

### E-3 荒廃熱帯林のランドスケープレベルでのリハビリテーションに関する研究

#### (1) 択伐跡地、二次林、荒廃灌木林など荒廃林地の修復技術の開発と種多様性の評価に関する研究

##### ② 択伐跡地の森林水利機能の評価

独立行政法人 国際農林水産業研究センター

林業部

野口正二

〈研究協力者〉	独立行政法人 森林総合研究所	佐々木尚三
	カナダ国 ブリティッシュコロンビア	五味高志
	シンガポール共和国 シンガポール大学	根岸淳二郎
	マレーシア連邦国 マレーシア森林研究所	Abdul Rahim Nik

平成14～16年度合計予算額 6,030千円

(うち、平成16年度予算額 2,006千円)

[要旨] 一度失われた熱帯林の修復は容易でなく、熱帯林における伐採跡地・荒廃林地において、熱帯林の修復技術の発展が求められている。そこで、本研究では、パソ森林保護林(PAFR)およびブキタレ水文試験地(BTEW)を対象に、水文・気象観測に基づいて、次のことを明らかにした。1) PAFR内50haプロットにおける表層土壌水分の空間分布は、地形を反映していた。2) PAFR内6haプロットにおいて38ヶ所で土層深を測定した結果、14ヶ所で6mを超える深さであった。この結果は、降水量が少ないこの地域で、深い土層が雨水を一時的に土層中に貯留する役割を果たしていることを示唆する。3) 移動水収支法によって求めた年間蒸発散量は、1,243 mmから1,605mm(平均値: 1,425mm, 標準偏差: 70.8)であった。年蒸発散量を水収支式から推定する時、湿润熱帯地域においても貯留量が一定でなく、水収支開始時間に注意が必要であることが示された。4) BTEWにおける低水時の水流出特性は、地質に依存し、日本の堆積岩を基岩とする流域と同様であった。また、堆積岩を基岩とする流域は花崗岩を基岩とする流域より水源かん養機能が劣ることが示唆された。5) 河畔林緩衝帯が攪乱されると、樹木構成の多様性と地上バイオマスが減少することが示された。6) 森林伐採による河川の土砂および有機物量について、河畔林緩衝帯を攪乱した溪流が他の攪乱しない溪流に比べて極端に大きい値を示した。7) 作設後3年の林道において、シダ被覆が、作設後41年の林道では、ラタンやブルタンなどの植生および大径木(DBH $\geq$ 20cm)が遮断に影響を及ぼしていることが示された。

[キーワード] 熱帯林、伐採、林道、河畔林緩衝帯、リハビリテーション

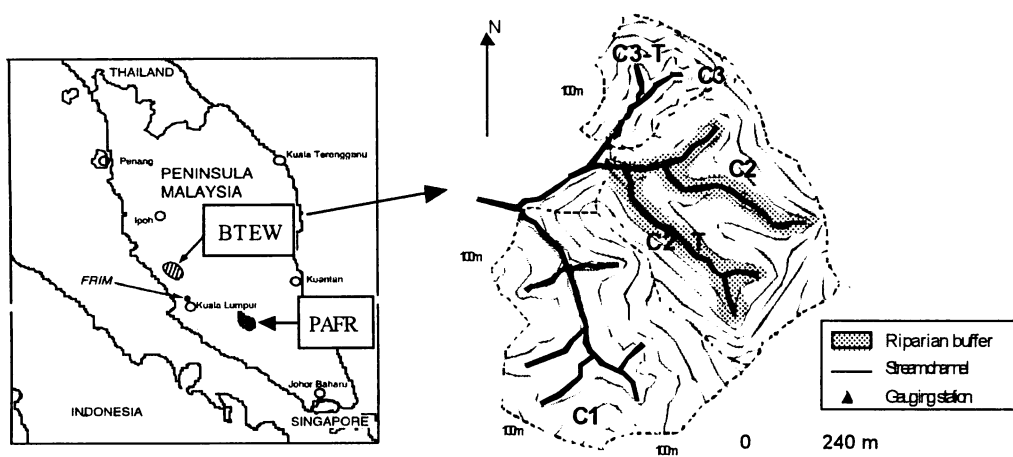
#### 1. はじめに

近年、熱帯林が有する生物多様性や地域・地球規模の環境保全機能としての役割が広く認識されることによって、熱帯林の減少に歯止めがかかる傾向にある。しかし、一度失われた熱帯林の修復は容易でなく、熱帯林の伐採跡地・荒廃林地において、今まで有効な修復技術が用いられて

いなかった。そこで、熱帯林の修復技術確立のため、森林伐採による森林の環境保全機能の変化や森林再生による森林機能の回復を明らかにすることが求められている。

ブキタレ水文試験地(BTEW)は、1989年にマレーシア森林研究所(FRIM)と森林局で設置され、FRIMによって水文観測を開始された。その後、環境省地球環境総合推進費により、共同研究として森林総合研究所(FFPRI)のグループが1991年から水文観測に参加し、熱帯林では極めて貴重な長期水文観測が実施されている<sup>1), 2), 3), 4)</sup>。本試験地では、1999年に2つの流域において、大径木が択伐された。

パソ森林保護林(PAFR)は、BTEWと同様、環境省地球環境総合推進費により、6haプロット内でタワーによる気象観測<sup>5)</sup>をはじめ、長期生態観測モニタリングが実施されている<sup>6)</sup>。また、FRIMと米国スミソニアン研究所により、50haプロットにおいて長期生態観測モニタリングが実施されている。



図－1 試験地の位置および BTEWの地形図。

## 2. 研究目的

本研究では、荒廃林地の修復技術の発展のため、熱帯林の水保全機能を明らかにするとともに、実際に伐採作業が実施されている流域を対象に、択伐跡地の水利機能の評価をすることを目的とする。そこで、PAFRおよびBTEWを対象に(図－1)、現地での水文・気象観測を基礎とし、次のことを明らかにすることを目的とした。

PAFR：表層土壌水分の空間分布(平成14年度)および土層深の測定(平成15年度)

BTEW：1) 流域からの蒸発散量(平成15年度)、2) 低水時の水流出特性(平成16年度)、3) 伐採による河川の土砂と有機物量の変化および河畔林緩衝帯の役割(平成14年度)、4) 伐採による河畔林緩衝帯の樹木構成の変化(平成15年度) 5) 作設3年後の林道における樹冠通過雨量の特性(平成15年度)、6) 作設41年後の林道における樹冠通過雨量の特性(平成16年度)。

## 3. 研究方法

ネグリセンビラン州パソ森林保護林(PAFR: 2° 59' N, 102° 19' E)では、天然林における土壌水分の空間分布を明らかにするため、保護林内の50haプロットを対象にADR土壌水分センサー(Delta-T Devices Ltd, UK)を用いて20mインターバル(1,326地点)で表層土壌水分を測定した。

また、気象タワー近傍に設置された6haプロットを対象に斜面調査用貫入試験器(つくば丸東)を用いて50mインターバル(35地点)で土層深の測定を実施した。

セラランゴール州ブキタレ水文試験地(BTEW: 3° 31' N, 101° 35' E)は、C1(コントロール)、C2(択伐、溪畔林緩衝帯あり)、C3(択伐→皆伐・早世樹種植栽、溪畔林緩衝帯なし)の3つの流域から構成されている。本試験地では、以下について行った。

1) 水文観測: 各流域で120° Vノッチをつけた堰堤を用いて河川流量を測定した。また、試験地内で転倒マスを用いて降水量の測定をした。

2) 河川の土砂・有機堆積物の調査: 各流域に設置されている量水堰から上流方向へ主流路長の約70%の区間を調査対象河道(C1:600m; C2:600m; C3:300m)とした。C2には、規模がほぼ同じ支流が存在するため、C2の本流と支流の2河道で調査を行った。2003年2月13日から27日の期間に、それぞれの調査対象河道において、堆積土砂量と倒流木量のサイズと位置を測定した。堆積土砂は堆積地の幅・長さ・堆積物の深さを計測し、土砂堆積を算定した。倒流木についてはLarge woody debris (LWD:直径>10cm;長さ>50cm)、Fine woody debris (FWD:直径3-10cm;長さ>50cm)、Fine Organic debris(落葉落枝の集合体)に分類しそのサイズや量を計測した。LWDに関しては河道内に堆積している材積を算出するため、それぞれの材について直径と長さを計測した。FWDは河道内にあるものの数を記録した。調査および解析方法の詳細に関してはGomiら<sup>7)</sup>に記載されている。

3) 河畔林緩衝帯における樹木構成の調査: C1およびC3の河畔林緩衝帯を対象に10×20mのプロットを堰堤から上流に向かって、50mインターバルに7ヶ所設置し、樹木の樹種、直径、樹高を測定した。

4) 林道での樹冠通過雨量の評価: C3で作設されてから3年後の林道(660m)を対象に5m間隔で林道の幅、シダ(Gleicheniaceae)の被覆率を測定した。さらに、林道上に5つのトランスセクションを設置し、各地点で5つのカテゴリー(1:オープンエリア、2:シダの被覆がない林道中心部、3:シダの被覆端、4:シダ被覆直下、5:シダの被覆直上)に分類し、それぞれにロート(面積:181.4 cm<sup>2</sup>)を用いて2003年10月30日~11月23日の期間、降水量の遮断量を測定した。また、C1で作設されてから41年放置された林道を対象に試験プロット(120m)を設置した。プロット内において、2m間隔に区分(60ブロック)し、各ブロック内において、1m以上の樹木を対象に樹種の同定、樹高および胸高直径の測定をした。また、4m間隔でロート付ボトル(面積:59.5 cm<sup>2</sup>)を林道の山側および谷側にそれぞれ20カ所(合計40カ所)設置し、2004年8月~12月の期間、樹冠通過雨量の測定を行った。

表-1 Okuda et al. (1998)による地形分類.

地形区分	Slope degree (SD)	Index of Convexity (IC)
FLT	<0.05	-0.3 ≤ IC < 0.7
TOP	<0.05	IC ≥ 0.7
VAL	<0.05	IC < -0.3
LOW	SD ≥ 0.05	IC < -0.1
MID	SD ≥ 0.05	-0.1 ≤ IC < 0.7
HIGH	≥ 0.05	IC ≥ 0.7

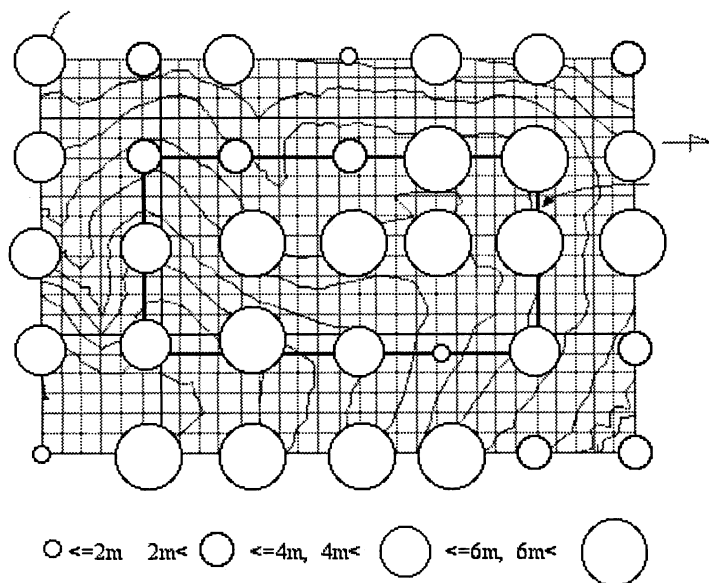


図-2 PAFR 6-ha プロットの地形図と土層深の測定結果.

#### 4. 結果・考察

##### (1) パソ森林保護林 (PAFR)

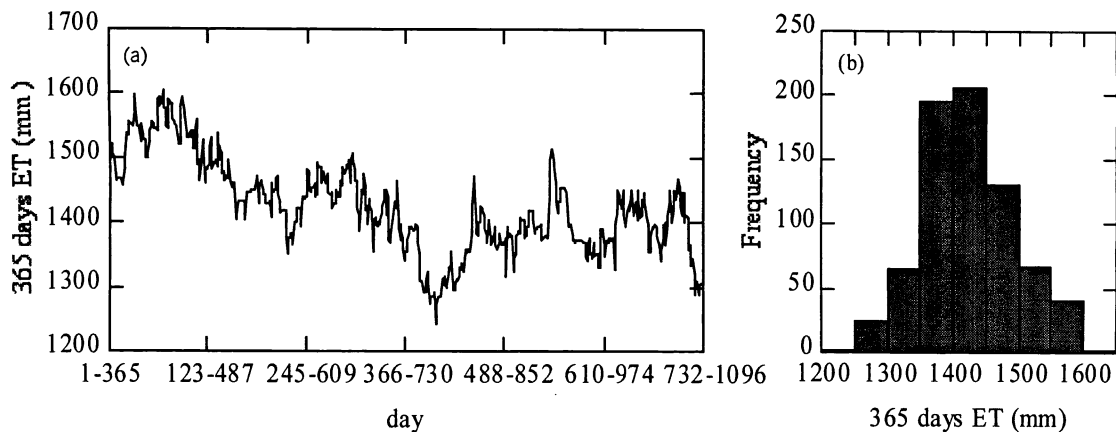
##### ① 表層土壌水分の空間分布 (平成14年度)

PAFRの気象タワーから南に3kmに位置するPasoh Duaにおける13年間(1983-1995)の年間降水量は1,468.6~2,349.5mm (平均値: 1,810.7mm)であった。土壌水分を測定した年の年降水量は1,425.9mmであり、極めて降水量が少ない年であった。しかし、土壌水分の測定を開始した日の10日および30日先行降水量は、15.1mm および 327.2mmで、測定は湿潤な時期に実施された。PAFR内50haプロットでの土壌水分測定結果、測定範囲、平均値、標準偏差および変動係数は、0.203~1.00V、0.495V、SD: 0.134V、3.64%であった。得られた値は、ボルテージ出力で値が小さいほど乾燥した状態を示す。ボルテージ出力と土壌水分の関係は、指数関係が認められるが、今後、測定値を絶対値に変換するためのキャリブレーションが必要である。

Okudaら<sup>8)</sup>は50haプロットを表-1に示すインデックスによって地形を分類した。土壌水分は地形を反映し、谷部 (VAL) や斜面下部 (LOW) において、比較的湿潤な状態を示し、尾根頂部 (TOP) で乾燥した状態を示した。一方、土壌水分は、平坦部 (FLT) において比較的乾燥な状態を示した。これは地形以外の要因、例えば、土層深、土壌物理特性や植生被覆率が影響していると考えられる。今後、これらの情報を収集する必要がある。

##### ② 熱帯林における土層深の把握 (平成15年度)

PAFR内6haプロットにおいて、38ヶ所で土層深を測定した結果、14ヶ所で6mを超える深さだった(図-2)。一方、BTEWの河畔林緩衝帯において、29ヶ所で土層深を測定した結果、57cmから376cm (平均値: 154cm)であった。PAFRは年蒸発散量が1,500mm程度で、半島内で年間降水量がもっとも少ない地域に位置し、年降水量が気象観測から推定される年蒸発散量を上回る年がある<sup>9)</sup>。このような地域で熱帯雨林が成立するのは、深い土層が雨水を一時的に貯留しているためと考えられる。今後、深い土層での土壌水分の変動を把握する必要がある。



図－3 移動式水収支法で求めた年蒸発散量.

(a) 水収支期間による年蒸発散量の変動、(b) 年蒸発散量の頻度分布

## (2) ブキタレ水文試験地 (BTEW)

### ① 蒸発散量の推定 (平成15年度)

土壤貯留量の変動が無視できるとき、年蒸発散量は、年降水量と年流域流出量の差から求めることができる。BTEWにおける水文観測から年間の水収支を365日に固定し、1992年1月1日から1994年1月1日まで水収支の開始日を移動して計算を試みた。この方法は移動水収支法と呼ばれている<sup>9)</sup>。3年間(1992-1994)における365日間の水収支期間によって求めた年蒸発散量は、1,243mmから1,605mm(平均値:1,425mm,標準偏差:70.8)であった(図-3)。3年間のBTEW内試験斜面における土壤貯留量(0-160cm)の変動は、488mmから694mmと計算された<sup>3)</sup>。試験斜面の測定結果は、流域全体の貯留量と同等とは言えないが、これらの結果は、流域の貯留量が一年を通じて一定でなく、年蒸発散量を水収支法から推定する時、計算開始日が重要であることを示している。

### ② 低水時の水流出特性 (平成16年度)

流域のC1に着目し、無降雨時の河川の減水特性について解析を実施した。減水係数は、次式<sup>10)</sup>を用いて求めた。

$$Q = \frac{Q_0}{(1 + \beta \sqrt{Q_0} t)}$$

ここで、 $Q_0$  ( $\text{mm d}^{-1}$ ):初期流出量、 $Q$  ( $\text{mm d}^{-1}$ ):時間 $t$ の時の流出量、 $e$ :自然対数、 $\beta$  ( $\text{d}^{-1}$ ):不圧地下水位係数を示す。なお、計算のためのサンプル数を得るために日降水量が $2.0$  ( $\text{mm d}^{-1}$ )以下の日は無降雨日として取り扱った。図-4に豊水量と渇水量の比と減水係数の関係について、BTEWと日本の流域での結果<sup>11)</sup>を比較した。BTEWでの値は、日本の堆積岩を基岩とする流域の結果と同様な値であった。この結果から、1) 流域からの低水時の流出特性は、その地域の気候より流域の地質に依存し、2) 堆積岩を基岩とする流域は、花崗岩を基岩とする流域より雨水を一時的に貯留し、ゆっくりと流出する機能が低いこと、が示唆された。

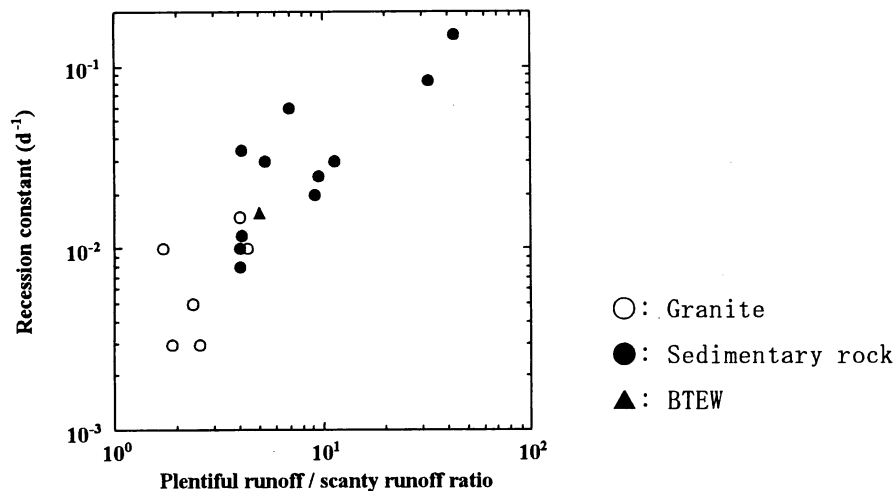


図-4 豊水流出量と渇水流出量の比と減水係数の関係。

### ③ 河川の土砂・有機物量（平成14年度）

河道の倒木の数量は、LWD・FWDともにC3が他の溪流に比べて約1.5から2倍であった。これらの多くは、伐採作業中に河道内へ倒れこんだものであると思われる。ただし、C3の倒木の材積は他の溪流に比べて、その違いは小さいことから、C3の倒木の多くは小径木であり、河道内の材積量への寄与が小さかったと考えられる。C2の倒木の数量と材積はC1のそれとあまり違いはなかった。これは、C2に設置されている20mの溪畔林緩衝帯が伐採作業中の立木の河道への倒れこみなどを押さえる効果があったと考えられる。ただし、これらの緩衝帯では、今後、緩衝帯林内の微気象の変化による枯死や風倒の増加などが予想されるため、長期的な視点で緩衝帯の森林遷移や風倒などの溪畔や溪岸の攪乱について観測をする必要がある。また、倒木の多くは作業中に倒れこむことから、河道周辺（溪畔域）の作業方法も考察していく必要があると思われる。

各流域の河道内の堆積土砂量を測定した結果、C3は他の流域に比べて、極端に多いことがわかった。これらの土砂は、流域斜面に設置された林道や伐採搬出路で侵食された土砂が河道に流出したものである。C2の土砂堆積量はC3に比べると小さいが、C1よりは多くなっていた（図-5）これらは、C3同様に、斜面上部の林道での侵食が、溪畔林緩衝帯内を流下し、河道へ流入したものと考えられた。つまり、土砂の河道流入については、斜面上での搬出路の設置位置や斜面の水文プロセスが影響を与えていることが指摘できる。今回の試験流域では20mの緩衝帯の効果については検討できたが、今後、どのような幅の溪畔林緩衝帯が最も効果的であるかということ、森林作業効率と環境影響評価の両面から議論をしていく必要もある。

### ④ 溪畔林緩衝帯における樹木構成の調査（平成15年度）

BTEWにおいて、攪乱を受けていないC1の溪畔林緩衝帯での調査結果、536樹木が測定され、40科144種が確認された。もっとも多様な科は、Euphorbiaceae(23種)で続いてLauraceae(10種)およびRubiaceae(10種)であった。BTEWにおいて、伐採の影響を受けたC3流域での溪畔林緩衝帯で

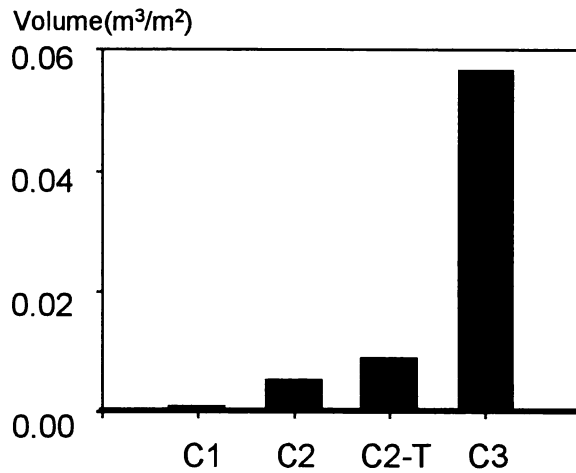


図-5 各流域 (C1, C2およびC3) における土砂堆積量.

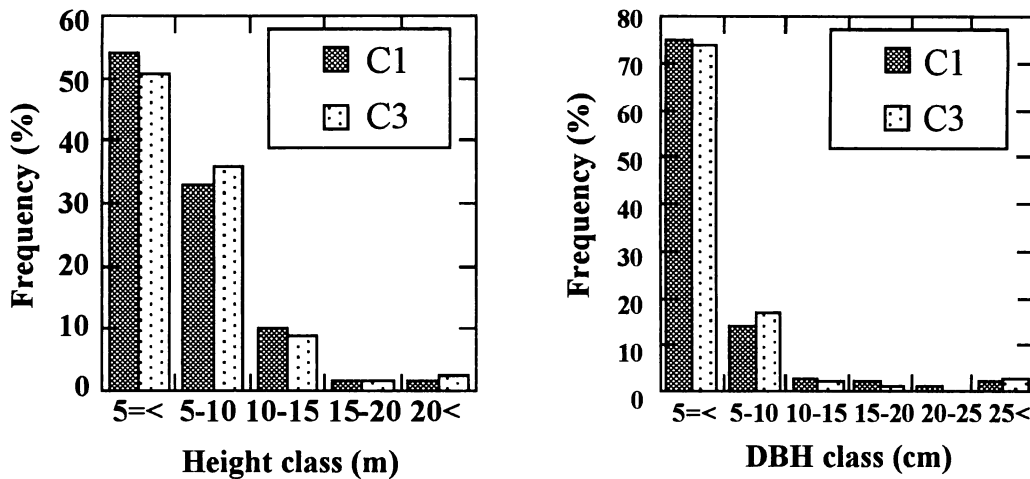


図-6 C1 と C3 の河畔林緩衝帯における樹木の樹高および胸高直径 (DBH) の頻度分布.

は、371樹木が測定され、30科91種が確認された。もっとも多様な科は、Euphorbiaceae (20 種) で続いてBurseraceae (9 種) および Lauraceae (6 種) であった。以上から、伐採の影響によって構成樹木の多様性が減少することが示唆された。

C1とC3の河畔林緩衝帯における樹木の樹高と胸高直径の頻度分布は共に逆J型を示した (図-6)。C1およびC3の樹高が<10mの割合は共に86.9%を示した。樹高が>20mの樹木の割合は、C1で1.5%、C3で2.4%であった。C1における樹高の中央値(4.5m)はC3における値(5.0m)と同様であった。C1およびC3ともに胸高直径が10cm以下の樹木は全体の90%以上であった。C1における樹木の胸高直径は0.2から63.8 cm (平均値: 4.5cm)で、C3においては、0.4から39.6cm (平均値: 4.6cm)であった。標準偏差の値は、C1(SD=6.74)の方がC3 (SD=5.67)より高い値を示した。C1とC3において、樹高の

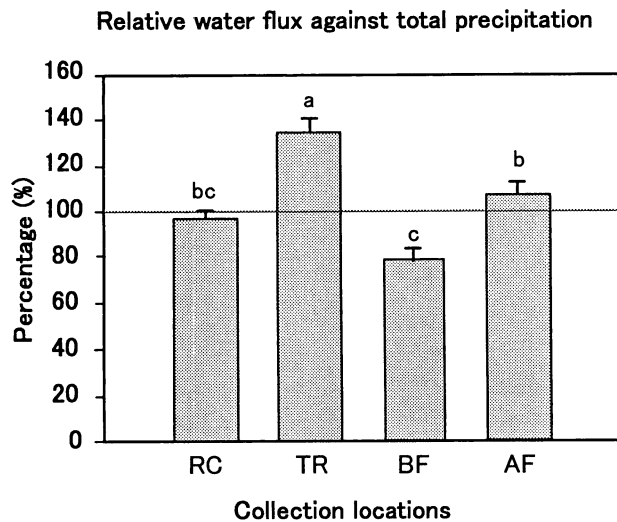


図-7 降水量に対する各場所における水フラックスの割合 (±標準偏差)。  
 RC: シダの被覆がない林道の中心、TR: シダ被覆端、BF: シダ被覆の直下、AF: シダ被覆の直上、破線はオープンエリアで測定された値に対する割合を示す。

頻度分布は、胸高直径の分布と同様な形であったが、樹木の本数は明らかにC3よりC1の方が多かった。C1とC3における樹木の本数、胸高直径および樹高の違いの原因は、1999年にC3で実施された河畔緩衝帯を含む主要木の伐採の影響と考えられた。同じ時期にC3の河道に堆積している大径木 (pieces  $\geq 0.5\text{m}$  in length and  $\geq 0.1\text{m}$  in diameter) の体積は、C1のものより約2倍であった<sup>12)</sup>。これらの結果は、1999年の伐採がC3の河畔林の樹木構成を変え、河道に倒流木を供給していることを示している。

河畔林緩衝帯における樹木の全地上バイオマス (TAGB) は次式<sup>13)</sup>によって求められた:

$$W_s = 0.313(D^2H)^{0.9733}$$

$$W_b = 0.039(D^2H)^{1.041}$$

$$1/W_l = 1/(0.124W_s^{0.794}) + 1/125$$

$$TAGB = \sum W_s + \sum W_b + \sum W_l$$

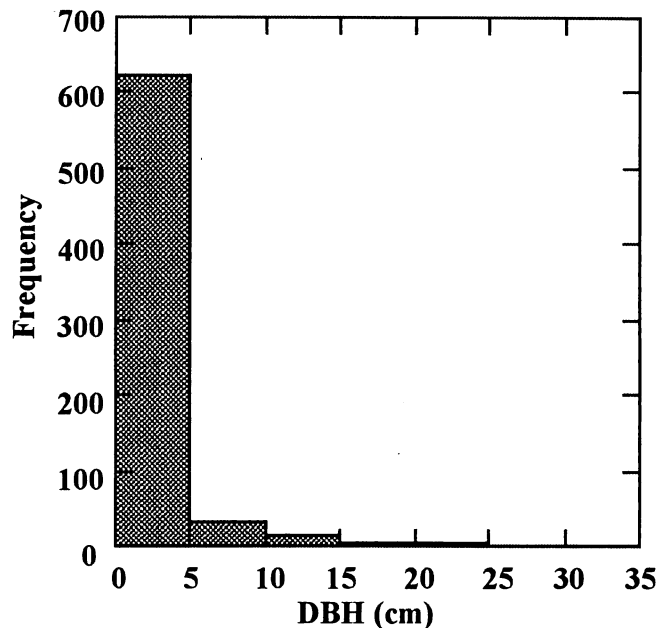
ここで、 $W_s$ 、 $W_b$ 、および $W_l$ はそれぞれ幹、枝および葉の乾重量(kg)、 $D$ は胸高直径(cm)、 $H$ は樹高(m)である。また、TAGBは全地上部バイオマスである。その結果、C1では、 $342(\text{t ha}^{-1})$ 、C3では $211(\text{t ha}^{-1})$ と計算された。

河畔林緩衝帯は、河道の水環境 (被陰、エネルギー入力、有機物堆積、生物の生息環境、水質) に影響を及ぼす。河畔林緩衝帯が攪乱を受けることによって、樹木の多様性は減少し、地上バイオマスは低下する。この河畔林樹種構成と地上バイオマスの変化は、河道の水環境に影響を及ぼすことが予測される。今後、これらのデータを河畔緩衝帯の光環境、堰堤での土砂量、水温などについて関連させ、河畔林緩衝帯の環境について明らかにする予定である。

#### ⑤ 作設3年後の林道における樹冠通過雨量の特性 (平成15年度)

C3において測定された林道の幅の平均値と標準偏差は、4.6mおよび0.9mであった。シダによる林道の被覆率の平均値と標準偏差は、57.7% および13.4% であった。測定期間中、11降雨イベントで樹冠通過雨量を測定した。オープンエリアに対する各カテゴリー地点における割合を図-7に示す。シダが被覆していない林道中心部(97.1%)とシダ直上(107.7%)で他の植生の影響が小さく、





図－8 作設後41年間放置された林道における樹木の胸高直径の頻度分布。

オープンエリアと同様な値を示した。一方、シダ直下では遮断率が高く(79.2%)、シダ被覆端で、シダによって雨水が集められオープンエリアより高い値(134.0%)を示した。林道作設により、表面流の発生が流域流出特性に影響を及ぼすことが指摘されている<sup>14)</sup>。シダの被覆率が進むにつれて、明らかに林道における表面流が減少する。さらに、シダの被覆は林道の土壌を保持し、高い降雨強度による雨滴浸食を防ぐ役割を果たす。一方、シダによる地表面の被覆は樹木の侵入・成長を妨げることが指摘されている。今後、シダの水・土砂流出特性に及ぼす影響だけでなく、シダと樹木による植生回復の関係について調査・観測をする必要がある。

⑥ 作設41年後の林道における樹冠通過雨量の特性(平成16年度)

41年間放置された林道に設置された長さプロット(120m)内で測定された樹木の総数は678本で43科・131種であった。胸高直径の頻度分布を図－8に示す。その範囲は0.2cm～31.0cm(平均:2.01cm, SD:3.21)で92%以上が直径5cm以下の樹木であった。最も多様性が高い科は、Euphorbiaceae(19種)で、続いてRubiaceae(18種)、Melastomataceae(8種)およびMyrtaceae(8種)であった。

41年間放置された林道におけるルート付きボトル全地点(40ヶ所:2,380cm<sup>2</sup>)の平均樹冠通過雨量に対する各地点の樹冠通過雨量の割合は、0.34～1.97であった(図－9)。これらは各ブロックの樹木数と明瞭な関係が認められなかった。一般に樹冠遮断量は、雨水が樹冠に保持されることから、樹冠の大きさに比例して増加すると言われている。そこで、41年間放置された林道におけるルート付きボトル全地点(40ヶ所:2,380cm<sup>2</sup>)の平均樹冠通過雨量に対する各地点の樹冠通過雨量の割合と各ブロックの大径木(DBH≥20cm)の数を示す(図－10)。大径木が存在するブロックの近くでは、樹冠通過雨量が小さい傾向があった。この結果は、大径木の樹冠によって雨

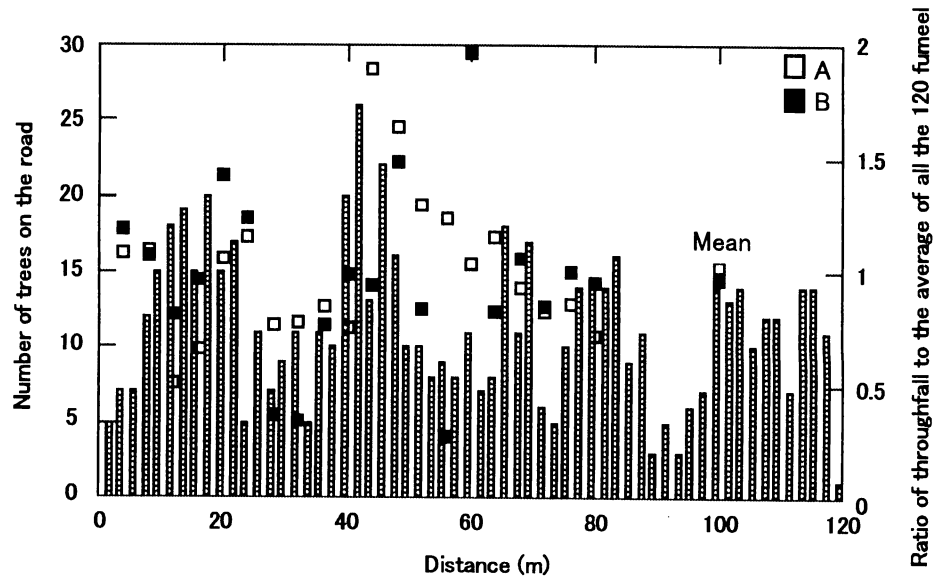


図-9 全地点 (40地点) の平均樹冠通過雨量に対する各地点における樹冠通過雨量の割合と各ブロック (1-60) 上の樹木の数.

A: 山側、B: 谷側

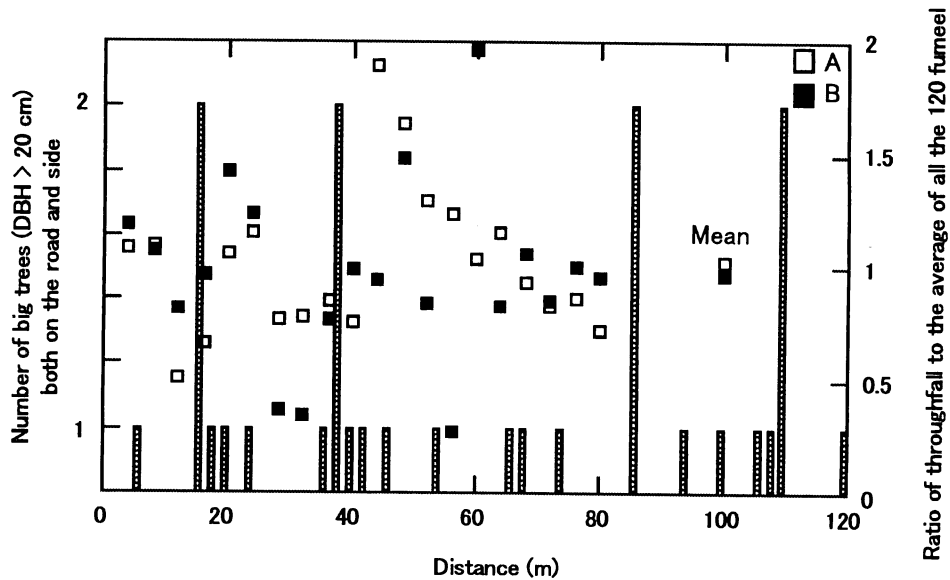


図-10 全地点 (40地点) の平均樹冠通過雨量に対する各地点における樹冠通過雨量の割合とブロック (1-60) 上の大径木 (DBH $\geq$ 20cm) の数.

A: 山側、B: 谷側

水が補足され、樹冠通過雨量が減少することを示唆している。今後、これら大径木の樹冠投影領域を測定し、より正確に原因を確認する必要がある。一方、降雨時における樹冠通過雨量の観察によると、ラタンやブルタンなどの植生下で樹冠通過雨が集中していることが観察された。これらの下層植生が樹冠通過雨量の不均質性の原因となっている。以上の結果は、パソ保護林を対象とした天然林での樹冠通過雨量の空間分布<sup>15)</sup>と大きく異なり、ユニークで、植生の回復により樹冠通過雨量がどのように変化するのか考える上で有益な情報を提供する。

## 5. 本研究により得られた成果

パソ森林保護林(PAFR)とブキタレ水文試験地(BTEW)を対象に、以下について明らかにされた。

(1) PAFRにおいて表層土壌水分を測定し、表層土壌水分の空間分布は、地形を反映していることを明らかにした。

(2) PAFRにおいて土層深の分布を明らかにし、年降水量が少ない地域でも熱帯雨林が成立するために必要な雨水を一時的に貯留する土層が存在することを明らかにした。

(3) BTEW小流域を対象に移動式水収支法を用いて蒸発散量を推定した。

(4) BTEWにおいて渇水時の水流出特性は、地質に依存し、堆積岩を基岩とする流域は花崗岩を基岩とする流域より水源かん養機能が劣ることが示唆された。

(5) BTEWにおいて河道の倒流木は、C3(河畔林の保全なしで択伐された流域)が他の溪流(C1:コントロール流域、C2:河畔林の保全ありで択伐された流域)に比べ約1.5-2倍であった。これらの多くは、伐採時に河道内へ倒れ込んだものと思われる。C2の倒木の数量と材積はC1のそれとあまり違いがなかった。これは、C2に設けられた20mの溪畔林緩衝帯が伐採による立木の河道への倒れ込みを押さえる効果があったと考えられた。河道内の堆積土砂量もC3は他の流域と比較して極端に多いことが明らかになった。

(6) BTEWにおいて2つの流域(C1:コントロール流域、C3:河畔林の保全なしで択伐された流域)を対象に、河畔林緩衝帯における樹木構成を調査し、伐採による攪乱によって、樹木の多様性と地上バイオマスが減少することを示した。

(7) BTEWにおいて作設されて3年後の林道では、シダの被覆が雨水の遮断に影響を及ぼすことが明らかになった。

(8) BTEWにおいて作設されて41年間放置されていた林道では、大径木(DBH $\geq$ 20cm)の近くで樹冠通過雨量が小さく、ラタンやブルタンなどの植生下で樹冠通過雨量が多いことが明らかになった。

## 6. 引用文献

- 1) Noguchi, S., Abdul Rahim, N., Baharuddin, K., Tani, M., Sammori, T. and Morisada, K. 1997. Soil physical properties and preferential flow pathways in a tropical rain forest, Bukit Tarek, Peninsular Malaysia. *J. For. Res.* 2: 115-120.
- 2) Noguchi, S., Abdul Rahim, N., Zulkifli, Y., Tani, M., and Sammori, T. 1997. Rainfall-runoff responses and roles of soil moisture variations to the response in tropical rain forest, Bukit Tarek, Peninsular Malaysia. *J. For. Res.* 2: 125-132.
- 3) 野口正二・ズルキフリ ユソッフ、バハルディン カスラン、谷誠、坪山良夫、三森利昭. 2000. 半島マレーシア・熱帯降雨林における土壌水貯留量の季節変動、*水文水資源学会誌*

13:206-215.

- 4) Sammori, T., Zulkifli, Y., Baharuddin, K., Noguchi, S. and Tani, M. 2004. Suspended solids discharge from a small forested basin in the humid tropics. *Hydrol. Process.* 18: 721-738.
- 5) Tani, M., Abdul Rahim N., Ohtani, Y., Yasuda, Y., Mohd Md S., Bharuddin K., Takanashi, S., Noguchi, S., Zulkifli Y. and Watanabe, T. 2003. Characteristics of energy exchange and surface conductance of a tropical rain forest in Peninsular Malaysia. In Okuda et al (Eds.): *Pasoh: Ecology of a Lowland Rain Forest in Southeast Asia*. Springer, Tokyo, Japan, 73-88.
- 6) Niiyama, K., Abdul Rahman Kassim, Iiida, S., Kimura, K., Azizi Ripin and Appanah, S. 2003. Regeneration of a clear-cut plot in a lowland dipterocarp forest in Pasoh Forest Reserve, Peninsula Malaysia. In Okuda et al (Eds.): *Pasoh: Ecology of a Lowland Rain Forest in Southeast Asia*. Springer, Tokyo, Japan, 559-568.
- 7) Gomi, T., Sidle, R.C., Bryant, M.D. and Woodsmith, D.R. 2001. The characteristics of woody debris and sediment distribution in headwater streams, southeast Alaska. *Can. J. For. Res.* 31: 1386-1399.
- 8) Okuda, T., Adachi, N., Manokaran, N., Azman, H., Saw, L.G. and Amir, H.M.S. 1998. Local variation of canopy structure in relation to soils and topography and the implications for species diversity in a rainforest of Peninsular Malaysia. Research Report of the NIES/FRIM/UPM Joint Research Project. 149-169.
- 9) Kuraji, K. and Paul L.L. 1994. Effects of rainfall interception on water balance in two tropical rainforest catchments, Saba, Malaysia. *Proc. Inter. Symp. For. Hydrol.* 1994. Tokyo Japan, 261-298.
- 10) 高木不折 1966. 低水流出の低減特性に関する研究、土木学会論文集、128: 1-11.
- 11) 藤枝基久 1995. ブラジル・サンパウロ州海岸山脈における流出特性、森林総合研究所研究報告 369: 63-152
- 12) Gomi, T., Sidle, R.C., Noguchi, S., Negishi, J.N., Abdul Rahim, N., and Sasaki, S. (submitted) Sediment and wood accumulations in tropical headwater streams: effect of logging and riparian buffers. *For. Ecol. Manag.*
- 13) Kato, R., Tadaki, Y. and Ogawa, F. 1978. Plant biomass and growth increment studies in Pasoh forest. *Malayan Nature Journal* 30: 211-224.
- 14) Sidle, R.C., Sasaki, S., Ohtsuki, M., Noguchi S., and Abdul Rahim N. 2004. Sediment pathways in a tropical forest: effects of logging roads and skid trails. *Hydrol. Proces.* 18: 703-720
- 15) Konishi, S., Tani, M., Kosugi, Y., Takanashi, S., Mohd Md, S., Abdul Rahim, N., and Niiyama, K. (submitted) Characteristics of spatial distribution of throughfall in a lowland tropical rainforest, Peninsular Malaysia. *For. Ecol. Manag.*

## 7. 国際共同研究等の状況

本研究は、マレーシア森林研究所 (FRIM)、Abdul Rahim Nik 林業部長をカウンターパートとし

て実施している。研究推進にあたり、現地でFRIMから調査協力を得ている。本研究を実施しているパソ保護林とブキタレ水文試験地は、熱帯雨林において、数少ない信頼できる水文観測を実施しており、国際的にも注目をされている。

## 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)>

- ① 野口正二: TROPICS, 11, 231-239 (2002)

「半島マレーシア・熱帯雨林における自然のダムとしての機能」

- ② S. Noguchi, K. Baharuddin, Y. Zulkifli, Y. Tsuboyama and M. Tani: J. Trop. For. Sci., 15, 513-530 (2003)

“Depth and physical properties of soil in forest and rubber plantation, Peninsular Malaysia”

- ③ S. Noguchi, N. Abdul Rahim, S. Siti Aisha, M. Tani, and T. Sammori: 水文水資源学会誌、17, 482-492 (2004)

“Evapotranspiration estimates of tropical rain forest, Bukit Tarek Experimental Watershed in Peninsular Malaysia, using the short-time period water-budget method”

- ④ S. Noguchi, N. Abdul Rahim, and M. Tani: JARQ, 39, in press (2005)

“Runoff characteristics in a tropical rain forest catchment”

<その他誌上発表 (査読なし)>

- ① M. Tani, N. Abdul Rahim, Y. Yasuda, S. Noguchi, S. Siti Aisah, S. Mohad, and S. Takanashi: IAHS Publication No. 280, 267-274 (2003)

“Long-term estimation of evapotranspiration from a tropical rain forest in Peninsular Malaysia”

- ② 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, Springer-Tokyo, 51-58 (2003)

“Rainfall characteristics of tropical rainforest at Pasoh Forest Reserve. (執筆担当: S. Noguchi, Abdul Rahim Nik, and M. Tani)”

- ③ 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, Springer-Tokyo, 73-88 (2003)

“Characteristics of energy exchange and surface conductance of a tropical rain forest in Peninsular Malaysia. (執筆担当: T. Tani, Abdul Rahim Nik, Y. Ohtani, Y. Yasuda, Mohd Md Sahat, Baharuddin Kasran, S. Takanashi, S. Noguchi, Zulkifli Yusop and T. Watanabe)”

- ④ 国際農業研究成果情報、10, 37-38 (2003)

「熱帯降雨林はゴムプランテーションに比べて優れた水保全機能を持つ (執筆担当: 野口正二、K. Baharuddin、Y. Zulkifli、坪山良夫、谷誠)」

- ⑤ T. Okuda, S. Numata, J. Im, and T. kondo (Eds.): Research Report of the NIES/FRIM/UPM Joint Research Project 2002. (2003)

“Preliminary study on spatial distribution of soil moisture at a 6-ha plot in Pasoh

- Forest Reserve (執筆担当 : S. Noguchi, M. Tani, K. Niiyama, N. Abdul Rahim, S. Ahmad Che Abdul, and S. Siti Aisah)”
- ⑥ R. C. Sidle, M. Tani, N. Abdul Rahim, and T.A. Taddese (Eds.): Forest and water in Worm, Humid Asia Proceedings of Workshop on IUFRO Forest Hydrology Working Group (8.03.00), Sabah, Malaysia 244-247. (2004)
- “Sediment, wood, and detritus accumulations in tropical headwater streams: Effects of logging and riparian management. (執筆担当 : T. Gomi, R. C. Sidle, S. Noguchi, N. J. Negishi, and N. Abdul Rahim)”
- ⑦ R. C. Sidle, M. Tani, N. Abdul Rahim, and T.A. Taddese (Eds.): Forest and water in Worm, Humid Asia. Proceedings of Workshop on IUFRO Forest Hydrology Working Group (8.03.00), Sabah, Malaysia 111-114. (2004)
- “Storm flow generation in a tropical headwater zero-order basin in Peninsular Malaysia (執筆担当 : N. J. Negishi, A. D. Ziegler, S. Noguchi, R. C. Sidle, and N. Abdul Rahim)”
- ⑧ R. C. Sidle, M. Tani, N. Abdul Rahim, and T.A. Taddese (Eds.): Forest and water in Worm, Humid Asia. Proceedings of Workshop on IUFRO Forest Hydrology Working Group (8.03.00), Sabah, Malaysia 164-166. (2004)
- “Fern growth along the logging roads affects nutrient fluxes via road surface runoff in Peninsular Malaysia (執筆担当 : N. J. Negishi, R. C. Sidle, S. Noguchi, N. Abdul Rahim, and R. Stanforth)”
- ⑨ R. C. Sidle, M. Tani, N. Abdul Rahim, and T.A. Taddese (Eds.): Forest and water in Worm, Humid Asia Proceedings of Workshop on IUFRO Forest Hydrology Working Group (8.03.00), Sabah, Malaysia 208-210. (2004)
- “Overland flow pathways at *Hopera odorata* plantation in Peninsular Malaysia. (執筆担当 : S. Noguchi, N. Abdul Rahim, N. J. Negishi, S. Sasaki, and S. Ahmad Abdul)”
- ⑩ Y. Matsumoto, E. Ueda, and S. Kobayashi (Eds.): Rehabilitation of Degraded Tropical Forests, Southeast Asia 2004, 37-42. (2004)
- “Observations on logging road recovery after 3 years of selective harvesting: implications to road. (執筆担当 : N. J. Negishi, S. Noguchi, R. C. Sidle, and N. Abdul Rahim)”
- ⑪ Y. Matsumoto, E. Ueda, and S. Kobayashi (Eds.): Rehabilitation of Degraded Tropical Forests, Southeast Asia 2004, 43-48. (2005)
- “Effect of forest harvesting on tree species composition at riparian in a tropical rain forest. (執筆担当 : S. Noguchi, N. Abdul Rahim, S. Ahmad, N. J. Negishi, T. Gomi, and S. Ahmad Abdul)”
- ⑫ Y. Matsumoto, E. Ueda, and S. Kobayashi (Eds.): Rehabilitation of Degraded Tropical Forests, Southeast Asia 2005, in press, (2005)
- “Spatial variability of throughfall along old logging road in Bukit Tarek Experimental Watershed. (執筆担当 : S. Noguchi, N. Abdul Rahim, S. Siti Aisha, and S. Ahmad)”

(2) 口頭発表

- ① S. Noguchi, N. Adachi, Y. Tan, N. Osada, and N. Abdul Rahim: 4th Asian Science and Technology Congress 2002, Kuala Lumpur (2002)  
“Spatial distribution of surface soil moisture in a tropical rain forest, Pasoh Forest Reserve”
- ② S. Noguchi, and N. Abdul Rahim: 17th World Congress Soil Sciences, Bangkok, Thailand (2002)  
“Preferential flow pathways in a tropical rain forest, Bukit Tarek in Peninsular Malaysia”
- ③ S. Sasaki, M. Ohtsuki, R.C. Sidle, S. Noguchi, and M. Farid: International seminar on new role of plantation forestry requiring appropriate tending and harvesting operations (2002)  
“Impact of forest road construction on surface erosion in Bukit Tarek Experimental Watershed, Peninsular Malaysia”
- ④ N. J. Negishi, R.C. Sidle, S. Noguchi, R. Stanforth, and N. Abdul Rahim: International Association of Hydrological Sciences, Sapporo, Japan (2003)  
“The effects of 3-year old road network on biogeochemical response of a small tropical headwater catchment to storm events in Peninsular Malaysia”

(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）

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

成果の一部を国際農業研究成果情報10 (2003)に発表し、成果の広報・普及をはかった。今後、さらに学会や所報などを通じ、成果の広報・普及に努める。