

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 27 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(A) (海外学術調査)

研究期間：2014～2017

課題番号：26257407

研究課題名(和文) 周極域亜寒帯林の構造変化と気候変動: 林分構造復元法による過去約150年間の解析

研究課題名(英文) Structural changes in circumpolar boreal forests and climate change: 150-year analysis by stand reconstruction method

研究代表者

大澤 晃 (OSAWA, AKIRA)

京都大学・地球環境学堂・教授

研究者番号：90288647

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 30,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、過去のデータ蓄積が不必要な「林分構造復元法」を駆使した解析を目的とし、エストニア、フィンランド、シベリア(ロシア)、アラスカ、北西カナダにおいて合計約30林分の調査と幹サンプル採取を達成した。これまでの結果を通じて、周極域亜寒帯林に共通する林分発達パターンが明らかになりつつある。周極域において1940年代から1970年代まで続いた急激な寒冷化が1970年代に終息し、その直後に始まった急激な温暖化の開始に伴って、多くの林分がその現存量成長曲線をそれまでとは別の成長曲線に乗り換える現象が認められた。この発見は原著論文として国際学術誌のPolar Scienceに投稿中である。

研究成果の概要(英文)：This study aimed at analyzing stand development with the stand reconstruction technique that does not require accumulation of previous stand data. We managed to collect data on stand structure and stem samples from about 30 forest stands in Estonia, Finland, Siberia, Alaska, and NW Canada. Results suggested that there may be a pattern of stand development common to circumpolar boreal forests. The rapid cooling of the circumpolar region subsided in 1970's, which was followed by rapid warming thereafter. This rapid warming was associated with shifts in forest growth patterns from one growth curve to another. This discovery is being reported in an international scientific journal, Polar Science.

研究分野：森林構造発達学

キーワード：亜寒帯林 周極域 気候変動 地上部現存量 林分構造復元法 北欧 シベリア カナダ

## 1. 研究開始当初の背景

進行しつつある地球温暖化に対し、陸上生態系は純一次生産量や森林成長量などに関してこの一世紀間さまざまな反応をみせてきた(Zhao & Running 2010)。最近の研究によると、気候変化のために北半球高緯度の炭素吸収が弱まる可能性がある(Piao et al. 2008)が、地球規模の気候変化で予測が最もむずかしいものの一つが生物圏と大気圏との間のフィードバックに関する変化である。森林は水や地表面のエネルギー収支を通して炭素循環と地域の水循環や気候に直接影響する(Bonan 2008)。また、気温上昇と強まる乾燥化のため、林木の枯死が世界中で急速に進んでいる(Phillips et al. 2009, Carnicer et al. 2011 など)。

亜寒帯において樹木枯死や成長減少が同様に進行する可能性があるかどうかは特に重要である。それは、亜寒帯林が森林生態系全体の約 49%の炭素を蓄積しているため地球気候システムに大きな影響を与えうること(Peng et al. 2011)、また、他の生態系に比べて乾燥に弱いと考えられるためである。上昇した気温とさらに強い乾燥のため、亜寒帯林では今後急激に成長減少等による構造変化が進む可能性がある(Hogg et al. 2008)。しかしこれまでのところ、亜寒帯林では林分構造の長期変化に関する研究はほとんどない。

最近、Peng et al. (2011)および Ma et al. (2012)はカナダに分布する亜寒帯林の過去約 50 年間の現存量変化を永久試験地データを使って検討した。その結果、特にカナダ西部で過去約 10 年間の現存量減少が激しいこと、これに対してカナダ東部では顕著ではないことが明らかになった。また、西部地域では同時に進行している気候の乾燥化がその原因であると示唆された。生物圏 - 大気圏間フィードバックの変化予測に活かすためには、同様のパターンが北半球の亜寒帯林で広く認められる現象かどうか明らかにする必要がある。大陸性気候下でありすでに乾燥化が進んでいる可能性が高いシベリア内陸部(Tchebakova et al. 2010)、カナダ西部(Peng et al. 2011)、カナダ北西部、アラスカ内陸部などでは現存量減少や樹木枯死率上昇がすでに起こりつつある可能性が高い。これに対して海洋の影響が強いカナダ東部や北欧では変化が認められないか、起こっていても顕著ではないと思われる。しかし、永久試験地が設定されている場所は人口の多い地域に限られている。カナダ、アラスカ、シベリアでは北緯約 55 度以北の広大な地域に亜寒帯林の大半があ

るが、解析に使用可能なデータを提供するような永久試験地はあまり存在しない(Peng et al. 2011)。一方、最近提案された林分構造復元法(Osawa et al. 2000, Metsaranta 2008)を応用すれば、永久試験地で過去に測定されたデータがなくても、ある林分の過去の構造(現存量、成長量、枯死率など)とこれらの経年変化を推定することができる。したがって、本研究は林分構造復元法を駆使して「周極域亜寒帯林の構造変化と気候変動との関係はいかに?」という問いに答えることを目的とする。

## 2. 研究の目的

本研究では、周極域亜寒帯林にいくつかの南北トランセクトを設定し、それぞれに 10 林分程度の調査プロットを設置して毎木調査と樹幹解析用円板の採取を行った後、サンプルの年輪解析を経て過去約 150 年間の林分構造復元を行う。さらに、推定された林分構造の変化に MNY 法(Hozumi 1971)による成長解析を施し、林分現存量成長・樹木枯死率と気候変動との関係を探る。過去 100-200 年間の周極域気候変動とそのメカニズムに関して、これまで二つの異なる見解が提出されている。ひとつは、「人為起源の CO<sub>2</sub> 排出量増加にともなって平均気温が上昇している」(IPCC 2007)とするもの、もう一つは、「小氷河期終了(ca.1850 AD)後の自然起源の直線的気温上昇と気温変動の数十年周期が重なって現在の気温変化がおこっている」(Akasofu 2013)とする説である。本研究では、これら二つの仮説を念頭において林分現存量の変動解析をおこなうことを目的とする。

高温期 vs 低温期の反応: 本研究で提案している方法によってカナダ北西準州内陸部のマリアナトウヒ林既存データを予備解析したところ(図 1)、北極域における 1940 年ごろの高温期には、成長曲線から期待される林分現存量に比べて、復元された現存量が低い値を示した。一方、1940 年以前、及び以後の低温期(1920 年頃と 1970 年頃)には林分現存量が相対的に高かった。気温変化の数十年周期に呼応して林分現存量変動がおこっているように見える。仮に高温期の相対的乾燥が現存量増加速度の低下を引き起こしているとすれば、降水量の少ない大陸内部では上の解析と同様のパターンが観察され、大陸周辺部では乾燥による現存量増加の低下がおこりにくいと考えられる。周極域全体での傾向を探るため、主な研究対象地域は北極海周辺にほぼ等間隔に位置するカナダ北西部、中央シベリア、北欧(フィンランド-エス

トニア)の3地域とする。  
本研究の学術的特色は、方法論が確立したものの(Osawa et al. 2005)現在まだ広く使われていない「林分構造復元法」(Osawa et al. 2000, Metsaranta et al.2008)を活用し、永久試験地(つまり過去の林分測定データ)が存在しない高緯度地域の亜寒帯林を対象として約150年スケールの林分構造発達史を明らかにするとともに、「気温変化の数十年周期に呼応して林分現存量変動がおこっている」という作業仮説のもとに、復元された林分現存量データを解析するところにある。本研究にはカナダの林分構造復元チームの中心的存在である J. Metsaranta 博士が研究協力者として参画するが、これと研究代表者の大澤グループが、現在、方法を熟知して林分構造復元を実質的に行うことができる世界でただ二つのグループである。  
これまでのアプローチでは(Peng et al. 2011, Ma et al. 2012)過去に測定された永久試験地データがなければ過去の現存量の評価はできなかった。したがって、過去のデータがほとんどない高緯度亜寒帯林の成長履歴に関する議論はほぼ不可能だった。林分構造復元法を使えば解析が可能となり、森林の現存量や枯死率に関する仮説検証ができるようになる。

### 3. 研究の方法

本研究では「研究目的」に述べた仮説を検証するために、周極域亜寒帯林の3ヶ所(北欧、中央シベリア、北西カナダ)に南北トランセクトを設定し(図2)、それぞれに約10林分の調査プロットを設置して、これら林分の林分構造復元を行う。各林分では毎木調査を行うとともに、樹幹解析用の幹円板をサイズの異なる7-8本の樹木個体から採取する。これらサンプルの年輪解析および林分構造復元解析を行って、各林分の過去100-150年間の構造発達を復元する。具体的な解析方法は Osawa et al.(2000, 2005)に詳述されている。の北欧トランセクトは海洋の影響を受けて気候の乾燥化を免れ、森林現存量の減少傾向を示さないのではないかと想像している。一方、の中央シベリア・トランセクトと の北西カナダ・トランセクトは大陸性気候の地域なため乾燥化が進行し、現存量増加速度の減少が測定される可能性がある。

調査対象となる3つの南北トランセクトに沿った地域、および調査候補サイトのサイト名と林分の概要は表1のとおりである。それぞれのトランセクト内で10から14林分を測定し、合計34林分のす

べてにおいて林分構造復元解析を行う。ほとんどの林分は人手のほとんど入っていない天然林だが、北欧トランセクト南部の3サイトおよび中央シベリア・トランセクト南端の Krasnoyarsk サイトは森林伐採の後天然更新または植栽によって成立した二次林と考えられる。林齢はほとんどが100年以上の高齢林である。ただし二次林の林分は約50年生のものも含まれる(たとえば Hyytiala, Krasnoyarsk)。これらのうち4サイトは関連する文科省 GRENE プロジェクト(グリーンネットワーク・オブ・エクセレンス事業、北極気候変動分野「急変する北極気候システム及びその全球的な影響の総合的解明」)の中の研究課題「環北極陸域システムの変動と気候への影響」で使用している準スーパーサイトである。これらでは林分の構造測定以外に炭素蓄積量、炭素循環、気象観測などがおこなわれている。また、準スーパーサイトを含む5サイトでは、林分の毎木調査および樹幹解析用サンプルまたはデータが既に存在する。したがって、本研究では主としてこれら以外のサイトに広く調査林分を設置してデータと解析用サンプルを集めることになる。

本研究でのサンプル採取・調整、年輪測定およびデータ解析は各トランセクトの近隣で活動する複数の研究協力者(下に詳述)の積極的な協力を仰ぎながら共同研究として遂行する計画である。したがって、現地の研究協力者が研究代表者、分担者、または連携研究者とともに各サイトで行う調査のための旅費の一部を本研究費から支出する。また、研究者間の協同を促進するため、遠隔地にあるサイト(アウェー・サイト)の調査にも研究協力者を参加させたいと考えている。

北欧トランセクトで調査を行う際の起点はヘルシンキである。Rovaniemi、Joensuu、エストニアの Tallinn にヘルシンキから毎日航空便があり、研究協力者の用意する調査車両を使ってそれぞれ Varrjo、Kangasvaara と Joensuu、Kalina サイトへ入る。Hyytiala へはヘルシンキから車移動となる。シベリア・トランセクト調査の起点はクラスノヤルスクであるが、ここへはモスクワ経由(毎日)あるいは北京経由(週一便)で入る。Khatanga、Tura、Baykit とモスクワから航空便がある。Putorana Mts は陸路での到達が実質的に困難なため、Tura でヘリコプターを借り上げ調査に入ることになる。北西カナダ・トランセクトの起点はエドモントンである。Inuvik と Norman Wells へは毎日複数便が就航している。残りのサイトはエドモントンあるいはイエローナイフ

でレンタカーを借り、陸路移動しながら調査することになる。北欧トランセクトと北西カナダ・トランセクトは主として研究期間の一年目に、中央シベリア・トランセクトは二年目に訪問する計画である。

採取した幹円板サンプルの調整と年輪測定は研究協力者を交えて各地でそれぞれ行う。北欧トランセクトのサンプルは主としてフィンランド国立森林研究所(METLA; 責任者 Leena Finer)で、中央シベリア・トランセクトのサンプルは在クラスノヤルスクのロシア科学アカデミー所属スカチョフ森林研究所(責任者 A.V. Kirdyanov)で、北西カナダ・トランセクトのサンプルはエドモントンにあるカナダ国立北方森林研究センター(NFRC; 責任者 Juha Metsaranta)と京都大学(責任者 大澤晃)でおこなう。特に、ロシアは植物サンプルの国外持ち出しを強く制限しているため、サンプル処理と年輪測定のすべてをロシア国内でおこなうことになる可能性が高い。調査林分の毎木調査データは京都大学に集約し(責任者 大澤)、その後の林分構造復元解析に供する。

林分構造復元解析の結果明らかになった地上部現存量の年間変化量および樹木個体枯死率の経年変化と気象要素(平均気温、年降水量など)、地域、緯度、経度、標高、平均個体サイズ、林分密度などとの間の関係を探るため、Peng et al.(2011)および Ma et al.(2012)にならって、線形混合モデルおよび一般化非線形混合モデルを用いた多変量解析を行い、研究目的に示した仮説の検証をおこなう。各サイトの気象要素データは FINADAPT observational and scenario data (Finnish Environment Institute (SYKE) [www.environment.fi](http://www.environment.fi)); Daily Temperature and Precipitation Data for 518 Russian Meteorological Stations (Carbon Dioxide Information Analysis Center, DOI 10.3334/CDIAC/cli.100 by O.N. Bulygina and V.N. Razuvaev); National Climate Data and Information Archive (Environment Canada, [www.climate.weatheroffice.ca](http://www.climate.weatheroffice.ca))等を通して最寄りの気象台データを手し、使用する。ロシアの気象データについては研究協力者の助言を仰ぎデータの信頼性を確保する。

#### 4. 研究成果

研究初年度の平成 26 年度は北欧と北西カナダ地域を訪問し、合計 5 地域・13

林分の毎木調査とともに約 90 本の樹木個体を伐採またはコアサンプルリングに供し、いろいろな地上高から年輪サンプルを採取した。北欧ではフィンランドの Lapland 地域にあるヘルシンキ大学 Varrio 研究林内の欧州アカマツ 2 林分、フィンランド中部の Kangasvaara にある国有林でフィンランド森林研究所試験林内の老齢アカマツ・ドイツトウヒ混交林 2 林分、エストニア西部海岸地域の欧州アカマツ林 6 林分、カナダ北極域のイヌビックのマリアナトウヒ林 1 林分、およびカナダ北西準州 Fort Providence 地域のバンクスマツ林 2 林分を対象とした。

平成 27 年 8 月初旬にフィンランドおよびエストニアのマツ林の林分構造復元のための 5 林分の林分測定及び樹木の幹サンプル採取を行った。9 月には、カナダ Northwest Territories において、Fort Providence および Wood Buffalo National Park の二か所の 4 林分の林分測定と樹木サンプル採取を実行した。

平成 28 年 7 月中旬に、中央シベリア調査を行った。トゥラ及びプトラナ山地を一部ヘリコプターを借り上げることによって訪れ、合計 6 林分の林分測定及び樹木サンプル採取を行うことができた。8 月初旬にはエストニア海岸林を再訪し、追加の林分調査と樹木サンプル採取を行った。主として樹木の幹コアサンプルが未採取だった樹木にはしごをかけることにより、いろいろな地上高からの幹のコアサンプルを採取した。9 月上旬から中旬にかけては、カナダ北西準州の Wrigley および Wood Buffalo National Park を訪れ、林分測定と幹サンプル採取を行った。

平成 27 年度に行った中央シベリア調査の際の幹サンプルはロシア国外への持ち出し許可の取得に時間がかかったことや日本への運搬手段がうまく機能しなかったため、2018 年 3 月になって、ようやく日本からサンプル運搬のため的人员をロシアに派遣することにより、サンプルを日本に持ち出すことら成功した。これらサンプルは現在解析を進めている。

本研究による解析結果の一部は平成 27 年 6 月にフィンランド・ロバニエミにおいて開催された国際亜寒帯林研究協会主催の国際学会において口頭発表した。周極域亜寒帯林の各地域から採取したサンプルについては、サンプル採取のフェーズは完了し、現在解析を進めている段階である。林分成長パターンと気候変動との間に関連があることがわかりつつある。今後、解析を進めて、発見したパターンの一般性を確かめる作業を続けるとともに、この発見の一部を国際

学会で口頭発表するとともに、原著論文として投稿した。

5. 主な発表論文等  
(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 0 件)  
(成果報告のために学術論文投稿の準備を進めている。国際学術誌にまず 2 報を出版する予定である。)

〔学会発表〕(計 4 件)  
Kamara M., Y. Tamura, Y. Matsuura, and A. Osawa. (2018) Analyzing long-term growth trends of tree and forest biomass in the circumpolar boreal region. Fifth International Symposium on Arctic Research, Proceedings. January 2018, Tokyo.

田村行宏、大澤晃. (2017) S-W 法を用いたエストニアにおけるヨーロッパアカマツ林の地上部現存量の成長解析. 日本森林学会大会. 2017 年 3 月 27 日. 鹿児島大学.  
An J.Y., 大澤晃, M. Pensa, 杉田真哉、梶本卓也、J. Pumpanen, T. Vesala. (2017) Fine root, litter fall and net primary production in Scots pine stands of Finland and Estonia. 日本森林学会大会. 2017 年 3 月 27 日. 鹿児島大学.

Osawa A., R. Makipaa, J. Pumpanen, Y. Haga, S. Fujii, J. Back, J. Levula, J. Kujansuu, T. Kajimoto, and T. Vesala. (2015) A postmortem approach to quantify effects of natural and anthropogenic disturbances on long-term forest development. International Boreal Forest Research Association, International Conference, Rovaniemi, Finland. June 10-15, 2015.

〔図書〕(計 0 件)

〔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) 研究代表者  
大澤晃(Osawa Akira)  
京都大学大学院地球環境学堂・教授  
研究者番号：90288647

(2) 研究分担者  
安江恒(YASUE Kou)  
信州大学農学部・准教授  
研究者番号：00324236

(3) 研究協力者  
梶本卓也(KAJIMOTO Takuya)  
森林総合研究所・領域長  
研究者番号：70353638

松浦陽次郎(MATSUURA Yojiro)  
森林総合研究所・国際森林情報推進室長  
研究者番号：20353857