

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

(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

生物圏環境研究領域 熱帯生態系保全研究室

奥田敏統

沼田真也・吉田圭一郎・西村千

鈴木万里子・沼田真紀子

岐阜大学 流域科学研究センター

小泉博

安立美奈子

平成14～16年度合計予算額(予定) 36,441千円
(うち、平成14年度予算額 12,856千円)

[要旨] 森林に対して求められる機能の中心は、木材生産に関するものであり、かつては森林管理の理論構成は木材生産を機軸としたものであった。しかし、地球的規模の森林破壊、砂漠化、水域の汚染などの背景により、長期資源利用を目指したエコシステムマネジメントに必要性が認識されつつある。本研究は、東南アジア熱帯域の生態系においてエコシステムマネジメントを導入するための第一歩として、異なる履歴をもつ森林が混在するモデルサイトを設け、5つの主要な森林生態系サービス機能(多様性保全機能、炭素吸収、循環機能、木材生産機能、集水域保全機能、文化、レクリエーション機能)について情報を収集し、データベースの構築を行った。さらに、森林伐採や土地改変などの人為攪乱がサービス機能に対して与える影響を評価するため、上記の諸機能を伐採履歴が異なる林分間で比較した。はじめに生物多様性保全機能に関するデータベースの一環として、パソ森林保護区を中心に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。第二に、各森林タイプにおける木材資源量とその市場価値の推定を行い、天然林の資源量及び木材市場価値が択伐林のそれらを2倍程度上回ることを明らかにした。第三に、集水域保全機能を定量化するため、植生情報、地形情報、土壌情報、土地利用情報を収集した。第四に文化、レクリエーション機能として、特に森林との結びつきが強い原住民(Orang Asli)を対象に、彼らが利用する非木材製林産物の情報を収集した。一方で、人為攪乱の影響が強いと考えられる生物多様性保全機能と炭素蓄積機能に及ぼす影響を野外調査にて検討した。動物相評価手法の統一化へ向けて、モデルサイト内にみられる森林を中心に、安価で利用が簡便なカメラトラップを設置し、中型動物相調査を行った。その結果、孤立林を含む様々な森林において、3種の絶滅危惧種を含む計17種の哺乳類が観察された。また、炭素蓄積、吸収機能に関して、土地利用形態の変化が土壌から放出されるCO₂(土壌呼吸)に与える影響を検討し、土地利用形態により地下部の環境が大きく変化していることが明らかになった。

[キーワード] エコロジカルサービス機能、人為攪乱、多様性保全機能、炭素蓄積循環機能、データベース

1. はじめに

人間社会が生態系の諸機能から直接、間接的に受ける恩恵を意味するものとして公益機能(エコロジカルサービス)という言葉が用いられている。森林の持つ機能や自然資源には様々なものがあるが、主要なものとして、多様性保全機能、炭素吸収、循環機能、木材生産機能、集水域保全機能、文化、レクリエーション機能などが挙げられる(表1)。木材などのように生態系から得られる生産物などは公益機能とは区別されることが多いが、先に述べたエコロジカルサービスと併せて”service & goods”と表現されることが多い^{1),2)}。

これまで森林に対して求められる機能の中心は、木材生産に関するものであり、かつては森林管理の理論構成は木材生産を機軸としたものであった。しかし、地球的規模の森林破壊、砂漠化、水域の汚染などの背景により、木材生産以外のサービス機能が注目され、様々な森林生態系の諸機能を最適化するための管理手法、すなわちエコシステムマネジメントの重要性が指摘されるようになった。長期資源利用を目指したエコシステムマネジメントを行うには、科学的な裏付けによる管理基準(評価指標)を設定することが前提であり、そのためには生態系の持つ様々なサービス機能を解析・整理する必要がある。

表1 主な森林のエコロジカルサービス機能

主要なエコロジカルサービス	機能の概要
多様性保全機能	全生物種の半数以上が生息するといわれる熱帯林は、生命体の宝庫であり、また遺伝子の宝庫として知られている。分類が進んでいる木本を例にとると、温帯林に比べて単位面積あたりで10倍以上の木本種が生育し、昆虫などに到ってはその推定すらおぼつかない。また、現在の熱帯林は過去一億年以上の陸上生態系の進化の歴史が残っている唯一の場であるとも言われている。しかしながら、熱帯林の持つ生物多様性はあまりに驚異的であるため、未だなお良くわかっていないのが現状である。
炭素吸収、循環機能	熱帯林の高い炭素吸収能力が注目され、近年の研究では、熱帯地域の森林における年間の純生産量は、陸上生態系における光合成生産量の32%であると言われている。植物の光合成によって吸収された炭素の多くは土壌有機炭素として土壌に蓄えられ、その量は大気保持する炭素の3倍以上、生物が保持する炭素の4倍以上であると見積もられている。一般に、成長期の若齢林は、個々の樹木の成長が著しいために盛んにCO ₂ を吸収すると考えられている。ただし倒木など枯死した木は二酸化炭素を放出するので、老齢木の割合が高い成熟林の二酸化炭素の収支はゼロであると予想される。IPCC(気候変動に関する政府間パネル)の第3次報告書(政策決定者向け要約)によれば、過去20年間の人為的起源による二酸化炭素の大気への排出のうち約3/4は化石燃料のもので、残りの大部分は土地利用の変化、とりわけ森林の減少であるとされ、今後森林の持つ炭素吸収蓄積機能へ対する期待は高まりつつある。
木材生産機能	材木や紙の原料としての木材を供給する機能である(ただし、木材生産機能は生物資源生産機能の一つであるが、森林の持つ公益機能(=エコロジカルサービス)の中には含まれない)。フタバガキ科植物(日本ではラワンとして知られている)は東南アジアの有有用木の大半を占めているが、伐採やプランテーションの開発などにより、天然林は非常に少なくなりつつある。
集水域保全機能 (水・土壌保全機能)	熱帯では短い間に激しい雨が降り、洪水や土壌浸食による災害の原因になる。これまでにマレーシアで行われた先行研究により、森林土壌は強い降雨でも吸い取ってしまう大きな浸透性を持ち、地表には水流がほとんど発生しないため、熱帯林土壌が洪水をやわらげる大きな働きを持つことが示唆されている。この他にも、水質の浄化、土壌流出の防止、山崩れ防止など河川、湖沼、沿岸域などの海域を含めた生態系の保全機能が挙げられる。
文化、レクリエーション機能	熱帯林は様々な文化の源であり、快適な生活環境、芸術、景観保全、自然学習の場など様々な恩恵を提供している。特に、マレーシア、インドネシアなどでは、幾つかの異なる民族が共存する国であり、それぞれの民族が様々な形で森林との関わりを持っているため、森林の文化的、社会的役割は多面的であると考えられる。

2. 研究目的

熱帯域の森林生態系は我々に抱負な資源を提供するだけでなく、豊かな生物多様性を抱え、様々な文化の源であるといえる。しかし、これらのサービス機能は攪乱によって容易に劣化するため、評価を行うにあたってとりわけ注意が必要になる。本研究は、東南アジア熱帯域の生態系においてエコシステムマネーজে

ントを導入するために、最初に必要となるプロセス、すなわち様々なタイプの森林が本来持ち得ているサービス機能を整理することを目的として掲げる。さらに、多くの森林が劣化している現状を踏まえ、森林伐採や土地改変などの人為攪乱がサービス機能に対して与える影響を野外調査により検討する。

3. 研究方法

本研究では半島マレーシア、ネグリスンピラン州、パハン州にまたがる60 × 60 km² の地域をモデルサイトとして指定し、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(図1)。

(1)調査地:モデルサイト

モデルサイトには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、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る。

1996年の段階では、モデルサイト内の約36%が天然林、二次林、低木林などの森林であった。更に、サイト内ではいくつかの異なる伐採履歴を持つ森林が存在した。マレーシアでは木材資源を抽出するため、林分内の特定の樹木を対象に抜き切りする伐採方法(択伐)が行われている。モデルサイトの中心に位置するパソ森林保護区(2°59'N, 102°19'E)は、典型的な低地フタバカキ林の一つである。この保護区は人為攪乱が行われていない天然林、1950年にMalayan Uniform System(MUS)方式で択伐された択伐林に分けることができる³。現在でも長期生物観測用のための生態学プロットが設置され、樹木の分布やサイズ、落葉落枝、種子供給量に加え、日射、気温、湿度、風向風速、雨量、二酸化炭素濃度などの観測が続けられている。パソ森林保護区から西へ6kmのに位置する、セルティン森林保護区もフタバガキ科とマメ科の大木が優占する低地フタバガキ林であるが、1999年よりSelective Management System (SMS)方式により択伐が行われた。そのため、現在も林班内に網目状の伐採道が建設されており、パソ森林保護区の択伐様式とは大きく異なっている。

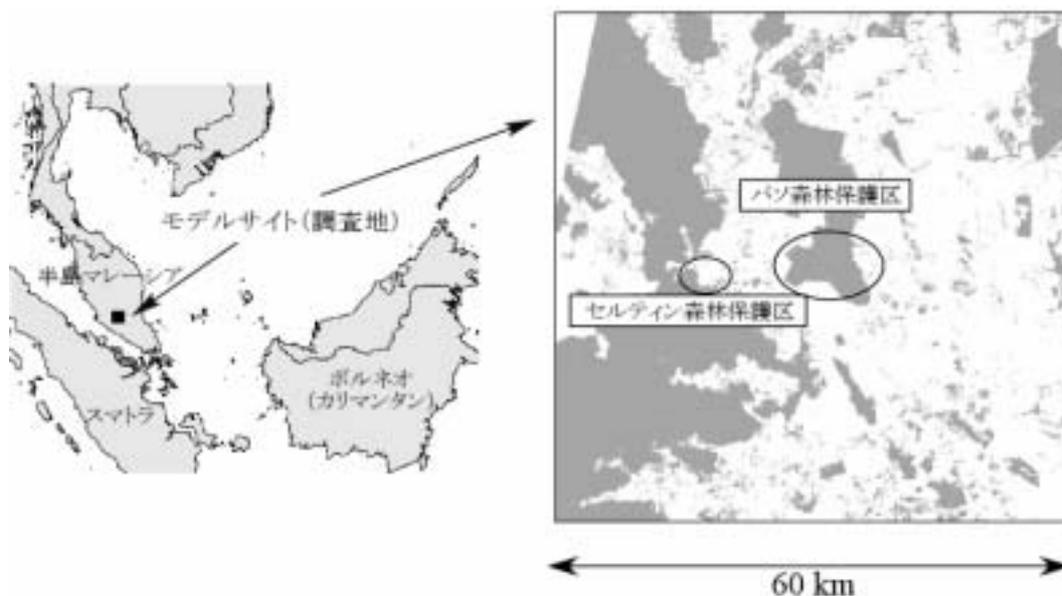


図1 モデルサイトの位置とモデルサイトにおける森林の分布の様子。パソ森林保護区を中心とするモデルサイトは半島マレーシア、ネグリスンピラン州に位置する(左)。モデルサイト内における森林(天然林、二次林、低木林)の分布は灰色で示されている(右)。

(2)エコロジカルサービス(生態系機能)に関する情報整備

本テーマではモデルサイト内の森林に関する5つの主要なサービス機能(多様性保全機能、炭素吸収、循環機能、木材生産機能、集水域保全機能、文化、レクリエーション機能)について情報を収集し、データベース化を行った。特に異なる攪乱履歴をもつ森林の間のサービス機能を比較するため、パゾ森林保護区内の設置した二つの天然林調査区(天然林A、B)、1950年代にMUS方式により伐採を受けた二次林A、パゾからおよそ10Kmほど離れたところに位置する択伐林B(SMS式択伐後5年経過)を中心に、文献調査及び現地調査を行った(表2)。

表2 毎木調査を行っている林分の履歴、面積

森林タイプ	伐採年	伐採強度(本数/ha)	調査面積(ha)
天然林A	-	-	6
天然林B	-	-	50
二次林A(MUS)	1958	5	6
二次林B(SMS)	1999	21	11

(3)エコロジカルサービス(生態系機能) に対して人為攪乱が及ぼす影響

多様性保全機能

ア、樹木多様性:天然林B、択伐林A、において行われた毎木調査データを利用し、樹木の多様性指数と地上部現存量の関係とそれらに対する択伐の影響を検討した。

イ、動物多様性:パゾ森林保護区とその周辺にみられる断片化した森林の哺乳類についても注目し、カメラトラップによる動物相調査を行った。本調査は多様性保全機能を簡便かつ安価な手法で評価する方法を開発することを第一義的な目的としたものである。

炭素吸収、循環機能

炭素蓄積機能において重要な役割をもちながらも、最も情報が少ない土壌炭素動態に関する情報を得るため、モデルサイトの中の主要な土地形態である天然林、二次林、アブラヤシのプランテーションにおいて、土地利用形態の変化が土壌の物理的・化学的特性に及ぼす影響を検討した。調査・測定は、半島マレーシアのパゾ保護林の天然林、二次林およびパゾ保護林に隣接するアブラヤシのプランテーション(ヤシ園)に調査区を設けた。さらに、各調査地に8m×8mのコードラートと2m×2mの精査地を設け、土壌特性に関する項目について調査をおこなった。土壌炭素・窒素量は176cm²(直径7.4cmのチャンバーの面積)×深さ10cmの土壌を採取し、風乾させた後C/Nアナライザー(SIMAZU, Co., C-R6A)により分析を行った。また、天然林と二次林のコードラート内におけるリターに含まれる窒素と炭素含有率、およびC/N比についても調査を行った。土壌pHは、各プロットの表層土壌を100mlの採土管を用いてサンプリングを行い、ポータブルpHメーター(東亜電波工業株式会社、HM-20P)により測定を行った(土壌標準分析・測定法委員会編、1986)。また、2002年10月には土壌呼吸速度を測定後、採土管を用いて土壌を採取して土壌三相の調査および中山式土壌硬度計を用いて土壌硬度の測定を行った。

4. 結果・考察

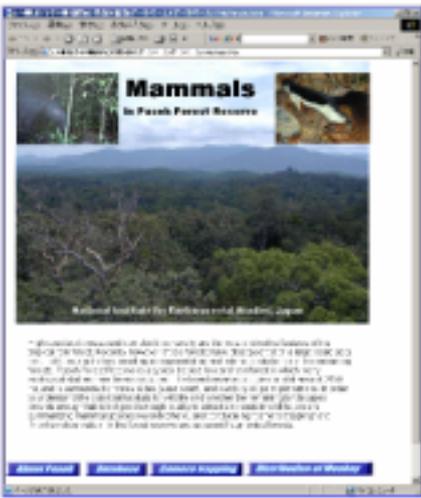
(1)森林のサービス機能(生態系機能)

本テーマではこれまで発表されている文献を利用して、多様性保全機能、炭素吸収、循環機能、木材生産機能、集水域保全機能、文化、レクリエーション機能に関するデータベースを構築した。

生物多様性データベース基本システム

動物

- 分類情報(目、科、属、種名)
- 画像
- 生態情報
 - 生育地
 - IUCNによるステータス
- 参考文献による観察記録
- カメラトラップによる観察記録

植物

- 分類情報(科、属、種名)
- 画像
 - 葉
 - 花
 - 種子
- 生態情報
- 調査区における分布
- 木材資源としての価格

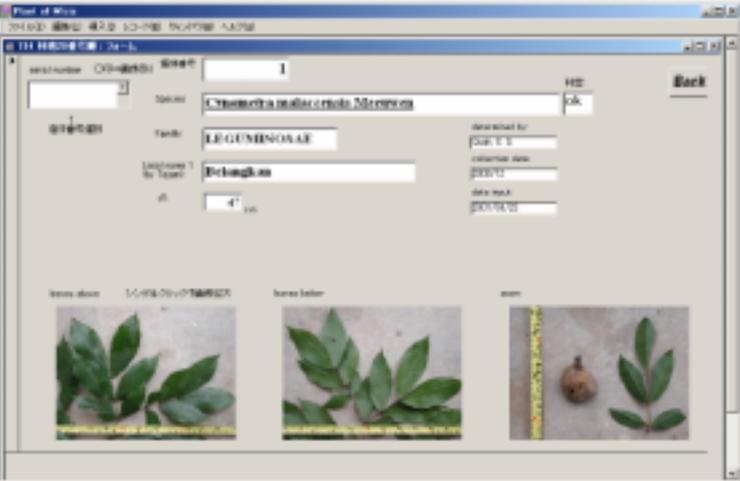


図2 構築したデータベースの例。上は、パソ森林保護区に生育もしくは潜在的に生育している可能性が高い哺乳類の情報をデータベース化したものである。下は調査区で出現する樹木の情報を収集し、データベース化したものである。これらのデータベースにはオプションを設け、調査区内の分布や文献情報へのリンクを設けてある。

多様性保全機能

ア、植物の多様性に関するデータベース

本地域で天然林、択伐をうけた二次林を対象に毎木調査を行い、その林分属性、種構成、サイズ構成、位置に関するデータを収集し、アクセスが容易なデータベースを構築した(図2)。現段階では、調査区に出現する樹種のうち、113種については果実の写真を、31種については花の写真を組み込んだ。更に、フタバガキ科樹種に関しては開花、結実に関する情報も加えた。主なデータベース構築はMS Accessを利用して行き、アクセスを容易にするために、MS Internet Explorerなどのブラウザで閲覧可能なHTML形式によるデータベースへと転換している。本研究で得られた情報は、他のテーマ(例えばE-4(2)など)における基礎

データとして利用されている。

表3 毎木調査を行っている林分の履歴、面積

場所	森林タイプ	調査区面積	データの内容
パソ	天然林A	50ha	1985年、1990年、1995年の毎木直径データおよびマッピングデータ
パソ	天然林B	6ha	1994年、1996年、1998年、2000年の毎木直径データおよびマッピングデータ
パソ	二次林A	6ha	1998年、2000年の毎木直径データおよびマッピングデータ
セルティン	二次林B	11ha	2000年の毎木直径データおよびマッピングデータ

イ、動物の多様性に関するデータベース

パソ森林保護区を中心に哺乳類に関する情報を収集し、データベース化を行った(図2)。データベース構築はMS Accessを利用して行い、アクセスを容易にするため、MS Internet Explorerなどのブラウザで閲覧可能なHTML形式によるデータベースに転換している。得られた情報から、調査地域ではマレーシアに生息する哺乳類の約35%にあたる100種が生息している可能性があることが明らかになった。特に、その中の4種類はIUCN発行のレッドデータブックで絶滅危惧種(Vulnerable)に指定されていたため⁴⁾、パソ森林保護区は絶滅危惧の動物の生息地として重要な役割を担っていることが明らかになった。

炭素吸収、循環機能

先行研究により、地域内の林分における純一次生産量(Net Primary Production : NPP)は天然林Bで、 $8.85 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ 、二次林Aで $11.73 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ と推定されていた。また、生態系純生産量(Net Ecosystem Productivity: NEP)は天然林Bで、 $-1.29 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ 、二次林Aで $1.34 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ と推定されていた。本研究ではさらに異なる択伐履歴を持つ森林の地上部現存量や森林構造に関する情報収集をし、比較を行った(表4)。その結果、二次林Bでは地上部現存量は天然林の90%ほどに回復していたが、二次林Bでは60%程度にとどまっていることが明らかになった。

表4 各森林における炭素蓄積機能の推定

	区画数	地上部現存量 (Mg)	個体密度 (/ha)
天然林A	6	387 ± 7^a	551 ± 17^a
天然林B	50	336 ± 12^{ab}	586 ± 6^a
二次林A(MUS)	6	296 ± 18^b	722 ± 30^b
二次林B(SMS)	9	217 ± 9^c	487 ± 9^c

ANOVA $p < 0.001$, Scheffe's post-hoc testによる多重比較検定

木材生産機能

木材生産機能を評価するため、各森林タイプにおける木材資源量の評価とその市場価値の推定を行った(表5)。それぞれの森林タイプにおける毎木調査データを用いて材積の推定を、保護区を管理するネグリシラン州森林局が提示する標準価格と材積を利用して潜在的な木材価格の算出した。なお、算出において、木材としては扱われない樹種については雑木価格を適用した。その結果、二つの天然林A、Bにおける収穫可能な材積は、価格と同様に二次林Aの2倍近くに、二次林Bの8倍以上であった。二つの天然林A、Bにおける収穫可能な木材の総額は、森林タイプの材積量の違いを反映し、二次林Aの2倍近くに、二次林

Bの8倍以上になっていた。以上から、木材生産機能においては、択伐を受けることによりその木材供給源としての価値は低下し、50年以上経った現在においてもその価値は非伐採林の半分程度しか回復していないことが明らかになった。

表5 各森林における木材生産機能の推定

	区画数 N	収穫可能な材積 m ³	収穫可能な木材の総額 US\$
天然林A	6	189 ± 11 ^a	19,990 ± 1,724 ^a
天然林B	50	145 ± 6 ^a	17,763 ± 949 ^a
二次林A	6	85 ± 12 ^b	9,178 ± 1,737 ^b
二次林B	9	33 ± 5 ^b	2,013 ± 323 ^b

ANOVA p < 0.001, Scheffe's post-hoc testによる多重比較検定

集水域保全機能(水・土壌保全機能)

モデルサイト内に残存する森林の集水域保全機能を定量化するため、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、土壌浸食量の推定を行った。詳細な検討は別テーマ(E-4(1))で行われている。

文化、レクリエーション機能

マレーシアは複合民族国家であり、本モデルサイト内においてもマレー系、中国系、インド系、原住民系の4民族が生活している。本年度は、特に森林との結びつきが強い原住民(Orang Asli)を対象に、森林保護区の天然林調査区内に出現し、かつ彼らが利用する非木材製林産物のデータベース構築を行った⁵⁾。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種ののぼり、これらの林産物が現在の原住民の伝統的な文化において大きな役割を担っていると考えられる。

(2)人為攪乱が森林のサービス機能に及ぼす影響

樹木の多様性に関する考察

各サービス機能間の関係性を検討するには、それぞれの指標の定量化、標準化を進める必要がある。本研究では、第一歩として、樹木の生態学的多様性指数(Fisher's)と森林バイオマスの間に関係を調べた。その結果、天然林、二次林のいずれにおいても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、生物相の豊かさを表すような指標がまだ開発されていない。今後は他のサービス機能と同様に検討可能で、かつ生物多様性の豊かさを評価するのに有効な指標を開発することが必要であると考えられる。

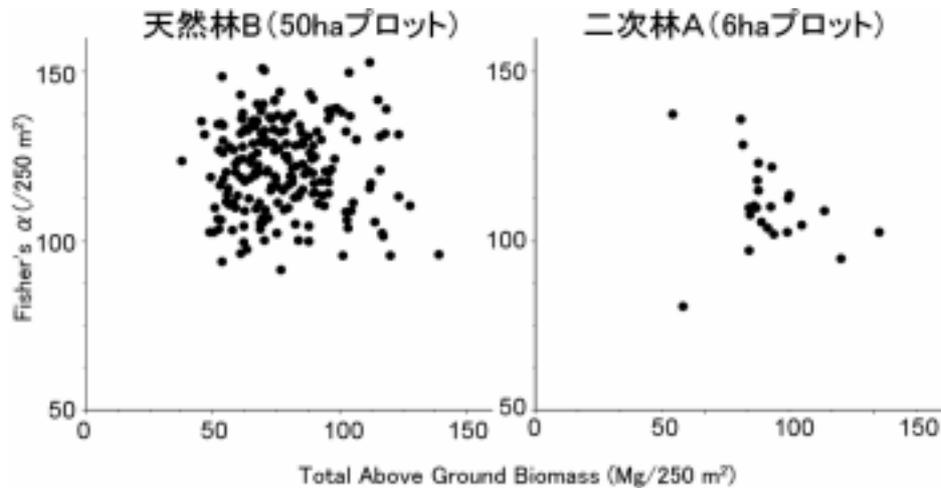


図3 天然林、二次林における生態学的多様度指数(Fisher's α)と地上部現存量(Total Above Ground Biomass)の関係。

動物多様性に関する考察

人為攪乱が動物相に与える影響を評価するため、文献調査及び択伐履歴やサイズが異なる林分でカメラトラップによる哺乳類相調査を行った。その結果、3種の絶滅危惧種を含む計17種の哺乳類が観察され、観察例が非常に希であるマレーバク(*Tapirus indicus*)の生息が確認されたことは特に注目すべき点であった。また、出現動物、頻度の違いにより、保護林はマレーバクなど絶滅の恐れがある動物のハビタットとして重要であるが、人為攪乱を受けた二次林や孤立林も動物のハビタットとして重要であることが示唆された。このカメラトラッピングは扱いが簡便で、取得コストはおよそ30000円/台、ランニングコストは約500円/台/月と比較的安価であり、管理頻度も短くてすむため、哺乳類相評価を広範囲で行うにあたって有効な手法であると考えられた。

炭素吸収、循環機能に関する考察

ア、土壌の化学的特性

土壌中の炭素含有率と窒素含有率は、天然林において2.5%と0.1%、二次林では1.5%と0.1%、ヤシ園では1.5%と0.1%の値を示し、天然林における土壌炭素含有率が統計学的に有意に高い値となった(表6)。この天然林における土壌炭素含有率が高い原因としては、天然林のリターに含まれる炭素の含有率が高かったためだと考えられた(表7)。リターに含まれる炭素の割合は、天然林では39.0%二次林では27.3%となり(表7)、天然林の方が統計学的に有意に高い値を示した(t検定, $p < 0.0001$)。このような土地利用形態の変化は、主に施肥などの人為的影響や、マメ科草本による土壌への窒素固定効果などの影響が考えられる。更に、土壌の酸性度は、天然林では3.8、二次林では4.2、ヤシ園では4.7の値を示し、土地利用形態の違いによって異なっていた。この土壌pHの違いは、土壌微生物の種や多様性に影響を与えるという報告があることから、天然林がヤシ園として利用されることにより土壌微生物の組成が変化している可能性が示唆された。

表6 各調査地の土壌の化学的特性

調査地	土壌窒素含有率 (%)	土壌炭素含有率 (%)	C/N 比	土壌pH(KCl)
天然林	0.20	2.92	14.6	3.79
二次林	0.11	1.70	15.4	4.19
ヤシ園	0.12	1.55	13.1	4.73

表7 天然林と二次林におけるリター中の窒素および炭素含有率

調査地	窒素含有率 (%)	炭素含有率 (%)	C/N 比
天然林	1.19	39.89	33.5
二次林	0.85	28.76	34.2

イ、土壌の物理的特性

表8に2002年10月の各調査地における土壌呼吸速度、土壌三相率および土壌硬度の平均値を示した。土壌呼吸速度は天然林では796mgCO₂m²hr⁻¹、二次林では1176.8 mgCO₂m²hr⁻¹、ヤシ園では561.8 mgCO₂m²hr⁻¹ の値を示し、二次林における土壌呼吸速度は、天然林とヤシ園に比べ統計学的に有意に高い値であった。各調査地における土壌三相の割合は、天然林と二次林では気相率が高く、ヤシ園では固相率が高い割合を示した。ヤシ園の気相率は、天然林の約70%であった。また、ヤシ園の土壌硬度は天然林のおよそ2倍の値を示し、ヤシ園は土壌がより硬くなる傾向を示した。この理由として、ヤシ園では土壌へのリターの供給が少なく、また降雨の影響を地表面が直接受けることなどが考えられる。以上より、土地利用形態の変化が土壌呼吸速度をはじめとする炭素循環にどのように影響するかという評価は、さらに地下部の生物的側面からも検証すべきであり、これは今後の課題である。

表8 各調査地における土壌呼吸速度と土壌の物理的特性

調査地	土壌呼吸速度 (mg CO ₂ m ² hr ⁻¹)	液相率 (%)	固相率 (%)	気相率 (%)	土壌硬度 (mm)
天然林	796.0 c	27.5 c	27.8 a	44.7 a	7.4 a
二次林	1176.8 ac	26.5	35.6 a	37.9 b	11.8 ac
ヤシ園	561.8 a	22.5 c	46.3 a	31.2 ab	14.8 ac

a; P<0.001, b; P<0.01, c; P<0.05

5. 本研究により得られた成果

熱帯域生態系の森林資源の持続的利用と生物多様性などの保全を推進するための一歩として、モデル

サイト内の森林におけるサービス機能の収集を行った。特に、攪乱履歴により分類された森林タイプの違いによりサービス機能がどのように異なるかを検討した。

・択伐による人為攪乱は炭素蓄積循環機能、木材生産機能などを大きく低下させ、その影響は長期間わたって残り続けることが明らかになった。

・生態学的多様性指数 (Fisher's) と森林バイオマス間に有意な相関関係はみられなかった。生態学的な多様度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、生物相の豊かさを表すような指標がまだ開発されていない。今後は他のサービス機能と同様に検討可能で、かつ生物多様性の豊かさを評価するのに有効な指標を開発することが必要である。また、今後はサービス機能を定量化、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。

・森林の哺乳類相評価にはカメラトラップが有効な手法であると考えられた。

・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統計学的有意差が認められた。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主要な要因と考えられるが、これらの変化が土壌呼吸に与える影響については、今後の検証が必要である。

6. 引用文献

- 1) Costanza, R., d' Rago R., de Groot R., Farber, S., Grass, M., Hannon, B., Limburger, K., Name, S., O'Neill, R. V. Paulo, J., Ruskin, R. G. Sutton, P. & van den Belt, M. (1997) The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387: 253-260
- 2) 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: 生態研究の接点と総合環境管理プロジェクトへ向けて *Tropics* 11: 193-204
- 3) Okuda, T., Suzuki, M., Adachi, N., Yoshida, K., Niiyama, K., Nur Supardi, M. N., N. Manokaran & Mazlan H. (2003) Logging history and its impacts on forest structure and species composition in the Pasoh Forest Reserve. p 15-34 *Pasoh: Ecology and Natural History of a Southeast Asian lowland Tropical Rainforest*, in T. Okuda, N. Manokaran, Y. Matsumoto, K. Niiyama, S. C. Thomas, P. S. Ashton (eds), Springer, Tokyo
- 4) IUCN (International Union for Conservation of Nature and Natural Resources) (2000) 2000 IUCN red list of threatened species. Compiled by C. Hilton-Taylor. IUCN The World Conservation Union, Gland, Switzerland
- 5) Lim H. F., and J. Ismail. (1994). The use of non-timber products in Pasoh Forest Reserve, Malaysia. Forest Research Institute Malaysia, Kuala Lumpur.

7. 国際共同研究等の状況

この研究はすべてマレーシア森林研究所との共同研究により行なわれた。

カウンタパート: Nur Supardi Md. Noor, Wan Rasidah Wan Abdul Kadir (マレーシア森林研究所)、Mazlan Hashim (マレーシア工科大学)

8. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表(学術誌・書籍)

<学術誌(査読あり)>

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

安立美奈子、奥田敏統、小泉博(2002)最近の研究から見えてきた熱帯林の炭素循環像 Tropics 11: 221-230.

Bekku, S. Y., T. Nakatsubo, A. Kume, M. Adachi, H. Koizumi (2003) Effect of warming on the temperature dependence of soil respiration rate in arctic, temperate and tropical soils. Applied Soil Ecology 22: 205-210.

Okuda, T., Adachi, N. Suzuki, M., Quah, E.S. and 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.

Yasuda, Y., Ohtani, Y., Watanabe, T., Okano, M., Yokota, T., Lian, N., Tang, Y., Abd. Rahim Nik Tani, M., Okuda, T. (2003) Measurement of CO₂ flux above a tropical rain forest at Pasoh in Peninsular Malaysia. Agric. Forest Meteorology 114: 235-244.

Ashton, P. S., Okuda T. Manokaran, N. (2003). History in ecological studies in Pasoh Forest Reserve. 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. 1-13.

Numata, S., Kachi, N., Okuda T. and Manokaran, N. (2003) Leaf herbivory and defenses of dipterocarp seedlings in Pasoh Forest Reserve. In Okuda T, Niiyama K., Thomas, S. C. and Ashton, P.S. (eds.). Pasoh: Ecology of a Rainforest in South East Asia, Springer, Tokyo, 413-420 .

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.

Okuda, T. and Ashton. P. S. (2003). Long-term outlook for research on sustainable management of tropical forests. 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. 569-584.

Osada, N., Takeda, H., Furukawa, A., Okuda, T. and Awang, M. (2003). Leaf phenology of a small stand of Pasoh Forest Reserve. 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. 111-121.

Osawa, N. and Okuda. T. (2003) The community structure of herbivorous insects on tropical seedlings. 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. 413-420.

Tang, Y., Okuda, T., Tani, M., Manokaran, N., Awang, M., and Rahim, A.N., (2003) Sun fleck contribution to leaf carbon gain in *Shorea macrophylla* grown in a gap and the understory of a tropical secondary forest. In Okuda T, Niiyama K., Thomas, S. C. and Ashton, P.S. (eds.). Pasoh: Ecology of a Rainforest in South East Asia, Springer, Tokyo, 495-505.

Yamada, T. Okuda, T. and Manokaran, N. (2003). Microhabitat preferences of two sympatric Scaphium species in a 50-ha plot in the Pasoh Forest Reserve (Malaysia) 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. 137-148.

Yasuda, M. Ishii, N., Okuda, T. and H. Nor Azman. (2003). Small mammal communities at Pasoh. 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. 533-546.

Yamashita, T. Kasuya, N. W. Rashidah, K. Abdul, S. W. Chik, Q.E. Quah, and Okuda, T. (2003). Soil and belowground characteristics of Pasoh Forest Reserve. 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.

89-109.

Numata, S., Yasuda, M., Okuda, T., Kachi, N., & Nur Supardi, M. N. (in press) Temporal and spatial patterns of mass flowerings on the Malay Peninsula. *American Journal of Botany*

<学術誌(査読なし)>

Hashim, M., Okuda, T., Yoshida, K., Numata, S., and Nishimura, S. Biomass estimates from remote sensing. International Symposium for the Global Environment and Forest Management, Nara, January 2003

Numata, S., Okuda, T., Sugimoto, T., Nishimura, S., Yoshida, K., and Nur Supardi M. N. (in press) Effects of human impacts on biodiversity of tropical rain forests. Proceedings of International Symposium for Global Environment and Forest Management.

Okuda, T., Numata, S., Nishimura, S., Yoshida, K. Hashim, M. (2003) Ecosystem management approach in tropics - towards sustainable use of natural resources and valuation of ecosystem service and goods of forest ecosystems. International Symposium for the Global Environment and Forest Management, Nara, January 2003

<報告書類等>

なし

(2) 口頭発表

Yasuda, M., Okuda, T., and Nor Azman Hussein (2002) Predation of dipterocarps' fruits by vertebrates: Predator satiation in two masting events in Peninsular Malaysia. Proceedings of the VIII International Congress of Ecology, Seoul, Korea (August 11-18, 2002), p. 292.

Okuda, T., Numata, S., Nishimura, S., Yoshida, K. Hashim, M. (2003) Ecosystem management approach in tropics - towards sustainable use of natural resources and valuation of ecosystem service and goods of forest ecosystems. The International Symposium on Global Environment and Forest Management, Nara Womens University, Nara.

Hashim, M., Okuda, T., Yoshida, K., Numata, S., and Nishimura, S. Biomass estimates from remote sensing. International Symposium for the Global Environment and Forest Management. Nara, January 2003

Numata, S. Effects of human impacts on biodiversity of tropical rain forests. International Symposium for the Global Environment and Forest Management. Nara, January 2003

Okuda, T. (2003) Integrated Ecosystem Assessment - towards sustainable natural resource use and management in tropics. The International Workshop on the Landscape Level Rehabilitation of Degraded Tropical Forests, Forestry and Forest Product Research Institute, Tsukuba, Japan.

三島 和恵, 西田 顕郎, 山本 晋, 三枝 信子, 奥田 敏統, Md. Noor Nur Supardi, 谷 誠 (2003) 東アジアのフラックスタワーにおけるBiome-BGCモデルの検証 (英語) Validation of Biome-BGC model at flux towers in East Asia 地球惑星科学合同大会

奥田敏統(2003). 熱帯林 - 持続可能な森林管理をめざして -. 国立環境研究所友の会セミナー 東京

安立美奈子, 別宮有紀子, Wan RAshidah, 奥田敏統, 小泉博 (2003) マレーシア・パソ地域における熱帯林とヤシ園の土壌呼吸量の比較. 日本生態学会第50会大会 つくば.

鈴木亮, 沼田真也, 奥田敏統, 可知直毅 (2003) マレーシア熱帯雨林における樹種間の空間分布パターンの解析 日本生態学会第50会大会 つくば.

内藤洋子, 小沼明弘, 沼田真也, 西村千, 津村義彦, 奥田敏統, Lee, S.L., Norwati, M., 神崎護, 太田誠一 (2003) *Shorea acuminata* (フタバガキ科) における繁殖生態開花個体密度と食害が結果率に及ぼす影響. 日本生態学会第50会大会 つくば.

西村千, 小沼明弘, 沼田真也, 内藤洋子, 奥田敏統 人為攪乱がサラノキ属の開花に及ぼす影響 - 2001年と2002年に観察した開花が示唆すること - 日本生態学会第50会大会 つくば.

沼田真也,安田雅俊,奥田敏統,西村千,吉田圭一郎,松本淳,宮崎千尋,可知直毅,Nur Supardi Md. Noor(2003)マレー半島におけるフタバガキの一斉開花:今後の予測へ向けて日本生態学会第50会大会 つくば.

西村千、奥田敏統 (2002) 択伐がもたらす林分構造と立地環境への攪乱の程度 第113回日本林学会 新潟大 2002年4月3日(ポスター発表)

吉田圭一郎、奥田敏統、足立直樹、Hashim, M. Bonkik, M.エコロジカルサービスの評価に基づいた熱帯林生態系の保全(2003)日本地理学会年度春季学術大会,東京大学.2003年3月

Adachi, M. Bekku, Y. Rashidah, W. Okuda,T., Koizumi, H. (2003) Spatial variation of soil respiration rate in tropical rain forest and agroforest in Malaysia, SEB (Society of Experimental Biology) annual main meeting, April 2003 in Southampton.

(4)受賞等

なし

(5)一般への公表・報道等

なし

9. 成果の政策的な寄与・貢献について

我が国のように京都議定書で課せられた温室効果ガス削減目標ができない国や地域において、温暖化吸収源対策としてCDM(Clean Development Mechanism)が脚光を浴びつつある。ところが性質上CDMなどの排出権クレジットと、生態系を重視した森林の持続的管理は相容れないものであるため、熱帯地域での事業の展開は生態系のさらなる崩壊と地域社会の混乱を招く危険すらある。本研究の成果を通じて将来の森林管理においてこのような認識のずれを修正することが可能になる。また、国際会議などの開催により、両立場の認識の場の提供、調停、ガイドラインの作成を行い、将来の森林管理においてイニシアチブをとるが可能であると期待される。また、IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)、LULUCF(Land Use, Land Use Change and Forestry)のグッドプラクティスガイダンスに対して、情報提供を行った。