

令和 5 年 6 月 5 日現在

機関番号：82105

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K06135

研究課題名（和文）長期モニタリングデータと非線形成長モデルの最適化による林木成長モデルの再構築

研究課題名（英文）Renovation of tree growth modeling by optimization of nonlinear growth model using long-term monitoring data

研究代表者

高橋 正義（TAKAHASHI, Masayoshi）

国立研究開発法人森林研究・整備機構・森林総合研究所・主任研究員 等

研究者番号：50353751

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：林木の成長をより適切に示すことのできる成長モデルを得るため、スギ、ヒノキ、カラマツの長期モニタリングデータに対して、国内外で用いられる非線形成長関数を当てはめ、情報量規準などを用いてモデル選択をおこなった。分析の結果、スギ、ヒノキ、カラマツの林木成長に適した非線形の成長関数はKorfであると判断した。

施業の有無によって関数が異なる場合が見られたことから、林分成長の違いを関数の差で表現できる可能性が示唆された。単木データの場合もKorf関数が最も多く選択された。単木データでも関数選択に基づいて成長傾向の違いを示すことが可能性と考えられる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまで国内で広く用いられてきた関数は加齢によって成長の頭打ち傾向が見られる関数であるが、現実の高齢林分では、頭打ちが見られず、成長が継続するとする知見が増えてきた。今回提案するKorf関数は、高齢でも成長が継続するタイプの非線形成長関数であることから、従来の関数を置き換える形で使用すれば、高齢林分でも精度よく成長の予測が可能になる。

研究成果の概要（英文）：The objective of this study is to obtain appropriate growth functions to describe trees and forests in Japan. In this study, various nonlinear functions commonly used for tree and forest growth domestically and internationally, will be applied to long-term monitoring data of trees and forests. The appropriate growth function is then selected from among them based on statistical indices such as information criterion.

After fitting the functions to actual monitoring data sets of Japanese cedar, Japanese cypress, and Japanese larch, the Korf function was found to be the most appropriate growth function for growth modeling of the three main tree species in Japanese forestry.

Different growth functions could be selected for the experimental thinning plots. Therefore, differences in functions could account for differences in stand growth patterns across treatments.

研究分野：森林計測

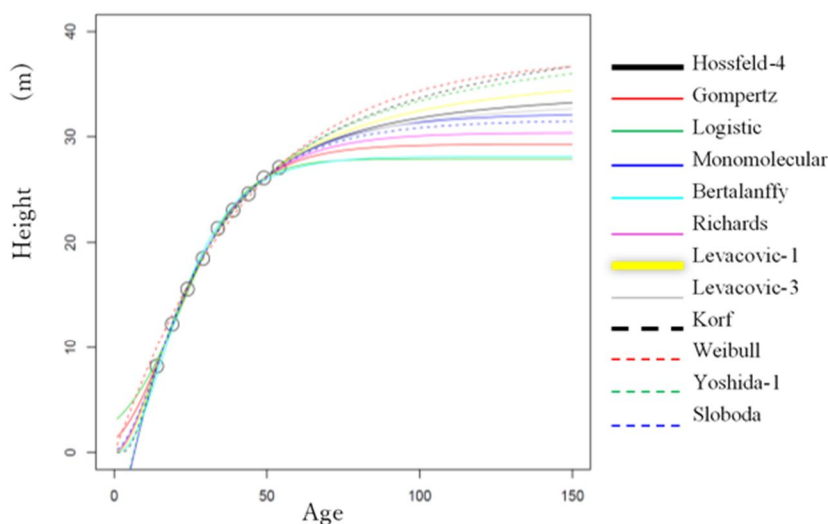
キーワード：長期モニタリングデータ 非線形成長モデル モデル選択

## 1. 研究開始当初の背景

林木の成長モデルは、林木の成長様式を数理的に記述したもので、林木や森林資源の将来予測や、間伐の選択や伐期の決定のための判断材料として用いられる基礎的技術である。林木の成長モデルには様々なものが提案されているが、実務上多用されているのは非線形成長モデルである(箕輪・南雲 1990)。林木の非線形成長モデルは一般に、有機体を増大する要因と制約する要因の双方を成長の振る舞いとして数理的に組み込む形で定式化された時間を説明変数とする非線形関数であり、これまでに様々なものが提案されてきた(Zeide, 1993)。各モデルは、固有の前提条件に基づき導出されているため、モデルによって成長の振る舞いは異なり、例えば同じ林木の成長データに当てはめた際の将来予測値も異なる。

図1は、ある個体の樹高成長を記録したデータに、Zeide (1993)が示した林木の成長モデル12種類の非線形成長関数を当てはめた例で、実測値のある区間でモデル間の違いはわずかであるが、将来の成長様式は大きく異なるという現象を示している。

実務上よく用いられる非線形成長モデルは、林齢の異なる林木情報を短期間に多数集めたデータを用いて決定される。こうしたサンプリングによる成長データは、長期間に及ぶ林木の成長経過を追ったデータ



に基づかないため、集団をひとくくりとした林木の成長を把握することはできても、個々の成長の振る舞いを議論することはできない。さらに、同一集団内においても林木における固有の成長要因や環境依存の成長パターンが混在しているため、個々の“成長の振る舞い”を精緻に記述でき、的確に林木の将来予測が可能な成長モデルが求められている。

図1 単木の樹高成長と様々な非線形成長モデルの当てはめ  
○で示される実測値の範囲では、モデル間の違いはわずかであるが、高年齢時の成長予測結果はモデル間で大きく異なる

## 2. 研究の目的

本研究の目的は長期モニタリングデータに基づいて林木の成長を的確に示すことが可能な非線形成長関数を選択し、個別の成長パターンの記述とその分類から、林木の成長特性を統計的に記述する手法を提示するとともに、主要な人工林樹種の成長を的確に示すことができる非線形成長モデルを明示することである。

## 3. 研究の方法

林木の成長過程を追ったデータに最も適した非線形成長関数を選択し、同時に、成長関数を当てはめた結果得られるパラメータを用いて成長のパターンを分類する手法(Kamo2019)をベースに、日本の主要な人工林樹種のうちスギ、ヒノキ、カラマツについて長期にモニタリングしているデータに適用し、適切な非線形成長関数を選択する。林木の成長データ毎に得られる林木の成長経過を的確に記述できる非線形成長関数の種類や特徴から、非線形成長関数の差異と地域性や施業の差異について考察するとともに、樹種毎に最適な非線形成長モデルを明示する。

## 4. 研究成果

関東中部の人工林収穫試験地データ(スギ 24 プロット、ヒノキ 36 プロット、カラマツ 16 プロット)のうち、最新の調査回で生存している立木の成長データを用い、林齢とサイズ(胸高直径、樹高)を林分レベルで表す非線形成長関数を情報量規準などに基づいて選択した。林齢と胸高直径に当てはめた結果、スギとカラマツは、規準によらず、Korf 関数が最も多く選択された。ヒノキはクロスバリデーションを用いた場合とその他の規準を用いた場合で傾向が異なってい

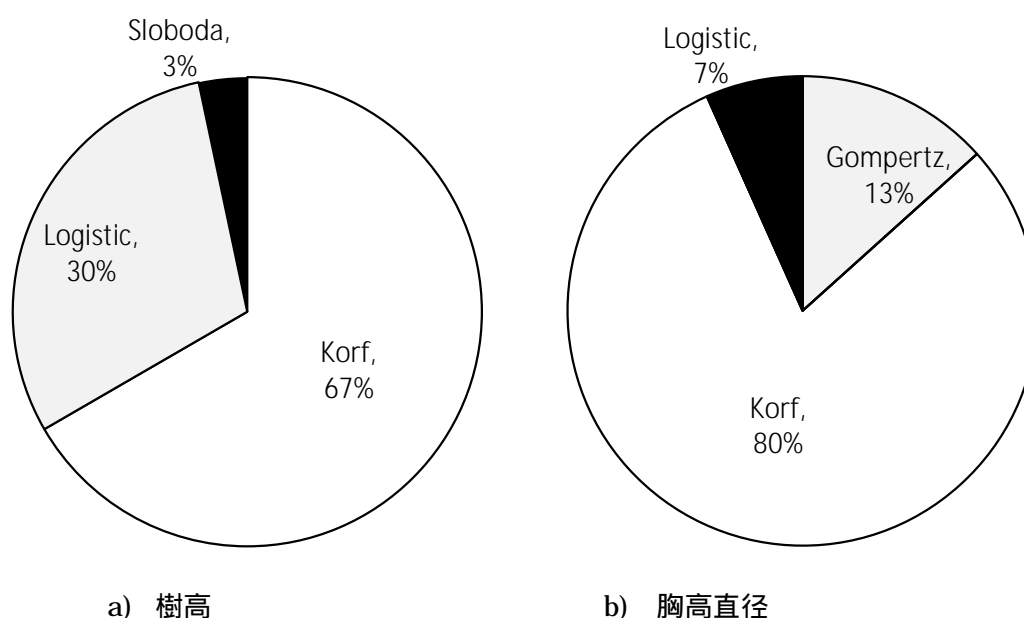
たが、選択されたモデルは Korf 関数が多い傾向が見られた。林齢と胸高直径に当てはめた場合、スギとカラマツは胸高直径と同様に、規準によらず、Korf 関数が最も多く選択された。一方で、ヒノキでは、Gompertz 関数や Weibull 関数、Korf 関数など多様な関数が選択された。ヒノキ林分で同じ場所の間伐の有無がことなる林分で両者の結果を比較したところ、間伐林分では Korf 関数（胸高直径）や Gompertz 関数（樹高）が選択されたのに対し、無間伐林分では Hossfeld-4（胸高直径）や Weibull 関数（樹高）が選択された。

北海道および関東中部のカラマツの収穫試験地データのうち全ての調査回の全立木で樹高計測されている 30 プロットデータを抽出し、最新の調査回で生存している立木の成長データを用いて単木レベルで非線形成長関数の選択を行った。その結果胸高直径、樹高とも Korf 関数が最も多く選択された関数であった。図 2 は最も多く選択された関数をプロット別に集計した。その結果、胸高直径データでは 2 割は Gompertz 関数と Logistic 関数) が、また樹高データでは約 3 割で Logistic 関数および Sloboda 関数が選ばれていた。このうち、関東中部のデータは樹高の 1 箇所を除いて全て Korf 関数であったのに対し、北海道のデータでは、Korf 関数以外のものが選ばれる割合が高くなっていった。Korf 関数以外で、図 1 の例にあるように、選択された 3 種の関数は、Korf 関数と比べると時間経過とともに頭打ちの傾向が強く表れる関数である。初期成長のよいカラマツは関東中部が本来の分布域で、北海道は明治以降に植林された地域である。試験地データは 50 年生以上のあることから、カラマツにとって必ずしも適地ではなく、成長の衰えが見え始めたことを示している可能性がある。

無間伐と 2 種類の間伐を行っているカラマツ試験地で林分レベルの関数選択ではいずれも Korf 関数が選択されたプロットの単木の樹高データで選ばれた関数を比較したところ、単木レベルで見ても最も多く選択されたのは Korf 関数であったが、強度間伐区では 7 種、弱度間伐区では 9 種、無間伐区では 12 種全ての関数が選択された。この林分は、間伐を繰り返した林分であることから、間伐によって成長様式の異なる個体が除去され、成長傾向が均質化することや、間伐の強度が異なることにより、より成長傾向が均質化したものと考えられる。

主要な人工林樹種であるスギ、ヒノキ、カラマツの長期モニタリングデータと非線形成長関数の選択による成長分析の結果、これら人工林の成長を記述するのに適した非線形成長関数は Korf 関数であると結論づけた。Chapman-Richards 関数など古くから国内で広く用いられている関数と比べ、Korf 関数は成長の頭打ちの傾向が緩やかな関数である（図 1）。国内の高齢人工林の成長データ分析から、高齢化にともなって成長速度はやがて衰えるとする従来の知見に対し、高齢級の林分データの解析などから成長の衰えは学説のそれより緩やかだとする知見が近年示されているが、本研究で結論づけた Korf 関数の特徴はそうした新たな知見に合致し、補強するものと考えられる。今回提案する Korf 関数を従来の関数を置き換える形で成長モデルに使用すれば、高齢林分でも精度よく成長の予測が可能になる。

図 2 単木レベルデータの当てはめで最も選択された関数のプロット別集計



5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Tonda Tetsuji, Kamo Ken-ichi, Takahashi Masayoshi	4. 巻 20
2. 論文標題 Gamma Regression Model with Nuisance Baseline for Tree Growth Data	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 FORMATH	6. 最初と最後の頁 n/a ~ n/a
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.15684/formath.20.001	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Kamo Ken-ichi, Yanagihara Hirokazu	4. 巻 20
2. 論文標題 Ridge Estimate Application to Growth Function	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 FORMATH	6. 最初と最後の頁 n/a ~ n/a
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.15684/formath.20.002	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Konoshima Masashi, Tonda Tetsuji, Kamo Ken-ichi, Razafindrabe Bam H.N.	4. 巻 20
2. 論文標題 Assessing the Immediate Impact of Surrounding Land Uses on the Extents of Freshwater Body over Time in Madagascar - A Demonstrative Case Study of Itasy Lake -	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 FORMATH	6. 最初と最後の頁 n/a ~ n/a
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.15684/formath.20.003	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 高橋正義・加茂憲一・富田哲治・西園朋広・北原文章・山田祐亮・鄭 峻介・齋藤英樹・志水克人・鷹尾 元・細田和男・福本桂子
2. 発表標題 関東中部地域の人工林モニタリングデータに基づく成長関数の選択
3. 学会等名 第132回日本森林学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 TAKAHASHI Masayoshi and SAITO Hideki
2. 発表標題 A practical method to improve precision accuracy for forest aerial photogrammetry using UAV-
3. 学会等名 Joint International Symposium on Sustainable Forest Ecosystem Management (SFEM) by Taiwan, Japan and Korea (国際学会)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	加茂 憲一 (KAMO KENICHI) (10404740)	札幌医科大学・医療人育成センター・准教授  (20101)	
研究分担者	富田 哲治 (TONDA TETSUJI) (60346533)	県立広島大学・経営情報学部・教授  (25406)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------