

学 位 論 文 題 名

Distribution of Carbon in Peat Layer and Estimation
of Carbon Mass using Satellite Data
in a Tropical Peatland, Central Kalimantan, Indonesia

（インドネシア・中央カリマンタンの熱帯泥炭地における
泥炭層内炭素分布と人工衛星データを用いた蓄積炭素量見積）

学位論文内容の要旨

近年、熱帯域の急激な土地利用変化や森林火災により、温室効果ガスとして大量の炭素が大気中に放出されていることが明らかとなっている。泥炭地は温室効果ガスである二酸化炭素のシンクであり、推定 329～528 Gt の蓄積炭素が世界に存在している。これは地上総炭素量の約 20% に相当する。このうち約 70 Gt の炭素が熱帯泥炭中に存在すると言われている。一般に泥炭は多くの炭素を含む有機質からなり、湛水した還元状態では比較的安定であるが、地下水位が低下して乾燥化し空気にさらされて酸化すると急激に分解し炭素は大気中に放出されてしまう。このように非常に脆弱な熱帯泥炭をカーボンシンクとして安定的に維持するためには、その堆積環境および蓄積量の把握が急務である。しかし、熱帯泥炭地における正確な炭素量分布・炭素蓄積量はいまだに明らかではなく、より詳細な実測値および、泥炭地タイプ・湿地林タイプ・泥炭深の違いによる炭素含有特性などの解明が必要とされている。そこで、本研究において、インドネシア・中央カリマンタン州の泥炭地を例にカーボン・プール推定方法確立のため、泥炭層内蓄積炭素含有量について分析を行うとともに、多時期リモート・センシング・データ (NOAA-AVHRR) を用い、泥炭層厚との関係から泥炭層厚推定を試みた。また、GIS(地理情報システム)を利用した地形条件によるスクリーニングから更に精度の高い泥炭層厚図作成を試みた。

熱帯泥炭湿地林において泥炭層厚と湿地林タイプとの関係が示唆されており、泥炭層厚の推定に有用であると考えられる。しかし、いまだに広域に適用できる手法が確立されていないのが現状であるため、本研究では多時期 NOAA/AVHRR データを用い、中央カリマンタンを例に、熱帯泥炭湿地林分類を行い、厚い泥炭層上に存在する湿地林タイプの抽出を試みた。インドネシア・中央カリマンタンに広がる泥炭湿地林を、Land System Map 及び Land Use Map (RePPProT, 1995) を用いて抽出し、この湿地林領域内で 2°S – 3°S , 112°E – 114°E の範囲を研究対象地域とした。中央カリマンタン地域における 1992 年 4 月～1993 年 9 月の $1\text{ km}\times 1\text{ km}$ NOAA/AVHRR-10-days コンポジットデータ (NDVI, channel -4, -5) を EROS (Earth Resources Observations Systems) Data Center から取得し、放射地表面温度 (T_s) を channel -4, -5 から split window algorithm により計算した。この多時期 NDVI 及び T_s を monthly コンポジットし、更に 3 ヶ月のメジアンフィルターによりノイズを除去した。泥炭層厚データは 1997 年～2000 年の現地調査によるものと、既存のデータを用い、すべてを 1-km メッシュデータにリスケールした。研究対象湿地林における日蒸発散量が平均 3.5 mm であるので、月降雨量が 100 mm 以下である月の連続する期間を乾季 (Dry) とし、それ以外を雨季とした。更に雨季を前期 (Wet-1)・後期 (Wet-2) に分割した。本研究においては 1992 年 9 月～1993 年 8 月までの 1 年 3 期間を研究対象期間とした。人工衛星データによって植生分類を行う場合、特に熱帯において、NDVI のみで分類するよりも分類精度が

向上するという理由から、本研究では NDVI と T_s との比を指数とし TVI と定義した ($TVI = NDVI / T_s \times 100$)。各期間における平均 TVI (TVI_{DRY} , TVI_{WET1} , TVI_{WET2})、対象期間の年平均 TVI (TVI_{1yr}) を算出した。これらの値の相対関係により対象地域の森林を次の主な 6 つのフェノロジータイプに分類することができた。乾季に TVI 活性がある ($TVI_{DRY} > TVI_{1yr}$) 嫌雨的タイプ (Phob-Z, Phob-V) ; 雨季後期に TVI 活性がある ($TVI_{WET2} > TVI_{1yr}$) 好雨的タイプ (W2) ; 乾季・雨季後期両方に TVI 活性がある ($TVI_{DRY} > TVI_{1yr}$ and $TVI_{WET2} > TVI_{1yr}$) “W2D-A”, “W2D-Z” ; 乾季・雨季前期両方に TVI 活性がある ($TVI_{DRY} > TVI_{1yr}$ and $TVI_{WET1} > TVI_{1yr}$) タイプの 6 フェノロジータイプである。そのうち、嫌雨的タイプ (Phob-Z, Phob-V) は好雨的タイプ (W2) よりも TVI の季節変動幅 (TVI-Amplitude) が有意 ($P < 0.05$) に大きく、地形的に、雨期の高水位の影響を受けやすい場所に存在することが示唆された。これにより、Flooding Stress が影響し雨季には植生の活性度が下がるタイプが嫌雨的タイプであると考えられる。更にフェノロジータイプ “W2D-A” は、有意に厚い泥炭層 (Mean Thickness = 4.6 m) , “Phob-V” は、有意に薄い泥炭層 (Mean Thickness = 0.9 m) において存在することが明らかになった。各フェノロジータイプにおける平均泥炭層厚を代表値として用い推定泥炭層厚分布図を作成する事ができた。更に分布図の精度を向上させるため、これに地形条件を考慮に入れた分布図も作成し、RMS エラーを 2.7 m から 1.6 m に減少させる事ができた。しかし、より詳細な泥炭層厚推定には、更なる説明パラメータとグランドトゥルースの取得が必要である。

一方、泥炭地タイプを RePPProT (1985) の Land System Map を基に Riverine, Terrace, Dome, Marginal, Coastal 泥炭地に再分類し、泥炭層中の炭素密度 (Volumetric Carbon Density: CD_v) を比較したところ、泥炭層中の炭素密度 (CD_v) は、Terrace, Riverine において、Dome, Marginal, Coastal 泥炭地よりも有意 (Scheffé's test: $P < 0.05$) に大きい値を示した。Dome, Marginal 泥炭地において木片層の含有量 (50~89%) が大きいことから、泥炭の分解が進んでいないためであると考えられ、Riverine においてはミネラル・インプット、Terrace においては泥炭生成年代が古いことから、泥炭の分解が進んだため、泥炭構造の圧密化から CD_v が増大したと考えられる。また、各泥炭地タイプの CD_v は深さにより変化しないことが明らかになった。

フェノロジータイプにおける平均泥炭層厚を代表値として用いた推定炭素量分布図と、これに地形条件を考慮に入れた分布図が CD_v 特性を組み合わせることで作成することができ、これらの分布図からインドネシア・中央カリマンタンの研究地域の総蓄積炭素量を見積もった。計算の結果、調査地域内の蓄積炭素量が $1.1 \sim 1.8 \text{ Gt Mha}^{-1}$ であると推定された。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 小 野 有 五

副 査 教 授 甲 山 隆 司

副 査 助教授 高 橋 英 紀

副 査 助教授 谷 宏 (大学院農学研究科)

学 位 論 文 題 名

Distribution of Carbon in Peat Layer and Estimation of Carbon Mass using Satellite Data in a Tropical Peatland, Central Kalimantan, Indonesia

(インドネシア・中央カリマンタンの熱帯泥炭地における
泥炭層内炭素分布と人工衛星データを用いた蓄積炭素量見積)

近年、熱帯域の急激な土地利用変化や森林火災により、温室効果ガスとして大量の炭素が大気中に放出されていることが明らかとなっている。泥炭地は温室効果ガスである二酸化炭素のシンクであり、推定 329～528 Gt の炭素蓄積が世界に存在している。これは地上総炭素量の約 20%に相当する。このうち約 70 Gt の炭素が熱帯泥炭中に存在すると言われている。しかし、熱帯泥炭地における正確な炭素量分布・炭素蓄積量はいまだに明らかではなく、より詳細な実測値および、泥炭地タイプ・湿地林タイプ・泥炭深の違いによる炭素含有特性などの解明が必要とされている。

本研究ではインドネシア・中央カリマンタン州の泥炭地を例に炭素蓄積量推定方法確立のため、地域内で多数地点の泥炭層内炭素含有量について調査・分析を行うとともに、多時期リモート・センシング・データ (NOAA-AVHRR) を用いた森林水文特性の季節変化を指標としたフェノロジー分類、デジタル標高データから導入した斜面勾配を指標とした地形分類、既存のランドシステム分類泥炭層厚との関係から泥炭層内炭素密度および泥炭層厚推定を試みた。

地形・フェノロジータイプ・ランドシステム各分類による泥炭層厚分布推定の適性について検証した結果、(1) 地形分類：全般的に最も有効である。(2) フェノロジータイプ分類：厚い泥炭層が優占する地域において最も有効である。(3) ランドシステ

ム分類：傾斜が比較的大きい領域において最も有効である。（４）上記３分類図の特徴を組み合わせで作成した泥炭層厚分布図が実測結果に最も近い、などの結論を得た。

また、地形・フェノロジータイプ・ランドシステム各分類による蓄積炭素密度（CDV）分布推定の適性について検証し、（１）地形分類：有効である（２）フェノロジータイプ分類：有効ではない。（３）ランドシステム分類：最も有効である。最終的に泥炭層厚推定に関しては３分類図を組み合わせたもの、蓄積炭素密度推定に関してはランドシステム分類を用い、対象地域の炭素量の見積もりを行ない $1.1 \sim 1.8 \text{ Gt Mha}^{-1}$ の値を得た。

本研究において開発した蓄積炭素量推定モデルは、リモートセンシング・GIS 技術に適応しており、より多様な地域への利用と、更に精度の良い地域スケールの蓄積炭素分布図作成を可能とする。また、熱帯泥炭地における蓄積炭素量分布・絶対量の正確な把握は、その炭素貯蔵機能を解明し、地球規模の炭素循環システムにおける位置付けを明らかにする上にも重要である。

審査員一同は、これらの成果を高く評価し、また大学院課程における研鑽や取得単位なども併せ、申請者が研究者として誠実かつ熱心であり、博士（地球環境科学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと判定した。