

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

森林伐採に伴う土壌流出と集水域生態系に与える影響評価に関する研究

独立行政法人国立環境研究所

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)

Zulkifli Yusop

平成14～16年度合計予算額 (予定) 4,993千円

(うち、平成15年度予算額 2,497千円)

[要旨] マレーシア半島部パソ森林保護区を含む流域 (1734km²) におけるエコロジカルサービスや土壌保全機能を調節する森林の役割について評価した。この流域はその55%を森林が占め、ゴム (26%) やアブラヤシ (11%) のプランテーションがそれに続く。始めに、地理情報システム (GIS) 上で土壌侵食量を推定するため、Universal Soil Loss Equation (USLE) に焦点をあて、このモデル式に必要な降雨係数 (R)、土壌係数 (K)、地形係数 (LS、L: 斜面長係数、S: 傾斜係数)、作物および管理係数 (CP) あるいは植生管理係数 (VM) のデータをGIS上で利用できるレイヤーとして準備した。また、パソ森林保護区に隣接するPasoh Dua 測候所の降雨データを利用して、降雨係数は460.3であることを見いだした。また、文献情報からこの地域の土壌係数は0.07から0.35の範囲であり、森林、ゴム園、およびアブラヤシプランテーションにおける作物および管理係数または植生管理係数はそれぞれ0.003、0.1、0.125であることが分かった。標高200m以下の地域における地形係数を計算したところ、平均で12.8であったのに対して、標高200m以上の地域では少し高い116.34であった。土砂流出量 (SDR) は傾斜と水路の性質によって決定されていた。さらにマレーシアにおいて実測された土砂流出量をレビューし、データの整合性を確認した。本研究で明らかにする土砂流出量、栄養塩流出量および土壌侵食耐性は、流域および生態系機能の統合的な評価と持続的な熱帯林の管理にとって重要な情報である。しかし、本年度はデータの収集と信頼性の確認に重点をおいたため、来年度以降にGISを用いた空間解析およびネットワーク解析を行う予定である。

[キーワード] 集水域、土壌侵食、栄養塩流出、 Universal Soil Loss Equation (USLE)、 地理情報システム (GIS)

1. はじめに

世界中の多くの地域で、急激な森林の改変および土地開発活動によって土壌浸食が加速し、世界における土壌浸食速度は75 × 10⁹ t/年 に達すると推定されている¹⁾。特に、熱帯地域では、降雨強度が大きくて流域土壌が侵食されやすい上に、土壌保全措置が取られていないために、土壌浸食速度はより速いと予想される²⁾。そのため、熱帯林が持つ集水域保全機能(水・土壌保全機能)は様々なエコロジカルサービスに

において重要であるといえる。一般に、攪乱を受けていない熱帯多雨林は、樹幹と林床植生が多層で、リターと細根の厚い層を有し、土壌を最もよく保護しているため、攪乱されていない森林の土壌浸食速度は低下し、水路侵食にほぼ比例する。そのため、森林減少による土壌浸食の加速は河川の水質悪化、農地生産性の損失、水処理コストの増加、堆積や河川狭窄による洪水リスクの増大、および水中生息環境の悪化を招く。特に、堆積は多様な環境や流域から得られるエコロジカルサービスおよび機能を利用する機会を損なう原因となり、下流域での損失が相対的に大きくなると考えられる。従って、土壌浸食と堆積の現状を明らかにし、効果的に管理することは、流域資源の持続可能な管理にとって不可欠である³⁾。

択伐などに代表される熱帯林の攪乱が、集水域の流出土砂量に与える影響についてはいくつかの先行研究がある⁴⁾。しかし、観察された流出土砂量の値には非常に幅があるため、生産活動または土地利用だけ、すなわち森林伐採に起因する値として一般化することは困難である。さらには、土壌浸食および土砂の運搬過程は、地形、降雨、土壌、植生、および管理の実施方法などの複雑な相互作用に左右されるため、小面積の集水域で得られた結果の外挿は実際の様子を反映しないことが多い。そのため、現実の流出土砂量を明らかにするためには、様々な集水域および森林調査区における実験が必要である。しかし、集水域レベルにおける土壌浸食の研究は多大な労力と時間がかかることも事実である。そのため、広範囲な流域に及ぶ土壌浸食速度を一般化できるツールとして、地理情報システム (GIS) が注目され、集水域レベルにおける土壌浸食の計算や多様な管理シナリオに対する土壌侵食および流出土砂量をシミュレートが行われている。

2. 研究目的

本研究は、GISを利用することにより、森林伐採に関連した土壌浸食、栄養塩流出および土壌浸食耐性の影響評価や推定を行うことを目的とする。

3. 研究方法

1) 集水域の概要

土壌の保護と保全に関する流域機能の評価を行う際には上流と下流の水文学的過程を検討するため、広い流域を対象とする必要がある。そこで、本研究ではE-4(1) で作成した拡張パイロットサイト(100km × 100km)のうち、マレーシア半島部のパソ地域を含んだTriang集水域 (図1) を中心にデータを収集した。この地域は、ネグリスンピラン州、パハン州およびスランゴールの3州が含まれる。集水域の河川は南西にあるスランゴール州と南東のパソ森林保護区の境界から発し、北東に向かって流れ、一級河川のパハン川と合流して終わる。主要な支流は、Kenaboi川、Pertang川、Gelemi川およびKemasul川である。上流の森林で覆われた集水域は、飲料水の供給のために4ヶ所でダムが建設されている (<http://agrolink.moa.my>)。集水域の総面積は1,734 km²で、パイロットサイトの約26%に相当する。

最新の衛星画像によるとTriang集水域の主要な土地利用形態は、森林 (5%)、ゴム (26%) およびアブラヤシ (11%) であり、外にも農耕地、二次林、草原、住宅および採石場があった (表1)。また、この集水域には、Kemasol、Kenaboi、Garau、Berembun、TriangおよびPasoh (パソ) の、6つの森林保護区が存在し、下流域および中流域の地形は基本的に平坦で、標高40mから500mの起伏がある。さらに上流域では地形は急峻となり、最大標高は1440mである。集水域の簡単な地理学的情報を表2に示す。

表1 Triang集水域における土地利用形態

土地利用形態	面積 (ha)	%
森林保護区	95,273	54.9
ゴム	44,422	25.6
アブラヤシ	16,681	10.8
二次植生	5,306	3.1
農耕地(果樹)	4,909	2.8
草地	3,573	2.1
農耕地(草本)	679	0.4
その他	623	0.36
計	173,469	100.0

表2 Triang集水域の地理学的情報

Characteristics	Values
Area	1734.7 km ²
Form factor	0.28
Catchment length	72.7 km
Average slope	5%
Catchment perimeter	279.6 km
Stream density	0.36 km/km ²
Elevation	40 to 1440 m
Catchment relief	1400 m

パソ森林保護区に近接するPasoh Dua測候所で記録された降水様式について検討した。その結果、年間降雨量は最小1,469mm、最大2,350mm、平均1,811mm(13年分のデータから)であり年に2回、3~5月および9~12月に降雨量のピークが見られた。また、文献から、降雨日は366日であり、マレーシア半島部の他地域の降雨日と比較すると、かなり低い値であるといえる(年間159~195日:例えば、Noguchiら1996⁵⁾; Zulkifli 1996⁶⁾)。また、パソ森林保護区に設置されている雨量計から、記録される降雨の約47%は5mm以下であり、短時間(2時間以内)に集中していた。1時間あたりの平均降雨量と最大降雨量は、それぞれ7.8 mm hr⁻¹および63.8 mm hr⁻¹であった。

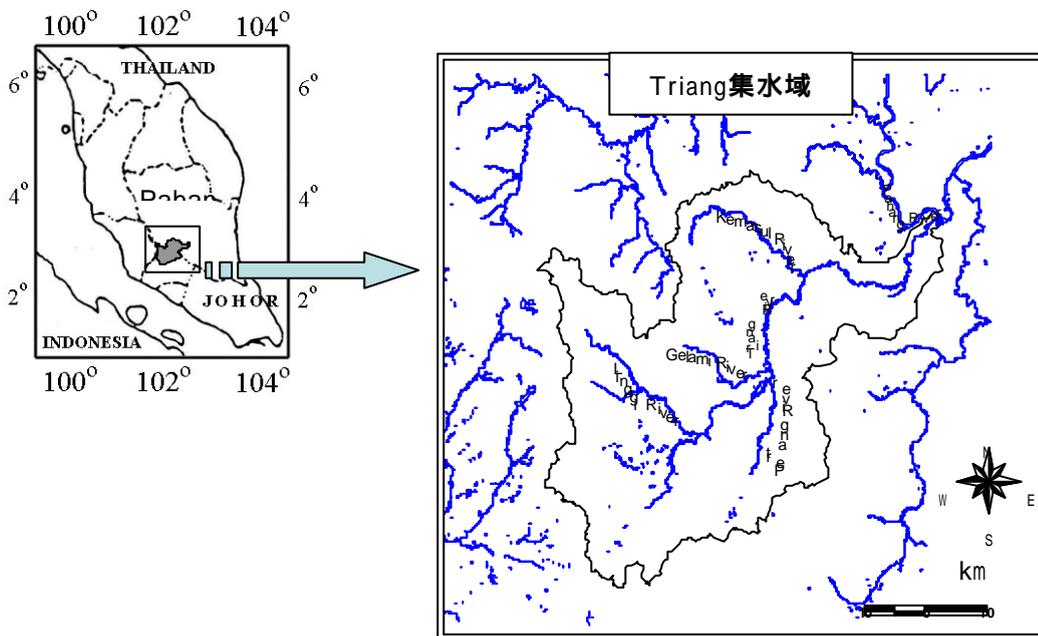


図1 パイロットサイト内に位置するTriang集水域

2) 一般土壌流出方程式 (Universal Soil Loss Equation :USLE)

Triang集水域全体における土壌浸食を推定するために、WischmeierとSmith (1978)⁷⁾によって開発された一般土壌流出方程式 (Universal Soil Loss Equation :USLE)を用いた。USLEはガリー侵食を考慮していないものの、地域規模での適用には最も実践的である。USLEは、Water Erosion Prediction Project

(WEPP)⁸⁾およびGriffith University Erosion System Template (GUEST)⁹⁾などの他のモデルと比較すると、かなり単純でデータ依存度が低い。USLEでは、潜在的侵食率Aは次式として計算される：

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot CP \quad \text{式(1)}$$

ここで、Aは土壌損失 ($t \text{ ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$)、Rは降雨侵食係数、Kは土壌受食性係数、Lは斜面長係数、Sは傾斜係数、Cは植被管理係数、Pは侵食管理実施係数である。森林で覆われた地域では、CP係数は植生管理係数VMに置き換えることができる。

以下のモデルの入力と計算は、ArcView GIS(ESRI, USA)上で行った。集水域の出口における流出土砂量を得るために、USLEによって計算された土壌侵食量に土砂運搬率 (SDR) を乗じた。図2に全土壌侵食量、流出土砂量、栄養塩損失および土壌侵食耐性を推定するための一般的な研究方法およびモデル化の各段階を示す。

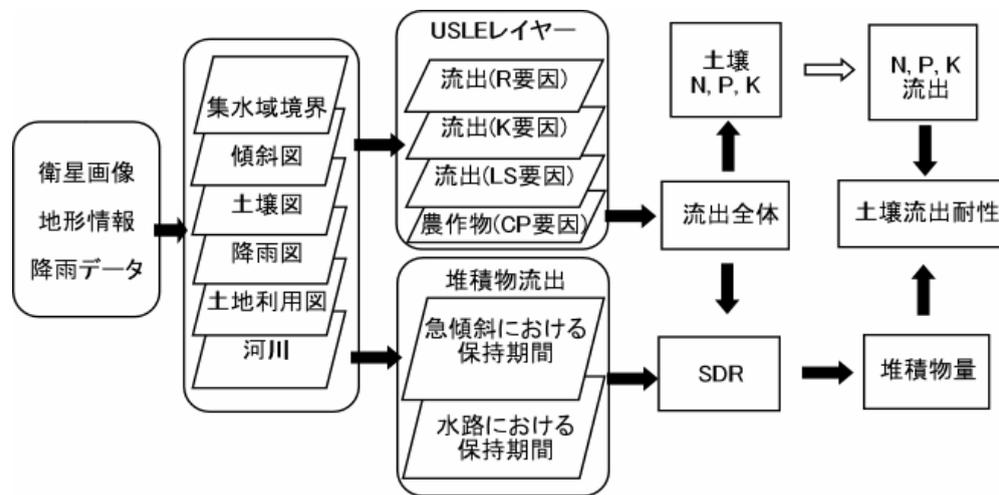


図2 土壌流出、堆積物量、土壌養分損失、土壌流出耐性推定のフローチャート

侵食係数、R

侵食係数は、降雨エネルギー強度またはEI指数から次式を用いて計算した。

$$R = (E * I_{30}) / (100 * 17.02) \quad \text{式(2)}$$

この式で、Eは全運動エネルギー ($J \text{ m}^{-2}$) また I_{30} は最大30分降雨量を mm hr^{-1} で表した値である。分析には長時間の連続した降雨記録を使用できないため、 I_{30} の値は次式から求めた¹⁰⁾：

$$\ln({}^R I_t) = a + b \ln(t) + c(\ln(t))^2 + d(\ln(t))^3 \quad \text{式(3)}$$

この式で、 I_t は平均降雨量 (mm hr^{-1}) であり R は再降雨までの時間、t は降雨時間である。降雨時間tは、分で表される降雨集中時間に等しい。本研究の分析では、欠測が少ないKuala Pilah測候所 (パソリんりん保護区から約30km) における5年分の再降雨時間も用いており 係数a、b、c、dとして、測候所から最も近い観測点での値、3.7967、1.2904、-0.4012および0.0247をそれぞれ適用した。

次に、Morgan (1974)¹⁾の式を用いて、以下のようEの値を求めた。

$$E = 9.28P - 8838.15 \quad \text{式 (4)}$$

この式で、EはJ/m²で表される年間侵食率、またPは年間降雨量 (mm)である。

地形係数、LS

地形係数LSは、侵食面の傾斜と長さを組み合わせた係数である。例えばRevised Soil Loss Equation (RUSLE)では、LSを地表流路の実際の長さとして表示し、地表流の開始点から主流に入る点までの距離を使用している。この定義は、地表流が少ない森林性の集水域または植生のある集水域に適している。森林性の集水域では中間流のほうが地表流より優勢で、地表流は水路の端の限られた地域、または浅い土壌の復帰流や飽和地表流として扱われている。従って、森林で覆われた集水域における地表流路は、地形図から認識される斜面長より短いと予測されるため、次のLS改良式を用いた：

$$LS = \left(\frac{L}{22.13}\right)^m (10.8 \sin q + 0.03) \quad \text{for } q \leq 9\% \text{ and} \quad \text{式 (5a)}$$

$$LS = \left(\frac{L}{22.13}\right)^m (16.8 \sin q - 0.50) \quad \text{for } q > 9\% \quad \text{式 (5b)}$$

これらの式で、 q は斜面の傾斜度、Lは最も近い排水点までの傾斜長である。べき数mは次式にて計算される。

$$m = \frac{F}{1 + F} \quad \text{式 (5c)}$$

なお、この式において

$$F = \frac{\sin q}{0.0896(3 * (\sin q)^{0.8} + 0.56)} \quad \text{式 (5d)}$$

とされる

受食性係数、K

土壌受食性係数Kは、土壌侵食のされやすさを表す指標である。これは、土壌の物理特性から次式を用いて計算した。

$$K = (2.1 * 10^{-6})(12 - OM)M^{1.14} + 0.032(S - 2) + 0.025(P - 3) \quad \text{式 (6)}$$

この式におけるOMは有機物含有量 (%)、Mは(シルト % + 微細砂 %)(100 - 粘土 %)、Sは土壌構造コード Pは透水性コードである。Sの値として微粒子では1、細粒子では2、中程度から粗い粒子では3、ブロック状、板状または塊状では4となる。Pは透水性の段階に対応して6段階で表され、透水が非常に遅い場合には6で速い場合には1となる。土壌統図は、マレーシア農業省から入手したネグリスンピラン州およびパハン州南部の土壌調査図を利用した。

CP係数とVM係数

農耕地と森林ではその値が異なる。そこで、農耕地については、農用係数C (休耕状態である土地と農地からの土壌損失の割合)を利用し、熱帯の作物と植生に関する情報として等高線耕作、段丘および帯状作付けのような保護が実施されている場合の係数Pを利用した。一方、森林地域に対しては植生管理係数

VMを用いた。VM係数は、植被と土壌表面条件の相互作用を一つの因子として考慮している。この係数は、i) 樹冠の覆い、ii)根覆いおよび林床植生の覆い、iii) 細根のある裸地、という種類の下位係数から構成される。

土砂運搬率 (SDR)

USLEを用いて計算される土壌浸食率は傾斜地からの潜在的土壌浸食を表す。しかし、土砂の一部は、集水域の出口まで運搬される間に窪地または水路に再堆積されるので、集水域から出る土砂、またはいわゆる「土砂流出量」は傾斜地で測定された値より小さくなるはずである。そのため、USLEでは土壌浸食率にSDR曲線から得られる係数を乗じて、値の調整を行う。SDRは主に集水域の大きさと河川長の影響を受ける。SDRと集水域面積との関係については、いくつかの研究が報告されており一般式は次のとおりである。

$$SDR = a \cdot AREA^b \quad \text{式 (7)}$$

この式で、aおよびbは係数、AREAはkm²で表した集水域面積である。aおよびbの値の範囲は、それぞれ0.4? 0.6および 0.2 ~ 0.1である。

3) 栄養塩流出と土壌浸食耐性

土壌浸食により土壌粒子に付着している栄養塩も持ち去られ、その土地の肥沃度を徐々に低下するため、長期間の生産性は、傾斜地の土壌浸食率に大きく依存している。そのため、土壌浸食耐性とは、土植物の成長と生態系の生産性を維持できる土壌の浸食量として定義される。これらの値は土壌の厚さおよび肥沃状態に左右されるが、土地利用の被度には左右されない。しかし、土地の被度または植生因子は、栄養分を保全し土壌損失を最低限に抑えるためにきわめて重要である。土壌浸食耐性Tの値が決まると、次の式を用いて得られる植生管理係数から、管理の選択肢を決定することができる。

$$VM = \frac{T}{R * K * LS} \quad \text{式 (8)}$$

4. 結果・考察

本年度の成果として、ArcView GISを利用した土壌浸食速度に関する予備的結果を述べる。

1) 傾斜長

主要河川の勾配は一般に緩やかで、集水域の出口から主要河川長の約80%にわたって平均斜度は2%であった(図3)。最も急峻な部分は、上流部の約20%の範囲である。等高線地図(図4A)から、土壌浸食に対する土地の感受性の程度を予想した。最も土壌浸食の可能性が高いのは、特に西、南および東方向の集水域境界近くにある急峻な地域である。調査地域の約6%は標高約1000m以上に位置するため、土壌侵食の危険性が高いと考えられる。しかし、これら地域では土壌侵食を受けやすい地域はまだ森林に覆われているため、土壌侵食のリスクは低いと予想される。一方で、調査地域の約65%は標高200m以下に位置しているため、この地域においてもなんらかの植生で覆われている限りは土壌侵食のリスクは低いと予想される。

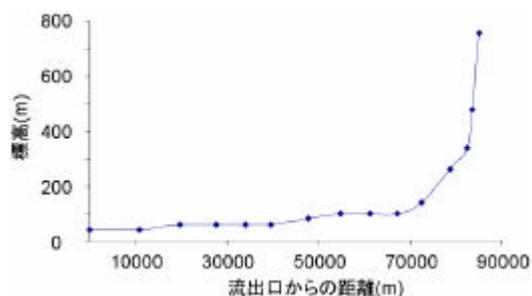


図3 Triang集水域における主要
河川からの距離の応じた傾斜勾配

本年度は傾斜長を等高線地図から推定した。推定において2つの傾斜カテゴリ(< 標高200m、> 標高200m)を用いた。この2種類のカテゴリは、農地 (< 標高200 m)および林地 (> 標高200 m)の区分に対応する。森林地域 (> 標高200 m)の平均LS値は9.81であるのに対し、非森林地域 (< 標高200 m)では8.07であった(表3)。

表3 傾斜特性。

	急勾配 (標高200 m以上)			非急勾配 (標高200 m以下)		
	長さ (m)	斜度 (%)	LS	長さ (m)	斜度 (%)	LS
平均	111.8	39	16.34	160	26	12.8
最小	37.6	11	2.57	69.1	7	1.14
最大	167	75	34.29	275	53	33.13
標準偏差	34.5	17.1	820	55.7	13.6	8.73

2) 土壌受食性

土壌統図から土壌受食性を求めたが(図4B)、既存の土壌図は集水域面積の61%が含まれているにすぎない。さらに、約49%は急勾配地に分類されるため、斜度20°以上の傾斜では、土壌調査は実施されていなかった。しかし、対象地域において優占的な統はRengam-Tampin、Batu Anam-Durian、Bungor-MalaccaおよびRivierine Alluvium-Telemongであり、非傾斜地の土壌のそれぞれ29%、13%、12%および10%を占めていた。そこで、計算図表法によって得られた受食性値(0.07 - 0.35;表4)を利用し、急勾配地におけるKの値については、周囲の土壌統から類推した。得られたKの値を図4Cに示す。

Table 4: Triang集水域の土壌タイプにおける流出因子

土壌タイプ	シンボル	% clay	% silt	% fine sand	% 有機物 (OM)	流出性 K
Reverine Alluvium Telemong	RVA-TMG	62	21	10	6.25	0.07
Rengam- Tampin	RGM-TPN	22.5	6.5	26.5	2.5	0.19
Bungor- Durian	BGR-DRN	26.5	21	46.5	1.6	0.18
Batu Anam Durian	BTM-DRN	37	24.5	34	1.515	0.29
Tampin- Rengam	TPN-RGM	22.5	6.5	26.5	2.495	0.19
Durian-Malacca	DRN-MCA	42.5	20	35	1	0.26
Bungor- Malacca	BGR-MCA	42	15	35.5	1.6	0.23
Durian-Tavy	DRN-TVY	34.5	30.5	31.5	0.5	0.35
Inland-Swamp-Local Alluvium	ISA-LAA					0.28
Rengam	RGM	22	4	21	3.99	0.18
Durian-Munchong		56	17	25.5	3.9	0.14

3) 農用および植生管理係数

さまざまな土地利用に対して計算されたCPおよびVM係数の値は、0.003 (非攪乱の森林)から1 (裸地)まで様々であった (表5)。これらの値の空間分布を図4Dに示す。

表5 Triang集水期における農用および植生管理係数

植生	C	P	C*P
アブラヤシ	0.5	0.25	0.125
ゴム	0.2	0.25	0.1
果樹	0.3	0.5	0.15
二次植生	0.02	1	0.02
都市部	0.005	1	0.005
裸地	1	1	1
住宅地	0.003	1	0.003
草地	0.01	1	0.01
森林 (二次林を含む)			0.003*
択伐林			0.015*

* VM因子として計算した

4) 降雨侵食係数

降雨データが限られているため、降雨侵食係数Rは対象地域内のPasoh Dua測候所で記録された降雨データを基に計算した。式 (3)を用いて計算したPasoh Dua測候所の I_{30} 値は 91.50 mm hr^{-1} であった。この値を基に得られたE係数とR係数を表6に示す。

表6 Triang集水域における二つの測候所における侵食因子

年降水量(mm)	E (Jm^{-2})	R - factor
1875 (Pasoh Dua測候所)	8561	460.27
2125 (Pahang測候所)	10881	584.99

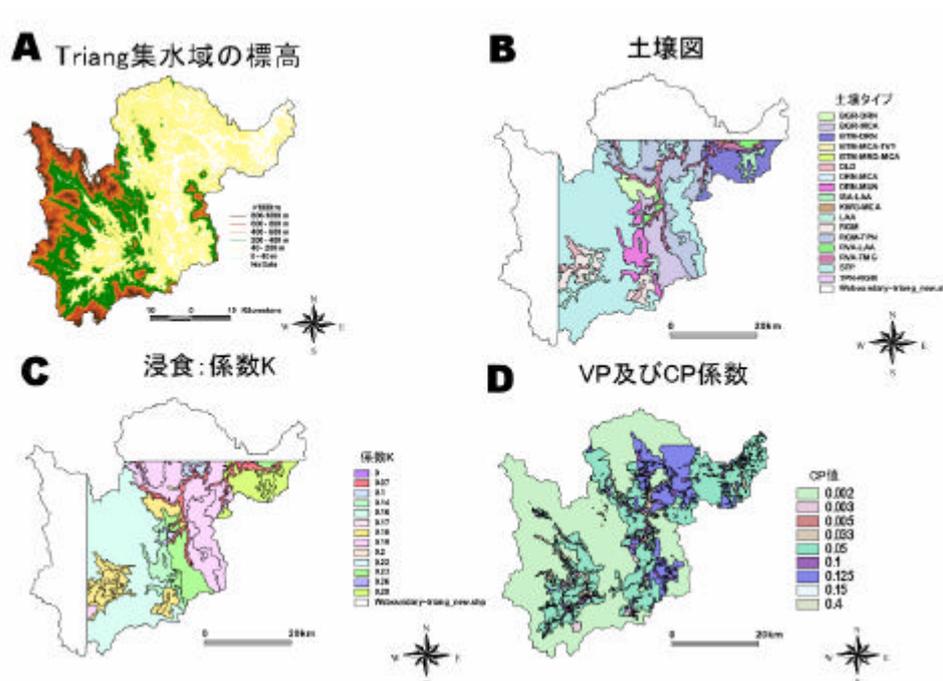


図4 本年度の結果。A:Triang集水域の標高図、B: 土壌図、C: 侵食係数K、D:VP及びCP係数。

5) 考察

土砂流出量の実測値との比較はモデル値の有効性を検討することを可能にする。特に、この検討は地域的特性をキャリブレーションしないUSLEのような経験的モデルを用いる場合に重要になる。表7は、マレーシアにおける攪乱されていない集水域と攪乱された集水域における土砂流出量を示したものである。伐採作業による影響を受けた集水域からの土砂流出量も合わせて示した。その結果、堆積量の範囲は、 $0.12 \text{ t ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ から $28.3 \text{ t ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ まで、かなり幅があるが、攪乱されていない集水域または完全に再生された森林のある集水域では、土砂流出量が少ない傾向にあった(平均値 = $-0.49 \text{ t ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$; 中央値 = $0.42 \text{ t ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$)。また、土砂流出量は、集水域の攪乱または森林消失の程度が高くなるにつれて増加する傾向があった。

表7 :マレーシアにおける堆積物計測の例

集水域	面積 (ha)	土地利用形態	堆積量 (ton/ha/yr)
1 - Mupor川、Johor州	2180	-天然林	0.41
- Sayong川、Johor州	9840	-ゴム、アブラヤシ	1.13
2 キアメロン高地			
- Telom川	7700	-94% 森林、5%茶、1% 野菜	0.53
- Bertam川		-64% 森林、21% 茶、7% 野菜、8% 裸地	2.57
		-70% 森林、11%茶、19% 野菜	
- Kial川			2.77
3 Gombak川上流	4130	-天然林	0.97
4 Gombak川下流	14000	-57% 森林、24% ゴム、12% 集落	1.68
5 Tekam川、パハン州			
-集水域 A	47	-二次林	0.17
-集水域B*	96	-二次林	0.42
6 Berembun、ネグリスンピラン州			
-C1	12.9	-伝統的伐採、40% 伐採	0.27
-C3	29.7	-管理的伐採、33% 伐採	0.12
-C2	4.2	-天然林(コントロール)	0.19
7 Langat川、スランゴール州			
- Batangsi川	1980	-伐採進行中、急傾斜、劣悪な伐採路	28.3
		-伐採直後	
-Chongkak川	1270	-伐採後7年	24.7
-Lui川	68100	-非伐採林	0.90
-Lawing川	470		0.54
8 Segama峠、サバ州			
-W8S5川	1700	-天然林	1.18
-Baru川ステーション	490	-択伐林	16.32
9 Tekam川、パハン州			
-集水域A	47	-森林転換 & プランテーション造成	0.50
-集水域 B	96	-森林転換	6.60

References as shown in column 1: 1- Leigh & Low (1973)¹³⁾; 2- Shallow (1956)¹⁴⁾; 3,4 - Douglas (1968)¹⁵⁾; 5- DID (1986)¹⁶⁾; 6- Baharuddin (1988)⁴⁾; 7- Lai (1993)¹⁷⁾; 8- Douglas et al. (1993)¹²⁾; 9- DID (1986)¹⁶⁾.

観測された値を伐採内容に限定すると、異なる土壌流出シナリオが浮かび上がる。例えば、択伐を行っているBerembun集水域(表7、サイト6)では土砂流出量に目立った増加が見られないものの、Batangsi川およびChongkak川(表7、サイト7)では攪乱されていないサイトの50倍にも達する土砂流出量の大幅な増加が観察された。理由として、伐採作業および地形条件が反映してと考えられるが、実験設計による影響も考えられる例えば、Berembunでは、集水域は非常に狭く、主要な伐採道路は集水域を通過しなかった。従って土地の攪乱は、集水域内の伐採作業の終了後にはすべて放棄される集材路に限られているが、使用

されていない集材路の回復速度は比較的早いと考えられる。これに加えて、Berembunでは、緩衝帯の保持、厳正な道路仕様書、等高線に沿った道路線形、地表流を逸らすための横断排泄溝の設置、さらに流水の横断を防ぐといった保全方法も導入されていた。一方で、サイト7における伐採作業は、最低の管理しか行われず、過度の斜面切土および流水の横断があるなど、伐採道路の維持管理は良くなかった。このように、**択伐に関する興味深い結果は、サイト8におけるDouglasら(1993)¹²⁾の調査で報告されている。このかなり大きな集水域における伐採によって、土砂流出量は近傍の攪乱されていない集水域の14倍まで増加していたが、こちらの方が代表的な値と捉えられるだろう**

Tekam川(表7、サイト9)における森林の伐採搬出と保全に関する結果は、予想以上に土砂流出量が少なく、何らかの問題があるものと思われる。これは、起伏が少なく緩やかな地形であるためかもしれないが、早い中間流出に関するサンプリングを行っていない可能性が考えられる。また、この研究ではサンプリング時に大雨が発生するという事象は稀であったものの、水のサンプリングは隔週を基本としていた。そのため、一度の大雨が、年間土砂供給量の30%に達することもある以上、Douglasら(1993)¹²⁾も強調するように、隔週単位のサンプリングでは現実的な結論を確定することは困難である。

5. 本研究により得られた成果

本研究報告では、土地利用、特に森林の伐採搬出にともなう土壌侵食の影響を評価するための予備的結果を示した。本研究の主要な結果は、Triang集水域における土壌侵食量、土砂流出量、栄養塩流出および土壌侵食耐性の推定値を得たことである。集水域全体の受食性KとCP係数を求めたが、来年度はネットワークツールと空間解析ツールを利用してLS係数およびSDRを求める予定である。対象地域では土地ごとの降雨量の変異が大きいため、集水域の侵食性係数を求めるために、様々な観測点から得られる降雨データを利用する必要がある。また、斜面と水路の特性によって決まる土砂運搬率を計算することにより、土砂流出量を明らかにすることが可能になると考えられる。これらの問題点を改良すれば、本研究の成果は森林の集水域保全機能の役割を科学的に評価する上で有効であると期待される。

6. 引用文献

- 1) Pimentel, D., Harvey, C., Resosudarmo, P., Sinclair, K., Kurz, D., McNair, M., Crist, S., Shpritz, L., Fitton, L., Saffouri, R. and Blair, R. (1995) Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. *Science*, 267: 1117-1123.
- 2) Hamilton, L.S. & P.N. King (1983) *Tropical Forested Watersheds. Hydrologic and Soil Response to Major Uses or Conversion*. Boulder, Colorado: Westview
- 3) Lal, R. (1976) Soil erosion on Alfisol in western Nigeria, IV. Nutrient element losses in runoff and eroded sediments. *Geoderma* 16: 403-417
- 4) Baharuddin K. (1988) Effect of logging on sediment yield in a hill dipterocarp forest in Peninsular Malaysia. *Journal of Tropical Forest Science*, 1(1): 56-66.
- 5) Noguchi, S., A. Rahim N., T. Sammori, M. Tani and Y. Tsuboyama (1996) Rainfall characteristics of tropical rain forest and temperate forest: Comparison between Bukit Tarek in Peninsular Malaysia and Hitachi Ohta in Japan. *Journal of Tropical Forest Science*, 9: 206-220.
- 6) Zulkifli Y. (1996) Nutrient cycling in secondary rain forest catchments of Peninsular Malaysia. PhD. Thesis, University of Manchester.

- 7) Wischmeier, W.H. and D.D. Smith (1978) Predicting rainfall-erosion losses. A guide to conservation planning. USDA Handbook no 537.
- 8) Foster, G.R., D.C. Flanagan, M.A. Nearing, L.J. Lane, L.M. Risse and S.S. Finkner (1995) Hillslope erosion component. In L.J. Lane and M.A. Nearing (eds.) USDA Water Erosion Prediction Project: Hillslope Profile Model Documentation. NESRL Report No2. W. Lafayette, Indiana: USDA_ARS
- 9) Rose, C.W., K.J. Coughlan, C.A.A. Ceisioika and B. Fentie (1997) Program GUEST (Griffith University Erosion Template). In K.J. Coughlan and C.W. Rose (eds.) A New Soil Conservation Methodology and Application to Cropping System in Tropical Steeplands. Canberra: ACIAR Technical Report, No 40: 34-58.
- 10) DID (2000). Urban Stormwater Management Manual For Malaysia. Malaysia: Department of Drainage and Irrigation. Vol. 1 - 12.
- 11) Morgan R.P.C. (1974) Estimating regional variation in soil erosion hazards in Peninsular Malaysia. Malayan Nature Journal, 28: 94-106.
- 12) Douglas, I., T. Greer, K. Bidin and W. Sinun (1993) Impact of road and compacted ground on post-logging sediment yield in a small drainage basin, Sabah, Malaysia. In Proceeding of the Yokohama Symposium on Hydrology of Warm Humid Regions, July 1993. IAHS Publ., no 216: 213-218.
- 13) Leigh, C.H. & Low, K.S. (1973) An Appraisal of Flood Situation in West Malaysia. In Symposium on Biological Research and National Development held at Kuala Lumpur: proceedings edited by E.S. Soepadmo and K.G. Singh. Kuala Lumpur: Malayan Nature Society, pp. 57-72.
- 14) Shallow, P. G. (1956) River Flow in Cameron Highland. Hydro Electric Technical Memorandum no. 3. Kuala Lumpur: Central Electricity Board.
- 15) Douglas, I. (1968) Erosion in the Sungai Gombak Catchment, Selangor, Malaysia. Journal of Tropical Geography, 26: 1-16.
- 16) DID (1986) Sungai Tekam Experimental Basin. Transitional Report July 1980 to June 1983. Water Resources Publication, no. 16. Drainage and Irrigation Department, Ministry of Agriculture, Kuala Lumpur, Malaysia.
- 17) Lai, F.S. (1993) Sediment yield from logged, steep upland catchments in Peninsular Malaysia. In: Proceeding of the Yokohama Symposium, Hydrology of Warm Humid Regions, IAHS Publ. no 216: 219-229.

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)>

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”

<学術誌 (査読なし)>

T. Okuda, K. Yoshida, S. Numata, S. Nishimura, H. Mazlan, 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- “

<書籍>

T. Okuda, N. Manokarana, Y. Matsumoto, K. Niiyama, S. C. Thomas, and P. S. Ashton, editors. 2003. Springer, Tokyo.

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

室田武、坂上雅治、三俣学、泉留維 :中央経済社 264ページ(2003)

「環境経済学の新世紀」

<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 (Okuda, T.)”

(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”

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”

T. Okuda, M. Suzuki, N. Adachi, K. Yoshida, S. Numata, S. Nishimura, K.Niiyama, Nur Supardi M.D. Noor, N. Manokaran, M. Hahsim : 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”

(3)出願特許

なし

(4)受賞等

なし

(5)一般への公表・報道等

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

国立環境研究所公開シンポジウム(2003)「熱帯林の現在、過去、未来」

国立環境研究所 環境儀「熱帯林 - 持続可能な森林管理を目指して」

ホームページを作成し、研究成果を公開した。[\(http://www.nies.go.jp/biology/pasoh/\)](http://www.nies.go.jp/biology/pasoh/)

9.成果の政策的な寄与・貢献について

本研究は、熱帯林の持つエコロジカルサービスの1つである集水域保全機能を評価し、森林伐採などの土地利用変化に伴う土壌浸食量の変動予測を試みたものである。河川の水質や洪水リスク、農地生産性に強く関連する土壌浸食量や土砂流出量を集水域スケールで明らかにした本研究成果は、熱帯域におけるランドスケープ管理に明瞭な指針をもたらすものである。また、京都メカニズム(議定書)の1つであるCDMの新規植林や再植林事業を展開する際、植林地の選定において集水域保全の観点からの確かな助言が可能となる。今後、降雨量データ等の精度を高めることにより、より適正な集水域管理に寄与できるものと考えられる。