

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：12101

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23710014

研究課題名(和文) 森林土壌における菌核の空間分布特性の把握および土壌炭素蓄積機能の評価

研究課題名(英文) Study on distribution of sclerotia in forest soils and their contribution to soil carbon sequestration

研究代表者

坂上 伸生 (SAKAGAMI, Nobuo)

茨城大学・農学部・助教

研究者番号：00564709

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,400,000円、(間接経費) 720,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、森林土壌における菌核の空間分布特性を把握することにより、菌核形成に関わる環境因子を明らかとし、炭素蓄積機能における菌核の寄与を評価し、環境指標としての評価を目指すことを目的として実施した。表層土壌の分布調査の結果、菌核はリター堆積が少なく腐植複合体アルミニウム含量が高い地点に分布する傾向にあった。過去の植生情報や土地利用の変化履歴も踏まえて検討する必要があるが、亜熱帯林では植生のみで規定される傾向が明らかとなった。菌核の形成と土壌の無機元素動態とは密接な関係があると期待できたほか、埋没土壌では高い熱分解耐性を示すなど、炭素蓄積に対する寄与や土壌生成作用に対する寄与が示唆された。

研究成果の概要(英文)：Analyses on sclerotia and forest soils were conducted to reveal the regulating factor of sclerotia formation, their contribution to soil carbon sequestration, and their role as environmental indicator. In the case of Fagus forest in north-eastern Japan, sclerotia tended to distribute in soil with relatively high value of solid phase and high content of Alp. From the surface soil survey in Okinawa prefecture, distribution of sclerotia was not regulated by soil properties, but was strongly regulated by vegetation. Furthermore, the results of SEM-EDX and SIMS analyses on sclerotium suggested strong relationship between sclerotia formation and mobility of inorganic elements (eg. aluminum and iron). Consequently, considering relatively low loss on ignition of sclerotia from buried A horizon, of which the ^{14}C age was over 1,000 yrBP, it was suggested that sclerotia in forest soils has high potential to contribute to soil carbon sequestration and affect to soil chemical properties.

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学・環境動態解析

キーワード：菌核 森林土壌

1. 研究開始当初の背景

本研究の対象とする菌核は、多くの植物と共生する外生菌根菌である *Cenococcum* 属を中心とする菌類が土壤中に形成したと考えられている (図 1)。土壤中に多量に形成された菌核は、発芽機能を失っても長期間残留することが、菌学分野においてこれまで指摘されている。

世界的に、土壤の炭素蓄積メカニズムに関する研究は精力的に行われている。これらの研究では、難分解性炭素の供給源として、多くの場合は植物に由来するものを挙げている。一方で、微生物由来の炭素が大きな寄与を持つと指摘する研究も多いが、それらの多くは生菌および死菌に対する興味であり、菌核は研究対象とはなっていない。また、細菌類のみに着目した研究も多くみられる。

菌核が特に旺盛に形成されるのは冷温帯～亜寒帯林を中心とする森林土壌である。このような地域では、土壤に蓄積される炭素として無視できない量の菌核が存在することがあり、その寄与を正しく評価することが必要である。

2. 研究の目的

本研究は、①森林土壌における菌核の空間分布特性を把握することにより菌核形成に関わる環境因子を明らかにする、②菌核の分解試験を通し、冷温帯～亜寒帯林土壌の炭素蓄積機能における菌核の寄与を評価する、③菌核形成に関わる環境情報を整理し、菌核の存在を土壤調査現場で容易に利用できる環



図 1. *Cenococcum* 属を中心とする菌類が土壤中に形成したと考えられる菌核

境指標として評価することを目的として実施した。

3. 研究の方法

菌核の分布について、特に秋田県仙北市のブナ林表層土壌における菌核分布と土壤性状との関係を詳細に調査した。これまでの研究で菌核の存在が確認されている田沢湖高原ブナ林において、10×10m のコドラートを設置した (図 2)。2m 毎の格子を設け、各交点で計 36 点の表層土壌を採取し、リター層の厚さを記録した。水分含量および固相率を計測するため、土壤採取にはステンレス製 100cm³ コアを用いた。ハンドレベルと樹高棒を用いて簡易測量を行い、調査地の微地形を把握した。また、ブナの位置および胸高直径、そして下草の種類と位置を全て記録した。ま

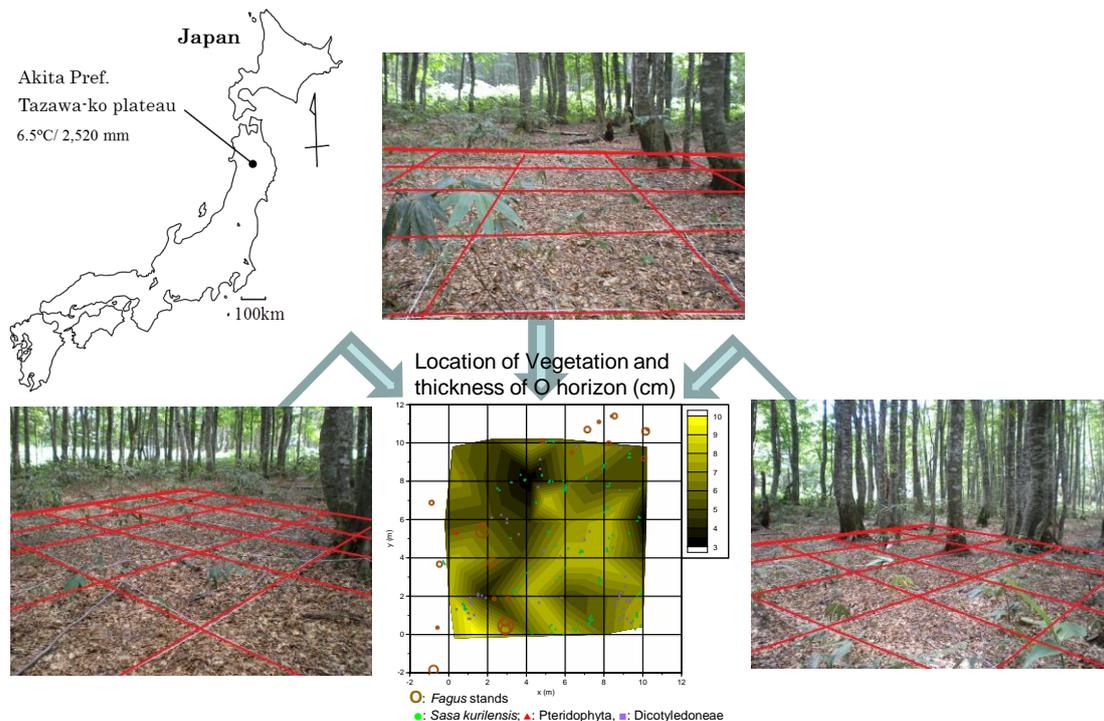


図 2. 秋田県仙北市のブナ林表層土壌における菌核分布および土壤性状の調査地点

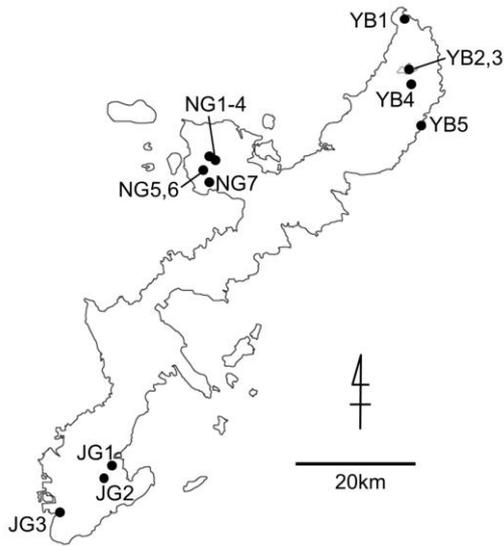


図3. 沖縄の赤黄色土、暗赤色土および灰色台地土の調査地点

た、「土壤炭素蓄積機能に対する寄与」や「土壤環境指標としての提案」を実現するために菌核量の実験誤差について検討した。この試験には、菌核が多量に含まれる岐阜県御嶽山のコメツガ・シラビソ林下の土壌（A層およびB層）を用いた。

さらに、沖縄の赤黄色土（国頭マージ）、暗赤色土（島尻マージ）および灰色台地土（ジャングル）が分布する地域を対象として、表層土壌における菌核分布を精査した（図3）。計15地点より採取した表層土壌を風乾し、およそ10gの土壌を用いて菌核の含有量を調べた。また、土壌pH、交換性アルミニウム

含量などの化学分析をおこなった。

次に、菌核形成にともなう無機元素の動態について把握するため、田沢湖高原ブナ林表層土壌中の菌核および菌核周辺の土壌を対象としてSEM-EDXをおこなった。また、土壌中での分解プロセスを理解するために菌核を構成する菌根菌細胞壁内外の元素同位体情報を得ることが必要であると考え、菌核切断面のSIMS観察をおこなった。SIMS分析にあたっては、新潟県妙高山および岐阜県御嶽山の表層土壌から採取した菌核を超音波洗浄し、マイクロトームで切片を作成し、Au（30nm）で表面コーティングをおこない、カーボンテープに試料を貼りつけて供試した。分析元素は ^{12}C 、 ^{13}C 、 ^{27}AlO 、 ^{56}FeO とし、一次イオン種 $^{133}\text{Cs}^+$ 、エネルギー20 keV、一次イオン強度1 nA、ビーム径 $80\ \mu\text{m}\ \phi$ の条件下で分析をおこなった。その他、土壌の炭素蓄積機能における菌核の寄与や土壌中での分解挙動を把握するため、菌核の熱耐性に係わる情報を整理した。

4. 研究成果

田沢湖高原ブナ林表層土壌で菌核分布と土壌性状との対応を検討した結果、菌核は比較的にリター堆積の少ない無機質な土壌により多く分布しており、菌核含量が高い土壌は腐植複合体アルミニウム含量が相対的に高い傾向にあることが明らかとなった。図4にコドラート内の菌核量および土壌性状の分布を示す。表層土壌からは $0.1\sim 1.2\ \text{mg/g}$ ($0.35\sim 36\ \text{mg}/100\text{cm}^3$)の菌核が検出された。コド

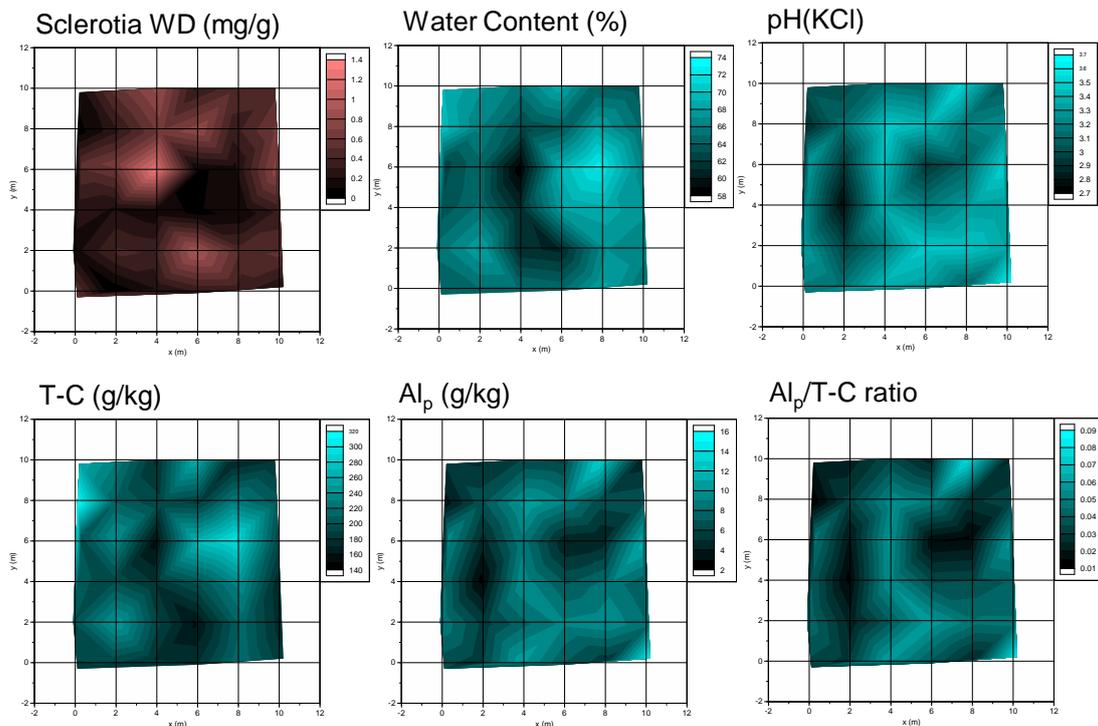


図4. 秋田県仙北市のブナ林調査コドラート内の菌核量および土壌性状の分布

ラート周辺には 17 本のブナ（胸高直径は 10～50cm 程度）が存在していたが、林木と菌核密度とは関係が見られなかった。また、ブナが生育していない領域を中心に、草丈 20～140cm 程度のササが多数存在していたが、菌核分布とは明確な対応は見られなかった。O 層の堆積厚さは微高地で薄く、凹地で厚い傾向がみられた。O 層の堆積が薄い地点において、より多くの菌核が検出された。腐植複合体アルミニウム Al_p 含量が多い地点で見られたことから、菌核形成を含む菌類の活動と土壌性状との間に強い関連があることが示唆された。調査地は pH(KCl)が 2.8～3.6 と強い酸性を示しており、このような極強酸性条件下では、比較的 pH が高い地点に菌核が多く分布していた。土壌環境指標としての提案を意識して菌核量の実験誤差について検討した結果、A 層では重量密度 2.4±0.6 mg/g(変動係数 27%)、個数密度 7.7±1.3 個/g(変動係数 17%)、B 層では重量密度 0.96±0.2 mg/g(変動係数 24%)、個数密度 4.8±0.3 個/g(変動係数 5%) という再現性が得られた。特に菌核が多く含まれる A 層では実験条件によっても比較的大きな誤差が認められ、より定量的な議論をおこなうために今後も継続的な検討が必要であると考えられた。

沖縄における表層土壌の菌核分布を精査したところ、酸性土壌を中心とする複数地点で菌核の存在が確認でき、主要植生がリュウキュウマツ、あるいはリュウキュウマツを含む林分を中心に、少量の菌核が分布することが明らかとなった(表 1)。国頭マージあるいは

は島尻マージと考えられる 12 地点 (YB1~5, NG1~7) のうち 9 地点において、土壌 100g あたり 0.09~34mg の菌核が検出された。pH(H₂O)がアルカリ性を示した 3 地点 (JG1~3) では、菌核は検出されなかった。菌核が存在していた 9 地点のうち、赤色土壌である YB3, NG5 は強い酸性を示していたが、両者ともごく少量の菌核が検出されたのみであった。また、YB4 も強い酸性を示したが菌核は検出されず、菌核の分布あるいはそれらの大きさと交換性 Al 含量との間には、関連性が認められなかった。比較的多数の菌核が検出された YB5, NG7 は、むしろ pH(H₂O)が 6.0 前後で、低い交換性 Al 含量を示した。一方、YB1 と NG7 を除く 7 地点は、主要植生がリュウキュウマツ、あるいはリュウキュウマツを含む林分であった。リュウキュウマツは外生菌根菌樹種であるため、菌核分布を決定する因子は植生であった可能性が高い。しかしながら、リュウキュウマツが存在しない YB1 および NG7 でも菌核が検出されており、過去の植生情報や土地利用の変化履歴も踏まえて検討する必要があると考えられた。いずれも土壌有機物としての量的な寄与は非常に小さいが、有機物分解速度が比較的速い亜熱帯林において、菌核形成などの菌根菌の活動が土壌有機物特性に対してどのような寄与を持っているか、今後検討していく必要があると考えられた。

田沢湖高原ブナ林表層土壌中の菌核および菌核周辺の土壌を対象として SEM-EDX をおこなった結果、不明瞭ながら、菌核周辺の

表 1. 沖縄土壌試料と菌核含量, 土壌 pH, 交換性 Al 含量

Site	標高 (m)	試料 ID	土色	菌核含量 (/100g soil)		pH (H ₂ O)	pH (KCl)	交換性 Al g/kg
				mg	count			
国頭村								
辺土	100	YB1	10YR4/2	0.09	8.5	6.4	6.4	n.d.*
辺野喜	220	YB2	2.5Y6/3	-	-	4.8	3.9	0.17
		YB3	5YR6/4	4.7	9.7	4.5	3.6	0.51
照首山	360	YB4	10YR4/1	-	-	4.4	3.6	0.27
安波	150	YB5	10YR6/2	34	77	6.1	5.2	n.d.
本部町								
八重岳1	320	NG1	2.5Y5/3	0.98	19	5.7	4.7	0.01
		NG2	2.5Y6/3	16	27	5.7	4.8	n.d.
八重岳2	230	NG3	10YR4/1	-	-	6.2	5.8	n.d.
八重岳3	130	NG4	10YR6/3	7.0	15	4.9	3.9	0.19
辺名地1	260	NG5	2.5Y6/3	11	29	4.4	3.6	0.39
辺名地2	290	NG6	5YR5/4	1.2	8.8	5.3	4.0	0.10
名護市								
辺名地3	110	NG7	2.5Y5/2	12	85	5.9	5.5	n.d.
南城市								
南城1	70	JG1	2.5Y6/2	-	-	7.2	6.9	n.d.
南城2	80	JG2	2.5Y5/2	-	-	7.2	6.9	n.d.
糸満市								
糸満	30	JG3	10YR4/1	-	-	7.2	7.0	n.d.

*n.d.: not detected

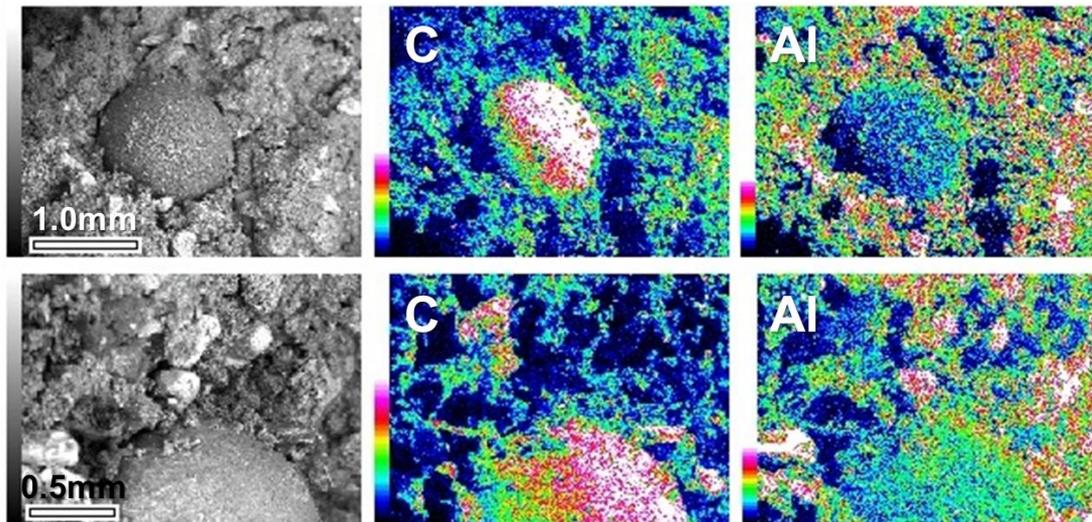


図5. 田沢湖高原ブナ林表層土壌中の菌核および菌核周辺土壌のSEM-EDX分析結果

土壌に Al が集積している様子が捉えられた (図5)。また、菌核薄片試料のSIMS分析は、供試方法や固定方法に多くの課題があることが明らかとなり、試験的なデータを得られたのみである。 ^{27}AlO 、 ^{56}FeO 、 ^{12}C 、 $\delta^{13}\text{C}$ の分布を図6に示す。 ^{12}C および ^{13}C の分布については、細胞構造との関係を議論できるほどのデータを得ることができず、今後の検討課題である。アルミニウムおよび鉄の分布から

は、どちらかが優先し、両元素が共存しない傾向にあった。この知見は、酸性土壌において菌核内部に鉄含量が高くなる場合があることと関係があると考えられた。SEM-EDXの結果も踏まえ、菌核の形成と土壌の無機元素動態とは密接な関係があると期待できた。さらに、菌核の熱分解耐性を精査した結果、表層土壌の菌核の 350°C での強熱減量値は90%前後であったのに対して、新潟県妙高山の埋没表層から検出したの菌核 (^{14}C 年代でおよそ1,200年) は約70%程度と比較的高い熱分解耐性を有しており、菌体としての形状を残したまま土壌腐植的な性質を認めることができた。

外生菌根菌を始めとする土壌中の菌類の一部は、シデロフォアなどの有機化合物を生成して土壌から無機養分を得るため、土壌の化学的風化 (Fungal weathering) に寄与することが知られている。今後、非アロフェン質黒ぼく土やポドゾル性土における、土壌生成作用に対する糸状菌活動の寄与を検討するため、菌核分解試験のほかに、土壌-微生物培養系 (あるいは現地試験) での土壌性状の変化についての検討が必要である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 (計1件)

- ① Itoh N, Hashimoto B, Sakagami N, Watanabe M (2013) The structure of a perylene-containing fossilized sclerotium is maintained by original silica. *Organic Geochemistry*, 63, 37-39 (査読有)

〔学会発表〕 (計5件)

- ① 坂上伸生・高島勇介 (2013) 沖縄県の亜熱帯林における菌核の分布と土壌性状. 日本地理学会発表要旨集 84, p.88 (9月, 福島)
- ② 伊藤信靖・坂上伸生・鳥村政基・渡邊眞紀子 (2013) 琵琶湖堆積物中のペリレン含有

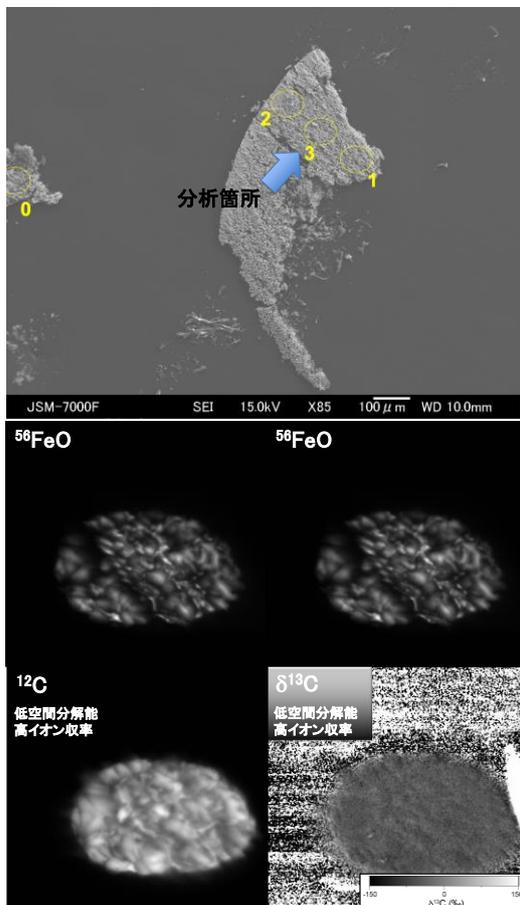


図6. ^{27}AlO 、 ^{56}FeO 、 ^{12}C 、 $\delta^{13}\text{C}$ の分布

断片の特徴. 第22回環境化学討論会(7月, 東京)

- ③ 万 含帥・坂上伸生・渡邊眞紀子 (2013)
低 pH 森林土壌における一次鉱物の生物風化と土壌性状. 日本地理学会発表要旨集 83 (3月, 埼玉)
- ④ 坂上伸生・渡邊眞紀子 (2012) 秋田県田沢湖高原ブナ林表層土壌における菌核の分布特性と土壌性状との対応. 日本地理学会発表要旨集 82, p.129 (10月, 神戸)
- ⑤ Sakagami N, Watanabe M (2012)
Ectomycorrhizal sclerotia formation and status of organo-mineral complex aluminum in low pH Fagus forest soil. Goldschmidt conference abstracts 2012 (June, Montreal, Canada)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

坂上 伸生 (SAKAGAMI NOBUO)

茨城大学・農学部・助教

研究者番号 : 00564709