

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 7 日現在

機関番号：12101

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2016

課題番号：26740003

研究課題名(和文)冷温帯・亜寒帯林における菌核の形成・蓄積と微生物風化

研究課題名(英文) Study on distribution of sclerotia in cool-temperate and sub-alpine forest soils and fungal weathering

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) 1,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、菌核の分布量や化学特性に基づいて土壌風化ポテンシャルとの関係を推察し、菌核形成と土壌生成との関係を明らかにし、土壌-微生物-植物間の相互作用を考察することを目標として実施した。秋田県仙北市のブナ林表層土壌では、土壌性状と鉱物風化の関連を示唆するデータを得た。また、複数地点の土壌各層位から採取した菌核について化学性を調査した結果、特に下層から研究される菌核の外殻側でのアルミニウム富化が認められ、菌核形成菌の活動と鉄・アルミニウムの吸着が示唆されるなど、風化ポテンシャルと菌核分布との関係性を示唆する知見を得ることができた。

研究成果の概要(英文)：Sclerotia of ectomycorrhizal fungus *Cenococcum geophilum* (Cg) can be preserved in forest soils for long period. In this study, we studied the distribution of Cg sclerotia to discuss the relationship between sclerotia formation and fungal weathering. Through SEM-EDX measurement of Al and carbon contents in the transverse cell wall and dating of AMS ^{14}C ages, it was suggested that Al content of sclerotia at initial stage might be low. However, in some cases, there was a possibility that sclerotia contained relatively high amount of Al from its initial stage, or, its Al content increased due to decomposition of carbon of its cell wall. Al content in sclerotia was likely to be regulated by soil chemical properties and by microbial activity to dissolve metal elements from soil minerals. From these results, existence of sclerotia may infer some process of fungal weathering of the forest soil.

研究分野：土壌環境科学

キーワード：森林土壌 菌核 外生菌根菌 微生物風化 土壌生成

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 (*Cenococcum* 属など) が土壤中に形成したものである (図1)。菌学分野において、多量に形成された菌核は、発芽機能を失っても土壤中に長期間残留することが指摘されている。これまでに得た知見では、菌核が旺盛に形成される冷温帯～亜寒帯林では菌核の分布と土壌性状に関連性が認められる一方、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。すなわち、低温による有機物分解速度の低さが菌核の残留に影響し、その結果として、菌核の分布と土壌性状との相互作用が顕在化すると考えられる。

地球化学分野においては、土壌中の物質循環において、糸状菌の果たす役割がほとんど無視されてきたことが指摘されている。そこで、本研究では、菌核形成を通して、菌根菌をはじめとする土壌中の糸状菌活動が土壌性状に与えてきた影響を解明することを目指した。

2. 研究の目的

本研究の目的は、菌核の空間分布特性から菌核形成に関わる環境因子を把握することで、土壌生成作用における糸状菌活動の寄与を明らかとすることである。そのために、冷温帯～亜寒帯林における森林土壌で菌核の分布を規定する環境因子を明らかにする。さ



図1. 外生菌根菌が土壤中に形成した菌核



図2. 田沢湖高原ブナ林の調査地イメージ

らに、菌核の土壌中での滞留時間と微生物活動とを考え合わせ、無機元素の溶出や集積等との関係から、土壌の風化と菌核分布との関係性を検討していく必要がある。

菌核は外生菌根菌が形成した“目に見える”構造物であり、大きなものでは直径 7mm にまで達する場合もあるため、土壌調査現場でも容易に発見することが可能である。菌核の分布を微生物活動の結果として捉え、それが土壌生成作用の中でどのような寄与があったのか、評価を行うことで、冷温帯・亜寒帯林における菌核の形成・蓄積と土壌の性状との関係を明らかとする。

3. 研究の方法

菌核の分布と微生物風化との関係を明らかとするため、菌核の分布と土壌分析、微生物風化特性の把握を行った。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、2m 毎の格子を設け、各交点で計 36 点の表層土壌を採取した (図2)。ハンドレベルと樹高棒を用いて簡易測量を行い、調査地

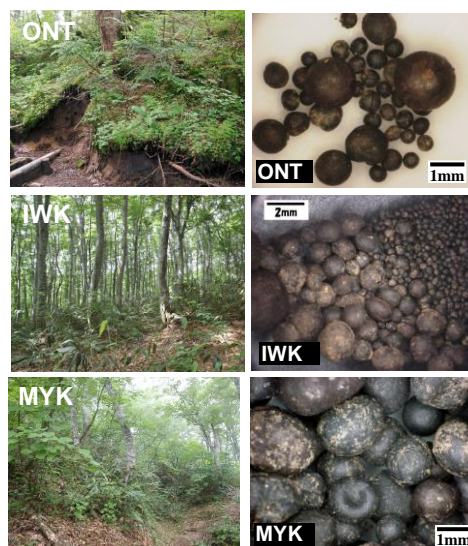
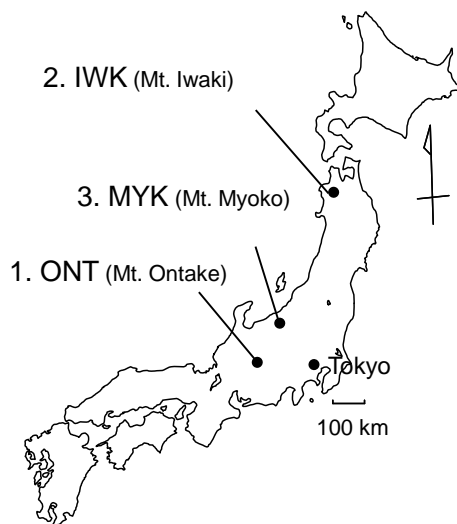


図3. 元素組成を精査した菌核の採取地

の微地形を把握した。採取した土壌を用いて菌核の分布を調査するとともに、微生物による風化作用に着目して一次鉱物の観察をおこなった。既往研究では、糸状菌活動の影響を受けた可能性のある孔の計数には、無機栄養元素に富む長石を観察対象とする場合が多い。しかしながら、調査対象地域の土壌には火山ガラスが多く含まれており、長石との区別が困難な場合があるため、観察には輝石を用いた。

次に、菌核には、微生物風化によって溶出されるアルミニウムや鉄が含まれていることから、各層位に分布する菌核の ^{14}C 年代が判明している岐阜県御嶽山、青森県岩木山および新潟県妙高山の菌核試料（図3）を用いて、菌核内部の元素組成を精査した。各層位5つの菌核試料を供試して、電子顕微鏡観察ならびに蛍光 X 線元素分析をおこなった。菌核はメスを用いて切断し、切断面の外側、内側そして中間点でそれぞれ元素分析をおこなった。

4. 研究成果

秋田県仙北市のブナ林表層土壌における菌核の分布と土壌分析、微生物風化特性の把握をおこなった。2つの調査区で72点の表層土壌を採取し、そのうち17点について20個の輝石の孔数（図4）を観察した結果、孔数と土壌 pH、腐植複合体アルミニウム含量などとの間に、明瞭な関係性は見いだせなかった。しかしながら、流水による影響が強い少数地点においては、土壌の pH が低い地点で

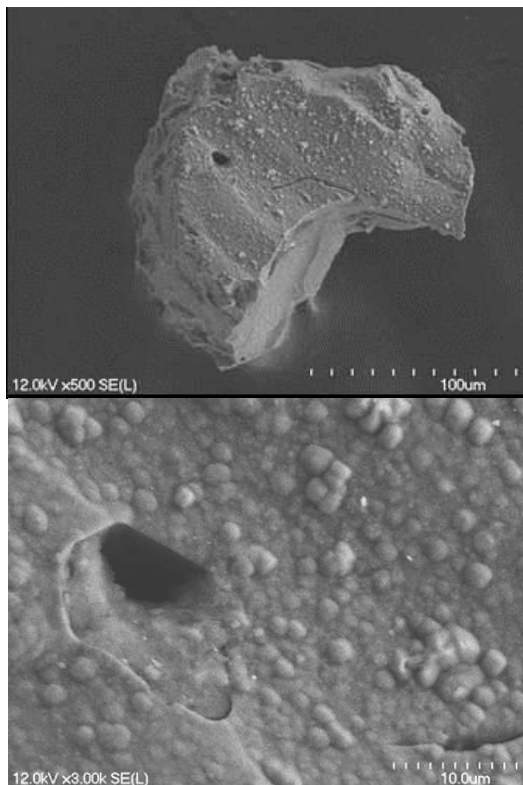


図4. 長石表面に観察された孔

孔数が大きくなっているなど、土壌性状と鉱物風化の関連を示唆するデータを得ることができた。低 pH で貧栄養の土壌環境にあって、有機物の分解や樹木との共生を担う菌類が生育するにあたって、一次鉱物の生物風化が強い関わりを持つことが示唆されたため、今後も秋田県仙北市のブナ林表層土壌における菌核の分布を規定する環境因子について、検討を継続していく。また、鉱物風化だけでなく、元素組成（塩類およびケイ素・鉄・アルミニウム）から風化インデックスを算出し、土壌-微生物間の相互作用を考察していく必要がある。

次に、内部の元素組成を精査した岐阜県御嶽山、青森県岩木山および新潟県妙高山の菌核はメスを用いて切断し、切断面の外側、内側そして中間点でそれぞれ元素分析をおこなった。その結果を図5および表1に示す。御嶽山ではA層(672 yr BP)からBw層(>2000 yr BP)にかけて、炭素量の低下(59.6%→54.5%)、主に断面外側でのアルミニウム富化(1.52%→6.22%)が認められた。この傾向は

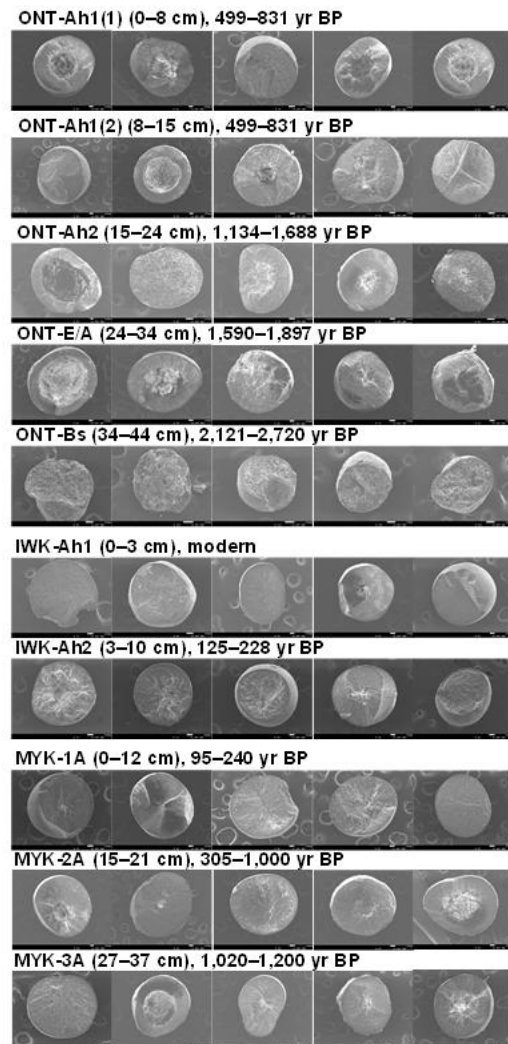


図5. 元素組成を精査した岐阜県御嶽山、青森県岩木山および新潟県妙高山の菌核の切断面

表 1. 菌核切断面の外側, 内側そして中間点
それぞれの元素組成 (C, Al, Fe)

	C wt%	O wt%	P wt%	Al wt%	Fe wt%
ONT-Ah1(1)(0-8 cm), 499-831 yr BP					
Outer	60.6 ± 0.8	34.7 ± 1.2	0.07 ± 0.04	1.33 ± 0.28	3.27 ± 0.96
Middle	60.3 ± 1.5	34.9 ± 0.8	0.04 ± 0.04	1.39 ± 0.41	3.40 ± 0.76
Inner	57.9 ± 1.7	34.8 ± 1.3	0.05 ± 0.02	1.84 ± 0.31	5.42 ± 1.36
ONT-Ah1(2)(8-15 cm), 499-831 yr BP					
Outer	60.1 ± 2.1	32.8 ± 5.1	0.03 ± 0.03	1.40 ± 0.50	5.71 ± 6.36
Middle	59.9 ± 2.2	35.1 ± 1.5	0.05 ± 0.03	1.20 ± 0.23	3.76 ± 1.62
Inner	60.6 ± 1.7	33.8 ± 1.3	0.03 ± 0.04	1.27 ± 0.44	4.31 ± 1.98
ONT-Ah2(15-24 cm), 1,134-1,688 yr BP					
Outer	56.6 ± 3.4	37.4 ± 1.5	0.03 ± 0.03	4.10 ± 0.91	1.91 ± 1.27
Middle	57.8 ± 3.7	36.5 ± 1.5	0.02 ± 0.02	3.97 ± 1.28	1.72 ± 1.30
Inner	57.0 ± 2.7	36.5 ± 1.5	0.03 ± 0.01	4.38 ± 0.99	2.15 ± 1.35
ONT-E/A(24-34 cm), 1,590-1,897 yr BP					
Outer	55.9 ± 2.2	38.0 ± 1.8	0.02 ± 0.02	4.66 ± 0.86	1.44 ± 0.58
Middle	56.1 ± 2.1	35.1 ± 4.4	0.06 ± 0.02	5.62 ± 0.69	3.17 ± 2.12
Inner	56.3 ± 2.6	35.2 ± 2.9	0.05 ± 0.03	5.89 ± 0.93	2.51 ± 1.16
ONT-Bs(34-44 cm), 2,121-2,720 yr BP					
Outer	54.6 ± 7.0	35.0 ± 2.7	0.03 ± 0.04	6.65 ± 2.70	3.76 ± 4.33
Middle	54.0 ± 5.8	36.8 ± 1.6	0.06 ± 0.03	6.04 ± 2.18	3.11 ± 2.99
Inner	54.8 ± 6.4	36.4 ± 1.3	0.03 ± 0.02	5.97 ± 2.61	2.75 ± 2.98
IWK-Ah1(0-3 cm), modern					
Outer	67.6 ± 0.7	31.7 ± 0.9	0.08 ± 0.11	0.20 ± 0.13	0.36 ± 0.31
Middle	67.4 ± 0.6	31.6 ± 0.4	0.41 ± 0.58	0.25 ± 0.11	0.42 ± 0.18
Inner	66.2 ± 2.6	31.9 ± 1.9	1.36 ± 1.80	0.22 ± 0.13	0.35 ± 0.22
IWK-Ah2(3-10 cm), 125-228 yr BP					
Outer	64.3 ± 1.2	34.0 ± 1.6	0.08 ± 0.14	0.81 ± 0.15	0.79 ± 0.44
Middle	63.5 ± 1.7	34.0 ± 1.9	0.05 ± 0.07	0.96 ± 0.23	1.52 ± 1.51
Inner	64.8 ± 1.0	32.4 ± 1.3	0.06 ± 0.04	1.15 ± 0.37	1.52 ± 0.95
MYK-1A(0-12 cm), 95-240 yr BP					
Outer	65.6 ± 2.8	32.9 ± 2.9	0.04 ± 0.04	0.83 ± 0.40	0.60 ± 0.31
Middle	65.7 ± 2.4	32.8 ± 2.2	0.05 ± 0.03	0.89 ± 0.38	0.55 ± 0.27
Inner	65.5 ± 3.5	32.6 ± 3.1	0.04 ± 0.03	1.01 ± 0.43	0.84 ± 0.33
MYK-2A(15-21 cm), 305-1,000 yr BP					
Outer	62.8 ± 3.2	33.8 ± 2.1	0.03 ± 0.01	2.79 ± 1.00	0.57 ± 0.23
Middle	62.5 ± 2.2	33.9 ± 1.2	0.05 ± 0.06	3.10 ± 0.87	0.46 ± 0.26
Inner	63.4 ± 1.8	32.6 ± 1.5	0.08 ± 0.06	3.45 ± 1.01	0.45 ± 0.21
MYK-3A(27-37 cm), 1,020-1,200 yr BP					
Outer	62.0 ± 2.6	34.0 ± 2.5	0.06 ± 0.04	3.42 ± 0.66	0.46 ± 0.35
Middle	61.2 ± 2.4	34.3 ± 2.5	0.05 ± 0.03	3.90 ± 0.93	0.56 ± 0.38
Inner	61.3 ± 2.1	33.8 ± 1.6	0.06 ± 0.03	4.34 ± 0.65	0.49 ± 0.25

岩木山の A 層 (modern) と B 層 (2700 yr BP) でも同様であった。表層および埋没表層の菌核を供試した妙高山では, 1A 層 (およそ 200 yr BP) から 2A 層 (200~1000 yr BP), 3A 層 (1000~1200 yr BP) にかけて炭素量低下 (65.6% → 61.5%) とアルミニウムの増加 (1.91% → 3.89%) が認められた。

下層から検出される菌核におけるアルミニウム含量の増加は, 菌核形成菌の活動による鉄・アルミニウムの溶出が吸着等により菌核の成分として記録されていると期待することもできる。今後, 供試菌核の種類を増やすなどして, 土壌風化に対する影響を精査していく。また, 土壌-微生物混合培養により微生物風化ポテンシャルを把握する実験については継続中であり, 本研究で得られた以上の知見と併せて, 風化ポテンシャルと菌核分布との関係性を今後も検討していく。

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 1 件)

- ①野々山 (佐々木) 弥・坂上伸生・成澤才彦・太田寛行・渡邊眞紀子 (2016) 岐阜県御嶽山の森林土壌から採取した菌核の培養法および非培養法による菌類群集解析. 土と微生物, 70, 56-59 (査読有)

[学会発表] (計 1 件)

- ①Sakagami N, Watanabe M (2016) Aluminum accumulation and carbon decomposition in sclerotia of *Cenococcum geophilum* in low pH

forest soils. Goldschmidt conference abstracts 2016 (June, Yokohama, Japan)

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