

平成 21年 5月 26日現在

研究種目：基盤研究 (A) (海外)

研究期間：2005～2008

課題番号：17255008

研究課題名 (和文) 熱帯泥炭地域の炭素吸収ポテンシャルと荒廃地修復

研究課題名 (英文) Carbon Sink Potential of Degraded Lands in Tropical Peat Swamp Area

研究代表者 長野 敏英 (NAGANO TOSHIHIDE)

宇都宮大学農学部・特任教授

研究者番号：10012006

研究成果の概要：

熱帯の沿岸域に広く分布している泥炭湿地は効果的な炭素の吸収源・貯蔵庫として機能している。しかし、泥炭地域の多くは農地として開発されているが、泥炭土壌生成過程の特性から、農耕不適地となり二次林のような荒廃地として放置され、結果として巨大な炭素の発生源となっている。泥炭土壌からの炭素発生に関する特性、荒廃地を炭素の吸収源とするための方策について検討を行った。その結果、泥炭農地からの炭素発生量は土壌水分状態によって大きく変化することが明らかになった。泥炭荒廃地を炭素の吸収源とするためには、本来の生態系、すなわち泥炭湿地林に戻し、さらにメラルーカ (*Melaleuca cajuputi*) を植林し、且つ材を利用していくのが最適な土地管理・利用方法であるとの結論を得た。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2005年度	15,400,000	4,620,000	20,020,000
2006年度	5,900,000	1,770,000	7,670,000
2007年度	5,200,000	1,560,000	6,760,000
2008年度	4,500,000	1,350,000	5,850,000
年度			
総計	31,000,000	9,300,000	40,300,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農業工学・6502

キーワード：熱帯泥炭土壌、炭素収支、炭素吸収ポテンシャル、泥炭消失、荒廃地の修復、

メラルーカ、造林、CDM

1. 研究開始当初の背景

熱帯の沿岸域に広く分布している泥炭湿地は効果的な炭素の吸収源・貯蔵庫として機能している。しかし、1970年代から、人口増加、食糧問題によって、これら泥炭地域は農地化へと開発が進められている。これら熱帯泥炭地域の開発は必ずしも成功していない。農地化が成功しない理由としては、これら熱帯泥炭湿地の生成過程に関係している。泥炭層の厚みは場所によって大きく異なるが、殆どの泥炭層の下には海成粘土層があり、その中には硫黄を含むパイライトが存在する。泥炭湿地の開発を行う場合、最初に地域の排水が行われる。その結果、このパイライト中に含まれる硫黄分が酸化され、泥炭層は強酸性の酸性硫酸塩土壌に移行する。従って、農地として開発された多くの泥炭開発農地は、作土層が強酸性(pH3前後)のために農耕不適地となり荒廃地として放棄されて、多くは、二次林のような荒廃地として放置され炭素の発生源となっている。

2. 研究の目的

熱帯泥炭土壌は約3,800万haあり、このうち2,800万haは東南アジアに集中している。泥炭湿地林を農地として開発した多くの地域は荒廃地(二次林)として放置されている。これら熱帯地域の荒廃泥炭地域は排水の結果、泥炭の分解も早く、さらに乾期には野火が多発し、これら荒廃地は膨大な二酸化炭素の排出源となっている。地球温暖化防止の視点からも、このように荒廃化が進んだ泥炭地域を二酸化炭素の吸収、すなわちシンクとして機能する生態系に修復し、持続的物質生産が可能な方策を早急に講じる必要がある。そこで、具体的には(1)熱帯泥炭地域での土地利用形態による炭素動態の特性を明らかにし、炭素吸収ポテンシャルを最大限にするための土壌・水管理方法についての方策・技術を確立する。(2)東南アジアに分布する熱帯泥炭湿地は、約2,200万haから2,800万ha分布すると言われているが、熱帯泥炭湿地の土地被覆・土地利用面積、特に開発された面積は算出されていない。そこで、本研究では、東南アジアに分布する熱帯泥炭湿地地帯の土地被覆、土地利用面積を従来の推定より

も、より正確に推定し、その分布特性を明確にする。

(3)開発が放棄された泥炭湿地荒廃地の森



林再生技術を開発するために、泥炭湿地荒廃地の環境ストレスに抵抗性の

ある樹種を、タイ南部の湿地自然林を構成する樹種等より選抜し、環境ストレスに対する選抜樹種の応答を解析した上で育苗・植栽方法の改善、また造成された森林の炭素吸収量の測定、評価を行う。

(4)荒廃した泥炭湿地に優占するメラルーカ・カユプテ (*Melaleuca cajuputi*) の現地住民による利用状況を明らかにし、荒廃地の修復と資源の存続のための指針を得る。

3. 研究の方法

研究はタイ国マレー半島南部に位置するナラティワート県、ナコンシタマラート県の泥炭湿地地域を対象に研究を行った。

Nakhon Si Thammarat, Khuan Khreng では、泥炭湿地(通年湛水状態)および開発地

(*Melaleuca cajuputi* 人工林)を模した試験圃場を造成した。

(1)タイ南部泥炭地域Narathiwat, Bacho で、泥炭土壌の消失、および泥炭土壌からの炭素放出量の測定を行った。泥炭土壌消失のは海

成粘土層までパイプを打ち

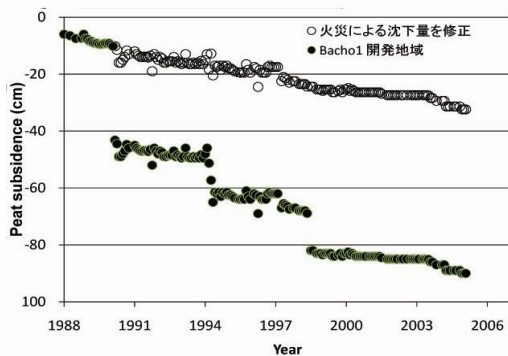
写真1 泥炭沈下測定パイプ

測定込み、
地表面の

沈下量、および地下水位を月1回の割合で測定を行った。泥炭土壌からの炭素放出は泥炭土壌地域の自然泥炭湿地林、開発地区におけるオイルパーム、メラルーカ人工林および二次林における土壌呼吸量の測定を、チェンバー法を用いて行った。

(2)熱帯泥炭湿地の分布面積の算出には、FAOが配信しているデジタル化された土壌図

画像(縮尺 1/250,000~1/500,000)を用いて、目視判読により、熱帯泥炭湿地地帯をデジタル化して、ポリゴンデータ化した。また熱帯泥炭湿地地帯の土地被覆、土地利用面積をより詳細に推定するために、高空間解像度の衛星リモートセンシングデータである、Landsat TM と ETM+画像を用いて、一般的な分類アルゴリズムで土地被覆分類を行い、①の熱帯泥炭湿地地帯の各土地被覆種、土地利用面積を推定した。ここで、用いた Landsat TM, ETM+画像データは、凡そ 1998 年から 2003 年にかけて撮影され、GeoCover 2000 データとして米国 USGS から配信されている無料のデータである。また、このデータをより信頼性の高い解析を行うためのデータとして、この GeoCover 2000 データを用いて、専門家が解析して現地専門家が精度を検証した土地被覆データセット GeoCover LC 2000 を利用した。さらに、本研究が対象とする沿岸域に分布する熱帯泥炭湿地を抽出するために、



デジタル標高データ SRTM データを用いて、標高 100m 以下の熱帯泥炭湿地を抽出した。
 (3) タイ南部の泥炭湿地自然林およびその周辺から在来樹種の種子を採取し、ソクラー県のタイ国王室森林局南部造林研究センターの苗畑において植栽試験用の苗木を作成した。湛水環境は、苗木に低酸素ストレスという重大なストレスを生じさせ、通常の育苗法では湛水環境にある泥炭湿地の造林は困難であると考えられた。そこで、苗畑において苗木をあらかじめ湛水環境に順化させる湛水順化処理を考案し、これによる苗木の生残率の改善効果を調べる試験を現地で行った。また、酸性硫酸塩土壌地域の *Melaleuca cajuputi* 林の現存量とバイオマス成長を生産生態学的手法により推定した。

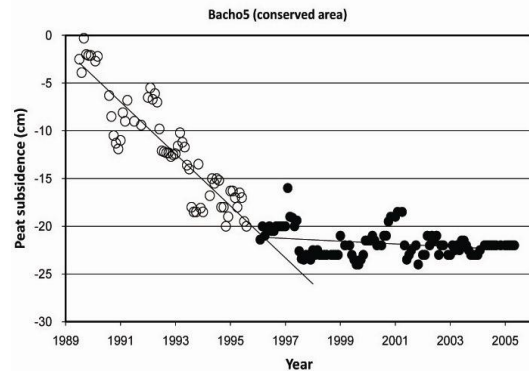
(4) タイ南部で、泥炭湿地に優先する *Melaleuca cajuputi* の現地住民による利用

状況を明らかにするために、砂浜堤、泥炭湿地(冠水林)およびその移行において個体群構造と死亡要因の現地調査。

4. 研究成果

(1) タイ南部ナラティワート県泥炭土壌開発地域の開発地区(Bacho1)の泥炭沈下測定結果を図1に示す。

図1. 開発地区(Bacho1)の泥炭沈下変化



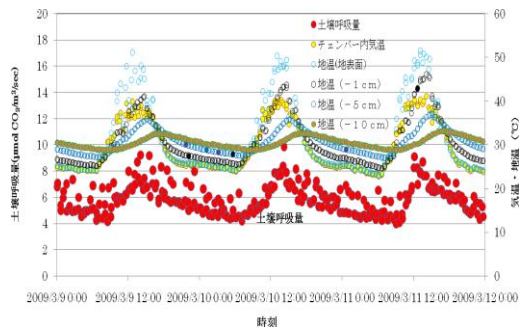
図に示すように、約 20 年間で 90cm の泥炭沈下、さらに 4, 5 年に一回くらいの割合で大きな泥炭沈下が見られる。これは野火による泥炭の焼失を示している。この野火による泥炭沈下量を修正したものを○で示している。泥炭土壌の乾燥密度を 0.18g/cm^3 、泥炭土壌中の有機物含量比を 0.8、有機物中の炭素重量比を 0.5 と仮定すると、開発地区では炭素の放出量が 34.4tC/ha/年 と膨大な炭素を放出している。この内、野火による炭素放出分が 22.0tC/ha/年 、土壌分解によるものが残りの 12.4tC/ha/年 となった。

図2に保全地区(Bacho5)の泥炭沈下測定結果を示す。保全地区では野火の発生が見られなかった。図2において、1996年を境に泥炭沈下速度が大きく異なっている。1996年以前の地下水環境は、月1回の測定であるが、湛水の頻度が 25.4% であるのに対して、1996年以降は 77.8% とほぼ通年湛水状態で管理されていた。この水管理の大きな違いにより、1996年までの炭素放出量は 23.6tC/ha/年 、これに比べて、1996年以降の炭素放出量は 0.5tC/ha/年 と激減している。この事は、保全地区に指定しても、水管理が中途半端な場合、これら保全地区も大きな炭素発生源になる可能性を示している。

図2. 保全地区(Bacho5)の泥炭沈下変化

熱帯泥炭地域において、自然泥炭湿地林および開墾地に於ける土壌表面からの CO₂ フラックスの測定を行い、その結果を図 3 に示す。
 図 3. 各種土壌水分条件下での土壌呼吸量 (Bacho and To Daeng, Narathiwat)

図が示すように、土壌呼吸量は土壌水分環境によって大きく影響される。土壌含水率が高くなるに従って、土壌呼吸量は低下する。また、泥炭湿地林は通年湛水状態にあるにもか



かわらず、4~9 tC/ha/年の炭素放出が見られるが、これは樹木の根呼吸による炭素放出である。この様に、泥炭地域における炭素放出量は土壌の水環境によって大きく変化する。

造成した試験圃場（メラルーカ人工林）での土壌呼吸量の連続測定を行った。その結果を図 4 に示す。図に示すように、土壌呼吸量には日変化がみられる。4~8.5 μmolCO₂/m²/sec (16~32tC/ha/year) の発生量があり、平均値は 5.86molCO₂/m²/sec (22tC/ha/year) であった。この変化は、温度が上昇するにつれて土壌呼吸量は増加し、-1cm~-5cm の地温との間で相関が見られる。この測定期間中の地下水水位は平均-27cm、土壌の体積含水率は 0~5cm 深さで 55%、5~10cm で 76%、またここでの有機物含量は重量比 0.65~0.80 であった。

図 4 土壌呼吸量・地温・気温日変化 (Khuan Khreng, Nakhon Si Thammarat)

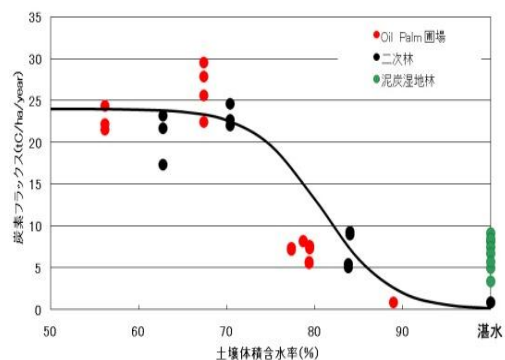
(2) 熱帯泥炭湿地地帯の土地被覆、土地利用面積について、以下のような推定値が得られた。

① 東南アジアに分布する熱帯泥炭湿地の全面積は、25,119,825ha。そのうち、1,030,781.25 ha (4.1%) がマレー半島マレーシア、56,475 ha (0.2%) がタイ、5,519,781.25 ha (22.5%) がボルネオ島 (インドネシア領内)、

1,754,031.25 ha (7.0%) が、ボルネオ島 (マレーシア領内)、10,790,950 ha (43.1%) が、パプア (インドネシア領内)、329,712.5 ha (1.3%) がパプア (ニューギニア領内)、そして、5,638,093.75 ha (22.5%) がスマトラ島 (インドネシア) に分布する。

② この熱帯泥炭湿地林地帯の各土地被覆・土地利用種の面積は、以下のものであった。湿地林は 15,181,387.5 ha、湿地林 (疎林) と灌木の混合林は 3,346,831.3 ha、二次林と灌木の混合林は 4,866,987.5 ha、裸地・開墾地等は 822,756.3 ha、農地は 467,243.8 ha、草地は 434,618.8ha であった。

(3) フトモモ科樹木を中心として、10 種の湛水順化苗と対照苗が得られた。これを試験圃場の常時湛水環境にある試験区に植栽した。湛水順化苗は対照苗に比べ、植栽後の光合成速度低下が小さい傾向にあった。植栽 4 ヶ月後には、このうちの 2 種で湛水順化処理による生存個体数への改善効果がみられた。植栽 1 年後には、3 種で半数以上の植栽木が生存しており、湛水順化苗の方が対照苗より生存本数が多かった。これにより、泥炭湿地荒廃地



の森林再生に利用可能な候補樹種を複数選抜することができ、育苗法の改善による森林再生技術の開発に目処が付いた。

季節的に湛水する酸性硫酸塩土壌地域に植栽された 10 から 13 年生の *Melaleuca cajuputi* 人工林においてバイオマス推定用の相対成長式を、地上部については 15 本、粗根については 12 本のサンプル木から作成した。この相対成長式と、他の研究で得られた細根のバイオマス量が 0.69 tC ha⁻¹であったという結果を用いて 13 年生の林分の現存量を推定したところ、地上部 58 tC ha⁻¹、地下部 18 tC ha⁻¹の全体で 76 tC ha⁻¹であった。また 2002 年から 2008 年までの平均バイオマス成長量

を推定したところ、 $5.8 \text{ tC ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ であった。

(4) 砂浜堤、泥炭湿地(冠水林)およびその移行において個体群構造と死亡要因を調べた。冠水林にはより大サイズの個体が数多く生育していた一方、砂浜堤には小サイズの個体が多かった。それぞれの立地では伐採による死亡個体もみられ、特に、冠水林においてその割合が高かった。そこで、伐採による利用が冠水林におけるメラルーカ個体群の存続(資源の存続)と与える影響を予測するために個体群動態を調査し、生育段階構造モデルから資源の消失リスクを評価した。このまま伐採・利用を続けると、18年後には50%を超える確率で資源が消失するが、伐採を行わなければ50年は個体群が存続すると予測結果を算出した。冠水林は保全地域として土地利用区分されており、保護地域の緩衝帯として位置付けられるため、現状を維持することが重要であると推察された。荒廃泥炭地の一部にメラルーカを導入することで、荒廃地の修復と資源の存続が見込まれることも明らかとなった。

(5) まとめ

熱帯泥炭土壌地域の開発が進んでいるが、これら開発地は炭素の大きな発生源となっている。開発農地からの炭素発生量は土壌水分量によって大きく変化し炭素発生量は 25 tC/ha/year 前後の炭素を放出している。また、開発地域は頻繁に野火に遭遇し、タイ南部ナラティワート県泥炭土壌開発地域での20年間の測定結果から、野火は4~5年に一度発生し、野火による炭素放出量は年平均 22 tC/ha と非常に大きな量になっている。東南アジアに分布する熱帯泥炭土地利用に関して、衛星画像解析結果ら、熱帯泥炭 $2,500 \text{ 万ha}$ の内、泥炭湿地林として残っているのは60%で、他は二次林、灌木林、農地そして草地であり、これら地域の多くは炭素発生源となっているものと推察される。荒廃した熱帯泥炭地域を再度、炭素吸収の生態系に修復する方法としては、荒廃地を本来の湿地に戻し、メラルーカを導入することで、荒廃地の修復と資源の存続が可能と思われる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 11 件)

(1) Kusida, K. and K. Yosino, Estimation of LAI and FAPAR by constraining the leaf and soil spectral characteristics in a radiative transfer model, IJRS、査読有り、印刷中

(2) Kusida, K.、K. Yosino、T. Nagano、T. Ishida, Automated 3D forest surface structure extraction from balloon photographs, PERS、査読有り、印刷中

(3) 富田瑞樹・平吹喜彦・鈴木邦雄・K. Sridith・荒木祐二: 荒廃泥炭湿地における野火後の植生再生過程-タイ・ナラチワで実施した6年間の追跡調査から-。TROPICS, 16(2)、171-180。(2007.3)、査読有り

(4) 則定真利子、山ノ下卓、小島克己。熱帯荒廃地の環境造林。熱帯林業 66: 29-37 (2006) 査読なし

[学会発表] (計 9 件)

(1) 長野敏英、熱帯泥炭地域からの炭素放出について、日本生物環境工学会、2008年9月9日、愛媛大学

(2) 酒井 一人、熱帯・亜熱帯林地における土壌呼吸特性の検討、農業農村工学会、2008年8月、秋田県立大学

[図書] (計 4 件)

(1) 周佐喜和・鈴木邦雄著 『マネジメント入門』オプトロニクス社。2008年1月

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 件)

[その他]

(1) 小島克己 熱帯荒廃地の環境ストレスと樹木の応答。第18回バイオテク林木育種研究会(京都市・京都大、2009.3.28) (招待講演)

(2) 小島克己 熱帯荒廃地のストレスと環境造林。公開シンポジウム「環境保全に貢献するスーパー樹木の開発に向けて」(文京区・東京大、2008.9.29) (招待講演)

(3) Toshihide Nagano, Takashi Yamanoshita, Mariko Norisada 他4名、Peat conservation and reforestation of degraded tropical peatland: conversion from carbon source to sink. JSPS Seminar, Environmental restoration and sustainable use of problem soils, 10 July, 2008, Harupin, China

(4)長野敏英 地球環境問題（気候変動）と農地管理～タイ南部熱帯泥炭地域を事例として～、「地球温暖化とエコイノベーション」自然環境復元協会、2007年11月30日、日本青年館（招待講演）

6. 研究組織

(1) 研究代表者

長野 敏英 (NAGANO TOSHIHIDE)
宇都宮大学・農学部・特任教授
研究者番号：10012006

(2) 研究分担者

石田 朋靖 (ISHIDA TOMOYASU)
宇都宮大学・農学部・教授
研究者番号：00159740

大澤 和敏 (OOSAWA KAZUTOSHI)
宇都宮大学・農学部・准教授
研究者番号：30376941

(3) 連携研究者

小島 克己 (KOJIMA KATUMI)
東京大学・アジア生物資源環境センター・教授
研究者番号：80211895

鈴木 邦雄 (SUZUKI KUNIO)
横浜国立大学大学院・環境情報研究院・教授
研究者番号：30018048

吉野 邦彦 (YOSINO KUNIHICO)
筑波大学大学院・社会工学系・准教授
研究者番号：60182804

酒井 一人 (SAKAI KAZUHITO)
琉球大学・農学部・教授
研究者番号：10253949

(4) 研究協力者

Dr. Pisoot Vijarnsorn
タイ土地開発局、オフィシャル顧問
Mr. Tanit Nuyim
タイ王立森林局・南部造林研究センター・センター長
丹下 健 (TANGE KEN)
東京大学大学院・農学生命科学研究科・教授
則定 真利子 (NORISADA MARIKO)

東京大学・アジア生物資源環境研究センター・特任講師

山ノ下 卓 (YAMANOSHITA TAKASHI)
東京大学・アジア生物資源環境研究センター・特任助教

古川原 聡 (KOGAWARA SATOSHI)
(独) 森林総合研究所・特別研究員

田原 恒 (KO TAHARA)
(独) 森林総合研究所・研究員

