

令和元年6月12日現在

機関番号：13601

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2014～2018

課題番号：26292081

研究課題名(和文) 標高傾度にそった植生分布と生態系機能に対する温暖化の影響評価

研究課題名(英文) Effects of global warming on vegetation distribution and ecosystem function along an altitudinal gradient

研究代表者

高橋 耕一 (TAKAHASHI, Koichi)

信州大学・学術研究院理学系・教授

研究者番号：80324226

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,300,000円

研究成果の概要(和文)：温暖化は森林植生に大きく影響すると考えられている。本研究では、森林の更新過程に関する野外調査から温暖化の生態系機能(とくに炭素循環)と植生分布への影響予測を行うことを目的とする。この目的のために、本研究では中部山岳の乗鞍岳の標高傾度にそって、森林の更新動態、植生移行帯の形成機構、気象条件の成長に対する影響、炭素循環、空中写真による森林の現存量の長期間の広域的な変化を調べた。得られた結果は、亜高山帯林の温暖化に対する応答予測に役立てると考えられる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、新規加入が標高傾度にそった種の分布形成に大きく関与していること、シラビソはオオシラビソに比べて高い標高で光合成速度が減少しやすいこと、亜高山帯の分布上限ではダケカンバが優占すること、温暖化は森林の炭素循環を変化させること、森林の現存量と樹冠高は高標高ではほとんど変化していなかったことを明らかにした。得られた結果は、亜高山帯林の温暖化に対する応答予測に役立てると考えられる。

研究成果の概要(英文)：It is supposed that global warming affects forest vegetation. This study aimed to examine effects of global warming on the ecosystem functions (especially for carbon cycling) and vegetation distribution, based on the field survey of forest regeneration. For this purpose, this study examined the forest dynamics, mechanisms of ecotone formation, effects of meteorological conditions on tree growth, carbon cycling and long-term changes of forest biomass along an elevational gradient in the subalpine zone on Mt. Norikura in central Japan. The results obtained in this study contribute to the prediction of effects of global warming on the subalpine forest vegetation.

研究分野：植物生態学

キーワード：温暖化 標高傾度 森林植生 年輪 植生移行帯 光合成 空中写真 亜高山帯

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

### 1. 研究開始当初の背景

地球温暖化は森林植生に大きく影響すると考えられている。例えば高緯度の亜寒帯林は温暖化によって有機物の分解速度が増加するために、炭素の吸収源から排出源に変化し、それが温暖化をさらに加速すると考えられている。同じ事は標高傾度でも考えられるが、標高傾度にそって炭素循環を調べた研究はほとんどない。日本は山岳環境のため、温暖化の影響予測に関して標高傾度は重要である。また、現在の植生分布と気象条件の相関関係からモデルが作成され、温暖化によって植生分布がより高標高、高緯度へ移動することが示されている。しかし、そのようなモデルには森林の更新過程（実生の発芽定着、その後の成長や死亡など）が考慮されていないため、分布域の変化の予測は過大評価であると指摘されている(Morin & Thuiller 2009)。例えば世界中の森林限界のメタ解析から、温暖化によって高い標高へ移動した森林限界は約半数でしか認められなかった(Harsch et al. 2009)。つまり、標高傾度にそった植生分布は温暖化によって単純には上の標高へ移動しないことが示唆される。

### 2. 研究の目的

本研究では、森林の更新過程に関する野外調査から温暖化の生態系機能（とくに炭素循環）と植生分布への影響予測を行うことを目的とする。

### 3. 研究の方法

(1) 北アルプス乗鞍岳において標高傾度にそった植生分布の形成機構を各植生移行帯における分布上限と下限の種の成長、生存に対する種間競争から明らかにする。そのために、標高 1600 m, 2000 m, 2300 m に設置されている永久方形区のデータ（10~12 年間）を使って、優占種 5 種（シラビソ、オオシラビソ、コメツガ、トウヒ、ダケカンバ）の成長率、生存率、そして新規加入率に対する種間競争と標高の影響を調べた。

(2) 亜高山帯の低標高(1600~2000 m)ではシラビソが優占し、高標高(2000~2500 m)ではオオシラビソが優占している。しかし、シラビソもオオシラビソも 1600~2500 m の範囲に分布しているため、低標高と高標高で競争排除が生じているために、優占する分布域が異なっていると考えられた。そのため、標高傾度にそった優占種 2 種（シラビソとオオシラビソ）の変化を光合成による物質生産から調べた。標高 1600 m と 2300 m からシラビソとオオシラビソを採取し、葉齢にそって、光合成速度と光合成に関係する生理生態的な特性を調べ、2 種間で比較した。

(3) 亜高山帯上部ではオオシラビソが優占するが、オオシラビソからハイマツ林へと移行する間では、オオシラビソよりもダケカンバが優占している。高標高ほど冬季の風雪による攪乱によって個体の成長が妨げられる。常緑針葉樹のオオシラビソの方が落葉広葉樹のダケカンバよりも、風雪の影響を受けやすく、そのため亜高山帯上部ではダケカンバが優占すると考えられた。そこで、オオシラビソとダケカンバの成長パターンを比較した。

(4) 北アルプスでは南部（内陸部）から北部（日本海側）にかけて降雪量が増加する。多雪は植物個体の成長開始を遅らせ、また物理的にも幹を損傷する可能性がある。そのため、降雪量が優占種の成長、生存を通して標高傾度にそった植生分布にどのように影響しているかを調べた。

(5) 森林の成長、分解速度、土壌呼吸速度は一般的に気温と正の相関がある。そのため、標高傾度にそって、これらの値が変化することで炭素循環も変化する。さらに温暖化によって、これらの値が変化することで炭素循環も変化すると考えられる。そこで、5 標高(1600, 2000, 2300, 2500, 2800 m)での森林の成長、有機物の分解速度、土壌呼吸速度を調べることで、標高傾度にそった炭素循環を調べ、温暖化の生態系機能への影響を調べた。

(6) 温暖化は高い標高の森林の生産量を高めているかどうかを解明するために、乗鞍岳の広域スケールでの過去（1974）と現在（2010）の空中写真によって、36 年間の現存量と樹冠高の比較解析を行った。また、北アルプス南部から北部の 5 山岳（鹿島槍ヶ岳、燕岳、蝶ヶ岳、双六岳、乗鞍岳）での森林限界付近の過去と現在の空中写真の解析も行った。

### 4. 研究成果

(1) 亜高山帯の分布下限（1600 m）から上限(2500 m)にかけて、優占種の成長や生存に対する種間競争の影響を調べたが、種間競争において種の identity の効果はなかった。一方、優占している標高では新規加入率が高かったため、新規加入が標高傾度にそった種の分布形成に大きく関与していることが明らかになった。

(2) シラビソはオオシラビソに比べて高い標高で光合成速度が減少しやすいことが明らかになった。これは葉内で非構造化炭水化物の濃度が高まるためであった。

(3) 亜高山帯の分布上限付近のオオシラビソとダケカンバの成長を比較したところ、オオシラビソよりもダケカンバの方が成長の可塑性が高く、また材密度も高かった。そのため、亜高山

帯の分布上限付近ではダケカンバが優占することができると考えられた。

(4) 北アルプスの北部から南部にかけて、5つの山岳（鹿島槍ヶ岳，燕岳，蝶ヶ岳，双六岳，乗鞍岳）でオオシラビソとダケカンバの年輪幅に対する気象の影響を調べた。北部ほど降雪量が多いため、降雪量が年輪幅を制限していると予測された。しかし、降雪量に関係なく、ダケカンバの年輪幅は夏の気温と正の相関、そしてオオシラビソは冬の気温と正の相関がみられた。

(5) 標高傾度にそった森林の成長、分解速度、土壌呼吸速度は気温の高い低標高ほど高かった。そのため、温暖化は森林の炭素循環を変化させると考えられた。

(6) 予想に反して、標高傾度にそった森林の現存量と樹冠高の変化は低い標高ほど高く、標高2000m以上の亜高山帯上部では、36年前に比べて増加していなかった。これは高い標高ほど風雪による攪乱によって大きな個体が幹折れしやすいこと、そしてハイマツは幹が倒れやすいためと考えられた。北アルプス南部から北部にかけての5山岳の解析は、現在、進めている最中である。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 16 件)

Takahashi, K., Otsubo, S. & Kobayashi, H. (2018) Comparison of photosynthetic traits of codominating subalpine conifers *Abies veitchii* and *A. mariesii* in central Japan. *Landscape and Ecological Engineering* 14: 91-97. 査読あり。  
DOI 10.1007/s11355-017-0327-9

Takahashi, K., Ikeyama, Y. & Okuhara, I. (2018) Stand dynamics and competition in a mixed forest at the northern distribution limit of evergreen hardwood species. *Ecology and Evolution* 8: 11199-11212. 査読あり。  
DOI: 10.1002/ece3.4592

Takahashi, K., Homma, K., Doležal, J., Yamagata, K., Vetrova, V.P. & Hara, T. (2018) Nitrogen acquisition, net production and allometry of *Alnus fruticosa* at a young moraine in Koryto Glacier Valley, Kamchatka, Russian Far East. *Journal of Plant Research* 131: 759-769. 査読あり。  
DOI: 10.1007/s10265-018-1037-6

Takahashi, K. & Otsubo, S. (2017) How *Betula ermanii* maintains a positive carbon balance at the individual leaf level at high elevations. *American Journal of Plant Sciences* 8: 482-494. 査読あり。  
DOI: 10.4236/ajps.2017.83033

Takahashi, K. & Furuhashi, K. (2016) Shoot growth and seasonal changes of non-structural carbohydrate concentrations at the upper and lower distribution limits of three conifers. *Landscape and Ecological Engineering* 12: 239-245. 査読あり。  
DOI: 10.1007/s11355-016-0294-6

Takahashi, K. & Hirai, T. (2016) Seasonal change in xylem growth of *Pinus densiflora* in central Japan. *Landscape and Ecological Engineering* 12: 231-237. 査読あり。  
DOI: 10.1007/s11355-016-0292-8

Takahashi, K. & Tanaka, S. (2016) Relative importance of habitat filtering and limiting similarity on species assemblages of alpine and subalpine plant communities. *Journal of Plant Research* 129: 1041-1049. 査読あり。  
DOI: 10.1007/s10265-016-0852-x

Takahashi, K. & Hanyu, M. (2015) Hybridization between alien species *Rumex obtusifolius* and closely related native vulnerable species *R. longifolius* in a

mountain tourist destination. *Scientific Reports* 5: 13898. 査読あり .

DOI: 10.1038/srep13898

Takahashi, K. & Aoki, K. (2015) Effects of climatic conditions on annual shoot length and tree-ring width of alpine dwarf pine *Pinus pumila* in central Japan. *Journal of Plant Research* 128: 553-562. 査読あり .

DOI: 10.1007/s10265-015-0723-x

Takahashi, K. & Obata, Y. (2014) Growth, allometry and shade tolerance of understory saplings of four subalpine conifers in central Japan. *Journal of Plant Research* 127: 329-338. 査読あり .

DOI: 10.1007/s10265-013-0610-2

Takahashi, K. (2014) Effects of wind and thermal conditions on timberline formation in central Japan: a lattice model. *Ecological Research* 29: 121-131. 査読あり .

DOI: 10.1007/s11284-014-1129-2

Takahashi, K. & Koike, S. (2014) Altitudinal differences in bud burst and onset and cessation of cambial activity of four subalpine tree species. *Landscape and Ecological Engineering* 10: 349-354. 査読あり .

DOI: 10.1007/s11355-014-0250-2

Takahashi, K. & Murayama, Y. (2014) Effects of topographic and edaphic conditions on alpine plant species distribution along a slope gradient on Mount Norikura, central Japan. *Ecological Research* 29: 823-833. 査読あり .

DOI: 10.1007/s11284-014-1168-8

〔学会発表〕(計 13 件)

雨谷教弘, 大西正道, 高橋耕一, 下野綾子, 小熊宏之. 2019. 北アルプスから中央アルプスにかけて数十年間のササとハイマツの被覆率変化. 日本生態学会第 66 回大会 (神戸)

鈴木里奈, 高橋耕一. 2019. 異なる標高で優占するモミ属 2 種の稚樹の炭素獲得と成長に対する標高と光環境の影響. 日本生態学会第 66 回大会 (神戸)

武田宗一郎, 高橋耕一. 2019. 亜高山帯林における枯死木の現存量は標高によって変化するか? 日本生態学会第 66 回大会 (神戸)

大堂太郎, 高橋耕一. 2018. 標高傾度にそった植物群集の形成メカニズム. 日本生態学会第 64 回大会 (札幌)

大西正道, 小熊宏之, 雨谷教弘, 高橋耕一, 染野和昭, 清水隆司 (2018) カラー空中写真と深層学習を用いたモノクロ空中写真植生分類の高精度化. 日本リモートセンシング学会 第 65 回(平成 30 年度秋季)学術講演会, 同予稿集

大西正道, 小熊宏之, 染野和昭 (2018) 深層学習とオブジェクトベース分類を併用した効率的な植生分類の模索. 日本写真測量学会平成 30 年度秋季学術講演会, 同予稿集

大堂太郎, 高橋耕一. 2017. 標高傾度にそった植物の群集形成メカニズム : 中部山岳における形質を用いた解析. 日本生態学会第 64 回大会 (東京)

大西正道, 小熊宏之, 高橋耕一, 下野綾子 (2016) 機械学習と SfM を併用した高山・亜高山植生分類の高精度化. 日本リモートセンシング学会第 60 回 (平成 28 年度春季) 学術講演会

Young, A. B., Takahashi, K. & Taylor, A. 2016. Climate-growth relationships of *Betula*

*ermanii* and *Abies mariesii* in high elevation forests of the Northern Japanese Alps. *Ameridendro* 2016: Mendoza, Argentina.

大西正道・有安恵美子, 小熊宏之, 三島啓雄, 下野綾子 (2015) 乗鞍岳における機械学習とモノクロ空中写真を用いた高山植生の分類. 日本リモートセンシング学会 第58回 (平成27年度春季) 学術講演会

Young, A.B., Taylor, A. & Takahashi, K. 2015. Properties limiting treeline distribution in the Northern Japanese Alps. *American Association of Geographers*: Chicago.

## 6. 研究組織

### (1) 研究分担者

研究分担者氏名: 小熊 宏之

ローマ字氏名: (OGUMA, hiroyuki)

所属研究機関名: 独立行政法人国立環境研究所

部局名: 環境計測研究センター

職名: 主任研究員

研究者番号 (8桁): 10342734

### (2) 研究協力者

研究協力者氏名: YOUNG, Amanda

ローマ字氏名: (YOUNG, Amanda)

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。