

課題名	E - 4 熱帯域におけるエコシステムマネジメントに関する研究		
課題代表者名	奥田敏統(独立行政法人国立環境研究所 生物圏環境研究領域 熱帯生態系保全研究室、室長)		
研究期間	平成14 - 18年度	合計予算額(予定)	280,039千円(うち16年度 58,711千円)
研究体制	<p>(1) 森林認証制度支援のための生態系指標の開発に関する研究 択伐や土地改変が森林のエコロジカルサービスに及ぼす影響評価及びそのデータベース化に関する研究(独立行政法人国立環境研究所) エコロジカルサービス機能のGIS化に関する研究(独立行政法人国立環境研究所:EFフェロー研究) エコロジカルサービス研究サイトのネットワーク化に関する研究(独立行政法人森林総合研究所) 森林伐採に伴う土壌流出と集水域生態系に与える影響評価に関する研究(独立行政法人国立環境研究所:EFフェロー研究)</p> <p>(2) 多様性評価のためのラピッドアセスメント開発に関する研究 生態系観測のスケールアップ化に関する研究(独立行政法人国立環境研究所、財団法人自然環境研究センター、岐阜大学流域科学研究センター) 熱帯雨林の遺伝的多様性の指標化に関する研究(独立行政法人森林総合研究所) 野生生物の多様性評価のためのラピッドアセスメント開発に関する研究(独立行政法人国立環境研究所:EFフェロー研究)</p> <p>(3) 地域社会における生態系管理へのインセンティブ導入のための基礎研究(国立民族学博物館)</p>		
研究概要	<p>1. 序(研究背景等)</p> <p>熱帯林の減少や劣化の歯止めが掛からない理由として森林が持つ様々な公益機能(エコロジカルサービス)が正当に評価されていないことがあげられる。こうしたなか、森林の価値を社会的に認知し、社会・経済と生態系を調和的に保全するための手法としてエコシステムアプローチが注目されている。この概念を具現化する手段としての“エコシステムマネジメント”では、「生態系から得られる自然資源の持続的管理」を基本理念として掲げ、森林や野生生物のみならず、人間も生態系の一員として捉えることで、経済的、社会的に許容される総合的な資源管理を目指す。さらに、資源管理方針の社会的受容性を高めるために、地域住民の管理方針に対する合意形成や意志決定プロセスへの参加を重要視する。熱帯地域における深刻化する森林減少や生態系の劣化の背景には、社会の貧困や地域間での経済格差、無秩序な開発・施業などがあるため、こうした地域へのエコシステムマネジメントの導入が急がれる。</p> <p>エコシステムマネジメントの実施にあたっては、まず森林生態系の持つサービス機能(=エコロジカルサービス、例えば、物質循環機能、炭素蓄積・吸収機能、木材生産機能、集水域保全機能、文化レクリエーション提供機能など)への理解を深め、それらが地域社会とどのように結びついているかを調べる必要がある。なぜならば、森がもたらす人間社会への恩恵(すなわちエコロジカルサービス)は多様なベクトルとして存在し、かつサービス間の関係が地域社会の利害関係と複雑に絡み合っているからであり、これら一つ一つを紐解いていくことが、地域社会の合意形成を図り、より持続的な資源・環境管理への早道になりうると考えられるからである。さらに熱帯林を抱える多くの開発途上国や地域では依然として自然資源への依存度が高く、中途半端な森林管理の基準や環境指標の設定は、かえって地域社会に混乱を招き無秩序な資源収奪や元来そこで生活基盤を有していた人々の「締め出し」などを引き起こす可能性すらもあるからである。</p> <p>こうした背景により森林資源劣化を念頭に様々なサービス機能と地域社会との融和・調和を目的として、国際的フレームワークによる森林認証制度を利用した森林管理が世界各地で取り入れられはじめているが、熱帯地域では森林生態系や地域社会問題の複雑性が障害となり認証取得例は未だごく僅かである。とは言え、こうした国際フレームワークの推進にあたっては科学的視点からの支援が強く求められており、例えば地元の森林管理者や施業のオペレーターからは森林の状態を評価出来るような基準・指標(Criteria & Indicator)の抽出などに強い期待が掛かっているのも事実である。</p> <p>本課題では科学的な裏付けによる社会・経済 - 生態系の最適な関係実現を究極的目標として、エコシステムサービスの機能の解析及びそれらの総合的評価、得られた評価手法をより広域的エリアに適用するためのスケールアップ技術の開発並びにそのための基準・指標(Criteria & Indicator)抽出、自然資源の収穫・収奪や土地改変に伴う環境リスクの事前評価やゾーニングプランの提唱、合意形成推進のために自然資源と地域社会の関わり合いについての解析を行う(図1)。</p>		

2. 研究目的

- (1) 生態系のサービス機能のデータベース化と総合的評価 E-4(1)
パイロットサイトを選定し、熱帯林が有する炭素蓄積・吸収機能、集水域保全機能、多様性保全機能などの主要なサービス機能を評価するとともに、それらのデータベース構築を行う。また森林管理や土地利用形態の違いによるサービス機能の変動および管理コストやリスクが推定可能な調査方法の確立をはかる。
- (2) 森林管理状態を広域的に評価するためのスケールアップ技術開発 E-4(1) (2)
森林伐採などの攪乱が野生生物の生息や樹木の遺伝的交流キャパシティーなど、生態系の持つ多様なサービス機能に及ぼす影響を森林の三次元構造などから間接的に評価し、広域エリアで森林の保全状態を迅速かつ正確に判読できるような技術開発を行う。空中写真、航空機搭載型捜査式レーザー測距離装置や衛星画像データを利用して、森林三次元構造の外形を評価し、生物多様性保全機能、炭素蓄積機能、集水域保全機能との関係を検討する。
- (3) 自然資源や土地改変に伴うリスクの事前評価や環境ゾーニングのためのシステム開発 E-4(1)
パイロットサイトにおける地形データ、植生データ、土壌データ、社会・経済データを収集しそれらをエコロジカルサービスのGIS(地理情報システム)として統合化する。さらに、森林伐採や土地利用改変に伴う生態系のサービス機能の変化を評価するための対話型のリスクアセスメントツールを開発し、GIS環境の整備を行う。
- (4) 地域社会における自然資源と地域社会の関わり合いについての分析 E-4(3)
森林生態系管理(エコシステムマネージメント)へのインセンティブ導入にあたって、文化人類学的アプローチからマレーシア農村社会や地域住民が熱帯林とどのような関係を切り結んでいるのかを明らかにする。
- (5) エコロジカルサービスの評価手法の標準化・ネットワーク化の推進 E-4(1)
パイロットサイトでの(1)～(4)の手法や成果を踏まえて、森林劣化が進む熱帯地域における荒廃地修復などのプログラムと連携を測る上で想定される問題点や利用可能な情報収集方法などについて検討する。

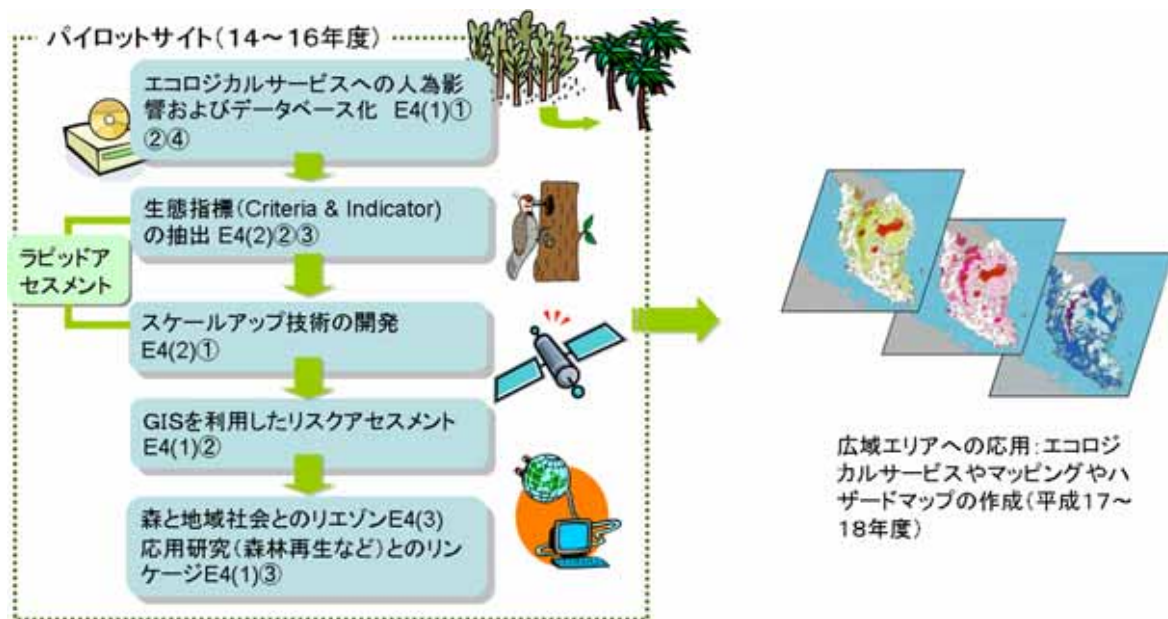


図1. E4課題の全体のフローシート(全体計画と将来計画)。パイロットサイト内での成果をもとにマレーシア全体の広域マップ(エコロジカルサービスの地図化)やハザードマップ(生物多様性の劣化の危険性などが高いエリアの抽出)などの作成へ展開する(17～18年度の計画)。

3. 研究の内容・成果

本研究では半島マレーシアのネグリスンピラン州、パハン州にまたがる $60 \times 60 \text{ km}^2$ の地域をパイロットサイトとして指定し(図2)、その地域を中心に森林が保持する主要なエコロジカルサービスの情報収集や野外調査を行った。約30年前の1976年にはパイロットサイトの約6割が森林であったが、プランテーション農業の発達に伴って森林面積は半減し、現在では天然林、二つの異なる方式により施業された択伐二次林、河畔孤立林、河川、アブラヤシ、ゴムのプランテーション、果樹園、市街、カンポン(村)など、半島マレーシアで普通に見られる主要な景観が広がっている。なお、このような土地利用改変は半島マレーシアの典型的なものである。

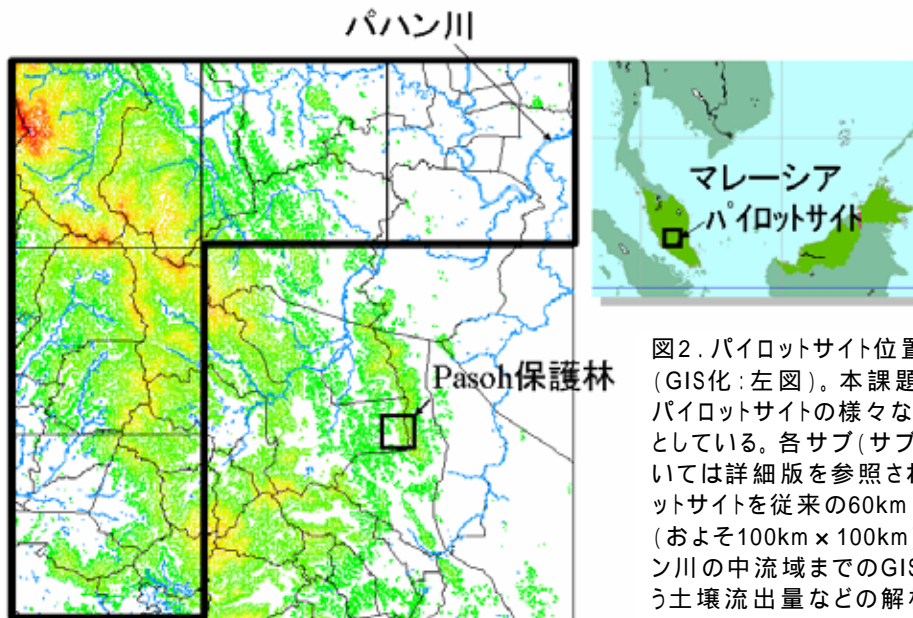


図2. パイロットサイト位置図(右)とサイト内の地理情報(GIS化:左図)。本課題ではパソ森林保護区および、パイロットサイトの様々なランドスケープを共通の調査地としている。各サブ(サブ)テーマ独自の調査サイトについては詳細版を参照されたい。なお、昨年度よりパイロットサイトを従来の60km×60kmのエリアから流域レベル(およそ100km×100km)に拡大し、太平洋へ注ぐパハン川の中流域までのGIS情報を収集・整備し伐採に伴う土壌流出量などの解析やエコロジカルサービスの影響分析などに用いた(E-4(1))。

(1) 森林認証制度支援のための生態系指標の開発に関する研究

択伐や土地改変が森林のエコロジカルサービスに及ぼす影響評価及びそのデータベース化に関する研究
 本研究では、熱帯林の持つ様々なサービスを正確に評価するとともに、それぞれが地域社会とどのように結びついているのかを把握するため、森林の持つ主要な6つのエコロジカルサービス(多様性保全機能、遺伝的多様性保全機能、木材生産機能、集水域保全機能、炭素循環・蓄積機能、および文化・レクリエーション機能)について、人為攪乱が及ぼす影響を整理・把握した。また、多様性保全機能は他のエコロジカルサービスに対して密接に結びつきそれらの基盤となっているという観点から、多様性保全機能の中でも森を健全に更新する上で重要な要素となる野生生物の送粉昆虫および種子散布者としての役割、それらに人為攪乱が及ぼす影響について評価した。その結果、伐採に伴って熱帯林の主要なポリネーターであるハナバチ類の探索高度が変化し、一部の植物の繁殖成功度の低下によって、森林の持つ多様性維持のサービス機能が低下する可能性が示唆された。また、種子散布に関しては、野生生物種の分布に関するデータベースを構築するとともに生息地特性に関する解析を行った。その結果、異なる森林タイプを利用できる野生生物種が森林間の植物種の個体・遺伝子の分散に貢献することが明らかとなったものの、多くの野生生物は天然林以外の森林を利用できず森林伐採や択伐に伴って植物種の分散が抑制されることが明らかとなった。このような人為攪乱に起因した森林の更新に関わる生物種の生態特性や機能の変化は、熱帯林の持つ生物多様性を低下させるだけでなく、他の様々なサービスの持続的な利用の可能性をも低下させることが示唆された。

エコロジカルサービス機能のGIS化に関する研究(EFフェロー研究を含む)

熱帯林生態系のエコロジカルサービス機能を考慮したエコシステムマネージメントを実現することを目標にE-4(1)の研究で整備しているエコロジカルサービスの情報を利用して、ランドスケープ全体の管理手法の開発を行った。現在、エコロジカルサービスの変動や将来的な環境リスクを予測するシミュレーションシステム「エコロジカルサービスGIS」を開発中であるが、平成16年度はこれまでに開発を手がけてきた本システムの汎用性を高めるための改良を行った。さらに本システムのユーザーの裾野を広げることを視野に、インターネットWeb上で解析結果のやり取りが容易に出来るようなシステムの構築に検討を加えた(Web-GISの利用)。これらによりシステムの汎用性を高めることが出来る一方、従来のシステムでは難しかった広い範囲での生態系や地形要因などの特性を考慮に入れたりリスク評価などが可能となった。

一方で、エコロジカルサービスの変動の応用問題としてマレーシア半島部の集水域にパイロットサイトを設置し(図2)、E-4(1) サブテーマと連携を図りながら、土地利用変化による土壌流出などのエコロジカルサービスの劣化やそれに伴う経済的損失額についても分析を行った。その結果、こうした開発シナリオによるエコロジカルサービスの経済価値変化の予測はエコロジカルサービスの範疇をどこまで広げるかにより大きく変動することが分かった。これらのことから、森林から得られるエコロジカルサービスをいくらに査定するかということで開発とのジレンマの解決方法を探るのではなく、むしろエコロジカルサービスが正当に評価されない限りは森林伐採から農地への転換といったドライビングフォースが絶えず働いているという事態を利害関係者・森林管理者がまず認識し、情報共有することで問題解決の糸口が見えてくるのではないかと考えられた。そのためには、本サブテーマで開発中のシミュレーションプログラムは意志決定プロセスの透明化、森林資源などの現況

情報の共有化などを推進する上で重要なツールになりうると考えられた。

エコロジカルサービス研究サイトのネットワーク化に関する研究

エコロジカルサービスに関するデータ(E-4(1))をもとに、実際の熱帯林修復事業(荒廃地植生のリハビリテーション)との連携を行った。まず、植栽樹種の選定のため、パイロットサイト内の天然林で得られた毎木調査データと環境要因(土壌および地形)との対応関係を把握し、天然林性樹木種の生育地特性を把握した。その結果、多くの樹木種が特定の生育地への選好性を持つことが明らかとなった。また、植林予定地の環境条件や植栽樹種の市場価格、地域住民の要望などを考慮して9樹種(地域住民の要望種2種を含む)を選定し、その植栽を行った。なお、植栽活動に参加したのは地元の中学生と地域住民である。植栽後の樹種の生存率を調べたところ極めて高いことがわかった。植栽後、植栽場所にまた立ち返って観察する子供達も見られた。本研究においては、樹種の選定に際して生育地特性のデータ提供のみを行ったが、これまで得られた様々なエコロジカルサービスデータを用いることで、森林認証制度や京都メカニズムの一つである吸収源CDM活動などに対しても有益な支援を行うことができると期待された。

森林伐採に伴う土壌流出と集水域生態系に与える影響評価に関する研究(EFフェロー研究を含む)

パイロットサイト内の集水域において、地理情報システム(GIS)を用いた Universal Soil Loss Equation (USLE)モデルにより、土壌流出量および栄養塩流出量を評価し、森林伐採などの土地利用改変が森林の持つ集水域保全機能に及ぼす影響について分析した。集水域全体からの総土壌流出量は 7.15 mil ton/yr (35.9 ton/ha/yr)と推計され、最も土壌流出量の多い土地利用形態は樹木以外の各種耕作地(477 ton/ha/yr)で、天然林で最も少なかった(12.1 ton/ha/yr)。天然林は集水域面積の約 59%を占めているものの、土壌流出量は集水域全体からの総流出量の 19.7%に過ぎないことがわかった。一方、表層土壌からの栄養塩類の流出についても分析を行ったところ、単位面積あたりの流出量は天然林で最小で、プランテーションなどの農地で最大であった。また、1980年から1990年までの河口における流量と堆積物濃度から計算した堆積物収量は、0.58 ton/ha/yrから6.44 ton/ha/yrの範囲であり、平均は1.52 ton/ha/yrであったのに対し、同時期の堆積物移動率(Sediment delivery ratios: SDR)は0.02から0.18の範囲(平均0.04)であった。これらの結果をもとに、丘陵地の沈降や下流に移動する流水水路において再堆積した土壌の割合を推定した結果、丘陵地から流出した土壌の僅かに4%が最終的に河口に到達し、その多くが河川内に堆積または溶存することが明らかとなった。

(2)多様性評価のためのラピッドアセスメント開発に関する研究

生態系観測のスケールアップ化に関する研究

本研究では、スケールアップ技術の一つとして航空機搭載スキャン型レーザーレンジ距離測器(以下、レーザープロファイラー:LiDAR)を用いて、野生生物の分布を規定する森林の林冠構造や、炭素蓄積機能に関する地上部現存量など、森林の持つ各種のエコロジカルサービス機能を迅速かつ広域で評価するためのシステム(スケールアップ技術)の開発を行った。その結果、以下のことが明らかとなった。

- レーザープロファイラーにより、現地測量や空中写真判読と同程度の精度で地表面高および林冠高を測定できるだけでなく、倒木などによってできたギャップの抽出も可能である。
- レーザープロファイラーを用いて算出した森林の三次元立体構造体積と、現地測量によって得られた森林の地上部現存量との間に高い相関がある。
- 天然林や択伐林など伐採履歴の異なる林分でレーザープロファイラーのデータをもとに森林の構造体体積を求め、地上部現存量を算出したところ、従来の現地測量によって得られた現存量の空間分布と高い一貫性が見られた。

以上のことから、レーザープロファイラーを用いた測量によって、熱帯林における林冠構造や地上部現存量を高精度に把握でき、森林の持つ多様性保全機能や炭素蓄積機能などのエコロジカルサービスを迅速かつ広域に評価できると考えられた。今後、樹木個体数の把握や伐採路の抽出などについても技術開発を行い、森林の持つ木材生産機能の評価などへの応用を試みる予定である。

熱帯雨林の遺伝的多様性の指標化に関する研究

熱帯林における樹木の遺伝的多様性を簡便に評価する手法(ラピッドアセス)の開発を目的に、マレーシアのパソ森林保護区の天然林と択伐林に調査プロットを設置し、毎木調査並びに遺伝解析を行い、択伐による個体密度の低下や土地利用改変に伴う森林面積の減少が遺伝子流動パターンや遺伝的多様性に及ぼす影響を把握した。開発したマイクロサテライトマーカの近縁種への応用を試みた結果、フタバガキ科 *Shorea* 属内であれば、開発したマーカの半数以上が利用可能であることが明らかとなった。これらの遺伝マーカを用いて、フタバガキ科2樹種(*Shorea leprosula*, *S. parvifolia*)を対象に開花個体密度の異なる生り年(一斉開花・結実)に天然林と択伐林で収集した種子および発芽させた実生のDNA解析を行い、択伐が交配様式に及ぼす影響を調査した。その結果、*S. leprosula*の他殖率は天然林と択伐林とで明瞭な差が見られな

ったが、*S. parvifolia*の他殖率は択伐林で低い値を示した。また、断片化した森林の林縁部と林内で*S. leprosula*の遺伝的多様性を比較した結果、林縁部において多様性が減少している可能性が示唆された。また、小動物等による種子の持ち込みは、天然林と二次林とで大きく異なり、個体密度がこの持ち込みに大きく関与していると考えられた。これらのことから親木の個体密度の評価が遺伝的多様性の鍵を握ることが示唆された。

野生生物の多様性評価のためのラピッドアセスメント開発に関する研究

野鳥類や哺乳動物などの野生生物の潜在的な生息環境の状態を、植生環境の空間的構造(例:森林の外形構造や植生の空間的配列)などから推定するような簡易評価手法(ラピッドアセスメント)を開発し、生物多様性の状況を迅速かつ的確に把握できるような態勢を作ることを目的として、マレーシア半島部のパソ保護林を対象に穴掘り鳥(キツツキとゴシキドリ)の生態と森林構造との関係について調査を行った。その結果、調査地に生息する穴掘り鳥によって立ち枯れ木の20%以上に洞が空けられていることが分かった。また、直径の大きなフタバガキの立ち枯れ木が好まれる傾向が明らかになった。さらに一度空けられた洞は同一のキツツキ個体によって反復して利用されることが分かった。穴掘り鳥が空けた洞は他の動物の営巣場所や一時待避場所として利用されることが知られているが、調査地においても大型のフクロウやサイチョウを含む様々な種が穴掘り鳥の洞や天然の洞を巣穴または寝ぐらとして利用している様子が観察された。洞を作り他の動物に生息場所を提供する動物はまさにアンブレラ種であり、森の健全性や生産性、多様性を維持する上で重要な役割をはたしていると考えられるが、一方で、このことは、洞が空けられるような適度なサイズの樹木や枯死木がどれほど森に存在しているかによってもこうした森の状態を押し量ることが出来るということを示唆している。

(3)地域社会における生態系管理へのインセンティブ導入のための基礎研究

パイロットサイト(図2)内に居住する原住民オランアスリは、歴史的にも今日的にも、もっとも森林との関わりが深い民族とされている。このオランアスリ集落の社会構造(森との関わり、生業など)を調査し、マレー系農村集落との比較によって、オランアスリの人々の生業構造や文化・経済・社会構造、森林との関わりを明らかにした。その結果、マレー系農村集落では、都市への人口流入の結果、農村地域社会は高齢化・過疎化し、かつての小農によるゴム栽培というマレー農村の特徴は失われつつあることがわかった。この流れの中で、オランアスリの生業構造は、ロタン採取や樹脂採取など森林に強く依存したもから、かつてのマレー農村を彷彿させるような、家族労働によるゴム・アブラヤシ栽培へと変遷していたことが明らかになった。一方、森林産物採取の占める経済的な役割は小さくなっているが、相対的に文化的意味は比重を増していることも確認された。例えば、散在する残存林で吹き矢による狩猟が行われていることをしばしば観察したが、これらの活動は経済的理由ではなく文化的理由、すなわちオランアスリとしてのアイデンティティ維持のためと考えられた。

今回の調査結果を通じて、エコシステムマネージメントへのインセンティブ導入を図るためにはまず、「森の民」の文化・知識を積極的に活用する政策・制度・環境を整え、健全で自立的な地域社会の形成を促すこと、さらに科学的立場からの支援(文化の保全や伝達方法、情報メディアの提供方法、知識の地域社会での共有方法の検討など)を行うことが、地域社会による森林管理への効果的なアプローチになるのではないかと考えられた。

4. 考察・まとめ

人為攪乱とエコロジカルサービスの変遷(E4(1) ~)

本課題では森林から生み出される資源の利用に際し、生態系の保全を図りながら、かつ経済的・社会的に許容される管理手段形成のための第一歩として、マレーシア半島部にパイロットサイトを設置し、エコシステムサービスに関わる様々な情報並びに基盤となる地理情報を収集しデータベース化した。16年度はパイロットサイトを河川集水域全体を包含する約100 km四方に拡大し、景観スケールでの情報の充実を図った。

パイロットサイト内で土地利用変遷を分析し、それに伴うエコロジカルサービスの変化を評価した結果、生物多様性においては、生息域の断片化や択伐に伴う森林の質の低下によって生物種の種数が減少するだけでなく、森の健全な更新に関わる送粉昆虫や種子散布者の機能(探索レンジや行動圏などの生態特性)にも変化が生じていた。これらは単に森林の持つ多様性保全機能の劣化を意味するだけでなく、動物に種子や花粉散布を頼る植物の更新、さらには様々なサービスの持続的な提供にも影響が出ることが懸念された。

パイロットサイト内での炭素の蓄積量の研究は昨年度より手がけてきたが、新たなデータや分析方法の改良により、サイト内での蓄積量が70年代に比べ約40%近くも減少していることが分かった。植生による炭素の吸収量に関しては、森林のみならず農地(プランテーション)や伐開地などで、土壌呼吸や現存量推移のデータをもとに現在調査・分析を行っているところであるが、オイルパームのプランテーションでは単位時間あたりの吸

収量は天然更新中の若齢林と同程度見込まれるものの、生産性が維持される期間が短い(20~25年で伐期を迎える)こと、並びに現存量そのものが森林と比べて桁外れに小さいこと、さらに伐採後の幹などの用途の用途が未だ立たない(森林からの木材のように建築材や家具などのように炭素プールとしての用途がない)ために伐期を迎えたパームは化学物質による毒殺か伐倒後放置される傾向にあることなどの現状を考えると、オイルパームのプランテーションは炭素プールとしては長期的に見れば殆ど用をなさないものと考えられる。

一方、このような森林伐採や土地利用変遷の歴史的事実を踏まえて、過去に起こった森林伐採による土砂の流出量(E4(1))およびそれに伴うエコロジカルサービスの経済的価値としての損失額の分析や、土地改変を想定したシミュレーション(E4(1))を行った。これらの分析は農地などでの土壌流出算定方法に一部改良を加えたものであるが、こうした計算手法による流出量はキャッチメントなどでの実測値と高い相関があるとされており、今回示したような年間477ton ha⁻¹という土壌流出量は現実に近いものと考えられる。こうしたなか、農地開発のための森林伐採がどれほどのエコロジカルサービスの損失をもたらすかというシミュレーションも行い、1400ヘクタール程度の森林伐採が多大な損失額(US\$4.8×10⁶yr⁻¹)を生み出すことが推定された。しかしながら経済評価による数値はエコロジカルサービスの範疇をどこまで広げるかや単価などによって大きく変動する。そのため、単純な経済評価だけではなく、エコロジカルサービスや開発プロジェクトの評価に際して、プロセスの透明化を図るための工夫((E4(1)))や住民参加を推進するための何らかのメカニズムの導入(E4(3))が必要であると考えられた。

生態系の指標抽出およびスケールアップ技術の開発(ラピッドアセスメント)(E4(2) ~)

森林から得られる様々なサービスの持続的な利用・管理の実現には、その資源量や管理状態を正確かつ迅速に、広域で評価するための手法開発が必要不可欠である。特に森林の持つ多様性保全機能に関しては、その価値の定量化を行う以前の問題として、まず、林冠構造や森林の広がり具合、連続性とそこに生息する野生動物との関連解析を行い、スケールアップに繋げるための基本調査が必要となる。このような観点から、今年度はアンブレラ種として重要な地位を占めているキツキなどの穴掘り鳥に焦点をあて、その生態と樹木に対する営巣場所の選好性などの調査を行った(E4(2))。その結果、パソの森の調査では立ち枯れ木が営巣場所(洞)として非常に重要な意味を持っていることが分かった。従来からの研究で枯損木や立ち枯れ木は動物の繁殖や生息場所となっていることが示唆されていたが、今回の調査で老齢木の多い天然林が生物多様性を維持する上で非常に重要な役割をはたしていることが、あらためて裏付けられた。キツキ類が空けた洞は他の動物の繁殖場所や隠れ家となり、さらに彼らは昆虫などの捕食者としての個体群調節の機能を持つため、森の健全度を推し量る有効な指標になる。このことは一方で枯損木や巨木の密度も動物の生息環境を代弁する重要な指標になりうるということを示唆している。

このことから森林の林冠の三次元構造や林冠高を測定することで、森林の健全度も推定することが出来るのではないかとこの観点に立ち、従来より空中三角測量などをもとに広域での森林構造の再現手法に力を入れてきた。今年度はパソの森および周辺域で航空機搭載型スキャン型レーザー測器(レーザープロファイラー)を利用し、森林の林冠高測定を2.5m間隔グリッドで測定した(E4(2))。従来の空中写真と地上測量で得られた結果と比較したところ、レーザープロファイラーによって林冠の高さが正確に測定出来、伐採履歴の違いによる林冠構造の変化も精度良く再現できることがわかった。すなわちレーザープロファイラーの技術によって、広域での森の構造、引いてはそこに生息する動物にとっての住み心地の良さが推定出来るのではないかと考えられた。これらのことにより、森の指標となる点情報が広域に展開できる可能性が見えてきたと言える。

一方、林冠を構成する樹木の遺伝的多様性とそれに影響を与える要因としての択伐による樹木密度低下との関係を調査してきたが((E4(2))),今年度の調査ではフタガキ科植物では森林伐採によって他殖率が著しく低下するという結果が得られた。他殖率が次世代を形成する稚樹の生存率や、耐性的機能にどのような影響を及ぼすかについては今後の調査を待たねばならないが、これまでの成果により、親木の個体密度が森の遺伝的健全度を推し量る上でキーになりうるということが次第に明らかになってきた。個体密度は、理屈の上では、リモートセンシングで推定可能であり、それによって遺伝的多様性のスケールアップは可能ではあるが、熱帯林のような多種多様な樹木が混成し複雑な林冠を形成している場所では温帯林や人工林のように容易ではない。そのため、今後は熱帯での樹種判定にむけたリモセン技術の開発が急務であると考えられた。

リスク評価のためのツール開発とその応用E(4)

本課題では、土地利用開発に伴うエコロジカルサービスの変遷やリスクなどの経済的損失などがシミュレートできるPCベースの対話型プログラムの開発に取り組んできた。これはE4(1)で得られたエコロジカルサービスに関するデータやスケールアップ技術を応用して得られた面的なデータ(E4(2))をもとに総合的に解析するためのシステムであるが、エコロジカルサービス経済価値の評価だけではなく、たとえば生物多様性のホットスポット抽出や、生態系の劣化スパイラルへの危険度(ハザードマップ)の作成などにも対応が出来るように設計されている。本年度は特に将来的な利用度の拡大を睨んで、プログラムの公開を行うことにより誰でもシステムに手

が加えられるようなシステム構成に改良することを念頭に置いた。さらに従来用いてきた高価なGIS描画ソフトに代えて、誰でもどこでも解析結果が表示出来、情報交換ができるような技術開発を行った(WEB-GISの導入)。実際にこうしたリスク管理システムを利用するユーザーは現地の研究者や森林管理者であり、汎用性を高めるための工夫は必要不可欠である。平成17年度からは広域でのエコロジカルサービスの地図作りに取り組み。そのため、今年度で手がけたシステム改良は、利用者の拡大や地域の状況に応じたシステム作りという点で期待出来る。

森林管理と地域社会とのリエゾンおよびネットワーク化 E-4(3)

環境リスクの評価システムが、地域社会の保全にどのように生かされるかが重要な課題である。たしかに、森林管理のオペレーターとして、収集されてくる生態系に関わるデータをもとに様々なシナリオを作成することは可能であるが、地域住民不在のままではどのような管理ツールやシナリオも意味をなさない。すなわち開発に際しての地域住民の合意を取り付けるといった意味だけではなく、地域の文化を保全しながら、自らが地域の森を保全管理するというインセンティブの醸成がなければ、生態系やそれがもたらすサービス機能を保全したことにはならないからである。こうした背景により本課題では、地域社会とのリエゾン研究として、地域社会と森とがどのような関係を結んできたか、またそれがどのような形で保たれているのかということから手がけてきた。調査地の農村社会での聞き込み調査の結果、従来のマレーの伝統文化や習慣、農村社会の景観維持は、オランアスリといわれる先住民族によって連綿と繋がれていることが明らかになった。都市化と過疎化により多くの社会では森との接点がますます希薄になりつつある。マレーシア社会においてもこの傾向は例外ではなく、従来の農村を支配してきたマレー人達は、農業生産さえからも急速に遠のきつつある。森の崩壊は森林伐採などの物理的なダメージだけではなく、こうした森との接点の減少からも着実に進行する。今回の調査・分析は、森の伝統文化を温存することによる「森との接点」の確保が重要で、そのことが熱帯林の崩壊を食い止める有効な手段になりうるのではないかとすることを如実に物語っている。そのためにはオランアスリ社会が持ち得ている情報の共有とそれを取り込んだ管理システム(例えば、環境リスクの情報ネットワークの形成や林産物収奪警戒システム)の構築が必要ではないかと考えられた。

今後の研究の方向性

パイロットサイトを設置し、その域内でのエコロジカルサービスのデータベース化およびスケールアップ技術、リスクアセスメントツールの開発などまでの一連の流れについては軌道に乗りつつある。また地域社会の状況を把握し、エコシステムマネージメントへ繋げるための手法も少しずつではあるが見えてきた。こうしたなか、今後はマレーシア全体を対象にした生態系サービスの変遷とマッピングへと発展させることを目標に、地元の政府機関やNGOなどを巻き込んだ形での新たな展開を図る。

5. 研究者略歴

課題代表者: 奥田敏統

1956年生まれ、広島大学大学院博士過程終了(理学博士)、現在独立行政法人国立環境研究所生物圏環境研究領域、熱帯生態系保全研究室室長

主要論文

Okuda T., Suzuki M., Numata, S., Yoshida, K., Nishimura, S., Niiyama, K., Adachi N and Manokaran N. Estimation of Tree Above-ground Biomass in a Lowland Dipterocarp Rainforest, by 3-D Photogrammetric Analysis, Forest Ecol and Management 203: 63-75 (2004).

Okuda T., Nor Azman H., Manokaran N., Saw L.Q., Amir H.M.S. and Ashton P.S. Local variation of canopy structure in relation to soils and topography and the implications for species diversity in a rain forest of Peninsular Malaysia. In: Losos E.C. & Leigh E.G. Jr. (Eds.), Forest Diversity and Dynamism: Findings from a network of large-scale tropical forest plots, Univ. Chicago Press, Chicago. Pp. 221-239 (2004).

Hoshizaki K., Niiyama, K., Kimura, K., Yamashita T., Bekku Y., Okuda, T., Quah E.S. and Nur Supardi M.N. Temporal and spatial variation of forest biomass in relation to stand dynamics in a mature, lowland tropical rainforest, Pasoh Forest Reserve, Malaysia Ecol. Res. 19 (vol. 3) 357-363 (2004).

主要参画研究者

(1): 奥田敏統(同上)

奥田敏統(同上)

松本陽介

1953年生まれ、静岡大学農学部林学科卒業、東京大学大学院農学系研究科(林学専攻)博士課

程修了(農学博士)、独立行政法人 森林総合研究所 海外研究領域 海外森林資源保全研究室長を経て現在、独立行政法人 森林総合研究所 海外研究領域長

主要論文

Uemura A, Ishida A, D.J.Tobias, Koike N, and Matsumoto Y. Linkage between seasonal gas exchange and hydraulic acclimation in the top canopy leaves of *Fagus* trees in a mesic forest in Japan. *Trees*. Springer-Verlag, 18:452-459 (2004).

Saito T., Tanaka T., Tanabe H., Matsumoto Y. and Morikawa Y. Variations in transpiration rate and leaf cell turgor maintenance in saplings of deciduous broad-leaved tree species common in cool temperate forests in Japan. *Tree Physiology*, 23:59-66 (2003).

Matsumoto Y., Maruyama Y., Uemura A., Shigenaga H., Okuda S., Harayama H., Kawarasaki S., L.H. Ang and S. K. Yap. Gas exchange and turgor maintenance of tropical tree species in Pasoh Forest Reserve. In Okuda T., Niiyama K., S.C.Thomas and P.S. Ashton (eds.). *Pasoh: Ecology of a Rainforest in South East Asia*, Springer, Tokyo, pp. 241-250 (2003).

奥田敏統(同上)

(2): :奥田敏統(同上)

:津村義彦

1959生まれ、筑波大学大学院農学研究科修了(農学博士)、現在独立行政法人森林総合研究所 森林遺伝研究領域、ゲノム解析研究室長

主要論文

Tsumura Y., Takahashi M., Takahashi T., Tani N., Asuka Y. and N. Tomaru. Forest Management and Conservation Using Microsatellite Markers: The Example of *Fagus*. Pp. 387-398 In: *Molecular Marker Systems in Plant Breeding and Crop Improvement*, Lorz, Horst; Wenzel, Gerhard (Eds.), Springer (2004).

Lee S. L., Tani N., K. K. S. Ng and Tsumura Y. Isolation and characterization of 20 microsatellite loci for an important tropical tree *Shorea leprosula* (Dipterocarpaceae) and their applicability to *S. parvifolia*. *Molecular Ecology Note* 4: 222-225 (2004).

津村義彦 マイクロサテライトマーカーの樹木の遺伝育種研究への利用 日本林学会誌 86:184-190 (2004).

奥田敏統(同上)

(3): 阿部健一

1958生まれ、京都大学農学研究科・博士課程・中途退学 京都大学東南アジア研究センター助手を経て現在、国立民族学博物館・地域研究企画交流センター・助教授

主要論文

Abe K. Bridging Knowledge and Commitment: The Case of Coffee Project in East Timor. In M. Ishii, and J. Siapno(eds.), *Between Knowledge and Commitment Post-Conflict Peace-Building and Reconstruction in Regional Contexts*, JCAS Symposium Series 21, 259-268 (2004).

阿部健一 「谷底から見上げた雲南の山」, 梅棹忠夫・山本紀夫編 『山の世界』岩波書店299-308, (2004)

Abe K. Peat Swamp Forest Development in Indonesia and the Political Ecology of Tropical Forests in Southeast Asia. In LYE Tuck-Po, Wil De Jogn and Abe Ken-ichi(eds.), *The Political Ecology of Tropical Forests in Southeast Asia: Historical Perspectives*, Kyoto Area Studies on Asia, Kyoto University Press & Trans Pacific Press, 133-151(2003).

