

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 16 日現在

機関番号：13601

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23380097

研究課題名(和文) 気候変動下における国産主要樹種の肥大成長および材質の変動予測

研究課題名(英文) Estimation of the changes in radial growth and wood quality of the major tree species in Japan in response to climate change

研究代表者

安江 恒 (YASUE, Koh)

信州大学・農学部・准教授

研究者番号：00324236

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,400,000円、(間接経費) 4,320,000円

研究成果の概要(和文)：将来予想される気候変動下での国産主要4樹種の肥大成長量や密度変化の予測を目的とし、年輪年代学的手法による気候応答解析を行った。スギ、ヒノキ、カラマツ、ブナのクロノロジーネットワークを構築し、気候データとの相関解析を行った。

スギとヒノキについては、ほとんどの生育地において冬～春の気温が年輪幅変動に対して促進的に影響していた。ブナにおいては、比較的寒冷な生育地では、夏季の気温が年輪幅に促進的に影響しており、一方温暖な生育地では気温が制限要因となっていないことが示唆された。カラマツについては、生育地によって年輪幅や密度と相関を示す気候要素が大きく異なっていた。

研究成果の概要(英文)：The climatic responses of tree-ring widths and densities of the major tree species in Japan (*Cryptomeria japonica*, *Chamaecyparis obtusa*, *Larix kaempferi*, *Fagus crenata*) were analyzed by a dendrochronological technique for estimation of the changes in radial growth and wood quality in response to climate change. The ring widths of *Cryptomeria japonica* and *Chamaecyparis obtusa* positively correlated with temperature of winter and early spring regardless of the growing sites. The ring widths of *Fagus crenata* growing in cooler sites positively correlated with summer temperature, whereas those in warmer sites did not reveal correlations with summer temperature. The climate responses of ring widths of *Larix kaempferi* differ along the sites.

研究分野：農学

科研費の分科・細目：森林学・木質科学

キーワード：年輪年代学 温暖化 年輪幅 材質 気候応答 スギ ヒノキ ブナ

## 1. 研究開始当初の背景

IPCC 第 4 次報告 (2007) では人為由来の地球温暖化の進行が確実であることが確認され、急激な気候変化が我が国の森林に及ぼす影響も危惧される。森林の主構成要素である樹木の樹幹は重要な木材資源であるとともに、大気中二酸化炭素の主要な固定源でもあり、樹木の肥大成長におよぼす温暖化の影響を把握することは、持続的な木材生産や炭素排出権国際競争力維持のために重要である。一方、急激な気候変化は、樹木の生育適地を変えたり、成長や材質を変化させる可能性がある。樹木の肥大成長の結果として毎年 1 層ずつ形成される年輪は、生育時に受けた環境の影響を記録している。従って、樹木の肥大成長履歴と気候変動の関係を統計的に解析することで、現在生育している樹木の肥大成長の気候応答を明らかにすることが出来る。国土的な影響を把握するためには、樹種による違い、地域によって異なる気候やその変動を考慮する必要がある。加えて、地域ごとに適応進化した遺伝的な系統間の気候応答の違いを考慮する必要があるかもしれない。

## 2. 研究の目的

将来予想される気候変動下での国産主要 4 樹種 (スギ、ヒノキ、カラマツ、ブナ) の肥大成長量や密度変化の定量的評価を目的とする。本州以南を広くカバーする年輪クロノロジーネットワークを構築したうえで、気候応答解析を行う。「樹種」、「地域ごとの環境の違い」、「地域ごとに適応進化した遺伝的な系統」の気候応答の違いを考慮しながら解析を行うことで、国土的な影響把握をめざす。

## 3. 研究の方法

(1) 国内各地における主要樹種の年輪幅および年輪内密度値の気候応答

スギ、ヒノキ、カラマツ、ブナについて、各生育地につき 15 個体以上を選択し、地上高 0.5~8m より円盤試料または成長錐コア試料を 2 方向より採取した。軟 X 線デンシトメトリにより、年輪幅、早材幅、晩材幅および年輪内平均密度 (以下、年輪密度) を測定した。目視および統計的手法を併用して正確な形成年の照合を行った。得られた実測値時系列に対してフィルター長 32 年のスプライン関数を近似し、実測値との比を算出することにより標準化を行った。標準化時系列を平均し、各樹種の地点を代表する年輪幅などの時系列であるクロノロジーを作成した。

年輪幅と早材幅、晩材幅、年輪密度の要素間の変動の相関を算出し、年輪構造の変動要因を検討した。

最寄りの地方気象台の月平均気温・月平均最高気温・月平均最低気温・月日照時間・月降水量とクロノロジーとの単相関係数を算出した。

(2) 気候応答の経年変動

統計期間内で常に樹木年輪と気候との関係が一定の関係にあるかどうかを検討するために、移動相関分析を併用して樹木年輪と気候との関係の経年変動を検討した。東京農業大学奥多摩演習林 (標高 650~1,452 m) におけるスギ、ヒノキクロノロジーを対象とし、統計期間を 20 年に設定した。20 年間の初年を 1954 年から 1 年ずつずらし、1981 年 (最終年 2000 年) まで算出した。併せて、1954 年から 2000 年までの 47 年間を統計期間とした相関も算出した。

(3) 国産主要樹種の気候応答における種内の遺伝的変異

スギ 8 家系が植栽された試験地 (高知県香美市)、ヒノキ 47 家系が植栽された試験地 (佐賀県佐賀市)、共通のカラマツ 20 クロウンが植栽された 3 試験地 (北海道江別市、岩手県滝沢市、長野県小諸市)、カラマツ天然林 7 地域・26 産地より集められた個体が植栽されたカラマツ産地試験地 (北海道江別市) より、計 970 個体を対象とした。軟 X 線デンシトメトリ法により年輪幅及び年輪密度パラメータの時系列データを取得した。統計パッケージ R の dp1R ライブラリ (Bunn, 2008) を用いて個体毎・産地毎に長周期変動の除去と標準化を行い、年輪幅と年輪密度パラメータの標準化時系列指数を得た。また、スギ・カラマツについては SSR マーカーにより遺伝子型を決定し、クロウン・家系のチェックを行った。標準化時系列指数の個体間の相関係数を元にした距離行列による permutation MANOVA により、標準化時系列指数の類似度への遺伝的影響を検討した。時系列標準化指数と気象パラメータの気候応答解析にあたり、日平均気温・日降水量・日射量等の気象要素について、移動平均の期間 (1 日~60 日) および平均の開始日 (年輪形成前年 1 月 1 日から年輪形成当年まで) を変化させながら移動平均値を求め、それを気象パラメータとして年輪パラメータの標準化時系列指数との相関関係を求めた。

ブナにおいては、産地試験林 (東大秩父演習林、林木育種センター北海道育種場) において、各 7~8 産地を対象に計 112 個体より円板またはコア試料を採取した。軟 X 線デンシトメトリにより、年輪幅および年輪内平均密度を測定し、前述の方法に従ってクロノロジーを作成した。実測値、クロノロジーおよび気候応答について、産地間の類似性を検討した。

## 4. 研究成果

(1) 国内各地における主要樹種の年輪幅および年輪内密度値の気候応答

スギ 14 地点、ヒノキ 9 地点、カラマツ 8 地点、ブナ 12 地点にわたるクロノロジーネットワークを構築した。



関係数 ( $r_{20y}$ ) においても全期間で有意であった関係はなかった (表 2)。スギの年輪幅と月平均気温の関係において、期間の前半 (統計期間初年が 1954 年~1971 年) で高い  $r_{20y}$  が認められる月は、2 月や 3 月であるのに対し、期間の後半 (統計期間初年が 1967 年~1981 年) では、1 月や 2 月において高い  $r_{20y}$  が認められた。ヒノキ年輪幅と月平均気温の関係においても、高い  $r_{20y}$  が認められる月は期間を通して変化をしていた。スギおよびヒノキともに、月平均気温に対して年輪幅指数と年輪内平均密度指数とは、その相関係数の経年変化が異なっていた。

樹木年輪と気候との関係は全統計期間内で一定ではなく、変動していることが明らかとなった。以上のことから、樹木年輪と気候との関係を検討する際には、できるだけ長い統計期間をとることと同時に、移動相関分析を用いて樹木年輪と気候との関係の経年変動を明らかにすることも必要であると言える。有意な相関を示す月が年と共に遷移する原因として、近年における地球温暖化が可能性としてあげられる。温暖化との関連性を明らかにするためにも、生物季節の変化 (成長再開時期の移行や成長期間の拡大) との関係、今後明らかにする必要がある。

### (3) 国産主要樹種の気候応答における種内の遺伝的変異

permutation MANOVA の結果、スギ・ヒノキにおいては標準化指数の個体間相関関係への家系の影響は年輪幅および年輪密度において有意であった。カラマツは長野・岩手の試験地ではクローンの影響は有意であったが、北海道の共通 20 クローンの試験地においては年輪幅・材密度ともクローンの有意な影響は認められなかった。カラマツ産地試験地においては地域の影響は年輪幅・材密度において有意であった。これらの結果から、年輪幅・材密度の時系列変動は同一の家系・クローン・産地間でより類似しており、年輪構造の変動に遺伝的差異があることが示された。

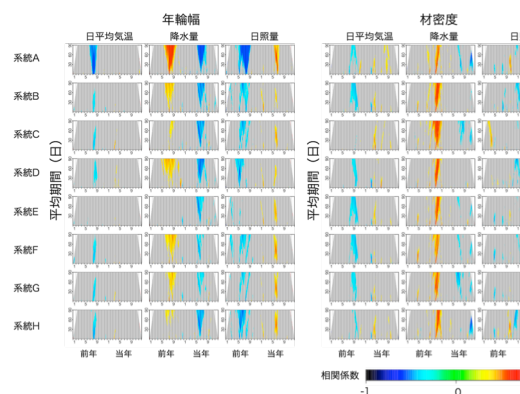


図 6 : ヒノキ試験地における母親系統毎の気候応答。各系統の個体数は 21~32 (平均 23)。横軸は移動平均の中心日 (年輪形成前年 1 月 1 日~年輪形成当年末日)、縦軸は移動平均の平均期間 (1 日~90 日) を示し、色は相関係数を示す。相関係数が有意ではない点 ( $p > 0.05$ ) は灰色で示した。

気候応答解析の結果、家系・クローンに共通した気候応答を示す気象パラメータが存在する一方で、特定のクローン・家系では応答が見られない気象パラメータが存在し、相関係数の大きさもクローン・家系により異なることが示された (図 6)。ヒノキの母親系統 8 系統では、年輪幅は多くの系統において年輪形成前年 8 月付近の日平均気温と負の相関を示したが、系統 E のように有意な相関を示さない系統も存在した。また、この時期では、狭い移動平均の期間 (30 日未満) で強い相関関係を示した。また、年輪幅は年輪形成前年の夏季 (8 月付近) の降水量と正の相関、当年初夏 (6 月付近) の降水量と負の相関を示す傾向があり、移動平均の期間が広い場合 (60 日以上) に高い相関を示す傾向があった。材密度は前年 9 月付近の平均気温と負の相関を示し、また前年 11 月~12 月付近の降水量と正の相関を示した。また、系統 C のように他の系統と応答が異なる系統も存在した。スギもヒノキと同様に、多くの系統が共通して応答を示す気象パラメータが存在するが、特有の応答を示す系統も存在した。スギの材密度は前年 11 月~12 月の降水量と正の相関関係を示し、ヒノキと類似した結果となった。カラマツの産地試験地においても、産地に共通に認められる気候応答が存在する一方で、特有の応答を示す産地も存在した。カラマツにおいて共通の 20 クローンの気候応答を 3 箇所の試験地で比較した結果、材密度が年輪形成当年の 4 月~5 月付近の降水量と負の相関をもつ傾向が試験地に共通して認められる一方、それ以外は試験地間で気候応答は気象要素・時期等大きく異なった。

ブナにおいては、年輪幅変動の主成分分析の結果、第二主成分において北海道とそれ以外の産地に違いがある傾向になった。気候応答に遺伝的変異が存在する可能性が示唆された。

気候応答には種内の遺伝的変異が存在すること、その一方で多くの家系・クローンが共通して応答を示す気象要素・時期も多いことが示された。将来の気候変動に対する反応は樹種内でも遺伝的な違いが存在する可能性があり、人工林においては気候変動に対する育種的対応策の可能性も示唆される。また、異なる環境下に置かれた遺伝的に同一の背景を持つ集団間で気候応答は大きく異なることが示され、異なる地点間で気候応答のパターンが異なる場合、その要因には環境と遺伝の両者が影響していると考えられる。

### (4) おわりに

本研究の結果により、温帯性針葉樹であるスギとヒノキの年輪幅には冬から春にかけての気温が促進的に寄与していることが明らかになり、特に冬期間の気温上昇

量が大きいと予測される将来の気候下においては、肥大成長量の増大が予測される。ブナにおいては、夏季の気温の上昇に伴い、寒冷域では肥大成長が促進され、温暖域では気温上昇の影響が顕著に表れないと予想できる。

年輪幅や材密度の時系列変動および気候応答の遺伝的変異を検討したところ、クローンや家系、産地による違いが生じていた。将来の気候変動に対応する変動には遺伝的違いが生じる、可能性が示唆される。

移動相関法の適用により、有意な相関を示す時期が年と共に遷移する可能性が明らかになった。本手法を適用することで、各樹種における成長制限要因を絞り込める可能性が示唆される。

本研究の実施により、国産主要樹種の肥大成長を制限する要因が、空間的広がりを持って明らかになった。構築されたクロノロジーネットワークは、今後の気候変動に伴う肥大成長変動予測モデルの構築等に寄与することが期待できる。

## 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8件)

- ① 桃井尊央, 大林宏也, 栃木紀郎, 小林 純, 塩倉高義: 東京都奥多摩地域に生育する樹木の気候応答に関する樹木年輪年代学的解析(第2報) 7 樹種の樹木年輪情報と気候情報との関係. 木材学会誌 60, 1-8 (2014), 査読有  
DOI:10.2488/jwrs.60.1
- ② PAGES 2k Consortium (D. S. Kaufman, T. Nakatsuka, M. Sano, K. Yasue et al.): Continental-scale temperature variability during the last two millennia. Nature Geoscience 6, 339-346, (2013), 査読有,  
DOI: 10.1038/ngeo1797
- ③ Fukatsu, E., Tsubomura, M., Fujisawa, Y., & Nakada, R.: Genetic improvement of wood density and radial growth in *Larix kaempferi*: results from a diallel mating test. Annals of Forest Science 70, 451-459 (2013), 査読有,  
DOI: 10.1007/s13595-013-0278-8
- ④ Ohyama, M., Yonenobu, H., Choi, J.-N., Park, W.-K., Hanzawa, M, Suzuki, M. Reconstruction of northeast Asia spring temperature 1784-1990. (2013) Climate of the Past 9, 261-266, 査読有  
DOI: 10.5194/cp-9-261-2013
- ⑤ 桃井尊央, 大林宏也, 栃木紀郎, 小林純, 塩倉高義: 東京都奥多摩に生育する樹木の気候応答に関する樹木年輪年代学的解析(第1報)-7 樹種における 樹木年輪クロノロジーの構築-木材学会誌 59, 13-21 (2013), 査読有  
DOI:10.2488/jwrs.59.13
- ⑥ 大山幹成: 仙台市立中野小学校所蔵スギ円盤標本の修復と年輪年代学的解析. 市史せんだい 22, 24-30, (2012) 査読無  
<http://www.city.sendai.jp/kyouiku/museum/shop/kankou/shishi.html>
- ⑦ 安江 恒: 年輪から読む樹木・森林・環境のうごき-樹木年輪年代学の応用-, 森林科学 65. 54-59 (2012), 査読有  
<http://www.forestry.jp/publish/ForSci/ForSci-index/ForSci65.html>
- ⑧ 安江恒, 祇園紘一郎, 小林元, 小野裕, 井上裕, 岡田充弘, 植木達人: 浅間山カラマツ植物群落保護林の成長履歴および材質特性 信州大学農学部 AFC 報告 10. 39-43 (2012), 査読有  
<http://karamatsu.shinshu-u.ac.jp/publish/afc/lists/010.html>

[学会発表] (計16件)

- ① 佐々木 駿, 市栄 智明, 安江 恒: 異なる生育地に生育するスギの年輪幅および年輪内密度値と気候要素との関係, 第64回日本木材学会大会 (20140313-15), 愛媛大学 (松山市)
- ② 安江 恒, 平野 優, 吉野 真美, 齋藤 大, 城田 徹央, 古賀 信也, 内海 泰弘, 鍋嶋 絵里, 市栄 智明, 桃井 尊央, 藤原 健: 異なる生育地におけるヒノキ肥大成長の気候応答, 第64回日本木材学会大会, (20140313-15), 愛媛大学 (松山市)
- ③ 吉野 真美, 齋藤 大, 城田 徹央, 安江 恒: 壮齡林ヒノキ肥大成長への強度間伐・台風による大規模攪乱の影響, 第64回日本木材学会大会, (20140313-15), 愛媛大学 (松山市)
- ④ 桑山 明希, 織部 雄一朗, 安江 恒: カラマツ樹幹の局所冷却による早晚材移行期の形成層活動への影響, 第64回日本木材学会大会, (20140313-15), 愛媛大学 (松山市)
- ⑤ 前田 あやの, 安江 恒: 主要針葉樹4種, 広葉樹5種における立木の含水率の季節変動, 第64回日本木材学会大会, (20140313-15), 愛媛大学 (松山市)
- ⑥ YUDONG SHEN, 市栄智明, 安江 恒: 四国と北海道に生育するブナの年輪幅と年輪内密度値の気候応答, 第64回日本木材学会大会, (20140313-15), 愛媛大学 (松山市)
- ⑦ 武津英太郎, 中田了五, 千吉良治, 高橋 誠, 安江 恒: 年輪構造の環境応答の遺伝的解析に向けた気象パラメータの検討, 第64回日本木材学会大会, (20140313-15), 愛媛大学 (松山市)
- ⑧ 桃井尊央, 大林宏也, 小林 純: 東京都奥多摩に生育する針葉樹5樹種の樹木年輪情報-細胞分裂再開前の気温と

の関係(3)一,第64回日本木材学会大会,  
(20140313-15),愛媛大学(松山市)

- ⑨ 星野安治,米延仁志,安江 恒,野堀嘉裕,  
光谷拓実:下北半島産ブナ標準年輪曲線を  
用いた夏気温復元の可能性,日本地球惑星  
連合大会2013年大会,(20130523),幕張メ  
ッセ(千葉市)
- ⑩ 安江 恒,平野 優,古賀信也,内海泰弘:異  
なる生育地におけるヒノキの年輪幅およ  
び年輪内平均密度の気候応答.第63回日  
本木材学会大会.(20130327-29),岩手大  
学(盛岡市)
- ⑪ 眞山寿里,田村明,安江恒:北海道で生育し  
た産地の異なるブナの年輪幅・年輪内密  
度およびその変動と気候応答.第63回日  
本木材学会大会.(20130327-29),岩手大  
学(盛岡市)
- ⑫ 眞山寿里,織部雄一郎,安江恒:盛岡で生  
育した産地の異なるブナクロンの年輪  
幅変動,第62回日本木材学会大会.  
(20120316).北海道大学(札幌市)
- ⑬ 平野優,中堀謙二,安江恒:吉野で生育  
するスギとヒノキの年輪幅および年輪内  
平均密度値と気候要素との関係.第62回  
日本木材学会大会.(20120316).北海道  
大学(札幌市)
- ⑭ 和田鉄平,安江恒,古賀信也,内海泰弘:  
北海道・長野・宮崎に生育するカラマツの  
形成層活動の季節変化.第62回日本木材  
学会大会.(20120316).北海道大学(札幌  
市)
- ⑮ 武津英太郎,中田了五,井城泰一,渡邊敦  
史,織部雄一郎,田村明,安江恒:カラマ  
ツの肥大成長と材密度に与える遺伝と環  
境の影響.第62回日本木材学会大会.  
(20120316).北海道大学(札幌市)
- ⑯ Ohyama, M., Hoshino, Y., Hakozaki, M.,  
Yonenobu, H.: Development of Tree-ring  
Chronologies over the Last Two  
Millennia in Japan. Wood Culture and  
Science Kyoto 2011. (20110807). 京都大  
学宇治おうばくプラザ(京都府宇治市)

[図書](計1件)

- ① 大山幹成:木質の形成.バイオマス科学へ  
の招待,海青社.21-25(2011)

[その他]

ホームページ等  
年輪クロノロジーリストデータベース  
<http://treering.shinshu-u.ac.jp/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

安江 恒 (YASUE, Koh)  
信州大学・農学部・准教授  
研究者番号:00324236

### (2) 研究分担者

藤原 健 (FUJIWARA, Takeshi)

独立行政法人森林総合研究所・木材特  
性研究領域・組織材質研究室長  
研究者番号:00353839

大山幹成 (OHYAMA, Motonari)  
東北大学・学術資源研究公開センター・  
助教  
研究者番号:00361064

桃井 尊央 (MOMOI, Takao)  
東京農業大学・地域環境科学部・助手  
研究者番号:00445694

武津 英太郎 (FUKATSU, Eitaro)  
独立行政法人森林総合研究所・林木育種  
センター九州育種場・研究員  
研究者番号:10370826

古賀 信也 (KOGA, Shinya)  
九州大学・農学研究院・准教授  
研究者番号:20215213

田村 明 (TAMURA, Akira)  
独立行政法人森林総合研究所・林木育種  
センター北海道育種場・研究員  
研究者番号:20370843

織部 雄一郎 (ORIBE, Yuichiro)  
独立行政法人森林総合研究所・林木育種  
センター東北育種場・研究員  
研究者番号:40370853

内海 泰弘 (UTSUMI, Yasuhiro)  
九州大学・農学研究院・准教授  
研究者番号:50346839

### (3) 連携研究者

米延仁志 (YONENOBU, Hitoshi)  
鳴門教育大学・大学院学校教育研究科・  
准教授  
研究者番号:20274277

中田了五 (NAKADA, Ryogo)  
独立行政法人森林総合研究所・林木育種  
センター遺伝資源部・保存評価課長  
研究者番号:60370847

中塚武 (NAKATSUKA, Takeshi)  
総合地球環境学研究所・研究部・教授  
研究者番号:60242880