環境史からの問い　－ヒトと自然の共生とは何か』岩波書店, pp.296-313.
11）高橋進（1998）インドネシア生物多様性保全プロジェクト（報告）. 国立公園567, 34-40.
12）Mulyana, Agus et al. （2010）Establishing special use zones in national parks: Can it break the conservation deadlock in Indonesia?. Brief No.01, CIFOR, Bogor.
13）林業省資料 Data Model Desa Konservasi (MDK) Dalam Rangka Pemberdayaan Masyarakat s/d Desember 2009.
14) PHKA（2006）Menhenal 21 Taman Nasional Model di Indonesia. Direktoral Jenderal Perlindungan Hutan dan Konservasi Alam, Jakarta.
15 ） Wirantno （ 2010 ） Tantangan Pengelolaan Taman Nasional di Indonesia. http://konservasiwiratno.wordpress.com/tantangan-pengelolaan-taman-nasional-di-indonesia/ [2011/02/25 reffered]
16）Gunung Halimun-Salak National Park Management Project (2007） Rencana Pengelolaan Taman Nasional Gunung Halimun Slak Periode 2007-2026.

(6)劣化抑止プログラムの導入による地域社会への影響評価と住民参加のためのインセンティブ導入方法に関する研究

東京大学
大学院農学生命科学研究科
農学国際専攻 国際森林環境学研究室　井上真
農学国際専攻 国際森林環境学研究室　河合真之
農学国際専攻 国際森林環境学研究室　寺内大左

平成22～24年度累計予算額：18,420千円
（うち、平成24年度予算額：4,974千円）
予算額は、間接経費を含む。

［要旨］
インドネシア国家政策の分析により、「林地」を対象とするREDD+国家プログラムの中で、事業主/スポンサーが得る利益の観点から最も魅力的で、かつ三大便益（二酸化炭素排出削減、生物多様性保全、貧困削減）および実行可能性の観点からも望ましいと活動は、生産林を対象とする「天然林の木材利用許可（IUPHHK-HA）に基づく持続可能な森林管理」であることを示した。また、西クタイ県の現状分析により、「林地」を対象とする住民主体のREDD+国家プログラムのなかで、「住民人工林の木材利用許可（IUPHHK-HTR）に基づく人工林管理」、「村落林（Hutan Desa: HD）の管理」、「コミュニティ林（Hutan Kemasyarakatan: HKm）の管理」に焦点を絞った検討が必要であることを示した。
次に、西クタイ県の住民への収入源及び土地利用の選好調査により次の結果を得た。人々が高い選好を示したのは、焼畑農業(swidden agriculture)、伝統的ゴム園(traditional rubber garden)、政府プログラムのゴム農園(commercial rubber plantation)である。人々の選好が中程度だったのは、カカオ農園(cacao garden)と果樹園(orchard)である。選好が低かったのは、かつての主要現金収入源ともなっていたラタン園(rattan garden)、およびアブラヤシ農園(oil palm plantation)である。アブラヤシ農園開発は、村の居住地から離れた慣習林でのみ許容されていた。
以上のような人々の土地利用認識・選好を活かし、REDD+メカニズムへの住民参加を促すための方策として「森林・土地修復プログラム」（Rehabilitasi Hutan dan Lahan: RHL）について検討した。その結果、RHLプログラムを国家のREDD+プログラムとして選定することが推奨される。ただし、RHLは再造林基金を原資としているので、政府への利益分配率は他のREDD+プログラム（例えばコミュニティ林や村落林など）よりも高く設定するのが合理的である。

［キーワード］
ゴム園、ラタン園、果樹園、アブラヤシ農園、森林・土地修復プログラム

１．はじめに

REDD+の導入にあたっては、かつて中央集権的に実施されてきた多くの森林政策が、地域住民の森林や土地への権利を奪う傾向をもっていた事実を思い返す必要がある。過去の教訓に学び、1980年代以来各地で試みられてきたコミュニティー林業など地域住民の権利を奪わない仕組みづくりをいっそう促進することが重要である。そのため、第3者機関（NGOを含む）による監査制度の導入[1)]が不可欠である。

法的には世界の森林の80%が公的所有の下にあるが、コミュニティー、個人、会社による管理や所有が徐々に増えてきている[2)]。世界の森林面積のおよそ27%がコミュニティーによって管理されている[3),4)]という推計もある。住民の参加や権利というガバナンスの正当性を確保するための要件である民主性は、まずローカルな現場で考慮される必要がある。それを考慮しないまま、地球規模の炭素市場を通して森林の価値が高まると、どうしても中央集権的なガバナンスへの政治的インセンティブが高まってしまう。そうなれば、結局は過去の繰り返しとなり、森林減少・劣化が促進され、貧困削減にも失敗する。このような「REDDパラドックス」[5)]を避けるためには、中央政府と地方政府との間で権限の分配を工夫するとともに、ハイブリッド・アプローチ[6)]（市場と基金を組み合わせたインセンティブメカニズム）に基づく市場パワーの適切な制御がどうしても必要である。短期的な利害を超える人類の英知が炭素市場という怪物をうまく活用し飼い慣らすことができるかどうかが、森林と人類の明日の運命を握っている。

２．研究開発目的

以上のような問題意識に基づき、本研究は劣化防止プログラムへの住民参加のためのインセンティブを確保する実現可能な方策を提案することを目的とした。

３．研究開発方法

（１） REDD+関連の国家プログラムおよび東カリマンタン州西クタイ県のプログラムの分析

法令類および政策ペーパーを収集し比較分析した。その際の比較項目は、目的および実施主体である。また、政府が明確に提示しているプログラムについては、ムラワルマン大学スタッフを交え、三大便益（＝トリプル・ベネフィット；二酸化炭素排出削減、生物多様性保全、貧困削減）の期待達成度、現場での実行可能性の面から評価を行った。

（２） 収入源および土地利用に対する住民選好の把握

以下の要領で質問票を用いたサーベイを実施した。

1) 調査対象村の概要：4カ村にて「既婚男性」にランダムインタビューを実施した（表(6)-1）。その後、村落リーダーたちとの討論をもとにして簡易な「豊かさランキング法」で調査対象の男性たちを3類型した。調査対象者は、LT村が33名、BM村が33名、BS村が70名、SD村が34名であった。

2) 現金収入源への選好については次の現金収入源のオプションを提示し、2013年（3年後）の重要度３位までを選択してもらった。：(1) 木材、(2)非木材森林産物、(3)砂金・砂の採取販売、

(4)アブラヤシ農園、(5)その他の永年生作物、(6)米、(7)果樹、(8)野菜類、(9)商売・仲買業、(10)公務員、(11)民間企業、(12)他の労働(自動車運転手、スピードボート運転手、大工、二輪車修理)、(13)その他。

3) 土地利用の選好については次のオプションを提示し、2013年（3年後）での重要度を「総当たりランキング手法」により選択してもらった。:(1)焼畑,(2)伝統的ゴム園,(3)近代的ゴム園,(4)ラタン園,(5)果樹園,(6)持続可能な木材生産,(7) 非木材森林産物,(8)林地での造林活動,(9)樹園地（砂糖ヤシなど）,(10) アブラヤシ農園,(11)その他。

表(6)-1. 調査対象村の概要

	LT	BM	BS	SD
民族	バハウ人	ケニァ人	ブヌア人	トニョイ人
人口	527	1,052	1,063	1,820
主な生業	焼畑農業	焼畑農業	焼畑農業	近代的ゴム農園
他の生業	ツバメの巣/砂金/賃労働(木材伐採)	ツバメの巣/砂金/野菜	果樹園/ラタン園/アブラヤシ農園での賃労働	果樹園/賃労働/種々のサービス業
近代化度	低	中	中	高
備考	原生林あり/木材伐採実施中	原生林あり/木材伐採終了	原生林あり/アブラヤシ農園金企業4社が操業中	原生林なし/石炭採掘・アブラヤシ農園が拡大

（３）主要な土地利用形態ごとの事業収支分析

同じ４村を調査対象地とし、住民による異なる土地利用形態間のリンケージ（関連性）を把握するため、前年度に確認した森林景観に類似する主要な土地利用形態（籐園、伝統的ゴム園、近代的ゴム農園、カカオ園、果樹園）ごとの事業収支分析（私的費用便益分析）を試みた。村ごとに主要な土地利用形態は異なるが、同一の土地利用形態であれば事業収支は同レベルになると仮定し土地利用形態ごとの全調査対象者の平均値を算出した。また多くの地元住民の主要な生業である焼畑農業とアブラヤシ農園の事業収支については、文献調査に基

表(6)-2. 調査対象者の数

土地利用形態	LT	BM	BS	SD	合計
籐園	7	0	10	0	17
伝統的ゴム園	0	0	5	7	12
近代的ゴム農園	0	0	0	10	10
カカオ園	0	10	0	0	10
果樹園	0	0	5	10	15
合計	7	10	20	27	64

づいて産出した。土地利用形態ごとの調査対象者の数は表(6)-2 に示すとおりである。

４．結果及び考察

（１）国家レベルでのプログラム

インドネシアの森林の大部分は国有地である。国有林地は「生産林」、「保安林」、「保全林」、「転換林」の４つに類型化され林業省の管轄下に置かれている。しかし、「転換林」は農園など他用途に転換された時点で「非林地」となり、管轄は林業省から地方政府（県や市）に移行する。この他、小面積ではあるが私有林も存在し、林業省と地方政府がともに権限を有する。

REDDに対して積極的に取り組んできたインドネシア政府は２つの重要な林業大臣令を公布した。そのポイントは次の通りである。

- 2009年林業大臣令第30号（REDDの手続き）: (a)REDD実施期間は30年とする。(b)REDDはすべての森林機能（生産林、保安林、保全林）を対象とする。(c)REDDは全ての所有形態（国有林、私有林）を対象とする。(d)REDDはすべての森林生態系（天然林、人工林）を対象とする。(e)REDD活動の主体には、国内の主体（様々な森林に関する権利保持者、管理者、所有者）および国際的な主体（政府、企業、国際機関・資金提供機関）がある。
- 2009年林業大臣令第36号（生産林と保安林における二酸化炭素の貯留・吸収事業許可の手続き）：(a) 二酸化炭素の貯留・吸収事業の期間は25年とする。(b)種々の事業権に関わる主体間の利益分配は次の表(6)-3 に示すとおりである。

表(6)-3. 利益分配率

単位: %

権利/プログラム	政府*	地域社会	事業主/スポンサー
木材利用許可（天然林/人工林/生態系修復）	20	20	60
木材利用許可 （住民人工林）	20	50	30
特別用途林／保安林	50	20	30
コミュニティ林	20	50	30
慣習林	10	70	20
村落林	20	50	30
森林管理ユニット（KPH）	30	20	50
私有林	10	70	20

資料：2009年林業大臣令第36号,付録III
備考：＊政府内の分配：国家(40%), 州(20%), 県(40%)

表(6)-3 に明示されているプログラムを「三大便益（＝トリプル・ベネフィット；二酸化炭素排出削減、生物多様性保全、貧困削減）の期待達成度」（+2:強い正の効果、+1:弱い正の効果、-1:弱い負の効果、-2:強い負の効果）、および「現場での実行可能性」（+3:高い、+2:中程度、+1:低い）の観点から評価した（表(6)-4）。

この評価作業は、2010年12月6日にムラワルマン大学社会林業センターにて、所長を含めた３名のスタッフおよび井上の合計４名で実施したものである。その結果、それぞれの主体にと

ってインセンティブが高く、かつスコアが高いREDD活動が次のように特定された。

- 政府：特別用途林（研究・教育用）の適切な管理（利益の50%を獲得）。
- 事業主/スポンサー：天然林の木材利用許可に基づく持続可能な森林管理（利益の60%を獲得）。
- 地域社会：住民人工林の木材利用許可に基づく人工林管理（利益の50%を獲得）。慣習林の管理（利益の70%を獲得）。村落林の管理（利益の50%を獲得）。コミュニティ林の管理（利益の50%を獲得）。

表(6)-4. プログラム評価の結果

中心主体	権利/プログラム	トリプル・ベネフィット				実行可能性（Y）	スコア（X x Y）
		排出削減	生物多様性	貧困削減	小計（X）		
政府	特別用途林	+2	+2	+1	+5	+2	+10
	保安林	+2	+2	+1	+5	+1	+5
事業主/スポンサー	木材利用許可(天然林)	+2	+2	+1	+5	+2	+10
	木材利用許可(人工林)	+1	−1	−1	−1	+3	−3
	木材利用許可(生態系修復)	+2	+2	+1	+5	+1	+5
	森林管理ユニット	未形成のため評価不可能					
地域社会	私有林	+2	+2	+2	+6	+1	+6
	慣習林	+2	+2	+1	+5	+2	+10
	木材利用許可(住民人工林)	+1	+1	+2	+4	+3	+12
	コミュニティ林	+2	+2	+1	+5	+2	+10
	村落林	+2	+2	+2	+6	+2	+12

資料：2010年12月6日、ムラワルマン大学社会林業センターにて4名（Fadjar Pambudhi, Ndan Imang, Martinus Nanang, 井上真）が議論して得た評価結果。

（2）地方政府レベルでのプログラム

地方政府（ここでは西クタイ県）独自のプログラムは、法律上の「非林地」（私有地＋国有地）を対象としたものである。西クタイ県は、「地方林業条例」（2002年第18号）に基づく「コミュニティ林業実施条例」（2003年第12号）によって、「慣習林」、「村落林」、「私有林」、「住民協力型森林管理」(企業と住民の共同管理)という４つの森林管理モデルを提示した。しかし、林業省からの反対等もあり2009年にこの条例は取り消された。したがって、地方政府が権限を有する「非林地」に森林が豊富に存在するにもかかわらず、県森林局の権限はごく限定されたものとなっている。

西クタイ県の「非林地」では、ゴム農園造成、アブラヤシ農園造成、石炭採掘が急速に展開している。集約的ゴム農園は1980年代中頃から増加し2010年には34,526haとなった。アブラヤ

シ農園は2010年のデータによると40の大規模農園だけで 547,836haの権利が発給されている。しかし、実際に農園造成されるのはずっと小面積にとどまると推測されている。それは、県知事から農園事業許可（IPU: Izin Usaha Perkebunan）を、国家土地局から土地開発権（HGU: Hak Guna Usaha）を取得した企業の真の目的がアブラヤシ農園開発にあるのではなく、農園開発に付随して取得する「非林地」の木材伐採許可（IPK: Izin Pemanfaatan Kayu）を活用した木材販売にあるという理由からである。また、東カリマンタン州の土地面積の22%が石炭採掘に割り振られているが、西クタイ県は石炭採掘権の発給を受けた企業数（198企業）がクタイ・カルタネガラ県に次いで州内第２位である。

（３）収入源に対する人々の選好

13類型の現金収入源に対して回答者による順位付けに応じてスコアを付けた（１位：５点、２位：３点、３位：１点）。LT村は村人の豊かさ度合いが同程度であり Wealth Ranking Method の適用が困難であったが、他の村はWealth Ranking Methodによって村人を類型化することができた。３年後の2013年時点での人々が選好する収入源は表(6)-5 の通りである。

LT村では、「他の永年生作物」（ゴム、カカオ）が圧倒的に多く、次いで「米」が重要である。少しではあるが、「その他」(豚の飼育等)、「非木材森林産物」（燕の巣、沈香、樹脂、ラタン、イノシシ、シカ）を挙げる人もいた。現在木材伐採が進行中であるが、３年後の賃労働機会としてあまり重視されていないことが伺える。

BM村全体では、「米」と「他の永年生作物」（ゴム、カカオ）が最も重要で、次いで「砂金」と「商売」（小売店経営等）である。豊かさの類型別に見ると、「普通」類型の人々は限られた厳禁獲得手段の中で重労働の「砂金」採取や逮捕される危険を伴う「木材」伐採という

表(6)-5. 収入源に対する人々の選好

村	豊かさ類型	農民割合(%)	最終学歴が小学校の割合(%)	選好順位 （括弧内は合計スコア）			
				1位	2位	3位	4位
LT	全体	94	70	他の永年生作物(140)	米 (88)	その他 (18)	非木材森林産物 (14)
BM	極めて豊か	60	40	商売 (14)	米 (10)	公務員 (8)	他の永年生作物 (6)
	豊か	80	60	米 (64)	他の永年生作物 (54)	民間企業 (15)	砂金 (11)
	普通	88	50	他の永年生作物 (27)	米 (17)	砂金 (8)	木材 (8)
	全体	79	56	米 (91)	他の永年生作物 (87)	砂金 (22)	商売 (22)
BS	極めて豊か	67	33	米 (15)	他の永年生作物 (13)	非木材森林産物 (13)	木材 (5)
	豊か	85	54	米 (108)	他の永年生作物 (97)	木材 (53)	非木材森林産物 (32)
	普通	96	65	米 (72)	他の永年生作物 (40)	非木材森林産物 (39)	木材 (29)
	全体	87	60	米 (195)	他の永年生作物 (150)	木材 (87)	非木材森林産物 (84)
SD	極めて豊か	20	0	他の永年生作物 (21)	公務員 (11)	商売 (4)	他の労働 (3)
	豊か	18	0	他の永年生作物 (49)	公務員 (24)	商売 (8)	米 (7)
	普通	72	50	他の永年生作物 (84)	公務員 (19)	米 (14)	その他 (12)
	全体	47	47	他の永年生作物 (154)	公務員 (54)	米 (21)	商売 (17)

資料:2010年11-12月に実施したサーベイの結果

手段を選ばざるを得ない状況だといえる。

BS村全体では、「米」と「他の永年生作物」（ゴム）が最も重要で、次いで「木材」と「非木材森林産物」（ラタン、イノシシ、シカ、樹脂、沈香）である。豊かさの類型別の特徴は特に見あたらない。

SD村全体では、「他の永年生作物」（ゴム）が圧倒的に重要である。２位以下は「公務員」、「米」、「商売」と続くが、豊かさの類型別の特徴は特に見あたらない。

（４）土地利用に対する人々の選好

11類型の土地利用に関して「総当たりランキング手法」で選択された数の一人当たり平均得点を算出した。2013年（３年後）に他の10類型のすべてに優先される土地利用は10点を獲得することになる。つまり、平均得点が10点に近いほど高い選好を示す。

LT村での選好順位は、「焼畑農業」、「伝統的ゴム園」、「近代的ゴム園」、「その他」（カカオ農園）の順である（表(6)-6）。焼畑農業が選好順位一位ではあるが、焼畑で陸稲を収穫した後にゴムなどの永年性作物を植える傾向が強まっている。元来はゴム園を持たない伝統的焼畑民である奥地のバハウ人にとって、ゴム園からの収入が魅力的に映っていることが伺える。

BM村での選好順位は、「近代的ゴム園」、「伝統的ゴム園」、「その他」（カカオ農園）、「焼畑農業」である。豊かさ類型別に見ると、ケニァ人は果樹園を造成する伝統を持たないにもかかわらず、「普通」の人々が「果樹園」を選好している点が興味深い。また、焼畑で陸稲

表(6)-6. 土地利用に対する人々の選好

村	豊かさ類型	選好順位（括弧内は一人当たり平均得点）			
		1位	2位	3位	4位
LT	全体	焼畑農業 (8.2)	伝統的ゴム園 (7.7)	近代的ゴム園 (7.3)	その他 (7.1)
BM（注）	極めて豊か	近代的ゴム園 (8.6)	伝統的ゴム園 (7.2)	カカオ農園 (7.2)	焼畑農業 (6.6)
	豊か	近代的ゴム園 (7.5)	伝統的ゴム園 (7.5)	カカオ農園 (7.2)	焼畑農業 (6.6)
	普通	近代的ゴム園 (8.0)	カカオ農園 (6.3)	焼畑農業 (6.1)	果樹園(5.9)
	全体	近代的ゴム園 (7.1)	伝統的ゴム園 (6.4)	カカオ農園 (6.3)	焼畑農業 (5.9)
BS	極めて豊か	伝統的ゴム園 (9.0)	果樹園 (7.0)	焼畑農業 (6.2)	ラタン園 (6.2)
	豊か	伝統的ゴム園 (8.5)	近代的ゴム園 (6.3)	焼畑農業 (6.2)	果樹園 (5.8)
	普通	伝統的ゴム園 (8.8)	焼畑農業 (7.0)	ラタン園 (7.0)	果樹園(6.0)
	全体	伝統的ゴム園 (8.6)	焼畑農業 (6.4)	近代的ゴム園 (6.1)	果樹園 (6.0)
SD	極めて豊か	近代的ゴム園 (9.6)	伝統的ゴム園 (8.6)	アブラヤシ農園 (6.8)	果樹園(6.6)
	豊か	近代的ゴム園 (9.6)	伝統的ゴム園 (8.7)	焼畑農業 (6.0)	アブラヤシ農園 (5.9)
	普通	近代的ゴム園 (9.6)	伝統的ゴム園 (9.1)	焼畑農業 (6.9)	果樹園(5.9)
	全体	近代的ゴム園 (9.6)	伝統的ゴム園 (8.9)	焼畑農業 (6.2)	果樹園(5.8)

（注）BM村での「その他」はすべてカカオ農園だったので、ここでは「カカオ農園」と表記した。
資料：2010年11-12月に実施したサーベイの結果

を収穫した後にゴムなどの永年性作物を植える傾向が強まっている。ただし、実際に近代的ゴム園について知っている人はほとんどいなかったことから、調査時の説明で収穫量が多いことを知り伝統的ゴム園より魅力を感じた可能性が高い。

BS村での選好順位は、「伝統的ゴム園」、「焼畑農業」、「近代的ゴム園」、「果樹園」の順である。BM村やSD村が「近代的ゴム園」への選好の方が高いのに比べて、BS村では「伝統的ゴム園」への選好が高いことが注目される。ブヌア人はクタイ王朝の指示によりラタン栽培を始め、BS村を含む地域一帯は有数のラタン原木生産地である。豊かさ類型別では、「普通」の人々が、伝統的土地利用である「ラタン園」を選好している点が特徴的である。

SD村での選好順位は、「近代的ゴム園」、「伝統的ゴム園」、「焼畑農業」、「果樹園」である。トニョイ人の村の景観は、一見すると森のように見える果樹園（現地語：レンボー）によって特徴付けられる。豊かさ類型別では、「極めて豊か」および「豊か」な人々が「アブラヤシ農園」を選好している点、および焼畑用地が殆ど残されていないため「極めて豊か」な人々がもはや「焼畑農業」を選好していない点が重要である。

（５）土地利用形態ごとの経済性

土地利用形態ごとの経済性の結果は表(6)-7 のようになった。正味現在価値（NPV）から経済性を判断すると、アブラヤシ農園（企業一元管理型）が突出して高く、続いて伝統的ゴム園、

表(6)-7. 土地利用形態ごとの経済性

土地利用形態		NPV (Rp. 1,000/ha)	B/C	IRR
伝統的ゴム園		43,039	1.66	56%
政府プログラムのゴム農園		32,008	1.30	--
ラタン園		389	1.04	7%
果樹園		4,730	1.75	22%
カカオ園		17,709	1.42	41%
アブラヤシ農園（土壌の肥沃度別）	高	128,593	--	--
	中	118,792		
	低	99,651		

（出所）現地調査より作成

（備考）

1) 正味現在価値(NPV)は、現在価値に割り引いた25年間のキャッシュフローの総和から投資額を差し引いて求めた。
2) 政府プログラムを適用したゴム農園は、ローン返済の影響によりIRRを算出できなかった。
3) アブラヤシ農園は、企業直営の中核農園と農民に配分される衛星農園とから構成される。しかし、政府は衛星農園で農園企業に経営を行わせ収益の20%を農民に分配する「企業一元管理タイプ」を推奨している。そのため、ここではこのタイプの農園を想定して計算した。そのため、コストが存在せず、B/C、IRRを算出できなかった。

政府プログラムのゴム農園が高く、カカオ園、果樹園は中程度、ラタン園は低いという結果になった。費用便益率（B/C）でみると、投下費用が低い果樹園が一番高く、低価格であるラタン園は一番低くなっている。内部収益率（IRR）は、最低のラタン園でさえも銀行の利子率（5%）より高く、人々にとってこれらの土地利用への投資が経済的に魅力あるものであることを示している。

（６）総合考察・結論・今後の課題

1)「林地」（国有林）におけるREDD+活動の焦点

インドネシアにおけるREDD+事業のなかで、事業主/スポンサーが得る利益の観点から最も魅力的で、かつ三大便益（二酸化炭素排出削減のみならず生物多様性の保全および貧困削減への貢献）および実行可能性の観点からも望ましいと思われる活動として、「天然林の木材利用許可（IUPHHK-HA）に基づく持続可能な森林管理」（対象は生産林）を選定した。

これに関してインドネシア政府は、林業省令（2003年第4795号および4796号）にて、すべてのコンセッションホルダーに対して持続的森林管理プログラムの作成を義務づけている。しかし、西クタイ県でコンセッションを持つ25企業のうち、持続性の検証が公式に承認されたのは僅か５社である。その原因は、数億ルピアと言われる費用負担を強いることにあると考えられる。この５社のうちボランタリーベースのFSC認証を受けているのは１社にとどまっている。その原因は、ほとんどのバイヤーが認証を重視しておらず、コンセッションホルダーにとって費用をかけてまで認証を取得するインセンティブが働かないからである。また、低インパクト伐採搬出（RIL）の試みはあるが、木材生産量が減ること、コスト高となること、熟練技術者が必要になること、などにより西クタイ県では実施されるに至っていない。今後はFSC認証を受けている１社の動向が鍵となるであろうが、企業のREDD+への戦略を把握するのは非常に困難である。

地域住民が得る利益の観点から最も魅力的で、かつ三大便益と実行可能性の観点からも望ましいと思われる活動として、「住民人工林の木材利用許可（IUPHHK-HTR）に基づく人工林管理」（対象は生産林/主体は住民グループ）、「慣習林（Hutan Adat: HA）の管理」、「村落林（Hutan Desa: HD）の管理」（対象は生産林と保安林/主体は村の管理組織）、「コミュニティ林（Hutan Kemasyarakatan: HKm）の管理」（対象は生産林と保安林/主体は住民グループ）を選定した。

しかし、西クタイ県では「コミュニティ林」も「村落林」も現在まで存在しない。その理由は、(a)国有林のほぼ全域が既に企業によるコンセッションで埋め尽くされてしまっている、(b)正式な許可を得るための手続きが煩雑であること、(c)国家プログラムであるため地方政府の関与が限定され住民に情報がうまく伝わっていない、(d)土地保有の問題への解決にはならない、などである。また各民族が独自に設定してきた慣習保全林等は存在するが、国家によって公的に認められた「慣習林」は存在しない。これは、「村落林」や「コミュニティ林」のような林業大臣令が公布されておらず、具体的な承認作業を実施することができないからである。したがって、論理的には、西クタイ県の国有林における住民主体のREDD+プログラムについては、「住民人工林の木材利用許可（IUPHHK-HTR）に基づく人工林管理」、「村落林（Hutan Desa: HD）の管理」、「コミュニティ林（Hutan Kemasyarakatan: HKm）の管理」に焦点を絞った検

討が必要となる。しかし、住民たちはこの３つのプログラムへの魅力を感じていないことが明らかになった。

また、REDD+について触れず単純に2013年（3年後）の収入源と土地利用への選好を人々に尋ねた結果より、木材や非木材森林産物（燕の巣、沈香、樹脂、狩猟など）からの収入に対して一定の選好が見られた。これは、村から離れた「林地」がまだ人々にとっての生計資産として活用の余地があることを示している。一方で、人々にとって「林地」における森林経営事業（伐採および植林）への関与（賃労働および権利取得）は重要性を持たないことが明らかになった。

以上より、林地におけるREDD+活動は専ら企業によって実施されることになると思われる。そこへ非木材森林産物の持続可能な生産活動をうまく入れ込むことが出来れば、地元住民の参画も可能となる。

2)「非林地」におけるREDD+活動の重要性

ランドサット衛星情報を活用したインドネシア国家開発庁の報告書（BAPPENAS, 2010）によると、「林地」（132,399ha、国土面積の71%）のうち実際に森林でない土地が30%あり、「非林地」（55,388ha、国土面積の29%）のうち森林に覆われている土地が15%ある。西クタイ県の空間計画（Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten: RTRWK、1996年策定）によると、土地面積の69%が林地、31%が非林地とされている。

土地利用計画については、林業省・農業省が主導して1983年に策定した林地を対象とする「合意による林地利用（Tata Guna Hutan Kesepakatan: TGHK）と、すべての土地を対象とする「空間計画法」（1992年法律第24号）に基づいて地方政府が策定した空間計画がある。前者（TGHK）において、林地は「生産林」（Hutan Prosuksi）、保安林（Hutan Lindung）、保全林（Hutan Konservasi）、転換林（Hutan Produksi dapat Dikonversi）に区分されている。後者において、土地は「林業地域」（KBK: Kawasan Budidaya Kehutanan）、「非林業地域」（KBNK: Kawasan Bududaya Non Kehutanan）、「保護地域」（Kawasan Kindung）に類型化されていた。しかし、2007年から「林業地域」（KBK: Kawasan Budidaya Kehutanan、略して「林地」）と「その他地域」（APL: Areal Penggunaan Lain、略して「非林地」）という二分類が用いられるようになった。

いずれにせよ、双方の目標値（計画上の面積）は異なっているので要注意である。また、東カリマンタン州では、空間計画の改訂版を策定中であり、1999年の「東カリマンタン州知事通達」（Keputusan Gubernur Propinsi Kalimantan Timur NO. 050/K.443/1999）で提示されたものとは異なる目標値が設定される事になると思われる。しかし、確実に言えるのは、RTRWKで「非林地」とされる県土面積の31%には、TGHKで「転換林」と区分された森林が含まれていることである。したがって、西クタイ県の「非林地」のうち、森林に覆われている土地は全国平均15%を上回ることが推測される。

一方で、REDD+について触れず単純に2013年（3年後）の収入源と土地利用への選好を人々に尋ねた結果、焼畑農業の継続、ゴム農園の造成・拡張、カカオ農園の造成が重要な生業基盤として浮かび上がった。同時に、ラタン園や果樹園といった森林景観に類似している土地利用が選好されていることは、人々の近くにある「非林地」における持続可能な利用がなされれば、森林景観は維持されうることを示している。

2009年林業大臣令第30号でREDDは全ての所有形態（国有林、私有林）を対象とするとされているが、西クタイ県の「非林地」の相当部分は私有権が設定されていない土地（＝国有）であり、かつ「非林地」とされているため、非常に曖昧な法的地位に置かれている。そのため、既に述べた石炭採掘やアブラヤシ農園開発の格好の対象地となっている。この状況を克服するためには、「非林地」におけるREDD+プログラムとして「私有林」のみならず、残存する森林および森林に類似した景観を有する土地利用（レンボーなどの果樹園、ラタン園、伝統的ゴム園）の持続可能な利用・管理を認めることが必要であろう。そのための検討材料として、人々による土地利用認識とについて次項で検討する。

3)人々による土地利用認識と選好

人々が高い選好を示したのは、焼畑農業(swidden agriculture)、伝統的ゴム園(traditional rubber garden)、政府プログラムのゴム農園(commercial rubber plantation)である。焼畑農業の実施は食糧生産のみならず、土地に対する慣習的権利獲得の手段として重要であるが、労働がきつく不作のリスクもある。

これに対して、ゴム園・ゴム農園は収穫作業が容易で、長期間にわたって比較的高い収入源になる。特に伝統的ゴム園は造成費が安い点がよい。一方、政府プログラムを適用して造成したゴム農園は、生産性が高いという利点を持つが、そのために厳格な作業実施が要請され、ローン返済義務がある。また、申請手続きが煩雑で、補助金の分配を巡って農民グループ内で軋轢が生じるなどの問題が確認された。

人々の選好が中程度だったのは、カカオ農園(cacao garden)と果樹園(orchard)である。カカオ農園はゴム園・ゴム農園よりも投下労働が少なくて済むので、ゴム園・ゴム農園からの収入を補足する収入源と見なされている。また、より短期間で生産が始まるのでゴム園・ゴム農園の生産が始まるまでの繋ぎの収入源と期待されている。人々は、焼畑跡地の休閑林の一部に果樹園を造成するが、それは販売のためではなく自家消費を楽しむためである。

選好が低かったのは、かつての主要現金収入源ともなっていたラタン園(rattan garden)である。ラタン園は生産まで長期を要するうえ運搬が重労働であるにもかかわらず利益がほとんど期待できない。そのため、人々は現存のラタン園からの収穫をほとんどせず、新しいラタン園の造成もしない。しかし、ラタンは日常生活で様々な使い道があり、年中いつでも収穫が可能である。そのため、日常的な利用のために収穫するほか、他に現金収入源がない時、あるいは家族が病気にかかるなど緊急に現金が必要な時のためのセーフティネットとしての機能も果たしている。

もう一つ、人々による選好が低かったのはアブラヤシ農園(oil palm plantation)である。アブラヤシ農園開発は、村の居住地から離れた慣習林でのみ許容される。人々は居住地から遠い慣習林を有効に活用するのが困難であるため、アブラヤシ農園からの高い利益に期待している。しかし、同時に居住地近くの慣習的権利を有する土地ではアブラヤシ農園開発を拒否している。人々は、(1)森林消失によって森林資源を基盤としてきた生活様式が劇的に変化すること、(2)土地利用の選択に際しての自律性や柔軟な労働形態が脅かされること、(3)企業の中核農園の面積割合が80%未満で農民の衛星農園割合が20%以上、そして参加農民には2haの衛星農園が分配される、という仕組みの中で土地の分配に不平等感を抱いていること、などの不安・不満に感

じている。

4)REDD+への住民参加メカニズム

以上のような人々の土地利用認識・選好を活かし、REDD+メカニズムへの住民参加を促すための方策として「森林・土地修復プログラム」（Rehabilitasi Hutan dan Lahan: RHL）について検討した。このRHLプログラムの予算源は再造林分配基金（Dana Bagi Hasil Dana Reboisasi: DBH-DR）である。つまり、国家が収集した再造林基金の一部が県に分配されるのである。

西クタイ県で実施されてきたのは、(1)林地における保安林の再造林、および(2)非林地における緑化活動である。後者の具体的なプログラムは、「農園型・間作型の私有林（ゴム園、アグロフォレストリーなど）」、「純粋な私有林（ボルネオ鉄木、沈香の木、フタバガキ科樹木など）」、「森林関連活動（ラタン、砂糖ヤシなど）」である。

これらのプログラムは人々の利益に直結し、かつ生態系の保全に役立つ利点がある。しかし、調査の結果、(1)住民にとっての経済的利益が不明確であり、(2)住民組織内部での資金管理が不透明であり、(3)慣習的な所有権や管理権が不明確であったり重複したりしている土地があること、および(4)RHLが単に現金獲得の手段と見なされ実際の資源管理がきちっとなされないケースがあること、などの欠点が明らかになった。しかし、(1)と(4)はRHLが国家のREDD+プログラムとして選定された場合には解消される。また、(2)と(3)はRHLプログラムへの申請条件としてしっかりと審査をすることで解消できる。

以上より、RHLプログラムを国家のREDD+プログラムとして選定することが推奨される。ただし、RHLは再造林基金を原資としているので、政府への利益分配率は他のREDD+プログラム（例えばコミュニティ林や村落林など）よりも高く設定するのが合理的である。

５．本研究により得られた成果

（１）科学的意義

- インドネシアの国家政策を利害関係者が得る利益の観点、三大便益の観点、実行可能性の観点から科学的に分析した点。
- 先行研究によってカリマンタン先住民の生計や資源管理の実態は研究蓄積があるが、近い将来の収入源及び土地利用に対する住民の選好について今回の研究で始めて解明した。
- 土地利用形態ごとの住民の選好と事業収支分析の結果を合わせて住民による土地利用への認識・選好を明らかにし、実現可能な住民参加メカニズムとしてRHLプログラムの適用を検討した。これは、実証的な政策科学としてインドネシアのREDD+プログラムの改善策を提言したことを意味する。

（２）環境政策への貢献

＜行政が既に活用した成果＞

なし。

＜行政が活用することが見込まれる成果＞

共同研究を実施しているムラワルマン大学のスタッフが東カリマンタン州のREDD plus政策

策定委員会の委員長である。したがって、本研究の成果である政策提言が、今後の東カリマンタン州や西クタイ県の政策策定に反映されることが見込まれる。

また、日本政府が国際的な議論の場で、このような研究対象地域の環境政策に資する成果に基づく発言を行うことを通して、日本のプレゼンスを高めることに繋がる。

６．国際共同研究等の状況

東京大学大学院農学生命科学研究科は東カリマンタン州に位置する国立ムラワルマン大学と学術交流協定を締結している。特に小課題責任者（井上真）とムラワルマン大学社会林業センター（顧問：Prof. Agung Sardjono／所長：Dr. Fadjar Pambudhi／副所長：Dr. Ndan Imang）とは長年の協力関係があり、本研究課題も委託調査および共同調査による協力の下で研究を進めた。ムラワルマン大学社会林業センターのスタッフは、東カリマンタン州や西クタイ県の審議会や検討会で委員長を務めることが多く、政策形成に影響力を持っている。

７．研究成果の発表状況

（１）誌上発表

＜論文（査読あり）＞

1) 井上真：環境と公害, 40, 1, 16-22 (2010).
「REDD-plus制度におけるインセンティブ分配方式：トリプル・ベネフィットとレジティマシーの観点より」

2) 河合真之、井上真：林業経済, 63, 7, 1-17 (2010).
「大規模アブラヤシ農園に代わる『緩やかな産業化』の可能性：東カリマンタン州マハカム川中上流域を事例として」

3) 寺内大左、説田巧、井上真：日本森林学会誌, 92, 5, 247-254 (2010).
「ラタン、ゴム、アブラヤシに対する焼畑民の選好：インドネシア・東カリマンタン州ベシ村を事例として」

4) Daisuke Terauchi and Makoto Inoue: TROPICS, 19, 2, 67-83 (2011)
“Changes in cultural ecosystems of a swidden society caused by the introduction of rubber plantation”

5) Masayuki Kawai and Makoto Inoue: TROPICS, 19, 4, 157-178 (2011)
“The possibility and challenge of achieving sustainable rural finance by a credit union of the Dayak people: The case of the middle-upper Mahakam region in East Kalimantan, Indonesia”

6) Makoto Inoue: Journal of Forest Science, 28, 3, 194-198 (2012)
“Simple Method for the Local Stakeholders to Evaluate and Select National REDD-plus Program: A Case Study of Indonesia.”

7) Makoto Inoue, Masayuki Kawai, Ndan Imang, Daisuke Terauchi, Fadjar Pambudhi, and Mustofa Agung Sardjono: International Journal of Environment and Sustainable Development, 12, 3, 244-263 (2013) (DOI: 10.1504/IJESD.2013.054951)
“Implications of local peoples’ preferences in terms of income source and land use for Indonesia’s

national REDD-plus policy: Evidence in East Kalimantan, Indonesia”

＜その他誌上発表（査読なし）＞

1) M. Osaki, A.K. Braimoh, and K. Nakagami (Eds): Designing Our Future: Perspectives on Bioproduction, Ecosystems and Humanity. United Nations University Press, 254-266 (2011) “Local commons in a global context.”(by Makoto Inoue)
2) 森林環境研究会編：森林環境2011／国際森林年・森の明日を考える, 森林文化協会／朝日新聞社, 78-87（2011）「１２章　温暖化防止対策としての森林保全：REDD+ 制度設計の課題（井上真）」

（２）口頭発表（学会等）

1) 大場寛之・井上真：第122回日本森林学会大会（2011）「トニョイ・ダヤックによる土地利用の変容：インドネシア・東カリマンタン州西クタイ県での事例研究」
2) 涌本博章・井上真：第122回日本森林学会大会（2011）「木材伐採企業による村落開発支援の現状：東カリマンタン伐採最前線の事例」
3) 寺内大左・井上真：第21回日本熱帯生態学会年次大会（2011）「焼畑民の生計戦略とその要因：インドネシア東カリマンタン州ベシ村を事例として」
4) 荒川祐太朗・井上真：第21回日本熱帯生態学会年次大会（2011）「インドネシア東カリマンタン州からチレボンへの籐の流通の現状」
5) 大場寛之・井上真：第21回日本熱帯生態学会年次大会（2011）「トニョイ・ダヤック人によるゴム農園の利用形態：インドネシア・東カリマンタン州西クタイ県での事例研究」
6) 大場 寛之・井上真：第123回日本森林学会大会（2012）「ゴムノキ栽培の浸透にみる社会関係の変化：インドネシア・東カリマンタン州西クタイ県での事例研究」
7) 寺内大左・ンダンイマン・井上真：第22回日本熱帯生態学会年次大会（2012）「REDD+によるアブラヤシ農園拡大抑止の可能性：インドネシア・東カリマンタンを事例に」

（３）出願特許

特に記載すべき事項はない。

（４）シンポジウム、セミナー等の開催（主催のもの）

特に記載すべき事項はない。

（５）マスコミ等への公表・報道等

1) 朝日新聞（2010年5月19日付朝刊、15面、「開発と環境：CO2削減偏重に危うさ」（by井上真））

（６）その他

特に記載すべき事項はない。

８．引用文献

1） Agrawal,A., Chhatre, A. and Hardin, R., 2008. Changing governance of the world’s forests. Science, 320, pp.1460-1462.

2） BAPPENAS, 2010. Draft Strategi Nasional REDD+.

3） FAO, 2010. Global Forest Resources Assessment 2010.

4） 井上真, 2010. REDD-plus制度におけるインセンティブ分配方式：トリプル・ベネフィットとレジティマシーの観点より．環境と公害, 40(1), pp.16-22.

5） 井上真, 2011. 温暖化防止対策としての森林保全：REDD+制度設計の課題．森林環境研究会（編），森林環境2011／国際森林年：森の明日を考える12章．森林文化協会／朝日新聞社, pp. 78-87.

6） Sandbrook, C., Nelson, F., Adams, W.M. and Agrawal, A., 2010. Carbon, forests and the REDD paradox. Fauna & Flola International, Oryx, 44(3), pp.330-334.

(7) 劣化抑止プログラムと国際・国内現行法との整合性および問題点の検証

上智大学
大学院 地球環境学研究科　　磯崎博司

平成22～24年度累計予算額：7,153千円
（うち、平成24年度予算額：2,300千円）
予算額は、間接経費を含む。

［要旨］
REDD+活動については、予測のためのベースライン、二酸化炭素の排出・吸収量、また、森林の持続可能性の基準などが不確実であるという温暖化対策の観点からの基本的問題に加えて、生物多様性の保全や人権の保障という観点からも懸念が示されている。そのため、本サブテーマは、REDD+に一般的に必要とされる原則・基準・指標・手続きを、関連する国際文書などに定められている各種の項目を体系的な分類に基づいて再構成するとともに、他のサブテーマにおいて指摘されている課題も考慮して提示した。
具体的には、それらの基本項目は、基本枠組み、対応方法および実施手法に大きく分類される。まず、基本枠組みという分類は、一般的な社会制度の基本枠組みに関わるものであり、平等および衡平の原則、防止および予防の原則、ならびに透明性の原則から成る。それらは、REDD+の制度設計にとっても当てはまる。次に、対応方法という分類は、持続可能性の確保に向けた対応をとるときの基本的視座に関わるものであり、それには、生態系基盤の原則、統合性の原則、地元主導の原則、内部経済化の原則が含まれる。また、実施手法という分類は、以上の各原則や基準などを実現するための手法を示しており、全体に関わるものと一部に関わるものがある。全体に関わる手法としては、CEPA（広報・教育・普及啓発）、評価、および法令整備がある。
これらの原則や基準はそのままでも効果はあるが、REDD+に関する国際法および国内法においてそれらの項目が明記されることで最も確実になる。特に、REDD+事業の実施国において受け入れられることが肝心であり、そのためには、国際法からのアプローチと、REDD+事業を支援する国の国内法令からのアプローチを活用することができる。

［キーワード］
REDD+、気候変動枠組み条約、生物多様性条約、セーフガード、指標

１．はじめに

世界各地で試行的に進められているREDD+活動に対しては、ベースラインなど将来の予測手法の精緻化やリーケージ（他区域への伐採・劣化の移転）の防止が課題とされている。他方で、そのような二酸化炭素の吸収量を重視した管理や対応が行われ、生物多様性および健全な森林生態系の維持が軽視されること、および、泥炭地、湿地、草原、サバンナなどの別の生態系が林地化されることについて、生物多様性の観点から懸念が示されている。また、森林に依存している先住

民など地元住民の権利が侵害される可能性が指摘されている。

これらの危惧を避けるためのセーフガードが気候変動枠組み条約において検討されている。その中では、関連条約などとの一貫性の確保、透明かつ効果的な森林ガバナンスの確保、先住民・地元住民の伝統的知識と権利の尊重、先住民および地元社会を含む利害関係者の十分かつ効果的な参加の確保、自然林およびその生態系サービスの維持確保、自然林および生物多様性の保全の確保などがあげられている。また、生物多様性条約においても、REDD+活動が、生物多様性条約の目的に反しないこと、可能な場合には先住民社会および地元社会に便益をもたらすこと、そして、これら社会の権利を尊重することなどを保証することが求められている。

そのため、望ましいREDD活動には、温暖化対策、生物多様性保全、および、地元共同体参加の各観点から寄せられている懸念に応えられる要素を含めたセーフガードを組み入れることが不可欠となる。

２．研究開発目的

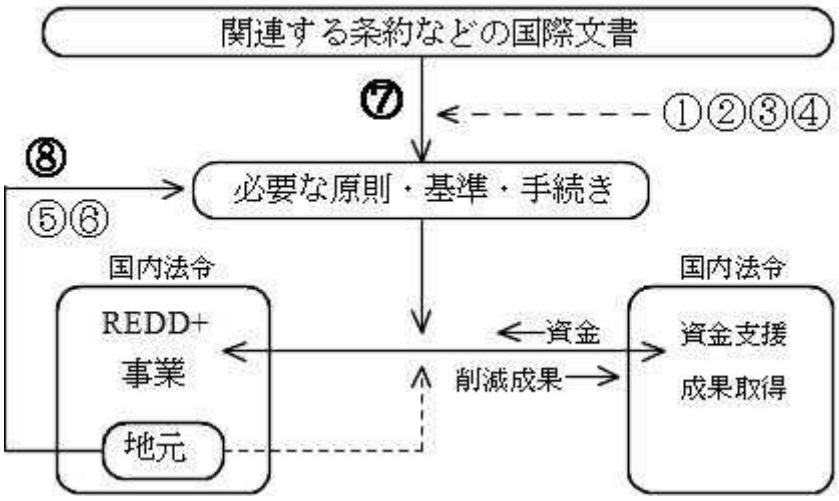
そのような懸念に応えられる要素を含めたセーフガードには、温暖化防止効果の確保に加えて、自然林およびその生態系サービスの維持､透明かつ効果的な森林ガバナンスの確保､先住民・地元共同体の伝統的知識と権利の尊重､先住民・地元共同体を含む利害当事者の十分かつ効果的な参加の保証､先住民・地元共同体への便益の確保、土地保有権と土地利用規制の調整などが含まれる必要がある。

そのため、気候変動枠組み条約においては、温暖化防止効果の明確化に向けた測定・報告・検証可能な(MRV)制度の検討とともに、生物多様性の保全や人権の保障に関するセーフガードの検討が続けられている。同様に、生物多様性条約においても、生物多様性と人権に関するセーフガードをREDD+に組み入れることが求められている。他方で、REDD+以外のさまざまな活動分野においても、持続可能性もしくは生物多様性または人権のためのセーフガードを策定する必要が指摘されている。水産業や林業のような個別分野のものを含め、自然環境に関する条約の中には、そのようなセーフガードに関する原則や基準、また、指標や手段などを定めているものが多い。

したがって、気候変動関連条約や生物多様性関連条約におけるREDD+に関する原則・基準・手続きおよびその他の分野の条約などの下の類似の原則や基準と、研究対象国における森林や生物多様性に関わる現行法令・慣習法などとの間での法的な連続性と整合性に関する分析を行い、REDD+の正当性と説得性を高めるために制度枠組みに組み入れられるべき、生物多様性および地元共同体に関する基本原則・基準・指標・手続きを体系的な分類に基づいて再構成し、提言することが本サブテーマの目的である。

３．研究開発方法

上述のように、本サブテーマは、効果的、効率的、公正なREDD+制度枠組みを目指して、気候変動関連条約や生物多様性関連条約におけるREDD+に関する原則・基準・手続きなどと、研究対象国における森林や生物多様性に関わる現行法令・慣習法などとの間での法的な連続性と整合性に関する分析を行う。そのため、図(7)-1のように、他のサブテーマの成果を参照するとともに、関連する国際文書などの資料分析とワークショップを含む現地調査という二つの手法により、セーフガードに必要な原則・基準・手続きを探ることとした。



図(7)-1. サブテーマ⑦とその他のサブテーマの関係。

第１に、他のサブテーマの検討からは、二酸化炭素の観測・計測体制の整備、MRV制度の具体化、生物多様性の観測・測定体制の整備、生物多様性の経済評価、REDD+に関する認識向上、地元社会と住民の参加、計画段階および管理段階への参加、地元への資金・クレジットの配分、持続可能な森林管理への貢献に対する利益配分、既存法の柔軟な適用、慣習的権利への配慮などを確保する必要が指摘されているため、それらの項目を念頭に置いてフィードバックをしつつ以下の検討を行った。

（１）関連資料の分析

関連資料分析としては、気候変動条約・京都議定書および生物多様性条約の最新の文書を中心に行った。ただし、REDD+メカニズムは、温暖化および自然環境自然環境に係わるその他の多くの条約、特に、ラムサール条約、世界遺産条約、国際熱帯木材協定、FAO関連条約などに関わるため、それらの関連資料も視野に入れて、収集分析の対象とした。併せて、持続可能な開発や生物多様性の保全に関わる諸条約およびそれらの下に採択されている基準や指標、また、国際組織やNGOが提唱しているセーフガード、さらに対象国の国内法令などを収集分析の対象とした。

検討対象とした国際文書などは、MDGs（ミレニアム開発目標）、公海漁業協定の附属書、国際捕鯨取締条約の管理規則（付表10(a)から(c)）、生物多様性条約の持続可能な利用ガイドライン、生物多様性条約の生態系アプローチガイドライン、生物多様性条約の環境影響評価ガイドライン、生物多様性条約の先住民文化影響ガイドライン、生物多様性条約の先住民倫理行動綱領、生物多様性条約のCEPAツールキット、ラムサール条約の賢明な利用ハンドブック、ラムサール条約の統合管理ガイドライン、ラムサール条約の地元参加ガイドライン、ラムサール条約のCEPAガイドライン、世界遺産条約の運用ガイドライン、国際熱帯木材協定のガイドライン、温寒帯林の持続可能な管理に関するモントリオールプロセス、生物多様性条約の愛知目標、生物多様性条約の外来種指針原則、薬用植物保全利用ガイドライン、ヨーロッパ空間計画憲章、ヨーロッパ持続可能な空間開発指針原則、ヨーロッパ景観条約ガイドライン、ヨーロッパ持続可能な開発利用原則、環境と開発国際規約、および、生物資源の持続可能な利用に関する法原則、また、特に、REDD+を対

象にしているものとして、気候変動条約のREDD+セーフガード、気候変動条約のREDD+手法ガイド、生物多様性条約のREDD+セーフガードと指標、インドネシアREDD+国家戦略、生物文化共同体規約、国連REDD社会経済原則指標、REDD+ SES、および、FCPF経済社会セーフガードである。

他方で、対象国の国内法令としては、インドネシアについては、Indonesian REDD evenue-Sharing Regulation (Peraturan Menteri Kehutanan), Republik Indonesia, Nomor: P. 36/Menhut-II/2009 をはじめとして、以下を参照した。Ministry of Forestry Regulation P.36/2009 about Business Licensing Procedures for Use of Absorption and/or Carbon Storage in Forest Production and Protected Forest、Ministry of Forestry Republic of Indonesia Decree P.36/2009 Regarding Procedures for Licensing of Commercial Utilisation of Carbon sequestration and/or Storage in Production and Protected Forests、Basic Forestry Law (Act No. 41/1999)、Regulation on Reduction of Emissions from Deforestation and Forest Degradation Procedure, Minister of Forestry (No. 30/2009, P.30/Menhut-II/2009), 1 May 2009、および Regulation Regarding Procedures for Licensing of Commercial Utilisation of Carbon Sequestration and/or Storage in Production and Protected Forests, Ministry of Forestry (P. 6/Menhut-II/2009) (dated May 22, 2009)。同様に、マレーシアについては、連邦として、National Forestry Policy, 1978、National Policy on Biological Diversity, 1998、National Forestry Act, 1984、Land Conservation Act, 1960、Environmental Quality Act, 1974、および National Parks Act, 1980 を参照した。サバ州については、Sabah State Constitution、State Forest Policy, 1954、Forest Enactment, 1968、Forest Rules, 1969、Conservation of Environment Enactment, 1996、Parks Enactment, 1984、Wildlife Conservation Enactment, 1997、Water Resources Enactment, 1998、State Cultural Heritage (Conservation) Enactment, 1997、Biodiversity Enactment, 2000、Native Court Enactment, 1992、および Interpretation of the Native Ordinance, 1952 を参照した。

（２）現地調査と研究会合

現地調査としては、まず、森林保全、森林管理、生物多様性、気候変動の各側面とREDD+との相互関係、また、REDD+の法的枠組みと制度設計について、IDDRI (Institut du développement durable et des relations internationales) （パリ、2010年度）、FAO（ローマ、2010年度）およびJICA（ジャカルタ、2012年度）において、ワークショップ形式でヒアリングおよび論議を行った。なお、FAO では、UN-REDDプログラムとFAOの関連プログラムとの関わりについても対象とした。

次に、生物多様性に関するセーフガードおよびその基準・指標については、EEA (European Environment Agency), Biodiversity and Ecosystem Indicators Project（コペンハーゲン、2011年度）の協力によりワークショップを持ち、本サブテーマに関する報告に基づいて検討を行った。スウェーデン環境省経済分析部（ストックホルム、2012年度）とのワークショップにおいても、生物多様性の経済評価とそのための判断基準などについて検討した。

また、地元住民の参加確保と利益配分については、COE (Council of Europe), Regional/Local Spatial Planning担当部（ストラスブール、2011年度）の協力により、生態系保全および地元参加に関するワークショップを持ち、本サブテーマが重視している参加確保手法について報告を行い論議した。生物多様性条約締約国会議(COP10、名古屋)および気候変動条約・京都議定書の締約国会議(COP16) （カンクン、2010年度）においては、先住民団体やNGO関係者と会合を持ち、検討

した。マレーシア・サバ州政府との会合（コタキナバル、2011年度）においては、サバ州の生物多様性保全プログラムに関し、森林保全施策とそこにおける地元住民参加確保の実態と課題の把握を行った。CIFOR森林保全部門（ボゴール、2012年度）とのワークショップにおいては、地元住民への衡平な利益配分の確保に焦点を当てた。

他方、REDD+クレジットの可能性については、APNEC10（台北、2011年度）において、気候変動条約ダーバン会議に向けた国際動向を参考にして検討を行った。ラムサール条約COP11（ブカレスト、2012年度）においても、気候変動条約ドーハ会議に向けた動向予測に基づいてREDD+とクレジットの可能性についてサイド会合において環境法・政策の研究者と論議・検討を行った。スウェーデン環境省経済分析部との会合においては、環境経済学の観点からの検討を行った。

さらに、REDD+セーフガードを資金支援国の国内法令によって定める場合を想定して、国内法令の国境を越える遵守確保手法やリーケージの防止について、EU環境部（ブリュッセル、2012年度）の協力によるワークショップにおいて検討を進めた。

以上の会合やワークショップでも本サブテーマの概略報告を行い、コメントを得たが、生物多様性条約COP10、気候変動条約COP16、Asian Wetland Symposium Sabah（コタキナバル、2011年度）、International Symposium on ″Cost and Benefits of REDD Plus: What, Who, How, When″（クアラルンプール、2011年度）およびJICA（ジャカルタ、2012年度）においても、本サブテーマにおいて再構成している原則・基準・指標・手続きとセーフガードとの照らし合わせおよびコメント要請を行った。

併せて、国内においても、国際法政策・環境法政策の研究者および国連大学研究員と、随時、REDD+メカニズムについて、以上の各論点を含んで総合的な論議と検討を行った。

４．結果及び考察

気候変動条約･京都議定書においては、REDD+活動の正当性確保のためにセーフガードの必要性が認識されている。その項目としては､関連条約などとの一貫性の確保､透明かつ効果的な森林ガバナンスの確保､先住民・地元住民の伝統的知識と権利の尊重､先住民および地元社会を含む利害関係者の十分かつ効果的な参加の確保､自然林およびその生態系サービスの維持確保､自然林および生物多様性の保全の確保などがあげられている｡その目的のため、国内的には､国家戦略等の策定および実施にあたり､利害当事者の十分かつ効果的な参加の確保､土地保有権と土地利用規制管理の調整､実効的な森林管理の確保､ジェンダーの考慮､上記の国際的セーフガード項目への対応などが求められている。

同様に、生物多様性条約および自然環境に係わる諸条約サイドからは、先住民社会および地元社会に対しては、森林消失および森林劣化の防止のため行動、特に新規植林・再植林の行動を行うことが求められている。また、締約国や関係国際機関等に対しては、REDD+活動が、生物多様性条約の目的等に反しないこと､可能な場合には先住民社会および地元社会に便益をもたらすこと、そして、これら社会の権利を尊重することなどを保証することが求められている。

しかしながら、気候変動条約･京都議定書においても生物多様性条約においても、関係国の基本的な見解の対立の下で、セーフガード項目は概略レベルにとどまっている。他方で、南北問題や生物資源開発に関わる条約などの下には、持続可能性、生態系配慮、汚染防止、資源保全、事前評価、他者の権利保障、情報公開と参加などに関する原則・基準・指標・手続きが定められ、運

用されてきている。

（１）セーフガードの基本項目

このように参照対象としたさまざまな分野の条約と関係国の国内法令などに定められている各種の原則・基準・指標・手続きを体系的な分類に基づいて再構成して、また、他のサブテーマにおいて指摘されている改善点を考慮して、REDD+に一般的に必要とされるセーフガードの基本項目を探った。その成果の一部は、磯崎博司：地球環境学（上智大学地球環境学研究科）No.8、1-14（2013）「持続可能な開発に関するセーフガード－望ましいREDD+に向けて」として公刊した。

具体的には、それらの基本項目は、以下のように、基本枠組み、対応方法および実施手法に大きく分類される。基本枠組みの分類は、表(7)-1のように、一般的な社会制度の基本枠組みに関わるものであり、平等および衡平の原則、防止および予防の原則、ならびに透明性の原則から成る。それらは、REDD+の制度設計にとっても当てはまる。

表(7)-1. 基本枠組み

分類	原則	基準	指標・手段	指針	実施手法		
基本枠組	平等・衡平	権利と義務	権利と義務の平等、差別、他者との、社会での		評価	CEPA	法令整備
		負担と利益	公正かつ衡平な利益配分、負担の公平				
		弱者支援	社会的弱者への支援				
	防止・予防	防止	汚染物質、有害廃棄物、危害、被害、自然破壊				
		予防	準備対応、科学的不確実性への対応、合意形成				
	透明性	科学性	生物学的根拠、科学的確実性、調査・観測				
		安定性	制度的信頼性、認識向上、見直し手続き				
		説明責任	根拠とデータに基づく、合理性、説得性	CBD CEPA ラ 地元参加指針			
		情報公開	公開の義務、要請・取得の権利、データベース				
		参加	主体的、自由な、完全な、意味のある参加、協働				
	持続可能性	再生産量	生物学的再生産量、MSY、最適利用、食物連鎖				
		生態系許容範囲	浄化能力、対抗能力、存続能力、限界負荷量				
		社会的許容性	制度・手続き面、公衆・地元・産業界の意向				

対応方法の分類は、表(7)-2のように、持続可能性の確保に向けた対応をとるときの基本的視座に関わるものであり、それには、生態系基盤の原則、統合性の原則、地元主導の原則、内部経済化の原則が含まれる。

表(7)-2. 対応方法

分類	原則	基準	指標・手段	指針	実施手法		
対応方法	生態系基盤	生物多様性保全	生物多様性・変異性、増殖・復帰、外来種・改変生物	CBD 生態系アプローチ CBD 持続可能指針	評価	CEPA	法令整備
		生態系許容範囲	浄化能力、対抗能力、存続能力、限界負荷量				
		再生産量	生物学的再生産量、MSY、最適利用、食物連鎖				
		主流化	経済・開発・一般分野への組入れ、計画策定				
	統合性	文化・社会	文化面・社会面の多様性、価値、保全、利用	ラ 統合管理指針 CBD文化指針			
		社会的許容性	制度・手続き面、公衆・地元・産業界の意向				
		他分野	関連分野・レベル、他の価値、転換防止、学際研究				
		産業・利用	競合・トレードオフ、相互関係				
		適応型	状況に適応した柔軟な管理手法、見直し手続き				
	地元主導	地方分権	立案・計画・管理・運営の権限、最も地元へ	ラ 地元参加指針 CBD 倫理綱領			
		慣習的権利	慣習的、共同体的権利、伝統的権利の尊重				
		伝統的知識	確認・維持・保存、財産権の設定・保護、利益配分				
		管理運営	すべての利害当事者、関与・参加				
	内部経済化	環境会計	環境要素の経済評価と会計算入				
		経済的誘導措置	経済利益、不利益、誘導措置、適切性、WTO				

上記のうち、生態系を基盤とする原則とそのための基準と指標については、EEAにおけるワークショップにおいて集中的に検討した。そこにおいては、社会福利のための基準・指標および地元共同体の参加確保のための手法と指標と組み合わせる必要が指摘された。また、生物多様性条約COP10で採択された愛知目標に沿ってEEAが改訂準備している生物多様性保全のための指標および社会福利のための指標が参考になるとの示唆が得られた。その観点からの成果の一部は、新美育文・松村弓彦・大塚直編：『環境法大系』、商事法務、933-951（2012）「生物多様性に関する国際条約の展開－必要とされる措置の体系化（磯崎博司）」として公刊した。

他方で、地元共同体の参加確保のための手法と指標については、COEにおけるワークショップにおいて検討し、そのための主要な基本項目が把握できた。一方で、生物多様性条約COP10、気候変動条約COP16、ラムサール条約COP11などにおける先住民グループやNGO担当者との会合においては、セーフガードは国際法上の拘束力のある義務づけとすべきとの要求が強く出された。そのため、環境法および人権法において法的拘束力のある措置とともにガイドラインなどの法的拘束力のない措置が相互支持的に機能し、効果を果たしてきていることに注意を喚起する必要がある。この観点からの成果の一部は、上記の関連資料の分析成果と合わせて、大塚直・大村敦志・野澤正充編：『社会の発展と権利の創造－民法・環境法学の最前線』、有斐閣、737-761（2012）「環境条約の地元における日常的な実施確保－自然環境に関する条約を中心に（磯崎博司）」として公刊した。

次に、実施手法の分類は、表(7)-3のように、以上の各原則や基準などを実現するための手法を示しており、全体に関わるものと一部に関わるものがある。全体に関わる手法としては、CEPA、評価、および法令整備がある。それらについては、関連ガイドラインが採択されている。

表(7)-3. 実施手法

	手法		細目	対象・手段	指針
実施手法	CEPA		対話	双方向の意思疎通、信頼醸成、ネットワーク	CBDツールキット ラ CEPA 指針 ラ 地元参加指針
			情報公開	公開の義務、要請・取得の権利、データベース	
			参加	主体的、自由な、完全な、意味のある参加、協働	
			広報	普及、公開、講演会など、メディア、IT	
			啓発	認識向上、講演会など、資料作成・提供	
			教育	公式・非公式教育、学習会など、教材開発	
			訓練	各レベル訓練コース、実地研修	
	評価	事前	EIA	環境・文化・社会の側面、リスク評価、計画見直し	CBD 持続可能指針 CBD 文化指針 CBD EIA 指針
			SEA	上位計画、政策・計画・戦略、法律・命令・規則	
			協議・合意	合意形成、情報提供、意思決定、PIC	
		事後	モニタリング	着手時点から、完了時点から、見直し	
			第三者評価	内部・外部による、政策・対策・事業などについて	
			点検見直し	評価に基づき、全体・部分について、定期的に	

法令整備については、表(7)-4のように、権利保障、公共価値、財産権、規制措置、経済措置、行政機構、紛争解決、慣習法、および弱者支援の各側面について整備する必要がある。その際、取締り、公益性、新たな財産権、経済措置の活用、紛争解決を促進する手法、慣習的権利の新たな位置付け、法技術面での支援などに注意を払うべきである。上記で触れたさまざまな原則や基準はそのままでも効果はあるが、REDD+に関する国際法および国内法においてそれらの項目が明記されることで最も確実になる。

表(7)-4. 法令整備

	手法	細目	対象・手段	指針
実施手法	法令整備	権利保障	各種権利・義務の設定、取締り、違反追及	
		公共価値	法益としての位置付け、保全管理措置、公法措置	
		財産権	個人・団体の権利、排他性、私法措置、TEK	
		規制措置	禁止、制限、許可、認可、届け出、報告	
		経済措置	税制、経済・財政誘導、賦課金、付加金、税額軽減	
		行政機構	命令・規則・手続き策定、運用・取締り	
		紛争解決	当事者間、行政手続き、司法手続き、ADR、提訴権	
		慣習法	共有、共同体の権利、伝統性、慣習性	
		弱者支援	法的支援措置、財政支援、法的知識・技術の支援	

以上の項目は、特定の限定的な数値や状態を定めるわけではなく、事例に応じて個別的に適切な数値や区分を定めることが可能であり、さまざまな場面で適用可能である。なお、本プログラム対象国であるインドネシアおよびマレーシアの上記の国内法令を照らし合わせたところ、以上の基本項目および関連条約との間に法律上の問題は見られない。ただし、それには国内法令が不備であることも含まれるため、後述のように、プロジェクトの企画と運用の段階でセーフガードの確保を検証する必要がある。

（２）事業単位で基金に基づくREDD+

ところで、REDD+の対象区域では伐採が回避されるとしても、木材需要に応えるために他の区域または他の国において伐採が行われ、または、管理の不備が生じ、回避された量に相当する二酸化炭素が排出されれば（リーケージ）、二酸化炭素の排出削減の効果はない。事業単位ではなく、国単位または世界全体で統一的なREDD+管理を行えば、その問題は解消できる。しかし、そのためには、規模の大きな複雑な制度とせざるを得ず、国際合意は難しい。したがって、当面は、課題を抱えながら事業単位で進められることとなる。

他方で、2011年12月にダーバンで開かれた気候変動枠組条約・京都議定書の第17回締約国会議において、京都議定書の2013年以降の7年間に関する削減義務と対象国について合意が達成された。具体的には、京都議定書の第2約束期間においては、アメリカは依然として義務を負わず、中国、インドなど新興国も義務を負わず、さらに、カナダ、ロシアおよび日本も削減義務を負わないことが明らかとなった。2020年からはすべての国を対象とする温暖化対策のための法的拘束力のある新たな国際枠組みが発効する予定であるが、そのような状況の下で、任意の商業レベルのREDDクレジットが成立するかどうか、大きな問題となる。

REDD+の中核である資金メカニズムとしては、基金とクレジットの両方が考えられる。まず、基金は、先進国やNGOからの資金を、適格審査の上でREDD+事業に提供するという役割を果たす。したがって、温暖化対策の効果の評価に加えて、生物多様性や人権に対する影響の評価を組み入れることができ、また、事業に先立って安定的に資金を提供できるという利点がある。他方で、クレジットは、二酸化炭素の削減成果に経済価値を生じさせる。したがって、その削減義務を課されている国や企業にとっては、排出を相殺(オフセット)するための手段となり、また、民間資金が流入するという利点がある。これら両者の特徴を組み合わせて、当初は基金をベースとし、段階的にクレジット市場を拡大し、最終的にはクレジットをベースとする大規模市場とすることが想定されていた。

REDD+は、機会費用(別の用途に利用すれば得られる利益）に対する補償支払いの一形態でもある。伐採や農地転用によって得られる収入に相当する補償支払いができれば、経済的には開発意欲を抑制することができる。ただし、それには多額の資金を必要とする。そのためには、市場が経済価値を見いだすようなREDD+制度でなければならない。しかしながら、REDD事業の管理手続きやセーフガードの要件が厳しくされ煩雑化されれば、取り扱い費用を増加させてしまい、投資意欲を失わせる。

さらに、2013年からの京都議定書の第2約束期間における義務対象国の減少も、投資意欲の減退につながる。その義務対象国は、世界の排出量の6分の1程度に過ぎないからである。また、2020年以降の新たな国際枠組みの中にREDD+が含まれる可能性は高いものの、開発途上国を含むとされるその枠組みにおいて京都議定書と同様の削減義務が定められるかどうか不明である。それでも、国際的な義務にかかわらず、国内法令によって義務的な排出上限が設定されている場合は、排出量取引やオフセットの対象としてREDD+クレジットが活用されるかも知れない。しかし、日本はそのような政治状況にないため、日本企業にとってはREDD+クレジットの価値はかなり低いだろう。

（３）セーフガードの確保に向けて

したがって、REDD+は、当面は事業単位で基金に基づいて、さまざまな課題を抱えながら進めら

れるため、以上のセーフガード項目がREDD+事業の実施国において受け入れられることが肝心である。そのためには、第１に、国際法からのアプローチが有効である。REDD+を直接規律する気候変動条約においてセーフガード項目が示され、受け入れ義務が明記されることが最善である。それが行われず、現状のままであっても、本項で参照した関連条約の締約国には、当該条約の下の基準や指標などを、当該条約体制の国際的な行政規則として取り入れ、評価手続きを整える責務がある。表(7)-5に示してあるように、適用可能な関連条約は多方面にわたっている。それらの下のガイドラインなどを個別のREDD+事業に適用することで、REDD+のためのセーフガードが確保され、当該事業の合法性・正当性も担保され得る。

表(7)-5. 国際法アプローチと国内法アプローチ

	対象法令		個別法令
法令遵守	関連条約	環境	生物多様性条約、ワシントン条約、ラムサール条約、世界遺産条約、国際熱帯木材協定、ボン条約ほか、関係ガイドライン
		人権	国際人権規約、ILO-169号（先住民）条約、 先住民、児童、男女などに関するその他の条約
	実施国の国内法		環境、森林、人権、少数民族、財産権、土地利用、外資、 契約などの分野の法令、　生物多様性国家戦略
	支援国の国内法		外国法令遵守の義務・確認手続き 外国における生物多様性保全・セーフガード遵守の義務

第２に、REDD+事業を支援する国の国内法令からのアプローチも有効である。たとえば、支援国の国内法令において、支援国の公的機関や企業に対して、セーフガード適格でないREDD+事業への関与、または、適格でないREDD+事業の成果の受け入れを制限するのである。それには、適格性の判断において、事業実施国の国内法令の遵守を根拠にする場合と、事業支援国の独自の判断を根拠にする場合とがある。前者は、REDD+事業が行われる開発途上国の国内法令の遵守確保を、支援国の法令要件に取り入れることである。日本でも、グリーン購入法の下での違法木材規制は、原産国の法令違反の木材を公的機関が購入することを規制している。エネルギー高度化法の下でも、原産国の法令違反のバイオ燃料の利用を規制している。次に、後者の場合は、内政干渉またはWTO体制との問題を生じさせないように法技術的な配慮が必要とされる。日本のエネルギー高度化法は原産国の生物多様性などに悪影響が確認された場合は所要の措置をとることを定めている。

以上のような先例も参考に、REDD+事業実施国の国内法令の遵守を要件にする規制措置と、それでも改善できない場合に備えて事業支援国の独自の判断に基づく規制措置という2段構えの国内法令アプローチを支援国がとれば、REDD+セーフガードを確保することができよう。

なお、REDD+クレジットに多くを期待できないために資金規模が想定よりも縮小しかねない状況において、先住民・地元共同体への衡平な利益配分をどのように確保するかは残された大きな課題である。

５．本研究により得られた成果

（１）科学的意義

REDD+活動に対して求められている生物多様性保全および人権保障に関するセーフガードを構成する原則・基準・指標・手続きなどの基本項目を、国際法および国内法の観点から体系的に再構成して提示した。それらの項目は、特定の限定的な数値や状態を定めるものではなく、事例に応じて個別的に適切な数値や区分を定めることができるため、さまざまな場面に対応できる。

（２）環境政策への貢献

今後、国連大学をはじめとして、関連研究機関との共同研究を通じて、成果の広報・普及に努める。

６．国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない。

７．研究成果の発表状況

（１）誌上発表

＜論文（査読あり）＞

特に記載すべき事項はない。

＜その他誌上発表（査読なし）＞

1) 新美育文・松村弓彦・大塚直編：環境法大系、商事法務、933-951（2012）
「生物多様性に関する国際条約の展開－必要とされる措置の体系化（磯崎博司）」

2) 大塚直・大村敦志・野澤正充編：社会の発展と権利の創造－民法・環境法学の最前線、有斐閣、737-761（2012）
「環境条約の地元における日常的な実施確保－自然環境に関する条約を中心に（磯崎博司）」

3) 磯崎博司：地球環境学（上智大学地球環境学研究科）、No.8、1-14（2013）
「持続可能な開発に関するセーフガード－望ましいREDD+に向けて」

（２）口頭発表（学会等）

１） T. Furukawa and H. Isozaki: Asian Wetland Symposium Sabah 2011, Kota Kinabalu, Malaysia, 2011.
"Interfacing the Climate Change Policy to the Biodiversity Conservation: Wetland Management and the Ecosystem Approach"

2） H. Isozaki: International Symposium on "Cost and Benefits of REDD Plus: What, Who, How, When", Kuala Lumpur, Malaysia, 2011.
"Legitimacy of and Safeguards for Sustainable REDD+ Activities"

3） H. Isozaki: EEA Biodiversity Indicator Workshop, Copenhagen, Denmark, 2011.
"REDD Safeguards for Biodiversity"

4） H. Isozaki: Local Participation Workshop, Strasbourg, France, 2011.

"REDD Safeguards for Local Participatory Management"
5) H. Isozaki: EU DG Environment Workshop, Brussels, Belgium, 2012.
"REDD Safeguards and Domestic Law Approach"

（３）出願特許

特に記載すべき事項はない。

（４）シンポジウム、セミナー等の開催（主催のもの）

特に記載すべき事項はない。

（５）マスコミ等への公表・報道等

特に記載すべき事項はない。

（６）その他

特に記載すべき事項はない。

８．引用文献

特に記載すべき事項はない。

(8) エコシステムアプローチからみた森林劣化抑止プログラムの検証

東京都市大学
環境学部環境マネジメント学科　　古川　務

平成22～24年度累計予算額：6,673千円
（うち、平成24年度予算額：2,186千円）
予算額は、間接経費を含む。

［要旨］
改良型劣化抑止プログラムの潜在的効果を図り、その確立を行うための評価指標としてエコシステムアプローチを取り上げた。まず文献、実体、聞き取り調査により、その評価指標としての適切性を確認した。次にエコシステムアプローチを実体的側面と手続的側面とに区分して捉え、とりわけ後者の手続的側面が重要な指標になりうることを実態調査等で確認した。また、この側面の原則等がインドネシアREDD+国家戦略に反映されていることも確認した。これらの検討から、エコシステムアプローチの原則等の手続的側面が、劣化抑止プログラムの評価基準の中核となりうることが明らかとなった。さらに、これら諸原則等を超える原則等の有無を地域社会の便益の観点から検討した。その結果、先住民社会等と企業とのモデル契約条項、伝統的土地利用の承認、法的権利の明確化、慣習的な権利の考慮、共同体的権利の承認、共同体による利益の受領・利益配分決定、自由で事前の情報に基づく同意原則の実施、先住民等による管理運営への参画等の必要性を追加すべきことを指摘した。
エコシステムアプローチの原則等の手続的側面および地域社会の便益の観点からエコシステムアプローチに追加した事項のほとんどは、いずれも国際的な原則・基準・指標等の求めるところと概ね合致することも判明した。かくして本サブテーマでは、正当なREDD+事業であるか否かを評価する基準・指標を整理することに成功した。なお、この基準を満たす劣化防止プログラムは、プログラム域外を含めた生態系や地域住民・社会に対して正の効果をもつので、この基準そのものがプログラム域内外の共同型劣化防止プランとしての役割も担っていることになる。
なお、生態系サービスへの支払いプロジェクトからの収入（たとえば上流の森林によって保全され浄化された水に対する支払い）もREDD+ファンド等に組み込むことができるかもしれない。この実現可能性を探る目的で、わが国で展開されている下流域住民による上流森林の保全費用の負担（水道料金等）や森林環境税制度を補足的に調査した。その結果、REDD+スキームには、わが国のこれら支払制度を適用することが難しいことが明らかとなった。

［キーワード］
エコシステムアプローチ、セーフガード、先住民・地方社会、法的権利の明確化、自由で事前の情報に基づく同意原則

１．はじめに

研究課題全体では、森林劣化抑止プログラム（REDD）に「生態系サービスの向上」を取り入れた新たな枠組(改良型劣化抑止プログラム)を構築することを目標としている。この改良型劣化抑止プログラムには、プログラム域外を含めた生態系や地域住民・社会に対する正の効果を高め、負の影響を排除するように工夫されていることも当然求められている。そこで本サブテーマではまず、改良型劣化防止プログラムがこうした要望に資するものであるかの評価指標として、エコシステムアプローチの考え方が適用可能かどうか検討する。さらに、エコシステムアプローチの考え方を超える原則等の有無を地域社会の便益の観点から検討する。このようにしてエコシステムアプローチの考え方に地域社会の便益の観点から必要となる事項を加えることで、上記に資する改良型劣化抑止プログラムの評価基準・指標の作成を目指した。

２．研究開発目的

このサブテーマは、改良型劣化抑止プログラムがプログラム域外を含めた生態系や地域住民・社会に対する正の効果を高め、負の影響を排除しているかどうかを評価する基準を、エコシステムアプローチおよび地域社会の便益の観点から作成することを目的とする。なお、この基準を満たす劣化防止プログラムはプログラム域外を含めた生態系や地域住民・社会に対して正の効果を持つため、この基準そのものが、プログラム域内外の共同型劣化防止プランとしての役割も担っていることになる。

３．研究開発方法

（１）改良型劣化抑止プログラムの評価指標

改良型劣化抑止プログラムの潜在的効果を図り、その確立を行うためには、まずはその評価指標を設定する必要がある。その評価指標として、課題全体においても重要な概念となっているエコシステムアプローチ（12の原則および実施指針）を取り上げた。これらがエコシステムの代表例である河川流域で資源管理取組の指針として実践された場合、生物多様性保全に資する可能性が高いことは明らかである。したがって、これらは、生態系サービスの向上を組み入れた改良型劣化抑止プログラムの是非を測る指標ともなりうるし、また、その達成度合いや達成の態様がそのまま劣化抑止プログラムの効果を示すことにもなる。なお、関連する実態調査や聴き取り調査も行った。その上で、エコシステムアプローチの評価指標としての適切性を確認した。

（２）地域社会の便益の観点からの劣化抑止プログラムの評価指標の修正

評価指標として適切であることが確認されたエコシステムアプローチの諸原則について、その計画等への受容を確認した。さらに、国際会議参加者等との議論を行った。国際会議としては、ラムサール条約第11回締約国会議に参加した。REDDの議論が多く含まれ、REDD+資金の受益者が、持続可能な湿地管理において定量化できる、費用対効果の高い、参加型のアプローチをとること等を求めた決議が採択される可能性があったからである（結果、大幅に後退した）。REDDに関する一定の理解を有するこの会議への参加者とREDD+実施に伴う先住民や地域社会の懸念、REDD+プロジェクトの望ましい在り方等について適宜協議した。また、森林・林業研究機関である国際林業研究センター（CIFOR）等を訪問し、先住民・地方社会構成員による森林利用実態についてのヒ

アリングを行った。これらを踏まえて、主に地域社会の便益の観点から、エコシステムアプローチの修正を検討した。地域社会の便益の観点からは、エコシステムアプローチにおいて求められている以上の原理・原則が必要とされる場合もあり、それもエコシステムアプローチの原則等に統合した。これらはすなわち、REDD＋プロジェクト特有の判断基準の提案である。なお、生態系サービスを踏まえた劣化抑止プログラムであるため、生態系サービスの支払い制度の検討も、先行事例としての国内事例につき、補足的に行った。

４．結果及び考察

（１）　改良型劣化抑止プログラムの評価指標

１）REDD+セーフガード

気候変動枠組条約（UNFCCC）のCOP16の決議には、REDD+活動に対するセーフガード規定が含まれている。その概要は次の通りである。すなわち、REDD+活動が実施される際に、以下のセーフガードが促進され、支援されるべきであるとする。（a）REDD+活動が、国の森林計画や関連する国際条約の目的を補完するか、またはそれに合致すること、（b）透明かつ効果的な国家森林ガバナンス構造、（c）先住民および地方社会の構成員の知識と権利の尊重、（d）利害関係者、とりわけ先住民および地方社会の十分かつ効果的な参加、（e）REDD+活動が、天然林の転換ではなく、天然林およびその生態系サービスの保護保全を奨励し、その他の社会環境利益（先住民および地方社会の生計の維持等）を向上させることを確保しつつ、天然林および生物多様性保全と合致すること、（f）反転リスクに対処する行動、（g）排出移転を減少する行動、である。

以上のようなセーフガードを組み込んだ具体的な実施体制を構築するためには、セーフガードのさらなる具体化が必要である。

２）エコシステムアプローチ

そこで、2000年に開催された生物多様性条約（CBD）の第5回締約国会議（COP5）において決定されたエコシステムアプローチに着目した。このアプローチは、「条約に基づきとられる行動の第一義的な枠組」とされている。したがって、生物多様性保全・利用のための方向性を定める行動指針となっている。また、COP9（2008年5月19日～30日）では、締約国に対し、気候変動の適応策および緩和策にエコシステムアプローチを適用することを考慮するよう促す決定を採択している。かくして、REDD+における評価指標として適切だと思われる。なお、COP5のエコシステムアプローチに関する決定は、「エコシステムアプローチの説明」、「エコシステムアプローチの原則」、「原則を適用する際の運用指針」を含んでいる。しかし、その後、この決定は再検討を加えられ、COP7（2004年2月9日～20日）で再度採択されている。新たなエコシステムアプローチに関する決定は、原則自体は変えず、主に運用指針を個々の原則ごとに付加する形で変更を加えている。後述の一覧表の理解を促進するという意味もあり、再確認のため、以下に、各原則とその主な実施指針を示す。

【原則１】土地、水および生物資源の管理目標は社会的選択事項である。

＜実施指針＞

・すべての利害関係者の関与

・管理ユニットの（時間的・空間的）境界の明確化
・各決定の意思決定者は誰か、決定プロセスはどういったものか、意思決定者の裁量に対する制限等の確定
・社会的選択が行われるメカニズムの必要性
【原則２】管理はもっとも下位の適切なレベルに分権化される。
＜実施指針＞
・必要に応じた管理機能・決定の細分化（たとえば中央政府は戦略的決定、地方政府は運用の決定、地域社会は地域社会構成員間での利益配分決定等）
・情報や経験の共有、異なる管理機関間での良好な連絡の確保等による分権化した意思決定・管理責任の負の側面の回避
【原則３】生態系管理者はその活動の他の生態系への影響を考慮する。
＜実施指針＞
・天然資源管理者、意思決定者および政治家による隣接および下流の生態系（河川流域・沿岸域）への影響の検討
・（影響が見込まれる場合）悪影響の最小化の方法の検討
・（環境影響評価法等によりリスクが明らかとなった場合）活動等の規模の変更の検討
【原則４】経済的観点（市場の歪みの低減、費用と便益の内部化等）から生態系を理解し、管理する。
＜実施指針＞
・生態系サービス等の適切な経済的評価手法の適用
・国民勘定、計画、教育、資源管理決定への生態系サービス等の社会経済的価値の組み込み
【原則５】生態系サービスの維持のために生態系の構造および機能の保全を優先目標とする。
＜実施指針＞
・生態系の構成要素間の関連性、構造および機能の理解の向上
・参加型プロセスを用いた社会経済目標の決定
・管理戦略および管理実行の決定
・生態系サービスの維持・復元措置の適用
【原則６】生態系はその機能の限界内で管理されなければならない。
＜実施指針＞
・予防的アプローチの適用
・順応管理アプローチの実施
・生態系をその限界内で維持するための戦略の策定
【原則７】エコシステムアプローチは適切な空間的および時間的規模で実施される。
＜実施指針＞
・空間的・時間的規模の適切性の分析
・空間的・時間的規模と行政・管理権限の範囲のミスマッチの回避
・生態系の階層性を視野に入れた管理介入の計画

・河川流域等の広域の管理のための新たな制度メカニズムの必要性
【原則８】変化する時間的規模および時差効果を考慮して生態系管理目標は長期的なものとする。
＜実施指針＞
・世代間衡平に対処する長期的ビジョン、意思決定における短期的利益と長期目標間のトレードオフの考慮等を含む順応管理プロセス
・変化の時間規模に適応したモニタリングシステムの構築
・長期的な管理のための制度、法律および政策枠組の必要性
【原則９】管理は変化が不可避であることを認識しなければならない。
＜実施指針＞
・社会的生態学的条件の変化に対応して管理計画等の変更を行う順応管理
・順応管理の不可分の一部としてのモニタリングシステム
・生態系の変化を検出し、適切な適応措置を策定するための伝統的知識の利用
【原則10】エコシステムアプローチは保全と利用の適切なバランスおよびそれらの統合を追求する。
＜実施指針＞
・バランスと統合のための政策、法律、制度および経済的措置の策定
・参加型の統合的計画プロセスの促進
・生態系サービス等のデリバリーを最適化する方法での領域および景観の管理
【原則11】エコシステムアプローチは科学的知識、先住民の知識等のあらゆる関連情報を考慮する。
＜実施指針＞
・関連情報の利害関係者間での共有
・提案された管理決定の背後にある仮定の利用可能な最良の専門知識による明確化
・すべての関連部門および伝統的知識等からの情報を記録し、広範に利用可能とする適切なメカニズム
【原則12】エコシステムアプローチは関連するあらゆる社会および科学部門が関与する。
＜実施指針＞
・農業、漁業、林業およびその他の天然資源管理部門、ならびに司法、エネルギーおよび運輸部門への（さらなる）エコシステムアプローチの組み込み
・協議プロセス、目標や活動に関する意思決定へのすべての利害関係者等の参加を確保する手続およびメカニズムの設立
・専門家等が関与するエコシステムアプローチの効果的な実施

３）エコシステムアプローチに関する実態調査－ボルネオ生物多様性・生態系保全プログラム（Bornean Biodiversity & Ecosystems Conservation Programme：BBEC）の実態調査等

BBECは、わが国の政府開発援助事業の一環として、国際協力機構（JICA）がマレーシアのサバ州で実施している協力プログラムである。このプログラムは、開発圧力に晒されている森林を保全することを目指しており、その意味でREDDに関係する。

BBECの活動対象地域は、サバ州西部のクロッカー山脈公園およびサバ州東部のキナバタンガン河・セガマ河流域である（調査対象地は、そのうちキナバタンガン河川流域）。

BBECは2つのフェーズから構成されている。すなわち、フェーズⅠ（2002年から2007年まで）では、生物多様性保全等に必要な研究・モニタリングの知識や技術の移転を目的とした活動が行われ、フェーズⅡ(2007年から2012年まで)では、既存のサバ州法令に基づいて保全の仕組みを構築・定着させることを目的とした活動が行われた。この既存のサバ州法令とは、2000年制定のサバ州生物多様性法（Sabah Biodiversity Enactment）を指す。この法律の注目点は、生物多様性理事会（Biodiversity Council）と生物多様性センターの設立を求めていることである。理事会は、水資源、森林、野生生物、環境保全等に関わる州政府機関の局長等が構成員となっており、生物多様性保全・利用に関する高度な意思決定機関である。センターは、理事会によって運営される機関であり、生物多様性保全・利用に関する情報提供、関連指針の作成、機関間の調整、調査計画の作成、データベースの構築、他機関等とのネットワークの構築、普及・啓発活動を行う。ただし、これら機関はすぐには機能しなかった。第1回の理事会会合が開催されたのはようやく2007年12月になってからであり、生物多様性センターが正式発足したのは翌年の5月のことである。

キナバタンガン河およびセガマ河下流域のマングローブ林をラムサール条約に登録する取組はフェーズⅡで実施された。これは、条約登録作業と条約の求める保全計画の策定・アプローチについて影響を及ぼす上中流域を巻き込んで流域管理計画を策定することを目指すものであった。ラムサール条約への登録は2008年10月に承認されることになったが、実際に生物多様性センターは、条約登録作業や計画策定等において行政区画／管轄間の調整役を果たし、また、条約に基づく保全計画では、ラムサールサイトに止まらず、上中流域の保全も含めた計画になっている。

BBECに関して、JICAの現地担当者がとくに強調していた点が2つある。第1に、サバ生物多様性法、つまりは生物多様性理事会および生物多様性センターの存在がなければBBECはほとんど成功しなかっただろうということである。第2に、ラムサールサイトに悪影響を及ぼしているとみられる中流域のアブラヤシプランテーションを保全の取組にうまく取り込んでいかなければならないということである。すなわち、管理対象区域の決定、必要に応じた管理組織の設立、組織内での集合的意思決定手続の確立といった点が重要であることが示された。なお、国連食糧農業機関（FAO）における国家森林プログラムファシリティ（National Forest Programme Facility：NFPF）に関する聴き取り調査においても類似の結果が得られた。

４）エコシステムアプローチにおける実体的原則と手続的原則の区分

エコシステムアプローチの12原則は、相補的で相互に関連性を有しており、基本的にはすべての原則の一括適用が求められている。しかし、段階的または選択的適用への展開可能性も視野に入れて、ここで、極めて相対的かつ暫定的ではあるが、12原則を実体的側面に関するものと手続的側面に関するものに区分する。

まず、実体的側面に関する原則としては、原則3、原則4、原則5、原則6、原則8、原則9、原則10が指摘できる。この面のエコシステムアプローチは、生態系サービスの維持のために、個々の種ではなく生態系それ自体、すなわちその構造や機能を保全することを優先目標とし、生態系の変化性や他の生態系への影響等を踏まえつつ、また、生態系サービスの経済的評価手法も用いながら、長期的な視点をもって、生態系の機能の限界内で、保全と利用のバランスを考慮して管理

措置をとっていくことを求めている。換言すれば、生態系が全体として保全された状態を結果的に導き出すことを求めている原則群ということもできよう。これらは、生態系の保全および利用自体に関連しているので、実体的な原則として区分する。

これに対して、手続的側面に関する原則としては、原則1、原則2、原則7、原則11、原則12が挙げられる。この側面のエコシステムアプローチは、ある特定の生態系（または空間的範囲）に利害を有する関係者等が一堂に会し、科学的データや伝統的知識等のあらゆる関連情報を考慮して、管理目標に応じた当該の生態系等の範囲内で、その保全と利用を決定していくこと、また、そのための制度取極も行っていくことを求めている。この原則群は、実体的な原則群に基づく諸決定を行う前提条件または枠組を整備することを求めているといえ、その意味で、手続的な原則として区分する。

もっとも、たとえば実体的原則に区分した原則6の予防的アプローチの適用は、むしろ意思決定手続に区分でき、原則6自体も手続的原則とすることが可能かもしれない。また、予防的アプローチの適用を事前に決めておくことは意思決定手続を定めることであり、手続的側面を有しているが、いついかなるときにどのような予防措置をとるかについては、生態系の保全および利用自体に関連する実体的な決定であり、実体的側面を有するとみることも可能であろう。このように実体と手続の用語の使用法は厳密でない点がある。

以上のように相対的ではあるが、手続的側面に区分されたエコシステムアプローチの原則等は、エコシステムアプローチを標榜するプロジェクトを実施する際の核となる原則群であることが上記調査より明らかとなった。関連する原則および実施指針を表(8) - 1に改めてまとめている。

表(8) - 1. エコシステムアプローチの手続的側面に関する原則および実施指針

【原則１】	土地、水および生物資源の管理目標は社会的選択事項である。
実施指針	・すべての利害関係者の関与 ・管理ユニットの（時間的・空間的）境界の明確化 ・社会的選択が行われるメカニズムの必要性
【原則２】	管理はもっとも下位の適切なレベルに分権化される。
実施指針	・必要に応じた管理機能・決定の細分化（たとえば中央政府は戦略的決定、地方政府は運用の決定、地方社会は地方社会構成員間での利益配分決定等）
【原則７】	生態系アプローチは適切な空間的および時間的規模で実施される。
実施指針	・河川流域等の広域の管理のための新たな制度メカニズムの必要性
【原則11】	生態系アプローチは科学的知識、先住民の知識等のあらゆる関連情報を考慮する。
実施指針	・関連情報の利害関係者間での共有
【原則12】	生態系アプローチは関連するあらゆる社会および科学部門が関与する。
実施指針	・協議プロセス、目標や活動に関する意思決定へのすべての利害関係者等の参加を確保する手続およびメカニズムの設立

（２）地域社会の便益の観点からの劣化抑止プログラムの評価指標の修正

１）インドネシアREDD+国家戦略

インドネシアについては、2012年6月に、その中にエコシステムアプローチを明記したREDD+国家戦略が採択されている[1)]。以下概観し、エコシステムアプローチの受容程度を確認する。

国家戦略は、戦略の枠組とそれを支える5つの柱を定めている。戦略の枠組としては、土地利用、土地利用変化および林業（LULUCF）からの温室効果ガス排出削減、炭素貯蔵の増加、生物多様性保全の向上、ならびに森林の経済機能の価値と持続可能性の増進という長期目標を達成することとし、そのため、（ｉ）REDD+組織体制の展開、（ⅱ）政策および法令の再検討および強化、（ⅲ）戦略プログラムの立ち上げ、（ⅳ）パラダイムおよび労働文化の転換、（ｖ）多様な利害関係者の参加という5つの柱を立てている。このうち、（ⅳ）を除く4つの柱の概要につき確認する。

（ｉ）組織体制については、国レベルの組織として、REDD+機関（REDD+ Agency）、REDD+基金（REDD+ Funding Instrument）、REDD+計測・報告・検証機関（REDD+ Measurement, Reporting and Verification（MRV）Institution）を創設することとしている。これら機関は概ね今後2～3年のうちに整備される予定であるという。

まず、REDD+機関は、REDD+構想の実施のための規制的枠組の整備、REDD+プログラムの策定の促進、森林および泥炭地のガバナンスの向上、REDD+プログラムからの利益の公正衡平な配分を確保するための能力構築の促進、REDD+プログラムによって削減された炭素排出の取引のコントロール、REDD+MRV機関の創設の促進および計測・報告・検証等に関する規制措置の承認、REDD+基金の創設の促進および成果に応じた支払いの基準の設定、セーフガード委員会（Safeguard Committee）の設立およびREDD+セーフガード実施のための枠組および情報システムの創設の促進、国の閣僚／組織間および国と地方政府間の政策調整等の職責を果たす。REDD+機関の長の地位は、政府の閣僚と同等である。機関のメンバーは、政府の各省、地域社会グループ、先住民組織、市民社会組織、産業界、学術機関からの代表等で構成される。

次に、REDD+基金は、世界的に受け入れられたセーフガード基準に基づく国の予算システム外での基金の管理、公的・私的部門、商品市場、金融市場、炭素市場等からの資金の調達、空間計画の策定や州レベルでの木材合法性認証の実施等の前提活動、泥炭地放水路の閉塞等のインフラ整備活動、またはその他REDD+プロジェクトの実施を促進する活動への資金の投資、排出削減を可能とする条件整備の寄与度に応じた地域政府、NGO等への報償、登録されたREDD+活動／プロジェクト／プログラムの実績への報償、プログラム／プロジェクト／活動レベルでのセーフガードの枠組要件の実施等の資金供給前の認証等の職責を果たす。

また、REDD+MRV機関は、MRV活動に関する政策、基準およびメカニズム等の策定（REDD+機関の承認を要する）、REDD+活動に関する森林および泥炭地の温室効果ガスインベントリーの蓄積、利害関係者によるアクセスのための関連データの情報源、REDD+基金に対するREDD+活動による排出削減の検証結果の報告等の職責を果たす。

なお、州および県レベルでもREDD+機関を設立することが可能とされている。州レベルの機関は、国家戦略をもとに地域版REDD+戦略・行動計画を取りまとめ、実施する、また、地域プロジェクト等について国のREDD+機関に定期的報告を行う等の役割を果たす。県レベルの機関は、県レベルのREDD+活動の調整と州への報告を行う。

（ⅱ）政策等の再検討および強化については、土地利用空間計画の改正、土地所有権の改革、森林および泥炭地の管理などを取り上げている。

まず、土地利用空間計画に関しては、関連の法令等の改正等を通じて、林業およびその他の土地利用を計画するためにデータおよび情報を同期すること、すべての権限を有する当局によるすべての当該土地利用許可等の地図化を促進すること等を行うとする。

土地所有権の改革については、先住民その他の社会の構成員が居住する土地の調査を政府が担当官庁に指示すること、現行法上の和解メカニズムを利用する土地所有権紛争の解決に向けて担当官庁を支援すること等を行う。

森林および泥炭地の管理に関しては、行政界に縛られないエコシステムアプローチを利用しなければならないとし、次のような改革を行うと述べている。すなわち、対象となる森林等に関する政策や法令の再検討および調整のためのすべての利害関係者の連携、対象となる森林等の内外で活動する現場レベルの森林および土地利用管理機関（森林管理ユニット）の設立の加速および法整備を通じた同機関による管理（林業許可、利益配分等）への移行、対象となる森林等の外側にある森林に覆われた土地および／または泥炭地（永久林としてREDD+の場所となる可能性を有している）を再分類するメカニズムおよび法令の整備、許可保持者に対する持続可能な森林管理の第3者業績評価の拡充強化である。

（ⅲ）戦略プログラムの立ち上げについては、持続可能な景観管理（landscape management）の有効性の向上などを指向する。すなわち、持続可能な景観（エコリージョン、河川流域等）の管理は、州の土地利用空間計画、森林管理ユニット設立のための林地の区画、森林管理ユニットの設立、産業・林業・森林農業・農業・鉱業等の多部門が係わる生態系の境界と行政界の双方に言及する土地利用・開発の統合計画等の策定および加速化を通じて実施される。

（ⅴ）多様な利害関係者の参加では、REDD+の実施にとって国民およびさまざまな利害関係者の包含的および協力的関与が欠かせないとし、利害関係者の参加戦略、自由な事前の情報に基づく同意、セーフガード枠組および情報システム、利益配分戦略について述べる。

利害関係者の参加戦略は、REDD+活動への公衆の参加を促進する戦略として、利害関係者を同定し、地図化（とくに影響力のある人物の特定を含む）すること、自由な事前の情報に基づく同意原則に依拠してREDD+実施にとって重要なすべての関係当事者の理解、認識の一本化、合意および支持を向上させること、REDD+活動への資金拠出、ワークシェアリング、助言、意思決定への参画等によって計画および問題解決における利害関係者の役割を高めることを指摘する。

自由な事前の情報に基づく同意に関しては、REDD+機関は、すべてのREDD+プログラムおよびプロジェクトにおいて自由な事前の情報に基づく同意原則を適用するものとしている。REDD+活動によって居住や権利に影響を受ける先住民および地方の人々に対し、公正および説明責任を確保するためである。原則には、同意を得るにあたって武力、脅迫、ごまかし、圧力を用いてはならない、協議は完全な、バランスのとれた、公正な、公平な、簡単に理解できる情報に基づかなければならない等がある。

セーフガード枠組の手段の整備は、モニタリングの準備を促進し、プログラム管理に関する段階、財務会計責任、プログラムの脆弱なグループおよび自然環境への影響をコントローするために行われるという。財務会計責任の基本原則に基づき、受託者のセーフガードの原則、基準、指標等が定められる。脆弱なグループへの影響は、社会セーフガードとして策定され、森林および

泥炭地の生物多様性およびその他の生態系機能を確保するために、環境セーフガードが策定される。

このうち環境セーフガードの基準指標の最低限の枠組は次の通りである。すなわち、REDD+活動に意見表明し、REDD+プロジェクトに関する決定に反対表明し、情報を得る等の先住民および地方社会の基本的権利の承認および保護、脆弱なグループのREDD+実施に衡平に参加する権利の保証、透明性および国民への説明責任に対応する行政機能の保証、REDD+が生物多様性保全の努力に逆行せず、持続可能な自然環境基準を確保することの保証、持続可能な環境基準の違反に際して復旧が実施されることの保証、紛争解決メカニズムが確保されていること等である。なお、情報システムについては、UNFCCCのCOP16でのマンデートであるとして、REDD+セーフガード実施の情報システムを構築するとする。

利益配分戦略に関しては、REDD+プログラム／プロジェクト／活動の現場内に権利を有するすべての者が支払いを受ける権利を有すること、土地所有形態が共有であり、森林の保護が共同体によって行われた場合の排出削減に寄与した社会には報酬は配分されない、利益の配分ミスを避けるために利益配分システムは透明性があり、説明可能なものでなければならない等を基本とする。

以上のような国家戦略において、エコシステムアプローチはどのように反映されているのか。改めて確認すると、その直接的な言及は、戦略の5つの柱のひとつである「政策および法令の再検討および強化」策の中にある。その「森林および泥炭地の管理」においては、エコシステムアプローチを利用しなければならないとし、すべての利害関係者の連携、森林管理ユニットの設立の加速および同ユニットへの権限移譲、管理対象外の区域の編入の検討等に関する改革を行うとする。また、間接的には、「戦略プログラム」の「持続可能な景観管理」で言及されている。すなわち、河川流域等の景観の管理は、森林管理ユニット設立のための林地の区画や森林管理ユニットの設立を通じて加速されるという。エコシステムアプローチへの直接的な言及は、戦略中にも記述されている通り、行政界ではなく生態系の境界での管理を強調する意図があるように見受けられる。また、景観管理における間接的言及についても、森林管理ユニットが広域の生態系の枠組で区分される可能性を示唆している。かくして、インドネシアREDD+国家戦略へのエコシステムアプローチの原則等の反映の程度は、上記で区分したその手続的側面に関する原則群を取り込んでいるとみることができるだろう。換言すれば、インドネシアREDD+国家戦略は、原則として生態系の枠組で利害関係者による意思決定を行う基盤の形成を求めていると評価できるだろう。

２）エコシステムアプローチ原則等の修正－劣化抑止プログラムの判断基準

これまでの検討から、エコシステムアプローチの原則等の手続的側面が、劣化抑止プログラムの判断基準の中核となりうることが明らかとなった。ここからは、「エコシステムアプローチの原則等」に「エコシステムアプローチを超える地域社会の便益の視点からの要請」を重ね、その相違を確認していく（表(8)‐2参照）。あわせて、インドネシアREDD+国家戦略についても言及する。このことで、エコシステムアプローチにその修正を施す部分を統合し、劣化抑止プログラムの判断基準としてまとめていく。なお、この整理は、サブテーマ7の成果を踏まえて行う。サブテーマ７ではREDD+に一般的に必要とされるセーフガードを「基本枠組み」「対応方法」「実施手法」に３つの観点から整理した[2)]。このうちここでは主眼がエコシステムアプローチの手続的側面にあるため、「基本枠組み」および「対応方法」の一部と「実施手法」は除くものとする。ちなみ

に、基本枠組みは一般的な社会制度の基本枠組みであり、対応方法は持続可能性の確保に向けた対応をとるときの基本的視座である。

まず、基本原則の「平等・衡平」である。表中はほぼ同一の表現となっているが、地域社会の便益の視点からは「モデル契約条項」が追加されている。先住民・地方社会には、排出者が排出削減の逃げ道として利用する等の理由から炭素市場そのものに反対するグループもあるものの、積極的にREDDプロジェクトを受け入れているグループもある。しかし、受け入れている先住民等と関係企業との間の契約で、先住民等の側に不利な契約（森林火災の際の植林義務を課し、違反した場合には3倍の違約金をとる）を締結している例もあるという。この点を踏まえて、他の分野の国際条約にみられるようなより具体的な標準モデル契約条項の必要性を追加したものである。

次に、「持続可能性」であるが、エコシステムアプローチには伝統的土地利用の承認は見られない。すでに多くの先住民がバイオ燃料等のための伐採やCDMの新規植林・再植林プロジェクトのために、先祖伝来の土地を追われ、さらに、REDD＋プロジェクトによりいっそうそれに拍車がかかる事態となっているという。しかし、発展途上国の政府は、州有林の管理をそこに住む地域社会の参加なしに管理することが困難であると認識し始めた。伝統的な生活様式では、薪、木材、飼料、薬草、食料等の林産物の利用を伴う。こうした利用は州遊林においては原則として禁止されているが、ほとんどの場合それを防止できていない。次第に、地方社会に賃貸契約等を通じて特定産物の開発等を認める取り決めを結ぶ例も見られるようになってきた。いわゆる共同体森林管理である。共同体森林管理は、世界銀行森林炭素パートナーシップ基金や国連REDDプログラムに提出された多くの国の計画の顕著な特徴であり、その共通の見解として、（少々楽観的ではあるが）共同体森林管理が、ウィンウィンの関係を構築し、炭素排出を減少させるだけでなく、生物多様性や水保全のようなその他の森林の価値、社会的利益も促進するとみられている[3)]。対応方法の「統合性」に関しては、とくに相違はないが、以下の点を補足する。代々、先住民は持続可能な方法で森林資源を利用するために管理してきたが、森林は単なる資源開発の場ではなくて、生命の源泉であり、生活の一部となっている。森林は、先住民等にとって、住まいや食料を提供するのみならず、金銭的価値では表せない精神的文化的価値をもつ場でもある。これらの場を破壊しうるたとえばプランテーション等の活動は先住民等にとって許しがたいものとなる。現行の森林の定義は、成熟時に樹高が2～5メートルに達する樹木からなる、10～30パーセントの樹冠被覆率を有する0.05～1ヘクタールの土地の区域とされる（各国ごとに数値は確定）。そして、伐採等により一時的にこの樹冠密度または樹高を満たさなくなる若い天然林およびあらゆる人工林も、森林に戻ることが予期されているときには森林と見なされる。かくして、樹種によってはREDD+プロジェクトの対象活動となりうる。これらの活動が先住民等に対する脅威となりうる。ただし、この点は、UNFCCCにおいて、社会環境セーフガードとして取り上げられている。

「地元主導」に関しては、法的権利の明確化、慣習的な権利の考慮、共同体的権利の承認、伝統的知識の尊重、共同体による利益の受領・利益配分決定、自由で事前の情報に基づく同意原則の実施、管理運営、たとえばモニタリングや排出の計算等への参画が挙げられる。管理運営への参画は、雇用効果の点からも好意的に受け止められるだろう。

ところで、2007年には、住民族の権利に関する国連宣言が採択されており、この着実な実施が求められている。この宣言は、先住民族が、自らの土地または領域から強制的に移動させられない、自らの権利に影響を及ぼす事柄に関する意思決定に参加する権利を有する、自らが伝統的に

所有する土地、領域および資源等についての権利を有し、国家がそれを承認する、それら権利を承認裁定する透明性のある手続が確保される、自らの土地、領域および資源の保全、保護についての権利を有する等と規定する。また、自由で事前の情報に基づく同意なしにはこれらの権利が制限されないことも規定する。ただし、住民族の権利に関する国連宣言も自由で事前の情報に基づく同意も法的拘束力を有しないことにより、たとえばパイロットプロジェクトでもこれらの違反が見受けられるという。森林の保護者ともいえる先住民等の伝統的な保全管理活動は気候変動の緩和適応策に寄与しうるため、彼らの権利の承認と参画の十分な確保をもとに続可能な森林管理を行っていく必要があるだろう。

エコシステムアプローチでは、共同体による利益配分決定は単なる例示であり、また、先住民等の伝統的権利に関しては、「エコシステムアプローチの実施に際して、土地所有権、彼らの権利に関する複雑な問題に対処しなければならない」と述べるにとどまっている。

ところで、エコシステムアプローチの手続的側面に関する原則ではないが、「内部経済化」も補足的に取り上げる。というのは、地域社会の便益の視点からみて、流域保護のような生態系サービスへの支払いプロジェクトからの収入（たとえば上流の森林によって保全され浄化された水に対する支払い）もREDD+ファンド等に組み込むことができるかもしれないとの指摘があるからである。そこで、生態系サービスの保全によって利益を得た者による保全費用の支払制度として、従来よりわが国で展開されている下流域住民による上流森林の保全費用の負担（水道料金等）や森林環境税制度を調査した。その結果、強制的に集められた下流域での負担金の多くが上流域の森林保全に回ってしまうことに対して不満を抱く住民が少なからず存在することが判明した。わが国の例をそのまま適用することは不可能であるが、REDD+スキームにおける経済評価を検討する方向性は、やはり税等の方式を用いない、サブテーマ４で採用されている仮想評価法等の評価法に基づく方が望ましいといえるのではないだろうか。

表(8)－2. 望ましいREDD+プログラムの判断基準

分類	判断基準 / 原　則	エコシステムアプローチ	インドネシア REDD+国家戦略	地域社会の便益の観点からの指標
基本枠組み	平等・衡平	管理への衡平な参加、世代間衡平、費用と便益の衡平な配分	すべての者の平等・人権保護、権利保持者による配分	権利義務の平等、公正かつ衡平な配分（＋モデル契約条項）
	透明性	利害関係者（先住民等を含む）の意思決定への参加、情報へのアクセスの確保および情報を共有した上での意思決定	REDD+活動への参加の確保、十分な周知	利害関係者（先住民等を含む）の意思決定への参加、情報へのアクセスの確保および情報を共有した上での意思決定
	持続可能性	該当なし	該当なし	生態系の構造や機能にとって重要な伝統的土地利用の承認、または共同体森林管理
対応方法	統合性	各関連部門の文化的・社会的必要性の考慮、各関連部門の利益の衡平な扱い、部門間協	統合的な計画策定	各関連部門の文化的・社会的必要性の考慮、各関連部門の利益の衡平な扱い、部門間協力の促

		力の促進、統合的な計画策定、順応的管理		進、統合的な計画策定、順応的管理
	地元主導	もっとも下位レベルでの意思決定、意思決定の分権化、共同体による共同体内での利益配分決定（例示）、先住民および地方社会の知識の尊重、すべての利害関係者、とりわけ先住民や地方社会の構成員の意思決定プロセスへの参加	先住民およびその他の地域社会の構成員が居住する土地の調査の実施、権利者への利益配分、自由な、事前のもっとも下位レベルでの意思決定、共同体的権利、伝統的権利の尊重、共同体による利益の受領・利益配分決定、自由で事前の情報に基づく同意原則の実施	もっとも下位レベルでの意思決定、法的権利の明確化、慣習的権利の考慮、共同体的権利の承認、伝統的知識の尊重、共同体による利益の受領・利益配分決定、自由で事前の情報に基づく同意原則の実施、モニタリング・計算への参画
	内部経済化	生態系に由来する財とサービスの経済評価、生態系サービスの保全によって利益を得た者による保全費用の支払	該当なし	生態系に由来する財とサービスの経済評価

（３）劣化抑止プログラムの実施

エコシステムアプローチの手続的側面の原則等および地域社会の便益の観点からエコシステムアプローチに追加した事項のほとんどは、いずれも国際的な原則・基準・指標等の求めるところと概ね合致する。かくして、国際社会が求めてきた原則等は、同時に地方レベルでも求められていることが明らかとなった。これらに対応できて、初めて望ましい劣化抑止プログラムとなりうる。

ところで、インドネシアREDD+国家戦略は、エコシステムアプローチの中核的な原則を導入し、また、自由な事前の情報に基づく同意原則も導入している。しかし、同国の研究機関に勤務する研究者の言によれば、それはあくまでもペーパー上のものであり、今後の展開はわからないということである。しかしながら、もし仮にこの戦略通りのREDD+スキームが構築、実施されない場合であっても、たとえば、支援国が国際的な原則等と合致する地域社会の便益の原則等を踏まえて、間接的に支援対象国の国内的なルールや原則の実施を求めることも可能となるだろう。

５．本研究により得られた成果

（１）科学的意義

エコシステムアプローチにローカルの視点を加えることで、正当なREDD+事業であるか否かを判断する基準・指標が整理できた。

（２）環境政策への貢献

＜行政が既に活用した成果＞

今後とも、学会報告や学会誌等への論文投稿等を通じて、成果の広報・普及に努めたい。

＜行政が活用することが見込まれる成果＞

今後とも、学会報告や学会誌等への論文投稿等を通じて、成果の広報・普及に努めたい。

６．国際共同研究等の状況

１）森林域を超えたREDDスキームの可能性に関する調査、カウンターパート：laudio Chiarolla (Institut du development durable et des relations internationals;IDDRI), Raphael Bille (IDDRI), Ewald Rametsteiner(FAO), Peter Holmgren(FAO)

２）先住民・地方社会構成員の森林利用実態等に関する調査、カウンターパート：笹岡正俊(CIFOR, 現北海道大学), Daju Pradnja Resosudarmo(CIFOR)

７．研究成果の発表状況

（１）誌上発表

＜論文（査読あり）＞

１）　古川務：東京都市大学環境情報学部紀要、14、98－107（2013）
「REDD+活動に対するセーフガードと生態系アプローチーインドネシアREDD+国家戦略を素材として」

＜その他誌上発表（査読なし）＞

特に記載すべき事項はない

（２）口頭発表（学会等）

１）古川勉：環境法政策学会第14回学術大会（2010）
「生物多様性と気候変動：REDD（開発途上国における森林減少および森林劣化からの排出の削減）制度の課題」

２）Tsutomu Furukawa：WETLAND MANAGEMENT AND THE ECOSYSTEM APPROACH, Asian Wetland Symposium (AWS), Kota Kinabalu, Sabah, Malaysia, 2011
“ INTERFACING THE CLIMATE CHANGE POLICY TO THE BIODIVERSITY CONSERVATION”

（３）出願特許

特に記載すべき事項はない

（４）シンポジウム、セミナー等の開催（主催のもの）

特に記載すべき事項はない

（５）マスコミ等への公表・報道等

特に記載すべき事項はない

（６）その他

特に記載すべき事項はない

８．引用文献

１） Indonesian REDD+ Task Force, REDD+ National Strategy, 1-48 (2012) (available at http://www.satgasreddplus.org/en/)

2) 磯崎博司：地球環境学（上智大学地球環境学研究科）、No.8、1-14 (2013)
「持続可能な開発に関するセーフガード－望ましいREDD+に向けて」

3) Margaret Skutsch ed., Community Forest Monitoring for the Carbon Market: Opportunities Under REDD, 4-5 (2010)

Research on experimental studies for upgrading the REDD mechanism in ways that incorporate ecosystem services and values

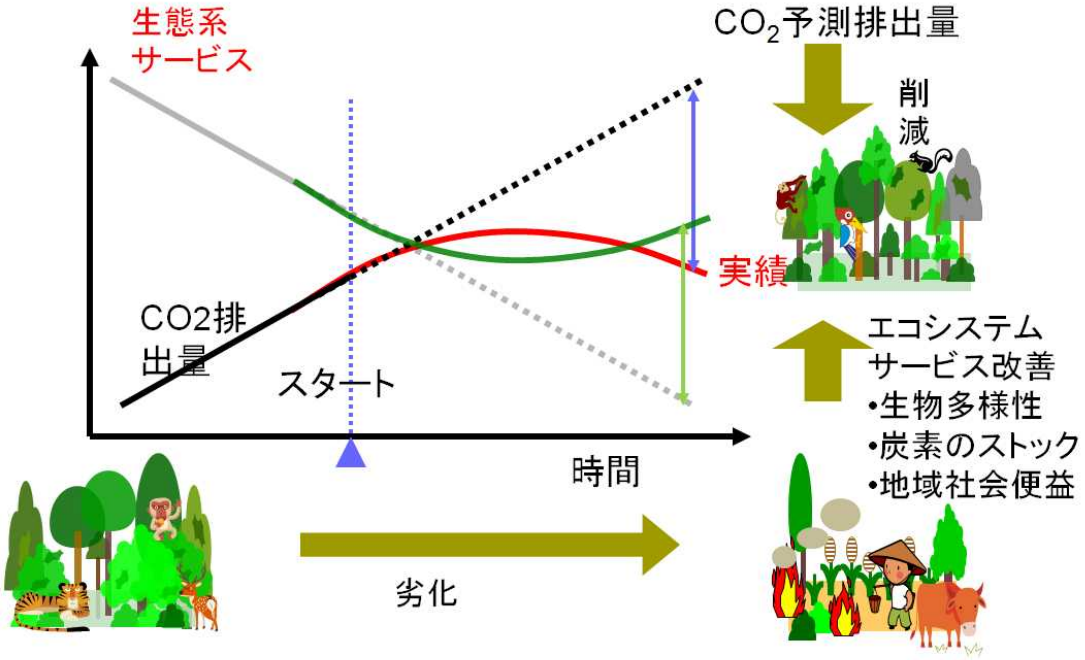
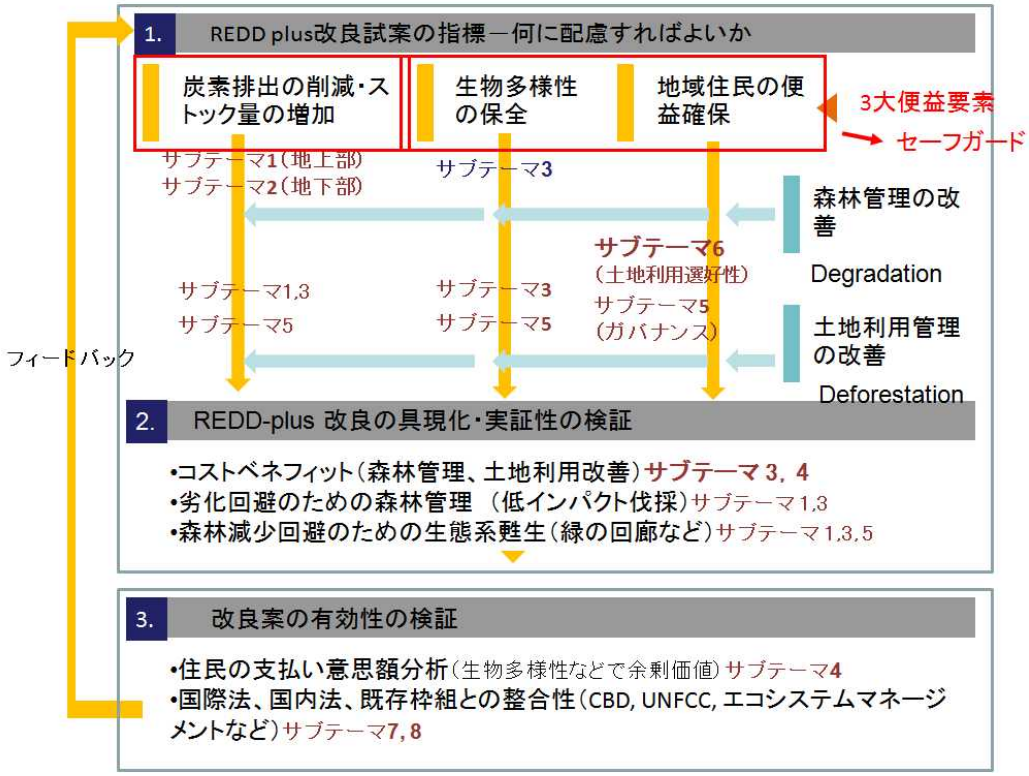
Principal Investigator: Toshinori OKUDA
Institution: Graduate School of Integrated Arts and Sciences, Hiroshima University
1-7-1 Kagamiyama, Higashi-Hiroshima, Hiroshima 739-8521, Japan
+81-82-424-6513, Fax: +81-82-424-7359+
E-mail: okudat-empat@hiroshima-u.ac.jp

Cooperated by: Kagoshima University, National Institute for Environmental Studies, Nippon Fukushi University, Kyoei University, The University of Tokyo, Sophia University, and Tokyo City University

Key Words: Biodiversity, Co-benefit, Carbon stocks, Ecosystem approach, Emission trade, Local communities, Local government participation, Southeast Asian countries, Safeguard, Tropical forests

［Abstract］

With the goal of using REDD+ (Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation+) to explore the possibility of providing social benefits while securing biodiversity and carbon stocks, we studied the potential to improve forest and landuse management in Borneo, Java and peninsular Malaysia. In timber concession areas of peninsular Malaysia, we found that dung beetles, a surrogate of large mammal distribution and habitat use, were much less frequent near logging roads than in closed canopy areas. The density and species composition of small mammal populations (rodents and tupai) also varied as a function of distance from logging roads. Spatiotemporal simulation showed these groups play important roles as seed disperser and bioturbation agents and their absence or low abundance will reduce the regeneration potential of canopy forming species by 30%. We also found that large amounts of CO_2 continued to be released from coarse wood debris and damaged trees more than 5 years after logging. These findings indicate that good forest management, including limiting the density of skid trails and logging roads, are key factors that can prevent forest degradation and limit CO_2 emissions. Nevertheless, economic analysis showed reduced impact logging, which includes securing biodiversity and carbon stocks, does not necessarily conflict with continued timber production. Moreover, we found that general consumers in prospective host and sponsoring countries are willing to pay the additional costs for forest products if ecosystem services are protected.

In contrast to non-sustainable forest management, preventing deforestation caused by landuse changes can be difficult to achieve because strong driving forces encourage logging, such as the high cash value of agricultural products. On the islands of Borneo and Java, we found land use preferences of local people should be considered when introducing the REDD+ program. Collaborative involvement by local communities and governments are also key factors that need to be considered to gain the cooperation of various stakeholders and to meet the local landuse management requirements (e.g. zoning plan). Economically speaking, REDD+ incentives are too low to offset the value of agricultural cropland. However, ecosystem restoration programs such as those establishing a green corridor networking system, buffer zones, and the introduction of "legal compliance" using an international/domestic framework including an ecosystem approach will contribute to mitigating ecosystem degradation and deforestation. Land managers need to base their plans on building win-win relationships for various stakeholders and market sectors (e.g. biodiversity, carbon emissions and natural resource production).

D1005　「生態系サービスからみた森林劣化抑止プログラム(REDD)の改良提案とその実証研究」研究代表機関：広島大学大学院総合科学研究科
課題代表者：奥田敏統