

## 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

① 伐採や土地利用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  
 (現広島大学大学院総合科学研究科)  
 沼田真也・吉田圭一郎・鈴木万里子  
 近藤俊明

<研究協力者>

財団法人自然環境センター 西村 千  
 京都大学大学院農学研究科 大澤直哉

平成 14～18 年度合計予算額 60,634 千円  
 (うち、平成 18 年度合計予算額 12,174 千円)

[要旨] 本サブサブテーマではマレーシアの半島部パソ保護林の周辺域の様々な生態系や土地利用がみられるエリアをパイロットサイトとして設定し、熱帯林の持つエコロジカルサービス(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)について現地調査を行った。その一方で、商業伐採や農地開発などの人為攪乱がエコロジカルサービスに及ぼす影響を調査した。その結果、商業伐採により、多くの枯損木が発生しその大部分が未利用のまま大気中に炭酸ガスとして放出される可能性があること、また択伐とはいえ森林伐採後は CO<sub>2</sub> 以外の温室効果ガス (N<sub>2</sub>O、CH<sub>4</sub>) などが土壌から大量に放出されること、森林伐採や農地開発に伴う土壌流亡はそれぞれの土地利用形態が続く限り天然林として維持されている場合よりも数倍～数十倍に至ること、一方で森林伐採はハナバチなど花粉媒介者として重要な役割を果たす昆虫相の組成、種間順位などを変えてしまうほどの大きな影響になりうること、花粉媒介者ではアザミウマ以外にもこれらの昆虫を捕食する昆虫相もまた重要な役割をはたしており、昆虫相の中での食物連鎖の維持もまた森林の更新に重要な役割をはたしていること、一方で森林と深く関わっているとされるオランアスリーとよばれる人たちも近年、森への依存度や伝統的に培ってきた“森の文化”が急速に薄れつつあることが明らかになってきた。森林伐採という行為が森の微小な関係に始まり地域社会と森との関わりをいたるまで連鎖的に影響を及ぼし、エコロジカルサービスの劣化に拍車を掛けることが浮き彫りになった。また、本サブサブテーマでは他のサブテーマの支援を行う目的でエコロジカルサービスのデータベース化なども行った。

[キーワード] エコロジカルサービス、多様性保全機能、ポリネーション、一斉開花、人為改変

## 1. はじめに

東南アジア地域の熱帯林は、**Mega-diversity** と呼ばれるほどの高い生物多様性を育む豊かな生態系であるが、商業伐採や市街地化およびゴム園・オイルパームプランテーションなどに代表される農地への転換によって森林は荒廃し、その面積は今なお減少を続けている。このような希少な生態系の減少に歯止めが掛からない背景には、東南アジア諸国における工業化の遅れや自然資源に対する高い依存度がある。

「エコシステムマネジメント」は、このような社会経済活動と自然環境保全の相反する 2 つの側面の調和を目指し、生態系の持続的な利用や管理を基本理念に掲げるものであるが、その実現においてはまず、生態系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の評価が必要不可欠である。

エコロジカルサービスとは、生態系やその機能のうち、人間社会に利益・恩恵をもたらす公益機能のことであり、森林が持つ木材を生産する機能や、水を浄化させる機能、また温室効果ガスの一つである二酸化炭素を吸収する機能など、生態系の持つ様々な機能がこれにあたる。世界の野生生物生息地や生態系を評価する目的で 2001 年に国連の主導によって提唱された国際プロジェクト「ミレニアム生態系アセスメント<sup>1)</sup>」では、これらのエコロジカルサービスを①食料や燃料など、生態系が生産・提供する物質的利益(物質提供サービス:provisioning service)、②気候の調整や洪水の制御など、生態系プロセスの制御によって得られる利益(調節的サービス:regulating service)、③教育やレクリエーションおよび精神性など、生態系から得られる非物質的利益(文化的サービス:cultural service)、そして④生物多様性に代表されるような、様々なエコロジカルサービスの持続的な提供に必要な基礎的サービス(維持・持続サービス:supporting service)の大きく 4 つに分類し、生物多様性の減少や生態系の破壊に伴って約 60%にのぼるエコロジカルサービスが劣化してきていることや、これらのエコロジカルサービスが今後 50 年間でさらに劣化することを予測している。

これら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と複雑に絡み合っているため、エコシステムマネジメントの実現には、まず生態系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必要がある。さらに、生態系から得られるサービスは個々の生物種の生態系における働きや相互作用によって生じるため、科学的裏付けに基づく管理基準の策定には、これまで独立的に扱われてきた生物多様性をはじめとするエコロジカルサービス間の相互関係を明らかにすることが必要不可欠である。

## 2. 研究目的

熱帯域の森林生態系は我々に豊富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。本サブテーマの研究目的はパイロットサイト内でのエコロジカルサービス(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)をまとめる一方で(データベース化)、本サイト内で起こった様々な人為による攪乱の整理及び生物多様性を中心としたエコロジカルサービスの変遷を分析することとした。

## 3. 研究方法

### (1) 調査対象地

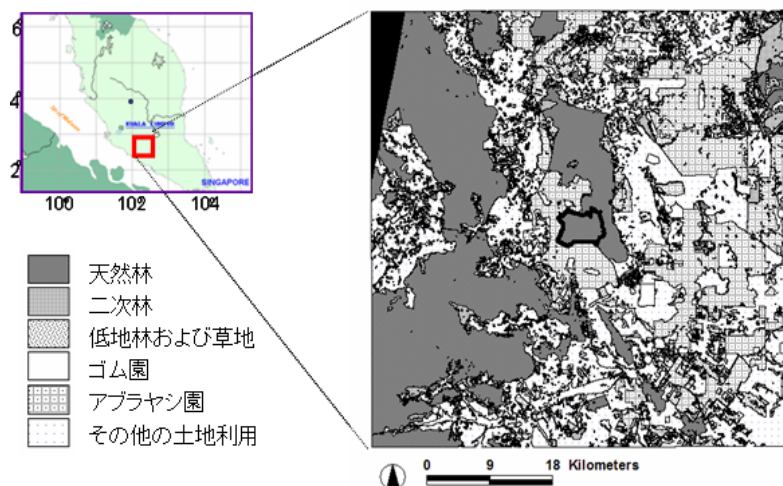


図1 調査対象地:パイロットサイトにおける土地利用(右図)。右図の太枠内がパソ森林保護区

マレーシア半島、ネグリセンビラン州のパソ森林保護区を含む  $60 \times 60 \text{ km}^2$  の地域をパイロットサイトとし(図1)パイロットサイト内での1970年代～1990年代後半にかけての土地利用変化、択伐や土地利用改変などの人為攪乱が森林の持つ各種のエコロジカルサービスに及ぼす影響について調査分析した。また、パイロット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、パイロットサイト内の約36%が天然林、二次林、低木林などの森林であった。このような土地利用改変はマレーシア半島の定型的なものである。パイロットサイトの中心に位置するパソ森林保護区( $2^{\circ}59'N$ ,  $102^{\circ}19'E$ )は、典型的な低地フタバカキ林の一つであり、古くから学術研究が行われてきた。1970年代、日本、マレーシア、イギリスの研究機関などによる国際生物学事業(IBP)が実施された。その後も1985年より、アメリカのスミソニアン研究所とマレーシア森林研究所が主体となって保護区内に50ヘクタール調査区が設置され、5年に一度、調査区内の樹木について、直径計測やマッピングが行われている。多くの生物に関する情報はこの地域で得られている。

## (2) 森林の持つエコロジカルサービスの評価および人為攪乱の影響

森林の持つエコロジカルサービスのうち、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パイロットサイト内で、その評価を行うための基礎データを収集し、択伐や土地利用改変などの人為攪乱によってそれぞれのエコロジカルサービスがどのように変化したかについて調査をおこなった。特に多様性保全機能は食料や木材、燃料、薬品など人間社会に物質的な利益を提供するだけでなく(物質提供サービス: provisioning service)、教育や芸術、宗教や呪術などの文化的サービス(cultural service)、さらに、生態系が持つ水を浄化し貯蓄する機能や温室効果ガスの一つである二酸化炭素を吸収する機能(調節的サービス: regulating service)等に対して基盤を形成する機能を有する。つまり、生態系の持つ多様性保全機能は様々なエコロジカルサービスの持続的な提供に必要な基礎的サービス(維持・持続サービス: supporting service)であると言える。こうしたことから、とくに多様性保全機能に関しては、森林の更新に関わる野生生物(送粉昆虫および種子散布者)に着目して森林の持つ多様性保全機能を評価するとともに、個々の生物種の生態的特性や生態系における機能を把握し、

人為攪乱が及ぼす影響について分析を行った。具体的には以下のような調査方法に基づいた。

1) 送粉昆虫を対象とした多様性保全機能評価 —熱帯性ハナバチ類の採餌戦略—

オオミツバチ (*Apis* 属) やハリナシバチ (*Trigona* 属) をはじめとする社会性ハナバチ類は、熱帯性植物のうちの約 30% の植物種の送粉に関わる主要なポリネーターである。本研究では、人工餌を用いて採集した 15 種のハナバチ類 (*Apis* 属 2 種、*Trigona* 属 13 種) の形態的特性をもとに、各ハナバチ種の採餌戦略や餌探索様式を推定するとともに、択伐に伴う森林の階層構造の変化がこれらハナバチ類の送粉様式に及ぼす影響を明らかにした。

2) 送粉昆虫アザミウマを対象とした多様性保全機能評価 —アザミウマの訪花フェノロジー—

東南アジア熱帯域の森林では「一斉開花」と呼ばれる特徴的な集団開花現象を通して森林の更新が行なわれる。この不定期かつ大規模な開花現象は膨大な量の送粉昆虫の役割を明らかにし、森林がもたらすエコロジカルサービスとの関連を分析することを目標として、フタバガキ科にあつまる花粉媒介者の種類組成や生態について調査・分析を行った。

3) 送粉昆虫ハナバチ類を対象とした多様性保全機能評価

熱帯性ハナバチ類の生息地特性オオミツバチ (*Apis* 属) やハリナシバチ (*Trigona* 属) をはじめとする社会性ハナバチ類は、熱帯性植物のうちの約 30% の植物種の送粉に関わる重要なポリネーターである。本研究では、択伐や土地利用転換など的人為改変が、これらハナバチ類の多様性に及ぼす影響を把握するため、4 つの森林タイプ (原生林、択伐林、ゴム園、オイルパームプランテーション) において、人工餌を用いてハナバチ類を採集し、その組成の比較を行った。

4) 種子散布者を対象とした多様性保全機能の評価 —野生生物種の生息地特性—

森林の更新過程において、霊長類やげっ歯類をはじめとする野生生物種は種子の捕食者であるが、これらの野生生物種は、固着性が高く、強い遺伝構造を持った植物種の分散に関わる重要な機能も有している。本研究では、カメラトラップを用いた野生生物の分布調査により、各野生生物種の生息地特性の違いを明らかにするとともに、種子散布に対する貢献度について考察した。

(2) 生物多様性データベースの構築

昨年度から構築している植物の多様性に関するデータベース及び動物の多様性に関するデータベースを利用して、パイロットサイトにおける生物多様性の変遷について検討した。また、ほ乳類に関する情報を取得するため、以下の野外調査を実施した。

1) 現在の動物相を評価し、昨年度作成したほ乳類データベースを強化する目的で、2002 年 9 月から 2003 年 11 月まで、4 つの森林タイプ (天然林、二次林、林縁、保護区周辺の孤立林) においてセンサーカメラ (Fieldnote I 及び II、(有) 麻里府商事) を用いて出現動物のモニタリング調査を行った。フィルム確認、回収は週に 1 回の頻度で行った。撮影された写真はすべて撮影日時、動物種の同定を行い、デジタル化した後にデータベース化した。

2) ほ乳類に対する直接的な人為インパクトを明らかにするため、2003 年 8 月より、パソ森林保護区周囲に走る道路において、ロードキル (動物の交通事故) の現状を評価した。調査は 2003 年 8 月から 11 月までの期間で、2 週間に一度の頻度で実施した。

#### 4. 結果・考察

##### (1) 森林の持つエコロジカルサービスの評価および人為攪乱の影響

森林の持つ5つの主要なエコロジカルサービス（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）についてその評価を行うとともに、択伐や土地利用改変など的人為攪乱が及ぼす影響を把握した。

パイロットサイトの森林はプランテーション農業の発達に伴い、1970年代から劇的に減少した(図2)。1976～1996年までに森林面積(含む二次林)は2362km<sup>2</sup>から1058 km<sup>2</sup>(約45%)まで減少し、パイロットサイト内の保護区を除き森林の多くはサイズが1ha以下の分断化した孤立林となった。一方で、アブラヤシ(オイルパーム)プランテーション面積は3.5倍に、ゴムプランテーション面積は1.3倍に増加した。河川周辺にはアカネ科、クワ科、トウダイグサ科が優占する小面積孤立林が多く残されていたが、アブラヤシの品種改良により2003年以降伐採されつつある。

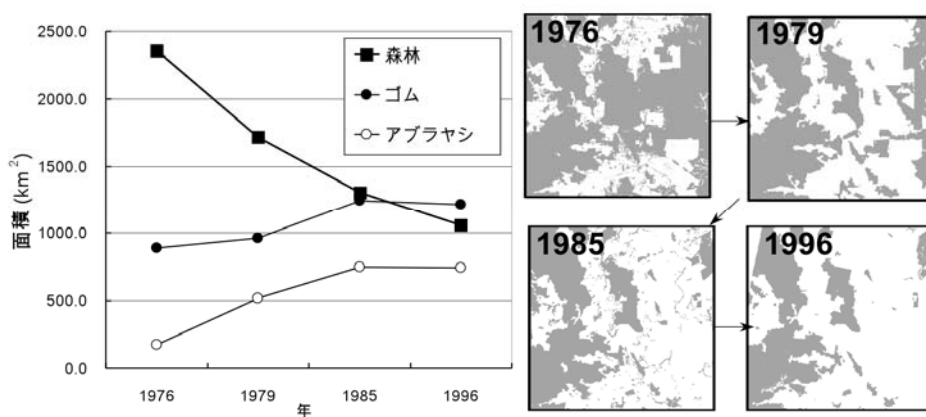


図2 パイロットサイトにおける森林の変遷。灰色が森林面積(含む二次林)を表す。

##### 1) 木材生産機能

保護区として残されている森林は択伐という攪乱を受けてきた。パイロットサイトでは、主に2種類の択伐が行われてきた。

MUS: Malayan Uniform Systemが1948～1970年代まで行われた。これらの対象は低地林フタバガキ林であり、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。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より均質な森林への改良を念頭において実施されたため、数十年たった後でも、天然林と比べて林冠構造が単純化していること、林冠ギャップ形成頻度の低下がみられることが明らかになっている。

SMS: Selective Management Systemは1978年以降に低地以外のフタバガキ林を主な対象として実施されている。この方法は伐採前の資源量調査に基づいて伐採を行う。対象樹木のサイズ基準として、フタバガキなど市場価値のある樹木は胸高直径45cm以上、市場価値の低い樹種は胸高直径50cm以上とし、直径階別の残さなければいけない樹木数も各直径階別に決められている。パイロットサイトでは、西側に広がる森林において2000年から実施されている。SMS択伐直後における地上部の現存量は非伐採林36%

まで減少した。択伐に伴う作業・択伐による個体の間引きに伴い、森林構造や分布環境の劣化だけでなく、残存樹木も破壊された。損傷木の一部は今後数年間で枯死するため、伐採後すぐに現存量が回復には向かわない可能性がある。

択伐の影響を評価するには、非伐採林の体系的なデモグラフィデータが継続調査されている森林と択伐林のそれを比較することが効果的である。パソ森林保護区周辺では、比較対象となる非伐採林のデータが豊富に利用できるため、そのようなデータを参照できる場所でこそ択伐林の研究は意義をもつものとする。

このような状況を踏まえてパソ森林保護区に近い、セルティン森林保護区内の択伐林において、択伐によるバイオマスの消失量と、択伐後1年半から6年半までの5年間のバイオマスの回復過程を明らかにした。

その結果、伐採対象となる個体の収穫によるバイオマスの喪失だけでなく、伐採に付随する様々な作業に伴い生じる枯死木を含めると、低地フタバガキ林は択伐により30-40%にのぼる現存量を喪失することが明らかになった。このうち丸太として収穫される96Mg/haを除く残渣65.6Mg/haは、利用されず林床に残されるため、近い将来炭素循環に加わる炭素放出源となりえることが明らかになった。以下に伐採後に残された残渣バイオマス並びに伐採後の植生回復についての調査結果を示す。

#### a. 伐採により枯死したバイオマスの総量と伐採後林分に放棄された残渣バイオマスの推定

伐採個体については、切り株直径のデータから相対生長式を用い各部位について乾重量を推定した。伐採により消失するバイオマスは伐採対象となる個体だけでなく、搬出路や伐採路建設のために枯死する個体や、伐採作業中に巻き込まれて枯死する個体が含まれる。コアプロット内ではそれぞれヘクタールあたり36.8本と36.4本の枯死木個体と倒木個体が確認された(dbh>10cm)。これらの個体についても胸高直径（倒れている個体は根元から1.3mの部分）のデータを用い、相対生長式から、同様に各部位のバイオマスを推定した。これらの手順により推定された各部位のヘクタールあたりの乾重量を表1に示した。

表 1. 伐採により枯死に至った個体 (dbh>10cm) の各部位のバイオマス (乾重量)

	伐採対象木	枯死木	倒木
記録された全個体数 (N/ha)	18.8	36.8	36.4
幹全体の乾重量 (Mg/ha)	96.0	16.8	15.7
切り株の乾重量 (Mg/ha)	5.7	-	-
収穫部分の乾重量 (Mg/ha)	68.1	-	-
枝下高より上部の乾重量 (Mg/ha)	22.2	-	-
枝の乾重量(Mg/ha)	23.9	3.9	3.5
葉の乾重量 (Mg/ha)	1.1	0.4	0.4
地上部の乾重量合計(Mg/ha)	121.0	21.0	19.6

伐採により枯死した個体の地上部バイオマスは161.6Mg/haに達した。このうち75%は伐採対象木に由来するものであるが、25%は伐採に付随する作業で枯死した個体であり、これらは伐採

後林内に放棄される。放棄されたこれらのバイオマスから、分解により徐々に炭素循環に流入する炭素量は、得られたバイオマスに 0.47（木質部分の乾重あたりの炭素含有量）をかけて炭素量に変換すると、19.1MgC/ha の炭素に相当する。また、伐採後は切り株、枝下高から先端の幹部分、枝、葉は通常は林内に放棄される。これらのバイオマスを合計すると 52.9 Mg/ha に上り、これは 24.9MgC/ha の炭素量に相当する。これらの伐採対象個体に由来する残渣と、枯死木、倒木と合わせると、43.9MgC/ha の炭素が伐採跡地に放棄され、これらは次第に大気循環に流入する潜在力をもつ炭素放出源と成りえることが考えられる。

#### b. 伐採後の林分の回復

伐採による対象木の収穫と伐採の影響を受けて枯死する個体により、多くのバイオマスが林分から喪失することが確認できた。これらの伐採によるバイオマスの喪失が、伐採後植生が自然回復することにより、量的にどのような推移を経て回復していくのかを毎木調査により追跡した。解析には調査区全 11.3ha のうち、100×100m の方形区がとれる 7 個の方形区のデータ（7ha）を使用した。まず個体数の推移について見ると、伐採 1 年半後に記録した最初の毎木調査時(d2000)から伐採後 6 年半後(d2005)の 5 年間に、7 ha 平均で 464±6 本/ha から 575±8 本/ha に 24%増加した。胸高直径の断面積合計は 7 ha 平均で 19.9±0.8m<sup>2</sup>/ha から 22.7±0.68m<sup>2</sup>/ha に 14%増加した。d2000 時の調査時に、伐採に伴い発生したと考えられる多くの損傷木を記録した。そのため、伐採後しばらくの期間はこれらの個体の枯死あるいは損傷した個体の修復のための資源使用などのため、単位面積あたりの断面積合計はむしろ減少するのではないかと当初予測したが（Nishimura et al., 2002）<sup>1)</sup>、図 2 にあげた胸高断面積の 5 年間の推移を示した図を見る限り、実際は伐採 2 年後には胸高断面積ベースで底を打っていると考えられ、その後は回復に転じていることが明らかになった。

これらの増加分を、胸高直径 10cm 以上の新規加入木による増加と直径成長による増加に分けてみた。その結果、新規加入木は 5 年間に 7ha 平均で 145±9 本/ha あり、これは 1.9±0.2m<sup>2</sup>/ha の断面積合計の増加に相当した。一方直径成長は 5 年間に 3.3±0.2m<sup>2</sup>/ha 増加した。全体の増加分に対する新規加入木と直径成長それぞれの増加分の割合は 38%と 62%になり、直径成長による増加分は新規加入木による増加分より有意に高かった(t 検定、 $p < 0.001$ )。これに対し 5 年間の枯死による喪失は、個体数で 47±3 本/ha、胸高断面積合計で 1.7±0.1m<sup>2</sup>/ha にとどまり、差し引きで 3.5±0.3m<sup>2</sup>/ha の増加が見られた。ただし、ローカルネームから判断した新規加入個体のほとんどの樹種は明るい場所を好む早生樹の仲間と考えられ、今後の直径成長は周囲の樹冠が閉塞に向かうにつれ鈍化、あるいは枯死に向かうと考えられ、期間の短い炭素蓄積源であると考えられた。

樹木を選択的にとる択伐方式とはいえ多くの樹木が損傷を受けることが知られているが、このことに起因するであろう枯死木の発生により、伐採 2 年後くらいまでは、林分の成長が鈍化することが明らかとなった。しかし林分は伐採 2 年半後くらいから正の成長を開始し、伐採 6 年半後には伐採 1 年半後に比べ胸高断面積合計で 14%、バイオマスで 12%増加していることが明らかになった。これらのデータを継続して記録し、林分の成長曲線を作成することにより、同強度の択伐林における現存量を推定可能になると考えた。

択伐林研究の必要性が唱えられてから久しい。1980 年台に入り、初めて東南アジア熱帯林における択伐施行に関する包括的な研究結果が発表されて以来熱帯林における択伐施行に対する注目

は次第に高まった。そして熱帯林問題が大きな環境問題のひとつとして一般に認識され始めた 80 年代後半から 90 年代半ばには、択伐研究はひとつのピークを迎えている。本研究で示したように、現在残されている森林のほとんどが 1 ～数度の択伐を経験した劣化森林にすでに変容してしまっている。森林保護区と名前のついた地域であっても、そこは「森林」という土地区分であるだけで、中身はすでに択伐により劣化していることが多い。本研究の結果から、熱帯林の総合的保全を考えるのであれば、伐採の入っていない森林のみならず、伐採後に成立する二次林の動態研究にも焦点を当てることが示唆された。すなわち残された森林は二次林が殆どであるという厳然たる事実をふまえこれらの森林を如何に修復、再生するかが熱帯林保全していくうえで非常に重要な課題であるといえる。

## 2) 集水域保全機能

熱帯の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。傾斜、土壌タイプ、1976 年と 1996 年土地利用区分の情報を利用して土壌流出量を推定したところ、1996 年段階 (28.5 t/ha/yr) では 1976 年 (13.1 t/ha/yr) に比べて、土壌流出量は約 2.2 倍に増加したことが明らかになった。

また、代表的な 7 つの土地利用タイプごとに Universal Soil Loss Equation (USLE) を用いて、それぞれ森林伐採や土地利用転換に伴う河川への土壌流出量を推定し、人為攪乱が森林の持つ集水域保全機能に及ぼす影響を把握した。その結果、最も土壌流出量の多い土地利用タイプ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)。天然林は集水域の 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。

また、森林の水源涵養機能については森林伐採や土地利用転換によりその機能は大きく変化することから本研究では、流域における水収支を把握する上で重要な蒸発散量に着目し、ランドサット 5TM の画像から、地表面熱収支解析アルゴリズム (Surface Energy Balance Algorithm for Land, SEBAL) を用いて、マレーシア半島部の Triang 流域からの蒸発散量の推定を行った。その結果、衛星データの撮影条件 (雲の有無など) により、推定される値が変動することなどが示された。また複数回の撮影データを用いることで流域における蒸発散量を広域で評価できる可能性があることなどが明らかとなった。

## 3) 炭素蓄積及び温室効果ガス吸収・貯留機能

### a. 炭素蓄積機能

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 2)。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 2. 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 <sup>a</sup>	551 ± 17 <sup>a</sup>
天然林 B	50	336 ± 12 <sup>ab</sup>	586 ± 6 <sup>a</sup>
二次林 A(MUS)	6	296 ± 18 <sup>b</sup>	722 ± 30 <sup>b</sup>
二次林 B(SMS)	9	217 ± 9 <sup>c</sup>	487 ± 9 <sup>c</sup>

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

## b. 温室効果ガス吸収・貯留機能

i. CO<sub>2</sub> 吸収源機能

東南アジアにおける土地利用形態の変化が炭素循環に及ぼす影響を、土壤呼吸量を中心にして明らかにすることを目的として、パソ保護林の天然林、二次林、ヤシ園、ゴム園において土壤呼吸速度と土壤の物理的特性および土壤中の CO<sub>2</sub> 濃度との関係について調査分析をおこなった。

各調査地に調査コードラートを設置し、携帯型土壤呼吸測定装置 LI-6400 (LI-COR, NE, U.S.A.) と土壤呼吸測定用チャンバー(直径 13cm)を用いて土壤呼吸速度を測定した。地温は電子温度計を用い、土壤含水量は TDR(TRIME-FM, IMKO, German)により測定した。

その結果、土壤呼吸速度は時空間的に変動し特に空間的な不均質性が高いことが分かった。時間変動については土壤含水率の変化に強く影響されることがわかった。一方、空間的変動については、天然林と二次林の 2ha の面積における 50 地点、ヤシ園とゴム園の 1ha における 25 地点における測定した(表 3)。さらにそれぞれの調査地における最適な土壤呼吸速度の測定数を算出し分析したところ、本研究の調査地では土壤呼吸速度の空間的不均一性が高いために、高い精度(誤差 10%)で推定を行うためには 50 地点以上の測定点が必要であることが明らかになった。また、本研究における通常の測定では各調査地が 16 地点であるため、その平均値は大面積で測定を行ったときの平均値から約 20%の誤差範囲であることが明らかになった。このような大面積を必要とする測定地点は、測定を行うチャンバーの面積などにも影響すると考えられるため、各測定手法において検定が必要であるが、スケールアップを行う際の精度を知る上で重要な情報となると考えられた。

また、天然林、ヤシ園、ゴム園で土壤深さ別に CO<sub>2</sub> 濃度を測定したところ、土壤呼吸速度に大きな影響を与えると考えられる深さ 10cm 付近の CO<sub>2</sub> 濃度は、天然林では 0.9%(1%=10000ppm)、ヤシ園では 2.9%、ゴム園では 4.2%となり、ゴム園では天然林の 4.7 倍の CO<sub>2</sub> 濃度であった。これらの結果より、土壤呼吸速度の違いは地下部の CO<sub>2</sub> 濃度を反映していないことが示された。

このように調査地ごとの比較において、土壤呼吸速度と表層下の CO<sub>2</sub> 濃度の傾向が異なった原因の一つとして、土壤の物理的特性が強く影響したと考えられる。土壤気相率調査の結果、天然林の土壤気相率は 44.7%となり、ヤシ園の 21.3%やゴム園の 16.0%の値と比べると明らかに高い値を示していた。即ち天然林は通気性に富んだ土壤であることがわかった。また全ての調査地において気相率と土壤呼吸速度との間には統計学的に有意な正の相関関係が認められた。また、土壤呼吸速度と土壤含水率との関係は、天然林では統計学的に有意でありヤシ園とゴム園では有意ではなかったものの、共に負の相関関係を示す傾向にあった。さらに、全ての調査地において土壤含水率と気相率が統計学的に有意な負の相関関係が認められたことから、土壤呼吸速度は土壤中の CO<sub>2</sub> の存在量よりも土壤の物理的特性、特にガスの通気性に関係する気相率や気相率を左右する土壤含水率に強く影響を受けることが示唆された。

表 3. 天然林、二次林、ヤシ園、ゴム園における 土壌呼吸速度および環境要因

調査地	天然林 (2ha, n=50)	二次林 (2ha, n=50)	ヤシ園 (1ha, n=25)	ゴム園 (1ha, n=25)
土壌呼吸速度 (mg CO <sub>2</sub> m <sup>-2</sup> hr <sup>-1</sup> )	762.8	707.9	815.3	449.8
土壌呼吸速度の変動係数 (%)	43.1	42.3	44.5	39.6
土壌含水率 (%)	27.3	26.7	30.6	23.0
土壌含水率の変動係数 (%)	17.5	19.1	19.2	22.8
地温 (深さ 1cm)	26.3	25.3	26.0	27.1
地温 (深さ 5cm)	25.9	25.1	25.6	26.1

ii. 森林伐採が N<sub>2</sub>O フラックスに与える影響

東南アジア域における土地利用変化が N<sub>2</sub>O 放出量に与える影響を明らかにするため、半島マレーシア・パソ地域にある保護林内の天然林およびその近辺にあるアブラヤシ園とゴム園において、N<sub>2</sub>O 放出速度と環境要因(温度、土壌水分)を測定した。また、半島マレーシア・パソ地域にある保護林において、択伐が行われたため、択伐による伐採の攪乱を受けた「伐採区」と、伐採を免れた「天然林区」を対象に、土壌-大間の N<sub>2</sub>O フラックスを測定・比較した。同時に土壌環境要因(温度、土壌水分)、化学性(炭素・窒素量、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度)および物理性(土壌容積重)の測定を行った。

表 4. 各土地利用における N<sub>2</sub>O 放出速度と環境要因

	Jun. 2003	Dec. 2003	Jun. 2004	Nov. 2004
N <sub>2</sub> O flux (μg N m <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup> )				
Primary Forest	9.8 ± 9.8 (18) a	100.3 ± 55.7 (18) a	8.7 ± 8.3 (17) a	153.1 ± 86.5 (18) a
Oil Palm	-0.9 ± 5.0 (16) b	-0.9 ± 10.5 (17) b	-0.1 ± 6.5 (17) b	1.6 ± 4.0 (17) b
Rubber	5.5 ± 6.9 (16) a	6.7 ± 5.7 (17) c	7.1 ± 6.0 (17) a	12.0 ± 11.0 (16) c
Soil temperature (°C)				
Primary Forest	25.6 ± 0.3 (18) a	24.4 ± 0.2 (18) a	25.0 ± 0.2 (18) a	24.8 ± 0.2 (18) a
Oil Palm	26.7 ± 0.4 (18) b	25.7 ± 0.2 (18) b	26.0 ± 0.4 (18) b	26.1 ± 0.5 (18) ab
Rubber	25.6 ± 0.2 (18) a	24.6 ± 0.1 (18) c	26.1 ± 0.3 (18) b	27.2 ± 0.5 (18) b
Soil moisture (%WFPS)				
Primary Forest	38.7 ± 3.6 (18) a	52.7 ± 5.2 (18) a	40.3 ± 3.2 (18) a	67.0 ± 6.4 (17) a
Oil Palm	51.5 ± 2.4 (18) b	53.5 ± 1.8 (18) a	33.4 ± 2.7 (18) b	61.1 ± 5.6 (18) b
Rubber	51.6 ± 2.0 (18) b	54.0 ± 2.6 (18) a	45.0 ± 4.8 (18) c	60.5 ± 5.3 (18) b

平均値 ± 標準偏差. カッコ内に反復数を示す. アルファベットの違いは土地利用形態間の有意差を示す (Games-Howell test,  $P < 0.05$ ).

マレーシア・パソ地域における天然林、アブラヤシ園およびゴム園からの N<sub>2</sub>O 放出速度は、土地利用形態別に比較すると、調査期間を通して天然林が一番大きく、次いでゴム園となった(表 4)。アブラヤシ園に関してはほとんど N<sub>2</sub>O 放出が確認されなかった。天然林を農地化することにより生態系レベルでの N<sub>2</sub>O 放出は減少することが推察できる。プランテーションからの N<sub>2</sub>O 放出速度

が天然林に比べて小さい原因として、プランテーションの土壌の貧栄養化と圧密化が考えられた。

伐採区と天然林区における  $\text{N}_2\text{O}$  放出速度を比較すると、伐採区が天然林区よりも有意に大きくなる結果となった。このことは熱帯林の伐採処理は土壌からの  $\text{N}_2\text{O}$  放出を著しく増加させたことを示しており、熱帯林伐採が  $\text{N}_2\text{O}$  フラックスの観点からも地球温暖化を促進することを示唆している。伐採区で  $\text{N}_2\text{O}$  放出速度が増加した原因として、重機による土壌の圧密化および伐採後の地温上昇による可給態窒素（特に  $\text{NO}_3^-$ ）の増加が考えられた。

本研究結果から、天然林を伐採しプランテーションを造成した場合、プランテーション造成初期は  $\text{N}_2\text{O}$  放出が著しく増加し、その後時間経過とともにその放出量が減少することが明らかとなった。このことはある地域において長期間プランテーションを維持することによって、その地域から放出される  $\text{N}_2\text{O}$  量は減少することを示唆している。

### iii. 森林伐採が $\text{CH}_4$ フラックスに与える影響

パソ保護林内の森林伐採区（47 林班区、2005 年 1 月に伐採、伐採面積は 37 ha、搬出木材は 1004 本、推定  $67.4 \text{ Tg C ha}^{-1}$ ）および天然林区における  $\text{CH}_4$  フラックスを調査した。2005 年 2 月を除き調査期間を通して、天然林区の土壌は  $\text{CH}_4$  を吸収していた。また、伐採区の  $\text{CH}_4$  吸収速度は比較的小さく、2005 年 2 月を除き、天然林区を下回る結果となった。一方、本調査により、伐採区および天然林区において  $\text{CH}_4$  が著しく放出される測定点「ホットスポット」が確認された。

一般的に、水はけのよい森林土壌は、熱帯林も含めて  $\text{CH}_4$  の主要な吸収源となっている (Singh et al 1997<sup>3)</sup>, Le Mer and Roger 2001<sup>4)</sup>)。本研究においても、天然林区の土壌は水はけが良く、 $\text{CH}_4$  を吸収していた。伐採区の  $\text{CH}_4$  吸収は天然林区よりも小さい傾向を示し、いくつかの測定点において  $\text{CH}_4$  の放出が確認された。この傾向は伐採後 1 年以上に渡り継続している。このことは伐採処理により  $\text{CH}_4$  の吸収量が減少し、吸収源から放出源へと変化し得ることを意味する。

メタン分解菌は炭素源およびエネルギー源として  $\text{CH}_4$  のみを利用している (Le Mer and Roger 2001<sup>4)</sup>)。土壌の  $\text{CH}_4$  の消費は主に、 $\text{CH}_4$  の土壌への拡散速度や  $\text{O}_2$  の利用効率により制限を受けている (Le Mer and Roger 2001<sup>4)</sup>, Dorr et al 1993<sup>5)</sup>)。本研究では、伐採処理により土壌の容積重が増加し、土壌への  $\text{CH}_4$  や  $\text{O}_2$  の拡散速度を低下させ、結果的に伐採区において  $\text{CH}_4$  の速度が減少したと考えられる。一般的に森林土壌が大きな  $\text{CH}_4$  の吸収源であることを考慮すると (Le Mer and Roger 2001<sup>4)</sup>)、伐採処理は  $\text{CH}_4$  の観点からも地球温暖化を促進すると言える。

一方、本研究の伐採区および天然林区において、 $\text{CH}_4$  が大量に放出されている測定点を確認された。伐採区においては、重機の轍などが一時的に冠水する場合があったが、こうした箇所では水が引いた後でも、轍の下には不透水層が見られた。このような一時的に冠水するような森林土壌では、メタン生成菌が卓越しやすい (Mayer and Conrad, 1990)<sup>6)</sup>。これはメタン生成菌が絶対嫌気性を持つためといわれている (Le Mer and Roger 2001<sup>4)</sup>)。おそらく、重機による轍が一時的に冠水する土壌条件を作り出し、伐採区におけるホットスポットを形成したのではないかと考えられる。天然林区では上述の冠水する土壌は見られなかった。

天然林区のホットスポットはシロアリによる放出と考えられる。すなわち熱帯におけるシロアリはかなりの量の  $\text{CH}_4$  を放出すると報告されているからである (Hackstein and Stumm 1994)<sup>7)</sup>。天然林区ではしばしばシロアリの塚が確認されたため、シロアリやその巣から  $\text{CH}_4$  が放出されてい

たと考えられる。また、窒素施肥が  $\text{CH}_4$  の吸収や酸化ポテンシャルが低下すると報告されている (Adamsen and King, 1993)<sup>8)</sup>。特に  $\text{NH}_4^+$  濃度の増加は、 $\text{CH}_4$  の酸化を効果的に抑制する (Nesbit and Breitenbeck, 1992<sup>9)</sup>, Castro et al 1994<sup>10)</sup>)。本研究では、伐採区の土壤中  $\text{NH}_4^+$  濃度が天然林区を上回る結果となった。この比較的高い  $\text{NH}_4^+$  濃度もまた、伐採区における  $\text{CH}_4$  の吸収を抑制したと考えられる。

#### 4) 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、本パイロット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。本セクションでは特に森林との結びつきが強い原住民 (オランアスリー : 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。天然林に出現する 814 種の樹木のうち 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。また、現在においても利用が続いているものは 138 種のほり、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た。とはいえ、こうした森林産物の伝統的なありようも土地利用や地域開発 (道路建設など) により少しずつ変化していることも分かった。例えばパソ近郊で 1950 年代にできたオランアスリー村の村長に森林の利用状況を尋ねたところ、1970 年代に比べて森へのアクセスは少なくなったということがわかった。昔は頻繁に森へ行き、採集、狩猟などをおこなっていたが、森林の消失が進んだ現在では、一部 (多くは換金可能な) 薬草、野生動物の狩猟、採取に限られていることが明らかになった。少数先住民オランアスリーは、多日常的に森林と関わりを保ってきた民族であるが政策的な環境の変化や森の劣化に伴い、森との関わり方や民族固有の文化は大きく変化しているものと考えられる。こうしたことから、特に政府のオランアスリーに対する政策が彼らの生業にどのような影響を及ぼしたかについて調査をおこなった。その結果、1950 年代の隔離政策によって森との関わり、すなわち生活基盤が失われ、また部落統合によって福祉面は向上したものの、労働者としてゴム園やヤシ園で現金収入を得る傾向が強まったことなどがわかった。

#### 5) 多様性保全機能

生態系の持つ多様性保全機能は様々なエコロジカルサービスの持続的な提供に必要不可欠な基礎的サービスである。このような観点から、本研究では森林の更新に関わる送粉昆虫に着目して森林の持つ多様性保全機能を評価するとともに、個々の生物種の生態的特性や生態系における機能を把握し、人為攪乱が及ぼす影響を明らかにした。

##### a. 送粉昆虫アザミウマを対象とした多様性保全機能評価 —アザミウマの訪花フェノロジー—

2005 年 3 月から 6 月にかけて東南アジア全域で生じた一斉開花を対象に、パソ森林保護区で林冠に生息する昆虫が樹木 (*Shorea* 属) の花粉媒介者としてどの程度の貢献をしているかを調べた。調査は林冠観測用タワー (高さ 50m) 近傍の *S. acuminata* 1 個体を対象とし、非開花期を含めた 5 回 (開花前、開花初期、開花中期、開花後期および結実期) の採集期間中に、計 768 個体の昆虫

種を採集した。このうちの約 86%にあたる 662 個体が開花期間中（初期、ピーク期、後期）に採集され、65%にあたる 502 個体が、*S.acuminata* の開花が見られる夕方から翌朝(18:00, 24:00, 6:00)に採集された。

開花期間中に採集された 662 個体のうち、最も訪花頻度の高かった昆虫種はアザミウマ(76.1%)で、アザミウマ(*Megalurothrips* 属)の捕食者であるカスミカメムシ科(*Decomia* 属)カメムシ(<10%)や、成熟した子房に産卵を行うゾウムシ類(>5%)もアザミウマに次ぐ訪花頻度を示した。最も訪花頻度の高かったアザミウマは、異なる生態特性を持つ 2 分類群によって構成された。アザミウマは蕾に産卵し、花卉や花粉を主食とするアザミウマで、開花期間中に採集された 662 個体の 63.3% を占めた。一方、托葉棲アザミウマは托葉中で生息・繁殖を行うアザミウマで、アザミウマに次ぐ高い訪花頻度を示した(12.8%)。また、採集方法や採集時間は異なるものの、他の *S.acuminata* 3 個体においても同様の訪花昆虫種が確認できた。本研究では、高い訪花頻度を示したこれら 4 グループの昆虫種（アザミウマ、托葉棲アザミウマ、カメムシ類およびゾウムシ類）について、訪花パターンの解析を行った。

その結果、4 つの昆虫グループは、一斉開花時にのみ訪花するグループと定住するグループに二分けられた。蕾に産卵を行うアザミウマは、開花前や開花後の結実期には全く採集されなかったものの、開花の初期からピーク期にかけて急激な訪花頻度の増加を示した。また、成熟した子房に産卵を行うゾウムシ類もほぼ同様の傾向を示した。一方で、アザミウマの捕食者であるカメムシ類や托葉に生息する *Megalurothrips* 属アザミウマでは、開花ピーク期に他種と同様の訪花頻度の増加が見られたものの、開花前や開花後の結実期にも比較的多くの個体が採集でき、これらの昆虫グループは *S.acuminata* で定住しているものと考えられた。蕾に産卵を行うアザミウマは、開花が始まる夕方(18:00)から開花が終わる翌朝(6:00)まで高い訪花頻度を示したものの、花卉が落下する昼(12:00)には訪花頻度はピーク時の半分程度まで減少が見られた。カメムシ類の成虫に関しても同様に傾向が確認できたものの、カメムシ類の幼虫、アザミウマおよび熟した子房に産卵を行うゾウムシ類の訪花は開花が終わる朝から開花が始まる夕方に集中したものであり、送粉への貢献度は極めて低いと考えられた。

これら訪花パターンの解析から、開花期に集中して訪花を行い、開花時に対応した夜行性を示すアザミウマが、従来の報告どおりに高い送粉貢献度を持つことが示唆された。そこで本研究では、この *Thrips* 属アザミウマおよび夜行性を示すカメムシ類成虫について体表付着花粉の遺伝解析を行った。

アザミウマ 45 個体、カスミカメムシ科カメムシ (*Decomia* 属) 4 個体の体表に付着した 480 花粉について遺伝解析を行った結果、アザミウマおよびカスミカメムシ科カメムシはそれぞれ異なる送粉貢献度を示した。アザミウマについては、45 個体のうちわずか 6 個体で他家由来の花粉が確認できたのに対し、カメムシについては全ての個体で他家由来の花粉が確認できた。また、花粉の遺伝的多様性についても、アザミウマについては他家由来の対立遺伝子数は lum44a 遺伝子座で見られた 4 allele であったのに対し、カメムシでは同座において他家由来の 8 allele が見られた。このことは、蕾に産卵し、花粉や花卉を食べて急激に繁殖できることから一斉開花時の理想的なポリネーターであると考えられてきた *Thrips* 属アザミウマが、実際には自家受粉もしくは極めて限られた樹木個体間の送粉にしか貢献していないことを示し、他家受粉に貢献しているのはむしろカメムシであることを示唆する。つまり、これまで報告されてきたアザミウマは直接的に

は樹木の送粉には貢献しておらず、高い繁殖能力を活かして開花個体に捕食者であるカメムシを誘引することで間接的に種子生産に貢献していることが明らかとなった。

#### b. 送粉昆虫を対象とした多様性保全機能評価 —熱帯性ハナバチ類の採餌戦略と生息地特性—

社会性ハナバチ類は、熱帯性植物のうちの約 30%の植物種の送粉に関わる主要なポリネーターである。本研究ではハナバチの形態的特性をもとに、採餌戦略の違いを明らかにするとともに、択伐などの人為撹乱が及ぼす影響を把握した。対象としたハナバチは、人工餌を用いて採集した 2 属 15 種 (*Apis* 属 2 種: *Apis cerana* & *A. rosata*, *Trigona* 属 13 種: *Trigona canifrons*, *T. fimbriata*, *T. apicaris*, *T. peninsularis*, *T. nitidiventis*, *T. atripes*, *T. collina*, *T. geissleri*, *T. terminata*, *T. klossi*, *T. laeviceps*, *T. pagdeniformis* & *T. minangkabau*) である。

まず、これらハナバチ類 15 種の体長、前翅長、頭幅を 大顎長、実態顕微鏡のマイクロメーターを用いて測定し(図 3、4)、Flight cost (FC)と Aggressive cost(AC)を次式から算出した。

$$FC = \frac{(BL)^3}{(FL)^2} \quad \text{式(1)}$$

$$AC = \frac{(HW)^3}{(BL)^3} \quad \text{式(2)}$$

ここで、BL は体長(Body length :mm)、FL は前翅長(Forewing length :mm)、HW は頭幅(Head width :mm)である。Flight cost は、単位前翅面積あたりの体重の割合をあらわし、単位前翅面積あたりの体重を支えるコストを示している。つまり飛翔能力や行動圏の広さを意味する。また Aggressive cost は、単位体重あたりの頭部の重さ、言い換えれば体重に占める頭部の重さ、つまり蜜源を巡る競争にかかるコストをあらわしている。本来 Aggressive cost は、体重に占める大顎の体積比を用いるのが妥当と考えられるが、*Apis* 属と *Trigona* 属で大顎の形態が著しく異なることから、本研究では頭幅を用いた。

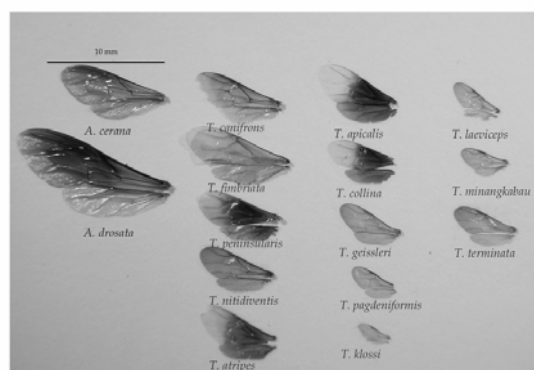


図 3 対象種(15 種)の前翅長

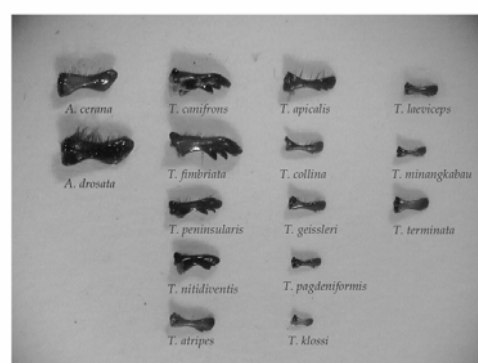


図 4 対象種(15 種)の大顎長

ハナバチ類 15 種について、Flight cost と Aggressive cost の関係を把握した結果を図 5 に示す。両者の間には、トレード・オフの関係が成り立ち、*Apis* 属 2 種は Flight cost が高かったのに対して、*Trigona* 属では Aggressive cost が高かった。この結果は、より Aggressive cost を高める、つまり限られた比較的小さな蜜源を他種他個体から排斥するという *Trigona* 属の餌食戦略と、より Flight cost を高める、つまり小さな蜜源

は放棄し広い採餌域を持ち、その採餌域から採餌を行う *Apis* 属の餌食戦略の、2 つの相反する採餌戦略が熱帯のハナバチ類に存在する可能性を示唆している。一斉開花時と非一斉開花時にハナバチ類の出現頻度を調査した研究では(Osawa & Tsubaki 2003)<sup>11)</sup>、これら 2 属が季節的な棲み分けを行い、*Apis* 属が一斉開花参加型の植物種を利用するのに対し、*Trigona* 属は非一斉開花参加型の植物種も利用できることを報告している。さらに、*Trigona* 属内においても体長や体色に応じた探索高度を持つことも報告されており(Osawa & Tsubaki 2003<sup>11)</sup>、Pereboom & Biesmeijer 2003<sup>12)</sup>)、多様なハナバチ類の存在が、多くの植物種の繁殖成功率を高め、最終的には森林の持つ様々なサービスの提供にも貢献しているものと考えられた。

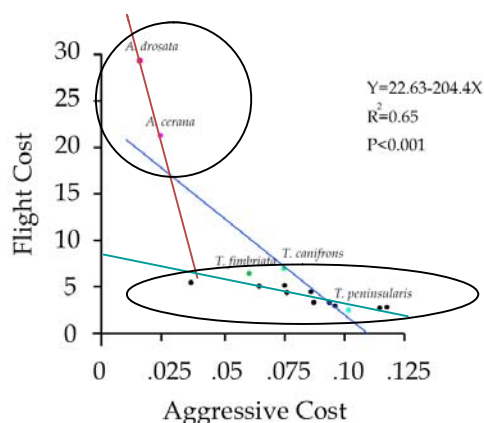


図 5. ハナバチ類 15 種における Flight cost と Aggressive cost の関係

これらハナバチ類の餌食戦略や探索レンジに択伐などの人為攪乱が及ぼす影響を明らかにするため、天然林および択伐林(伐採後 60 年)においてハナバチ類の群集構造を調査した。その結果、択伐林で捕獲されたハナバチ類は、個体数が多いものの、捕獲できる種は極めて限定されていた。このことは、択伐により森林の空間構造の変異が小さくなったことで、本来森林の中・上層を採餌している大型のハリナシバチが森林の下層まで採餌高度を下げ、森林の下層を利用する小型のハリナシバチ類を駆逐して、森林下層のハナバチ類の多様性が低下したことに起因すると考えられる(図 6)。このような伐採に伴うハナバチ類の探索高度の変化は、ハナバチ—植物間の送粉システムにも影響を及ぼすものと考えられ、一部の植物の繁殖成功率の低下によって、森林の持つサービスが低下する可能性が示唆された。

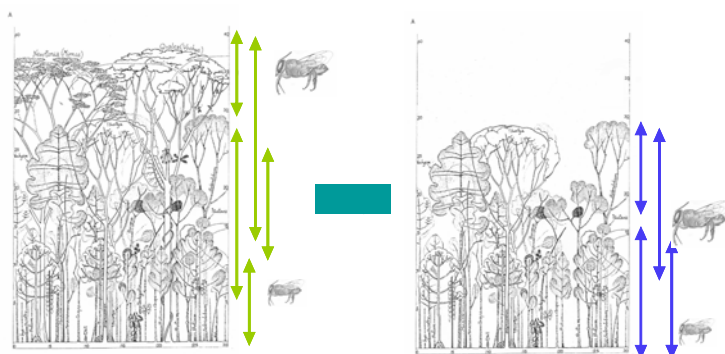


図 6. 択伐がハナバチ類の探索高度に及ぼす影響(概念図)。図左が天然林、図右が択伐林における探索高度を示す。

択伐や土地利用転換などの人為改変が、熱帯林における主要な送粉昆虫であるハナバチ類の多様性に及ぼす影響を把握するため、4 つの森林タイプ(原生林、択伐林、ゴム園、オイルパームプランテーション)において、人工餌を用いてハナバチ類を採集し、その組成の比較を行った。なお、原生林については同地に建設されたタワー(高さ 52m)周辺の 5 箇所、原生林に隣接し約

60 年前に伐採記録がある択伐林に 10 箇所、ゴム園およびオイルパームプランテーションにそれぞれ 1 箇所のプロットを設置し、2 倍に薄めた市販の蜂蜜を 50cc ほど注いだプラスチックシャーレを用いてハナバチ類の採集を行った。

その結果、捕獲総数が最も多かったのは択伐林で、総計 239 個体の訪花性昆虫が採集され、大型のハリナシバチである *T. fimbriata* が 146 個体、次いで *A. cerana* が 72 個体であった（図 7）。また、一次林では総計 80 個体の訪花性昆虫が採集され、アジアミツバチ *Apis cerana* が 43 個体と最も多く、次いで中型のハリナシバチである *Trigona apicalis* が 20 個体だった。一方、ゴム園では採取された昆虫はなく、ヤシ園ではアシナガバチの一種が 1 個体のみ採取され、プランテーションでは、トラップに集まる昆虫は極めて少なかった。

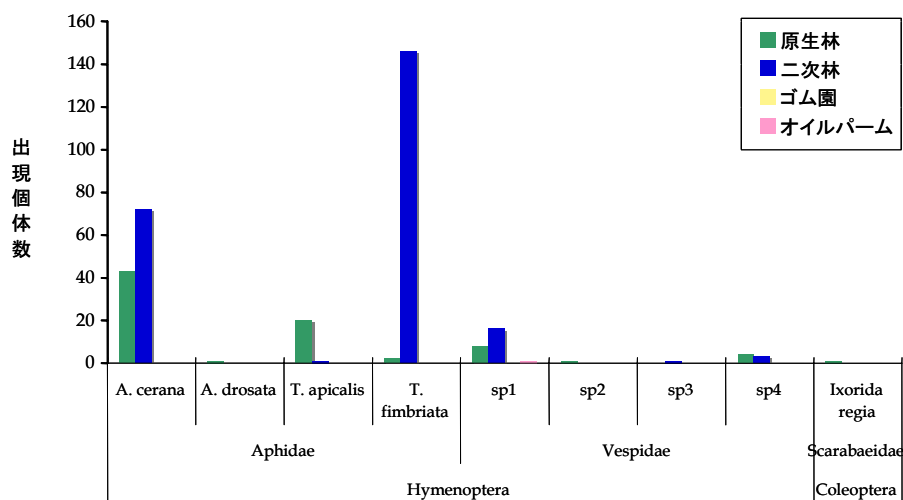


図 7. 各森林タイプにおけるハナバチ類の出現傾向

一方、ハナバチ類の多様性については、原生林では捕獲総数の約半数が *A. cerana* で、中型のハリナシバチである *T. apicalis* も 30%ほど見られ、ハナバチ類以外にもアシナガバチ類や甲虫類等も見られたのに対し、二次林では 60%以上が大型のハリナシバチである *T. fimbriata* であった。組成的には 4 種のハナバチ (*Apis cerana* (n=43), *A. dorsata* (1), *Trigona peninsularis* (20), and *T. fimbriata* (2)) が、計 66 頭捕獲された。また二次林では、3 種のハナバチ (*T. fimbriata* (148), *A. cerana* (72), and *T. peninsularis* (1)) が、計 221 頭捕獲された。一方、ゴム園及びヤシ園では、ハナバチ類は 1 頭も捕獲されなかった。一次林では、アジアミツバチ *A. cerana* が全体の 65% を占め優先し、二次林では、ハリナシバチの 1 種 *T. fimbriata* が全体の 67% を占め優先していた。ハナバチ類の多様度指数  $b$  は、一次林では 2.888、二次林では 2.164 で、一次林は二次林に比べ、33.47% も高い値を示した。またゴム園及びヤシ園では、いずれもハナバチ類の多様度指数は 0 であった。一次林では突出木が多く見られ、低い頻度でギャップも形成されており、二次林、ゴム園及びヤシ園に比べて、森林の空間構造、特に垂直構造が複雑に発達していることから、人為的な攪乱の程度が低いほどハナバチ類の多様性が高くなる理由は、森林の空間構造の多様性と関係があるものと推測された。

以上の結果から、択伐後 60 年が経過した森林においても送粉昆虫の多様性は回復せず、択伐



が一部の樹木個体の伐採だけでなく、送粉昆虫の減少によって残った樹木の繁殖成功度を低下させることが示唆された。また、オイルパームプランテーションやゴム園などにおいては送粉昆虫がほとんど確認できなかったことから、これらの農地が送粉昆虫の分散を妨げ、森林が広く農地によって囲まれた場合には、樹木種の交配面積を減少させる可能性があることが明らかとなった。

#### c. 種子散布者を対象とした多様性保全機能の評価 —野生生物種の生息地特性—

植物は固着性が高く、強い遺伝構造を持つため、個体群の維持には他の集団からの花粉や種子の供給が不可欠である。霊長類やげっ歯類をはじめとする野生生物種は、このような森林の更新過程において種子の捕食者となる一方で種子の分散に関わる重要な機能も有している。本研究では、これら野生生物種の生息地特性の違いを明らかにし、種子散布に対する貢献度を把握することを目的に、カメラトラップを用いた野生生物の分布調査を行った。

マレーシアのパソ森林保護区周辺に位置する異なる4つの森林タイプ(天然林、二次林、林縁、河川周辺の残存林)において動物相調査を行った結果、動物相は大きく3つのグループに分類された。

i. 天然林にのみ生息する種:ジムヌラ(*Echinosorex gymnura*)、ベンガルヤマネコ(*Prionailurus bengalensis*)、マレーヤマアラシ(*Hystrix brachyura*)、ホエジカ(*Muntiacus muntjak*)、マメジカ(*Tragulus javanicus*)などの哺乳類グループで、マレーバク(*Tapirus indicus*)など絶滅の恐れがある種を含む。

ii. 二次林および河川周辺部の残存林にのみ生息する種:コモンツパイ(*Tupaia glis*)、マレーシベット(*Viverra zibetha*)など小型の哺乳類を含むグループ。

iii. 生息地特性を持たない種(異なる森林タイプで確認できた種):ブタオザル(*Macaca nemestrina*)、カニクイザル(*Macaca fascicularis*)、イノシシ(*Sus scrofa*)など比較的大型の雑食性哺乳類を含むグループ。

以上の結果から、天然林性の動物を除く生物種にとっては、河川周辺部の残存林が生息地および天然林間の移動経路としての機能を有することが明らかとなった。また、これらの野生生物種の糞中に含まれる種子の発芽実験の結果、多くのイチジク種(*Ficus* sp.)をはじめとする複数の植物種が確認できた。これは、異なる森林タイプで確認できた野生生物種が複数の植物種の個体・遺伝子の分散に貢献することを示すものであり、年間を通じて果実を提供するイチジク種が野生生物種の移動の規定要因となる可能性が示唆された。しかしながら、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示唆された。

#### d. 土地利用に伴う哺乳類相の変化

森林面積の減少は植物の生育数の減少に直接結びついている可能性が高い。しかし、現時点においては希少な植物種がどの程度失われたかはよく分かっておらず、特殊なハビタットに生育する植物とハビタットの減少の関連性などを検討する必要がある。また、林床草本の一部は薬用効能があるため地域住民も利用しているものが多いが、分布に関する情報は限られている。今後は地域住民による聞き込みや野外調査を利用して、林床植物に関する情報を収集することも大きな課題とされる。

上記のような人為攪乱は、森林の野生生物に対しても直接的、間接的に大きなインパクトを与えていることは明らかである。パソ森林保護区で確認されたほ乳類は110種類であったが、1995年以降の調査、観察により確認されていない種は45種(うち、コウモリは27種)であった(表5)。これらコウモリを除いた18種のうち、3種は確認が難しい樹上性齧歯類であり、15種は特に広い生育面積が必要な食肉目を中心とし

た大型ほ乳類であった。これらの一部は個体数が減少している、もしくは既に絶滅しているものと考えられる。例えば、トラ、アジアゾウ、マレーグマについては 1980 年以降生息記録はなされておらず、保護区からは絶滅を報告している例もある(Ickes and Thomas 2003)<sup>13)</sup>。一方で、個体数は減少しているものの、森林保護区内の生育が報告されているものもある。例えば、丘陵地に多く生息するシャーマンについては保護区の奥(丘陵地帯)からの Call(吠え声)をオランアスリーにより確認され、ウンピョウ、ヒョウと思われる足跡や糞などが天然林において報告されている。

表 5. 1995 年以降確認されないほ乳類(コウモリは除く)。種名は Corbet and Hill (1992)<sup>14)</sup>に準拠した。

目	科	Species	種名	主なハビタット
ツバイ目	ツバイ科	<i>Tupaia minor</i>	ピグミーツバイ	天然林
霊長目	テナガザル科	<i>Hylobates syndactylus</i>	シャーマン	丘陵林
食肉目	クマ科	<i>Urusus malayanus</i>	マレーグマ	天然林
食肉目	イタチ科	<i>Mustela nudipes</i>	ハダシイタチ	様々な森林タイプ
食肉目	イタチ科	<i>Martes flavigula</i>	キエリテン	様々な森林タイプ
食肉目	ジャコウネコ科	<i>Paguma larvata</i>	ハクビシン	様々な森林タイプ
食肉目	ネコ科	<i>Prionailurus planiceps</i>	マライヤマネコ	丘陵林
食肉目	ネコ科	<i>Panthera tigris</i>	トラ	天然林、丘陵林
長鼻目	ゾウ科	<i>Elephas maximus</i>	アジアゾウ	様々な森林タイプ
偶蹄目	マメジカ科	<i>Tragulus napu</i>	オオマメジカ	様々な森林タイプ
齧歯目	リス科	<i>Sundasciurus hippurus</i>	ウマオスندگانリス	様々な森林タイプ
齧歯目	ムササビ科(リス科)	<i>Petaurista elegans</i>	シロフムササビ	丘陵林
齧歯目	ムササビ科(リス科)	<i>Petinomys setosus</i>	シロハラハネオモモンガ	様々な森林タイプ
齧歯目	ムササビ科(リス科)	<i>Aeromys tephromelas</i>	クロムササビ	天然林
齧歯目	ネズミ科	<i>Rattus exulans</i>	ナンヨウネズミ	天然林
齧歯目	ネズミ科	<i>Chiropodomys gliroides</i>	ヤマネマウス	天然林
齧歯目	ネズミ科	<i>Lenothrix canus</i>	ハイロキノポリネズミ	天然林
齧歯目	ネズミ科	<i>Sundamys muelleri</i>	ミューラークマネズミ	天然林

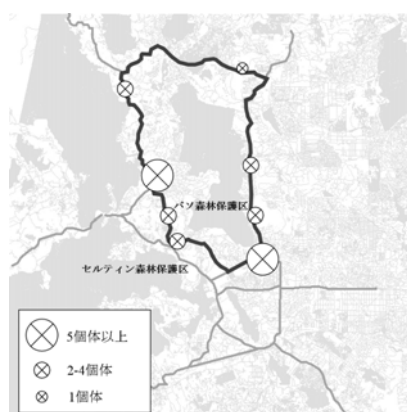


図 8. ロードキルの発生状況。

2003 年 8 月から 11 月まで、2 週間に一度記録した。ロードキルが発生する場所は保護区近くや保護区間の孤立林周辺に集中することが分かる。

一方、野生動物に対する直接的な人為影響の一つとしてロードキル(野生動物の交通事故)が挙げられる。2003 年 8 月から 11 月までの期間において、パソ森林保護区周囲に走る道路を対象にロードキル数の計測を月に二度の頻度で実施した(図 8)。その結果、被害にあった動物はイエネコやニワトリなどの家畜性のものに加え、森林性のトリ、センザンコウ、コモンツバイ、マレーシベット、ブタオザル、カニクイザル、トカゲであった。また、野生動物の被害は家畜性動物よりも高頻度であることが明らかになった。ロードキルが

頻発した場所は大面積の森林が残る場所であったが、周囲に孤立林が残るプランテーション近辺でも発生していた。そのため、交通網の発達は二次林依存的でかつ比較的移動性の高いほ乳類・鳥類が主な被害者となっていると考えられる。

間接的な人為インパクトとして、森林に進入する家畜性ほ乳類を検討した。2002年9月から2003年11月まで行った自動撮影装置によるほ乳類モニタリングから、家畜性であるウシ及びイヌが周辺の孤立林やパソ森林保護区の天然林区域にまで侵入している証拠が得られた。モニタリング期間中、ウシについては天然林箇所において1回、イヌについては林縁4回(2003年撮影分では二次林部分にも)侵入が確認された。住民の話ではウシの侵入は突発的な事故であり、通常は森林には滞在しないとのことであるため、野生生物や林床植生に対する直接的な影響は小さいと思われる。しかし、イヌは狩猟犬、野犬の区別がつかず、どの程度森林内に生息、行動しているかはよく分かっていないため、今後は小型ほ乳類などへの攪乱について検討する必要がある。

## (2) 生物多様性データベースの作成

得られたデータを実際のランドスケープ管理や土地利用計画の策定に利用することを目的に、本年度は、カメラトラップによって確認できた野生生物種と、パソで分布確認の記録がある野生生物種をあわせた110種(表6)について、写真や生息地特性、関連文献などを整理し、データベースを作成した。

表6. パソ森林保護区で確認された哺乳類

目	科	種数
有鱗目	センザンコウ科	1
食虫目	ハリネズミ科	1
	トガリネズミ科	2
ツパイ目	ツパイ科	3
皮翼目	ヒョケザル科	1
翼手目	オオコウモリ科	9
	サシコウモリ科	2
	ジャワミゾコウモリ科	1
	アラコウモリ科	2
	キクガシラコウモリ科	7
	カグラコウモリ科	7
	ヒナコウモリ科	10
	オヒキコウモリ科	1
	霊長目	ロリス科
オナガザル科		4
テナガザル科		2
食肉目	クマ科	1
	イタチ科	3
	ジャコウネコ科	8
	ネコ科	5
長鼻目	ゾウ科	1
奇蹄目	バク科	1
偶蹄目	イノシシ科	2
	マメジカ科	2
	シカ科	2
齧歯目	リス科	11
	ムササビ科(リス科)	7
	ネズミ科	10
	ヤマアラシ科	3
計		110

作成したデータベースに関しては、今後 GIS を用いて作成したエコロジカルサービスマップとの統合を行い、情報を公開する予定である。

## 5. 本研究により得られた成果

### (1) 科学的意義

本研究では、森林の持つ5つの主要なエコロジカルサービス（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、生物多様性保全機能）についてその評価やメカニズムについて調査・分析を行うとともに、過去に起こった土地改変や現在も進行中の森林伐採などがこうしたそれぞれのエコロジカルサービスにどのような影響を及ぼしたか（及ぼすか）について詳細な結果を提示した。これらは熱帯の森林がもつ様々な機能やその複雑性を維持する上でのメカニズムを解き明かすための基礎データとして科学的価値が非常に高いものである。また熱帯林やその代償植生における CO<sub>2</sub> や N<sub>2</sub>O、CH<sub>4</sub> などの温室効果ガスフラックスなどの研究成果は熱帯地域からの報告としては新たな知見であり、今後の熱帯生態学の進展にとってもその意義は大きい。

### (2) 地球環境政策への貢献

熱帯地域での森林減少は地域社会や生態系の劣化や崩壊を招くだけでなく、気候変動や温暖化など地球環境に与える影響は大きい。エコロジカルサービスの視点から見てこれらの経済的な損害がどの程度であるかという点については以前より議論の対象となっている。確かに経済的ベクトルのみでこれらのサービスを総括的に定量化すること自体の困難さやサービスを取引する“マーケット”自体が存在しないこともエコロジカルサービスの定量化の問題点ではある。とはいえ、これまで炭素蓄積機能など熱帯林の存在意義があまりにも軽んじられているという点が当該地域の生態系や生物多様性の劣化を招いたということも事実である。このことを鑑みれば、本研究で提示したようにパイロットサイトを定め各サービス機能の変化やそのメカニズムを一つ一つ解き明かしていくということが、着実に今求められている。こうした点において、サービス機能の評価、劣化の過程、データベース化という本研究で採用したアプローチは一つのモデルプロジェクトとなり、また地元政府機関（マレーシア林野局、国土管理局、灌漑局など）ならび研究・教育機関（マレーシア森林研究所、マレーシアプトラ大学、マレーシア工科大学など）による国土情報に関するデータ共有への動きや国土情報システムの構築などの動きに少なからず貢献した。

一方、自然保護と社会経済活動との相反する2つの側面の調和を目指すエコロジカルサービスの実現において、森林の各種サービス評価は必要不可欠な課題である。これらを多面的に明らかにした本研究成果は、熱帯地域など開発途上国圏での温暖化吸収源対策(CDM, Clean Development Mechanism)における植林活動や森林経営の実施に際し、わが国が将来的に森林保全の立場からのイニシアチブをとるための基盤として期待できる。

## 6. 引用文献

- 1) Millennium Ecosystem Assessment. Natural assets and human well-being (Statement from the board), 28pp (2005) “Living beyond our means”
- 2) Nishimura, S., Okuda, T., Mahdan, B., Supardi, N. FRIM-UPM-NIES Joint research project annual

- report 2002 (2002)
- “Recovering process of the vegetation of lowland dipterocarp forest after selective logging in Peninsular of Malaysia. Logging disturbance on forest stand. A case study in Seriting Forest Reserve”
- 3) Singh, J. S., Singh, S., Raghubanshi, A. S., Singh, S., Kashyap, A. K., Reddy, V. S. *Plant and Soil* 196: 115-121 (1997)

“Effect of soil nitrogen, carbon and moisture on methane uptake by dry tropical forest soils”

  - 4) Le Mer, J. and Roger, P. *European Journal of Soil Biology* 37: 25-50 (2001)

“Production, oxidation, emission and consumption of methane by soils: A review”

  - 5) Dörr, H., Kartruff, L. and Levin, I. *Chemosphere* 26: 697-713 (1993)

“Soil texture parametrization of the methane uptake in aerated soils”

  - 6) Mayer, H. P. and Conrad, R. *FEMS Microbiology Ecology* 73: 103-112 (1990)

“Factors influenceing the population of methanogenic bacteria and the initiation of methane production upon flooding of race paddy”

  - 7) Hackstein, J. H. and Stumm, C. K. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 91: 5441-5445 (1994)

“Methane production in terrestrial arthropods”

  - 8) Adamsen, A. P. S. and King, G. M. *Applied and Environmental Microbiology* 59: 485-490. (1993)

“Methane consumption in temperate and subarctic forest soils: rates, vertical zonation, and response to water and nitrogen”

  - 9) Nesbit, S. P. and Breitenbeck, G. A. *Agriculture, ecosystems & environment* 41: 39-54 (1992)

“A laboratory study of factors influencing methane uptake by soils”

  - 10) Castro, M. S., Peterjohn, W. T., Melillo, j. M., Gholz, H. L., and Lewis, D. *Canadian Journal of Forest Research* 24: 9-13 (1994)

“Effects of nitrogen fertilization on the fluxes of N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>, and CO<sub>2</sub> from soils in Florida slash pine plantation”

  - 11) Osawa, N. and Tsubaki, Y. In Pasoh Forest Reserve. In T. Okuda, N. Manokaran, Y. Matsumoto, K. Niiyama, S. C. Thomas, and P. S. Ashton, editors. *Pasoh: Ecology and Natural History of a Southeast Asian lowland Tropical Rainforest*. Springer, Tokyo. 315-324 (2003)

“Aspects of diversity of Geometridae (Lepidoptera)”

  - 12) Pereboom J.J.M. and Biesmeijer, J.C. *OECOLOGIA* 137 (1): 42-50 (2003)

“Thermal constraints for stingless bee foragers: the importance of body size and coloration”

  - 13) Ickes, K. and Thomas, S. C. In T. Okuda, N. Manokaran, Y. Matsumoto, K. Niiyama, S. C. Thomas, and P. S. Ashton, editors. *Pasoh: Ecology and Natural History of a Southeast Asian lowland Tropical Rainforest*. Springer, Tokyo. 507-520 (2003)

“Native, wild pigs (*Sus scrofa*) at Pasoh and their impacts on the plant community.”

  - 14) Corbet G. B. and Hill, J. E. Oxford University Press, New York. 488 pp. (1992).

“The mammals of the Indomalayan region: a systematic review”

## 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マレーシア工科大学との共同研究により行なわれた。

カウンターパート: Nur Supardi Md. Noor (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

< 論文 (査読あり) >

- 1) 奥田敏統、吉田圭一郎、足立直樹: *Tropics* 11:193-204 (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－」
- 2) T. Okuda, N. Adachi, M. Suzuki, E. S. Quah and N. Manokaran: *Forest Ecology and Management* 175: 297-320 (2003)  
“Effect of Selective Logging on Canopy and Stand Structure in a Lowland Dipterocarp Forest in Peninsular Malaysia”
- 3) S. Numata, N. Kachi, T. Okuda and N. Manokaran: *Pasoh: Ecology of a Rainforest in South East Asia*, T. Okuda K. Niiyama S. C. Thomas and P. S. Ashton (eds.). Springer, Tokyo, 413-420 (2003)  
“Leaf herbivory and defenses of dipterocarp seedlings in Pasoh Forest Reserve”
- 4) T. Okuda, M. Suzuki, N. Adachi, K. Yoshida, K. Niiyama, M. N. Nur Supardi, N. Manokaran, H. Mazlan: *Pasoh: Ecology of a Rainforest in South East Asia*, T. Okuda K. Niiyama S. C. Thomas and P. S. Ashton (eds.). Springer, Tokyo, 15-34 (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—”
- 5) N. Osada, H. Takeda, A. Furukawa, T. Okuda and M. Awang: *Pasoh: Ecology of a Rainforest in South East Asia*, T. Okuda K. Niiyama S. C. Thomas and P. S. Ashton (eds.). Springer, Tokyo, 111-121 (2003)  
“ Leaf phenology of a small stand of Pasoh Forest Reserve”
- 6) N. Osawa and T. Okuda: *Pasoh: Ecology of a Rainforest in South East Asia*, T. Okuda K. Niiyama S. C. Thomas and P. S. Ashton (eds.). Springer, Tokyo, 413-420 (2003)  
“The community structure of herbivorous insects on tropical seedlings”
- 7) M. Yasuda, N. Ishii, T. Okuda and H. Nor Azman: *Pasoh: Ecology of a Rainforest in South East Asia*, T. Okuda K. Niiyama S. C. Thomas and P. S. Ashton (eds.). Springer, Tokyo, 533-546 (2003)  
”Small mammal communities at Pasoh”
- 8) S. Numata, M. Yasuda, T. Okuda, N. Kachi & M. N. Nur Supardi (2003): *American Journal of Botany*, 90(7): 1025-1031.  
“Temporal and spatial patterns of mass flowerings on the Malay Peninsula”
- 9) S., Numata. Kachi. N., Okuda, T., and N. Manokaran. *Journal of Plant Research* 117:19-25 (2004).  
“Delayed greening, leaf expansion, and damage to sympatric *Shorea* species in a lowland rain forest”

- 10) T., Okuda, Nor Azman, H., Manokaran, N., Saw, L.Q., Amir, H.M.S., Ashton, P.S. 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. 221-239 (2004).  
 "Local variation of canopy structure in relation to soils and topography and the implications for species diversity in a rain forest of Peninsular Malaysia"
- 11) K., Hoshizaki Niiyama, K., Kimura, K., Yamashita T., Bekku Y., Okuda, T., Quah E.S., and Nur Supardi M.N. *Malaysia Ecol. Res.* 19 (vol. 3) 357-363 (2004).  
 "Temporal and spatial variation of forest biomass in relation to stand dynamics in a mature, lowland tropical rainforest, Pasoh Forest Reserve",
- 12) Okuda T., Suzuki M., Numata, S., Yoshida, K., Nishimura, S., Niiyama, K., Adachi N, Manokaran, N. *Forest Ecol and Management* 203: 63-75 (2004).  
 "Estimation of Tree Above-ground Biomass in a Lowland Dipterocarp Rainforest, by 3-D Photogrammetric Analysis"
- 13) Numata, S. T. Okuda, T. Sugimoto, S. Nishimura, K. Yoshida, E.S. Quah, M. Yasuda, K. Muangkhum, and N. Md. Noor: *Malayan Nature J.*, 57, 29-45 (2005)  
 "Camera trapping: a non-invasive approach as a additional tool in the study of mammals in Pasoh Forest Reserve and adjacent fragmented areas in Peninsular Malaysia."
- 14) M. Adachi, Y. S. Bekku, A. Konuma, Wan Rasidah Kadir, T. Okuda, and H. Koizumi: *Forest Ecol. and Management*, 210, 455-159 (2005)  
 "Required sample size for estimating soil respiration rates in large areas of two tropical forests and two types of plantations, Malaysia."
- 15) N. Osada, H. Takeda, T. Okuda, and M. Awang: *American Journal of Botany*, 92, 1210-1214 (2005)  
 "Within-crown variation in the timings of leaf emergence and fall of Malaysian trees in association with crown development patterns."
- 16) M. Yasuda, S. Miura, N. Ishii, T. Okuda and H. Nor Azman: In Forget, P. M., Lambert, J., E., Hulme, P. E. and Vander Wall, S. B. (eds.) *Seed Fate: Predation, Dispersal and Seedling Establishment*, 151-174 CABI Publishing (2005)  
 "Fallen fruits and terrestrial vertebrate frugivores: a case study in a lowland tropical rain forest in Peninsular Malaysia."
- 17) Y. Naito, A. Konuma, H. Iwata, Y. Suyama, K. Seiwa, T. Okuda, S. L. Lee, M. Norwati and Y. Tsumura: *Journal of Plant Research*, 118, 423-430 (2005)  
 "Mating system and inbreeding depression in the early regeneration stage of *Neobalanocarpus heimii* (Dipterocarpaceae)."
- 18) S. Konishi, M. Tani, Y. Kosugi, S. Tkakanashi, M. M. Sahat, Abd. R. Nik, K. Niiyama, and T. Okuda: *Forest Ecol. and Management*, 224, 19-25 (2006)  
 "Characteristics of spatial distribuiton of throughfall in a lowland tropical rainforests, Peninsular Malaysia."
- 19) M. Adachi, Y. S. Bekku, Wan Rasidah Kadir, T. Okuda, and H. Koizumi: *Applied Soil Ecology* 34: 258-265 (2006).  
 "Differences in soil respiration between different tropical ecosystems."
- 20) S. Numata, M. Yasuda, T. Okuda, N. Kachi, and M. N. Nur Supardi: *J. Tropical Forest Science.* 18: 109-116 (2006)  
 "Canopy gap dynamics of two different forest stands in a Malaysian lowland rain forest."

<その他誌上発表>

- 1) P. S. Ashton, T. Okuda N. Manokaran: Pasoh: Ecology of a Rainforest in South East Asia, T. Okuda K.

Niiyama S. C. Thomas and P. S. Ashton (eds.). Springer, Tokyo, 1-13 (2003)

“History in ecological studies in Pasoh Forest Reserve”

- 2) T. Okuda and P. S. Ashton: Pasoh: Ecology of a Rainforest in South East Asia, T. Okuda K. Niiyama S. C. Thomas and P. S. Ashton (eds.). Springer, Tokyo, 569-584 (2003)

“Long-term outlook for research on sustainable management of tropical forests”

- 3) Mazlan H., Okuda, T., Yoshida, K., Numata, T., Nishimura, S., Suzuki, M. Malaysian J. Remote Sensing. 3: 83-89. (2003)

“Estimation of above ground biomass of lowland primary tropical forest from remote sensing data”

- 4) N., Manokaran, Quah, E.S. Ashton, P.S., Lafrankie, J.V., Nur Supardi, M. N., Wan Ahmad, W.M.S. and Okuda, T. 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. 585-598 (2004).

“Pasoh Forest Dynamics Plot, Peninsular Malaysia”

- 5) S. Takagi, T. Hosaka, and T. Okuda: New Series 62, 123-151(2005)

“Material of dipterocarp – associated gall- inhabiting coccoids collected in Negeri Sembilan, Malaya (*Homoptera: Coccoidea*).”

- 6) T., Okuda, Yoshida, K., Numata, S. Nishimura, S. Suzuki, M. Hashim, M. Miyasaku, N. Sugimoto, T. Tagashira, N. Chiba, M. In Okuda, T. and Matsumoto, Y (eds.) Kyoto Mechanism and the Conservation of Tropical Forest Ecosystem (Proceedings of the International Symposium/Workshop on the Kyoto Mechanism and the Conservation of Tropical Forest Ecosystems, 29-30 January, 2004, Waseda University, Tokyo Japan). 67-78 (2004).

“An ecosystem-management approach for CDM-AR activities: The need for an integrated ecosystem assessment based on the valuation of ecosystem services for forested land”

- 7) T., Okuda, Kondo, T., Yoshida, K., Oguma, H., Yone, Y., Miyasaku, M., Ohki, H., Hashim, M., - Proceedings of International Conference, Silvilaser 2006, Matsuyama, November, (2006)

“Mapping three-dimensional canopy structure of a Malaysian tropical rain forest by airborne laser scanner”

#### < 書籍 >

- 1) 奥田敏統 : かんきょう 2004/4 月 pp. 42-43.  
『『生物多様性・生態系保全と京都メカニズム』に関する国際シンポジウム・ワークショップを終えて』
- 2) 沼田真也, 奥田敏統 : 地球環境研究センターニュース 14(12):1-4  
「国際シンポジウム・ワークショップ『生物多様性・生態系保全と京都メカニズムー生態系保全と温暖化対策の両立へむけて』開催報告」.
- 3) 奥田敏統 : 暮らしの手帖(2004)  
「熱帯林と私たちの暮らし」
- 4) T.Okuda and M.Hashim. An ongoing research project in Peninsular Malaysia CTFS news (2004)  
“The ecosystem approach for sustainable forest management“(in press)
- 5) 生態学入門 日本生態学会(編)東京化学同人 一部執筆(2004)

#### (2) 口頭発表(学会など)

- 1) T. Okuda, M. Suzuki, M. Hashim, Z. Yusop, S. Numata, S. Nishimura, T. Kondo, K. Parker, M. Chiba, and N. Tagashira: International Symposium on Biodiversity-Ecosystem Projects and Future Research Strategy, Tokyo, Japan, 2005

“Ecosystem services and management for the sustainable resource uses in tropics.”



- 2) 内藤大輔、阿部健一、奥田敏統、Hood Salleh : 第15回日本熱帯生態学会 (2005)  
「マレーシアにおける森林認証制度と地域住民」
- 3) 田代慶彦、桑原貴憲、米田健、水永博己、Wan Rashida・Sarayudh Bunyavejchewin、奥田敏統 : 第15回日本熱帯生態学会 (2005)  
「ギャップ構造が林床有機物の分解率に及ぼす影響」
- 4) D. Naito, K. Abe, T. Okuda, and S. Hood: International Symposium on Eco-human Interactions in Tropical Forests, Kyoto, Japan, 2005  
“The changes of subsistence activities among Temuan communities in Negeri Sembilan, Peninsular Malaysia: focus on hunting and gathering.”
- 5) K. Abe, D. Naito, and T. Okuda: International Symposium on Eco-human Interactions in Tropical Forests, Kyoto, Japan, 2005  
“Comparative study on ‘forest’ dependency and forest product use among Malay and Orang Asli communities in Peninsular Malaysia”
- 6) M. Adachi, Y. Yashiro, W. Rasidah, T. Okuda, and H. Koizumi: ESA Annual Meeting, Canada, 2005  
“Seasonal variation in soil respiration in tropical forests and agro-forests, Malaysia.”
- 7) 安立美奈子、Sarayudh Bunyavejchewin、奥田敏統、小泉博 : 第53回日本生態学会 (2006)  
「タイ国熱帯林における雨期と乾期の土壌呼吸速度」
- 8) T., Okuda, Kondo, T., Yoshida, K., Oguma, H., Yone, Y., Miyasaku, M., Ohki, H., Hashim, M., - International Conference, Silviler 2006, Matsuyama, November, (2006)  
“Mapping three-dimensional canopy structure of a Malaysian tropical rain forest by airborne laser scanner”
- 9) 奥田敏統: 日本生態学会 54回大会企画シンポジウム 長期気候変動と熱帯雨林－熱帯域に於ける森林衰退の背景とその影響 (2007)  
「マレーシア熱帯林にみる森林の衰退現象について」

(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)

- 1) Application scaling up and monitoring tools to ecosystem management in tropical landscapes, Nov. 22, 2005 in Kula Lumpur (熱帯生態系におけるエコシステムマネージメントのためのスケーリングアップとモニタリング技術に関する国際シンポジウム)国立環境研究所－マレーシア森林研究所主催(2005)
- 2) Evaluation and Mapping of Ecosystem Service Value and Goods Of Forests In Malaysia, Aug 29, 2005 in Kuala Lumpur (マレーシアにおけるエコロジカルサービスの財と価値の地図化に関する国際シンポジウム) 国立環境研究所およびマレーシア林野局主催(2005)
- 3) 奥田敏統: 日本生態学会 54 回大会企画シンポジウム 長期気候変動と熱帯雨林－熱帯域に於ける森林衰退の背景とその影響(2007)

(5) マスコミ等への公表・報道等

マレーシア・パソ保護林に設置した林冠観測用回廊の開所式に当たり (2005 年 11 月 21 日)、時事通信およびフジテレビによって当サイトにおける生物多様性および生態系保全に関する取材

があり、一部が報道された(北海道新聞 2005 年 11 月 22 日掲載、その他の新聞でも報道有り)。