

平成 29 年 6 月 10 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26281049

研究課題名(和文)気候変動による森林限界の移動とその要因

研究課題名(英文)Distribution shift of tree line along climate change

研究代表者

中静 透(Nakashizuka, Tohru)

東北大学・生命科学研究科・教授

研究者番号：00281105

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,900,000円

研究成果の概要(和文)：1) 高木限界の位置は主に積雪期間や降水量、最大積雪深、その他の地形要素の効果を受けること、2) 高木限界の位置を元にした高山帯相当域の予測では、過去(1978-1982年)に比べて現在(2010年前後)の気候条件では高山帯相当域が57.3%減少し、将来(2076-2100年)には69.7-99.1%減少する、3) 調査対象地域の高木限界は実際には上昇傾向にあり、その上昇速度は平均で0.30m/年であること、4) 実際の上昇速度の違いは気候条件よりも地形条件によってより説明されることがわかった。

研究成果の概要(英文)：We elucidated the following points. 1) Tree line was determined by snowing period, maximum snow depth, annual rainfall and other climate factors. 2) The areas with suitable climate for alpine zone have decreased by 57.3% in recent 30 years and will decrease by 69.7-99.1% by 2100. 3) tree lines have been shifted to higher elevation by 0.3 m per year. And 4) The speed was much slower than that is expected by temperature rise.

研究分野：forest ecology

キーワード：aerial photograph climate change distribution shift snow period tree line

### 1. 研究開始当初の背景

気候変動による生態系影響が懸念される一方、実際の気候変化はすでに起こっており、高山帯の下限(森林限界)においても大きな影響が懸念されている。日本の高山帯や森林限界は世界的にも低標高で温暖な地域に分布する希な存在であり、温暖化により森林限界が上昇すると大きな影響を受けると予想される一方、報告は少ない。気候変動の予測を可能にするためには、広域的にその実態と関与する要因を明らかにする必要がある。

### 2. 研究の目的

森林限界は温度変化に敏感であるといわれており、温暖化で森林限界は上昇すると考えられる。森林限界に関する多くの先行研究は森林限界上昇の要因を調べており、具体的にどのくらい上昇しているかを複数の山で調べた報告はこれまでにない。また、日本の高山帯や森林限界の成立には特殊な環境条件が関与していると予想される。そこで本研究では、日本の森林限界の上昇を広範囲における調査により、森林限界上昇の定量手法を確立し、その移動要因を解明することを目的とする。

### 3. 研究の方法

森林限界の移動については、約30年前と最近の空中写真を用い、北海道から日本アルプスまでの29の山々について森林限界がどのように変化したかを調べた。方法としては立体視ソフトを用いて空中写真を3D化し、樹高5mの木を森林限界としてその移動距離を計測することで上昇速度を求めた。さらに森林限界の移動距離と気象データ(気温・降水・降雪・日射量)、地形データ(斜面方位・傾斜角)、その他の要因(樹種・母岩・山域)との関係を解析した。

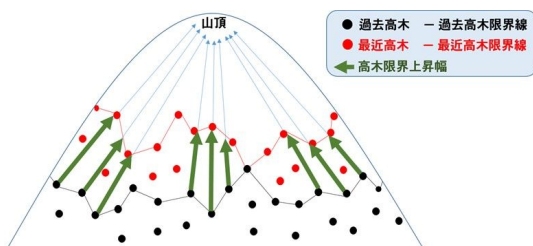


図1. 高木限界線の引き方と上昇距離のイメージ図。

### 4. 研究成果

この研究により、1) 高木限界の位置は主に積雪期間や降水量、最大積雪深、その他の地形要素の効果を受けること、2) 高木限界の位置を元にした高山帯相当域の予測では、過去(1978-1982年)に比べて現在(2008-2012年)の気候条件では高山帯相当域が57.3%減少し、将来(2076-2100年)には69.7-99.1%減少する、3) 調査対象地域の高木限界は実際

に上昇傾向にあり、その上昇速度は平均で0.30m/年であること(図2)、4) 実際の上昇速度の違いは気候条件よりも地形条件によってより説明されることがわかった(図3)。

#### < 高木限界の位置を決める要因 >

高木限界の位置に対応するWIを説明する要因としては積雪期間の重要度が大きく、積雪期間が長いほど高木限界のWIは低かった。積雪が実生や稚樹を低温・乾燥から守り定着を促進するといった、積雪による保護効果が高木限界の位置を押し上げる方向に働いた可能性がある。今回のデータセットで用いた積雪期間は、積雪モデルの推定方法上、冬季の平均気温が低い場所で必然的に長くなってしまった可能性がある。確認のため、冬季の平均気温と積雪期間の関係を見ると、優位な相関はあるものの( $r=0.57$ )、とても強い関係ではなかった。しかし、冬季の平均気温と積雪期間のそのような関係性に影響を受けた結果、積雪期間と高木限界の位置に対応するWIの相関が高くなり、重要度が高いと推定された可能性は否定できない。

地形に関しては、上に凸、傾斜角度が大きい、西斜面であるといった場所で高木限界の位置に対応するWIが低かった(高木限界の位置を押し上げる効果があった)。上記の場所と反対に、凹地や傾斜角度が小さい場所は雪が溜まりやすく、また東斜面も冬季季節風の風下側のため風で飛ばされてきた雪が溜まりやすい。そのような場所では長期間雪が溜まり成長期間が短くなることで成長量は減少し、また菌害リスクが高まったことで樹木の成長が抑制され、高木限界の位置に対応するWIが上がった(高木限界を押し下げる効果があった)と考えられる。

#### < 高山帯相当域の予測の比較 >

高木限界の位置を元にした高山帯相当域の予測では、過去(1978-1982年)に比べて現在(2008-2012年)の気候条件では高山帯相当域が57.3%減少していた。北アルプスや東北地方ではほとんどの高山帯相当域が消失する一方で、南アルプスなどでは中程度、北海道では広範囲に高山帯相当域が残っていると推定された。日高地方などでは新たに高山帯相当域に変化するメッシュが見られたが、それをもたらした環境要因は不明である。

本研究では過去の高木限界の位置は気候に対して比較的安定していたと仮定し、過去データを用いて高木限界の位置に対応するWIをモデリングしている。1980年頃までの気温上昇は緩やかであった一方で、本研究の調査対象地域である北海道から中部地方にかけての範囲では、過去(1978-1982年)と現在(2008-2012年)の間に年平均気温は平均0.70、WIは平均4.3上昇していた。過去データからパラメータ推定されたモデルを現在データに適用して現在の高木限界の位置を予測すると、すでに57%の高山帯が消失する気候条件になっていると予測された。しかし、実際には高木限界の移動速度は気候の変

化ほど速くなく、モデルが上昇幅を過剰に予測してしまっていると考えられる。

#### <過去と将来の高山帯相当域の比較>

将来気候下では高山帯相当域の多くが消失すると予測されたが、気候シナリオによって消失率は 69.7-99.1%と異なり、MRI-CGCM3 モデルに比べて MIROC5 モデルを用いた気候シナリオの方が消失率は高かった。MRI-CGCM3 モデルに比べて MIROC5 モデルは気温上昇を高めて予測する傾向があり、MIROC5 モデルで高山帯相当域がより多く減少したのは主に WI の差によるものであったと考えられた。

またどの将来気候シナリオにおいても東北の高山帯相当域すべてが消失すると予測された。東北の高山帯は積雪量が多いため世界の高山帯に比べ温暖な場所に位置しており、偽高山と呼ばれる山が多い。今回の予測では積雪期間の減少、温度上昇の影響を強く受けることで、東北の高山帯相当域は全て消失する予測になったと考えられる。

#### <高木限界の上昇速度>

南西斜面や上に凸といった雪が溜まりにくい地形で、高木限界の上昇速度が高くなる傾向が見られた。これは、長い積雪期間や 4m 程度の最大積雪深で高木限界の位置を押し上げる効果があったという先の結果と一見矛盾する。しかし積雪期間が与える影響は樹木の成長段階によって異なる可能性がある。成長した樹木では積雪期間が長いと保護効果等で成長量が増えるのに対し、若い木では積雪期間が短くなることで菌害リスクが減少し、また成長期間も伸びることで死亡率が下がるという報告もある。

本研究でも、過去の高木限界の位置のモデリングでは成木と環境の関係を、高木限界の上昇速度のモデリングでは若木と環境の関係を見ていると考えることができるかもしれない。すなわち、高木限界の上昇として観察された樹木は過去 30 年の間に新規に定着した比較的若い樹木であり、そのような若木に対しては雪の溜まりにくい地形が有利に働いて若木の生存と成長を促し、それが高木限界の上昇速度を高めた可能性がある。

過去と現在の積雪期間の差は 4 番目に重要度が高かった。全体で平均すると積雪期間は過去に比べ 7 日ほど短くなっており、山別に見ると谷川岳が平均 25 日長くなった一方、八甲田山では平均 19 日短くなっている。過去に比べて積雪期間が短くなるほど高木限界の上昇速度は上がる傾向が見られた。この結果も、積雪期間の減少が菌害リスクの減少、成長期間の増加につながったという仮説を支持している。

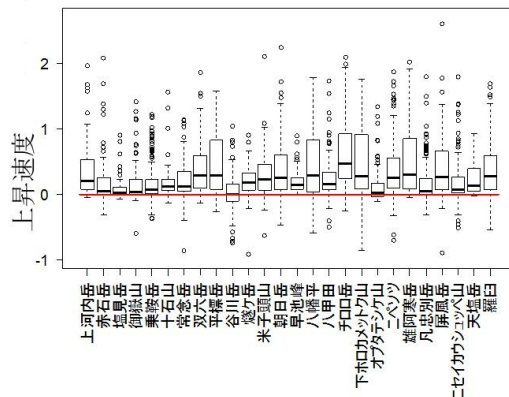


図 2. 各山の 1 年あたりの上昇速度

ボックスは第 3 四分位点(上側)から第 1 四分位点(下側)の範囲を表し、箱内部の横線は中央値を表す。上下に伸びる点線の外側は外れ値である。

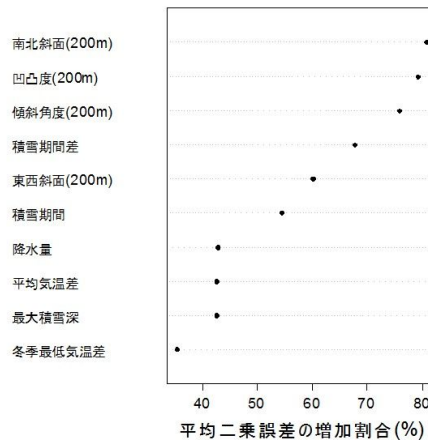


図 3. 上昇速度に対するランダムフォレストの結果。横軸は変数の重要度を表す。

#### 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 3 件)

- 彦坂幸毅・佐々木雄大・神山千穂・片瀨正紀・及川真平・嶋崎仁哉・木村 啓・中静透 (2014) 機能形質から種のニッチ、共存、そして消失を理解する：亜高山帯湿原群集を対象とした群集生態学と生理生態学からのアプローチ。地球環境 19, 33-46. 査読あり。
- 田中孝尚・嶋崎仁哉・黒川紘子・彦坂幸毅・中静 透 (2014) 気候変動が森林動態に与える影響と将来予測：八甲田山のオオシラビソを例として。地球環境 19, 47-55. 査読あり。
- Takehiro Sasaki, Masatoshi Katabuchi, Chiho Kamiyama, Masaya Shimazaki, Tohru Nakashizuka and Kouki Hikosaka (2014) Vulnerability of moorland plant communities to environmental change:

consequences of realistic species loss on functional diversity. Journal of Applied Ecology 51, 299-308. 査読あり.

〔学会発表〕(計 8 件)

1. Tohru Nakashizuka. Climate change adaptation(CCA) and disaster risk reduction(DRR): Regional agenda and approach. RACC7,京都市(口頭発表)2016年10月, 査読なし.

2. 橋本桂佑、新井(田中)孝尚、黒川紘子、上田実希、中静透. 温度、水分環境がもたらすブナ林の窒素循環への影響. 第63回日本生態学会大会、仙台市、一般講演(ポスター発表):P1-430. 2016年3月. 査読なし.

3. 岩井康平、中静透. 日本の山における森林限界の上昇速度とその要因について. 第63回日本生態学会大会、仙台市、一般講演(ポスター発表):PB2-133. 2016年3月. 査読なし.

4. 高野(竹中)宏平・中静透. 生態系における地球温暖化研究を適応策の実装化につなげる. 第63回日本生態学会、仙台市、(口頭発表), 2016年3月, 査読なし.

5. Tohru Nakashizuka. Recent Dynamics and Future Prediction of Mountain Vegetation in Northern Japan. The 7th International Conference on Water Resources and Environment Research (ICWRER2016) (June 5-9, 2016) Kyoto. 査読あり.

6. 橋本桂佑、田中孝尚、黒川紘子、中静透. 環境条件によるブナ林の窒素循環の違い. 第62回日本生態学会、鹿児島市、一般講演(ポスター発表) PA1-202. 2015年3月. 査読なし

7. 田中孝尚、黒川紘子、福澤加里部、柴田英昭、彦坂幸毅、中静透. 八甲田山の標高傾度による土壌窒素無機化の変化と温暖化影響の解析3. 第62回日本生態学会、鹿児島市、一般講演(ポスター発表) PA2-197. 2015年3月. 査読なし

8. DAUMAL, M., KUROKAWA, H., HASHIMOTO, K., UEDA, M., NAKASHIZUKA, T. The differences in soil properties under fir and beech in the mixed forest on Mt. Hakkoda, Japan. 第62回日本生態学会、鹿児島市、一般講演(ポスター発表) PA1-201. 2015年3月. 査読なし

〔図書〕(計 2 件)

1. Tohru Nakashizuka, Masaya Shimazaki, Takehiro Sasaki, Takahisa Tanaka, Hiroko Kurokawa and Houki Hikosaka (2016) Influences of Climate Change on the Distribution and Population Dynamics of Subalpine Coniferous Forest in the Hakkoda Mountains, Northern Japan. Structure and Function of Mountain Ecosystems in Japan (Springer) p.1-15. 査読あり.

2. 中静透 (2015) 気候変動に伴う生態系影響と適応. 森林環境 2015 - 特集 進行する気候変動と森林 ~私たちはどう適応するか(公益財団法人森林文化協会) p.7 - 16. 査読あり.

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等なし

6. 研究組織

(1)研究代表者

中静透(Tohru Nakashizuka)(東北大学・生命科学研究科・教授)

研究者番号: 00281105

(2)研究分担者

黒川紘子(Hiroko Kurokawa)(国立研究開発法人森林総合研究所・森林植生研究領域・主任研究員)

研究者番号: 70515783