

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 - 16年度	合計予算額 (予定)	160,007千円 (うち14年度 53,994千円)

#### 研究体制

##### (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、岐阜大学流域環境研究センター)

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: EFFフェロー研究、日本福祉大学)

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)

##### (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)

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)

##### (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 (独立行政法人国立環境研究所、国立民族学博物館)

#### 研究概要

##### 1. 序 (研究背景等)

森林生態系の持つサービス機能 (= エコロジカルサービス機能、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) 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。そのため、単一的な価値基準による管理手法の導入は、生態系のみならず、それを取り巻く地域の社会環境までも危険な状況に導く可能性すらある。今後、生物多様性条約で提示されているようなエコシステム (生態系) を重視した管理を行うためには、様々な生態系の持つサービス機能を整理・解析しながら、科学的な裏付けによる具体的な管理基準 (評価指標) を設定することが必要不可欠である。そのため、社会が森林を含む様々な生態系から直接、間接的に受けるサービス機能を効率的に評価できる指標作りを行いながら、生態系のサービス機能を効果的に引き出せるような環境管理プログラム (エコシステムマネジメント) の構築が急務であるといえる。

違法伐採や不完全な伐採基準による無秩序な開発・施業が引き起こす熱帯林の荒廃は国際的にも問題となっている。しかし、森林開発を完全に凍結し、保存するようやり方は、森林資源を利用する地域社会にとっては許容される形ではないため、資源の違法収奪が増えるだけの結果になりかねない。そこで、当該地域の森林資源劣化を止めるためには、マーケットによる違法伐採のコントロールや法的整備や地元住民を対象とした健全な森林管理へのインセンティブの導入が効果的であるといえる。エコシステムマネジメントは、「生態系の持続的管理」を基本理念として掲げ、人為的な土地境界や森林・河川・野生生物といった分野を越えた資源管理だけでなく、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探索する。さらに、資源管理方針の社会的受容性を高めるために、管理方針に対する地域住民の合意形成を如何に醸成させるかを重要視する。これらは、現在の熱帯林問題を解決するため、新たな社会と自然の関係を念頭におき、国際的な動きである森林認証制度の基本骨格、すなわち経済・社会・生態系の「両立性」と一致するものである。本研究では科学的な裏付けによる社会 - 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、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解析を行う (図1)。

##### 2. 研究目的

###### (1) 生態系のサービス機能データベース化と総合的評価 E-4(1)

モデルサイトを選定し、熱帯林が有する炭素蓄積・吸収機能、集水域保全機能、多様性保全機能になどの主要なサービス機能着目し、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が異なることによるサービス機能の変動および管理のコストが推定できる調査方法の確立をはかる。

###### (2) 自然資源や土地改変に伴うリスクの事前評価やゾーニングプランの提唱 E-4(1)

モデル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。

(3) 森林の管理状態が広域的なエリア評価できるスケールアップ技術の開発 E-4(2)

森林伐採がもたらす野生生物の生息環境や樹木の遺伝的交流キャパシティーへの影響を森林の三次元構造の変化により間接的に評価し、広域エリアで森林の保全状態が迅速かつ正確に判読できるような技術開発をおこなう。森林構造の外形評価には空中写真、航空機搭載型捜査式レーザー測距離装置、衛星画像などを用いてスケールアップを図り、生物多様性との関係を検討する。

(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)

熱帯林および周辺域の地域住民集団を対象に、森林や樹木がもつ文化的(宗教的)、社会的、経済的な意義が対象地域の社会・経済構造とどのように関わっているかを明らかにする。

(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)

モデルサイトでの(1)~(4)の手法を森林劣化が進む他地域で応用する際の問題点や利用可能な情報収集方法などについて検証する。また別課題(E-3: 荒廃熱帯林のランドスケープレベルでのリハビリテーションに関する研究)との連携を図ることを念頭に、森林再生や断片化した植生パッチの再評価を含めた森林管理のあり方について検討を加える。

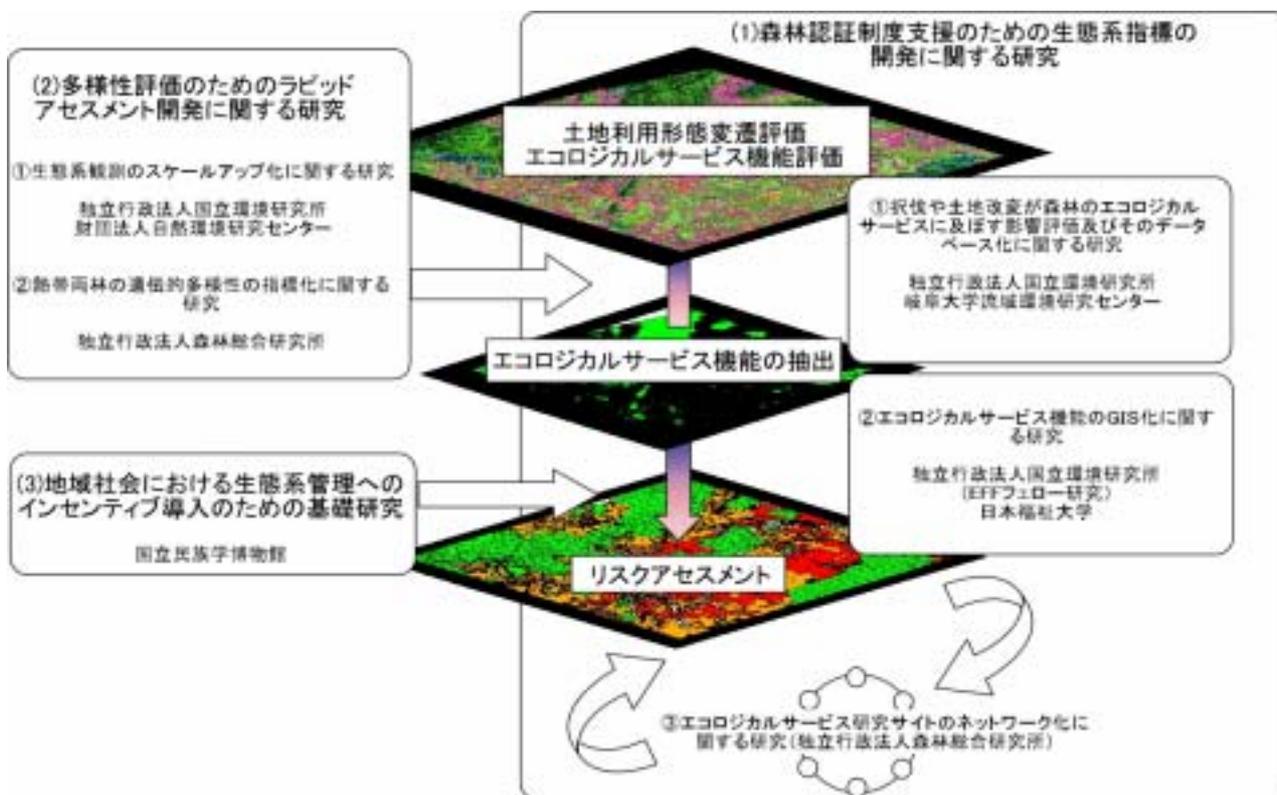


図1. 熱帯域のエコシステムマネジメントに関する研究(E-4)の構成と参画機関。(1)生態系のサービス機能データベース化と総合的評価、(2)自然資源や土地改変に伴うリスクの事前評価やゾーニングプランの提唱、(3)森林の管理状態が広域的なエリア評価できるスケールアップ技術の開発、(4)地域社会における自然資源と地域社会の関わり合いについての分析、(5)エコロジカルサービスの評価手法の標準化・ネットワーク化の推進を総合的に行いながら、資源管理が経済的、社会的に許容され、かつ健全な生態系が同時に成立しうる管理方法を探索する。

### 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ピラン州、パハン州にまたがる60 × 60 km<sup>2</sup> の地域をモデルサイトとして指定し(図2)、その地域の森林が保持する主要なサービス機能の情報収集や野外調査を行った。モデルサイトには天然林、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、カンボン(村)がみられ、半島マレーシアで普通にみられる主要な景観を含んでいた。1996年の段階では、モデルサイト内の約36%が天然林、二次林、低木林などの森林景観であった。

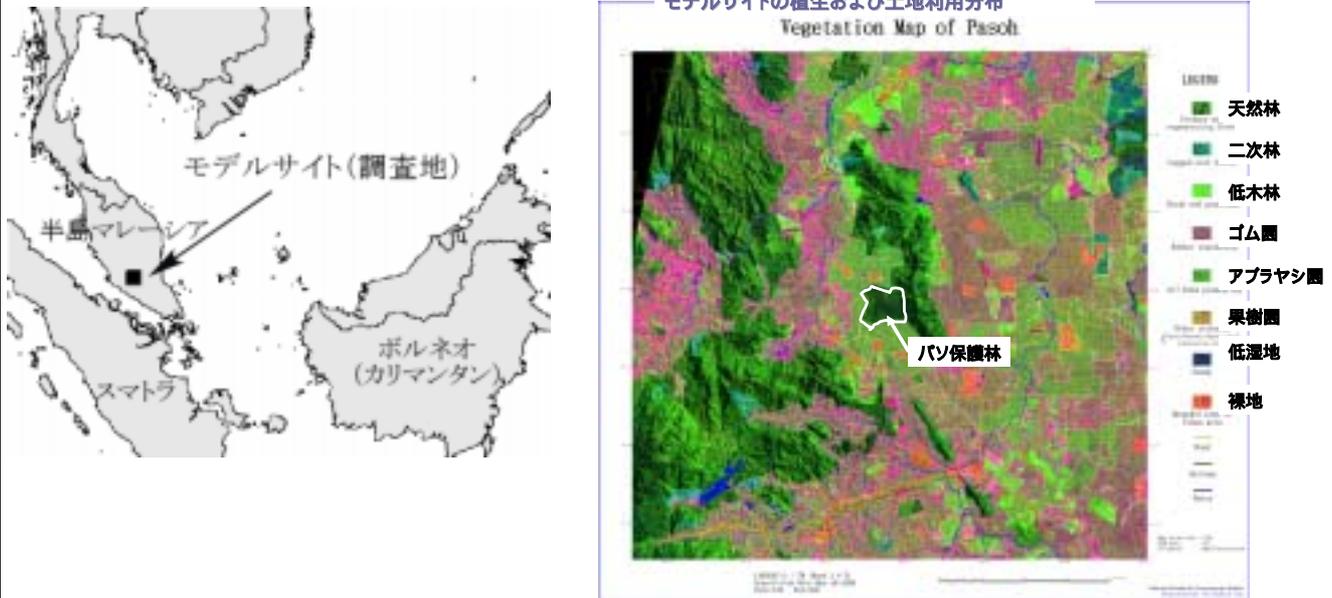


図2. モデルサイトの位置図(左)とサイトモデルサイト内の植生・土地利用図(右)。本課題ではパソ保護林周辺域(60km×60kmのエリア)を共通のモデルサイトとしているが各サブ(サブ)テーマ独自の調査サイトについては詳細版を参照されたい。また、モデルサイト内の植生・土地利用図はランドサットTM画像(1996年撮影)をもとに作成された。

#### (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、モデルサイト内の人為的攪乱強度の異なる(択伐履歴や土地改変の歴史が異なる)森林生態系における多様性保全機能、炭素蓄積・吸収機能、生物生産機能、集水域保全機能、文化保全機能などのエコロジカルサービス機能について情報を収集し、データベース構築を行った。また、人為攪乱が上記のサービス機能に対して与える影響については不十分な項目については現地調査により比較・検討した。

##### A. 生物多様性保全機能:

野生動物の生息環境の評価手法の標準化へ向けて、モデルサイトで植物や哺乳類に関する情報を収集し、データベースを構築した。さらに、現地調査において哺乳類相評価のためカメラトラップ(自動撮影装置による調査)を行った。データベースにより、この地域には約100種類の動物が生息している可能性があり、本カメラトラップ調査により、3種の絶滅危惧種を含む計17種の哺乳類が観察された。パソ保護林においては確認例がほとんどないマレーバクをの生息も確認されただけでなく、周辺域の断片・孤立化した林分でも、二次林適応型のブタオザル、オナガザル(カニクイザル)、イノシシ以外にリーフモンキー、ジャコウネコなどの生息が確認された。そのため、こうした断片型の林分も野生生物の移動通路や採餌活動の場として重要であることが示唆された。一方で、カメラトラップは生息動物の概観情報が迅速かつ安価に得られるという点から哺乳類相評価の上で、非常に有効な手法であると考えられた。

##### B. 生物生産機能:

生物(木材)生産機能として天然林および択伐履歴の異なる林分(択伐直後および伐採後約50年経た二次林)で、立木密度、樹木組成、伐採に伴う非伐採対象木の共倒れ、幹・枝折れ、枯損木の発生調査などを行った。その結果、森林伐採にともなう生物量が天然林と比べて約3割程度減少し、そのうち随伴的生態系の損傷による生物量の低下が全体の2割程度を占めることが明らかとなった。木材資源量とその市場価値の推定を行ったところ、天然林の資源量及び木材市場価値が伐採直後の森林の約8倍程度、さらに伐採後50年を経た二次林のそれらを2倍程度上回ることが明らかになった。

### C. 集水域保全機能の定量化:

モデルサイト内の植生情報、地形情報、土壌情報、土地利用情報を収集した。植生情報、土地利用情報は衛星データ(Landsat TM)を利用した。モデルサイト内の土壌は33タイプに分類された。これらの情報を基に、Universal Soil Loss Equation(USLE)を適用し、森林伐採に伴う土壌浸食量の推定を行った。詳細な解析は別サブテーマ(E-4(1))で行った。

### D. 炭素蓄積・吸収機能:

択伐履歴や土地利用形態の変化が炭素吸収・蓄積機能に与える影響のうち、土壌炭素、呼吸に関する情報は最も不足している。そこで、熱帯ランドスケープレベルでの炭素蓄積・吸収評価をスケールアップする手法について検討を加えるとともに、モデルサイト内の天然林、二次林、アブラヤシのプランテーションを対象に土壌から放出されるCO<sub>2</sub>(土壌呼吸)について現地調査を行った。天然林とヤシ園においては、土壌の炭素・窒素含有率、土壌pHなどの化学的特性に統計学的有意差が認められた。更に、土壌の物理的特性については、天然林とヤシ園の土壌三相の割合や土壌硬度において有意差が認められた。これらの要因として、土地利用形態の変化により地下部の環境が大きく変化したことが考えられる。

### E. 文化保全機能:

森林との結びつきが強い原住民オラン・アスリ(Orang Asli)が利用する非木材製林産物の情報を収集し、データベース構築を行った。その結果、天然林に出現する814種の樹木うち279種が地域の原住民に利用されていた。食料として利用されたものは224種、建築材、工芸品の材料として利用されたものは45種、燃料材として利用されたものは63種、伝統医療品として利用されたものは255種、樹脂、繊維、ゴムなどとして利用されたものは182種、狩猟用の毒として利用されたものは56種、観葉植物として利用されたものは37種、家畜用餌として利用されたものは12種であった。まだ、現在においても利用が続いているものは138種にのぼり、これらの林産物が原住民の持つ伝統文化において大きな役割を担っていると考えられる。

### F. 異なるサービス機能間の関連性解析:

森林のもつ様々なサービス機能を最大限に引き出し森林管理の最適化を図ることを念頭に、多様性と生物生産機能についての関連性について解析を行った。多様性については生態学的な多様性指数(Fisher's)を用い森林バイオマスとの解析を行ったが両者には有意な相関関係はみられなかった。生態学的な多様性指数などは生物の多様性の一面を評価する上で有効であるが、生物相の豊かさを全体を総括的に表すような指標がまだ開発されておらず、今後、他のサービス機能と同様に定量化が可能で、かつ生物の豊かさが総括的に表現できる指標を開発し、それぞれのサービス機能の定量化、標準化を進め、サービス機能間の相互関係を詳細に検討する必要があると考えられた。

### エコロジカルサービス機能のGIS化に関する研究(EFFフェロー研究を含む)

E-4(1) で収集・整備したエコロジカルサービスのデータベース、および新たに収集した植生、地形、社会環境に関するGISをもとに、森林伐採や土地利用改変に伴う生態系のサービス機能や価値の変化が推定できる対話型のリスクアセスメントツール(エコロジカルサービスGIS)の開発を行った(図3)。本ツールおよび収集したGISデータを用いて各土地利用形態の経済的な価値を算出し、その費用便益分析から適正な土地利用モデルに関する解析を行った。

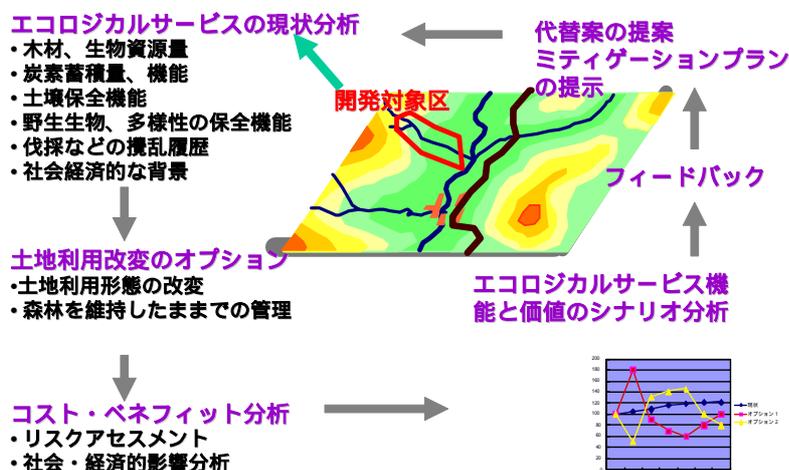


図3. エコロジカルサービスのGIS化によるリスクアセスメントツールの概念図(エコロジカルサービスGISについては詳細版参照)

この土地利用モデルは最も経済的なリスクが低くなる土地利用形態を想定しているため、エコロジカルサービス機能に配慮した、より適性なランドスケープ管理やゾーニングプランが行えると期待された。次に、エコロジカルサービスの価値の中では比較的大きなウェイトを占める炭素蓄積機能の評価については様々な生態系パッチを横断的に評価する必要があるため、能動型衛星画像データ(JERS-1 SAR)のデータを用いて地上部現存量がどの程度把握可能かについてモデルサイト内で解析を行った。その結果、LバンドSARデータは、天然林などの地上部現存量が平均的に高い値を示す場所においても高い精度でその空間的な変化を抽出することが分かった。更に、森林のような無形的な価値を評価するために、土地利用形態の保全・改変に対する地域住民の税金支払い意志額に関するヒアリング調査をもとに、ミックスロジックモデルを採用しコンジョイント分析を行い熱帯林の経済・社会的な価値(存在価値)が社会背景(職業や居住場所など)によってどのように変化しうるかについて解析を行った。これら新たに開発・分析された評価手法については次年度以降順次上記の対話型リスクアセスメントツール(エコロジカルサービスGIS)に組み込んでいく予定である。

#### 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

これまで蓄積されている森林生態系に関する膨大な資料と成果を熱帯林を含めた地域の環境管理や森林再生や修復に対して関連づけを行うことを究極的な目標として、地域保全、自然保護のために行われている調査・研究の情報を収集し、熱帯林の修復を行う必要性が高い候補地の絞り込み作業などを行った。半島マレーシア全体を対象に森林の断片化に関する情報をデジタル化して、GISデータベースを構築した。その結果、半島マレーシアの中央部においてまとまった森林が残存するものの、それ以外の地域では小面積の森林がパッチ状に孤立していることがわかった。森林野生動物の生育地(ハビタット)の断片化は生物の生息・繁殖地の面積減少として直接的な影響を与えるのみならず、個体間の遺伝的交流機会の低下を招くため、断片化した森林の間に森林をつくることは生物多様性保全の観点から有効である。本研究では森林修復プロジェクトを支援する目的で、半島マレーシアにおける断片化した森林(100 km<sup>2</sup>以下及び他の森林パッチから10km以内)を抽出した。更に、データベース上では検出されない河畔林、残存林を考慮し、地形図や衛星画像から評価し、森林間の距離、河畔林、果樹園などの有無や動物の出現頻度などを現地調査により考慮して緑の回廊(コリドー)の具体的な候補地を選定した。このような手法の確立によって熱帯林の減少、劣化の問題に対して効果的な支援を行うことができると期待される。

#### (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、森林管理の評価基準に生態学的根拠に基づき、かつ信頼性の高い生態指標を導入する目的で、レーザー速距離装置による森林評価の技術開発及び、森林構造と野生生物との関連性の解析を行った。はじめに、熱帯林の林冠構造や地上部の現存量やその時空間的動態を航空機搭載型捜査式レーザー測距離装置(レーザープロファイラー)を用いて迅速に把握するシステムづくりを試みた。調査地はマレーシア半島部に分布する熱帯林および森林伐採などを受けた攪乱二次植生、木本生プランテーション(ゴム園)とした。レーザープロファイラーにより撮影された林冠の三次元デジタルデータにフィルタリング処理を行い、伐採後の二次林、ゴムのプランテーションの三次元モデル、および森林の断面図を作成した。その結果、林冠が鬱閉した二次植生においてもレーザー照射によって地表面標高や林冠面の高さの計測が同時に行うことが可能で、樹冠の分布や林内の倒木によって生じた林冠の空隙の大きさなども評価できることがわかった。また、それぞれの植生の林冠構造の特徴がレーザープロファイラー撮影によって、抽出出来ることも明らかになった。

続いて、森林構造に依存するような生物指標を探索するため、異なる履歴をもつ森林を対象に森林構造、林内環境、野生生物との関連性を比較検討した。森林の不均質性を生み出す林冠ギャップの発生頻度は天然林で高頻度であったため、天然林における林内環境の不均質性は二次林と比べて経常的に高いと考えられた。また、エサ、寝床など行動が森林構造に強く依存すると考えられる樹上性、半樹上性霊長類5種を対象に分布、行動調査を行った結果、二次林及び天然林のいずれの森林においても観察された。これらの霊長類は大きな樹木を休息、睡眠の場としていることが観察されたため、今後は詳細な行動追跡により、森林構造との関連性を詳細に検討できると考えられた。一方で、熱帯林の空間構造の変化が花粉媒介者の送粉システムに及ぼす影響を検討するため、複数種植物と共生関係を持つハナバチ類を材料に、人工蜜源を用いた野外実験を行った。その結果、ハナバチ類は種特異的な探索レンジを持ち、特に、(1)ミツバチ類は大型のコロニーを形成するため餌探索範囲の広く、一斉開花に参加する植物の花粉媒介者として重要な役割を果たしていること、(2)ハリナシバチ類は小型のコロニーを形成するため餌探索範囲の狭く、一斉開花に参加しない植物の花粉媒介者として重要な役割を果たしていることが明らかになった。さらに、択伐により突出木が伐採されると、森林の空間構造が単純化し、上層部を利用している大型のハリナシバチの探索レンジが下層に移動するため、小型で競争力の弱いハリナシバチは探索ニッチを失うこと可能性が高いと考えられた。また、ハ

リナシバチ類での競争の激化は、上層・下層共連鎖的なハリナシバチ類とミツバチ類の競争を激化をもたらすため、アジアミツバチの採餌場所からの排除をもたらすだけでなく、突出木を営巣場所として利用するアジアミツバチ及びオオミツバチの密度そのものも低下する可能性が指摘された。これらの送粉システムは樹木の遺伝子流動や遺伝的多様性において大きな役割を担うため、本研究の成果をE-4(2)と組み合わせることで、樹木の遺伝的多様性の指標づくりやその保全に対して提言ができると期待される。

#### 熱帯雨林の遺伝的多様性の指標化に関する研究

森林伐採など人為的攪乱により森林構成種の遺伝的な交流キャパシティがどのような影響を受けるか、またそうした影響がどの程度、森林の構造的要素(林冠構造や個体密度など)によって評価・推定が可能かについて検討を行った。本研究では、マレーシア半島部のパソ保護林の択伐履歴の異なる林分で調査プロット設置し、近年森林伐採により個体群の減少が著しいフタバガキ科の有用木種 *Neobalanocarpus heimii* を対象に、交配距離、自殖率の推定および種子重が発芽率に与える影響の推定を行い、殖個体密度の低い植物の交配距離、交配相手数および近交弱勢の程度を定量化することを試みた。その結果、調査プロット区内における平均交配距離は、開花個体密度によって異なり、高開花密度期に比して低開花密度期での交配距離が有意に長いことがわかった。また、観察された自殖由来の種子個体は実生発芽段階ではその個体数を大幅に減少させることがわかった。さらに、種子サイズを自殖由来種子と他殖由来種子で比較したところ、自殖由来の種子は他殖由来の種子よりも有意に軽く、軽い種子の発芽率は重い種子よりも有意に低かった。この二つの結果より、*N. heimii* には近交弱勢があり、繁殖個体数の減少は本種の集団の維持にとって著しい遺伝的劣化をもたらす可能性が強いことが示唆された。開花個体密度の減少によって交配距離が長くなることは、花粉媒介者の飛翔能力や個体数が制限を受けた場合、こうして遺伝的劣化に拍車がかかることを示唆する。本研究の成果は自立的に更新可能な集団を維持するためには、ある一定数以上の繁殖個体数を維持する必要性を示唆しており、森林管理を行う上で繁殖可能個体数を把握することが重要であることを示している。今後の研究の精度を高め、発展させてゆくためには、(1)高い精度での種同定、(2)樹冠における開花・訪花昆虫・結実過程の観察および試料採取の方法の開発および(3)小径木も含む全ての開花可能個体の位置や個体数の判読が必要とされる。そのため、森林の外形的要素を詳細かつ簡便な方法で評価する技術開発が必要不可欠になるが、これらの点についてはE-4(2) 生態系観測のスケールアップ化に関する研究で同時並行的に進めている。

#### (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

オラン・アスリ(Orang Asli)は、マレーシアにおける少数先住民であり、社会・経済面においてマイノリティである。しかしながら、彼らは多様な森林文化を持つため、森林の文化的機能を踏まえた持続的森林管理を行う上で無視できない存在である。本研究ではオラン・アスリと現在進行中の森林管理手法との関わりを明らかにするため、3つの異なる森林管理形態、国立公園やVJR(Virgin Jungle Reserve)システム、森林認証制度の導入を試みている森林地域を対象にオラン・アスリの森林利用に関する情報を収集し、比較検討を行った。その結果、(1)Taman Negara国立公園では、オラン・アスリが、公園内から「排除」されることによって、生活・社会がどのように変容し、さらに森林とのかかわりにどのような変化が生じているのかが制度問題の焦点となっていた。(2) VJR(Virgin Jungle Reserve)システムの例としたパソ森林保護区近辺では、多くのオラン・アスリは政府の定住政策により、家屋の提供を受け、学校などの社会的インフラが整った状況におかれており、いわゆる「都市化」された状態であった。また、多くが森林にかかわる仕事には従事しているものの、「伝統的」な生活からは乖離したものとなっていた。(3)Belum地域(森林認証制度の利用)のオラン・アスリは、政府の定住政策が行われていたが、主要非木材製林産物のロタンや蜂蜜の採取を行うことで貴重な現金収入源としていた。Belum地域で行われている森林認証制度は生物多様性への配慮や先住民の慣習的な権利の保障などにおいて、多少の問題が発生していたが、様々な機関の間で協力体制を築くことにより一定の効果あげていた。そのため、森林認証制度は様々な機関が協力しながら、木材資源の利用とそれ以外の多様な価値と両立していくための試みを行うきっかけ、すなわち試行錯誤の場としてとらえることができ、熱帯林の持続的な利用を模索するため、本研究のように地域住民に対してインセンティブ導入を目指す研究協力体制が、きわめて重要な役割を果たすと期待された。

#### 4. 考察・まとめ

本課題では森林から生み出される資源の利用を、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、すなわちエコシステムマネージメントの熱帯域での導入をはかる際の問題点や新たな開発手法を探索した。まず、マレーシアのネグリセンピラン州のパソ保護林およびその周辺域の二次植生や農地などを含めた約60km四方のランドスケープをモデルサイトとして設定し、エコロジカルサービス機能のデータ収集

を行いデータベース構築を着手した(E-4(1))。サービス機能のうち、十分なデータが蓄積されていない項目(炭素蓄積・吸収機能)や、定量的な評価そのもののに困難をきたす項目(多様性保全機能)については、新たな現地調査によってデータ補強を図った。グローバルスケールで炭素動態を推定する場合には、熱帯林の炭素フラックス等のピンポイント的なデータを利用することが可能であると考えられる。しかし、土地利用改変にともなう炭素循環への影響を評価するためには、ランドスケープレベル(土地利用形態)毎のデータ取得が必要であり、さらに広域での動態把握のためには空間的スケールアップ技術開発が不可欠である。その意味で土壌からの炭酸ガス放出のパラメータ分析(E-4(1))や航空機搭載型レーザ距離測器による林冠構造の再構築技術の開発(E-4(2))および衛星画像SARによる現存量推定の試みは、熱帯域における炭素蓄積・吸収機能評価のためのスケールアップ技術に対して将来的な見通しをつけたといえる。

多様性保全機能の定量化には何らかの間接的な評価手法を開発・導入する必要があると考えられた。今回は森林の現存量との関係解析を試みたが明瞭な相互関係は得られなかったため、新たな操作実験やモデルによる解析が必要であると考えられた(E-4(1))。一方で、生物多様性評価のための手法作りとしてのカメラトラップシステムは、新たな動物生息の記載が行えたこと、断片化した森林パッチの生息地としての重要性などが示唆されことなどで一定の成果が得られた。これらの成果は野生動物のハビタット解析(GAP解析: Geographical Analysis for Protection of Biodiversity)を行うためのスケールアップ技術の開発(E-4(2))や森林再生技術や緑の回廊設置などの検証(E-4(1) およびE-3課題)へと繋がると思われる。

生物多様性保全機能評価手法のスケールアップについては、広域的森林構造観測データを利用した熱帯林の林冠構造、バイオマス測定データ及び生物多様性の間の関連性とその生態指標作りを進めた。その結果、林冠が鬱閉した二次植生においてもレーザー照射によって地表面標高や林冠面の高さの計測が同時に行え、樹冠の分布や林内の倒木によって生じた林冠の空隙の大きさなども評価できることがわかった。一方で、森林の不均質性を生み出す林冠ギャップの発生頻度は天然林と攪乱を受けた二次林とは大きく異なるため、樹上性霊長類の行動や複数種植物と共生関係を持つハナバチ類に対して何らかの影響を及ぼすことが懸念された(E-4(2))。また、森林構成種の遺伝的交流キャパシティーには、個体密度が大きな要因であり、個体密度の低下により近縁交配や自殖は種子重や発芽率の低下などが近交弱勢として現れることが今回の結果によって明らかとなった(E-4(2))。哺乳類行動、動植物の共生関係、遺伝的多様性と森林構造の判読との間には未だ大きなギャップがあるが、対象種のマッピングやサイズ分析がスペクトル解析などリモートセンシングを応用した技術が開発されれば、大きな進展がみられるものと思われる。今後はこうした技術開発の可能性について検討を加えたい。

森林管理に対し、地域住民のインセンティブ導入することを目的としたE-4(3)では、地域住民と森林の関わりを明らかにするための第一歩として、森林と先住民族の関わり合いについて研究を行った。急激な森林劣化の現状を鑑みれば現時点で森林認証制度の効果、問題点を明確にすることで、随時FSCなどの森林認証制度への評価手法の改善や新たな管理指標の導入などの提言を行うことが望ましいと考えられた。今後は新たな管理手法が開発された時点で、様々な民族に対するヒアリング調査を行いたいと考えている。

上記の研究成果を踏まえながらE-4の成果を集約するツールとして「エコロジカルサービスGIS」の開発を行い、その成果を活用するためのネットワーク化を試みた(E-4(1)、図3)。「森との関わり合い」についての調査結果は「エコロジカルサービスGIS」を利用したリスクアセスメントツールを改良する上で重要な意義を持っていた。そのため、このようなツールは、既存の資料や森林がおかれている状況を透明化するだけでなく、地域住民との合意形成を図る上でも有効であると考えられた。今後はモデルサイトで得られた成果を様々な地域で適用することを視野に入れ、森林修復などを目的とした研究プロジェクトを支援しながら研究を進める予定である。

## 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., Adachi, N., Suzuki, M., Quah, E.S., and Nor Azman H., Manokaran, N. (2003) Effect of Selective Logging on Canopy and Stand Structure in a Lowland Dipterocarp Forest in Peninsular Malaysia, *Forest Ecology and Management*. 175: 297-320

Okuda, T., Suzuki, M., Adachi, N., Yoshida, K., Niiyama, K., Nur Supardi, M. N., Manokaran, N., Mazlan, H., (2003). 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. and Ashton, P.S. (eds.). Pasoh: Ecology of a Rainforest in South East Asia, Springer, Tokyo pp. 15-34.

奥田敏統、吉田圭一郎、足立直樹(2002) 熱帯林のエコロジカルサービスを探る - 生態研究の接点と統合環境管理プロジェクトへ向けて - Tropics 11:193-204

#### 主要参画研究者

(1): 奥田敏統(同上)

奥田敏統(同上)

小林繁男

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

主要論文

Kobayashi S., Turnbull J., Cossalter C. Introduction: Rehabilitation of degraded tropical forest ecosystems. Rehabilitation of Degraded Tropical Forest Ecosystems. Eds. Kobayashi S. et al. CIFOR. 2001. 1-16.

Kobayashi, S. Initial phase of secondary succession in the exploited peat swamp forest (*Shorea albida*) at Sungai Damit, Belait in Brunei Darussalam. Proceedings of the International Symposium on Tropical Peat Lands. Hokkaido University, 2000. 205-214.

Kobayashi, S. Rehabilitation of degraded tropical forest ecosystems towards the sustainable forest management. PNG Bulletin 2000. No.18. 31-41.

(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

Obayashi, K., Y. Tsumura,, T. Ihara-Ujino, K. Niiyama, H. Tanouchi, Y. Suyama, I. Washitani, C.-T. Lee, S. L. Lee and N. Muhammad (2002) Genetic diversity and outcrossing rate between undisturbed and selectively logged forests of *Shorea curtisii* (Dipterocarpaceae) using microsatellite DNA analysis. International Journal of Plant Science 163(1):151 158.

津村義彦(2002)熱帯林の遺伝的多様性と保全 Tropics 11:241-247.

Tsumura, Y., T. Ujino-Ihara, K. Obayashi, A. Konuma and T. Nagamitsu (2003) Mating system and gene flow of dipterocarps revealed by genetic markers. In Okuda T, Niiyama K., Thomas, S. C. and Ashton, P.S. (eds.). Pasoh: Ecology of a Rainforest in South East Asia, Springer, Tokyo pp. 285-292

(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. (2003) Peat swamp forest development in Indonesia and the political Ecology of tropical forests in Southeast Asia, In Abe,K.,Lye,T.P., and de Jong,W(eds.). The political ecology of tropical forests in Southeast Asia: Historical perspectives, Kyoto University Press and Trans Pacific Press, pp 133-151

阿部健一(2001) 森の中から見た熱帯林問題、季刊民族学98,81-96

Abe, K. and Ishii, M (eds.) (2000) Population Movement in Southeast Asia: Changing Identities and Strategies for Survival, JCAS Symposium Series 10, pp272