

先端研究助成基金助成金(最先端・次世代研究開発支援プログラム) 実績報告書

本様式の内容は一般に公表されます

研究課題名	地球炭素循環のカギを握る土壌炭素安定化: ナノ～ミリメートル土壌団粒の実態解明
研究機関・ 部局・職名	独立行政法人農業環境技術研究所・物質循環研究領域・任期付研究員
氏名	和穎朗太

1. 研究実施期間 平成23年2月10日～平成26年3月31日

2. 収支の状況

(単位:円)

	交付決定額	交付を受けた額	利息等収入額	収入額合計	執行額	未執行額	既返還額
直接経費	45,000,000	45,000,000	0	45,000,000	44,952,550	47,450	0
間接経費	13,500,000	13,500,000	0	13,500,000	13,485,764	14,236	0
合計	58,500,000	58,500,000	0	58,500,000	58,438,314	61,686	0

3. 執行額内訳

(単位:円)

費目	平成22年度	平成23年度	平成24年度	平成25年度	合計
物品費	411,967	20,318,225	559,247	724,796	22,014,235
旅費	0	823,010	1,363,570	1,296,050	3,482,630
謝金・人件費等	0	3,851,838	7,916,517	7,217,986	18,986,341
その他	0	171,873	134,364	163,107	469,344
直接経費計	411,967	25,164,946	9,973,698	9,401,939	44,952,550
間接経費計	123,590	7,549,484	2,992,109	2,820,581	13,485,764
合計	535,557	32,714,430	12,965,807	12,222,520	58,438,314

4. 主な購入物品(1品又は1組若しくは1式の価格が50万円以上のもの)

物品名	仕様・型・性能等	数量	単価 (単位:円)	金額 (単位:円)	納入 年月日	設置研究機関名
走査型電子顕微鏡	日立ハイテクノロ ジースSU1510	1	19,950,000	19,950,000	2011/11/30	農業環境技術研究所
				0		
				0		

5. 研究成果の概要

- ①土壌中の全炭素量の主要部分は、0.2～2μm粒徑画分のマイクロ団粒中に存在する。そこで、黒ボク土および草原土壌(モリソル)の0.2～2μm画分を対象に以下の分析を行った。走査型透過軟X線顕微鏡(STXM)を用いたX線吸収微細構造(NEXAFS)分析によって、3.5μm四方の領域における官能基組成別の有機炭素空間分布、そして鉄、アルミニウム、カリウムの空間分布(約50nmの分解能)を明らかにすることに成功した。更に、同一試料の同じ領域をFE-SEM/EDXおよびTEMを使って評価し、表面形状、元素マッピング、数nm分解能での形態観察、および鉱物の結晶性を調べ、サブミクロンスケールにおける有機物の存在形態と鉱物の相互作用に関する新規性の高い結果を得ることができた。現在論文化を急いでいる。
- ②微生物によって代謝された有機物が土壌中のどの様な性質の団粒中に蓄積してゆくのかを調べるため、黒ボク土とインドネシア強風化土壌を対象に、トレーサーとして¹³C標識グルコースと¹³C、¹⁵N標識グルタミン酸をそれぞれ添加し、静置培養実験を行った。土壌を経時的に採取し、低比重(<1.8 g cm⁻³)、中比重、高比重画分に分画後、各画分の回収量、炭素・窒素同位体比、全炭素・全窒素濃度、CO₂放出量を測定した。トレーサー回収率は非常に高く実験精度が高いことが確認された。276日目までの解析結果から、トレーサー由来の炭素・窒素の代謝は、土壌粒子比重が高いほど遅くなる傾向が示された。
- ③本プロジェクトで調べられてきた6つの土壌試料の比重分画結果を解析し、一般的な傾向を検出することができた。つまり、比重が高まる(有機物・鉱物集合体のうち鉱物割合が高まる)に従い、より微生物変性を受けた窒素に富む有機物が(低C:N比、高δ¹⁵N)、分解を免れて安定化している(低Δ¹⁴C)ことが示された。更に、この有機物の化学組成の変化とミクロスケールの団粒構造の変化の対応関係について、比表面積分析や光電子分光分析法を使って調べた。

課題番号

GR091

先端研究助成基金助成金(最先端・次世代研究開発支援プログラム) 研究成果報告書

本様式の内容は一般に公表されます

研究課題名 (下段英語表記)	地球炭素循環のカギを握る土壌炭素安定化: ナノ～ミリメートル土壌団粒の実態解明
	Soil carbon stabilization in micro and submicron-scale aggregate
研究機関・部局・ 職名 (下段英語表記)	独立行政法人農業環境技術研究所・物質循環研究領域・任期付研究員
	Researcher, Carbon and Nitrogen Cycles Division, National Institute for Agro-Environmental Sciences
氏名 (下段英語表記)	和穎 朗太
	WAGAI Rota

研究成果の概要

(和文):

本研究では、土壌学および生物地球化学の手法、そして近年著しく進展した固体分析技術を用いて、陸域最大の炭素プールである土壌有機物(SOM)がどのような仕組みによって微生物分解を免れて長期間滞留するのか、つまりSOM安定化プロセスおよびそのメカニズムを明らかにすることを目的とした。本研究から得られたSOM安定化に関する新たな知見は、以下の6点に集約される。

- ① 異なる分散エネルギーによって崩壊する団粒とその構成要素の特徴を明らかにした(Asano & Wagai, 2014; Wagai et al. submitted)。
- ② 土壌有機炭素分解速度の温度依存性は、基質の難分解性(酵素・基質反応の熱力学的原理)に従って変動し、その難分解性はSOM全体のうちの団粒外部に存在する有機物の炭素構造によって予測できることを示した(Wagai et al., 2013)。
- ③ 日本の代表的な土壌タイプであり、高い炭素蓄積能を持つ火山灰土壌(Andisol)に、団粒構造の階層性を世界で初めて示し、Andisolを含むすべての鉱物質土壌において団粒構造を統一的に理解できる可能性を示した(Asano & Wagai, 2014)。

- ④ 地質(母材)や気候条件が大きく異なる環境で生成した6つの土壌タイプに共通して、土壌粒子の比重の増加に伴い、粒子(有機物・鉱物集合体)の鉱物の割合が高まると同時に、より微生物変性を受けた窒素に富む有機物が(低C:N比、高 $\delta^{15}\text{N}$)、分解を免れて安定化している(低 $\Delta^{14}\text{C}$)ことを示し、次世代のSOM動態モデル開発の足がかりを得た。
- ⑤ 火山灰土壌(Andisol)と草原土壌(Mollisol)を用い、SOMの多くを保持する粘土サイズ画分を対象に、走査型透過軟X線顕微鏡を用いたX線吸収微細構造分析および走査型・透過型電子顕微鏡分析を行い、ナノスケールにおける炭素の官能基および鉄・アルミニウムや粘土鉱物の空間分布の対応関係を初めて明らかにした。
- ⑥ 同位体標識した易分解性炭素・窒素の添加培養実験(一年間)を行い、微生物によって代謝された炭素・窒素は、まずは団粒の外側にある植物残渣画分に移行し、時間経過に伴い高い比重をもつ団粒画分に移行してゆくことを定量的に示した。

以上の6つの研究成果は、従来の化学抽出を基にしたSOM研究とは一線を画し、SOMの特性を、実際の土壌のマイクロ・ナノスケール領域に存在する土壌構造との関係性の中で捉え直した点が、他に例がなく、先進性および今後の発展性があると考えられる。安定化メカニズムの全容解明には至らなかったものの、ここで得られた成果は、土壌炭素モデルの改良だけでなく、肥沃度維持と炭素隔離を実現する団粒作成技術の開発や、養分元素や汚染物質の土壌環境中の動態、微生物生態の解明などの研究分野の発展に必要な基礎的知見であると考えられる。

(英文):

The goal of this project was to elucidate the stabilization mechanisms of soil organic matter (SOM), the largest terrestrial C sink on earth. The project has a primary focus on aggregate structure and the interaction between organic matter (OM) and mineral because major portions of SOM are bound to mineral phases as parts of soil aggregates. The outcome of this project can be summarized into the following six findings. (i) We clarified the relationship between structural stability of aggregates and the nature of OM stabilized in the subunits that consist the aggregates by characterizing the mass and chemistry of the particles released upon different degrees of dispersion energies applied. (ii) By separately characterizing the OM outside of aggregates (mineral-free plant detritus) and inside (mineral-protected OM), we showed that the temperature sensitivity of SOM decomposition is explained by C molecular structure (recalcitrance) in accord with thermodynamic principle - Arrhenius equation. (iii) We provided strong evidence that aggregate hierarchy is present in Andisols (volcanic-ash soils) despite the fact previous literature suggest its absence in this soil type. (iv) By focusing on 0.2-2 μm fraction where significant portions of SOM is present, we examined submicron-scale spatial relationship between carbon and mineral elements or phases using spectroscopic techniques. (v) By comparing six soils developed under widely different climate regime and on different parent materials, we found progressive change in OM chemistry with the increase in particle density - a general pattern can be used to

様式21

constrain existing current SOM simulation models or to develop a new model. (vi) We conducted soil incubation experiments with isotopically-labelled labile OM as tracer and quantified the transfer rates of the microbially-metabolized tracer among the fractions.

1. 執行金額 58,438,314円
(うち、直接経費 44,952,550円、間接経費 13,485,764円)

2. 研究実施期間 平成23年2月10日～平成26年3月31日

3. 研究目的

本研究では、土壌有機物(SOM)がどのような仕組みによって微生物分解を免れて長期間滞留するのか、つまりSOM安定化プロセスおよびそのメカニズムを明らかにすることを目的とした。SOMの多くは、土壌の団粒構造内に存在する。団粒構造は、様々なサイズと化学組成を持つ有機物・鉱物粒子、両者の相互作用により形成され、ナノ～ミリメートルの階層構造を持つと考えられているが、未解明な部分が多い。団粒構造の特性とSOMの関係およびその形成・崩壊に強く関与すると考えられている有機物・鉱物の相互作用を調べるには、これまでSOM研究の主流であった分析化学的アプローチ(アルカリ抽出された有機物である腐植物質の特性評価)は有効ではない。よって、本研究の具体的な**第一の目的**は、SOMの化学変性を最小限度に抑えることのできる物理的分画法の開発および検討であった。

第二の目的：これまでの主な研究は欧米に多い土壌タイプについて行われてきたため、凍土や泥炭土を除けば世界的にも最も高い炭素貯留機能を持つにも関わらず、わが国を代表する火山灰土壌(Andisol)における有機・無機相互作用およびSOM安定化機構については、情報が少ない。また、Andisolでは強固な団粒構造が発達していることが知られているが、その維持機構には不明な点が多い。そこで本研究の第二目的は、黒ボク土の団粒構造とSOM安定化の関係解明とした。

第三の目的は、SOMを比較的多く貯留する世界の主要土壌タイプにおける有機・無機相互作用およびSOM安定化プロセスの比較とした。ここから共通のメカニズムが抽出できれば、様々な不確定要素を含む既存のSOM動態モデルの改良および次世代モデルの開発に重要な知見を提供できる。

4. 研究計画・方法

上記の研究目的に対応し、以下のアプローチで研究を行った。

第一に、団粒構造を異なる条件下で破壊し、その構成要素であった粒子(鉱物粒子、有機化合物、および有機無機集合体)を粒径および比重によって物理的に分画し、それぞれの画分中の有機物および無機物の特性を調べた。

第二に、日本の既存研究から典型的なアロフェン質および非アロフェン質のAndisolを選定し、団粒構造の階層性および団粒崩壊後の有機無機集合体の特徴を評価した。具体的には、風乾による団粒化、ナトリウム飽和、および超音波強度の違いに応じた団粒の崩壊程度を評価した。

第三に、異なる気候条件や地質(母材)から生成した世界を代表する土壌タイプのうちの6種類を選び、最も炭素蓄積が起こっている表層(ポトゾルは集積層)を対象に、比重および粒径分画を行なった。対象土壌は、火山灰土壌(5 Andisols)、半乾燥地草原土壌(Mollisols)、熱帯森林土壌(Inceptisol, Ultisol)、熱帯農地土壌(Ultisols)、亜寒帯ポトゾル(Spodosol)とした。画土壌から分画した各試料を以下の手法で評価した。安定・放射性炭素同位体測定から炭素の起源と年代の推定を行い、安定窒素同位体比から土壌微生物による窒素の代謝回転程度を考察し、バルク化学分析や X 線回折から無機成分の濃度および存在形態を明らかにした。また、上記土壌のうち、鉍物との相互作用による有機物安定化作用が強いと考えられる試料に関しては、走査型・透過型電子顕微鏡による詳細の形態観察、ガス吸着法による比表面積分析、X 線光電子分光法によって微細粒子(有機無機集合体)の表面の主要元素濃度および炭素・窒素の化学形態、さらに走査型透過軟 X 線顕微鏡を用いた X 線吸収微細構造分析によるナノスケールにおける炭素官能基および主要元素の空間分布の評価を行った。

また、微生物代謝された有機物と鉍物の相互作用が主要なSOM安定化メカニズムであることが上記の研究から示唆されたため、トレーサーを使った実験から微生物代謝された炭素・窒素が異なる比重の粒子と結合する速度の定量を試みた。

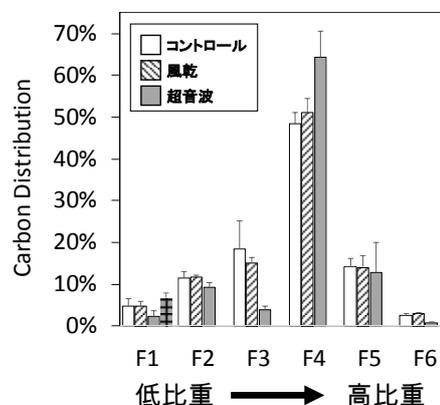
5. 研究成果・波及効果

下記に示す6点の成果が得られた。

① 団粒の構造的強度と土壌有機物の存在形態および安定化の関係

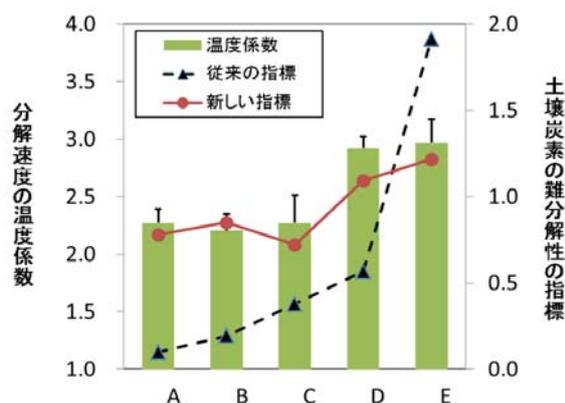
土壌に共存する由来や反応性の異なるSOMを評価するために、土壌粒子の粒径や比重によって分画する手法が有効とされているが、これまで比重分画法における分散強度の影響は無視されていた。私たちは、機械的しん振に比べて超音波による分散では、主に比重 $1.8 \sim 2.0 \text{ g cm}^{-3}$ (F3) 団粒が崩壊し、それに伴い比重 $2.0 \sim 2.25 \text{ g cm}^{-3}$ (F4) の有機炭素(右図)および非晶質無機成分が増加することを定量的に示した(Wagai et al. submitted)。また、火山灰土壌(Andisol)は強固な団粒構造を持つため、ナトリウム飽和後の超音波分散によって初めて最大分散が可能となることを示した(Asano & Wagai, 2014)。

近年、土壌有機物研究における物理分画法の有効性および利用例は急増していることから、本研究成果は物理分画法の進展やSOMの存在形態の解釈に大きな波及効果が見込まれる。



② 土壤有機物分解(CO₂放出速度)の温度依存性

土壤微生物によるSOM分解に伴って放出するCO₂は陸域最大の温室効果ガスの供給であり、人為起源のCO₂放出速度の約 100 倍に及ぶため、SOM分解速度の温度依存性を正確に推定することは、地球の炭素循環および温暖化予測に重要な意味を持つ。これまで多くの研究者によって、温度依存性の変動要因を説明するための様々な仮説が提案された。中でも、温度係数の変動は土壤炭素の難分解性(分解されにくさ)によって決まるという熱力学の法則に沿う「土壤炭素の質」仮説が有力であったが、これを支持しない研究結果もあり、論争が続いていました。我々は、SOMの中でも微生物がアクセスしやすい状態で存在する部分(低比重画分)を分離し、固体 ¹³C 核磁気共鳴法により炭素分子構造を決定し、それを基にした新しい難分解性炭素の指標を示した。これによって、従来では説明できなかった温度依存性の変動が説明できるようになった(右図)(Wagai et al., 2013)。



つまり、SOM全体のうちの鉱物粒子と結合していないごく一部の有機物の炭素構造を調べることで分解速度の温度依存性の推定精度が向上すること、そして炭素の分子構造と分解の温度依存性の関係性はアレニウスの反応速度論に従うことが示された。これは、土壤炭素の温暖化応答予測における主要な不確定因子である温度依存性の変動を考慮した次世代モデルの構築に役立つ基礎的な知見と言える。

③ 火山灰土壤(Andisol)における団粒構造の階層性

世界の一般的な土壤では、土壤中の有機物や微細(粘土)鉱物の働きにより安定的なマイクロ団粒(直径 53~250 μm の団粒)が形成され、細根、菌糸等の働きによってマイクロ団粒が集合してマクロ団粒(直径 250 μm 以上)が出来るという階層構造が示されているが、Andisolの場合、マイクロ団粒とマクロ団粒の理化学性に明瞭な差は見られず、その団粒形成メカニズムは不明であった。

我々は、Andisolを最大分散する条件を突き止め(上記①参照)、マイクロ・マクロ団粒が直径 2~53 μm、0.2~2 μm、および 0.2 μm 以下の微細粒子から構成されていること、2 μm 以下の粒子(右

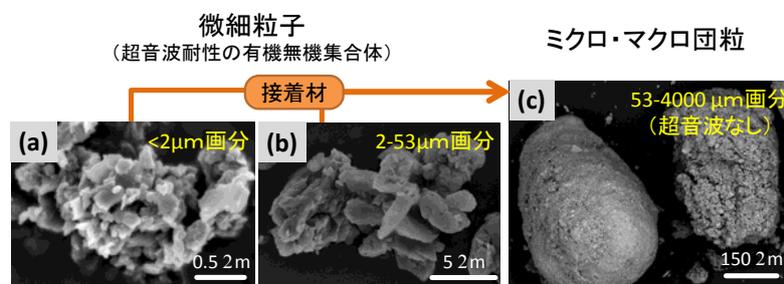


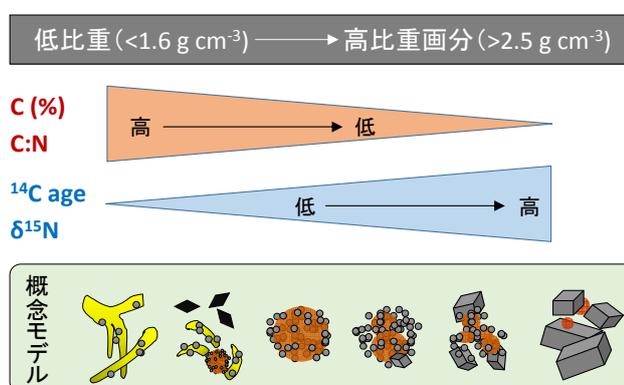
図 a)が土壤全炭素の約7割を占めることを明らかにした(右図)。また化学分析から、マイクロ・マクロ団粒を構成していた微細粒子の多くは有機物と無機物の集合体であり、粒径の小さな粒子ほど

有機物、非晶質鉱物、金属・有機物複合体濃度が高いという傾向が示され、微細な有機無機集合体の接着機能により強固な団粒構造が維持されていること、そして黒ボク土の炭素蓄積は主に $2\mu\text{m}$ 以下の有機無機集合体の中で起こっていることを、初めて明らかにした (Asano & Wagai, 2014)。

ミクروسケールでおこる土壌の団粒構造は、土壌中の様々なプロセス(固液反応、ガス拡散、微生物活性・酵素反応)を強く支配する。この発見により、黒ボク土を含むすべての鉱物質土壌において団粒構造を統一的に理解できる可能性が示されたため、この波及効果は非常に大きいだろう。

④ 異なる土壌に共通した土壌有機物安定化プロセス

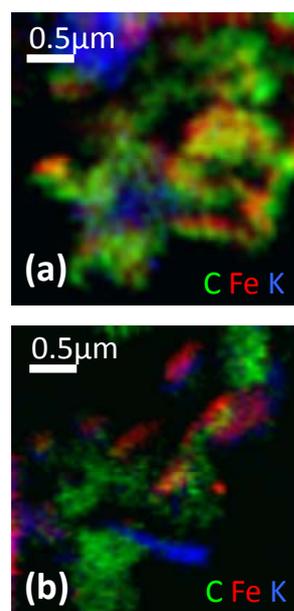
世界の代表的な6つ土壌タイプの表層鉱物質土壌(ポトゾルのみは有機物含量が高い集積層)を比重によって6~7つの画分に分離し、それぞれの理化学分析を行った。その結果、比重が高まる(有機物・鉱物集合体のうち鉱物割合が高まる)に従い、より微生物変性を受けた窒素に富む有機物が(低C:N比、高 $\delta^{15}\text{N}$)、分解を免れて安定化している(低 $\Delta^{14}\text{C}$)という共通の傾向が見出された(右図)。



地質(母材)や気候条件が大きく異なる環境で生成した土壌において、比重の変化に伴いSOMが安定化してゆくという発見は、SOM動態シミュレーションモデルの開発に役立つと期待できる。つまり、既存のモデルは複数の概念的なSOMプールから構成されているが、実験的に分離・検証が可能な物理画分を基にした次世代モデルの構築の可能性が見えてきた。

⑤ 先端的光学顕微鏡手法による有機物・鉱物のナノスケール相互作用

上記で調べた世界の主要土壌のうち、土壌鉱物組成が大きく異なる黒ボク土(Andiosol)と草原土壌(Mollisol)を対象に、全土壌炭素うちの主要部分を保持する $0.2\sim 2\mu\text{m}$ サイズ画分における有機物・鉱物の存在形態を調べた。走査型透過軟X線顕微鏡を用いたX線吸収微細構造分析から、 $3.5\mu\text{m}$ 四方の領域における官能基組成別の有機炭素空間分布、そして鉄、アルミニウム、カリウムの空間分布(約 50nm の分解能)を明らかにすることに成功した(右図)。更に、同一試料の同じ領域を FE-SEM/EDX



C, Fe, K分布図. (a) 黒ボク土, (b) 草原土壌.

およびTEMを使って評価した。その結果、結晶性層状ケイ酸塩鉱物が主体のMollisol試料では、アミド基に富む有機物が高濃度に集積した部位があるなど、有機物の分布と官能基組成に比較的大きな空間変異があるのに対して、非晶質微細鉱物が豊富なAndisol試料では、類似した炭素組成の有機物が比較的一様に分布していることが初めて明らかになった。また、結晶性の一次鉱物粒子の周りには有機物が集積していない等の共通の傾向も示された。

高い炭素隔離ポテンシャルを持つAndisolの炭素蓄積メカニズムに関してこれまで「炭」、「腐植」、そして「無機成分との結合」の3つの仮説が提示されているが、今回の結果は無機成分との結合による安定化を支持する。サンプル数や観察領域を増やして考察する必要があるが、このアプローチにより、長年論争が続いている黒ボク土の炭素安定化機構を解明できる可能性、そして他の土壌タイプにおけるメカニズム解明にも有効であることが示され、大きな波及効果が期待できる。

⑥ 微生物代謝物が土壌団粒内で安定化する反応速度の定量

微生物によって代謝された有機物が土壌中のどの様な性質の団粒中に蓄積してゆくのかを調べるため、Andisolとインドネシア強風化土壌(Ultisol)を対象に、トレーサーとして¹³C 標識グルコースと¹³C, ¹⁵N 標識グルタミン酸をそれぞれ添加し、静置培養実験を行った。土壌を経時的に採取し、低比重(<1.8 g cm⁻³)、中比重、高比重画分に分画後、各画分の回収量、炭素・窒素同位体比、全炭素・全窒素濃度、CO₂ 放出量を測定した。トレーサー回収率は非常に高く実験精度が高いことが確認された。276 日目までの解析結果から、トレーサー由来の炭素・窒素の代謝は、土壌粒子比重が高いほど遅くなる共通の傾向が示された。つまり、微生物代謝を経て残存する有機物の多くは、先ず団粒の外側にある植物残渣を主体とする低比重画分に移行し、時間経過に伴い高い比重をもつ団粒画分に移行してゆくことが示唆された。この傾向および反応速度は、黒ボク土と強風化土壌において概ね共通していることから、次世代の土壌有機物動態モデル開発へ向けた重要な知見といえる。

【波及効果】

このプロジェクトの成果から、土壌の微細構造および土壌を構成する粒子自体が、比重や粒径（そして化学組成や反応性が）異なる有機物・鉱物集合体として存在することが明らかになりつつある。つまり、ミクروسケールでの土壌粒子の特徴が、土壌タイプや土壌管理形態によってどの様に異なるかが分かってきた。これらの基礎的な知見は、土壌が関与する幅広い環境問題の改善に向けて、高い波及効果があると考えられる。

放射性セシウムは、特定の粘土鉱物の層間に不可逆的に吸着されるが、その鉱物表面が有機物で被覆されている場合、セシウムは弱いイオン結合によって有機物表面に吸着すると予想される。つまり、本プロジェクトで明らかになった有機物・鉱物集合体(微細団粒)の存在形態に関する知見および開発された手法は、放射性セシウムの長期的な動態の解明に有効と考えられる。実際に、セシウムの環境動態の研究者との共同研究を開始している。

農薬の土壌残留は、土壌中の有機物の量や存在形態に依存することが知られているが、バルク土壌(土壌全体)の有機物の性質では説明できない部分が多い。本事業で開発した物理分画法を応用し、土壌中に共存する由来・反応性の異なる有機物(例:植物残渣を主要成分とする低比重画分と、粘土・腐植複合体を主体とする高比重画分)を定量的に評価することで、農薬の土壌残留機構の解明に役立つと考えられる。

汚染物質の挙動に関する応用研究以外に、本プロジェクトから得られた知見は、土壌炭素動態のシミュレーションモデルの精緻化・向上に役立っている。既存モデルは、分解速度(平均滞留時間)の異なる複数の概念的な炭素プールによって構成されていた。本研究からは得られた重要な知見は、少なくとも黒ボク土壌においては、長期的に蓄積する炭素プールは2種類あり(古い炭化物と腐植・粘土集合体)、2種類の炭素の由来および安定化メカニズムは大きく異なるため、地球温暖化や土地利用形態の変化に伴う分解・蓄積速度の変化も異なる可能性が非常に高い。よって、次世代の炭素動態モデルにおいては、概念的な炭素プールではなく、これらの知見を組み込む実測可能な炭素プールによって構成されるべきだと言える。本プロジェクトの知見は、物理分画の化学分析結果を基に既存モデルの改良にも役立った(Shirato et al. 2013)。

3年間に渡り本プロジェクトの成果を日本土壌肥料学会などで発表するなかで、土壌の団粒構造と土壌でおこる物理、化学、微生物プロセスの関係についての関心が高まり、関連分野の研究者との議論の場が生まれつつある。土壌肥料学会2013年度大会では、「土壌団粒と土壌プロセス」というシンポジウムを企画し、また2014年度には大会サテライト企画として団粒勉強会の開催を計画している。土壌物理、土壌微生物、土壌化学の各専門分野の研究者や学生が集まり、団粒を中心とした土壌プロセスについて話題を共有し、土壌団粒の担う生態系機能について議論を深めるという流れが徐々に形成されつつある。これを継続することによって、土壌を中心とした物質循環プロセス研究者交流の場として、関連分野の研究者の共同研究実施のきっかけを提供し、環境問題の解決に結びつく研究の発展を狙っている。

6. 研究発表等

<p>雑誌論文 計 8 件</p>	<p>(掲載済み一査読有り) 計5件</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Rota Wagai, Kanehiro Kitayama (2012) Soil organic matter storage in the tropical forests of Borneo : pedogenic controls and ecological implications, <i>Pedologist</i>, 55(3), 392-402.【査読有り】 2. Wagai, R, Mayer, L.M, Kitayama, K, Shirato Y. (2013) Association of organic matter with iron and aluminum across a range of soils determined via selective dissolution techniques coupled with dissolved nitrogen analysis, <i>Biogeochemistry</i>, 112, 95-109. 【査読有り】 3. Rota Wagai, Ayaka W. Kishimoto-Mo, Seiichiro Yonemura, Yasuhito Shirato, Syuntaro Hiradate, Yasumi Yagasaki (2013) Linking temperature sensitivity of soil organic matter decomposition to its molecular structure, accessibility, and microbial physiology, <i>Global Change Biology</i> 19: 1114-1125.【査読有り】 4. Y. Shirato, M. Jomura, R. Wagai, M. Kondo, K. Tanabe, M. Uchida (2013) Deviations between observed and RothC-simulated $\Delta 14C$ values despite improved IOM initialization, <i>European Journal of Soil Science</i>, 64(5), 576-585 【査読あり】 5. Maki Asano, Rota Wagai (2014) Evidence of aggregate hierarchy at micro- to submicron scales in an allophanic Andisol, <i>Geoderma</i>, 216, 62-74 【査読あり】 <p>(掲載済み一査読無し) 計2件</p> <ol style="list-style-type: none"> 6. 和穎朗太 (2012) 鉱物と有機物の相互作用に着目した土壌有機物の動態に関する研究, 日本土壌肥料学会. 日本土壌肥料学会, 83(5), 539-541.【査読無し】 7. 川東正幸, 高橋正, 藤井一至, 高橋正通, 三浦覚, 石塚成宏, 金子真司, 白戸康人, 矢ヶ崎泰海, 高田裕介, 和穎朗太ほか (2013) 日本の土壌炭素賦存量を量・質の両面から考える, 日本土壌肥料学雑誌 83(3), 225-229 【査読なし】 <p>(未掲載) 計1件</p> <ol style="list-style-type: none"> 8. 和穎朗太, 早津雅仁, 青山正和, 森也寸志, 波多野隆介, 井藤和人, 浅野真希 (2014) 土壌団粒構造と土壌プロセス, 日本土壌肥料学雑誌 (in press) 【査読なし】
<p>会議発表 計 35 件</p>	<p>専門家向け 計 35 件</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 和穎朗太, 白戸康人, 近藤美由紀, 内田昌男, Phillip Sollins (2011) 土壌系における有機・無機相互作用: 陸上最大の炭素プールを支配するメカニズムに迫る, 日本地球惑星科学連合大会, MIS023-13(2011年5月22日、千葉県幕張市幕張メッセ) 2. 浅野真希, 和穎朗太 (2011) 有機物蓄積機構解明を目指した黒ぼく土の粒径サイズ別分画法の検討, 日本ペドロジー学会 2011 年度(2011年9月2日、北海道帯広市、帯広畜産大学) 3. 浅野真希, 和穎朗太 (2011) 土壌有機物安定化メカニズムと土壌団粒構造の関係解明に向けた手法の検討, 生物地球科学研究会 10 周年記念セッション(2011年10月22日、北海道札幌市、北海道大学) 4. Wagai, R, Kajiura, R, Shirato, Y, Uchida, M (2011) Nature of organo-mineral particles across density fractions in a volcanic-ash soil: air-drying and sonication effect, AGU Fall Meeting 2011, B31G-0403, (Dec 7th, 2011, The Moscone Center, San Francisco, USA) 5. 和穎朗太, 梶浦雅子, 浅野真希, 白戸康人, 平館俊太郎 (2012) 黒ボク土の有機無機集合体の正体は? ①粒子比重による分画, 日本ペドロジー学会 2012 年度大会(2012年3月6日、東京都八王子市、首都大学東京南大沢キャンパス) 6. 浅野真希, 和穎朗太 (2012) 黒ボク土の有機無機集合体の正体は? ②階層構造と粒径サイズ, 日本ペドロジー学会 2012 年度大会(2012年3月6日、東京都八王子市、首都大学東京南大沢キャンパス) 7. 和穎朗太 (2012) 森林における土壌有機物の分解と蓄積-時間スケールの違いからみえてくる土壌有機物の挙動, 第 123 回日本森林学会大会, T09(2012年3月28日、栃木県宇都宮市、宇都宮大学) 8. Kaneda, S, Fujii, K., Wagai, R., Ohkubo, S. (2012) Earthworm effects on soil aggregate formation and carbon mineralization kinetics, ESJ59/EAFES5 Abstract (59th Annual Meeting of

	<p>Ecological Society of Japan, 5th International Congress of EAFES (East Asian Federation of Ecological Societies)), P3-276A(2012年3月19日、滋賀県大津市、龍谷大学瀬田キャンパス)</p> <p>9. 和穎朗太, 浅野真希. 火山灰土壌における有機-無機相互作用. Part I. 粒子比重と表面特性, 日本地球惑星科学連合大会, MIS21-04(2012年5月23日、千葉県幕張市幕張メッセ)</p> <p>10. 浅野真希, 和穎朗太. 火山灰土壌における有機-無機相互作用. Part II. 粒径サイズと団粒の階層構造, 日本地球惑星科学連合大会, MIS21-04, (2012年5月23日、千葉県幕張市幕張メッセ)</p> <p>11. Kajiura Masako, Wagai Rota, Hayasahi Kentaro. Threshold pyrolysis temperature controls the fates of charred organic carbon: a case study using rice straw and husk, EuroSoil 2012, Bari, Italy (2012 July 4th).</p> <p>12. 和穎朗太. 鉱物と有機物の相互作用に着目した土壌有機物の安定化に関する研究: 土壌学・生態系生態学・生物地球科学の接点, 日本土壌肥料学会 2012年度大会(2012年9月5日、鳥取県鳥取市、鳥取大学)</p> <p>13. 和穎朗太, 白戸康人, 岸本文紅, 米村正一郎, 矢ヶ崎泰海, 平館俊太郎 (2012) 土壌有機物の存在形態から温暖化応答と炭素隔離ポテンシャルを考える, 日本土壌肥料学会 2012年度大会(2012年9月5日、鳥取県鳥取市、鳥取大学)</p> <p>14. 梶浦雅子, 和穎朗太, 林健太郎 (2012) 不完全燃焼のトレードオフ 稲わら・粃殻の熱分解率と残渣の微生物分解特性, 日本土壌肥料学会 2012年度大会(2012年9月5日、鳥取県鳥取市、鳥取大学)</p> <p>15. Rota Wagai 他6名. Changes in the chemistry and surface nature of organo-mineral aggregate with particle density in an Andisol derived of volcanic ashes, 5th International Workshop on Soil and Sedimentary Organic Matter Stabilization and Destabilization Unifying concepts of organic matter dynamics in terrestrial and aquatic systems. (2012 Oct. 7-13, Ascona, Switzerland)</p> <p>16. Maki Asano, Rota Wagai. Nature of organo-mineral particles aggregated by different bonding strength in an Andisol derived from volcanic ashes, (2012 Oct. 7-13, Ascona, Switzerland)</p> <p>17. 和穎朗太, 浅野真希, 梶浦雅子, 井上弦, 平館俊太郎, 内田昌男, 白戸康人. 物理分画からみる腐植質(土壌有機)の特徴. 第28回 日本腐植物質学会講演会(2012年11月21日、東京都八王子市、首都大学東京南大沢キャンパス)</p> <p>18. 浅野真希, 和穎朗太. アロフェン質黒ボク土の団粒階層構造を形成する有機-無機集合体の実態. 第28回 日本腐植物質学会講演会 (2012年11月21日、東京都八王子市、首都大学東京南大沢キャンパス)</p> <p>19. 浅野真希, 和穎朗太. 陸域最大の炭素・窒素プールの安定化機構: Part1 土壌団粒の階層構造から読み解く. 第60回日本生態学会大会 (2013年3月8日、静岡県静岡市コンベンションセンター・グランシップ)</p> <p>20. 早川智恵, 和穎朗太, 稲垣善之. 土壌有機物はどこに蓄積されるのか? -比重分画と同位体トレーサー法から見えること- 第60回日本生態学会大会(2013年3月8日、静岡県静岡市コンベンションセンター・グランシップ)</p> <p>21. 金田哲, 米村正一郎, 児玉直美, 和穎朗太, 大久保慎二 (2013) 地中生息性ミミズが土壌炭素動態に及ぼす影響, 第60回日本生態学会大会 (2013年3月8日、静岡県静岡市コンベンションセンター・グランシップ)</p> <p>22. 和穎朗太, 浅野真希, 早川智恵, 梶浦雅子, 平館俊太郎, 井上弦, 稲垣善之 (2014) 比重および粒径分画法による土壌有機物の安定化と団粒構造の関係解明 ~JSPS-NEXT 土壌団粒プロジェクトから見えてきたこと, 日本ペドロジー学会年次大会(2014年3月21日、島根大学)</p> <p>23. 浅野真希, 和穎朗太, 山口紀子, 武市泰男, 菅大暉, 新農宗徹, 小野寛太, 高橋嘉夫 (2014) 炭素貯留を担う微小団粒中の官能基別有機炭素空間分布-走査型透過軟 X線顕微鏡を用いた Andosol と Kastanozem の比較-, 日本ペドロジー学会年次大会(2014年3月21日、島根大学) 【ポスター賞受賞】</p> <p>24. Rota Wagai, Maki Asano, Masako Kajiura, Chie Hayakawa, Shyuntaro Hiradate, Masao Uchida, Yuzuru Inoue (2014) Why is soil the largest carbon and nitrogen pool on land?: biogeochemical perspective, 日本生態学会第61回全国大会 (2014年3月16日、広島市広島国際会議場) 【招待講演】</p> <p>25. 早川智恵, 和穎朗太, 稲垣善之, 浅野真希 (2014) 比重分画法と安定同位体トレーサー法</p>
--	--

	<p>から読み解く土壌有機物蓄積プロセス: 火山灰土壌と熱帯強風化土壌の比較, 日本生態学会第 61 回全国大会 (2014 年 3 月 16 日、広島市広島国際会議場)</p> <p>26. 浅野真希, 和穎朗太 (2014) 土壌有機物の滞留時間の不均一性は土壌団粒の階層構造から説明できるか?, 日本生態学会第 61 回全国大会 (2014 年 3 月 16 日、広島市広島国際会議場)</p> <p>27. 金田哲, 藤井一至, 米村正一郎, 和穎朗太, 大久保慎二, 児玉直美 (2014) 火山灰土においてミズが炭素動態に及ぼす影響, 日本生態学会第 61 回全国大会 (2014 年 3 月 16 日、広島市広島国際会議場)</p> <p>28. Rota Wagai (2013) Soil carbon stabilization process revealed by physical fractionation approach: why old C remains in soil and can/should we model it?, "International Symposium on Soil Carbon Modeling in Agricultural and Forest Ecosystems - Current status and future challenges -", National Institute for Agro-Environmental Sciences (NIAES) Forestry Forest Products Research Institute (FFPRI) (2013 年 11 月 13 日、つくば市農業環境技術研究所) 【招待講演】</p> <p>29. 和穎朗太, 浅野真希 (2013) マクロ・ミクロスケールを繋ぐ団粒階層構造と土壌有機物の役割, 日本土壌肥料学会 (2013 年 9 月 11 日、名古屋大学)</p> <p>30. 早川智恵, 和穎朗太, 稲垣善之, 浅野真希 (2013) 比重分画法と安定同位体トレーサー法を用いた土壌有機物蓄積プロセスの定量的解析, 日本土壌肥料学会 (2013 年 9 月 12 日、名古屋大学)</p> <p>31. 浅野真希, 和穎朗太 (2013) 非アロフェン質黒ボク土の団粒階層構造と有機無機集合体の特徴, 日本土壌肥料学会 (2013 年 9 月 12 日、名古屋大学) 【ポスター受賞】</p> <p>32. 金田哲, 和穎朗太, 大久保慎二 (2013) サクラミズ (<i>Eisenia japonica</i> (Michaelsen, 1891)) が団粒形成に及ぼす影響, 第 36 回日本土壌動物学会大会 (2013 年 5 月 25 日、福岡教育大学)</p> <p>33. Ayaka W. Kishimoto-Mo, Seiichiro Yonemura, Miyuki Kondo, Yasuhito Shirato, Rota Wagai, Masao Uchida (2013) Response of soil organic matter decomposition to experimental warming in a cultivated Andisol in Japan, ICDC9 9th International Carbon Dioxide Conference (2013 年 6 月 4 日、北京), P289</p> <p>34. 早川智恵, 和穎朗太, 稲垣善之 (2013) 比重分画法及び安定同位体トレーサー法を用いた土壌有機物蓄積速度の定量的解析, Japan Geoscience Union Meeting (2013 年 5 月 23 日、幕張メッセ), MIS24-17</p> <p>35. Maki Asano, WAGAI Rota (2013) Variation in delta N-15 among the soil organo-mineral particles of various sizes in two volcanic-ash soils, Japan Geoscience Union Meeting (2013 年 5 月 23 日、幕張メッセ), MIS24-16</p> <p>一般向け 計 0 件</p>
<p>図書 計1件</p>	<p>和穎朗太 (2011) 第五章 森林の土壌環境 (page 72-92), 森林生態学、シリーズ 現代の生態学 8, 共立出版</p>
<p>産業財産権 出願・取得 状況 計0件</p>	<p>(取得済み) 計0件 (出願中) 計0件</p>
<p>Webページ (URL)</p>	<p>http://www.niaes.affrc.go.jp/researcher/wagai_r.html (農業環境技術研究所研究者情報ページ) http://soil-aggregate.hatenablog.com/ (土のつぶろぐ「国民との対話実施状況」を参照)</p> <p>プレスリリース「温暖化により土壌有機物の分解がどのくらい加速されるか、その要因を解明ー地球温暖化予測の精度向上に役立ちますー」 2013 年 8 月 26 日 (http://www.niaes.affrc.go.jp/techdoc/press/130826/)</p>

様式21

<p>国民との科学・技術対話の実施状況</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 出前授業の開催：2014年1月24日につくば市春日中学3年生を対象に、「土の粒つぶと地球温暖化 ～土の中の小さな生き物達の住み家と食糧とCO2～」というテーマで2時間の授業を行った。実際に隣接する林から表層土壌を採取、土壌団粒の顕微鏡観察を行なったあと、土壌団粒構造と有機物の関係についてのレクチャーを行った。これは、筑波研究学園都市交流協議会(筑協)のサイエンスQというプロジェクトの一環として行い、当日の授業の様子は3月3日にラヂオつくば(ローカルFM放送)によって放送された。 ● 子供向けアウトリーチ活動：所属研究所が行う夏休み一般公開(2014年7月27日)を利用して、小学生に「土壌の粒の性質」を体験して貰った(参加者、計50～80名)。3種類の土壌タイプによって手触り、粘性、団子の作りやすさが大きく異なることを体験し、その違いは主に粒子の形状(大きさ)によることを理解させることを目的とした。
<p>新聞・一般雑誌等掲載計4件</p>	<p>新聞掲載 化学工業日報「分解加速の要因解明・気候変動予測に活用」2013年8月29日4面 日刊工業新聞「土壌有機物、温暖化で分解加速-農環研がメカニズム解明」2013年8月27日17面 日本農業新聞「土壌からのCO₂発生高精度に予測」2013年8月27日20面 農業協同組合新聞「温暖化による土壌有機物の分解速度を解明」2013年8月28日ウェブ掲載(http://www.jacom.or.jp/news/2013/08/news130828-22018.php)</p>
<p>その他</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● インタビュー記事掲載：所属研究所の広報部からインタビューを受け、農環研ニュース(平成25年8月版)に、本研究成果の一部が掲載された(土壌からのCO₂放出は、温暖化でどのくらい加速する?)。 ● 本プロジェクトから得られた成果は、農業環境研究所 H24 年度および 25 年度の主要成果に選ばれた。H24 年度：和穎朗太ほか「温度上昇が土壌炭素の分解をどのくらい加速させるかを決める要因の解明—土壌炭素動態モデルの精緻化に有効—」(http://www.niaes.affrc.go.jp/sinfo/result/result29/result29_14.html) H25 年度：浅野真希、和穎朗太「黒ボク土の団粒構造の階層性を解明」(in press)。これらの成果は、上記ウェブサイトや農業試験場などに配布される農業環境技術研究所刊行物(研究成果情報)で紹介される。

7. その他特記事項