

令和 4 年 6 月 29 日現在

機関番号：13901
研究種目：基盤研究(C)（一般）
研究期間：2019～2021
課題番号：19K12294
研究課題名（和文）グローバルスケールにおける林齢マップの作成に向けた手法の開発

研究課題名（英文）Global forest age estimation by inversion

研究代表者
近藤 雅征（Kondo, Masayuki）
名古屋大学・宇宙地球環境研究所・特任助教

研究者番号：40754346
交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、林齢の直接観測に依存することが困難な現状を踏まえ、「間接的なアプローチ（逆解析）によりグローバルスケールの林齢マップ」を作成を試みた。当初の計画よりもシンプルなアルゴリズムを基にした手法ではあるが、5種のバイオマスデータを用いた逆解析により、林齢の推定に幅を持たせることができた。現在は、試作の段階ではあるが、既存の林齢マップ（北アメリカ、中国）と整合する結果となっている。

研究成果の学術的意義や社会的意義

林齢は、森林の炭素収支を正確に把握する上で重要な要素である。若い森林は早い成長に対応し炭素吸収量が大いだが、成熟するに従って成長は緩やかになり、炭素吸収量は小さくなる。つまり、林齢は炭素吸収量の空間変動や絶対量の把握に強く関係することから、本研究が提示するグローバルスケールの林齢マップは今後の炭素収支推定の精緻化に貢献できるものである。

研究成果の概要（英文）：In this study, we attempted making of a "global-scale forest age map by an indirect approach (inverse analysis)". Although the method is based on a simpler algorithm than the original plan, the inverse analysis using five types of biomass data allowed a wider range of estimation of forest age. Currently, it is in the prototype stage, but the result is consistent with the existing forest age maps (i.e., North America, China).

研究分野：炭素循環

キーワード：林齢 物質循環 生態系モデル バイオマス 最適化

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

森林に代表される陸域生態系は、化石燃料の燃焼などによる CO₂ 排出量の約三分の一程度を吸収することから、気候変動予測において重要な研究対象である。特に気候変動によって炭素貯留量が今後大きく変化する森林の炭素収支を正確に把握することが、地球温暖化予測の不確実性の減少に繋がると考えられている。

「林齢」は、森林の炭素収支を正確に把握する上で非常に重要な要素である。若い森林は早い成長に対応し炭素吸収量が大きいですが、成熟するに従って成長は緩やかになり、炭素吸収量は小さくなる。過去には、日本の森林観測サイトを対象にした実験で、林齢を陸面モデルの制約とすることが観測された炭素収支を再現する上で重要であることが確認された (Kondo et al. 2013 Ecological Research; Kondo et al. 2015 Agricultural and Forest Meteorology)。しかし、現在まで北アメリカ、中国、南アメリカの熱帯地域を対象とした林齢マップ (Pan et al. 2011 iogeosciences; Zhang et al. 2014 Journal of Geophysical Research-Biogeosciences; Chazdon et al. 2016 Science Advances) が作成されたのみで、グローバルスケールで推定した林齢マップは存在しない。このことが森林の炭素収支をグローバルスケールで正確に把握する障害となっている。

林齢情報の広域化を困難としている問題は林齢データそのものにある。既存研究による林齢データは、炭素同位体を基にした年代調査から文献調査、聞き取り調査など手法に一貫性がなく、これら異なる手法で取得したデータの標準化手法も確立されていない。また、データは世界各地に広く散在するが、多くが先進国に集中しており、発展途上国においては希薄である。この不均一なデータ分布が林齢情報の広域化を困難としている。

2. 研究の目的

本研究の目的は、グローバルスケールの林齢マップを作製し、そのマップを用いて陸域炭素収支の推定精度を向上させることである。これまで、データ取得手法の非一貫性や不均一なデータ分布 (先進国に集中し、途上国では希薄) など既存の林齢データに内在するさまざまな問題のため、グローバルスケールでの林齢データの広域化は困難だとされていた。本研究ではこの背景を踏まえ、林齢

データを利用した直接的な広域化手法ではなく、森林攪乱履歴・バイオマスなどの間接的な情報を利用した逆解析手法を開発する。攪乱履歴を考慮した生態系モデルから森林成長を再現し、成長曲線から森林の誕生年まで回帰することにより林齢を推定する。さらに、本研究で構築したデータセットを用い、森林の成長過程を考慮した新たな陸域炭素収支の推定を行い、本データが推定に与える影響を評価する。

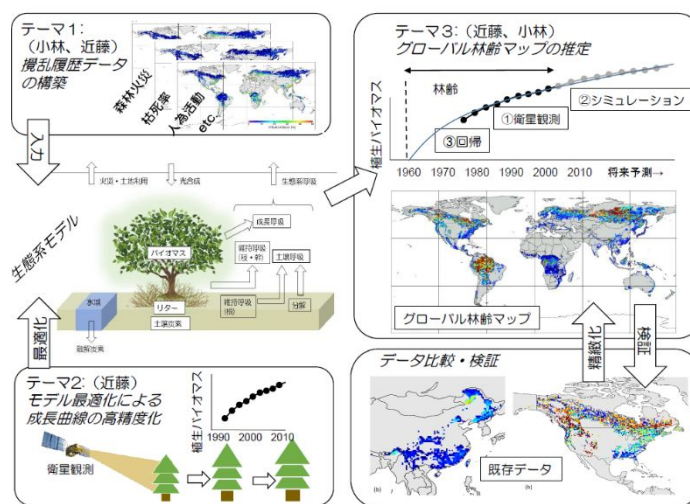


図 1. 本研究が提案するグローバル林齢マップ作成の枠組み

3. 研究の方法

本研究が提示するの林齢マップの推定には、攪乱情報を基にした森林成長過程の推定と逆解析手法の構築が不可欠である（図2）。

生態系モデルで森林成長過程をシミュレーションするためには攪乱情報をモデルの入力とする必要がある。まず、複数の衛星による攪乱履歴データ（人為攪乱指数、GFED4.1s 火災消失面積）、衛星マイクロ波データから推定した植生バイオマスの取得・共通処理を実施する。次に、攪乱履歴データを生態系モデル（Biome-BGC）の入力データ（大気CO₂濃度、気象

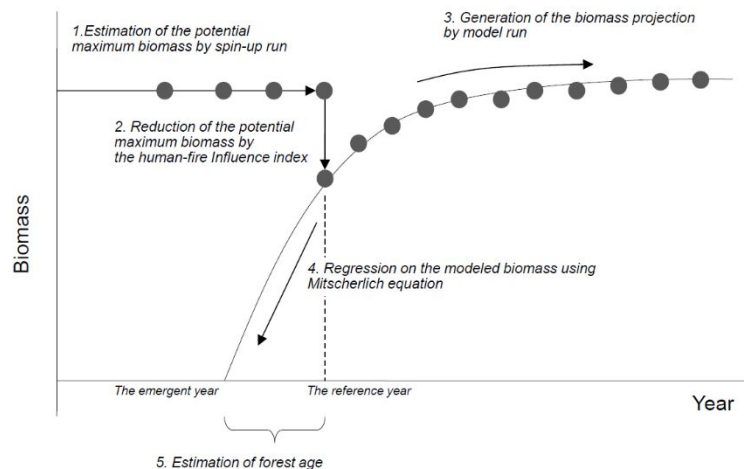


図2. 林齢推定における逆解析手法

データ)に加えることで、攪乱の度合いに応答したバイオマスの回復過程が計算できるようになる。衛星マイクロ波データから推定した植生の光学的厚さ（VOD: Vegetation Optical Depth）を基に推定した植生バイオマスデータが利用可能な期間を対象に、バイオマスの年次変化が観測と整合するようにモデルの最適化を行う。

林齢はバイオマスに対し成長式を回帰させて推定した「成長曲線」から逆算する（図2）。精度の良い回帰を算出するために必要な長期のバイオマスデータ（100年程度）は最適化モデルから計算する。この際、気候インプットデータはCO₂排出シナリオに基づいた地球システムモデルの結果（CMIP5）を使用する。シナリオ毎にシミュレーションした長期バイオマスに対し複数の成長式（Logistic、Mitscherlich式など）を適用し、より精度の高い回帰曲線を算出する将来予測・成長式の組み合わせを判別する。

上記で算出した成長曲線からグローバル林齢マップ（空間解像度0.25°×0.25°）の作成し、既存の林齢マップとの比較・精度検証を実施する。データ間の誤差が顕著な場合は成長曲線の推定に立ち返り、逆解析システムの再構築を検討し修正を行う。

4. 研究成果

(1) 逆解析手法の構築

生態系モデルで森林成長過程をシミュレーションするためには、モデルの入力として利用するさまざまな衛星観測データを準備する必要がある。そのため、複数の衛星による攪乱履歴データ（人為攪乱指数、GFED4.1s 火災消失面積、など）、衛星マイクロ波データから推定した植生の光学的厚さ（VOD）の取得・共通処理を実施した。

VODに関しては、当初予定していた複数のマイクロ波バンドを複合利用して作成したデータに加え、個々のマイクロ波バンド（C-バンド、Ku-バンド、X-バンド、L-バンド）に基づいて推定された4種のVODデータが新たに公開されたため、これら計5種のVODデータを取得し共通処理を行った。さらに、樹高データを基に作成されたバイオマスデータとこれらのVODデータの関係式を構築し、VODから地上部バイオマスへの変換を行った。

これらの VOD データは植生バイオマスと高い相関関係を示したが、波長により飽和点が異なることが分かった。L-バンドに基づく VOD データは植生バイオマスと最も高い相関を示したが、Ku-バンドに基づく VOD データは高い値で飽和することが分かった。つまり、Ku-バンドでは高い値の植生バイオマスを再現できない。しかし、L-バンドは最も利用期間が短く（2010 年以降）、一方で、Ku-バンドは最も長い（1987 年以降）など、其々のデータに利点欠点があることが分かった。

5 種の VOD データから算出した植生バイオマスを用い、生態系モデルのデータ同化アルゴリズムの作成を実施した。この過程で、モデル内の植生バイオマスを算出する過程に観測データで制約できないパラメータ（理論・仮説によるもの）が関わることから、これらのパラメータ値の選択によりデータ同化の精度が大きくばらつくこと分かった。

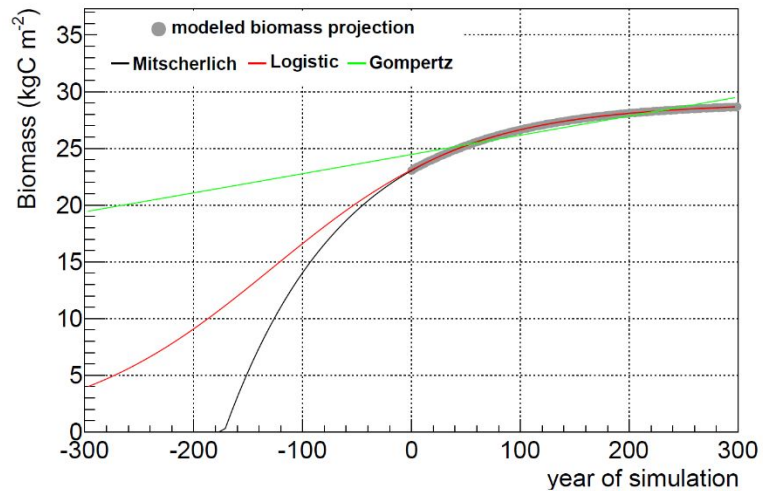


図3. バイオマスの年次変化に対する成長曲線式のフィッティング比較

また、生態系モデルから算出した植生バイオマスに対し、複数の成長曲線式をフィッティングした結果、他より自由度の高い Mitscherlich 式が最も適した式であることが分かった。

(2) グローバル林齢マップの推定

グローバル林齢マップの作製において、VOD データを生態系モデルに同化する計画だったが、植生バイオマスの計算過程に関わる複数のパラメータの全てを観測データを基に制約することが難しく、断念した。代わりに、構造が比較的構造がシンプルでパラメータが少ないボックスモデルを開発し、VOD

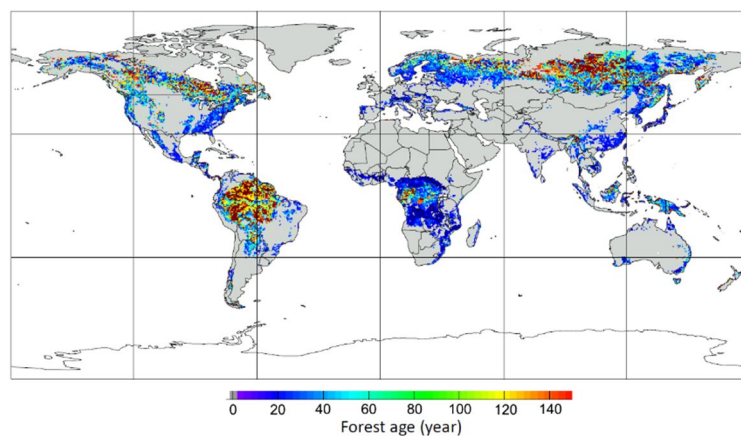


図4. グローバル林齢マップの試作プロダクト。

データとの同化を行った。これまでに取得した 5 種の異なる波長帯（C-バンド、Ku-バンド、X-バンド、L-バンド、これらのバンドの合成）から算出した VOD データを上記のアルゴリズムに適応して作成した 5 種の林齢マップの平均値を一次プロダクトとした（図 4）。空間分布はそれぞれの林齢データで凡そ一致し、既存的林齢マップ（北アメリカ：図 5、中国：図 6）とも整合する結果を示した。しかし、北アメリカやユーラシアの北方林帯、及び、熱帯雨林の地域では、絶対値の差が 5 種のマップ間で顕著であった。この原因は、基となるマイクロ波データの特性（波長帯により植生バイオマスへの感度差が異なる）と、データの利用期間の違い、が原因であると思われる。現在は、5 種の林齢マップの平均値や中央値に依存せずに、林齢の代表値を決める方法を試案中である。また、これらの結果を取りまとめた原著論文を執筆中である。

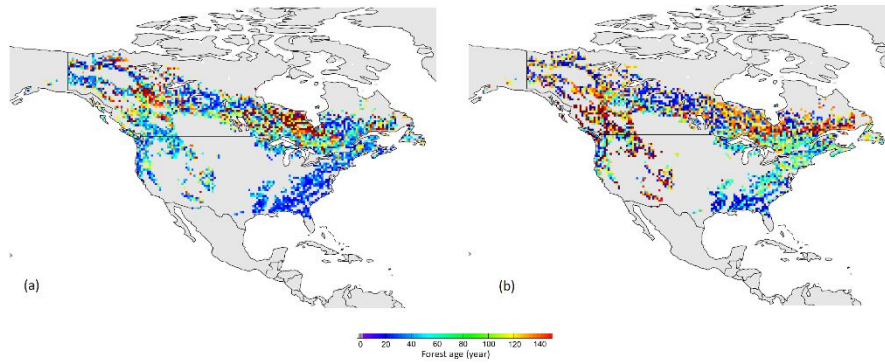


図5.北アメリカにおける林齢マップの比較。(a)本研究による推定。(b)先行研究による推定。

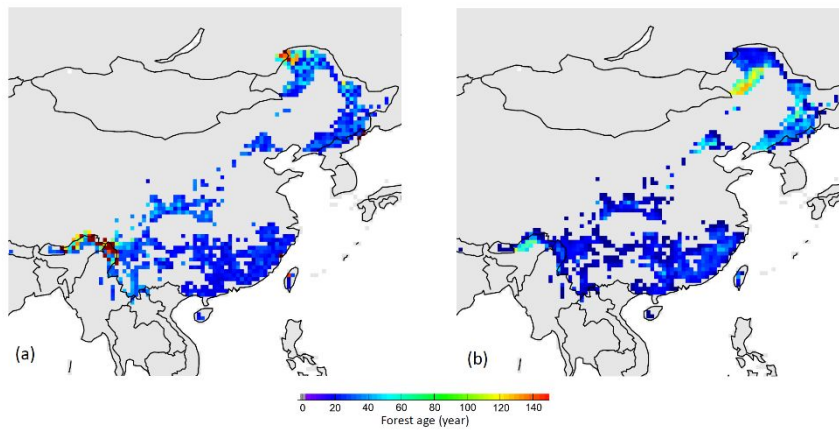


図6.中国における林齢マップの比較。(a)本研究による推定。(b)先行研究による推定。

(3) 林齢マップが炭素収支の推定に与える影響評価

グローバル林齢マップの作製が計画よりも遅れたため、林齢が炭素収支に与える影響評価に着手ができていない。この課題は、林齢マップの最終プロダクトの作成後に取り組む予定である。

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 2件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Kondo Masayuki, Sitch Stephen, Ciais Philippe, Achard Frederic, Kato Etsushi、他28名	4. 巻 36
2. 論文標題 Are Land Use Change Emissions in Southeast Asia Decreasing or Increasing?	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Global Biogeochemical Cycles	6. 最初と最後の頁 e2020GB006909
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1029/2020GB006909	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

1. 著者名 Zhu Lei, Ciais Philippe, Bastos Ana, Ballantyne Ashley P., Chevallier Frederic, Gasser Thomas, Kondo Masayuki, Pongratz Julia, R?denbeck Christian, Li Wei	4. 巻 16
2. 論文標題 Decadal variability in land carbon sink efficiency	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Carbon Balance and Management	6. 最初と最後の頁 5
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1186/s13021-021-00178-3	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0件

〔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	小林 秀樹 (Kobayashi Hideki) (10392961)	国立研究開発法人海洋研究開発機構・地球環境部門(北極環境変動総合研究センター)・グループリーダー代理 (82706)	

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
---------	---------

中国	Tsinghua University			
英国	University of Exeter	University of Birmingham	Met Office Hadley Centre	
米国	Woodwell Climate Research Center	National Center for Atmospheric Research	NASA	他2機関
フランス	LSCE			
ドイツ	Max Planck Institute for Biogeochemistry	Karlsruhe Institute of Technology	Max Planck Institute for Meteorology	他1機関