

スギ単木樹冠のフラクタル次元の林分内変動

寺本, 佳代
九州大学農学部林学科

溝上, 展也
九州大学農学部林学科

増谷, 利博
九州大学農学部林学科

<https://doi.org/10.15017/10911>

出版情報 : 九州大学農学部演習林報告. 72, pp.159-168, 1995-03-30. 九州大学農学部附属演習林
バージョン :
権利関係 :

スギ単木樹冠のフラクタル次元の林分内変動*

寺本佳代**・溝上展也**・増谷利博**

抄 録

樹冠に基づく林分成長モデルを考える上で、着葉形態や葉密度の林分内変動を捉えることは重要である。写真画像より得られる樹冠縦断面形のフラクタル次元は着葉形態や葉密度によって多様な樹冠形を評価するのに有効な指標であることが明らかにされてきたが、その林分内変動は明らかになっていない。そこで、本研究では、樹冠構造の林分内変動を写真画像より得られる樹冠縦断面形のフラクタル次元で捉え、その幹材積成長量との関係を調べた。

資料木は、20年生スギ人工林内の優勢木から劣勢木までを含む9本である。林内から運び出した樹冠部を、白布を背景にして写真撮影を行い、コンピュータ上で二値画像とトレース画像を得て、ボックスカウンティング法を適用し、それぞれのフラクタル次元 D_b および D_t を算出した。

その結果、 D_b 、 D_t の変動幅はともに約0.2で等しいが、平均値および変動係数は、それぞれ、1.807、2.5%、1.620、3.7%となった。また、フラクタル次元と幹材積成長量との関係では、 D_b は上限値が約1.85に漸近する増加傾向を示したが、 D_t は明確な傾向を示さなかった。

以上の結果から、フラクタル次元 D_b 、 D_t によって樹冠構造の林分内変動を捉えることが可能であるが、 D_b は葉が空間をどのように埋めているかを示す“量的次元”であり、 D_t は形状の複雑さを示す“形状次元”であり、両者は質的に異なる次元であることが明らかとなった。

キーワード：フラクタル次元、単木樹冠、林分内変動

1. はじめに

樹冠形を放物線などの単純な関数に近似することにより、林木の成長を予測する研究は従来から数多くみられる。ここでは、光合成に関与する樹冠量として樹冠表面積や樹冠体積などを用いることで、幹材積成長量や幹形など個体レベルの予測を可能としている (Mitchell, 1975; 猪瀬, 1983; 竹下, 1985; 白石, 1989; 吉田, 1991)。また、清水ら (1984) は、樹冠モデルに葉密度を組み込むことで、林床光環境や落葉量の予測を行い、森林の水源かん養機能の評価にまで発展させている。最近、水永 (1994) は、樹冠表面からの着葉分布を樹冠モデルに組み込み、間伐後の幹成長を予測している。しかしながら、

* TERAMOTO, K., MIZOUE, N. and MASUTANI, T. : Variation in Fractal Dimension of Tree Crowns within a Sugi Stand.

** 九州大学農学部林学科

Department of Forestry, Faculty of Agriculture, Kyushu University, Fukuoka 812

上記のいずれのモデルも、林分内での着葉形態や葉密度の変動は考慮されていない。

現実的林分内の樹冠は、周辺木との競合状態によって、優勢木、準優勢木、介在木、劣勢木といった表現で従来から定性的に記述されているが (Assmann, 1970), その変動は、樹冠全体の外形だけでなく、樹冠内部の着葉形態や葉密度にもあらわれることが予想される。より現実的なモデルを考える上では、これらの林分内変動を定量化し、樹冠モデルに組み込む必要があると思われる。

ところで、溝上・増谷 (1994b) は写真画像より得られる樹冠縦断面形のフラクタル性を確認し、そのフラクタル次元は、同一樹種内でも着葉形態や葉密度の違いで多様な樹冠構造の定量化に有効であることを示している (Mizoue and Masutani, 1993)。

そこで、本研究では、樹冠構造を考慮した林分成長モデル作成のための基礎資料を得る目的で、樹冠形の林分内変動を写真画像より得られる樹冠縦断面形のフラクタル次元で捉え、その幹材積成長量との関係を調べた。

2. 資 料

九州大学農学部附属宮崎演習林内の 20 年生スギ人工林から、資料木として、優勢木から劣勢木まで含まれるように 9 本を選定した。資料木の概要を表 1 に示しているが、樹高および胸高直径の最小値-最大値は、それぞれ、7.7-12.2m, 12.5-19.2cm であり、また、樹冠長および樹冠幅の最小値-最大値は、それぞれ、2.77-4.32m, 1.07-2.19cm であった。

表 1 資料木の概要
Table 1 General descriptions of sample trees.

Tree No.	Height (m)	D. B. H. (cm)	Crown length (m)	Crown diameter (m)
TN32	12.2	18.1	3.78	1.49
TN39	12.2	19.2	3.90	1.46
TN27	11.5	16.9	4.32	2.19
TN40	11.5	16.6	3.25	1.53
TN56	10.6	15.4	3.02	1.32
TN55	10.1	14.2	3.20	1.34
TN59	10.1	18.0	3.33	1.34
TN62	8.7	12.6	2.77	1.21
TN72	7.8	13.2	3.79	1.07

3. 方 法

3.1. 写真撮影

樹冠縦断面形のフラクタル次元を算出するためには、水平方向から撮影された単木ごとの樹冠部の写真が必要であるが、今回のような林内木では立木状態での撮影は不可能である。さらに、背景に樹冠と同色調のものがあっては、画像処理での樹冠縦断面形の抽出が不可能となる。そこで、樹木を伐倒後、樹冠部を対象林分近くのひらけた場所に運び出し、

白布を背景に再度樹冠部を立てて撮影した。図1に資料木 TN55 を例に実際得られた樹冠写真を示しているが、白布は幅2m、高さ10mの大きさであり、測桿とポールを使って立て掛けた。図1の写真のような状態で、まず、任意の方向の片側樹冠に対して縮尺を変えて3枚撮影し、次に、約180度回転させた方向の片側樹冠に対して縮尺を変えて3枚撮影した。ここで、縮尺の異なる3枚の写真を撮影したのは、ばらつきのない安定したフラクタル次元を求めるためである（溝上・増谷，1994a）。

なお、撮影は1994年3月8日に行い、カメラはMINOLTAのAF ZOOM Xi LENSESを使用した。

3.2. フラクタル次元の算出

撮影した写真を用いて、コンピュータでの画像処理により、樹冠縦断面形の画像データを作成し、ボックスカウンティング法を適用することによりフラクタル次元を算出した（溝上・増谷，1994a；1994b）。

画像データの作成方法の手順を、資料木 TN55 を使い具体例を図2に示した。まず、撮影した写真（図1）を表現色をフルカラー、解像度を144dpi（dot per inch）に設定し、イメージスキャナー（Epson社製GT-6000）でコンピュータ（Macintosh Quadra 800）



Fig. 1 A method for taking photographs of crowns.

図1 樹冠写真撮影方法

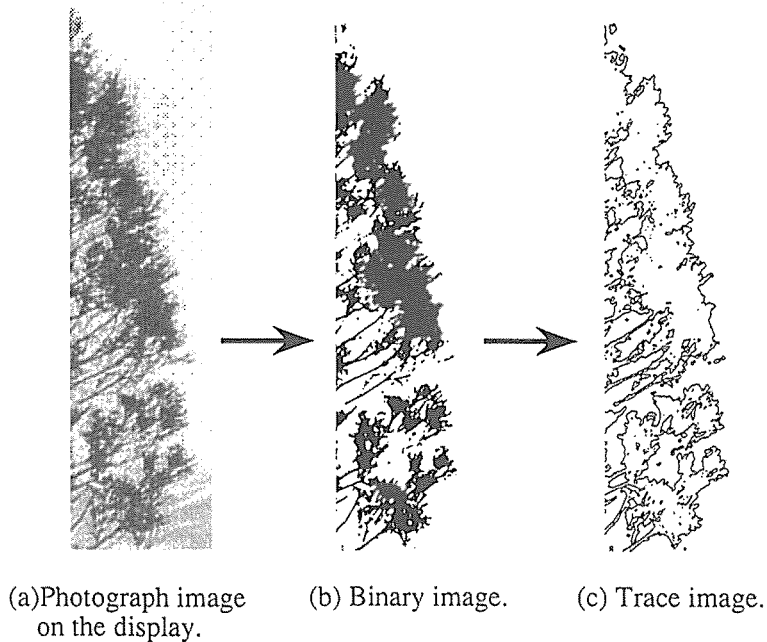


Fig. 2 Examples of image data used for the box counting method.

図2 ボックスカウンティング法を適用する画像データ

に取り込んだ。その取り込んだ画像から幹の部分を取り除いた片側樹冠の画像を図2(a)に示したが、実際のコンピュータの画面上ではフルカラーで表示されている。次に、図2(a)の取り込み画像から白黒の二値画像に変換したのが図2(b)であり、さらに輪郭をトレースした画像データが図2(c)である。なお、画像の二値化処理と輪郭のトレース処理には、Adobe社製Photoshopを用いた。

次に、このような手順で得られた画像データを用いてボックスカウンティング法を適用した。溝上・増谷(1994a, 1994b)はトレース画像のみにボックスカウンティング法を適用してフラクタル次元を算出してきたが、今回は二値画像とトレース画像にボックスカウンティング法を適用し、それぞれのフラクタル次元を算出した。ここで、二値画像より得られるフラクタル次元を Db 、トレース画像より得られるフラクタル次元を Dt とする。また、撮影した写真は片側樹冠が資料木一本につき二方向あるので Db 、 Dt とも2つずつ算出されることになる。なお、実際のボックスカウンティング法の手続きは、フリーソフトウェアのNIH Image 1.44を用い、自作のプログラムにより実行した。

3.3. 樹幹解析

資料木の円板は地上高0.2mの位置から0.5m間隔で採取した。これらの円板は年輪測定装置により、5/100mmの精度で4方向の1年毎の年輪半径を測定し、その平均を各年輪の半径とした。これらの半径値をもとに各資料木の最近一年間の幹材積成長量を計算した。

4. 結果および考察

4.1. フラクタル次元の林分内変動

各資料木, 2方向の樹冠縦断面形の二値画像およびトレース画像それぞれにボックスカウンティング法を適用して求めたフラクタル次元 D_b および D_t を表2に示す. 表中の large, small および large-small は, それぞれ, 2方向の次元のうちの大きい値, 小さい値, および2方向の次元の差を示している.

表2 資料木のフラクタル次元
Table 2 Fractal dimensions of sample trees.

Tee No.	Fractal dimension					
	Binary image			Trace image		
	large	small	large-small	large	small	large-small
TN32	1.848	1.832	0.016	1.592	1.567	0.025
TN39	1.857	1.834	0.023	1.589	1.570	0.019
TN27	1.855	1.818	0.037	1.698(max.)	1.680	0.018
TN40	1.859(max.)	1.825	0.034	1.621	1.491(min.)	0.130
TN56	1.823	1.803	0.019	1.570	1.552	0.018
TN55	1.781	1.765	0.016	1.692	1.571	0.120
TN59	1.843	1.810	0.033	1.682	1.642	0.041
TN62	1.781	1.747	0.033	1.661	1.656	0.005
TN72	1.784	1.676(min.)	0.107	1.685	1.646	0.040
	mean	1.807		mean	1.620	
	C. V.	2.5		C. V.	3.7	

C.V. : coefficient of variance.

まず, 二値画像より求めたフラクタル次元 D_b をみると, その平均値および変動係数は1.807, 2.5%であった. 最大値はTN40の1.859, 最小値はTN72の1.676であり, その差は約0.2であった. また, 資料木ごとに方向別の D_b の差 (large-small) をみると, TN72が0.1でその他は0.04以下であり, これから, TN72の D_b は, 方向によって大きく変動しているといえる.

図3に, D_b の最大値 (1.859), 最小値 (1.676) をもつTN40, TN72の二値画像データを示した. TN72は葉はかなり疎生しており, 特に樹冠下部は着葉していない空間の割合が多く, 一方, TN40では葉は樹冠全体に分布し, 樹冠の隙間も少ない. このように, 二値画像より得られるフラクタル次元 D_b は, 葉が樹冠全体の空間をどのように埋めているかを示す“量的次元”といえる.

次に, トレース画像より求めたフラクタル次元 D_t をみると, その平均値および変動係数は1.62, 3.7%であった. 最大値はTN27の1.698, 最小値はTN40の1.491であり, その差はほぼ0.2であった. また, 資料木ごとに方向別の D_t の差 (large-small) をみると, TN55とTN40がほぼ0.1でその他は0.04以下であり, これから, TN55とTN40の D_t



Fig. 3 Binary image with maximum and minimum fractal dimension.

図3 二値画像のフラクタル次元の最大値と最小値を示す画像データ

は方向によって大きく変動しているといえる。

図4に、 Dt の最大値(1.698)、最小値(1.491)をもつTN27、TN40のトレース画像データを示したが、TN27は、葉は樹冠全体に分布し、樹冠に小さな隙間が多く、画像データは複雑に入り組んだものとなっている。一方、TN40は、TN27と同様に葉は樹冠全体に分布しているものの、その着葉形態はTN27とは異なり、葉のクラスターを形成し、クラスター内での樹冠の隙間は少ない。この場合の画像データは、比較的単調なものとなっている。このように、トレース画像より得られるフラクタル次元 Dt は、着葉形態により多様である樹冠縦断面形の複雑さを示す“形状次元”といえる。

4.2. フラクタル次元と幹材積成長量との関係

図5に、樹幹解析より得られた幹材積成長量とフラクタル次元 Db 、 Dt との関係をプロットした。図中には、方向別のフラクタル次元の変動幅とそれらの平均値を示している。



Fig. 4 Trace image with maximum and minimum fractal dimension.

図4 トレース画像のフラクタル次元の最大値と最小値を示す画像データ

Db を幹材積成長量との関係でみると、上限値約 1.85 に漸近する増加傾向がみられる。一方、 Dt と幹材積成長量との関係では、明確な傾向はみられず、 Db がほぼ同じ値をとる場合でも、 Dt の変動は大きい。このような傾向の違いは、4.1.でも述べたような、フラクタル次元 Db と Dt の意味する質の違いにあるといえる。

葉が空間をどのように埋めているかを示す“量的次元” Db は、周辺木との競合状態や受光環境によって決まってくると考えられる。また、同齢林分内での幹成長量は個体サイズと線形関係があることが経験的にわかっている。つまり、個体サイズが小さく、受光環境も劣悪な劣勢木では、幹材積成長量と Db はともに低く、サイズが大きく、受光環境が良好な個体ほど、幹材積成長量と Db はともに増加していくことがわかる。しかしながら、葉が空間を隙間なく埋めつくすことは不可能であり、 Db の上限値は樹種特有の耐陰性などが関連していると考えられる。

一方、着葉形態により多様な樹冠縦断面形の複雑さを示す“形状次元” Dt は、“量的次元” Db では捉えることのできない形状変化に敏感であるといえる。例えば、図4で示した TN27 と TN40 の Db は、それぞれ、1.855、1.859 であり、ともに上限値に近い値を示しているが、これらの Dt は、4.1.でも示したように資料木中の最大値 (1.698) と最小値

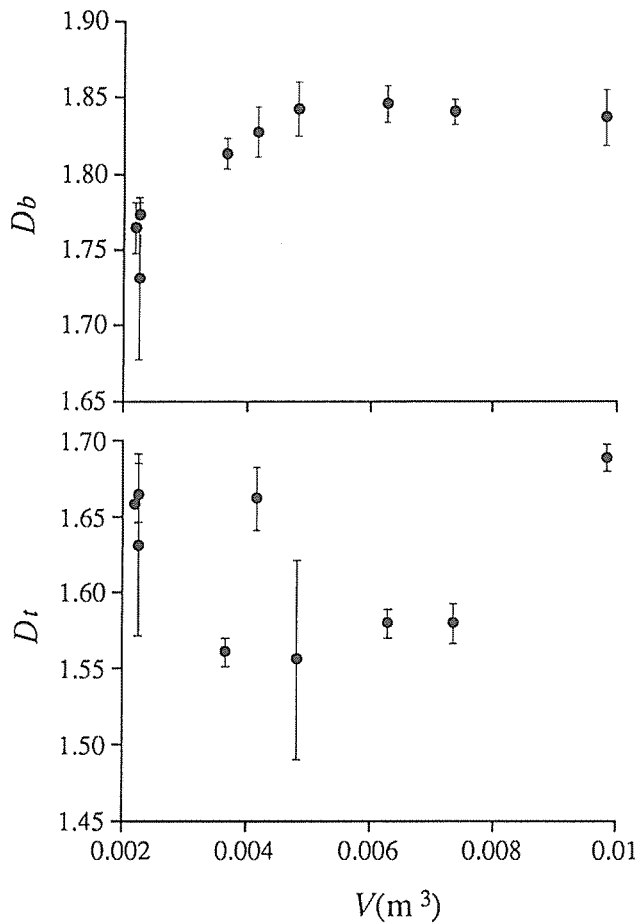


Fig. 5 Relationships between fractal dimensions (Db , Dt) and current annual increment of stem volume. Symbols (●) show mean fractal dimensions of two one-side crowns. Bars show range between fractal dimensions of two one-side crown.

Db : fractal dimensions of binary image.

Dt : fractal dimensions of trace image.

V : annual volume increment of stem.

図5 フラクタル次元と幹材積成長量の関係

(1.491) の開きがある。また、 Db では捉えられなかった TN40 の方向別の変動 (large-small) が Dt では大きく捉えられている。しかしながら、このような Dt の変動、つまり、林分内での樹冠形の複雑さの変動が、何に起因するのかは現段階では不明であり、今後の課題である。

5. おわりに

本研究では、樹冠構造の林分内変動を写真画像より得られる樹冠縦断面形のフラクタル次元で捉えたが、二値画像より得られるフラクタル次元 Db は幹材積成長量との関係において上限値の約 1.85 に漸近する増加傾向がみられた。この結果は、競争指数などと Db を関連づけることで、樹冠構造の林分内変動を組みこんだ林分のモデル化が可能となることを示唆している。しかしながら、フラクタル次元は無単位の量であり、幹材積成長量などを予測していくには、個体サイズを組み込む必要がある。さらに、長期的な予測を可能にするためには、樹冠構造の時間的変化も考慮しなければならないであろう。

引用文献

- ASSMANN, E. (1970) : The principles of forest yield study. Pergamon press, Oxford, pp. 83-92
猪瀬光雄 (1983) : トドマツの単木生長モデル (II) 断面高別直径生長量の推定. 日林誌 65 : 224-228
清水 晃・西沢正久・竹下敬司 (1984) : 森林の水土保全機能に関する森林構造学的研究. 九大演報 54 : 1-84
白石則彦 (1989) : 新たな幹曲線式の理論的導出. 日林誌 71 : 435-441
竹下敬司 (1985) : パラボラ樹冠形モデルによるスギ林の構造解析. 九大演報 55 : 55-104
MIZOUE, N. and MASUTANI, T. (1993) : Application of fractal dimension to quantifying form of tree crowns. Proc. of the IUFRO Seoul Conference : pp. 133-138
溝上展也・増谷利博 (1994a) : 樹冠縦断面形のフラクタル次元算出法. 九大演報 70 : 53-62
溝上展也・増谷利博 (1994b) : 樹冠縦断面形のフラクタル性について. 日林誌 76 : 242-248
水永博巳 (1994) : 林冠動態モデルによる間伐効果予測 (II) 着葉構造と材積成長量の予測と検証. 日林誌 76 : 329-337
MITCHELL, K. J. (1975) : Dynamics and Simulated Yield of Douglas-fir. For. Sci. Monograph 17 : 1-39
吉田茂二郎 (1991) : 樹冠によるスギ単純同齡林の定期直径成長量の推定. 日林誌 73 : 29-33

(1994年11月4日受付; 1994年12月27日受理)

Summary

In studying stand models based on crown structure, it is important to understand variation in foliage distribution and density within a stand. It is clear that fractal dimension is a good quantifier of crown form varying widely with foliage distribution and density, but variation of fractal dimension within a stand is not clear.

In this paper, we examined variation in fractal dimension of the vertical section form of tree crowns on photographs, and the relationship between fractal dimension and current annual increment of stem volume.

Nine sample trees from dominant to suppressed trees were selected in a 20-year-old sugi (*Cryptomeria japonica* D. Don) stand. Two fractal dimensions (D_b , D_t) of binary and trace images for each sample tree were determined by the box counting method.

The results showed that each fractal dimension varies in the range of about 0.2, and mean and coefficient of variation for D_b and D_t are 1.807, 2.5% and 1.620, 3.7% respectively. Relationship between fractal dimension and volume increment showed that D_b increases and reaches a maximum (about 1.85) with the increase of volume increment, but D_t does not have a clear tendency.

From the results obtained above, it was evident that :

- (1) Each fractal dimension is a good quantifier of variation in crown forms within a stand.
- (2) Fractal dimension of binary image is a 'mass dimension' to indicate how foliage fills a crown space.
- (3) Fractal dimension of trace image is a 'form dimension' to indicate complexity of crown form.
- (4) These fractal dimensions are qualitatively different.

Key words : fractal dimension ; tree crown ; variation within a stand.