

論文

拡張相対成長式を用いた雑草木3種の最大樹高の推定*¹早田圭佑*²・鶴川 信*³

早田圭佑・鶴川 信：拡張相対成長式を用いた雑草木3種の最大樹高の推定 九州森林研究 68：39－42，2015 本研究では，雑草木の最大樹高の推定を目的とした。尾根部と谷部の混交林において，雑草木3樹種（アカメガシワ，カラスザンショウ，ツクシヤブウツギ）の樹高およびDBHを測定し，それらを拡張相対成長式に当てはめることで，各樹種の尾根部と谷部における最大樹高を推定した。拡張相対成長式のパラメーターの一つである相対成長係数 h に15通りの定数を代入し，残りのパラメーターである最大樹高 H_{\max} と係数 A について，15通りの最適解を求めた。得られた15通りの最大樹高 H_{\max} を確認したところ，3樹種共通して最大樹高の推定値が実際に測定された樹高の最大値よりも高くなったのは，相対成長係数 h が1のときであった。また，このときのアカメガシワ，カラスザンショウ，ツクシヤブウツギの最大樹高の推定値は，それぞれ尾根部で12.36m，16.85m，8.65m，谷部で14.65m，21.35m，8.65mであった。

キーワード：拡張相対成長式，最大樹高，推定，下刈り，雑草木

I. はじめに

林業従事者の収益を確保し，林業生産活動を活性化させるためには，造林の低コスト化が必要である。とくに，造林コストの約4割を占める下刈り施業の省力化が大幅な低コスト化に繋がることが指摘されている。下刈り施業の省力化について，福本(2013)は，雑草木の樹高成長量がスギの樹高成長量に比べて低い立地では，下刈りの回数を減らせる可能性を報告している。この可能性の実現化を図るためには，立地条件を加味した上で植栽木と雑草木の樹高成長量の差異を評価する必要がある。これを行うには，植栽木と雑草木の樹高成長量を推定する手法を開発しなければならない。

植栽木や雑草木の樹高成長量は，樹高の経時変化を近似する成長曲線を用いて推定される。一般に，これらの成長曲線は，樹齢が増加するとともに樹高が成長の限界値に漸近するような変化を示す。このような変化を示す代表的な成長式には，Logistic式(式1)，Mitscherlich式(式2)，Richards式(式3)およびGompertz式(式4)がある。そして，これらの成長式を実測の成長量に当てはめることで，成長式中の各パラメーターを推定することができる(吉本ほか，2012)。

後述の成長式(式1~4)には，推定すべきパラメーターが複数存在する。これらのパラメーターは，数学的に最適解を導く方法で推定できる。一般的に，パラメーターの最適解を求める数学的手法では，パラメーターの初期値を設定するが，最適解を求めるパラメーターが多いほど，それらの最適解が初期値によって異なる可能性が高くなる。これを防ぐためには，別のデータから，いくつかのパラメーターを決定しておき，それらを定数として式に組み込んだ上で，他のパラメーターを推定することが考えられる。

【式1】 Logistic 式：

$$H = \frac{H_{\max}}{1 + k \times \exp(-r \times t)} \quad (\text{ただし, } k = \frac{H_{\max}}{h_0} - 1)$$

ここで， H は t 年目の樹高， H_{\max} は最大樹高， h_0 は0年目の樹高， t は経過年数， k は環境収容力を示し， r は成長速度を表す係数である。

【式2】 Mitscherlich 式：

$$H = \frac{H_{\max}}{1 - k \times \exp(-r \times t)} \quad (\text{ただし, } k = 1 - \frac{h_0}{H_{\max}})$$

ここで， H は t 年目の樹高， H_{\max} は最大樹高， h_0 は0年目の樹高， t は経過年数， k は環境収容力を示し， r は成長速度を表す係数である。

【式3】 Richards 式：

$$H^{1-m} = H_{\max}^{1-m} - (H_{\max}^{1-m} - h_0^{1-m}) \times \exp(-r \times t)$$

ここで， H は t 年目の樹高， H_{\max} は最大樹高， h_0 は0年目の樹高， t は経過年数， m は成長曲線の形に関するパラメータを示し， r は成長速度を表す係数である。

【式4】 Gompertz 式：

$$H = H_{\max} \times \exp(-k \times \exp(-r \times t))$$

ここで， H は t 年目の樹高， H_{\max} は最大樹高， t は経過年数， k は環境収容力を示し， r は成長速度を表す係数である。

*¹ Hayata, K., Ugawa, S.: Estimating maximum tree height of weed trees using generalized allometric function.

*² 鹿児島大学大学院農学研究科 Grad. Agric., Kagoshima Univ., Kagoshima 890-0065, Japan.

*³ 鹿児島大学農学部 Fac. Agric., Kagoshima Univ., Kagoshima 890-0065, Japan.

式1~4に共通したパラメーターとして、最大樹高 H_{max} が挙げられる。最大樹高 H_{max} は、樹高と DBH の実測値に拡張相対成長式 (小川, 1980) (式5) を当てはめることで、推定することができる。つまり、拡張相対成長式 (式5) において、相対成長係数 h や係数 A とともに、樹高の最大値 H_{max} の最適解を得ることができる。ここで、相対成長係数 h のパラメーターは、遷移段階を示す数値であり、大分県由布院の陽樹林では2.4、鹿児島県薩摩川内市の照葉樹林では1であった。また、係数 A は、植物体密度を示すパラメーターであり、一定空間内の植物量が多くなるに従って、大きくなる傾向がある (依田, 1971)。

【式5】 拡張相対成長式：

$$\frac{1}{H} = \frac{1}{AD^h} + \frac{1}{H_{max}}$$

ここで、 H は樹高、 D は DBH、 H_{max} は最大樹高を表す係数である。 A は植物体密度に対応した係数であり、 h は相対成長係数である。

加えて、樹高成長には限界が存在し、その限界値 (最大樹高) は、樹種の特長や立地条件によって規定されると考えられている。これらの最大樹高を規定する要因の1つとして土壌水分量がある (水分通導制限説: Ryan and Yoder, 1997)。土壌水分量は、尾根から谷にかけて増加する傾向が知られている (河田, 2000)。したがって、最大樹高は、尾根部と谷部で異なることが考えられる。そこで、本研究では、土壌水分量の異なる尾根部と谷部について、別々に雑草木の最大樹高を求めることとした。

本研究では、土壌水分量の異なる立地において、アカメガシワ、カラスザンショウ、ツクシヤブウツギの最大樹高を得ることを目的とした。この目的を達成するために、尾根部と谷部に生育する対象樹種の樹高および DBH を測定し、それらを拡張相対成長式 (式5) に当てはめることで、各樹種の尾根部と谷部におけるパラメーター H_{max} を推定した。

II. 調査地および調査方法

鹿児島県垂水市の鹿児島大学農学部附属高限演習林 (北緯 31 度 54 分、東経 130 度 77 分、標高 542m) において、尾根部と谷部に位置する二次林で調査を行った。これらの二次林では、マテバシヤタブノキ、アカガシなどの照葉樹が優占しており (井之上ほか, 2002)、その中に先駆性の落葉樹種が混交していた。これらの二次林において、先駆性の落葉樹種であり、下刈り施業において雑草木となるアカメガシワ、カラスザンショウ、ツクシヤブウツギを調査対象樹種とした。当該演習林の尾根部と谷部において、アカメガシワ、カラスザンショウ、ツクシヤブウツギをそれぞれ 17 個体ずつ任意に選定し、それらの樹高および DBH を測定した。選定した個体は、ほとんどが林縁に位置していた。

また、2014 年 5 月 23 日に上述の対象個体周辺の土壌水分含有率の測定を行った。これらの測定には、土壌水分測定装置 (Hydro Sense, Cambell Scientific, Utah, USA) を用い、対象個体から 30cm 離れた 3 地点において、深さ 12cm までの土壌水分含有率を測定した。ここでは、得られた土壌水分含有率の 3 つの

値を平均し、当該個体周辺の土壌水分含有率とした。

高限演習林における 2011 年の年平均気温は 13.9℃、年積算降水量は 3101.5mm であった (芦原・井倉, 2013)。

III. 解析方法

上述で得られた樹高と DBH の実測値に、拡張相対成長式を当てはめ、各樹種の尾根部と谷部における最大樹高 H_{max} を推定した。拡張相対成長式における最大樹高 H_{max} 以外のパラメーターには、相対成長係数 h と係数 A が存在するが、これらも同時に推定したところ、最適解が得られないケースが生じた。そのため、具体的数値が提唱されている相対成長係数 h について、照葉樹林で得られる数値 1 から陽樹林で得られる数値 2.4 まで (依田, 1971)、0.1 ずつ変化させて、最大樹高 H_{max} と係数 A の最適解を 15 通り得ることとした。そして、得られた 15 通りの最大樹高 H_{max} を比較し、より適切な相対成長係数 h を検討した。これらの非線形近似は、誤差が正規分布にしたがうと仮定し、Levenberg-Marquardt 法を用いた場合の最尤推定法によって行った。これらの解析には、R version 3.1.1 (R Core Team, 2014) を使用した。

IV. 統計解析

土壌水分含有率について、各樹種の尾根部と谷部の差異を TukeyHSD を用いて解析した。TukeyHSD は、統計ソフト R version 3.1.1 (R core Team, 2014) を用いて解析を行った。

V. 結果と考察

1. 各樹種の尾根部および谷部の土壌水分含有率

すべての樹種において、尾根部に位置する個体周辺の土壌水分含有率は、谷部に位置する個体周辺の土壌水分含有率よりも有意に低かった (図-1)。このことから、当該調査地においても、尾根部と谷部で土壌水分量が異なるといえる。同時に、この結果は、尾根部に生育している個体群の樹高成長量および最大樹高は、谷部に生育している個体群のそれと異なっていることを示唆している。

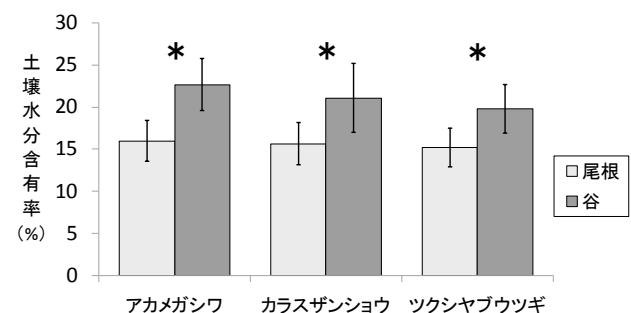


図-1. 各樹種の尾根部および谷部における土壌水分含有率。バーは標本標準偏差を示す。*は各樹種の尾根部と谷部の間の土壌水分含有率の有意差を示す。

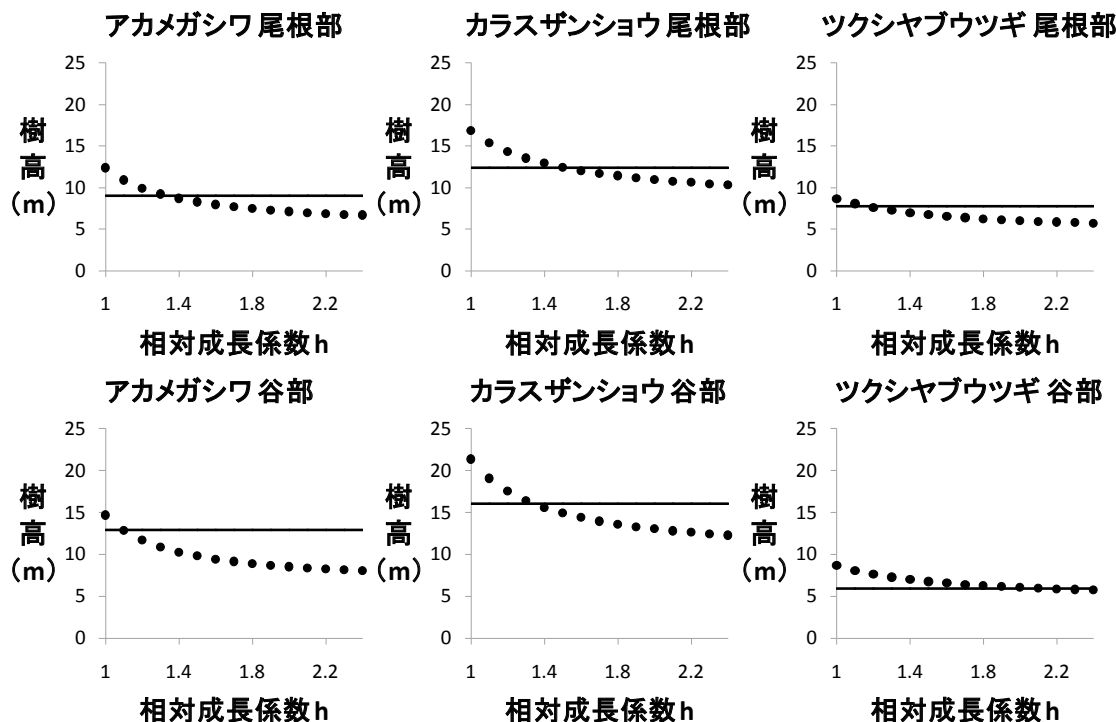


図-2. 相対成長係数 h について、1 から 2.4 まで、変動させたときの最大樹高 H_{\max} の推定値
 ●：最大樹高 H_{\max} の推定値，—：実測した樹高の最大値とする。

2. 最大樹高 H_{\max} の推定に適した相対成長係数 h の値

尾根部と谷部のいずれにおいても、また、いずれの樹種についても、相対成長係数 h の値が高くなるほど、最大樹高 H_{\max} の推定値が低くなった (図-2)。ここで注目すべきは、最大樹高 H_{\max} の推定値の低下に伴い、樹高の実測値の最大値よりも低くなることである。樹高の実測値の最大値よりも低い最大樹高 H_{\max} は、現実とは乖離した推定値である。裏を返せば、樹高の実測値の最大値よりも高い最大樹高 H_{\max} が得られるような相対成長係数 h の数値がより適切な推定値を与えられよう。尾根部と谷部に生育するアカメガシワでは、それぞれ相対成長係数 h が 1.3 以下、1.0 以下で、最大樹高 H_{\max} の推定値が樹高の実測値の最大値よりも高くなった。同様に、尾根部と谷部に生育するカラスザンショウでは、それぞれ相対成長係数 h が 1.5 以下、1.3 以下、また、ツクシヤブウツギでは、それぞれ相対成長係数

h が 1.1 以下、2.1 以下で、最大樹高 H_{\max} の推定値が樹高の実測値の最大値よりも低くなった。したがって、これらに共通な相対成長係数 h の値、つまり、相対成長係数 $h=1$ において、最大樹高 H_{\max} の適切な推定値が得られるものと考えられた。

3. 相対成長係数 $h=1$ における最大樹高の推定値

相対成長係数 $h=1$ における最大樹高の推定値を表-1に示す。アカメガシワとカラスザンショウでは、尾根部で生育した個体から推定した最大樹高の値は、谷部で生育した個体から推定した最大樹高の値よりも低くなった。このことは、尾根部の土壤水分含有率が、谷部のそれよりも低いことを反映していると考えられる (図-1)。一方、ツクシヤブウツギでは、尾根部で生育した個体から推定した最大樹高の値と谷部で生育した個体から推定した最大樹高の値が等しかった。ツクシヤブウツギは、低木であるため、立地条件でなく、樹種特性によって樹高成長の限界値が決定さ

表-1. 係数 $h=1$ に設定し、最適化したときの各パラメーターと樹高の実測値の最大値および、最大樹高の推定値に対する樹高の最大値の割合

樹種	位置	係数 A	相対成長係数 h	最大樹高の推定値 (m)	樹高の実測値の最大値 (m)	最大樹高の実測値に対する推定値の割合 (%)
アカメガシワ	尾根部	1.60	1.00	12.36	9.02	137.08
アカメガシワ	谷部	1.65	1.00	14.65	12.96	113.01
カラスザンショウ	尾根部	1.38	1.00	16.85	12.38	136.07
カラスザンショウ	谷部	1.30	1.00	21.35	16.00	133.41
ツクシヤブウツギ	尾根部	2.08	1.00	8.65	7.81	110.78
ツクシヤブウツギ	谷部	2.08	1.00	8.65	5.89	146.89

れたのかもしれない。また、今回推定した最大樹高は、尾根部と谷部のいずれにおいても、また、いずれの樹種においても、樹高の実測値の最大値より11 - 47%高い値を示した。北海道において、複数種の落葉広葉樹から推定された最大樹高は、樹高の実測値の最大値より10%程度高かった(日浦ほか, 1998)。また、最大樹高の推定値は、樹高の実測値の最大値より30 - 50%高い値をとると報告もある(小川, 1969)。今回推定された最大樹高は、これらの数値の範囲内に収まっていた。

いずれの樹種においても、尾根部、谷部に生育する個体群から推定された係数Aの値は類似していた(表-1)。一方、係数Aの推定値は、樹種間で異なっていた。係数Aは植物体密度に対応した数値であるが、今回選定した対象個体の多くは、林縁に位置しており、植物体密度は比較的低い立地に生育していると考えられる。このような場合、係数Aは、植物体密度ではなく、樹種によって変化するのかもしれない。

謝辞

本研究は、農研機構生物系特定産業技術研究支援センター「攻めの農林水産業の実現に向けた革新的技術展開事業(うち産学の英知を結集した革新的な技術体系の確立)」により実施している。

引用文献

芦原誠一, 井倉洋二(2013) 鹿児島大学農学部附属高隈演習林気象報告(2011年). 鹿児島大学農学部演習林研究報告 40:

67-82.

日浦勉, 藤戸永志, 石井正, 浪花彰彦, 菅田定雄, 石田清, 村上正志, 加藤悦志, 前野華子, 福島行我, 酒井武(1998) 北海道大学苫小牧演習林における大面積調査区データにもとづいた落葉広葉樹林の群落構造. 北海道大学農学部演習林報告 55 (1) : pp 1-10.

福本佳子(2013) 無下刈り幼齢林におけるスギ植栽木と雑草木の競合. 森林技術 856: 24. (7月号).

依田恭二(1971) 森林の生態学, 331 pp, 築地書館株式会社, 東京.

井之上俊治, 内原浩之, 松元正美, 松野嘉昭(2002) 高隈演習林における標高別植生分布について. 鹿児島大学農学部農場技術調査報告書 10: 12-13.

河田弘(2000) 森林土壌学概論, 399 pp, 博友社, 東京.

小川房人(1969) 樹高・胸高直径関係における林型区分の試み. JIBP-PT-F 昭和43年度報告: 3-17.

小川房人(1980) 個体群の構造と機能, 221 pp, 朝倉書店, 東京.

R Core Team(2014) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.R-project.org/>.

Ryan, M.G. and Yoder B.J. (1997) Hydraulic limits to tree height and tree growth. *BioScience* 47: 235-242.

吉本敦, 加茂憲一, 柳原宏和(2012) Rによる環境データの統計分析—森林分野での応用—, 216 pp, 朝倉書店, 東京.

(2014年11月8日受付; 2015年1月19日受理)