

E - 4 熱帯域におけるエコシステムマネージメントに関する研究

(2)多様性評価のためのラピッドアセスメント開発に関する研究

生態系観測のスケールアップ化に関する研究

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

地球環境センター

小熊宏之・米康充

財団法人自然環境研究センター

菰田 誠

岐阜大学 流域科学研究センター

小泉 博

安立美奈子・八代裕一郎

< 研究協力者 >

横浜国立大学 教育人間科学部

吉田圭一郎

(株)パスコ

宮作尚宏

平成 14 ~ 16 年度合計予算額 85,846 千円

(平成 16 年度合計予算額 29,844 千円)

[要旨] 航空機搭載スキャン型レーザーレンジ距離測器(以下、レーザープロファイラー:LiDAR)を用いて、野生生物の分布を規定する森林の林冠構造や、炭素蓄積機能に関する地上部現存量など、森林の持つ各種のエコロジカルサービス機能を迅速かつ広域で評価するためのシステム(スケールアップ技術)の開発を行った。パソ森林保護区周辺の異なる 7 つの森林タイプを対象に、レーザープロファイラーを用いて森林の林冠構造や地上部現存量の推定を試みた結果、以下のことが明らかになった。

- 1) レーザープロファイラーを用いた測量では、現地測量や空中写真判読と同程度の精度で地表面高および林冠高を測定できるだけでなく、倒木などによってできたギャップの抽出も可能であった。
- 2) レーザープロファイラーを用いて算出した森林の三次元立体構造体積と、現地測量によって得られた森林の地上部現存量との間に高い相関があった。
- 3) 7 つの異なる森林タイプについて地上部現存量の比較を行った結果、構造体体積を用いた現存量推定値は、現地測量によって得られた現存量の空間分布や、地形および伐採履歴による現存量の減少などの傾向と高い一致性が見られた。

以上のことから、レーザープロファイラーを用いた測量によって、熱帯林における林冠構造や地上部現存量を高精度に把握でき、森林の持つ多様性保全機能や炭素蓄積機能などのエコロジカルサービスを迅速かつ広域に評価できると考えられた。今後、樹木個体数の把握や伐採路の抽出などについても技術開発を行い、森林の持つ木材生産機能の評価などへの応用を試みる予定である。

[キーワード] レーザープロファイラー、林冠構造、地上部現存量、スケールアップ技術、林冠構造

1. はじめに

地球上の森林減少率は今なお年間 1400 万 ha レベルで推移しているが、その多くは東南アジアをはじめとする熱帯地域で起こっている。森林減少の多くは、商業伐採やゴム園・オイルパームプランテーションなどに代表される農地への転換によるものであるが、これらの人為改変は単に森林面積を減少させるだけでなく、森林がもたらす人間社会への恩恵、すなわちエコロジカルサービスの損失をもたらす。

これまで本課題においては、森林の持つ多様なエコロジカルサービス(多様性保全機能、炭素蓄積・循環機能、集水域保全機能、木材生産機能および文化レクリエーション機能)を評価するとともに、択伐や土地利用転換などの人為改変が及ぼす影響を明らかにしてきた(E-4(1))。また、これらエコロジカルサービスを簡便かつ迅速に評価するための生態系指標の抽出(ラピッドアセスメント手法の開発: E-4(2))にも取り組み、森林の内部構造や択伐履歴を含めた森林タイプの違いが、各種のエコロジカルサービス評価の有効な指標になることを明らかにしている。

一方、実際のランドスケープ管理や土地利用計画策定には、上述のようなインベントリー調査による詳細なデータに加え、広域にわたる資源量調査やエコロジカルサービスの評価が必要不可欠である。特に、急速に森林劣化・減少が進んでいる熱帯域においては、得られた生態系指標をもとに、迅速かつ高精度に、広域にわたってエコロジカルサービスを評価するための技術(スケールアップ技術)の開発は急務であると言える。

このような状況において、航空機搭載スキャン型レーザーレンジ距離測器(以下、レーザープロファイラー)を用いた森林測量は、森林の現況を迅速に把握し、森林の持つ各種のエコロジカルサービスを広域で評価することが可能なツールとして期待が寄せられている。レーザープロファイラーは、航空機から発射したレーザーパルスが構造物や地表面で反射し、センサーで受信されるまでの応答時間から地形や構造物の凹凸を測定するシステムであるが、温帯地域や針葉樹などの人工林においては、樹高の測定や地上部現存量の推定への応用が試みられている。しかしながら、樹木密度が高く、複雑な階層構造を持つ熱帯地域の森林に関しては、レーザープロファイラーの精度検証やエコロジカルサービス評価への応用に関する研究はほとんど行われていない。

2. 研究目的

本研究では、森林の持つ多様なエコロジカルサービス機能を迅速かつ広域で評価するためのシステム(スケールアップ技術)の開発を目的に、レーザープロファイラーを用いて、野生生物の分布を規定する森林の林冠構造(多様性保全機能)や炭素蓄積機能に関する地上部現存量を推定し、その精度の検証を行う。また、択伐履歴や地形要因の異なる 7 つの森林タイプについて、レーザープロファイラーを用いて地上部現存量を推定し、人為改変や環境要因が熱帯林の炭素蓄積機能に及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

レーザープロファイラーによる森林測量は、マレーシアネグリセンピラン州のパソ森林保護区を含む 5 つの地域(パソ森林保護区北東部丘陵地林、パソ森林保護区内 50ha プロット、パソ森林保護区内 6ha

プロット、パソ森林保護区南西部およびセルティン地区)で行った(図 1)。

これら 5 つの地域は、丘陵地フタバガキ林(天然林・伐採林<新・旧>)、低地フタバガキ林(天然林、再生林、伐採林)および孤立残存林など、マレーシアをはじめとする東南アジア熱帯域の代表的な森林タイプ 7 つを包含する。なお、再生林は択伐後 40 年を経過した森林であり、孤立残存林はアブラヤシの植栽が不可能な河川周辺域に残された小規模な森林である。

以下にレーザープロファイラーによる測量を行った 5 つの地域についてその詳細を述べる。

- 1) パソ森林保護区北東部丘陵地林 (400ha) ... パソ森林保護区の北東部に位置し、フタバガキ科植物が優占する丘陵地林。森林タイプは丘陵地天然林のみ。
- 2) パソ森林保護区内 50ha プロット (50ha) ... パソ森林保護区の中央部に位置し、フタバガキ科植物が優占する低地林。森林タイプは低地天然林のみ。地形測量や胸高直径 1cm 以上の全個体について毎木調査が行われていることから、レーザープロファイラーを用いた林冠構造および地上部現存量の推定の精度検証には、このプロットの現地測量データを用いた。
- 3) パソ森林保護区内 6ha プロット (6ha) ... パソ森林保護区の南部に位置する伐採後 40 年を経過した再生低地林。森林タイプは低地再生林のみ。
- 4) パソ森林保護区南西部 (380ha) ... パソ森林保護区の南西部および保護区外の孤立残存林を含む地域。森林タイプは低地天然林、低地再生林、残存孤立林の 3 つのタイプを含む。
- 5) セルティン地区 (600ha) ... パソ森林保護区の南西約 6km に位置する丘陵林。森林タイプは、丘陵地天然林、丘陵地伐採林(新)、丘陵地伐採林(旧)および低地伐採林の 4 つを含む。

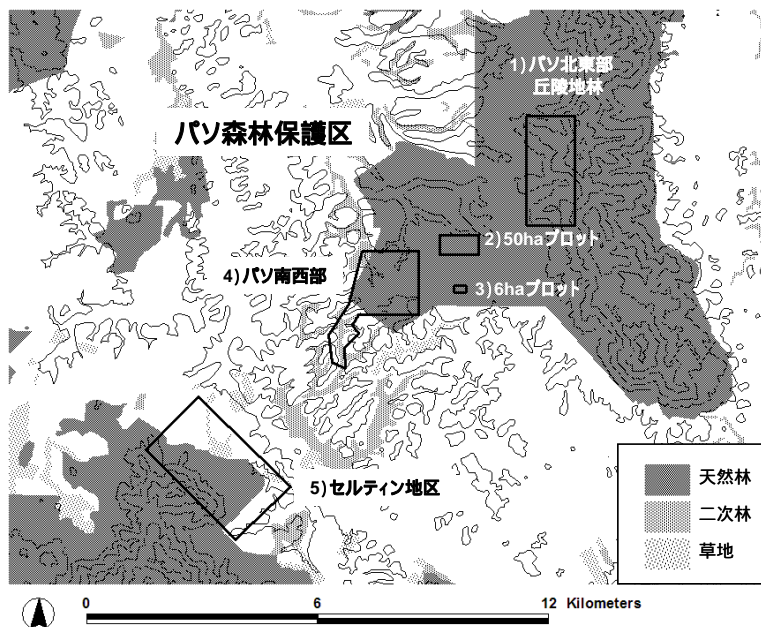


図 1 パソ森林保護区周辺の土地利用およびレーザー測量対象地(太枠内)

(2) レーザープロファイラーを用いた地表面高・林冠高の推定とその精度の検証

レーザープロファイラーは、航空機から発射したレーザーパルスが地表面や構造物によって反射され、再び航空機に搭載したセンサーで受信されるまでの応答時間を計測することによって地形や構造物の凹凸を測定するシステムである。森林などを対象にレーザー測量を行った場合には、単位面積当たり複

数回のレーザー照射を行うことにより、林冠面だけでなく地表面の凹凸も同時に評価することが可能である(図2)。レーザープロファイラーを用いた測量は2003年9月に実施し、(株)パスコ、共立航空および地元の測量会社と共同で上述の5つの地域を対象に行った。

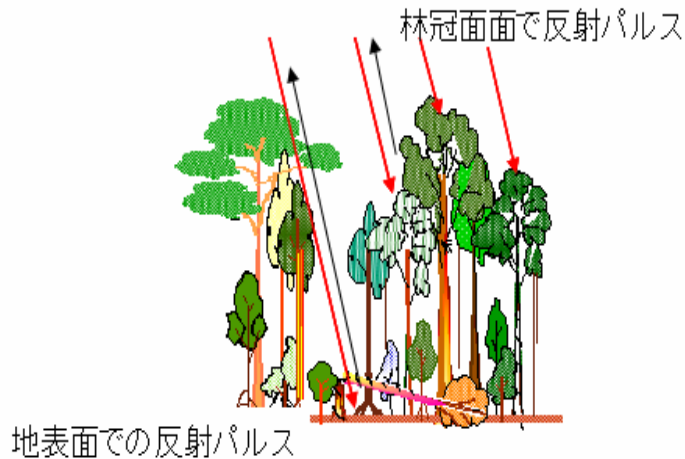


図2 レーザープロファイラーを用いた地表面・林冠面高の測定の概念図(反射パルスの捕捉)

これまでの本課題における研究成果により、森林の階層構造の卓越が野生生物の多様な生息環境を創出し、森林の持つ多様性保全機能を規定する主要な要因となっていることが明らかとなっている。本研究では、レーザープロファイラーを用いた森林測量により、このような熱帯林の階層構造をどの程度の精度で把握できるのかを明らかにするため、すでに現地踏査による地形測量や空中写真を用いた林冠面高の測定(空中三角測量)が行われているパソ森林保護区内50haプロットにおいて、レーザープロファイラーを用いて地表面高および林冠面高を算出し、現地測量によって得られたデータとの相関関係を把握した。

(3) レーザープロファイラーを用いた地上部現存量の推定とその精度の検証

森林の持つエコロジカルサービスの1つである炭素蓄積機能を迅速かつ広域に評価することを目的に、レーザープロファイラーにより算出した森林の三次元構造体体積を用いて、森林の地上部現存量を推定するための手法開発を行った。

まず、50haプロットで得られたレーザー測量データをもとに、地理情報システム(GIS)を用いて2.5m×2.5mグリッドごとの地表面高および林冠面高を算出するとともに、それらの差分から樹木高を算出した。次に、20m×20mのグリッド(2.5m×2.5mグリッド64個を包含する)を作成し、グリッド内の最大樹木高を求めた後、それらの積算値(=20m×20m×最大樹木高)を森林の三次元構造体体積とした。なお、グリッドサイズ(20m×20m)は、熱帯林における突出木層・林冠層の樹木の林冠サイズを考慮して決定した。

また、2000年に行われた50haプロットにおける毎木調査データをもとに、Katoh et al. (1978)¹⁾のアロメトリー式を用いて、上述の各グリッドにおける地上部現存量を算出した。この際、樹木個体の幹の位置を基準として、グリッド内に含まれる胸高直径1cm以上のすべての個体の地上部現存量の総和を算出した。得られたデータセットをもとに、レーザープロファイラーにより算出した森林の三次元構造体体積と、毎木調査データに基づく地上部現存量との相関関係を把握した。

(4)人為改変および環境要因が森林の炭素蓄積機能に及ぼす影響

択伐や地形などの環境要因が熱帯林の炭素蓄積機能に及ぼす影響を明らかにするため、7つの異なる森林タイプ(参照:方法3(1)調査対象地の概況)において、20m×20mグリッドごとの三次元構造体体積を算出し(参照:方法3(3))、その比較を行った。

4. 結果と考察

(1)レーザープロファイラーを用いた地表面高・林冠高の推定とその精度の検証

レーザー測量によって得られた地表面高および林冠高と、地形測量による地表面高および空中写真を用いて測定した林冠面高(空中三角測量)との比較を行った。その結果、地表面高および林冠高ともに、レーザー測量によって得られた値は、現地踏査にもとづく地形測量や空中三角測量など従来の手法によって得られた値と高い相関関係を示すことが分かった。これは、樹木密度が高く、階層構造が極めて複雑な熱帯地域の森林においても、レーザープロファイラーを用いた地表面高・林冠高の測量が有効であり、また地表面高・林冠高の差分から樹木高や倒木によるギャップなども高精度に測定が可能であることを意味する。一般に熱帯雨林では、その種多様性と高い樹木密度から、森林の種組成や階層構造などの森林特性を把握するためには大規模な調査面積が必要とされるが、樹種判別や樹高の測定が極めて困難なことから、50ヘクタールの調査地を設けるのに4年以上の期間がかかることが知られている。これに対し、レーザープロファイラーを用いた林冠構造の把握は、現地踏査によって得られるデータに比べ、樹種判別や樹木密度の測定能力に欠けるという欠点もあるものの、野生生物の種多様性を規定する森林の林冠構造を高精度かつ迅速に評価することが可能な極めて有効なツールであると言える。今後、レーザー測量によって得られる樹木高データを用いて、樹木個体数の把握や伐採路の抽出などについても技術開発を行い、森林の持つ木材生産機能の評価などへの応用を試みる予定である。

(2)レーザープロファイラーを用いた地上部現存量の推定とその精度の検証

レーザープロファイラーにより算出した森林の三次元構造体体積と、毎木調査データに基づく地上部現存量との対応関係を図3に示した。

レーザー測量に基づき算出した森林の三次元構造体体積は、毎木調査データから算出した地上部現存量と高い一貫性を示した($R^2 = 0.633$, $P < 0.01$)。これは従来、プロットの設置 全樹木個体を対象とした胸高直径や樹高の測量 アロメトリー式の適用による地上部現存量の推定、といった熱帯林においては極めて時間とコストのかかる手順を踏むことなく、レーザー測量によって得られた樹木高データによって迅速かつ高精度に森林の炭素蓄積機能を評価できることを意味する。また、京都メカニズムの一つである CDM では吸収源(森林)の時空間的変動を正確に把握することが重要であるが、高い精度で樹木高や地上部現像量の推定が可能なレーザー測量を複数年にわたって使用することで、森林が現在蓄積している炭素量だけでなく、森林の生長量や年間当たりの炭素吸収量を把握することも可能であると考えられた。

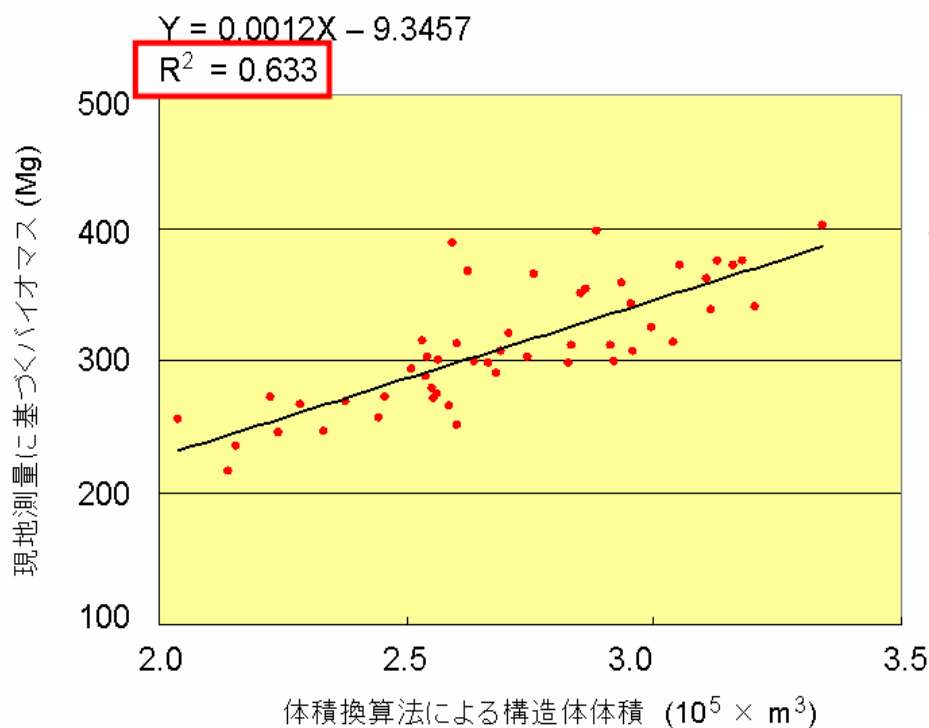


図3 レーザー測量による森林の三次元構造体体積とアロメトリー式による地上部現存量の比較

(3)人為改変および環境要因が森林の炭素蓄積機能に及ぼす影響

人為改変や地形などの環境要因が森林の地上部現存量に及ぼす影響を把握するため、異なる7つの森林タイプ(参照:方法3(1)調査対象地の概況)において、レーザー測量により森林の三次元構造体体積を算出し、その比較を行った(図4)。

この結果、最も地上部現存量が大きな森林タイプは丘陵地天然林であり、低地天然林および伐採後40年経過した再生林がこれに次ぐ値を示した。また、最も地上部現存量の低い森林タイプは残存孤立林で、その値は丘陵地天然林の約10%であった。

これまで地形要因が森林の地上部現存量に及ぼす影響に関しては、現地測量や空中写真判読を用いて多く報告がされており、平地部や谷部に較べて水はけのよい斜面部では樹木の生長が促進し、地上部現存量が大きくなることが明らかとなっている。レーザープロファイラーを用いて地上部現存量を推定した本研究も、これらの先行研究と類似した傾向を示し、レーザープロファイラーを用いた場合にも微地形が森林の現存量に及ぼす影響を把握できることが明らかとなった。

また、択伐などの人為改変が森林の地上部現存量に及ぼす影響については、丘陵地および低地林ともに伐採直後の森林で30-35%程度のバイオマスの減少が見られ、従来報告がなされてきた結果と同様の減少傾向が確認できた。

一方、伐採後40年を経過した再生林では、天然林とほぼ同程度にまで地上部現存量が回復することが新たに明らかになった。しかしながら、森林内における地上部現存量のばらつきに関しては、天然林に比べて再生林で低い傾向が見られ、伐採後40年程度で地上部現存量は回復するものの、野生生物の生息において重要な役割を果たす森林の垂直構造については、回復に多くの時間が必要であることが示唆された。

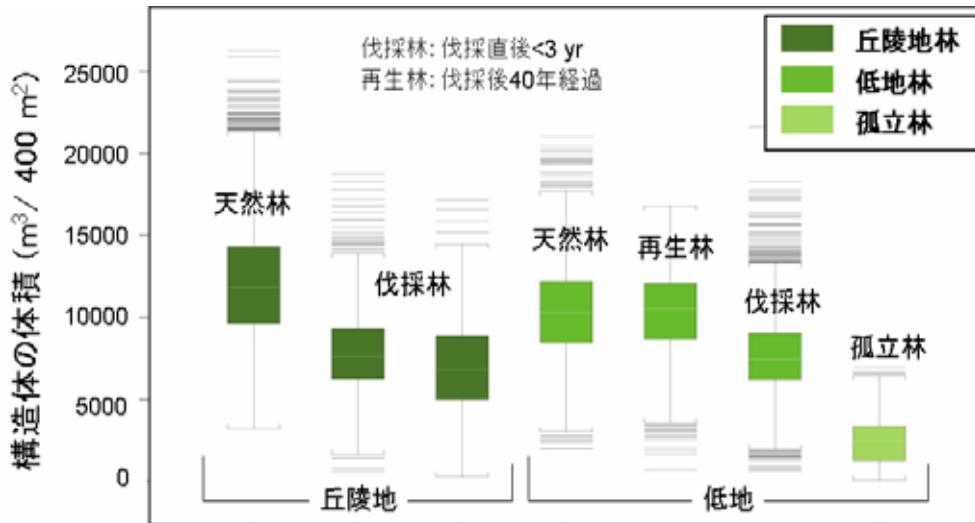


図4 伐採履歴や立地条件の異なる林分における地上部現存量の比較。縦軸はレーザープロファイラー計測によって得られた林冠高を元に推定した構造体の体積

5. 本研究により得られた成果

本研究では、レーザープロファイラーを用いて、野生生物の分布を規定する森林の林冠構造や炭素蓄積機能に関する地上部現存量など、森林の持つ各種のエコロジカルサービス機能を迅速かつ広域で評価するためのシステム(スケールアップ技術)の開発を行った。その結果、以下のことが明らかになった。

- 1) レーザー測量では、森林が鬱閉し、複雑な階層構造を持つ熱帯林においても、地表面高および林冠高を現地測量や空中写真判読と同程度の精度で測定でき、森林の多様性保全機能を規定する林冠構造を高精度に再現できる。
- 2) レーザー測量データをもとに算出した森林の三次元立体構造体積によって、森林の持つ炭素蓄積機能が高精度に評価できるだけでなく、森林の生長量や年間当たりの炭素吸収量なども広域にわたって評価が可能である。

以上のことから、レーザープロファイラーを用いた測量によって、熱帯林における各種のエコロジカルサービスを迅速かつ広域に評価できると考えられた。

6. 引用文献

- 1) Kato R., Tadaki Y. and Ogawa H. (1978) Plant biomass and growth increment studies in Pasoh Forest. Malay. Nat. J. 30: 211-224.

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: Mazlan Hashim, Ab.Latif Ibrahim, Zulkifli Yusop (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：エコシステムマネー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ー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

ランドスケープ管理や土地利用計画の策定には、インベントリー調査による詳細なデータに加え、広域にわたる資源量調査やエコロジカルサービスの評価が必要不可欠である。これに対し、本研究では、レーザープロファイラーを用いて、野生生物の分布を規定する森林の林冠構造や炭素蓄積機能に関する地上部現存量など、森林の持つ各種のエコロジカルサービス機能を迅速かつ広域で評価するためのシステム(スケールアップ技術)の開発を行った。これらの成果は、熱帯以外の他の地域にも応用することが可能で、京都メカニズムの一つである温暖化吸収源対策(CDM: Clean Development Mechanism)における吸収源(森林)の時空間的変動の把握などにおいても、有効なツールになると言える。