

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 8 日現在

機関番号：82105

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2012～2015

課題番号：24510025

研究課題名(和文) ベイズデータ同化技法を活用した全球の森林土壌温室効果ガス吸排出量の新しい推定

研究課題名(英文) New estimations of global soil greenhouse gas fluxes using Bayesian approach

## 研究代表者

橋本 昌司 (HASHIMOTO, Shoji)

国立研究開発法人 森林総合研究所・立地環境研究領域・主任研究員

研究者番号：90414490

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：土壌温室効果ガスの吸排出量(吸収・放出量)に関して、よりデータに基づいた全球推定値を求めることを目的に、世界各地で観測されたデータを活用しモデル化を行った。森林に限らずすべての土壌を対象に研究を行った。まず日本の多点観測に基づき構築されたモデルを用いて二酸化炭素の放出量、メタンの吸収量、亜酸化窒素の放出量を全球で評価した後、グローバルなデータベースに基づいた二酸化炭素の放出量及び亜酸化窒素の放出量のモデル構築と全球への適用を行った。各土壌温室効果ガスの吸収・放出量の総量、空間的分布、季節変化などを解析した。

研究成果の概要(英文)：To provide data-oriented global estimates of soil greenhouse gas fluxes, I conducted modeling using data obtained worldwide. First, I applied a regional, simple soil greenhouse gas flux model (SGR), which is based on data observed all over Japan, and estimated global soil carbon dioxide emission, methane uptake, and nitrous oxide emission fluxes. Second, I developed models based on global databases of soil carbon dioxide flux and nitrous oxide flux, and applied the models globally. The global total fluxes, spatiotemporal distributions, and seasonality were examined.

研究分野：農学

キーワード：温室効果ガス 土壌 全球 ベイズ モデル 土壌呼吸 二酸化炭素 亜酸化窒素

### 1. 研究開始当初の背景

土壌はグローバルな温室効果ガス循環に重大な影響を及ぼしている。湿地ではない土壌からは一般に二酸化炭素ガス(CO<sub>2</sub>)と亜酸化窒素(N<sub>2</sub>O)が放出されている一方、メタンガス(CH<sub>4</sub>)が吸収されており(湿地では放出)、土壌は温室効果ガスのソースかつシンクとして機能している。CO<sub>2</sub>は植物の根呼吸と有機物の分解を起源としており、また N<sub>2</sub>O は硝化・脱窒プロセスを通じて生成される。一方、湿地ではない土壌においては、CH<sub>4</sub>は大気から土壌へ拡散し土壌中で微生物により分解されている。

土壌における温室効果ガスの吸排出量(吸収・放出量)の推定値、また今後の気候変動下における吸収・放出量の変化予測、全球での温室効果ガス循環への寄与を明らかにするためには、既存の観測データに基づいたモデル化と、そのモデルを用いた広域評価が必要である。既存の観測データを最大限反映した、より精度の高いモデル化と全球推定が必要であった。

### 2. 研究の目的

本研究では、世界中で観測されている土壌における温室効果ガスの吸収・放出データを収集・データベース化し、ベイジアンキャリブレーションという最新のパラメータ推定技法を用いたデータ・モデル同化を行い、高精度のモデルを構築する。そして開発したモデルを用いて、土壌における温室効果ガスの吸収・放出量を全球スケールで推定することを目的とした。

### 3. 研究の方法

本研究ではまず、日本で観測された土壌温室効果ガスフラックスデータに基づき構築されたモデルを全球に適用し、全球での土壌温室効果ガスの吸収・放出量と分布を推定した。

次に、土壌からの二酸化炭素放出量に関するグローバルデータセット(Global Database of Soil Respiration Data: SRDB, Bond-Lamberty and Thomson 2010, Biogeosciences)を用いてモデル化を行い、全球の土壌からの二酸化炭素放出量の時空間分布の推定を行った。また亜酸化窒素の放出量に関して既存のデータベースにデータを追加してデータベースを構築し、モデル化を行った。どちらのモデルにおいても、Raichモデルをベースに、気温と降水量を主要な入力としてモデル化を行った。最適なパラメータの推定にはベイジアンキャリブレーションを用いた。

森林に限らずすべての土壌を対象に研究を行った。

### 4. 研究成果

(1)日本の観測データに基づいて構築された広域土壌温室効果ガスモデル(SGR: regional,

simple soil greenhouse gas flux model)を用いて、全球を0.5度単位で区切り、計算を行った。二酸化炭素放出量(図1)と亜酸化窒素放出量(図3)は、気温の分布に影響を受け明瞭な緯度方向の分布の差が見られた。どちらのガスも熱帯地域の寄与が大きいが、特に亜酸化窒素は熱帯地域の寄与が大きかった。一方で、メタンの吸収(図2)は、全球的に大きな分布の差が見られなかった。

このモデルにより計算された値は、二酸化炭素放出量、メタン吸収量、亜酸化窒素放出量(施肥効果を含まない)それぞれ、78 Pg C yr<sup>-1</sup>、18 Tg C yr<sup>-1</sup>、4.4 Tg N yr<sup>-1</sup>となった。

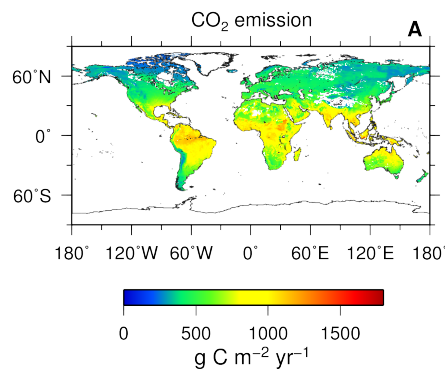


図1: 推定された土壌からの二酸化炭素放出量の分布

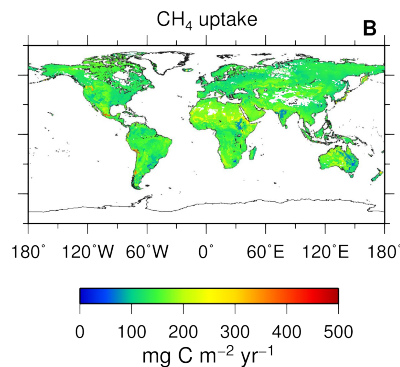


図2: 推定された土壌のメタン吸収量の分布

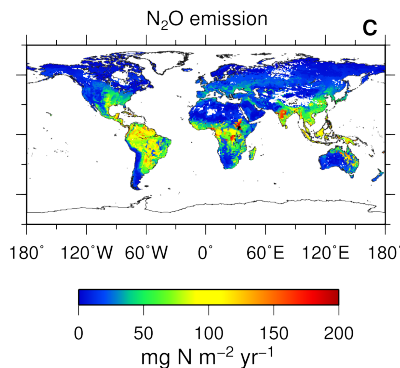


図3: 推定された土壌の亜酸化窒素放出量の分布(施肥効果を含まない)

さらに、これまで報告されている全球推定値をとりまとめたところ、それぞれ平均値で  $79 \text{ Pg C yr}^{-1}$  (N=6)、 $21 \text{ Tg C yr}^{-1}$  (N=24)、 $7.8 \text{ Tg N yr}^{-1}$  (N=11)であった。

これらの結果は、オープンアクセスの国際誌 PLoS ONE に掲載された。

(2) 土壌からの二酸化炭素放出に関するグローバルデータベースを解析し、ベイジアンキャリブレーションを用いてモデルを構築し、全球推定を行った。空間解像度は  $0.5$  度とし、1965 年から 2012 年までを月単位で計算した。

推定された全球の土壌からの二酸化炭素放出量は 1965 年から 2012 年までの平均で  $91 \text{ Pg C yr}^{-1}$  となった (図 4a)。また、この期間に年  $0.09 \text{ Pg C yr}^{-2}$  で増加していた (図 5)、全球の陸域の年平均気温と二酸化炭素放出量の関係調べたところ、 $3.3 \text{ Pg C yr}^{-1} \cdot \text{C}^{-1}$  の関係が見られた。緯度方向の放出量を見ると、単位面積あたりでは、赤道付近の放出量が大きく (図 4b)、面積も考慮に入れた緯度  $0.5^\circ$  あたりの放出量では、赤道付近の放出量が大きい北半球中緯度地域の放出量も大きな量を占めた (図 4c)。

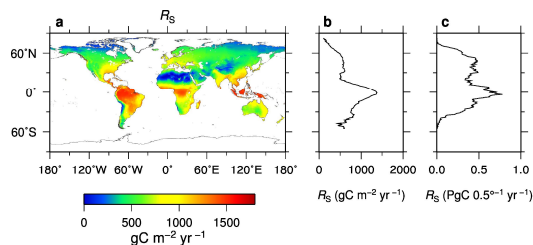


図 4：モデルにより推定された土壌からの二酸化炭素放出量の分布 (a) と緯度方向の分布 (b, c)

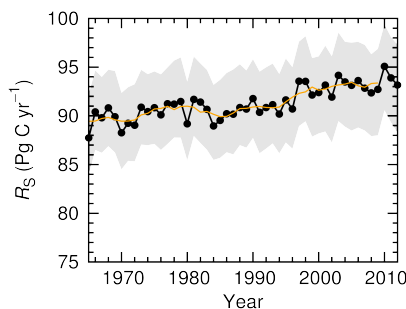


図 5：全球の土壌からの二酸化炭素放出量の時系列変化 (灰色の影は不確実性を表し、オレンジ色の線は移動平均の線を表す)

既往研究で報告されている関係式を用いて、分解呼吸と根呼吸を分けた結果、分解呼吸が  $51 \text{ Pg C yr}^{-1}$  で根呼吸が  $40 \text{ Pg C yr}^{-1}$  となった。得られた分解呼吸の値を第 5 期結合モデ

ル相互比較計画 (CMIP5) の 20 の地球システムモデルの出力と比較を行った (図 6)。その結果、地球システムモデルの平均値と本研究による推定値は近い値となったが、地球システムモデルの分解呼吸量は  $40\text{--}77 \text{ Pg C yr}^{-1}$  とモデル間のばらつきが非常に大きいことが明らかとなった。

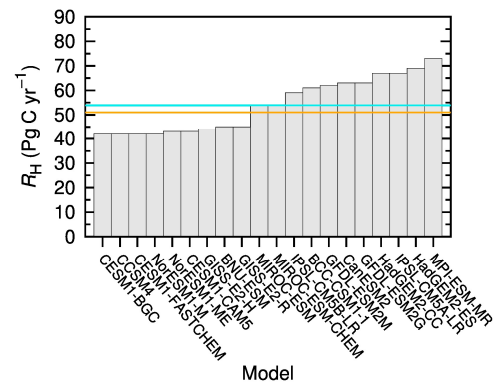


図 6：分解呼吸の全球推定値の地球システムモデルとの比較。オレンジの線は本研究の値。水色の線が地球システムモデルの出力の平均値。

本研究で得られた土壌からの二酸化炭素放出量の全球推定値は、収録データ数が今回の研究で用いた SRDB より少し少ない古い SRDB を用いた先行研究で得られた値より 2008 年の値で 6% 程度小さい (Bond-Lamberty and Thomson 2010, Nature)。一方で、それ以外の過去の全球推定値は平均で  $76 \text{ Pg C yr}^{-1}$  (N=5) であり、SRDB を用いた推定値よりも小さい。

本研究で得られた土壌からの二酸化炭素の放出量に関するデータオリエンテッドな全球推定値は、地球システムモデルの制約等に今後利用されることが期待される。

一連の成果は、オープンアクセスの国際誌 Biogeosciences に掲載され、森林総合研究所からプレスリリースも行われた (2016 年 3 月 16 日)。

(3) 亜酸化窒素放出量の全球推定では、土地利用を、非湿地自然土壌、非湿地農業土壌、湿地自然土壌、湿地農業土壌 (水田) に分類しモデル化を行った。二酸化炭素放出量のモデル化で開発した Raich モデル改良版をベースに、自然土壌には窒素降下物量を、農業土壌には肥料投入量を組み込んでモデル化した。湿地自然土壌は有効なモデルを構築することができなかったため、全球推定の際には湿地自然土壌における観測データの平均値を用いた。構築したモデルを  $5$  分の空間解像度で全球に適用した。暫定値ではあるが、推定された全球の亜酸化窒素放出量は  $9.8 \text{ Tg N yr}^{-1}$  となった。非湿地自然土壌が最大の放出量を示し ( $5.7 \text{ Tg N yr}^{-1}$ )、次に非湿地農業土

壤が大きな値を示した(3.6 Tg N yr<sup>-1</sup>)。面積も考慮に入れた緯度方向の放出量の分布は 10°S-10°N と 30°N-40°N で大きかった。赤道付近の放出は非湿地自然土壌が主な発生源であり、北半球中緯度の放出は非湿地農業土壌が主な発生源であった。全球の亜酸化窒素放出量の季節性を調べた結果、8月に最大になり、2月に最小となった。この季節性は主に中緯度に分布する非湿地農業土壌の季節性によるものであった。結果を Japan Geoscience Union の大会および American Geophysical Union の大会で発表した。

#### 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3件)

Hashimoto, S., N. Carvalhais, A. Ito, M. Migliavacca, K. Nishina, and M. Reichstein (2015) Global spatiotemporal distribution of soil respiration modeled using a global database. *Biogeosciences*, 12, 4121-4132. doi: 10.5194/bg-12-4121-2015 (査読有り)  
橋本昌司 (2013) 森林における土壌炭素動態のモデルを用いた全国評価. 土壌の物理性, 123: 93-99. <https://js-soilphysics.com/downloads/pdf000/123000.pdf> (査読有り)  
Hashimoto S. (2012) A new estimation of global soil greenhouse gas fluxes using a simple data-oriented model. *PLoS ONE*, 7, e41962. doi: 10.1371/journal.pone.0041962 (査読有り)

##### [学会発表](計8件)

Hashimoto, S., Global estimation of soil nitrogen oxide emission using a semi-empirical model and a global dataset, American Geophysical Union Fall Meeting 2015, サンフランシスコ (アメリカ), 2015/12/14  
橋本昌司・伊藤昭彦・仁科一哉, グローバルデータセットを用いた土壌呼吸の経験モデル構築と全球スケールの呼吸量推定, 農業環境工学関連5学会 2015年合同大会, 岩手大学(岩手県盛岡市), 2015/9/17  
橋本昌司, Global estimation of soil nitrous oxide emission using a semi-empirical model, Japan Geoscience Union Meeting 2015, 幕張メッセ(千葉県千葉市), 2015/5/25  
Hashimoto, S., N. Carvalhais, A. Ito, M. Migliavacca, K. Nishina (2015) Global spatiotemporal distribution of soil respiration modeled using a

global database, 日本森林学会第126回大会, 北海道大学(北海道札幌市), 2015/3/28

橋本昌司・森下智陽・阪田匡司・石塚成宏, 森林土壌からの N<sub>2</sub>O フラックスのモデリング~温暖化影響と広域評価, 日本森林学会124回大会, 岩手大学(岩手県盛岡市), 2013/3/27

Hashimoto, S., Morishita, T. Sakata, T., Ishizuka, S., Development and regional application of simple models for soil greenhouse gas fluxes, Eurosoil 2012, パリ(イタリア), 2012/7/4

##### [その他]

##### データ公開サイト

<http://cse.ffpri.affrc.go.jp/shojih/data/index.html>

##### プレスリリース

<http://www.ffpri.affrc.go.jp/press/2016/20160316/index.html>

##### 日刊工業新聞の記事

<http://www.nikkan.co.jp/articles/view/0378950>

##### 農業協同組合新聞の記事

<http://www.jacom.or.jp/nousei/news/2016/03/160323-29432.php>

##### 環境展望台の記事

<http://tenbou.nies.go.jp/news/jnews/detail.php?i=18309>

森林総合研究所 季刊森林総研 Vol. 31 ページ16-17

<http://www.ffpri.affrc.go.jp/pubs/kikan/documents/kikanffpri-31.pdf>

##### 森林総合研究所 研究最前線

<http://www.ffpri.affrc.go.jp/research/saizensen/2012/20120907-02.html>

##### 森林総合研究所 ニュース

<http://www.ffpri.affrc.go.jp/news/2012/20121023greenhouse-gas.html>

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

橋本昌司 (HASHIMOTO, Shoji)

森林総合研究所・立地環境研究領域・主任研究員

研究者番号: 90414490