

令和 3 年 6 月 20 日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K05369

研究課題名(和文) 土壌微生物多様性を育む土壌団粒階層構造のマルチスケール解析

研究課題名(英文) Multiscale analysis of the hierarchical structure of soil aggregates for supporting soil microbial diversity

研究代表者

長尾 眞希(浅野眞希)(ASANO, Maki)

筑波大学・生命環境系・助教

研究者番号：80453538

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は「健全な物質循環を駆動する多様な土壌微生物群集を養う土壌団粒は、どのような構造的特徴を持つのか？」という問いを掲げ、火山噴火後の異なる土壌発達段階にある土壌および、ミミズが作る土壌団粒と対照となる非生物的な土壌構造、を用いて微小土壌団粒内の炭素および窒素の元素分と化学状態の分析と、X-CT分析から土壌孔隙の多様性について解析を行い、生物活性の高い土壌に含まれる構造の特徴を考察した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

地球温暖化に対する土壌有機物の寄与や、持続可能な土地利用というグローバルな問題を背景に、土壌構造と微生物群集の関係は世界的に注目されており、土壌微生物の機能発現に寄与する基本的な土壌因子に対する知見の要求が高まっている。日本では、特に固体分析を用いた土壌有機-無機相互作用に関する研究について立ち遅れている状況である。このような研究動向の中で本研究は、世界的にも先端的な手法を実施し、上記の国内外の学際領域が要求する知見を提供するものである。さらに、土壌に微生物を導入するための資材開発や、これまで環境中に導入しても効果的に発現しなかった有用な微生物機能を活用できる技術展開にも貢献できる。

研究成果の概要(英文)：This study aimed to answer the question, "What structural characteristics define the soil aggregates that support the diverse soil microbial communities that drive healthy material cycling?". In order to answer this question, following soil samples were selected, (1) soils at different stages of soil development after volcanic eruptions and (2) non-biological soil structures that contrast with soil aggregates produced by earthworms. By analyzing the content and chemical state of carbon and nitrogen in sub-micron soil aggregates and the diversity of soil pore space, the characteristics of the structure in biologically active soils were discussed.

研究分野：土壌科学

キーワード：土壌団粒

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

土壌微生物の機能発現は、土壌団粒が形成する孔隙径、好気・嫌気条件、資化可能な養分の有無といった微生物の微小生息域(マイクロハビタット)の環境状態に影響される。土壌団粒の中と外で異なる微生物相が存在することが示されているが(服部,1966)、土壌中の微生物のマイクロハビタットそのものに関する知見は極めて少なく、土壌微生物の機能発現に寄与する基本的な土壌因子に対する知見の要求が高まっている。しかしその知見は乏しく、「健全な物質循環を駆動する多様な土壌微生物群集を養う土壌団粒は、どのような構造的特徴を持つのか?」という問いに対する答えは未だない。陸上生態系における物質動態の解明や、微生物機能を用いた技術応用発展のために、土壌団粒内の微小環境を明らかにする必要がある。

土壌団粒は、サイズの異なる生物因子と土壌無機物によって階層構造を形成する(Tisdall and Oades, 1982)。微生物と直接関係していると考えられるマイクロ団粒(250  $\mu\text{m}$ 以下)については、近年、放射光を用いた固体分析技術の応用による、非破壊分析研究が急速に進展しつつある(例えば Solomon et al., 2012)。申請者はこれまで、特に超音波による最大分散処理後の粒径サイズ分画試料を用い、サブミクロスケールの鉱物粒子と有機物の空間分布の可視化に取り組んできた。申請者のこれまでの結果から、土壌タイプによって最小単位と呼べる団粒のサイズが異なり、各階層を構成する有機物や鉱物、団粒階層性のスケールそのものが異なり(Asano & Wagai, 2014; 2015)、異なる土壌タイプや生態系において、単純に粒径サイズごとに団粒を比較するだけでは団粒構造の持つ生物学的な機能性を評価できないことが示された。また、画像解析データの精緻化には、団粒構造の階層性と微生物機能の多層性という視点で土壌団粒構造のマルチスケール解析に取り組む必要があると考えられた。

### 2. 研究の目的

本研究は「健全な物質循環を駆動する多様な土壌微生物群集を養う土壌団粒は、どのような構造的特徴を持つのか?」という問いに答えることを目的とし、次の2つのサブテーマを設定した。

サブテーマ 1: 多様な土壌微生物群集を養うのに最適な土壌団粒の階層構造とその有機-無機集合体の特徴

サブテーマ 2: 土壌微生物活性が高い団粒構造内部の孔隙特性と粗大有機物の分布

### 3. 研究の方法

#### サブテーマ 1

日本に最も広く分布する火山灰土壌を対象として、三宅島、浅間山から噴火後の発達異なる土壌試料(未熟土・黒ボク土)を用いた。土壌試料は最大分散処理後に粒径サイズに分画を行い、その団粒構造の強さと階層性について考察した。また、最も有機炭素を多く含んでいたサイズ画分を選択し、KEKにおいて走査型軟X線顕微鏡とX線吸収スペクトル(STXM-NEXAFS)分析により、C、N、Al、Feを重点的にそれぞれの元素のスタックイメージを取得し、微小領域のNEXAFSスペクトルから、各元素の化学状態の空間分布を明らかにした。

#### サブテーマ 2

ミミズは土壌生物性・物理性を改善することが報告されている。そこで、土壌微生物活性が高い土壌団粒として、ミミズ糞粒を選択し、下層土に含まれる非生物学的な土壌構造と、その孔隙特性の比較をKEKのX-CTを用いて行った。使用した試料は、ほとんど有機物が含まれていない火山灰土壌の下層土でリターとともにヒトツモンミミズを飼育し、得られた土壌団粒と、下層土からそのまま採取されたミミズ糞粒と同程度の大きさの垂角塊状構造を用いた。

なお、申請当初目的においては、土壌微生物の多様性解析も目的として挙げていたが、研究代表者の出産・育児に伴う研究の中断と、新型コロナウイルス感染拡大の影響に伴い、実験項目を変更した。

### 4. 研究成果

サブテーマ 1 で取り組んだ、多様な土壌微生物群集を養うのに最適な土壌団粒の階層構造とその有機-無機集合体の特徴の解明に取り組んだ。粒径分画の結果、未熟土と比較して、発達した黒ボク土では、土壌団粒を分散させるために必要な超音波のエネルギーが2倍程度高くなり、団粒が物理的に安定であることが示された。また、土壌が発達すると、超音波で分散する2  $\mu\text{m}$ 以下の土壌粒子が増加した。STXM-NEXAFS分析の結果、生物性が低い未熟土壌では、微小団粒中に有機炭素がスポット的に存在し、鉱物のみ場所が多く存在していた。また、場所によって炭素官能基組成にばらつきがあった。微小団粒に含まれている炭素は、AmideおよびCarboxyl Cが主体となっていた。一方、成熟した黒ボク土の微小団粒には、微小団粒全体に官能基組成が似通った有機炭素が存在しており、AlやFeと分布が一致していた。また、未熟土壌と比較して、PhenolおよびAliphatic Cのピークが多くみられた。

サブテーマ 2 で取り組んだ、土壌微生物活性が高い団粒構造内部の孔隙特性と粗大有機物の分布では、ヒトツモンミミズの飼育試験から得られたミミズ糞粒を用いて、X-CTによる三次元

構造解析を行った。特に微生物の活動に重要と考えられる、数マイクロメートルの孔隙に着目し、その孔隙特性の解析を行った。本研究では、粗大な有機物残渣を用いたが、今後、自然土壌を扱う場合には、サブテーマ 1 で観察されたような有機-無機集合体と孔隙の境界値の決定が、数マイクロメートルの微小な孔隙解析での課題として挙げられた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Eseese V. F., M. Asano, R. Wagai, T. Ohigashi, K. Tamura
2. 発表標題 The Characteristics of Soil Organic Matter of Andosols of Forest Sites in Japan using Particle Size Fractionation and STXM NEAFS
3. 学会等名 14th International Conference of the East and Southeast Asia Federation of Soil Science Societies (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 浅野真希、田村憲司、和穎朗太、向井広樹、武市泰男、高木哲一、小野寛太、菅 大暉、高橋嘉夫、上條隆志
2. 発表標題 三宅島2000年噴火火山灰堆積地における有機物集積の経時変化
3. 学会等名 日本土壌肥料学会2018年度大会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	和穎 朗太  (WAGAI Rota)  (80456748)	国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・農業環境変動研究センター・上級研究員   (82111)	

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	木村 正雄  (KIMURA Masao)  (00373746)	大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・物質構造科学研究所・教授   (82118)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	武市 泰男  (TAKEICHI Yasuo)  (40636461)	大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・物質構造科学研究所・助教     (82118)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関