

岐阜県飛騨地方における広葉樹の1変数材積式

横井 秀一

要 旨：1変数材積式は樹高の情報がないデータから材積を得るために必要で、かつ、材積の精度を必要としないときに簡便な調査で材積を得ることができるため実用的でもある。そこで、岐阜県飛騨地方で収集した広葉樹のデータから胸高直径(D)—材積(V)関係を検討し、各種材積式の適合精度を比較した。その結果、当該地方の広葉樹($3 \leq D < 100\text{cm}$)に適用できる1変数材積式として、 $V = 0.0001215 \cdot D^{2.553} \cdot 0.9915^D$ が得られた。

1 はじめに

森林の解析、評価、管理などで材積の情報を必要とする場面は多い。通常、材積を推定するときには胸高直径と樹高を測定し、2変数材積式から計算するか、あるいは2変数材積表を参照している。その際、樹高は全ての立木を実測することもあるが、直径階ごとに数本ずつの標準木の樹高を測定し樹高曲線から樹高を推定することもしばしば行われている。これは、樹高の測定には胸高直径の測定に比べて手間がかかることが理由となっている。

ここで、胸高直径のみの測定で材積を計算できる1変数材積式が存在すれば、実用上便利である。しかし、1変数材積式では同一の胸高直径の木は同一材積を持つことが暗黙の前提となっているが、この前提は現実には成り立たず(南雲・箕輪、1990)、1変数材積式は一般にその適用範囲が限定される(大隅、1987)。そのため、1変数材積式のパラメータを林分ごとに推定してその精度を高める工夫がなされており(高田、1957；梶原、1965)、それらは特定の地域で樹種ごとにパラメータの推定式が求められていれば、簡便に精度の高い材積を推定することができる有効な方法である。しかし、これらの方法はいずれも樹高に関する特定の情報が要求されているため、それらの情報を得ることができない場合、例えば過去の測定データや既に伐採されている林分で伐根の直径しかわからない(伐根の直径から胸高直径を推定することはできる)ときなどには使用することができない。このような場合に材積を知りたいときには、たとえ精度が悪くても普遍的に使用できる1変数材積式が必要となる。また、そのような材積式があれば、材積の精度が要求されない調査では胸高直径を測定するだけでよいという利点もある。

わが国で、ある程度の広い範囲に適用できる1変数材積式としては、北海道の標準立木幹材積表の実験式(林友会北海道支部、1948)が知られている。しかしながら、岐阜県にはそうした材積式が存在しない。そこで、岐阜県飛騨地方の広葉樹のデータをもとに胸高直径と材積の関係を検討し、当該地方に適用できる1変数材積式を作成した。

II 資料

解析に使用したデータは、全て著者らが岐阜県飛騨地方で実測した胸高直径(D)と樹高(H)である。これらのデータは、129林分の広葉樹林の毎木調査と一部単木的な広葉樹の調査から得られたものである。

胸高直径は、ごく小径木ではノギスで1方向を測定し、それ以外のほとんどは直径巻き尺を使用して地上高1.2mの位置で測定した。ただし、一部に輪尺で2方向を測定し(1cm括約)、それを平均したものも含まれる。樹高は、基本的には測高ポールかブルメライスをを用いて測定した。ただし、隣接木と比較して目測で樹高を決定したものもある。樹高の括約は、樹高10~15m未満は0.1m、それ以上は0.5mである。

これらのデータのうち、胸高直径100cm以上のものはサンプル数が少ないため除外した。また、胸高直径の下限は、材積式(日本林業調査会、1970)の適用の下限(2cm括約で4cm)である3cmとした。したがって、実際の解析に使用したデータは $3 \leq D < 100$ cmである。

これらの樹種とそれぞれのサイズ範囲を表-1に示した。種数は66樹種で、総サンプル数は5,153個体である。サンプル数が最も多かったのはミズナラで、次いでコナラ、ブナ、クリ、ケヤキが多かった。樹種によりサンプル数がまちまちで、サイズ範囲に偏りがみられるものもあるが、それらの調整はいっさい行わなかった。また、径級ごとのサンプル数の調整も行われていない。なお、これらのデータの中には下層木も含まれている。

材積(V)は、この地方でふつうに用いられている立木幹材積表(林野庁計画課、1970)の富山・岐阜・愛知地方の広葉樹の材積式に胸高直径と樹高を代入して求めた。したがって、この時点では材積は実材積ではなく推定材積である。この材積式は、

$$\log V = a \cdot \log D + b \cdot \log H + c \quad \dots\dots\dots (1)$$

の形で(a 、 b 、 c はそれぞれ定数)、胸高直径4~10cm、12~20cm、22~30cm、32~60cm、62cm以上の5つの区分でそれぞれ異なる定数が与えられている。

III 解析方法と結果

1. 胸高直径と樹高、材積の関係

図-1は、 $D-H$ 関係を示したものである。胸高直径に対する樹高のばらつきは非常に大きかった。これは、様々な樹種が含まれている上、様々な立地条件のデータを含んでいるためである。また、樹高は胸高直径30~40cmで頭打ちになることがわかる。

図-2には、 $D-V$ 関係を両対数軸上に示した。両者の関係は、胸高直径が小さい部分では直線的であり、胸高直径が30cm前後で変曲点を持ち、それ以上の直径では傾きが緩やかになると

表一 解析に用いたデータの概要

樹種	サンプル数	最小直径 (cm)	最大直径 (cm)	最小樹高 (m)	最大樹高 (m)
ミズナラ	1115	3	97	2.5	25
コナラ	768	3	95.5	2.5	23.5
ブナ	516	3	89.4	3.5	27
クワ	350	3	53	3.9	22.5
ケヤキ	267	16.9	98.4	13	31
ホオノキ	226	3	48	4.2	21.5
アサデ	173	3	23.2	2.4	15
シラカンバ	168	3.3	37.2	4.2	24
ウダイカンバ	128	3	62.1	4.6	26.5
ウリハダカエデ	121	3	22.2	3	19.5
マルバマンサク	118	3	7.3	2.8	8.8
コウチカエデ	95	3	38.2	3.6	15
ウメミズナラ	93	3	21.3	4.4	14
ウヅクワ	88	3	10.2	3	8.8
エンジュ	78	3.3	37.3	3	17
ハクウンボク	58	3	14.5	4.3	13.5
イタヤカエデ	55	3.1	63	4.3	26
川ウツギ	51	3	9	3.6	6
ミズメ	45	3	76	3.9	20.5
エノキ	45	3	10	3.8	11
ダケカンバ	44	5	35	7	25
アオハダ	39	3.1	14.1	4.8	11
カスミザクラ	38	3	22.75	4	15.5
タムシバ	32	3	9.3	4.7	13.5
ウリカエデ	29	3	10.7	3.3	10.5
ミズキ	27	3	50.3	3.8	22.5
ハウチカエデ	24	3.4	9.75	3.5	8
キナンド	23	3	19.2	3.3	17
ヤマモミジ	22	3.2	19.4	3.3	11.5
アスキナシ	22	3	16	3.5	16
コナカエデ	22	3.2	11.4	4.4	10
クマシデ	20	3.9	13.3	5	11
カツラ	19	32.2	85	21.5	34
ハナキリ	19	4.8	72.5	5.2	21

樹種	サンプル数	最小直径 (cm)	最大直径 (cm)	最小樹高 (m)	最大樹高 (m)
シナキ	18	5.4	61.7	5	24
ヤマハンノキ	18	8	45	7	20
サツバキ	18	3.6	27.75	4.7	13
ヤマウルシ	17	3	10	3.8	7.8
ウラジロノキ	13	3.8	27.5	5.9	13.5
コハノネリコ	13	3.6	15.1	3.5	10
エノヤマザクラ	12	3	47.6	4.5	17
オオハクモジ	12	3	4.3	4.2	5.7
トナリノキ	11	10.5	96.4	7	25
スズナデ	11	4	6.1	4.4	6.6
ソコ	9	3.5	9.6	3.1	6.5
ヤマザクラ	7	5	9	6	10
カノツメ	6	4.3	24.2	4.9	15
ヤマボウシ	6	5.6	7.5	5.5	8
ダシゴウハイ	6	3.4	6.3	4.9	7
オオウラジロノキ	5	4.8	26.6	7.2	14
ヒツハナエ	5	3.75	8	4.5	9
ネジキ	4	3.2	6.5	3.2	7
イタエンジュ	3	8	12.4	9	12
ヤマチヨウジザクラ	3	3.4	9.2	5.1	7
アヲノキ	3	5.5	6.6	7	8
イヌナ	2	4.4	33.8	6.2	17
ササバ	2	5.8	19.5	4	10.5
カンボナシ	2	15.6	17.7	12	12
オオカメノキ	2	3.8	5.8	3.3	3.5
ハツコヤナギ	1	14.4		14	
サウケルミ	1	9.8		8	
スミ	1	8.4		6	
ナツハダ	1	3.2		3.1	
ネムノキ	1	3.2		5.1	
マユミ	1	5		6	
ヤマナラシ	1	7.5		10.6	
計	5153	3	98.4	2.4	34

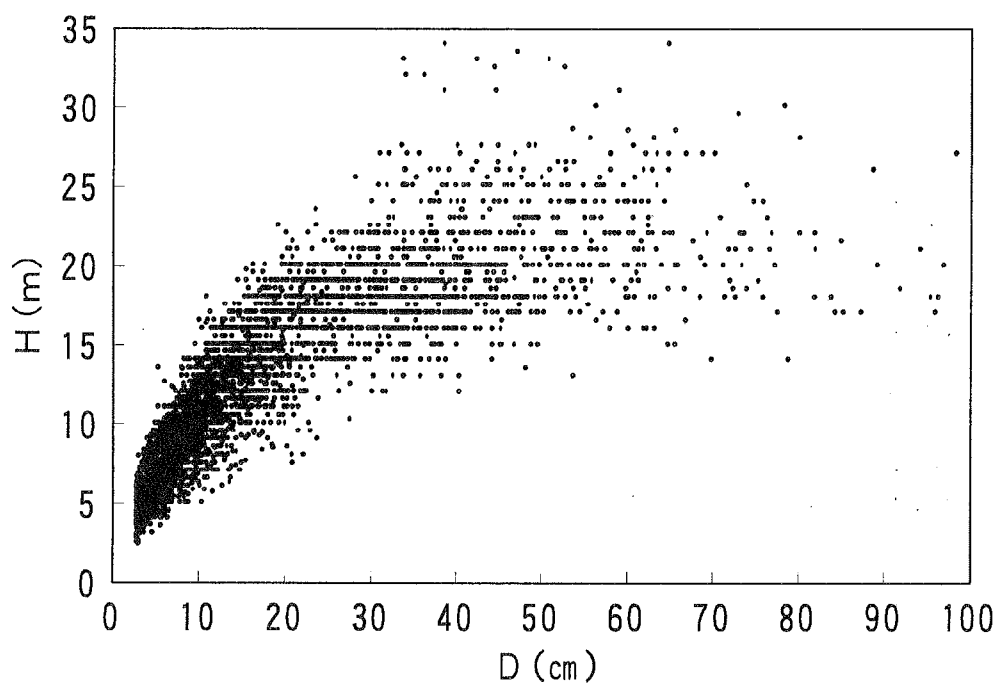


図-1 $D-H$ 関係

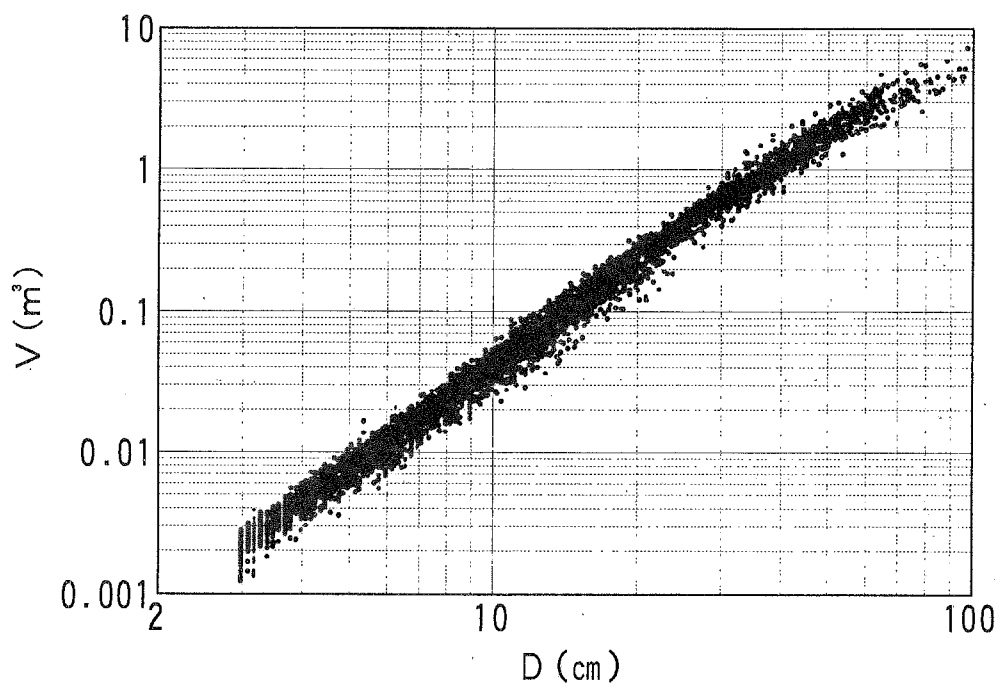


図-2 $D-V$ 関係

もに、やや上側に凸な関係を示すといえる。これは、樹高が胸高直径30~40cmで頭打ちになることによると考えられる。

ところで、胸高直径のみから材積を推定する方法には、次の二つが考えられる。一つは、 $D-H$ 関係から標準的な樹高曲線を決定し、胸高直径の実測値から樹高の推定値を求めてこれらを2変数材積式に代入するか、2変数材積式に樹高推定式を代入して1変数材積式の形に変換する方法である。もう一つは、 $D-V$ 関係から直接材積を推定する材積式を求める方法である。前者の方法では、材積を推定するまでに二つの段階を経なければならないが、1変数材積式の形に変換しても胸高直径階により5つの材積式を使い分ける必要があるため、どちらにしても作業が煩雑になる。そのため、本研究では後者の方法について検討することにした。

2. 材積式の検討

これまでに提案されている主な1変数材積式は、次のとおりである(南雲・箕輪, 1990; 林友会北海道支部, 1948)。

Kopenzky-Gehrhard式

$$V = a \cdot D^2 + b \quad \dots\dots\dots (2)$$

Hohenadl-Krenn式

$$V = a \cdot D^2 + b \cdot D + c \quad \dots\dots\dots (3)$$

フランス式:

$$V = a \cdot D^2 - b \cdot D \quad \dots\dots\dots (4)$$

Berkhout式

$$V = a \cdot D^b \quad \dots\dots\dots (5)$$

戸沢式

$$V = \frac{a \cdot D^3}{1 + D} \quad \dots\dots\dots (6)$$

北海道式

$$V = a \cdot D^b \cdot c^D \quad \dots\dots\dots (7)$$

ここで、 a 、 b 、 c は定数である。まず、それぞれの材積式の定数を D 、 V とも真数を用いて、式(2)~(4)は最小2乗法により、式(5)~(7)は反復計算法により求め、式(2)'~(7)'を得

た。

$$V = 0.0006565 \cdot D^2 - 0.01212 \quad (R^2 = 0.9565) \quad \dots\dots\dots(2)'$$

$$V = 0.0005878 \cdot D^2 + 0.004705 \cdot D - 0.05639 \quad (R^2 = 0.9580) \quad \dots\dots(3)'$$

$$V = 0.0006431 \cdot D^2 + 0.0004366 \cdot D \quad (R^2 = 0.9564) \quad \dots\dots\dots(4)'$$

$$V = 0.0008866 \cdot D^{1.924} \quad (R^2 = 0.9577) \quad \dots\dots\dots(5)'$$

$$V = \frac{0.0006633 \cdot D^3}{1 + D} \quad (R^2 = 0.9560) \quad \dots\dots\dots(6)'$$

$$V = 0.00005629 \cdot D^{2.881} \cdot 0.9818^D \quad (R^2 = 0.9652) \quad \dots\dots\dots(7)'$$

これらの材積式の決定係数はいずれも高かった。図-3は、それぞれの材積式における相対誤差(RE)の胸高直径に対する分布を示したものである。ここで相対誤差とは、

$$RE = \frac{V' - V}{V} \quad \dots\dots\dots(8)$$

とした。ここで、 V' ：材積式で計算した材積である。

データの胸高直径に対する樹高の値にばらつきが大きい、これに起因する誤差はある限界以上に小さくすることは不可能である。そのため、ここでは誤差の分布のしかたを検討することが重要である。いずれの材積式の誤差の分布も胸高直径が大きい部分ではおおむね0を中心に均等に分布する傾向がみられるが、胸高直径が小さいほど正あるいは負の特定の方向に偏って分布していた。これは、真数によって材積式を決定したために生じたと考えられる。すなわち、小径木と大径木とでは材積のオーダーが3桁違うために、計算の過程で材積の値が大きい部分の比重が大きくなったのであろう。

式(2)'～(7)'の中では(7)'が決定係数が高く、誤差の分布も他と比べれば均質であったが、推定材積が小径木で過小になり大径木でやや過大になるため、実用的とはいえない。そこで、式(2)～(7)の両辺を対数変換して、式(9)～(14)で再度定数を求めた。その際、式(12)は最小2乗法、それ以外は反復計算法により計算した。

$$\ln V = \ln(a \cdot D^2 + b) \quad \dots\dots\dots(9)$$

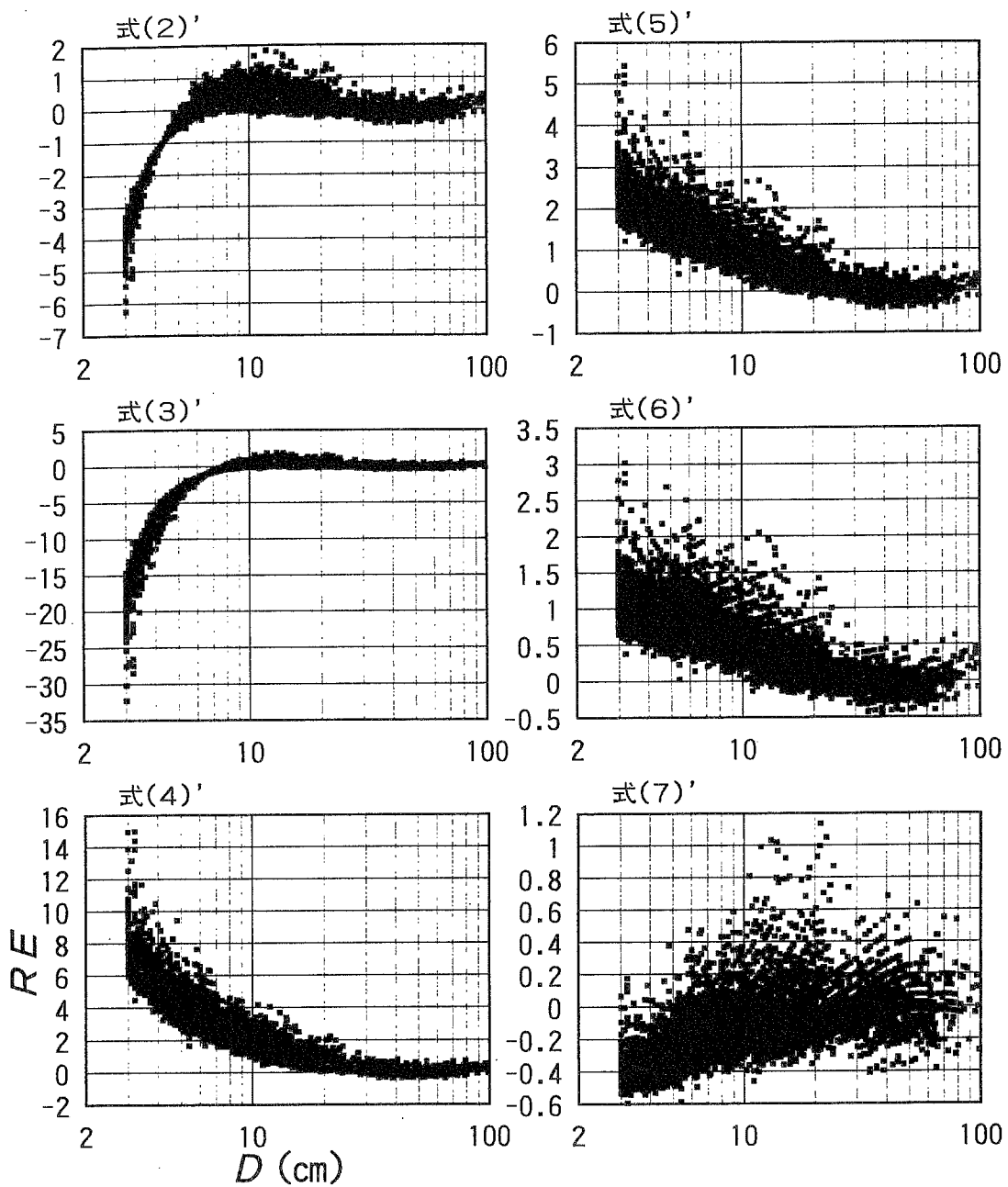


図-3 誤差の分布(1)

$$\ln V = \ln(a \cdot D^2 + b \cdot D + c) \dots\dots\dots (10)$$

$$\ln V = \ln(a \cdot D^2 - b \cdot D) \dots\dots\dots (11)$$

$$\ln V = a' + b \cdot \ln D \dots\dots\dots (12)$$

(ただし、 $a' = \ln a$)

$$\ln V = a' + 3 \cdot \ln D - \ln(1 + D) \dots\dots\dots (13)$$

(ただし、 $a' = \ln a$)

$$\ln V = a' + b \cdot \ln D + c' \cdot D \dots\dots\dots (14)$$

(ただし、 $a' = \ln a$; $c' = \ln c$)

その結果、式(9)' ~ (14)'を得た。

$$\ln V = \ln(0.0004815 \cdot D^2 - 0.002869) \quad (R^2 = 0.9849) \dots\dots\dots (9)'$$

$$\ln V = \ln(0.0007068 \cdot D^2 - 0.003583 \cdot D + 0.006850) \quad (R^2 = 0.9911) \dots\dots\dots (10)'$$

$$\ln V = \ln(0.0005629 \cdot D^2 - 0.001180 \cdot D) \quad (R^2 = 0.9873) \dots\dots\dots (11)'$$

$$\ln V = -8.804 + 2.410 \cdot \ln D \quad (R^2 = 0.9912) \dots\dots\dots (12)'$$

$$\ln V = -7.681 + 3 \cdot \ln D - \ln(1 + D) \quad (R^2 = 0.9914) \dots\dots\dots (13)'$$

$$\ln V = -9.016 + 2.553 \cdot \ln D - 0.008505 \cdot D \quad (R^2 = 0.9919) \dots\dots\dots (14)'$$

これらを真数の形に変換すると、

$$V = 0.0004815 \cdot D^2 - 0.002869 \dots\dots\dots (9)''$$

$$V = 0.0007068 \cdot D^2 - 0.003583 \cdot D + 0.006850 \dots\dots\dots (10)''$$

$$V = 0.0005629 \cdot D^2 - 0.001180 \cdot D \dots\dots\dots (11)''$$

$$V = 0.0001501 \cdot D^{2.410} \dots\dots\dots (12)''$$

$$V = \frac{0.0004613 \cdot D^3}{1 + D} \dots\dots\dots (13)''$$

$$V = 0.0001215 \cdot D^{2.553} \cdot 0.9915^D \dots\dots\dots (14)''$$

図-4は、式(9)''～(14)''の誤差の分布を示したものである。真数を用いたときに比較するといずれも誤差の分布は均質になった。この中で最も誤差が均質に分布していたのは式(14)''で、これは決定係数も一番高かった。式(10)''の誤算分布もこれら以外のものに比較すると均質であるといえるが、式(14)''と比較すると誤差分布が波打っていた。式(10)''と式(14)''について残差の平方和を計算したところ、式(10)''では102.07、式(14)''では97.37となり、式(14)''の方が精度が高いことが確認された。

式(2)は高田(1957)が、式(5)は梶原(1965)が用いた式で、それぞれ林分ごとの $D-V$ 関係をよく表すと報告されている。この検討でそれらを含めて式(2)～(6)の当てはまりが悪かったのは、これらの式が同一林分といったごく限られた範囲での適用が前提となっていることに起因すると考えられる。すなわち、今回対象としたデータは樹種や立地環境、林齢が異なる多くの林分から収集したものであるため、胸高直径の範囲が広くなり、そのために胸高直径の増加に対する樹高の頭打ちがはっきりと現れ、それが大径木での材積の増加率の減少を引き起こし、そのことが当てはまりの悪さに影響していると考えられる。これに対して、式(7)は北海道という地域での標準材積式として調整されたものであり、 $0 < c < 1$ であれば両対数軸上で上に凸な曲線になる構造をしているため当てはまりが良かったものといえる。

IV 結 論

以上の検討結果から、岐阜県飛騨地方における広葉樹の1変数材積式としては、北海道の式の形で与えられる

$$V = 0.0001215 \cdot D^{2.553} \cdot 0.9915^D \dots\dots\dots (14)''$$

が最も適していると結論できる。なお、この材積式の適用範囲は、 $3 \leq D < 100\text{cm}$ である。付表-1は、この材積式による材積表である。

この材積式あるいは材積表は、ある程度以上の精度を必要とするときには使用すべきではない。しかし、樹高の情報がない場合や極めて簡便な林分調査を行う際には有効である。

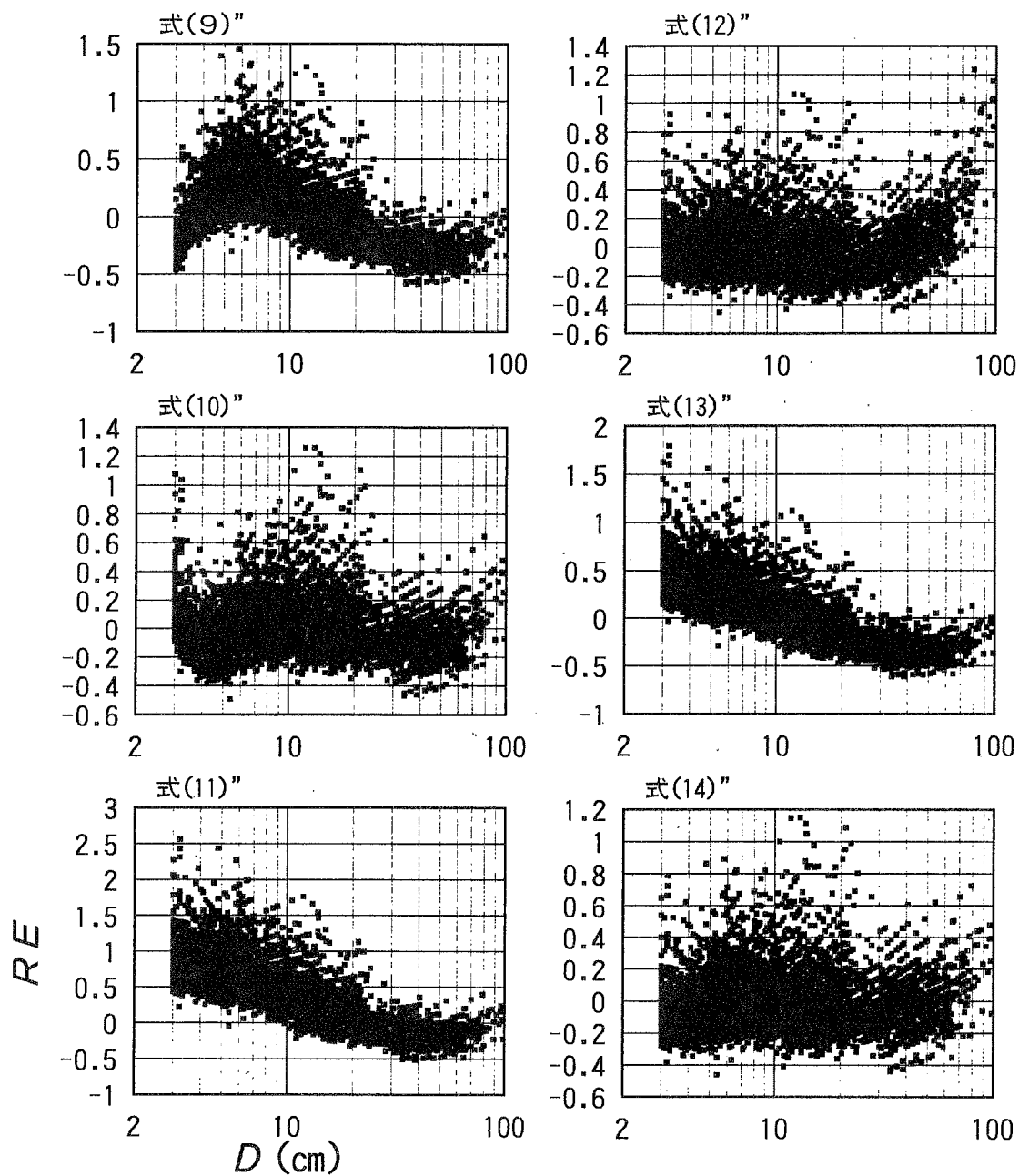


図-4 誤差の分布(2)

文 献

- 梶原幹弘(1965)：新しい立木材積表の調整に関する研究(2)．各林分の幹材積曲線の性質について．日林誌65, 58-66.
- 南雲秀次郎・箕輪光博(1990)：測樹学．243pp. 地球社, 東京.
- 大隅眞一編(1987)：森林計測学講義．287pp. 養賢堂, 東京.
- 林野庁計画課(1970)：立木幹材積表(西日本編)．319pp. 日本林業調査会, 東京.
- 林友会北海道支部(1948)：材積表．46pp. 林友会北海道支部, 札幌.
- 高田和彦(1957)：胸高断面積による材積推定の研究(第3報)．普遍的1変数材積表について．日林誌39, 255-259.

付表－1 飛騨地方における広葉樹の1変数材積表

胸高直径(cm)	材積(m ³)	胸高直径(cm)	材積(m ³)
4	0.004	52	1.875
6	0.011	54	2.030
8	0.023	56	2.190
10	0.040	58	2.355
12	0.062	60	2.524
14	0.091	62	2.699
16	0.126	64	2.877
18	0.167	66	3.060
20	0.215	68	3.246
22	0.269	70	3.437
24	0.331	72	3.631
26	0.399	74	3.828
28	0.474	76	4.029
30	0.555	78	4.232
32	0.644	80	4.439
34	0.739	82	4.648
36	0.840	84	4.859
38	0.948	86	5.073
40	1.063	88	5.289
42	1.184	90	5.507
44	1.310	92	5.726
46	1.443	94	5.947
48	1.582	96	6.170
50	1.726	98	6.394