

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 7 月 9 日現在

機関番号：82110

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2019

課題番号：18K14497

研究課題名(和文) 地球温暖化に伴う降水パターンと気温の変化は火山灰土壌の有機物分解を促進するのか？

研究課題名(英文) Do the changes in rainfall pattern and temperature under global warming accelerate soil organic matter decomposition of volcanic ash soil?

研究代表者

永野 博彦 (Nagano, Hirohiko)

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構・原子力科学研究部門 原子力科学研究所 原子力基礎工学研究センター・博士研究員

研究者番号：40758918

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、土壌培養実験を通じ、仮説「地球温暖化の進行で危惧される降水パターンの変化と気温の上昇は、火山灰土壌の有機物分解と二酸化炭素放出を増大させ温暖化進行を加速させる」を検証した。茨城県の落葉広葉樹林で採取した理化学性の異なる2種類の火山灰土壌を実験に使用した。土壌培養実験では、いずれの火山灰土壌においても、降水パターンの変化に伴う土壌水分の変動増大を模擬した条件での二酸化炭素放出が水分一定条件での放出に対し大きく増大したことが示された。さらに、この水分変動増大による土壌の二酸化炭素放出増大は、地球温暖化で一般に予測されている2℃の温度上昇を考慮しても重要であることが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

人間活動の10倍規模で二酸化炭素を放出する陸域生態系土壌の環境変化に対する応答を正しく理解することは、地球温暖化の進行を正しく予測するために不可欠である。本研究で得られた成果により、日本に広く分布し炭素隔離能が高いと考えられてきた火山灰土壌であっても、地球温暖化で危惧される降水パターンの変化と気温の上昇により、炭素隔離機能が低下し二酸化炭素放出が増大する可能性が示された。このことは、将来の地球温暖化環境における土壌の二酸化炭素放出動態を正確に予測するうえで、水分変動増大影響の組み込みが必要であることを示唆している。今後、本研究が提示した可能性をより多くの土壌で検証していくことが重要である。

研究成果の概要(英文)：In this study, we examined the hypothesis that the possible changes in precipitation patterns and temperature under global warming accelerate organic matter decomposition and carbon dioxide release of volcanic ash soils, through the soil incubation experiments. Two volcanic ash soils with different physicochemical properties were collected in a deciduous broad-leaved forest in Ibaraki, and were used for the experiment. The incubation experiments showed that the carbon dioxide release from both soils under the dry-wet cycle condition, which simulated the increased soil moisture fluctuation by the precipitation pattern changes, was much greater than that under the continuously constant moisture condition. Furthermore, it was suggested that the observed increase in soil carbon dioxide release due to the increased water fluctuation is important even considering the temperature rise of 2 °C, which is generally predicted for global warming.

研究分野：生物地球科学

キーワード：土壌炭素 異常気象 火山灰土壌 培養実験 同位体分析 気候変動

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

地球温暖化は気温を上昇させるだけでなく、豪雨や干ばつなど異常気象の頻発化を引き起こし、降水パターンを大きく変化させる、と危惧されている。降水パターンの大きな変化は、年間の総降水量には大きく影響しないまま、土壌水分の季節変動を増大させる可能性が高い。土壌水分の変動増大は、人間活動の 10 倍規模で CO₂ を放出する陸域生態系の土壌に大きく影響し、大気 CO₂ 濃度の上昇および地球温暖化の進行をも大きく左右する可能性がある。

土壌 CO₂ 放出の主要経路である土壌有機物分解は、微生物により駆動され、環境変化に対し敏感に反応することが知られている。特に、土壌有機物分解および土壌 CO₂ 放出は、温度上昇に対し指数関数的に増加することが知られている。この指数関数的な関係では、温度上昇+10 °C に対するある土壌の CO₂ 放出速度上昇率 (Q₁₀) は元の温度に依らず一定である。土壌 CO₂ 放出の一般的な Q₁₀ 値としては 2 が知られており、地球温暖化の将来予測で使用される CO₂ 動態モデルにおいても重要なパラメータの一つである。しかし、Q₁₀ は他の環境変化により変化する可能性が指摘されている。すなわち、地球温暖化に伴う降水パターンと気温の変化が土壌 CO₂ 放出に及ぼす影響を明らかにするためには、(1) 降水パターンの変化により土壌 CO₂ 放出がどのくらい変化するのか、および (2) Q₁₀ はどのくらい変化するのか、を明らかにする必要がある。

特に、降水パターンと気温の変化が火山灰土壌の CO₂ 放出に及ぼす影響を明らかにすることが、今後の地球温暖化の進行を正しく予測するための鍵である。火山灰土壌の分布面積は、世界的には 1% 弱に過ぎないが、日本では国土の 7 割を占める森林に広く分布している。火山灰土壌は、その特徴的な土壌理化学特性や団粒構造により、土壌有機物を微生物分解から長期間隔離する能力が高いことが知られている。実際、火山灰土壌の平均炭素濃度は世界の土壌の平均炭素濃度よりも 1.5 倍高いといわれている。その一方で、温暖化に伴う環境変化によって火山灰土壌の炭素隔離機能が大きく低下した場合、有機物分解と CO₂ 放出が加速され、全国規模での CO₂ 放出量を大きく増大させ、温暖化の進行を加速させる可能性があるが、ほとんど検証されていない。さらに、降水パターンの変化に伴う水分変動増大がどのようなメカニズムで火山灰土壌の炭素隔離機能を減少させ土壌有機物を分解可能にするのかは、ほとんど明らかになっていない。

2. 研究の目的

仮説「降水パターンの変化と気温の上昇は、火山灰土壌の有機物分解を爆発的に増大させることで温暖化をさらに加速させる」を検証することを本研究の目的とした。さらに、水分変動増大により分解された土壌有機物の特性を放出された CO₂ の炭素同位体比測定などで推定し、水分変動増大による土壌炭素隔離変化のメカニズム解明を試みることも目的とした。

3. 研究の方法

まず、茨城県北茨城市の落葉広葉樹林で採取した理化学性の異なる 2 種類の火山灰土壌 A および B を供試土壌に選定した。また培養中の土壌乾燥速度を適切に制御するための予備実験を繰り返し行い、約 4 週間で乾燥と再湿潤を 1 回繰り返す処理 (Dry-Wet 処理) と乾燥・再湿潤を全く行わず一定の水分量が継続する処理 (水分一定処理) で培養期間中の平均水分量が等しくできる実験系を確立した (図 1)。

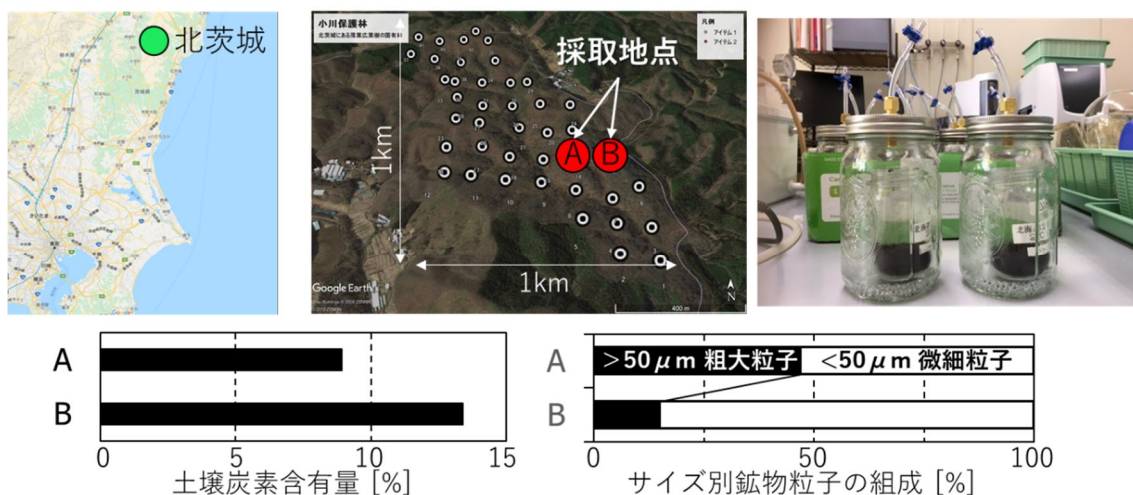


図 1. 使用した火山灰土壌の採取場所と培養の様子 (上) および代表的土壌理化学性 (下)

1 年目は、確立した培養実験系および火山灰土壌 A と B を用いて、20 における CO₂ 放出速度を水分一定処理と Dry-Wet 処理で比較する 120 日間の培養実験を行った。培養期間中、CO₂ 放出

速度の時系列変化をとらえるため、CO₂濃度の変化をガスクロマトグラフィーによって定期的に測定した。また放出された CO₂ の起源となった土壌有機物の由来を明らかにするため、放出された CO₂ の安定炭素同位体比 ($\delta^{13}\text{C}-\text{CO}_2$) 測定も行った。

2 年目は、培養実験系と火山灰土壌 A を用いて、CO₂ 放出速度の Q₁₀ を水分一定処理と Dry-Wet 処理で比較する 112 日間の培養実験を行った。本実験では、20 と 30、2 種類の温度条件を設定した。培養中、1 年目の培養実験と同様に、CO₂ 放出速度を継続的に測定した。30 °C の CO₂ 放出速度に対する 20 °C の CO₂ 放出速度の比を Q₁₀ とした。また、培養開始前後で各土壌から DNA を抽出し、細菌 16S rRNA と糸状菌 ITS を対象としたアンプリコンサンプルを調整し、大量 DNA 塩基配列解析装置で分析することで、土壌微生物群集構造を Dry-Wet 処理と水分一定処理で比較した。また、1 年目に実施した培養実験で回収した CO₂ サンプルの一部について、加速器質量分析計による放射性炭素同位体比 ($\Delta^{14}\text{C}-\text{CO}_2$) 測定を実施し、培養中に分解された土壌有機物の滞留時間についても推定を試みた。

4. 研究成果

1 年目の培養実験では、培養期間中の平均水分量が同じであっても Dry-Wet 処理の CO₂ 放出は水分一定処理よりも明らかに多くなることが分かった (図 2)。Dry-Wet 処理における CO₂ 放出速度は、水分変動増減に間いもない大きく変動し、培養期間中の平均水分量は 33% になった。Dry-Wet 処理の 122 日間における平均 CO₂ 放出速度を、水分量 33% 一定で培養したときの平均放出速度に対して比較すると、日本の森林土壌で最も分布面積の広い褐色森林度に近い性質をもった火山灰土壌 A では 18%、典型的な黒ボク土に近い火山灰土壌 B では 49% 大きかった。

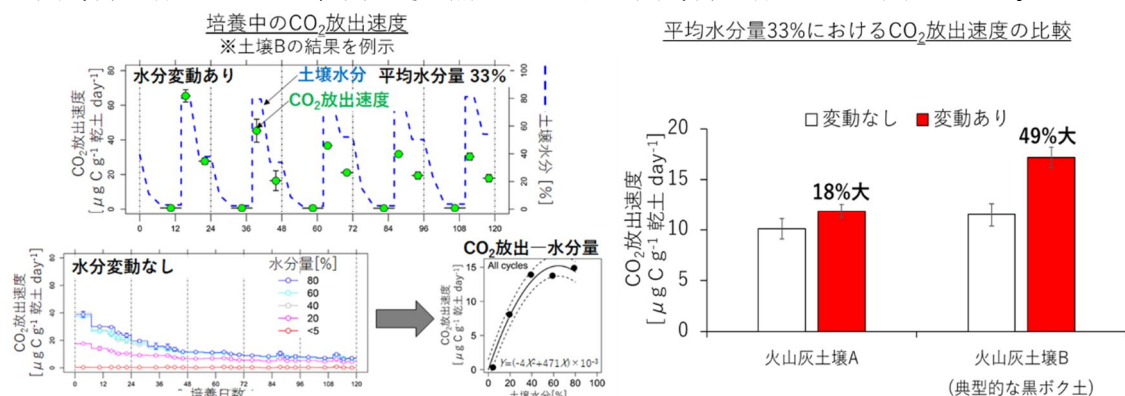


図 2. 培養 120 日間における CO₂ 放出速度の時系列変化 (右) および平均 CO₂ 放出速度の Dry-Wet 処理と水分一定処理での比較

また、 $\delta^{13}\text{C}-\text{CO}_2$ は Dry-Wet 処理と水分一定処理で異なっており、Dry-Wet 処理と水分一定処理では分解された有機物の理化学性や滞留時間が異なっている可能性が示唆された (図 3)。いずれの火山灰土壌においても、Dry-Wet 処理での $\delta^{13}\text{C}-\text{CO}_2$ は水分一定処理での $\delta^{13}\text{C}-\text{CO}_2$ よりも 1% 程度高かった。調査地における植生の歴史的变化を考慮すると、Dry-Wet 処理条件では生成年代が古く土壌に長期間滞留していた有機物の分解が促進された可能性が示唆された。また、土壌有機物は分解作用を受ける過程で $\delta^{13}\text{C}$ 値が上昇することが知られており、Dry-Wet 処理条件ではより多くの微生物分解作用を受けた有機物の分解が促進された可能性も示唆された。回収した CO₂ サンプルの一部について測定した $\Delta^{14}\text{C}-\text{CO}_2$ は、水分一定条件よりも Dry-Wet 処理で 10% 程度低く、 $\delta^{13}\text{C}-\text{CO}_2$ の場合と同様、Dry-Wet 処理と水分一定処理では、分解された有機物の平均滞留時間が異なっていた可能性が示唆された。

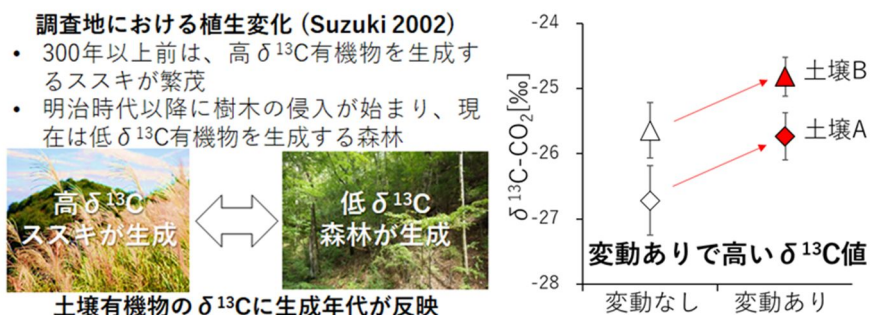


図 3. 調査地における歴史的な植生変化とそれに伴う土壌有機物の ^{13}C 変化 (左) および培養 120 日間における $^{13}\text{C}-\text{CO}_2$ の Dry-Wet 処理と水分一定処理での比較 (右)

2年目に実施した火山灰土壌 A の培養実験では、30 °C の CO₂ 放出速度に対する 20 °C の放出速度の比 (Q₁₀) は、Dry-Wet 処理で 1.5、水分一定処理で 1.7 となった (図 4)。これらの値を、温暖化将来予測における一般的な温度上昇である +2 °C に対する CO₂ 放出速度増加率 (Q₂) に換算すると、Dry-Wet 処理・水分一定処理ともに 1.1 となった。すなわち、1年目の 20 °C における培養実験で明らかになった「Dry-Wet 処理による土壌 CO₂ 放出の明らかな増大」とは対照的に、Dry-Wet 処理は土壌 CO₂ 放出の実際的な温度依存性に対し大きく影響しない可能性が示された。

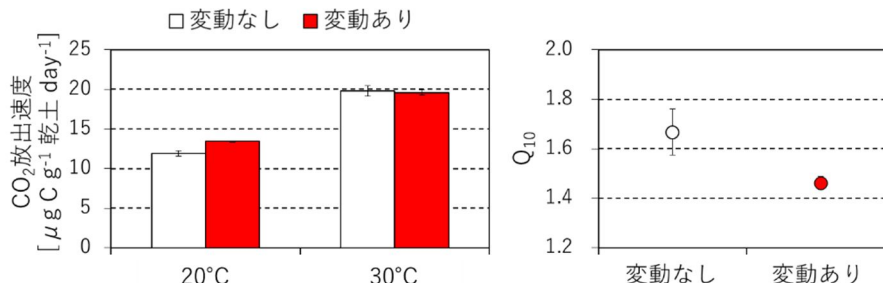


図 4. 培養 112 日間における平均 CO₂ 放出速度 (左) および Q₁₀ (右) の Dry-Wet 処理と水分一定処理での比較

培養実験に使用した各土壌から抽出した DNA の分析に基づく、水分一定処理と Dry-Wet 処理での微生物群集構造の明らかな違いは観察されなかった (図 5)。糸状菌については、20 °C において 10% 未満だった未同定種 (Unidentified) の存在割合が 30 °C の培養では 30% 程度まで増加する一方、20 °C において 30% 程度だった Ascomycota 門の存在割合が 30 °C の培養では 10% 程度まで減少していた。細菌については、20 °C において 30% 程度だった Firmicutes 門の存在割合が 30 °C の培養では 50% 程度まで増加する一方、20 °C において 30% 程度だった Proteobacteria 門の存在割合が 30 °C の培養では 20% 程度まで減少していた。このような培養温度の違いによる群集構造の違いは観察されたが、水分一定処理と Dry-Wet 処理との間での群集構造の明らかな違いは観察されず、今後のより詳細な検証が必要であると考えられた。

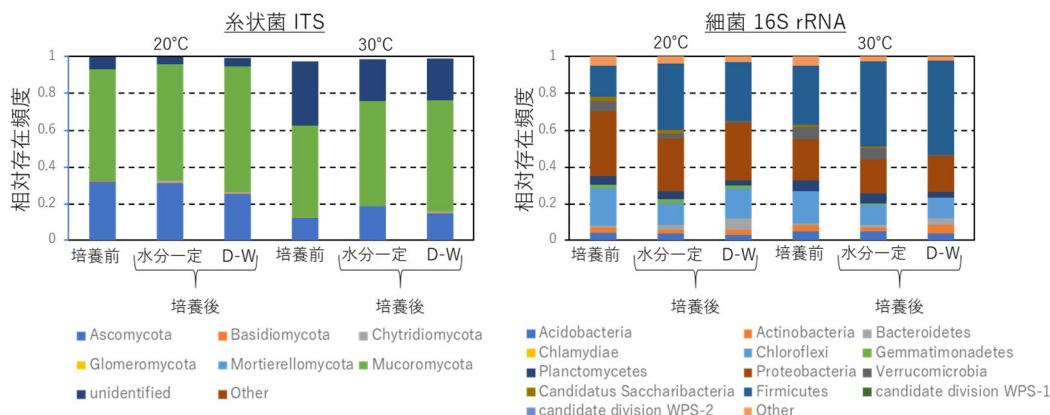


図 5. 培養実験に使用した各土壌から抽出した DNA に含まれていた糸状菌 ITS (左) および細菌 16S rRNA (右) の分析に基づく土壌微生物群集構造の Dry-Wet 処理と水分一定処理での比較

本研究を通じ実施した土壌培養実験によって、日本に広く分布し炭素隔離能が高いと考えられてきた火山灰土壌であっても、地球温暖化で危惧される降水パターンの大きな変化により、土壌有機物分解および CO₂ 放出が大きく増大する可能性があることが示された。また、Dry-Wet 処理では土壌 CO₂ 放出の Q₁₀ が水分一定条件に比べ明らかに低下するものの、温暖化で一般に予測されている程度の温度上昇 (+2 °C) では水分変動増大による CO₂ 放出増大が相殺される可能性は低いことも示唆された。以上より、降水パターンと気温が共に変化した将来の温暖化環境における土壌 CO₂ 放出動態を正確に予測するうえで、水分変動増大が土壌 CO₂ 放出に及ぼす影響の組み込みが重要であることが示された。また培養中に放出された CO₂ の炭素同位体比測定に基づき、水分変動増大による土壌 CO₂ 放出増大には、水分一定環境で分解される土壌有機物とは滞留時間や理化学特性が異なる土壌有機物の分解が大きく関与している可能性が示された。今後、本研究が提示した可能性をより多くの様々な土壌で検証していくことが、将来の土壌 CO₂ 動態および地球温暖化の進行を予測するうえで不可欠である。なお、1年目に実施した 20 °C における土壌培養実験で得られた成果の主要部分は、査読付き原著論文として Soil Science and Plant Nutrition 誌に掲載された (Nagano et al., 2019)。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Nagano Hirohiko, Atarashi-Andoh Mariko, Koarashi Jun	4. 巻 65
2. 論文標題 Effect of dry-wet cycles on carbon dioxide release from two different volcanic ash soils in a Japanese temperate forest	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Soil Science and Plant Nutrition	6. 最初と最後の頁 525 ~ 533
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/00380768.2019.1649976	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 Nagano Hirohiko, Kim Yongwon, Lee Bang-Yong, Shigeta Haruka, Inubushi Kazuyuki	4. 巻 64
2. 論文標題 Laboratory examination of greenhouse gaseous and microbial dynamics during thawing of frozen soil core collected from a black spruce forest in Interior Alaska	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Soil Science and Plant Nutrition	6. 最初と最後の頁 793 ~ 802
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/00380768.2018.1525267	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

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 1件/うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Nagano Hirohiko, Atarashi-Andoh Mariko, Koarashi Jun
2. 発表標題 Laboratory incubation experiments to examine the effects of increased water fluctuation on CO2 release from volcanic ash soils in a Japanese temperate forest
3. 学会等名 American Geophysical Union 2019 Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 永野 博彦、安藤 麻里子、小嵐 淳
2. 発表標題 温度上昇と水分変動増大が火山灰土壌のCO2放出におよぼす複合的影響の培養実験による検証
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 永野 博彦、安藤 麻里子、小嵐 淳
2. 発表標題 乾燥-湿潤サイクルがCO2放出速度の温度依存性に及ぼす影響；火山灰土壤に着目して
3. 学会等名 第66回日本生態学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Nagai Haruyasu, Koarashi Jun, Atarashi-Andoh Mariko, Ota Masakazu, Nagano Hirohiko
2. 発表標題 Studies on the soil carbon storage and its response to the climate change
3. 学会等名 アジア原子力協力フォーラム(FNCA)気候変動科学オープンセミナー（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 永野 博彦、安藤 麻里子、小嵐 淳
2. 発表標題 乾燥-湿潤サイクルが火山灰土壤の二酸化炭素放出に及ぼす影響
3. 学会等名 日本土壤肥料学会2018年度神奈川大会
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
研究協力者	小嵐 淳 (Koarashi Jun)		

6. 研究組織（つづき）

	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	安藤 麻里子 (Atarashi-Andoh Mariko)		