

アカマツ 2 年生実生の苗畑における成長パターンの評価法の検討

那須仁弥・大谷雅人・宮本尚子（森林総研林育セ）・岩泉正和（森林総研林育セ関西）

要旨：アカマツは日本で最も広域に分布する針葉樹のひとつである。通常、当年枝の成長期間は晩春から夏までであるが、生育環境の幅の広さを鑑みると、年成長パターンには地理的変異が存在することが予想される。年成長パターンを比較するには、成長量の経時変化のデータを回帰式にあてはめてモデル化することが有効である。今回、日本国内 10 産地の 373 個体の実生の成長データに異なる 2 通りの回帰式を適用し、成長停止時期の産地間差の有無を評価した。その結果にもとづき、回帰式を使った樹木の成長パターンの評価法の有効性について検討した。

キーワード：アカマツ，成長パターン，2 次曲線式，折れ線回帰式

Abstract: Japanese red pine (*Pinus densiflora*) is one of the most widespread conifers in Japan. The growth of its current year's branches usually starts in late spring and ends before mid-summer. However, given that the species' natural populations occupy a wide range of environmental conditions, geographic variation in annual growth patterns is likely to exist. Application of regression models to time series growth data may be a suitable approach for detecting such variation. In the present study, we employed the two types of regression models to illustrate whether the timing of growth cessation were different among provenances. Based on the results of regression analysis of 373 seedlings from ten provenances, reliability of the models was discussed.

Keywords: growth pattern, Japanese red pine, quadratic regression, segmented regression

I はじめに

アカマツ(*Pinus densiflora*)は我が国を代表する針葉樹のひとつであり、本州から屋久島にかけて広く分布する。本種の展葉開始時期は 3 月下旬から 6 月にかけての期間であり、通常、当年枝の伸長は 8 月までには停止するとされるが (3)、分布域が広いこと、こうした年成長パターンには地理的変異が存在することが予想される。その実態を把握することは、アカマツの地域性評価の上で重要である。

一般に、樹木の成長量の経時変化を追跡する際には、対象個体のサイズを一定の時間間隔を置いて繰り返し測定することが多い。測定回ごとの単純なサイズ比較では全体的な傾向がつかみにくく、回帰の錯誤も生じる

(2)。経時変化を効率的にモデル化するためには、回帰式を測定期間全体にわたって個体ごとに当てはめることが有効である (1)。この方法では各個体の経時変化を直接追跡できるため、経時変化のパターンが個体間で大きく異なる場合に特に効果的である (5)。本論文では、日本国内 10 産地のアカマツ 2 年生実生の春期の成長データに異なる 2 つの回帰式をあてはめることで成長停止時期を推定し、回帰式を使った成長パターンの評価法

の有効性の検討を行った。

II 方法

1. 材料及び調査方法 日本における分布域の大部分をカバーするように選定したアカマツ天然林 10 産地 (表-1) から母樹別に採取した種子を、2012 年 4 月に林木育種センター長野増殖保存園 (長野県北佐久郡御代田町) の苗畑に蒔き付けた。翌 2013 年に、育成中の実生を用いて年成長量の追跡を行った。4 月 23 日に床替えおよび 2 つの反復区の設定を行った。5 月 2 日に反復あたり 5 個体 (家系あたり 10 個体・産地あたり 50 個体) の実生を選び、地際部にマーキングを行って成長量測定の際の基準点とした。同日、5 月 13 日、5 月 23 日、6 月 5 日、6 月 18 日および 7 月 3 日に、基準点から主軸の頂端までの高さを測定した。測定にはデジタルノギスを使用し、測定の最小単位は 0.01 mm とした。5 月 2 日に頂端が確認でき、いずれの測定日においても枯損や成長不良が認められなかった 373 個体の苗のみを以降の解析に用いた (表-1)。

2. データ解析 苗高測定の最終日である 7 月 3 日までは大半の実生の主軸の伸長成長が停止したため、本論文で得られたデータにはアカマツの年成長パターン

Jin'ya NASU, Masato OHTANI, Naoko MIYAMOTO (Forest Tree Breeding Center (FTBC), Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI), 3809-1 Ishi, Hitachi, Ibaraki 319-1301), Masakazu G. IWAIZUMI (Kansai Breeding Office, FTBC, FFPRI, Uetsukinaka, Shoo, Okayama 709-4335), Evaluation method of growth pattern of Japanese red pine (*Pinus densiflora*) second-year seedlings in the forest nursery.

のうち、特に成長停止時期における地理変異が反映されている可能性がある。そこで、上限値をもつ回帰式を用いた2通りの方法(折れ線回帰モデル、2次曲線を用いた曲線回帰モデル)で個別別に回帰を行い、それぞれのモデルの当てはまりをAIC(赤池情報量規準)およびRMSEにもとづいて評価し、産地間で成長停止時期の比較を行った。折れ線回帰式はデータに対し連続的なくつかの直線的傾向をあてはめるもので(4)、アカマツの成長パターンの場合、データの前半と後半で異なる2つの直線回帰を行うモデルが妥当であると考えられる(図-1a)。このモデルでは、成長停止時期は伸長成長の増加率が大きく変化する時期とみなすことができる。そのため、2つの回帰直線が交わるX軸(日数)の値をデータから推定される成長停止時期とした(図-1a)。一方、2次曲線式においては、式の性質上、曲線の頂点のX軸の値を成長停止時期とした(図-1b)。

III 結果と考察

1. 苗高の成長経過 測定開始日から6月5日まではすべての産地において平均苗高が増加したが、それ以降は、大半の産地で増加がほぼ停止する傾向が見られた(図-2)。苗高にはすべての測定時点において産地間に有意差がみられた(Kruskal-Wallis test, $P < 0.01$)。

2. 成長データに適した回帰式の選定 AICは両モデルともほぼ同等の値であったが、RMSEは折れ線回帰モデルを用いた場合により小さな値となった(表-2)。また、回帰分析の対象とした実生のうち6%(25個体)は、2次曲線式で推定された成長停止時期が調査期間(72日間)よりも後の時期となった(図-3)。これらの個体の苗高は調査終了時まで増加し続けていたが、折れ線回帰における第1直線の傾きは第2直線の傾きの2倍以上の値となっており、伸長成長の増加率が大きく変化する時期は正確に推定されていたと考えられる。一方、2次曲線式では推定された成長停止期間は平均50日で、調査期間では6月18日から7月3日の間にあたり、この時期は大部分の苗高の成長は停止した後の時期に相当していた。このように、折れ線回帰式の方が2次曲線式よりRMSEが小さく、推定される成長停止時期も適切と考えられることから、成長のパターンの解析においてより有効であると判断された。

3. 成長停止時期の産地間変異 折れ線回帰式から推定された個体別の成長停止時期についての産地の平均値を図-4に示す。推定された苗高の成長停止時期には

産地間に有意差が認められた(Kruskal-Wallis test, $P < 0.01$)。成長停止時期が最も早い甲地は平均28.0日、最も遅い大道で平均35.7日であり、産地間の差は最大で7日程度であった。成長停止時期について産地の地理的位置との相関をKendallの順位相関係数(τ)により評価したところ、緯度が高い産地ほど早期に成長を停止する傾向が認められた(緯度： $\tau = -0.64, P < 0.01$)。

IV おわりに

今回、アカマツの2年生実生の年成長パターンを異なる2つの回帰モデルを用いて分析したところ、地理的変異の検出には折れ線回帰式が適しており、推定された成長停止時期には産地間変異があることが明らかになった。今後、春の伸長成長の開始時期や初夏に伸長が停止したのち、晩夏から秋にかけて再び伸長する現象(いわゆる「土用伸び」)についても調査検討を進めてゆく予定である。

引用文献

- (1) 藤越 康祝(2009) 経時データ解析の数理(シリーズ多変量データの統計科学). 朝倉書店, 東京, pp.6-10
- (2) 広津千尋(2004) 医学・薬学データの統計解析. 東京大学出版会, 東京, pp.192
- (3) 永田洋・佐々木恵彦編(2002) 樹木環境生理学. 文永堂, 東京, pp.23-27
- (4) 大塚雅雄・吉原雅彦(1975) 1ないし2の折曲点をもつ折れ線モデルのあてはめ. 応用統計学: 5(1), pp.29-39
- (5) 豊田秀樹編(2008) マルコフ連鎖モンテカルロ法. 朝倉書店, 東京, pp.198

表-1. 解析に用いたアカマツ実生の産地と個体数
Table 1 Provenance and number of *Pinus densiflora* seedlings used for our analysis

産地名	所在地	母樹数	解析対象とした実生の個体数
甲地	青森県上北郡野辺地町	5	35
東山	岩手県一関市	5	45
津島	福島県双葉郡浪江町	5	59
見附	新潟県見附市	5	46
霧上	長野県北佐久郡御代田町	5	49
開田	長野県木曾郡木曾町	5	49
浜北	静岡県浜松市	4	14
大山	鳥取県西伯郡伯耆町	5	32
大道	高知県高岡郡四万十町	5	20
霧島	宮崎県えびの市	5	34
計		49	373

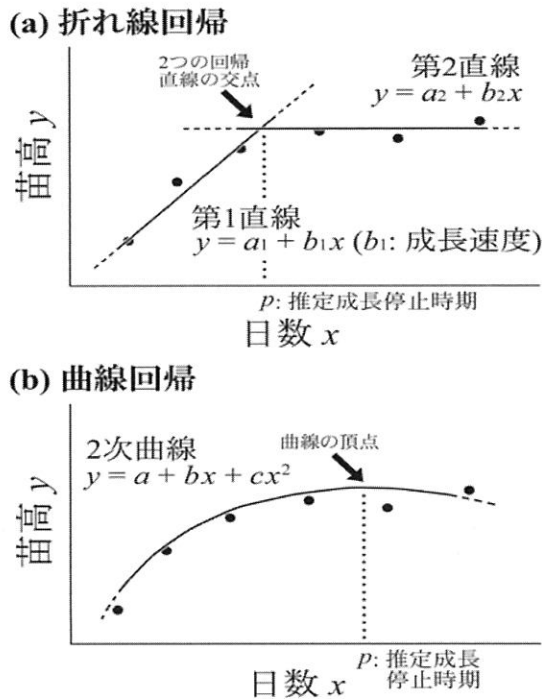


図-1. 本研究で用いた2つの回帰モデルの概略
 Fig. 1 Schematic illustrations of the two regression models employed in the present study

表-2. 回帰モデルのあてはまりのよさの比較

Table 2 Goodness of fit comparison between the two regression models

回帰モデル	RMSE			AIC		
	中央値	最小値	最大値	中央値	最小値	最大値
折れ線式	2.24	0.07	9.47	38.69	-2.29	56.00
2次曲線式	3.49	0.42	11.54	38.01	12.76	52.37

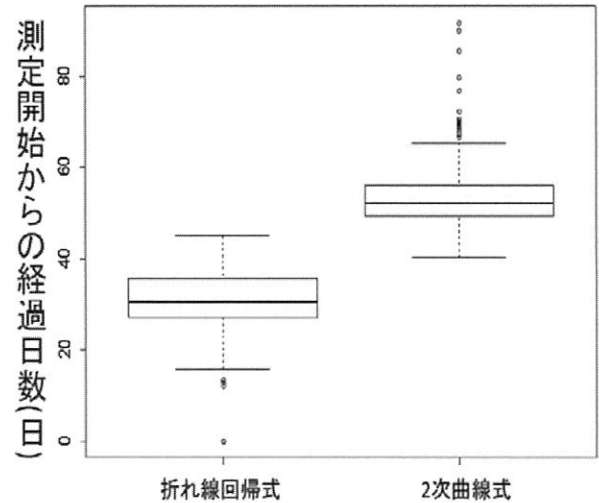


図-3. 異なる2つの回帰モデルによって推定された成長停止時期

Fig. 3 Growth cessation date estimated by the two different regression models

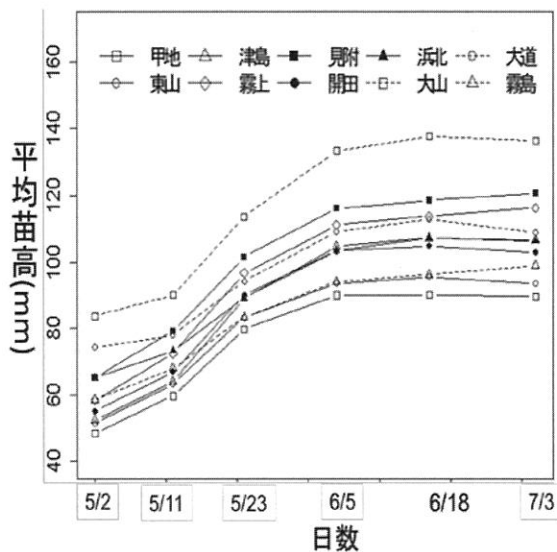


図-2. 2013年初夏におけるアカマツ実生の成長パターン

Fig. 2 Growth patterns of *P. densiflora* seedlings during early summer of 2013

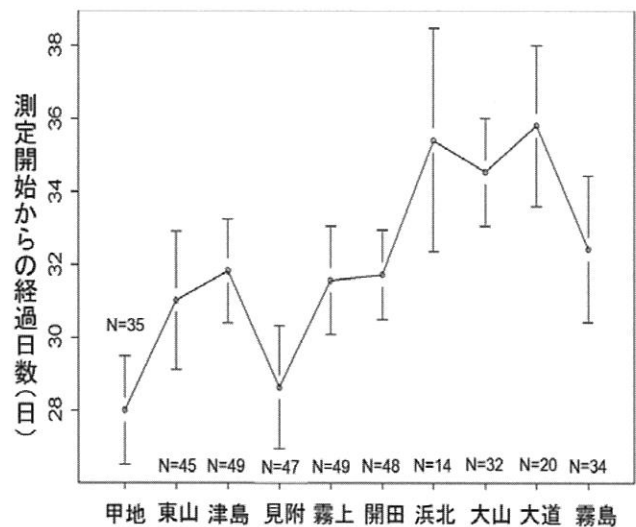


図-4. 折れ線回帰によって推定された産地ごとの成長停止時期

Fig. 4 Timings of growth cessation for each provenance estimated by segmented regression

