

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 12 日現在

機関番号：13701

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2010～2013

課題番号：22248017

研究課題名(和文) プロセスモデルによる炭素収支のスケールアップ推定の精度検証手法の開発

研究課題名(英文) Development of validation method for the scaling up of carbon flux simulation using ecological process models

研究代表者

粟屋 善雄 (Awaya, Yoshio)

岐阜大学・流域圏科学研究センター・教授

研究者番号：90353565

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 35,600,000円、(間接経費) 10,680,000円

研究成果の概要(和文)：常緑針葉樹林と落葉広葉樹林での地上計測(フラックスと生態プロセス)の結果に基づいて、生態プロセスモデルSATECOのパラメータを調整して精緻化を行い、気象データを利用して岐阜県高山市大八賀川流域の炭素収支をシミュレーションした。

人工衛星データを用いて流域の植生タイプを分類し、分類結果に基づいて航空機レーザ観測で得た樹高情報で2時期の森林の木部乾重を推定して、2時期の差分で成長量(木部NPP)を推定した。SATECOによるNPP推定値と木部NPPを比較し、空間分布パターンの違いや推定値の差に基づいてシミュレーション結果の妥当性を検証できることを示した。

研究成果の概要(英文)：An ecological process model SATECO was tuned and revised based on micro climatological and ecological measurements at evergreen conifer and deciduous broadleaved forests. Carbon flux was simulated by SATECO with climate data over Daihachiga river basin in Gifu prefecture.

Vegetation type was classified using satellite imagery and woody dry biomass was estimated at two periods using canopy height data from airborne laser measurements and the classification map. Biomass growth (woody net primary production, NPP) was computed as the difference of the two dry biomass estimations. Simulated NPP by SATECO and woody NPP were compared each other and differences of the two NPP in spatial distribution and NPP values could show appropriateness of the simulation result.

研究分野：農学

科研費の分科・細目：森林学・森林科学

キーワード：炭素収支 生態系プロセスモデル LiDAR 木部乾燥重量 純一次生産量 広域検証

1. 研究開始当初の背景

(1) 今日、二酸化炭素 (CO₂) を初めとする温室効果ガスの大気中の濃度が増加するにつれて地球の気温が上昇する傾向が顕著になり、生態系への影響が危惧されている。陸域の 30% を占める森林生態系に関しては CO₂ の吸収の実態を把握し、気温上昇にともなう森林生態系の応答を明らかにすることが、温暖化の影響評価および対策には欠かせない。

(2) これまで、陸域生態系の炭素収支をフラックス観測やプロセス研究を介してモデル化し、スケールアップにより広域の炭素収支を推定することが様々な研究機関で実施されてきた。しかし、炭素収支の推定精度を向上するためには、面的に不均一な植生に対する検証法を確立し、スケールアップ手法を発展させる必要がある。

2. 研究の目的

森林生態系を対象としてプロセスモデルを用いたスケールアップによる炭素収支の推定結果を、空間情報を利用して検証する方法を開発することを目指す。広域へのスケールアップでは、以下のような問題によって面的な炭素収支の推定精度が低下すると考えられる。

(1) 森林タイプ毎に固有のパラメータが揃わないため、代替パラメータの不適合による精度低下。

(2) リモートセンシング (RS) データを介して得られる森林タイプや葉面積などの森林空間情報の不確実性の影響。

これらの問題がスケールアップに及ぼす影響を検証して精度劣化の要因を明らかにし、推定された炭素収支の空間分布の精度を検証する方法を提示する。

3. 研究の方法

(1) 常緑針葉樹林と落葉広葉樹林で微気象学的方法 (渦相関法) と生態プロセス手法 (積み上げ法) で得られた炭素収支の測定値で、陸域生態系モデル (局所プロセスモデル) のパラメータをチューニングして精緻化を図る。このパラメータを SATECO に適用する。

(2) 最適化された局所プロセスモデルを利用して、異なる 2 つの気候 (標高) において上記の森林生態系の炭素収支をシミュレーションして炭素分配を比較し、気候による生態系の反応の特徴を検証する。

(3) SATECO を用いて、面積指数 (LAI) を SATECO の既定値で与えた場合と、RS による推定値で与えた場合について、岐阜県高山市大八賀川流域を対象に炭素収支をシミュレーションし、微気象学的方法での観測値と比較して精度を検証する。

(4) 大八賀川流域の土地被覆 (植生タイプ) が一様と仮定して、SATECO により土地被覆別に炭素収支をシミュレーションする。得られた分布図を比較して、シミュレーション結果の特徴と問題点を検証する。なお、SATECO では、常緑針葉樹、落葉広葉樹、カラマツ、草地、裸地の 5 つの土地被覆 (植生タイプ) を設定している。

(5) 3 種類の土地被覆分類図に基づいて、SATECO により NEE をシミュレーションして、分類図が炭素収支に及ぼす影響を、①土地被覆の分布パターンの違い、②植生タイプごとの面積の違いの視点で評価する。

(6) 高分解能衛星データで作成した植生タイプ図を利用し、航空機レーザ (LiDAR) のデータによりバイオマス (木部乾燥重量、TDB) を高精度で推定する方法を開発し、フラックス観測サイト周辺を検証地として TDB 分布の特徴を検証する。

(7) 航空機レーザデータで推定した TDB の経年変化 (木部 NPP) を図化し、その特徴を検証する。

(8) 高分解能衛星データで作成した 3 つの植生タイプ図を利用し、木部 NPP 分布図を SATECO の空間分解能 100m で集約して、植生タイプ図の違い (分類精度) が炭素収支推定に及ぼす影響を評価する。

4. 研究成果

(1) スギ・ヒノキ人工林が優占する常緑針葉樹林とミズナラ・ダケカンバが優占する落葉広葉樹林における微気象学的手法と生態プロセス手法によって推定された炭素フラックスおよび炭素蓄積量を検証・最適化データとして利用することで、両生態系における炭素収支をモデルにより高精度で推定可能となった (図 1、図 2)。

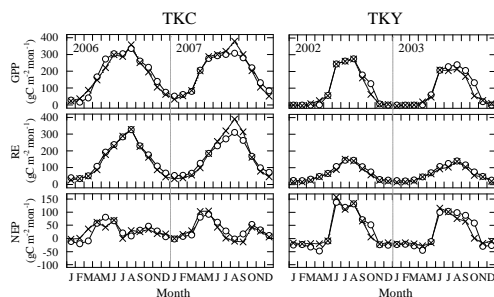


図 1 常緑針葉樹林 (TKC) および落葉広葉樹林 (TKY) における総一次生産量 (GPP), 生態系呼吸量 (RE), 純生態系生産量 (NEP) のモデル値 (○) と観測値 (×) の比較

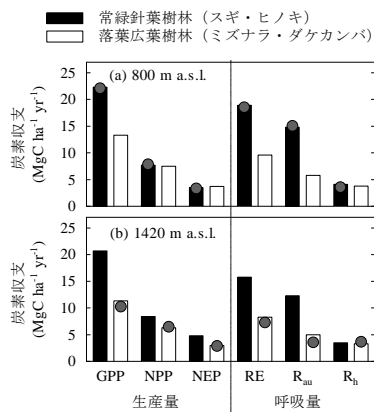


図2 常緑針葉樹林と落葉広葉樹林を対象とした生態系モデルによる炭素分配の比較。生態系モデルはフィールド観測値によって最適化した(灰色丸は観測値)。GPPは総一次生産量、NPPは純一次生産量、NEPは純生態系生産量、REは生態系呼吸、R_植は植物体呼吸、R_微は微生物呼吸。

(2) いずれの気候においても、スギ・ヒノキ人工林が優占する常緑針葉樹林は、ミズナラ・ダケカンバが優占する落葉広葉樹林に比べて、(a) 高いバイオマスとそれに伴う高い植物体呼吸量を持つことが示唆され、(b) 結果として、年間を通して総一次生産量と生態系呼吸量が高く、(c) 顕著に高い炭素代謝機能をもつことが明らかとなった。

(3) RS-LAIの方が既定値LAIよりGPP推定値が大きかった。これは、RS-LAIの値が既定値LAIより大きいことによる。SATECOは観測された気象データで駆動された場合、GPP、NEEを良く再現できるが、気候モデルの気象値での結果(図3)は、観測値に対してGPPのピーク値で約180%、NEEの負のピーク値では約30%の値だった。LAIと気象データがSATECOの炭素収支計算に大きく影響することが明らかになった。これはスケールアップ推定に共通する問題の可能性がある。

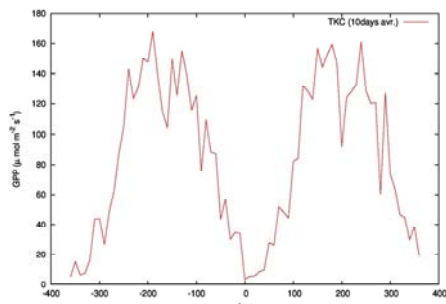


図3 既定値LAIによるTKC最寄り点でのGPP推定値

(4) 植生が一様と仮定した場合NPPの平均値は落葉広葉樹 $33.8 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ > 常緑針葉樹 $25.6 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ > 草地 $18.6 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ > カラマツ $10.1 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ の順になった。カ

ラマツ以外はかなり高い値である。この結果はスケールアップ推定の結果を地上測定値と比較検証するだけでなく、広域で相互比較して妥当性を検証することが重要であることを示唆している。また、この比較から植生タイプを誤分類した場合、 $20 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ を超えるエラーが生じる得ることが分かった。

(5) 既存の土地被覆分類図(分類2008)と本研究で作成した2つの土地被覆分類図(分類2011、分類2013)を利用した(図4)。分類図の特徴は次の通りである。分類2008は広葉樹の分布が他の分類とかなり違い、分類2011は裸地の項目がなく草地と農地が多く、分類2013は裸地とカラマツが多い。

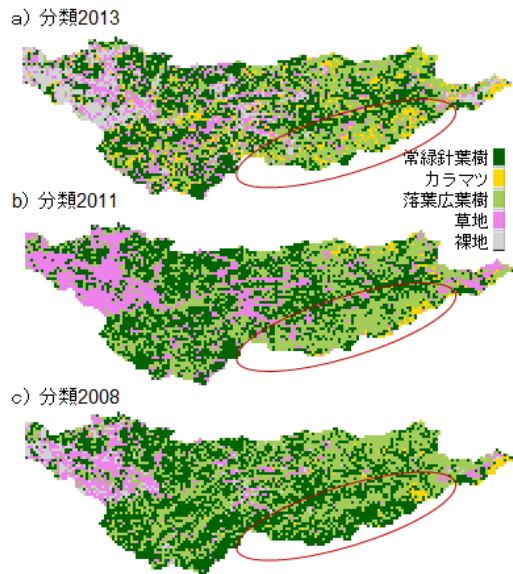


図4 スケールアップ推定の検証に利用した土地被覆(植生タイプ)分類図

NEEの分布図(図5)を比較すると、赤丸で囲った流域の南東部では落葉広葉樹と常緑針葉樹の分類結果の違いが大きいため、NEEの分布に差が生じた。また、NEEの平均値を比較すると、分類2013は他の分類よりもNEEが10%ほど大きめ(CO_2 放出)であることが分かった。これは、分類2013では裸地に分類された画素が他の分類結果より多いためである。3つの分類図はいずれも2m級の画素サイズの衛星データを利用して作成したが、衛星データの季節や分類者の技量などの違いによって、植生タイプの分布にかなり差が生じた。比較的分類しやすい落葉樹と常緑樹の分布に差があることから、スケールアップにあたっては分類図の精度を吟味することが重要である。

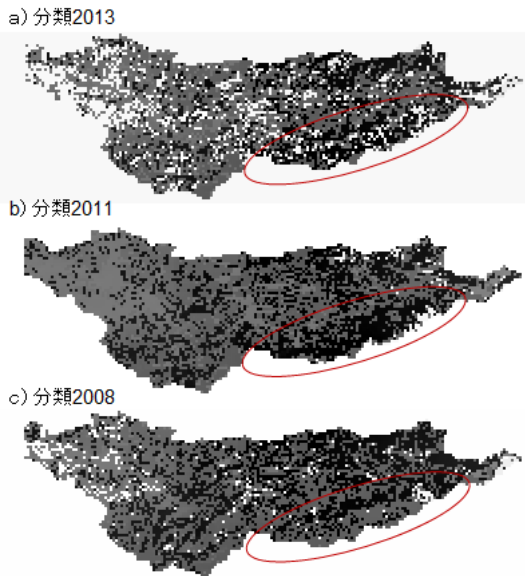


図5 3種類の分類図を利用したNEEの推定結果. NEE CO₂ 放出 白←→黒 吸収

(6) TDB 推定に適した LiDAR パラメータを検討し、対象地の常緑針葉樹林では地上部平均高、落葉広葉樹林では樹冠部中間高がもっとも有効であることを明らかにした。それぞれのパラメータを用いた TDB 推定式により 2011 年の LiDAR データを用いて TDB の分布図を作成した (図 6)。TDB の推定誤差は約 28 Mg ha⁻¹ だった。常緑針葉樹の平均 TDB は 280Mg ha⁻¹ だが、落葉広葉樹は 224Mg ha⁻¹ で針葉樹は広葉樹の約 1.2 倍であること、対象地の西寄りの道路沿いで針葉樹の TDB が高いことが明らかになった。

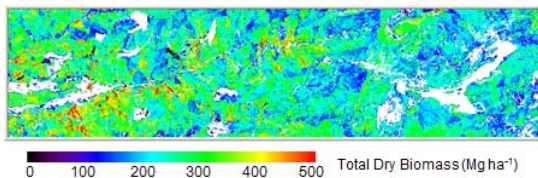


図6 検証対象地での TDB の分布 (2011 年)

(7) 2011 年用に調整した TDB 推定式を 2005 年の LiDAR データに適用して TDB を算出した後、2つの TDB 分布図の差をとって木部 NPP の分布図を作成した (図 7)。分布図からは常緑針葉樹の木部 NPP の平均値が 9.4 Mg ha⁻¹ yr⁻¹ に対し、落葉広葉樹が 10.6 Mg ha⁻¹ yr⁻¹ となり、落葉広葉樹のほうがやや成長が勝っていることが明らかになった。木部 NPP が顕著に減少した箇所は皆伐地と考えられる。なお、この解析結果には常緑針葉樹林での間伐が影響している。

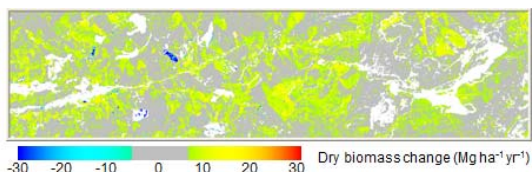
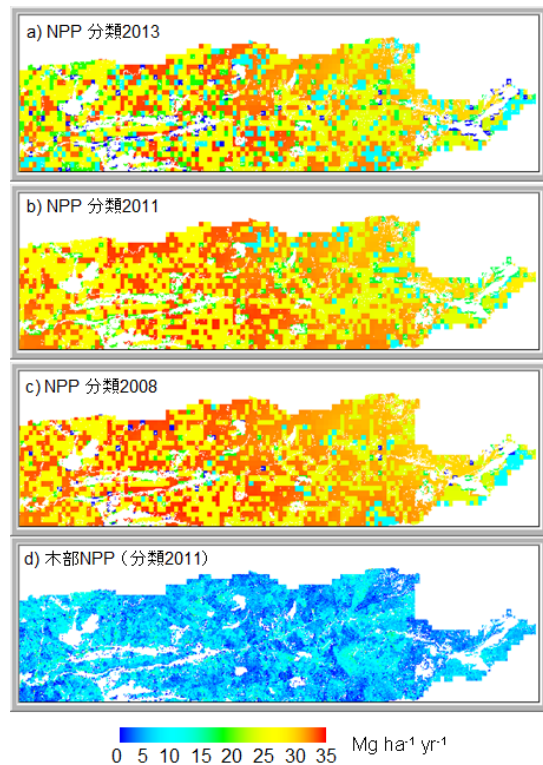


図7 検証対象地での木部 NPP の分布

(8) 既存の土地被覆分類図 (分類 2008) と本研究で作成した 2つの土地被覆分類図 (分類 2011、分類 2013) を利用し、植生タイプの分布に基づいて NPP のシミュレーション結果をマッピングした。分類図の特徴は次の通りである。分類 2008 は広葉樹の分布が他の分類とかなり違い、分類 2011 は裸地の項目がなく草地と農地が多く、分類 2013 は裸地とカラマツが多い。

NPP のシミュレーション結果を比較すると、分類図の特徴が NPP 推定値に反映されていて (図 8)、基準の分類図が SATECO の結果にかなり影響していた。木部 NPP と NPP を比較すると、それぞれの平均値は、分類 2008 28.9 Mg ha⁻¹ yr⁻¹ ≒ 分類 2011 28.2 Mg ha⁻¹ yr⁻¹ > 分類 2013 25.4 Mg ha⁻¹ yr⁻¹ > 木部 NPP 5.5 Mg ha⁻¹ yr⁻¹ となった。裸地が多い分類 2013 で推定値が低く現れた。植生を裸地に誤分類した場合の影響の大きさを示した結果と言えよう。既存資料に基づいて落葉・落枝量を約 4 Mg ha⁻¹ yr⁻¹ と仮定すると、LiDAR データによる NPP の推定値は約 9.5 Mg ha⁻¹ yr⁻¹ となり、先に示した、SATECO で推定されたカラマツの流域での平均 NPP にかなり近い値になる。



8 検証地での NPP の分布図

a~c は土地被覆分類図を変えた場合の SATECO の推定結果で a:分類 2008, b:分類 2011, c:分類 2013。d は LiDAR データと分類 2011 で求めた木部 NPP。

NPP と木部 NPP の不一致の原因については、今後の検討課題である。ただし、現在の様々なバイオマス推定方法の中で、LiDAR データを用いる方法は精度が高くて広域で利用可能であり、木部 NPP の信頼性はかなり高く、

スケールアップ推定の問題点を示唆する情報を提供できたと言える。

以上のように、本プロジェクトでは炭素収支モデルの高度化を図るために、①地上観測の結果を利用してパラメータを改良し、②炭素収支のシミュレーション結果を検証する方法として、プロットレベルだけではなく、植生タイプを固定してシミュレーションした広域の分布図を相互比較することを提案した。

さらに、LiDAR データから木部 NPP を高精度でマッピングする方法を提示し、③木部 NPP の推定値をリファレンスとして炭素収支の広域推定マップを検証する方法を開発して、その有効性を示した。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 18 件)

- ① 齋藤琢、群落スケールの生態系呼吸 – 炭素循環および熱循環の視点から –、光合成研究、査読有、Vol. 24、No. 1、2014、pp. 27-31
- ② 栗屋善雄、福田夏子、高橋與明、河合洋人、LiDAR データを用いた高山市大八賀川流域の森林の蓄積推定: 針葉樹林と広葉樹林の比較。中部森林研究、査読有、Vol. 61、2013、pp. 103-104
- ③ Saitoh T.M., Nagai S., Yoshino J., Muraoka H., Saigusa N., Tamagawa I., Functional consequences of differences in canopy phenology for the carbon budgets of two cool-temperate forest types: simulations using the NCAR/LSM model and validation using tower flux and biometric data, Eurasian Journal of Forest Research, 査読有、Vol. 15, No. 1, 2012, pp. 19-30
- ④ 福田夏子、栗屋善雄、児島利治、LiDAR と Quickbird のデータを用いた植生タイプ分類 – 高山市大八賀川流域の事例 –、システム農学、査読有、Vol. 28、No. 4、2012、pp. 115-122
- ⑤ Muraoka H., Saigusa N., Nasahara K.N., Noda H., Yoshino J., Saitoh T.M., Nagai S., Murayama S., Koizumi H., Effects of seasonal and interannual variation in leaf photosynthesis and canopy leaf area index on gross primary production in a cool-temperate deciduous broadleaf forest in Takayama, Japan. Journal of Plant Research, 査読有、Vol. 123, 2010, pp. 563-576, DOI: 10.1007/s10265-009-0270-4

[学会発表] (計 3 3 件)

- ① 高橋與明、栗屋善雄、田中真哉、航空機 LiDAR による針葉樹林の平均樹高成長モニタリングの可用性。日本森林学会第

125 回大会、2014 年 3 月 28 日、大宮ソニックシティ (埼玉県さいたま市)

- ② 栗屋善雄、河合洋人、福田夏子、高橋與明、秋山侃、低密度 LiDAR データによる森林の材積推定の不確実性 – DTM の精度の影響 –、システム農学会大会、2013 年 5 月 13 日、とりぎん文化会館 (鳥取県鳥取市)。
- ③ 大塚俊之、Vilanee Suchewaboripont、飯村康夫、馬倩、吉竹晋平、小見山章、白山山麓ブナ・ミズナラ原生林における炭素循環、日本地球惑星科学連合大会、2013 年 5 月 22 日、幕張メッセ (千葉県幕張)

[図書] (計 1 件)

- ① 齋藤琢、森北出版、植生のリモートセンシング、第 4 章 植物の群落と機能、HG Jones, RA Vaughan (著)、久米篤・大政謙次 (監訳)、2013、pp. 84-113 (分担翻訳)。

[その他]

ホームページ

http://www.green.gifu-u.ac.jp/~awayalab/wordpress/?page_id=68

6. 研究組織

(1) 研究代表者

栗屋 善雄 (AWAYA, Yoshio)
岐阜大学・流域圏科学研究センター・教授
研究者番号: 9 0 3 5 3 5 6 5

(2) 研究分担者

大塚 俊之 (OHTSUKA, Toshiyuki)
岐阜大学・流域圏科学研究センター・教授
研究者番号: 9 0 2 7 2 3 5 1

玉川 一郎 (TAMAGAWA, Ichiro)
岐阜大学・流域圏科学研究センター・教授
研究者番号: 4 0 2 7 3 1 9 8

児島 利治 (KOJIMA, Toshiharu)
岐阜大学・流域圏科学研究センター・准教授
研究者番号: 9 0 3 4 6 0 5 7

齋藤 琢 (SAITOH, Taku)
岐阜大学・流域圏科学研究センター・特定研究補佐員
研究者番号: 5 0 4 2 0 3 5 2

高橋 與明 (TAKAHASHI, Tomoaki)
森林総合研究所・九州支所・主任研究員
研究者番号: 9 0 4 3 5 5 8 7

(3) 連携研究者

村岡 裕由 (MURAOKA, Hiroyuki)
岐阜大学・流域圏科学研究センター・教授
研究者番号: 2 0 3 9 7 3 1 8