

## E - 4 熱帯域におけるエコシステムマネー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

#### 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

生物圏環境研究領域 熱帯生態系保全研究室

奥田敏統

吉田圭一郎・西村 千・沼田真也

鈴木万里子

EFフェロー (マレーシア工科大学)

Mazlan Hashim

<研究協力者>

株式会社 建設技術研究所

千葉将敏・田頭直樹

日本福祉大学

坂上雅治

平成14～16年度合計予算額 (予定) 9,167 千円

(うち、平成15年度予算額 2,899 千円)

[要旨] 熱帯林生態系の経済的な価値が過小評価されているため、他の土地利用への転換が抑制できない現状にある。そのことが、熱帯林の減少や劣化を現在まで継続させた一因となっている。熱帯林生態系の保全と持続的な人間活動の両者をバランスよく実現させるためには、熱帯林生態系の保持するエコロジカルサービスを正當に評価し、それを考慮したエコシステムマネージメントを行う必要がある。本研究では、熱帯林生態系におけるエコロジカルサービスを考慮した管理 (エコシステムマネージメント) を実現するために、これまでの研究で特に不十分であったエコロジカルサービスのGISデータベース化を実施し、このGISデータベースを利用したランドスケープ管理手法の開発を行った。さらに、これらの成果を有効に活用するため、施策決定者が容易にランドスケープ管理を行うことができるGISソフトウェアを製作した。一方で、熱帯林生態系の炭素蓄積機能の空間的な変化は国際的にも注目されるエコロジカルサービスの一つである。本研究では人工衛星データ (JERS-1 SAR) を用いることにより高い精度で推定できることを確認し、このエコロジカルサービスを既存のGISデータベースと組み合わせることにより、より精度の高いランドスケープ管理が行えることを明らかにした。

[キーワード] 地理情報システム (GIS)、エコロジカルサービス機能、ランドスケープ管理、拡張GISソフトウェア (「エコロジカルサービスGIS」)、費用便益分析 (CBA)

#### 1. はじめに

熱帯林の減少や劣化は重要な地球環境問題であるが、現在まで根本的な解決には至っていない。これらの原因として、熱帯林の経済的な価値が他の土地利用と比較して過小に評価されるため、他の土地利用 (生産林やプランテーション) への転換が抑制できないためであると考えられる。熱帯林生態系は周辺の地域社会や地球環境全体に利益をもたらすエコロジカルサービス (Ecological services : 人間社会が直接的、間接的に生態系の諸機能から受ける利益や恩恵) を保有している。そのため、無作為な熱帯林生態系の開発行為は、実際に得られる経済的な利益よりも遙かに大きな社会的、経済的なリスクを負う可能性が高

い。実際に多くの国々では、開発行為に伴う自然資源基盤の劣化により長期的、持続的な発展に支障をきたしたとい事例が数多くみられる<sup>2)</sup>。したがって、熱帯林生態系の保全とのバランスを保ちながら持続的に人間社会の経済的な活動を行うためには、熱帯林生態系のエコロジカルサービスを評価し、それを考慮したエコシステムマネージメントが必要である。熱帯林生態系のエコロジカルサービスを考慮することにより、現在の土地利用形態が修正され、効率的で経済的なリスクの少ないランドスケープ管理が実現可能であると考えられる。

地理情報システム(GIS)は空間的なデータベースの管理が可能であり、それらを用いた時空間的な予測を行うことができる。そのため、実際に熱帯林生態系の保持するエコロジカルサービス機能を考慮したランドスケープ管理を行う上で有用なツールであると言える。これまでに本研究ではマレー半島中央部のパソ森林保護区および周辺域を対象として、GIS上で利用可能なエコロジカルサービス機能のデータベースを整備してきた<sup>3,4)</sup>。しかし、森林や農地のもつ炭素の蓄積機能や森林の土壌保全機能、多様性などの空間的な変異の大きいエコロジカルサービス機能の評価にあたって、ピンポイント的に取得されたデータをより広い地域や他地域の状況に適用するためのスケールアップ技術の開発が必要である。また、実際に現地の森林管理者や施策決定者が、GISツールを利用しながら森林保全施策や土地利用管理開発に伴う様々な将来予測を行うためには、GISデータベースへのアクセスや解析を簡易化したインターフェースの開発も不可欠である。

そこで本研究では、昨年度までに整備したマレー半島中央部のパソ森林保護区周辺域(60km×60km)のパイロットサイトから、半島の大河川の一つであるパハン川集水域を含む約100km×100kmまでに拡張し、当該地域のGISデータを収集整備すると共に、(1)エコロジカルサービス機能のGISデータベースを用いて開発に伴う環境リスク予測およびランドスケープ管理を行うための手法の開発、(2)リモートセンシング解析による広範囲における地上部現存量推定技術の開発、(3)現地の施策決定者が使用可能な汎用性の高いGISソフトウェアの開発を目標として研究を行った。

## 2. 研究目的

本研究の目的・内容は以下の点に集約される。

### (1)対象地域のGISのデータベース整備

昨年度までの研究で、パソ森林保護区を中心とした60km×60kmのパイロットサイトについて、自然環境および社会背景に関する基礎的なGISデータ、例えば地形、道路等の交通網、植生、土地利用、土壌、河川集水域や人口及び集落データなどを収集してきた。今年度はより広域を対象にGISデータの整備を行いながら、汎用性の推進を行うことを目的として、パイロットサイトから半島部を東西に貫く第一級河川であるパハン川集水域まで拡張した(約100km四方)。これらのデータは本サブサブテーマだけではなく、E-4(1)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やE-4(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を実行する上で活用されるものである。

### (2)地上部の現存量の推定方法に関する研究

森林や農地などの土地利用形態ごとの生物現存量を推定することで、炭素の蓄積機能や吸収源としての潜在的な能力の推定、生物多様性の保全機能、土砂流出の防止機能などを評価することが可能になる。そのため、様々なエコロジカルサービスの土台となるのが森林の現存量であるといえる。しかし、熱帯林は様々な特性を持った多種の植物で森林が構成し、天然林は大径木が生い茂るため、森林の構造的変異が

大きく、森林内の空間的な不均質が極めて高いことが知られている。したがって、温帯域の単相林のように単純に面積倍するような対応は難しく、少なくとも林冠構造を代表するパラメータ(例えば森林の高さ・林冠高など)を抽出し、特定のサイトで行った現地調査から算出された代表値をもとにデータ適応性を検証する必要がある。こうした背景から、本研究においても地上踏査によって得られた現存量を広域にスケールアップするための技術開発を重要なテーマと位置づける。なお、森林の林冠高を空中写真やレーザプロファイラーから推定するところまでのスケールアップについてはE-4(2) 生態系観測のスケールアップ化に関する研究で対応することとし、本サブサブテーマでは、衛星画像を用いて広域的に現存量とその空間的な変化を抽出するための手法開発を試みることを目的とした。

### (3)エコロジカルサービスのGISデータベースを用いたリスクアセスメントおよびエコロジカルサービスを評価するための汎用ソフト開発

本テーマではエコロジカルサービスを考慮することにより、これまで過小評価されてきた森林生態系の再評価や自然植生の喪失による将来的なリスク予測を行うための手法を開発することを目的とする。すなわち森林保全によって得られる様々な社会的な便益(エコロジカルサービス)を他の社会・経済活動と対等に評価するために手法開発を念頭に置きながら、エコロジカルサービス評価のためのGISツールを開発するものである。一方で、こうしたツールを有効に利用するためには、土地利用転換(例えば森林から農地へ)により得られる経済的利潤やその変動パターンを予測することも重要である。そこで、パソ森林保護区周辺域での森林開発を想定したエコロジカルサービスの劣化に関するシミュレーションとともに、森林のエコロジカルサービスの対局にある農産物の市場価格変動把握に関する分析手法の開発を行うことにより、社会・経済的なリスクをもっとも最小限度に押さえるためのモデルを提示する。

## 3. 研究方法

### (1)GISのデータベース整備

パソ保護林を中心とした60km四方のパイロットサイトを、パハン川集水域までの約100km四方までに拡大し、そのエリア内での以下のデータを収集した。GISデータとして主にマレーシア国内で頒布されている国土地形図(1/50,000)をもとに、植生、土地利用、河川、等高線、道路網をデジタル化により整備した。また、当該エリアでの現存植生についても衛星データ(Landsat)などの広域画像をもとに整備中である。

### (2)地上部の現存量の推定方法に関する研究

森林などの地上部植生の現存量の時空間的な変化を推測するために、毎木調査により得られた森林地上部現存量(TAGB)データとJERS-1の合成開口レーダー(SAR: Synthetic Aperture Radar)データとの関係を昨年度に引き続き解析した。今年度は特に、スケールアップ手法をより現実的にすることを目的として、解析のための地上分解メッシュサイズ(10 x 10 m<sup>2</sup>から20 x 20 m<sup>2</sup>)と推定精度との関係解析に焦点を当てて研究を行った。地上Biomass量はパソ保護林に設置された50haプロット(2000年に調査)及び1958年に択伐され再生途上にある二次林に設置したプロット(1998年調査)の毎木調査データをもとに算出し、1996年8月撮影されたJERS-1 SARデータと比較解析を行った。

### (3)GISデータベースを用いたリスクアセスメント及びエコロジカルサービス評価のための汎用ソフト開発

GISデータベースを用いたリスクアセスメント

熱帯林生態系であるパソ森林保護林及び周辺域 (図 1で示したネグリセンピラン州、ジュレブ (Jejebu) 郡の一集水域約13,000ha (天然林、二次林、オイルパームなどのプランテーション、他の農地を含む) に注目し、エコロジカルサービスのうち、1)物質生産機能、2)集水域保全機能 (土壌侵食)、3)炭素蓄積・吸収機能、4)保健文化機能 (存在価値) を積み上げ方式で算定し、森林伐採に伴うエコロジカルサービスの変動を分析した。また、天然林から択伐を行う生産林やアブラヤシプランテーションへと土地利用を転換した場合のエコロジカルサービスの低下を市場価格より算出した経済的利益を考慮して評価した。

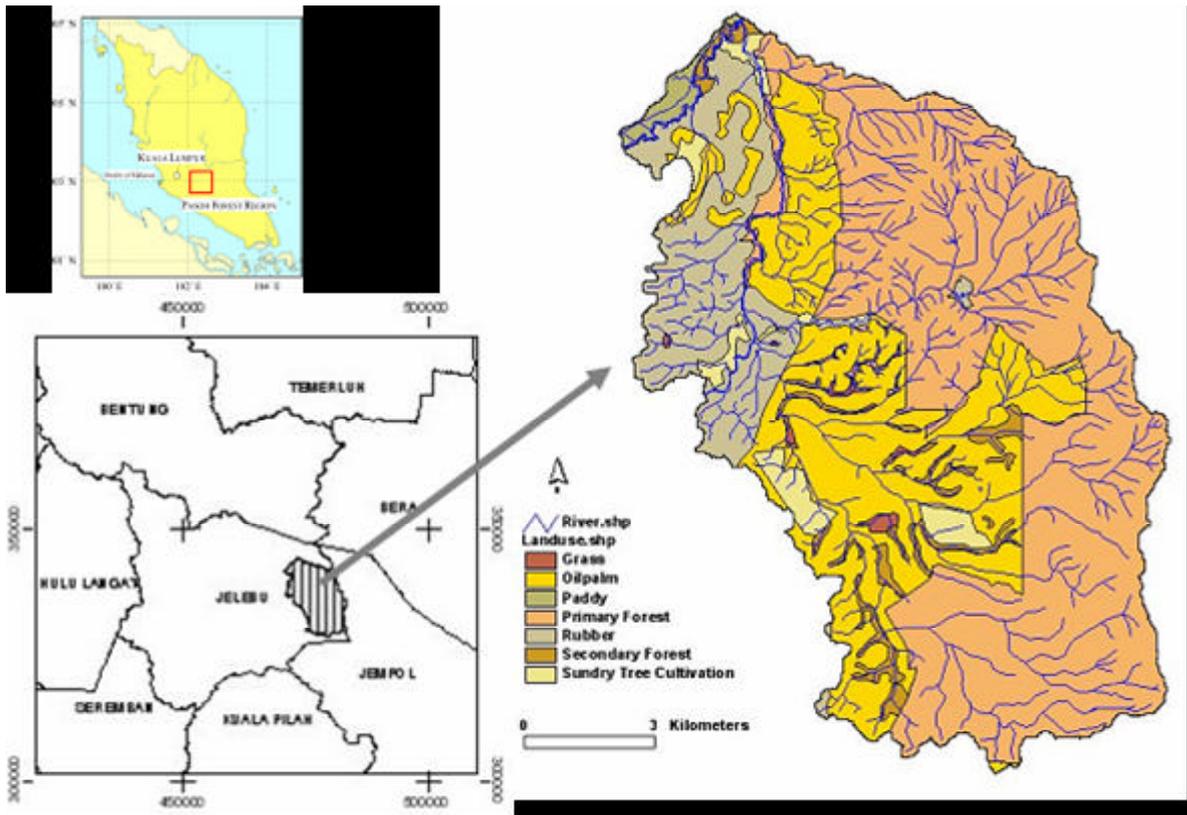


図 1. GISデータベースを用いたリスクアセスメントのための研究対象としたパイロットサイトの位置

#### エコロジカルサービス評価のための汎用ソフト開発

#### ア、農産物の市場価格変動予測モデルに関する研究

既往モデルによる高度で現実的な評価を実現するために、昨年度までの定数として与えられている入力パラメータのうち、アブラヤシ市場価格の価格変動予測シミュレーション (サブモデルとして) の是非を検討する。本サブモデルは将来的にCBAモデル (Cost-Benefit Analysis: 費用便益モデル) への統合を目的とした。なお、次の事項について事前調査を実施し、サブモデル構築のための手法を検討した。

- 既存の統計データ (一般統計、環境関連項目、及びアブラヤシ市場価格等)
- 穀物の市場価格予測モデルの事例収集

## イ、エコロジカル GIS モデルの改良

昨年度まで開発を行った GIS ソフト(ArcView3.0)完全依存型のシステムから、将来的な普及戦略を念頭にした柔軟なシステムへの改良を行うことを目的として、各モジュールの検討、使用プログラム言語の検討を行った。

### 4. 結果・考察

#### (1)GISデータの整備

GISデータの整備地域を東シナ海に注ぐ大河川、パハン川中流域を含む地域(約100 x 100km<sup>2</sup>)に拡大した(図2)。このエリア内での地形情報(標高、標高点、河川)、交通運輸情報(道路網、農道網、鉄道網)、河川(小規模河川、大規模河川の線情報)などを収集し、GISデータベース化した。

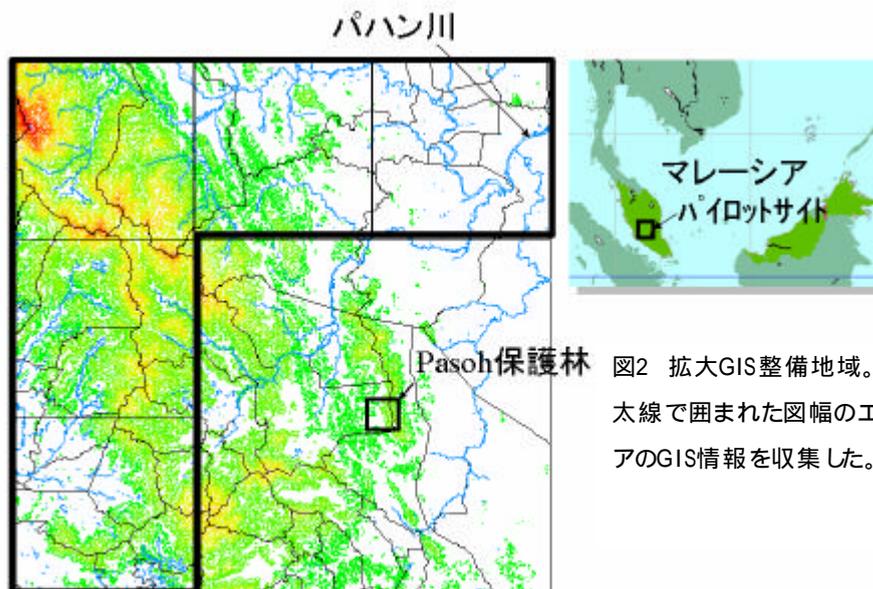


図2 拡大GIS整備地域。  
太線で囲まれた図幅のエリアのGIS情報を収集した。

#### (2)地上部の現存量の推定方法に関する研究

パソ森林保護林の天然林および二次林に設置した樹木観測用のプロット内で取得された地上部の現存量データとERS-1のSARデータとを対比させ、両者の関係をプロット内の区切りサイズ(10 x 10m<sup>2</sup>から20 x 20 m<sup>2</sup>)を変化させ、解析を行った。その結果、(1)メッシュサイズは20 x 20 m<sup>2</sup>の方が10 x 10 m<sup>2</sup>よりも高い決定係数が得られること、(2)後方散乱係数値を0.1 ~ 0.5dB(デシベル)の階級値で区切り、それらの階級値ごとにメッシュ内の現存量をプールし平均値を求め、後方散乱係数との間の回帰分析を行った結果、後方散乱値の階級値は0.5dBの方が0.1dBよりも高い決定係数が得られることが明らかになった。また、二次林の方が、天然林よりも概して高い決定係数が得られるものの(図3、4)、天然林の場合で得られた回帰曲線の傾きは小さく地上部の現存量の増加に比して殆ど顕著な増加を示さなかった(いわゆる飽和曲線)。そのため、現実には天然林内の現存量の空間的な細かな変動をSARデータから再現するためには、新たな別データとの組み合わせや分析方法の改良などが必要であると考えられた。

表 1.JERS-1 SARの後方散乱係数とパソ保護林内のプロット(天然林および二次林)で計測した地上部現存量との関係。

[二次林]

Mesh size (m)	dB#	Dbh>= (cm)**	Equation*	r <sup>2</sup>	n	Significance p
10 x 10	0.1	1	y = 1.21Ln(x) ? 161.46	0.03	112	0.05
	0.5	1	y = 10.71Ln(x) - 70.36	0.32	24	0.003
20 x 20	0.1	1	y = 5.112Ln(x) - 38.883	0.3	94	0.001
	0.5	1	y = 12.872Ln(x) - 82.688	0.7	19	0.001

[天然林]

Mesh size (m)	dB#	Dbh>= (cm)	Equation*	r <sup>2</sup>	n	Significance p	
10 x 10	-1dB	1	y = 0.0217x - 16.895	0.2	31	0.01	
			y = 5.2081Ln(x) - 40.006				
	Ave	5	1	y = 0.0219x - 16.853	0.2	31	0.01
				y = 5.136Ln(x) - 39.511			
				y = 0.0218x - 16.874			
				y = 5.1723Ln(x) - 39.76			
20 x 20	0.5	1	y = 7.1Ln(x) - 50.6	0.3	23	0.01	
			y = 2.292Ln(x) - 22.883				
			y = 2.49Ln(x) - 23.97				
			y = 2.589Ln(x) - 24.462				

\* dB 地上部現存量(TAGB)をグループ毎に平均化する際の階級値。

\*\* 各プロットでの毎木調査の対象下限木のサイズ、例えば、dbh>=1 : 直径1cm以上の樹木を対象としたことを示す。

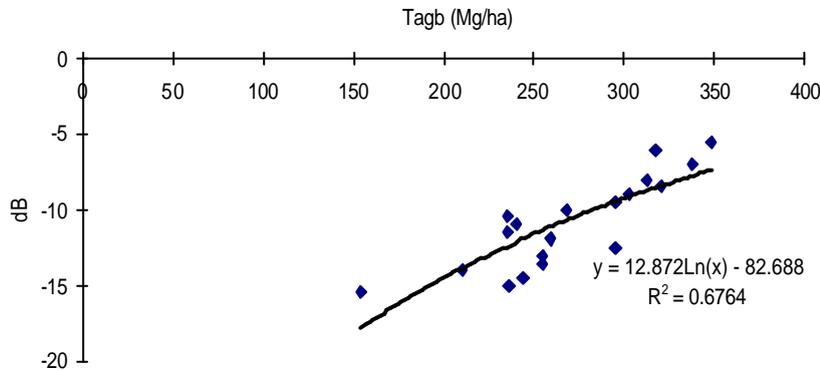


図3 二次林プロットにおけるJERS-1 SARデータの後方散乱係数と地上部現存量(TAGB)の関係 (TAGBは20x20mのメッシュサイズ毎にサンプリングし、-0.5dB毎に平均化した場合)。

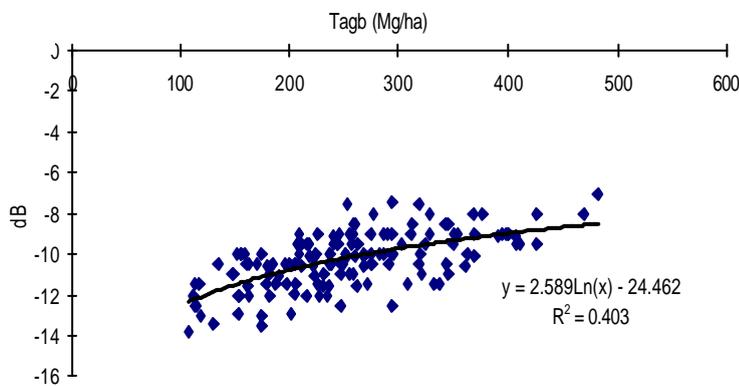


図4 天然林プロットにおけるJERS-1 SARデータの後方散乱係数と地上部現存量(TAGB)の関係 (TAGBは20x20mのメッシュサイズ毎にサンプリングし、-0.5dB毎に平均化した場合)。

### (3)GISデータベースを用いたリスクアセスメント及びエコロジカルサービス評価のための汎用ソフト開発

#### リスクアセスメントのための基礎的研究

図1で示したパイロット地域内に分布する森林(天然林、二次林)をオイルパームプランテーションにするというシナリオを作り、地域全体のエコロジカルサービスの価値の変化について解析を行った(表2)。シナリオ1ではパイロットサイト内に現存する二次林と孤立した小さな林分パッチのみをオイルパームプランテーションに転換するとし、シナリオ2では域内に含まれる殆どの林分(天然林、二次林問わず)を抜開しオイルパームプランテーションへ転換することを想定した。なお、木材生産による利潤はあくまでも森林を持続的に経営し、伐採毎に生み出される収益を対象としたため、プランテーションへの転換に伴い皆伐された木材価格は考慮していない。

表2. パイロットサイト内での森林からアブラヤシプランテーションへ土地利用転換をした際の費用・損益の分析。

土地利用毎の収益・損益	現状	シナリオ1	シナリオ2
オイルパーム	\$5,928,226.27	\$6,622,266.10	\$18,142,266.84
森林(木材生産)	\$1,592,160.89	\$1,495,480.30	-
森林(非木材性資源)	\$44,687.37	\$41,973.82	-
ゴム園	\$126,269.17	\$126,269.17	-
炭素固定	\$12,356,142.06	\$11,894,755.05	-
<b>収益(小計)</b>	<b>\$20,047,485.76</b>	<b>\$20,180,744.44</b>	<b>\$18,142,266.84</b>
土壌流出	\$96,838.81	\$337,826.44	\$502,361.20
炭素貯留喪失	-	\$461,387.01	\$12,356,142.06
<b>損益(小計)</b>	<b>\$258,234.83</b>	<b>\$1,362,257.51</b>	<b>\$13,695,772.14</b>
<b>収益 - 損益</b>	<b>\$19,789,250.93</b>	<b>\$18,818,486.93</b>	<b>\$4,446,494.70</b>

今回解析の対象に用いたエコロジカルサービスは、実際に森林が持つエコロジカルサービスの一部である(ただし、生物多様性や地域社会への便益効果などが含まれていない)。しかし、上記結果(表2)から、土地利用転換する場所や、開発対象とするサイズ、森林の攪乱履歴などにより、土地利用転換に伴う損益は大きな影響を受けることを示している。言い換えれば、既に択伐が行われた森林や孤立林の農地への転換における収支バランスは現状と変わらないが、大規模な農地への転換は単純な経済収支バランスを見るだけでも大きく変動することが明らかになった。このように土地利用形態の空間的な配置や転換がランドスケープ全体のエコロジカルサービスの変動に大きく影響したことは、今後研究を進める上で重要なポイントであると考えられる。ただし現段階では、農林産物の時間的変動、それぞれの土地利用形態がもつエコロジカルサービス機能(塩類循環への貢献、水源の確保、レクリエーション機会の提供機能)、直接経済的な価値に転換することが難しいものが含まれていないため、表に現れない開発による経済的損益も大きいと考えられる。

#### エコロジカルサービス評価のための汎用ソフト開発

##### ア、農産物の市場価格変動予測モデルに関する研究

マレーシアにおけるアブラヤシの市場価格について現存する資料を元に動向分析したところ(図5)、パーム油の生産量は一定増加の傾向にあるが、価格は小刻みに年変動していることが明らかになった。また、1997-2002年までの過去5年については、生産量と価格、在庫量と価格について逆相関の関係が見られるが、1980年代の初頭以降の長期間で見ると、生産量と価格との間には正の相関が見られることが分かった。この関係は5年乃至10年毎のパーム油の移動平均を求めてみるとその傾向が顕著になった(図6)。

一方で、世界市場におけるパーム油の市場価格及び生産量変動などについて、同様に調査・分析を行ったところ、1994年と比較して世界の総油脂生産量は一定増加の傾向にあること、増加する植物性油脂の需要において、パーム油への期待が顕著であり、2020年時点には大豆油を抜いて需要量が1位になるであろうと予測されていた。

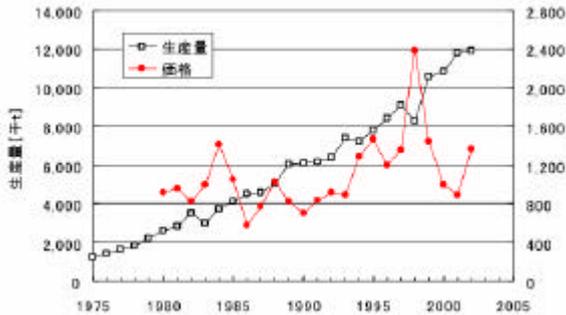


図5 マレーシアにおける粗パーム油生産量と価格の変動

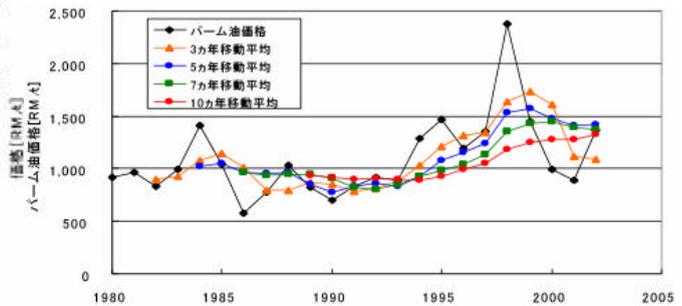


図6 マレーシアにおけるパーム油の価格(移動平均)の変動

CBA (費用便益分析)モデルにパーム油の価格変動モデルを取り込むためには、市場の動向を考慮しながら将来的な価格の予測を行う必要がある。しかし、前述のように、パーム油の価格は小刻みな変動により予測がつきにくいいため、CBAモデルでは、様々なノイズを平準化する作業が必要になると考えられる。このような背景を踏まえ、ノイズ除去のための移動平均値を用いて解析を試みたところ、世界生産量と価格(5年移動平均)、価格(10年移動平均)の間には有意な関係(需要量が増加した場合、価格も上昇)が見られ、2020年の需要量から推定される価格は、いずれのケースでも約RM2,000/t [RM(リンギットマレーシア):1RM = 約30円]という結果となった(図7)。将来、開発途上国において急激に人口が増えること、パーム油は食糧油としては最も安価に入手できるものであることから、食用需要が大きく伸び、2020年の価格は今回の予測値(RM 2,000)よりも高くなると予測された。そのため、CBAモデルにパーム油の価格変動を取り込むためには、本結果のような単純増加予測によっても対応可能であると考えられる。

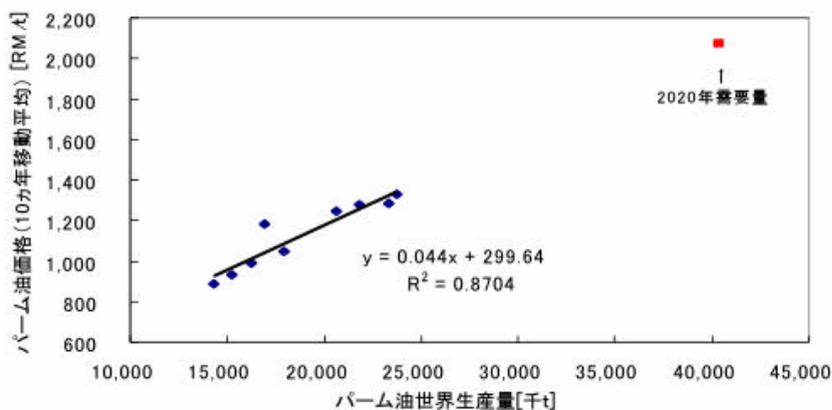


図7 パーム油世界生産量と価格(10年移動平均)の関係

## イ、エコロジカル GIS モデルの改良

昨年度まで構築を手がけてきたエコロジカルGISソフトシステム(ESRI社 ArcView3.0ベースのEcological Service GIS)について、以下に示すような問題点や改良のポイントなどが考えられたため、今年度はそれぞれのポイントの対処方法について検討した(表2)。

表2 エコロジカル GIS 改良のポイント

	問題点・改良のポイント	対処方法(案)	長所・短所等
	Legacy GISであるArcView 3.0への依存からの脱却 (将来的なPC技術革新への追従への配慮)	ArcViewの開発スクリプトであるAvenueではなく、一般的な開発言語による独立したモデル(システム)の構築を行う	開発効率は格段に向上するものの、システムの再構築が必要。しかし、モデルデザインを工夫(簡略化)することで、限られた予算・時間内でも再構築が可能と考えられる。
	システム更新の容易・効率性や開発環境プログラミング効率等の向上		
	将来的な普及を円滑にするために本システムの利用に係るEnd userへの負担の軽減	WebGISの活用	比較的安価なWebGISも存在することからモデル機能を埋め込めることができれば、普及展開を図る上で強力な要素となる。しかし、実現に際しては、Internet Information Server(IIS)の設置、運用形態等の検討を行う必要がある。

検討の結果を踏まえ、以下の方針の下に汎用プログラミング開発環境及び言語を用いた独立型Ecological Service GIS(通称、「Ecological Service Engine(ESE)」)を構築することとした。

- ESEのエンジン部(シミュレーションエンジン)をMicrosoft Visual Basic (VBA)で構築する。
- 入出力Interfaceは既存のGIS (COM object対応であるIDRISI GIS)を利用する。

本システムの特徴は以下の通りである。

特徴1：オブジェクト指向型開発言語の特徴を活用して、ESEの各構築要素をユーザークラス(独自に開発したオブジェクト)として構築した(図8)。これにより、将来的なシステムの改良・再開発の作業を大幅に軽減できるとともに、最新型のGISであるArcView等と類似した内部構造を有するシステムとなる。

特徴2：上記のオブジェクトクラスを拡張することにより、将来的に完全独立型GISシステムの構築が可能である。現在のESEでは、地図データを構築する機能と表示(出力)する機能を市販GISに依存しているが、この機能を別途構築することにより、他のソフトウェアへの依存(必要性)を解消することが容易である。

特徴3：.net技術により、将来的にWeb型(インターネット)システムへの移行が可能になる。将来的にESEの利用を促進するためには、Webへの対応が課題として挙げられるが、現在市場に流通しているWebGISは高価であることから、それらを活用してWeb対応を図ることはコストパフォーマンスを考える上で難しい。そのため、ESEではWeb上で稼動するプログラム(.api)を開発することをひとつの目的とした、最新のネットワークテクノロジーを活用してコーディング作業を進めている。

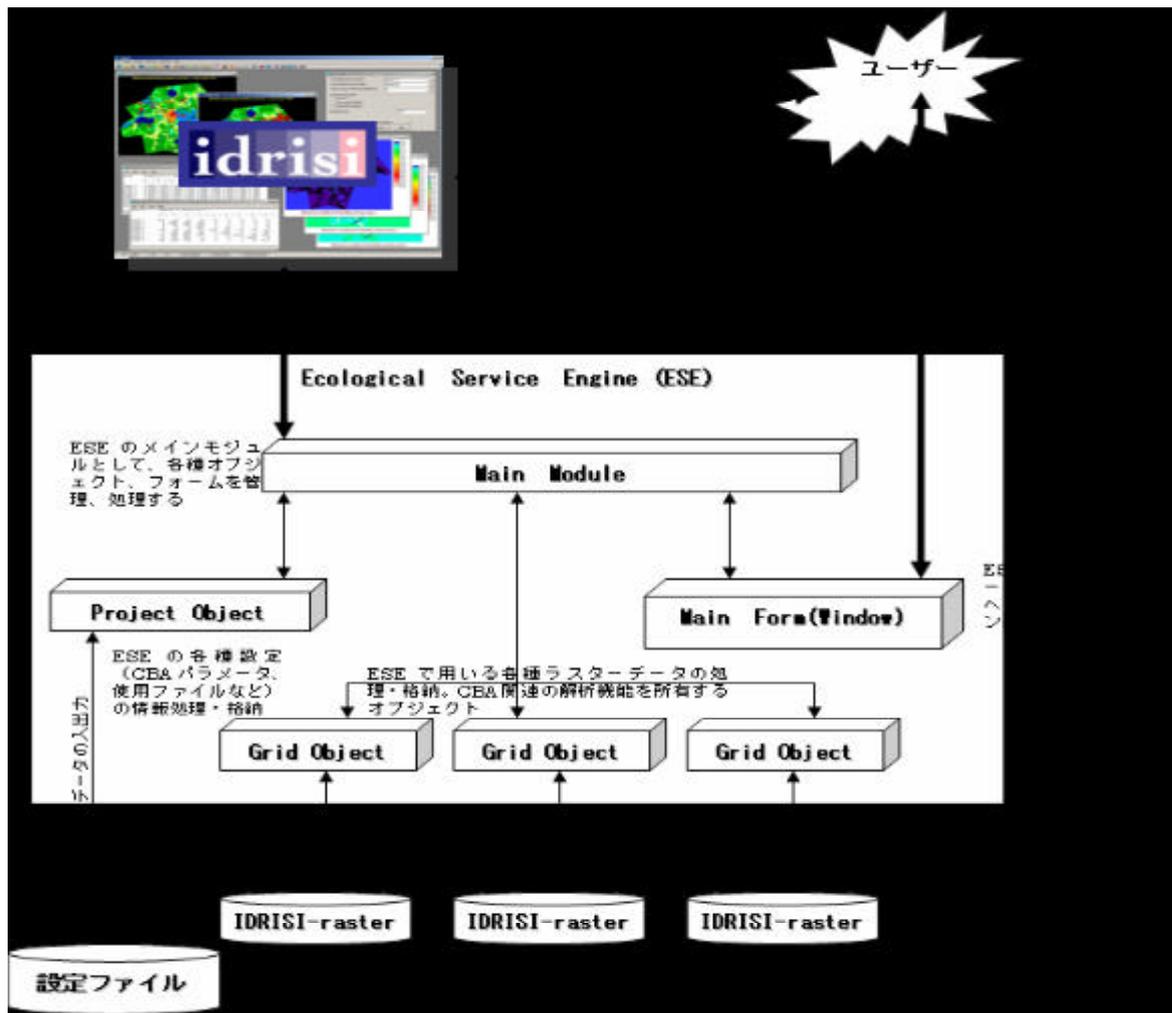


図8 .独立型Ecological Service GISの 'Ecological Service Engine(ESE) 」の内部構造

本システムは、森林管理関係者や政策決定に関わる行政官などが土地利用形態を決定する際の補助的な役割を目的として構築されたものである。そのため、用途の一つとして、開発の対象となる場所を任意に設定して様々な解析を可能にした。そのため、例えば、前述の リスクアセスメントのための基礎的研究で行ったような一集水域をGISデータから切り出し、様々なシナリオのもとに森林開発や土地利用転換などがもたらす経済的効果と環境リスクやエコロジカルサービスの損失が、目に見える形で瞬時に提示できる。また、別の用途としてエコロジカルサービスを考慮した各土地利用形態の経済的価値を考慮しながら、土地利用のゾーニングなどの設定が可能になる。これは、開発計画のプロセスを透明化することにより、近年我が国でも問題となっている自然開発の際に生じる地域住民との軋轢を軽減させ、合意形成を醸成するための有用なツールとなることが考えられる。このように、GISデータ整備を行った地域において本システムを用いることにより、適正なランドスケープ管理のための環境復元のプランや代替案を提示することが可能になると考えられる。

## 5. 本研究により得られた成果

(1)パソ森林保護林を中心とするGIS研究のパイロットサイトを半島部の大河川パハン川を含む100km四方

のエリアまで拡大し、エリア内の地形・地理情報を収集した。この結果、森林に端を発する小規模河川での森林開発が、大規模河川水域の土壌や塩類などに対して及ぼす影響を分析することが可能となった。

(2)パソ森林保護林の天然林と二次林の地上部現存量とERS-1によるSARの後方散乱係数値との関係について解析を行ったところ有意な相関関係が得られた。SARの衛星画像から現存量推定がある程度は可能であることが示唆されたが、天然林の場合、回帰曲線の傾きが飽和する現象が見られたため、分析方法に関して、さらなる検討を要するものと考えられた。

(3)森林からプランテーションへの土地利用転換を想定したエコロジカルサービスの価値変動シミュレーションを行った結果、天然林を含めた大規模伐採と土地利用転換によりエコロジカルサービスを含めた利潤が大きく影響を受けることが分かった。ただし、今後はE-4(2)で進行中のスケールアップ研究の成果や、現存量の推定を精度良く行えるパラメータや、メカニズム(森林構造とバイオマスなど)の抽出・解析が必要と思われる。

(4)エコロジカルサービスの変動予測を簡易に行うためのシステムの改良について検討を加え、同システムの中に組み込むための農産物の価格変動に関するパラメータを検討した。市場価格は小刻みな変動を短期間に繰り返すものの、生産量との間に有意な相関が見られたため、長期的な将来予測は可能であることが分かった。これにより、開発中のGISソフトでは森林のエコロジカルサービスとプランテーションなどの農地から上がる経済的収益の比較解析は簡素化したモジュールで対応可能であることが示唆された。

## 6. 引用文献

- 1)Costanza, R., D'arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R. V., Paruelo, J., Raskin, R. G., Sutton, P., and van den Belt, M. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387: 253-260.
- 2)Dixon, J. A., Scula, L. F., Carpenter, R. A., and Sherman, P. B. 1988. *Economic Analysis of the Environmental Impacts of Development Projects*. Earthscan Publications, London, UK, 134pp. (環境経済評価研究会訳『新環境はいくらか』、築地書館)
- 3)Adachi, N., Okuda, T., Nur Supardi M. N., and M. Hashim. 2000. Preliminary analysis of land use changes in Pasoh Forest Reserve and its vicinity in the past 20 years, and preparation of a GIS data set. *Research Report of the NIES/FRIM/UPM Joint Research Projects 2000*, 56-86.
- 4)Yoshida, K., Adachi, N., Okuda, T., M. Hashim, and M. Bonkik. 2001. Development of suitable landscape management in tropic regions using the Geographical Information System. *Research Report of the NIES/FRIM/UPM Joint Research Projects 2000*, 147-154.

## 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。  
カウンタパート:Woon Weng Chuen、Lim Hin Fui (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)>

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

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

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 ”

<学術誌 (査読なし)>

T. Okuda, K. Yoshida, S. Numata, S. Nishimura, M. Hashim, In S. Kobayashi, Y. Matsumoto, and E. Ueda, (eds.): Rehabilitation of degraded tropical forests, SE Asia 2003. Forestry and Forest Product Research Institute, Tsukuba, Japan. 137-149 (2003)

“Integrated Ecosystem Assessment - towards sustainable natural resource use and management in tropics ”

T. Okuda In Suzuki et al (ed.): Proceedings for “Value of the Forest ”, United Nation University, Tokyo (in press)

“Logging impacts on a lowland rainforest in Peninsular Malaysia - Implication for the sustainable management of natural resources and the landscapes- ”

M. Hashim, T. Okuda, K. Yoshida, S. Numata, and S. Nishimura In A. Furukawa, (ed.). Kyosei-Report “International Symposium, Global Environment and Forest Management ”. 51-55 (2003)

“Biomass estimation from remote sensing ”

<書籍>

T. Okuda, N. Manokaran, Y. Matsumoto, K. Niiyama, S. C. T, and P. S. Ashton, editors. Springer, Tokyo. (2003)

“Pasoh: Ecology and Natural History of a Southeast Asian lowland Tropical Rainforest ”

<報告書類等>

かんきょう (2004/2 月)

「熱帯域のエコシステムマネージメントに関する研究 (奥田敏統)」

かんきょう 42-43 (2004/4 月)

「“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 (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“多様性・生態系保全と京都メカニズム - 生態系保全と温暖化対策の両立へむけて”開催報告 (沼田真也, 奥田敏統)」

CTFS news, in press “Ecosystem management ? a pilot study for sustainable forest management in the tropics ( T.Okuda ) ”

(2)口頭発表

T. Okuda, S. Numata, S. Nishimura, K. Yoshida, M. Hashim : The International Symposium on

Global Environment and Forest Management, Nara Women 's University, Nara. (2003)

“Ecosystem management approach in tropics - towards sustainable use of natural resources and valuation of ecosystem service and goods of forest ecosystems ”

M. Hashim, T. Okuda, K. Yoshida, S. Numata, and S. Nishimura : The International Symposium on Global Environment and Forest Management, Nara Women 's University, Nara. (2003).

“Biomass estimation from remote sensing ”

奥田敏統 : 国立環境研究所友の会セミナー 東京 (2003)

熱帯林 - 持続可能な森林管理をめざして - 」

T. Okuda : The International Workshop on the Landscape Level Rehabilitation of Degraded Tropical Forests, Forestry and Forest Product Research Institute, Tsukuba, Japan. (2003)

“Integrated Ecosystem Assessment - towards sustainable natural resource use and management in tropics ”

吉田圭一郎, 奥田敏統, 足立直樹, M. Hashim, M. Bonkik, : 日本地理学会年度春季学術大会、東京大学 (2003)

「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」

T. Okuda, M. Suzuki, N. Adachi, K. Yoshida, S. Numata, S. Nishimura, K. Niiyama, M.N. Nur Supardi, N. Manokaran, M. Hashim : Seminar on ecological research in tropical rain forests. Forest Research Institute Malaysia (FRIM), Malaysia August. (2003)

“Logging history and its impact on forest structure and species composition in the Pasoh Forest Reserve? Implications for the sustainable management of natural resources and landscapes ”

K. Yoshida, T. Okuda, S. Nishimura, M. Hashim, M. Bonkik : Seminar on ecological research in tropical rain forests. Forest Research Institute Malaysia (FRIM), Malaysia August. (2003)

“Conservation of Tropical Forests Based on the Valuation of Ecosystem Service: A Case Study from the Pasoh Forest Reserve ”

T. Okuda, K. Yoshida, S. Numata, S. Nishimura, M. Suzuki, M. Hashim, N. Miyasaku, T. Sugimoto, N. Tagashira and M. Chiba : International Symposium/workshop on the Kyoto Mechanism and the conservation of tropical forest ecosystems. Waseda Univ. Jan (2004)

“Ecosystem management approach for CDM-AR activities - a need of integrated ecosystem assessment based on valuation of ecosystem service forestland ”

### (3)出願特許

エコロジカルGIS(出願特許申請準備中)

### (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

本研究の結果は、これまで熱帯域の開発に関して過小評価されがちであった熱帯林生態系の経済的な価値をエコロジカルサービスを考慮することで高め、より適正にランドスケープを管理する手法を確立した点

において重要な成果をもたらす。また、一方で、京都メカニズム(議定書)の一つであるCDM (Clean Development Mechanism)の新規植林や再植林事業を熱帯地域に展開する場合は、多様性保全などへの細心の配慮が必要であり、さらには、より長期的な展望にたった土地利用計画に基づいた植林事業を実施することが重要であるといわれている。こうしたなか、本研究で示した、エコロジカルサービスの土地利用転換に伴う変動解析やそれを旨とした、汎用型のGISソフトは将来予測という点だけではなく、地元・地域住民との合意形成や計画・立案プロセスの透明化を図るという点でも重要な役割を果たすものと思われる。GISソフトに関しては、今後もマレーシアの大学やマレーシア森林研究所などとの連携を密にし、より汎用性の高いものに改良を加え、成果の広報・普及に努める予定である。