

令和 5 年 6 月 14 日現在

機関番号：82105

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19H03008

研究課題名（和文）微地形に起因する環境の違いを組み込んだ土壌温室効果ガスフラックスの高解像度推定

研究課題名（英文）Upscaling of soil greenhouse gas fluxes using a high-precision resolution digital 3D map

研究代表者

橋本 昌司（Hashimoto, Shoji）

国立研究開発法人森林研究・整備機構・森林総合研究所・主任研究員 等

研究者番号：90414490

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,400,000円

研究成果の概要（和文）：森林土壌では主要な温室効果ガスである二酸化炭素とメタンが放出・吸収されています。本研究では、森林土壌の表面で放出・吸収量を調査し、その結果を地形データと気象データと組み合わせて機械学習(AI)を用いて解析し、森林流域内の日ごとの放出と吸収量のマップ化を行いました。土壌によるメタンの吸収は谷沿いで非常に小さく、また斜面の真ん中あたりで大きいという結果になりました。メタンの吸収は温度の季節性にはあまり影響を受けていませんでした。土壌からの二酸化炭素の放出は谷沿いでやや小さく、また一年の温度変化に大きな影響を受けていました。本研究により森林流域内の地形に起因する細かな違いを捉えることができました。

研究成果の学術的意義や社会的意義

森林土壌の温室効果ガスの吸収・排出量は、地球規模の循環においても、また国家スケールの温室効果ガスの収支に対しても大きな割合を占めるため、精緻な推定が重要です。これまで、流域内の限られた観測地点での調査結果を広域にスケールアップする方法は限られていました。本研究は地球上の温室効果ガスの収支を精緻化することに貢献するとともに、グローバル・ストックテイクなど国スケールの温室効果ガス算定手法の確立に貢献します。

研究成果の概要（英文）：The two major greenhouse gases, carbon dioxide and methane, are released and absorbed in forest soils. In this study, emissions and absorption were investigated at the surface of forest soils, and the results were analyzed using machine learning (AI) in combination with topographical and meteorological data to map daily emissions and absorption within forest watersheds. The results showed that the absorption of methane by the soil was very small along the valleys and large in the middle of the slopes. Methane uptake was less affected by the seasonality of temperature. The release of carbon dioxide from the soil was somewhat smaller along the valleys and significantly affected by temperature changes throughout the year. This study allowed us to capture the fine differences caused by topography within forested watersheds.

研究分野：物質循環

キーワード：土壌温室効果ガス フラックス モデル 機械学習 高解像度 流域

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 森林土壌では主要な温室効果ガスである二酸化炭素(CO₂)と一酸化二窒素(N₂O)が放出され、メタン(CH₄)が吸収されている。これらのガスの動態は地球規模での温室効果ガス循環に大きく影響を与えており(IPCC 2013)、さらには気候変動や土地利用変化の影響で土壌における温室効果ガスの動態がかく乱され、気候変動をさらに加速する可能性が古くから指摘されてきた一方で、それらのガスの広域推定には大きな不確実性が伴っていることがわかっている。要因としては、(1) データの不足(Bond-Lamberty 2018)、(2) 広域での積算方法の問題が挙げられる。データの不足は、典型的な条件(場)での研究データは多くとられているが、それ以外でのデータが不足しており、典型的な条件以外での土壌温室効果ガスの動態や定量が不確実である事による。また、広域での積算の問題点の一つは、これまでの推定では空間解像度が荒く、実際に多様な環境がモデルでは均一として扱われ、その多様性が取り込めていないことが挙げられる。特に土壌温室効果ガスの動態は、土壌の温度と乾湿状態に強く影響されるが、温度は空間的代表性が比較的高いのに比べて、特に日本のような多様な微地形を含む山地においては、土壌の乾湿の多様性が広域の温室効果ガスの定量に反映されていない可能性が高い。

(2) 一方で近年、可搬型のメタン二酸化炭素濃度計の開発や、高解像度・高精度の地形データ(DEM)の普及、そして機械学習の実装ツールの進展があり、森林流域内の微地形に起因した違いを捉えることが可能になってきている(Warner et al. 2019)。

2. 研究の目的

(1) 日本の森林土壌を対象に多点観測とモデリングを通じて「1. 多様な微地形によってもたらされた環境の違いで土壌温室効果ガスの吸収・放出量はどのように変化するか?」また「2. それらを組み込むことで土壌温室効果ガスの広域推定量がどの程度変化するか?」を明らかにする。

3. 研究の方法

(1) 茨城県常陸太田市に位置する森林総合研究所の常陸太田試験地の HB 流域を対象に研究を行った(図1)。流域は2.48haで、約100年生のスギ・ヒノキ林である(Tsuboyama 2006)。尾根から谷までの多様な地形の地点にチャンバーを10個設置し、2021年12月から毎月観測を行った。チャンバーは直径30cmのものを用いて、数cm程度土壌に差し込み、チャンバーのヘッドスペースが平均で12cmであった。測定時はチャンバーを閉鎖し、メタンCO₂計(ABB社LGR-ICOS MGA-918)を用いてチャンバー内の濃度を5分間測定した。フラックスの計算は直線回帰で行った。気温、地温(5cm)、12cmのプローブを垂直に差し込み表層の体積含水率も測定した。

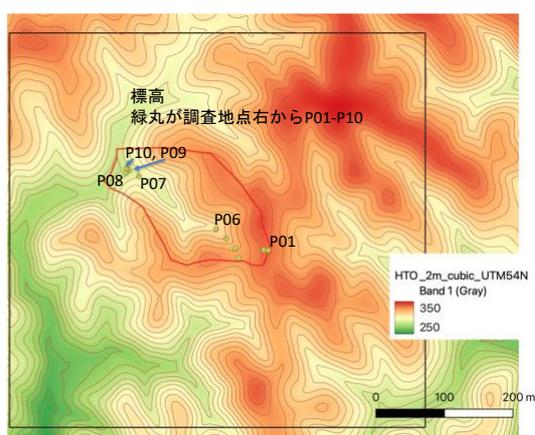


図1:
常陸太田試験地の標高と
流域内の調査地点の分布。
P01 から P08 にかけて標高が下がる。
P06, P07, P08 は谷底の湿潤気味な地点になる。

(2) 地形因子は陸域観測技術衛星「だいち(ALOS)」の衛星画像に基づき構築されたDEMを用いた(AW3D)。0.5m解像度の元データを2m解像度に変換して用いた。SAGA GISソフトウェアを用いてDEMデータから、Mid Slope Position、Normalized Height、Slope、Standardized Heightを計算した。地形因子に加え気象因子は農研機構メッシュ農業気象データ(The Agro-Meteorological Grid Square Data, NARO)を用いた。当日の気温、過去7日間と2日間の平均気温、当日の日降水量、過去7日間と2日間の平均降水量を計算し、気象の因子として用いた。機械学習アルゴリズムにはRandom Forestを用いた。Rのranger packageを用いてモデル化を行った。

4. 研究成果

(1) Random Forest モデルの結果

Random Forest モデルにより、観測されたメタンと二酸化炭素のフラックスを良好に再現することができた。因子の影響度を調べたところメタンフラックスは、傾斜の影響が大きく、その他 Mid Slope Position, Standardized height, Normalized Height が影響を与えていた。また二酸化炭素フラックスは 3 つの温度の因子が大きな影響を与えていたが、Normalized height, Standardized height も影響を与えていた。

(2) マップ化

構築した Random Forest モデルを用いて、日ごとのマップを作成した (図 2)。マップからメタンフラックスは谷沿いで小さく、また尾根沿いでもやや小さいこと、季節が変わってもこの傾向は大きくは変わらないことがわかる。また二酸化炭素については、谷沿いでやや小さい値を示すが、季節による違いが大きく、これは気温の変化に対応している。

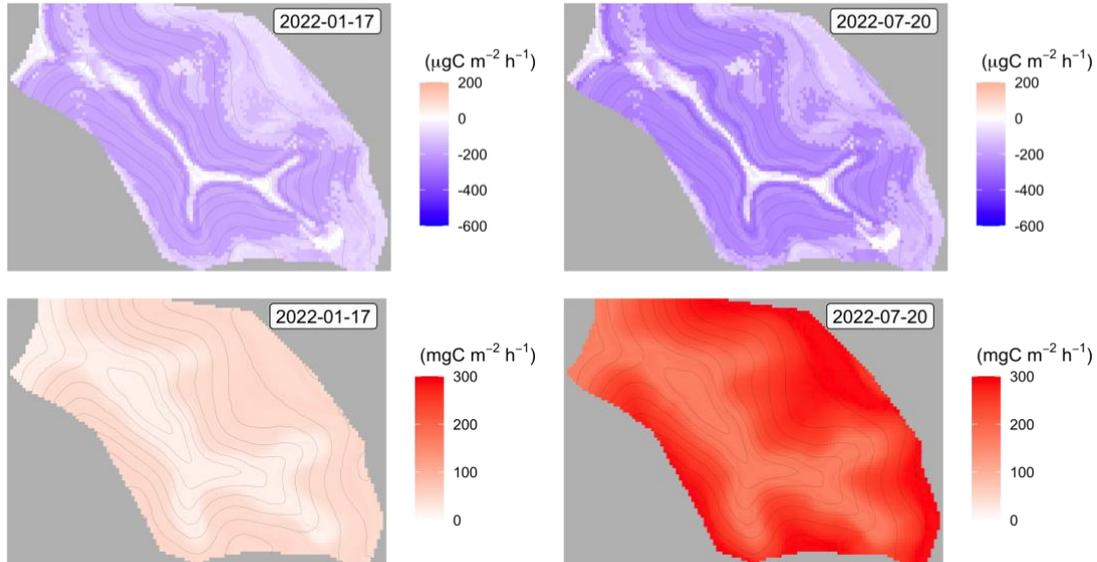


図 2: メタンフラックス (上) と CO₂ フラックス (下) の流域内の推定結果。
左は 1 月 17 日、右は 7 月 20 日の結果。

(3) 微地形を考慮した流域推定値

流域内の微地形を考慮に入れたモデル推定値と観測地点の単純平均値は同程度の時も見られるが、顕著な違いが見られる時もあった (図 3)。モデル推定値を基準に単純平均値は平均で、メタンで 20 % (10 ~ 33%) の吸収量の過小評価、二酸化炭素で 19 % (6 ~ 33%) の放出量の過小評価となった。これらの結果はスケールアップの方法が流域のフラックスの総量の推定値に大きな影響を与えることを示唆している。本研究により、多点観測と高精度測位及び DEM を用い機械学習を活用することで、土壌温室効果ガスフラックスのより精緻なスケールアップが可能であることを示した。

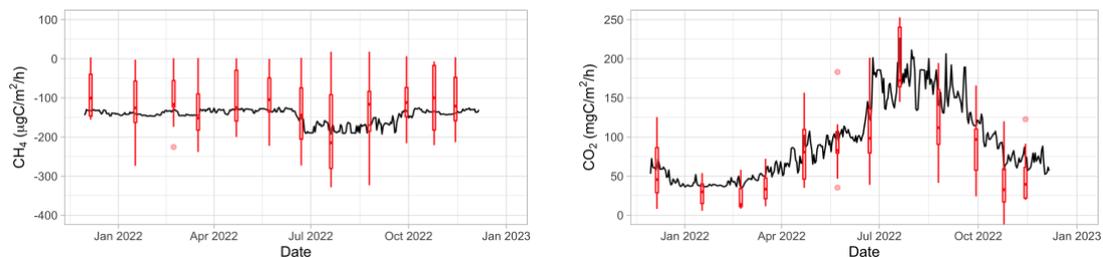


図 3: メタンフラックス (左) と CO₂ フラックス (右) の日流域平均値の
微地形を考慮に入れたモデル推定値 (黒線) と観測値の単純平均値 (赤)。

(4) 国内外における位置づけとインパクト、今後の展望

現在、各国は気候変動対策にこれまで以上に力を入れており、温室効果ガス動態の精緻な推定が

求められている。例えばパリ協定のグローバル・ストックテイクでは各国が定めた温室効果ガス排出削減目標が達成されたかどうかを最良の科学を用いて確認することが必要である。本研究による森林流域の土壌温室効果ガスの精緻な推定手法の確立は、森林内の温室効果ガス動態を明らかにしていく科学的な重要性があるだけでなく、国際的な気候変動対策にも貢献する。

<引用文献>

- Bond-Lamberty et al. (2018) New techniques and data for understanding the global soil respiration flux. *Earth's Future*, Vol.6, No.9, 1176-1180. doi: 10.1029/2018EF000866
- ICPC (2013) *Climate Change 2013 The Physical Science Basis*
- Tsuboyama Y. (2006) An experimental study on temporal and spatial variability of flow pathways in a small forested catchment. *Bulletin of FFPRI*, Vol.5, No.2, 135-174.
- Warner et al. (2019) Upscaling soil-atmosphere CO₂ and CH₄ fluxes across a topographically complex forested landscape. *Agricultural and Forest Meteorology*, Vol.264, 86-91. doi: 10.1016/j.agrformet.2018.09.020

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Abe Yukiko, Liang Naishen, Teramoto Munemasa, Koarashi Jun, Atarashi-Andoh Mariko, Hashimoto Shoji, Tange Takeshi	4. 巻 29
2. 論文標題 Spatial variation in soil respiration rate is controlled by the content of particulate organic materials in the volcanic ash soil under a Cryptomeria japonica plantation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Geoderma Regional	6. 最初と最後の頁 e00529 ~ e00529
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.geodrs.2022.e00529	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 橋本昌司	4. 巻 9
2. 論文標題 森林吸収源の現状と見通し - 森林は高まる期待に応えられるのか？	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 グリーン・ページ	6. 最初と最後の頁 9-12
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
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1件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 森大喜、橋本昌司、阪田匡司、山下尚之、森下智陽、石塚成宏
2. 発表標題 機械学習による森林土壌メタンフラックス予測モデルの構築
3. 学会等名 第134回日本森林学会大会
4. 発表年 2023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	石塚 成宏 (Ishizuka Shigehiro) (30353577)	国立研究開発法人森林研究・整備機構・森林総合研究所・企画科長 (82105)	

6. 研究組織（つづき）

	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	山下 尚之 (Yamashita Naoyuki) (30537345)	国立研究開発法人森林研究・整備機構・森林総合研究所・主任研究員 等 (82105)	
研究分担者	阪田 匡司 (Sakata Tadashi) (50353701)	国立研究開発法人森林研究・整備機構・森林総合研究所・主任研究員 等 (82105)	
研究分担者	森下 智陽 (Morishita Tomoaki) (90391185)	国立研究開発法人森林研究・整備機構・森林総合研究所・主任研究員 等 (82105)	
研究分担者	森 大喜 (Mori Taiki) (90749095)	国立研究開発法人森林研究・整備機構・森林総合研究所・主任研究員 等 (82105)	

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