

## 冷温帯林樹木の個体重に関する共通相対成長式

誌名	日本森林学会誌
ISSN	13498509
著者	小見山, 章 中川, 雅人 加藤, 正吾
巻/号	93巻5号
掲載ページ	p. 220-225
発行年月	2011年10月

## 冷温帯林樹木の個体重に関する共通相対成長式

小見山 章<sup>\*1</sup>・中川 雅人<sup>1</sup>・加藤 正吾<sup>1</sup>

樹形法則を構造的・力学的に解析した既往のパイプモデルと静力学モデルに基づいて、日本の冷温帯林を構成する樹木について、様々な場所や樹種に共通して適用できる相対成長関係が存在するかどうかを検討した。岐阜県の冷温帯林2カ所で、20種81本の樹木(最大DBH: 61.9 cm)を伐倒して地上部重と、それらを含む12種19本について根系(最大DBH: 72.3 cm)を掘りあげて根重を調べた。他の研究者が公表した冷温帯樹種における地上部重と根重のデータと比較対照した上で、地上部重(22種157本)と根重(13種33本)を用いて、2種類の相対成長式を誘導した。幹比重を使用したモデル誘導型の共通式は、その推定値に地上部重で12.59%、根重で17.67%の相対誤差があった。これら共通式の相対誤差は、以前から使用されてきた従来型の通常式の相対誤差(それぞれ18.62%, 22.25%)より小さかった。提案する共通式は、冷温帯林で現存量や成長量を非破壊的に求める際に、場所や樹種に対する汎用性、および推定値の再現性を相対的に高める手段になる。

キーワード: 現存量, 地上部重, 根重, 静力学モデル, パイプモデル

Akira Komiya<sup>\*,1</sup>, Masato Nakagawa<sup>1</sup>, Shogo Kato<sup>1</sup> (2011) Common Allometric Relationships for Estimating Tree Biomasses in Cool Temperate Forests of Japan. *J Jpn For Soc* 93: 220-225. Allometric relationships are powerful tools for estimating biomasses of forest components. However, these relationships are specific to forest types and tree species. In addition, laborious field work is needed to obtain the necessary data. There is a need for common equations based on some biological laws that can be applied to various types of forest stands. In this study, we used the pipe model theory and the static model of plant form to establish common allometric equations for estimating above-ground and root biomasses of trees in cool-temperate forests of Japan. We sampled 22 species (157 individuals, maximum DBH = 61.9 cm) for above-ground biomass and 13 species (33 individuals, DBH = 72.3 cm) for root biomass. The relative errors of estimation of the common equations were 12.59 and 17.67% for above-ground and root biomass, respectively, which were less than for the conventional allometric equations (18.62 and 22.25%, respectively). The new allometric equations can potentially be used as powerful and nondestructive tools for estimating biomass in cool temperate forests of Japan.

**Key words:** biomass, above-ground mass of trees, root mass, the static model of plant form, the pipe model

## I. はじめに

森林は、木材生産や環境保全など重要な機能を果たしている。これらの機能は、主に樹木資源の量的規模とその蓄積過程、すなわち森林の現存量と一次生産過程の把握によって、定量的に評価することが可能となる。このとき、樹木の個体重は、森林の現存量推定にとって必須の測定項目である。しかし、樹木は大型の生物であるために、個体重を直接測定することが困難な場合が多い。通常は、幹の直径や高さなど比較的容易に測定できる寸法を独立変数として、相対成長関係がその推定に使われている(Huxley 1931; Niklas 1994)。

ところが、相対成長関係を使用するとき、いくつか実用上の問題が発生する。最も大きな問題は、樹木重の相対成長関係が、林分または樹種によって異なる場合があることである(Shinozaki *et al.* 1964b)。一つの森林で、個体重に関する相対成長式を作成するには、数十個体の樹木重サンプルが必要である。このときに行う伐倒調査は、林分内で最も大型の樹木を含めて地上と地下の重さを計るという非常に労力のかかる作業となる。

このような事情から、多くの樹種や場所に適用できる相対成長関係の研究が行われてきた。最適の相対成長式を

抽出する方法は二つに分かれる。その一つは、同じデータセットに異なる独立変数を与えて、推定精度が最も高い独立変数を選ぶという従来型の方法である(Brown *et al.* 1989; Kenzo *et al.* 2009; Ketterings *et al.* 2001; Overman *et al.* 1994; Schmitt and Grigal 1981; Ter-Mikaelian and Korzukhin 1997)。もう一つの方法は、樹形理論から直接的に相対成長関係を誘導する方法である。樹木の形状に関する法則性を量的に表現したモデルに、有名なパイプモデル(Shinozaki *et al.* 1964a, b)とそれを発展させた静力学モデル(Oohata and Shinozaki 1979; Chiba 1990, 1991)がある。樹木の根系は、パイプモデルに非常によく適合することが知られている。静力学モデルは、樹木の幹がそれより上にある器官を支持するとき、幹の断面積あたりにかかる荷重、すなわち応力が垂直方向のどの部分でも一定である性質を利用して樹形を表現している。

また、静力学モデルを基盤にして、樹木個体の幹基部の断面積が地上部重と関係すること、森林の断面積合計が特定条件下で現存量と関係することが明らかにされている(Chiba 1998)。このようなモデル誘導型の相対成長関係の存在は、多くの樹木に共通する樹形法則のもとに、林分や樹種による分離がない共通式を組み立て得る可能性を示すものである。また、従来型で経験に基づく相対成長関係と

\* 連絡先著者 (Corresponding author) E-mail: komiyama@gifu-u.ac.jp

<sup>1</sup> 岐阜大学応用生物科学部 〒501-1193 岐阜市柳戸1-1 (Faculty of Applied Biological Sciences, Gifu University, 1-1 Yanagido, Gifu 501-1193, Japan) (2011年4月27日受付; 2011年9月2日受理)

は異なり、モデル誘導型によるその推定値は、もとの法則に遡ってその値が妥当か否かを吟味することができる。これは、推定値の再現性を評価する上で大きな利点となる。

近年、森林の資源量に関する関心が再び高まり、広域の森林に実用できる相対成長関係の共通式を作ろうとする研究が行われている。たとえば、マングローブの地上部重を扱う研究では、静力学モデルから共通式を誘導した例 (Komiya *et al.*, 2005) と、従来型の方法で誘導した例 (Chave *et al.* 2005) がある。興味深いのは、決定方法が違っても関わらず、両者とも静力学モデルが予測する関数形を共通式の候補に選んだことである。場所間や樹種間で共通性が高い相対成長関係は、パイプモデルや静力学モデルなど広い範囲の樹木の形態に通用する生物則を基盤にしたものであることが考えられる。しかしながら、日本で広い面積を占めている冷温帯林で、共通式について十分な検討が行われていない。

本研究では、岐阜県の落葉広葉樹林で樹木の地上部と地下部に関する個体重のデータを収集した上で、それを日本の冷温帯にある落葉広葉樹林およびスギ・ヒノキ・カラマツ造林地で採取された他の場所のデータと比較する。場所・樹種の違いによる相対成長関係の推定誤差を評価した上で、冷温帯林に生育する多くの樹種に対して、樹木の地上部と地下部の個体重を推定できる共通式を提案する。

## II. 調査地と方法

本研究で、基本とする樹木個体重のデータは、1990年から2010年にかけて岐阜大学森林生態学研究室が、岐阜県の冷温帯林で測定したものである。このデータに加えて、相対成長関係を比較するために、1960~70年代に行われた国際生物学事業 (IBP) による資料の他、論文に公表されているデータを使った (表-1, 四大学農学部林学教室 1963, 1965; 末田・下川 2003; 丹下・小島 2010)。これらの資料には、ブナ林 (イタヤカエデ, ブナ, ミズキ), スギ人工林 (スギ), カラマツ人工林 (カラマツ) で調べた個体重のデータが記載されている。このうち、亜高山帯樹種であるカラマツは、植栽場所が冷温帯にあると考えられるので使用した。

岐阜県の調査地は、高山市荘川町のミズナラ・カエデ類・シナノキなどが混交する落葉広葉樹林、および下呂市萩原町の岐阜大学山演習林にあるイヌブナ林、ヒノキ林、およびミズナラ等が混交する落葉広葉樹林である (小見山ら 2002)。地上部重を調べた試料木の種数と総個体数は 20 種 81 本 (アズキナシ, イタヤカエデ, イヌブナ, ウダイカンバ, ウワミズザクラ, クマシデ, クリ, コシアブラ, コナラ, コハウチワカエデ, シナノキ, シラカンバ, ヒノキ, ブナ, ホオノキ, ミズキ, ミズナラ, ミズメ, ヤマハンノキ, ヤマモミジ) で、胸高直径 (DBH) の最大値はミズナラの 61.9 cm である (表-1)。岐阜大学演習林で、2000年から2010年にかけて、地下部の根重を調べた試料木は 12 種 19 本あり、DBH の最大値はヒノキの 72.3 cm である。ただし、

これら試料木のうち 8 個体 (ヒノキ 4 本, アカマツ, コナラ, ミズナラ, ヒバ各 1 本: DBH 16.3~72.3 cm) は、地下部の根重のみを調べた (表-1)。なお、これらの樹種の学名は表-3 に示した。

個体重を計測する個体は、DBH を伐倒前に測定した。ついで、樹木を地際部で伐倒し、幹を長さ 1 m の層に分割した。それぞれの層で、両端の幹直径のほか幹重 ( $W_S$ )・枝重・葉重・果実重を求め、果実重を除く幹重・枝重・葉重を合計して地上部重 ( $W_{Top}$ ) とした。また、層別の幹直径から、スマリアン式を用いて皮付きの幹材積 ( $V_S$ ) を計算した。根重 ( $W_R$ ) については、根株から下のすべての根 (直径 5 mm 未満の細根を除く) を土壌より掘り出し、水洗後に生きた根を選別して秤量した。いずれの器官についても、現場にて生重で測定した値を次の方法で乾重に変換した。500 g 程度のサンプルを器官別にとって、80~110°C に設定した通風型乾燥器で、重量減少が止まるまで乾燥して乾重/生重比を求めた。以後の重量に関する議論は、すべて乾重で行う。なお、相対成長関係を比較する他の場所でも、個体重を調べる際に、上述と基本的に同じ方法が採られている。ただし、地際部が未計測で幹を 2~4 m の層に区分した個体は、それらのデータを解析に用いなかった。

樹木個体の地上部重に関するモデル誘導型の相対成長式 (以下、共通式) を、静力学モデル (Oohata and Shinozaki, 1979; Chiba 1990) により組み立てることができる。このモデルによると、幹に上部よりかかる応力が垂直方向で一定となることにより、最終的に (1) 式の関数を得る (Chiba 1998)。ここで、 $T(z)$  は  $z$  層より上部にあるすべての器官の重量を、 $b$  は比例常数を、 $\rho$  は幹の比重すなわち  $W_S/V_S$  を、 $A_s(z)$  は  $z$  層における幹の断面積を示している。なお、樹木個体として  $T(z)$  は重さの次元を持ち、 $\rho$  のそれは [重さ・体積<sup>-1</sup>] である。パラメータ  $b$  は長さの次元を持つ。

$$T(z) = b\rho A_s(z) \quad (1)$$

この式から、 $z$  が地際にあるとき地上部重  $W_{Top}$  が幹の地際直径  $D_0$  の自乗と比例関係にあることが導かれる (Chiba 1990)。

$$W_{Top} = b\rho D_0^2 \quad (2)$$

ただし、樹木の幹の根元は、その外周形状がきわめて不規則になることが多い。そのために、現場で地際部にある  $D_0$  を精度よく測定することは、多くの場合に不可能である。本研究では、現場での実際面を考慮して、地際直径の代わりに胸高直径 (DBH) を独立変数に採用した。

$$W_{Top} = b\rho DBH^c \quad (3)$$

(3) 式を決定する上で、個体ごとに、層別に測定した幹直径を使って皮付きの幹材積を求め、その値で幹重量を割った値を幹の比重  $\rho$  とした。

樹木個体の根重 ( $W_R$ ) については、パイプモデル

(Shinozaki *et al.* 1964b) にしたがって、モデル誘導型の相対成長式（共通式）を組み立てた。このモデルによると、もし仮想的に個々の根を強い力で束ねると、樹木の根系全体の形状は円柱体となる。この仮説による (4) 式は、地上部重に関する (3) 式と、結果として同じ関数形となる。ただし、共通式の作成にあたっては、地上部重の場合と同じ理由で DBH を独立変数に採用し、比重  $\rho$  も (3) 式の決定に用いた値を採用した。ただし、根重を測定した個体の中に、地上部重が未測定の試料木が 8 本あり、それらについては同種同場所で調べた  $\rho$  で代用した。なお、根系がパイプモデルに従うとき ( $f=2$ )、(3) 式のパラメータ  $d$  は長さの次元を持ち、主として根の深さに関係すると考えられる。

$$W_R = d\rho DBH^f \quad (4)$$

本研究で提案する共通式を導く手順を次のようにした。相対成長関係に樹種あるいは地域差が存在するかを調べるために、場所別に試料木をまとめて、(3) 式と (4) 式を対数変換することにより定数  $b, c$  および  $d, f$  を一次回帰により決定した。このとき、同式を変形して従属変数に  $W_{Top}/\rho$  (または  $W_R/\rho$ ) を、独立変数に  $DBH^2$  をとって回帰分析を行った (図-1)。そして、場所ごとに決定した相対成長式が互いに同一とみなせるかを、共分散分析 (ANCOVA) による解析により判定した。なお、比較のために、従来から使われてきた (4) 式の右辺に比重項を含まない従来型の相対成長式 (以下、通常式) についても、同じ手順で定数を決定した (表-1)。

相対成長式の精度を推定誤差 RE で評価した (適用例: Overman *et al.* 1994)。RE は、 $n$  本の試料木について、試料木の実測値  $W_{Top}$  (または  $W_R$ ) と相対成長式による推定値  $\hat{W}_{op}$  (または  $\hat{W}_R$ ) から求めた。

$$RE = (100/n) \sum |(W_{Top} - \hat{W}_{Top})| / W_{Top} \quad (5)$$

共通式と通常式による場所ごとの相対誤差をそれぞれ算出し、誤差の程度を検討した。

### III. 結 果

#### 1. 地上部重の相対成長関係

(3) 式を使って、各地の地上部の相対成長式を作成した (表-1)。岐阜県の落葉広葉樹林における地上部重の相対成長式は、高い決定係数 ( $R^2=0.9826, p<0.01$ ) を示した (表-1)。他の 4 場所でそれぞれ求めた相対成長式も、0.9230 以上の決定係数 (3 場所,  $p<0.01$ , 新潟県,  $p<0.05$ ) を示した。いずれの場合も、(3) 式で示す幹の比重を媒介変数に持つ相対成長関係が、成立することを示している。以上の 5 場所で求めた相対成長式の勾配および切片ともに有意差はなかった (ANCOVA, 勾配;  $F=0.2486, p>0.05$ , 切片;  $F=1.360, p>0.05$ )。

すべての試料木 157 本のデータを用いて作った共通式 ( $R^2=0.9846, p<0.01$ ) は、通常式 ( $R^2=0.9700, p<0.01$ ) に比べ、高い決定係数を示した。

#### 2. 根重の相対成長関係

樹木の根重に関しては測定例が少なく、岐阜県で調べたデータと比較できたのは愛媛県のデータ (末田・下川 2003) だけであった (表-1)。(4) 式を使って、岐阜県の落葉広葉樹林における 12 種 19 本について、その場所で求めた根重に関する相対成長式を作成したところ、高い決定係数 ( $R^2=0.9754, p<0.01$ ) を示した。また、愛媛県のブナ林の 3 種 14 本についても、その場所で求めた相対成長関係の決定係数は高かった ( $R^2=0.9724, p<0.01$ )。これら 2 場所で作成した相対成長式の、勾配、切片のいずれにも有意な差はなかった (ANCOVA, 勾配;  $F=1.044, p>0.05$ , 切片;  $F=0.7241, p>0.05$ )。すべての試料木 33 本のデータを用いて作った共通式 ( $R^2=0.9806, p<0.01$ ) は、通常式 ( $R^2=0.9724, p<0.01$ ) に比べ、高い決定係数を地上部重の場合と同様に示した (表-1)。

表-1. 地上部重・根重の解析を行った森林の一覧および相対成長式  
Forest sites, sample trees, and allometric relationships for the above-ground and root weight of trees.

<Above-ground weight>								
Site (prefecture)	Forest type	Tree species	Sample	DBH <sub>max</sub> (cm)	Reference	W <sub>Top</sub> = bρDBH <sup>c</sup>		
						b	c	R <sup>2</sup>
Gifu	Deciduous broad-leaved forest	20	81	61.9	This study	0.1833	2.494	0.9826**
Niigata	Beech forest	1	4	11.6	1), 2)	0.2754	2.251	0.9230*
Ehime	Beech forest	3	14	28.3	3)	0.1958	2.445	0.9858**
Chiba	Cedar plantation	1	16	54.4	1), 4)	0.1884	2.488	0.9922**
Nagano	Larch plantation	1	42	35.9	2)	0.1948	2.485	0.9825**
All sites		22	157	61.9		0.1853	2.491	0.9846**
(by conventional eq. : W <sub>Top</sub> = bDBH <sup>c</sup> )						(0.08977)	(2.466)	(0.9700)**
<Root weight>								
Site (prefecture)	Forest type	Tree species	Sample	DBH <sub>max</sub> (cm)	Reference	W <sub>R</sub> = dρDBH <sup>f</sup>		
						d	f	R <sup>2</sup>
Gifu	Deciduous broad-leaved forest	12	19	72.3	This study <sup>†</sup>	0.08264	2.264	0.9754**
Ehime	Beech forest	3	14	28.3	3)	0.1318	2.115	0.9724**
All sites		13	33	72.3		0.1074	2.189	0.9806**
(by conventional eq. : W <sub>R</sub> = dρDBH <sup>f</sup> )						(0.05877)	(2.159)	(0.9724)**

Minimum DBH of sample trees is 5 cm. <sup>†</sup> In some sample trees, only the root weight was investigated. Statistical level, \*\* $p<0.01$ , \* $p<0.05$ . Reference : 1) 四大学農学部林学教室 (1963), 2) 四大学農学部林学教室 (1965), 3) 末田・下川 (2003), 4) 丹下・小島 (2010)。

表-2. 相対成長式を各場所に適用した場合の相対誤差  
Relative error of allometric equations in each site.

Allometric equations	Relative error (%)					
	Gifu	Niigata	Ehime	Chiba	Nagano	All sites
Above-ground weight						
Common eq.: $W_{Top} = b\rho DBH^c$	13.24	21.00	13.64	10.17	11.13	12.59
Conventional eq.: $W_{Top} = bDBH^c$	18.07	18.01	15.77	29.07	16.72	18.62
Root weight						
Common eq.: $W_R = d\rho DBH^f$	20.32	—	14.08	—	—	17.67
Conventional eq.: $W_R = dDBH^f$	27.27	—	15.44	—	—	22.25

The relative error  $RE$  of each equation is shown for the evaluation of estimation at the sites.

### 3. 共通式による推定誤差

地上部重における共通式を、試料木 157 本に適用した場合の  $RE$  は 12.59% であった (表-2)。一方、通常式による同  $RE$  は、18.62% であった。個々の場所のデータに対する共通式と通常式の  $RE$  を比較すると、新潟県のブナ林でのみ通常式の方が低い  $RE$  を示した。ただし、この場所で解析に使用できた試料木の個体数は 4 本のみであった。根重における共通式を試料木 33 本に適用した場合の  $RE$  は 17.67% であった。また、通常式による同  $RE$  は、22.25% であった。個々の場所のデータに対する共通式の  $RE$  は、岐阜県・愛媛県ともに、共通式の方が低い  $RE$  を示した。

## IV. 考 察

冷温帯林を構成する樹木の地上部重と根重に関して、静力学モデルとパイプモデルに従う関数形の式 ((3), (4)式) が、地理的に異なる五つの場所のデータに概ね適合することがわかった (表-1, 2)。Chiba (1998) は、静力学モデルに基づいて熱帯の急成長樹種の造林地を解析し、胸高断面積合計と幹材積合計の間に林分分離しない相対成長関係を見出している。もし、この造林地を構成する樹種が、同じ幹比重と (1)式を満たす樹形を持つとすれば、この林分あたりの関係を個体あたりの関係に置き換えることができる。ただし、一般に (1)式の樹形を満足する樹種は、とくに陽性の樹種であるといわれる。本研究では、複数の場所で採取した多種多様な樹種の試料木により決定した (3)式と (4)式による共通式がともに、通常式より高い決定係数を示すことがわかった。このことは、試料木に様々な樹種が含まれるにもかかわらず、前述の置き換えが近似的にもしくは実用上は可能であること示している。共通式に組み込まれている幹比重は、媒介変数として地上部重 (または根重) をそれに相当する容積に変換する効果を持つ。このことが樹種または場所による相対成長関係の分離を小さくしていると考えられる。

冷温帯林樹木の地上部重 (単位: kg) に関する共通式として (6)式を、根重 (単位: kg) に関する共通式として (7)式を提案する (表-1, 図-1, 2)。

$$W_{Top} = 0.1853\rho DBH^{2.491} \quad (6)$$

$$W_R = 0.1074\rho DBH^{2.189} \quad (7)$$

(6)式と (7)式が示す独立変数  $DBH$  (単位: cm) の巾乗数は、静力学モデルとパイプモデルが予測する 2.0 より

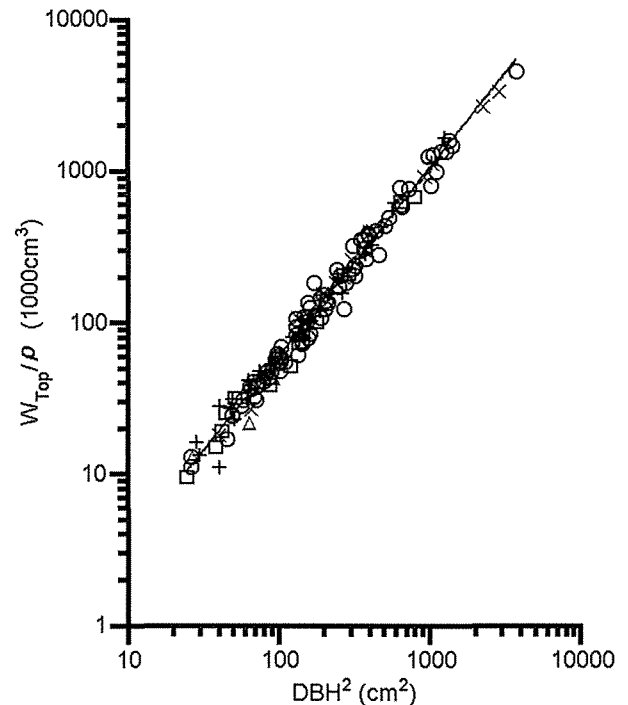


図-1. 地上部重の相対成長関係と共通式

Allometric relationships and the proposed common equation for estimating above-ground weight of cool temperate tree species are shown on the logarithmic coordinates.

For graphic expression relating the static model of plant form, horizontal axis is set as  $DBH^2$  and vertical axis as the value of  $W_{Top}/\rho$ . The line corresponds to the equation (6) in the main text. Symbols: ○, a deciduous broad-leaved forest in Gifu Prefecture; △, a beech forest in Niigata Prefecture; □, a beech forest in Ehime Prefecture; ×, a cedar plantation in Chiba Prefecture; +, a larch plantation in Nagano Prefecture.

少し大きな値となった。これらの式を適用したときに、この巾乗数が同程度に大きくなる現象が、マングローブ林 (Komiya *et al.* 2005) および熱帯林 (Chave *et al.* 2005) でも認められている。この原因として、式に実際に使用した  $DBH$  とモデルが基礎とする  $D_0$  の間の関係が、個体の大きさによって変化する可能性があげられる。 $DBH$  と  $D_0$  の相対成長関係の巾数が 1.0 より大きい、すなわち大型の樹木で根張りがより顕著に発達する場合に、(6)式の巾数が 2.0 より高くなると考えられる。しかし、基本的に  $D_0$  は、根張りの接地面が複雑な形状を示し、幹の直径そのものが

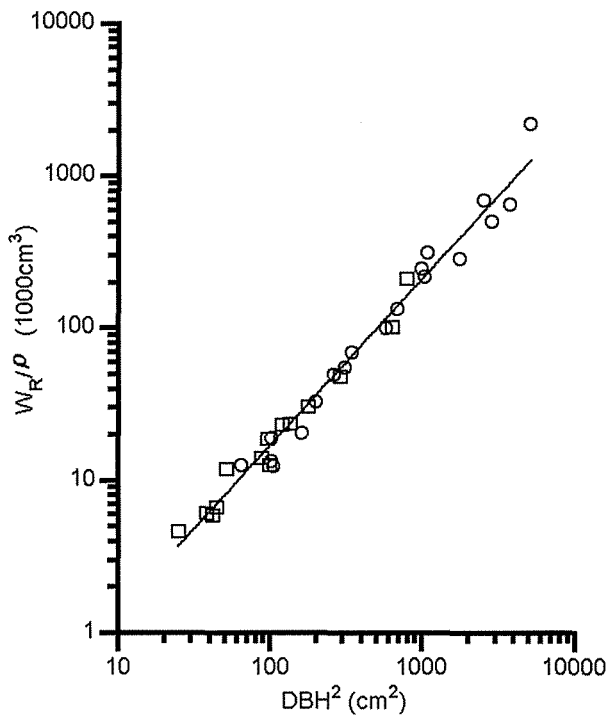


図-2. 根重の相対成長関係と共通式

Allometric relationships and the proposed common equation for estimating the root weight of cool temperate tree species are shown on the logarithmic coordinates.

For graphic expression relating the pipe model of plant form, horizontal axis is set as  $DBH^2$  and vertical axis as the value of  $W_R/\rho$ . The line corresponds to the equation (7) in the main text. Symbols: ○, a deciduous broad-leaved forest in Gifu Prefecture; □, a beech forest in Ehime Prefecture.

正確に測定できない寸法であるため、前述のことを実証することはできなかった。

本研究で用いた  $\rho$  のうち複数の個体を計測した 14 種について、貴島ら (1986) による材の絶乾比重 ( $x$ ) と比較したところ、高い相関関係 ( $\rho = 0.5677x + 0.1575, R^2 = 0.8167, p < 0.01$ ) が認められた。幹比重の最大はブナの 0.5769, 最小はスギの 0.3524 となり (表-3), 樹種間でみると幹比重に 1.6 倍以上の差が認められた。ほとんどの樹種で比重の標準偏差は大きくないので、同種の個体間で幹比重の差は顕著でないとみてよいであろう。岐阜県産のおよそ 34 種 149 本の樹木を調べた結果で、幹の比重は種間差が最も大きく、ついで個体間差・個体内の部位差の順に小さかった (伊藤 2007)。また、幹を成長錐で調べた結果と、本研究のように幹を層別に計測した結果との間で、比重に有意な差は認められなかったとしている。一方、Komiyama *et al.* (2005) は、共通式をマングローブに適用する際に、一部の樹種で  $\rho$  に場所間差が認められたとしている。ただし、この場所間差は、地理的なスケールで気象に大きな違いがあるような場合に対応している。

共通式 ((6)式, (7)式) は、冷温帯に生育する落葉広葉樹と針葉樹 (ヒノキ・アカマツ), 植栽された針葉樹 (スギ・

表-3. 本研究で測定した幹の比重 (皮付き) および標準偏差  
Mean and standard deviation of stem-wood density with bark (in aiueo order of vernacular name).

Scientific name (vernacular name)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Sample	SD
<i>Pinus densiflora</i> (akamatsu)	0.5071	1	—
<i>Sorbus alnifolia</i> (azukinashi)	0.4523	1	—
<i>Acer mono</i> (itayakaede)	0.5307	10	0.04578
<i>Fagus japonica</i> (inubuna)	0.5323	4	0.02978
<i>Betula maximowiczii</i> (udaikamba)	0.5024	8	0.04656
<i>Prunus grayana</i> (uwamizuzakura)	0.5264	2	0.04582
<i>Larix leptolepis</i> (karamatsu)	0.3963	42	0.03792
<i>Carpinus japonica</i> (kumaside)	0.5557	3	0.01802
<i>Castanea crenata</i> (kuri)	0.4259	1	—
<i>Acanthopanax sciadophylloides</i> (koshiabura)	0.4260	1	—
<i>Quercus serrata</i> (konara)	0.5540	2	0.08719
<i>Acer sieboldianum</i> (kohauchiwakaede)	0.5366	8	0.04066
<i>Tilia japonica</i> (shinanoki)	0.3708	2	0.00544
<i>Betula platyphylla</i> (shirakamba)	0.4589	5	0.01820
<i>Cryptomeria japonica</i> (sugi)	0.3524	16	0.02909
<i>Chamaecyparis obtusa</i> (hinoki)	0.4149	2	0.02744
<i>Thujaopsis dolabrata</i> (hiba)	0.4293	1	—
<i>Fagus crenata</i> (buna)	0.5769	6	0.06754
<i>Magnolia obovata</i> (hoonoki)	0.4207	10	0.06274
<i>Cornus controversa</i> (mizuki)	0.4678	10	0.04099
<i>Quercus mongolica</i> var. <i>grosseserrata</i> (mizunara)	0.5228	14	0.02362
<i>Betula grossa</i> (mizume)	0.5373	4	0.02733
<i>Alnus hirsuta</i> var. <i>sibirica</i> (yamahannoki)	0.3975	1	—
<i>Acer palmatum</i> subsp. <i>amoenum</i> (yamamomiji)	0.5394	1	—

For  $\rho$  (specific gravity), stem volumes of sample trees were calculated by the stem analysis. The scientific names based on Kitamura and Murata (1971, 1979).

カラマツ) のように、多様な生活形を持つ樹木群に適用が可能であると考えられる。また、これらの共通式に使用した個体の  $DBH$  の最大値は (6)式で 61.9 cm, (7)式で 72.3 cm であった。通常の規模の二次林で、これらの式は内挿の範囲で現存量を推定することができよう。共通式は、地上部重で 12.59%, 根重で 17.67% の推定誤差を持っていた (表-2)。また、共通式を個々の林分に適用した場合も同程度の推定誤差が生じる。共通式の使用の際には、この誤差の程度に留意する必要があるが、その程度は比重項を含まない通常型の相対成長式を使う場合より小さい。

結論として、本研究で提案する共通式 ((6), (7)式) は、樹木個体重の相対成長式が存在しない冷温帯林で、落葉広葉樹・針葉樹の現存量や成長量を求める際に、有力な手段になることが考えられる。通常型の相対成長式よりも誤差の程度が小さいこと、大がかりな樹木の伐倒調査が不要となることは、共通式を使用する大きな利点となる。これらの共通式を使用するには、皮付きの幹の比重を求めねばならない。本研究の試料木にない樹種を扱う場合には、成長錐などを使い、幹比重を調べることが必要である。推定に使用した幹比重を明示することにより、多様な森林に同じ共通式を適用することが可能となり、現存量推定の再現性が相対的に高まることが考えられる。

本研究を進めるにあたり野外作業に協力していただいた岐阜大学位山演習林の職員である青木達雄氏、都竹彰則氏、谷口昇氏、ならびに伊藤悦子氏をはじめとする歴代の岐阜大学森林生態学研究室の皆様にご礼申し上げます。本研究の一部は、文部科学省科学研究費 (基盤研

究 C : No. 20580153) および中部山岳地域の環境変動の解明から環境資源再生をめざす大学間連携事業の補助による。

### 引用文献

- Brown S, Gillespie AJR, Lugo AE (1989) Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data. *For Sci* 35: 881-902
- Chave J, Andalo C, Brown S, Cairns MA, Chambers JQ, Eamus D, Föelster H, Fromard F, Higuchi N, Kira T, Lescure JP, Nelson BW, Ogawa H, Puig H, Riéra B, Yamakura T (2005) Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecology* 145: 87-99
- Chiba Y (1990) Plant form analysis based on the pipe model theory. I. A statical model within the crown. *Ecol Res* 5: 207-220
- Chiba Y (1991) Plant form analysis based on the pipe model theory. II. Quantitative analysis of ramification in morphology. *Ecol Res* 6: 21-28
- Chiba Y (1998) Architectural analysis of relationship between biomass and basal area based on pipe model theory. *Ecol Model* 108: 219-225
- Huxley J (1931) *Problems of relative growth*. Dover Publication
- 伊藤悦子 (2007) 樹木の地下部バイオマスの推定方法に関する研究. 修士学位論文, 岐阜大学大学院農学研究科
- Kenzo T, Ichie T, Hattori D, Itioka C, Ohkubo T, Kendawang JJ, Nakamura M, Sakaguchi M, Takahashi N, Okamoto M, Tanaka-Oda A, Sakurai K, Ninomiya I (2009) Development of allometric relationships for accurate estimation of above- and below-ground biomass in tropical secondary forests in Sarawak, Malaysia. *J Trop Ecol* 25: 371-386
- Ketterings QM, Coe R, Noordwijk M, Ambagau Y, Palm CA (2001) Reducing uncertainty in the use of allometric biomass equations for predicting above-ground tree biomass in mixed secondary forests. *For Ecol Manage* 146: 199-209
- 貴島恒夫・岡本省吾・林 昭三 (1986) 原色木材大図鑑. 保育社
- 北村四郎・村田 源 (1971) 原色日本植物図鑑 (木本編 I). 保育社
- 北村四郎・村田 源 (1979) 原色日本植物図鑑 (木本編 II). 保育社
- 小見山章・加藤正吾・二宮生夫 (2002) 岐阜県飛騨地方における落葉広葉樹林の相対成長関係. *日林誌* 84: 130-134
- Komiyama A, Pongpan S, Kato S (2005) Common allometric equations for estimating the tree weight of mangroves. *J Trop Ecol* 21: 471-477
- Niklas KJ (1994) *Plant allometry: the scaling of form and process*. The University of Chicago Press
- Oohata S, Shinozaki K (1979) A statical model of plant form—further analysis of the pipe model theory. *Jpn J Ecol* 29: 323-335
- Overman JPM, Witte HJL, Saldarriaga JG. (1994) Evaluation of regression models for above-ground biomass determination in Amazon rainforest. *J Trop Ecol* 10: 207-218
- Schmitt MDC, Grigal DF (1981) Generalized biomass estimation equations for *Betula papyrifera* Marsh. *Can J For Res* 11: 837-840
- Shinozaki K, Yoda K, Hozumi K, Kira T (1964a) A quantitative analysis of plant form—the pipe model theory I. Basic analysis. *Jpn J Ecol* 14: 97-105
- Shinozaki K, Yoda K, Hozumi K, Kira T (1964b) A quantitative analysis of plant form—the pipe model theory II. Further evidence of the theory and its application in forest ecology. *Jpn J Ecol* 14: 133-139
- 末田達彦・下川元三 (2003) 愛媛大学演習林落葉広葉樹二次林バイオマスの推定. 平成 12 年度～平成 14 年度科学研究費補助金 (基盤研究 (A) (1)) 研究成果報告書 (研究代表者 八木久義, 我が国の広葉樹二次林における生産量および炭素固定機能の評価, 研究課題番号 12356005), 120-123
- 丹下 健・小島克己 (2010) 千葉演習林安野スギ成長測定試験地の地上部現存量. *東大演報* 49: 1-6
- Ter-Mikaelian MT, Korzukhin MD (1997) Biomass equations for sixty-five North American tree species. *For Ecol Manage* 97: 1-24
- 四大学農学部林学教室 (1963) 物質循環面より見た森林生態系の生産力. 資料 No. 1 (四手井綱英監修), 総合研究 (文部省) 報告書
- 四大学農学部林学教室 (1965) 物質循環面より見た森林生態系の生産力. 資料 No. 2 (四手井綱英監修), 総合研究 (文部省) 報告書