

令和 2 年 5 月 17 日現在

機関番号：82105

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2019

課題番号：17K00532

研究課題名（和文）森林資源の回復過程と連動した土壌炭素動態のモデル化

研究課題名（英文）Soil carbon modeling coupled with recovery process of forest resources in Japan

研究代表者

鳥山 淳平（TORIYAMA, Jumpei）

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：00582743

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,700,000円

研究成果の概要（和文）：日本の森林域を対象に、森林資源の回復過程を組み込んだ新たな土壌炭素循環モデルを構築した。具体的には以下の3点を行った。（1）既存の生体サブモデルと土壌サブモデルを連結し、パラメータを日本の森林の観測データにより較正した。（2）複数の土壌炭素循環モデルの出力を比較し、違いを明らかにした。（3）土壌炭素循環モデルを日本全国に展開し、森林土壌炭素の観測値のデータベースと比較した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

日本の森林域における土壌の炭素吸収・排出量を高い精度で推定する科学ツールが求められている。そのため本研究では、日本の森林資源の回復過程を組み込んだ新たな土壌炭素循環モデルを構築した。本研究の取り組みは、我が国の温室効果ガスインベントリ報告書の策定を支援し、気候変動対策の政策推進に寄与するものである。

研究成果の概要（英文）：A novel soil carbon dynamic model was developed coupled with the recovery process of forest resources in Japan. We conducted (1) the coupling of a forest model with soil models and their calibration using observation data in Japanese forests, (2) the comparison of output between soil carbon dynamic models and (3) the expansion of the soil carbon dynamic model to whole Japan and the comparison with soil carbon inventory.

研究分野：森林土壌

キーワード：土壌炭素循環モデル 森林資源

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

土壌炭素は陸域生態系でもっとも大きい炭素貯留プールである。同時に、土壌炭素は温室効果ガス (GHG) である二酸化炭素の潜在的な排出源でもある。そのため、これまで農耕地や森林において、土壌の炭素吸収・排出量 (以後、吸排出量) を高い精度で推定する科学ツールが求められてきた。森林域については、統計や長期モニタリングデータが蓄積されている生体 (本研究では樹木をさす) に比べ、土壌の観測データが乏しいため、モデリングによる吸排出量の推定が不可欠である。このとき土壌炭素循環モデルは有力なツールと見なされており、日本においても国家 GHG インベントリ報告書に活用されているが、課題もある。

日本の森林域に土壌炭素循環モデルを適用する際の課題のひとつは、生体の履歴の組み込みである。これまで行われてきたアプローチでは、初期条件の設定のため、モデルの反復計算により森林の平衡状態を作り出す作業が行われた。この方法では生体の年間枯死量は一定の範囲に収束するため、過去に土壌に投入された生体の炭素量が現在と大きく異なる場合は、土壌の吸排出量の推定誤差を生むことになる。一方、日本の森林の特有の背景として、戦後の植林により大きく森林資源が回復したことが挙げられるが、この資源回復のプロセスを考慮した土壌炭素循環モデルはこれまで開発されていない。そのため、森林資源の回復過程を表現する生体サブモデルと土壌サブモデルとの連結によって、土壌の吸排出量を (平衡状態でなく) 動的に表現する新たな土壌炭素動態モデルを開発する必要がある。

上記のモデルを日本全国に展開するには、パラメータの較正用の観測値とは別に、広域のデータベースが必要となる。従来は全国レベルの土壌炭素循環モデルの開発に利用可能なデータベースは存在しなかったが、近年そのようなリソースが整備されてきた。森林総合研究所が整備を進めている森林土壌炭素インベントリは、現在の日本の森林土壌の炭素蓄積量の約 2500 地点のデータベースである。このように、広域情報にもとづく新たな炭素循環モデルの開発が可能になってきた。

### 2. 研究の目的

日本の森林域を対象に、生体のプロセスを組み込んだ新たな土壌炭素循環モデルを構築するため、以下の 4 点を行う。

- (1) 既存の生体サブモデルと土壌サブモデルを連結する。
- (2) 土壌炭素循環モデルを、日本の森林の観測データにより較正する。
- (3) 複数の土壌炭素循環モデルの出力を比較し、違いを明らかにする。
- (4) 土壌炭素循環モデルを日本全国に展開し、森林土壌炭素の観測値のデータベースと比較する。

### 3. 研究の方法

本研究の方法は 3 つのステップからなる。

#### (1) サブモデルの検討と較正

土壌炭素循環モデルの構築のための生体サブモデルと土壌サブモデルの検討を行う。生体サブモデルは、研究代表者がこれまでに較正作業を進めてきた Biome-BGC (米国) を採用する。土壌サブモデルは、Biome-BGC に元々備わっているサブモデルに加え、CENTURY (米国) と Yasso07 (フィンランド) を検討する。

Biome-BGC に元々備わっている土壌サブモデルについては、2019 年に公表されたスギ・ヒノキの生理データベース (Osone *et al.* 2020) を参考にするとともに、ベイジアンキャリブレーションを利用したパラメータの較正を行う。較正に先立ち Biome-BGC のコードを改変し、葉と細根の代謝回転速度 ( $\text{year}^{-1}$ ) を分離する。較正するパラメータは葉と細根の代謝回転速度、CN 比などである。較正に利用した観測データは、熊本県山鹿市の鹿北流域試験地のスギ人工林において、2001-2003 年に取得された月別の土壌呼吸フラックスである。CENTURY と Yasso07 はそれぞれ日本とフィンランドの共同研究者からソースコードを入手し、改変および較正を行う。

#### (2) モデル間の出力比較

土壌炭素循環モデルの違いが吸排出量の推定値に与える影響を明らかにするため、土壌炭素循環モデルの出力を比較する。すなわち 1) Biome-BGC と 2) Biome-BGC のリター投入量を反映した CENTURY を比較する。モデルの出力は土壌炭素蓄積量である。森林型は暖温帯と冷温帯に成立する常緑針葉樹林を想定する。土地利用変化のシナリオとして、極相林 (スピンアップ計算による) 伐採後の草原 40 年間、および再植林 60 年を想定する。

#### (3) 広域推定

森林資源の回復過程を反映した形で、日本の森林土壌の吸排出量を試算するため、土壌炭素循環モデルの 1 つを日本全国に展開する。シナリオとして極相林の伐採後の再植林を想定する。出力結果を土壌炭素インベントリの報告値と比較し、モデル出力値と観測値の違いを明らかにする。具体的には、日本全国 1km メッシュの森林域の約 1% にあたる 2480 メッシュについて、現在気候 (1971-2000 年) を反映した人工林 (常緑針葉樹) 1-90 年生林分のリター、枯死木、土壌の炭素プールを出力する。出力結果を、土壌炭素インベントリ事業の第一期データをまとめた Ugawa *et al.* (2012) に従い全国 10 ブロックに分ける。さらに林野庁が公表している都道府県別の人工林

の齡級構造を反映し、リター、枯死木、土壌の炭素蓄積量の分布を算出する。

#### 4. 研究成果

研究の方法に対応する個別の成果を示し、最後に今後の展望を示す。

##### (1) サブモデルの検討と較正

Biome-BGC に元々備わっている土壌サブモデルを較正し、モデル出力を観測値に近づけることができた。較正前(デフォルトパラメータ)では、主に細根呼吸に起因する、高い土壌呼吸フラックスが出力されたが、細根の代謝回転速度を  $0.25 \text{ year}^{-1}$  から  $0.69 \text{ year}^{-1}$  に修正し、土壌呼吸フラックスを抑えた。

CENTURY と Yasso07 についてもコードの改変と較正を行った。予備解析の結果、Yasso07 は独自のパラメータである、木質リターのサイズ係数に対する感度が高いことが明らかとなり、Biome-BGC、CENTURY と同等の条件下で比較することが困難となった。このため、下記(2)では、主に Biome-BGC と CENTURY の結果について記載する。

##### (2) モデル間の出力比較

リターの投入量を時系列でみると、極相林で最も大きく、木質リターの寄与が高かった。草原のリター投入量(葉と細根による)がそれに続き、再植林後のリター投入量は草原より低かった。リター投入量における葉と細根の寄与は、概ね同程度であった。

Yasso07 を含む3つの土壌炭素循環モデルのいずれにおいても、土壌炭素蓄積量は冷温帯が暖温帯より高く、概ね2倍程度の値を示した。Biome-BGC は分解の遅いプール(humus)がもつぱら土壌炭素を構成したのに対し、CENTURY は2つのプール(passive と slow)が多くを占めた(図1)。

Biome-BGC と CENTURY はともに極相林の草原化、再植林の過程で減少傾向を示した(図1)。このため極相林における木質リター投入量の高さが、土壌炭素プールのトレンドに強く影響していると考えられた。一方、トータルの土壌炭素蓄積量については、モデル間の違いは軽微であった。以上の結果から、土壌炭素循環モデルの違いよりも、気候帯の違いやリターフォールの時間的なシナリオが、吸排出量の推定値に強く影響することが明らかとなった。したがって、(3) 広域推定では較正済みの Biome-BGC の計算結果について報告する。

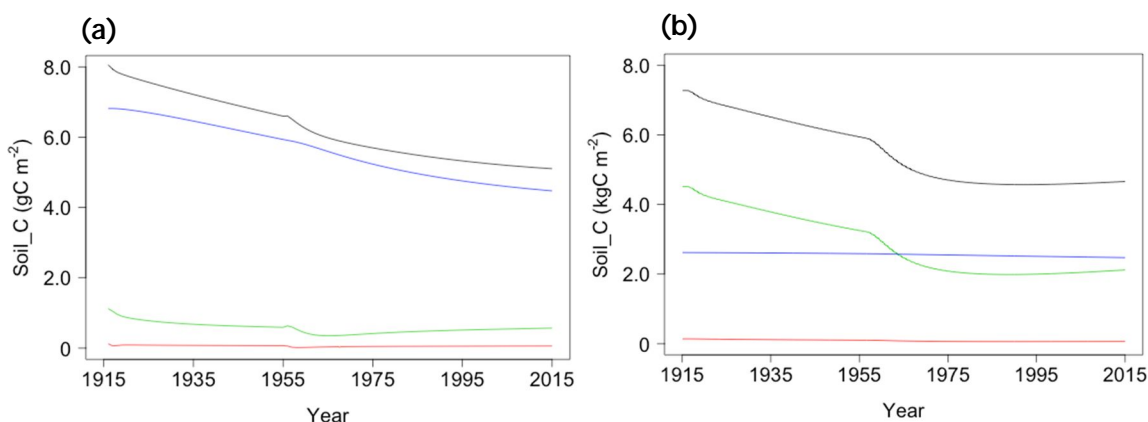


図1. 土壌炭素循環モデルによる出力例

(a)Biome-BGC (b) CENTURY

土地利用変化シナリオは、極相林の伐採後(1915年)の草地40年と再植林60年。気候帯は冷温帯で、森林型は常緑針葉樹林。

Biome-BGCの青色、緑色、赤色の線はそれぞれhumus、slow、medium+fastプールを示す。

CENTURYの青色、緑色、赤色の線はそれぞれpassive、slow、activeプールを示す。

##### (3) 広域推定

リター、枯死木、土壌の炭素蓄積量の推定値は観測値と比較し、全体的にやや高い傾向が見られた。土壌炭素蓄積量の地域ブロック別の平均値は、Ugawa *et al.* (2012) で報告された値と比較して4割ほど高い傾向が見られたものの、正の相関がみられた(図2)。この相関は、齡級情報を加える前と後では、情報を加えた後の相関係数が若干高くなった。土壌の吸排出量については、すべての地域ブロックにおいて若い齡級で吸収、高齢林で排出の傾向を示した。

一方、リターと枯死木の炭素プールは推定値が観測値より6割ほど高い傾向があり、有意な相関は得られなかった。この理由としてリターと枯死木の観測値は、土壌より森林管理の影響を強く受けることが考えられた。リターと枯死木の吸排出量は、若齡林で排出、高齢林で吸収の傾向

を示した。以上をまとめると、再植林の前の植生条件の設定には、いまだ改良の余地があるが、再植林後の森林資源の回復過程と連動した吸排出量の広域推定を行うことができた。

#### (4) 今後の展望

研究期間内に達成できなかった課題として、土壌炭素循環モデルの不確実性の評価と低減が挙げられる。本研究で行ったベイジアンキャリブレーションの尤度関数を利用すると、複数モデルの重みづけ平均化(アンサンブル)が可能となる。そのため今後は土壌炭素循環モデルのアンサンブルによる不確実性の低減と社会実装にむけた改善を行う。以上の取り組みは、我が国の温室効果ガスインベントリ報告書の策定を支援し、気候変動対策の政策推進に寄与するものである。

#### <引用文献>

Osone Y, Hashimoto S, Kenzo T, Araki MG, Inoue Y, Toriyama J, Yamashita N, Tsuruta K, Ishizuka S, Nagakura J, Ono K, Sakai H, Sakai Y, Sano T, Shigenaga H, Shinohara Y (2020) Plant trait database for *Cryptomeria japonica* and *Chamaecyparis obtusa* (SugiHinoki DB)–their physiology, morphology, anatomy and biochemistry. *Ecological Research*

Ugawa S *et al.* (2012) Carbon stocks of dead wood, litter, and soil in the forest sector of Japan :general description of the National Forest Soil Carbon Inventory. *Bulletin of FFPRI*

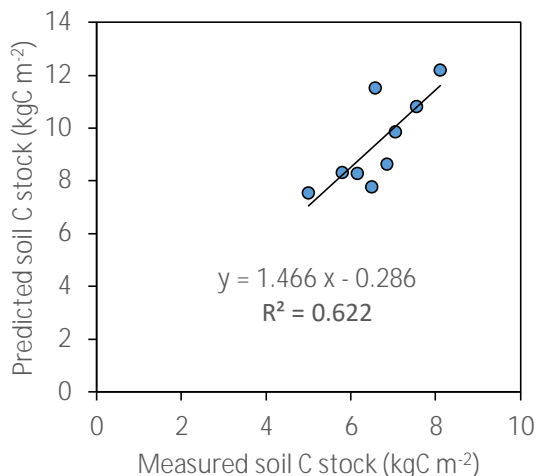


図2. 地域ブロック別の土壌炭素蓄積量の観測値と推定値の比較  
それぞれの点が各地域ブロックの平均値を示す。人工林の樹種構成が他地域と大きく異なる北海道ブロックを除く。観測値はUgawa *et al.* 2012の報告値による深さ0-30cmの土壌炭素蓄積量である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 TORIYAMA Jumpei, HASHIMOTO Shoji, SHIMIZU Takanori, LEHTONEN Aleksii
2. 発表標題 Bayesian calibration of a process-based model for estimating the growth of Japanese cedar plantations
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 TORIYAMA Jumpei, HASHIMOTO Shoji, SHIMIZU Takanori, SAWANO Shinji, OSONE Yoko, LEHTONEN Aleksii
2. 発表標題 Prediction of the productivity of cedar plantation in the Southern Japan using a process-based model
3. 学会等名 Geophysical Research Abstracts, EGU 2018 (国際学会)
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	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  (82105)	