

令和 5 年 5 月 21 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20H04317

研究課題名(和文)シベリア森林火災が炭素循環・植生分布・エアロゾル放出に与える影響のモデル推定

研究課題名(英文) Modeling of Siberian forest fire impact on carbon dynamics and vegetation distribution and consequent aerosol emission

研究代表者

DELBART Nicolas (Delbart, Nicolas)

北海道大学・農学研究院・招へい教員

研究者番号：40813754

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,700,000円

研究成果の概要(和文)：シベリア森林火災による炭素循環・植生変化・エアロゾル放出を推定するために、衛星観測・プロセス改良/開発・動的全球植生モデルを組み合わせた研究を行った。陸域生態系の物質循環と樹木個体群動態を再現できる動的全球植生モデルSEIB-DGVMに、信頼性の高い火災モジュールSPITFIREを組み込み、現在における検証と、将来における予測をおこなった。その結果、衛星による火災観測とそれらから推定されたCO₂放出に対して良い一致をみせた。またRCP気候シナリオによる予測では、いずれにシナリオ化でも火災は増加し、それに伴い各種温室効果ガスとエアロゾルの増加が見られた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

広大な面積を占めるシベリアにおいて、今後起こると予想される激しい温暖化等は甚大な物質循環の変化をもたらす。その際に林野火災がどの程度発生し、それによって放出される温室効果ガスやエアロゾルは、シベリアのみならずグローバルな環境変化をもたらすことが、本課題によって定量的に解明することができた。このことは当該地域やグローバルな環境保全をどのように進めれば良いかについて、重要な基礎資料を提供していることに意義がある。

研究成果の概要(英文)：The estimation on the changes in carbon dynamics, vegetation shift, and aerosol emissions induced by wild fire was conducted in Siberia with combined approaches of satellite observation and terrestrial ecosystem model. The spatially explicit individual based global dynamic vegetation model (SEIB-DGVM) was added the widely recognized fire module SPITFIRE, and was validated with satellite data, and was used for future prediction. SEIB-DGVM-SPITFIRE showed a good correlation with satellite fire and CO₂ emission data on spatial extent. It predicted the gradual growth in fire occurrence and accompanied green house gases (GHGs) and aerosol emissions under any of RCP climate scenarios till 2100.

研究分野：環境動態解析

キーワード：リモートセンシング 衛星データ エアロゾル放出 生態系モデル

1. 研究開始当初の背景

シベリアは 1,300 万 km² (日本の 30 倍以上) もの広大な土地の土壤に、大量の炭素を蓄積しておりかつ、気候変動のスピードが最も早い地域であるとされている。すなわち温暖化が起こった時に、温室効果ガスである CO₂ の巨大な放出源になる危険性が高い (IPCC, 2013)。

森林火災は、バイオマス燃焼によって、CO₂ だけでなく、ブラックカーボン、NO_x 等のエアロゾルを大量放出し、温室効果の増幅、風下の大気汚染、地域のエネルギー・炭素循環の大きな変化につながる。そのため、それらの推定精度を向上させることは、将来の地球環境を正確に予測する上で非常に重要である (IPCC, 2013)。

特にシベリアは、近年火災が頻発し (例えば 2019 年夏は 7.4 万 km² (日本国土 20% 相当) が延焼)、風下の北日本では PM2.5 などの越境大気汚染物質に晒されている。また森林火災は植生変化を促している (Shuman et al, 2011, *GCB*; Shuman et al., 2017, *Env. Res. Let.*) という報告もある

一方で、陸域生態系の物質循環と樹木個体群動態を再現できる動的全球植生モデル SEIB-DGVM (Sato et al., 2007, *Ecol. Model*) は、シベリア永久凍土地帯のカラマツが優占した生態系の炭素・水・熱循環と植生分布を再現することに成功している (図 2; Sato et al., 2016, *Ecol. & Evol.*)。また、シベリアで優占しているカラマツ林と同属種におけるエアロゾルの一種である自然起源揮発性有機炭素 (BVOC) の野外観測データの蓄積や、バイオマス燃焼によるエアロゾル放出推定のための係数やプロセスモデルも提唱されている。さらに衛星による火災面積データ (GFED4s 等) などの各種データ・プロセスモデルも整備されている。すなわち、シベリアの森林火災による炭素循環・植生変化・エアロゾル放出を推定する動的全球植生モデルを開発し、将来の影響を予測することが強く期待されている。

2. 研究の目的

シベリア森林火災による炭素循環・植生変化・エアロゾル放出を推定するために、衛星観測・プロセス改良/開発・動的全球植生モデルを組み合わせた 3 つのテーマの研究を行う。

テーマ① 衛星データによる森林火災の発生過程の解明と SEIB-DGVM の火災プロセスの改良

テーマ② 生態系モデルにおける自然起源エアロゾル放出プロセスの追加

テーマ③ SEIB-DGVM による森林火災が将来の炭素循環・植生変化・エアロゾル放出量に与える影響の将来予測

3. 研究の方法

テーマ① 衛星データによる森林火災の発生過程の解明と SEIB-DGVM の火災プロセス改良

オリジナルの SEIB-DGVM には、すでに GlobFIRM (Thonicke et al., 2001) というシンプルな火災モデルが入っているが、火災発生面積を著しく過小評価している。そこで、グローバルな火災モデルを持つ生態系モデルについてのベンチマーク研究 (FireMIP; Rabin et al., 2017, GMD) で高評価を受けている SPITFIRE (多数の生態系モデルに内蔵されている汎用火災モデル; Thonicke et al., 2010) を参考にし、モデルを構築する。

1990-2017 年の間のシベリア全域の火災と環境データ: 火災面積 (GFED v4. 1s, 0.25° x 0.25°, 月ステップ, Randerson et al., 2018; MODIS MCD64A1, 1km x 1km, 8days or 月ステップ, メリーランド大) と、落雷 (OTD, 0.5° x 0.5°, 年平均, NASA)、気候 (CRU TS 4.01, 0.5° x 0.5°, 月ステップ)、人口分布 (GPW, 0.25° x 0.25°, NASA) を収集し SPITFIRE の入力データとして使用する。また Shiraiishi et al. (2021) Sci Rep による放出 CO₂ 量についても検証データとして利用する。

テーマ② 生態系モデルにおける自然起源エアロゾル放出プロセスの追加

a. 地上観測データを利用した BVOC 放出プロセスの開発

MEGAN2.1 (Guenther et al, 2012, *GMD*) と LPJ-GUESS の BVOC 部分 (Navarro et al., 2014, *JGR Atmos.*) の北方林モジュールを参考にし、光・温度・葉の特性等を関数にした BVOC 放出計算を行うプロセスモデルを構築する。検証には渦相関フラックスタワー (国立環境研・富士北麓サイト) で 2011-2012 年に観測されている、カラマツ (*Larix kaempferi*: シベリアに優占するカラマツ類 (*L. sibirica*, *L. gmelinii*) と同属近縁種) からのモノテルペン放出量 (Mochizuki et al., 2014, *Atmos. Env.*; Mochizuki et al., 2015, *Atmos. Chem. Phys.*) を利用する。

b. 放出係数法による火災起源エアロゾル放出プロセスの開発

GFED などの衛星データによる火災プロダクトを作成するために公開されている火災エアロゾル放出係数 (Akagi et al., 2011, *ACP* など) を利用する。①-b で火災部分を改良された SEIB-DGVM で計算された焼失バイオマスから放出される CO₂、CO、CH₄、ブラックカーボン、PM_{2.5} 等の

エアロゾル量を計算するプロセスを開発する。

テーマ③ SEIB-DGVM による森林火災が将来の炭素循環・植生変化・エアロゾル放出量に与える影響の将来予測

a. 現在（過去数十年）における検証

シベリア全域（北緯 50-70 度、東経 60-150 度）を緯度・経度 0.5 度のグリッド化して計算を行う（計 7,200 点）。CRU TS4.1 および NCEP/NCAR 気候データ（0.5° x 0.5°, 1901-2017 年）を入力値とし、炭素蓄積量を平衡させるためのスピニアップ（1000 年間：1901-1930 年の気候データを繰り返し与える）に続いて、歴史実験（1901-2017 年）を行う。1990-2017 年（現在）の炭素収支・火災面積などを、既存の総一次生産（GPP, Jung et al., 2010）、衛星火災（①-a）、MODIS LAI データ等と比較検証し、本研究で利用するモデルの性能を確認する。また、当該期間の森林火災と炭素循環・植生変化・エアロゾル放出の関係を調べる。

b. 将来予測モデル実験

地球システムモデル（気候-生態系物質循環結合モデル）MIROC6 による 1850-2100 年の気候データを入力値にする。③-a でスピニアップされた SEIB-DGVM の炭素蓄積を利用し、1850-2100 年間の代表的濃度経路（RCP）の 4 段階の放射強制力（2.6, 4.5, 6.0, 8.5W/m²）シナリオによる実験を行う。SEIB-DGVM の林分の各樹木個体の構成・枯死率には乱数を利用した確率論的な割り当てがあり実験ランごとにわずかに異なる結果を出力する。そのため、シナリオ毎に 10 回の繰り返し反復を行い、それらの平均と標準偏差を尤もしい予測結果として提示する。すなわち、4 RCP シナリオ x 10 反復 = 40 通りの実験を行い、将来のシベリアの森林火災と炭素循環・植生変化・エアロゾル放出の関係の程度を調べる。

4. 研究成果

テーマ① 衛星データによる森林火災の発生過程の解明と SEIB-DGVM の火災プロセス改良
SPITFIRE は Figure 1 のように構築され、SEIB-DGVM の中で動くようになった。

テーマ② 生態系モデルにおける自然起源エアロゾル放出プロセスの追加

富士北麓のカラマツ林を対象としたモノテルペン放出の再現は、当初 SEIB-DGVM で行うことを想定して準備していたが、光合成プロセスの計算に Farquhar らによる生化学式を導入した方がより効率的であると考えられた。そこで当該式の入っている陸域生態系モデル VISIT に BVOC モジュールを組み込むことによって渦相関フラックスタワーで 2011-2012 年に測定されたモノテルペンをうまく再現できることがわかった。今後これをシベリア域で実行し、将来の気候変動化でのモノテルペンの推定を行う。

テーマ③ SEIB-DGVM による森林火災が将来の炭素循環・植生変化・エアロゾル放出量に与える影響の将来予測

GFED4s との比較において、SEIB-DGVM-SPITFIRE は、比較的良い火災の地理分布を示すことができた（Figure 2）。東部でモデルの過小評価が目立つが、今後パラメータを微小に再調整する可能性がある。また Shiraishi et al. (2021) による MODIS ベースの火災推定値とも比較的良い一致を見せた。シベリア域の年間の火災割合総計については、SEIB-DGVM-SPITFIRE は、GFED4s と Shiraishi の中間的な値をとり、比較的妥当な結果を出していると考えた。さらに季節変化については、SEIB-DGVM-SPITFIRE は両データに対して大変良い一致を見せた。

将来予測について、SEIB-DGVM-SPITFIRE は全ての RCP シナリオについて、火災発生の増加を示した（Figure 3）。これは CO₂ 濃度増加による施肥効果および、温度上昇による成長期の延長が、総一次生産 GPP を増加させ、その結果燃料となるバイオマス量が増加したために起こったと考える。またその火災に伴い、各種 GHG やエアロゾルの放出量も高くなった（Figure 4 & 5）。

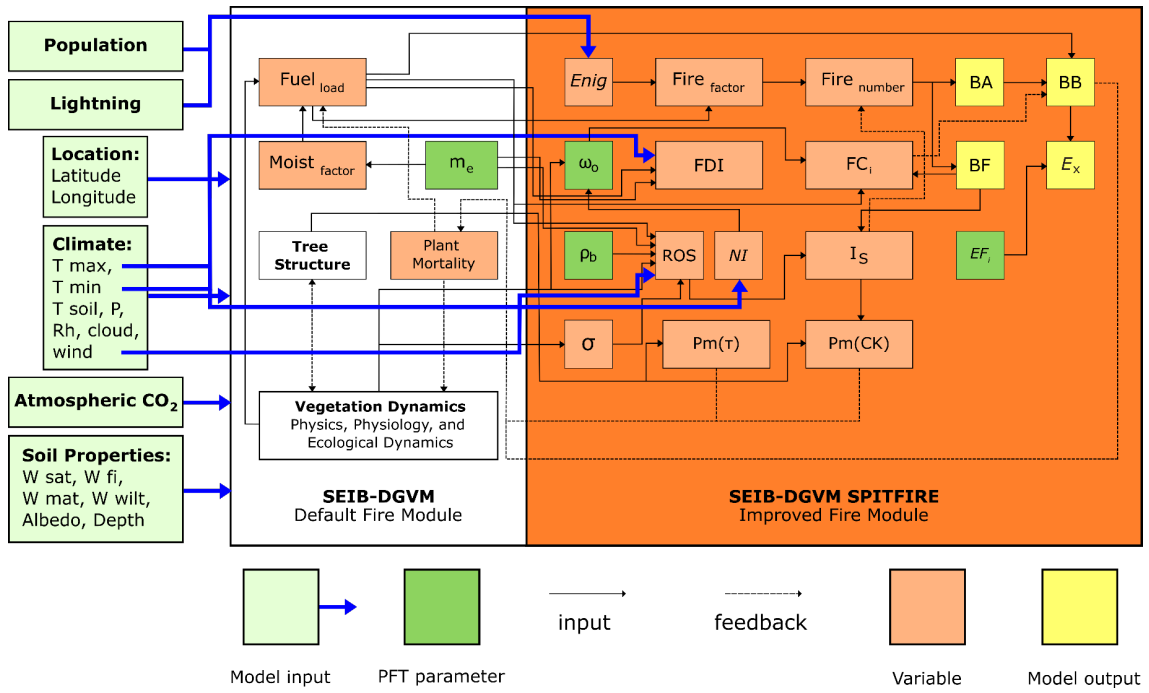


Figure 1. SEIB-DGVM SPITFIRE diagram

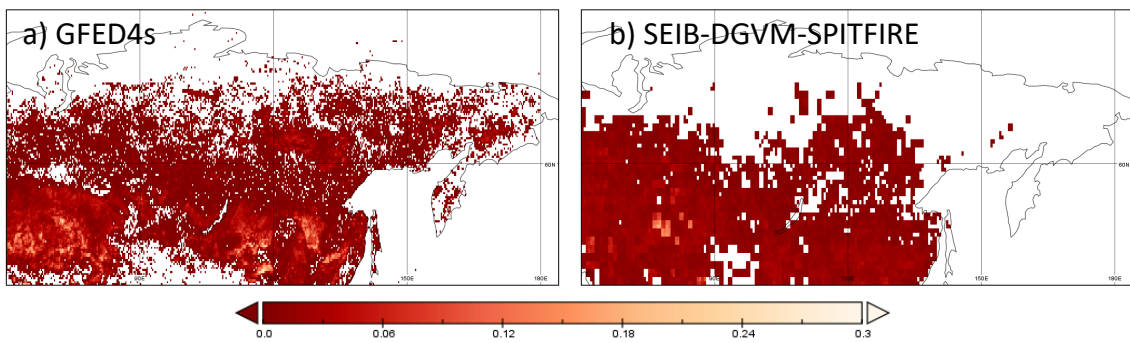


Figure 2. Annual average of burned fraction (1997-2016): a) GFED4s, b) SEIB-DGVM SPITFIRE

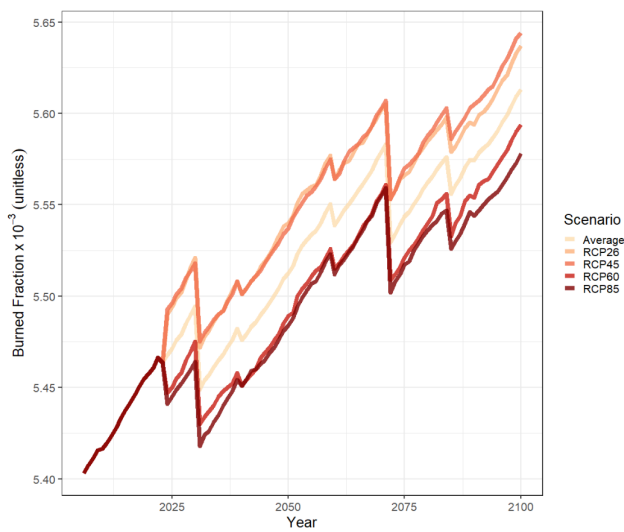


Figure 3. Annual average burned fraction under 4 RCP scenarios by SEIB-DGVM SPITFIRE (2006-2100)

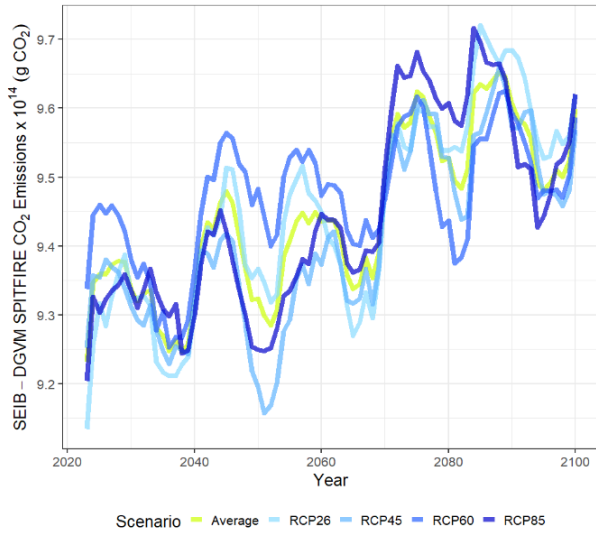


Figure 4. Annual CO2 emission by fire under 4 RCP scenarios by SEIB-DGVM SPITFIRE (2006-2100)

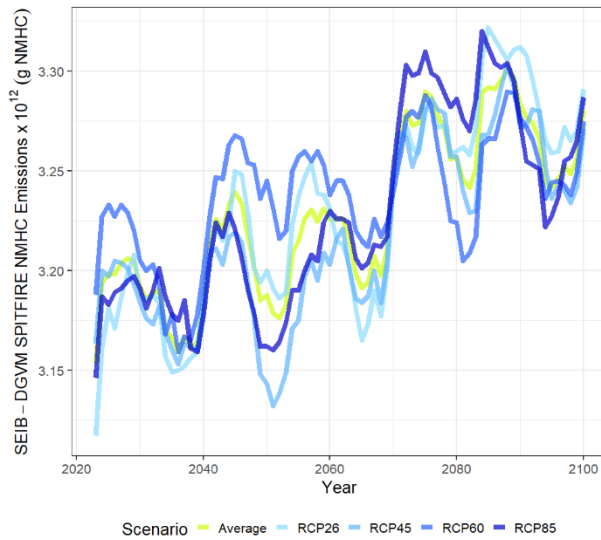


Figure 5. Annual Non-Methane HydroCarbon (NMHC) emission by fire under 4 RCP scenarios by SEIB-DGVM SPITFIRE (2006-2100)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔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 Reza Kusuma Nurrohman, Tomomichi Kato
2. 発表標題 Siberian wildfires estimation with improved fire module on Spatially Explicit Individual Based (SEIB) DGVM
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2022年大会
4. 発表年 2022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	加藤 知道 (Kato Tomomichi) (60392958)	北海道大学・農学研究院・准教授 (10101)	
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)	
研究分担者	酒井 佑禎 (Sakai Yuma) (80862523)	苫小牧工業高等専門学校・創造工学科・助教 (50102)	

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