

### 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

#### (2) プランテーションや荒廃草地などのナチュラルフォレストコリドー導入による立地管理方法の開発に関する研究

##### ① ナチュラルコリドーの樹種選択、設置と成長解析

#### 独立行政法人森林総合研究所

海外研究領域		松本陽介
立地環境研究領域	チーム（温暖化物質）	森貞和仁
九州支所	森林生態系研究グループ	大貫靖浩
北海道支所	植物土壌系研究グループ	丸山温・北尾光俊・飛田博順

#### <研究協力者>

#### 独立行政法人森林総合研究所

海外研究領域		米田令仁（特別研究員）
愛媛大学	農学部	田中憲蔵

マレーシア連邦国	マレーシアプトラ大学 (UPM)	Nik Muhamad Majid・Faridah Hanum Ibrahim・ Mohamad Azani Alias
	マレーシア森林研究所 (FRIM)	Abdul Rahim Nik・Siti Aisah Shamsuddin・ Wan Rasidah Wan Abdul Kadir

平成 14～16 年度合計予算額 25,639 千円

(うち、平成 16 年度予算額 8,195 千円)

〔要旨〕本研究は荒廃草地などへのフォレストコリドーの導入を目指し、コリドー造成の際の植栽樹種の選定作業を樹種のもつ生理生態特性、荒廃地の立地環境を土壌特性から明らかにした。

植栽樹種の選定をするにあたり、樹木がもつ生理生態特性として光合成速度、水利用効率、保水性、強光への耐性という視点から調べた。またコリドーの目的は、植栽した木に動物や鳥が集まり、植生の遷移を促進させるという「触媒効果」を期待するため、動物や鳥が好む果実をつける樹種を主に選定し、実際に荒廃地に植栽をおこない、植栽木の生理生態特性をモニタリングした。その結果、植栽後の生長は、植栽前におこなった生理特性のスクリーニングの結果から予測された結果とほぼ一致した。また今回の実験から、生理生態特性だけではなく、樹種のもつフェノロジーも生長や生存に影響したと考えられた。

森林伐採は林道や集材路の開設により地表が激しく攪乱され表土の移動や流亡を引き起こし、流域の土壌を荒廃させる場合がある。この研究では、マレーシア森林研究所 Bukit Tarek 森林水文試験地で試験伐採された流域を試験地として伐採による土壌の荒廃を表層土の侵食、堆積量や表層土における理化学性の経年変化から検討した。

その結果、保護樹帯内における侵食・堆積量は斜面傾斜にある程度支配されるが、土砂の給源となる集材路や伐採地に連結しているガリーにおいて堆積量は最大となった。また、集材路に隣

接していても下層植生が繁茂している場所ではほとんど侵食・堆積が生じないこと、倒木は土砂をトラップする機能がかなり高いことが明らかになった。また、保護樹帯の効果は表層土壌の物理性にも及んでいることが明らかになった。伐採前後における表土の養分環境の比較から表土の荒廃が起こるのは伐採や林道開設により表土が削剥された場所に限られ、表土が攪乱されなかった場所の表土は荒廃していないことがわかった。

[キーワード] 造林特性、極限的荒廃地緑化、森林伐採、土壌侵食、養分環境

## 1. はじめに

熱帯林は人為的な要因によって森林生態系の劣化、また断片化がすすんでいる。断片化した森林の再生方法として、パッチ状になっている森林の間に、様々な植物によって構成されたコリドーを作り、鳥や動物が通ることによって森林生態系を回復させる試みがなされている<sup>1)</sup>。裸地化・草地化した極限的荒廃地の森林修復には、鳥や小動物が近隣から種子を運搬してくる効果（触媒効果）を期待して、それらが好む樹種や郷土樹種のエマージェント樹種を植栽すれば原植生の早期修復のためにも効果的であり、孤立化した森林をつなぐコリドーの造成法として効果的である。しかし、熱帯地域での非用材生産樹種における人工植栽の経験は極めて乏しく、どのような樹種をどのように植栽し、どのように保育すれば良いかの知見は極めて乏しい。

これまでに半島マレーシアにおいておこなってきた熱帯樹種の光合成や吸水能力などの生理特性を比較した結果、熱帯低地の裸地での人工的植林は、温帯地域とくらべてかなり困難であることが示されている<sup>2)</sup>。また、植栽木の光阻害を防ぐためには、アンテナクロロフィルにおける熱エネルギーの放散を増加させて光合成器官が受け取る光エネルギーを減少させるか、光合成器官で生じた電子を速やかに消費することが樹種特性として求められるが、これらの特性については未解明な樹種が極めて多い。このように、裸地化・草地化した土地への植栽後の生存率を高めるためには、植栽樹種の生理的な知見の集積が必要である。

また、荒廃地に森林を再生させるには荒廃地の土壌条件に適った樹種を選ぶことが重要であり、森林が劣化した時の土壌環境がどのように変わるのかを明らかにする必要がある。荒廃地の土壌条件は荒廃履歴によって違うことが十分に予想され、森林再生が可能な土壌条件を明らかにするためには、森林伐採がどのくらい土壌環境に影響を与えているかを把握しておく必要がある。森林伐採や伐採のための林道、集材路は地表を激しく攪乱し、表土の移動や流亡が発生し、土壌荒廃を引き起こす場合がある。表土の保全は土地の荒廃を未然に防止する観点から土地利用に際して最も重視すべき方策の一つである。そのためマレーシアでは森林伐採に際して保護樹帯（バッファゾーン）の設置などの表土保全策が提起されている。しかしながら、保護樹帯による表土保全効果を定量的に評価した例はほとんどない。

マレーシア連邦マレーシア森林研究所(FRIM)は1999年からBukit Tarek森林水文試験地の2流域で伐採試験を行い、択伐や皆伐が水や土の流出に与える影響を調査している。試験伐採では流域内に林道、集材路を開設するとともに、河道沿いに保護樹帯を設置した。

## 2. 研究目的

### (1) ナチュラルフォレストコリドーの樹種選択

熱帯樹種のハードニング試験、浸透ポテンシャルやガス交換特性のスクリーニングを行う。触媒効果を期待した種子もしくは果実が鳥や小動物の食用となる熱帯樹種の選択を行う。

## (2) 設置と成長解析

実証的な試験植栽を行う。また、生存率・成長量のモニタリング、および植栽木の強光阻害の程度など、健全性診断のためのクロロフィル蛍光反応や最大光合成速度の測定を行う。

## (3) 森林伐採による植栽基盤の変化

この研究は保護樹帯における表土保全効果を制御している立地要因および伐採により攪乱を受けた表土における養分の変動過程を明らかにすることを目的とした。

# 3. 研究方法

## (1) ナチュラルフォレストコリドーの樹種選択

### ①ハードニング処理試験

H14年度はマレーシア国複層林施業実証プロジェクト(MSFM-プロジェクト)チクス苗畑において行った11樹種の苗木のハードニング試験(耐乾燥試験)を報告した。飽水時の浸透ポテンシャル( $\phi_{o_{sat}}$ 、以下、浸透ポテンシャル)によってその処理効果を判定した。浸透ポテンシャルの測定には、浸透圧計(5210, 米国 Wescor 社)を用いて細胞液の浸透圧を直接測る方法を用いた。

### ②飽水時の浸透ポテンシャルのスクリーニング

浸透ポテンシャルのスクリーニングは、H14年度はMSFM-プロジェクト・チクス試験地におけるフタバガキ科21樹種を含む36樹種の陽葉を用いた。H15年度は、マレーシア・プトラ大学(UPM)構内の植栽樹木および苗畑のポット苗、合計47樹種について測定を行った。浸透ポテンシャルの測定方法は前項と同じである。それぞれの樹種で複数の個体から10枚以上の個葉を集め測定を行い、その平均値を求めた。前後2回の測定では27樹種の重複があり、結果は樹種ごとに取りまとめた。

### ③ガス交換特性のスクリーニング

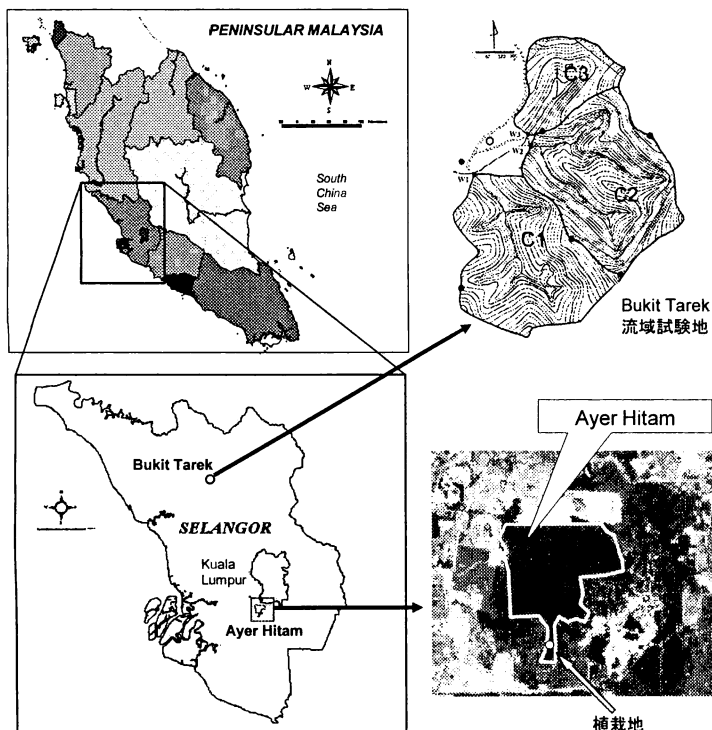
UPM 構内(図-1左)の苗畑において育苗した種子もしくは果実が鳥や小動物の食用となる熱帯樹種24樹種のポット苗を用いた。4個体の成熟葉について、携帯式光合成蒸散測定装置(LI-6400, Li-cor 社)を用いて測定し、最大光合成速度( $A_{max}$ )、最大水蒸気拡散コンダクタンス( $Gw_{max}$ )、および水利用効率(IWUE,  $A_{max}/Gw_{max}$ )を求めた。なお、測定に供した樹種は、ナチュラルフォレストコリドー造成に用いるための候補樹種とした。

### ④ナチュラルフォレストコリドー造成の樹種選択

用材樹種ではなく、種子もしくは果実が鳥や小動物の食用となる熱帯樹種に関する造林特性はほとんど明らかではない。そのため、浸透ポテンシャルやガス交換特性のスクリーニング結果を用いて、植栽樹種の選択を行った。

## (2) ナチュラルフォレストコリドーの設置と成長解析

UPMの演習林であるAyer Hitam 森林保護区(図-1、3°01' N, 101°39' E、約1,300ha)内の人工的造成地(約1ha)に試験的植栽地を設定した。この場所はもともと谷地形であったが、周辺の宅地造成の際に宅地造成残土(貧栄養の山地土と建築残材)で埋め立てられた。造成直後の2002年10月時点では無植生であった。



図—1 調査区の位置および Bukit Tarek 森林水文試験地の地形。

違法行為を認めた業者から補償金が国に支払われ、森林局によって樹高約 3m の *Hopea odorata* や *Shorea parvifolia* などが植栽（そのコストは、1本あたり約 9,000 円）された。しかし、補植もされたが 2004 年 4 月現在で生存木の生長は極めて不良である（ダイバック（枯下り）個体が多く、葉量もほとんど増加していない）。

このような土地に、鳥や動物が果実を好む樹種（触媒効果木）を 10 種選出し、2003 年 10 月に植栽をおこなった。植栽地は重機によってその基盤を堅く踏み固められていたので、植穴は 1m×1m×1m のサイズにバックホーを用いて掘起し、有機質堆肥を 0.5kg/本、鋤込み、樹高数 10cm サイズの苗木を植栽した。苗木は種子から培養し、UPM の苗畑で 1 日 2 回灌水を行いつつ約 1 年間生育させたものである。植栽直前にはハードニングを行うために 1 日 1 回の灌水の割りで全天下において 3 週間の順化を行った。

#### ① 生長量

植栽後の成長測定は、根元直径、樹高、葉の枚数（シュートマーキングを行い、測定間隔ごとに展開した枚数のカウント）を調べた。

#### ② 生理特性の変化

植栽前後における生理的变化を明らかにするため、苗畑段階、植栽直後、および植栽 3 ヶ月目（2004 年 1 月）、6 ヶ月目（2004 年 4 月）、15 ヶ月後（2005 年 1 月）のガス交換およびクロロフィル蛍光反応などを継続的測定している。光合成のガス交換およびクロロフィル蛍光反応測定は、完全展開して成熟した葉を対象として行った。測定は、光合成の飽和光 ( $1,200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )、 $\text{CO}_2$  濃度  $360 \mu\text{mol mol}^{-1}$  の条件で行った。生理特性を測定する個体については施肥をおこなわなかった。植栽した樹種の中で、羽状複葉で小葉の小さい葉はガス交換およびクロロフィル蛍光反応測定が困難なために測定をおこなわなかった。

### (3) 森林伐採による植栽基盤の変化

試験地はFRIM Bukit Tarek 森林水文試験地 (3° 31' N、101° 35' E) の C2、C3 流域である (図-1)。C2 流域は 1999 年 11 月～2000 年 3 月に伐採された。C3 流域は 2003 年 11 月から伐採され、2004 年 1 月に火入れ地拵えした後に郷土樹種の *Hopea odorata* が植栽された。両流域とも流域内の流路沿い (幅 20m) が保護樹帯として残されている。

保護樹帯の表土保全効果に関する調査を C2 流域で、森林伐採に伴う表土の養分環境の変動に関する調査を C2、C3 流域で行った。

#### ①保護樹帯の表土保全効果に関する調査

##### ア 保護樹帯における微地形および植生分布

保護樹帯の表土保全効果を制御している立地要因を明らかにするため、C2 流域下流部にある保護樹帯内の 4 箇所に設置した土壌侵食・堆積量測定プロットの微地形および植生分布を調査した。

##### イ 保護樹帯における表層土壌の物理特性の測定

土壌侵食・堆積量測定プロットにおいて、計 8 地点 (自然状態: 4 地点、堆積域: 4 地点) で不攪乱の表層土壌円筒試料を 2 個ずつ採取し、それぞれ飽和透水係数、容積重、全孔隙率および土壌水分特性を測定した。

#### ②森林伐採に伴う表土の養分環境の変動に関する調査

ア C2 流域では伐採後 3 年目に伐採前 (1997 年) 調査と同じ斜面のほぼ同じ斜面位置 6 カ所で表層土壌 (0-5cm) を採取し、伐採後の回復状態を検討した。

イ C3 流域では定点観測点を設定し伐採前 (2003 年)、火入れ直後 (2004 年)、植栽 1 年後 (2005 年) に深さ 30cm までの土壌を採取して、土壌中における養分環境の変動を観測した。

測定項目はどちらも土の密度を示す細土容積重、養分環境の指標となる炭素濃度、窒素濃度、陽イオン交換容量 (CEC)、および交換性塩基濃度であった。C3 流域については養分環境の指標として可給態リンも測定した。

## 4. 結果・考察

### (1) ナチュラルフォレストコリドールの樹種選択

#### ①ハードニング処理試験

一般に、ハードニング処理によって浸透ポテンシャルが変化する (しおれにくくなる) 樹種が多いが、H14 年度は、*Koompacia malaccensis*、*Shorea macroptera*、および *Shorea pauciflora* ではほとんど変化せず、ハードニング処理では、耐乾燥性を付与することが出来ない樹種があることを明らかにした。

#### ②飽水時の浸透ポテンシャルのスクリーニング

葉の浸透ポテンシャル ( $\Psi_{o_{sat}}$ ) は吸水力の指標となり、植栽木の初期活着に影響する。H14 年度における熱帯樹種 36 樹種の浸透ポテンシャルのスクリーニングの結果、最もしおれにくい樹種は *Azadirachta excelsa* (-2.1MPa) であること、および熱帯雨林地域に自然分布する樹種の浸透ポテンシャルは、-1.6～-0.8 MPa の範囲であることなどを明らかにした。H15 年度は植栽試験樹種も含めて 47 樹種 (多数の重複樹種あり) を追加し、合計 56 樹種の浸透ポテンシャルのスクリーニング結果としてまとめた (図-2)。

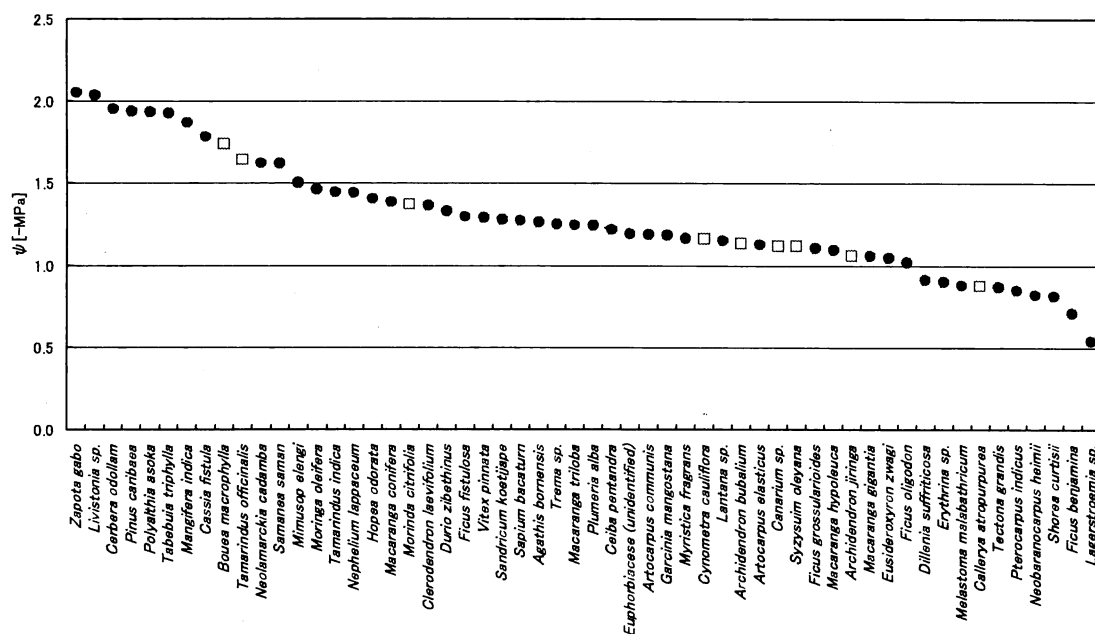


図-2 浸透ポテンシャル( $\Psi_{0, sat}$ )のスクリーニング。□: 試験植栽を行った9樹種。

わが国の温帯の主要造林樹種であるスギ苗木の葉の浸透ポテンシャルは約 $-1.7\text{MPa}^2)$ 、比較的乾燥を好むクロマツの苗木は約 $-2.1\text{MPa}^3)$ 、また、落葉広葉樹8樹種では約 $-1.8\sim-1.4$ の範囲 $^4)$ である。これらの値から、熱帯樹種はしおれやすい性質を持つ樹種が多いといえ、熱帯での裸地またはそれに近い条件での植栽で不成功の事例が少なくない理由と考えられる。

### ③ガス交換特性のスクリーニング

H15年度の測定を行った24樹種の最大光合成速度( $A_{max}$ )は $3.0\sim 17.6\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ であった。熱帯樹種のスクリーニングのこれまでの報告 $^1)$ では $2.5\sim 24.2\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ であるので、今回の結果はこの範囲内であった。最大水蒸気拡散コンダクタンス( $G_{w, max}$ )では、今回の24樹種の $G_{w, max}$ は $53\sim 325\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ で、既報 $^1)$ より全体的に低い値を示した。そのために、水利用効率(IWUE,  $A_{max}/G_{w, max}$ )は $29.6\sim 96.6 \times 10^{-6}\text{mol CO}_2\text{mol H}_2\text{O}^{-1}$ となり、既報 $^1)$ より全体的に高い値であった。

### ④ナチュラルフォレストコリドー造成の樹種選択

植栽候補樹種24樹種の浸透ポテンシャル(絶対値が大きいほどしおれにくい)は $-1.7\sim-0.9\text{MPa}$ を示し、*Bouea macrophylla*、*Tamarindas officinalis*で低い値を示したが、ほかは中庸な値を示した。*Morinda citrifolia*は比較的高い光合成速度を示した。また、*B. macrophylla*は高いIWUEを示し(水利用効率が良い)た。*M. citrifolia*は高い $A_{max}$ を有していたが、 $G_{w, max}$ も高いたため水利用効率(IWUE)は低い樹種であることが明らかになった。これらのことから*B. macrophylla*は葉における吸水能力が高く、光合成の水利用効率も高いことから乾燥に耐えることが期待できる樹種であると考えられる。いっぽう、*M. citrifolia*は高い光合成能力を持つが、吸水能力、水利用効率が低いことから乾燥に弱いことが考えられる。

表-1 Ayer Hitam 森林保護区に植栽した苗の高さの平均値 [cm].

	施肥			生理実験木 (施肥なし)		
	2003.	2005.	年平均樹高	2003.	2005.	年平均樹高
<i>Archidendron bubalinum</i>	27.0	46.7	16.9	35.4	40.6	4.5
<i>Archidendron jiringa</i>	32.5	45.4	11.1	18.7	80.9	53.3
<i>Bouea macrophylla</i>	20.9	34.7	11.8	21.8	39.4	15.1
<i>Canarium pilosum</i>	41.9	87.9	39.4	39.2	49.1	8.5
<i>Callerya atropurpurea</i>	-	-	-	35.4	87.0	44.2
<i>Cynometra cauliflora</i>	22.8	28.5	4.9	21.3	20.9	-0.3
<i>Morinda citrifolia</i>	49.6	112.3	53.7	59.2	86.3	23.2
<i>Parkia speciosa</i>	29.4	46.7	14.8	-	-	-
<i>Syzygium sp.</i>	28.4	35.4	6.0	22.5	33.3	9.3
<i>Tamarindus indica</i>	25.0	27.4	2.1	-	-	-

このように、24種の植栽候補樹種は様々な生理的特性を持つことが明らかになり、特異的に有利な樹種を見いだすことは困難であることがわかった。そこで、実証的試験が行える土地面積を考慮し、10樹種を用いた植栽試験を行うこととし、食用となる種子もしくは果実が比較的早く生り、かつ、様々な生理的特性を持つ樹種のなかから選定することにした。選択した樹種は、*Archidendron bubalinum* (Ab)、*Archidendron jiringa* (Aj)、*Bouea macrophylla* (Bm)、*Callerya atropurpurea* (Ca)、*Canarium pilosum* (Cp)、*Cynometra cauliflora* (Cc)、*Morinda citrifolia* (Mc)、*Parkia speciosa* (Ps)、*Syzygium sp.* (Ssp.)、および *Tamarindus indica* (Ti)である。

## (2) 設置と成長解析

### ① 生長量

植栽1年間で、植栽苗の生長は施肥をおこなった個体としなかった個体で結果が異なった(表-1)。施肥をおこなったもので苗の生長が高かったのは *M. citrifolia* と *C. pilosum* で、植栽時に平均樹高が 49.6cm、41.9cm のものがそれぞれ 112.3cm、87.9cm になった。それに対し施肥をおこなわなかった中で最も生長がよかったのは *A. jiringa* で、植栽時に 18.7cm だった苗が1年後には平均で 80.91cm になった。*A. jiringa* よりも苗の高さが高かった *C. atropurpurea*、*M. citrifolia* についても植栽時に苗の高さが約 35.4cm、59.2cm だったものがそれぞれ 87.0cm、86.3cm になった。*B. macrophylla* は平均樹高が 21.8cm から 39.4cm となり、依然と樹高は低い、植栽時と比べ2倍近い樹高になった。*Syzygium sp.* は生長量が低く、*A. bubalinum* や *C. cauliflora* ではほとんど生長が見られなかった。*C. pilosum* は降雨量の少ない時期に「ダイバック」と呼ばれる現象が見られ、頂端部が枯れ下部から再び芽が出た為に、苗の高さが低くなり *C. pilosum* のみ 2004年9月から2005年1月にかけて生長量の減少が見られた。*C. pilosum* のダイバックは施肥したものではみられなかった。

施肥をおこなった *M. citrifolia* と *C. pilosum* の生存率は80%以上で、施肥をおこなった樹種の中で生存率が高かった。その他の樹種では生存率が30~50%で、今回植栽をおこなった Ayer Hitam は植栽した苗が生育する苗の生育が困難であったと考えられる。生理実験をおこなった個体では、実験に用いた8個体中、*A. bubalinum* で2個体、*C. pilosum* と *M. citrifolia* で1個体

枯死し、それは降雨量の少ない期間であった。

*M. citrifolia* や *C. pilosum* は植栽時に早い段階で葉が入れ替わった。環境が変わると葉の生理特性、構造は変化すると言われ<sup>6)</sup>、早い段階で新しい葉に入れ替えられる樹種は、植栽を行うことで環境変化に対していち早く環境に適した葉を付けることができ、その他の樹種と比べ有利であると考えられたが、1年後の結果を比較したとき施肥をおこなった個体では高い生長量を示したが、施肥をおこなわなかった個体では反映されなかった。両樹種はどちらの処理区においても、絶えず新しい葉を展開したが、葉寿命が短く、新しく展葉した葉は2~3ヶ月で落葉し、1年間では新しい葉が絶えず展開した。しかし施肥をおこなわなかった個体では、個体あたりの着葉数、新しく展葉した葉の数は *C. pilosum* で植栽3ヶ月後、*M. citrifolia* で植栽半年後まで増加

したものの、減少し始めた。葉内クロフィル含有量が植栽3ヶ月後から減少し続け、最後の測定をおこなった植栽1年後まで続いた。施肥をしなかった処理では貧栄養の土壤に植栽したこれらの樹種は数多く葉を出したことが起因していると考えられた。この *C. pilosum* と *M. citrifolia* は IWUE の値が低く、乾燥に弱いことが予測されたが、施肥をおこなわなかった *C. pilosum* と *M. citrifolia* で個体あたりの葉の枚数が降雨量の少ない時期に少なくなったことから、乾燥による影響があったと考えられる。

## ②生理特性の変化

### ア クロフィル蛍光反応

ナチュラルフォレストコリドー造成試験地に植栽された11樹種のうち、6樹種 (*B. macrophylla*, *C. atropurpurea*, *C. pilosum*, *C. cauliflora*, *M. citrifolia* および *Syzygium* sp.) について得られたフォトケミカルクエンチング (qP) と、一晩暗順化後の  $F_v/F_m$ ,  $F_v'/F_m'$ 、および電子伝達速度 (ETR) との関係を図-3に示す。図-3Aに明らかなように、蛍光反応のパラメーターであるフォトケミカルクエンチング qP と  $F_v/F_m$  との間には高い正の相関が認められた。また、夜明け前に測定した  $F_v/F_m$  は健全な葉では0.8付近の値を示すことが知られている<sup>7)</sup>が、ここで得られた  $F_v/F_m$  は低く、植栽木において慢性的な光障害が生じていたことが明らかになった。さらに、qPは光合成器官でのエネルギー集積の指標であり、qPが小さいほど光合成器官に多くのエネルギーが集積していることを意味している<sup>8)</sup>が、*B. macrophylla* および *C. cauliflora* では感受性が高く、*C. atropurpurea* および *M. citrifolia* では光

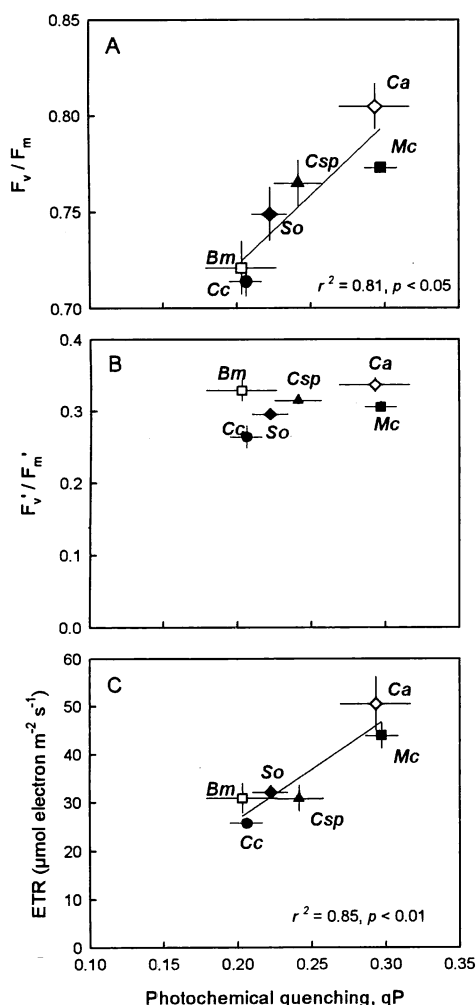


図-3 熱帯樹木6樹種のフォトケミカルクエンチング (qP) と一晩暗順化後の  $F_v/F_m$  (A)、 $F_v'/F_m'$  (B) および電子伝達速度 (ETR) (C)。qP、 $F_v'/F_m'$  および ETR の測定は、 $\text{CO}_2$  濃  $360 \mu\text{mol mol}^{-1}$ 、飽和光 ( $1200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  PFD) の下で光合成の定常状態でおこなった。



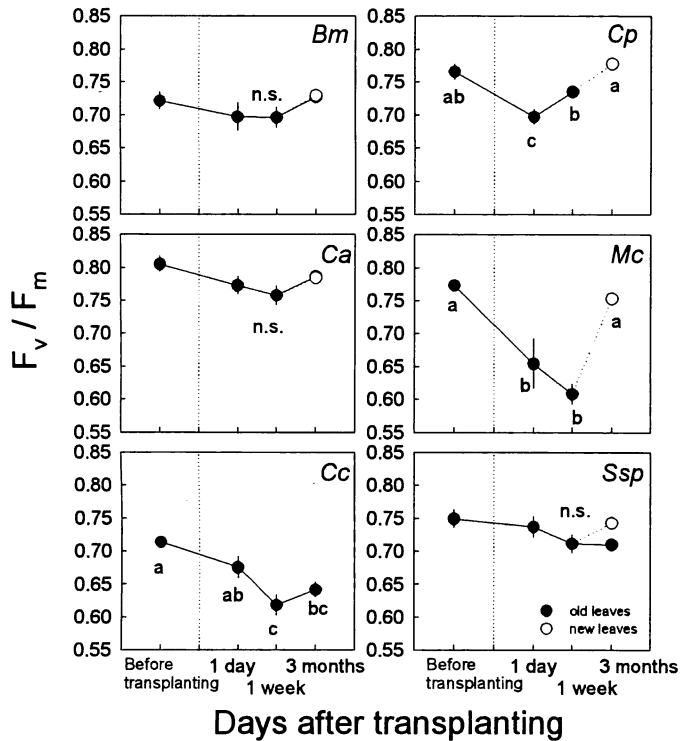


図-4 Ayer Hitamに植栽した6樹種の夜明け前の  $F_v/F_m$  値の変化 (2003年10月~2004年1月)。点線は植栽した日を示す。(平均値±標準誤差)。

できるといえる。*C. atropurpurea*は植栽後の  $F_v/F_m$  値の大きな減少が見られず、また新しく展開した葉も  $F_v/F_m$  値が約0.8を示しており、*C. atropurpurea*も強光にさらされても光阻害をあまり受けない。*B. macrophylla*は新しく展開した葉も  $F_v/F_m$  値が低い値を示していることから、*B. macrophylla*は高い浸透ポテンシャルと水利用効率をもっていることから、乾燥地への植栽にふさわしいと考えられたが、強光のもとでの生育は難しいと言える。

#### イ 最大光合成速度

植栽後の苗の光合成速度は、植栽後最大光合成速度 ( $Pn_{max}$ )が増加した樹種 (*A. bubalinum*, *A. jiringa*, *C. atropurpurea*, *Syzygium* sp.)、増加したものの植栽半年後から減少した樹種 (*C. pilosum*, *M. citrifolia*)、減少した後に増加した樹種 (*B. macrophylla*)、変化が見られなかった樹種 (*C. cauliflora*)と樹種によって植栽後の光合成速度の変化は異なった(図-5)。植栽後の葉内窒素濃度の変化を図に示す。 $Pn_{max}$ が増加した *A. jiringa*や *C. atropurpurea*では葉内窒素濃度が植栽した樹種のあいだで最も高く、植栽後に増加した(図-6)。葉内の窒素濃度が高くなると光合成能が高くなると言われることから、 $Pn_{max}$ が増加した樹種では、葉内窒素の増加することができたため光合成能をあげることができたと考えられる。*C. atropurpurea*では葉の面積あたりの重さが増加したことから、厚い葉に変わったといえる。植物は強い光環境のもとにさらされると葉を厚くしてガス交換能を高めると言われ<sup>9)</sup>。それに対して *C. pilosum*や *M. citrifolia*は植栽後増加した葉内窒素濃度が植栽3ヶ月後減少した。この葉内の窒素濃度の減少

阻害の感受性の低いことが明らかになった。図-3Bに示した  $F_v'/F_m'$  はアンテナ・クロロフィルでの熱放散の指標である。低い  $F_v'/F_m'$  値は大きな熱放散を行っていることを示すが、 $F_v'/F_m'$ には樹種による大きな違いは見られなかった。一方で、電子伝達速度(ETR)は、光阻害が小さい *C. atropurpurea* および *M. citrifolia* で高くなる傾向が認められた(図-3C)。これらのことから、樹種による光阻害の感受性を決める要因として、熱によるエネルギーの放散よりも、電子伝達によるエネルギーの消費のほうがより大きな影響を及ぼしていると考えられる。

植栽後の  $F_v/F_m$  値の変化を図-4に示す。植栽後、*C. pilosum*や *M. citrifolia*は強い光を受けることによって光阻害を大きく受けた。しかし、植栽後に新しく展開した葉は  $F_v/F_m$  値が約0.8を示していることから、光阻害をあまり受けていないことが分かり、これらは強い光に適応

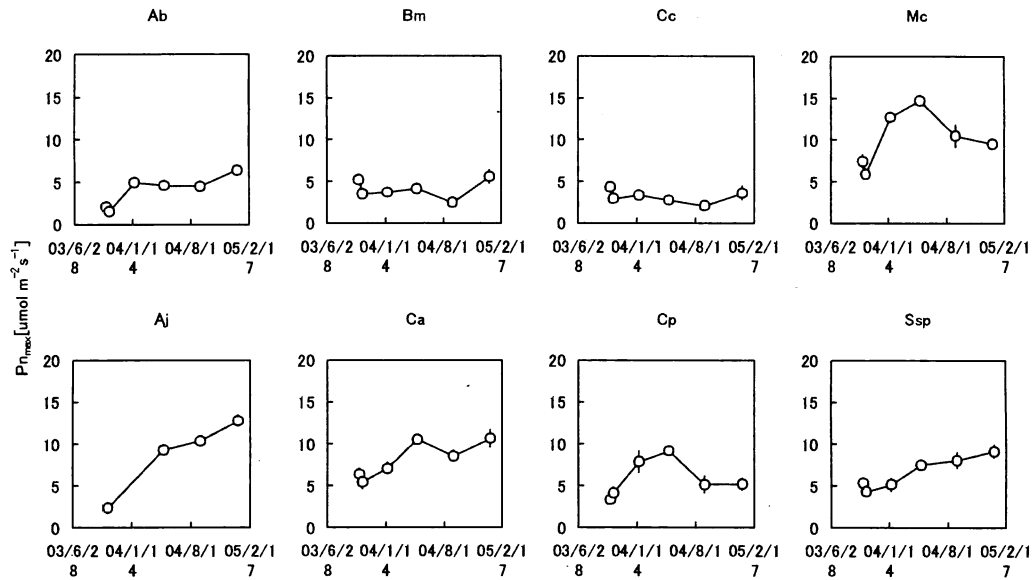


図-5 最大光合成速度( $Pn_{max}$ )の変化(2003年10月~2005年1月)。(平均値±標準誤差)。

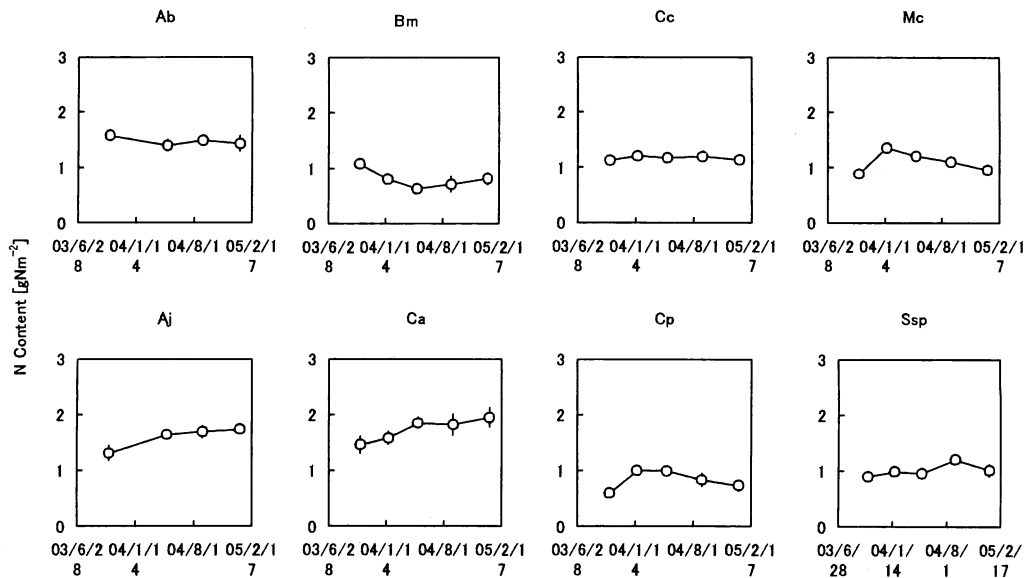


図-6 葉内窒素濃度の変化(2003年10月~2005年1月)。(平均値±標準誤差)。

が  $Pn_{max}$  の値が減少した一因となったことが示唆された。それに加え、植栽半年後から降雨量の少ない期間があり、植栽された樹木は乾燥にさらされた。*C. pilosum*と *M. citrifolia*ではその期間の気孔コンダクタンス値も大きく減少したことから水利用効率 (IWUE) の悪い *C. pilosum* と *M. citrifolia*では乾燥した環境の中では気孔をあけて光合成をおこなうには厳しい環境であったと考えられる。

以上のことから、植栽した苗が厳しい環境のもとで生育する条件として、生理的に適応できる性質を持っているかと、葉の寿命や展開様式といったフェノロジーも大きく影響することが言える。これらの要素を組み合わせることによってより適切な樹種の選択や管理方法を確立できるであろう。

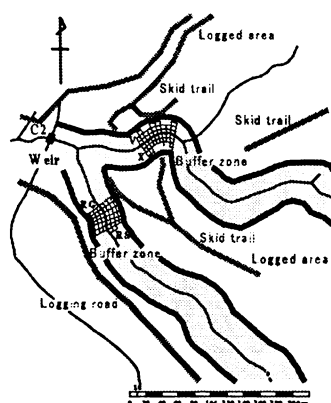


図-7 侵食・堆積量測定プロット (C2 流域下流部).  
(Ohnuki et al. 投稿中).

### (3) 森林伐採による植栽基盤の変化

#### ①保護樹帯の表土保全効果に関する調査

##### ア 保護樹帯における微地形および植生分布

4箇所の土壌侵食・堆積量測定プロット (RG、RS、V、X) の微地形および植生分布を、図-7に示す。4つのプロットはそれぞれ平行斜面 (緩傾斜)、平行斜面 (急傾斜)、凹型斜面 (急傾斜)、凸型斜面 (緩傾斜) 上にある。植生に関しては、高木はあまり密に分布していないが、ヤシやラタン、草本類がその間を埋めるような形で地表面を覆っている。分布に偏りはあるが、倒木が土砂をトラップしている所もかなり多くの地点で認められた。プロットVとプロットXでは、斜面上方に草本・灌木が密生しており (Bush)、それぞれの直上にある集材路からの流出土砂をトラップしていた。

##### イ 微地形・植生と土壌侵食・堆積量との関係

保護樹帯内で侵食・堆積量の多かった、2000年3月～2000年9月および2000年3月～2001年1月の測定結果を図-8、9にそれぞれ示す。プロットRG・RS (図-9) においては、表土の侵食により発生したガリーaと集材路 (skid trail) 下方の一部を除いて堆積量は少なかった。ガリーbが侵食・堆積量が少なかったのに対しガリーaで堆積量が多かったのは、ガリーaの谷頭が保護樹帯より斜面上方の伐採地にあり、そこに集材路からの土砂が流入したためと考えられる。ガリーaの横には倒木が多く、数地点で土砂をトラップしているのが確認された。

プロットV・X (図-10) においては、河道の攻撃水があたる斜面側に位置するプロットVで、表層崩壊跡地やロープ状の古い土砂堆積面があって地表面が起伏に富み、土砂堆積が進行した地点が多く認められた。倒木は下流側にかなり多く認められ、一部で土砂をトラップしていた。一方、河道の滑走水が流れる斜面側に位置するプロットXでは、侵食・堆積量が期間を通じて少なかった。

# Plot RS & RG

# Plot V & X

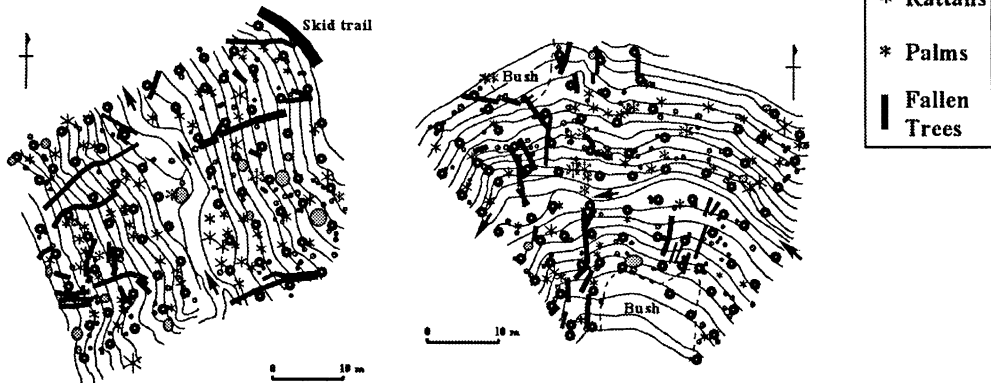


図-8 プロット内の微地形および植生の分布 (Ohnuki et al. 投稿中).  
 図中の太丸印が土壌侵食・堆積量測定地点

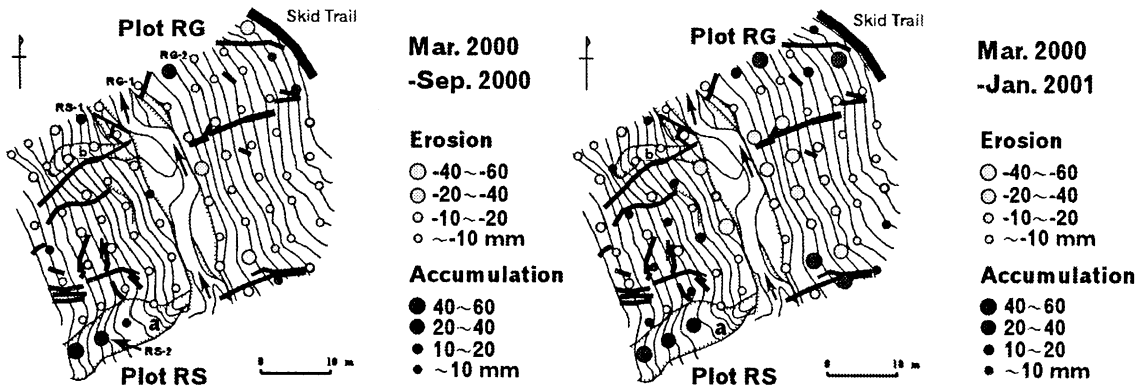


図-9 侵食・堆積量測定結果 (プロット RG・RS) (Ohnuki et al. 投稿中).

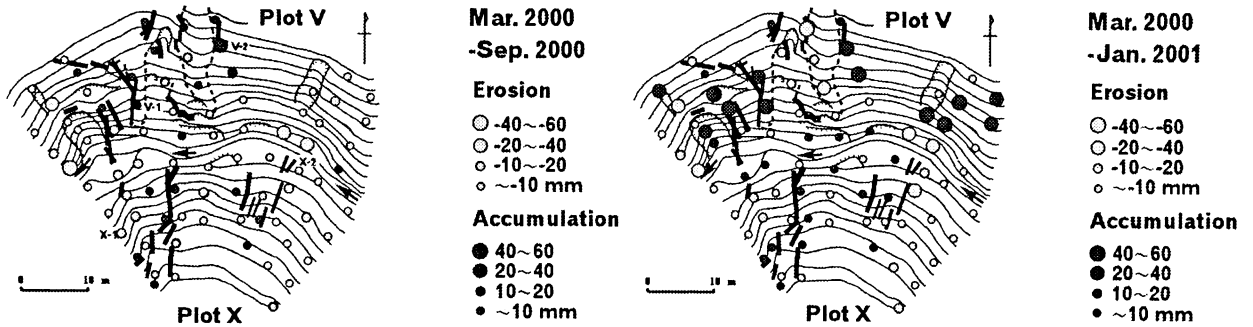


図-10 侵食・堆積量測定結果 (プロット V・X) (Ohnuki et al. 投稿中).

表-2 表層土壌の物理特性.

	RG-1 自然状態	RS-1 自然状態	RG-2 堆積域	RS-2 堆積域	X-1 自然状態	X-2 自然状態	V-1 堆積域	V-2 堆積域
飽和透水係数 ( $\text{ms}^{-1}$ )	$9.25 \times 10^{-5}$	$6.11 \times 10^{-5}$	$9.63 \times 10^{-5}$	$5.08 \times 10^{-5}$	$5.33 \times 10^{-6}$	$9.45 \times 10^{-5}$	$9.27 \times 10^{-5}$	$8.81 \times 10^{-5}$
容積重 ( $\text{Mgm}^{-3}$ )	0.65	0.58	0.91	1.16	0.83	0.79	1.10	0.90
全孔隙率 ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ )	0.74	0.76	0.66	0.55	0.69	0.70	0.55	0.66

#### ウ 保護樹帯における表層土壌の物理特性

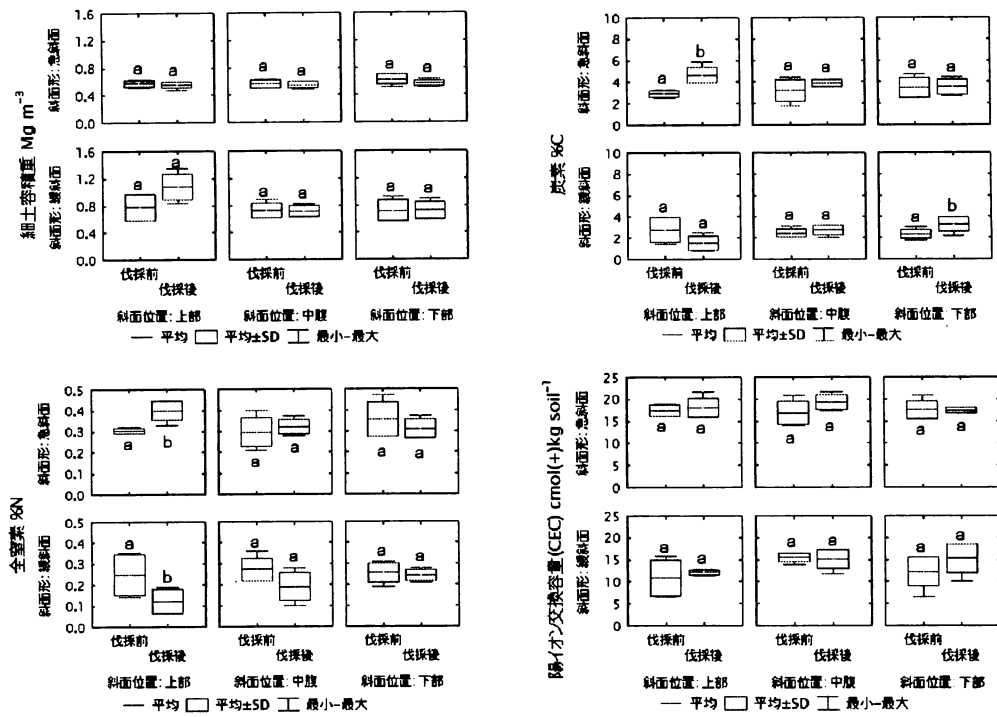
土壌侵食・堆積量測定プロット (図-9、10) 内の表層土壌の飽和透水係数・容積重・全孔隙率を表-2 に示す。両プロットとも、容積重は自然状態の地点で低く堆積域の地点で高くなり、全孔隙率は自然状態の地点で高く堆積域の地点で低くなる傾向がみられた。これに対し、飽和透水係数は自然状態の地点と堆積域の地点間で明瞭な差は認められなかった。

このように、保護樹帯内では容積重と全孔隙率に関しては自然状態の地点と堆積域の地点で違いが認められたが、飽和透水係数や土壌水分特性曲線にははっきりとした差はみられなかった。堆積域の表層土壌は自然土壌のB層に類似しているが、物理性はB層と比較して良好であり、これも保護樹帯の効果 (リターの混入、土壌動物の活動等) と考えられた。

#### ②森林伐採に伴う表土の養分環境の変動に関する調査

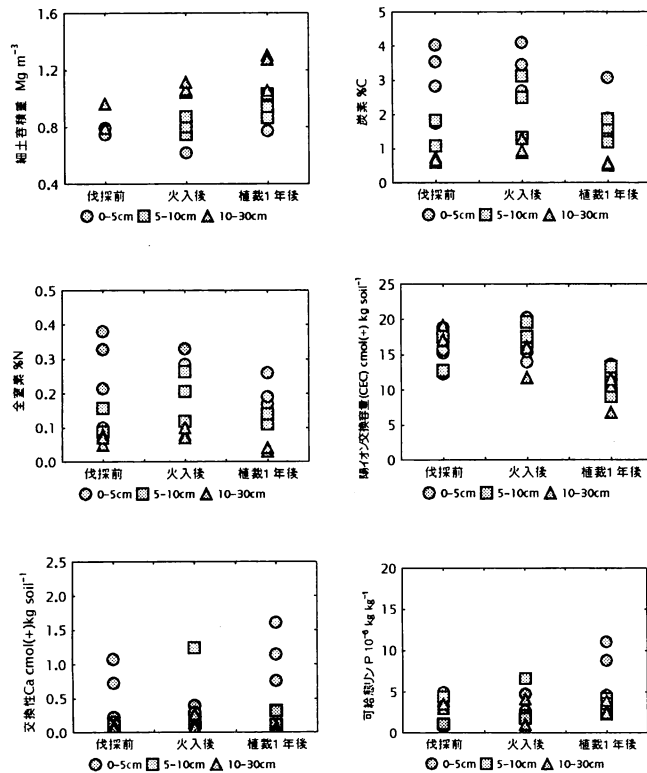
ア C2 流域：C2 流域での分析結果を図-11 に示した。試料採取地点は調査時に伐採後3年を経過し植生は繁茂していた。採取地点6ヶ所のうち、緩斜面上部では林道、集材路作設による表土の削剥、移動がはっきりみられたが、他の5カ所では表土の削剥、移動はみとめられなかった。容積重は緩斜面上部では伐採後明らかに高くなったが、他の5カ所では伐採後の変化はなかった。緩斜面上部の容積重が高くなったのは、集材路の作設により元の表土が削剥され下層土が露出したためと考えられた。炭素含量は伐採前急斜面で高く、緩斜面で低い傾向がみられた。表土が削剥された緩斜面上部以外では伐採後に炭素濃度が増加した場所があった。伐採により地表へ大量の有機物が供給されたため増加したと考えられる。表土が削剥された緩斜面上部では窒素濃度や交換性塩基量の減少がみられたが、その他の場所では伐採前後で顕著な違いはみられなかった。伐採後の植生回復が急速に進んだ結果、表層土(0-5cm)の養分環境に対する森林伐採や林道開設の影響は小さいとみられた。

イ C3 流域：C3 流域での分析結果を図-12 に示した。観測点は倒木により土砂移動がトラップされており、伐採後も表土が安定している場所であった。定点観測から伐採後の火入れ地拵えにより0-5cmの表層部には可給態リンなど植物が利用できる可給態養分が大量に供給され、植栽1年後も高いレベルにあった。炭素、窒素は表層部で伐採に伴い減少したとみられた。しかしながら、植栽1年後には植栽木だけでなく植生の再生が著しく、試験地では火入れにより消失した落葉層が再び形成されている。従って、表層土の養分減少が長期に渡って続くとは考えにくく、今後落葉層の分解が進むにつれて表土の養分環境は伐採前と変わらない状態に回復するとみられる。



図—11 伐採に伴う表層土特性の変化 (C2 流域).

各採取点で異なる添え字は伐採前後の測定平均 (n=5) に有意差 ( $p < 0.05$ ) があることを示す。



図—12 伐採に伴う表層土特性の変化 (C3 流域).

## 5. 本研究により得られた成果

植栽される荒廃草地では、高温、乾燥、強光という、苗の生育環境が管理されている苗畑とは違い、植栽された苗は様々なストレスを受けることとなる。そのためには、植栽される苗があらゆるストレスに耐えうる生理特性と、新しい環境に順応できる葉をいち早く出すことができることが重要となる。しかし、早く新しい環境に適した葉を出した樹種では、葉寿命が短いため、絶えず新しい葉を展開し、すぐに落葉した。貧栄養の土壌でおこなった今回の実験では葉内の窒素濃度が減少するといった結果が出た。このことから樹木がもつ生理特性だけではなく、葉の寿命や展開様式といったフェノロジーを調べることによって、植栽樹種の候補選びがよりの確なものに発展することが期待できる。

今回実験に用いた樹種は、これまで生理特性が調べられてこなかった樹種が多かった。このことは学問的な意義も大きいですが、本研究の目的である、コリドー造成をおこなう為には基本的かつ重要な情報を得られたと考えられる。今回の結果を生かし、より適切な造成方法の発展をすすめる必要があるだろう。

保護樹帯内において、侵食・堆積量と微地形・植生との対応関係を検討した結果、侵食・堆積量は斜面傾斜にある程度支配されるが、土砂の給源となる集材路や伐採地に連結しているガリーにおいて堆積量は最大となった。また、集材路に隣接していても下層植生が繁茂している場所ではほとんど侵食・堆積が生じないこと、倒木は土砂をトラップする機能がかなり高いことが明らかになった。

侵食・堆積量測定地点の飽和透水係数、容積重、全孔隙率を求めた結果、自然状態の地点と堆積域の地点で容積重と全孔隙率には違いが認められたが、飽和透水係数にははっきりとした差はみられず、堆積域においても表層土壌の物理性は比較的良好であることが確認された。保護樹帯の効果は、表層土壌の物理性にも及んでいることが明らかになった。

伐採前後における表土の養分環境の比較から表土の荒廃が起こるのは伐採や林道開設により表土が削剥された場所に限られ、表土が攪乱されなかった場所の表土は荒廃していないことがわかった。

## 6. 引用文献

- 1) Young T.P. (2000) Restoration ecology and conservation biology. *Biol. Cons.* 92: 73-83.
- 2) Haddad, N.M., Bowne D.B., Cunningham, A., Danielson, B.J., Levey, D.J., Sargent, S., and Spira, T. (2003) Corridor use by diverse taxa. *Ecology* 84: 609-615.
- 3) Matsumoto, Y., Maruyama, Y., Uemura, A., Shigenaga, H., Okuda, S., Harayama, H., Kawarasaki, S., Ang, L. H., and Yap, S. K. (2003) Gas exchange and turgor maintenance of tropical species in Pasoh Forest Reserve. *In* Okuda, T., Manokaran, N., Matsumoto, Y., Niiyama, K., Thomas, S. C., and Ashton, P. S. (Eds.) *Pasoh: Ecology of a lowland rain forest in Southeast Asia*. Springer-Verlag, Tokyo, pp. 241-250
- 4) Doi, K., Morikawa, Y. and Hinckley, T.M. (1986) Seasonal trends of several water relation parameters in *Cryptomeria japonica* seedlings. *Can. J. For. Res.* 16: 74-77
- 5) 丸山 温・森川 靖 (1983) 葉の水分特性 —P-V 曲線法—. *日本林学会誌* 65:23-28
- 6) Ashton, P.M.S. (1992) Leaf adaptations of some *Shorea* species to sun and shade. *New*

Phytol. 121, 587-596

- 7) Krause, G.H., A. Virgo and K. Winter (1995) High susceptibility to photoinhibition of young leaves of tropical forest trees. *Planta* 197: 583-591
- 8) Schreiber, U., W. Bilger and C. Neubauer (1994) Chlorophyll fluorescence as a non-intrusive indicator for rapid assessment of in vivo photosynthesis. In *Ecophysiology of Photosynthesis*. (eds. E.-D. Schulze and M.M. Caldwell) Springer-Verlag, Berlin, pp 49-70.
- 9) Terashima, I., Miyazawa, S., and Hanba, Y. T. (2001) Why are sun leaves thicker than shade leaves? Consideration based on analysis of CO<sub>2</sub> diffusion in the leaf. *J. Plant Res.* 114: 93-105.

## 7. 国際共同研究等の状況

ナチュラルコリドーの樹種選択、設置にかかる研究はマレーシアプトラ大学林学部と共同実験をおこなった。マレーシアプトラ大学林学部 (UPM-FF) との間に MOU「森林総合研究所とマレーシアプトラ大学林学部との間での科学技術に関する協定」を結んでいる。森林伐採による植栽基盤の変化に関する研究に関しては、推進費 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」関連課題としてマレーシア森林研究所 (FRIM) の協力の下に行われた。

## 8. 研究成果の発表状況

### (1) 誌上発表

<論文 (査読あり)>

- ① R. Yoneda, I. Ninomiya, P. Patanaponpaiboon, and K. Ogino: *TROPICS*, 11, 125-134 (2002)  
“Carbohydrate Dynamics on Trees in Dry Evergreen Forest, Thailand I. Diel Fluctuation of Carbohydrates in a Whole Tree of *Hydnocarpus ilicifolius*”
- ② R. Yoneda, I. Ninomiya, P. Patanaponpaiboon, and K. Ogino: *TROPICS*, 11, 135-148 (2002)  
“Carbohydrate Dynamics on Trees in Dry Evergreen Forest, Thailand II. Modeling of Carbohydrate Dynamics in a Leaf of *Hydnocarpus ilicifolius* and *Glycosmis parva*”
- ③ T. Saito, T. Tanaka, H. Tanabe, Y. Matsumoto, and Y. Morikawa: *Tree Physiol.*, 23, 59-66 (2003)  
“Variations in transpiration rate and leaf cell turgor maintenance in saplings of deciduous broad-leaved tree species common in cool temperate forest in Japan”
- ④ T. Kenzo, T. Ichie, T. Koike and I. Ninomiya: *Photosynthetica*, 41, 4, 551-557 (2003)  
“Photosynthetic activity in seed wings of Dipterocarpaceae in a masting year: Does wing photosynthesis contribute to reproduction?”
- ⑤ H. T. Nguyen, R. Yoneda, I. Ninomiya, K. Harada, T. V. Dao, T. M. Sy, and H. N. Phan: *Tropics*, 14, 21-37 (2004)  
“The effects of stand-age and inundation on carbon accumulation in mangrove plantation soil in Namdinh, Northern Vietnam”
- ⑥ T. Kenzo, T. Ichie, R. Yoneda, Y. Kitahashi, Y. Watanabe, I. Ninomiya, and T. Koike:



Tree Physiol., 24, 1187-1192 (2004)

“Interspecific variation of photosynthesis and leaf characteristics in canopy trees of five species of Dipterocarpaceae in a tropical rain forest”

- ⑦ T. Ichie, T. Hiromi, R. Yoneda, K. Kamiya, M. Kohira, I. Ninomiya, and K. Ogino: J. Trop. Ecol., 20, 697-700 (2004)

“Short-term drought causes synchronous leaf shedding and flushing in a lowland dipterocarp forest, Sarawak, Malaysia”

- ⑧ K.O. Irino, Y. Iba, S. Ishizuka, T. Kenzo, S. Ripot, J.J. Kendawang, N. Miyashita, K. Nara, T. Hogetsu, I. Ninomiya, K. Iwasaki and K. Sakurai: Soil Sci. Plant Nut., 50, 5, 747-753 (2004)

“Effects of controlled-release fertilizer on growth and ectomycorrhizal colonization of pot-grown seedlings of the dipterocarp *Dryobalanops lanceolata* in a tropical nursery.”

- ⑨ K.O. Irino, Y. Kang, T. Kenzo, D. Hattori, I. Ninomiya, J.J. Kendawang and K. Sakurai: Soil Sci. Plant Nut., (in press)

“The performance of the pot-growth *Dryobalanops lanceolata* applicated with controlled-release fertilizer after transplantation into the abandoned sifting cultivation lands in Sarawak, Malaysia”

- ⑩ T. Ichie, T. Kenzo, Y. Kitahashi, T. Koike and T. Nakashizuka: Trees, (in press)

“How does *Dryobalanops aromatica* supply carbohydrate resource for reproduction in a masting year?”

<その他誌上発表(査読なし)>

- ① 松本陽介: 熱帯林業、53, 73-80 (2002)

「熱帯樹種の葉の生理特性(1) 光合成」

- ② 松本陽介: 熱帯林業、54, 71-76 (2002)

「熱帯樹種の葉の生理特性(2) 蒸散と水蒸気拡散コンダクタンス」

- ③ 松本陽介: 熱帯林業、55, 67-71 (2002)

「熱帯樹種の葉の生理特性(3) 水利用効率」

- ④ Research report of the NIES/FRIM/UPM Joint Research Project 2001, 91-96 (2002)

“A trial plantation of fruiting trees for the establishment of green corridor near Pasoh Forest Reserve (執筆担当: S. Okuda, A. Uemura, H. Tobita, Y. Maruyama, A. Ishida, Y. Matumoto, and L.H. Ang)”

- ⑤ Research report of the NIES/FRIM/UPM Joint Research Project 2001, 80-90 (2002)

“Soil runoff control effects of buffer zone in a cutover basin (執筆担当: Y. Ohnuki, S. Noguchi, S. Sasaki, Y. Tsuboyama, Abdul Rahim Nik, Baharuddin Kasran, and Ahmad Che Abdul Salam)”

- ⑥ 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, 660pp (2003) (松本陽介: 本全体の査読および編集を担当)

- ⑦ 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, 241-250 (2003)  
“Gas exchange and turgor maintenance of tropical tree species in Pasoh Forest Reserve (執筆担当: Y. Matsumoto, Y. Maruyama, A. Uemura, H. Shigenaga, S. Okuda, H. Harayama, S. Kawarasaki, L.H. Ang, S.K. Yap)”
- ⑧ S. Kobayashi, Y. Matsumoto, and E. Ueda (Eds.): Rehabilitation of Degraded Tropical Forests, Southeast Asia 2003, 159pp (2003), (松本陽介: 本全体の査読および編集)
- ⑨ S. Kobayashi, Y. Matsumoto, and E. Ueda (Eds.): Rehabilitation of Degraded Tropical Forests, Southeast Asia 2003, 87-94 (2003)  
“Ecophysiological traits of tropical tree species (執筆担当: Y. Matsumoto, Y. Maruyama, R. Yoneda, M.A. Azani, and I. Faridah-Hanum)”
- ⑩ 松本陽介、丸山 温: 熱帯林業、56, 83-88 (2003)  
「熱帯樹種の葉の生理特性(4) 浸透ポテンシャルから見たしおれにくさ」
- ⑪ 松本陽介: 熱帯林業、57, 65-69 (2003)  
「熱帯樹種の葉の生理特性(5) 苗木のハードニング」
- ⑫ 日本林学会「森林科学」編集委員会編: 森をはかる、古今書院、64-67 (2003)  
「樹木の光合成. - 測器の進歩とともに - (執筆担当: 松本陽介)」
- ⑬ Y. Matsumoto, E. Ueda, and S. Kobayashi (Eds.): Rehabilitation of Degraded Tropical Forests, Southeast Asia 2004, 194pp (2004), (松本陽介: 本全体の査読および編集を担当)
- ⑭ Y. Matsumoto, E. Ueda, and S. Kobayashi (Eds.): Rehabilitation of Degraded Tropical Forests, Southeast Asia 2004, 29-36 (2004)  
“Impacts of selective logging on surface soil properties - a case study at Bukit Tarek Experimental Watershed, Peninsular Malaysia (執筆担当: K. Morisada, Y. Ohnuki, S. Noguchi, Wan Rasidah Wan Abdul Kadir, Zulkifli Yusop, and Ahmad Che Abdul Salam)”
- ⑮ Y. Matsumoto, E. Ueda, and S. Kobayashi (Eds.): Rehabilitation of Degraded Tropical Forests, Southeast Asia 2004, 89-98 (2004)  
“Gas exchange rate of nine fruit tree species planted on the severely degraded land (執筆担当: R. Yoneda, T. Kenzo, T. Y. Matsumoto, Y. Maruyama, M. Kitao, H. Tobita, M.A. Azani, A. Arifin, and M.M. Nik)”
- ⑯ Y. Matsumoto, E. Ueda, and S. Kobayashi (Eds.): Rehabilitation of Degraded Tropical Forests, Southeast Asia 2004, 99-107 (2004)  
“Photosynthetic properties and susceptibility to photoinhibition in seedlings of six tropical fruit tree species native to Malaysia (執筆担当: M. Kitao, R. Yoneda, H. Tobita, Y. Matsumoto, Y. Maruyama, A. Arifin, M.A. Azani, and M.M. Nik)”
- ⑰ Y. Matsumoto, E. Ueda, and S. Kobayashi (Eds.): Rehabilitation of Degraded Tropical Forests, Southeast Asia 2004, 83-87 (2004)  
“Development of rehabilitation technologies for establishment of natural forest corridor on degraded land (執筆担当: M.A. Azani, M.M. Nik, M.H. Zaki, A. Arifin, R. Yoneda, and Y. Matsumoto)”

- ⑱ Roy C. Sidle, Makoto Tani, Abdul Rahim Nik and Tewordros Ayele Taddese (Eds.): Forests and Water in Warm Humid Asia, 215-218 (2004)  
 “Effects of buffer zone against soil runoff after selective logging in Bukit Tarek Experimental Watershed, Malaysia (執筆担当:Y. Ohnuki, S. Noguchi, S. Sasaki, Abdul Rahim Nik, and Ahamd Che Abdul Salam)”
- ⑲ 鈴木和夫 (編): 森林保護学、朝倉書店、118-122 (2004)  
 「3.2.2 森林と大気汚染 (執筆担当: 松本陽介)」
- ⑳ 米田令仁: 熱帯林業、59, 60-69 (2004)  
 「タイ東部における持続的森林管理の事例」
- ㉑ 米田令仁: 熱帯林業、60, 80-83 (2004)  
 「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向けて-」
- ㉒ Annual Report of the NIES/FRIM/UPM Joint Research Project on Tropical Ecology and Biodiversity 2003, 64-72 (2004)  
 “Effects of a buffer zone on surface soil conservation in a cutover basin (執筆担当: K. Morisada, Y. Ohnuki, S. Noguchi, Abdul Rahim Nik, Wan Rasidah Wan Abdul Kadir, and Ahmad Che Abdul Salam)”
- ㉓ 入野 (岡村) 和朗、田中憲蔵、服部大輔、二宮生夫、櫻井克年: 熱帯林業、印刷中  
 「外生菌根を形成したフタバガキ苗への肥効調節型被覆肥料施肥の試み」
- ㉔ 服部大輔、田中憲蔵、入野和朗、二宮生夫、櫻井克年: 熱帯林業、印刷中  
 「マレーシア・サラワク州における生態系修復の試み -土壌特性から見た人為的攪乱の影響-」
- ㉕ Y. Matsumoto, E. Ueda, and S. Kobayashi (Eds.): Rehabilitation of Degraded Tropical Forests, Southeast Asia 2005, in press (2005)  
 “Monitoring of physiological characteristic of planted trees on the deeply degraded land at Ayer Hitam Forest Reserve, Selangor, Malaysia (執筆担当: R. Yoneda, T. Kenzo, M. Kitao, H. Tobita, Y. Matsumoto, Y. Maruyama, M. A. Azani, A. Arifin, and M. M. Nik)”
- ㉖ Y. Matsumoto, E. Ueda, and S. Kobayashi (Eds.): Rehabilitation of Degraded Tropical Forests, Southeast Asia 2005, in press (2005)  
 “Physiological and morphological responses of leaves on seven dipterocarp seedlings to degraded forest environment in Malaysian rainforest (執筆担当: T. Kenzo, T. Ozawa, D. Hattori, K. Irino, J. J. Kendawang, K. Sakurai and I. Ninomiya)”
- ㉗ Y. Matsumoto, E. Ueda, and S. Kobayashi (Eds.): Rehabilitation of Degraded Tropical Forests, Southeast Asia 2005, in press (2005)  
 “Growth performance of nine fruit tree species planted at severely degraded landfill area in Ayer Hitam Forest Reserve (執筆担当: M. A. Azani, M. M. Nik, A. Arifin, A. M. Ismail Adnan, R. Yoneda, and Y. Matsumoto)”
- (2) 口頭発表
- ① 田中憲蔵、樫村精一、二宮生夫、入野和朗、櫻井克年、J. J. Kendawang、H. S. Lee、荻野和彦: 第113回日本林学会 (2002)

- 「マレーシアサラワク州ニア造林試験地に植栽された7樹種の生態生理」
- ② 入野和朗、石塚悟史、田中憲蔵、Joseph Jawa Kendawang、荻野和彦、櫻井克年：第48回日本土壤肥料学会（2002）  
「肥効調節型肥料を利用したフタバガキ苗の育成技術の検討～外生菌根着生への施肥の効果～」
- ③ 丸山 温、飯田滋生、中村松三：第12回日本熱帯生態学会大会（2002）  
「アマゾン熱帯林造林苗のハードニングの試み」
- ④ 田中憲蔵、市榮智明、二宮生夫、小池孝良：第12回日本熱帯生態学会（2002）  
「フタバガキ科種子の羽根は光合成をおこなっているのか？」
- ⑤ 古谷良、二宮生夫、田中憲蔵、櫻井克年、田中壮太、J. J. Kendawang：第12回日本熱帯生態学会（2002）  
「マレーシアサラワク州における二次林の現存量」
- ⑥ K. Irino, Y. Iba, S. Ishizuka, K. Tanaka, D. Hattori, J. J. Kendawang and K. Sakurai: Microbial Fuction in Revegetation Process of Degraded Terrestrial Environments From Gene though to Ecosystem. International Workshop (2002)  
“Effect of controlled release fertilizer on the formation rate of ECM and the growth of seedlings in the nursery and field in Sarawak, Malaysia”
- ⑦ 米田令仁、二宮生夫、Pipat Patanaponpaiboon、荻野和彦：第5回日本林学会関西支部大会（2002）  
「タイ東部、森林荒廃地における人工生態系による持続的な森林経営への試み」
- ⑧ 田中憲蔵、檜村精一、小澤智子、二宮生夫、入野和朗、櫻井克年、J. J. Kendawang、H. S. Lee、荻野和彦：第53回日本林学会関西支部大会（2002）  
「マレーシアサラワク州でおこなわれた造林試験－植栽木の生態生理－」
- ⑨ 田中憲蔵、檜村精一、小澤智子、二宮生夫、入野和朗、櫻井克年、J. J. Kendawang、H. S. Lee、荻野和彦：第53回日本林学会関西支部大会（2002）  
「マレーシアサラワク州でおこなわれた造林試験－植栽木の生存と生長－」
- ⑩ Y. Matsumoto, and Y. Maruyama: International workshop on “The Landscape Level Rehabilitation of Degraded Tropical Forests”, Tsukuba, Japan, (2003)  
“Ecophysiological traits of tropical tree species”
- ⑪ 田中憲蔵、小澤智子、檜村精一、二宮生夫、入野和朗、櫻井克年、J. J. Kendawang：第114回日本林学会（2003）  
「マレーシアサラワク州ニア造林試験地に植栽された7樹種の生態生理(Ⅱ)」
- ⑫ 飛田博順、北尾光俊、丸山 温、奥田史郎、松本陽介、Ang Lai Hoe：第114回日本林学会大会(2003)  
「熱帯産果樹4種の強光に対する光合成反応」
- ⑬ 松本陽介、丸山 温、Ang Lai Hoe：第13回日本熱帯生態学会年次大会（2003）  
「熱帯林造林樹種としての *Shorea platyclados* の可能性」
- ⑭ 丸山 温、中村松三、佐藤 明：第13回日本熱帯生態学会大会（2003）  
「裸地に植栽したアマゾン熱帯造林樹種3種のガス交換特性」

- ⑮ 米田令仁：第 13 回日本熱帯生態学会大会（2003）  
「タイ乾性常緑林における主要樹種の光合成産物の動態」
- ⑯ T.H. Nguyen, I. Ninomiya, R. Yoneda, N.H. Phan, and T.M. Sy：第 13 回日本熱帯生態学会大会(2003)  
“Carbon accumulation in soil of mangrove plantations in Namdinh, Vietnam”
- ⑰ 田中憲蔵、市栄智明、北橋喜範、小池孝良、米田令仁、二宮生夫：第 13 回日本熱帯生態学会大会（2003）  
「生育段階の異なるフタバガキ科 5 樹種の光合成特性と葉の形態」
- ⑱ 服部大輔、入野和郎、櫻井克年、田中憲蔵、二宮生夫、J. J. Kendawang：第 13 回日本熱帯生態学会（2003）  
「マレーシアサラワク州における生態系修復を目的とした造林試験－土壌理化学性及び相対照度からのアプローチ」
- ⑲ T. Kenzo, T. Ozawa, S. Kashimura, D. Hattori, K. Irino, J. J. Kendawang, K. Sakurai and I. Ninomiya: Interdisciplinary workshop on conservation of tropical forest and shifting cultivation in Sarawak, Malaysia (2003)  
“Leaf physiological and morphological response of some dipterocarp seedlings in degraded forest environment in Sarawak, Malaysia”
- ⑳ D. Hattori, K. Irino, T. Kenzo, J. J. Kendawang, I. Ninomiya and K. Sakurai: Interdisciplinary workshop on conservation of tropical forest and shifting cultivation in Sarawak, Malaysia. (2003)  
“Experimental planting to rehabilitate the ecosystem in Sarawak, Malaysia: with special reference to soil factors and the relative light intensity”
- ㉑ K. Morisada, Y. Ohnuki, S. Noguchi, Wan Rasidah Wan Abdul Kadir, Zulkifli Yusop, and Ahmad Che Abdul Salam: International workshop on “The Landscape Level Rehabilitation of Degraded Tropical Forests” , Tsukuba, Japan (2004)  
“Impacts of selective logging on surface soil properties - a case study at Bukit Tarek Experimental Watershed, Peninsular Malaysia”
- ㉒ R. Yoneda, Y. Matsumoto, Y. Maruyama, M. Kitao, H. Tobita, M.A. Azani, A. Arifin, and M.M. Nik : International workshop on “The Landscape Level Rehabilitation of Degraded Tropical Forests” , Tsukuba, Japan (2004)  
“Planting test of fruit tree species on the deeply degraded land for forest corridor: Three months result after planting”
- ㉓ M. Kitao, R. Yoneda, H. Tobita, Y. Matsumoto, Y. Maruyama, A. Arifin, M.A. Azani, and M.M. Nik: International workshop on “The Landscape Level Rehabilitation of Degraded Tropical Forests” , Tsukuba, Japan (2004)  
“Photosynthetic properties and susceptibility to photoinhibition in seedlings of six tropical fruit tree species native to Malaysia”
- ㉔ M.A. Azani, M.M. Nik, M.H. Zaki, A. Arifin, R. Yoneda, and Y. Matsumoto: International workshop on “The Landscape Level Rehabilitation of Degraded Tropical Forests” , Tsukuba,

Japan (2004)

“Development of rehabilitation technologies for establishment of natural forest corridor on degraded land”

- ⑮ Y. Ohnuki, S. Noguchi, S. Sasaki, A.R. Nik, A.A. Salam: Forests and Water in Warm Humid Asia, IUFRO Workshop, Kota Kinabaru, Malaysia (2004)  
“Effects of buffer zone against soil runoff after selective logging in Bukit Tarek Experimental Watershed, Malaysia”
- ⑯ 米田令仁、田中憲蔵、丸山温、松本陽介、Mohamad Azani Alias、Nik Muhamad Majid: 第115回日本林学会大会 (2004)  
「半島マレーシアにおける造林樹種のガス交換特性」
- ⑰ 田中憲蔵、小澤智子、樫村精一、二宮生夫、入野和朗、櫻井克年、J. J. Kendawang: 第115回日本林学会 (2004)  
「マレーシアサラワク州ニア造林試験地に植栽された7樹種の生態生理(III)」
- ⑱ 米田令仁、田中憲蔵、北尾光俊、飛田博順、丸山温、松本陽介、Mohamad Azani Alias、Arifin Abdu、Nik Muhamad Majid: 第14回日本熱帯生態学会大会(2004)  
「半島マレーシアにおけるコリドー造成候補樹種の生理特性(I)。－ガス交換特性－」
- ⑲ 北尾光俊、米田令仁、飛田博順、丸山温、松本陽介、Mohamad Azani Alias、Arifin Abdu、Nik Muhamad Majid: 第14回日本熱帯生態学会大会 (2004)  
「半島マレーシアにおけるコリドー造成候補樹種の生理特性(II)。－光阻害感受性－」
- ⑳ 田中憲蔵、市栄智明、小池孝良、米田令仁、二宮生夫: 第14回日本熱帯生態学会大会 (2004)  
「マレーシア熱帯雨林における生育段階の異なるフタバガキ科5樹種の光合成特性と葉内窒素、クロロフィル量」
- ㉑ 二宮生夫、小澤智子、田中憲蔵、櫻井克年、田中壮太、Joseph Jawa Kendawang: 第14回日本熱帯生態学会 (2004)  
「マレーシア、サラワク州における焼畑後の植生回復」
- ㉒ 服部大輔、入野和郎、櫻井克年、田中憲蔵、二宮生夫、J. J. Kendawang: 第14回日本熱帯生態学会 (2004)  
「マレーシアサラワク州における生態系修復を目指した試験造林－土壌因子及び植生が樹下植栽されたフタバガキ苗に与える影響」
- ㉓ K. Morisada, Y. Ohnuki, S. Noguchi, Wan Rasidah Wan Abdul Kadir, Siti Aisah Shamsuddin, and Abdul Rahim Nik: International Workshop on “The Landscape Level Rehabilitation of Degraded Tropical Forests”, Tsukuba, Japan (2005)  
“Changes in topsoil nutrients status after slash burning for plantation at Bukit Tarek Experimental Watershed”
- ㉔ R. Yoneda, T. Kenzo, M. Kitao, H. Tobita, Y. Matsumoto, Y. Maruyama, M.A. Azani, A. Arifin and M.M. Nik: International Workshop on “The Landscape Level Rehabilitation of Degraded Tropical Forests”, Tsukuba, Japan (2005)  
“Monitoring of physiological characteristic of planted trees on the deeply degraded land at Ayer Hitam Forest Reserve, Selangor, Malaysia”

- ㊦ M.A. Azani, M.M. Nik, A. Arifin, A.M. Ismail Adnan, R. Yoneda, and Y. Matsumoto: International Workshop on “The Landscape Level Rehabilitation of Degraded Tropical Forests”, Tsukuba, Japan (2005)

“Growth performance of nine fruit tree species planted at severely degraded landfill area in Ayer Hitam Forest Reserve”

- ㊧ T. Kenzo, T. Ozawa, D. Hattori, K. Irino, J.J. Kendawang, K. Sakurai and I. Ninomiya: International Workshop on “The Landscape Level Rehabilitation of Degraded Tropical Forests”, Tsukuba, Japan (2005)

“Physiological and morphological responses of leaves on seven dipterocarp seedlings to degraded forest environment in Malaysian rainforest”

(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 Kyoto Mechanism and Conservation of Tropical Forest Ecosystem. (2004年1月29～30日、早稲田大学、参加者延べ1000名)

(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

学術誌、機関誌などを通じて、成果の広報、普及にさらに努める。