

令和 6 年 6 月 6 日現在

機関番号：82105

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2023

課題番号：20K19950

研究課題名（和文）東シベリア永久凍土帯に生育する樹木の異常気象に対する脆弱性

研究課題名（英文）Vulnerability of larch trees to extreme climate events in permafrost ecosystem of Eastern Siberia

研究代表者

鄭 峻介（Tei, Shunsuke）

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：40710661

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：新型コロナウイルス感染症とロシア・ウクライナ国際情勢の影響により、当初予定していた東シベリアでの現地調査を実施できなかった。そのため、樹木年輪国際データベース（International Tree-Ring Data Bank）に登録されている東シベリア（ $60 < N$, $120 < E < 150$ ）の33サイトを対象としたデータ解析を進めた。その結果、過去の極端気象（特に極端な低温）による成長量減少に対する回復力が低いサイトが東シベリア東部に多く分布していることが明らかになった。また、中央シベリア・極東シベリアとの比較において、東シベリア東部のサイトの回復力の低さがより顕著であることが分かった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本成果は、全球的に理解が進んでいない極端気象に対する樹木応答・脆弱性について、近年の気候変動下で急変している東シベリア森林生態系を対象として評価したものであり、同生態系動態の理解の深化に貢献する。また、本成果は、生態系モデルの貴重な検証データとして利用可能であり、モデルの高度化を通して、将来の気候変動下における森林動態予測高度化への貢献が期待される。

研究成果の概要（英文）： Due to the coronavirus disease (COVID-19) and the Russian-Ukrainian crisis, I am unable to conduct the originally planned field survey in Eastern Siberia. Therefore, I shifted to data analysis with tree-ring width chronologies of 33 sites in Eastern Siberia ($60 < N$, $120 < E < 150$) that are registered in the International Tree-Ring Data Bank. As a result, I found that sites with low resilience to past extreme climate events (especially extreme low temperatures) are predominantly distributed in the eastern part of eastern Siberia. In addition, the low resilience of sites located in the eastern part of eastern Siberia was found to be more pronounced in comparison with sites in central and far eastern Siberia.

研究分野：樹木年輪生態学

キーワード：樹木年輪 気候変動 極端気象 東シベリア カラマツ 脆弱性

1. 研究開始当初の背景

樹木は CO₂ を吸収し、幹や枝等に蓄積することで、CO₂ の吸収源として機能し、その吸収量の変化は地球温暖化の促進または抑制に重要な役割を果たす。樹木の CO₂ 吸収源としての役割の将来予測のためには、樹木気候変動応答メカニズムの正確な理解が必要である。しかしながら、突発的に起こる極端気象に対する樹木応答・脆弱性に関する理解は進んでいない。極端気象がこれまで、極めて稀な現象であり、生態系と極端気象の関係性を統計的に明らかにするために十分な解析事例を得ることが困難であった点(過去に極端気象が観測されても、利用可能な生態系データがない)が、その原因の一つである。

著者が長年観測を実施してきた、東シベリア中央部のヤクーツクにおいて、2005-2007年に極端な豪雨が観測され、多くのカラマツが衰弱・枯死するに至った (Tei et al., 2019a)。また、2017年夏季には、東シベリア北東部のチョクルダにおいて、前年冬季の極端な積雪に伴う大規模洪水が発生し、多くのカラマツが浸水し、衰弱・枯死するに至った (Tei et al., 2019b)。上述の樹木衰弱・枯死は空間的不均一性が極めて大きな現象であり、気温と降水量が等しい環境下に生育する樹木集団内においても、衰弱・枯死する個体としない個体が存在し、両者を規定する要因については明らかになっていない。

東シベリアの永久凍土帯では、土壌は地温の変動に伴って凍結・融解を繰り返しており、この過程が同地域に独特の空間的に極めて不均一な微地形起伏(比高の高低)を形成する。微地形起伏は、水分量や地温の水平・垂直分布に影響し、樹木の根分布にも影響するため、永久凍土帯の樹木の CO₂ 吸収に深く関与する。さらに、樹木が環境から受けるストレスは個体サイズに応じて劇的に変化することが知られている。従って、著者は、極端気象による樹木衰弱・枯死の極めて大きな空間的不均一性は、同様に大きな不均一性を持つ微地形起伏・樹木サイズの空間分布と深く関係があるのではないかと考えた。

本研究では、極端気象に対する樹木応答・脆弱性を理解するために、樹木年輪を指標として、東シベリアのヤクーツク・チョクルダにおいて、過去100年間に観測される、あらゆる極端気象イベントを対象にした樹木応答解析を実施する。但し、従来の樹木年輪研究(気温と降水量の長期平均的な変化に対する応答解析)のように、気温と降水量が等しい環境下に生育する樹木集団における平均的な樹木成長量変動を議論するのではなく、樹木1本1本の過去長期間にわたる成長量変動を各個体の樹木年輪幅時系列から推定し、各個体生育場所の微地形起伏・樹木サイズを考慮に入れた解析を実施する。本研究では、どのような微地形起伏・樹木サイズを持つ樹木個体が、どのような種類・規模・長さの異常気象に対して脆弱性が高い、もしくは低いのか?を研究課題の核心をなす学術的な「問い」として設定する。

2. 研究の目的

上記で述べた研究背景から、本研究の当初の目的は、永久凍土帯に位置し、空間的に極めて不均一な微地形起伏・樹木サイズ構造を持つ東シベリアのタイガ林(ヤクーツク; 62N, 129E)及びタイガ-ツンドラ境界域(チョクルダ; 70N, 149E)において、樹木1本1本の過去長期間にわたる成長量変動を各個体の樹木年輪幅時系列から推定し、各個体生育場所の微地形起伏・樹木サイズを考慮に入れ、様々な種類・規模・長さの極端気象に対する樹木応答を評価し、その脆弱性を明らかにすることとしていた。

しかしながら、新型コロナウイルス感染症とロシア・ウクライナ国際情勢の影響により、当初予定していた東シベリアでの現地調査を研究期間中に実施することができなかった。そのため、研究期間途中より研究計画を変更し、樹木年輪国際データベース(ITRDB)に登録されている東シベリア(60<N, 120<E<150)の33サイトを対象としたデータ解析を実施し、過去120年間に観測された極端気象(極端な高温/低温、豪雨/少雨)と樹木成長量減少イベント(サイト内の70%以上の個体の成長量が過去5年間の平均成長量から30%以上減少した年)との関係性を評価することを新たな目的とした。過去の極端気象の季節ごとの観測頻度と、その際の樹木成長量減少量やそこからの回復過程について調べ、東シベリアにおける樹木成長量減少イベント特性を明らかにすることで、東シベリア広域における極端気象に対する樹木脆弱性に関する理解を深める。

3. 研究の方法

過去に観測される季節ごとの極端気象(極端な高温・低温・豪雨・少雨)は、観測ベースの気温・降水量時系列データ(Climate Research Unit 0.5°月平均グリッドデータ)を用いて、過去120年間の平均値からの外れ具合(>2σ)で検出した。また、ITRDBに登録されている樹木年輪幅時系列から成長量減少イベントを推定した。また、成長量減少イベント時における成長量減少からの回復過程を明らかにするために、イベント時の抵抗(イベント時の成長量とイベント前5年間の平均成長量の比)・回復(イベント後5年間の平均成長量とイベント時の成長量の比)・回復力(減少量で重みづけしたイベント前後5年間の平均成長量の比)を推定し(図1)、それらの空間変動を評価した。

4. 研究成果

(1) 季節・極端気象タイプごとの成長量減少イベント分布

過去120年間において、様々な季節・種類の極端気象が東シベリア広域で観測されたが、春の極端な低温イベントが観測される地域は中部に限定されていた。極端気象と成長量減少イベントとの対応関係については、前年秋と前年・当年夏の極端な低温に対応する成長量減少イベントの観測頻度が高く、特に東部で顕著であった(図2)。一方で、西部においては、極端な豪雨に対応する成長量減少イベントの観測頻度が高かった(図2)。事前の予想に反して極端な豪雨に対応する成長量減少イベントが比較的広域で観測され、東シベリアにおける極端気象に対する樹木動態を明らかにするためには、極端な豪雨に対する樹木応答の把握が重要であることが明らかとなった。一方で、冬の極端な高温と春の極端な少雨に対する成長量減少イベントは観測されなかった。

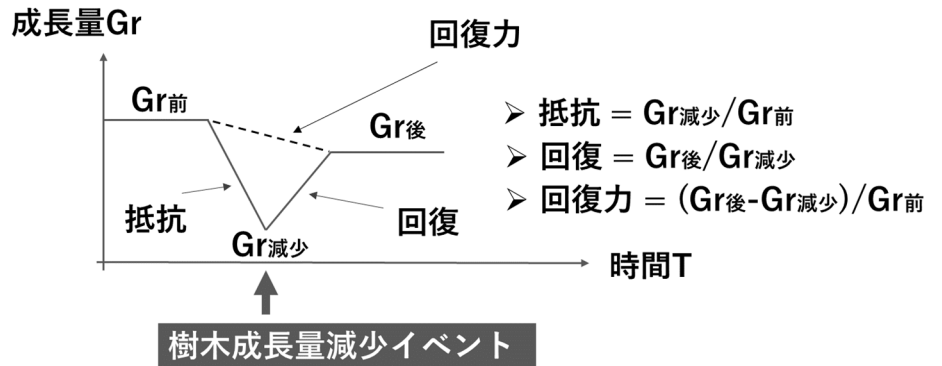


図1: 樹木年輪幅変動から過去の樹木成長量減少イベント(サイト内の70%以上の個体の成長量が過去5年間の平均成長量から30%以上減少した年)、及びその際の抵抗・回復・回復力を推定。Gr前とGr後は、それぞれイベント前後5年間の平均的成長量。

図2) 事前の予想に反して極端な豪雨に対応する成長量減少イベントが比較的広域で観測され、東シベリアにおける極端気象に対する樹木動態を明らかにするためには、極端な豪雨に対する樹木応答の把握が重要であることが明らかとなった。一方で、冬の極端な高温と春の極端な少雨に対する成長量減少イベントは観測されなかった。

(2) 成長量減少イベントとその後の回復力の空間分布：東シベリア内外での比較

先に述べたように、成長量減少イベントの要因となる気象要素は、西部では極端な豪雨、東部では極端な低温が優占的であった(図2)。対象地域を広げて、中央シベリア・極東シベリアの両地域においても同等の解析を実施した結果、両地域において、極端な豪雨に対応した成長量減少イベントの観測頻度が高く、東シベリア西部のみならずシベリア広域における極端気象に対する樹木動態を明らかにするためには、極端な豪雨に対する樹木応答の把握が重要であることが示された。また、極東シベリアにおいては、極端な少雨による成長量減少イベントの観測頻度も比較的高く、水分環境が樹木動態に与える影響の大きさが推測される。

成長量減少イベント時の回復力についても、東西差が観測され、東部に比較的低い値を示すサイトが集中的に分布していることが明らかとなった(図2)。さらには、中央シベリア・極東シベリアのサイトとの比較において、東シベリア東部のサイトの回復力の低さはより顕著であった。先行研究では、このような低い回復力は将来の攪乱イベントによる衰弱・枯死リスクと関連していることが指摘されている(例えば、Tei et al., 2019a; Lucia DeScoto et al., 2020)。その点を考慮すると、東シベリア東部において、将来の極端気象、特に極端な低温イベントに対するリスクが高いサイトが多く分布している可能性が示唆される。

本成果は、全球的に理解が進んでいない極端気象に対する樹木応答・脆弱性について、東シベリア広域を対象として評価したものであり、近年の気候変動で急変している東シベリア森林生態系の動態の

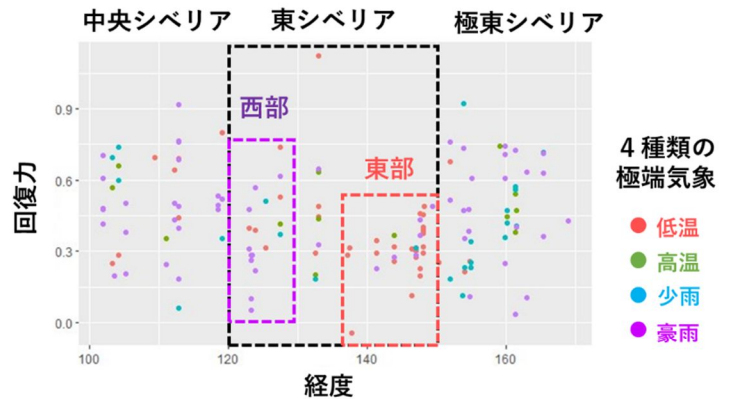


図2: 4種類の極端気象(極端な低温/高温、少雨/豪雨; 異なる色のプロットで示す)による樹木成長量減少イベント時のサイト経度と回復力の対応関係。樹木成長量減少イベントの要因となる気象因子は、西部では豪雨、東部では低温が優占的であり、回復力については東部に比較的低い値を示すサイトが集中的に分布している。

理解を深め、将来の気候変動下における森林動態予測高度化への貢献が期待される。

<引用文献>

Tei, S., Sugimoto, A., Yonenobu, H. et al. Effects of extreme drought and wet events for tree mortality: Insights from tree-ring width and carbon isotope ratio in a Siberian larch forest. *Ecohydrology*, 12e2143, (2019).
<https://doi.org/10.1002/eco.2143>

Tei, S., Morozumi, T., Nagai, S. et al. An extreme flood caused by a heavy snowfall over the Indigirka River basin in Northeastern Siberia, *Hydrological Process*, 34, 522-537, (2019). <https://doi.org/10.1002/hyp.13601>

DeSoto, L., Cailleret, M., Sterck, F. et al. Low growth resilience to drought is related to future mortality risk in trees. *Nat Commun* 11, 545 (2020).
<https://doi.org/10.1038/s41467-020-14300-5>

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 5件/うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 Aleksandr Nogovitsyn, Ruslan Shakhmatov, MOROZUMI Tomoki, TEI Shunsuke, MIYAMOTO Yumiko, NAGAI Shin, Trofim C. Maximov, SUGIMOTO Atsuko	4. 巻 13(8)
2. 論文標題 Changes in Forest Conditions in a Siberian Larch Forest Induced by an Extreme Wet Event	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 forests	6. 最初と最後の頁 1331
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/f13081331	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 Tei Shunsuke, Kotani Ayumi, Sugimoto Atsuko, Shin Nagai	4. 巻 4
2. 論文標題 Geographical, Climatological, and Biological Characteristics of Tree Radial Growth Response to Autumn Climate Change	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Frontiers in Forests and Global Change	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3389/ffgc.2021.687749	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 -
1. 著者名 Takano Shinya, Yamashita Youhei, Tei Shunsuke, Liang Maochang, Shingubara Ryo, Morozumi Tomoki, Maximov Trofim C., Sugimoto Atsuko	4. 巻 9
2. 論文標題 Stable Water Isotope Assessment of Tundra Wetland Hydrology as a Potential Source of Arctic Riverine Dissolved Organic Carbon in the Indigirka River Lowland, Northeastern Siberia	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Frontiers in Earth Science	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3389/feart.2021.699365	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 Tei Shunsuke, Morozumi Tomoki, Kotani Ayumi, Takano Shinya, Sugimoto Atsuko, Miyazaki Shin, Shingubara Ryo, Fan Rong, Petrov Roman, Starostin Egor, Shakhmatov Ruslan, Nogovitsyn Aleksandr, Maximov Trofim	4. 巻 28
2. 論文標題 Seasonal variations in carbon dioxide exchange fluxes at a taiga?tundra boundary ecosystem in Northeastern Siberia	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Polar Science	6. 最初と最後の頁 100644
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.polar.2021.100644	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Tei Shunsuke, Sugimoto Atsuko	4. 巻 1
2. 論文標題 Excessive positive response of model simulated land net primary production to climate changes over circumboreal forests	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Plant-Environment Interactions	6. 最初と最後の頁 102 ~ 121
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/pei3.10025	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 -

1. 著者名 Aleksandr Nogovitsyn, Ruslan Shakhmatov, Tomoki Morozumi, Shunsuke Tei, Yumiko Miyamoto, Nagai Shin, Trofim C. Maximov, Atsuko Sugimoto	4. 巻 20
2. 論文標題 Historical variation in normalized difference vegetation index compared with soil moisture at a taiga forest ecosystem in northeastern Siberia	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Biogeosciences	6. 最初と最後の頁 3185-3201
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5194/egusphere-2023-279	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 Maochang Liang, Atsuko Sugimoto, Shunsuke Tei, Shinya Takano, Tomoki Morozumi, Ryo Shingubara, Jun Murase, Trofim C. Maximov	4. 巻 128-10
2. 論文標題 Arctic Plant Responses to Summer Climates and Flooding Events: a Study of Carbon and Nitrogen related Larch Growth and Ecosystem Parameters in Northeastern Siberia	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 journal of Geophysical Research;Biogeosciences	6. 最初と最後の頁 e2022JG007135,
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2022JG007135	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5件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 鄭峻介
2. 発表標題 Spatio-temporal variation in vulnerability and resilience of tree radial growth to climate changes in Eastern Siberia
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 ~ 2023年

1. 発表者名 鄭峻介
2. 発表標題 Vulnerability and resilience of tree radial growth over eastern Siberia under climate changes.
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2021年大会
4. 発表年 2021年～2022年

1. 発表者名 鄭峻介, 小谷亜由美、永井信
2. 発表標題 Tree growth response to seasonal climate variability in mid- and high-latitudes of the Northern Hemisphere
3. 学会等名 第69回日本生態学会大会
4. 発表年 2021年～2022年

1. 発表者名 Shunsuke Tei
2. 発表標題 Vulnerability and resilience of larch tree growth to climate changes in eastern Siberia
3. 学会等名 International Symposium on "Pan-Arctic Water -Carbon Cycles and Terrestrial Changes in the Arctic: For resilient Arctic Communities"
4. 発表年 2022年～2023年

1. 発表者名 鄭峻介
2. 発表標題 東シベリアにおける厳しい乾燥・低温イベントに対する樹木成長の脆弱性
3. 学会等名 第71回日本生態学会大会
4. 発表年 2023年～2024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
--	---------------------------	-----------------------	----

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