

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

生物圏科学研究領域 熱帯生態系保全研究室

奥田敏統

近藤俊明・沼田真也・西村 千

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 4,993 千円

(平成 16 年度合計予算額 2,496 千円)

[要旨] マレーシア半島のパソ森林保護区を含む 1987 km² の集水域において、地理情報システム (GIS) を用いた Universal Soil Loss Equation (USLE) モデルにより、土壌流出量および栄養塩流出量を評価し、森林伐採などの土地利用改変が森林の持つ集水域保全機能に及ぼす影響について考察した。2003 年に撮影された衛星画像を用いて対象域の土地利用区分を行った結果、集水域における森林面積は 62% であり、このうち 95% は天然林であった。一方、集水域におけるゴム園の面積は 22.4%、アブラヤシプランテーションは 10.7%、その他の耕作地は 3.1% であった。集水域全体からの総土壌流出量は 7.15 mil ton/yr (35.9 ton/ha/yr) と推計され、最も土壌流出量の多い土地利用形態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% に過ぎなかった。一方、表層土壌からの栄養塩類の流出は、炭素(C)が 184,928 ton/yr、窒素(N)が 12,607 ton/yr、リン(P)が 3,739 ton/yr、カリウム(K)が 3,963 ton/yr であった。単位面積あたりの栄養塩類の流出は天然林で最小、樹木以外の各種耕作地で最大であった。また、1980 年から 1990 年までの河口における流量と堆積物濃度から計算した堆積物収量は、0.58 ton/ha/yr から 6.44 ton/ha/yr の範囲であり、平均は 1.52 ton/ha/yr であったのに対し、同時期の堆積物移動率(Sediment delivery ratios: SDR)は 0.02 から 0.18 の範囲(平均 0.04)であった。これらの結果をもとに、丘陵地の沈降や下流に移動する流水水路において再堆積した土壌の割合を推定した結果、丘陵地から流出した土壌の僅かに 4% が最終的に河口に到達し、その多くが河川内に堆積もしくは溶存することが明らかとなった。

これらの結果から、天然林はゴム園やオイルパームプランテーションに較べて土壌や栄養塩類を保持する機能が高く、集水域保全の主要な役割を担うだけでなく、水質の保全や河川狭窄の回避などの様々な機能を有することが明らかとなった。

[キーワード] 土壌流出、栄養塩類、Universal Soil Loss Equation、地理情報システム、土地利用改変

1. はじめに

流域は、水とエネルギーが物理、化学、および生物的システムにおいて相互に作用し、地形の形成や水の生成・循環だけでなく、その他の様々な生態系機能に影響を及ぼす基本的な単位であると言える。流域の健全性が保たれることによって、流域の持つ各種の公益的機能、すなわちエコロジカルサービスも確保されるが、流域を取り巻く環境は人為攪乱の増加に伴い急速に変化している。特に、森林伐採や土地利用転換に伴う河川への土壌流出は、水質の悪化や河川狭窄による洪水リスクの増加を引き起こすだけでなく、農地生産性の低下、水処理コストの増加および水中生息環境の悪化など、流域の持つ様々なエコロジカルサービスに大きな影響をもたらす。特に、降雨強度が高く、適切な土壌保全措置が取られていない熱帯域においては、他の地域に比べて土壌流出の影響は高まることが予想される。

熱帯域における森林伐採や土地利用変化が土壌流出量に及ぼす影響に関しては、これまで複数の報告がなされているもの^{1),3),4)}、流出土壌と堆積物の移動プロセスは、地形、降雨、土質、植被、および土地利用形態などの複雑な相互作用によって規定されるため、人為攪乱や土地利用形態だけで数値を一般化するのは困難である。したがって、集水域の様々な条件について実際の土壌流出量や堆積物収量を算出するには、数多くの実験集水域が必要となるが、このようなアプローチには多くの時間とコストがかかるうえ、実験区画または小集水域からの結果から大規模ランドスケープの堆積物収量を推定する作業は概して問題が多い⁵⁾。

これに対して、Universal Soil Loss Equation (USLE)のような土壌流出モデルの適用は、簡便かつ迅速に流域単位の土壌流出量の推定が可能だけでなく、空間データがあれば地理情報システム(GIS)の導入により処理時間を短縮できるので、様々な土地利用シナリオを試す機会が得られる。本研究では、いくつかの主要な土地利用から構成される大規模な流域を対象とし、地理情報システム(GIS)を用いたUSLEモデルにより土壌流出量および栄養塩類の損失量を推定した。

2. 研究目的

現在、熱帯域で急速に進む森林伐採や土地利用変化は、河川への土壌流出に伴う水質悪化、河川狭窄による洪水リスクの増加、農地生産性の低下および水中生息環境の悪化など、流域生態系や流域の持つ様々なエコロジカルサービスに多大な影響をもたらす。本研究では、地理情報システム(GIS)を用いたUSLEモデルの導入により、土壌流出量および栄養塩類の損失量を迅速かつ精度よく評価するための手法の開発を行うとともに、森林伐採や土地利用変化など的人為変化が集水域保全機能におよぼす影響を明らかにする。

3. 研究方法

(1) 調査対象地の概況

本研究対象地は、半島マレーシアのパソ森林保護区を含み、ネグリスンピラン、パハン、およびセランゴールの3州またがるTriang川流域である(図1)。Triang川はパソ森林保護区の南東部とセランゴールの南西部との境界に端を發し、最終的に一級河川であるパハン川と合流する。集水域の総面積は1987 km²であり、Kenaboi川、Pertang川、Gelemi川、およびKemasul川など複数の支流流域を含む。

2003年撮影の衛星画像を用いて土地利用区分を行った結果、Triang川流域の主な土地利用タイプ

は森林(58.6%)、ゴム園(22.4%)、およびアブラヤシプランテーション(10.7%)であった(表 1)。また、この流域には Kemasol F.R.、Kenaboi F.R.、Garau F.R.、Berembun F.R.、Triang F.R.、および Pasoh F.R.の 6つの森林保護区(F.R.: Forest Reserve)が存在する。

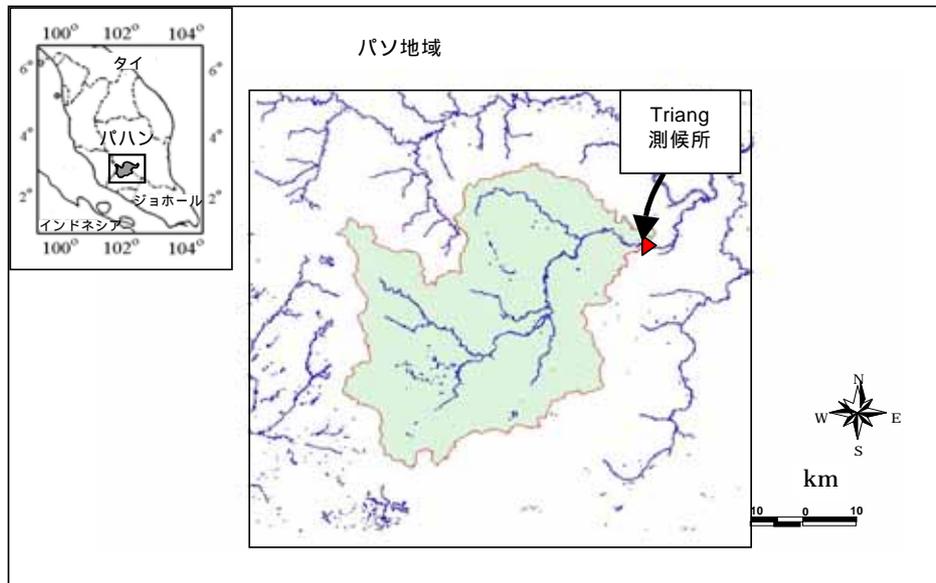


図 1 調査対象地 (Triang 川流域)

パソデュア測候所における13年余の記録によれば、この地域の年間降雨量は1469mmから2350 mmの範囲であり、平均は1811mmである。降雨パターンのピークは3～5月と9～12月に2回あり、南西と北東の両モンスーンの影響下にあることを示している。また、Noguhci ら⁹⁾によると、パソ森林保護区における降雨日は36ヶ月間に366日であり(年平均122日)、その約47%が降雨量5mm未満であった。降雨は短時間のもが多く、約50%が2時間未満であった。なお、降雨強度は平均7.8 mm/hr、最高63.8 mm/hrであった。

表 1 2003 年の衛星画像による Triang 川流域の土地利用構成

土地利用	面積 (ha)	割合 (%)
天然林	116 521.8	58.64
二次林	5 959.0	3.00
各種樹木栽培	5 675.5	2.86
樹木以外の各種栽培	435.0	0.22
水田	660.6	0.33
ゴム園	44 449.1	22.37
アブラヤシプランテーション	21 209.4	10.67
その他	3 788.1	1.91
合計	198 698.6	100.00

(2) 土壌流出量の推定

土壌流出量の推定には、地理情報システム(GIS)を用いた Universal Soil Loss Equation(USLE)モデル (Wischmeier & Smith 1978¹¹⁾)を用いた。USLEは土砂流出量の推定に広く用いられるモデルであり、一部の国で

は土壤管理と土地利用転換のための公式ツールとして利用されている^{6,7)}。USLEでは土壤流出量Aは次式で算定される。

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \quad \text{式(1)}$$

ここでAは土壤流出量(t/ha/yr)であり、Rは降雨侵食係数、Kは土壤浸食係数、LSは斜面長係数、Cは土地被覆タイプ係数、そして、Pは侵食防止慣行係数である。森林および樹木性の農地(例:ゴム園、アブラヤシプランテーション、果樹園)については、CPの代わりにVM係数²⁾を使用した。VM係数は、i)林冠植被、ii)根植被と地上植被、およびiii)細根のある裸地、の3つの係数から算出した。モデルの入力パラメータの詳しい計算方法については、Zulkifli & Okuda (2004)¹²⁾に詳しく述べられている。なお、地理情報システム(GIS)を用いたデータベース作成には30 × 30mのグリッド方式を採用した。

(3) 堆積物収量の推定

堆積物収量の推定には、Walling (1978)¹⁰⁾による堆積 - 流出曲線を用いた。

$$C = aQ^b \quad \text{式(2)}$$

ここでCは堆積物濃度(mg/l)であり、Qは流量(m³/s)である。解析にはTriang測候所で11年間(1980 ~ 1990)にわたり観測された堆積物濃度と日間流量を用いたが、1981年と1982年のデータセット以外は記録が不完全であったため、その他の年については月平均流量および降雨量に関する回帰方程式を用いて補間した。また単位面積当たりの実測の堆積物収量と土壤流出速度の比率、すなわち、堆積物移動率(SDR)を算出し、Quyung & Bartholic(1997)⁹⁾によるモデル式と比較した。

$$SDR = a \cdot AREA^b \quad \text{式(3)}$$

ここでaとbは定数項であり、AREAは集水域面積(km²)である。なお、aとbの数値の範囲はそれぞれ0.4 ~ 0.6と-0.2 ~ -0.1である。

(4) 炭素および栄養塩類流出量の推定

表層土壌からの炭素(C)、窒素(N)、リン(P)、およびカリウム(K)の流出量を、各養分の土地利用別の面積加重平均濃度および推定した土壤流出量から算出した。なお面積加重平均濃度 \bar{C} の算出には次式を用いた。

$$\bar{C} = \frac{\sum_i^n C_i A_i}{\sum_i^n A_i} \quad \text{式(4)}$$

ここでC_iとA_iはそれぞれ土壤タイプ_iにおける栄養塩濃度と面積である。

4. 結果・考察

(1) 土壌流出量の推定

調査対象地における土壌流出量の算出に用いた各レイヤーを図2に示す。USLEモデルによって算出された流域全体からの総土壌流出量は7.15 mil t/yrであった。集水域面積の22.4%を占めるゴムプランテーションからは2.70 mil t/haの土壌流出が生じ、これは総土壌流出量の37.8%に相当した(表2)。アブラヤシプランテーションからの流出量は1.7 mil t/yrであり、ゴムプランテーションに次ぐ高い値を示した。これらに対し、流域の約59%を占める天然林からの土壌流出量は19.7%を占めたに過ぎなかった。単位面積当たりの土壌流出速度は樹木以外の植生が最高で477 t/ha/yrであり、水田、各種樹木栽培地、ゴム園、およびアブラヤシプランテーションがこれに次ぐ値であった。森林の土壌流出速度は最小の12.1 t/ha/yrであり、ゴム園とアブラヤシプランテーションのそれぞれ1/5と1/7に過ぎなかった。

表2 1995年の衛星画像に基づくTriang川流域からの土地利用による土壌流出

土地利用タイプ	土壌流出量 (t/yr)	流出全体の割合 (%)	流出速度 (t/ha/yr)
天然林	1,407,526	19.69	12.1
二次林	413,256	5.78	69.3
各種樹木栽培 ¹	466,180	6.52	82.1
樹木以外の各種栽培 ²	207,581	2.90	477.2
水田	158,688	2.22	240.2
ゴム園	2,704,054	37.83	60.8
アブラヤシプランテーション	1,692,511	23.68	79.8
その他	98,444	1.39	26.4
合計	7,148,240	100.00	35.9

1: 各種樹木は主にドリアン、マンゴ、ランブータン、マンゴスチンなどの多年生樹木。

2: 樹木以外の各種栽培はバナナ、野菜、トウモロコシなどの一年生作物。

(2) 炭素および栄養塩類流出量の推定

Triang川流域からのC、N、P、およびKの総流出量はそれぞれ184,929、12,607、3,739、および3,963 t/yrと推定された(表3)。単位面積あたりの炭素の流出量は、天然林の0.312 t/ha/yrから樹木以外の各種栽培の2.12 t/ha/yrの範囲であった。N、P、およびKについても樹木以外の各種栽培からの流出量が最大であり、それぞれ0.84、0.25、および0.26 t/ha/yrであった。天然林は他のすべての生態系よりも栄養塩流出のレベルが低かった。

表4に流出した栄養塩類を補充するのに必要な肥料の量をまとめた。この際、肥料としてマレーシアで広く普及している尿素、燐灰土、およびカリ塩化物の3つをN、P、およびKの補充源として選んだ。炭素の排出に関わる費用を8 USD/tonとすると、土壌流出に起因する総炭素損失金額は年間148万米ドルとなる。また補充のための肥料の費用は、それぞれ、Nが488万米ドル、Pが340万米ドル、Kが107万米ドルである。

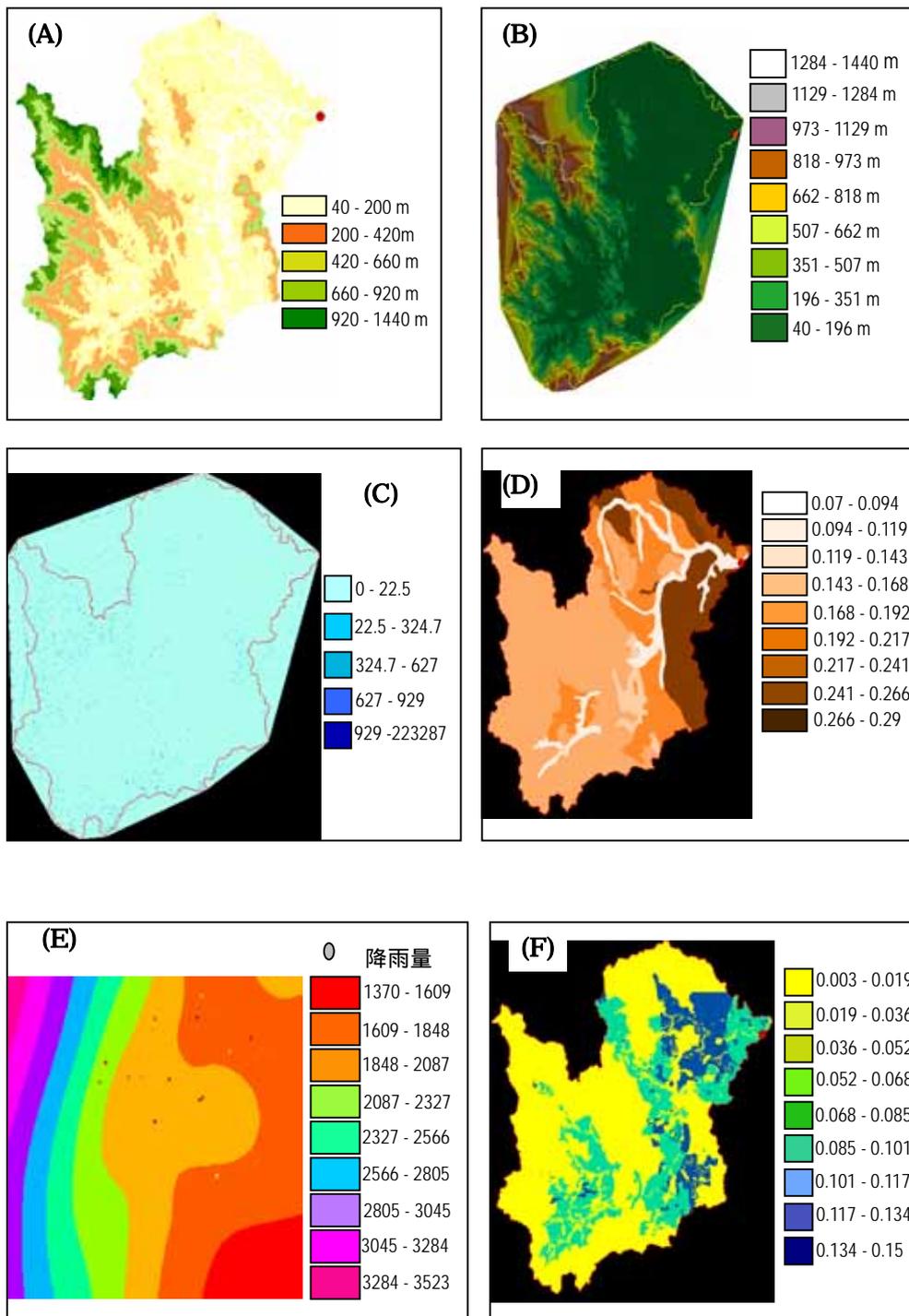


図2 Triang川流域の土壌流出量を算定するためのGISレイヤー。
 (A)標高、(B)地形<TIN>、(C) 斜面長係数 S、(D)侵食係数 K、(E)降雨量、(F)作物・
 管理慣行係数 CP および植生管理係数 VM。

表 3 各土地利用タイプにおける単位面積当たりの栄養塩流出量(t/ha/yr)

土地利用	C	N	P	K
	t/yr または (t/ha/yr)			
天然林	36 413.5 (0.312)	2 482.4 (0.021)	736.2 (0.006)	780.4 (0.007)
二次林	10 691.2 (1.794)	728.8 (0.122)	216.2 (0.036)	229.1 (0.038)
各種樹木栽培	12 060.3 (2.125)	822.2 (0.145)	243.8 (0.043)	258.5 (0.046)
樹木以外の各種栽培	5 370.2 (12.344)	366.1 (0.842)	108.6 (0.250)	115.1 (0.265)
水田	4 105.3 (6.215)	279.9 (0.424)	83.0 (0.126)	88.0 (0.133)
ゴム園	69 955.4 (1.574)	4 769.0 (0.107)	1 414.4 (0.032)	1 499.3 (0.034)
アブラヤシプランテーション	43 786.2 (2.064)	2 985.0 (0.141)	885.3 (0.042)	938.4 (0.044)
その他	2 546.8 (0.675)	173.6 (0.046)	51.5 (0.014)	54.6 (0.014)
合計	184 928.9 (0.931)	12 607.0 (0.063)	3 739.0 (0.019)	3 963.4 (0.020)

土壤中の平均濃度 : C - 2.587%、N - 0.1764%、P - 52.30 ppm、K - 55.44 ppm

表 4 Triang 川流域からの年間栄養塩流出量に相当する炭素と肥料の量

土地利用	C	尿素	CIRP	MP	C ¹	尿素 ²	CIRP ³	MP ⁴
	損失相当量 (t/y)				損失補充費用 (USD)			
天然林	36,413.5	5,396.5	6,197.2	1,567.1	291,307.8	960,576.0	669,300.4	211,560.7
二次林	1,069.2	1,584.4	1,819.5	460.1	85,529.3	282,029.5	196,509.6	62,115.2
各種樹木栽培	12,060.3	1,787.4	2,052.6	519.0	96,482.7	318,147.8	221,675.8	70,070.0
樹木以外の各種栽培	5,370.2	795.9	914.0	231.12	42,961.9	141,665.1	98,708.0	31,200.8
水田	4,105.3	608.4	698.7	176.7	32,842.8	108,297.7	75,458.6	23,851.9
ゴム園	69,955.4	10 367.4	11,905.7	3,010.7	559,642.6	1,845,400.7	1,285,819.5	406,437.7
アブラヤシプランテーション	43,786.2	6 489.1	7,452.0	1,884.4	350,289.6	1,155,066.0	804,815.1	254,395.9
その他	2,546.8	377.4	433.4	109.6	20,373.4	67,183.8	46,811.6	14,796.8
合計	184,928.9	31 473.1	31,473.1	7,958.7	1,479,431.4	4,878,366.6	3,399,098.6	1,074,429.1

1 - 炭素費用は 8.00USD /ton

2 - 尿素の窒素含有率は 46%。費用は 178USD /ton。

3 - CIRP はクリスマス島燐灰土であり P₂O₅ 含有率は 27%。平均費用は 108USD/t。

4 - MP はカリ塩化物であり K₂O 含有率は 60%。平均費用は 135USD /t。

(3) 堆積物収量の推定

月平均の河川流量と降雨量の関係を把握した結果、二者の間には正の相関関係が見られた($r^2=0.51$, $p<0.001$) (図3)。この相関関係を用いて、入手できなかった月間流量データを補間し、堆積負荷を算出した。堆積負荷の予測精度を改善するために、Reduced Major Axis Line (RMAL)回帰法を用いて負荷 - 流出曲線 (load-discharge rating curve)を作成した。

$$L = 0.0237Q^{3.01} \quad (r^2=0.85, p<0.001) \quad (5)$$

ここでLは平均負荷(t/day)であり、Qは平均流出速度(m^3/s)である。年間堆積物収量は1980年から1990年の期間において0.56から6.44 t/ha/yrの範囲で大きく変動したが平均は1.52 t/ha/yrであった (図4)。なお、SDR値は1.6%から17.9%の範囲であり、平均は4.2%である。

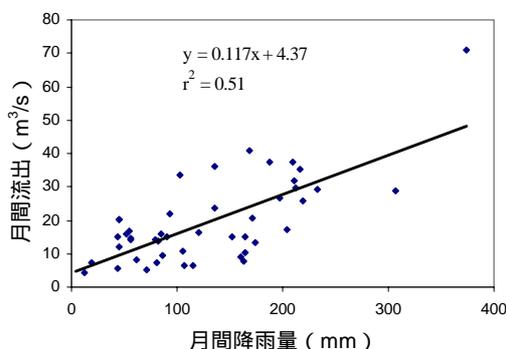


図3 Triang 流域における月間流出と月間流量の関係

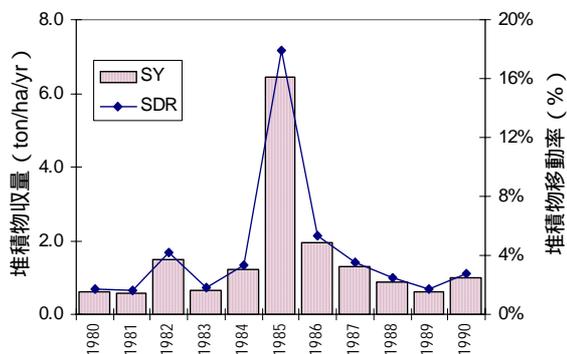


図4 1980～1990年の堆積物収量と堆積物移動率 (SDR)

(4) 考察 - 森林伐採および土地利用改変が土壌流出および栄養塩類の流出に及ぼす影響 -

地理情報システム(GIS)を用いた Universal Soil Loss Equation(USLE)モデルにより、マレーシア半島部に位置する Triang 川流域において、土壌流出量および栄養塩類損失量を算出した。その結果、集水域全体からの総土壌流出量は 7.15 mil ton/yr (35.9 ton/ha/yr)と推計され、土地利用タイプごとの比較では、樹木以外の各種耕作地で最も多く(477 ton/ha/yr)、天然林で最も少なかった(12.1 ton/ha/yr)。天然林面積は対象とした集水域の 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%に過ぎなかった。

現在、マレーシアをはじめとする熱帯域での主要な土地利用変化パターンは、森林からゴム園およびオイルパームプランテーションへの転換であるが、このような土地利用転換が行われた場合、土壌流出量は森林を維持した場合に比べ、それぞれ 5 倍および 6.5 倍に増加することが示唆された。また、すべての森林が土地利用転換に伴い伐採された場合には、集水域全体からの総土壌流出量は現在の約 6 倍に達すると考えられる。

一方、Triang 測候所で観測された堆積物濃度と日間流量を用いて、堆積物移動率(SDR)を算出した結果、丘陵地から流出した土壌の僅かに 4%が最終的に河口に到達し、その多くが河川内に堆積もしくは溶存することが明らかとなった。このことは、土地利用転換に伴い河川内に流出した土壌の多くは、水質の変化や河川内堆積物の増加をもたらし、最終的に水中生息環境の悪化や農作物の生産性の低下、

および河川狭窄による洪水リスクの増加など様々な影響をもたらすことを意味する。

また本研究では、土壌以外にリンやカリウムに代表される栄養塩類の流出についても評価を行い、流出した栄養塩類を補うのに必要な肥料の施肥に関わる費用を算出し、土地利用改変に伴う経済的損益に関しても評価を試みた。これは土地生産力に関する一面的な評価ではあるものの、今後上述のような農作物生産性や洪水リスクも加味することで、土地利用計画の策定などにおいて明瞭な指針を与えるものであると考える。

5. 本研究により得られた成果

本研究では、地理情報システム(GIS)を用いた Universal Soil Loss Equation(USLE)モデルにより、Triang 川流域における土壌流出量および栄養塩類損失量を算出するとともに、森林伐採や土地利用転換が集水域保全機能に及ぼす影響についてシミュレーションを行った。その結果、(1)ゴム園やオイルパームからの土壌流出量は、森林からの流出量のそれぞれ 5 倍と 6.5 倍に相当すること、(2)すべての森林が伐採された場合、流域全体からの土壌流出量は約 6 倍に増加すること、(3)流出した土壌の大部分が河川内に堆積もしくは溶存し、森林からの土地利用転換は水質の悪化に伴う生息地の破壊、河川狭窄による洪水リスクの増加、農作物の生産性の低下、および水処理コストの増加など、流域生態系とそのエコロジカルサービスに様々な影響をもたらすこと、が明らかとなった。

6. 引用文献

- 1) 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.
- 2) Baharuddin K., Abdul Rahim N and Zulkifli Y. (1999) A guide for estimation surface soil loss using the Modified Soil Loss Equation (MSLE) on Forest Land. FRIM Technical Information Handbook No 25.
- 3) 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.
- 4) 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.
- 5) Lane, L.J. Hernandez, M and Nichols, M (1997) Processes controlling sediment yield from watersheds as functions of spatial scale. *Environmental Modelling and Software*, 12(4): 355-369
- 6) Lin C.Y., Lin W.T. and Chou W.C. (2002) Soil erosion prediction and sediment yield estimation: the Taiwan experience. *Soil and Tillage Research*, 68(2): 143-152.

- 7) Moehansyah, H., Maheshwari, B.L. and Armstrong, J. (2004) Field evaluation of selected erosion models for catchment management in Indonesia. *Biosystem Engineering*, 88(4): 491-506.
- 8) Noguchi, S., A. Rahim N. and M. Tani (2003) Rainfall characteristics of tropical rain forest at Pasoh Forest Reserve, Negeri Sembilan, Peninsular Malaysia. In T. Okuda, N. Manokaran, Y. Matsumoto, K. Niiyama, S.C. Thomas and P.S. Ashton (eds.) *Pasoh – Ecology of a Lowland Rain Forest in Southeast Asia*. Tokyo: Springer-Verlag. 51-58.
- 9) Quyang, D. and J. Bartholic (1997) Predicting sediment delivery ratio in Saginaw bay watershed. *Proceedings of the 22nd. National Association of Environmental Professionals Conference*, Orlando, 659-671.
- 10) Walling, D.E. (1978) Suspended sediment and solute response characteristics of the river Exe, Devon, England. In Davidson-Arnott R., Nickling W. (eds.) *Research in Fluvial System*, Geoabstracts, Norwich., 169-197pp.
- 11) Wischmeier, W.H. and D.D. Smith (1978) Predicting rainfall-erosion losses. A guide to conservation planning. *Agricultural Handbook no 537*, USDA, Washington , D.C., 58 pp.
- 12) Zulkifli Y and Okuda, T. (2004) Studies on evaluation of logging impact on soil erosion and watershed ecosystem – preliminary results. *Annual Report of the NIES-FRIM-UPM joint Research Project on Tropical Ecology and Biodiversity*. NIES, Tsukuba, Japan. 77-89 pp.

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: 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

< 論文 (査読あり) >

S.Numata, N.Kachi, T.Okuda 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”

T.Okuda, H.Nor Azman, N.Manokaran, L.Q.Saw, H.M.S.Amir, P.S.Ashton : *Forest Diversity and Dynamism: Findings from a network of large-scale tropical forest plots*, Univ. Chicago Press, Chicago. Pp. 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. In: Losos, E.C. & Leigh, E.G. Jr. (Eds.)“

N.Manokaran, E.S.Quah, P.S.Ashton, J.V.Lafrankie, M.N.Nur Supardi, W.M.S.Wan Ahmad, and T.Okuda : Forest Diversity and Dynamism: Findings from a network of large-scale tropical forest plots, Univ. Chicago Press, Chicago, Pp. 585-598 (2004)

”Pasoh Forest Dynamics Plot, Peninsular Malaysia. In: Losos, E.C. & Leigh, E.G. Jr. (Eds.)”

K.Hoshizaki, K.Niiyama, K.Kimura, T.Yamashita, Y.Bekku, T.Okuda, E.S.Quah, and M.N.Nur Supardi : 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”

T.Okuda, M.Suzuki, S.Numata, K.Yoshida, S.Nishimura, K.Niiyama, N.Adachi, and N.Manokaran : Forest Ecol. and Management 203,63-75 (2004)

”Estimation of Tree Above-ground Biomass in a Lowland Dipterocarp Rainforest, by 3-D Photogrammetric Analysis”

S.Numata, 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“

M.Adachi, Y.S.Bekku, A.Konuma, Wan Rasidah Kadir, T.Okuda, and H.Koizumi : Malaysia. Forest Ecol. and Management(2005)

”Required sample size for estimating soil respiration rates in large areas of two tropical forests and two types of plantations” (in press)

< その他誌上発表(査読なし) >

T.Okuda, K.Yoshida, S.Numata, S.Nishimura, M.Suzuki, M.Hashim, N.Miyasaku, T.Sugimoto, N.Tagashira and M.Chiba : In T.Okuda, and Y. Matsumoto(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),Pp. 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.”

T.Okuda, M.Suzuki, M.Hashim, Z.Yusop, S.Numata, S.Nishimura, T.Kondo, K.Parker : In Shibayama, M., et al (ed.) Symposium on Area Informatics 2005- The Potential for GIS/RS in Area Studies

”Possibility of GIS application to ecosystem management in tropics.” (in press)

< 書籍 >

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」

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 - 生態系保全と温暖化対策の両立へむけて』開催報告」.

奥田敏統 : 暮らしの手帖(2004)

「熱帯林と私たちの暮らし」

T.Okuda and M.Hashim : An ongoing research project in Peninsular Malaysia CTFS news (2004)

“The ecosystem approach for sustainable forest management“(in press)

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)

杉本龍志, Y.NOOR AZLIN, 奥田敏統 : 日本熱帯生態学会、松山、2004年6月
「マレーシア半島における生物多様性保全のための『緑の回廊』づくり」

田頭直樹、千葉将敏、奥田敏統、沼田真也、吉田圭一郎、西村千 : 日本熱帯生態学会、松山、2004年6月
「熱帯雨林のエコロジカルサービスのモデリング手法について」

奥田敏統、鈴木万里子、沼田真也、西村千、吉田圭一郎、宮作尚宏、M.HASHIM : 日本熱帯生態学会、松山、2004年6月
「レーザープロファイラを用いた低地熱帯雨林の林冠観測」

八代裕一郎、安立美奈子、奥田敏統、小泉博 : 日本生態学会第51会大会、釧路、2004年8月
「マレーシアにおける土地利用変化とN₂Oフラックス」

安立美奈子、八代裕一郎、近藤美由紀、車戸憲二、W.RASHIDAH、奥田敏統、小泉博 : 日本生態学会第51会大会、釧路、2004年8月
「マレーシアの熱帯林とプランテーションにおける土壌特性が土壌呼吸速度に与える影響」

前田桂子、木村勝彦、奥田敏統、新山馨、A.RIPIN、A. R.KASSIM : 日本生態学会第51会大会、釧路(2004)
「マレーシア半島部における熱帯雨林構成樹種の種子・落葉試料を用いた個体レベルでのフェノロジー解析」

奥田敏統 : 地球環境モニタリングに関する国際シンポジウム、東京(2004)
「熱帯林のエコロジカルサービスに関する長期観測」

T.Okuda : IUFRO Meeting, Tsukuba, Oct. 2004

“Ecosystem approach for the landuse and forest management in tropics”

奥田敏統 : 日本マレーシア研究会(JAMS)第13回大会、名古屋、2004年11月
「マレーシアにおける熱帯林研究の現状: エコシステムマネジメントの可能性について」

奥田敏統 : 第7回自然系調査研究機関連絡会議(NORNAC)、山梨、2004年11月
「熱帯生態系におけるエコロジカルサービスのGIS化に関する試みについて」

H.Kobayashi, T.Matsunaga, A.Hoyano, T.Okuda, N.Nur Supardi : Chapman Conference on The Science and Technology of Carbon Sequestration, San Diego, USA. 2005, Nov
”Satellite Estimation of Net Primary Production in Southeast Asia: Effect of Large Reduction in Photosynthetically Active Radiation due to Smoke.“

奥田敏統、沼田真也、近藤俊明、鈴木万里子、小熊宏之、米康充、吉田圭一郎、西村千、宮作尚宏、Mazlan Hashim : 日本生態学会第52会大会、大阪、2005年3月
「レーザープロファイラを用いた熱帯雨林の林冠構造抽出について」

(3) 出願特許

なし

(4) シンポジウム、セミナーの開催

なし

(5) マスコミ等への公表・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に焦点を当て、森林伐採や土地利用転換に伴う土砂流出量の変動を、地理情報システム(GIS)を用いた Universal Soil Loss Equation (USLE)モデルにより評価・予測したものである。森林からの土地利用転換が、水質の変化に伴う生息環境の悪化や河川狭窄による洪水リスクの増加など、流域生態系やそのエコロジカルサービスに及ぼす影響を明らかにするとともに、簡便な評価手法を提示した本研究成果は、熱帯域における土地利用計画やランドスケープ管理に明瞭な指針を与えるものであると言える。