

令和 6 年 6 月 4 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20H04322

研究課題名（和文）土壌有機炭素の蓄積・分解を制御するメカニズムの解明

研究課題名（英文）Controlling mechanism of accumulation and decomposition of soil organic carbon

研究代表者

渡邊 哲弘（Watanabe, Tetsuhiro）

京都大学・農学研究科・准教授

研究者番号：60456902

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 11,400,000円

研究成果の概要（和文）：土壌有機炭素の蓄積と分解を制御するメカニズムの解明を目的として研究を行った。まず、日本、タイ、インドネシア、タンザニア、カメルーンの広域土壌サンプルの鉱質成分の分析と、インドネシアとタンザニアの火山性土壌およびインドの非火山性土壌を用いた培養実験の分析から、有機炭素の蓄積に寄与する成分として活性Al・Feが極めて重要であることを明らかにした。さらに、インドネシアとカメルーンの火山帯を対象として、活性Al・Feの分布を制御する因子として、気温、降水、乾季の強さ、土壌の風化程度の影響を明らかにした。また、土壌微生物群集構造の規定因子と、土壌微生物が土壌有機炭素の分解に与える影響を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

土壌有機物中の炭素（土壌有機炭素）は、陸域最大の炭素プールであるとともに、土壌肥沃度に大きな影響を与える。しかし、土壌有機炭素の蓄積・分解を制御するメカニズムは未解明であり、そのため、土壌炭素蓄積量の予測には大きな不確実性が伴う。本研究は、熱帯から温帯、湿潤地から半乾燥地の幅広い土壌を対象として、土壌有機炭素の蓄積と分解を制御する因子として、活性Al・Feが重要であることを明らかにし、さらに、活性Al・Feの分布を決める要因を解明した。また、土壌微生物による有機炭素分解特性を明らかにした。本研究の成果は、今後の温暖化あるいは土地利用変化に伴う土壌有機炭素の分解や蓄積の正確な予測に寄与する。

研究成果の概要（英文）：This study aimed to elucidate the mechanisms controlling the accumulation and decomposition of soil organic carbon. Firstly, through the analysis of broad soil samples from Japan, Thailand, Indonesia, Tanzania, and Cameroon, as well as incubation experiments on volcanic soils from Indonesia and Tanzania and non-volcanic soils from India, it was revealed that active Al/Fe are extremely important components contributing to the accumulation and stabilization of organic carbon. Furthermore, focusing on volcanic regions in Indonesia and Cameroon, the study clarified the influence of factors such as temperature, precipitation, the intensity of the dry season, and the degree of soil weathering on the distribution of active Al/Fe. Additionally, the study elucidated the determining factors of soil microbial community structure and the impact of soil microorganisms on the decomposition of soil organic matter.

研究分野：土壌学

キーワード：土壌粘土鉱物 活性Al・Fe 同位体トレーサー法 熱分解分析 微生物群集構造解析

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

土壌有機物中の炭素(土壌有機炭素)は陸域最大の炭素プールであり、大気と植生を合わせたよりも多くの量を含み、その蓄積量の変化は大気中二酸化炭素の濃度に大きく影響する。例えば、人間活動による二酸化炭素の年間総排出量は、土壌の表層に蓄積する有機炭素量の0.4%にしか相当しない。しかし、土壌有機炭素の蓄積・分解を制御するメカニズムは未だ特定できておらず、そのため、土壌炭素蓄積量の予測は大きな不確実性を含んでいる。今後の温暖化あるいは土地利用変化に伴う土壌有機炭素の増減が正確に予測できていないことは、大きな問題である。

現在の土壌炭素動態モデルにおいては、有機炭素の蓄積・分解に影響する土壌特性として粘土含量が使われており、粘土鉱物と結合している有機炭素の分解性は一様だと仮定されている。しかし実際には、有機炭素と結合する粘土鉱物や有機炭素を分解する微生物によって大きく異なる。土壌中の有機炭素の動態の理解を進めるためには、その蓄積・分解を支配しているメカニズムを明らかにする必要がある。

2. 研究の目的

(1) 土壌有機炭素の蓄積と分解、さらに新たに投入した有機炭素の蓄積に寄与する因子を明らかにするため、以下の目的を設定した。非火山性地域の表層および次表層において、土壌中の有機炭素含量を制御する鉱質成分を明らかにし、また有機炭素含量と鉱質成分の量的関係を明らかにする。火山性土壌の表層及び次表層において、安定性の異なる土壌有機炭素プールを制御している因子を明らかにする。乾燥地の土壌において、新規に投入した有機炭素の安定化に寄与する因子を明らかにする。

(2) 多様な気候および地質条件下の土壌を対象として、有機炭素蓄積に重要である二次鉱物の分布を規定する因子を明らかにする。

(3) 土壌中の細菌類と真菌類の分布とその制御因子(気候、土壌特性等)を明らかにし、また、土壌中の有機炭素の分解に対して施用した有機物が与えるプライミング効果に、施用する有機物の質と窒素肥料が与える影響を明らかにする。

3. 研究の方法

(1) 日本、インドネシア、タイ、タンザニア、カメルーンの212地点から採取した土壌を、風化程度およびpHに基づいてグループ分けした。各グループごとに、単相関分析および単回帰分析により有機炭素と鉱質成分(活性Al・Fe:酸性シュウ酸抽出Al・Fe、粘土含量、遊離鉄含量等)の関係を調べた。

タンザニアとインドネシアの火山帯において、異なる標高帯の計24地点から表層(0-15cm)と次表層(20-30cm)から土壌を採取し、約1年間の培養実験を行った。土壌有機炭素の物理分画と、放出された二酸化炭素について易分解性、中間、難分解性の土壌有機炭素のプールを想定したモデルを適用し、それぞれのプールの大きさとその分解の速度定数を決定した。単相関分析、偏相関分析、パス解析を行い、それぞれのプールの大きさと分解の速度定数に寄与する因子を調べた。

インドのヒンドスターン平原の上流から下流にかけての12地点において採取した表層および次表層を用いて、¹³Cで標識したトウモロコシ植物体を添加した後に、約1年間の培養を行った。培養中に放出された二酸化炭素を測定し、また土壌中に残存した炭素を遊離炭素、団粒吸蔵態炭素、鉱物結合態炭素に分けて測定した。さらに、培養後の土壌について熱分解ガスクロマトグラフ質量分析を行い、有機物の分子組成を調べた。

(2) インドネシア火山帯(年平均気温:13-27°C、年平均降水量:1910-3950mm)の土壌について、土壌二次鉱物を選択溶解法、X線回折および示差熱分析によって調べた。また、土壌の水抽出液の組成に基づいて、各種二次鉱物の熱力学的安定性を評価した。

カメルーン火山帯の26地点(年平均気温:14-27°C、年平均降水量:1520-3130mm)から採取した土壌について、土壌二次鉱物を選択溶解法、X線回折および示差熱分析によって調べた。

(3) タンザニアおよびインドネシアの火山帯の異なる標高に位置する24地点から、表層および次表層を採取し、細菌類および真菌類の存在量と組成をリアルタイムPCRと16S/ITSシーケンシングによって調べた。また、地理的な距離、気候、植生、有機炭素の分解性、土壌特性がそれらに与える影響を調べた。

有機物の施用が、土壤有機炭素の蓄積と、既存の土壤有機炭素の分解に対するプライミング効果に与える影響を調べるために、火山性土壌および砂質土壌を用い、 ^{13}C で標識したトウモロコシの地上部および地下部の施用（土壌 1 kg あたり炭素 3 g）と、窒素肥料の施用（土壌 1 kg あたり窒素 60 mg）の有無を組み合わせた処理を行った後に、110 日間の培養を行った。

4. 研究成果

(1) 次表層土壌において、活性 Al・Fe が最も強く土壤有機炭素含量と相関した ($r=0.79-0.86$) また、活性 Al・Fe と有機炭素の比は全てのグループで同程度だった ($3-5 \text{ mol mol}^{-1}$)。一方で、粘土含量および遊離鉄含量と有機炭素含量の間には強い相関も一貫した量的関係もなかった。表層土壌においても、活性 Al・Fe と土壤有機炭素含量の間には、よい相関関係があった ($r=0.45-0.56$)。また、炭素の Al・Fe に対する高い比は、リターの投入が多いためと考えられた。以上の結果より、活性 Al・Fe が、土壤の風化程度や pH に関わらず有機炭素蓄積に重要であり、またその比が表層および次表層で土壌タイプに関わらず類似していることが示された。

表層と次表層の土壌において、中間の分解安定性をもつ有機炭素プールは、それぞれ全有機炭素の 51%と 60%を占め、有機炭素全体の安定性に強く影響していた。表層と比べ次表層では、より高い割合の有機炭素が中間プールとして存在した。中間プールおよび難分解性プールの大きさは、活性 Al・Fe と強く相関しており、粘土含量や pH よりも活性 Al・Fe と有機炭素の複合体形成がそれらのプールの大きさを強く制御していた。温度 ($12-26^\circ\text{C}$) は各プールの大きさと負に相関し、低温が有機炭素の分解を遅延するためだと考えられた。温度の影響は、表層では易分解性有機炭素プールへの影響が強く、難分解および中間プールへの影響は小さかった。一方、次表層では、温度がより強く難分解性プールに影響し、微生物可給性の窒素が易分解性プールに影響を与えていた。表層では、余剰降水量が易分解性プールおよび中間プールの分解の速度定数に影響していた。次表層では、余剰降水量が易分解性プール、活性 Al・Fe が中間プールの安定性に寄与していた。以上より、気候因子が主として易分解性炭素プールに影響しており、一方で土壤の地化学的特性はより難分解のプールに影響し、有機炭素全体の量や分解性を制御していると考えられた。また、次表層の土壤有機炭素はより気候に対して敏感に反応すると考えられた。

添加したトウモロコシ植物体の $48 \pm 7\%$ が無機化され、その多くは最初の 70 日間で起きた。活性 Al・Fe、特に活性 Al が団粒化を促し、トウモロコシ植物体の分解を阻害していると考えられた。一方で、高い炭素含量はトウモロコシ植物体の分解を促進した。トウモロコシ植物体に特有の化合物（ネオフィタジエン等）は培養後に検出されず、添加したトウモロコシ植物体の分解が進んでいることを示していた。トウモロコシ植物体の添加は、脂肪酸の相対量を増やすとともに窒素含有化合物の相対量を減らすなど、微生物が容易に利用できる基質を増やした。大部分のトウモロコシ植物体由来の炭素は安定した画分、すなわち鉱物結合体炭素（残存した炭素の $77 \pm 15\%$ ）と団粒吸蔵態炭素（残存した炭素の $8 \pm 4\%$ ）として存在した。粘土画分は鉱物結合体炭素としての安定化に寄与していた（パス係数： $\beta = 0.81^{**}$ ）。さらに、団粒吸蔵態炭素と活性 Al・Fe および粘土・シルト含量の間に正の相関があり、活性 Al・Fe 含量が低い ($<14 \text{ cmol kg}^{-1}$) ことから、活性 Al・Fe が粘土とシルトを接着することで有機炭素を団粒吸蔵態炭素として蓄積した ($\beta = 0.62^{***}$) と考えられた。以上より、中性～アルカリ性の土壌においても活性 Al・Fe が土壌の団粒化を促進し、添加した植物体の炭素の蓄積に寄与すると考えられた。

(2) 気候及び土壌化学特性（全 Si、Fe、K 含量等）について主成分分析を行い、温度、乾季の強さ、母材因子を二次鉱物の分布を制御する因子として抽出した。活性 Al・Fe は温度因子と負に相関したことから、低温が低結晶性鉱物と有機 Al・Fe 複合体の生成と安定性に寄与すると考えられた。特に 21°C 以下では、火山灰土壌の基準の 1 つである活性 Al・Fe が 20 g kg^{-1} 以上であった。最も乾燥する 3 ヶ月間の余剰降水量で表される乾季の乾燥の強さは、土壤水抽出液中のケイ酸活動度と関係していた。強い乾燥によってもたらされる高いケイ酸活動度は、高い Si/Al 比を持つ低結晶性鉱物（高 Si アロフェン）およびスメクタイトの分布と一致していた。一方で、乾燥が弱い土壌で見られた低いケイ酸活動度は、低い Si/Al 比を持つ低結晶性鉱物（高 Al アロフェン）とギブサイトの生成を促進していた。母材の影響は、苦鉄質母材から生成した土壌における高い遊離鉄含量と、珪長質母材から生成した土壌における雲母およびその風化物である水酸化 Al を層間にもつパーミキュライトの存在に見られた。以上のように、温度と季節的な乾燥が二次鉱物の分布に強い影響を持つことを示した。

気候および土壌化学特性（風化指数等）についての主成分分析を行い、温度・乾燥因子、風化因子、降水因子を抽出した。有機 Al・Fe 複合体は温度・乾燥因子と負に相関しており、一方で、低結晶性鉱物（アロフェン様鉱物および低結晶 Al・Fe 鉱物）は風化因子と負に相関した。降水は、活性 Al、活性 Fe、アロフェン様鉱物と正に相関した。以上の結果は、低温が有機 Al・Fe 複合体の生成と安定性に寄与する一方、風化程度が低結晶性鉱物により重要であることを示している。さらに、風化の進行と乾燥した気候は、低結晶性鉱物の結晶性鉱物への変化を促進す

ると考えられた。アロフェン様鉱物 (Si_0) は、風化程度の低い土壌でのみ高い含量で存在した (Si_0 : $9\text{--}43 \text{ g kg}^{-1}$) より風化が進んだ土壌におけるアロフェン様鉱物は含量が低い (Si_0 : $2\text{--}7 \text{ g kg}^{-1}$)、高い有機 Al・Fe 複合体と同時に見られた。このことは、火山性母材およびアロフェン様鉱物が有機 Al・Fe 複合体の重要な給源となっていることを示している。以上より、気候と風化程度のそれぞれが活性 Al・Fe の分布に与える影響を明らかにした。

(3) 有機物の分解程度が低く有機炭素および窒素が豊富な土壌において、細菌類は真菌類に対して、存在量が大きくおよび多様性が高かった。表層と次表層を比較した場合、細菌類に比べて真菌類の存在量および多様性の变化は小さく、その基質に対する適応性の広さを示していると考えられた。インドネシアジャワ島の細菌類および真菌類の群集構造は、インドネシアスマトラ島よりもタンザニアキリマンジャロ山の南東斜面に近く、地理的な距離が微生物群集構造に与える影響は小さいと考えられた。細菌類および真菌類の群集構造に対して、温度条件よりも水分条件がより強い影響を、直接的あるいは土壌特性や植生を通じて間接的に持つことが統計モデルにより示された。以上より、細菌類の存在量と群集構造は、土壌の pH、活性 Al・Fe および有機炭素の分解しやすさに制御されており、一方真菌類の群集構造は pH が主に決めており、植生の影響が土壌特性の影響よりも強かった。結論として、気候、特に余剰降水量が細菌類と真菌類の分布を決め土壌微生物の多様性を予測する主要な因子であることが示された。

培養開始後 110 日目において、有機物施用による土壌有機炭素分解のプライミング効果は、地下部植物体を施用した土壌において地上部植物体を施用した土壌よりも大きかった。窒素肥料の添加の効果は、火山灰土壌、砂質土壌ともに、地上部植物体と地下部植物体を施用したサンプル間で異なった。地下部植物体の添加に対しては、窒素肥料は窒素マイニングを減少させたため、プライミング効果が減少しより大きな炭素蓄積につながった。一方で、共異化によって起きていると考えられた地上部植物体の添加に伴うプライミング効果に対して、窒素肥料はほとんど影響を示さなかった。結論として、土壌に添加する植物体の質と窒素施肥は、土壌有機炭素分解に対するプライミング効果に影響を与え、窒素施肥は地下部植物体のように分解しにくい基質を添加するときに、プライミング効果を小さくすることで、炭素蓄積を促進することが明らかとなった。

以上のように、本研究では、有機炭素の分解と蓄積に対して、活性 Al・Fe が重要な因子であることを示すとともに、その分布を規定する要因を明らかにし、また、土壌微生物が有機炭素蓄積に与える影響を明らかにした。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計18件（うち査読付論文 18件／うち国際共著 13件／うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Lyu Han, Watanabe Tetsuhiro, Ota Yoriko, Hartono Arief, Anda Markus, Dahlgren Randy A., Funakawa Shinya	4. 巻 425
2. 論文標題 Climatic controls on soil clay mineral distributions in humid volcanic regions of Sumatra and Java, Indonesia	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Geoderma	6. 最初と最後の頁 116058 ~ 116058
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.geoderma.2022.116058	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Watanabe Tetsuhiro, Ueda Shiori, Nakao Atsushi, Ze Antoine Mvondo, Dahlgren Randy A., Funakawa Shinya	4. 巻 430
2. 論文標題 Disentangling the pedogenic factors controlling active Al and Fe concentrations in soils of the Cameroon volcanic line	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Geoderma	6. 最初と最後の頁 116289 ~ 116289
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.geoderma.2022.116289	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Anda Markus, Purwanto Setiyo, Dariah Ai, Watanabe Tetsuhiro, Dahlgren Randy A.	4. 巻 433
2. 論文標題 A 200-year snapshot of soil development in pyroclastic deposits derived from the 1815 super explosive eruption of Mount Tambora in Indonesia	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Geoderma	6. 最初と最後の頁 116454 ~ 116454
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.geoderma.2023.116454	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Sawada Kozue, Kunito Takashi, Watanabe Tetsuhiro, Kitagawa Natsuko, Lyu Han, Nguyen Ho Lam, Toyota Koki, Funakawa Shinya	4. 巻 69
2. 論文標題 Positive priming effects through microbial P-mining in tropical forest soils under N ₂ -fixing trees	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Soil Science and Plant Nutrition	6. 最初と最後の頁 209 ~ 214
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/00380768.2023.2199777	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Zhong Ruohan, Lyu Han, Kumari Monika, Mishra Ajay Kumar, Jat M.L., Dahlgren Randy A., Funakawa Shinya, Watanabe Tetsuhiro	4. 巻 440
2. 論文標題 Contributions of fine mineral particles and active Al/Fe to stabilization of plant material in neutral-to-alkaline soils of Indo-Gangetic Plain	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Geoderma	6. 最初と最後の頁 116709 ~ 116709
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.geoderma.2023.116709	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Fukui Hirokazu, Matsushi Yuki, WatanabeTetsuhiro, Lyu Han, Titao Shinji, Kobayashi Yasuhiro, Shinoda Keiji	4. 巻 235
2. 論文標題 Redox-controlled differential weathering of andesitic pumice: Possible catalytic effects of ferrous/ferric iron on rapid halloysite accumulation in a Holocene tephra layer	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 CATENA	6. 最初と最後の頁 107685 ~ 107685
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.catena.2023.107685	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Lyu Han, Sawada Kozue, Zhong Ruohan, Kilasara Method, Hartono Arief, Dahlgren Randy A., Funakawa Shinya, Watanabe Tetsuhiro	4. 巻 239
2. 論文標題 Disentangling divergent factors controlling bacterial and fungal communities in topsoil and subsoil horizons across environmental gradients of tropical volcanic regions	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 CATENA	6. 最初と最後の頁 107907 ~ 107907
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.catena.2024.107907	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Watanabe Tetsuhiro, Harsh James B., Wagai Rota	4. 巻 4
2. 論文標題 Short-range ordered aluminosilicates	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Encyclopedia of Soils in the Environment, 2nd Edition	6. 最初と最後の頁 121 ~ 134
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/B978-0-12-822974-3.00223-8	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Ashida K., Watanabe T., Urayama S., Hartono A., Kilasara M., Mvondo Ze A. D., Nakao A., Sugihara S., Funakawa S.	4. 巻 155
2. 論文標題 Quantitative relationship between organic carbon and geochemical properties in tropical surface and subsurface soils	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Biogeochemistry	6. 最初と最後の頁 77~95
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10533-021-00813-8	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 沢田 こずえ, 渡邊 哲弘, 舟川 晋也	4. 巻 75
2. 論文標題 「ミニマム・ロスの農業」の規範となる自然生態系および 伝統的農業生態系土壌における炭素・養分循環の解明	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 土と微生物	6. 最初と最後の頁 52~59
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.18946/jssm.75.2_52	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Prueksapong, A., Shinjo, H., Watanabe, T., Funakawa, S.	4. 巻 65
2. 論文標題 Using land-use, landform, and soil order classifications to determine soil properties in northeast Thailand	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Tropical Agriculture and Development	6. 最初と最後の頁 110-121
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11248/jsta.65.110	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Lyu, H., Watanabe, T., Sugimoto, S., Kilasara, M., Hartono, A., Funakawa, S.	4. 巻 67
2. 論文標題 Control of climate on soil charge characteristics through organic matter and clay mineral distributions in volcanic soils of Mt. Kilimanjaro, Tanzania	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Soil Science and Plant Nutrition	6. 最初と最後の頁 288-300
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/00380768.2021.1883998	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Lyu, H., Watanabe, T., Zhong, R., Kilasara, M., Hartono, A., Funakawa, S.	4. 巻 769
2. 論文標題 Factors controlling sizes and stabilities of subsoil organic carbon pools in tropical volcanic soils	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Science of the Total Environment	6. 最初と最後の頁 144842
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.scitotenv.2020.144842	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Lyu, H., Watanabe, T., Kilasara, M., Hartono, A., Funakawa, S.	4. 巻 761
2. 論文標題 Soil organic carbon pools controlled by climate and geochemistry in tropical volcanic regions	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Science of the Total Environment	6. 最初と最後の頁 143277
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.scitotenv.2020.143277	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Ma, Q., Watanabe, T., Zheng, J., Funakawa, S.	4. 巻 21
2. 論文標題 Interactive effects of crop residue quality and nitrogen fertilization on soil organic carbon priming in agricultural soils	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Soils and Sediments	6. 最初と最後の頁 83-95
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11368-020-02797-8	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ma, Q., Zheng, J., Watanabe, T., Funakawa, S.	4. 巻 67
2. 論文標題 Microbial immobilization of ammonium and nitrate fertilizers induced by starch and cellulose in an agricultural soil	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Soil Science and Plant Nutrition	6. 最初と最後の頁 89-96
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/00380768.2020.1843072	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計18件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 7件）

1. 発表者名 Kitagawa, N., Watanabe, T., Sawada, K., Kunito, T., Funakawa, S.
2. 発表標題 Sorptions to clay mineral reduces alanine mineralization in volcanic soils
3. 学会等名 8th International Symposium on Soil Organic Matter (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Watanabe, T., Ueda, S., Nakao, A., Mvondo Ze, A., Dahlgren, R., Funakawa, S.
2. 発表標題 Disentangling the pedogenic factors controlling active Al and Fe concentrations in soils of the Cameroon volcanic line
3. 学会等名 22nd World Congress of Soil Science (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kitagawa, N., Watanabe, T., Sawada, K., Kunito, T., Funakawa, S.
2. 発表標題 Sorptions and desorption controls on alanine bioavailability in volcanic soils
3. 学会等名 European Geosciences Union General Assembly (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 沢田こずえ, 國頭恭, 渡邊哲弘, 北川夏子, Han Lyu, Lam Nguyen Ho, 豊田剛己, 舟川晋也
2. 発表標題 熱帯林土壌におけるリンマイニングによる正のプライミング効果
3. 学会等名 日本土壌肥料学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ruohan Zhong, Han Lyu, 渡邊哲弘, Monika Kumari, M.L. Jat, 舟川晋也
2. 発表標題 Effects of geochemical properties on organic carbon stabilization in soils of Indo-Gangetic Plain
3. 学会等名 日本土壤肥料学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 北川夏子, 渡邊哲弘, 沢田こずえ, 國頭恭, 舟川晋也
2. 発表標題 火山灰土壌における粘土鉱物への吸着によるアラニン無機化の抑制
3. 学会等名 日本土壤肥料学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Han Lyu, 渡邊哲弘, Ruohan Zhong, 舟川晋也
2. 発表標題 Understanding stabilization mechanism of soil organic matter by molecular composition analysis
3. 学会等名 日本土壤肥料学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Han Lyu, Kozue Sawada, Tetsuhiro Watanabe, Arief Hartono, Method Kilasara, Shinya Funakawa
2. 発表標題 Impact of Climate, Vegetation, and Soil Properties on Soil Microbial Communities in Tropical Volcanic Regions
3. 学会等名 日本土壤肥料学会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Ruohan Zhong, Han Lyu, Monika Kumari, M. L. Jat, Randy A Dahlgren, Shinya Funakawa , Tetsuhiro Watanabe
2. 発表標題 Stabilization of Plant Material in Soils of the Indo-Gangetic Plain: Role of Fine Mineral Particles and Active Al/Fe
3. 学会等名 日本土壤肥料学会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 柵木香奈穂, 眞家永光, Lyu Han, 渡邊哲弘, 平野恭弘, 林亮太, 二村杏太郎, 谷川東子
2. 発表標題 混交林と単一樹種林ではリター分解で生成される有機物の特性は異なるのか？
3. 学会等名 日本森林学会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Watanabe, T., Lyu, H., Funakawa, S.
2. 発表標題 pH, silicic acid activity, and weathering index link soil forming factors and clay mineral composition
3. 学会等名 ASA, CSSA, SSSA International Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Lyu, H., Watanabe, T., Zhong, R., Kilasara, M., Hartono, A., Funakawa, S.
2. 発表標題 Effect of climate and geochemistry on organic carbon pools in top and subsoils of tropical volcanic regions
3. 学会等名 European Geosciences Union General Assembly (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Zhong, R., Watanabe, T., Lyu, H., Kumari, M., Jat, M. L., Funakawa, S.
2. 発表標題 Effects of geochemistry on decomposition and stabilization of plant residue in soils of Indo-Gangetic Plain
3. 学会等名 日本ペドロロジー学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 錦ありさ, 渡邊哲弘, 久住亮介, 関真由子, 杉原創, Muniandi Jegadeesan, 舟川晋也
2. 発表標題 低炭素含量のインド土壌においてバイオ炭と非晶質水酸化アルミニウム添加が有機炭素の蓄積に与える影響
3. 学会等名 日本ペドロロジー学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 渡邊哲弘, 杉本心之助, Han Lyu, Method Kilasara, 舟川晋也
2. 発表標題 キリマンジャロ山における土壌の生成と荷電特性
3. 学会等名 日本土壌肥料学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Han Lyu, 渡邊哲弘, 舟川晋也, Method Kilasara, Arief Hartono
2. 発表標題 Controlling factors of soil organic carbon pools in tropical volcanic regions
3. 学会等名 日本土壌肥料学会
4. 発表年 2020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	沢田 こそえ (Sawada Kozue) (60795285)	名古屋大学・生命農学研究科・特任助教 (13901)	
研究 分担者	柴田 誠 (Shibata Makoto) (40799607)	京都大学・地球環境学堂・助教 (14301)	

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			
米国	University of California, Davis			
インドネシア	IPB University			
タンザニア	Sokoine University of Agriculture			
カメルーン	Universite de Dschang			
インド	ICRISAT	CYMMYT		