

機関番号：82105

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2008～2010

課題番号：20780122

研究課題名（和文）難分解性有機物「リグニン」を指標とした、森林土壌における腐植生成プロセスの解析

研究課題名（英文）Quantitative evaluation of the early humification processes of plant litters on Japanese forest floors.

研究代表者

小野 賢二 (ONO KENJI)

独立行政法人森林総合研究所・東北支所・主任研究員

研究者番号：30353634

研究成果の概要（和文）：

本課題は、樹木リターの主要な構成成分「リグニン」に着目して、1. 樹木リター由来有機物の樹木から土壌への供給プロセスの解明、2. 森林土壌への土壌有機物蓄積様式の化学的解析を目的として、亜熱帯から亜寒帯にわたる日本の森林生態系5林分を対象に、リターバック法および固体 ^{13}C 核磁気共鳴法によって落葉分解・腐植生成初期過程を定量評価した。その結果、日本の森林生態系においては気候条件や樹種の違いに関わらず落葉リターの分解速度はほぼ一定の値であること、しかしながらリグニンをはじめとする個々の有機物の分解速度は林相（樹種）によって大きく異なること、を明らかとした。

研究成果の概要（英文）：

To quantitatively clarify the organic carbon accumulation processes on the forest floor during an early stage of humification in various forests, solid-state ^{13}C cross polarization magic angle spinning nuclear magnetic resonance (CPMAS NMR) signals were monitored for phased-humified litters of 6-species and soil surface horizons at 6 forest sites, determined the compositional changes during litter decomposition, and compared decomposition rates 'k (year $^{-1}$)' of the respective carbons with whole litters. The k values of litter mass were quite constant (0.41 ± 0.03), but the k values of carbon components, especially aliphatics and aromatics, varied among species. Namely, the present results suggested that processes of increment of litter recalcitrant might differ among the forest types although mass loss rate of whole litter mass with the humification did not differ among the forest types. These findings are helpful for detecting the influence of prospective global climate change in detrital carbon stocks in soils throughout Japan.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2009年度	800,000	240,000	1,040,000
2010年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	2,800,000	840,000	3,640,000

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：土壌生化学、森林土壌

1. 研究開始当初の背景

森林土壌には膨大な有機炭素が蓄積されており、その蓄積量は樹木に蓄積されている量の約4倍強にあたる。土壌中の有機炭素は樹木リターを起源とし、微積物分解によってその化学構造を変えながら、腐植と呼ばれる高分子有機物の混合物として森林土壌に蓄積する。腐植は森林生態系における炭素貯留に大きく貢献し、その大部分は難分解性有機物と考えられている。したがって、腐植の蓄積過程や分解性を解明することは森林土壌の炭素蓄積機能を評価する上で大変重要である。従来の腐植研究は、酸やアルカリへの可溶性の違いを基にした化学的安定性により有機物を分画し、各画分の存在比や分光学的性質から腐植の定性的分類を行う研究が種であったため、腐植の分解性に関する情報が得られず、また定量性にも欠けるため、落葉層で起きる樹木リターから腐植への変性過程と、有機物が土壌へ移動し、蓄積する過程の定量的評価が課題とされていた。

2. 研究の目的

本研究の目的は、日本の森林土壌における数～十数年レベルの腐植生成プロセスを解明することにある。具体的には、樹木リターから腐植への変成過程における有機物動態および腐植化プロセスを経て土壌中に生成、供給された有機物の蓄積過程の定性、定量的解析を行う。さらに得られた分析結果を指数分解モデルに適用し、落葉由来の有機物が森林土壌へ供給・蓄積されるプロセスの経時変動を定量的に表現する。

3. 研究の方法

(1) 試験地および供試試料

供試試料は、落葉リターの分解速度と、気候条件、林相(樹種)の関係を解析するため、全国5カ所の林分において、平成15年より継続して行っているリター分解試験により一年ごとに採取したリター試料と表層土壌試料(含、リター層)の調製済み微粉碎試料である。試験地および供試試料の詳細は表1に示す。

表1 試験地概要と供試試料の内容

試験地	緯度	経度	標高 (m)	樹種	森林タイプ	土壌型*	年間降水量* (mm)	年平均気温* (°C)	リターバック法に用いたリター種
幸ヶ丘	42°59'N	141°23'E	170	ミズナラ、シラカンパ	天然林	Cambisol	1112	9.1	ミズナラ、シラカンパ
小川	36°56'N	140°35'E	670	ブナ、ミズナラ	天然林	Andosol	1910 [†]	10.7 [†]	ブナ、ミズナラ
天島島	36°19'N	140°09'E	260	ヒノキ	人工林	Andosol	1268	13.7	ヒノキ
筑波山	36°11'N	140°12'E	320	スギ	人工林	Cambisol	1234	14.8	スギ
清明山	26°32'N	127°58'E	90	イタジイ	天然林	Alisol	2023	22.8	イタジイ

*土壌分類参照: Soil classification (ISSS Working Group, 1998) に準拠。
[†]小川を含む試験地の年間降水量、年平均気温は当該試験地の気象観測データ(気象庁<http://www.data.jma.go.jp/fld/obs/idx.html>)に因った(幸ヶ丘・札幌、天島島・笠間、筑波山・土浦、清明山・名護)。00～09年の平均値を表示。
[‡]小川の年間降水量、年平均気温はMatsuguchi et al. (2002)に因った。98～99年の平均値を表示。

(2) リター分解試験、試料調製およびリター分解速度の算出

リター分解試験は6樹種5林分においてリ

ターバック法 (Crossley & Hoglund 1962) に準じて行った。平成14年秋に各試験地において新鮮落葉を採取した。採取した落葉は各リターバック(150 mm × 200 mm)に約10gずつ入れ、2003年春に各試験地の林床に設置し、以後毎年3個ずつ回収した。回収したバックは風乾した後、バック内に混入した根や土壌粒子の除去を丁寧に行った。調製後の試料は重量残存率を測定した。リター成分のみかけの分解定数 k (yr^{-1}) は次式に近似し、算出した。

$$k = -1 / t \times (\ln (W_t / W_0))$$

(W_0 : 初期リター重量、 W_t : t 時リター重量)

(3) 分解リターの有機物組成分析

分解リターの有機物組成分析

風乾試料を微粉碎し、その一部を供試し、Ono et al. (2009, 2011) に準じ、固体 ^{13}C 核磁気共鳴法 (NMR) により、リター中の有機物の組成分析を行った。

(4) 気候条件およびリター樹種の違いが及ぼすリターおよび各有機物成分の重量減少速度への影響の解析

一般線形モデルによって、時間と各試験地の樹種が、落葉リターおよびリターに含まれる有機物成分の重量残存率へ及ぼす影響を解析した。

4. 研究成果

(1) リターバック法および固体 ^{13}C NMR による落葉分解過程の定量化

小川学術参考林(茨城県)における冷温帯性落葉広葉樹林を対象にして、リターバック法および固体 ^{13}C NMR を組み合わせ、落葉分解過程における有機物成分の分解速度の定量化評価法を確立した。固体 ^{13}C NMR により得られた NMR スペクトルを図1に示す。

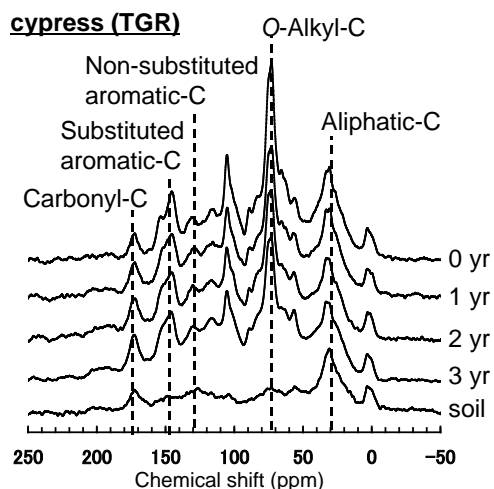


図1 固体 ^{13}C NMR スペクトル(ヒノキ落葉の例)

また NMR スペクトルを基に各有機物成分動態の定量結果を Olson(1963)の指数分解モデルに適用し、落葉由来の有機物が森林土壌へ供給・蓄積されるプロセスの経時変化を定量化した(図2)。その結果、関東地域の落葉広葉樹林下の土壌では、リター分解の開始から3年程度でF層とA₁層の中間的な性質を持つ腐植が生成されることが明らかとなった。

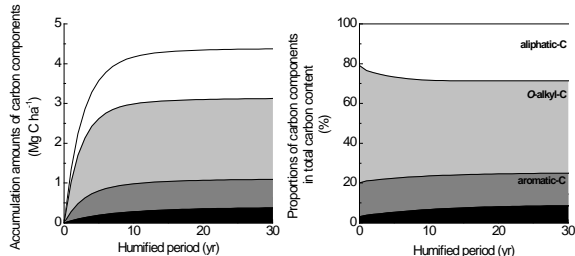


図2 林床における有機物成分ごとの有機物集積変化の予測

当該内容については2008年9月に開催された日本土壌肥料学会愛知大会で発表するとともに、Geoderma誌151号に論文として成果を公表した。

(2) 植生の違いが腐植生成初期過程の有機物動態に及ぼす影響

同一気候帯にある北関東の針葉樹林と広葉樹林に対して固体 ¹³C NMR とリターバック法を適用し、各森林の腐植生成過程における有機物動態を定量解析した。結果の概要を図3に示す。

新鮮落葉の主成分は針葉樹、広葉樹ともにO-アルキルで、その濃度は50~60%を占めた。ヤニの多い針葉樹では脂肪族の濃度が広葉樹に比べ約1.5倍高く、樹種により落葉の組成が異なった。落葉分解に伴う重量減少は針葉樹、落葉樹ともにO-アルキルが最も高く、カルボニルが最も低かった。これは、腐植生成初期過程における、セルロースなど多糖類に相当するO-アルキルの選択的分解および有機物の酸化分解によるカルボニル基の生成を反映した結果であると考えられた。芳香族と脂肪族の減少はO-アルキルとカルボニルの中間にあったが、芳香族の減少速度は広葉樹で、脂肪族の速度は針葉樹で高かった。これは、グアイアシルリグニンを有する針葉樹での芳香族の耐分解性およびヤニを多く含む針葉樹での脂肪族の易溶脱性を反映した結果であると考えられた。また、表層土壌における有機物組成は、広葉樹林に比べ針葉樹林の方が土壌中の脂肪族濃度が高く、芳香族で低い値を示していた。これは、針葉樹落葉における高い脂肪族供給量(重量減少速度)と低い芳香族供給量(重量減少速度)を反映した結果であると推測された。このように落葉の分解に伴って進行する有機物の腐

植化により土壌有機物が生成されるため、樹種による落葉の成分組成やその分解過程の違いは土壌への有機物の供給、蓄積過程へ影響を及ぼすことが明らかとなった。

当該内容については、2010年8月に米国コロラドで行われた土壌有機物動態に関する国際研究集会において発表を行うとともに、Plant and Soil誌338号にその成果が論文として掲載された。

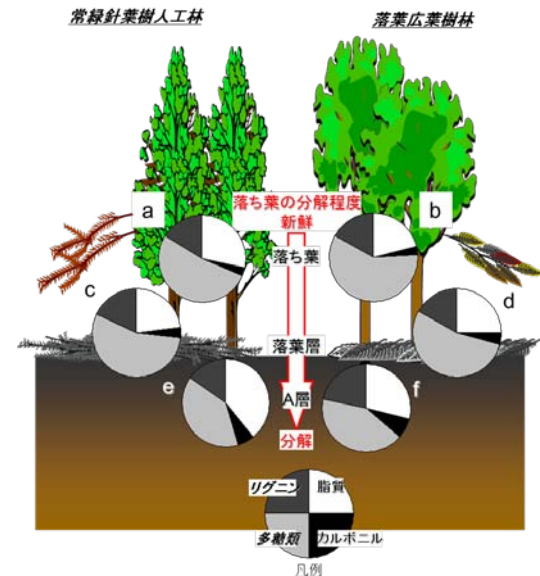


図3 北関東地域の常緑針葉樹人工林と落葉広葉樹林における落葉分解に伴う土壌有機物組成の変化

(3) 気候条件およびリター樹種の違いが及ぼすリターおよび各有機物成分の重量減少速度への影響

亜熱帯から亜寒帯にわたる日本の森林生態系における落葉分解プロセスを明らかにするため、沖縄県の常緑広葉樹林と北海道の落葉広葉樹林における落葉分解試験の試料も解析対象として、森林タイプ(林相)の違いによるリター分解に伴うリグニン動態の違いを定量及び定性的に解析した。各森林タイプにおけるリターおよび各有機物成分の分解速度を図4に示す。その結果、日本の森林においては、気候条件や樹種の違いにかかわらず、落葉リターの分解速度は $0.4 \pm 0.03 \text{ yr}^{-1}$ であり、ほぼ一定の値を示したが、リグニンをはじめとする個々の有機物の分解速度は樹種によって大きく異なった。特にリグニンに由来する芳香族化合物および細胞膜成分に由来する脂肪族化合物の分解速度は強い樹種特異性を有することを明らかにした。

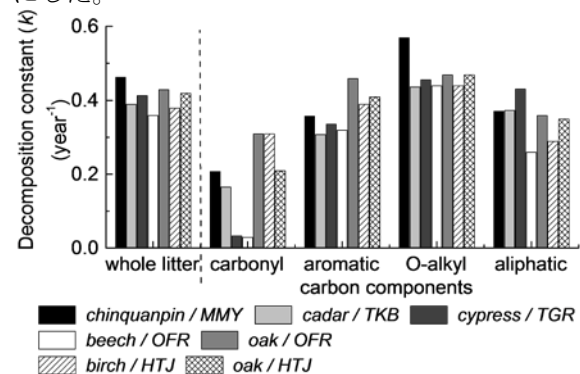


図4 樹種ごとの落葉全体および各有機物成分の分解係数 k

以上の結果から、本研究は一見同じように見える落葉分解もその詳細なプロセスは樹種によって異なることが明らかとなった。すなわち、コンパートメントモデルにより土壌有機物動態を考える上では、土壌有機物の供給源である樹種特性を考慮して土壌炭素動態を評価、予測することが重要である。

当該内容については、2010年9月にフランスイェール地方で行われた土壌有機物安定化に関わる国際研究集会において発表するとともに、Biogeochemistry 誌にその成果を論文として投稿し、現在審査中である。

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3件)

- ① Kenji Ono, Syuntaro Hiradate, Sayaka Morita, Kenji Ohse, Keizo Hirai, Humification processes of needle litters on forest floors in Japanese cedar (*Cryptomeria japonica*) and Hinoki cypress (*Chamaecyparis obtusa*) plantations in Japan, Plant and Soil, 査読有, vol.338, 2011, 171-181,
- ② Kenji Ono, Keizo Hirai, Sayaka Morita, Kenji Ohse, Syuntaro Hiradate, Organic carbon accumulation processes on a forest floor during an early humification stage in a temperate deciduous forest in Japan: Evaluations of chemical compositional changes by ^{13}C NMR and their decomposition rates from litterbag experiment, Geoderma, 査読有, vol.151, 2009, 351-356,
- ③ Kenji Ono, Kouji Miki, Masahiro Amari, Keizo Hirai, Near-infrared reflectance spectroscopy for the determination of lignin-derived compounds in the decomposed and humified litters of coniferous and deciduous temperate forests in Northern Kanto District, Central Japan, Soil Science and Plant Nutrition, 査読有, vol. 54, 2008, 188-196,

[学会発表] (計7件)

- ① 小野賢二、平舘俊太郎、森田沙綾香、大瀬健嗣、平井敬三、落葉分解・腐植生成プロセスの樹種間比較—固体 ^{13}C 核磁気共鳴法およびリターバック法による定量的解析、日本土壌肥料学会、2010年9月7日—9日、北海道大学(札幌市)
- ② Kenji Ono, Syuntaro Hiradate, Sayaka Morita, Kenji Ohse, Keizo Hirai,

Comparison of early humification process between coniferous and hardwood forest: Effects of litter species on the compositional quality of soil organic matter in temperate forests in Japan, 7th International Symposium on Integrated Field Science: Biological Interactions in Arable land-Grassland-Forest Continuums and their Impact on the Ecosystem Functions, 2009年10月10日—12日、Tohoku University (仙台市)

- ③ Kenji Ono, Sayaka Morita, Kenji Ohse, Keizo Hirai, Syuntaro Hiradate, Comparison of organic carbon dynamics on the forest floors during an early humification stage between coniferous and broad-leaved forests in Japan, Program & Abstracts of International Symposium on Soil Organic Matter Dynamics 2009: Land Use, Management and Global Change, 2009年7月6日—9日、Colorado USA,
- ④ 小野賢二、平井敬三、森田沙綾香、平舘俊太郎、落葉分解リターや表層土壌試料中の有機物組成への46%フッ化水素酸処理の影響、第120回日本森林学会、2009年3月25日—28日、京都大学(京都市)
- ⑤ Kenji Ono, Keizo Hirai, Tomoko Sugimoto, Kyoko Katsumata-Saito, Sumaporn Kasemsumran, Masahiro Amari, Identification of the peculiar absorption bands for lignin and holocellulose in tree litters in the near infrared region, Proceedings of the first asian NIR symposium and the 24th Japanese NIR forum, 2008年11月10日—14日、エポカルつくば(つくば市)
- ⑥ Jarya Parasatsrisupab, Sumaporn Kasemsumran, Kenji Ono, Suttiwijiitpukdee, Warunee Thanapase, Kyoko Katsumata-Saito, Tomoko Sugimoto, Satoru Miyata, Tadao Goto, Kenji Iiyama, Preliminary study of quantitative determination of cellulose, hemi-cellulose and lignin in artificial biomass samples by using near infrared spectroscopy, Proceedings of the first asian NIR symposium and the 24th Japanese NIR forum, 2008年11月10日—14日、エポカルつくば(つくば市)
- ⑦ 小野賢二、平井敬三、森田沙綾香、平舘俊太郎、北関東地域の森林土壌におけるリター分解および有機物の腐植化プロセスの解析— ^{13}C 固体NMRによる有機物組成の経時的解析、第54回日本土壌肥料学会、

2008年9月9日－13日、名古屋市立大学
(名古屋市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小野 賢二 (ONO KENJI)

独立行政法人森林総合研究所・東北支所・

主任研究員

研究者番号：30353634