

白神山地でも温暖化によって土壌から排出される二酸化炭素が増加
—長期の疑似温暖化実験で土壌有機物の分解が促進される—
【お知らせ】

(筑波研究学園都市記者会、
環境省記者クラブ、環境
記者会、弘前記者会同時配布)

平成 30 年 4 月 16 日 (月)
国立研究開発法人国立環境研究所
地球環境研究センター 炭素循環研究室
高度技能専門員 寺本 宗正
室長 梁 乃申 (029-850-2774)
高度技能専門員 曾 継業
弘前大学大学院理工学研究科 助教 石田 祐宣

植物根の新陳代謝及び土壌微生物の働きによって、土壌の表面からは、多量の二酸化炭素が放出されています。地球全体の土壌から排出される二酸化炭素量は、2008 年の時点で年間約 3,600 億トンと推定されています。そのうちの約 7 割の二酸化炭素は、土壌中に存在する微生物が、土壌有機物を分解することによって発生すると考えられています。この有機物の分解速度は、温度上昇と共に顕著に上昇することが知られています。そのため、地球温暖化によって土壌から排出される二酸化炭素が増加し、さらに地球温暖化に拍車をかける可能性が懸念されていますが、それを検証する長期的な実験データは非常に限られています。

国立研究開発法人国立環境研究所(以下、『国立環境研究所』という)と弘前大学は、白神山地のミズナラ林で行っていた 5 年間の長期的な温暖化操作実験(赤外線ヒーターによって土壌を人工的に温暖化させる実験)の結果から、微生物が土壌有機物を分解することによって発生する二酸化炭素の量が、1℃当たりの温暖化で 6.2~17.7% (5 年間の平均は 10.9%) 増加することを明らかにしました。また、この温暖化による二酸化炭素排出量の増進効果は、降雨の頻度と密接に関わっている事を示しました。

本研究から、白神山地のような冷涼湿潤な落葉広葉樹林帯でも、土壌に蓄積されている有機物の分解速度は、温暖化によって長期的に促進されることが示されました。

本研究の結果 *は、2018 年 4 月 6 日に米国地球科学連合 (AGU) の学術誌「Journal of Geophysical Research: Biogeosciences」に掲載されました。

1. 背景

森林樹木をはじめとする植物は、多くの二酸化炭素を光合成によって吸収しています(二酸化炭素換算で、年間約 4,400 億トン)。一方で、土壌からは多量の二酸化炭素が排出されており(土壌呼吸)、その年間排出量は地球全体で約 3,600 億トン(二酸化炭素換算、2008 年時点)と推定されています。これら光合成と土壌呼吸に、植物地上部の二酸化炭素排出量を加えると、森林を中心とした陸域は年間約 110 億ト

* 本研究は、(独)環境再生保全機構・環境省の環境研究総合推進費「2-1705 (アジアの森林土壌有機炭素放出の温暖化影響とフィードバック効果に関する包括的研究)」と環境省環境研究総合推進費 B-073 (土壌呼吸に及ぼす温暖化影響の実験的評価)及び環境省地球環境保全試験研究費(地球一括計上)「環 1051 (日本における森林土壌有機炭素放出に及ぼす温暖化影響のポテンシャルに関する研究)」により実施されました。

ンの二酸化炭素を吸収している事になります。しかし、産業革命以降、化石燃料の燃焼や森林伐採など、人為起源の二酸化炭素排出量は上昇を続け、現在は約 380 億トンとなっています。この人為起源の二酸化炭素排出量まで加味すると、光合成などの生態系機能だけでは、全てを吸収する事はできません。そのため、近年大気中の二酸化炭素濃度が上昇し、地球温暖化を引き起こす要因にもなっています。将来的な地球温暖化を考える上では、人為起源の二酸化炭素排出量だけでなく、温暖化によって引き起こされる土壌呼吸の変動が、非常に重要な要素になってきます。

土壌呼吸は、微生物が土壌の有機炭素を分解することで発生する二酸化炭素（以下、『微生物呼吸』という）と、植物の根の新陳代謝によって発生する二酸化炭素からなります。そのうち微生物呼吸は、土壌呼吸の約 7 割を占め、温度上昇によって顕著に増加する性質があります。そのため、地球温暖化によってわずかでも温度が上昇すれば、土壌に蓄積されている有機物の分解速度が顕著に加速し、地球温暖化をさらに加速させる可能性（正のフィードバック）が懸念されています。しかしながら、地球温暖化によって微生物呼吸が長期的にどれほど増加するのかを示す観測データは非常に限られており、この点が気候変動に関する将来予測の不確実性を大きくする原因にもなっています。さらに、温暖化影響の規模は、地域の気候や植生、土壌の組成によって異なってくるものと考えられるため、各地での長期的な検証データの積み上げが非常に重要になってきます。特に、湿潤で植生が豊かな、将来予測においても重要な地域であるアジアモンスーン地域において、観測数は絶対的に不足しています。

国立環境研究所は、独自に観測システム（大型自動開閉チャンバーシステム）を開発し、日本を含むアジアモンスーン地域の森林における土壌呼吸や微生物呼吸の観測研究を、広域的に展開してきました。この度、弘前大学と共同で行ってきた、5 年間（2011 年末から 2016 年末まで）の温暖化操作実験の観測データから、冷涼湿潤な白神山地における土壌有機物の分解速度が、温暖化によってどれほど変化するのかを検証しました。

2. 実験の方法

2011 年 9 月上旬、弘前大学白神自然観察園に隣接するミズナラ林（場所：青森県中津軽郡西目屋村川原平 101-1）に、大型自動開閉チャンバーシステムを設置しました。地表面から約 1.6 m の高さに赤外線ヒーターを設置する事で、地温を約 2.5°C 人工的に上昇させました（以下、『温暖化区』という）。温暖化区と、温暖化を行わない対照区における地表面からの二酸化炭素排出速度を連続的に観測し、温暖化区でどれだけ有機物の分解速度が対照区に比べて増進するのか評価しました（図 1）。



図 1. 白神山地のミズナラ林に設置した温暖化区のチャンバーとカーボンヒーター

3. 結果

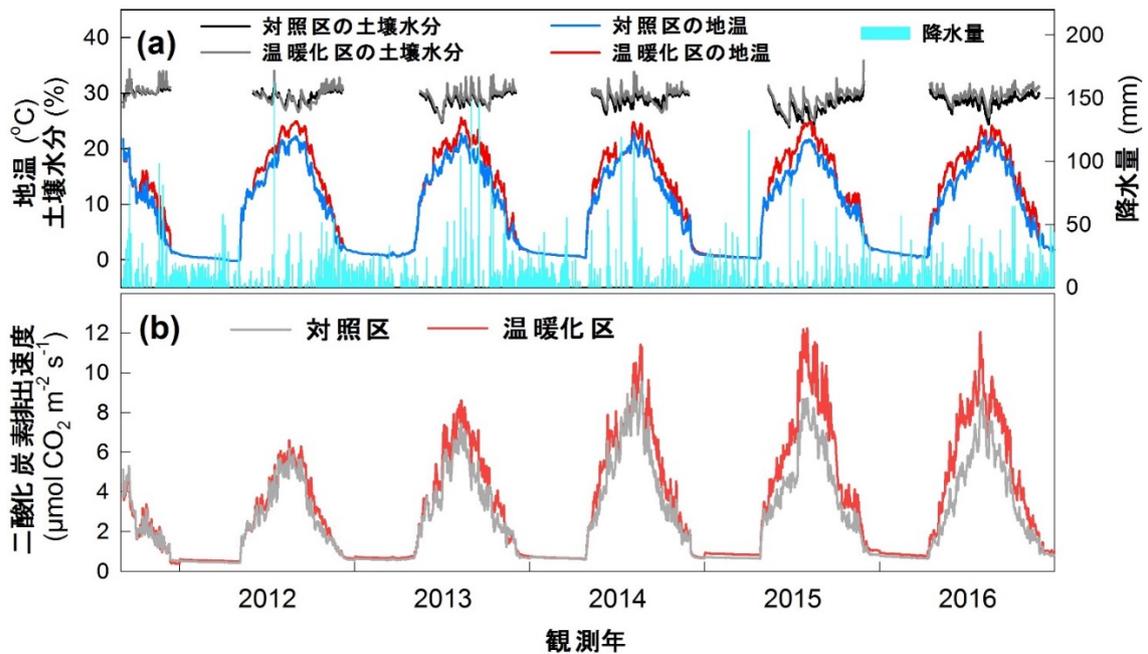


図 2. 白神山地における 2011 年末から 2016 年末までの地温、土壌水分と降水量 (a)、対照区と温暖化区の二酸化炭素排出速度 (b)

5年以上の観測期間を通して、温暖化による微生物呼吸の増進（以下、『温暖化効果』という）が確認されました（図2）。それには、日本の森林土壌に含まれる有機炭素の量が、世界的に多いという事が関係しているものと考えられます。1°C当たりの温暖化効果は6.2~17.7%で、毎年大きく変動していましたが、5年間の平均値は10.9%となりました（図3a）。これは、本ミズナラ林における簡易的な微生物呼吸の温度反応式から予測された数値（10.2%）と非常に近いものでした（図3a）。また、温暖化効果の年々変動と、観測期間における降雨の日数の間には、強い正の相関が確認されました（図3b）。そこから、長期的に温暖化効果が確認された事には、白神山地の湿潤な環境も強く影響している事がうかがえます。

さらに、本観測結果における微生物呼吸の Q_{10} 値*は2.40から2.85（平均2.66）であり、多くの将来予測モデルが採用している2.0よりも、概して大きいものでした。それは、温暖化によって増加する微生物呼吸の量が、現状予測されているよりも多い可能性を示します。

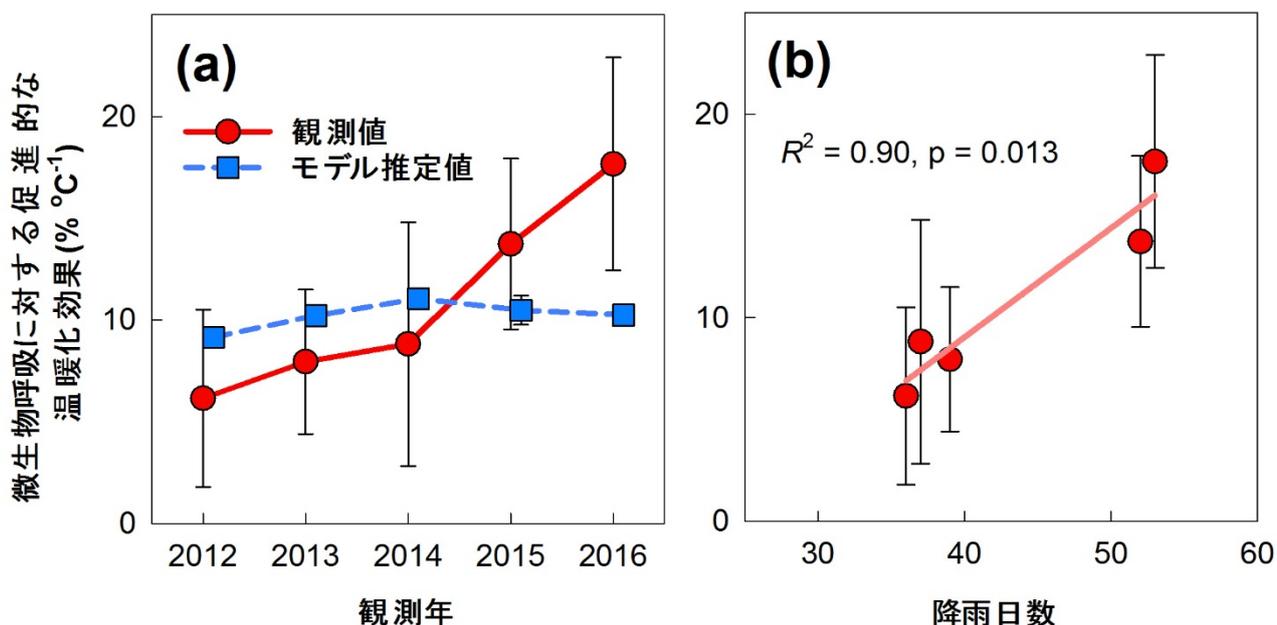


図3. (a) 微生物呼吸に対する年平均温暖化効果の実測値とモデル推定値の比較、(b) 微生物呼吸に対する年平均温暖化効果の実測値と降水日数の相関

4. まとめ

本研究結果は、土壌に含まれる有機炭素の量が多く、湿潤な環境にあるアジアモンスーン域の森林土壌においては、温暖化によって増加する微生物呼吸の量は、従来予測されていたよりも多いことを示唆するものです。これは、同様の手法を用いて異なる地域で示唆された結果と合致します（参考論文1、2）。

本研究の結果が、アジアモンスーン地域に広く適用可能なものならば、現在予測されているよりも早いペースで地球温暖化が進む可能性も考えられます。土壌呼吸や微生物呼吸は不均一性が強く、衛星観測などで広域的に評価する事が非常に難しい観測対象です。そのため、本研究の様に、長期的に温暖化影響を検証するための観測データを多地点で積み上げる事で、気候変動に関する将来予測の精度向上に大き

* 温度感受性の指標であり、温度が10°C上昇した際の、CO₂排出速度の増加倍率を示す。

く貢献できると考えています。

5. 発表論文

Teramoto, M., Liang, N., Ishida, S., Zeng, J. Long-term stimulatory warming effect on soil heterotrophic respiration in a cool-temperate broad-leaved deciduous forest in northern Japan. *J. Geophys. Res. Biogeosci.*, doi:10.1002/2018JG004432 (2018).

6. 参考論文

- (1) Teramoto, M., Liang, N., Takagi, M., Zeng, J., Grace, J. Sustained acceleration of soil carbon decomposition observed in a 6-year warming experiment in a warm-temperate forest in southern Japan. *Sci. Rep.* **6**, 35563, doi:10.1038/srep35563 (2016).
- (2) Aguilos, M., *et al.* Sustained large stimulation of soil heterotrophic respiration rate and its temperature sensitivity by soil warming in a cool-temperate forested peatland. *Tellus B* **65**, 20792, doi:10.3402/tellusb.v65i0.20792 (2013).

7. お問い合わせ先

国立研究開発法人国立環境研究所
地球環境研究センター 炭素循環研究室

室長 梁 乃申

電話：029-850-2774

E-mail：liang ([末尾に@nies.go.jp](mailto:liang@nies.go.jp)をつけて下さい)

高度技能専門員 寺本 宗正

電話：029-850-2774

E-mail：teramoto.munemasa ([末尾に@nies.go.jp](mailto:teramoto.munemasa@nies.go.jp)をつけて下さい)

弘前大学大学院理工学研究科

助教 石田 祐宣

電話：0172-39-3621

E-mail：ishida ([末尾に@hirosaki-u.ac.jp](mailto:ishida@hirosaki-u.ac.jp)をつけて下さい)