

## 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：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2013

課題番号：24658144

研究課題名(和文) 安定炭素同位体比および微量元素からみた植物リターの終末

研究課題名(英文) Stable Carbon Isotopic Analysis and trace element analysis for the Evaluation of Soil Organic Matter Accumulation

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) 2,700,000円、(間接経費) 810,000円

研究成果の概要(和文)：森林生態系の炭素現存量の約半分を占める土壌炭素の分解速度、土壌腐植の起源およびそれらに影響する要因について理解することは、地球レベルでの大気炭素収支を予測する上で不可欠と考えられている。炭素同位体比および微量元素を指標に、土壌有機物の分解・堆積過程を解析した。その結果、熱帯季節林では、リグニン成分は土壌有機物分解・堆積過程に関与する割合が少ないこと、Ca、Mn元素が分解・堆積の指標になり得ること、さらに、土壌有機物として微生物遺体の供給が重要であることが示唆された。これらの結果は、土壌有機物の分解堆積モデルのパラメータ解析に有効活用できる。

研究成果の概要(英文)：It is important to understand a decomposition rate of soil carbon accounting for about half of the carbon biomass of the forest ecosystems, origin of the soil humus and factor influencing them in predicting an atmosphere carbon balance in the the global.

We analyzed the decomposition/accumulation process of the soil organic matter in endpoint with carbon isotope ratio and minor elements of soil. As a result, in the tropical season forest, it was suggested the lignin component of leaf has little percentage in the decomposition process of the soil organic matter, Ca and Mn element could become the index, furthermore the supply of the microorganism was important as soil organic matter. These results will be utilized for parameter analysis of the decomposition/accumulation model of the soil organic matter.

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：有機物分解 炭素安定同位体比 微量元素 リグニン セルロース

### 1. 研究開始当初の背景

森林の堆積有機物の分解により、大量の炭素が二酸化炭素として大気に放出されると同時に安定な分解産物が多数合成され土壤に集積されていく。森林生態系の炭素現存量の約半分を占める土壤炭素の分解速度の増減、土壤中の腐植の安定性およびそれらに影響する要因について理解することは、地球レベルでの大気炭素収支を予測する上で不可欠である (Schlesinger 2000)。

代表者は、タイ熱帯季節林帯で天然林と草地の土壤深度別の炭素同位体比を測定した結果 (図-1)、表層土の同位体比は天然林 (C3 植物) と草地 (C4 植物) の葉の同位体比を反映し大きな差 (9‰) が存在すること、深くなるにつれその差が徐々に小さくなり、深さ約 70cm から -23~-24‰ に収束する傾向があることを示した (酒井 2010)。これらの事実は、植物リターの有機物組成 (易分解性~難分解性) 毎に異なる炭素同位体比を持つこと、さらに、土壤に最後まで残る難分解性物質 (リグニンを主体とする) は C3、C4 植物で関係なくほぼ同じ炭素同位体比を持つ可能性を示唆しており、炭素算定同位体比は土壤有機物の分解・堆積過程の指標となる可能性がある。

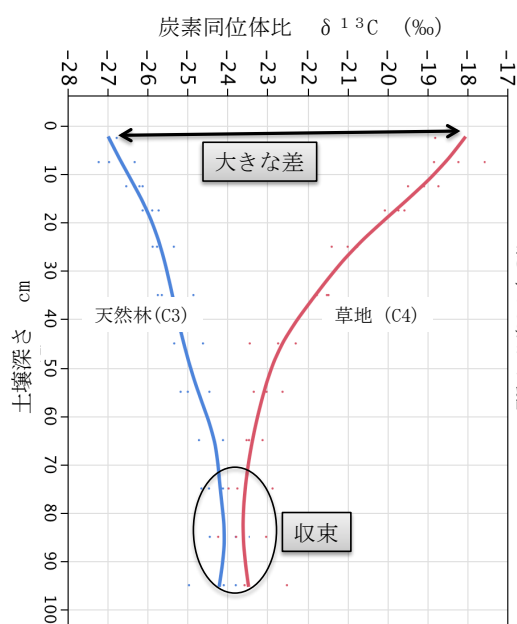


図-1 天然林と草地の土壤炭素同位体比

### 2. 研究の目的

本研究では (1) 国内の森林土壤において、前述の熱帯土壤で認められた土壤深度と炭素同位体比との一定の傾向が有るかどうかを明らかにする。(2) 植物リター (葉と根) の有機物組成 (易分解性~難分解性) の分画成分の炭素同位体比をもとめ、土壤への供給源である葉と根の組成との関係解析を行う。

(3) 土壤中の炭素移動過程をその他の元素の挙動から解明することを目的に天然林などで採取した深さの異なる土壤の元素分析を行う。

### 3. 研究の方法

(1) 鹿児島県シラス土壤の炭素安定同位体比の垂直分布：樹齢と表層土厚により土壤形成年代が特定された表層崩壊地のうち、崩壊後の経過年数が 60 年および 90 年を経過した落葉広葉樹林を調査地とした。各プロットで土壤断面調査を行い、その土壤断面において、深さ 80cm まで層位ごと (5cm) に分析用土壤サンプルを採取した。風乾後、土壤炭素含有率および土壤炭素安定同位体比は乾式燃焼方式 (NC アナライザー) および元素分析/同位体比質量分析計 (NC-2500/MAT252) で測定した。

(2) 新鮮葉および細根の炭素安定同位体比：タイ国東北部に位置するサケラート試験地において、雨季に採取した新鮮葉および乾季に採取した細根のバルク・分画組成成分の炭素安定同位体比を測定した。採取した新鮮葉は乾燥、粉碎し、ヘキサン、ベンゼンエタノール混合液、エタノール、熱水の順で逐次抽出し、各抽出フラクションを脱溶媒して乾固した。さらに、抽出残渣として得られた脱脂サンプルのクラソンリグニンを規程の手法で単離した。それら分画サンプルと処理前の粉碎サンプル (バルク) について、 $\delta^{13}\text{C}$  を測定した。なお、天然林では多くの広葉樹林から構成されているため、葉の化学成分の均一性を考慮し、C3 植物として *Acacia auriculiformis* (Aa) および *Acacia mangium* (Am) 林の新鮮葉を、また、C4 植物として、*Saccharum spontaneum* (Yk) および *Imperata cylindrical* (Yp) 草本の新鮮葉をサンプルとした。

(3) 土壤の微量元素：上記サケラート試験地で採取した天然林および草地の土壤の微量元素を、内部標準法による荷電粒子励起 X線放射 (PIXE) 測定装置を使って測定した。なお、バルク以外に、湿式により物理分画した土壤 (粗砂 (212-2000  $\mu\text{m}$ )、細砂 (20-212  $\mu\text{m}$ )、粘土・シルト (20  $\mu\text{m}$  以下)) の 3 クラス) の微粉末サンプルを使用した。分析は岩手医科大学で行った。

### 4. 研究成果

(1) 表層崩壊後、60 年および 90 年経過した林分における土壤炭素安定同位体比の垂直分布を図-2 に示した。表層土壤 (0-5 cm) の  $\delta^{13}\text{C}$  は約 -28.5‰ となり、両林分とも深くなるにつれ減少した。両林分とも、同じ減少傾向を示し、60 年経過林分では分析値が得られる最も深い 40cm 深さで -26‰、90 年経過林分では 65cm 深さで -25‰ となった。これらの値は、タイ東北部の熱帯季節林で得られた土壤  $\delta^{13}\text{C}$  値より約 1‰、低い値を示したが、深くなるにつれ  $\delta^{13}\text{C}$  値が高くなる傾向は同じであった。このことは、温帯林および熱帯林でも、土壤有機物の分解が進むにつれ、高い  $\delta^{13}\text{C}$  値を持つ物質が多くなることを示唆した。

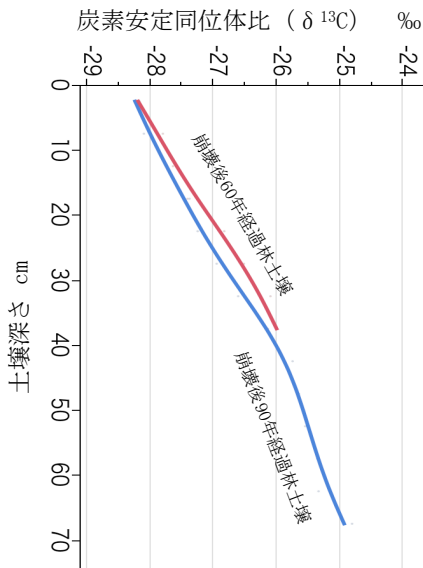


図-2 土壌炭素安定同位体比の垂直分布 (シラス土壌)

(2) 新鮮葉および細根の炭素安定同位体比

①新鮮葉のバルク成分

天然林の新鮮葉の平均  $\delta^{13}\text{C}$  値は $-29.8\text{‰}$ 、草地 (Yp) のそれは $-14.2\text{‰}$ となり、天然林と草地で  $15.6\text{‰}$ の大きな違いが認められた。これは、光合成による同位体分別プロセスの違いに起因し、その違いから、樹木はC3植物、熱帯草本はC4植物に該当する。天然林では新鮮葉の  $\delta^{13}\text{C}$  値が土壌のそれより低く、反対に草地では新鮮葉の  $\delta^{13}\text{C}$  値が土壌のそれより高い結果となった。

②細根のバルク成分

図-3 に、細根の炭素安定同位体比の垂直分布を示した。細根の  $\delta^{13}\text{C}$  値 (全層平均値) は葉同様、樹木と草本との間に大きな違いが認められ、天然林の平均値は $-28.1\text{‰}$ 、草地 (Yp) のそれは $-17.2\text{‰}$ であった。  $\delta^{13}\text{C}$  値における細根と土壌との関係は新鮮葉と同じであった。

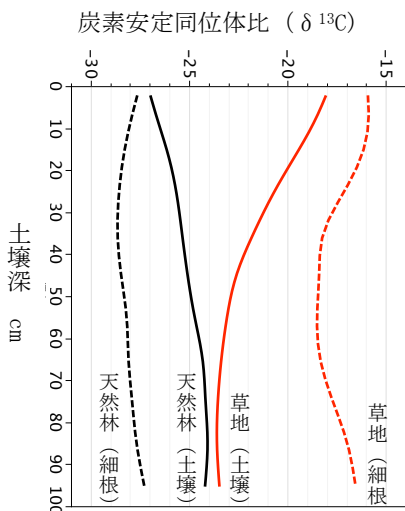


図-3 細根および土壌の炭素同位体比

③新鮮葉および細根の分画組成成分

図-4 にバルクおよび各分画成分の  $\delta^{13}\text{C}$  の測定結果を示した。前述したように、土壌に最後まで残ると考えられる難分解性物質 (リグニンを主体とする) は C3、C4 植物に関係なくほぼ同じ炭素同位体比、 $-23\sim-24\text{‰}$ を持つ可能性が示唆されたことから、難分解性のリグニンの結果をみても、予想に反して、リグニンの  $\delta^{13}\text{C}$  は C3、C4 でそれぞれ $-34.5\text{‰}$ 前後および $-16.0$ 前後となり、C3、C4 とも、バルクの  $\delta^{13}\text{C}$  より低い値を示した。このように、C3の結果は、リグニンの  $\delta^{13}\text{C}$  値が土壌深部の炭素のそれに近いとする仮説を支持するものではなく、C4の結果も、予想されたほどの低い値を示していなかった。また、成分毎の  $\delta^{13}\text{C}$  においても C3 と C4 との間で大きな違いが認められた。これらの結果は、土壌深部の  $\delta^{13}\text{C}$  値の収束が、葉のリグニンに起因しないこと、つまり、リグニンは土壌有機物 (腐植物質) の合成に関与する割合が低い一方、C3植物では、Bulkより高い  $\delta^{13}\text{C}$  値を示すセルロース、熱水抽出成分、脱脂粉末が土壌有機物 (腐植物質) の合成に関与する割合が高いことを示唆していた。これは、リター分解を抑制するリグニン物質は、腐朽菌でほとんどが分解される一方、糖やセルロースなどの易分解性物質が土壌腐植の構成成分として取り込まれることを強く示唆していた。さらに、それらが微生物により分解されるとともに、微生物自体の遺体が最終的に土壌有機物として残る分解・堆積モデルが示唆された。

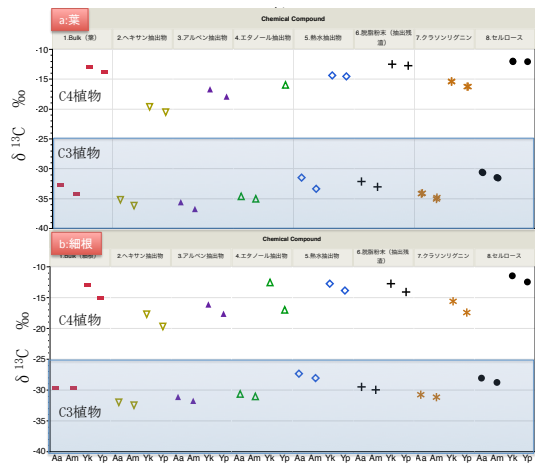


図-4 新鮮葉および細根の分画抽出物の炭素同位体比

(3) 土壌の微量元素

土の平均的な元素組成 (68 元素) のうち、PIXE 分析により、28 元素が検出された。68 元素のうち O, C, N (高濃度ではあるが、PIXE では分析できない) の 3 元素を除く 65 元素のうち 43%の元素が検出され、10ppm 濃度以上の主要な元素が検出された。但し、平均土壌の元素組成 (68 元素) のうち 10ppm 以上の濃度の元素、例えば F, Ce, La, Nd, Li, B および 10ppm 以下のほとんどの元素が検出され

ていない。この原因は、元素の供給源である岩石および有機物の違いなのか、PIXE 分析の検出限界等に起因するものなのか、は現時点で岩石の分析を行っていないため不明である。土壌深さ毎の微量元素の解析から、リターの土壌への影響が大きい元素として Ca, S, P, Cu, Zn, Mn が示唆された。さらに、細かな土壌分画サイズ（微砂・粘土）に、より多くの有機物が保持され、特に、Mn および Ca 元素が土壌有機物含有率と密接に関連した（図-5）。なお、Mn はリグニン分解を行う微生物の必須元素であることから、これらの 2 元素は土壌有機物分解・堆積過程の指標となりうると考えられた。

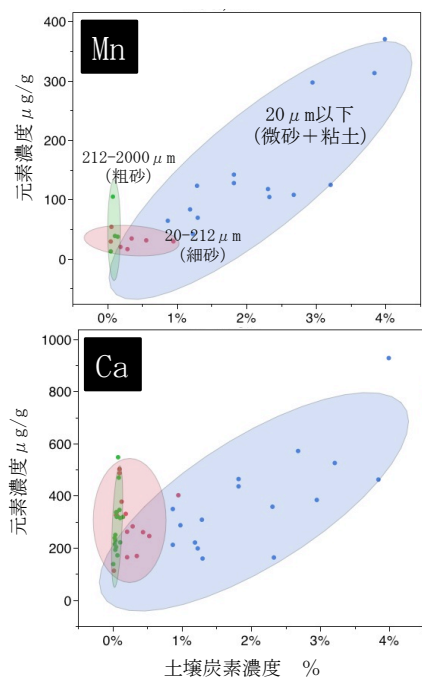


図-5 土壌炭素濃度と元素濃度 (Mn, Ca) との関係

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計 1 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、p45-59

〔学会発表〕（計 9 件）

- ① 酒井 正治・世良 耕一郎・後藤 祥子、タイ国の熱帯林土壌の粒径別元素分析、第 20 回 NMCC 共同利用研究成果発表会、2014. 05. 23、岩手医科大学（岩手県盛岡市）
- ② 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）
- ③ 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）

- ④ Masaharu Sakai・Thiti Visaratana・RattanaThaingamb・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）
- ⑤ 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木材成分の影響、第 63 回本木材学会、2013. 03. 28、岩手大学（岩手県盛岡市）
- ⑥ 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）
- ⑦ 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）
- ⑧ 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）
- ⑨ 酒井正治・Thiti Visaratana、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）

## 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

世良 耕一郎 (SERA Koichiro)  
岩手医科大学・医学部・教授  
研究者番号：00230855

### (3) 林 徳子 (HAYASHI Noriko)

森林総合研究所・きのこ・微生物研究領域・主任研究員  
研究者番号：20353815

### (4) 山田 竜彦 (YAMADA Tatsuhiko)

森林総合研究所・バイオマス化学研究領域・チーム長  
研究者番号：90353903