

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 12 日現在

機関番号：17601

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2014

課題番号：25850112

研究課題名(和文) 地形解析に基づく土地生産力モデルの新たな方法論的展開とその検証

研究課題名(英文) Developing and validating a new method for developing site productivity model using terrain factors derived from digital terrain analysis

研究代表者

光田 靖 (MITSUDA, Yasushi)

宮崎大学・農学部・准教授

研究者番号：30414494

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：スギおよびカラマツ人工林を対象として、立地条件によって決定する成長の良さ(地位指数)を地形から推定するモデルを開発した。これまで地位指数を推定するモデルを開発するためには非常にコストが掛かる厳密な地位指数の測定が必要であったが、新たな統計学的手法を適用することでこれらの欠点を改善した。この新たに開発した方法により推定した地位指数は、従来の方法と比較して同等程度の精度をもっていた。このモデルによって従来よりも簡便に地位指数の推定モデルを開発することが可能となり、より効率的な人工林経営の達成に貢献することが期待できる。

研究成果の概要(英文)：I developed a new method for predicting site index of sugi and karamatsu planted forests. Precise observation of site index requiring a high cost has been needed to develop site index prediction model. I applied a new statistical technique to improve this point. Site index models developed by this new method had enough accuracy comparing to the conventional high cost method. This new method provides low cost approach for modeling site index and will contribute to achieve more appropriate planted forest management.

研究分野：森林計画学

キーワード：地位指数 樹高曲線 バイジアンキャリブレーション デジタル地形解析 デジタル航空写真 国家森林資源調査

1. 研究開始当初の背景

土地生産力(気象や地形などの自然条件によって定まる樹木の成長の良・不良)は、森林経営において経営判断を行う上で非常に大きな意味を持つ。この土地生産力の地理的な分布を地図化した土地生産力分布図は、効率的な人工林管理のために不可欠であり、簡便かつ低コストで土地生産力分布図を作成する手法を提供することが、研究サイドに求められている。日本における人工林面積は1,000万haにも及ぶが、グローバル化の進んだ木材価格や衰退した林業労働力のもとでは、とてもその全てを木材生産林として管理することはできない。どの林を木材生産林として経営し続けるのか、どの林で経営をやめるのか、その判断が求められている。実際に平成23年度の森林法改定に伴い新しくなった「市町村森林整備計画」において、どこで重点的に木材生産を行うのか、森林を区分して地図化することが市町村に義務付けられている。このような森林の区分を合理的に行うためには、木材生産に適した土地生産力の高い場所のマッピングが重要である。さらに、個々の森林所有者が伐採した後に再植林を行うかどうかの判断においても、再造林コストにみあった収入が将来的に期待できるのかが判断基準となることから、収入に直結する土地生産力の情報は重要である。このように行政から個人所有者まで、林業の現場では土地生産力情報に対するニーズは非常に高い。

土地生産力の指標として世界中で最も使われている指標は地位指数(ある基準年齢における上層木樹高)であり、その推定モデルが様々な樹種を対象として開発されてきた。その際にモデルを開発する上で最大のネックとなるのが、地位指数の実測データである。地位指数を実測するには基準年齢の林を探し出して調査を行うか(Mitsuda et al., 2001)、基準年齢を超えた林で樹木を伐倒して年輪解析により基準年齢時点での樹高を計測する必要があった(Mitsuda et al., 2007)。このような手法には多大な作業コストが必要となり、また対象地を網羅した調査が難しいという問題があった。一方で、近年のベイズ統計学の発展によって、より複雑なモデル構造を取り扱ったり、より広範なデータを取り扱うことが可能となった。ベイズ統計学を適用することによって、林齢に関係なく幅広い実測データを利用することが可能となり、地理座標が明らかな樹高と林齢(どのような林齢でもよい)の情報から地位指数推定モデルを開発できる可能性が高まった。

2. 研究の目的

本研究ではベイズ統計学を応用した地形解析に基づく新たな地位指数推定モデル開発手法を提案することを目的とする。また、新たな統計手法や新たなデータを用いた地位指数推定モデルに対して、これまでと同程

度に信頼できるものであるのか品質保証する必要がある。そこで本申請課題においては、新たな開発手法によるモデルは、以前のモデルと同様の精度を保証できるのか?という問題に対して、実データを用いて検証を行う。

3. 研究の方法

(1)モデルフレームワークの開発:ベイズ統計学を用いた新たな地位指数推定モデル開発手法を考案した。

(2)スギ人工林地位指数推定モデルの開発:宮崎大学田野演習林を対象として、通常の演習林管理業務で取得されるような林分調査データを用いて地位指数推定モデルを開発した。次に、デジタル航空写真から生成される地表面高データを用いて地位指数推定モデルを開発した。さらに、林野庁が実施する森林資源モニタリング調査(森林生態系多様性基礎調査)のデータが公開になったことから、このデータを利用して九州を対象としたスギ人工林地位指数推定モデルを開発した。

(3)カラマツ人工林地位指数推定モデルの開発:スギと同じく、通常の林分調査およびデジタル航空写真から生成される地表面高データを用いて地位指数推定モデルを開発した。

(4)精度検証:スギおよびカラマツの地位指数推定モデルについて厳密に計測した地位指数のデータ(Mitsuda et al., 2001; 2007)を使って精度検証を行った。

4. 研究成果

(1)モデルフレームワーク開発:ベイズ統計学に基づくベイジアンキャリブレーションを利用した、新たな地位指数推定モデル開発手法を考案した。ベイジアンキャリブレーションとはマルコフ連鎖モンテカルロ法を利用して、複雑なモデルのパラメータを推定する手法である。本研究においては地位指数推定モデルと樹高成長曲線モデル(林齢と樹高との関係を記述するモデル)を結合するモデルを考案し、ベイジアンキャリブレーションによって実測データからモデルパラメータを推定するというモデル開発手法を考案した(図1)。地位指数を観測できない隠れ変数として取り扱うことで、地位指数推定モデルと樹高成長曲線モデルを結合した。

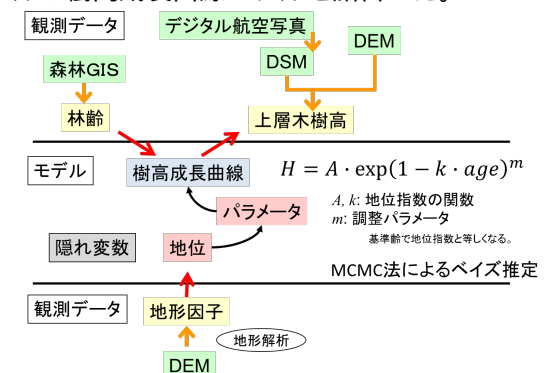


図1. 地位指数推定モデルのフレームワーク

既往の研究 (Mitsuda et al., 2001; 2007) では、樹高成長曲線は地位指数の違いによって曲線形が変わることが報告されており、地形データ (DEM) をデジタル地形解析して得られる地形因子から地位指数を推定し、その地位指数に従って樹高成長曲線モデルのパラメータが変化するというモデルとした。この方法によって、基準齢における上層樹高として厳密に地位指数を計測したデータではなく、任意の林齢における上層木樹高の計測データを利用して地位指数を推定することが可能となった。

#### (2) スギ人工林地位指数推定モデルの開発

通常のプロット調査データを利用した地位指数モデルの開発: 既往の研究 (Mitsuda et al., 2001; 2007) から、地位指数推定モデルに用いる地形因子は斜面傾斜と方位によって決定する日射指数、周囲との標高差から計算される土壤水分指数、および局所的な凹凸度の3因子とした。本研究において開発した方法によって、通常のプロット調査から得られる様々な林齢における上層木樹高のデータから地位指数推定モデルのパラメータを推定した。地位指数推定モデルのパラメータは日射指数が高いほど、土壤水分指数が低いほど、周囲より高い凸地形にあるほど、地位指数は低くなるという理論的に合致したものとなった。また、地位指数推定モデルと樹高成長曲線モデルを結合して推定した上層木樹高の推定値と実測値はよく一致していた。

デジタル航空写真から生成される地表面高データを利用した地位指数推定モデルの開発: デジタル航空写真から2 mの解像度で地表面高データを生成した。この地表面高データから国土地理院発行の10 m解像度の地盤高データを差し引いて解像度の林冠高データを作成した。この林冠高データについて10 x 10 m区画の中で最も高い点を上層木樹高とみなし、森林GISから得られる林齢データとあわせて上層木樹高と林齢のデータセットを作成した。このデータセットに対して、上記と同様にパラメータ推定を行った。推定されたパラメータは理論的に合致していたものの、推定値と実測値は大きく外れている場合もあった。これは国土地理院発行の地盤高データはデータソースの問題からエラーを含んでおり、地表面高と地盤高の差として計測した上層木樹高の計測値にエラーが含まれていることに起因すると考えられる。

国家森林資源モニタリング調査データを利用した地位指数推定モデルの開発: 公開された国家森林資源モニタリング調査データから九州に存在するスギ人工林の調査データを抽出し、その林齢と上層木樹高のデータセットを作成した。なお、国家森林資源モニタリング調査データは4 km間隔で設置された調査点で行われているため、十分なデータ数を確保するために九州全体を対象範囲とした。このデータセットに対して、上記の地

形因子に加えて、気象の違いを考慮するために気象因子を説明変数としてパラメータ推定を行った。推定されたパラメータは理論的に合致していたものの、推定値と実測値との誤差におけるバラツキは比較的大きいものとなった。推定誤差のバラツキが大きくなった要因としては、気象因子と地形因子との関係性が想定していたような線形関係ではない、スギ挿し木品種間にみられる成長特性の差といった要因が考えられる。また、このデータセットに対しては旧来用いられた簡便な近似による推定方法を適用したが、その場合にはモデルによる推定誤差が極端に大きくなったことから、本研究で開発した手法の有用性が示された。

#### (3) カラマツ人工林地位指数推定モデルの開発

通常のプロット調査データを利用した地位指数モデルの開発: スギと同様に日射指数、土壤水分指数および局所的凹凸度という3つの地形因子を用いて、地位指数推定モデルを開発した。通常のプロット調査から得られる様々な林齢における上層木樹高のデータから地位指数推定モデルのパラメータを推定したところ、スギの場合と同様に、推定されたパラメータは理論的に合致したものとなった。また、地位指数推定モデルと樹高成長曲線モデルを結合して推定した上層木樹高の推定値と実測値はよく一致していた。

デジタル航空写真から生成される地表面高データを利用した地位指数推定モデルの開発: スギと同様に、デジタル航空写真から地表面高データを生成し、国土地理院発行の10 m解像度の地盤高データを用いて上層木樹高データを作成し、森林GISから得られる林齢データとあわせて上層木樹高と林齢のデータセットを作成した。このデータセットに対して、上記と同様にパラメータ推定を行った。推定されたパラメータは理論的に合致していたものの、林分調査データを使った場合に比べて推定誤差は大きくなった。これは先述のように、地盤高データに含まれるエラーが主な原因であると考えられる。

(4) 精度検証: 既往の研究 (Mitsuda et al., 2001; 2007) において厳密に計測した地位指数データを用いてモデルの精度検証を行った。スギ・カラマツともに、デジタル航空写真から生成される地表面高データを用いて推定したモデルでは推定誤差が大きくなり(平均推定誤差: 5 m以上) 実用に耐えられるモデルではないことが分かった。一方で、通常のプロット調査データを利用した地位指数モデルで平均推定誤差が2.5 m以下となった。既往の研究では推定誤差が2 m以下となっていたが、これはモデル開発に使ったデータに対する推定誤差であることを考えると、本研究で新たに開発したモデルでも従来の厳密な地位指数測定に基づくモデルと同等の地位指数推定モデルが開発できたといえるだろう。

(5)研究のインパクトおよび今後の展望：本研究成果の一部を、国際的な森林・林業関係の研究発表会で最も規模の大きいIUFROで発表した。IUFROでは成熟してきた人工林の管理が新たなテーマとして注目を集めており、研究発表の際には日本の人工林管理における現状を含めて質問を受けた。今後は研究の最先端である欧米の人工林管理研究者と協力して、国際的な共同研究へと発展していく可能性がある。

本研究の最終的な成果として地位指数分布図を作成した(図2)。このような分布図は今後、どこで人工林経営を続けるのか、止めるのかという意思決定に際して重要な情報となる。よって、これからは開発したモデルを普及していく必要がある。本研究で試行したデジタル航空写真から生成される地表面高データを用いる方法では、十分に信頼性のあるモデルを開発することはできなかった。これは地盤高データに含まれるエラーが主な原因と考えられ、レーザーを使った計測(LiDAR計測)データと併用することで改善できる可能性が高い。航空写真は広範囲のデータを取得できるという利点があり、定期的に撮影されているものであるため、これを利用した地位指数推定モデル開発は有効であると考えられ、手法の改善を行う必要がある。

#### <引用文献>

Mitsuda, Y., Ito, S., Sakamoto, S. (2007) Predicting the site index of sugi plantations from GIS-derived environmental factors in Miyazaki Prefecture. *Journal of Forest Research* 12: 177-186.

Mitsuda, Y., Yoshida, S., Imada, M. (2001) Use of GIS-derived environment factors in predicting site indices in Japanese larch plantations in Hokkaido. *Journal of Forest Research* 6: 87-94.

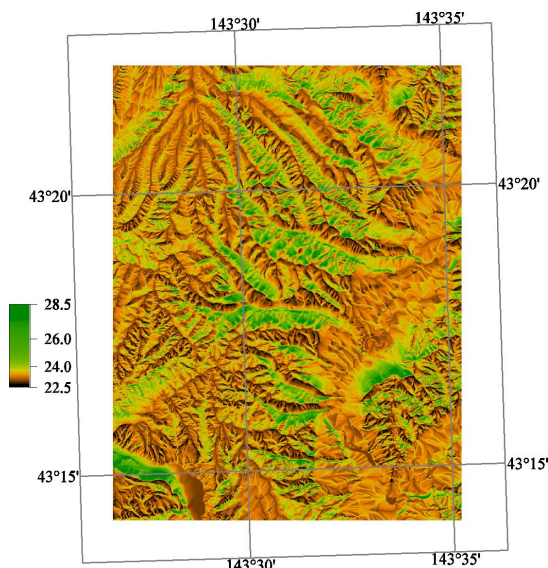


図2. カラマツ地位指数分布図

#### 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2件)

Mitsuda, Yasushi, Development of a new method for modeling site index using the digital stereo aerial photo-derived spatial distribution of canopy height, *Forest Resources and Mathematical Modeling*, 査読有、13、2014、41-59、<http://doi.org/10.15684/formath.13.41>

Mitsuda, Yasushi, Kitahara, Fumiaki, Preliminary analysis on site index of sugi (*Cryptomeria japonica*) planted forests using the national forest inventory data in Kyushu island, *Forest Resources and Mathematical Modeling*, 査読有、14、2015、20-26、<http://doi.org/10.15684/formath.14.003>

〔学会発表〕(計5件)

Mitsuda, Yasushi, Kitahara, Fumiaki, Developing a site index model using the National Forest Inventory data in Kyushu Island, *Forest Resource Management and Mathematical Modeling International Symposium - FORMATH AKITA 2014 -*, カレッジプラザ(秋田市), 2014年3月8日

光田 靖、細田和男、家原敏郎、固定試験地調査による炭素蓄積量モニタリングとその応用、第125回日本森林学会大会(さいたま市), 2104年3月29日

光田 靖、デジタル航空写真測量による林冠高情報を用いた北海道カラマツ地位指数分布推定モデルの開発、第24回日本景観生態学会、金沢市地場産業振興センター(金沢市), 2014年6月28日

Mitsuda, Yasushi, Modeling site productivity for Japanese cedar for selecting suitable sites for managing planted forests, *IUFRO 2014 World Congress, Salt Lake City, Utah, USA*, 2014年10月7日

Mitsuda, Yasushi, Sodesaki, Masanori, Relationships between the photosynthesis rate parameter of carbon balance model and topographic factors, *Forest Resource Management and Mathematical Modeling International Symposium - FORMATH 2015 -*, 政策研究大学院大学(東京都港区), 2015年3月7日

#### 6. 研究組織

##### (1)研究代表者

光田 靖(MITSUDA, Yasushi)

宮崎大学・農学部・准教授

研究者番号：30414494