

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 19 日現在

機関番号：82105

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2010～2013

課題番号：22405026

研究課題名(和文) 熱帯荒廃草地の森林再生化と土壌炭素の同位体クロノロジー解析

研究課題名(英文) Afforestation on degraded tropical land and isotopic chronology analysis of soil carbon

研究代表者

酒井 正治 (Sakai, Masaharu)

独立行政法人森林総合研究所・立地環境研究領域・主任研究員

研究者番号：00353699

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,900,000円、(間接経費) 3,870,000円

研究成果の概要(和文)：タイ国東北部の荒廃草地造林に伴う炭素プールの変化を解明するため、4人工林プロット(3早生樹種、1郷土樹種)において、林分調査および土壌調査を行った。地上部と地下部(根)バイオマスは成長に伴い増加し、その増加量は早生樹林で5～7tC/ha/年間と計算された。一方、土壌現存量は草地と比べて約30tC/ha減少していた。従って、草地造林に伴う林全体の年間炭素固定量は、植栽後24年生林分では、3.1-4.7tC/ha/yrと推定された。また、安定炭素同位体比から土壌有機物起源解析を行った結果、植栽24年後には表層(0-5cm)土壌では草地由来の有機物が消滅し、樹木由来の有機物に全て変わっていた。

研究成果の概要(英文)：The study site was located at Sakaerat Silvicultural Research station, Nakhon Ratchasima Province, Northeast Thailand. In this site, we have been monitoring the biomass in the plantation. The object in this paper is to estimate the carbon stock changes by afforestation on grassland during 1986 to 1998 and 2012.

The biomass(Above-ground part and the roots) increased with growth, and the annual increasing values was calculated with 5 - 7tC/ha/ year in fast growing trees. On the other hand, the soil carbon decreased about 30tC/ha in comparison with grassland. Therefore, we estimated that in the fast growing trees, the carbon of 3.1-4.7 tC/ha/year was fixed in this area by afforestation. And by isotope analysis, we found that almost soil carbon in the depth of 0-5cm in the exotic first-growing plantation was changed to plantation-derived carbon from grass-derived carbon for 24 years.

研究分野：農学

科研費の分科・細目：森林学・森林科学

キーワード：熱帯季節林 草地 人工林 炭素プール 炭素安定同位体比 土壌 バイオマス

### 1. 研究開始当初の背景

熱帯林の総炭素蓄積量の 55% を占める土壌炭素量について、新規植林/再植林後の変化量を把握することは、森林の炭素固定能を評価する際に非常に重要である (Schleginger1977)。近年、熱帯地域の CDM 植林 (クリーン開発メカニズムに基づく植林) の重要性が指摘されているが、地上部に比べ土壌炭素の変化量に関する情報が極端に少ないのが現状である。また、森林減少 (衰退) に歯止めがかからない熱帯においては、試験地を長期に保存することを社会状況が許さないなど、森林再生に伴う炭素量の長期モニタリングが困難である場合が多く、土壌炭素量の変化を時系列で調べた研究は少ない (Paul et al. 2002)。また、近年、天然林の多様性が重要視され、モノカルチャーな人工林からより天然林構成樹種に類似した広葉樹への樹種変換が求められている。

### 2. 研究の目的

焼き畑とその放棄により荒廃した草地に植林した人工林 (図-1) を用い、炭素プールを時系列で測定しそれぞれの炭素固定能を把握することを目的とする。

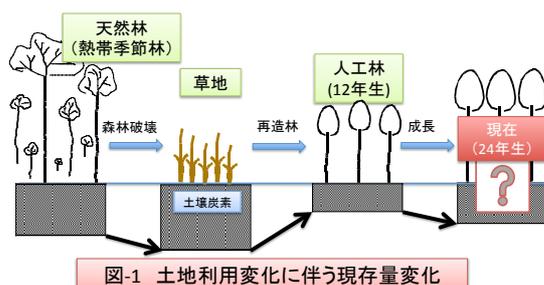


図-1 土地利用変化に伴う現存量変化

また、炭素同位体比の時系列変化 (同位体クロノロジー)、土壌への有機物供給量 (落葉落枝/根の脱落量) から、土壌炭素量を将来予測することを目的とする。

さらに、天然更新を促進させる人工林の触媒効果の要因を解析する。

### 3. 研究の方法

本研究では荒廃草地から人工林に転換して以降の森林の炭素動態を把握するため、草地、人工林 (4 樹種) および天然林において、炭素プール (地上部/地下部、落葉落枝、土壌有機物) の炭素蓄積量を再測定し、10 年前の炭素蓄積測定結果もあわせ、代表的人工林樹種の炭素固定能を明らかにする。

また、米山 (1998) は、炭素同位体比 ( $\delta^{13}\text{C}$  値) が C3 植物である森林 ( $-27\text{‰}$ ) と C4 植物である熱帯草地 ( $-13\text{‰}$ ) で大きく異なること、土壌の  $\delta^{13}\text{C}$  値はそこに生育している植物の  $\delta^{13}\text{C}$  値を反映することを利用して、土壌の  $\delta^{13}\text{C}$  値から、土壌炭素に占める森林、草地由来の炭素寄与率および炭素量をそれぞれ推定することができることを示した。そ

こで、本研究では、この手法と土壌炭素収支モデル (土壌炭素量は土壌への有機物供給量と分解量とのバランスで決まる) を組み合わせ、土壌炭素量の予想につながる土壌炭素分解速度及び堆積速度率を求めた。

タイ国の東北部ナコンラチャシマ県サケラート試験地を研究サイトとする。試験地はバンコクから車で約 3 時間半、330km の位置にある。なお、サケラート試験地および試験区の概要は以下の通りである。「タイ造林研究訓練計画」(1981-1993) 国際事業団プロジェクトサイトである。当時、広く分布する荒廃草地に早生樹を中心に、数多くの樹種の植林事業を開始し、現在、3000ha 以上の人工林が成林している。年平均雨量は約 1300mm、雨期は 5 月～10 月で、平均気温は約 26℃である。荒廃草地の森林再生化に伴う炭素動態を調べるために、以下の 2 種類の試験区を設けた。

(1) 人工林単独区 (既設)・・・研究代表者は 1998～1999 年の 2 年間、草地から人工林への変遷を総合的に解析することを目的に、早生樹 3 種 (*Acacia mangium*(Am), *Acacia auriculiformis*(Aa), *Eucalyptus camaldulensis*(Ec)、郷土樹種 1 種 (*Dalbergia cochinchinensis*(Dc)、天然林および草地を選び、地上部/地下部の現存量、落葉落枝量、細根量、環境 (気温、湿度、照度、土壌水分)、土壌断面 (0-100cm 深さまで) 調査、土壌物理・化学性分析、根系調査などを行った。前回測定した 12 年生の林分は現在も保存されているので、ここに、試験区を再設定し、炭素現存量を前回と比較検討した。

(2) 天然更新試験区 (新設)・・・天然林の隣接部分に植林した人工林内には、当該サイトの天然林の主要な樹種であるフタバガキ科 (*Hopes* 属および *Shorea* 属) の稚樹が多く確認され、天然林と人工林の境界領域で天然更新がおこっている。このように、天然林に隣接する荒廃草地への植林により、天然更新が促進されることが期待されるが、その人工林の触媒効果を解明するため、稚樹の把握および稚樹の動態とそれらに関する要因 (例えば、光・土壌養分・土壌水分など森林環境) との関係解析のため、天然林と人工林との境界から 200m～300m の試験区を数カ所設定した。

### 4. 研究成果

#### (1) 人工林の炭素プールの変化

##### ① 地上部および根

図-2 に人工林 4 種の地上部および根の現存量の変化を示した。なお、根の現存量は新しく作成した相対成長式から求めた。12 年生の早生樹 3 種の地上部および根の現存量はそれぞれ、107～196 t/ha および 27～38t/ha、24 年生では、206～277t/ha および 33～47t/ha であった。24 年生の全バイオマス (地上部+根) は 12 年生に比べ、Aa, Am および Ec でそれぞれ 1.3、1.4 および 1.8 倍となり、バイ

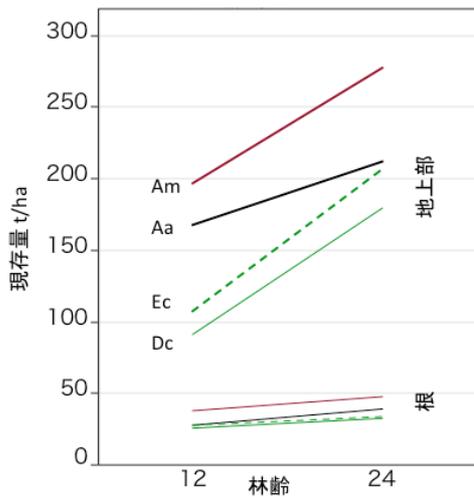


図-2 人工林の地上部および根の現存量

オマスの増加は継続していた。一方、郷土樹種 (Dc) の全バイオマスは 12 年生および 24 年生で、それぞれ 116 および 211t/ha となり、その増加率、1.8 倍は、Ec と同じ値であった。

また、年間のバイオマス増加量 (0-24 年) は、早生樹で 10~14t/ha/年、郷土樹で約 9t/ha/年と計算された。

### ② 土壌

図-3 に、人工林土壌の炭素含有率の垂直分布を 12 年生と 24 年生の結果を重ねて示した。

早生樹では、土壌炭素含有率は 12 年生と 24 年生で違いは認められなかった。このことは、土壌への炭素供給 (地上および細根のリターフォール) と土壌からの炭素支出 (主として分解による呼吸) とがバランスがとれていることを示唆していた。一方、郷土樹種 (Dc) では、土壌炭素含有率の減少が認められたが、この原因については、不明である。

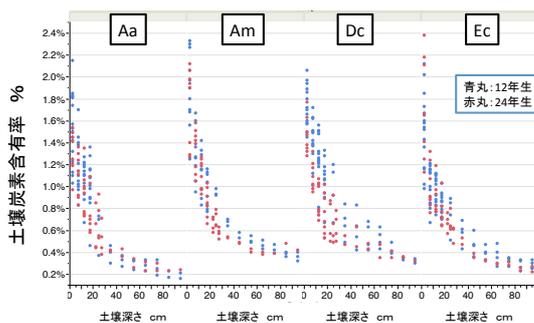


図-3 人工林の土壌炭素含有率

炭素含有率と細土量から、深さ 1m までの土壌炭素現存量を計算すると、早生樹で 67~73 tC/ha となり、植栽前の草地の土壌現存量、103 tC/ha に比べて 3 割前後、減少していた。なお、草地における高い土壌炭素現存量の原因は、細根の高密度および高回転率に伴う土壌への枯死有機物供給が多いことに起因すると考えられた。

### ③ 人工林の炭素固定能

草地から人工林への土地利用変化により、バイオマス (地上部+根) は増加、土壌炭素

現存量は減少する結果となったが、人工林のバイオマスは草地に比べて圧倒的に多いため、土壌を含めた森林全体での炭素現存量は、草地に比較して、12 年生および 24 年生で 23~67tC/ha および 75~112tC/ha 増加していた。つまり、24 年生早生樹では、年あたり 3.1~4.7tC/ha の炭素を固定していると推定された。

なお、隣接する天然林の土壌炭素現存量と比較して、早生樹人工林の表層土壌炭素現存量は約 2 割低い傾向があり、元の自然植生の土壌炭素現存量に回復していなかった (図-4 参照)。このことは、天然林の樹種多様性との関連があると考えられ、土壌炭素蓄積においても単純人工林に比べて天然林の優位性を示唆していた。

### (2) 土壌炭素の分解堆積速度の推定

前述したように、早生樹種および郷土樹種は全て C3 植物、再造林する前の草地は C4 植物と呼ばれ、炭素安定同位体比 ( $\delta^{13}C$  値) が C3 植物である森林 (-27‰) と C4 植物である熱帯草地 (-13‰) で大きく異なる。これを利用して、図-4 に草地造林後の土壌炭素の C3 および C4 起源の割合を混合モデルにより計算した結果を、Am の例で示した。0-5cm 深さの土壌炭素の草地由来の土壌有機物は再造林後 12 年では 33% が残存していたが、24 年で草地由来の有機物が全てなくなり、それに替わって森林由来の土壌有機物が占めていた。また、この下の 5-10cm 深さの土壌では、草地由来の有機物の割合が、再造林後 12 年および 24 年でそれぞれ 38% および 10% と減少したが、最表層 (0-5cm) と異なり、土壌有機物の 10% が草地由来の有機物として残っていた。ほかの早生樹でも同じ傾向で、最表層土壌 (0-5cm) の草地由来有機物は、20 数年で全て分解する、極めて早い分解過程を示す結果となった。なお、Am 林における最表層土壌 (0-5cm) の草地由来有機物の分解速度および樹木由来有機物の堆積速度は、それぞれ 58gC/m<sup>2</sup>/yr および 39gC/m<sup>2</sup>/yr と計算された。

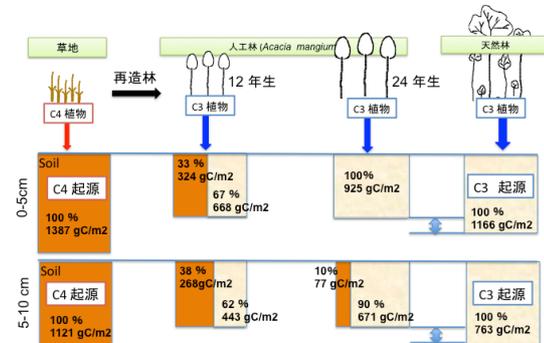


図-4 Acacia mangium 林における土壌炭素量と炭素同位体比の変化例

### (3) 人工林の触媒効果

天然林と隣接する人工林および草地に設けたベルトトランセクトの毎木調査の結果、Shorea henryana 等の有用樹種の更新が草地

に比べ人工林でより多く認められ、これは光環境の違いが原因と考えられた。

#### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計2件)

- ① 酒井正治・世良耕一郎・後藤祥子、タイ国乾燥常緑林土壌の元素分析、NMCC 共同利用研究成果報文集、査読無し、19 巻、2014、pp. 45-59
- ② 酒井正治・Thiti WISARATH、タイ国における数種の人工林の土壌水分、2011 土壌水分ワークショップ、査読無し、2011、pp. 79-81

〔学会発表〕(計14件)

- ① 酒井正治・Thiti Visaratana・Ratana Thaingam、東北タイにおける人工林の土壌水分の季節変化と葉の炭素同位体比との関係、第125回日本森林学会、2014.03.29、大宮ソニックシティ(埼玉県さいたま市)
- ② 酒井正治・Thiti Visaratana、土地利用変化に伴う土壌炭素濃度および土壌炭素同位体比の変化、第23回日本熱帯生態学会年次大会、2013.06.15、九州大学(福岡県福岡市)
- ③ Masaharu Sakai・Thiti Visaratana・Rattana Thaingam・Somsak Sukchan、Biomass carbon storages and land-use change in forest : A case study in Thailand、The 13th Science Council of Asia Conference、2013.05.08、Queen Sirikit National Convention Centre(タイ国バンコク市)
- ④ 酒井正治・世良耕一郎・後藤祥子・ピサラターナ ティテ、タイ乾燥常緑林土壌の元素分析—土壌生成に伴う元素の挙動—、第124回日本森林学会、2013.03.26、岩手大学(岩手県盛岡市)
- ⑤ 酒井正治・Thiti Visaratana、タイ季節林帯における人工林新鮮葉の炭素同位体比および特性値、第60回日本生態学会、2013.03.07、静岡コンベンションアーツセンター(静岡県静岡市)
- ⑥ 山田竜彦・林徳子・世良耕一郎・酒井正治、土壌炭素固定能評価のための植物リターの安定炭素同位体比分析におけるリグニンの影響、第57回リグニン討論会、2012.10.17、アクロス福岡(福岡県福岡市)
- ⑦ 酒井正治・Thiti Visaratana、熱帯森林生態系における有機物の安定炭素同位体比、第49回アイソトープ・放射線研究発表会要旨集、2012.07.11、東京大学(東京都文京区)
- ⑧ 小若茉莉・岡田直紀・酒井正治・Thiti Visaratana、東北タイの荒廃地における窒素固定を行う樹種の天然更新に与える影響、第22回日本熱帯生態学会年次大会、2012.06.19、横浜国立大学

- ⑨ 酒井正治・Visaratana Thiti、熱帯草地造林地における土壌炭素同位体比の変化、第22回日本熱帯生態学会年次大会、2012.06.19、横浜国立大学(神奈川県横浜市)
- ⑩ 酒井正治・Thiti Visaratana、タイにおける新鮮葉の安定炭素同位体比( $\delta^{13}\text{C}$ )、第123回日本森林学会大会、2012.03.27、宇都宮大学(栃木県宇都宮市)
- ⑪ 酒井正治・Thiti Visaratana、熱帯季節林における林分構造と気温・湿度との関係、日本農業気象学会 関東支部会誌、8号、2011.12.09、文部科学省研究交流センター(茨城県つくば市)
- ⑫ Masaharu Sakai・Thiti Visaratana・Rattana Thaingam、Stable carbon isotopic ratio ( $\delta^{13}\text{C}$ ) of fine roots in tropical forests、Abstracts of The JSRR's 20th Anniversary Symposium、2011.11.06、東京大学(東京都文京区)
- ⑬ 北村亮・岡田直紀・大橋伸太・酒井正治・Thiti Visaratana、植栽後24年経過した外来早生樹種人工林の成長、第20回日本熱帯生態学会年次大会要旨集、2010.06.19、広島大学(広島県東広島市)
- ⑭ 酒井正治・Ratana Thaingam、東北タイにおける人工林の土壌炭素量比較、第20回日本熱帯生態学会年次大会、2010.06.19、広島大学(広島県東広島市)

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

酒井 正治 (SAKAI, Masaharu)  
森林総合研究所・立地環境研究領域・主任  
研究員  
研究者番号：00353699

##### (2) 研究分担者

岡田 直紀 (OKADA, Naoki)  
京都大学・地球環境学堂・准教授  
研究者番号：40335302