

## 樹形構築解析システム (CACOAS) に用いる数種落葉果樹 のパラメータ類の収集とその精度の検討

山本隆儀・野口マキ・松林美樹・菊地雄一郎・草村 誠・今野拓道・谷澤佳美  
山形大学農学部生物生産学科農業生産学講座  
(平成18年10月2日受理)

Collection of Parameters in Several Deciduous Fruit Trees for Canopy  
Constructing and Analyzing System of Fruit Trees (CACOAS) and their Precisions.

Takanori YAMAMOTO, Maki NOGUCHI, Miki MATSUBAYASHI, Yuichiro KIKUCHI,  
Makoto KUSAMURA, Takumichi KONNO and Yoshimi YAZAWA  
Section of Agricultural Production, Department of Bioproduction, Faculty of Agriculture,  
Yamagata University, Tsuruoka, 997-8555, Japan  
(Received October 2, 2006)

### Summary

Several parameters for Canopy Analyzing and Constructing System of Fruit Trees (CACOAS) were collected from apple 'Fuji', cherry 'Satou Nishiki', persimmon 'Hiratanenashi' and pear 'La France', and its precision was examined. From data measured by a stereophotogrammetry, we obtained significant formulas of multiple regression (MR) to estimate seven shoot characters in every cultivars. Most of the contribution ratios increased by adding interaction terms (products of 2 characters) to the previous group of explanatory variables. As a technique to bring distribution of shoot characters to be close to actual one, the previous CACOAS has used a method (MR+MCSa), which combined MR with a Monte Carlo simulation (MCS) using a normal distribution curve with residual standard error from MR as the standard deviation (SD). In the present study, we newly examined another method (MR+MCSb). At each time to calculate a character, MR+MCSb used a different normal distribution curve with an individual SD of the residual, where the SD fluctuated with a level of estimated value of a character from MR. The MR+MCSb improved distributions of many shoot characters. In addition, we examined two kinds of MCSs using measured data distributions (MCSc and MCSd) and found that these methods were effective for shoot characters distributions having of accidental errors in which coefficient of variation in the MR were low. Another parameters for CACOAS to estimate yearly thickening of branches were collected in the 4 cultivars. The contribution ratios in the most MRs increased by adding interaction terms (product of 2 characters) to the previous group of variables. We added to CACOAS a new function which could estimate fruit position in a crown, and collected parameters necessary for these. Significant formulas to estimate number of reproductive organs were obtained from MR using branch characters in the 4 cultivars. Distributions of fruit bearing calculated from MR were compared with the actual ones. As these parameters were made to have an identical style regardless of fruit tree species, we could make a general program for CACOAS of all-purpose type, in which users could change a parameter file only.

**Key words:** branch character, fruit bearing position, Monte Carlo simulation, stereophotogrammetry, yearly thickening of branch

---

キーワード : 枝の特性値, 果実着生部位, モンテカルロシミュレーション, 立体写真測量, 枝の年肥大量

## 緒 言

光環境改善, 低樹高化, 機械化対応などを目的とする樹形選択試験や剪定方法開発試験はその実施が大変困難である。筆者らは上記試験の効率化にとって, コンピュータの利用が役立つと考え, 最近リンゴ‘ふじ’を対象に樹冠情報の長期予測を目的とした果樹の樹形構築解析システム(以下, CACOAS)の開発に取り組み, その中味を公表した(山本ら, 2003)。CACOASは, たとえば, 20年間の樹形の構築と樹冠情報の収集を極く短時間(1樹形約45分間)に行うとともに, 出力結果の一つである葉量の非ランダム分布データを果樹園光環境解析システム(山本ら, 1999)に渡すことができるので, 果樹樹冠内放射分布の解析も可能である。筆者らは開発後間もないCACOASを用いて, リンゴ‘ふじ’の100種類以上の樹形を構築するとともに, 光環境改善, 低樹高化, 機械化対応などに関する多くの樹冠情報を入手した(山本・岩波, 2005)。また, これと併行して, CACOASを他の樹種に拡張すべく, オウトウ‘佐藤錦’, カキ‘平核無’およびセイヨウナシ‘ラ・フランス’に対応したシステムを作成した(山本・松林, 2004; 山本ら, 2005; 山本ら, 2006)。CACOASの多くのステップのうち, 毎年発生する個々の新梢の形状・発生習性(以下, 新梢特性値)を推定し, その空間座標を計算するステップおよび毎年個々の枝の肥大処理を施すステップはCACOASの中核の部分であり, これらに必要なパラメータを上記品種から収集した(山本・松林, 2004; 山本ら, 2005; 山本ら, 2006)。

上述のように, CACOASの有効性に加え, 広範囲の果樹への拡張可能性が確認されたが, そこに用いられたパラメータの形式は樹種間で不統一のままであった。よって, CACOASプログラムの中味は樹種により異なった。パラメータ形式を統一すれば, CACOASプログラムを同一にでき, 汎用的なCACOASの作成が可能になる。また, CACOASの有効性をもっと高めるには, そこで用いられるパラメータ類の精度向上が重要である。

CACOAS機能の一層の拡充にも取り組む必要がある。果実生産性の高い樹形・樹冠形の選択, 結果部の光環境の改善, 結実管理や果実収穫などの作業労働の省力化などは果樹栽培上重要であり(塩崎ら, 1995; Smithら, 1992), これらに役立つ情報を入手することもCACOAS作成当初からの課題であった。このためにはCACO-

ASに果実着生部位を推定計算および表示する機能を具備する必要がある。また, これに必要なパラメータを入手せねばならない。

以上のことから, 本報は, 上記3種類のパラメータに関する4品種のデータが揃った段階をふまえ, 汎用的CACOASの作成を念頭においたパラメータ類の再計算を行い, 統一した形式に改めたものである。さらにパラメータ類の推定精度に関する検討結果を記したものである。

## 材料および方法

### 1. 新梢特性値推定パラメータの収集方法

新梢特性値推定ステップはCACOAS中核部分でもあり, 信頼性の高いパラメータを得るためには, 相当数の測定データを必要とする。これを用具により実測することは大変困難である。筆者らは実測法に代わって, 立体写真測量法(日本写真測量学会・解析写真測量委員会, 1989; 山本ら, 2006)の使用をリンゴ‘ふじ’で試みたところ, その測定効率性は格段に良かった(山本ら, 2003)。したがって, 他の樹種でもこの方法を用いた。立体写真測量に必要な左右写真の撮影には以下の実験材料を用いた。リンゴでは, 2002年12月に, 山形大学農学部付属農場に栽植された21年生のマルバカイドウ台‘ふじ’4本を用い, 約100組の枝群の左右写真撮影を行った。オウトウでは, 2002年12月に山形大学農学部実験果樹園に栽植された13年生アオバザクラ台‘佐藤錦’3本を用い, 約80組の枝群の左右写真撮影を行なった。カキでは, 2003年12月に上記付属農場に栽植された16年生の共台‘平核無’6本を用い, 約100組の枝群の左右写真撮影を行なった。セイヨウナシでは, 2003年の12月および2005年の3月に上記実験果樹園に栽植された15年生(2005年当時)のヤマナシ台‘ラ・フランス’4本を用い, 合計約160組の枝群の左右写真撮影を行なった。

なお, 本研究の調査対象枝およびCACOAS内で扱う枝の呼び方について解釈上の混乱が起きないように, ここで統一しておきたい。毎年あらたに発生する枝を新梢とし, この新梢が発生する時点で, 枝齢がこれよりも1年高い枝を1年生枝, 2年高い枝を2年生枝とした。また, 枝齢を特定しないまま, 対象枝に対する枝齢の高低関係を記す場合には, 親枝あるいは子枝などとした。

写真撮影は以下のように行なった。透明アクリル樹脂

製の細いパイプを左右、前後および上下に走るように組み立て、この上に合計7個の標識を分散させて取り付けられた軽量の立体写真撮影用基準点 (GCP) セットを作製した。この場合、基準点セットの中央標識が基準点座標系の原点になるように各標識の空間座標を計測した。さらに、簡単に枝に吊るすことができるように2ヶ所にハンガーのフック部分を取り付けた。落葉後、対象枝群のほぼ中央に基準点セットを垂直に吊るし、三脚を用いて左右写真を撮影した。この際、三脚を左右にずらした水平距離を物差しで測った。基準点セットの中央標識が真正面になるようにしてから、中央標識に焦点を合わせ、レンズ部のリング距離計で撮影距離を読み取った。三脚を左右にずらしたときの水平距離でこの撮影距離を割った値を基線比とした。基線比が約7になるように三脚の位置を調節した。撮影のたびに、おおよその撮影方角を計測記録した。撮影は市販カメラ (オリンパスOM40) に焦点距離35mmの広角レンズを取り付け、モノクロネオパンSSフィルムを用いて行った。

フィルムを現像後、フィルムスキャナ (EPSON社、

FS-1300 WINS) と画像解析処理ソフトウェア (DigiMo社、Image Hyper II) を用い、取り込み解像度を2400dpiにして、写真画像をパソコンに取り込んだ。立体写真測量法のソフトウェア (アジア航測社、計測名人) を用い、左右の写真組につき、最初に標定解析を行い、単モデル法で標定計算を行った後に偏位修正画像を作成した。次に、写真内基準点セット付近の数本の1年生枝を選び、それぞれについて、その親枝の2年生枝および子枝である全ての新梢を1組の計測対象枝グループとし、これら全ての枝のストリング計測を行なった。1組の計測対象枝グループの中から、2年生枝→1年生枝→新梢→新梢…の順に、各枝の中心軸4点~14点、基部直径に関連した各2点および先端部直径に関連した各2点の3次元座標を計測した。1点の計測のたびに、計測名人からはストリング名に続いてx座標、y座標およびz座標の3個の数値データが出力された。ストリング名 (8桁の数字・文字にハイフン記号をはさんで2桁の数字を加えたもの) に工夫を凝らし、後述の自作プログラムがこのストリング名を解読できるようにした。

Table 1. Abbreviations of variables used in the multiple regressions of shoot characters and their units.

Variables	Abbreviation	Unit
Order of annual branch	B	
Total number of annual branches	C	
Branching angle of annual branch	D	°
Basal diameter of annual branch	E	cm
Terminal diameter of annual branch	F	cm
Annual branch length	G	cm
Inclination angle of annual branch	H	°
Direction angle from south of annual branch	I	°
Radius of curvature of annual branch	J	cm
Order of shoot	K	
Total number of shoot	L	
Distance of shoot base from annual branch base	M	cm
Length of shoot	N	cm
Basal diameter of shoot	O	cm
Terminal diameter shoot	P	cm
Branching angle of shoot	Q	°
Radius of curvature of shoot	R	cm
Zenithal angle of shoot <sup>z</sup>	S	°
Degree of apical dominance of annual branch (=B/C)	X	
Degree of apical dominance of shoot (=K/L)	Y	
Interaction of X and Y (=XY)	Z	

<sup>z</sup>Zenithal angle of a direction in which a shoot generated on an annual branch.

上記立体写真測量データを用いて、自作プログラムにより各特性値を計算した。1年生枝の特性値には、2年生枝上における1年生枝総数、発生順番、発生点の2年生枝基部からの距離、長さ、基部直径、先端部直径、分岐角度、曲率半径、傾斜角度および方位角度が含まれた。新梢の特性値には、1年生枝上における新梢総数、発生順番、発生点の1年生枝基部からの距離、長さ、基部直径、先端部直径、分岐角度、曲率半径、枝序角度、傾斜角度および方位角度が含まれた。データ入手後、各特性値間の散布図を作成し、データの異常値を検討し、修正可能なところは修正、修正不可能なところは削除した。最終的に、リングでは1197本、アウトウでは569本、カキでは789本およびセイヨウナシでは662本の新梢に関連した特性値群を入手した。上記特性値のうち、枝序角度は枝の発生する方向をその親枝の地軸線から反時計方向に計った角度であった。ただし、回転角度であるため、重回帰分析には無意味な説明変数値になるため、枝が発生する方向と天頂線とがなす角度に変換した（以下、枝序天頂角度、zenithal angle of branch）。さらに、1年生枝および新梢の頂部優勢性の指標として、枝の発生順番をその親枝上に発生した枝の総数で割り、特性値に追加した（以下、それぞれ、1年生枝優勢度および新梢優勢度）。さらに、上記2つの頂部優勢性の積も特性値に追加した。

重回帰分析はSASのREGプロシジャのSTEPWISE法を用いた。重回帰分析に用いた説明変数には上記特性値（第1表）の他に、これらの2乗値、3乗値および全特性値総当りに組み合わせた一次の交互作用項（2特性値の積）を準備した。ただし、CACOAS内での推定手順により説明変数に用いる特性値の範囲が制限されるため、上記の乗値や交互作用項も同様に限定された。上記の注意を払いながら、1年生枝の全特性値および新梢の推定済み特性値、これらの2乗値、3乗値および一次交互作用項を順次説明変数として加えながら、新梢の各特性値の重回帰推定式を求めた。なお、交互作用項の使用はこれまでの重回帰分析の方法（山本ら、2003；山本ら、2004；山本ら、2005）を改めた部分であった。

## 2. 枝齢の上昇に伴う枝の年肥大量を推定するパラメータの収集方法

一般に枝齢と枝の直径の単相関はかなり高いので、枝齢の異なる枝の直径を数多く計測し、これらのデータに

基づく回帰推定式により、枝齢上昇に伴う枝直径の増大量を推定計算できる。しかし、CACOASにおいては、枝齢だけでなく、剪定などに伴って変動する多くの枝の特性値の影響も反映させながら、個々の枝の年肥大量を推定する必要がある。よって、本実験では枝齢以外の枝の特性値も併せて計測した。ただし、着葉数や着果数などの落葉前の計測が必要である理由から、立体写真測量法によらず、以下に示す用具を用いて実測した。測定項目は、対象枝とその親枝のそれぞれについて、枝齢、基部直径、先端部直径、その親枝上の同齢枝の総数、発生順番、長さ、傾斜角度、方位角度、分岐角度、曲率半径および枝序角度であった。このほか、測定対象枝上の全ての枝（子枝、孫枝など）の総数、着葉総数および着果総数を計測記録した。

基部直径と先端部直径はデジタルノギスで測定した。傾斜角度は錘つき分度器の底辺を枝の平均的な傾きに平行になるように当て、糸が分度器の中央線（90度線）となす角度を1度刻みで読み取り、枝先端部が上向きときは正、下向きときは負の符号をつけた。樹列方向を目安にして鉄パイプを南北方向に向けて地面に置き、これに平行になるように16方位の方向板を測定枝の真下に置き、枝の先端部を南から東まわりに読み取り、方位角度とした。湾曲した枝を弓と見なし、弓の弦に相当するように物差しを張り、弦の長さ（a）を測り、また、弓と弦の最大垂直距離（h）を物差しで測定し、公式（宮本敏雄・松田信行、1964）により曲率半径Rを計算した((1)式)。

$$R = (a^2 + 4h^2) / (8h) \quad (1)$$

なお、短枝では曲率半径の測定は困難であったため計測せず、一定値を与えた。母枝の基部から数えた子枝の順番を数え、発生順番とした。母枝基部からの距離は巻尺で測った。分岐角度は母枝の先端部点、子枝の発生点、および子枝の弧のほぼ中間点のなす角度を分度器で測った。中心部分をくりぬいた分度器のくりぬいた部分を母枝に垂直にあてがい、その分度器面上で子枝の発生方向と地軸方向とのなす角度を反時計方向に読み取り、枝序角度とした。なお、1.と同様に、枝序角度は枝序天頂角度に変換した。

リングでは、山形大学農学部実験果樹園に栽植されている17年生のM26台「ふじ」2本を用い、1999年9月および10月上旬に、新梢から10年生枝までの各6本について計測した。いずれも対象枝とその親枝を対にして計測



した（他の樹種も同様）。オウトウでは、同実験果樹園に栽植されている18年生のアオバザクラ台‘佐藤錦’2本を用い、2002年の7月上旬に新梢26本、1年生枝28本、2～4年生枝各約10本、5～10年生枝各約5本、16～18年生枝各2本について計測した。カキでは、同実験果樹園に栽植されている51年生の共台の‘平核無’2本を用い、1999年9月中旬から10月上旬に新梢および1～10年生の各枝6本について計測した。セイヨウナシでは、同実験果樹園に栽植されている20年生のヤマナシ台の‘ラ・フランス’2本を用いて、1999年10月下旬に新梢および1～8年生の各枝6本について計測した。いずれの品種でも、上記以外の枝齢が高い枝についても測定したが、個数が少なく、個体差が非常に大きかったため、最終的データから除外した。

計測した特性値のうち、基部直径あるいは先端部直径を目的変数とし、これ以外の全特性値、一部の特性値の2乗値、3乗値および特性値間の交互作用項（2特性値の積）を説明変数として、SASのREGプロシジャのSTEPWISE法で重回帰分析を行った。説明変数として交互作用項を使用したことはこれまでの重回帰分析（山本ら、2003；山本ら、2004；山本ら、2005）を改めた部分であった。データ数が少なかったため、全特性値の2乗値、3乗値および全特性値間の交互作用項を用いると重回帰分析計算が不可能になったため、上記の一部に限定した。CACOAS内の枝肥大処理ステップでは、対象枝の基部直径を上記重回帰式で推定したうえで、さらに、枝齢以外の説明変数は全て同じにしたまま枝齢のみ1年増やし、基部直径をもう1回推定し、2つの重回帰推定値の差を、対象枝の基部の年間肥大量とした。そして、すでに、新梢発生ステップで推定され、もしくは、前年の肥大処理ステップで記憶された基部直径に加えられた（先端部直径についても同様）。

### 3. 果実着生部位を推定するパラメータの収集方法

緒言に記したCACOASの目的に照らせば果実着生部位の空間座標を計算する機能と果実着生部位を表示する機能を付与する必要がある。CACOAS内で推定される枝の特性値を手掛かりとして、果実着生可能な枝をまず特定し、次に、結実管理的要因（摘果）や生理落果割合を用いて果実着生枝を最終決定せねばならない。どのような枝のどの部位に果実が着生するか、いわゆる、結果習性は樹種に特有なものとして明らかにされているが

（小林 章，1968；黒上泰治，1967；黒上泰治，1968），いずれも定性的な記述にとどまり、各果樹の結果習性と枝の特性値との間の数量的関係は必ずしも明らかでない。したがって、本報では、枝の特性値を用いた果実着生部位推定の可能性を検討した。とはいえ、果実着生は栄養状態など多くの他の要因にも関係することから、その推定精度についても検討する必要があった。CACOASにおける果実着生部位推定ステップは、新梢発生ステップの後であるので、全ての枝の特性値が揃っている。したがって、果実着生部位推定計算に必要なパラメータ算出のためのデータを入手するには、果実着生の有無と関連付けて枝の全特性値を実測する必要があった。また、果実や花の着生に関する調査であったことから、落葉後に行うことができず、よって、立体写真測量法は利用できなかった。また、樹種によってその調査方法には相当の違いがあった。たとえば、通常、摘果しないオウトウでは、生理落果などによって、最終的に果実着生部位が決まるので、調査対象は1年生枝当たり果実数であった。他方、摘果が必須のものの中にも、花そう数に対して一定の割合で花そうを残し、その中心花あるいは側花を残すリングあるいはセイヨウナシでは、その調査対象は前年生枝当たり花そう数であった。また、摘花（摘らい）を行うカキでは、その調査対象は新梢当たり花数であった。これらの生殖器官の数と関連付けて調査した枝の特性値の調査方法は、2. に記した枝の年肥大量推定パラメータの収集方法（用具を用いた実測）にほぼ準じたので、ここでは省略する。

リングでは、2003年5月上旬に、山形大学農学部付属農場に栽植されたマルバカイドウ台21年生‘ふじ’3樹より約200本の1年生枝を選び、これが着生した2年生枝および3年生枝も含めて調査した。オウトウでは、2002年6月上旬に、山形大学農学部実験果樹園に栽植されているアオバザクラ台13年生‘佐藤錦’2本より約100本の1年生枝を選び、これが着生した2年生枝および3年生枝も含めて調査した。カキでは、2003年5月に、上記実験圃場内で栽植されている共台の55年生‘平核無’12本の中から約200本の新梢を選び、これが着生した1年生枝および2年生枝も含めて調査した。セイヨウナシでは、2003年5月に、上記実験圃場に栽植されているヤマナシ台13年生‘ラ・フランス’3本から250本の1年生枝を選び、これが着生した2年生枝および3年生枝も含めて調査した。なお、‘ラ・フランス’枝の特性値調査

は着生花そう数の調査時期より後に行ったこと、および、5月の不時の強風被害により調査ラベルをつけたまま多く落果したため、最終的には約100本の1年生枝に関するデータにとどまった。

### 結果および考察

#### 1. 新梢特性値推定パラメータ

1) 新梢特性値の推定順序および各特性値間の相互関係  
CACOASにおいては、新梢より枝齢の高い全ての枝の特性値が確定していることを前提に、1年生枝および

2年生枝の特性値を説明変数に用いながら、最初に1年生枝当たりの新梢総数を推定する。次に、新梢総数も説明変数に加えて、最基部（1番目）の新梢の発生点（1年生枝基部からの距離）を推定する。次に、この基部からの距離も説明変数に加えて新梢長を推定する。このような方法を繰り返しながら、新梢他の特性値を順次推定する。ただし、これまでの樹種ごとのCACOASの作成作業において、この特性値の推定（計算）順序については4樹種間で統一しなかった（山本ら, 2003; 山本ら, 2004; 山本ら, 2005; 山本ら, 2006）。そこで、緒言に記した目的（汎用型CACOASの作成）に照らし、この

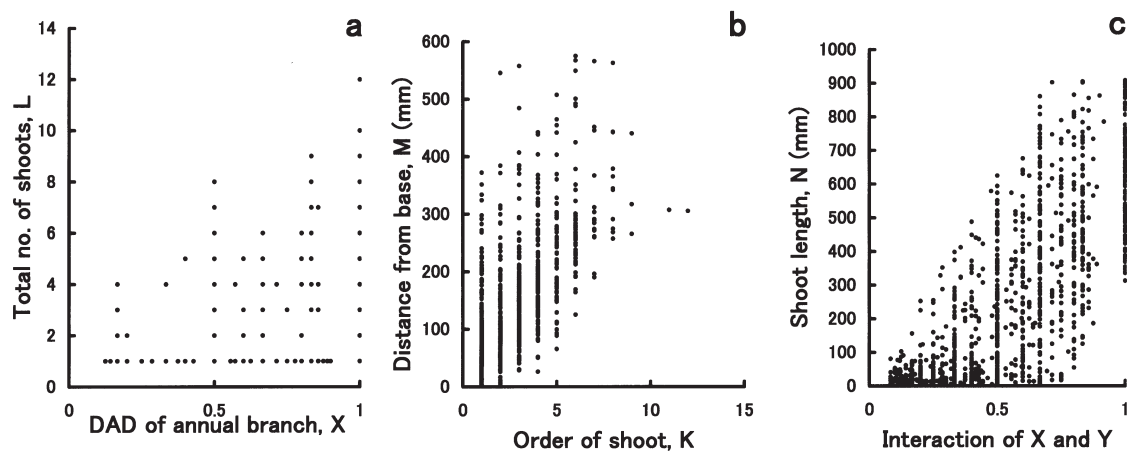


Fig. 1. The relations between the shoot characters and several branch characters in apple 'Fuji'. The abbreviations of the characters and DAD (Degree of apical dominance) refer to Table 1.

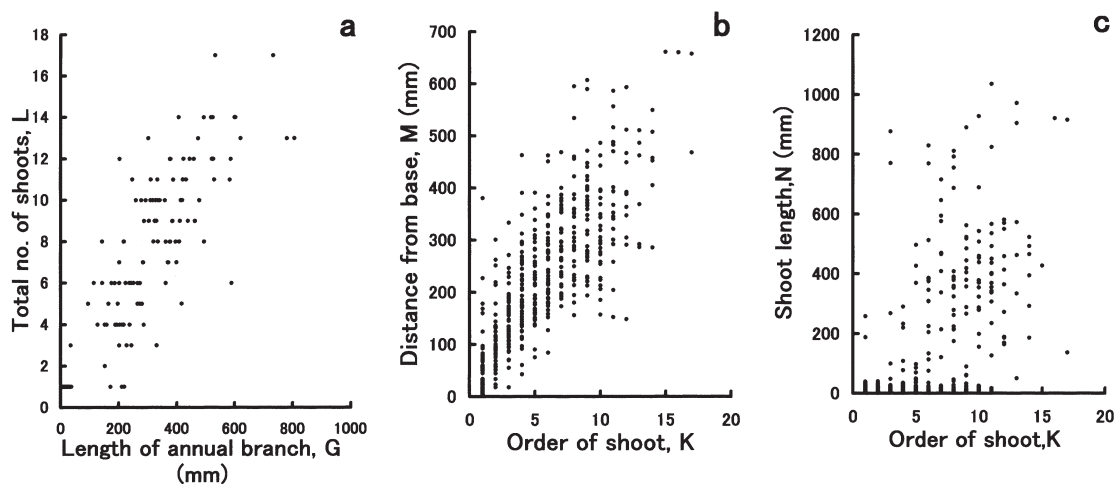


Fig. 2. The relations between the shoot characters and several branch characters in cherry 'Satou Nishiki'. The explanation of the figure refer to Fig. 1.

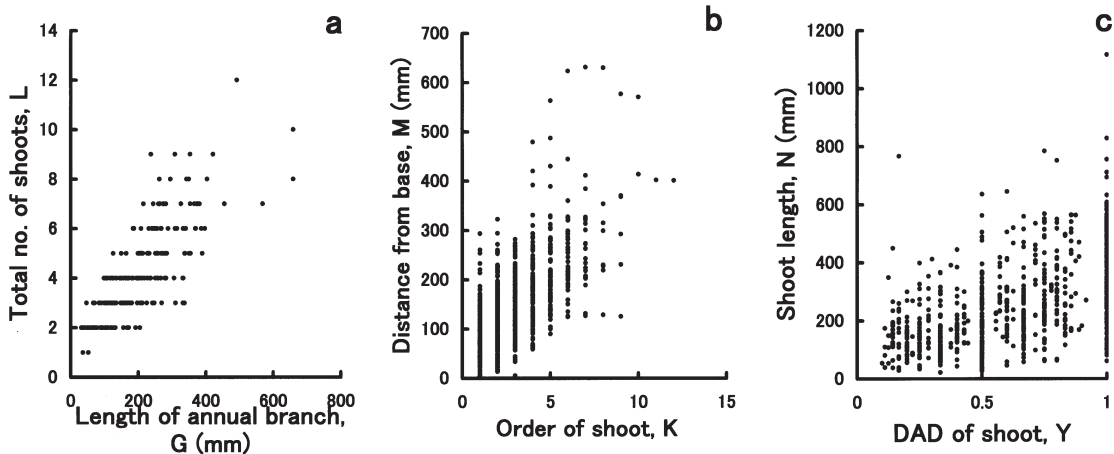


Fig. 3. The relations between the shoot characters and several branch characters in persimmon 'Hiratanenashi'. The explanation of the figure refer to Fig. 1.

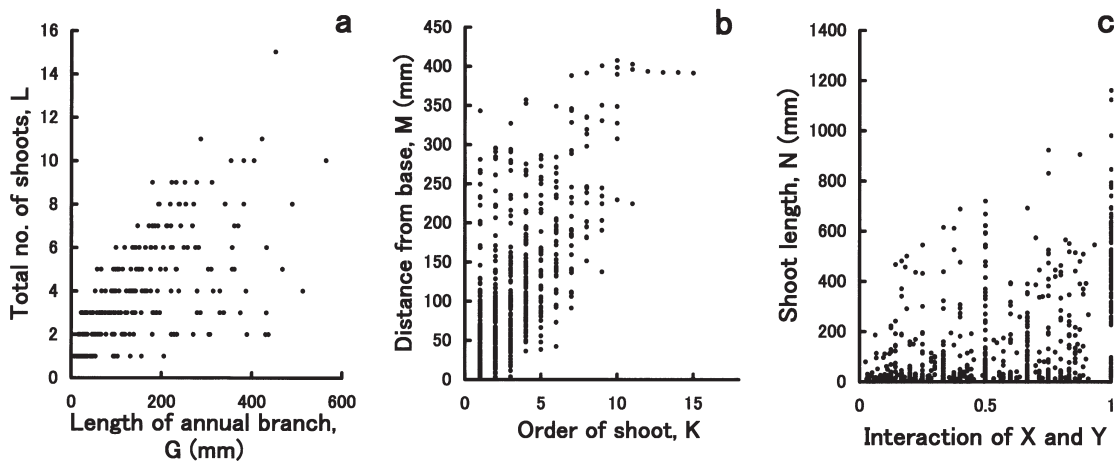


Fig. 4. The relations between the shoot characters and several branch characters in pear 'La France'. The explanation of the figure refer to Fig. 1.

順序も統一することが望ましいと考え検討した結果、発生総数の推定→順番指定→基部からの距離の推定→枝序角度指定による枝序天頂角度の計算→新梢長の推定→基部直径の推定→先端部直径の推定→分岐角度の推定→曲率半径の推定の順序に統一した。また、この順序変更に伴う再計算を行うことで、これまでの樹種ごとで得られた推定式の中味がすべて更新された。なお、新梢の他の特性値（傾斜角度、方位角度、中心軸上の7点の空間座標）は上記推定値を用いてCACOAS内で自動計算される（山本ら、2003）。

個々の目的変数の推定に用いた説明変数に限定して、

単相関図を作成し、変数間の相互関係を比較した。単相関図は多数に及び、その多くで相関が低かった。第1図（リンゴ）、第2図（オウトウ）、第3図（カキ）および第4図（セイヨウナシ）は、それぞれ、発生総数（a）、基部からの距離（b）および新梢長（c）に対して、相関が比較的高かった説明変数との間の相関図を並べたものである。発生総数（a）は4樹種とも1年生枝長との間に相関が高かった。基部からの距離（b）は4樹種とも発生順番との間に相関が高かった。この両者は性格上当然であると考えられる。新梢長（c）は一般に頂部優勢性に密接と考えられ、これに関連した特性値である一年

生枝優勢度と新梢優勢度の積（リングとセイヨウナシ）、新梢発生順番（アウトウ）および新梢優勢度（カキ）との間に最も相関が高かった。しかし、基部直径、先端部直径、分岐角度および曲率半径は総じて分散が大きく、それぞれに密接な特性値についても4樹種間で共通性は見出されなかった。

## 2) 重回帰分析結果

重回帰分析に先立ち、説明変数の形態について種々検討したところ、特性値間には、直線的関係のほかに、曲線的関係あるいは複数特性値による多変量的関係が推測された。冪多項式で近似した場合の式寄与率は直線回帰式のそれより総じて向上する傾向がみられた（データ省略）。また、指数近似値を説明変数として用いた場合には幾分寄与率が上昇したが、その反面、パラメータとしての取り扱いが面倒であった（データ省略）。最終的に、各特性値を目的変数とし、CACOAS内で順次用いられる特性値の範囲に限定しながら、これらの3次までの冪および交互作用項（特性値間の積）を説明変数として重回帰分析を行なった。重回帰式が相当長くなったため、これらの表中ではできるだけ簡単な変数略号を用いた（第1表のB～Zを参照）。これまで学会で発表してきた各樹種の重回帰式においては、たとえば、リングやアウトウでは第1表に記した特性値の3次までの冪に加え、一部特性値に限りその指数近似値とその冪を説明変数に用いた（山本ら、2003；山本ら、2004）。また、カキでは3次までの冪のみを用いた（山本ら、2005）。セイヨウナシでは本報と同じ範囲の説明変数を用いて発表した（山本ら、2006）。よって、重回帰分析に用いた変数の範囲は樹種間で不統一のままであり、本報ではこの範囲を統一すべく、最初から再計算したものである（第2～5表）。その結果、各特性値の2乗値や3乗値が多く取り込まれたことは従来と同じであったが、交互作用項も相当数取り込まれた（第2～5表）。交互作用項が取り込まれた理由として、たとえば、親枝である1年生枝の大きさや勢いに関連の深い目的変数にとって、1年生枝の長さ単独より、1年生枝の長さ直径の積の方がより密接になるためと考えられる。取り込まれた説明変数には、第1～4図に示した特性値をはじめとし、それぞれの目的変数に関連した説明変数の範囲の変更に伴い、これ以外の多くの特性値およびその冪値や交互作用項が取り込まれた（第2～5表）。STEPWISE法（逐次変数増減法）

は累積寄与率の上昇をもたらし、かつ、偏回帰係数の有意水準の認められる説明変数を取り込むが、説明変数間に高い相関が存在するときはそのいずれかが除外される。重回帰分析の結果、特性値に加え、これらの冪値や交互作用項の多くが取り込まれたことは、これらの二次的な派生値がその元になった特性値に対して独立変数であったことを意味する。また、このことによる重回帰式寄与率の上昇が多く認められた。その反面、指数近似値を説明変数から削除したことによる寄与率の低下も一部認められた。以下、新しく重回帰分析を行なったことによる寄与率（以下の文中の単位は%）の昇降を示す。リングでは（第2表）、発生総数で約2.2%上昇、基部からの距離で約3.1%低下、新梢長で約2%低下、基部直径で約22.5%低下、先端部直径で約2.6%低下、分岐角度で約4.1%上昇および曲率半径で約0.1%低下であり（山本ら、2003）、全体的に大きな改善は認められなかった。基部直径で大きく低下した理由は推定順序を分岐角度より前に変更したこと（分岐角度の寄与率は逆に上昇）および指数近似値を用いなかったためと考えられる。アウトウでは（第3表）、発生総数で約7%上昇、基部からの距離で約1.4%上昇、新梢長で約0.1%低下、基部直径で約0.4%低下、先端部直径で約0.3%上昇、分岐角度で約10%上昇および曲率半径で約8%上昇であった（山本ら、2004）。この場合も分岐角度の推定順序を後の方に変更した影響がリングと同様に現れた。カキでは（第4表）、発生総数で約4.7%上昇、基部からの距離で約2.5%上昇、新梢長で約0.9%上昇、基部直径で約0.3%上昇、先端部直径で約5.2%上昇、分岐角度で約2.3%上昇および曲率半径で約15%上昇であった（山本ら、2005）。カキの場合には推定順序は本報と同じであり、寄与率は全般的に上昇したことから、交互作用項を追加したことによる効果が確認できた。セイヨウナシの場合（第5表）は学会発表（山本ら、2006）と同じである。以上の結果より、推定順序の変更の影響は否定できないが、交互作用項を取り入れた効果が随所に認められ、この面でのパラメータの改善ができたものと考えられる。

各目的変数別の重回帰式の寄与率（以下の文中の単位は%）の高低を比較すると（第2～5表）、発生総数ではアウトウの90.2%からカキの68.2%の範囲にあり、総じて高かった。同様に、基部からの距離ではアウトウの95.4%からリングの77.2%の範囲にあり、総じて高かった。新梢長ではリングの64.7%からセイヨウナシの40.8%の



Table 2. Coefficients of variances ( $R^2$ ), residue ( $Re$ ), F value ( $F$ ), significance ( $P$ ) and the multiple regression formula of the each shoot characters of apple 'Fuji' using all characters of parent branches (annual branch) and the part of shoot characters (Table 1), the powers and their interactions. The number of the observation was 1197.

$R^2=0.8308$	Number of shoots(L)= $0.003042B^3+0.6599C-0.005912C^3+0.02106D-0.0001125D^2$
$Re=0.9995$	$-1.828E-0.8045F^2+0.1291G-0.003421G^2-0.00008848G^3+0.0001848H^2$
$F=221.2$	$+0.00000186H^3+0.009206J-0.00002851J^2+0.000000003696J^3+0.922X^3$
$P<0.0001$	$-0.00281BD-0.002176BH+0.006586DE+0.0004342DG-0.0001028DH$ $-0.00001904DJ+1.202EF+0.08496EG+0.01387EH+0.00004736GJ-2.314$
$R^2=0.7727$	Distance from base(M)= $-0.0126B^3-0.3888F^3+0.7548G+0.0002841G^3+0.00001033I^2$
$Re=3.119$	$+0.01343J+0.003622L^3+9.92Y-4.304Y^3+0.1397BC-0.003357BD-0.03379BG$
$F=166.1$	$+0.0942BK+0.03029DF-0.002343DG-0.00006065DI+0.00956DL-0.01014EJ$
$P<0.0001$	$+0.4018EL+0.004897FJ-0.0001755GI+0.1318GK-0.07148GL-0.2153KL-7.257$
$R^2=0.6476$	Shoot length(N)= $0.1132C^2+6.21F^2-3.93F^3+1.083G+0.02538L^3+3.211Y^3+57.2Z^2$
$Re=9.915$	$-22.65Z^3-0.989BF+0.565CE+4.814EF-0.61EL-0.1849GL+0.005676HM-10.66$
$F=155.34$	
$P<0.0001$	
$R^2=0.2093$	Basal diameter(O)= $0.4634E-0.1856E^2+0.1863F^2-0.00745H-0.0003109H^2+0.01118M$
$Re=0.3050$	$+0.02066N-0.0005988N^2+0.000000552N^3-0.2775Z+0.1350Z^3-0.02318CF$
$F=14.83$	$+0.00003609DH+0.0008156EJ+0.006364FH+0.02106FK-0.01854FM$
$P<0.0001$	$+0.00000707HI+0.00007966HN-0.00024JL+0.2822$
$R^2=0.1064$	Terminal diameter(P)= $0.0001646C^3-0.00002608H^2-0.0000005368H^3+0.0000003784I^2$
$Re=0.2306$	$+0.0001692L^2+0.9538O-0.4845O^2+0.1153O^3-0.04203CO+0.001657EH$
$F=10.85$	$-0.007824GO-0.00000114IJ+0.00002954JO+0.1160$
$P<0.0001$	
$R^2=0.3483$	Branching angle(Q)= $4.37E^3-0.2116J+0.001024J^2-0.000001027J^3+10.02L+7.956O^2$
$Re=33.39$	$-27.56Y^3+12.53Z^3-0.01957BD-0.00156DH-0.0005396DJ+0.04145DK+0.2515DO$
$F=25.06$	$-0.6268EG+0.1959EH+2.202FG-3.486FL-13.02FO-0.2676GL+0.936GO-0.3874HP$
$P<0.0001$	$+0.0006478IN-0.001633JN-0.05594JO-5.183KO+47.09$
$R^2=0.2988$	Radius of curvature(R)= $12.44N-0.3068N^2+0.002103N^3-12.53O^3-23.14P^3$
$Re=100.5$	$-0.01442DN-0.214EQ+0.02054HN+0.004316JM+0.9894NO+47.85OP+4.814$
$F=45.96$	
$P<0.0001$	

Table 3. Coefficients of variances ( $R^2$ ), residue ( $Re$ ), F value ( $F$ ), significance ( $P$ ) and the multiple regression formula of the each shoot character of sweet cherry 'Satohnishiki' using all parent branch (annual branch) characters and the part of shoot characters (Table 1), the powers and their interactions. The number of the observation was 569.

$R^2=0.9026$	Number of shoots(L) = $-0.9188C + 0.07224C^2 - 0.001793C^3 + 0.07062D - 0.002253D^2$
$Re=1.449$	$+ 0.0000138D^3 - 0.1604E^3 - 2.634F + 0.6513F^3 + 0.2806G + 0.002404G^2 - 0.0000333G^3$
$F=113.1$	$+ 0.0006634H^2 - 0.0000002991I^3 - 0.00001614J^2 - 11.74X^2 + 8.942X^3 + 0.003656BD$
$P < 0.0001$	$- 0.1394BE + 0.09891BF + 0.002278BH + 0.0006379BI + 0.0003416BJ + 0.114CF$ $- 0.003414CH - 0.0009445CI + 0.0002536CJ - 0.01771DE - 0.0005806DG$ $+ 0.0004252DH + 0.0001056DI + 0.847EF + 0.02374EG + 0.01772EH + 0.006736EI$ $- 0.105FG - 0.02608FH - 0.005433FI + 0.007411FJ - 0.002036GH + 0.0001554GI$ $+ 0.00006236HJ - 0.00002397IJ + 6.770$
$R^2=0.9543$	Distance from base(M) = $0.1809G - 0.00004589G^3 - 0.0000000491I^3 + 0.01328J + 1.033K$
$Re=3.211$	$- 0.005747K^3 + 16.87Y - 10.11Y^3 + 0.0007805BI - 0.02306BK - 0.002758CH$
$F=474.1$	$+ 0.002855DG + 0.0006174DH - 0.0001231DJ - 0.01205DK + 0.03339EG$
$P < 0.0001$	$- 0.002231EJ + 0.0006637GJ + 0.05958GK + 0.0001631HJ - 0.004163HK$ $- 0.00004094IJ + 0.00136IK - 0.002969JL - 7.112$
$R^2=0.5909$	Shoot length(N) = $- 0.00393B^3 + 0.01365G^2 + 0.00000003921J^3 + 0.2502K^2 + 4.44L$
$Re=13.08$	$+ 0.01188L^3 - 0.0002428M^3 - 32.88Y + 35.65Y^3 + 0.6375BF + 0.01189EI$
$F=46.83$	$- 1.49FL + 0.5592FM + 0.1755GK - 0.1506GL - 0.001188JM - 0.5822KL - 7.832$
$P < 0.0001$	
$R^2=0.4229$	Basal diameter(O) = $0.0000007762H^3 + 0.01338N - 0.00007267N^2 - 0.0000528BI$
$Re=0.3391$	$- 0.0003067BN + 0.008884CF - 0.00002134DH + 0.0001088DN + 0.0002142EI$
$F=37.12$	$+ 0.003099FN - 0.00000557JN + 0.6463$
$P < 0.0001$	
$R^2=0.2648$	Terminal diameter(P) = $0.001728D + 0.0000005374G^3 - 0.006359N + 0.000001046N^3$
$Re=0.2725$	$+ 0.6838O - 0.1168O^2 + 0.0002131BH - 0.00004299BI + 0.0003299BN - 0.0003593DL$
$F=15.38$	$- 0.001354EN + 0.000008557GI - 0.002936NO + 0.2095$
$P < 0.0001$	
$R^2=0.2222$	Branching angle(Q) = $0.00003946H^3 - 6.898X - 17.54Y^3 - 0.1865BK + 0.09287BM$
$Re=27.93$	$- 0.002702CJ + 0.07445DE - 0.0005499DJ + 0.2065DP + 0.02365EJ - 5.599EO$
$F=10.53$	$- 0.3267GP - 0.006727HN - 0.1487HP + 17.92OP + 66.46$
$P < 0.0001$	
$R^2=0.6919$	Radius of curvature(R) = $0.09606B^3 + 185.5C - 30.37C^2 + 1.126C^3 + 102.6G - 3.266G^2$
$Re=562.5$	$+ 0.02822G^3 + 0.3898L^3 + 53.79M - 78.25N + 1.319N^2 - 0.007948N^3 + 66.86P^3 - 440Z$
$F=43.33$	$+ 0.9623BD - 0.5963BN + 0.7114CG - 4.39CK - 0.6488DK - 5.031DP + 0.3665GH$
$P < 0.0001$	$+ 0.07544GI - 0.9302GM + 1.121HK - 2.231HL - 0.2629IL + 0.9782LN + 9.065MP + 151.2$

Table 4. Coefficients of variances ( $R^2$ ), residue ( $Re$ ), F value ( $F$ ), significance ( $P$ ) and the multiple regression formula of the each shoot character of persimmon 'Hiratanenashi' using all parent branch (annual branch) characters and the part of shoot characters (Table 1), the powers and their interactions. The number of the observation was 789.

$R^2=0.6821$	Number of shoots(L)= $0.1244G-0.00001626G^3+0.01971H-0.000008536H^3$
$Re=1.151$	$-0.00006719I^2+0.00000008788I^3-0.00003707J^2+0.0000000184J^3+0.001329CI$
$F=91.81$	$+0.000591CJ+0.01797EH+0.002317EI-0.001781EJ-0.0009639GH+0.0003072GJ$
$P<0.0001$	$-0.00005555HI+0.000149HJ-0.00002385IJ+0.5475$
$R^2=0.9273$	Distance from base(M)= $0.04143D+0.4403G-0.06151H-0.00000000963J^3-0.2986K^2$
$Re=2.449$	$-0.02626L^3+7.501Y-4.486Y^3+0.001892CI+0.1127CL-0.01403DF+0.004599DG$
$F=346.4$	$+0.0005026DH-0.0001226DI-0.0001722DJ-0.01841DL+0.5579EF-0.02515FJ$
$P<0.0001$	$-0.5121FK+0.6421FL-0.0004223GI+0.0904GK-0.02661GL+0.01038HK$ $+0.00006677IJ-0.002257IL+0.005685JL+0.2605KL-7.147$
$R^2=0.5412$	Shoot length(N)= $5.757E+0.3435G-0.00001944H^3-0.03893I+0.0000002269I^3$
$Re=10.32$	$-0.01707K^3+13.84Y^3-0.003028DG+0.001716DH+1.561EK-1.529EL+0.1213FG$
$F=65.23$	$+0.01419FI+0.9951FK+5.721$
$P<0.0001$	
$R^2=0.4365$	Basal diameter(O)= $0.000001127G^3+0.0005078J-0.00000251M^3-0.0000003879N^3$
$Re=0.2286$	$+0.1823Y^3+0.007543CE+0.0007546CN-0.000004989DI-0.0005432FJ$
$F=60.32$	$+0.002649FN+0.3164$
$P<0.0001$	
$R^2=0.3010$	Terminal diameter(P)= $0.02273E+0.0000005769G^3+0.0001921K^3+0.004653M$
$Re=0.1390$	$+0.1687O-0.0002412CH-0.00000697DJ+0.00003542DN+0.0009453FH$
$F=22.19$	$-0.00001337GI-0.0007284GK+0.000005037HI+0.00000527HJ+0.0005203HK$
$P<0.0001$	$-0.000244HL+0.2534$
$R^2=0.4015$	Branching angle(Q)= $1.011K^2-0.0563K^3+0.008655N^2-41.88Y^3+0.07414DE$
$Re=17.88$	$+0.01703DG-0.02831DM-0.1464FG+0.2105FH-0.009029HN-0.3769HP$
$F=40.00$	$-0.09433LN+0.8148MP+65.16$
$P<0.0001$	
$R^2=0.3338$	Radius of curvature(R)= $0.0001244D^3-0.4049G^2+0.005924G^3-8.507L^2+0.5789M^2$
$Re=169.6$	$-6.022N+0.00007068Q^3+83.19Y^3+2.715CM-0.02476DH+0.01902DJ-0.0243DQ$
$F=15.96$	$+0.1468GH+4.582GL-0.7992GM-20.21GP-0.2848HM+0.1012HN-0.00826JQ$
$P<0.0001$	$-21.41KO-2.517LM+74.26LP+3.39NO+3.307PQ-71.21$

Table 5. Coefficients of variances ( $R^2$ ), residue ( $Re$ ), F value ( $F$ ), significance ( $P$ ) and the multiple regression formula of the each shoot character of pear 'La France' using all variables of parent branch (annual branch) characters and the part of shoot characters (Table 1), the powers and their interactions. The number of the observation was 662.

$R^2=0.7619$	Number of shoots(L)= $0.00918C^2-0.03494D+0.000002117D^3+1.75F^3+0.4258G$
$Re=1.427$	$-0.01167G^2+0.0001452G^3-0.01033J-3.411X+2.622X^3+0.7502BE-0.7063BF$
$F=81.44$	$-0.3523CE+0.02925DF-0.001836DG+0.00008355DJ-2.997EF+0.02001EH$
$P<0.0001$	$+0.001409EI-0.005152EJ+0.06332FG+0.02664FJ-0.0004291GH-0.00005289HI$ $-0.00008567HJ+3.168$
$R^2=0.9254$	Distance from base(M)= $0.001081C^3+0.05863D-3.385F^2+0.4378G-0.0001317G^3$
$Re=2.568$	$+0.06562H+0.000131I^2-0.000002086I^3+0.07065J-0.00008756J^2$
$F=178.3$	$+0.000000685J^3+2.22K-0.007839K^3-1.472L+0.0112L^3+1.347X^3+9.366Y^2$
$P<0.0001$	$-10.17Y^3-0.001993CJ-0.000372DH-0.0001812DI-0.01057DK+0.005613DL$ $+5.727EF+0.3693EG-0.05151EH-0.005957EI-0.02863EJ-0.3428EK-0.9077EL$ $-0.4188FG+0.03763FH-0.007113FI+0.04464FJ+0.5784FL+0.0003453GI$ $+0.04885GK-0.003068HK-0.006593HL-0.00006521IJ-0.001646IK+0.00255JK$ $-0.005598JL-4.902$
$R^2=0.4088$	Shoot length(N)= $-0.08925C^2+18.3E^2-9.991E^3-0.001452H^2+0.9307M+12.28Y^3-52.65Z^2$
$Re=16.45$	$+58.17Z^3-0.3378CK+0.3238CL+0.002094DG+16.54EF+4.33FK-3.264FL$
$F=26.20$	$-0.7636FM+0.01972HK-0.004972JK-4.828$
$P<0.0001$	
$R^2=0.1550$	Basal diameter(O)= $-0.0000002385N^3+0.1344Y+0.008728BF+0.002266EN$
$Re=0.2560$	$+0.002296FN+0.00003998GH+0.3342$
$F=20.03$	
$P<0.0001$	
$R^2=0.2583$	Terminal diameter(P)= $-0.002075D+0.000935K^2-0.08118O^3+0.06874Y^2-0.0004407CG$
$Re=0.05353$	$+0.01936CO+0.0008515DE-0.0002099DK+0.004025DO+0.00165FH$
$F=14.05$	$+0.00009525GH-0.0004393HL+0.00002565HN-0.0000065871J-0.000006279JN$
$P<0.0001$	$+0.01898LO+0.2768$
$R^2=0.2975$	Branching angle(Q)= $-2.027E^3-0.00002581H^3+0.00002373N^3+16.75P^3-23.25Y^2$
$Re=246.7$	$-0.00367BI+0.2518DE-0.4247DO+0.04015HL-0.006332HM-0.002575HN$
$F=17.08$	$-0.4196HP-0.0001316IJ+0.07601IO+0.04504LM-0.04867LN+76.68$
$P<0.0001$	
$R^2=0.6068$	Radius of curvature(R)= $29.2B-208.2F^3+23.34G-0.8013G^2-0.00000708I^3$
$Re=376.2$	$-0.0000009784J^3+0.9099K^3+58.6M-30.11N+0.6681N^2-0.003623N^3+104.5O^3$
$F=21.13$	$+293.2X^3-0.342BI+0.9408BJ-5.406BM-0.5543BQ-0.4085CH+0.4116CI$
$P<0.0001$	$-0.3054CJ-0.007673DI-0.02337DJ+0.03959DN+0.02924DQ-27.52EG$ $+2.836EJ+5.572EN+5.018FJ-22.51FM+457FP+2.708FQ+6.712GL-0.2606GN$ $+38.81GO-0.03963HJ+0.3996HM-0.004145IJ+0.0236IN-0.6788JL-0.05943JN$ $-16.29KL-36.96MO-4.981NO-0.0856NQ-636.2OP-231.5$

範囲にあり、総じて中位であった。基部直径ではカキの43.6%からセイヨウナシの15.5%の範囲にあり、樹種の違いが大きかった。先端部直径ではカキの30.1%からリンゴの10.6%の範囲にあり、総じて低かった。基部直径と先端部直径、とりわけ、後者の寄与率が低かった理由として、立体写真測量における測定部位の設定の難しさやその精度の問題とともに、先端部直径の大きな分散をもたらす原因が、ここでは扱わない要因や偶然的誤差に左右されるためと考えられる。分岐角度ではカキの40.1%からアウトウの22.2%の範囲にあり、樹種の違いが大きかった。曲率半径ではアウトウの69.1%からリンゴの29.8%の範囲にあり、総じて中位であったが、樹種の違いが大きかった。ただし、いずれの重回帰式は0.01%レベルで有意であり（第2～5表）、また、全ての偏回帰係数の有意水準はSAS標準（15%以下）を満たしたので、共通形式を有した信頼性の高い重回帰式パラメータが4品種とも入手されたことになる。

3) 重回帰推定法にモンテカルロシミュレーション法を組み合わせた推定方法の検討結果

寄与率が低いほど説明変数による数値決定力は小さくなる。重回帰式中の全ての偏回帰係数が有意であったから、推定値は実測値を大きくそれることはないが、推定値の分布幅は狭くなり、自然下の偶然的要因が加わった分布とはかけ離れることが考えられる。このことは樹形を構築する立場から見て好ましくない。このようなことから、既報（山本ら、2003）におけるCACOASでは、自然分布に近づける便法として、重回帰法（以下、MR）にモンテカルロシミュレーション法（Mize and Cox, 1969. 以下、MCS）を組み合わせた方法を採用した。この計算原理の要点は以下のとおりであった（第5図）。確率（P）を縦軸にとり、横軸中心に重回帰推定値（V）を置き、重回帰分析結果からの残差標準誤差を標準偏差に置き換えた正規分布曲線を考えた（第5図a）。次に、この曲線の横軸はそのままにして、縦軸を確率の積算値（CP,  $0 < CP < 1$ ）に変更した曲線を作成した。次に、発生させた疑似乱数（RN,  $0 < RN < 1$ ）を縦軸に取り、水平に伸ばして曲線と交差した点から下した垂線が横軸と交差した点の座標値を最終推定値とした（第5図b）。以下、この方法を略してMR+MCSa法と記す。この方法により、説明変数のみでは決められない偶然誤差（E）が加わった変動を生み出し、擬似的な意味で自然分布に

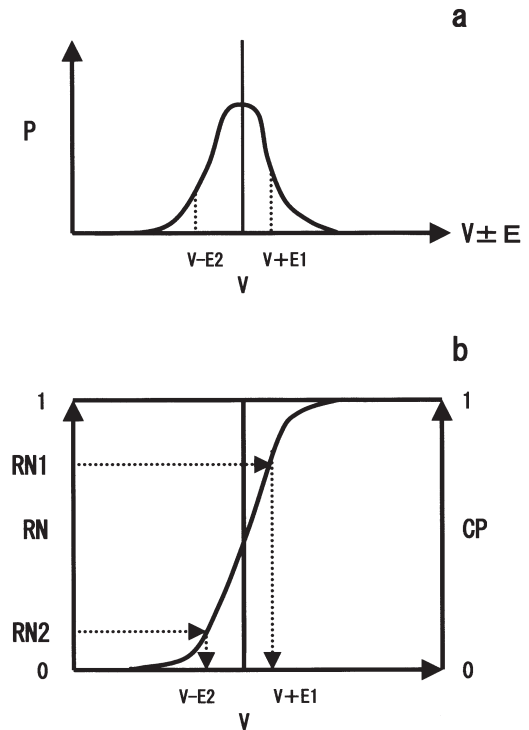


Fig. 5. A schema of Monte Carlo simulation. P : Probability density in a distribution curve, CP : Cumulative probability density, RN\* : A random number. V denotes an estimated value from multiple regression method (MR). A Monte Carlo simulation combined with MR (MR+MCSa) used a residual standard error from MR as the standard deviation (SD) in a normal distribution curve and produced a final value ( $V + E^*$ ). Another Monte Carlo simulation combined with MR (MR+MCSb) used a normal distribution curve with a SD of estimation residual at each calculation of a value, where the SD fluctuates with the estimated value from MR. A Monte Carlo simulation method (MCSc) used the mean of the measured data and its standard deviation (SD) in the normal distribution. Another Monte Carlo simulation method (MCSd) used actual distribution of the measured data.



近づることができると考えた（山本ら，2003）．また，この偶然誤差は全く任意に与えたのではなく，実測値の分布を反映したものであった．ただし，ここで用いた残差標準誤差はその重回帰推定値と実測値の差（推定残差）の標準偏差であったことから，仮に重回帰推定値と推定残差との間に密接な量的関係があれば，この方法による推定精度は低下する（山本ら，2003）．そこで，本報では，上記のMR+MCSa法のほかに，目的変数の値によって推定残差の標準偏差が変動する場合のモンテカルロシミュレーション法を組み合わせた方法（以下，MR+MCSb法）を検討した．すなわち，重回帰推定値を昇順に並べ，これに対応した実測値と重回帰推定値の差（推定残差）を並べた．次に，数個ずつ（本報では20個ずつ），重回帰推定値の移動平均値および推定残差の移動標準偏差を計算した．たとえば，セイヨウナシのように（第6図），重回帰推定値の移動平均値が変化するのに伴って推定残差の移動標準偏差も変動する特性値が数多く認められた．

また，重回帰推定値の移動平均値の3次までの冪多項式で移動標準偏差を近似した．全樹種とも，長さや曲率半径などで，これらの冪多項式の寄与率は高かった（第6表）．CACOAS内でのMR+MCSb法による推定手順は以下の通りであった．枝の特性値1点の推定ごと，移動標準偏差の近似推定式（第6表の冪多項式）に重回帰推定値（ $x$ ）を代入することで移動標準偏差を最初に推定し，これを標準偏差に置き換えた正規分布曲線をその都度考え（第5図a），以降はMR+MCSa法と同じ手法で重回帰推定値の周辺値を発生させた．

上記のMR+MCSa法，MR+MCSb法および重回帰単独の方法（MR）による推定結果と実測データを用い，各特性値の頻度分布を比較した．具体的には，各樹種とも，MR+MCSa法，MR+MCSb法およびMR法による推定値群および実測データ群を対象に，データ組数に対応したSturgesの階級数（石川，1964）を定め，ヒストグラムを作成し，これらの頻度分布曲線を比較したもので

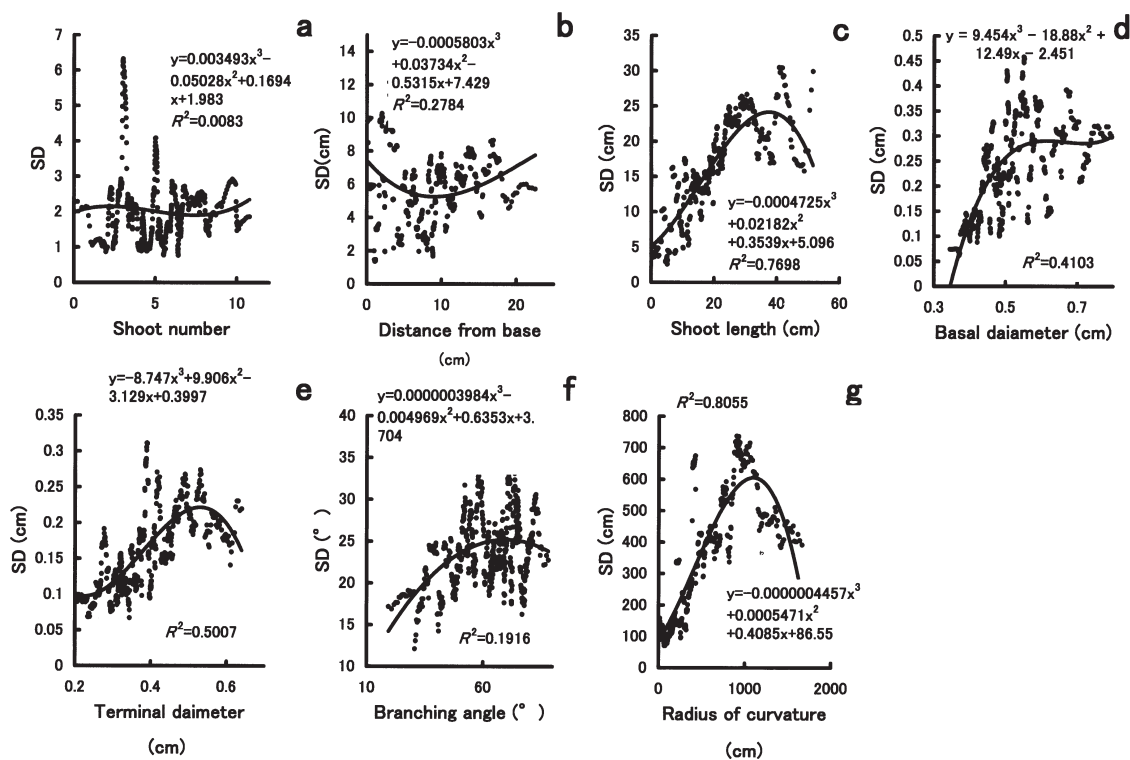


Fig. 6. Relations between the moving averages ( $x$ ) of 20 data of each shoot character after rearranging in ascending order and the moving standard deviations ( $y$ ) of estimation residuals in pear 'La France'. These estimation formulas were used in a Monte Carlo simulation combined with multiple regression method (MR+MCSb).

Table 6. Formulas to estimate standard deviation (y) of estimation residuals in the each multiple regression shown in Table 2–5 using moving average of 20 data of each shoot character (x) which were arranged in the ascending order.  $R^2$  denotes coefficient of variance of each formula.

Character (x)	Unit	Approximation formulas	$R^2$	n
<i>Apple</i>				
Number of shoots		$y=0.01744x^3-0.2522x^2+1.145x-0.6840$	0.5346	
Distance from base <sup>z</sup>	cm	$y=0.00005238x^3-0.006341x^2+0.2325x+2.007$	0.1151	
Shoot length	cm	$y=0.00003588x^3-0.01149x^2+0.8945x+1.417$	0.8371	
Basal diameter	cm	$y=0.4341x^3+0.0343x^2+0.02431x+0.2333$	0.2490	1197
Terminal diameter	cm	$y=-6.784x^3+7.497x^2-1.959x+0.2510$	0.2986	
Branching angle	°	$y=0.00002477x^3-0.00895x^2+1.002x+3.200$	0.6563	
Radius of curvature	cm	$y=0.000005856x^3-0.001169x^2+0.4318x+25.12$	0.5265	
<i>Cherry</i>				
Number of shoots		$y=0.002525x^3-0.08555x^2+0.7641x-0.3451$	0.5759	
Distance from base <sup>z</sup>	cm	$y=0.0001646x^3-0.01367x^2+0.3642x+0.3584$	0.6713	
Shoot length	cm	$y=-0.0004873x^3+0.01933x^2+0.6301x+0.6902$	0.9149	
Basal diameter	cm	$y=0.8186x^3-3.032x^2+3.797x-1.209$	0.5375	569
Terminal diameter	cm	$y=-1.986x^3+4.423x^2-2.825x+0.7539$	0.5140	
Branching angle	°	$y=0.0003145x^3-0.06108x^2+4.008x-61.55$	0.3455	
Radius of curvature	cm	$y=0.0000002879x^3-0.0009964x^2+1.096x+141.0$	0.6400	
<i>Persimmon</i>				
Number of shoots		$y=-0.01531x^3+0.2414x^2-1.061x+2.176$	0.2449	
Distance from base <sup>z</sup>	cm	$y=0.0001658x^3-0.01263x^2+0.3065x+0.2254$	0.3190	
Shoot length	cm	$y=0.00006456x^3-0.008495x^2+0.4794x+2.246$	0.3994	
Basal diameter	cm	$y=-0.9458x^3+1.529x^2-0.4693x+0.1418$	0.4974	662
Terminal diameter	cm	$y=0.5655x^3-0.1665x^2-0.01515x+0.1553$	0.1208	
Branching angle	°	$y=0.00004654x^3-0.008392x^2+0.4982x+7.776$	0.0152	
Radius of curvature	cm	$y=-0.000004074x^3+0.004091x^2-0.2096x+72.60$	0.4995	
<i>Pear</i>				
Number of shoots		$y=0.003493x^3-0.05028x^2+0.1694x+1.983$	0.0083	
Distance from base <sup>z</sup>	cm	$y=-0.0005803x^3+0.03734x^2-0.5315x+7.429$	0.2784	
Shoot length	cm	$y=-0.0004725x^3+0.02182x^2+0.3539x+5.096$	0.7698	
Basal diameter	cm	$y=9.454x^3-18.87x^2+12.49x-2.451$	0.4103	789
Terminal diameter	cm	$y=-8.747x^3+9.906x^2-3.129x+0.3997$	0.5007	
Branching angle	°	$y=0.000003984x^3-0.004969x^2+0.6353x+3.704$	0.1916	
Radius of curvature	cm	$y=-0.0000004457x^3+0.0005471x^2+0.4085x+86.55$	0.8055	

<sup>z</sup>Distance of shoot base from annual branch base.

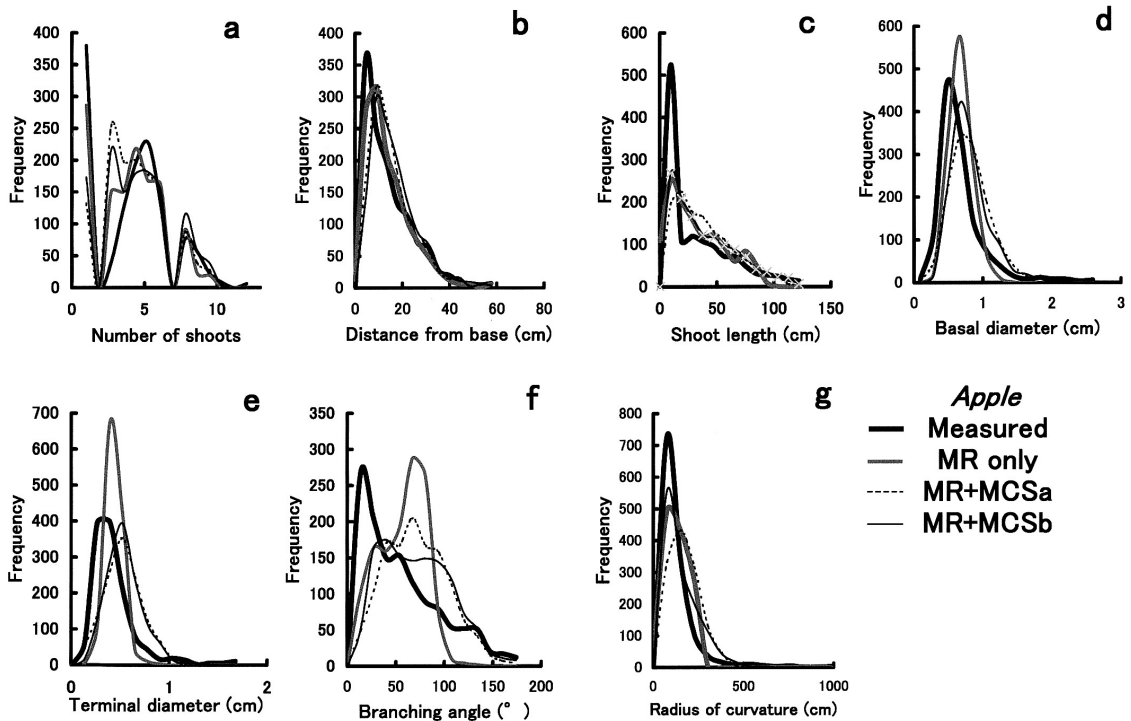


Fig. 7. The comparison between the distribution of measured values, that from the multiple regression method (MR) and that of the 2 kinds of Monte Carlo simulation methods combined with MR (MR+MCSa and MR+MCSb) in each of the 7 shoot characters in apple 'Fuji'. MR+MCSa and MR+MCSb refer to Fig. 5.

ある（第7～10図）。重回帰推定計算あるいはこれに擬似乱数発生によるモンテカルロシミュレーション法を組み合わせたことから、最終的に計算される数値が実測値の最小値を下回ったり、逆にその最大値を上回ったりした。そこで、各樹種の各特性値の最小値と最大値を用いて、最小値を下回った場合は最小値、最大値を上回った場合は最大値を当てた。したがって、これらの最小値と最大値もCACOASにとって必要パラメータになった。第7～10図から、全樹種とも、多くの特性値において、実測値の頻度分布幅に比べMR法からの頻度分布幅が狭かった。これに対して、MR+MCSa法およびMR+MCSb法からの頻度分布は実測値の頻度分布に縊じて似ていた（第7～10図）。さらに、分布変域の平均値、最大値および最小値、および最大頻度値などの分布曲線の形状を詳細に比較したところ、以下の傾向が推察された。リングゴでは、新梢総数（第7図a）はMR+MCSb法が最も良好、基部からの距離（第7図b）は3者（MR法、MR+MCSa

法およびMR+MCSb法）とも実測値分布に似るもののMR法が最も良好、新梢長（第7図c）は3者とも実測値分布と少し異なるもののMR+MCSb法が最も良好、基部直径（第7図d）は3者とも実測値分布と少し異なるもののMR+MCSb法が最も良好、先端部直径（第7図e）は3者とも実測値分布と異なるもののMR+MCSb法が最も良好、および曲率半径（第7図g）はMR+MCSb法が最も良好であった。しかし、分岐角度（第7図f）だけは3者とも実測値分布から大きく異なった。アウトウでは、新梢総数（第8図a）はMR+MCSb法が最も良好、基部からの距離（第8図b）は3者とも実測値分布と良く似るもののMR+MCSb法が最も良好、新梢長（第8図c）はMR+MCSb法が最も良好、基部直径（第8図d）はMR+MCSb法が最も良好、先端部直径（第8図e）はMR+MCSa法が最も良好および曲率半径（第8図g）はMR+MCSb法が最も良好であった。しかし、分岐角度（第8図f）は3者とも実測値分布と大き

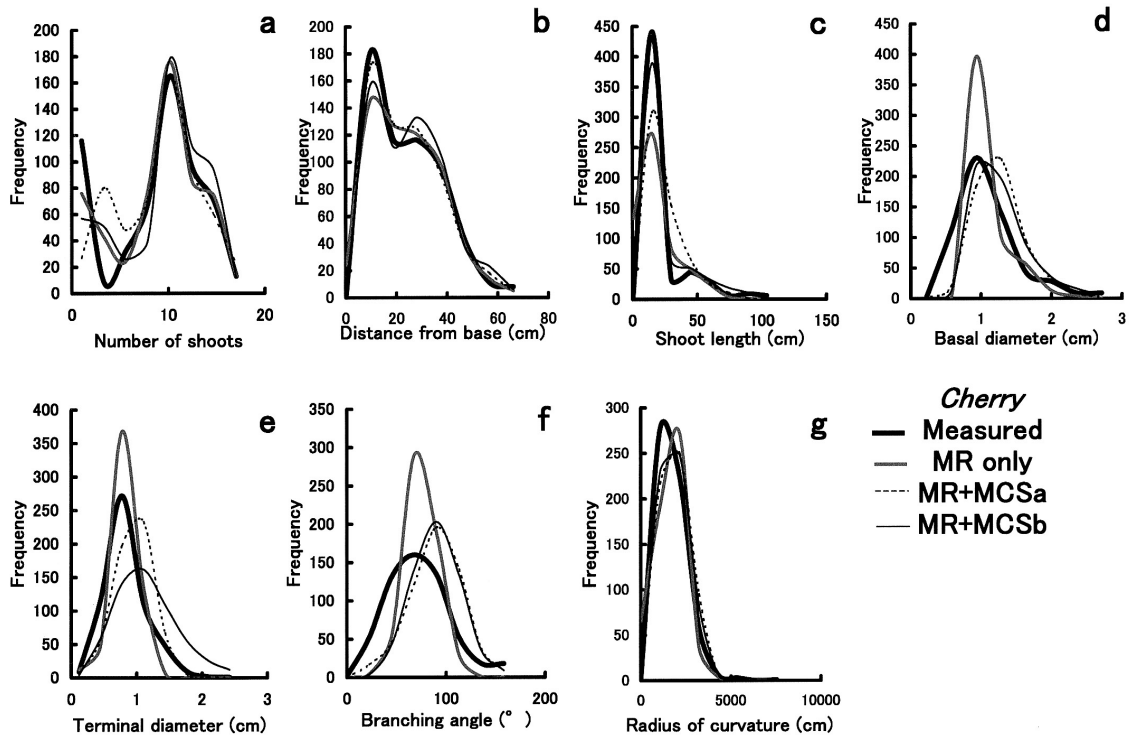


Fig. 8. The comparison between the distribution of measured values, that from MR, that from MR+MCSa and that from MR+MCSb in each of the 7 shoot characters in cherry 'Satou Nishiki'. MR+MCSa and MR+MCSb refer to Fig. 5.

く異なった。カキでは、新梢総数（第9図a）は3者とも実測値分布と良く似るもののMR+MCSa法が最も良好、基部からの距離（第9図b）は3者とも実測値分布と良く似るもののMR+MCSa法が最も良好、新梢長（第9図c）はMR+MCSa法が最も良好、基部直径（第9図d）はMR+MCSa法が最も良好、先端部直径（第9図e）はMR+MCSb法が最も良好、分岐角度（第9図f）はMR+MCSa法が最も良好、および曲率半径（第9図g）MR法が最も良好であった。セイヨウナシでは、新梢総数（第10図a）はMR+MCSa法が最も良好、基部からの距離（第10図b）はMR+MCSb法が最も良好、新梢長（第10図c）はMR+MCSb法が最も良好、先端部直径（第10図d）はMR+MCSa法が最も良好、分岐角度（第10図e）は3者とも実測値分布と少し異なるもののMR+MCSa法が最も良好、および曲率半径（第10図g）はMR+MCSb法が最も良好であったが、基部直径（第10図d）は3者とも実測値分布と少し異なった。

上記を通じて、以下のことが推察できた。すなわち、

①重回帰式の寄与率が非常に高ければMR法と他の方法の違いはほとんど認められない、②寄与率が低ければMR+MCSa法やMR+MCSb法が実測値分布に似る、③MR+MCSa法とMR+MCSb法を比較した場合、推定値の変動によってその標準偏差も変動する項目、すなわち、移動標準偏差の近似式（第6表）の寄与率が高い場合、総じてMR+MCSb法が実測値分布に似るが、寄与率が低い場合、総じてMR+MCSa法が実測値分布に似る、④MR+MCSa法、MR+MCSb法およびMR法の3者がいずれも実測値分布と異なるものも散見される、などであった。上記の③に関連して、MR+MCSa法がMR+MCSb法に勝る例とその逆の例はほぼ同数であった。MR+MCSa法がMR+MCSb法に勝る原因として、MR+MCSb法に用いる標準偏差が本報では20個データの移動標準偏差であり、一方、MR+MCSa法に用いる残差標準誤差が全データを対象とする残差の標準偏差であったことから、移動標準偏差近似式の寄与率が低い（分散が大きい）ときのMR+MCSb法に用いる大きい標準偏差が誤差をも

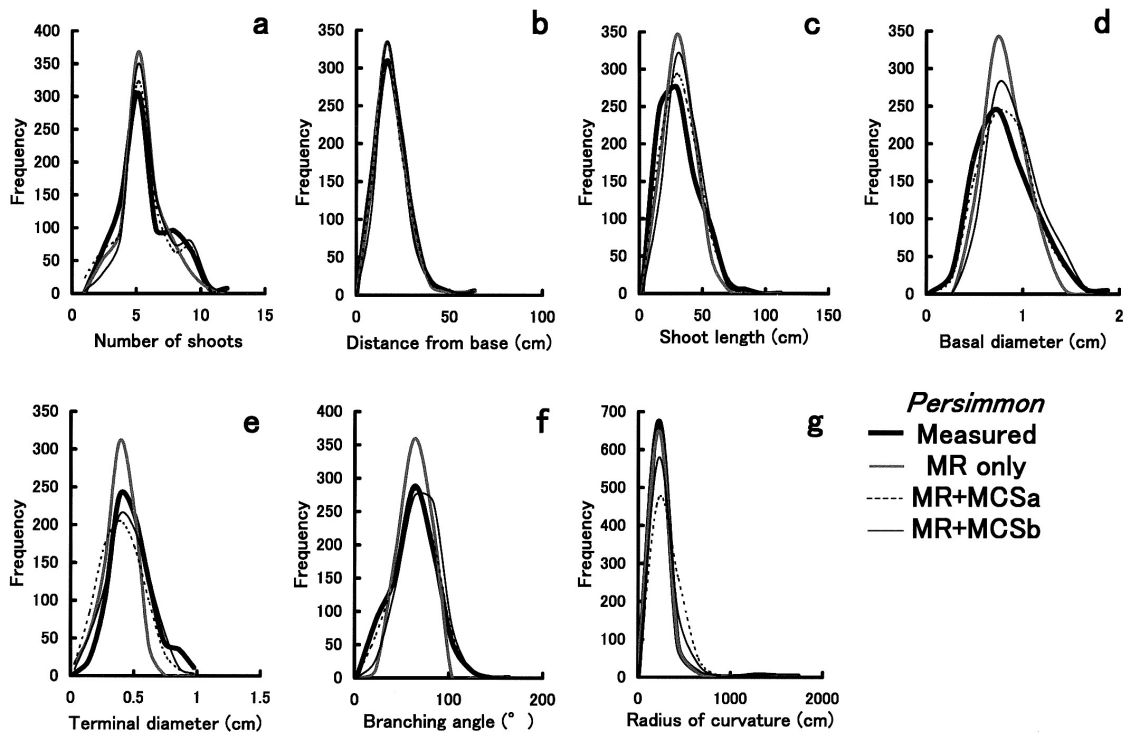


Fig. 9. The comparison between the distribution of measured values, that from MR, that from MR+MCSa and that from MR+MCSb in each of the 7 shoot characters in persimmon 'Hiratanenashi'. MR+MCSa and MR+MCSb refer to Fig. 5.

たらずものと考えられる。また、④の事例の多くが重回帰式の低い寄与率と移動標準偏差の近似式の低い寄与率の両者が重なったときに見られた。

CACOASの機能から見て注意すべきことは、基部からの距離を推定するときにMR+MCSa法やMR+MCSb法を用いると、推定誤差のため、発生順番と基部からの距離の間の矛盾（発生順番の遅いものが早いものより基部側に発生すること）が生じることである。これを避ける工夫がプログラム作成上必要であろうが、MR法単独の場合にはこれは発生しないので、基部からの距離だけはMR法で推定することも一つの対処方法であろう。

#### 4) モンテカルロシミュレーション法単独による推定方法の検討結果

上記の重回帰推定法にMCS法を組み合わせたいずれの推定方法によっても実測値分布とかけ離れた分布を示した特性値は、重回帰分析に用いた説明変数とは異なる要因によって変動したものと考えられる。その多くが偶

然誤差であろう。この場合、重回帰式のみの方あるいは代表値（たとえば実測値の平均値）で与える方法のいずれも画一的な推定値になり、自然下の偶然的要因が加わった分布とはかけ離れる。そこで、もともとは重回帰分析用に入手した実測データを用いて、以下の2種類のMCS単独法を検討した。一つは、実測値データの平均値を横軸の中心に置き、実測値分布からの標準偏差を用いて、正規分布曲線を描き、さらに、縦軸を確率密度の積算値に変更した曲線を作成したうえで、擬似乱数を発生させて推定値を得る方法（以下、MCSc）であった。他の一つは、正規分布曲線によらず、実測値全データを適度の階級幅で区切ることでヒストグラムを作成し、さらにこのヒストグラムの縦軸を確率密度の積算値に変更したうえで、擬似乱数を発生させて推定値を得る方法（以下、MCSd法）であった。

CACOASの目的から見て、重回帰による推定的要素を具備することが好ましいので、MR法、MR+MCSa法あるいはMR+MCSb法のいずれかで十分推定可能と判



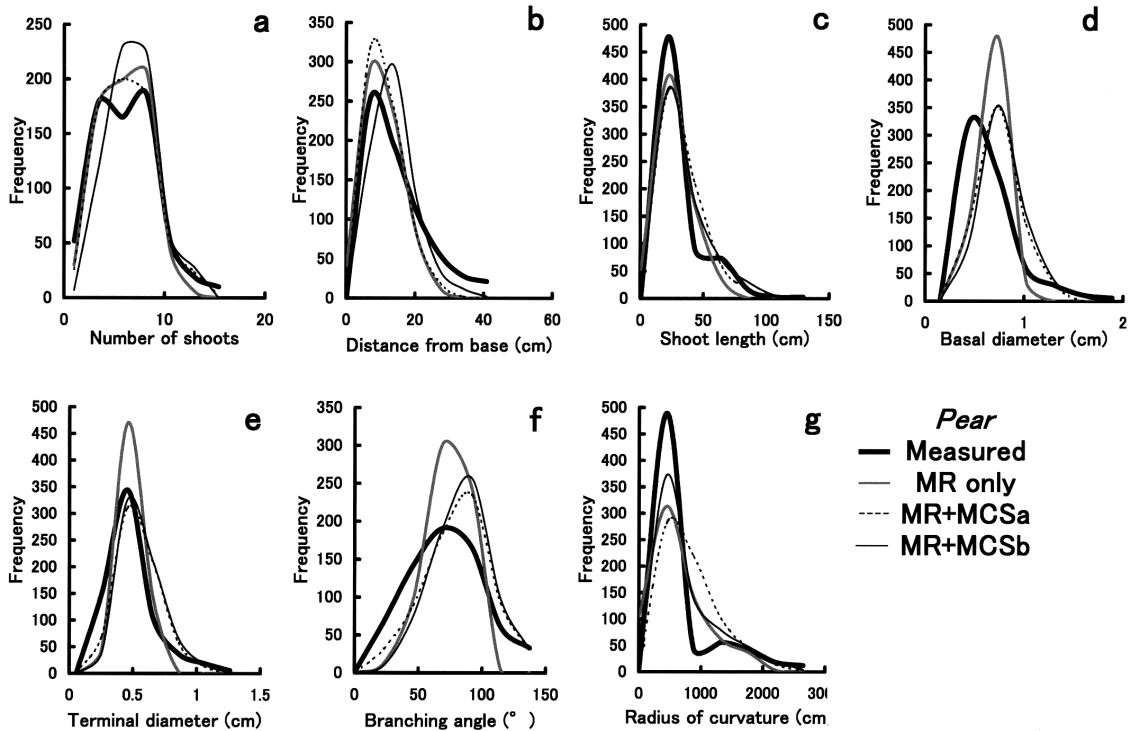


Fig. 10. The comparison between the distribution of measured values, that from MR, that from MR+MCSa and that from MR+MCSb in each of the 7 shoot characters in pear 'La France'. MR+MCSa and MR+MCSb refer to Fig. 5.

断された特性値においては、この新たな推定方法を用いる必要はないだろう。2)に記した傾向(第7~10図)から判断して、MR法、MR+MCSa法あるいはMR+MCSb法のいずれを用いても、良い結果が得られないことが多かった基部直径、先端部直径、分岐角度および曲率半径の4特性値に限り、上記2方法による頻度分布を作成し、実測値分布と比較した(第11~14図)。その結果、MCSd法による推定結果からの頻度分布は総じて実測値分布に良く近似した。これは原理的に見て当然である。リンゴでは、基部直径(第11図a)と先端部直径(第11図b)のMCSd法はMR法、MR+MCSa法あるいはMR+MCSb法のいずれよりも勝り(第7図dとe)、分岐角度(第11図c)のMCSd法とMCSc法はMR法、MR+MCSa法あるいはMR+MCSb法のいずれよりも勝り(第7図f)、曲率半径(第11図d)のMCSd法はMR法、MR+MCSa法あるいはMR+MCSb法のいずれよりもわずかに勝った(第7図g)。この場合、第7図gの結果自体さほど悪くはなかった。アウトウでは、基部直径(第12図a)

と先端部直径(第12図b)のMCSd法とMCSc法はMR法、MR+MCSa法あるいはMR+MCSb法のいずれよりも勝り(第8図dとe)、分岐角度(第12図c)のMCSd法はMR法、MR+MCSa法あるいはMR+MCSb法のいずれよりも勝り(第8図f)、曲率半径(第12図d)のMCS法はMR法、MR+MCSa法あるいはMR+MCSb法とほぼ同等であった(第8図g)。この場合、第8図gの結果自体悪くない。カキでは、基部直径(第13図a)、先端部直径(第13図b)、分岐角度(第13図c)、および曲率半径(第13図d)の全てのMCSd法はMR法、MR+MCSa法あるいはMR+MCSb法のいずれよりもはるかに勝った(第9図d~g)。ただし、カキの場合には、第9図の結果自体悪いものではなかった。セイヨウナシでは、基部直径(第14図a)のMCSd法はMR法、MR+MCSa法あるいはMR+MCSb法のいずれよりも勝り(第10図d)、先端部直径(第14図b)のMCSd法はMR+MCSa法とほぼ同等であった(第10図e)。この場合、第10図eのMR+MCSa法の結果自体悪いものではなかった。分岐角

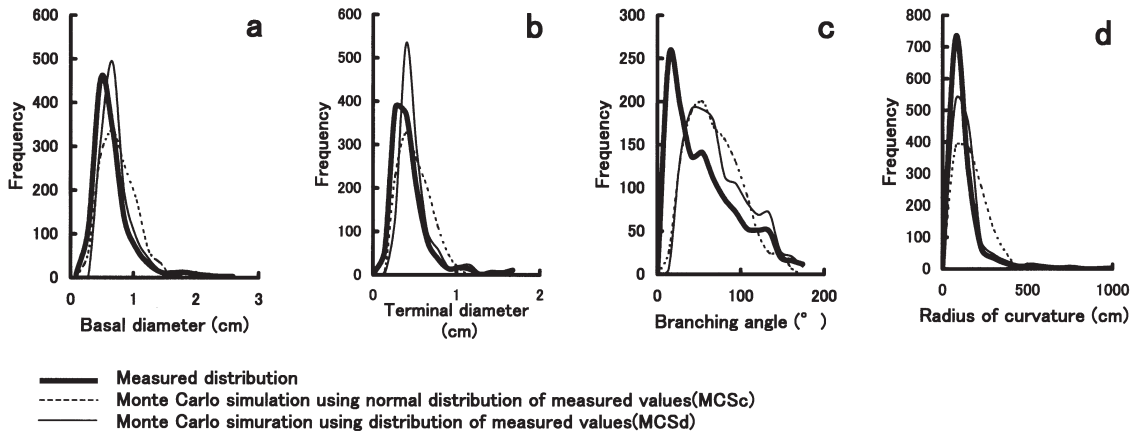


Fig. 11. The comparison between the measured distribution and the estimated ones from the 2 kinds of Monte Carlo simulation methods (MCSc and MCSd) of the 4 shoot characters in apple 'Fuji'. MCSc and MCSd refer to Fig. 5.

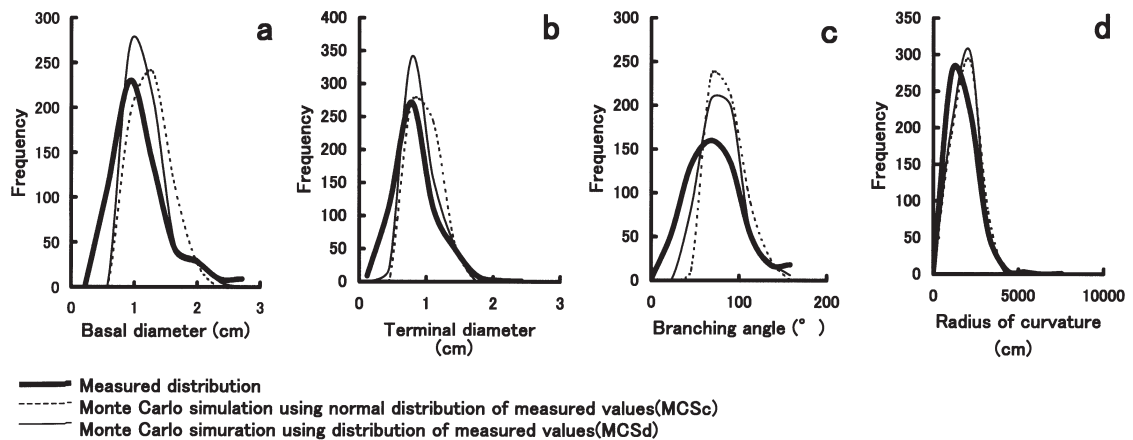


Fig. 12. The comparisons between the measured distribution and the estimated ones from the 2 kinds of Monte Carlo simulation methods (MCSc and MCSd) of the 4 shoot characters in cherry 'Satou Nishiki'. MCSc and MCSd refer to Fig. 5.

度（第14図c）と曲率半径（第14図d）のMCSd法の両者はMR法、MR+MCSa法あるいはMR+MCSb法のいずれよりも勝った（第10図fとg）。

ここで注意すべきことは、重回帰による推定的要素を具備することがCACOASの目的に適うので、MCSc法やMCSd法により良い結果が得られた上記4特性値の場合でも、MR法、MR+MCSa法あるいはMR+MCSb法で良好な結果が得られるならば、これらを優先すべきである。さらに、CACOASによる運用試験の結果、枝の直径の推定にMCSc法やMCSd法を用いたときに別の重大な問

題が発生することが見いだされた。すなわち、MCSc法やMCSd法は純然たるモンテカルロシミュレーションであるため、疑似乱数値によっては極値が発生しやすく、さらに2)に記した最大値や最小値の制限処理を施しても（最大値と最小値の範囲内であっても）、乱数値によって発生する直径はその枝にとって幾分大きすぎる場合があり、その後の枝の肥大処理を通じて親枝より子枝の太さが逆転することが生じることである。したがって、基部直径と先端部直径については、MR法、MR+MCSa法あるいはMR+MCSb法を用いて推定するのが無難であ

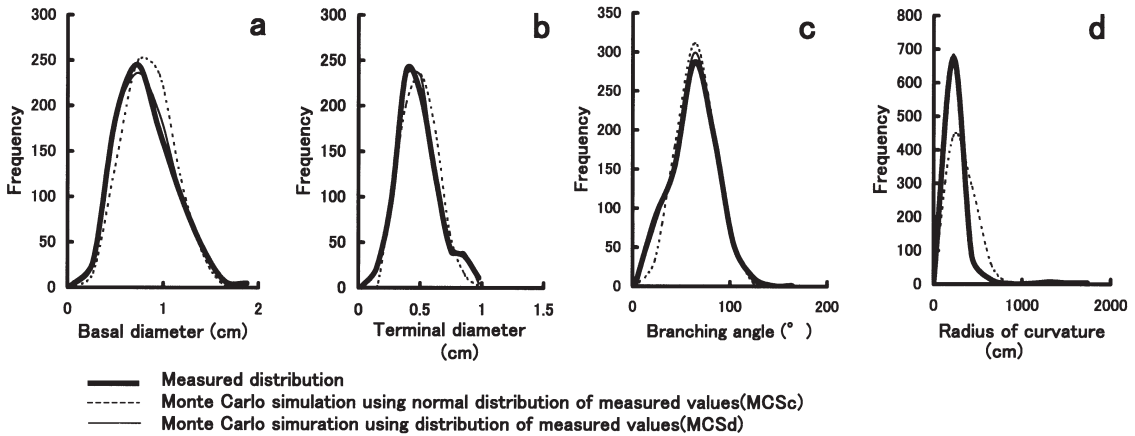


Fig. 13. The comparisons between the measured distribution and the estimated ones from the 2 kinds of Monte Carlo simulation methods (MCSc and MCSd) of the 4 shoot characters in persimmon 'Hiratanenashi'. MCSc and MCSd refer to Fig. 5.

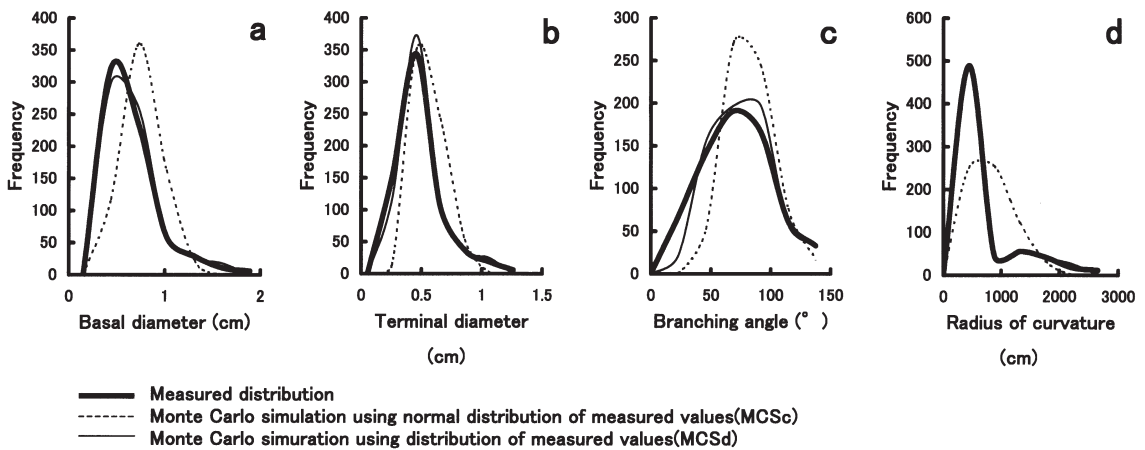


Fig. 14. The comparisons between the measured distribution and the estimated ones from the 2 kinds of Monte Carlo simulation methods (MCSc and MCSd) in each of the 4 shoot characters in pear 'La France'. MCSc and MCSd refer to Fig. 5.

らう。

以上の結果、汎用型CACOASに用いる新梢特性値を推定するためのパラメータには、各特性値の重回帰式の偏回帰係数と定数項（第2～5表）、MR+MCSa法に必要な重回帰分析結果中の残差標準偏差（第2～5表）、MR+MCSb法に用いる移動標準偏差を推定する3次の冪多項式の偏回帰係数（第6表）、MCSc法に用いる実測値データの平均値と標準偏差（第7表）および後述のMCSd法に用いるパラメータがあげられる。第7表には計算される数値が実測値の範囲を外れたときに用いる最

小値と最大値も加えた。

MR+MCSa法、MR+MCSb法およびMCSc法の3者は、性格が異なるものの、それぞれのモンテカルロシミュレーション部分に正規分布の確率密度曲線とその積算確率密度曲線を用いているのに対し、MCSd法は実測値分布そのものに基づく確率密度曲線とその積算確率密度曲線を用いる点が異なる。このためのパラメータ算出方法として実測値分布データそのものを用いることは不可能とは言えないが、煩雑である。便法として積算確率密度曲線の近似曲線を用いる方法が容易である。本実験では、

Table 7. Mean, standard deviation, maximum value and minimum one of each shoot character.

	Unit	Mean	Standard deviation	Maximum value	Minimum value	n
<i>Apple</i>						
Shoot number		3.846	2.391	12	1	1197
Distance from base <sup>z</sup>	cm	7.110	6.475	58.16	0.0604	1197
Shoot length	cm	14.88	14.93	90.52	0.1914	1197
Basal diameter	cm	0.5655	0.3400	2.095	0.0934	1197
Terminal diameter	cm	0.3708	0.2425	1.535	0.0626	1197
Branching angle	°	50.85	40.94	162.9	1.371	1197
Radius of curvature	cm	84.65	119.5	704.5	1.139	1197
<i>Cherry</i>						
Shoot number		7.929	4.466	17	1	569
Distance from base <sup>z</sup>	cm	19.14	14.71	55.22	0.22	569
Shoot length	cm	11.16	20.15	82.28	0.49	569
Basal diameter	cm	0.9238	0.4420	2.309	0.323	569
Terminal diameter	cm	0.6844	0.3142	1.579	0.137	569
Branching angle	°	61.37	31.25	144.1	6.0	569
Radius of curvature	cm	1057.3	988.3	3639	0.4	569
<i>Persimmon</i>						
Shoot number		4.956	2.019	12	1	789
Distance from base <sup>z</sup>	cm	15.32	8.922	46.93	1.37	789
Shoot length	cm	25.45	15.10	68.33	3.86	789
Basal diameter	cm	0.7035	0.3026	1.515	0.158	789
Terminal diameter	cm	0.4218	0.1647	0.871	0.090	789
Branching angle	°	53.10	22.92	110.7	6.3	789
Radius of curvature	cm	137.6	204.6	1214	6	789
<i>Pear</i>						
Shoot number		5.067	2.869	15	1	662
Distance from base <sup>z</sup>	cm	11.42	9.092	37.66	0.46	662
Shoot length	cm	16.71	21.12	83.70	0.73	662
Basal diameter	cm	0.5245	0.2772	1.519	0.198	662
Terminal diameter	cm	0.3853	0.1941	1.004	0.091	662
Branching angle	°	61.00	29.08	126.9	6.5	662
Radius of curvature	cm	409.6	579.3	2266	1	662

<sup>z</sup>Distance of shoot base from annual branch base.

Table 8. Coefficients of variance ( $R^2$ ), residue ( $Re$ ), F value ( $F$ ) and multiple regression formula of cumulative probability density ( $y$ ) using each shoot character ( $x$ ) and its powers. The all formulas were significant at 0.01% level.

Items	$R^2$	$Re$	$F$	Unit <sup>z</sup>	Fomula
<i>Apple</i>					
Basal diameter	0.9970	0.01693	59448	cm	$y=0.3476x^6-3.001x^5+9.963x^4-15.62x^3+10.98x^2-1.791x+0.07092$
Terminal diameter	0.9977	0.01528	74901	cm	$y=4.613x^6-25.45x^5+53.99x^4-54.01x^3+24x^2-2.228x+0.03997$
Branching angle	0.9993	0.006794	273682	°	$y=-2.936 \times 10^{-13}x^6+1.6 \times 10^{-10}x^5-3.41 \times 10^{-8}x^4+3.702 \times 10^{-6}x^3-0.0002589x^2+0.01846x+0.00003383$
Radius of curvature	0.9950	0.0540	40660	cm	$y=-2.544 \times 10^{-17}x^6+9.399 \times 10^{-14}x^5-1.394 \times 10^{-10}x^4+1.060 \times 10^{-7}x^3-4.365 \times 10^{-5}x^2+0.009356x+0.1313$
<i>Cherry</i>					
Basal diameter	0.9993	0.008623	249607	cm	$y=0.1428x^6-1.452x^5+5.902x^4-11.91x^3+11.91x^2-4.452x+0.5384$
Terminal diameter	0.9982	0.01484	95932	cm	$y=0.1483x^6-1.454x^5+5.575x^4-10.32x^3+8.896x^2-2.119x+0.1361$
Branching angle	0.9995	0.008035	393135	°	$y=-9.772 \times 10^{-13}x^6+5.208 \times 10^{-10}x^5-9.677 \times 10^{-8}x^4+6.746 \times 10^{-6}x^3-8.078 \times 10^{-5}x^2+0.004111x-0.00745$
Radius of curvature	0.9892	0.02312	15227	cm	$y=1.214 \times 10^{-22}x^6-3.553 \times 10^{-18}x^5+3.964 \times 10^{-14}x^4-2.055 \times 10^{-10}x^3+4.512 \times 10^{-7}x^2-9.793 \times 10^{-5}x+0.3216$
<i>Persimmon</i>					
Basal diameter	0.9994	0.008510	326883	cm	$y=-0.3425x^6+1.7x^5-2.343x^4-0.6861x^3+3.221x^2-0.7549x+0.03864$
Terminal diameter	0.9997	0.006312	611552	cm	$y=-81.44x^6+251.3x^5-287.4x^4+144.4x^3-28.33x^2+2.384x-0.05832$
Branching angle	0.9988	0.01253	143459	°	$y=-3.426 \times 10^{-12}x^6+1.679 \times 10^{-9}x^5-2.969 \times 10^{-7}x^4+2.187 \times 10^{-5}x^3-0.0005542x^2+0.01025x-0.03354$
Radius of curvature	0.9956	0.01108	37542	cm	$y=-2.154 \times 10^{-18}x^6+1.295 \times 10^{-14}x^5-3.094 \times 10^{-11}x^4+3.734 \times 10^{-8}x^3-2.388 \times 10^{-5}x^2+0.00768x-0.01022$
<i>Pear</i>					
Basal diameter	0.9976	0.01505	67642	cm	$y=3.02x^6-19.26x^5+47.97x^4-58.16x^3+33.98x^2-7.086x+0.4573$
Terminal diameter	0.9987	0.01225	127650	cm	$y=13.98x^6-65.95x^5+122.3x^4-110.9x^3+48.49x^2-7.167x+0.3283$
Branching angle	0.9996	0.006664	472967	°	$y=9.906 \times 10^{-13}x^6-2.754 \times 10^{-10}x^5+2.287 \times 10^{-8}x^4-1.369 \times 10^{-6}x^3+0.0001614x^2+0.001384x-0.002061$
Radius of curvature	0.9977	0.007755	72879	cm	$y=-1.128 \times 10^{-19}x^6+1.046 \times 10^{-15}x^5-3.807 \times 10^{-12}x^4+6.857 \times 10^{-9}x^3-6.366 \times 10^{-6}x^2+0.003032x+0.1770$

<sup>z</sup>Unit for shoot character (x).



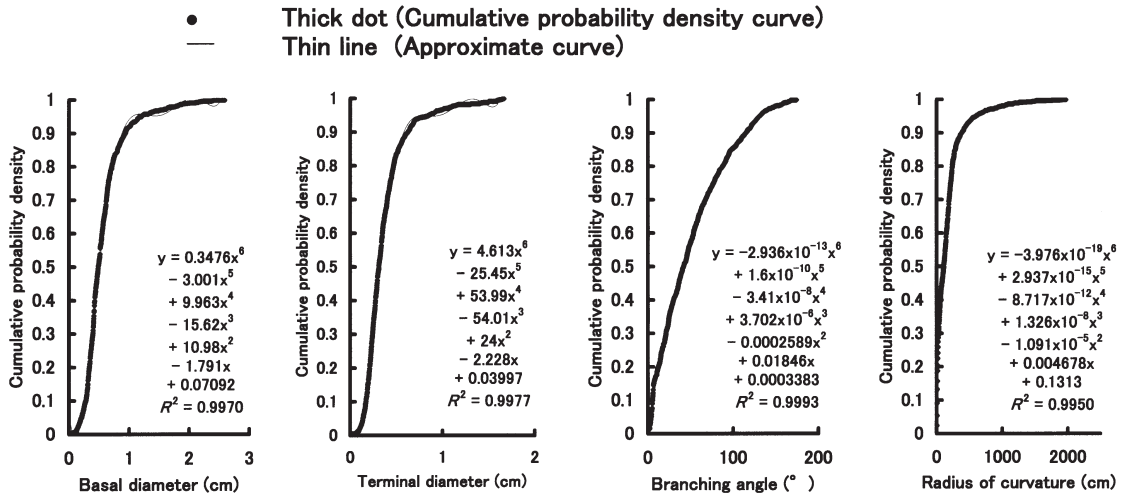


Fig. 15. Cumulative probability density curves (thick dots) and their approximate curves (thin lines) of the 4 shoot characters in apple 'Fuji'. The range of the each character was divided into 1000 classes.

各特性値の変域を1000階級に分けたときの各階級に現れる確率を確率密度と定義し、また、全階級の確率密度の合計値が1に等しくするようにしたうえで積算確率密度を計算した。第8表には実測値分布の積算確率密度をそれぞれの特性値の6次までの冪値を用いて重回帰推定(変数指定法)したときの偏回帰係数を示した。また、第15図にリンゴの積算確率密度曲線とその近似曲線の例を示した。いずれの品種とも重回帰式は0.01%レベルで有意であり、偏回帰係数の有意水準はSAS標準を満たした(第8表)。ただし、MCSd法を仮に用いる場合でも、その対象は新梢の分岐角度および曲率半径に限定すべきである。

上記のパラメータ類を全て準備すれば、汎用型CACOASの入り口に推定方法の選択肢を設けることにより樹種・品種に対応した推定方法を選択できる。

## 2. 枝齢の上昇に伴う枝の年肥大量の推定パラメータ

CACOASにとって枝齢の上昇に伴う枝の年肥大量の推定パラメータは不可欠であり、これに関係した重回帰分析結果については、樹種別CACOASのところでもその都度報告した(山本ら, 2003; 山本ら, 2004; 山本ら, 2005)。本報では、これまでの測定データを用いながら、汎用型CACOAS作成を目的とした重回帰分析法における説明変数の取り扱いと推定精度を検討した。

基部直径あるいは先端部直径と枝齢との関係を第16図

に記した。枝齢の3次までの冪多項式で基部直径および先端部直径を近似した場合の式の寄与率(単位は%)は、基部直径についてはリンゴで77%、オウトウで89%、カキで84%およびセイヨウナシで73%であり、先端部直径についてはリンゴで71%、オウトウで89%、カキで88%およびセイヨウナシで74%であった。したがって、枝の直径変動の大部分が枝齢により推定できる。しかし、CACOASの目的に照らせば、推定精度のさらなる上昇とともに、枝の直径変動に枝齢以外の多くの要因も反映できるようにした方が望ましい。上記推定に必要な要因はCACOAS内の新梢発生ステップで全て準備・記憶され、かつ、CACOASにおける枝の肥大処理ステップは年サイクルの終わり近くに設定されているので(山本ら, 2003)、これらの要因を自由に用いることができる。これらの要因の中には、対象枝の親枝に関する基部直径、先端部直径、子枝の総数、発生順番、長さ、傾斜角度、方位角度、分岐角度および曲率半径、および、対象枝に関する枝齢、基部直径、先端部直径、子枝の総数、発生順番、長さ、傾斜角度、方位角度、分岐角度、曲率半径および枝序天頂角度が含まれる。さらに、CACOAS内の集計ステップで計算される測定対象枝上の全ての枝(子枝、孫枝など)の総数、着葉総数および着果総数も使用可能である。これらの変数の略号については第9表を参照されたい。このほか、一部変数に限定して、2乗値と3乗値も用いた。本報における重回帰分析法の既報

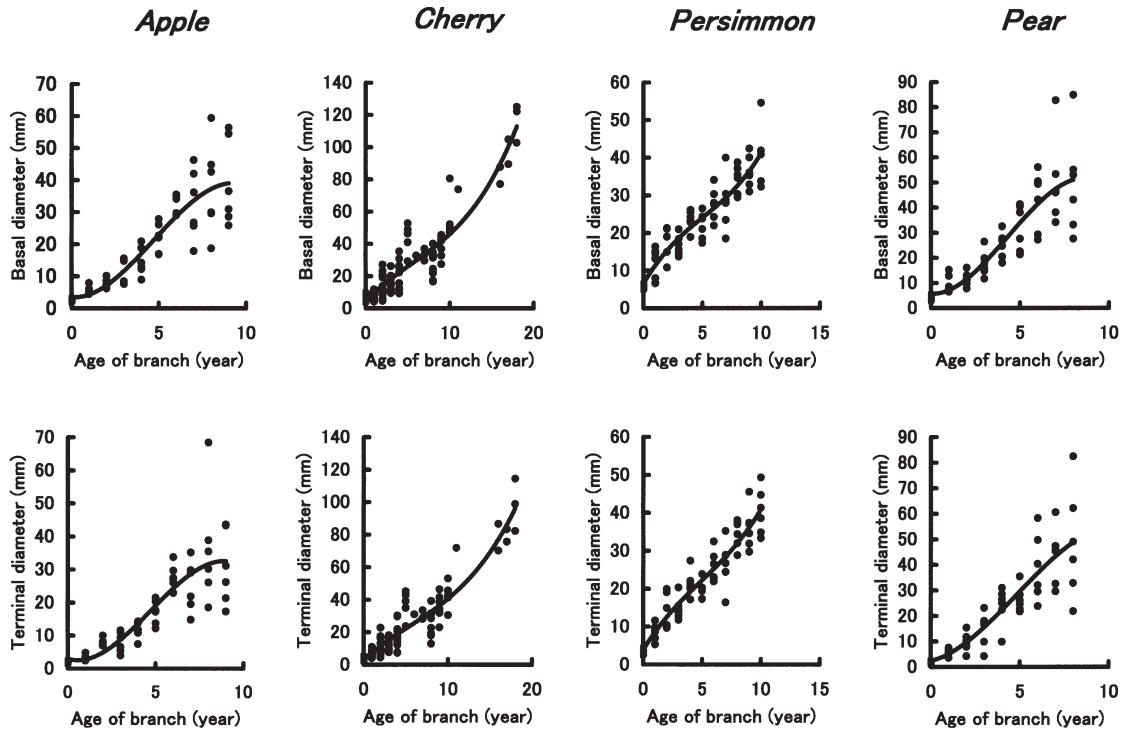


Fig. 16. The relations between branch age and basal diameter of branch or the terminal one in the 4 cultivars, and the approximate curve using branch age, the square, and the cube.

と大きく異なった点は、一部の変数間の交互作用項（積）も用いた点である。重回帰分析の結果、基部直径と先端部直径とも、いずれの樹種においても高い寄与率が得られ（第10表）、リンゴ、オウトウおよびカキでは寄与率が95%程度あるいはそれ以上、セイヨウナシでも92~94%程度であった。基部直径と先端部直径とも、多くの交互作用項が取り込まれ（第10表）、寄与率の向上に貢献したものと考えられる。既報の重回帰分析結果（旧結果）に比べてときの寄与率上昇分を、基部直径と先端部直径の順に記すと、リンゴでそれぞれ8.9%と8.7%、オウトウでそれぞれ0.7%と1.4%、およびカキでそれぞれ6.3%と2.0%であった。学会発表したセイヨウナシの重回帰分析法（山本ら、2006）は本報と同一であった。よって、今回の再計算により、推定精度の向上が得られたものと考えられる。

以上の結果、汎用型CACOASに用いる枝齢の上昇に伴う枝の年肥大量を推定するためのパラメータには、基部直径と先端部直径を推定するための重回帰式の偏回帰

係数と定数項（第10表）があげられる。

### 3. 果実着生部位を推定するパラメータ

材料および方法に記した文献にとどまらず、これまでの多くの著作物には果樹の結果習性に関する記述があり、果樹栽培の基礎知識になっている。たとえば、リンゴやナシでは、一部の短枝の頂芽が花芽になり、翌年、花そうを形成する。オウトウでは、ほとんどの新梢の幾つかのえき芽が花芽になり、翌年、花そうを形成する。カキは先端部側の芽から発生した多くの新梢に数個の花をつける。CACOASに結果部位を推定する機能を具備するためには、結果習性に関するこれらの定性的知識にとどまらず、1年生枝や新梢の特性値と生殖器官の着生との間の数量的関係を明らかにするとともに、その後の摘花・摘果作業を想定した計算処理を施す必要がある。

筆者らはこの機能を持たないCACOASを公表した際、上記の計算処理に関連して以下を考察した（山本ら、2003）。すなわち、リンゴやナシでは、短枝由来の前年生枝総数

Table 9. Abbreviations of variables used in multiple regressions of branch diameters and their units.

Variables	Abbreviation	Unit
Age of branch	A	year
Basal diameter of parent branch	B	cm
Terminal diameter of parent branch	C	cm
Parent branch length	D	cm
Inclination angle of parent branch	E	°
Direction angle of parent branch <sup>z</sup>	F	°
Existence of pruning (1:pruned, 0:not pruned)	G	
Branching angle of parent branch	H	°
Radius of curvature of parent branch	I	cm
Number of branches per parent branch	J	
Order of branch	K	
Basal diameter of branch	L	mm
Terminal diameter of branch	M	mm
Branch length	N	cm
Inclination angle of branch	O	°
Direction angle of branch <sup>z</sup>	P	°
Branching angle of branch	Q	°
Zenithal angle of branch <sup>y</sup>	R	°
Radius of curvature of branch	S	cm
Number of child branches per branch	T	
Number of leaves per branch	U	
Number of fruits per branch	V	

<sup>y</sup>Measured from south in east direction.

<sup>z</sup>Zenithal angle of a direction in which a child branch generated from a parent branch.

に対する花をつける短枝由来の1年生枝数の割合（以下、結果母枝割合）および結果母枝当り着果数を任意に設定することにより、以下の計算方法により枝の着生果実数を推定できるとした。リンゴの場合、着果させる果実数は最大1個とし、短枝と発育枝を区別する長さを設定した上で、長さがこれより短く、かつ、切り返し歴が無い条件を満たした前年生枝について、乱数を発生しながら、結果母枝割合（たとえば、4花そうに1果、つまり、0.25）より乱数値が小さいときに限り、その枝の着生果実数を1とする。オウトウでも結果母枝当り着果数（この場合は1個以上）と結果母枝割合を任意に設定すれば、短枝・発育枝の区別は必要なかったものの、基本的に同じアルゴリズムが使用できる。カキでは新梢を結果枝、結果母枝割合を結果枝割合、結果母枝当り着果数を結果枝当り着果数に置き換えれば、基本的に同じアルゴリズムが使用できるとした（山本ら、2003）。

CACOASの公表後、リンゴ用CACOASの改良作業、

あるいは、オウトウ用CACOASおよびカキ用CACOASの作成の中で、上記の考えに立って、果実着生部位の推定計算機能や樹形図に重ねて果実を表示させる機能をもったシミュレーションを試行的に行った（山本ら、2004；山本ら、2005；山本ら、2005；山本ら、2006）。

第11表は上記パラメータの入手実験における調査データの平均値比較を示したものである。すなわち、リンゴとセイヨウナシにおける花そう数別1年生枝各特性値（長さ、基部直径、先端部直径、傾斜角度、分岐角度、発生順番、基部からの距離および曲率半径）の平均値比較、生理落果が終息した段階でのオウトウにおける着生果実数別1年生枝各特性値の平均値比較およびカキにおける着生花数別新梢各特性値の平均値比較である。これらの平均値に有意差が認められたものは、リンゴでは1年生枝の長さ、セイヨウナシでは1年生枝の長さ、傾斜角度および発生順番であった（第11表および第17図）、カキでは新梢の長さ、新梢基部直径、新梢発生順番、新

Table 10. Coefficients of variances ( $R^2$ ), residue ( $Re$ ), F value ( $F$ ), significance ( $P$ ) and the multiple regression formula of the basal diameter of branch and the terminal diameter using all variables (Table 9) and the parts of their powers and interactions.

<i>Apple</i>	
$R^2=0.9575$	Basal diameter= $0.2215A+0.4315C+0.0171D-0.004499E-0.003655R$
$Re=0.3339$	$-0.0002672AI+0.02216AV-0.004403JN$
$F=107.3$	$+0.001359JO+0.0002762NR-0.1837$
$P<0.0001$	
$R^2=0.9641$	Terminal diameter= $0.06856A^2-0.005659A^3+0.3653C+0.009845D$
$Re=0.2805$	$-0.06335J-0.008433O-0.003107Q-0.0003152AI$
$F=115.0$	$+0.04726AV+0.007172DG+0.003313JO+0.1572$
$P<0.0001$	
<i>Cherry</i>	
$R^2=0.9685$	Basal diameter= $0.001515A^3+0.8747C+0.0000005834N^3-0.004846Q$
$Re=0.4658$	$-0.0413AC+0.0000002098AI+0.0004584AR$
$F=415.9$	$-0.0001643JR+0.2145$
$P<0.0001$	
$R^2=0.9543$	Terminal diameter= $0.001393A^3+0.8877C-0.006487Q-0.001852R$
$Re=0.4881$	$-0.05626AC+0.001411AD+0.0000002005AI$
$F=251.3$	$+0.0004972AR-0.00681DG+0.2830$
$P<0.0001$	
<i>Persimmon</i>	
$R^2=0.9562$	Basal diameter= $0.2139A+0.4708B+0.0000001484R^3-0.08028U$
$Re=0.2495$	$+0.003401AD-0.1056AJ+0.001185AO$
$F=153.1$	$+0.00004048OR+0.3355$
$P<0.0001$	
$R^2=0.9475$	Terminal diameter= $0.2683A+0.2952C+0.0000002169R^3-0.04851U$
$Re=0.2915$	$+0.003306AD-0.07732AJ+0.001004AO$
$F=126.4$	$+0.00006616OR+0.1819$
$P<0.0001$	
<i>Pear</i>	
$R^2=0.9434$	Basal diameter= $0.2027A+0.718B+0.0000001277R^3-0.003973AD$
$Re=0.4874$	$+0.0004697AI+0.001911AO-0.4473$
$F=130.7$	
$P<0.0001$	
$R^2=0.9226$	Terminal diameter= $0.8102B-0.0211D-0.000003275N^3$
$Re=0.5443$	$+0.0005435AI+0.001589JN-0.01677$
$F=114.4$	
$P<0.0001$	

Table 11. Relations between number of bearing flowers or fruits and mean value of each annual branch character in apple 'Fuji', cherry 'Satou Nishiki' and pear 'La Franc', and relations between number of bearing flowers and mean value of each shoots character in persimmon 'Hiratanenashi'.

Fruit species Items	Characters <sup>z</sup>	Length cm	Basal diameter mm	Terminal diameter mm	Inclination angle °	Branching angle °	Order of branch	Distance from base <sup>x</sup> cm	Radius of curvature cm	n <sup>y</sup>							
											Unit	cm	mm	mm	°	°	cm
<i>Apple</i>																	
No. of flower cluster=0	14.7±14.7 <sup>w</sup>	a	3.72±1.23	a	2.9±0.88	a	4.0±34.0	a	28.1±29.6	a	2.11±2.10	a	7.0±10.2	a	"	88	
No. of flower cluster>=1	6.6±9.8	b	3.70±0.74	a	3.23±0.75	a	13.3±33.2	a	30.0±33.0	a	2.36±2.43	a	7.4±10.7	a	"	105	
<i>Cherry</i>																	
No. of fruits=0	16.6±19.7	a	8.05±1.64	a	6.49±2.88	a	6.2±39.7	a	0.1±1.2	a	1.15±0.37	a	1.4±1.5	a	731±548	a	13
No. of fruits=1	10.6±18.8	a	6.65±1.34	a	6.05±1.65	a	-2.7±36.8	a	12.4±38.3	a	1.09±0.49	a	1.5±2.5	a	938±467	a	41
No. of fruits=2	9.2±14.4	a	6.54±1.25	a	5.83±1.87	a	1.7±32.2	a	18.9±44.9	a	1.20±0.64	a	3.0±5.1	a	976±426	a	25
No. of fruits=3	11.9±14.8	a	6.24±0.95	a	5.10±1.60	a	5.5±30.2	a	5.8±20.2	a	1.50±1.16	a	2.4±4.3	a	722±590	a	14
No. of fruits>=4	7.4±12.4	a	6.31±1.40	a	5.91±1.89	a	18.6±16.1	a	0.0±12.2	a	1.0±0.00	a	0.5±0.2	a	916±524	a	8
<i>Persimmon</i>																	
No. of flowers=0	24.3±14.5	b	6.10±1.98	b	2.96±0.74	a	7.7±40.6	a	57.6±20.7	a	3.25±2.25	c	16.8±10.3	c	208±171	a	129
No. of flowers=1	29.3±13.8	ab	7.29±2.08	a	3.11±0.68	a	2.3±33.7	a	42.7±23.4	a	4.83±2.94	b	22.4±12.3	bc	197±163	a	44
No. of flowers=2	32.1±12.5	ab	7.44±1.92	a	3.02±0.55	a	8.0±35.8	a	40.2±25.1	a	5.48±2.10	b	25.4±10.5	b	170±155	a	25
No. of flowers>=3	33.8±11.8	a	8.23±1.57	a	2.10±0.31	a	10.0±39.0	a	36.2±25.4	a	7.91±3.44	a	33.3±13.8	a	174±141	a	12
<i>Pear</i>																	
No. of flower cluster=0	9.0±8.9	a	6.14±2.47	a	5.20±2.00	a	21.8±35.2	a	34.0±24.2	a	1.42±0.70	b	2.4±6.1	a	234±235	a	33
No. of flower cluster=1	2.0±3.0	b	5.84±1.06	a	5.37±1.23	a	-5.3±45.5	ab	17.6±19.6	a	1.78±1.49	ab	4.0±4.1	a	477±105	a	61
No. of flower cluster>=2	1.9±0.6	b	5.99±1.11	a	4.78±0.89	a	-14.2±38.5	b	30.8±46.7	a	2.50±1.37	a	5.2±3.9	a	417±201	a	6

<sup>z</sup>Annual branch characters for apple, cherry and pear and shoot characters for persimmon.

<sup>y</sup>Observed number.

<sup>x</sup>Distance of branch base from the parent branch base.

<sup>w</sup>Mean ± standard deviation.

<sup>v</sup>Different letters in each column indicate significance at 5% level by Tukey's multiple range test.

<sup>u</sup>Not measured.



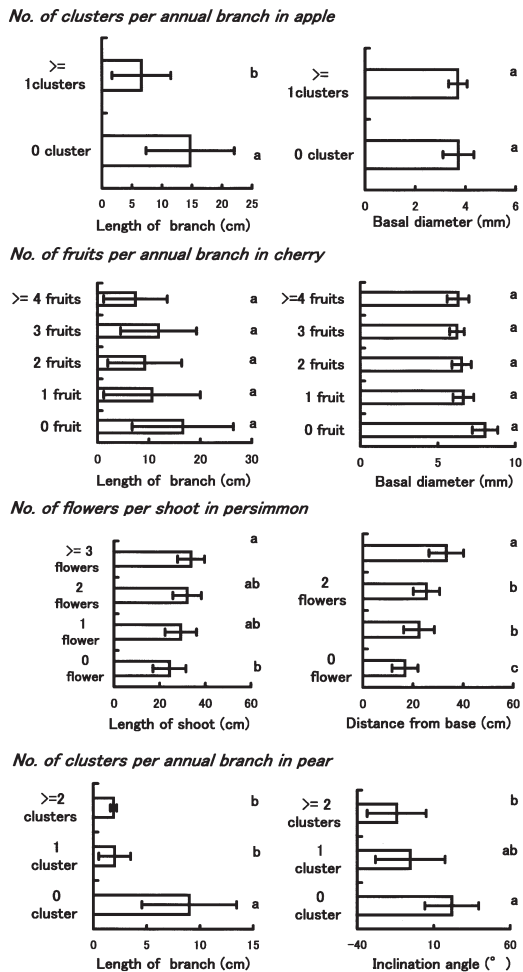


Fig. 17. The relations between flower (fruit) number and mean values of each branch character in the 4 cultivars. Different letters show the significance at 5% level by Tukey's multiple range test.

梢の基部からの距離に有意差が認められた (第11表および第17図)。オウトウでは調査した全ての1年生枝に果実が着生したためか、全ての特性値で有意差が認められなかった (第11表および第17図)。

これまでの樹種別CACOASにおける、樹形図に果実着生部位を重ねて表示するとき用いた判定基準は、第11表に記した有意差の認められた特性値の平均値であった (山本ら, 2004; 山本ら, 2005)。たとえば、花そうの有無に関連して有意差の認められた1年生枝限界長

(第11表中のリンゴの14.7cmあるいはセイヨウナシ9.0cm)を用いて、これより長いときは花そう未着生、これより短いときは花そう着生と判定し、1年生枝総数に占める花そうが着生した1年生枝数の割合を計算したところ、リンゴでは68.9%あるいはセイヨウナシでは82.6%であった。しかし、実測データでは、それぞれ、45.6%あるいは68.3%であり、これらの食い違いは無視できない。また、第17図に見られるように、平均値を統計的に分離できなかった特性値の中にも、平均値の大小と生殖器官数との間に相関が推察されることから、従来の平均値のみによる判定基準を用いる方法は改良の余地があろう。よって、本報では多くの特性値を用いた着生生殖器官数の重回帰推定法を検討したものである。

第12表にはこのための重回帰分析に用いた説明変数の略号を記した。変数の範囲ができるだけ広いことが望ましいので、生殖器官数を調査する枝 (結果枝) より枝齢が2年高い枝まで調査対象を挙げた。リンゴ花そう数の重回帰式寄与率 (単位は%) は17%、オウトウ果実数の重回帰式寄与率は23%でも低かったが、セイヨウナシ花そう数の重回帰式寄与率およびカキ着生花数の重回帰式寄与率は、それぞれ、41%および43%であり、重回帰式は4樹種とも有意であった (第13表)。よって、一部の枝特性値の平均値のみで生殖器官の着生・非着生を判定する方法に代わり、CACOAS内で生成される特性値を用いて生殖器官数を重回帰推定で見出された。

次にその推定精度を検討したい。全調査枝を対象に、上記重回帰式による推定計算を行い、着生した生殖器官数の合計値を実測値と比較した (第14表)。なお、リンゴの花そう数は0と1個以上の2区分で測定し、それぞれ0と1とした。現行の摘果基準によれば、1花そうに1果以上残すことはないのでは、この調査方法で問題はないと思われる。また、実測値は整数であったが、重回帰推定値は小数点以下の部分を含むため、最終的に四捨五入した。リンゴでは推定合計数が実測合計数をやや上回ったものの、他の3樹種では誤差が小さかった。第14表 (合計数の比較) と異なり、個々の枝における着生生殖器官数の比較結果を第15表に示した。実測結果と推定結果の間で、生殖器官の存否の点で一致した割合、すなわち、着生した場合はその着生数を問わないで一致したとみなした場合の割合は4樹種とも70~80%台が高かった (第15表右)。個々の枝への生殖器官着生数の推定値と

Table 12. Abbreviations of variables used in the multiple regressions of number of flower clusters per annual branch in apple and pear, number of flower per shoot in persimmon and number of fruits per annual branch in cherry, and their units.

Variables	Abbreviation	Unit	Variables	Abbreviation	Unit
No. of clusters, flowers or fruits	A		Terminal diameter of biennial branch	Y	cm
Basal diameter of shoot	B	cm	Biennial branch length	Z	cm
Terminal diameter shoot	C	cm	Inclination angle of biennial branch	AA	°
Shoot length	D	cm	Direction angle of biennial branch <sup>z</sup>	AB	°
Inclination angle of shoot	E	°	Radius of curvature of biennial branch	AC	cm
Direction angle of shoot <sup>z</sup>	F	°	Order of biennial branch	AD	
Radius of curvature of shoot	G	cm	Total number of biennial branches	AE	
Order of shoot	H		Distance of biennial branch base <sup>y</sup>	AF	°
Total number of shoots	I		Branching angle of biennial branch	AG	°
Distance of shoot base <sup>y</sup>	J	cm	Zenithal angle of biennial branch <sup>x</sup>	AH	°
Branching angle of shoot	K	°	Basal diameter of triennial branch	AI	cm
Zenithal angle of shoot <sup>x</sup>	L	°	Terminal diameter of triennial branch	AJ	cm
Basal diameter of annual branch	M	cm	Length of triennial branch	AK	cm
Terminal diameter of annual branch	N	cm	Inclination angle of triennial branch	AL	°
Length of annual branch	O	cm	Direction angle of triennial branch <sup>y</sup>	AM	°
Inclination angle of annual branch	P	°	Radius of curvature of triennial branch	AN	cm
Direction angle of annual branch <sup>z</sup>	Q	°	Order of triennial branch	AO	
Radius of curvature of annual branch	R	cm	Total number of triennial branches	AP	
Order of annual branch	S		Distance of triennial branch base <sup>y</sup>	AQ	cm
Total number of annual branches	T		Branching angle of triennial branch	AR	°
Distance of annual branch base <sup>y</sup>	U	cm	Zenithal angle of triennial branch <sup>x</sup>	AS	°
Branching angle of annual branch	V	°	Apical dominance of shoot (=H/I)	HI	
Zenithal angle of annual branch <sup>x</sup>	W	°	Apical dominance of annual branch (=S/T)	ST	
Basal diameter of biennial branch	X	cm	Apical dominance of biennial branch (=AD/AE)	ADAE	
			Apical dominance of triennial branch (=AO/AP)	AOAP	

<sup>z</sup>Angle difference between direction of a branch and south.

<sup>y</sup>Distance of a child branch base from the parent branch base.

<sup>x</sup>Zenithal angle of a direction in which a child branch generated on the parent branch.

Table 13. Coefficients of variances ( $R^2$ ), residue ( $Re$ ), F value ( $F$ ), significance ( $P$ ) and the multiple regression formula of number of flower clusters per annual branch in both apple and pear, number of flower per shoot in persimmon and number of fruits per annual branch in cherry using several variables and their powers. The abbreviations of the variables refer to Table 12.

<i>Apple</i>	
$R^2=0.1700$	No. of flower clusters= $4.267M-4.443M^2-0.01835O$
$Re=0.4608$	$+0.00000317O^3+0.00168P-0.2404$
$F=7.66$	
$P<0.0001$	
<i>Cherry</i>	
$R^2=0.2342$	No. of fruits= $1.53N+0.005468AA-0.0007165AN-0.09656AP$
$Re=1.073$	$-2.549M^3+2.467$
$F=5.38$	
$P<0.001$	
<i>Persimmon</i>	
$R^2=0.4303$	No. of flowers= $2.884B+0.413S+0.3371X-0.006387AA+2.007HI$
$Re=0.7323$	$-2.673C^2-0.0005694D^2+0.00007327K^2+0.0001112O^2$
$F=13.10$	$-0.03224T^2-0.00000488U^3-0.6009ST^3-2.725$
$P<0.0001$	
<i>Pear</i>	
$R^2=0.4163$	No. of flower clusters= $-0.002338AA+0.6918AI-0.4755AJ$
$Re=0.5267$	$0.00000244R^2-0.0003945V^2+0.00000476V^3$
$F=11.06$	$+0.1390$
$P<0.0001$	

Table 14. Total number of the observed clusters per annual branch in both apple and pear, that of flowers per shoot in persimmon and that of fruits per annual branch in cherry (left), that of estimated values by the multiple regressions (middle) and the round off number of the estimated values (right).

Total number of clusters, flowers or fruits			
Fruit species	Observed value	Estimated value	Round off of the estimated value
Apple	105	105.2	118
Cherry	162	152.7	158
Persimmon	145	144.9	143
Pear	76	76.1	79

Table 15. Proportion (%) of coincided cases of the estimated values with the observed values in respect of number of clusters per annual branch in both apple and pear, that of flowers per shoot in persimmon and that of fruits per annual branch in cherry (left) and that in respect of their existence regardless of their number (right).

Proportion (%) of coincided cases		
Fruit species	No. of clusters, flower or fruits	Existence of clusters, flowers or fruits
Apple	70.4	70.4
Cherry	34.3	86.8
Persimmon	55.6	74.6
Pear	76.2	82.0

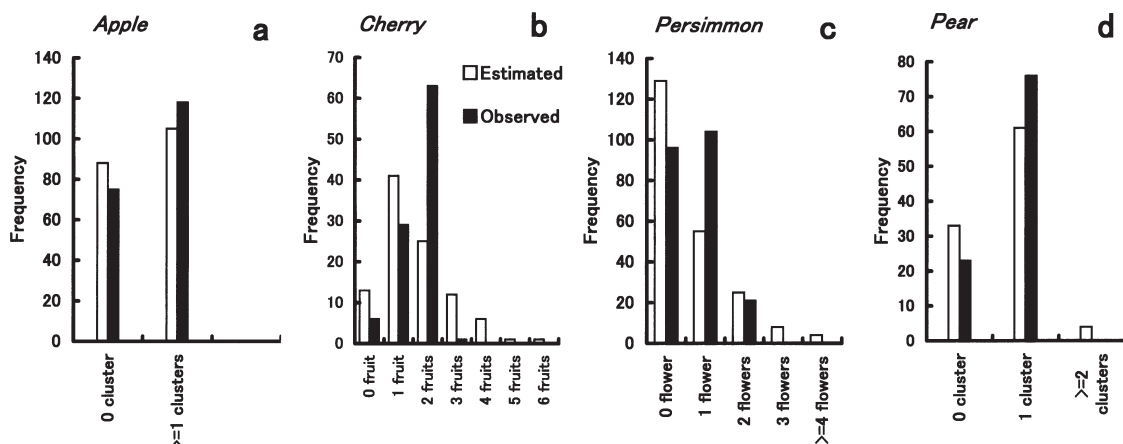


Fig. 18. The comparison of flower (fruit) number frequency between the observed results and the estimated one from the multiple regression in the 4 cultivars.

実測値とが一致した割合は、リンゴでは70%、オウトウでは34%、カキでは55%およびセイヨウナシでは76%であり、オウトウやカキでは食い違いが目立った（第15表左）。この背景には、第14表が示すように、総数そのものは正確であったものの、寄与率の低さを反映してか、推定値が僅かに実測値の上下に逸れ、このことによる不一致数が増大したものと考えられる。実測結果と推定結果の間で生殖器官数別ヒストグラムを比較すると、上記の重回帰推定計算における僅かなずれが読み取れた（第18図）。オウトウは、他の樹種と違って、生理落果後の着生果実数を調査したものであったためか、枝の特性値以外の環境要因や生理的要因による影響を受け、誤差が大きくなったものと思われる。いずれにしても、上記の精度に関する検討結果は重回帰式の寄与率の低さを考慮すればさほど悪いものとは考えられない。これには生殖器官数のデータが数個以内で、かつ、数値が整数であることも関与しているものと思われる。よって、本報で得られた重回帰式の偏回帰係数は、これまでの結果部位を推定するための判定基準に比べて、精度向上に寄与するものと考えられる。

以上の結果、汎用型CACOASに用いる果実着生部位を推定するパラメータには、樹種によって目的変数が果そう、花あるいは果実の違いがあったものの、生殖器官の着生数を推定するための重回帰式の偏回帰係数と定数項（第13表）があげられる。ただし、果実着生部位を推定するパラメータには、これら以外に、慣行の摘花割合

あるいは摘果割合が必要である。また、慣行の摘花割合あるいは摘果割合をいきなり用いる代わりに、CACOAS内に具備された着葉数計算機能を活用して葉数を計算し、適正葉果比を入力することで、摘花割合あるいは摘果割合を決める方式も可能である。この場合には、慣行の適正葉果比もパラメータになる。

#### 4. 汎用型CACOASの運用結果例

4品種について、共通形式のパラメータ類を用いた汎用型CACOASの運用試験を行った。その結果、従来の樹種別CACOASの際の煩雑さが消え、操作はより単純になった。よって、共通形式のパラメータ類を入手し、汎用型CACOASを使用することで、他の品種に対するCACOAS拡張がより容易になったものと考えられる。なお、運用試験の出力結果は多量であったので全部を示すことは出来ないが、ここでは、各品種いずれも開心形の8年目における果実着生部位を表示した剪定前の樹形図、樹冠形図および剪定後の樹形図について、それぞれ、上面図1例ずつを第19図に示した。出力結果には選択枝である剪定方法や目標葉面積指数が大きく影響し、かつ、これらの自由度は極めて大きいので、結果の当否を論ずることは控えたい。ただし、図中の新梢の発生状況、枝の肥大および果実着生状態について大きな問題は認められないものと思われた（第19図）。第19図の果実着生部位を表示した剪定前の樹形図はパソコンの画面出力結果であるため、たとえば、オウトウの小さい果実でも色分

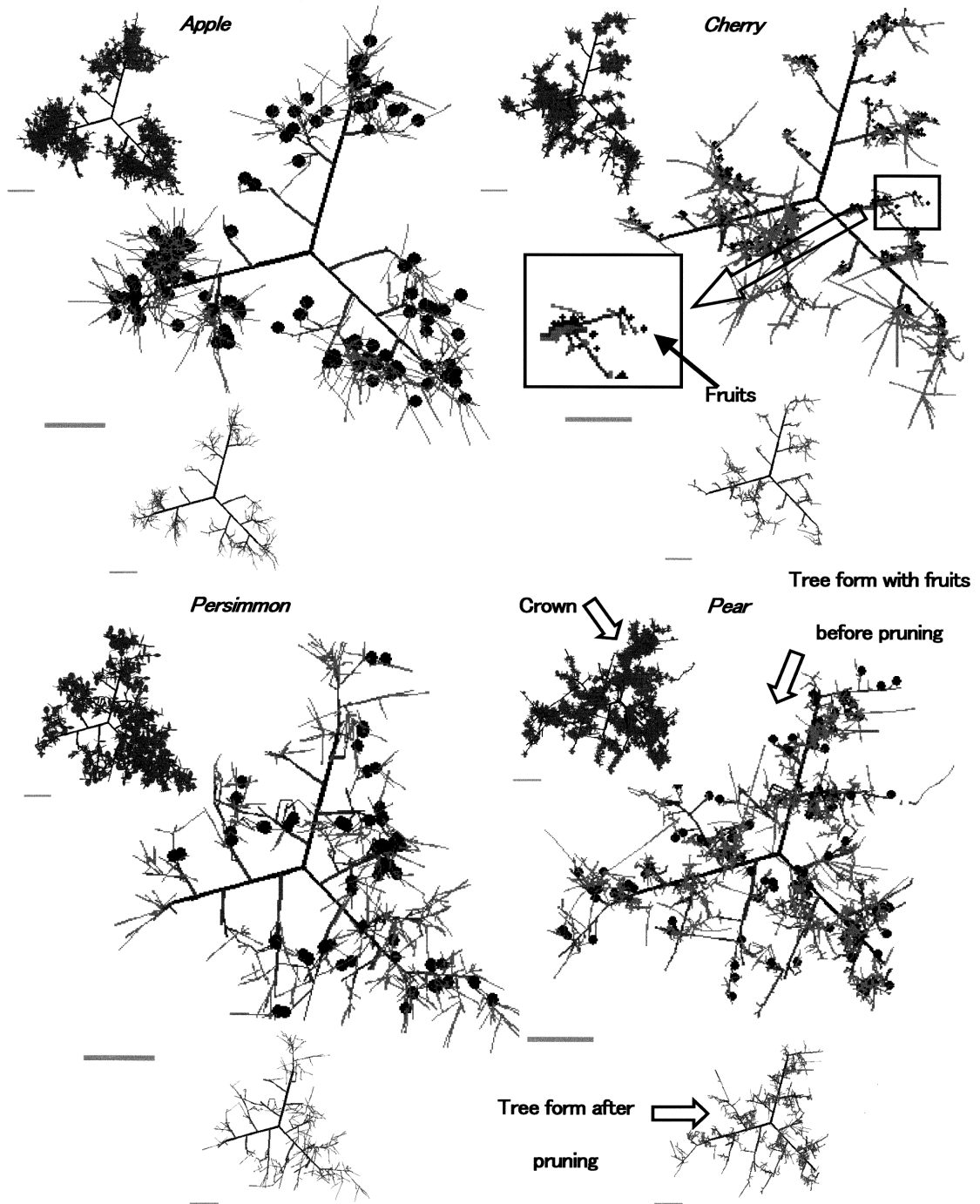


Fig. 19. The simulated top views of tree form with fruits before pruning, crown form and tree form after pruning of a 8-year-old tree in each cultivar by CACOAS in all-purpose type. The every cultivars have 3 primary scaffold branches (PSB) and 5 secondary scaffold branches per PSB in a limited space of 400cm (S-N width) × 400cm (E-W width) × 350cm (height) . Horizontal bars indicate 50cm.



けでき、果実判別は容易であった。また、果実分布の数量データは別途ファイル出力するので、緒言に記した目的に利用できる。

## 5. おわりに

本論文で扱った新梢特性値の推定パラメータ、枝の肥大推定パラメータおよび果実着生部位推定パラメータのほかにも種々のパラメータが必要である。その一部は経験的に入手せねばならないものである。たとえば、個葉平均面積や新梢長から着葉数を計算するパラメータなどについては、その入手方法はさほど困難ではなく、また、その多くは既報（山本・山口，1989；山本・島，1991）に記されている。また、このほかCACOAS使用目的に関連するパラメータ（たとえば、栽植距離、樹高制限、年次別目標葉面積指数、樹形選択に関連する骨格枝の配置や形状、剪定に関する多くの規則など）や出力範囲や種類に関連するパラメータ（たとえば、樹形図の数など）があるが、本来これらは経験的に求めるというよりも選択肢として与えられる。選択肢自体の改良は必要であるが、本報では省略した。

## 謝 辞

本研究の一部は平成13～14年度文部科学省科学研究費補助金（萌芽研究，No. 13876004）で実施した。記して謝意を表する。

## 摘 要

樹形構築解析システム（CACOAS）に用いるリング‘ふじ’、オウトウ‘佐藤錦’、カキ‘平核無’およびセイヨウナシ‘ラ・フランス’のパラメータ類を収集するとともに、その精度を検討した。立体写真測量法を用いた計測データから4樹種とも合計7種の新梢の形状姿勢・発生習性（以下、特性値）を推定するためのいずれも有意な重回帰式を得た。既報に用いた説明変数のほかに特性値間の交互作用項（2特性値の積）を新たに加えることで、多くの重回帰式の寄与率を上昇できた。また、重回帰推定値の大きさに伴って変動する推定残差の標準偏差を用いたモンテカルロシミュレーション法（MCS）を検討したところ、従来法（重回帰の残差標準誤差を用いたMCS法）に比べて新梢特性値分布を実際の分布に

近づけることができた。さらに、重回帰式寄与率の低い偶然誤差を多く含む特性値については、重回帰推定法をとりやめ、実測値データの分布形を用いたMCSを用いることで、実際の分布にかなり近づけることができた。枝特性値の測定結果を用いて、枝齢の上昇に伴う枝の年肥大量を推定するパラメータを4品種とも収集した。この場合にも、既報に用いた説明変数のほかに特性値間の交互作用項を新たに加えることで、多くの重回帰式の寄与率を高めることができた。CACOASに果実着生部位を推定・表示させる機能を新たに追加するために、これに必要なパラメータの収集を行なった。枝特性値と生殖器官着生数の測定結果から、4品種とも枝あたり着生果実数の有意な重回帰式を得た。また、これによる果実着生数の推定結果と実際値を比較した。上記一連のパラメータには樹種を問わず同一の形式をもたせたので、これまでの樹種別CACOASに代わって、パラメータファイル交換方式が可能な汎用型CACOASを作成することができた。

## 引用文献

- 石川栄助（1964）実務家のための新統計学。楳書店。東京。
- 小林 章（1968）果樹園芸総論。環境・結実・栄養編。養賢堂。東京。
- 黒上泰治（1967）果樹園芸各論。上巻。養賢堂。東京。
- 黒上泰治（1968）果樹園芸各論。中巻。養賢堂。東京。
- Mize, J. H. and Cox, J. G. (1969) シミュレーションの基礎（小笠原 暁監訳）。培風館。東京。
- 宮本敏雄・松田信行（1964）基礎数学ハンドブック。森北出版。東京。
- 日本写真測量学会・解析写真測量委員会（1989）解析写真測量。村井俊治編。日本写真測量学会。東京。
- 塩崎雄之輔・荒川 修・菊池卓郎（1995）マルバカイドウ台リング‘ふじ’弘大方式半密植主幹形樹の樹冠内光条件と果実分布。園学雑。63：711-718。
- Smith, G. S., J. P. Curtis, and C. M. Edwards (1992) A method for analyzing architecture as it relates to fruit quality using three-dimensional computer graphics. Ann. Bot. 70：265-269。
- 山本隆儀（1999）果樹園光環境解析システム（OLEAS）。山形大学紀要（農学）。13：89-116。

- 山本隆儀・畠 良七(1991) 果樹の樹形・葉群構造の季節的变化推定システム. 山形大学紀要(農学), 11: 343-373.
- 山本隆儀・岩波乾太 (2005) 2つのシミュレーションモデル (CACOASとOLEAS) によるリンゴ‘ふじ’の様々な樹形における樹高, 作業空間, 着果量および光環境の予測と比較. 農業環境工学関連7学会2005年合同大会講演要旨集: 299.
- 山本隆儀・菊池雄一郎・草村 誠・松林美樹 (2005) 樹形構築解析システム (CACOAS) に用いる着果部位推定パラメータ. 園芸学会雑誌, 74別1: 473.
- 山本隆儀・今野拓道, 野口マキ・草村 誠 (2005) 樹形構築解析システム (CACOAS) に用いるカキ‘平核無’のパラメータ. 園芸学会雑誌, 74別1: 85.
- 山本隆儀・松林美樹 (2004) 樹形構築解析システム (CACOAS) に用いるオウトウ‘佐藤錦’のパラメータ. 園芸学会雑誌, 73別1: 73.
- 山本隆儀・宮田裕美・野口マキ・奥山定治 (2004) 樹冠情報の長期予測を目的とした果樹の樹形構築解析システム (CACOAS) の開発. 山形大学紀要 (農学), 14: 59-93.
- 山本隆儀・豊島紀子・奥山定治 (2006) 果樹の立体写真測量. 山形大学紀要 (農学), 15: 11-36.
- 山本隆儀・山口恵理 (1989) 果樹の樹形・葉群構造の簡易解析システム—二側面写真画像を用いた新システムの開発—. 山形大学紀要 (農学), 10: 869-901.
- 山本隆儀・谷澤佳美・野口マキ・菊池雄一郎 (2006) 樹形構築解析システム (CACOAS) に用いるセイヨウナシ‘ラ・フランス’のパラメータ. 園芸学会東北支部平成18年度大会研究発表要旨: 35-36 .