

平成 22 年 6 月 3 日現在

研究種目：基盤研究(G)
 研究期間：2007～2009
 課題番号：19580168
 研究課題名(和文) 温暖化が標高傾度にそったシラビソ・オオシラビソの成長と種間競争に及ぼす影響
 研究課題名(英文) Effects of global warming on growth and competition between *Abies veitchii* and *A. mariesii* along an altitudinal gradient

研究代表者 高橋 耕一 (TAKAHASHI KOICHI)
 信州大学・理学部・准教授
 研究者番号：80324226

研究成果の概要(和文)：この研究では、分布上限のシラビソと下限のオオシラビソが混交した植生移行帯が、温暖化によってより上の標高に上がるかどうかを検討するため、植生移行帯も含めて標高傾度にそって気象条件が成長期間と成長量に及ぼす影響を解明することを目的とした。温暖化が標高傾度にそったシラビソとオオシラビソの成長にどのように影響するかを解明するため、シミュレーションを行った。まず、年輪年代学的手法によって2種の成長(年輪幅と年輪内最大密度)と気象の関係を標高傾度にそって調べた。そして、成長を気象条件から予測するための重回帰式を作成した。この重回帰式に、大気大循環モデルによる2100年までの気象予測シナリオを代入することで、温暖化の2種の成長に対する影響を調べた。その結果、年輪幅は分布上限のシラビソでのみ2100年にかけて増加する傾向が認められたが、分布下限のシラビソと分布上限と下限のオオシラビソの年輪幅にはとくに変化は見られなかった。しかし、2種の分布上限と下限の年輪内最大密度は2100年までに増加することが認められた。したがって、温暖化は2種の成長に大きな影響をおよぼすことが分かった。

研究成果の概要(英文)：This study examined effects of climate on radial growth of tree species in subalpine forests. Relationships between climatic conditions and radial growth (maximum latewood densities and tree-ring widths) of *Abies veitchii* and *A. mariesii* were investigated along an altitudinal gradient by dendrochronological technique. Multiple linear regression models were developed to predict the radial growth forecast of the two *Abies* species, based on the results of dendrochronological analysis. Climate scenario predicted by global circulation models were substituted into the model. The tree-ring width was increased by 2100 only in *A. veitchii* at the upper distribution limit. On the contrary, the maximum latewood densities were increased in the two *Abies* species at the upper and lower distribution limits. Thus, global warming largely affects the radial growth of the two *Abies* species.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,700,000	810,000	3,510,000
2008年度	500,000	150,000	650,000
2009年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,700,000	1,110,000	4,810,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：森林学，森林科学

キーワード：温暖化，成長，年輪年代学，シラビソ，オオシラビソ

1. 研究開始当初の背景

現在，地球温暖化が進行し続けている。地球温暖化が生態系に影響することは，疑いのないことである。例えば，標高傾度にそって植生は変化する。低い標高では落葉広葉樹林が分布し，標高が高くなるにしたがい，針葉樹林，そしてハイマツ林へと変化する。このような植生の変化は気温の変化と対応している。したがって，地球温暖化は標高傾度にそって植生分布に影響するだろう。

2. 研究の目的

温暖化が標高傾度にそって樹木の成長にどのように影響するのかを解明することを目的とした。

3. 研究の方法

中部山岳の亜高山帯で優占するダケカンバ，シラビソとオオシラビソを研究材料とした。調査地は乗鞍岳である。乗鞍岳ではシラビソは標高 1600~1900 m，そしてオオシラビソは 1900~2400 m の範囲で優占している。ダケカンバは亜高山帯全体に分布していた。

サンプルの採取は，オオシラビソの分布上限である 2400 m 地点，シラビソ，オオシラビソの植生移行帯である標高 1900 m 地点，そしてシラビソの分布下限である標高 1600 m 地点において行った。ただし，オオシラビソの分布上限である 2400 m 地点については，徳光 (2002) の研究において使われたデータを使用した。ダケカンバの試料採取は標高 1600m と 2400m で行った。シラビソ，オオシラビソの 2 種について，それぞれ胸高（およそ 1.3 m）で成長錘を用い直径 5 mm のコアを採取した。幹のねじれや湾曲した部分があるもの，枯死した個体は避け，出来る限り直立した個体を選んでサンプルを採取した。また，シラビソ，オオシラビソは見た目がよく似ているために同定が難しいものについてはサンプルの採取は避けた。

軟 X 線写真の撮影は茨城県つくば市にある独立行政法人森林総合研究所でおこなった。作成した薄板試料を事前に森林総合研究所に送り，温度 20 °C・湿度 60 % の恒温恒湿の部屋にて数日安置した後，薄板試料の軟 X 線写真撮影をおこなった。管電流 14 mA，管電圧 20 kVp，にて 210 秒照射し，フィルムを現像した。撮影の際には，密度を測定する際に，フィルムの濃度値を密度に換算する基準となる標準吸収体を一緒に撮影した。

撮影したフィルムを，スキャナをもちいて，透過原稿として解像度 2400 dpi でコンピュータに取り込み，その画像データを使い，年輪幅，年輪内最大密度を測定した。

測定した年輪情報は，測定ミス，偽年輪や欠損輪といった事が原因で各個体の年輪の時系列にずれが生じることがある。その検出手法がクロスデイトイングである。本研究では COFECHA プログラムを用いてクロスデイトイングを行なった。COFECHA プログラムは全個体の年輪幅データの時系列を平均化して得られるマスタークロノロジーに対して，各試料のデータの時系列を一定の区間に分けたもの各々を 1 年ごとにずらしながら相関係数を算出するプログラムである。得られた相関係数が各試料のデータの時系列をずらしていない状態において高ければ，測定した年輪幅の時系列が正確であると考えられるが，ずらした時の相関係数が高いときは，測定ミス，偽年輪や欠損輪などによって年輪幅の時系列がその分だけずれていると考えられる。このようにしてずれのある可能性の高い試料の，特に疑わしい範囲の年代に対して実態顕微鏡によって測定の確認を行い，WinDENDRO によって修正を行なった。本研究では COFECHA プログラムの設定を，区間を 50 年および 20 年，区間の移動範囲を ±10 年とし，この行程を繰り返した。相関係数が以上の修正作業によって高くない個体については，この段階で排除して以降の解析には用いないこととした。

得られたクロノロジーを用いて，気象条件から肥大成長を予測するための重回帰モデルを作成した。

4. 研究成果

乗鞍岳において優占する落葉広葉樹ダケカンバ，常緑針葉樹シラビソ，オオシラビソ，常緑針葉樹低木種ハイマツの 4 種について，標高傾度にそって幹の成長開始時期，終了時期がどのように変化するのかを調査した。形成層に定期的に刺激を与え，1 年輪内に異常細胞を残させることによって，処理時の形成層位置を推定し，各樹種の形成層活動開始時期と活動終了時期を調べた。また，樹木の幹の周囲長を定期的に測ることにより，肥大成長開始時期と終了時期を特定した。全ての樹種において，肥大成長開始時期，及び終了時期は形成層活動開始時期，及び終了時期から遅れており，木部の細胞が分裂した後拡大し，

はじめて肥大成長として数値に現れるため、時間差があったものと考えられる。シラビソ・オオシラビソ移行帯（標高 2020 m 地点）において、シラビソの細胞分裂はオオシラビソよりも早く終わっていたものの、肥大成長はオオシラビソのほうがシラビソよりも早く終わっていたことから、シラビソのほうがオオシラビソよりも細胞拡大に時間がかかることがわかった。ダケカンバの成長開始は標高が上がると遅くなり、また、年変動が大きかったことから、ダケカンバの成長開始は気温により左右されることが示唆された。ダケカンバ、およびオオシラビソの成長終了は標高間で差がなく、年変動も小さかったことから、気温はあまり関係しておらず、日長により成長終了が決定されることが示唆された。一方、シラビソの成長終了は標高が下がると遅くなっていたため、成長終了には気温が大きく影響していると考えられた。ハイマツの成長開始、終了の標高間での傾向は年によって異なり、気温や日長のほかにも、積雪や微地形など様々な要因が複雑に影響しているだろうことが考えられた。このように成長開始と成長終了に影響する要因は種毎に異なることが示唆された。

乗鞍岳においてシラビソ（標高 1600 m ~ 2200 m）、オオシラビソ（標高 2000 m ~ 2500 m）、ダケカンバ（標高 1600 m ~ 2500 m）の分布上限と下限での肥大成長の地球温暖化による影響の予測を行なった。これらの樹種は、奥原（2007）、Takahashi et al.（2003, 2005）の肥大成長（年輪幅・年輪内最大密度）の気象による影響を調査する研究によって以下の結果が得られている。各標高のシラビソとオオシラビソの肥大成長は主に成長開始期、夏期の気温と正の相関を示した一方で、夏期の降水量と負の相関を示した。分布下限のダケカンバの年輪幅は夏の気温と負の相関、夏の降水量と正の相関を示すのに対して、分布上限のダケカンバは逆の傾向を示していた。これらから、分布下限のダケカンバの温暖化による肥大成長の減少と分布上限のダケカンバ、シラビソ、オオシラビソの肥大成長の増加が見込まれる。しかし、地球温暖化の影響がそれぞれの樹種の成長にどのような現れるのかについては、気温との相関が正負いずれも現れることや、降水量の未来の変動について不明な点が多いことから容易には予測できない。そこで、年輪幅・年輪内最大密度の時系列情報と気象データとの重回帰によるモデル式を作成した。得られたモデル式に 2100 年までの日本国内の気象変動を予測した MIROC の出力内挿データを代入することで、各樹種の年輪幅、年輪内最大密度の将来の成長傾向を予測した。その結果、1600 m のシラビソの年輪内最大密度、1900 m のシラビソの年輪幅、1900 m のオオシラビ

ソの年輪内最大密度、2400 m のオオシラビソの年輪内最大密度は地球温暖化の気温上昇効果を受けて増加する傾向を示した。一方で 2400 m のダケカンバの年輪幅は、気温上昇のほかに降水量増加の影響が強いために将来減少していくことが示された。

本研究の結果から、植生移行帯において樹木は気象条件によって肥大成長に制限を受けており、今後の温暖化によって成長傾向や分布に様々な影響を受けていくことが予測された。そして、その影響は予測可能であることを示した。

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 11 件）

1. Takahashi, K. & Yoshida, S. (2009) How the scrub height of *Pinus pumila* decreases at the treeline. *Ecological Research* 24: 847-854. (査読あり)

2. Takahashi, K. & Miyajima, Y. (2008) Relationship among leaf life span, leaf mass per area and leaf nitrogen causes different altitudinal changes in leaf $\delta^{13}\text{C}$ between deciduous and evergreen species. *Botany* 86: 1233-1241. (査読あり)

3. Takahashi, K. & Mikami, Y. (2008) Crown architecture and leaf traits of understory saplings of *Macaranga semiglobosa* in a tropical montane forest, Indonesia. *Plant Species Biology* 23: 202-212. (査読あり)

4. Dolezal, J., Homma, K., Takahashi, K., Vяткина, M. P., Yakubov, V., Vetrova, V. P. & Hara, T. (2008) Primary succession following deglaciation at Koryto Glacier valley, Kamchatka. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research* 40: 309-322. (査読あり)

5. Takahashi, K. & Mikami, Y. (2008) A weak relationship between crown architectural and leaf traits in saplings of eight tropical rain forest species, Indonesia. *Journal of Tropical Ecology* 24: 425-432. (査読あり)

6. Takahashi, K. & Miyajima, Y. (2008) Variations in stomatal density, stomatal conductance and leaf water potential along an altitudinal gradient in central Japan. *Phyton (Horn, Austria)* 48: 1-12. (査読あり)

7. Ishii, H., Kobayashi, T., Uemura, S., Takahashi, K., Hanba, Y., Sumida, A. & Hara, T. (2008) Removal of understory dwarf bamboo (*Sasa kurilensis*) induces changes in water-relation characteristics of overstory *Betula ermanii* trees. *Journal of Forest Research* 13: 101-109. (査読あり)

8. Takahashi, K. & Lechowicz, M.J. (2008) Do interspecific differences in sapling growth traits contribute to the codominance of *Acer saccharum* and *Fagus grandifolia*? *Annals of Botany* 101: 103-109. (査読あり)

9. Takahashi, K., Arai, K. & Lechowicz, M.J. 2007. Quantitative and qualitative effects of a severe ice storm on an old-growth beech-maple forest. *Canadian Journal of Forest Research* 37: 598-606. (査読あり)

10. Miyajima, Y. & Takahashi, K. 2007. Changes with altitude of the stand structure of temperate forests on Mount Norikura, central Japan. *Journal of Forest Research* 12: 187-192. (査読あり)

11. Miyajima, Y., Sato, T. & Takahashi, K. (2007) Altitudinal changes in vegetation of tree, herb and fern species on Mount Norikura, central Japan. *Vegetation Science* 24: 29-40. (査読あり)

[学会発表] (計 10 件)

1. 小池繁幸, 高橋耕一. 2009. ダケカンバの幹成長の日変動に対する気象の影響. 日本生態学会第 55 回全国大会 (盛岡).

2. 奥原 勲, 安江 恒, 高橋耕一. 2009. 標高傾度にそった亜高山帯針葉樹の肥大成長の将来予測. 日本生態学会第 55 回全国大会 (盛岡).

3. 高橋耕一, 宮島 悠. 2009. 個葉の寿命, LMA, 窒素濃度の関係が標高傾度にそった落葉樹と常緑樹の葉の炭素安定同位体比におよぼす影響. 日本生態学会第 55 回全国大会 (盛岡).

4. 池田圭吾, 井田秀行, 高橋耕一. 2009. 本州中部における亜高山帯針葉樹林の森林構造とその更新動態. 日本生態学会第 55 回全国大会 (盛岡).

5. 高橋耕一, Lechowicz, M.J. 2008. アメリカブナとサトウカエデの稚樹の成長特性

の種間差は 2 種の共存に重要か? 日本生態学会第 55 回全国大会 (福岡)

6. 奥原 勲, 安江 恒, 高橋耕一. 2008. 分布上限と下限のシラビソとオオシラビソの肥大成長におよぼす気象の影響. 日本生態学会第 55 回全国大会 (福岡).

7. 小池繁幸, 安江 恒, 高橋耕一. 2008. シラビソとオオシラビソの標高傾度にそった肥大成長の季節変化. 日本生態学会第 55 回全国大会 (福岡).

8. 後藤 彩, 井田秀行, 高橋耕一. 2008. 放棄された里山におけるブナ・ミズナラ・コナラ実生の動態. 日本生態学会第 55 回全国大会 (福岡).

9. 池田圭吾, 井田秀行, 高橋耕一. 2008. オオシラビソ-コメツガ-ダケカンバ林における森林構造とその動態. 日本生態学会第 55 回全国大会 (福岡).

10. 高橋耕一, Arai, K., Lechowicz, M.J. 2007. カナダ東部で発生した記録的な ice storm はブナ・カエデ林の更新にどのように影響したのか? 日本生態学会第 54 回大会 (松山).

[図書] (計 1 件)

1. 高橋耕一. 2009. 道路によって変化する山岳域の植物群集. 信州大学山岳科学総合研究所・総合地球環境学研究所編. 山岳科学ブックレット「山と自然に魅せられて - 研究の現場から未来への提言 -」. pp. 30-32. オフィスエム. 長野.

[その他]

ホームページ等

<http://science.shinshu-u.ac.jp/~bios/Evo/takahashi/ktmain.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

高橋 耕一 (TAKAHASHI KOICHI)

信州大学・理学部・准教授

研究者番号: 80324226

(2) 研究分担者

安江 恒 (YASUE KOH)

信州大学・農学部・准教授

研究者番号: 00324236