

令和元年5月16日現在

機関番号：10101

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2018

課題番号：17K12810

研究課題名(和文) 周北極域森林生態系の気候変動への応答：観測データ体系化と気候モデル高度化への応用

研究課題名(英文) Response of circumboreal forest to climate change: tree-ring, satellite images and modeling approaches

研究代表者

鄭 峻介 (Tei, Shunsuke)

北海道大学・北極域研究センター・博士研究員

研究者番号：40710661

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、樹木年輪、及び衛星植生指数と過去の気候変動の対応関係を同一解析条件下で求めることにより、周北極域陸域生態系の気候変動応答をより高い信頼度で求め、それらを全球気候モデル生態系炭素収支過程の検証用データとして用いることで、モデルの再現性を明らかにすることを試みた。樹木年輪解析で良く報告されてきた気温上昇が樹木生長量(年輪幅)に与える負の影響は、衛星植生指数を用いた解析からもほぼ同様に推定された。一方で、現状の全球気候モデルでは、その負の影響はうまく再現されず、生態系純炭素吸収量が気温と降水量に対して過剰に反応していることが明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、周北極域における樹木年輪および衛星植生指数変動と過去の気候変動との対応関係を同一解析条件下で求めた。このような基礎的データの提供は、これまでほとんど地球温暖化に関する政府間パネル(IPCC)の評価報告書に取り上げられてこなかった樹木年輪生態学的研究および衛星観測データ(植生指数)研究の価値の再構築につながり、広い分野に波及効果をもたらすと考えられる。また、本成果は、全球気候モデルの生態系炭素収支過程の高度化に資することが可能である。その高度化が達成されれば、全球気候モデルの将来予測の不確実性の減少を通して全球の気候変動予測に大きな影響を与える。

研究成果の概要(英文)： We investigated tree-ring and satellite observation based estimates for circumboreal forest response to climate changes under the same analysis condition. These estimates were then used as validation data of ecosystem carbon uptake in global climate models. The significant negative effect of warming on tree radial growth, which has been well reported in previous tree-ring studies, has been observed by satellite observation based estimate as well. Our results indicate that current global climate models could not reproduce the negative effect and tended to show an overly positive response to both past temperature and precipitation changes.

研究分野：環境学

キーワード：樹木年輪 地球衛星観測 全球気候モデル

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

申請者は、これまでに樹木年輪(幅と炭素安定同位体比)を用いた研究から、東シベリアに広がる広大なタイガ林において、水分環境が樹木の生長量を制限していることを示した(例えば、Tei et al., 2013)。また、近年の温暖化が樹木により厳しい乾燥ストレスを与えており、それにより生長量が減少傾向にあることを明らかにした(Tei et al., 2014,)。さらには、周北極広域(>50N)での樹木年輪データベース(International Tree-Ring Data Bank: ITRDB)を用いた解析から、その気温上昇が樹木生長量に与える負の影響は地域的な現象ではなく、極めて広域な現象であり、東シベリアのみならず、アラスカ及びカナダの内陸部、ヨーロッパの南部でも顕著に見られることを明らかにした(Tei et al., 2017)。この結果は、将来の温暖化により生態系の炭素吸収量が弱まる地域が広域に存在することを示唆している。また、気温上昇が樹木生長量に有意な負の影響を与えている地域の殆どで、陸域生態系が夏季の気温変動に対して1年のタイムラグを持ちながら応答してきたことが明らかになった(Tei et al., 2017)。このタイムラグは、乾燥環境に対する樹木の理にかなった適応であることが樹木生理学的研究からも示唆されている(例えば、McDowell et al., 2008)。一方、上記の結果は樹木年輪と同じく生態系炭素吸収量の指標であると考えられている衛星観測データ Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)の解析結果とは一致しない。衛星観測データの周北極広域解析の結果は、西シベリア南部を除くほとんどの地域で、生態系は近年の気温上昇に対して正の応答を示してきたことを報告している(例えば、Buermann et al., 2014)。しかしながら、一般的な衛星観測データの広域解析では、上記の陸域生態系応答のタイムラグが考慮されていない。すなわち、そもそも樹木年輪と衛星観測データの広域解析では解析方法が統一されていないのが現状であった。本研究では、樹木年輪と衛星観測データ NDVI の過去の気候変動への応答を同一解析条件下(陸域生態系の気候変動への応答のタイムラグを加味した解析)で求めることにより体系化し、すなわち独立した二つの指標の相互比較を通して、周北極域陸域生態系の気候変動応答をより高い信頼度で求め、それらを全球気候モデルの生態系炭素収支過程の検証用データとして用いることで、現状におけるモデルの周北極域陸域生態系の気候変動応答についての再現性を明らかにすることを試みた。

2. 研究の目的

上記の背景をもとに、以下のような研究目的を設定した。

- (1)陸域生態系の気候変動に対する応答のタイムラグを考慮に入れることが、樹木年輪と同様に衛星観測データ NDVI から推定する生態系応答の空間分布に有意な影響を与えるか否かを明らかにする。
- (2)上記(1)の陸域生態系の気候変動に対する応答のタイムラグを考慮に入れ、樹木年輪と衛星観測データ NDVI の過去の気候変動への応答を同一解析条件下(陸域生態系の気候変動への応答のタイムラグを加味した解析)で求めることにより体系化し、すなわち独立した二つの指標の相互比較を通して、周北極域陸域生態系の気候変動応答をより高い信頼度で求める。特に、内陸性の乾燥気候帯における樹木年輪幅の気温上昇への負の応答が衛星観測データでも再現されるか否かに注目する。
- (3)上記(2)で求めた周北極域陸域生態系の気候変動応答を、複数の全球気候モデルの生態系純炭素吸収量(NPP)出力の検証データとして使用し、現状におけるモデルの周北極域陸域生態系の気候変動応答についての再現性を明らかにする。
- (4)各モデルの再現性の違いをもたらしているモデル内の生態系炭素収支過程の抽出を行い、周北極陸域生態系の炭素収支のより良い将来予測を行うための鍵となっている(観測データの再現性の低いモデルに対しては必要な改善点となる)過程を明らかにする。

3. 研究の方法

本研究は、(1)樹木年輪と衛星観測データを用いた生態系の気候変動応答の体系化、(2)それを検証データに用いた全球気候モデルの生態系炭素収支過程の高度化、を目的としている。(1)では、過去30年間における両指標と前年及び当年の気象データとの対応関係を周北極広域で求め、それらを体系的に解釈する。(2)では、(1)で体系的に解釈した生態系と気象データとの対応関係が現在の全球気候モデルの生態系炭素収支過程でどの程度再現可能かを評価する。また、再現性の高いモデルと低いモデルの比較から、周北極陸域生態系の炭素収支のより良い将来予測を行うための鍵となっている(観測データの再現性の低いモデルに対しては必要な改善点となる)過程を明らかにする。

(1)衛星観測データの周北極広域(>50N)データセットのダウンロードを実施した: 樹木年輪幅データは本研究開始以前にすでに ITRDB よりダウンロード済み。衛星観測データは Global Inventory Modeling and Mapping Studies (GIMMS)の NDVI version3g(NDVI3g)を用いた。衛星観測データと気象データとの相関係数の空間分布を周北極広域(>50N)で求めた。その際には、衛星観測データをオリジナルの空間解像度から気象データの 0.5°グリッドスケールに合わせた。気象データは Climate Research Unit (CRU)の 0.5°グリッドデータを使用した。相関係数の計算は既に実施済みの樹木年輪解析と同様に、当年と前年の気象データを対象として行った。

(2) 樹木年輪と衛星観測データを用いた生態系の気候変動応答を、現在の全球気候モデルがどの程度再現可能かを検討した。全球気候モデル出力は、第5期結合モデル相互比較計画(CMIP5)に参加した11個のモデルの計算結果を用いた。各全球気候モデルの生態系純炭素吸収量(NPP)出力を気象データと比較する際には、各全球気候モデルにより計算されたそれぞれの過去の気象データを用いた(上記に同じく、0.5°グリッドスケールに再計算)。相関係数の計算は既に実施済みの樹木年輪解析と同様に、当年と前年の気象データを対象として行った。

4. 研究成果

(1) 樹木年輪と衛星観測データを用いた生態系の気候変動応答の体系化

周北極広域(>50N)における、樹木年輪と衛星観測データ NDVI の過去30年間の変化傾向を求めたところ、両指標とも有意な傾向を示さないサイトが最も多く、全サイトの40%以上を占めた。両指標とも、増加傾向を示すサイトがその次に多く、減少傾向を示すサイトの割合は最も少なかった。

樹木年輪は、これまでの先行研究でも指摘されていたように、アラスカとカナダの内陸部、ヨーロッパの南部、及び東シベリアの一部の地域で有意な減少傾向を示した。アラスカとカナダの内陸部では、衛星観測データ NDVI の減少傾向も同様に観測された。ヨーロッパの南部、及び東シベリアの一部の地域では、衛星観測データ NDVI の減少傾向は見られなかったが、それらの地域では有意な傾向を示さないサイトが多く(すなわち、増加傾向も示さなかった)。周北極広域(>50N)における、樹木年輪と衛星観測データ NDVI の過去30年間の変化傾向に大きな矛盾は観測されなかった。

次に、樹木年輪、及び衛星観測データ NDVI と過去の気温・降水量変動との関係性を同一解析条件下(陸域生態系の気候変動への応答のタイムラグを加味した解析)で求めた。その結果、北極圏(>67N)のサイトでは、両指標とも当年夏の気温・降水量変動で良く説明され、気温が高く、降水量が少ない(すなわち、曇りがなく日射量が多い)年に、大きな値を示すことが明らかとなった。一方で、より南方のサイト(50N<サイト<67N)では、当年夏以外の季節の気温・降水量で良く説明される地域が多くみられた。特に、前年の夏の気温・降水量変動で良く説明されるサイトでは、気温が高い年には両者が小さな値を示すことが明らかとなり、樹木年輪解析で良く報告されてきた気温上昇が樹木生長量に与える負の影響は、衛星観測データを用いた解析からもほぼ同様に推定されることが明らかとなった。

これまで、樹木年輪と同じく生態系炭素吸収量の指標であると考えられている衛星観測データ NDVI の解析結果は一致していなかった。然しながら、樹木年輪と衛星観測データ NDVI の過去の気候変動への応答を同一解析条件下(陸域生態系の気候変動への応答のタイムラグを加味した解析)で求めることにより、独立した二つの指標の相互比較を通して、周北極域陸域生態系の気候変動応答を高い信頼度で求めることに成功した。

(2) 樹木年輪と衛星観測データを用いた全球気候モデル生態系炭素収支過程の検証

樹木年輪と衛星観測データを用いた生態系の気候変動応答を、現在の全球気候モデルの生態系炭素収支過程がどの程度再現可能かを検討した結果、使用したすべてのモデルで生態系純炭素吸収量(NPP)が気温と降水量に対して過剰に反応していることが示された。気温・降水量が増加すると、過剰に生態系NPPも増加する結果となっていた。この結果を、将来のさらなる温暖化と降水量増加が予測されている現状を踏まえて考察すると、現状の全球気候モデルの生態系炭素収支過程は将来の森林炭素吸収量予測を過大評価している可能性が高い。全球気候モデルの不確実性をもたらしている大きな要因のひとつは、その生態系炭素収支過程の大きな不確実性であり、その高度化が全球気候モデルの将来予測の不確実性の減少、ひいては全球の気候変動予測に大きな影響を与えることが本研究結果から改めて示唆された。

樹木年輪と衛星観測データ NDVI の気候変動応答に関する、各モデルの再現性の違いをもたらしているモデル内の生態系炭素収支過程の抽出を行うために、各モデルの特徴(窒素循環を加味しているか否か、Plant functional type数、空間解像度、動的モデルであるか否か、など)と再現度を比較・解析したが、残念ながら、明確な答えを得ることはできなかった。周北極域陸域生態系の炭素収支のより良い将来予測を行うための鍵となっている過程を明らかにするために、今後、モデル間のより詳細な違いを加味した解析を実施する必要がある。

<引用文献>

Tei, S., Sugimoto, A., Yonenobu, H., Yamazaki, T., Maximov, T. C., 2013. Reconstruction of soil moisture for the past 100 years in eastern Siberia by using ¹³C of larch tree rings. *J. Geophys. Res.*, doi:10.1002/jgrg.20110.

Tei, S., Sugimoto, A., Yonenobu, H., Ohta, T., Maximov, T.C., 2014. Growth and physiological responses of larch trees to climate changes deduced from tree-ring widths and δ¹³C at two forest sites in eastern Siberia. *Polar Sci.* 8, 183-195, doi.org/10.1016/j.polar.2013.12.002.

Tei, S., Sugimoto, A., Yonenobu, H., Matsuura, Y., Osawa, A., Sato, H., Fujunuma, J., Maximov, T.C., 2017. Tree-ring analysis and modeling approaches yield contrary response

of circumboreal forest productivity to climate change. *Global Change Biol.*, <https://doi.org/10.1111/gcb.13780>

McDowell, N. G., Pockman, W. T., Allen, C. D., Breshears, D. D., Cobb, N., Kolb, T., Plaut, J., Sperry, J., West, A. Williams, D. G., 2008. Mechanisms of plant survival and mortality during drought: why do some plants survive while others succumb to drought? *New Phytol.*, 178, 719-739.

Buermann, W., Parida, B., Jung, M., MacDonald, G. M., Tucker, C. J., Reichstein, M., 2014. Recent shift in Eurasian boreal forest greening response may be associated with warmer and drier summers. *Geophys. Res. Lett.*, doi:10.1002/2014GL059450.

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 3 件)

Tei, S., Sugimoto, A., Kotani, A., Ohta, T., Morozumi, T., Saito, S., Hashiguchi, S., Maximov, T. C. Storing and stable relationships between tree-ring parameters and forest -level carbon fluxes in a Siberian larch forest. *Polar Science* in press. <https://doi.org/10.1016/j.polar.2019.02.001>(査読有)

Tei, S., Nagai, S., Sugimoto, A. Effects of climate dataset type on tree-ring analysis: A case study for Siberian forests. *Polar Science* in press. <https://doi.org/10.1016/j.polar.2018.10.008> (査読有)

Tei, S., Sugimoto, A. Time lag and negative response of forest greenness and tree growth to warming over circumboreal forests. *Global Change Biology* 24,4225-4237, March 2018, <https://doi.org/10.1111/gcb.14135>(査読有)

〔学会発表〕(計 7 件)

鄭峻介, 杉本敦子, Response of forest productivity to climate change over circum-arctic region: tree-ring, satellite images and modeling approaches, 第66回日本生態学会、神戸、2019.3.

鄭峻介, 杉本敦子, Time lag and negative responses of forest greenness and tree growth to warming over circumboreal forests, 日本地球惑星連合2018年大会、千葉、2018.5.

Tei, S., Sugimoto, A., Time-lag effect of forest productivity response to climate change over the circum-Arctic deduced from satellite images and tree rings. ISAR-5: Fifth International Symposium on the Arctic Research, (Japan), (2017, 11).

Tei, S., Sugimoto, A., Liang, M., Matsuura, Y., Osawa, A., Yonenobu, H., Sato, H., Fujinuma, J., Maximov, T. C. Tree-ring analysis and modeling approaches yield contrary response of circumboreal forest productivity to climate change. JSPS Japan-Norway Symposium 'Past, Present, and Future of the Arctic and Antarctic', (Norway), (2017, 6).

Tei, S., Current state and future perspective of APECS JAPAN. JSPS Japan-Norway Symposium 'Past, Present, and Future of the Arctic and Antarctic', (Norway), (2017, 6).

鄭峻介, 杉本敦子, Trofim Maximov, Time-lag effects of forest ecosystem response to climate change in continental dry climate zones over the circum-Arctic; a multiple approach using satellite images and tree-rings analyses, 日本地球惑星連合2017年大会、千葉、2017.5.

鄭峻介, 杉本敦子, Trofim Maximov, A perspective for observations on ecosystem response in the Arctic, 日本地球惑星連合2017年大会、千葉、2017.5.

〔図書〕(計 1 件)

Tei, S., Sugimoto, A. Water-carbon cycle in dendrochronology. In: Ohta T, Hiyama T, Iijima Y, Kotani A, Maximov TC (eds) *Water-Carbon Dynamics in Eastern Siberia*. Springer Verlag, Tokyo, in press. DOI: 10.1007/978-981-13-6317-7

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年:

国内外の別:

取得状況（計 0 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：
ローマ字氏名：
所属研究機関名：
部局名：
職名：
研究者番号（8桁）：

(2) 研究協力者

研究協力者氏名：
ローマ字氏名：

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、研究者個人に帰属されます。