

機関番号：82107

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2008～2010

課題番号：20710005

研究課題名 (和文) 微細鉱物による土壌有機物の蓄積と分解の制御－土壌炭素の温暖化応答

研究課題名 (英文) Mineral controls on soil organic matter stabilization and degradation - response of soil carbon pool to warming

研究代表者

和穎 朗太 (WAGAI ROTA)

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

研究者番号：80456748

研究成果の概要 (和文)：陸域最大の炭素プールである土壌有機物の蓄積メカニズムおよび土壌炭素分解の温暖化応答を規定する因子の解明を目指し、有機物と土壌鉱物の反応という新しい着眼点から、以下の研究を行った。まず、選択溶解法を改良し、土壌鉱物の中でも有機物との反応性が高いとされる鉄・アルミニウム酸化物による土壌有機物の安定化を定量的に評価した。次に、比重の違いを基にする分画手法から起源や反応性の異なる土壌有機物を別個に評価し、土壌有機物分解の温度依存性は、微生物がアクセスしやすい軽比重画分の炭素構造が複雑であるほど増加するというアレニウスの反応速度論と一致する傾向を発見した。

研究成果の概要 (英文)：I examined some aspects of soil organic matter (SOM) stabilization and temperature sensitivity of SOM decomposition with a particular focus on mineral-organic matter interaction. First, using selective dissolution techniques, I quantified the amount of SOM associated with soil iron and aluminum phases among a wide range of field soils for the first time. Second, I separated SOM by density and revealed that the molecular structure of the SOM in low-density fraction had strong control on the temperature sensitivity of SOM decomposition in accord with Arrhenius kinetic theory.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2009年度	900,000	270,000	1,170,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	2,700,000	810,000	3,510,000

研究分野：土壌学、生態学、生物地球化学

科研費の分科・細目：環境学・環境動態解析

キーワード：土壌圏現象、自然現象観測予測、表面界面物性、土壌学、二酸化炭素排出削減、土壌炭素安定化、分解抑制

## 1. 研究開始当初の背景

地球規模で大気約2倍、植物バイオマスの約3倍の炭素を貯蔵する土壌プールが、地球温暖化に対してどの様に応答するかを予測することは、急務の課題である。しかし、土壌炭素プールが将来、CO<sub>2</sub>の放出源になるか吸収源になるかについて専門家の間で

ら意見が一致していない。事実この10年前後、Nature等の学術誌上で、土壌炭素プールの温度依存性についての相互に矛盾する実験結果やモデル予測が数多く発表され、論争となっている。その主な原因は、土壌有機物分解反応の規定因子、その中でも土壌鉱物学的な因子の影響が未解明であるため、それらの反

応がモデルに組み込まれていない点にあると考えられる。

## 2. 研究の目的

これまでの土壤炭素の研究では、土壤炭素の分解性と環境要因（温度・水分）あるいは化学性（e.g., 腐植形態）の関係が強調されていたが、本研究では土壤中に存在する異なる性質を持つ炭素プールを物理的に分離して評価することで、土壤炭素の分解および蓄積過程の解明を目指した。

具体的には、以下3つの研究目的を設定した。（1）分解に伴い残存する植物遺骸（リター）は土壤鉱物粒子あるいは鉄・アルミニウムイオン等の無機成分と結合してゆく点に着目し、比重分画法によってその分解過程の詳細を追う。

（2）無機成分の中で、土壤有機物の安定化への関与が高いとされる鉄・アルミニウムの貢献度を、異なる土壤タイプ試料を用いて定量的に評価する。

（3）水分が一定の条件下における、土壤有機物の分解（CO<sub>2</sub> 放出速度）およびその温暖化応答（つまり温度依存性）を支配する因子を解明する。

## 3. 研究の方法

（1）比重分画法の利点は、土壤中で起こる分解・蓄積プロセスにある程度対応した土壤有機物プールを非破壊的に分離して評価できる点にある。まず、比較的新鮮な植物リターは、無機成分との相互作用が進んでいないため、1.6 g cm<sup>-3</sup>の重液中の浮遊画分

(mineral-free light fraction: f-LF) として分離できる。次に、鉱物粒子の付着や団粒化による高比重化によって沈んでいたリター画分 (mineral-associated light fraction: m-LF) を、残土を超音波処理し団粒を破壊することで浮遊させて分離される。最後に、分解（腐植化）が進み鉱物粒子と強く結合した有機物は、最後まで沈んだ画分 (heavy fraction) として回収される。重液には、ポリタングステン酸ナトリウムを使用。超音波処理は校正後に出力を一定にして行った。

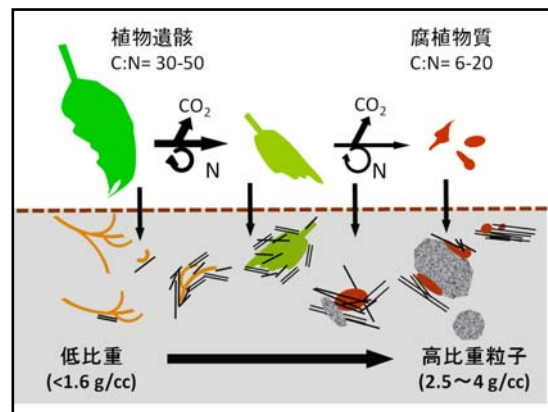
（2）異なる形態の鉄・アルミニウム鉱物および非晶質鉱物の定量に使われてきた選択溶解法を改良し、鉱物表面への吸着および鉄・アルミニウムイオンとの錯体形成・沈殿している有機物の定量化を行った。既存の選択溶解法の試薬の多くにはキレーターとして有機酸（炭素）が含まれており、鉱物の溶解に伴って溶出する炭素の定量は困難である。そこで、土壤有機物中の炭素：窒素比は

ある程度一定である事を利用し、溶出する炭素の定量を行った。選択溶解には、ジチオナイト、クエン酸・アスコルビン酸、シュウ酸、ピロリン酸、またコントロール抽出として重炭酸（pH10）を行い、溶出したN,Cの分析にはShimadzu TOC-V/TNを使用した。

（3）微細鉱物との結合により安定化している土壤有機物量が段階的に異なる一連の土壤試料（火山灰土壤）を用いて、鉱物による安定化が土壤有機物の分解速度とその温度応答性に及ぼす影響を、培養実験と比重分画法の組み合わせによって評価した。それぞれの土壤を15, 25, 35°Cで好気培養し、分解速度の温度依存性を求めた。また試料の一部を用い、土壤の理化学性、水溶性炭素、微生物バイオマス炭素の定量を行った。鉱物との結合による安定化作用を受けていない土壤有機物画分（低比重画分）の炭素化学構造は、<sup>13</sup>C-核磁気共鳴法によって非破壊に直接的に評価した。

## 4. 研究成果

（1）3つ以上のプールに比重分画を行った研究（熱帯から亜寒帯の土壤）をレビューしたところ、f-LFに比べてm-LFでは0-alkyl-Cが減少し aromatic-C そして、またはalkyl-Cが増加する事、f-LF, m-LFに比べてHFは一貫してC:N比が低い事、<sup>13</sup>C, <sup>14</sup>Cから推定される平均滞留時間は f-LF で最も短い、m-LF と HF の違いは不明瞭である事が分かった（論文発表済み）。



また、世界の幅広い土壤における有機物・鉱物の相互作用を連続比重分画手法によって調べる国際共同研究に参加し、この手法の有効性を確かめた（論文発表済み）。

（2）微細鉱物粒子との結合により安定化した土壤有機物の定量的評価：溶解度の異なる土壤鉱物を選択する手法は以前から存在するが、溶解試薬は炭素を含むため、それら

の鉱物と結合する有機物の量的情報はほとんど存在しない。そこで私は、土壤有機物中の炭素と窒素の存在比は狭い範囲に収束することに注目し、鉱物の選択溶解に伴い可溶化する窒素を定量化する手法を開発した。この手法を用いて主要な土壤タイプを調べたところ、ポドゾルと火山灰土壌では全窒素量の最大7割、そのほかの熱帯強風化土壌や沖積土では3割程度が、微細鉱物粒子（鉄/アルミニウム酸化物や非晶質鉱物）と結合して安定化していることを初めて明らかにした。この成果は、国際学術誌（Biogeochemistry）に投稿し、現在、審査中である。

（3）難分解な有機物であるほど分解に要する活性化エネルギーが大きいため、分解速度の温度依存性は高い（アレニウスの法則に従う）という理論的研究があるものの、大半の有機物が鉱物によって安定化されている実際の土壌において、この仮説の詳細の検証はなされていなかった。本研究は、土壌の全炭素ではなく、微生物がアクセスし易い低比重画分中の炭素の分子構造が、土壤有機物分解の温度依存性を支配することを（恐らく世界で初めて）明らかにした。試料数は少ないものの、ここで得られた知見は、陸域最大の炭素プールである土壤炭素の温暖化応答を予測するために必須の基礎情報になるだろう。この成果については、2010年秋の国際シンポジウムにおいて高い評価を得た。現在、国際誌に投稿準備中である。

## 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2件）

R. Wagai, L.M. Mayer, and K. Kitayama (2009) Nature of “occluded” low-density fraction in soil organic matter studies: a critical review. *Soil Science and Plant Nutrition* 55: 13-25.

Sollins, P., M.G. Kramer, C. Swanston, K. Lajtha, T. Filley, A.K. Aufdenkampe, R. Wagai, and R.D. Bowden (2009) Organic C and N stabilization across soils of contrasting mineralogy: further evidence from sequential density fractionation. *Biogeochemistry* 96:209-231.

〔学会発表〕（計7件）

R. Wagai, A. Kishimoto (Mo), S. Yonemura, Y. Shirato, S. Hiradate, M. Uchida ” How does the management-induced change in soil organic matter control carbon dynamics and

organo-mineral associations in a volcanic-ash soil in central Japan?” ASA-CSSA-SSSA International Annual Meeting, Nov 1-5, 2009. Pittsburgh, PA, USA

R. Wagai, A. Kishimoto (Mo), S. Yonemura, Y. Shirato. “Comparison of allophanic soils of contrasting carbon contents induced by agricultural management: organo-mineral interaction, carbon mineralization, and its temperature sensitivity”. 複合生態フィールド教育研究センター・第7回国際シンポジウム 2009.10.10 福島県仙台市東北大学キャンパス

和穎朗太, 白戸康人, 平舘俊太郎, 岸本(莫)文紅, 米村正一郎 「耕起と不耕起黒ぼく土壌の有機物特性：物理分画法による評価」ペドロジー学会 2010年大会 2010.3.20 熊本市

和穎朗太, 白戸康人, 近藤美由紀, 内田昌男, 平舘俊太郎 「土壌物理分画と同位体分析から見えてくる土壌有機物の分解と安定化プロセス」日本土壌肥料学会 2010.09.07 北海道大学

R. Wagai, Ayaka (Mo) Kishimoto, Seiichiro Yonemura, Yasuhito Shirato, Syuntaro Hiradate. Soil C dynamics and its temperature sensitivity along management-induced SOM gradient: Nature of Q10-substrate quality relationship. International Symposium on Soil organic matter stabilization and ecosystem functions 2010.09.19 Presqu’île de Giens, France

和穎朗太 無機成分との相互作用から見える土壌有機物の分解と蓄積過程第26回 日本腐植物質学会 2010.11.29 筑波大学

和穎朗太, 岸本(莫)文紅, 米村正一郎, 白戸康人, 平舘俊太郎 「土壌炭素プールの温暖化応答-微生物分解の温度依存性を規定する因子の解明」日本生態学会第58回大会 2011.3.9 札幌市

〔その他〕

ペドロジー学会 2010年度大会でポスター賞を受賞

## 6. 研究組織 (1) 研究代表者

和穎 朗太 (WAGAI ROTA)  
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  
研究者番号：80456748