

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 6 日現在

機関番号：82105

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2016

課題番号：26850102

研究課題名(和文) スギの成長の地域変異 - 「フェノロジー仮説」の検証-

研究課題名(英文) Regional variation in long-term growth of *Cryptomeria japonica* D. Don trees in Japan: testing the phenology hypothesis

研究代表者

西園 朋広 (Nishizono, Tomohiro)

国立研究開発法人森林総合研究所・森林管理研究領域・主任研究員

研究者番号：90353797

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：日本のスギについて、肥大成長の季節変化(成長の開始時時期・停止時期・成長期間)における地域差を調べた。低緯度に生育するスギと比べて、高緯度に生育するスギの成長開始時点は遅かった。肥大成長の成長停止時点は緯度に依存した違いを示さなかった。そのため、低緯度に生育するスギと比べて、高緯度に生育するスギの成長期間は短かった。成長フェノロジーの地域差は長期成長の地域差を生み出す重要な要因の一つであると考えられた。

研究成果の概要(英文)：We investigated regional variation in radial growth phenology (onset, cessation, and duration of radial growth) of *Cryptomeria japonica* D. Don trees in Japan. In sites with higher latitude, the *C. japonica* trees started to grow later than in sites with lower latitude. The cessation of the radial growth was independent of latitude. Consequently, in sites with higher latitude, the *C. japonica* trees continued to grow for a shorter period than in sites with lower latitude. The latitudinal gradients for duration of radial growth weakly but significantly supports that the regional variation in the growth phenology is one of the key factors of generating the regional variation in the long-term growth.

研究分野：森林計測学

キーワード：スギ 成長フェノロジー 成長期間 成長の地域差 緯度傾度

### 1. 研究開始当初の背景

スギはわが国における主要な造林樹種であり、日本列島の北から南まで、広範囲に植栽されている。スギの成長傾向が地域によって異なることは、古くから指摘されてきたが、定量的・実証的な報告はなかった。報告者は、この仮説を定量的に検討し、太平洋側・南日本に生息するスギは、日本海側・北日本に生息するスギに比べて、初期成長が大きい、最終到達サイズが小さいことを明らかにした (Nishizono et al, 2014)。つまり、温暖な地域のスギは早熟型の成長を示す。

この地域変異が発生する機構の一つとして、報告者は、1年の中でのスギの成長期間の長さに着目した。実際に、北東北のスギにおいて、直径の増加期間を計測したところ、南九州の計測例と比較して約半分程度であった。温暖な南九州では、一年間の中で成長できる期間が北東北と比べて長いから、初期成長が良好なのではないかと予想した。つまり、成長の季節変化 (フェノロジー) が重要な要因だと考えた。

また、報告者は、サイズと時間を相対化した成長モデルを導出・解析することによって、スギにとっての時間の進み方 (生物学的時間) が、環境条件の違いに応じて変異するという考えを提案した (Nishizono, 2010)。この考えに、成長期間の長さを組み込むと、「温暖な地域では、1年の中で成長できる期間が長いので、冷涼な地域よりも、生物学的時間の進みが早い」といえそうである。2つの考えは矛盾せず、調和的であるから、報告者がすでに導出した成長モデルに、成長期間の長さを適切に組み込み、成長の季節変化と長期パターンを統一的に表現できると考えた。

本研究では、数理モデルと実測データに基づいて、「スギの長期成長の地域変異が、1年の中での成長期間の長さによって決定される」という仮説 (「フェノロジー仮説」) を検証した。

### 2. 研究の目的

本研究は、「スギの長期成長の地域変異が、1年の中での成長期間の長さによって決定されている」という仮説 (「フェノロジー仮説」) を検証した。まず、成長期間を明示的に組み込んだ数理モデルを検討した。次いで、実測データを収集することによって、このモデルの妥当性を検証した。以上によって、成長期間の長さが成長傾向の地域変異に及ぼす影響を明らかにした。

### 3. 研究の方法

#### (1) 対象地とデータ収集

北海道函館市・岩手県盛岡市・岩手県滝沢市・山形県真室川町・茨城県つくば市・茨城県かすみがうら市・千葉県鴨川市・千葉県君津市・高知県高知市・宮崎県宮崎市のスギ林を解析の対象とした。北海道函館市・千葉県鴨川市・千葉県君津市・高知県高知市・宮崎

県宮崎市のスギ林において新たにデンドロメータを設置した。新設および既設のデンドロメータを用いて、スギの肥大成長の季節変化を測定した。測定したデータを本課題の開始以前に収集していたデータ (岩手・山形・富山・茨城) と併せて、解析に用いた (図1)。幹周囲長を胸高直径 (DBH) に変換し、また、測定日を DOY (通日) に変換した。以下の肥大成長フェノロジーの解析には、DOY-DBH 関係を用いた。

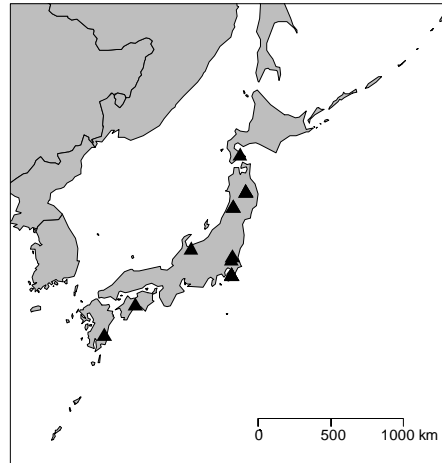


図1 解析対象地

各スギ林における気候 (温度と降水) に関するデータを、各林分から最も近い気象観測所から収集した。各観測所のデータは気象庁のウェブページから得た。温度については、気温遞減率 ( $-0.60^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ ) で補正した。

#### (2) 解析方法

これらのデータセットを用いて、北海道・岩手・山形・富山・茨城・千葉・高知・宮崎におけるスギの肥大成長フェノロジーを調べた。まず、各林分において測定年ごとに混合効果モデルを用いてスプライン曲線の当てはめを行った。次に、得られた曲線を用いて、成長フェノロジーに関する3つの指標 (成長開始時期・成長停止時期・成長期間) を算出した。ここで、当年成長量の10%・90%に達した日を成長開始時期・停止時期とした。また、開始時期から停止時期までを成長期間とした。最終的に、3つの指標と各林分の緯度・気温・降水量との関係について、線形混合効果モデル (LMM) を用いた単回帰分析を行った。なお、気候と降水量については、年平均・四半期平均 (1-3月期・4-6月期・7-9月期・10-12月期) を計算した。これらの年平均値・四半期平均を LMM の説明変数として用いた。また、説明変数の説明力を把握するために、marginal R<sup>2</sup>GLMM (Nakagawa and Schielzeth, 2013; 以下 R<sup>2</sup>GLMM と記す) を計算した。R<sup>2</sup>GLMM は従属変数の分散において、固定効果のみで説明される割合を示している。この指標は0から1の範囲の値をとり、0と1はそれぞれ当てはまりが不良であるこ

とと良好であることを意味している。

#### 4. 研究成果

緯度-成長開始時期関係において、回帰係数は統計学的に有意な正の値を示した(図2)。つまり、高緯度地域では低緯度地域と比べて、肥大成長が遅く始まっていた。また、R2GLMMは0.890で1に近い大きな値を示した。つまり、緯度の成長開始に対する説明力は非常に強かった。緯度-成長停止時期関係において、回帰係数は統計学的に有意な値を示さなかった(図3)。つまり、成長停止日が緯度に依存するとはいえなかった。緯度-成長期間関係において、回帰係数は統計学的に有意な負の値を示した(図4)。つまり、高緯度地域では低緯度地域と比べて、成長期間が短かった。また、R2GLMMは0.336で小さな値を示した。つまり、緯度の成長期間に対する説明力は弱かった。

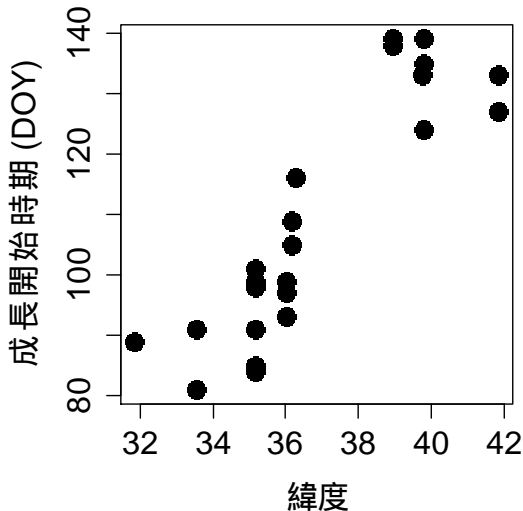


図2 緯度と成長開始時期との関係

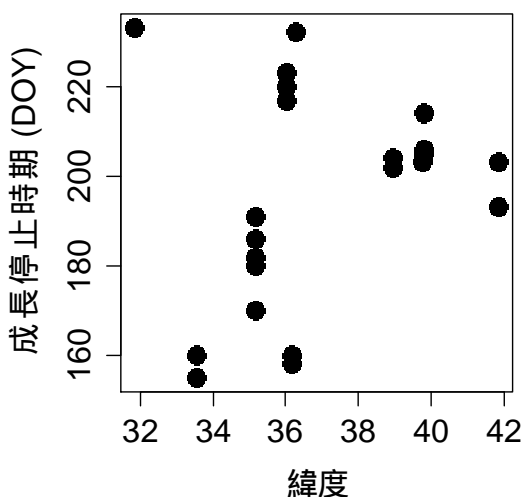


図3 緯度と成長停止時期との関係

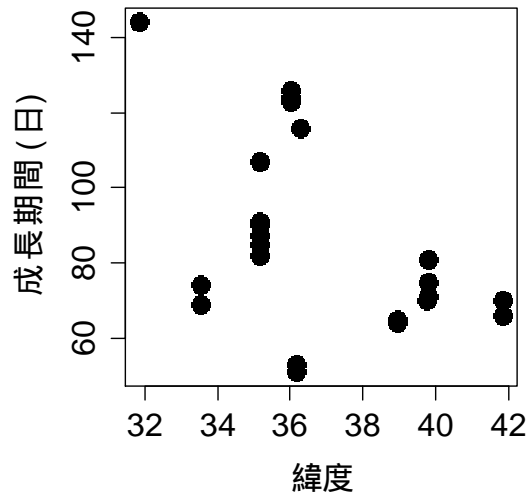


図4 緯度と成長期間との関係

平均気温-成長開始時期関係では、5つの平均気温全ての場合について、回帰係数は統計学的に有意な負の値を示した。R2GLMMは0.836-0.921を示し、気温に関する変数の成長開始時期に対する説明力は高かった。平均降水量-成長開始時期関係では、4-6月平均降水量・7-9月平均降水量の場合について、回帰係数は統計学的に有意な負および正の値を示した。R2GLMMは0.332と0.034を示し、降水量に関する変数の成長開始時期に対する説明力は低いかほとんど無かった。以上から、成長開始時期の変異は気温に強い影響を受けており、変異のほとんどを気温で説明可能であるといえる。つまり、気温が高いほど成長開始が早いといえる。

平均気温-成長停止時期関係では、5つの平均気温全ての場合について、回帰係数は統計学的に有意でなかった。平均降水量-成長停止時期関係では、5つの平均降水量全ての場合について、回帰係数は統計学的に有意でなかった。つまり、いずれの気候変数も成長停止時期の変異を説明できるとはいえなかった。

平均気温-成長期間関係では、4-6月平均気温・7-9月平均気温の場合について、回帰係数は統計学的に有意な正の値を示した。10-12月平均気温の場合について、回帰係数は統計学的に有意な負の値を示した。4-6月平均気温・7-9月平均気温の場合についてのR2GLMMは0.185と0.192を示し、これらの変数は弱い説明力を有していた。10-12月平均気温の場合についてのR2GLMMは0.057を示し、この変数はほとんど説明力を有していなかった。平均降水量-成長期間関係では、5つの平均降水量全ての場合について、回帰係数は統計学的に有意でなかった。以上から成長期間の変異は気温に弱い影響を受けており、変異のうちのいくらかを気温で説明可能であることがわかった。つまり、気温が高いほど成長期間が長いといえる。

以上をまとめると、成長開始時期と緯度・温度との間には明瞭な関係があり、温暖な低緯度地域では成長開始が早いことがわかった。一方、成長停止時期は全ての変数と明瞭な関係がなかった。そのため、両者の差である成長期間と緯度との間に弱い関連が認められ、低緯度地域で成長期間が長い傾向があった。この傾向といくつかの仮定の下で数理モデルから得られる知見に基づくと、低緯度地域において初期成長が早いことが予想される。この予想は先行研究の結果と合致しており、成長期間の長短で長期成長の地域変異を部分的に説明できると結論した。

## 5．主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計0件)

〔学会発表〕(計2件)

西園朋広、岡子光太郎、スギの成長の地域差 - 茨城県と富山県における肥大成長フェノロジー -、日本森林学会第126回大会、2015年3月26日~29日、北海道大学(北海道札幌市)

西園朋広、樹木・森林の成長 - 変異と類似について -、森林計画・計測における統計理論の応用に係わる若手研集会、2014年12月6日~7日、統計数理研究所(東京都立川市)

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

## 6．研究組織

(1)研究代表者

西園 朋広(NISHIZONO, Tomohiro)

国立研究開発法人森林総合研究所・森林管理研究領域・主任研究員

研究者番号：90353797