

# 果樹の整枝せん定における選択枝と樹冠設計システム（CDS）を用いた多様な樹冠モデルの作成

山本隆儀

山形大学名誉教授

(令和元年9月11日受付・令和元年11月22日受理)

## Construction of Various Crown Models of Fruit Trees Using Some Alternatives in Training-Pruning Procedure and A Crown Design System (CDS)

Takanori YAMAMOTO

Professor Emeritus, Yamagata University, Tsuruoka,  
997-8555, Japan

(Received September 11, 2019 · Accepted November 22, 2019)

### Summary

In order to provide crown models of fruit trees for research on their light environments, a crown design system (CDS) was developed. Fruit tree crowns for cultivation were thought to consist of three elements, viz. a trunk, primary scaffold branches (“PSBs”) and compound units of stems after secondary scaffold branches (“units”). The CDS used many alternatives in training-pruning procedure to construct crown models, namely, lengths and inclination angles of the trunk, numbers of the PSBs and distribution patterns of sizes, branching angles and generation intervals of both the PSBs and the units, and their central angles. The CDS constructed various tree crown models in a short time. The appearances and the configurations of the crown models were compared between these alternatives. As the results, the differences of lengths and inclination angles of the trunk greatly changed their appearances. Distribution patterns of sizes, branching angles and generation intervals of the PSBs changed their configurations. Further, it was found that combinations of central angles of the first PSB and the increments of the central angle in the order of the PSNs greatly changed the appearances and the configurations. As the trunk was longer, the crown was less crowded, the overreach of branches from the allocated space was less and the working space became more. The crowns with trunks longer than 190 cm were easy to exceed the tree height restriction, and that shorter than 40 cm brought out the shortage in the leafy bloc number owing to the overlaps of the units. In cases of two PSBs, the leafy bloc numbers became insufficient when small units were used, and that became overmuch when the large units were used. Further, leafy bloc numbers became overmuch in cases of six PSBs or five ones. When rows of the units were arranged like “V” characters, overreach of branches from the allocated space decreased, and working spaces increased.

**Key words** : crown shape, light environment in orchard, tree form, tree height, tree width

### 緒 言

高品質果実の多収かつ安定的生産にとって、葉量を確保し、なおかつ、樹冠内光環境を良好に保つことが極めて重要である（山本, 2014）。しかし、数多くの樹冠を用いて光環境を比較する際の大きな問題点として、実際の

樹冠を用いた光環境の計測および樹を収納する空間の寸法、葉量、投射光強度などの諸条件を等しくしたうえで光環境の比較が極めて困難であることがあげられる。これに加え、実験樹を準備するのに広大な面積、長時間および多大な労力を要することがあげられる。上記のことから、筆者はこれまでパソコンを用いて多種多様な樹

冠モデルを作成するとともに、果樹園光環境解析システム（山本, 1999, 以下, OLEAS）を用いて光環境などを比較してきた（山本, 2016, 2017, 2018）。その結果、モデル的手法による実験結果とは言え、光環境良好な樹冠に関する多くの知見が得られた。けれども、上記研究に用いた樹冠モデルは、仮想グリッドを用いた幾何学的手法により与えたものであり、それらの研究成果を整枝せん定などの栽培管理方法に結びつけることができなかった。そこで、本報では、整枝せん定作業における選択枝を用いた樹冠設計システム（以下, CDS）を新たに開発し、光環境が悪化する成果期の夏季における多様な樹冠モデルを作成したものである。本報はCDSの性能および作成した多様な樹冠モデルを紹介するとともに、これらを光環境の比較に用いる際の条件に照らして検討したものである。なお、本研究における樹冠モデルは慣行栽培の立木仕立て果樹の樹冠に限定したが、その理由については考察に記した

本報における実験の柱を列挙すると以下の通りである。①CDSの原理とその性能の紹介、②選択枝の違いにより生じた樹冠モデルの外観と内部構造の比較、③作成した樹冠モデルの樹高、樹幅、葉量などの樹冠計測値の検討。

## 材料および方法

### 1. 樹冠構成要素およびCDSの概要

本報では、栽培果樹の樹冠を構成する要素として、主幹、主枝および垂主枝以降のひとかたまりの枝葉複合単位（以下、ユニットと略す）の3者を取り上げた。この3者それぞれの大きさ・長さ、数、形状、発出位置、傾き・発出方向などの違いにより樹冠の形が大きく変わるものと考えた。そこで、これらの違いをもたらす数種類の選択枝を設け、これらを組み合わせながら迅速に樹冠モデルを設計するためのコンピュータシステム（以下、CDS）の開発に着手した。CDSは、上記の樹冠モデルの設計のほか、樹高や樹幅、割り当て空間からのみ出し程度、作業空間や葉ブロック総数などの数値（以下、樹冠計測値）をプログラム計算した。ここで、葉ブロックとは樹冠を仮想グリッドで仕切ったときできるブロックのうち、葉を含むブロックのことである。また、CDSは仮想グリッドにおける葉ブロックの3次元配列変数を作成した。さらに、CDSは樹形図、樹冠形図、葉ブロックの積み木構造図（ソリッドモデル図）および樹冠下空間

分布図を作成した。本実験では、東西と南北の樹幅はいずれも4m以下および樹高は3.5m以下とし、この制限値で区切られた空間を割り当て空間と称した。

### 2. CDSによる樹冠モデルの設計方法

形状と寸法が異なる物体を数種類準備し、それぞれ独立に、様々な位置に配置するには、物体の空間座標のほか、配置点の空間座標、物体の傾斜角度およびその方位角度の3者があれば良い。しかし、配置ごと上記3者の値を準備せねばならず、配置数が数百に及ぶようなときには、この作業は格段に煩雑になる。

上記とは異なる、親枝から子枝が枝分かれする連結体を考える。このばあい、親枝を空間座標の原点(0, 0, 0)に垂直に立てた状態（以下、この状態のものを“原型”と呼ぶ）を考える。親枝から子枝が発出するときの分岐角度、親枝断面における子枝発出方向の回転中心角（以下、回転中心角）および親枝基部から子枝発出点までの垂直距離を決める。この3者が判っていれば、親枝が移動し、その姿勢（傾斜角度や方位角度）が変わってもこの3者の数値は不変である。なお、この3者の詳しい説明については後述する。

上記3者を用いて回転処理と移動処理を行う際、回転マトリクス、回転式および回転・移動の計算処理については山本(1983)に準じた。なお、回転マトリクスの式と回転式のとりきめ（山本, 1983）から、第1図aに示した回転座標を用いた。これは地上座標も兼ねる必要があったので、東西がx軸（東方向が正）、天地がy軸（天頂方向が正）、南北がz軸（北方向が正）とした。上述の分岐角度は親枝と子枝の間の挟角を意味する。また、子枝の回転中心角は回転座標の原点に垂直に立てた親枝における子枝の発出方向とz軸（北方向）の間の角度を意味し、天頂を見上げながら反時計針方向（左回り）に測った角度である。

上述の3者を用いた回転・移動の処理方法を具体的に示す。最初に、回転座標原点の上に親枝と子枝を垂直に立てたうえで、子枝を対象に、x軸を中心に東方向を見ながら分岐角度に相当する左回転処理を施した（第1図a）。この回転処理後でも、子枝はz軸の真上に存在した。次に、この姿勢が変わった子枝を対象に、天頂を見上げながらy軸を中心に回転中心角に相当する左回転処理を施した（第1図b）。最後にy軸に沿って、原点から子枝発出点までの平行移動処理を施した（第1図c）。ただし、

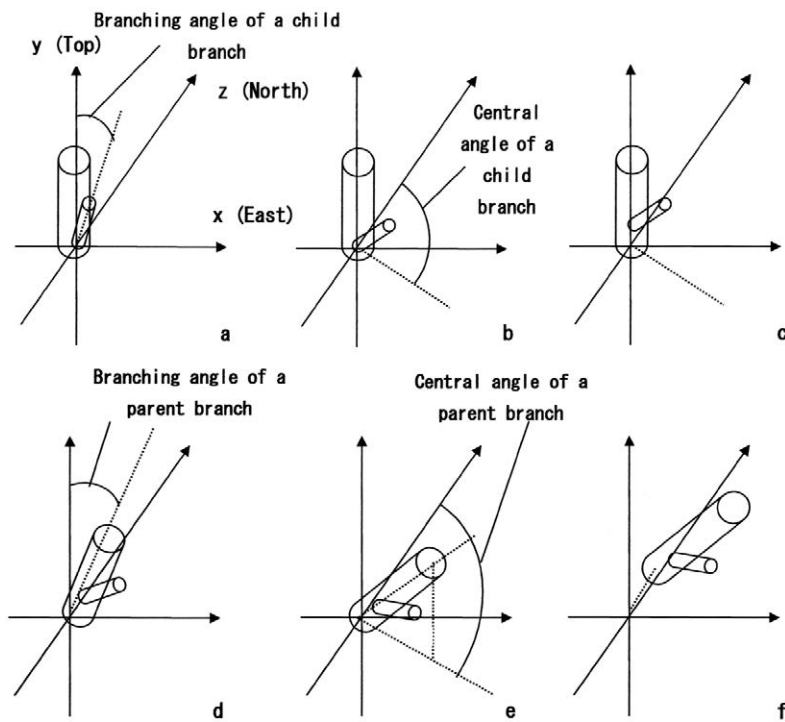


Fig. 1. Schematic showings of the relation between a parent branch and the child one with the changes of their attitudes.

この時点でも親枝の姿勢は変化していない。そこで次の段階として、ここまでで得られた親枝と子枝の空間座標の全データを対象に、y軸と親枝の間の挟角（分岐角度と同じ意味）を用いた左回転処理を施した（第1図d）。引き続き、親枝の回転中心角を用いて左回転処理を施したうえで（第1図e）、原点から親枝基部点までの距離に相当する平行移動処理を施した（第1図f）。

上述の親枝・子枝の回転・移動の処理方法を、樹冠構成要素である主幹、主枝およびユニットに当てはめ、樹冠モデルを設計する手順を模式的に第2図に示した。なお、親枝としての主幹にとってユニットは孫枝に当たるため、上述の親枝・子枝の関係を主幹、主枝およびユニットの3者に適用するには、それぞれの親子関係に分けて順次行う必要がある。ここでは、1本の主幹、2本の主枝および3個のユニットを取り上げる。第2図aはこれらを模式的に示したものである。いずれも最初は回転座標の原点に垂直に立てた状態にした。第1主枝（最基部の主枝）になるべき主枝原型を親枝とし、その主枝上の第1ユニット（最基部のユニット）になるべきユニット原型を子枝として、ユニットの分岐角度と回転中心角を用いて、上述の回転処理を施した（第2図b）。さらに、原点からユニット基部点までの距離だけ平行移動した（第

2図c）。上記の回転・移動の処理を残りの2個のユニットにも施した（第2図d）。さらに、残りの1本の主枝原型と2個のユニットに対して、同等の回転・移動の処理を施した（第2図e）。でも、この回転と平行移動を終えた2本の主枝は依然として直立していた（第2図dとe）。そこで次に、主幹の原型を親枝とし、2本の主枝を子枝とし、各主枝の分岐角度、回転中心角および主幹基部点から各発出点までの距離を用いて、上記同様な手順で主枝とユニットの両者に対して回転・移動の処理を施した（第2図f）。

第2図fまでは直立主幹であったが、斜立主幹では以下の回転・移動の処理を追加した。このときの回転処理における分岐角度には $90^\circ$ から主幹の傾斜角度を差し引いた角度を用い、回転中心角には主幹が倒れる方向とz軸の間の角度を用いた。この両角度を用いて、主幹、主枝およびユニットの3者の回転を行った（第2図g）。なお、斜立樹冠のばあい、樹冠の先端部分が割当て空間からはみ出やすいので、主幹の発出点を倒れる方向とは反対側にすこし後退させても良い。このとき、割り当て区域の中心（回転座標の原点）と発出点のx座標の差およびz座標の差だけ、それぞれ、平行移動した（第2図h）。

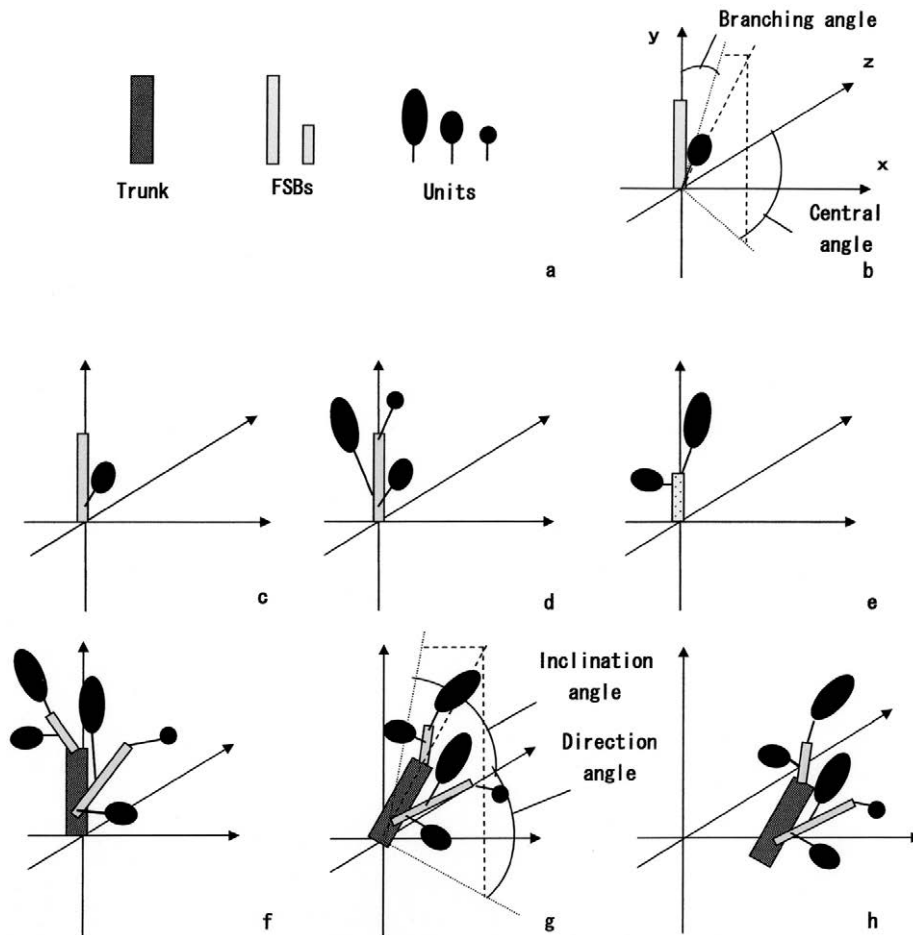


Fig. 2. Schematic showings of construction process of a tree crown using a trunk, two primary scaffold branches (PSBs) and several units which prototypes were shown in a. The branching angle of a unit and the central angle were shown in b. The inclination angle of a trunk and the direction angle were shown in g.

### 3. 整枝せん定における各種選択枝とこれらに関連した変数値の算出方法

整枝せん定処理は多岐にわたるため、例えば、主幹長や主枝数のような整枝せん定処理項目（以下、項目）に分けたうえで、各項目内に数種類の選択枝を設定する必要がある。主幹の項目には、長さ、傾斜角度および傾斜方向が含まれる。主枝の項目には、数、長さの分布形、着生間隔の分布形、分岐角度の分布形、第1主枝の回転中心角および2番目以降の主枝の回転中心角を算出するための中心角増分が含まれる。また、ユニットの項目には、タイプ、大きさの分布形、着生間隔の分布形、分岐角度の分布形およびユニットの中心角の与え方が含まれる。ユニットの数は選択枝に含まれなかったが、この理由は後述する。なお、上述のいずれの分布形についても以下のような方法で与えた。すなわち、親枝における最初の子枝発出点から先端部までを均等の長さの3部分に

分け、各部分に発出する子枝に対して、選択枝が示す分布形になるような数値（長さ、大きさ、角度など）を割り振ったものである。

#### 1) 主幹長の選択枝および主幹原型データの作成

主幹長（項目の記号はC、以下同様）の選択枝は40cm（選択枝記号はC1、以下同様）、70cm（C2）、100cm（C3）、130cm（C4）、160cm（C5）、190cm（C6）および210cm（C7）の7種類とした（第1表）。各主幹原型データには、主幹原型における7点の空間座標値を用いた。ここで、7点とは、基部点と先端部点の2点および両点の間を6分割する5点を意味する。

#### 2) 主幹傾斜角度の選択枝

主幹傾斜角度（A）の選択枝は90°（A1、直立）、80°（A2）、70°（A3）、60°（A4）および50°（A5）の5種類とした（第1表）。

#### 3) 斜立主幹における主幹傾斜方位の選択枝

斜立主幹が倒れる方位を意味する主幹傾斜方位 (L) の選択枝は東 (L1), 南東 (L2), 南 (L3), 南西 (L4), 西 (L5), 北西 (L6), 北 (L7) および北東 (L8) の各方位の8種類とした (第1表)。なお, 地面上の斜立主幹発出点は割り当て区域中心点を通して上記方位とは正反対の方位に取ったもので, 本報では割り当て区域 (正方形) の境界線より1.5m内側とした。

4) 主枝数の選択枝

主枝数 (D) の選択枝は2本 (D2), 3本 (D3), 4本 (D4), 5本 (D5) および6本 (D6) の5種類とした (第2表)。当初予定した1本主枝 (D1) の選択枝は非現実的であると判断し, 設けなかった。

5) 主枝の原型データの作成方法, 主枝長分布形の選択枝およびその与え方

主枝原型には長さが35cm (短い主枝), 60cm (中位の長さの主枝) および100cm (長い主枝) の3種類を用意し, それぞれのデータには各主枝原型における7点の空間座標値を用いた。

主幹を上述の様に3部分に分けたうえで, 主枝長分布形 (H) の選択枝はいずれの部分も短い (H1), いずれの

部分も中位の長さ (H2), いずれの部分も長い (H3), 基部は長く, 中間部は中位の長さおよび先端部は短い (H4), 基部は短く, 中間部は中位の長さおよび先端部は長い (H5), 基部と先端部は長く, 中間部は中位の長さ (H6) および基部と先端部は中位の長さで中間部は長い (H7) の7種類とした (第2表)。主枝数を3等分し, 割り切れた時は上記の主枝長分布形に対応して基部, 中間部および先端部に該当する長さの主枝を割り振ったが, 割り切れないときは四捨五入し, 基部を優先して割り振った。ただし, 主枝数が2本のときは中間部を無視した。また, 主幹の先端には必ず主枝を発出させた。

6) 主枝発出間隔分布形の選択枝および主幹基部から各主枝発出点までの距離の算出方法

主枝発出間隔分布形の選択枝 (E) は, 等間隔 (E1), 頂部側ほどやや疎になる (E2), 頂部側ほど著しく疎になる (E3), 頂部側ほどやや密になる (E4) および頂部側ほど著しく密になる (E5) の5種類とした (第2表)。これら選択枝に対応すべく, 地面から各主枝までの距離を次の一連の計算式を用いて算出した。すなわち, 地面から第1主枝発出点までの距離をあらかじめ定めたうえで, 1式により x, 2式により y を定義した。

$$x = (\text{主枝の順番} - 1) / (\text{最先端の主枝の順番} - 1) \tag{1}$$

$$y = (\text{各主枝まで距離} - \text{第1主枝発出点までの距離}) / (\text{主幹長} - \text{第1主枝発出点までの距離}) \tag{2}$$

次に,  $y = x$ ,  $y = x^{1.5}$ ,  $y = x^2$ ,  $y = x^{0.75}$  および  $y = x^{0.5}$  からなる5種類の式を用いて, x と y の間の関係を定めた。そのうえで, 1式と2式を用いて各主枝まで距離を逆算した。上記5種類の関係式を用いて算出した主枝の発出間隔分布形は, 各関係式の順に, 等間隔, 頂部側ほどやや疎, 頂部側ほど著しく疎, 頂部側ほどやや密および頂部

Table 1. The list of the abbreviations (Ab.) of alternatives concerning the trunk. The azimuth shows an angle measured from the z coordinate axis in the counterclockwise.

Trunk length (cm)	Inclination angle (°)		Inclination direction		Azimuth (°)	
	Ab.	Ab.	Ab.	Ab.	Ab.	Ab.
40	C1	90	A1	E	90	L1
70	C2	80	A2	SE	135	L2
100	C3	70	A3	S	180	L3
130	C4	60	A4	SW	225	L4
160	C5	50	A5	W	270	L5
190	C6			NW	315	L6
210	C7			N	0	L7
				NE	45	L8

Table 2. The list of the abbreviations (Ab.) of alternatives concerning the primary scaffold branch (PSB). The central angle shows the angle measured from the the z coordinate axis in the counterclockwise. Base, Mid and Tip indicates a basal region, medium one and terminal one when a trunk was divided into three regions, respectively.

Number of PSBs	Distribution patterns of PSB length				Distribution patterns of generation interval				Distribution patterns of branching angle				Central angles of the 1st PSB		Increment of central angle	
	Ab.	Base (cm)	Mid (cm)	Tip (cm)	Ab.	Base	Mid	Tip	Ab.	Base (°)	Mid (°)	Tip (°)	Ab.	Base (°)	Ab.	Tip (°)
2	D2	35	35	35	H1	Equal interval	E1	80	80	80	11	90	F1	60	G1	
3	D3	60	60	60	H2	A little sparser as the tip	E2	60	60	60	12	270	F2	72	G2	
4	D4	100	100	100	H3	Very sparser as the tip	E3	40	40	40	13	180	F3	90	G3	
5	D5	100	60	35	H4	A little denser as the tip	E4	80	60	40	14	0	F4	120	G4	
6	D6	35	60	100	H5	Very denser as the tip	E5	40	60	80	15	135	F5	144	G5	
		100	60	100	H6			40	80	40	16	225	F6	180	G6	
		60	100	60	H7			80	40	80	17	45	F7	51	G7	
												315	F8	30	G8	

側ほど著しく密の分布を示した。なお、本報では地面から第1主枝発出点までの距離を40cmとした。

**7) 主枝分岐角度分布形の選択肢とその与え方**

主枝分岐角度には広角度 (80°), 中位の角度 (60°) および狭角度 (40°) を用いた。上述のように主幹を3部分に分けたうえで、主枝分岐角度分布形 (I) として、いずれの部分も広角度 (I1), いずれの部分も中位の角度 (I2), いずれの部分も狭角度 (I3), 基部は広角度, 中間部は中位の角度, 先端部は狭角度 (I4), 基部は狭角度, 中間部は中位の角度, 先端部は広角度 (I5), 基部と先端部は狭角度, 中間部は広角度 (I6) および基部と先端部は広角度, 中間部は狭角度 (I7) の7種類の選択肢を設けた (第2表)。そして、5) の主枝長分布形のばあいと同様に、主枝数に対応して主幹の3部分に主枝分岐角度を割り振った。

**8) 第1主枝の回転中心角の選択肢**

直立主幹における第1主枝の回転中心角 (F) として、90° (F1), 270° (F2), 180° (F3), 0° (F4), 135° (F5), 225° (F6), 45° (F7) および315° (F8) の8種類の選択肢を設定した (第2表)。

**9) 主枝の回転中心角増分の選択肢と主枝回転中心角の算出方法**

第1主枝から先端部に向けて主枝を発生させるとき、第2主枝以降の回転中心角については3式を用いて算出した。

$$\text{主枝回転中心角} = \text{第1主枝の回転中心角} + (\text{主枝の発生順番} - 1) \times \text{回転中心角増分} \quad (3)$$

このときの回転中心角増分 (G) として、60° (G1), 72° (G2), 90° (G3), 120° (G4), 144° (G5), 180° (G6), 51° (G7) および30° (G8) の8種類の選択肢を設けた (第2表)。

**10) ユニットタイプの選択肢およびユニット原型データの作成方法**

ユニットタイプ (K) は、その形状が“3又状” (K1), “2又状” (K2), “円錐状” (K3), “棒状” (K4) および“板状” (K5) の合計5種類の選択肢を設けた (第3表)。なお、ユニットを回転座標原点に垂直に立てた状態のものをユニット原型と称した。各タイプとも、その大きさにより、小、中および大の3段階からなる合計15個の原型を準備した (第3図)。各ユニット原型を構成する枝群の空間座標データについては果樹の樹形構築解析システム (山本ら, 2004. 以下, CACOAS) を用いて作成した。CACOASにおける整枝, 間引きせん定および切り返しせん定に関する各パラメータを種々工夫し、5タイプの2年生樹, 3年生樹および4年生樹を構築し、これらをユニット原型と見なしたものである。ただし, CACOASを運用する際のパラメータにはリンゴ‘ふじ’のパラメータ (山本ら, 2004) を使用した。なお, 上記取扱いの問題点については考察に記した。15個のユニット原型の寸法 (3次元座標各軸に沿った最大幅) および葉ブロック数 (新梢に葉を着生させたときにできる葉ブロックの総数) については第4表に記した。

**11) ユニットの発出間隔分布形の選択肢とその与え方**

ユニット発出間隔分布形 (Q) は、6) の主枝のばあいと同じく、等間隔 (Q1), 頂部側ほどやや疎 (Q2), 頂部側ほど著しく疎 (Q3), 頂部側ほどやや密 (Q4) および頂部側ほど著しく密 (Q5) の5種類の選択肢を設けた (第3表)。これらに対応したユニット発出間隔の計算方法については、6) の主枝発出間隔分布形のときの計算式に準じたので、ここでは省略した。なお、本報では主枝基部から第1ユニット発出点までの距離を20cmとした。

Table 3. The list of the abbreviations (Ab.) of alternatives concerning the units. The central angle shows the angle measured from the the z coordinate axis in the counterclockwise. Base, Mid and Tip indicates a basal region, medium one and terminal one when a PSB was divided into three regions, respectively.

Unit types	Distribution patterns of the generation interval		Distribution patterns of the unit size				Distribution patterns of branching angle				Increment of central angle or like "V"		
	Ab.		Ab.	Base	Mid	Tip	Ab.	Base	Mid	Tip	Ab.	Ab.	
Like trifold	K1	Equal interval	Q1	Small	Small	Small	P1	80	80	80	S1	60°	Y1
Like advancer	K2	Very sparser as the tip	Q2	Middle	Middle	Middle	P2	60	60	60	S2	72°	Y2
Like spindle	K3	A little sparser as the tip	Q3	Large	Large	Large	P3	40	40	40	S3	90°	Y3
Like pole	K4	Very denser as the tip	Q4	Large	Middle	Small	P4	80	60	40	S4	120°	Y4
Like plate	K5	A little denser as the tip	Q5	Small	Middle	Large	P5	40	60	80	S5	144°	Y5
				Middle	Large	Small	P6	40	80	60	S6	180°	Y6
				Middle	Small	Large	P7	60	80	40	S7	Like "V" with 60°	Y7
								80	40	60	S8	Like "V" with 90°	Y8
								60	40	80	S9	Like "V" with 120°	Y9

12) ユニットの大きさ分布形の選択肢とその与え方

上述の様に主枝を3部分に分けたうえで、ユニットの大きさ分布形 (P) は、いずれの部分も小 (P1)、いずれの部分も中位の大きさ (P2)、いずれの部分も大 (P3)、基部は大、中間部は中位の大きさおよび先端部は小 (P4)、基部は小、中間部は中位の大きさおよび先端部は大 (P5)、基部は中位の大きさ、中間部は大および先端部は小 (P6) および基部は中位の大きさ、中間部は小および先端部は大 (P7) の7種類の選択肢を設けた (第3表)。各主枝の

ユニット数を3等分し、割り切れた時は上記の分布形に対応して基部、中間部および先端部に該当する大きさのユニットを割り振ったが、割り切れないときは四捨五入し、基部を優先して割り振った。ただし、ユニット数が2個のときは中間部を無視した。また、各主枝の先端には必ずユニットを配置した。なお、各主枝上のユニット数については、その求め方がやや複雑なため、15) に別記した。

13) ユニット分岐角度分布形の選択肢とその与え方

ユニット分岐角度として、広角度 (80°)、中位の角度 (60°) および狭角度 (40°) の3者を用いた。上述の様に主枝を3部分に分けたうえで、ユニット分岐角度分布形 (S) はいずれの部分も広角度 (S1)、いずれの部分も中位の角度 (S2)、いずれの部分も狭角度 (S3)、基部は広角度、中間部は中位の角度、先端部は狭角度 (S4)、基部は狭角度、中間部は中位の角度、先端部は広角度 (S5)、基部は狭角度、中間部は広角度、先端部は中位の角度 (S6)、基部は中位の角度、中間部は広角度、先端部は狭角度 (S7)、基部は広角度、中間部は狭角度、先端部は中位の角度 (S8) および基部は中位の角度、中間部は狭角度、先端部は広角度 (S9) の9種類の選択肢を設けた (第3表)。各主枝3部分における分岐角度の割り振り方については12) に記した方法に準じた。

Table 4. The dimensions along the xyz coordinates of the five types of the units with three steps in size, and the numbers of leaf blocs which were built by each unit.

Types of units	Size	The largest width along			Number of leaf blocs
		x axis	y axis	z axis	
		(cm)	(cm)	(cm)	
Like trifold	Small	122.5	80.6	122.5	20
	Middle	194.7	105.2	194.0	35
	Large	239.1	125.4	257.3	47
Like advancer	Small	134.6	120.9	134.6	19
	Middle	150.3	122.9	127.2	39
	Large	178.4	190.1	177.9	56
Like spindle	Small	78.9	53.7	121.0	18
	Middle	99.2	123.8	138.6	37
	Large	140.2	168.4	239.9	61
Like pole	Small	72.4	102.4	71.6	17
	Middle	108.0	163.6	106.8	38
	Large	115.3	185.0	126.2	56
Like plate	Small	5.3	95.8	99.7	18
	Middle	5.8	139.6	142.6	35
	Large	59.8	171.0	180.2	57

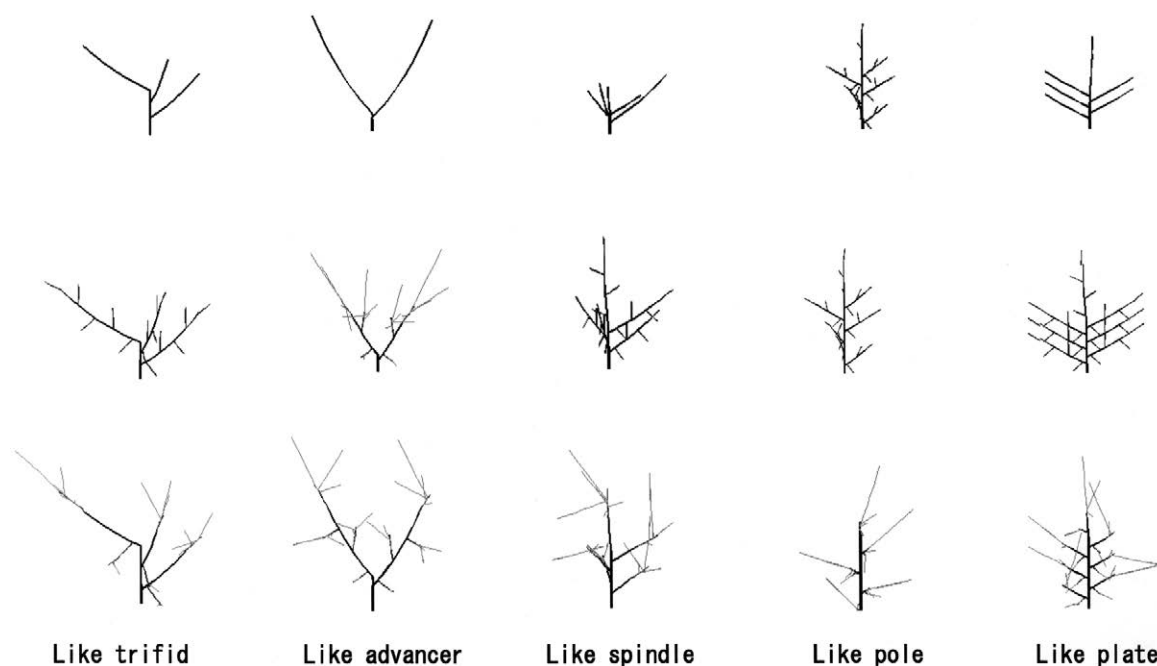


Fig. 3. The branch forms of the five types of the units with three sizes. Upper: Small size Middle: Medium size Lower: Large size

#### 14) ユニット回転中心角の与え方の選択肢と算出方法

ユニット回転中心角の与え方の選択肢（Y）については、中心角増分を用いる方法および強制的に与える方法に大別した（第3表）。

前者のばあい、第1ユニット回転中心角を90°としたうえで、第1ユニットから2番目以降のユニットの回転中心角を算出するのに4式を用いた。

$$\text{ユニット回転中心角} = \text{第1ユニット回転中心角} + (\text{ユニットの発生順番} - 1) \times \text{中心角増分} \quad (4)$$

このときの中心角増分として、60°（Y1）、72°（Y2）、90°（Y3）、120°（Y4）、144°（Y5）および180°（Y6）の6種類の選択肢を設けた（第3表）。

後者のばあい、ユニットが左右交互に等しい角度で上向きに発出するように強制的与えた。主枝軸に沿って投影するとV字状に見えることから、このときのV字の挟角が60°（Y7）、90°（Y8）および120°（Y9）の3種類の選択肢を設けた（第3表）。V字の挟角が60°（Y7）のばあい、第1ユニットの回転中心角を150°としたうえで、第2ユニットの回転中心角を210°とし、発出順番に沿って上記を繰り返した。90°（Y8）のばあい、上記の2つの回転中心角に、それぞれ、135°と225°を用いた。また、120°（Y9）のばあい、上記の2つの回転中心角に、それぞれ、120°と240°を用いた。

#### 15) 主枝当たりユニット数の設定方法

多数の樹冠を用いて光環境を比較する際、割り当て空間内の葉ブロック数を一定にせねばならない。これまでの光環境比較実験において終始656個を用いたこともあり（山本, 2016, 2017, 2018）、本実験でも656個を用いた。また、過去の実験結果（山本, 2016, 2017）と比較するためにも、656個を用いることは得策であると考えた。とはいえ、ユニットタイプやサイズの違いにより葉ブロック数が異なったこと（第4表）、あるいは、割り当て空間からのユニットのはみ出しやユニットどうしの重なりによる葉ブロック数の目減りが発生したため、葉ブロック数の調整は容易ではない。そこで、できるだけ656個に近づけるべく、葉ブロック数の概数をまず求め、この概数から主枝当たりユニット数を、ユニットの大きさ分布形が均等分布のばあいと不均等分布のばあいに分けて設定した。

均等分布のばあい、下記の（5）式のように、各タイプにおける大中小のユニットのいずれかの葉ブロック数を用いて1樹合計ユニット数を求めた。

$$1 \text{ 樹合計ユニット数} = 656 / (\text{ユニットの葉ブロック数}) \quad (5)$$

次に、主枝長当たりのユニット数（=1樹合計ユニット数/主枝総長）に各主枝長を乗じることで各主枝に配分するユニット数を決めた。

不均等分布のばあい、大きさの異なるユニットが混在したため、6式を用いて1樹合計ユニット数を求めた。

$$1 \text{ 樹合計ユニット数} = 656 / ((\text{小ユニットの葉ブロック数} + \text{中ユニットの葉ブロック数} + \text{大ユニットの葉ブロック数}) / 3) \quad (6)$$

次に、主枝長当たりのユニット数（=1樹合計ユニット数/主枝総長）に各主枝長を乗じて各主枝に配分するユニット数を決めた。

ただし、各主枝に配分するユニット数は整数なので、上述の計算値を四捨五入し、これをユニットの配分数とした。さらに、上述の葉ブロック数の目減りを考慮した予備実験を行い、検討したところ、最終的には、各主枝に配分するユニット数としては、上記の配分数に一律1を加えたものが最善であると判断した。

なお、上述の計算処理は葉ブロック数の概数を求めるためのものであったが、厳密に656個に等しくなるように微調節する方法については4.に記した。

#### 4. CDSにおける計算処理のアルゴリズム

CDSプログラムのフローチャートを第4図に示した。第4図に基づきながらCDS計算処理のアルゴリズムの要点を以下に記した。

プログラムの実行前に、各種原型の空間座標データを登録した（第4図①）。すでに記したように、ユニットの枝データにCACOAS出力データをそのまま用いたことから、これとの整合性を保つため、CDSに用いた全ての枝のデータ並びはCACOAS出力データの並びに等しくした。なお、枝齢が当年生（新梢）に限り、CDSが葉の着生処理を行ったが、このときの葉の着生に関するパラメータについてはCACOAS（山本ら, 2004）に準じた。

主幹、主枝およびユニットにおける選択肢を全て入力し（第4図①）、これら選択肢の組み合わせに基づいて、主枝やユニットにおける各種の変数値や配列変数値を算出するための下準備（配列宣言など）を行った（第4図②）。次の段階で、主幹に関連した各種変数値および主枝とユニットに関連した各種配列変数値を算出し（第4図③）、いずれもCPUが内部記憶した（第4図④）。このと



き、主枝に関連した1次元配列変数の添え字には主枝発出順番を用いた。また、ユニットに関連した2次元配列変数の添え字には主枝発出順番とその主枝におけるユニットの発出順番を用いた。

主幹原型データを読み込んだ後、直立主幹のデータとしての1行のデータ列をそのまま外部記憶装置に書き込んだ(第4図④と⑬)。次に、主枝の着生順番に沿いながら該当する主枝原型データを読み込み、主幹原型のもとで各主枝に回転・移動の計算処理を施し、その都度、主枝1本が1行のデータ列になるように追加書き込みを行った(第4図⑤と⑬)。

ユニットの回転・移動の計算処理は、主枝の着生順番

と各主枝内のユニットの着生順番からなる2重ループを用いて行った。2重ループの順番に沿って、該当するユニット原型ファイル中の1行目データ列を読み、このデータ列に対して、以下の2種類の回転・移動の計算処理を連続して施してから、その都度、追加書き込みを行った(第4図⑥と⑬)。つまり、主枝原型のもとでのユニットの回転・移動の計算処理をまず行い、引き続き、直立主幹のもとでの当該主枝の回転・移動(第4図⑤)と同等な計算処理を上記ユニットにも施した(第4図⑥と⑬)。ただし、1個のユニット原型ファイルは複数の枝データ行から構成されたので、この読み込み、2回の回転・移動の計算処理および追加書き込みの処理を、同ファイ

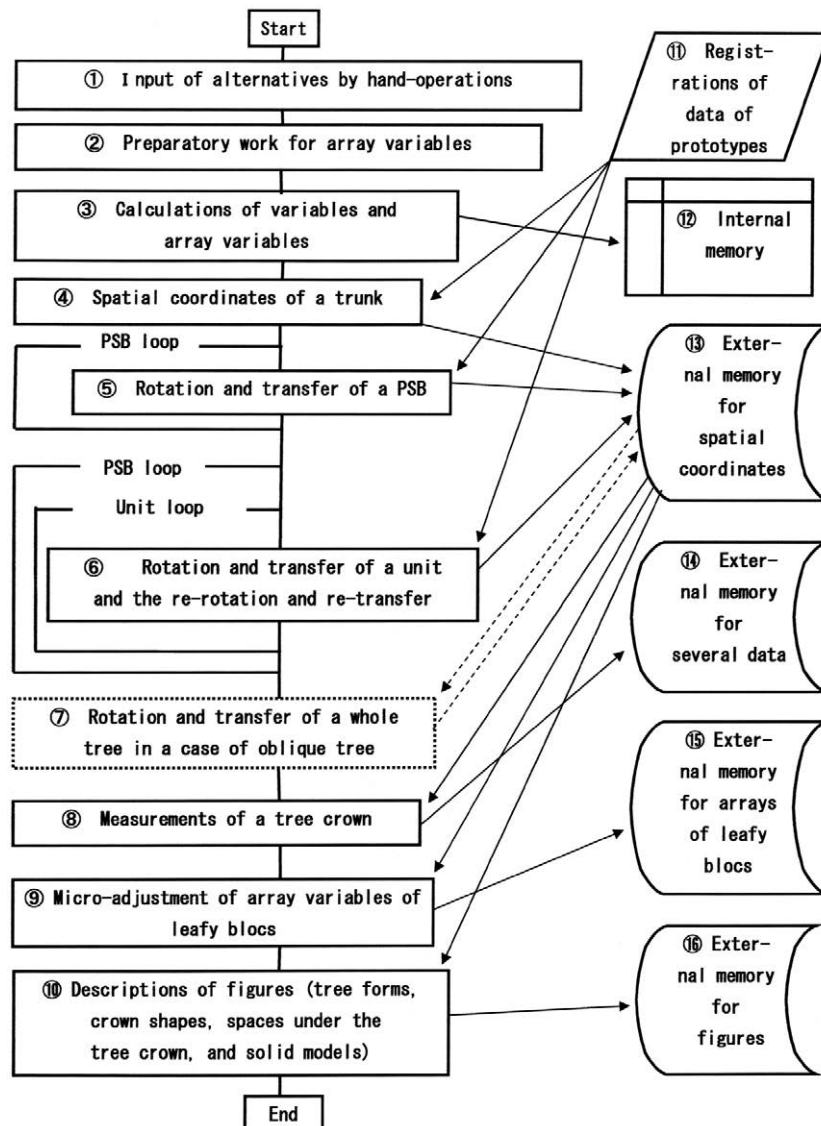


Fig. 4. A flow chart of CDS program. PSB indicates primary scaffold branch. The dotted lines show omission in cases except of oblique trees.

ル中の最後の枝データ行まで繰り返した。それから、次の着生順番のユニット原型ファイルに移動し、上記同様な計算処理を繰り返した。

上記書き込みが全て終了すると直立樹冠の計算処理が完了したが、斜立樹冠のばあい、以下の計算処理を追加した（第4図点線部分）。すなわち、直立樹冠全体を構成する大きなファイルから枝データを1行ずつ読み込み、その都度、主幹の傾斜角度、主幹の方位角度および発出点の平面座標値を用いた回転・移動の計算処理を施し、追加書き込みを行った。そして、これを同ファイル中の全ての枝データ行分繰り返して、斜立樹冠のファイルとして保存した（第4図⑦と⑬）。

樹冠計測ステップ（第4図⑧）では、以下の項目の計測処理を行った。樹冠ファイルを構成する枝データを1行ずつ読み込みながら、これらの3次元座標値から樹冠モデルの東端、西端、南端、北端および上端の座標値を検出した。これらの検出結果を用いて東西樹幅、南北樹幅および樹高を算出した。同時に、割り当て空間からはみ出た枝長も累計し、全枝長に占める割合（以下、はみ出し枝長の割合、%）を算出した。また、樹冠モデルを仮想グリッドで仕切ったときにできる内部立方体（ブロック）を横切った枝の長さをブロック単位で累計し、枝が横切ったブロックに限り平均し、枝の混み合い程度の指標とした。なお、本報では、ブロック1辺長は約19.05cmであった。また、新梢が横切ったブロックは葉ブロックになるので、割り当て空間に限定し、グリッドの底面における各網目（ブロック1辺長からなる正方形）から上方に向けて走査し、葉ブロックに最初に突き当たったときの高さを算出した。この高さを全網目について平均し、樹冠下平均高とした。また、最初に突き当たった葉ブロックより下方の空間容積を合計し、作業空間容積とした。さらに、グリッド底面の各網目から上方に向けて走査し、葉ブロックに突き当たった網目数を合計し、網目面積を乗じ、樹冠占有面積とした。

OLEASによる果樹園光環境の解析における中心的データは仮想グリッドにおける葉ブロックの3次元配列変数であった（山本, 1999）。また、光環境の比較研究において、葉ブロック数一定（656個）の条件を厳守した（山本, 2016, 2017, 2018）。しかし、CDSの性格上、葉ブロック数を一定にするための自動調節機能は具備されていない。そこで、できるだけ656個の近辺（概数）に近づけるべく、3.の16)に記したような取り扱いを行った。

このときの葉ブロック数は概数のため、656個に対する過不足が必ず生じた。そこで、以下のような葉ブロック数微調節処理のステップ（第4図⑨）を設けた。同ステップでは、過剰なばあいには、乱数を用いて葉ブロックを決め、その葉ブロックを削除し、空ブロックに変えた。一方、不足のばあいには、乱数を用いて葉ブロックを決め、その葉ブロックに隣接した空ブロックを葉ブロックに変えた。いずれのばあいにも、葉ブロック数が656個に一致するまで上記処理を続けた。なお、この微調節処理は既報の研究（山本, 2016, 2017, 2018）においても行われてきたものである。乱数を用いたことから、上述の変更ブロックの位置は万遍無く分布したため、微調節処理数が極端に大きくならなければ、ソリッドモデル図や実験結果にはほとんど影響しないことが判っている。ここで作成した葉ブロック配列変数のファイルは今後の光環境調査に用いるデータになるため、外部記憶装置に保存した（第4図⑮）。

樹形図、樹冠形図、ソリッドモデル図および樹冠下空間分布形図の作図ステップ（第4図⑩）には、既報（山本, 1999；山本ら, 2004）におけるプログラム資源を使用した。

CDSによる上述の樹冠モデルの設計、計測および作図のための所要時間は通常のパソコンで1樹冠モデル当たり約15秒であった。ただし、これ以外に、選択枝の手操作入力（第4図⑪）の時間を要した。第4図には表記しなかったが、実際のプログラムには、選択枝の組み合わせ処理ループが加わったため、上記手操作入力の所要時間は実質無くなった。

## 5. 選択枝間比較のための実験方法

本報では、用いた選択枝の違いにより、樹形や樹冠形の外観にどれほどの違いが生じるかを調査した。これに加え、ここで生じた樹冠モデルを今後の光環境比較実験材料に用いるときに備えて、割り当て空間からはみ出し程度、枝の混み合い程度、葉ブロック数の過不足の程度などの樹冠計測値について選択枝間で比較した。ただし、全選択枝の総当たり組み合わせによる樹冠モデルの総数は天文学的数（約622億個）にも及ぶとともに、そのほとんどが本実験における設定条件を満たさないことが予想された。そこで本実験では、全選択枝の総当たり組み合わせ方を避けた。その代わりに、影響力の大きい選択枝を絞り込むための判断材料を得ることを目的

に、項目ごと、選択肢間で樹形や樹冠計測値を比較したものである。言わば、傾向を探るための抜き取り検査のような組み合わせであった。

具体的には、各実験とも、比較を目的とする項目については、その中の全ての選択肢を用いた。一方、比較を目的としない項目のうち、主枝数の影響が大きいことが予想されたことから、いずれの実験でも主枝数については全選択肢を用いた。さらに、組み合わせ数の膨大化を避けることから、主枝数以外のほとんどの項目については選択肢1種類に絞った(第5表)。このばあい、樹冠モデルの形態が極端なものにならないように、穏当無難な選択肢を用いた。たとえば、車枝状態の発生を避けるため、主枝数が多いときには主幹長を長くした(第5表)。また、横方向の枝葉バランスを考慮して、360°を主枝数で割った角度を主枝の回転角度の増分とした(第5表)。さらに、主枝数の多少による葉ブロック数の過不足を避けるため、ユニットの大きさ分布形は主枝数により異なった(第5表)。ただし、平均値の多重比較実験に必要な観測数を確保するため、例外として、ユニットの分岐角度分布形(9選択肢)とユニットの発出間隔分布形(5選択肢)については、これらの全選択肢を用いた(第5表)。よって、たいていのばあい反復実験数は45個(9×5)になったが、上記2つの項目が比較項目のばあい、反復実験数は5個あるいは9個になった(第5表)。第5表に記した選択肢の略号については、3.の説明および第1表、第2表および第3表を参照されたい。

## 結 果

### 1. CDSからの出力画像について

CDSからの出力画像については、第5図に1揃いの出

Table 5. Combinations of the alternatives in the each item which was not included for the comparison experiments. The alternatives refer to Table 1, Table 2 and Table 3.

Items which was not included for the comparison experiments	Number of PSBs					
	2	3	4	5	6	
	Alternatives					
Trunk length (C)	C2	C3	C4	C5	C6	
Inclination angle of trunk (A)	A1	A1	A1	A1	A1	
Disiribution pattern of PSB length (H)	H3	H3	H4	H6	H6	
Disiribution pattern of generation interval of PSB (E)	E1	E1	E1	E1	E1	
Disiribution pattern of branching angles of PSB (I)	I2	I2	I2	I2	I2	
Central angle of the 1st PSB (F)	F1	F1	F1	F1	F1	
Increment of central angle of PSB (G)	G6	G4	G3	G2	G1	
Disiribution pattern of unit size (P)	P3	P4	P4	P6	P2	
Method for setting of the central angle of unit (Y)	Y9	Y9	Y9	Y9	Y9	
Disiribution pattern of branching angle of unit (S)	all	all	all	all	all	
Disiribution pattern of generation interval of unit (Q)	all	all	all	all	all	
Unit type (K)	K3	K3	K3	K3	K3	

力画像例を示し、これ以降では一部のみ示した。枝だけからなる樹形図は、南から見た画像(第5図a)、東から見た画像(第5図b)および上から見た画像(第5図c)の3者、枝に葉を重ねた樹冠形図は、南から見た画像(第5図d)、東から見た画像(第5図e)および上から見た画像(第5図f)の3者である。葉ブロックの積み木構造を表現したソリッドモデル図は2種類の視角を用いて作成した(第5図gとh)。樹冠下空間分布形図(第5図i)は北西の方角から見たときのものである。なおCDSは設計システムであり、設計結果の正確さを確認しやすいように、いずれの画像も遠近感を欠く平行投影法を用いて作図した。

### 2. CDSによる樹冠設計の正確さの確認および選択肢の違いが樹冠の外観に及ぼす影響

CDSによる樹冠設計の正確さの確認も兼ねながら、選択肢の違いが樹形あるいは樹冠形の外観に及ぼす影響について以下列挙する。なお、各実験における画像については、主枝数は1種類に絞った。また、各実験において、比較を目的とした項目以外の選択肢については、第5表に一括表示した。

#### 1) 主幹長の違いによる影響

4本主枝のときの樹形図を第6図(南面図)に示した。なお、同図右下に縮尺および方位を表記した(以下の図でも同様)。主枝は主幹先端部にも着生したので、主幹長が大きいほど樹冠は縦方向に伸び、主幹長の違いにより樹形の外観が大きく異なった(第6図)。主枝数が同じであったので、主幹長が大きいほど縦方向の隙間が増えた(第6図)。

#### 2) 主枝着生間隔分布形の違いによる影響

主幹長が190cmで、6本主枝のときの樹形図(南面図)を第7図に示した。主枝着生間隔分布の違いが明瞭に確認できた(第7図)。

#### 3) 主枝長分布形の違いによる影響

主幹長が160cmで、5本主枝のときの樹形図(上面図)を第8図に示した。主枝長分布形が均等分布のとき、短い主枝のみ(H1)、中位の長さの主枝のみ(H2)および長い主枝のみ(H3)の間には、樹冠横方向の広がり大きな違いが認められた(第8図)。特にH1とH2のとき中心部の混み合いが際立った。一方、不均等分布のとき、長い主枝が伸びた方向に樹冠の広がりが認められた(第8図)。

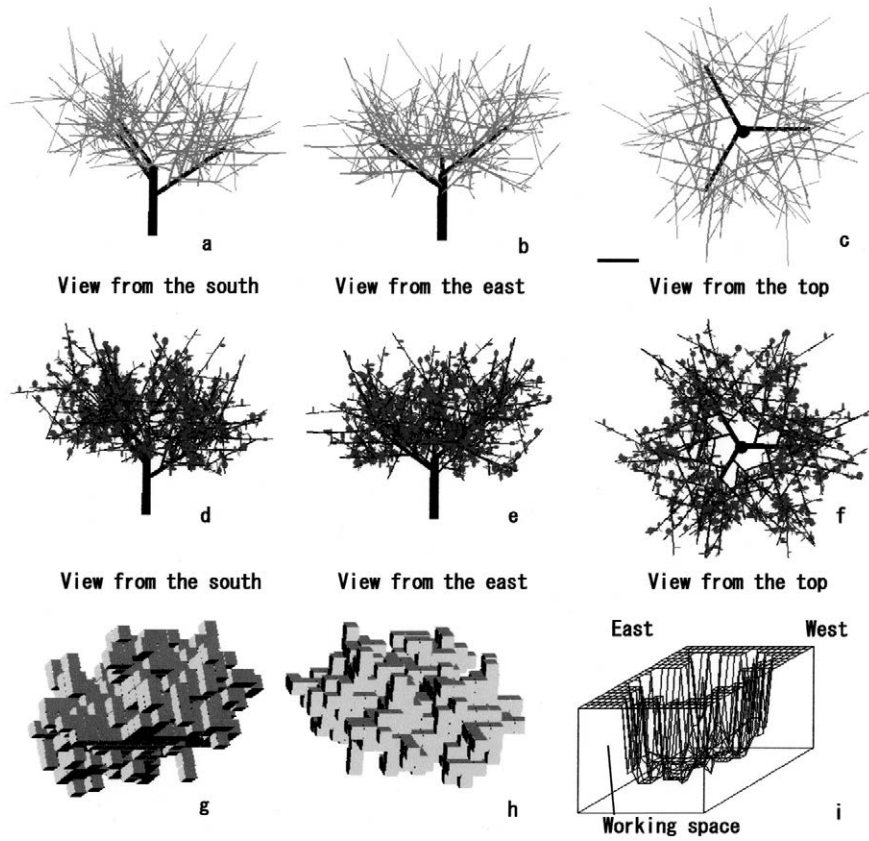


Fig. 5. Examples of the graphics of tree forms (a, b and c), crown shapes (d, e and f), solid models (g and h) and a working space (i). A horizontal line indicates 50 cm.

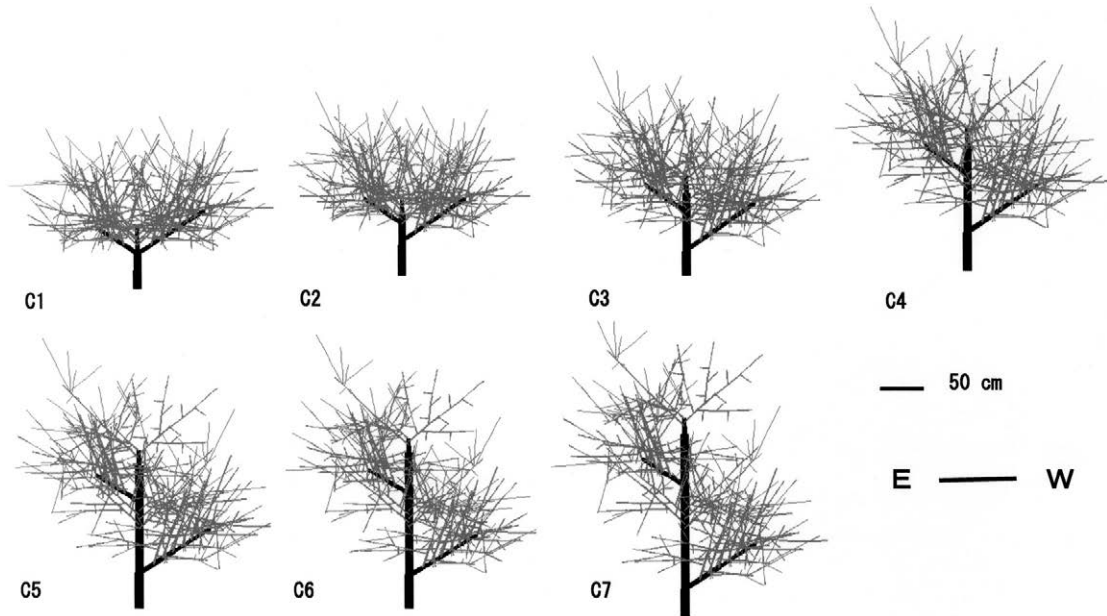


Fig. 6. Effects of trunk length on the tree forms (views from the south) when the number of the primary scaffold branches (PSBs) was four. The length scale and the direction were shown in the under right of the figure. Abbreviations (C1, C2, C3, C4, C5, C6 and C7) of the alternatives refer to Table 1.

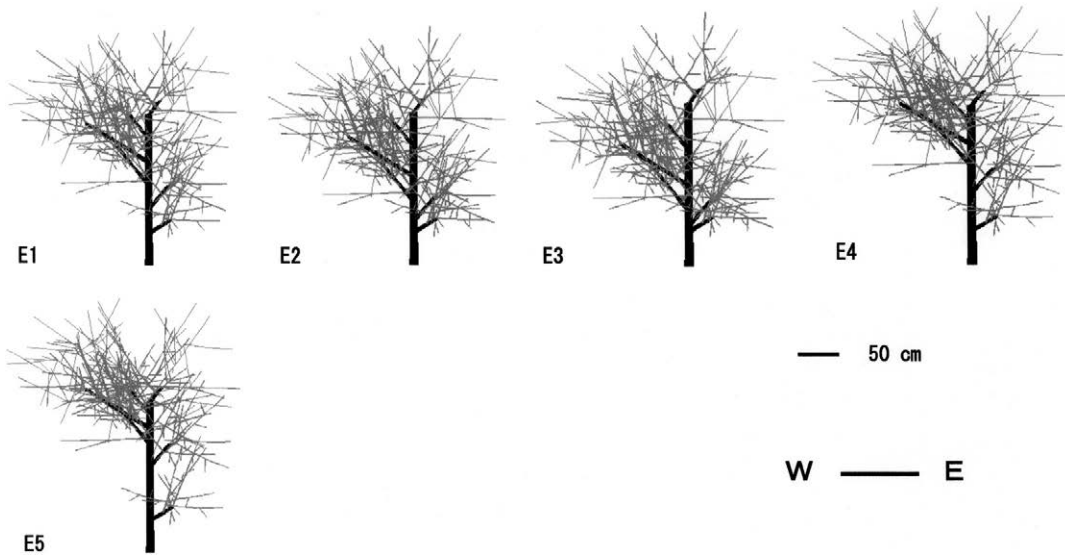


Fig. 7. Effects of the distribution patterns of the generation interval of PSBs on the tree forms (views from the south) when the trunk length was 190 cm and when the number of PSBs was six. The explanations of the figure refer to Fig. 6. The abbreviations of the alternatives refer to Table 2.

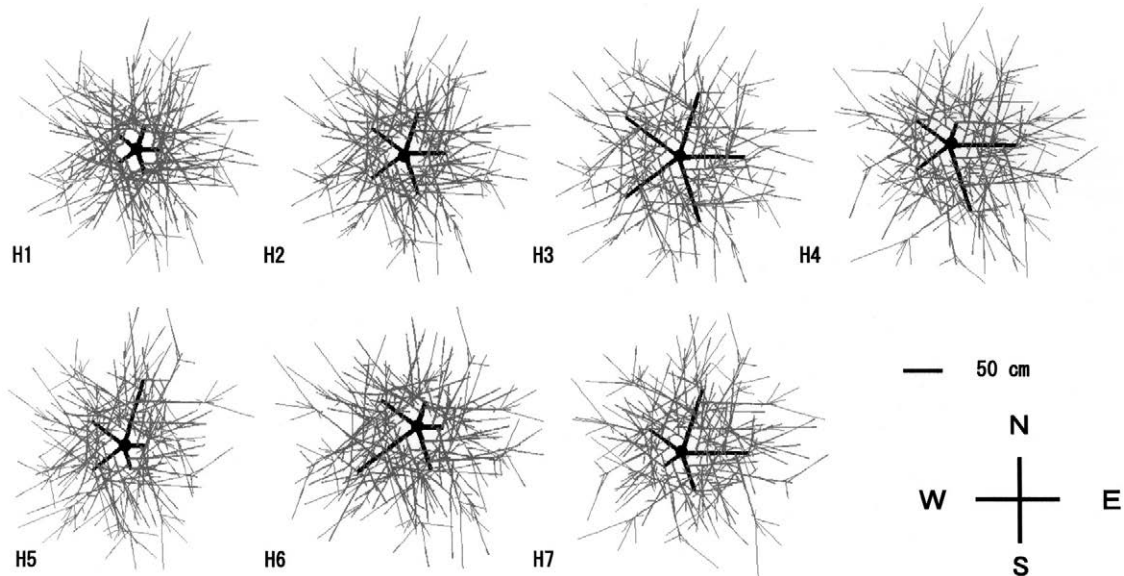


Fig. 8. Effects of the distribution patterns of the PSB length on the tree forms (views from the top) when the trunk length was 160 cm and when the number of PSBs was five. The explanations of the figure refer to Fig. 6. The abbreviations of the alternatives refer to Table 2.

**4) 第1主枝の回転中心角の違いによる影響**

主幹長が130cm, 4本主枝のときの樹形図(上面図)を第9図に示した。最も長い主枝の回転中心角に相当する方向に樹冠の広がり認められた(第9図)。

**5) 主枝分岐角度分布形の違いによる影響**

主幹長が100cm, 3本主枝のときの樹形図(南面図)を第10図に示した。選択枝に対応して、主枝分岐角度が正しく分布したことが確認できた。また、このことによる

樹形外観の違いも大きかった(第10図)。

**6) 主枝回転中心角の増分の違いによる影響**

主幹長が100cm, 3本主枝のときの樹形図(上面図)を第11図に示した。主枝の回転中心角増分の違いにより樹形の外観が大きく異なった(第11図)。主枝回転中心角の増分が120°の樹冠モデルには均整の取れた横方向の広がりが認められたが(第11図G4)、これ以外の選択枝では、横方向の枝分布に偏りが認められた(第11図)。な

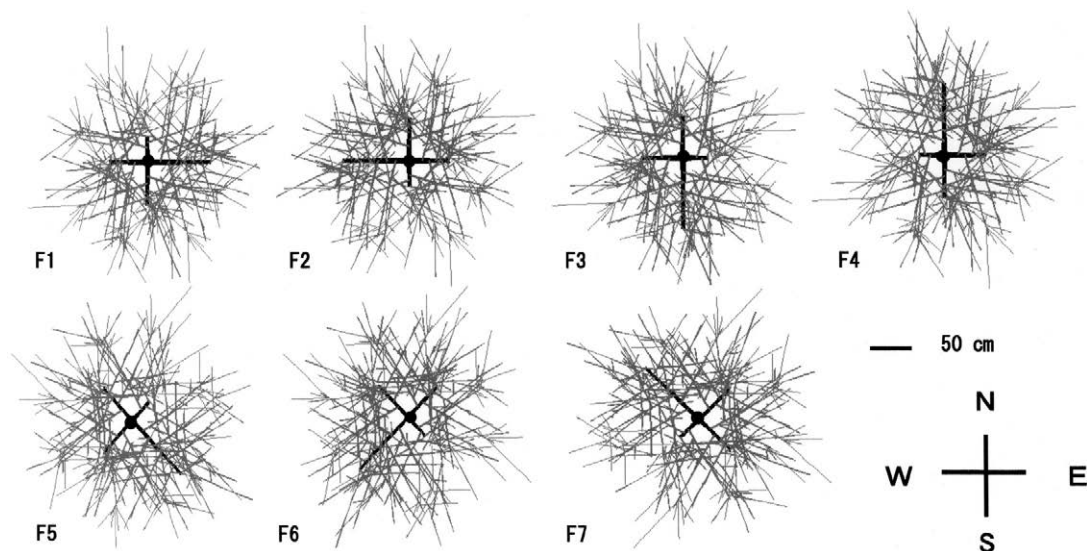


Fig. 9. Effects of the central angles of the first PSB on the tree forms (views from the top) when the trunk length was 130 cm and when the number of PSBs was four. F8 was omitted. The explanations of the figure refer to Fig. 6. The abbreviations of the alternatives refer to Table 2.

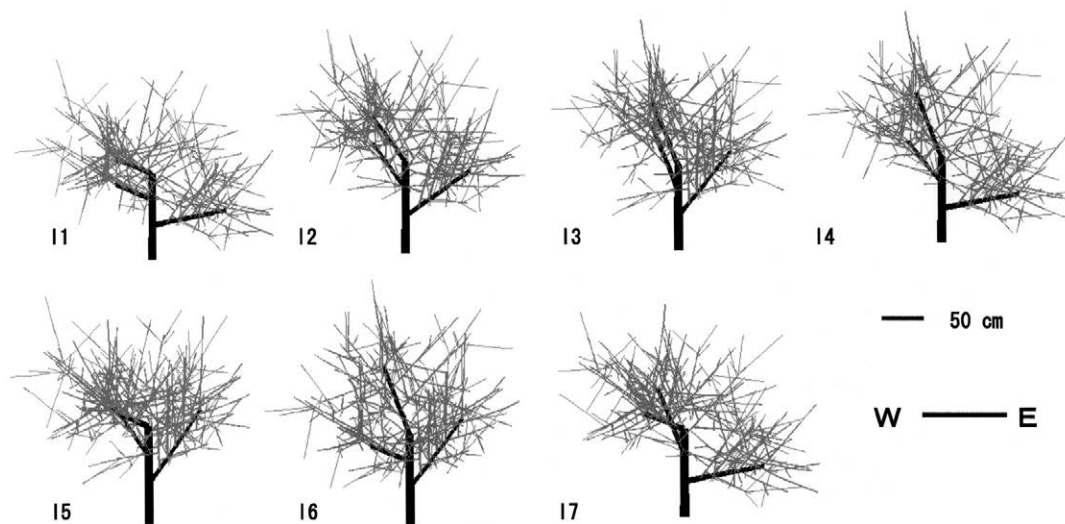


Fig. 10. Effects of the distribution patterns of the branching angles of PSBs on the tree forms (views from the south) when the trunk length was 100 cm and when the number of PSBs was three. The explanations of the figure refer to Fig. 6. The abbreviations of the alternatives refer to Table 2.

お、主枝中心角増分が $180^\circ$ では2本主枝のように見えたが（第11図G6）、これは3本目の主枝が1本目の主枝と縦に重なって見えたためであった。

#### 7) ユニットの大きさ分布形の違いによる影響

主幹長が70cm、2本主枝のときの樹冠形図（上面図）を第12図に示した。小さいユニットの均等分布（P1）あるいは中位の大きさのユニットの均等分布（P2）のとき、葉ブロック数確保のため、ユニット数も増え、ユニット

発出間隔が狭くなり、樹冠の外観が他の選択枝と比べ大きく異なった（第12図）。不均等分布のとき、樹冠の外観は選択枝により微妙に異なった（第12図）。

#### 8) ユニットの回転中心角の与え方の違いによる影響

主幹長が160cm、5本主枝のときの樹形図（東面図）を第13図に示した。全体を通じて、樹形の外観は選択枝により互いに異なった（第13図）。ユニットの回転中心角増分を用いたとき、横方向や下方に伸びる枝が目立った

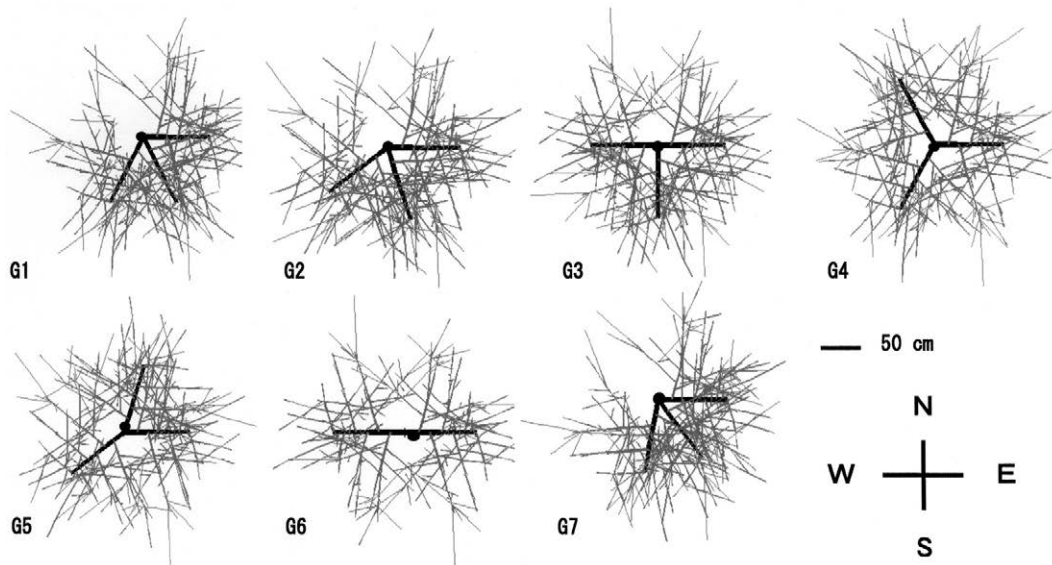


Fig. 11. Effects of the increments of the the central angle of PSBs on the tree forms (views from the top) when the trunk length was 100 cm and when the number of PSBs was three. G8 was omitted. The explanations of the figure refer to Fig. 6. The abbreviations of the alternatives refer to Table 2.

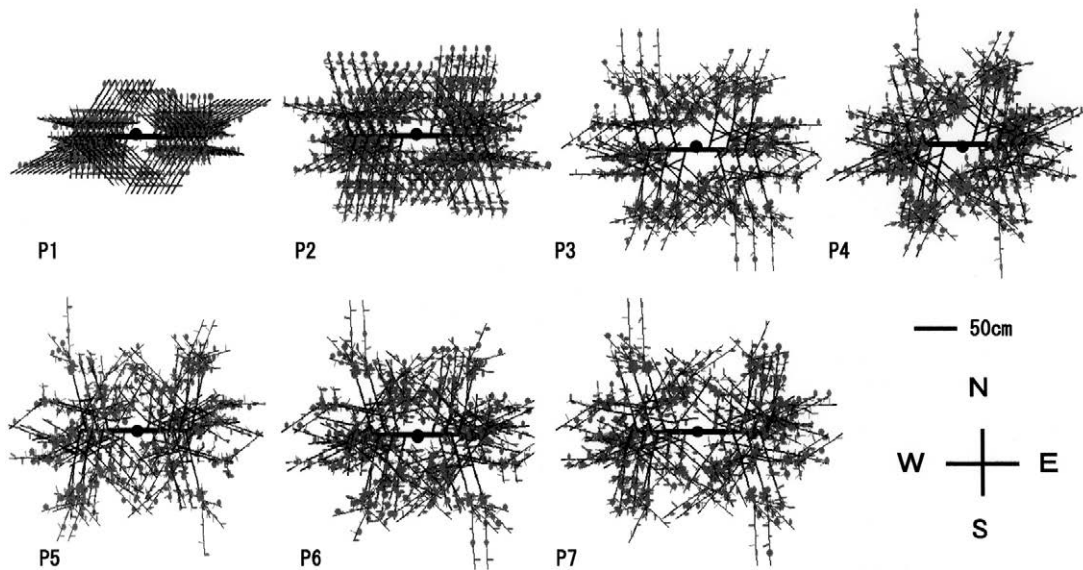


Fig. 12. Effects of the distribution patterns of the unit size on the crown shapes (views from the top) when the trunk length was 70 cm and when the number of the PSBs was two. The explanations of the figure refer to Fig. 6. The abbreviations of the alternatives refer to Table 3.

(第13図のY1からY6まで)。一方、ユニットの並びを強制的にV字状にしたとき、横方向や下方に伸びる枝が減少した(第13図のY7, Y8およびY9)。

### 9) ユニットのタイプの違いによる影響

主幹長が100cm, 3本主枝のときの樹冠形図(南面図)を第14図に示した。ユニットのタイプの違いにより、樹冠の外観に大きな違いが認められた(第14図)。3叉状や2叉状のように子枝数が少なく、長細い枝からなるユニ

ットを用いたときには樹冠表面部の葉層が乱れた(第14図K1とK2)。一方、多数の小枝からなる板状や棒状のユニットを用いたときには濃密な葉層が認められた(第14図K4とK5)。

### 10) ユニット発出間隔分布形の違いによる影響

主幹長が130cm, 4本主枝のときの樹形図(上面図)を第15図に示した。選択枝に対応してユニット発出間隔が正しく分布したことが確認できた(第15図)。樹冠モデ

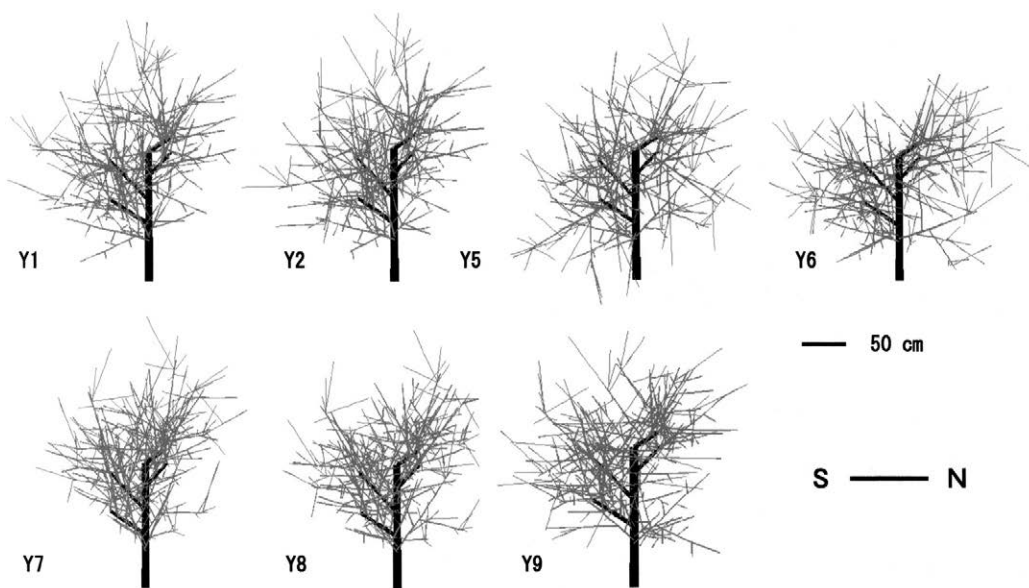


Fig. 13. Effects of the methods for setting the central angles of the units on the tree form (views from the east) when the trunk length was 160 cm and when the number of the PSBs was five. Y3 and Y4 were omitted. The explanations of the figure refer to Fig. 6. The abbreviations of the alternatives refer to Table 3.

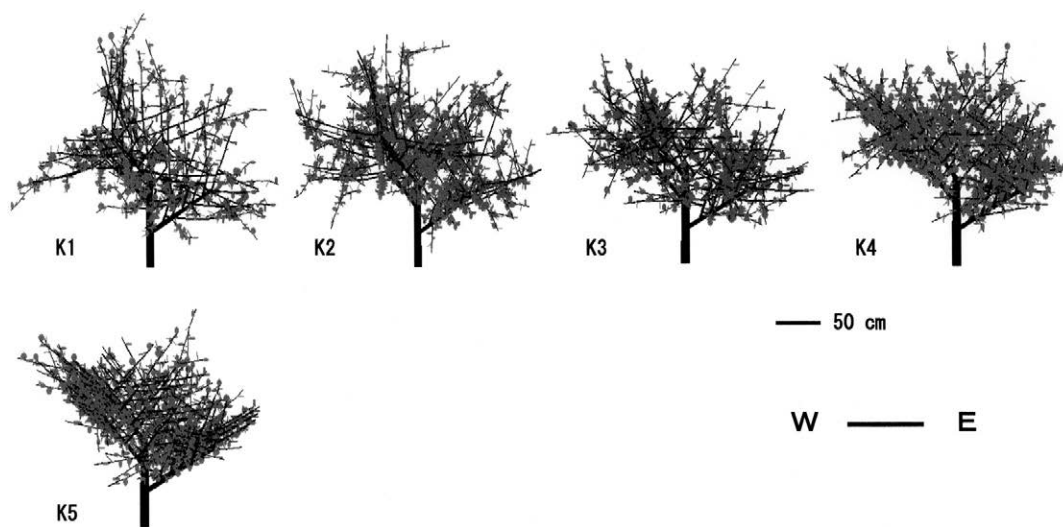


Fig. 14. Effects of the unit types on the crown shapes (views from the south) when the trunk length was 100 cm and when the number of the PSBs was three. The explanations of the figure refer to Fig. 6. The abbreviations of the alternatives refer to Table 3.

ルの外形には選択枝間で大きな違いが認められなかった反面、樹冠モデル内部の細枝分布には大きな違いが認められた（第15図）。

#### 11) ユニット分岐角度分布形の違いによる影響

主幹長が100cm、3本主枝のときの樹形図（上面図）を第16図に示した。選択枝に対応してユニットの分岐角度が正しく分布したことが確認できた（第16図）。樹冠モデルの外形には選択枝間で大きな違いが認められなかった

ものの、樹冠モデル内部の細枝分布には相当の違いが認められた（第16図）。

#### 12) 主幹の傾斜角度の違いによる影響

主幹長が130cm、4本主枝のときの樹形図（東面図）を第17図に示した。選択枝に対応して樹冠が正しく傾斜したことが確認できた（第17図）。全く同じ樹を北方向に様々な角度で傾斜させたため、地面から見れば、樹形の外観は選択枝間で大きく異なり、樹を構成する各枝の高



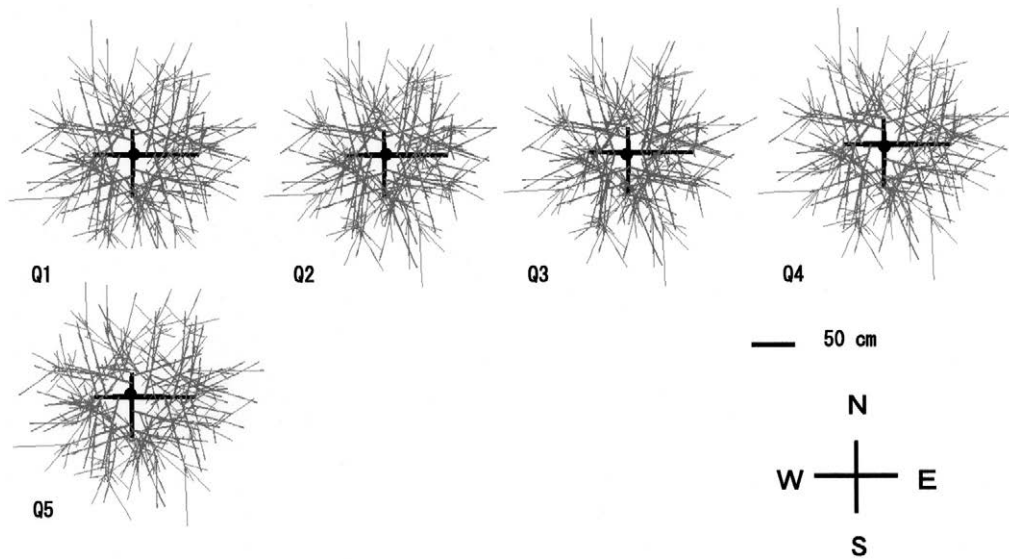


Fig. 15. Effects of the distribution patterns of the generation intervals of the units on the tree forms (views from the top) when the trunk length was 130 cm and when the number of the PSBs was four. The explanations of the figure refer to Fig. 6. The abbreviations of the alternatives refer to Table 3.

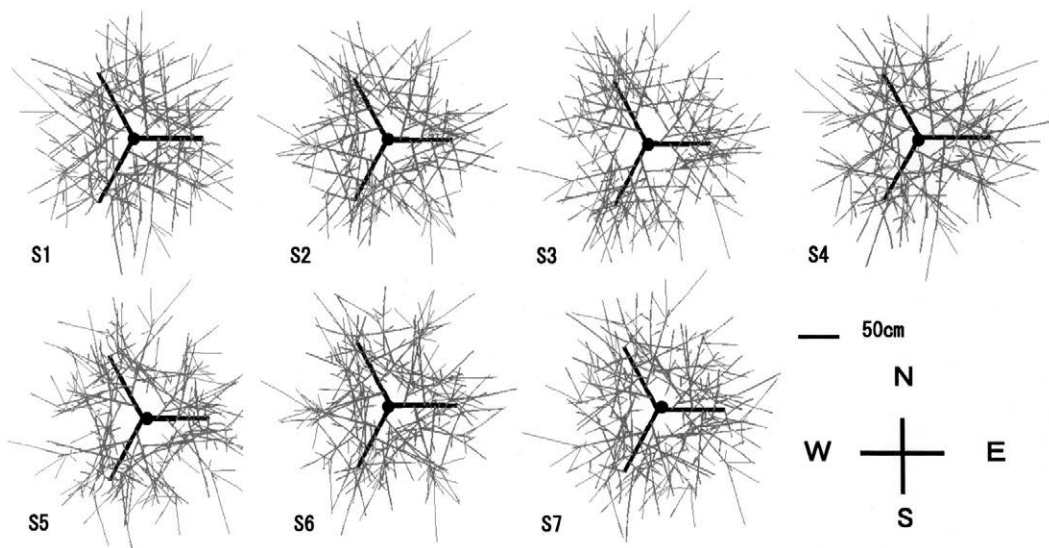


Fig. 16. Effects of the distribution patterns of the branching angles of the units on the tree forms (views from the top) when the trunk length was 100 cm and when the number of the PSBs was three. S8 and S9 were omitted. The explanations of the figure refer to Fig. 6. The abbreviations of the alternatives refer to Table 3.

さも互いに異なった (第17図)。

### 13) 斜立主幹発出方位の違いによる影響

斜立の主幹長が100cm, 3本主枝のときの樹形図 (上面図) を第18図に示した. 選択枝に対応して樹冠全体の向きが正しく変わったことが確認できた. 全く同じ樹を70°に傾けたうえ, 主幹の倒れる方位を様々変えたため, 地面から見れば, 樹形の外観は互いに全く異なった (第18図)。

### 3. 特定項目における選択枝の違いが樹冠計測値の平均値に及ぼす影響

設計された樹冠モデルの樹高や樹幅が制限値を超え, あるいは葉ブロック数の微調節量が多すぎれば, この樹冠モデルは光環境比較実験の対象から最終的に除外せねばならない. 加えて, 光環境改善以外の樹管理目標に照らして, 上記以外の樹冠計測値, たとえば, はみ出し枝長の割合, 枝の混み合い指数, 樹冠下平均高,

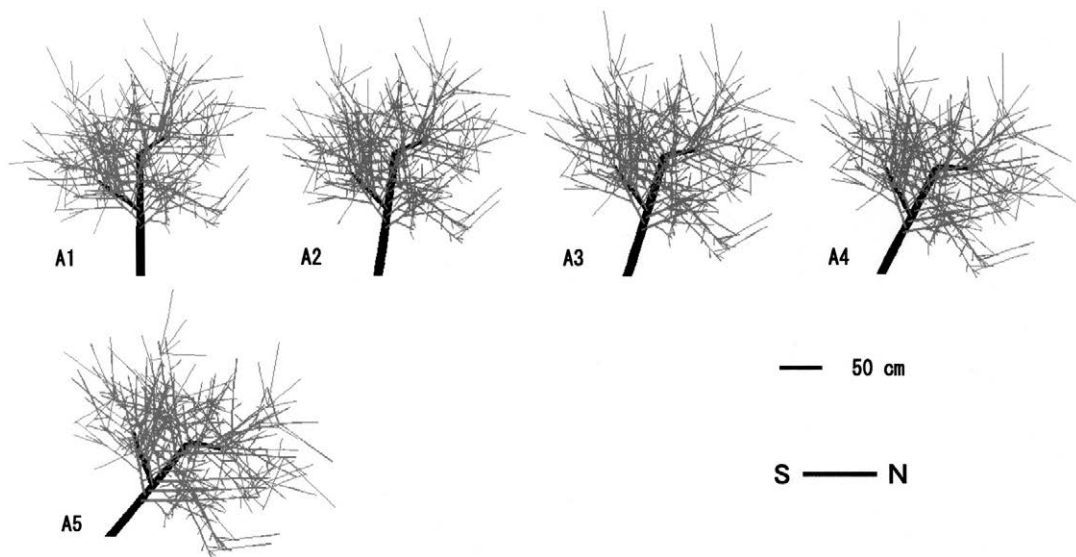


Fig. 17. Effects of the inclination angles of the trunk on the tree forms (views from the east) when the trunk length was 130 cm and when the number of the PSBs was four. The explanations of the figure refer to Fig. 6. The abbreviations of the alternatives refer to Table 1.

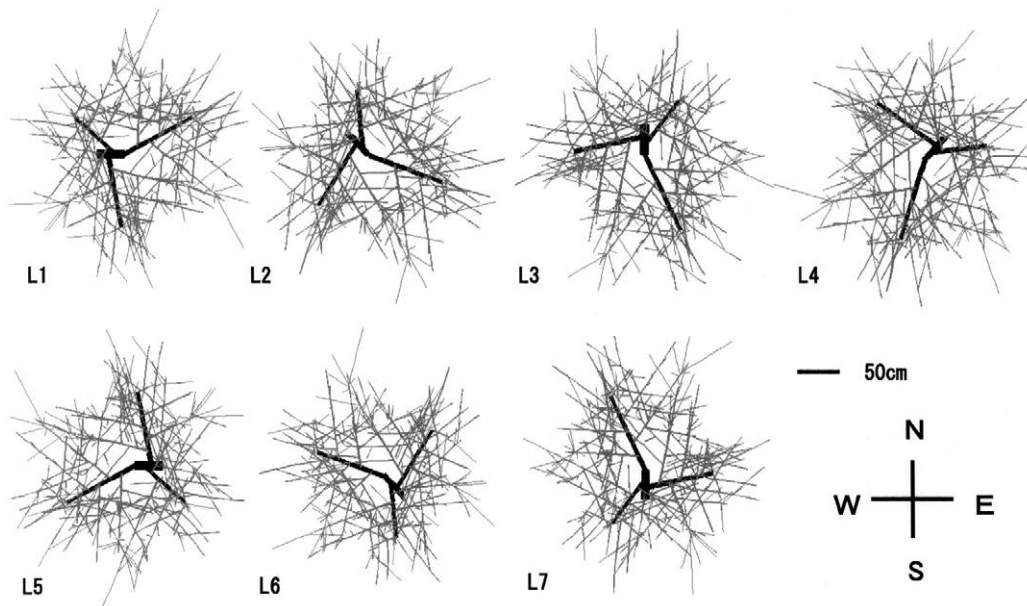


Fig. 18. Effects of the inclination directions of the trunk on the tree forms (views from the top) when the trunk length was 100 cm and when the number of the PSBs was three. L8 was omitted. The explanations of the figure refer to Fig. 6. The abbreviations of the alternatives refer to Table 1.

作業空間容積、樹冠占有面積などの数値も、最終的評価に用いられる。ただし、本報の実験のねらいはその前の準備段階、つまり、上記設定条件に抵触するリスクの高い選択枝を検出し、今後の実験に役立てることである。それゆえに本実験では、個々の樹冠モデルの樹冠計測値までは取り上げず、樹冠計測値の平均値だけを取り上げ、異なる選択枝間で比較した。

割り当て空間への抵触リスクに関する判断基準として以下の3つを設定した。すなわち、平均値として見たとき、樹高が350cm以下、東西および南北の樹幅がそれぞれ400cm以下であれば、割り当て空間抵触リスクは低いものとした。ちなみに樹幅や樹高の平均値が上記条件を満たせば、当該選択枝における母集団中には制限値以下の樹冠モデルが含まれるからである。

CDSの性格上、葉ブロック数が656個に一致することは極めて稀であり、葉ブロック数の微調節処理（材料および方法の4.を参照）は避けられない。さらに微調節前の葉ブロック数が余りにも多い、あるいは余りにも少ない樹冠モデルは光環境比較実験の対象から最終的に除外せねばならない。そこで、このときの判断基準として、微調節前の葉ブロック数の平均値が設定葉ブロック数(656個)の1.1倍(722個)以下から0.9倍(590個)以上の範囲にあると暫定的に設定した。葉ブロック数の平均値が上述の範囲内であれば、当該選択肢における母集団中にはこの範囲内の樹冠モデルが必ず含まれるからである。

ところで、第6表から第18表はいずれも、5種類の主枝数別実験に大きく分けたうえで、各樹冠計測値の平均値を選択肢間で比較したものであった。なお、比較対象でない項目の選択肢については、その略号を各表の右端点線枠内に併記した。また、樹高、東西樹幅、南北樹幅および微調節前葉ブロック数の各平均値のうち、上述の範囲を逸脱したものについては下線を付した。選択肢の略号については、第1表、第2表および第3表を参照されたい。

1) 主幹長の違いによる影響

主幹長が大きいほど当然ながら樹高の平均値は増大した(第6表)。2本主枝と3本主枝の両者では、用いたユ

Table 6. The effects of the trunk length (C) on the means of several measuring results of tree crowns. Ab. indicates abbreviation. The index of crowdedness shows the mean length of branches which crossed a bloc. The overflow shows the mean of proportion of length of branches which overreached the setting space to the total length. The abbreviations in the righthand of the table were quoted from Table 5. The underlines indicate deviations from the setting conditions. n=45.

Number of PSBs (C)	Ab.	Tree height	E-W width	S-N width	Height beneath canopy		Working space	Index of crowdedness	Overflow of branches	Number of leaf blocs	Occupied area by crown	Abbreviations of other alternatives							
					cm	m							cm	%	m <sup>2</sup>				
2	C1	217	<u>a<sup>z</sup> 406</u>	a	335	a	87	g	34.3	g	20.2	a	4.95	b	<u>717</u>	a	8.24	a	A1, E1,
	C2	247	b <u>406</u>	a	335	a	99	f	35.1	f	20.0	a	2.89	a	<u>740</u>	abc	8.31	a	H3, I2, F1,
	C3	277	c <u>406</u>	a	335	a	112	e	36.2	e	19.8	a	2.89	a	<u>749</u>	bc	8.31	a	G6,P3,Y9,
	C4	307	d <u>406</u>	a	335	a	125	d	37.3	d	19.7	a	2.88	a	<u>757</u>	bc	8.31	a	K3, S1~S9,
	C5	337	e <u>406</u>	a	335	a	138	c	38.4	c	19.5	a	2.89	a	<u>765</u>	c	8.31	a	Q1~Q5
	C6	<u>367</u>	f <u>406</u>	a	335	a	150	b	39.4	b	19.5	a	3.45	a	<u>762</u>	bc	8.30	a	
	C7	<u>387</u>	g <u>406</u>	a	335	a	157	a	40.1	a	19.8	a	5.19	b	<u>737</u>	ab	8.26	a	
3	C1	187	a 327	a	318	a	74	g	38.1	e	23.4	e	7.22	b	<u>552</u>	a	6.50	a	A1, E1,
	C2	217	b 327	a	318	a	82	f	38.3	e	22.5	d	2.98	a	<u>599</u>	b	6.61	a	H3, I2, F1,
	C3	247	c 327	a	318	a	95	e	39.2	d	21.9	c	2.71	a	<u>619</u>	c	6.61	a	G4,P4,Y9,
	C4	277	d 327	a	318	a	106	d	39.9	c	21.3	bc	2.70	a	<u>636</u>	cd	6.61	a	K3, S1~S9,
	C5	307	e 327	a	318	a	117	c	40.7	b	21.0	ab	2.70	a	<u>649</u>	d	6.61	a	Q1~Q5
	C6	337	f 327	a	318	a	128	b	41.4	a	20.4	a	2.71	a	<u>667</u>	e	6.61	a	
	C7	<u>357</u>	g 327	a	318	a	135	a	41.8	a	20.4	a	2.94	a	<u>668</u>	e	6.60	a	
4	C1	194	a 337	a	324	a	70	g	37.6	e	25.5	d	8.32	b	<u>602</u>	a	6.56	a	A1, E1,
	C2	210	b 337	a	324	a	75	f	37.7	e	25.1	d	3.17	a	<u>646</u>	b	6.68	a	H4, I2, F1,
	C3	240	c 337	a	324	a	85	e	38.3	d	24.3	c	2.47	a	<u>674</u>	c	6.70	a	G3,P4,Y9,
	C4	270	d 337	a	324	a	94	d	38.8	c	23.6	b	2.38	a	<u>697</u>	d	6.70	a	K3, S1~S9,
	C5	300	e 337	a	324	a	103	c	39.4	b	23.1	b	2.38	a	<u>714</u>	d	6.70	a	Q1~Q5
	C6	330	f 337	a	324	a	111	b	40.0	a	22.3	a	2.39	a	<u>738</u>	e	6.70	a	
	C7	350	g 337	a	324	a	116	a	40.3	a	21.8	a	2.46	a	<u>756</u>	e	6.70	a	
5	C1	200	a 339	a	305	a	74	g	38.2	e	25.1	g	9.89	c	<u>547</u>	g	6.45	a	A1, E1,
	C2	218	b 339	a	305	a	82	f	38.4	e	24.3	f	3.47	b	<u>608</u>	f	6.56	a	H6, I2, F1,
	C3	241	c 339	a	305	a	94	e	39.2	d	23.2	e	2.79	a	<u>642</u>	e	6.57	a	G2,P6,Y9,
	C4	266	d 339	a	305	a	106	d	40.0	c	22.7	d	2.64	a	<u>659</u>	d	6.57	a	K3, S1~S9,
	C5	294	e 339	a	305	a	119	c	40.8	b	22.2	c	2.58	a	<u>674</u>	c	6.57	a	Q1~Q5
	C6	324	f 339	a	305	a	130	b	41.6	a	21.5	b	2.56	a	<u>699</u>	b	6.57	a	
	C7	344	g 339	a	305	a	138	a	42.1	a	20.9	a	2.59	a	<u>718</u>	a	6.57	a	
6	C1	204	a 315	a	345	a	77	g	37.6	f	24.3	f	9.97	d	<u>568</u>	a	6.75	a	A1, E1,
	C2	222	b 315	a	345	a	86	f	37.9	f	23.8	e	3.34	c	<u>625</u>	b	6.87	a	H6, I2, F1,
	C3	240	c 315	a	345	a	98	e	38.6	e	22.8	d	2.40	b	<u>660</u>	c	6.89	a	G1,P6,Y9,
	C4	258	d 315	a	345	a	111	d	39.5	d	22.4	cd	2.09	ab	<u>674</u>	c	6.89	a	K3, S1~S9,
	C5	279	e 315	a	345	a	123	c	40.4	c	21.9	bc	2.01	a	<u>692</u>	d	6.90	a	Q1~Q5
	C6	302	f 315	a	345	a	136	b	41.2	b	21.4	ab	1.96	a	<u>709</u>	e	6.90	a	
	C7	320	g 315	a	345	a	144	a	41.8	a	21.1	a	1.94	a	<u>720</u>	e	6.90	a	

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

ニットが大きかったためか、主幹長が190cmのとき、樹高の平均値は制限高を超えた（第6表）。また、2本主枝のときの全ての主幹長で東西樹幅の平均値は400cmを僅かに超えた（第6表）。いずれの主枝数でも主幹長が40cmのとき、はみ出し枝長の割合の平均値は高くなった（第6表）。主幹長が大きいほど枝の混み合い程度とはみ出し枝長の割合の両平均値は減少し、樹冠下平均高と作業空間の両平均値は増大した（第6表）。2本主枝のときのほとんどの主幹長で葉ブロック数の平均値が722個を超え、樹冠占有面積の平均値も他の主枝数のときより大きかった（第6表）。

## 2) 主枝着生間隔分布形の違いによる影響

2本主枝のときの全ての選択枝で東西樹幅の平均値は制限値を僅かに超え、葉ブロック数の平均値は許容範囲外になり、樹冠占有面積の平均値も他の主枝数のときより大きかった（第7表）。

## 3) 主幹長分布形の違いによる影響

6本主枝と5本主枝のとき、多くの選択枝で葉ブロック数の平均値が722個を超えた（第8表）。また、他の主枝数でも一部選択枝で葉ブロック数の平均値が許容範囲外

になった（第8表）。

## 4) 第1主枝発出中心角の違いによる影響

2本主枝のときの一部の選択枝で樹幅の平均値が制限値を僅かに超えた（第9表）。2本主枝の全ての選択枝で葉ブロック数の平均値が722個を超え、このときの樹冠占有面積の平均値も他の主枝数のときより大きかった（第9表）。

## 5) 主枝分岐角度分布形の違いによる影響

2本主枝のときの一部の選択枝で樹幅の平均値が制限値を僅かに超えた（第10表）。2本主枝と6本主枝のときの一部の選択枝で葉ブロック数の平均値が722個を超えた（第10表）。

## 6) 主枝の回転中心角増分の違いによる影響

2本主枝のときの一部の選択枝で樹幅の平均値が制限値を僅かに超えた（第11表）。4本主枝以外のほとんどの主枝数で、一部選択枝における葉ブロック数の平均値が許容範囲外になった（第11表）。

## 7) ユニットの大きさ分布形の違いによる影響

いずれの主枝数でも小さいユニットのみ（P1）で葉ブロック数の平均値は590個以下になり、大きいユニット

Table 7. The effects of the distribution patterns of the generation intervals of PSBs (E) on the means of several measuring results of tree crowns. The explanations of the table refer to Table 6. n=45.

Number of PSBs (E)	Ab.	Tree height	E-W width	S-N width	Height beneath canopy	Working space	Index of crowded-ness	Overflow of branches	Number of leaf blocs	Occupied area by crown	Abbreviations of other alternatives
		cm	cm	cm	cm	m <sup>3</sup>	cm	%		m <sup>2</sup>	
2	E1	247 a <sup>2</sup>	<u>406</u> a	335 a	99 a	35.1 a	20.0 a	2.89 a	<u>740</u> a	8.31 a	C2, A1,
	E2	247 a	<u>406</u> a	335 a	99 a	35.1 a	20.0 a	2.89 a	<u>740</u> a	8.31 a	H3, I2, F1,
	E3	247 a	<u>406</u> a	335 a	99 a	35.1 a	20.0 a	2.89 a	<u>740</u> a	8.31 a	G6, P3, Y9,
	E4	247 a	<u>406</u> a	335 a	99 a	35.1 a	20.0 a	2.89 a	<u>740</u> a	8.31 a	K3, S1~S9,
	E5	247 a	<u>406</u> a	335 a	99 a	35.1 a	20.0 a	2.89 a	<u>740</u> a	8.31 a	Q1~Q5
3	E1	247 a	327 a	318 a	95 b	39.2 ab	21.9 a	2.71 a	619 a	6.61 a	C3, A1,
	E2	247 a	327 a	318 a	92 c	39.0 ab	21.9 a	2.76 a	617 a	6.61 a	H3, I2, F1,
	E3	247 a	327 a	318 a	90 c	38.8 b	21.9 a	2.98 a	618 a	6.61 a	G4, P4, Y9,
	E4	247 a	327 a	318 a	96 ab	39.3 ab	21.8 a	2.71 a	622 a	6.61 a	K3, S1~S9,
	E5	247 a	327 a	318 a	99 a	39.4 a	21.9 a	2.71 a	619 a	6.61 a	Q1~Q5
4	E1	270 a	337 a	324 a	94 c	38.8 bc	23.6 a	2.38 a	697 ab	6.70 a	C4, A1,
	E2	270 a	337 a	324 a	88 d	38.5 cd	23.6 a	2.55 ab	695 ab	6.70 a	H4, I2, F1,
	E3	270 a	337 a	324 a	85 e	38.3 d	23.7 a	3.08 b	687 a	6.69 a	G3, P4, Y9,
	E4	270 a	337 a	324 a	98 b	39.1 ab	23.6 a	2.38 a	696 ab	6.70 a	K3, S1~S9,
	E5	270 a	337 a	324 a	102 a	39.4 a	23.2 a	2.38 a	707 b	6.70 a	Q1~Q5
5	E1	294 a	339 a	305 a	119 c	40.8 b	22.2 b	2.58 a	674 a	6.57 a	C5, A1,
	E2	294 a	339 a	305 a	108 d	40.1 c	22.2 b	2.76 a	673 a	6.57 a	H6, I2, F1,
	E3	294 a	339 a	305 a	102 e	39.8 c	22.1 ab	3.18 b	673 a	6.56 a	G2, P6, Y9,
	E4	296 ab	339 a	305 a	125 b	41.3 b	22.1 ab	2.56 a	677 ab	6.57 a	K3, S1~S9,
	E5	301 b	339 a	305 a	133 a	41.8 a	21.9 a	2.56 a	684 b	6.57 a	Q1~Q5
6	E1	302 b	315 a	345 a	136 c	41.2 c	21.4 a	1.96 a	709 b	6.90 a	C6, A1,
	E2	296 a	315 a	345 a	120 d	40.2 d	21.5 a	2.26 b	704 ab	6.89 a	H6, I2, F1,
	E3	295 a	315 a	345 a	110 e	39.6 e	21.6 a	2.88 c	697 a	6.87 a	G1, P2, Y9,
	E4	309 c	315 a	345 a	147 b	42.0 b	21.3 a	1.94 a	713 b	6.90 a	K3, S1~S9,
	E5	320 d	315 a	345 a	161 a	43.0 a	21.4 a	1.94 a	710 b	6.90 a	Q1~Q5

<sup>2</sup>Different letters indicate significance at 5% level by Tukey's multiple range test.

のみ (P3) で葉ブロック数の平均値が722個以上になった (第12表). いずれの主枝数でも, 小さいユニットのみ (P1) で枝の混み合い指数と作業空間の両平均値が他の選択肢より大きかった (第12表). 小さいユニットのみ (P1) と中位のユニットのみ (P2) で, 樹幅と樹冠占有面積の両平均値が他の選択肢よりかなり小さかった (第12表).

**8) ユニットの回転中心角の与え方の違いによる影響**

中心角増分を用いたとき, 2本主枝のときのほとんどの選択肢で東西樹幅の平均値が制限値を超えた (第13表). 2本主枝, 3本主枝および4本主枝のとき, 中心角増分が60°, 72°, 90°, 120°, 144° および180° のばあい, はみ出し枝長の割合の平均値が高くなった (第13表のY1, Y2, Y3, Y4, Y5およびY6). 中心角増分によらず, ユ

ニットを60° V字状, 90° V字状および120° V字状になるように強制的に並べたとき, はみ出し枝長の割合の平均値は逆に著しく減少し, 樹冠下平均高と作業空間の両平均値は他の選択肢に比べて大きかった (第13表のY7, Y8およびY9). ただし, 6本主枝のときの多くの選択肢で葉ブロック数の平均値が722個を超えた (第13表).

**9) ユニットのタイプの違いによる影響**

いずれの主枝数でも“2叉状” (K2) では, 葉ブロック数の平均値が722個を超えた (第14表). 一方, “板状” (K5) や“棒状” (K4) のとき, 一部の選択肢で葉ブロック数の平均値は590個以下になった (第14表).

**10) ユニット発出間隔分布形の違いによる影響**

2本主枝のときの全ての選択肢で東西樹幅の平均値は制限値を僅かに超え, 葉ブロック数の平均値は722個以

Table 8. The effects of the distribution patterns of the sizes of PSBs (H) on the means of several measuring results of tree crowns. The explanations of the table refer to Table 6. n=45.

Number of PSBs (H)	Ab.	Tree height	E-W width	S-N width	Height beneath canopy	Working space	Index of crowded-ness	Overflow of branches	Number of leaf blocs	Occupied area by crown	Abbreviations of other alternatives
		cm	cm	cm	cm	m <sup>3</sup>	cm	%		m <sup>2</sup>	
2	H1	226	a <sup>2</sup> 305	a 335	a 84	d 38.4	a 25.6	c 1.83	c 622	a 6.62	C2, A1, E1, I2, F1,
	H2	233	b 340	b 335	a 91	c 36.8	b 22.3	b 1.24	a 683	b 7.39	G6, P3, Y9,
	H3	247	c <u>406</u>	d 335	a 102	a 35.4	c 20.1	a 1.36	ab <u>749</u>	c 8.33	K3, S1~S9,
	H4	234	b 359	c 328	a 93	c 37.5	ab 22.8	b 1.18	a 661	ab 7.20	Q1~Q5
	H5	253	c 359	c 328	a 98	b 38.1	a 22.9	b 1.67	bc 655	ab 7.09	
3	H1	242	a 309	a 307	a 88	bc 41.0	a 24.3	bc 4.29	b <u>543</u>	a 5.73	C3, A1, E1, I2, F1,
	H2	243	a 312	ab 310	ab 90	b 40.4	ab 23.5	b 3.25	a <u>569</u>	b 6.00	G4, P4, Y9,
	H3	247	ab 327	c 318	c 95	a 39.2	d 21.9	a 2.71	a 619	d 6.61	K3, S1~S9,
	H4	242	a 337	d 309	ab 87	c 39.5	cd 24.5	c 2.96	a 596	c 6.27	Q1~Q5
	H5	252	b 310	ab 314	bc 95	a 40.0	bc 24.1	bc 3.22	a 606	cd 6.29	
	H6	242	a 318	b 318	c 93	a 39.7	cd 25.8	d 3.04	a 602	cd 6.35	
	H7	254	b 317	b 314	bc 93	a 39.4	cd 24.3	bc 2.73	a 622	d 6.47	
4	H1	272	a 323	a 323	a 98	d 39.9	a 24.4	d 3.20	b 680	a 6.37	C4, A1, E1, I2, F1,
	H2	273	a 326	a 326	a 99	cd 39.3	b 23.6	c 2.43	a 713	b 6.67	G3, P4, Y9,
	H3	276	ab 349	c 349	c 105	ab 38.0	d 21.8	a 2.05	a <u>781</u>	c 7.38	K3, S1~S9,
	H4	270	a 337	b 324	a 94	e 38.8	c 23.6	c 2.38	a <u>697</u>	ab 6.70	Q1~Q5
	H5	284	b 324	a 325	a 106	a 39.9	a 23.0	bc 2.05	a 715	b 6.62	
	H6	270	a 322	a 336	b 102	bc 39.7	ab 23.2	c 2.10	a 692	a 6.60	
	H7	284	b 322	a 336	b 100	cd 39.5	ab 22.4	b 2.44	a 715	b 6.62	
5	H1	305	bc 296	a 293	a 104	d 41.9	a 22.8	e 2.81	b 643	a 5.73	C5, A1, E1, I2, F1,
	H2	313	cd 318	b 314	b 113	c 40.7	b 21.7	c 2.12	a 686	b 6.46	G2, P6, Y9,
	H3	326	e 356	d 352	d 124	a 38.8	c 19.7	a 1.87	a <u>768</u>	f 7.62	K3, S1~S9,
	H4	298	ab 343	c 347	cd 112	c 38.0	d 20.4	b 1.98	a <u>738</u>	d 7.59	Q1~Q5
	H5	320	de 337	c 339	c 127	a 41.0	b 21.4	c 2.56	b 700	c 6.75	
	H6	294	a 339	c 305	b 119	b 40.8	b 22.2	d 2.58	b 674	b 6.57	
	H7	324	e 346	c 348	cd 118	b 38.6	c 20.1	a 2.03	a <u>751</u>	e 7.52	
6	H1	324	a 327	a 331	a 119	cd 42.4	a 21.7	e 2.81	a 624	a 5.89	C6, A1, E1, I2, F1,
	H2	330	b 337	a 337	a 123	c 41.1	b 20.6	bc 2.33	b 667	b 6.60	G1, P2, Y9,
	H3	340	c 361	b 351	b 138	b 39.3	d 19.1	a 2.13	bc <u>733</u>	c 7.91	K3, S1~S9,
	H4	328	ab 354	b 348	b 115	d 38.1	e 20.9	bcd 1.74	d <u>819</u>	ef 7.63	Q1~Q5
	H5	<u>354</u>	d 354	b 349	b 143	a 40.3	c 20.9	cd 2.17	bc <u>813</u>	de 7.58	
	H6	328	ab 354	b 346	b 134	b 39.7	d 21.2	d 2.05	c <u>802</u>	d 7.56	
	H7	<u>354</u>	d 354	b 346	b 122	c 38.7	e 20.5	b 1.92	cd <u>831</u>	f 7.63	

<sup>2</sup>Different letters indicate significance at 5% level by Tukey's multiple range test.

上になった（第15表）。

### 11) ユニット分岐角度分布形の違いによる影響

2本主枝のときの多くの選択枝で東西樹幅の平均値は制限値を超え、葉ブロック数の平均値は722個以上になり、樹冠占有面積の平均値も増大した（第16表）。他の主枝数のとき、はみ出しは無く、ほとんどの選択枝で葉ブロック数の平均値は許容範囲内にあった（第16表）。

### 12) 主幹の傾斜角度の違いによる影響

2本主枝のときの全ての選択枝で東西樹幅の平均値が制限値を僅かに超えた（第17表）。傾斜角度が小さいときの多くの選択枝で、はみ出し枝長の割合の平均値が高くなった（第17表）。傾斜角度が小さかったほど樹高、樹

冠下平均高および葉ブロック数の平均値は減少した（第17表）。

### 13) 斜立主幹の傾斜方位および主幹発出点の違いによる影響

2本主枝のときの選択枝の一部で、樹幅の平均値が制限値を超えた（第18表）。主枝数が2本のときの全ての選択枝で、はみ出し枝長の割合の平均値が高くなった（第18表）。

## 考 察

本実験では亜主枝以降の枝葉複合体をユニットと称したが、実験に用いたユニットの原型は、CACOASが出力

Table 9. The effects of the central angles of the first PSBs (F) on the means of several measuring results of tree crowns. The explanations of the table refer to Table 6. n=45.

Number of PSBs (F)	Ab.	Tree height	E-W width	S-N width	Height beneath canopy	Working space	Index of crowdedness	Overflow of branches	Number of leaf blocs	Occupied area by crown	Abbreviations of other alternatives									
												cm	cm	cm	cm	m <sup>3</sup>	cm	%	m <sup>2</sup>	
2	F2	247	a <sup>2</sup> 406	c	335	a	103	a	35.4	a	20.1	a	1.36	a	749	a	8.33	a	H3, I2,	
	F3	247	a	335	a	406	c	102	a	35.4	a	20.1	a	1.36	a	749	a	8.33	a	G6, P3, Y9,
	F4	247	a	335	a	406	c	103	a	35.4	a	20.1	a	1.36	a	749	a	8.33	a	K3, S1~S9,
	F5	247	a	355	b	398	c	99	b	34.7	b	20.1	a	1.25	a	752	a	8.49	a	Q1~Q5
	F6	247	a	398	c	355	b	100	b	34.8	b	20.1	a	1.25	a	752	a	8.49	a	
	F7	247	a	398	c	355	b	100	b	34.8	b	20.1	a	1.25	a	752	a	8.49	a	
	F8	247	a	355	b	398	c	100	b	34.8	b	20.1	a	1.25	a	752	a	8.49	a	
	3	F1	247	a	327	a	318	a	95	a	39.2	a	21.9	a	2.71	a	619	a	6.61	a
F2		247	a	327	a	318	a	95	a	39.2	a	21.8	a	2.71	a	619	a	6.61	a	H3, I2,
F3		247	a	318	a	327	a	95	a	39.2	a	21.9	a	2.71	a	619	a	6.61	a	G4, P4, Y9,
F4		247	a	318	a	327	a	95	a	39.1	a	21.9	a	2.71	a	619	a	6.61	a	K3, S1~S9,
F5		247	a	321	a	325	a	95	a	39.3	a	22.1	a	2.71	a	612	a	6.57	a	Q1~Q5
F6		247	a	325	a	321	a	95	a	39.3	a	22.1	a	2.71	a	612	a	6.57	a	
F7		247	a	325	a	321	a	95	a	39.3	a	22.1	a	2.71	a	612	a	6.57	a	
F8		247	a	321	a	325	a	95	a	39.3	a	22.1	a	2.71	a	612	a	6.57	a	
4	F1	270	a	337	b	324	ab	94	a	38.8	a	23.6	a	2.38	a	697	a	6.70	a	C4, A1, E1,
	F2	270	a	337	b	324	ab	94	a	38.8	a	23.6	a	2.39	a	697	a	6.70	a	H4, I2,
	F3	270	a	325	ab	337	b	94	a	38.8	a	23.6	a	2.38	a	697	a	6.70	a	G3, P4, Y9,
	F4	270	a	324	ab	337	b	94	a	38.8	a	23.6	a	2.39	a	697	a	6.70	a	K3, S1~S9,
	F5	270	a	313	a	311	a	93	a	38.6	a	23.9	a	2.39	a	687	a	6.77	a	Q1~Q5
	F6	270	a	311	a	313	a	93	a	38.6	a	23.9	a	2.39	a	687	a	6.77	a	
	F7	270	a	311	a	313	a	93	a	38.6	a	23.9	a	2.39	a	687	a	6.77	a	
	F8	270	a	313	a	311	a	93	a	38.6	a	23.9	a	2.39	a	687	a	6.77	a	
5	F1	294	a	339	b	305	a	119	a	40.8	a	22.2	a	2.58	a	674	a	6.57	a	C5, A1, E1,
	F2	294	a	339	b	305	a	119	a	40.8	a	22.2	a	2.54	a	675	a	6.58	a	H6, I2,
	F3	294	a	305	a	339	b	119	a	40.8	a	22.2	a	2.58	a	674	a	6.57	a	G2, P6, Y9,
	F4	294	a	305	a	339	b	119	a	40.8	a	22.2	a	2.54	a	675	a	6.58	a	K3, S1~S9,
	F5	294	a	314	a	337	b	119	a	40.8	a	22.4	a	2.58	a	667	a	6.58	a	Q1~Q5
	F6	294	a	337	b	314	a	119	a	40.8	a	22.4	a	2.58	a	667	a	6.58	a	
	F7	294	a	337	b	314	a	119	a	40.8	a	22.4	a	2.58	a	667	a	6.58	a	
	F8	294	a	314	a	337	b	119	a	40.8	a	22.4	a	2.54	a	668	a	6.60	a	
6	F1	302	a	315	a	345	bc	136	a	41.2	a	21.4	a	1.96	bc	709	a	6.90	a	C6, A1, E1,
	F2	302	a	315	a	345	bc	136	a	41.2	a	21.4	a	1.84	ab	711	a	6.95	a	H6, I2,
	F3	302	a	345	bc	315	a	136	a	41.3	a	21.4	a	1.97	c	708	a	6.88	a	G1, P2, Y9,
	F4	302	a	345	bc	315	a	137	a	41.2	a	21.4	a	1.83	a	711	a	6.96	a	K3, S1~S9,
	F5	302	a	350	c	339	b	136	a	41.3	a	21.5	a	1.95	bc	706	a	6.96	a	Q1~Q5
	F6	302	a	339	b	350	c	136	a	41.3	a	21.5	a	1.88	abc	707	a	6.90	a	
	F7	302	a	339	b	350	c	136	a	41.3	a	21.5	a	1.88	abc	707	a	6.90	a	
	F8	302	a	350	c	339	b	137	a	41.2	a	21.5	a	1.83	a	708	a	6.93	a	

<sup>2</sup>Different letters indicate significance at 5% level by Tukey's multiple range test.

した樹齢2年生から4年生の幼樹であった。樹冠モデルが仮に10年生樹とすれば、亜主枝の枝齢は8年生になるため、上記は矛盾する。それゆえに、2年生から4年生の幼樹をユニット原型に代用した理由を幾つか述べておきたい。第1の理由として、ユニットの性格上、その寸法を小さくする必要があったものの、CACOASを用いて8年生樹の小型ユニットを作成することは技術上困難であったことである。第2の理由として、そもそもCDSにおけるユニットの役割は葉ブロック群の空間配置、つまり、葉を着生する新梢の空間配置であった。したがって、ユニットを構成する新梢以外の枝群の枝齢や太さなどは重要とは思われない。栽培果樹では、間引きや切り返しによる枝の剪除が毎年繰り返される結果、亜主枝以降の枝群の枝齢構成は総じて若く、枝齢が高い基部側の枝は僅かに残存するにとどまることが多い。以上のことから、

上述の代用は実験結果を左右するほどの大きな問題にはならないものと考えた。なお、CACOASを用いてユニットの空間座標データを入手した際、リンゴ‘ふじ’のパラメータを用いたことに特別な理由は無い。本実験で用いた5種類のタイプのユニットはCACOAS運用の際の様々な工夫により作成されたものであった。また、これらは‘ふじ’に特有なものだけではなく、多くの果樹において普通よく見られるものと考えている。

筆者は以前、CDSと一見似たシステムであるCACOASを開発し、光環境の研究にもこれを用いたこともあった(山本ら, 2015)。CACOASは葉量などの自動調節機能を持ったシミュレーションシステムであり、CDSは自動調節機能を持たない設計システムである。よって、両者は目的、性格が大きく異なる。CACOASでは、シミュレーション開始時、幼樹段階の骨格枝が決められ、このとき

Table 10. The effects of the distribution patterns of the branching angles of PSBs (I) on the means of several measuring results of tree crowns. The explanations of the table refer to Table 6. n=45.

Number Ab. of PSBs (I)	Tree height cm	E-W width cm	S-N width cm	Height beneath canopy cm	Working space m <sup>3</sup>	Index of crowded-ness cm	Overflow of branches %	Number of leaf blocs	Occupied area by crown m <sup>2</sup>	Abbreviations of other alternatives	
2	I1	211 a <sup>2</sup>	<u>454</u> d	335 a	79 d	33 d	20.2 ab	9.01 d	689 a	8.67 a	C2, A1, E1,
	I2	247 b	<u>406</u> c	335 a	102 b	35 c	20.1 ab	1.36 a	<u>749</u> c	8.33 b	H3, F1,
	I3	277 d	317 a	335 a	119 a	40 a	20.7 b	1.51 a	<u>728</u> bc	6.85 d	G6,P3,Y9,
	I4	277 d	385 b	335 a	100 bc	36 b	20.0 a	6.51 c	714 b	7.98 c	K3, S1~S9,
	I5	257 c	385 b	335 a	97 c	36 b	20.3 ab	4.02 b	<u>724</u> b	7.77 c	Q1~Q5
3	I1	230 a	348 e	339 e	81 d	36 d	21.2 a	9.54 d	595 ab	7.37 a	C3, A1, E1,
	I2	247 c	327 c	318 c	95 b	39 c	21.9 bc	2.71 ab	619 c	6.61 b	H3, F1,
	I3	271 d	296 a	297 a	104 a	42 a	23.1 d	2.23 ab	589 a	5.51 e	G4,P4,Y9,
	I4	271 d	337 d	304 ab	94 b	40 b	21.6 ab	8.66 c	589 a	6.35 c	K3, S1~S9,
	I5	230 a	306 b	336 de	93 bc	39 c	22.4 c	2.07 a	609 bc	6.56 bc	Q1~Q5
	I6	271 d	322 c	307 b	92 bc	40 b	22.1 bc	2.87 b	611 bc	6.10 d	
	I7	241 b	322 c	330 d	90 c	39 c	21.6 ab	8.90 cd	586 a	6.66 b	
4	I1	260 a	348 c	327 a	83 e	36 d	22.0 a	9.89 b	689 cd	7.44 a	C4, A1, E1,
	I2	270 bc	337 b	324 a	94 c	39 c	23.6 c	2.38 a	697 d	6.70 b	H4, F1,
	I3	276 c	308 a	316 a	102 a	42 a	25.2 e	2.07 a	653 a	5.79 e	G3,P4,Y9,
	I4	276 c	345 c	321 a	91 cd	39 c	25.2 e	9.14 b	676 c	6.70 b	K3, S1~S9,
	I5	260 a	312 a	324 a	97 b	40 b	24.5 d	1.87 a	674 bc	6.40 d	Q1~Q5
	I6	276 c	315 a	324 a	88 d	38 c	22.9 b	2.62 a	716 e	6.69 bc	
	I7	263 ab	340 bc	320 a	93 c	39 b	23.1 bc	9.34 b	658 ab	6.47 cd	
5	I1	275 a	367 e	321 d	103 d	38 e	20.6 a	5.82 d	704 c	7.42 a	C5, A1, E1,
	I2	294 c	339 bc	305 c	119 b	41 bc	22.2 d	2.58 b	674 b	6.57 b	H6, F1,
	I3	311 d	299 a	286 a	124 a	44 a	23.1 e	1.72 a	653 a	5.47 c	G2,P6,Y9,
	I4	310 d	331 b	295 b	111 c	41 cd	21.2 b	5.65 d	682 b	6.47 b	K3, S1~S9,
	I5	288 b	346 cd	314 d	121 ab	41 b	22.3 d	1.76 a	676 b	6.49 b	Q1~Q5
	I6	310 d	352 d	293 ab	108 c	40 d	21.4 bc	1.93 a	703 c	6.55 b	
	I7	290 b	330 b	316 d	119 b	41 b	21.7 c	5.10 c	671 b	6.41 b	
6	I1	278 a	331 f	365 e	115 d	38 e	19.9 a	4.44 d	<u>743</u> d	7.70 a	C6, A1, E1,
	I2	302 c	315 d	345 bc	136 b	41 c	21.4 d	1.96 b	<u>709</u> b	6.90 c	H6, F1,
	I3	321 e	301 b	307 a	145 a	44 a	22.3 e	1.20 a	687 a	5.73 e	G1,P2,Y9,
	I4	320 e	323 e	337 b	132 c	41 c	20.6 c	3.97 c	<u>721</u> c	6.79 c	K3, S1~S9,
	I5	294 b	306 c	353 cd	136 b	41 c	21.5 d	1.37 a	711 b	6.86 c	Q1~Q5
	I6	311 d	334 f	357 de	119 d	39 d	20.3 b	1.70 b	<u>751</u> d	7.37 b	
	I7	320 e	292 a	348 bcd	131 c	42 b	20.8 c	3.88 c	<u>717</u> bc	6.47 d	

<sup>2</sup>Different letters indicates significance at 5% level by Tukey's multiple range test.

の選択枝数も少なかった。また、その後の新梢の発生や生長は親枝の形質などを用いた重回帰推定法で与えられた。さらに、CACOASにおけるせん定処理は年次ごとの葉量目標値に照らして機械的になされたため、葉量が目標値を超えたときには、太枝を含む枝の剪去も余儀なくされ、当初目標であった樹形の維持が困難になるケースが多かった。このようなことから、CACOASは葉量や光環境などの経年変化や季節変化を目的としたシミュレーション研究には適したが<sup>2</sup>（山本，2014），相互に明瞭に区別できるような樹冠モデルの作成には向いていないもの

と思われる。しかも、CDSに比べてCACOASの計算所要時間は非常に長かったため、多数の樹冠モデルを作成することには不向きである。一方、CDSは経年変化推定のような機能を持たない。加えて、選択枝の組み合わせ次第で設定空間からはみ出しや葉ブロック数の許容範囲からの逸脱が生じ、その後の修復機能を持たない。

緒言に記したように、本研究の対象を慣行栽培の立木仕立ての樹冠モデルに限定したが、この理由として以下の点をあげたい。中央果実協会（2018）が実施した果樹生産技術調査によると、極端な低樹高化などの省力樹形

Table 11. The effects of the increments of the central angle of PSBs (G) on the means of several measuring results of tree crowns. The explanations of the table refer to Table 6. n=45.

Number of PSBs (G)	Ab.	Tree height	E-W width	S-N width	Height beneath canopy	Working space	Index of crowdedness	Overflow of branches	Number of leaf blocs	Occupied area by crown	Abbreviations of other alternatives
2	G1	247	a <sup>2</sup> 334	c 339	bc 96	bc 38.4	b 22.1	bc 2.53	a 674	bc 6.92	C2, A1, E1, H3, I2, F1, P3, Y9, K3, S1~S9, Q1~Q5
	G2	247	a 352	d 341	bc 95	c 37.7	c 22.0	bc 2.53	a 679	bc 7.21	
	G3	247	a 371	e 346	c 98	a 37.0	c 21.5	b 2.53	a 693	c 7.54	
	G4	247	a 399	f 333	b 99	a 35.9	d 20.7	a 2.66	a 718	d 7.99	
	G5	247	a <u>401</u>	f 318	a 98	ab 35.2	e 20.2	a 2.77	a <u>736</u>	de 8.25	
	G6	247	a <u>406</u>	f 335	b 99	a 35.1	e 20.0	a 2.89	a <u>740</u>	e 8.31	
	G7	247	a 322	b 341	bc 94	c 38.9	b 22.3	c 2.53	a 668	b 6.69	
	G8	247	a 303	a 339	bc 91	d 39.7	a 23.1	d 2.53	a 644	a 6.29	
3	G1	247	a 327	b 301	ab 96	a 41.2	b 24.3	cd 2.71	a <u>558</u>	bc 5.81	C3, A1, E1, H3, I2, F1, P4, Y9, K3, S1~S9, Q1~Q5
	G2	247	a 320	b 297	a 96	a 40.3	c 23.6	c 2.71	a <u>573</u>	c 6.19	
	G3	247	a 326	b 325	d 96	a 39.6	d 22.7	b 2.71	a 597	d 6.46	
	G4	247	a 327	b 318	cd 95	ab 39.2	de 21.9	a 2.71	a 619	e 6.61	
	G5	247	a 323	b 323	d 93	ab 39.1	e 21.6	a 2.71	a 627	e 6.58	
	G6	247	a 318	b 316	cd 86	c 40.6	c 21.7	a 2.71	a 625	e 5.83	
	G7	247	a 327	b 305	ab 95	a 41.7	b 24.7	d 2.71	a <u>547</u>	b 5.63	
	G8	247	a 289	a 309	bc 92	b 42.3	a 25.5	e 2.71	a <u>531</u>	a 5.30	
4	G1	270	a 339	d 300	ab 94	a 39.9	b 25.0	d 2.38	a 656	bc 6.28	C4, A1, E1, H4, I2, F1, P4, Y9, K3, S1~S9, Q1~Q5
	G2	270	a 332	cd 296	a 94	a 39.3	c 24.4	c 2.38	a 674	c 6.51	
	G3	270	a 337	d 324	e 94	a 38.8	c 23.6	b 2.38	a 697	d 6.70	
	G4	270	a 339	d 311	cd 89	b 39.1	c 23.2	ab 2.38	a 707	de 6.47	
	G5	270	a 325	bc 311	cd 89	b 39.1	c 22.9	a 2.38	a 715	de 6.50	
	G6	270	a 321	b 316	de 85	c 40.2	b 22.8	a 2.38	a 720	e 5.96	
	G7	270	a 340	d 302	abc 93	a 40.3	b 25.3	d 2.38	a 648	b 6.12	
	G8	270	a 305	a 307	bcd 91	ab 41.2	a 26.4	e 2.38	a 622	a 5.73	
5	G1	294	a 334	de 313	b 119	ab 41.2	c 22.8	d 2.57	a 656	b 6.41	C5, A1, E1, H6, I2, F1, P6, Y9, K3, S1~S9, Q1~Q5
	G2	294	a 339	e 305	b 119	b 40.8	cd 22.2	c 2.58	a 674	c 6.57	
	G3	294	a 321	ab 339	c 111	d 40.8	cd 21.3	b 2.58	a 703	d 6.37	
	G4	294	a 322	ab 335	c 114	c 40.3	d 20.6	a 2.58	a <u>726</u>	e 6.64	
	G5	294	a 314	a 340	c 113	cd 40.4	d 20.3	a 2.56	a <u>736</u>	e 6.59	
	G6	294	a 333	cd 292	a 102	e 41.8	b 20.6	a 2.54	a <u>728</u>	e 5.71	
	G7	294	a 326	bc 344	c 123	a 41.8	b 23.4	e 2.54	a 639	a 6.26	
	G8	294	a 323	ab 292	a 119	b 42.4	a 23.7	e 2.54	a 631	a 5.87	
6	G1	302	a 315	a 345	cd 136	bc 41.2	c 21.4	d 1.96	b 709	b 6.90	C6, A1, E1, H6, I2, F1, P2, Y9, K3, S1~S9, Q1~Q5
	G2	302	a 352	c 344	c 136	abc 40.7	d 20.7	c 1.97	b <u>736</u>	c 7.14	
	G3	302	a 351	c 351	cd 138	c 40.7	d 19.7	b 1.99	b <u>770</u>	d 7.23	
	G4	302	a 354	c 343	c 131	a 40.7	d 19.2	a 1.90	ab <u>793</u>	e 7.03	
	G5	302	a 338	b 365	e 133	ab 40.0	e 18.8	a 1.88	ab <u>808</u>	e 7.38	
	G6	302	a 372	d 316	b 132	ab 40.7	d 19.1	a 1.91	ab <u>796</u>	e 7.01	
	G7	302	a 313	a 356	de 136	bc 41.9	b 22.1	e 1.89	ab 688	a 6.58	
	G8	302	a 333	b 292	a 135	abc 42.7	a 22.5	e 1.83	a 677	a 6.19	

<sup>2</sup>Different letters indicate significance at 5% level by Tukey's multiple range test.



あるいは垣根仕立て、トレリス誘引、細形樹の高密植栽培、ジョイント栽培、根域制限栽培などの特殊栽培の普及率はまだかなり低かった(中央果実協会, 2018)。さらに、これらの特殊栽培の樹冠は、その形状から見て、本研究のような光環境を比較するための設定条件を必ずしも満たさない。よって、これらについては本研究の対象外とした。一方、棚仕立てについては、そこで用いられる整枝せん定の選択枝が変わっても樹冠形そのものは大きく変わらない。しかも、多様な形態の棚状樹冠における光環境についてはすでに比較調査されている(山本, 2016)。よって、棚仕立ての樹冠モデルについては研究対象から除外した。

本研究の目的は多様な樹冠モデルの作成であることか

ら、樹種や品種、わい性台木や強勢台木などの実験材料の問題とは無関係ではない。しかしながら、本報ではこれらについてはあえて触れなかった。その理由は光環境改善のための目標となる樹冠モデルが絞られた後、その実現の場において、実験材料の方面での検討や工夫がなされるべきであると考えたからである。また、品種や台木の改良は一過性の技術であり、今後、大きな変遷が予想されるためである。

CDSからの樹冠モデルを用いた実験結果から、樹冠外観および内部構造に関連して以下の特徴が推察される。

本実験で得られた多くの樹形および樹冠形から判断して、まず強調すべきことは、主枝数の違いによって樹冠の外観や内部構造が大きく左右されたことである。さら

Table 12. The effects of the distribution patterns of the unit size of the units (P) on the means of several measuring results of tree crowns. The explanations of the table refer to Table 6. n=45.

Number of PSBs (P)	Ab.	Tree height	E-W width	S-N width	Height beneath canopy	Working space	Index of crowdedness	Overflow of branches	Number of leaf blocs	Occupied area by crown	Abbreviations of other alternatives
		cm	cm	cm	cm	m <sup>3</sup>	cm	%		m <sup>2</sup>	
2	P1	205	a <sup>2</sup> 343	a 143	a 82	f 47.0	a 42.4	f 1.08	ab 272	a 3.37	C2, A1, E1, H3, I2, F1, G6, Y9, K3, S1~S9, Q1~Q5
	P2	212	a 341	a 212	b 89	e 41.5	b 29.2	e 1.07	ab 488	b 5.55	
	P3	247	d 406	d 335	d 102	b 35.4	e 20.1	a 1.36	b 749	f 8.33	
	P4	222	b 346	ab 316	c 88	e 39.9	c 25.2	d 1.25	b 543	c 6.18	
	P5	250	d 411	d 316	c 106	a 38.3	d 21.9	b 1.33	b 622	e 7.29	
	P6	232	c 361	c 316	c 94	d 38.6	d 23.4	c 1.18	ab 583	d 6.79	
	P7	232	c 357	bc 316	c 98	c 38.2	d 22.8	bc 0.91	a 600	d 7.04	
3	P1	234	a 297	a 304	a 90	f 44.8	a 31.9	d 3.15	b 367	a 4.31	C3, A1, E1, H3, I2, F1, G4, Y9, K3, S1~S9, Q1~Q5
	P2	242	b 308	b 319	b 98	e 40.3	b 22.4	c 2.50	a 570	b 6.21	
	P3	276	d 399	e 383	d 112	b 34.8	g 18.8	a 2.41	a 800	f 8.92	
	P4	247	b 327	c 318	b 95	e 39.2	c 21.9	c 2.71	ab 619	c 6.61	
	P5	276	d 398	e 386	d 118	a 36.0	f 18.7	a 2.46	a 725	e 8.62	
	P6	260	c 354	d 342	c 103	d 37.7	d 20.3	b 2.47	a 667	d 7.39	
	P7	260	c 360	d 347	c 106	c 36.9	e 19.8	b 2.28	a 685	d 7.81	
4	P1	238	a 308	a 253	a 85	d 46.2	a 35.3	f 3.41	b 331	a 3.70	C4, A1, E1, H4, I2, F1, G3, Y9, K3, S1~S9, Q1~Q5
	P2	236	a 306	a 251	a 91	c 42.1	b 27.0	e 2.44	a 549	b 5.35	
	P3	278	c 381	d 339	c 103	b 36.1	f 19.8	a 2.13	a 821	e 8.08	
	P4	270	b 337	b 324	b 94	c 38.8	cd 23.6	d 2.38	a 697	d 6.70	
	P5	278	c 377	d 331	bc 109	a 39.0	c 20.5	ab 2.14	a 667	c 7.07	
	P6	264	b 354	c 330	b 103	b 38.3	e 22.4	c 2.24	a 711	d 7.18	
	P7	264	b 353	c 330	b 106	b 38.3	de 20.9	b 2.08	a 705	d 7.25	
5	P1	265	a 252	a 260	a 104	d 46.3	a 31.5	e 3.40	d 372	a 3.93	C5, A1, E1, H6, I2, F1, G2, Y9, K3, S1~S9, Q1~Q5
	P2	266	a 269	b 270	b 107	c 43.3	b 26.0	d 2.41	ab 572	b 5.24	
	P3	308	c 365	e 339	d 119	b 37.5	e 20.1	ab 2.10	a 874	e 8.03	
	P4	300	b 307	c 308	c 108	c 40.5	c 22.3	c 2.09	a 721	d 6.42	
	P5	308	c 345	d 347	d 124	a 39.8	d 20.0	a 2.64	bc 710	d 7.18	
	P6	294	b 339	d 305	c 119	b 40.8	c 22.2	c 2.58	bc 674	c 6.57	
	P7	294	b 342	d 305	c 122	a 40.5	c 20.7	b 2.79	c 682	c 6.81	
6	P1	297	a 278	a 279	a 118	d 45.9	a 27.8	f 2.76	d 438	a 4.37	C6, A1, E1, H6, I2, F1, G1, Y9, K3, S1~S9, Q1~Q5
	P2	299	a 291	b 286	a 125	c 43.5	b 23.4	e 1.96	b 614	b 5.59	
	P3	333	c 348	d 373	d 136	b 39.4	f 18.9	a 2.10	bc 806	e 7.75	
	P4	330	c 318	c 329	b 119	d 40.7	d 22.0	d 1.72	a 777	d 6.63	
	P5	321	b 364	e 345	c 143	a 41.7	c 19.3	ab 2.27	c 689	c 6.94	
	P6	328	c 354	d 346	c 134	b 39.7	ef 21.2	c 2.05	bc 802	e 7.56	
	P7	328	c 353	d 345	c 141	a 40.2	e 19.7	b 2.12	bc 782	d 7.59	

<sup>2</sup>Different letters indicate significance at 5% level by Tukey's multiple range test.

に、主幹長の違い（第6図）および主幹の傾斜角度の違い（第17図）は樹冠外観を大きく変えることが考えられる。また、同じ傾きでも、傾く方角が違えば樹冠全体の向きも変わるため（第18図）、樹冠外観は様変わりする。よって、斜立主幹については、低樹高化の観点だけに留まらず、光環境改善の観点からも樹の傾く方角と合わせて検討する必要がある。

さらに主幹長によって樹冠は大きく変わると考えられ

る（第7図）。低樹高化の観点から主幹を短くする一方、葉量を確保するため主枝数を増やそうとすれば、枝葉が密集した樹冠になる。この密集化を防ぐにはある程度の長さの主幹が必要になる。よって、主幹長と主枝数の組み合わせについては、光環境改善の観点からもさらに検討する必要がある。

各主枝の上には垂主枝以降のユニットが複数着生し、樹冠の主要部分を形作る。そのため、主幹長や主枝数が

Table 13. The effects of the settings of the central angles of the units (Y) on the means of several measuring results of tree crowns. The explanations of the table refer to Table 6. n=45.

Number of PSBs (Y)	Ab.	Tree height	E-W		S-N		Height beneath canopy		Working space		Index of crowdedness		Overflow of branches		Number of leaf blocs		Occupied area by crown		Abbreviations of other alternatives	
			width	cm	width	cm	cm	cm	m <sup>3</sup>	cm	cm	%	cm	m <sup>2</sup>						
2	Y1	260	d <sup>z</sup>	<u>459</u>	f	329	c	82	e	34.9	de	18.8	a	16.77	d	675	ab	7.88	cd	C2, A1, E1, H3, I2, F1, G6, P3, K3, S1~S9, Q1~Q9
	Y2	242	b	<u>434</u>	de	331	c	85	e	34.6	e	18.9	a	15.57	d	680	b	8.05	c	
	Y3	282	fg	<u>419</u>	bcd	333	c	88	d	35.9	c	18.9	a	13.60	c	696	bc	7.68	de	
	Y4	276	ef	<u>439</u>	e	329	c	85	e	35.8	c	18.9	a	18.74	e	654	a	7.63	e	
	Y5	249	c	<u>419</u>	bc	329	c	83	e	34.5	e	18.5	a	16.20	d	689	b	8.05	c	
	Y6	211	a	<u>424</u>	cd	333	c	83	e	32.0	f	19.9	b	9.21	b	696	bc	8.97	a	
	Y7	286	g	<u>399</u>	a	248	a	114	a	40.5	a	22.1	d	0.84	a	681	b	6.56	f	
	Y8	274	e	<u>404</u>	ab	302	b	110	b	38.1	b	21.2	c	0.90	a	715	c	7.47	e	
3	Y8	247	bc	<u>406</u>	ab	335	c	102	c	35.4	cd	20.1	b	1.36	a	<u>749</u>	d	8.33	b	C3, A1, E1, H3, I2, F1, G4, P4, K3, S1~S9, Q1~Q5
	Y1	261	c	338	de	331	cd	88	d	38.4	de	20.2	a	6.60	c	643	e	6.72	bc	
	Y2	264	cd	337	d	332	cd	85	de	38.7	cd	20.1	a	8.27	d	633	de	6.54	bc	
	Y3	280	e	346	ef	328	c	84	e	38.7	cd	19.8	a	10.41	e	628	de	6.50	c	
	Y4	283	e	351	fg	338	de	86	de	37.9	e	20.2	a	10.29	e	628	de	6.86	b	
	Y5	261	c	343	def	326	c	83	e	38.4	de	19.7	a	10.16	e	632	de	6.61	bc	
	Y6	228	a	358	g	344	e	84	e	36.9	f	21.2	b	9.91	e	591	ab	7.19	a	
	Y7	283	e	291	a	304	a	106	a	42.6	a	24.1	e	0.76	a	<u>574</u>	a	5.51	e	
4	Y8	270	d	308	b	310	ab	101	b	41.0	b	22.8	d	1.13	a	605	bc	6.05	d	C4, A1, E1, H4, I2, F1, G3, P4, K3, S1~S9, Q1~Q5
	Y8	247	b	327	c	318	b	95	c	39.2	c	21.9	c	2.71	b	619	cd	6.61	bc	
	Y1	258	bc	335	c	321	c	86	c	38.4	cd	21.8	c	7.41	c	714	c	6.67	b	
	Y2	263	c	339	cd	322	c	85	cd	38.4	cd	21.5	bc	9.10	d	711	c	6.67	b	
	Y3	277	ef	345	de	322	c	83	cd	37.9	d	21.2	bc	10.50	de	709	c	6.78	b	
	Y4	279	ef	339	cd	320	c	84	cd	38.1	d	21.0	ab	11.38	ef	707	c	6.74	b	
	Y5	256	b	351	e	321	c	81	d	37.9	d	20.5	a	12.49	f	716	c	6.74	b	
	Y6	239	a	332	e	320	c	83	cd	36.5	e	22.7	d	10.00	de	665	b	7.30	a	
5	Y7	284	f	303	a	279	a	104	a	43.0	a	26.7	g	0.64	a	628	a	5.30	d	C5, A1, E1, H6, I2, F1, G2, P6, K3, S1~S9, Q1~Q5
	Y8	274	de	318	b	303	b	102	a	41.2	b	25.2	f	1.01	ab	661	b	5.98	c	
	Y8	270	d	337	cd	324	c	94	b	38.8	c	23.6	e	2.38	b	697	c	6.70	b	
	Y1	319	cd	301	bc	316	cd	111	c	41.3	c	21.0	e	2.42	b	713	ef	6.17	cd	
	Y2	319	cd	310	cd	337	e	107	d	40.2	d	20.4	cd	3.04	b	<u>731</u>	f	6.51	bc	
	Y3	335	e	343	ef	307	bc	102	e	39.3	e	20.1	bc	5.75	c	720	ef	6.75	ab	
	Y4	338	e	354	f	324	d	94	f	38.5	f	19.7	ab	9.73	e	703	de	6.84	ab	
	Y5	313	c	315	d	328	de	89	g	38.9	ef	19.2	a	10.03	e	718	ef	6.17	cd	
6	Y6	266	a	337	e	371	f	100	e	38.3	f	20.7	de	6.99	d	691	cd	7.08	a	C6, A1, E1, H6, I2, F1, G1, P2, K3, S1~S9, Q1~Q5
	Y7	338	e	285	a	291	a	125	a	43.5	a	24.3	h	0.74	a	629	a	5.60	e	
	Y8	325	d	292	ab	301	ab	121	b	42.2	b	22.7	g	0.89	a	671	b	6.03	d	
	Y8	294	b	339	e	305	bc	119	b	40.8	cd	22.2	f	2.58	b	674	bc	6.57	b	
	Y1	325	cd	319	bc	327	b	129	c	41.2	c	20.1	c	2.49	bc	<u>752</u>	cd	6.70	d	
	Y2	325	cd	324	bc	338	bc	119	d	39.8	d	19.6	b	2.92	c	<u>767</u>	de	7.02	bc	
	Y3	341	e	338	de	336	bc	109	e	39.5	d	19.4	ab	4.73	de	<u>762</u>	cde	6.86	cd	
	Y4	344	e	329	cd	359	e	110	e	38.9	e	19.0	a	4.63	de	<u>776</u>	e	7.14	b	
6	Y5	321	c	340	e	309	a	107	e	39.9	d	19.1	a	5.16	e	<u>771</u>	e	6.64	d	C6, A1, E1, H6, I2, F1, G1, P2, K3, S1~S9, Q1~Q5
	Y6	281	a	361	f	357	de	117	d	38.5	e	19.8	bc	4.14	d	<u>749</u>	c	7.52	a	
	Y7	344	e	299	a	314	a	144	a	44.3	a	22.9	e	0.81	a	673	a	5.70	f	
	Y8	331	d	316	b	331	b	137	b	42.9	b	21.7	d	0.91	a	707	b	6.16	e	
		Y8	302	b	315	b	345	cd	136	b	41.2	c	21.4	d	1.96	b	709	b	6.90	bcd

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

同じでも、主枝長分布形（第8図）、主枝の着生間隔分布形（第7図）および主枝の分岐角度分布形（第10図）の各選択枝の違いによって樹冠外観とその内部構造も変容する。主枝に関連する上記選択枝が同じでも、主枝の発出方向（正確には主幹上の回転中心角）が異なれば、樹冠外観とその内部構造は変わるものと考えられる。このばあい、第1主枝の回転中心角（第9図）と2番目以降の主枝の中心角増分（第11図）が関係するため、この両者を機械的に組み合わせたととき、樹冠外観とその内部構造に大きな違いが生まれると考えられる。たとえば、3本主枝のとき、中心角増分が120°（第11図のG4）を除く他の増分を組み合わせたととき、いずれも方角別にバランスを欠いた枝分布になった（第11図）。

主枝の選択枝が同じであれば、ユニットの選択枝の違いによる影響は主枝の範囲内に留まるため、樹冠外観に及ぼす影響は小さいものと考えられる。特に、ユニットの分岐角度分布形の違い（第16図）およびユニットの発出間隔分布形の違い（第15図）による影響は小さいものと考えられる。その反面、ユニットは葉層の主体をなす

ため、ユニットのタイプの違い（第14図）およびユニットの大きさ分布形の違い（第12図）は樹冠外観とその内部構造に大きく影響するものと考えられる。また、第1ユニットの回転中心角と中心角増分を機械的に組み合わせたととき（第13図）、親枝である主枝の姿勢とも関係し、ユニットの発出方向がまちまちになり、下方向や横方向へのはみ出しが多くなるものと考えられる（第13図のY1, Y2, Y5およびY6）。一方、中心角増分によらず、ユニットの並びを上方にV字状になるように、強制的に配置すれば、横方向や下方向のはみ出しが抑えられ、作業空間を広く取れる（第13図のY7, Y8およびY9）。このばあいにも光環境に関連した検討が必要であろう。

樹冠モデルの樹冠計測値に関連して以下の傾向が推察される。

第6表のように、主幹長が長いほど枝の混み合いが抑えられ、作業空間も拡大するが、190cm以上の主幹長では樹高制限に抵触しやすい。一方、40cmのように短い主幹では、はみ出しが増え、葉ブロック数も不足する。この原因として、地面に衝突するユニットの増加とユニッ

Table 14. The effects of the unit types (K) on the means of several measuring results of tree crowns. The explanations of the table refer to Table 6. n=45.

Number of PSBs (K)	Ab.	Tree height	E-W width	S-N width	Height beneath canopy	Working space	Index of crowdedness	Overflow of branches	Number of leaf blocs	Occupied area by crown	Abbreviations of other alternatives
		cm	cm	cm	cm	m <sup>3</sup>	cm	%		m <sup>2</sup>	
2	K1	295	d <sup>2</sup> 428	d 357	c 91	c 33.9	c 18.5	a 3.56	b 664	c 8.54	C2, A1, E1, H3, I2, F1, G6, P3, Y9, S1~S9, Q1~Q5
	K2	275	c 423	cd 406	d 111	a 32.9	d 21.6	c 3.66	b 830	e 9.69	
	K3	247	a 406	c 335	b 102	b 35.4	b 20.1	b 1.36	a 749	d 8.33	
	K4	252	b 339	a 313	a 110	a 39.4	a 20.4	b 1.00	a 527	b 6.91	
	K5	249	ab 361	b 305	a 113	a 39.0	a 28.2	d 0.89	a 504	a 7.15	
3	K1	293	c 378	c 384	c 88	c 36.2	d 19.5	a 4.60	d 619	c 7.57	C3, A1, E1, H3, I2, F1, G4, P4, Y9, S1~S9, Q1~Q5
	K2	285	b 400	d 379	c 104	a 35.3	e 21.3	b 2.26	b 782	d 8.45	
	K3	247	a 327	b 318	b 95	b 39.2	c 21.9	bc 2.71	c 619	c 6.61	
	K4	250	a 299	a 314	b 104	a 40.3	b 22.4	c 1.70	a 575	b 6.40	
	K5	246	a 303	a 294	a 107	a 41.2	a 31.2	d 1.37	a 484	a 6.09	
4	K1	323	e 360	c 346	c 87	c 35.7	e 21.3	a 4.09	c 713	c 7.74	C4, A1, E1, H4, I2, F1, G3, P4, Y9, S1~S9, Q1~Q5
	K2	292	d 395	d 397	d 103	a 36.6	d 21.7	a 2.43	b 771	d 7.87	
	K3	270	c 337	b 324	b 94	b 38.8	c 23.6	b 2.38	b 697	c 6.70	
	K4	253	b 305	a 296	a 106	a 40.8	b 25.2	c 1.57	a 624	b 6.23	
	K5	244	a 308	a 297	a 104	a 41.5	a 34.1	d 1.26	a 555	a 5.89	
5	K1	337	e 397	d 359	c 109	c 38.5	d 20.2	a 3.53	e 705	d 7.27	C5, A1, E1, H6, I2, F1, G2, P6, Y9, S1~S9, Q1~Q5
	K2	322	d 387	c 387	d 126	a 36.2	e 20.4	a 2.13	c 872	e 8.84	
	K3	294	a 339	b 305	a 119	b 40.8	c 22.2	b 2.58	d 674	c 6.57	
	K4	305	c 325	a 321	b 124	a 42.2	b 23.7	c 1.58	b 644	b 6.13	
	K5	301	b 320	a 302	a 124	a 43.0	a 30.7	d 1.12	a 586	a 5.76	
6	K1	354	e 377	d 408	d 125	c 39.0	d 19.0	a 3.33	d 721	d 7.57	C6, A1, E1, H6, I2, F1, G1, P2, Y9, S1~S9, Q1~Q5
	K2	345	d 385	e 402	d 132	b 37.8	e 19.4	b 1.83	c 879	e 8.37	
	K3	302	a 315	c 345	c 136	ab 41.2	c 21.4	c 1.96	c 709	c 6.90	
	K4	312	c 291	b 321	b 139	a 42.7	b 22.1	d 1.42	b 663	b 6.31	
	K5	307	b 275	a 304	a 138	a 43.6	a 27.8	e 0.90	a 619	a 5.87	

<sup>2</sup>Different letters indicate significance at 5% level by Tukey's multiple range test.

トどうしの重なりという二重の原因により、葉ブロック数の目減りが発生することが考えられる。

第7表、第9表および第10表のように、2本主枝では様々なトラブルが発生しやすい。2本主枝に小さいユニットのみ、あるいは中位の大きさのユニットのみを用いたときには葉ブロック数が不足し、反対に大きいユニットのみを用いたときには葉ブロック数が過剰になり、横方向のはみ出しも避けられなかった。よって、2本主枝については、そこで用いるユニットの大きさ分布を再検討する必要がある。

6本主枝や5本主枝では葉ブロック数が過剰になりやすい（第8表、第10表および第11表）。その原因として、主枝長分布形あるいはユニットの大きさ分布形の選択肢と主枝数の組み合わせが、本実験では必ずしも妥当でなかったことが考えられ、今後検討する必要がある。

傾斜角度が70°以下の斜立主幹のとき、2本主枝、3本主枝および4本主枝では、枝のはみ出しリスクが高まり、葉ブロック数も不足がちになる（第17表）。

上述とは異なり、樹冠内部の細枝分布や新梢分布に及ぼす各種選択肢の影響については、今後実施予定の光環

境や樹冠形状値などの解析を通じて明らかにしていきたい。

我が国は温暖湿潤な風土のため、たいていの果樹は過繁茂になり易い。そのため、整枝せん定作業は古くから重視され、我国特有の入念な整枝せん定技術が形成され、関連する書籍が多数出版された（たとえば、永沢, 1970）。だが、その多くで似た文言や内容が記述されていたことである。この背景には、当時、整枝せん定の知識は、長きに渡る経験と勘の賜物、揺るぎない技能的知識とされてきたことが考えられる。そのためか、整枝せん定に関する研究論文は少なかった。その後、外国の整枝せん定技術が紹介された（福田, 1989；菊池, 1979a, 1979b, 1979c）。これに加え、様々なニーズを背景に、栽培者による整枝せん定方法の工夫や試験研究が生まれた（福井, 1984；北野, 1995；木戸, 1996；向井, 2004；村松, 2000；中村, 1995；沖嶋, 1998；千野, 1981）。その結果、せん定や樹形に関する民間流派の間あるいはこれらと官製流派の間の議論も巻き起こり、整枝せん定技術の流動化が生まれたと言えよう。整枝せん定の理論化が強く主張される一方（菊池, 1986；菊池・塩崎, 2005）、仕

Table 15. The effects of the distribution patterns of the generation intervals of the units (Q) on means of the several measuring results of tree crowns. The explanations of the table refer to Table 6. n=9.

Number of PSBs (Q)	Ab.	Tree height	E-W width	S-N width	Height beneath canopy	Working space	Index of crowded-ness	Overflow of branches	Number of leaf blocs	Occupied area by crown	Abbreviations of other alternatives									
		cm	cm	cm	cm	m <sup>3</sup>	cm	%		m <sup>2</sup>										
2	Q1	247	a <sup>z</sup> 406	a	335	a	103	ab	35.2	a	19.9	a	1.30	a	759	a	8.41	a	C2, A1, E1, H3, I2, F1, G6, P3, Y9, K3, S1~S9	
	Q2	244	a	406	a	335	a	101	bc	35.6	a	20.2	a	1.38	a	747	a	8.17	a	
	Q3	242	a	406	a	335	a	97	c	35.6	a	20.4	a	1.50	a	737	a	8.07	a	
	Q4	249	a	406	a	335	a	105	ab	35.3	a	20.0	a	1.30	a	755	a	8.45	a	
	Q5	252	a	408	a	335	a	106	a	35.2	a	20.1	a	1.33	a	748	a	8.53	a	
3	Q1	247	a	327	abc	317	a	94	bc	39.2	ab	21.8	a	2.63	a	621	a	6.57	bc	C3, A1, E1, H3, I2, F1, G4, P4, Y9, K3, S1~S9
	Q2	246	a	318	ab	311	a	92	c	39.8	a	22.4	a	2.96	a	603	a	6.28	c	
	Q3	246	a	312	a	308	a	90	c	39.9	a	22.4	a	3.30	a	602	a	6.20	c	
	Q4	247	a	334	bc	322	ab	97	ab	38.7	bc	21.5	a	2.44	a	631	a	6.84	ab	
	Q5	249	a	345	c	331	b	101	a	38.2	c	21.3	a	2.23	a	631	a	7.15	a	
4	Q1	270	a	335	a	324	a	93	a	38.7	b	23.4	ab	2.25	ab	702	bc	6.74	bc	C4, A1, E1, H4, I2, F1, G3, P4, Y9, K3, S1~S9
	Q2	270	a	333	a	323	a	93	a	39.4	a	24.0	bc	2.73	ab	682	ab	6.47	cd	
	Q3	270	a	332	a	323	a	93	a	39.7	a	24.5	c	3.08	b	666	a	6.33	d	
	Q4	270	a	339	a	325	a	95	a	38.4	bc	23.1	ab	2.04	ab	713	c	6.90	ab	
	Q5	270	a	346	a	327	a	97	a	38.1	c	22.8	a	1.83	a	723	c	7.08	a	
5	Q1	294	a	340	ab	340	ab	119	ab	40.9	ab	22.1	ab	2.57	a	676	ab	6.55	abc	C5, A1, E1, H6, I2, F1, G2, P6, Y9, K3, S1~S9
	Q2	293	a	333	ab	333	ab	117	bc	41.2	ab	22.3	ab	2.59	a	672	ab	6.37	bc	
	Q3	293	a	328	a	328	a	113	c	41.3	a	22.6	b	2.61	a	662	a	6.20	c	
	Q4	295	a	345	ab	345	ab	121	ab	40.5	ab	22.1	ab	2.57	a	676	ab	6.75	ab	
	Q5	296	a	350	b	350	b	123	a	40.2	b	21.8	a	2.56	a	685	b	6.95	a	
6	Q1	302	a	314	a	344	ab	136	bc	41.2	a	21.3	a	1.96	a	714	b	6.94	abc	C6, A1, E1, H6, I2, F1, G1, P2, Y9, K3, S1~S9
	Q2	300	a	314	a	340	a	130	cd	41.3	a	21.6	ab	1.90	a	703	ab	6.68	bc	
	Q3	299	a	313	a	338	a	129	d	41.5	a	21.9	b	1.86	a	694	a	6.54	c	
	Q4	304	a	315	a	349	ab	140	ab	41.2	a	21.3	a	2.01	a	714	b	7.08	ab	
	Q5	306	a	318	a	356	b	143	a	41.0	a	21.1	a	2.08	a	719	b	7.24	a	

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

立て方やせん定方法の変更 (塩崎ら, 1988; 岸本・清家, 1972), 低樹高栽培 (荒木・藤原, 1993; 文室・村田, 1987; 村岡, 1995), 樹形改造 (倉橋, 1997; 大東ら, 1980), 受光態勢の改善 (荒川ら, 1995; 倉橋・高橋, 1995), リンゴの平棚栽培の試み (伊藤, 2018) などに関する研究が報告された。

上記の研究変遷および果樹の物質生産研究に関する総説 (平野・菊池, 1989) を目にして筆者が痛感したこと

は以下の点である。すなわち, 整枝せん定の研究においては, 多数の要因が介在し, 実験材料の準備期間が長く, 調査方法と調査労力の困難がつかまとい, 調査数も多くできないなどの点である。言い換えれば, データを多く取れず, 条件を同じにした比較研究が非常に難しいことである。データが量質とも不十分であれば単なる主張に終わることになる。同様なことが果樹園光環境や光合成の研究にも当てはまることから, 筆者は光環境の改善な

Table 16. The effects of the distribution patterns of branching angles of the units (S) on means of the several measuring results of tree crowns. The explanations of the table refer to Table 6. n=5.

Number of PSBs (S)	Ab.	Tree height	E-W	S-N	Height beneath canopy	Working space	Index of crowded-ness	Overflow of branches	Number of leaf blocs	Occupied area by crown	Abbreviations of other alternatives								
			width	width								cm	m <sup>3</sup>	cm	%	m <sup>2</sup>			
2	S1	233	a <sup>2</sup> 380	a	344	c	95	b	35.4	c	21.1	d	20.23	e	709	ab	8.07	bcd	C2, A1, E1, H3, I2, F1, G6, P3, Y9, K3, Q1~Q5
	S2	245	c 415	b	328	b	105	a	36.6	a	20.2	c	0.93	ab	750	cd	7.92	cd	
	S3	258	d 423	c	277	a	105	a	35.5	bc	20.3	cd	1.36	c	741	bcd	8.37	bcd	
	S4	258	d 423	c	344	c	103	ab	34.0	d	18.4	a	2.25	d	809	f	8.93	a	
	S5	235	ab 381	a	344	c	102	ab	36.4	ab	22.0	e	0.82	a	689	a	7.89	d	
	S6	245	c 415	b	344	c	101	ab	35.1	c	19.2	ab	1.14	bc	787	ef	8.40	bc	
	S7	258	d 423	c	344	c	105	a	35.0	c	20.2	c	1.15	bc	746	cd	8.56	ab	
	S8	246	c 415	b	344	c	103	ab	35.3	c	20.2	c	2.12	d	737	bc	8.37	bcd	
	S9	243	bc 382	a	344	c	102	ab	35.1	c	19.6	bc	0.71	a	773	de	8.43	ab	
3	S1	245	c 302	a	320	a	91	b	40.3	a	22.6	c	3.95	b	592	a	6.06	b	C3, A1, E1, H3, I2, F1, G4, P4, Y9, K3, Q1~Q5
	S2	245	c 331	bc	309	a	94	ab	39.9	ab	22.5	bc	2.06	a	606	ab	6.28	ab	
	S3	257	d 343	c	324	a	100	a	38.8	abc	22.3	bc	2.12	a	611	ab	6.89	ab	
	S4	233	a 319	abc	322	a	93	ab	38.7	abc	21.1	ab	3.72	b	634	abc	6.72	ab	
	S5	257	d 335	bc	325	a	98	ab	38.4	bc	22.5	c	2.14	a	604	ab	6.97	a	
	S6	257	d 336	bc	327	a	95	ab	38.2	c	20.7	a	2.37	a	654	c	6.99	a	
	S7	245	c 339	bc	306	a	94	ab	39.7	abc	21.9	abc	2.29	a	619	abc	6.38	ab	
	S8	239	b 312	ab	320	a	90	b	39.0	abc	21.7	abc	3.71	b	617	abc	6.56	ab	
	S9	245	c 328	abc	307	a	98	ab	39.3	abc	21.4	abc	2.04	a	635	bc	6.62	ab	
4	S1	249	a 330	ab	344	c	88	d	39.3	a	24.2	ab	3.67	b	669	a	6.38	a	C4, A1, E1, H4, I2, F1, G2, P4, Y9, K3, Q1~Q5
	S2	274	b 339	abc	328	b	94	bcd	39.4	a	24.0	ab	1.64	a	690	ab	6.50	a	
	S3	287	c 335	ab	301	a	103	a	38.7	a	24.4	b	1.84	a	677	a	7.01	a	
	S4	249	a 354	c	344	c	88	d	38.5	a	22.9	a	3.48	b	709	ab	6.68	a	
	S5	287	c 324	a	301	a	99	ab	38.5	a	23.9	ab	1.85	a	691	ab	6.95	a	
	S6	287	c 330	ab	301	a	96	bc	38.4	a	23.5	ab	2.04	a	700	ab	6.92	a	
	S7	274	b 345	bc	328	b	93	bcd	39.0	a	23.4	ab	1.83	a	707	ab	6.65	a	
	S8	249	a 345	bc	344	c	90	cd	38.9	a	23.2	ab	3.48	b	700	ab	6.60	a	
	S9	274	b 330	ab	328	b	93	bcd	39.0	a	22.7	a	1.64	a	732	b	6.64	a	
5	S1	287	a 321	a	293	a	113	c	41.5	a	22.4	bc	3.29	d	663	a	6.10	b	C5, A1, E1, H6, I2, F1, G2, P6, Y9, K3, Q1~Q5
	S2	294	b 338	a	302	a	118	abc	40.9	ab	22.4	bc	2.02	a	671	ab	6.52	ab	
	S3	302	c 358	b	318	b	125	a	40.2	b	22.1	abc	2.43	c	678	abc	7.02	a	
	S4	294	b 338	a	302	a	115	bc	40.8	ab	22.0	abc	2.39	c	682	abc	6.48	ab	
	S5	294	b 338	a	302	a	120	abc	40.9	ab	22.6	c	2.07	ab	666	a	6.55	ab	
	S6	287	a 321	a	298	a	117	bc	41.5	a	22.4	bc	3.16	d	664	a	6.20	b	
	S7	287	a 321	a	298	a	119	abc	41.8	a	22.4	bc	3.49	e	663	a	6.15	b	
	S8	302	c 358	b	318	b	119	abc	39.8	b	21.6	a	2.18	b	692	c	6.99	a	
	S9	302	c 358	b	318	b	122	ab	39.8	b	21.8	ab	2.19	b	688	bc	7.08	a	
6	S1	302	bc 317	ab	345	ab	129	a	41.7	ab	21.8	b	2.07	cd	695	a	6.49	d	C6, A1, E1, H6, I2, F1, G1, P6, Y9, K3, Q1~Q5
	S2	300	b 311	a	338	ab	137	a	41.8	a	21.9	b	1.86	ab	694	a	6.67	bcd	
	S3	309	c 312	a	355	b	141	a	40.8	cd	20.7	a	1.95	bc	735	b	7.29	ab	
	S4	300	b 311	a	336	a	133	a	41.1	bcd	21.3	ab	1.92	ab	714	ab	6.86	abcd	
	S5	303	bc 312	a	337	a	139	a	41.5	ab	21.6	b	2.16	de	700	a	6.86	abcd	
	S6	297	ab 320	bc	347	ab	133	a	41.4	abc	21.5	b	1.70	a	700	a	6.71	abcd	
	S7	293	a 326	c	344	ab	132	a	41.5	ab	21.8	b	1.71	ab	699	a	6.65	cd	
	S8	309	c 312	a	355	b	136	a	40.6	d	21.2	ab	2.01	cd	716	ab	7.21	abc	
	S9	309	c 314	ab	355	b	141	a	40.7	d	21.2	ab	2.26	e	715	ab	7.32	a	

<sup>2</sup>Different letters indicate significance at 5% level by Tukey's multiple range test.

どに関する研究の中で、上述の泣き所を解決すべく、幾つかのモデル手法を新たに導入してきた（山本，1999，2014，2015，2016，2017，2018）。本報の目新しい点は、整枝せん定に関連した実験材料の準備の方面にも上述のモデル手法を導入したことである。自然植生、林木、野外樹木と異なり、栽培果樹は大量の枝を剪除する。よって、果樹栽培の初心者からせん定名人に至るまで、整枝せん定における選択枝のいずれかを選択する。このたびのCDSの登場により、これらの選択枝を組み合わせることで数多くの樹冠モデルを迅速に作成でき、さらに、OLEASを用いてこれらの光環境を比較することが可能になった。現在、筆者は本報で作成した多数の樹冠モデルを対象に、OLEASによる光環境と光合成の調査を始めているところである。これまでの光環境研究の結果（山本，2016，2017，2018）から判断して、本実験で得られた多様な樹冠モデルの間にも、光環境の違いの認識およびその改善効果が十分期待できるものと考えている。

本研究の最終目的は光環境良好な樹冠を実際に作成することである。そこで最後に、本研究に用いた各種選択

枝の設定が実際に可能かどうかについて考察したい。果樹の葉序は、たいてい144°であるが、数多く存在する葉芽が次年度の新梢原基になるため、将来ユニットになるべき枝原基の数には事欠かないと思われる。また、スコアリング（目傷）、誘引、捻枝、スプレッダーなどの技術に加え、園芸資材の開発も今後一層盛んになることが期待される。これらの園芸技術により、枝の回転中心角、枝の分岐角度、枝の発出位置についてはある程度自由に設定できるものと考えている。また、ユニットの大きさやタイプの変更およびユニットの配置と維持については、栽培者による整枝せん定の工夫に委ねることになるが、これも十分可能であると思われる。

### 摘 要

果樹の光環境改善研究に用いる樹冠モデルを作成するため、樹冠設計システム（CDS）を開発した。栽培果樹の樹冠が主幹、主枝および垂主枝以降のひとかたまりの枝葉複合体（ユニット）の3要素から構成されると考えた。CDSは整枝せん定における多くの選択枝を組み合わ

Table 17. The effects of the inclination angles of the trunk (A) on the means of several measuring results of tree crowns. The explanations of the table refer to Table 6. n=45.

Number of PSBs (A)	Ab. Tree height	E-W width	S-N width	Height beneath canopy	Working space	Index of crowdedness	Overflow of branches	Number of leaf blocs	Occupied area by crown	Abbreviations of other alternatives
	cm	cm	cm	cm	m <sup>3</sup>	cm	%		m <sup>2</sup>	
2	A1 247	a <sup>z</sup> 406	a 335	c 99	d 35.1	c 20.0	a 2.89	a 740	d 8.31	a C2, E1,
	A2 260	b 406	a 337	c 94	c 35.8	b 20.4	a 5.07	b 713	c 7.90	b H3, I2, F1,
	A3 266	c 406	a 331	c 93	c 35.5	bc 20.3	a 8.00	c 694	c 7.96	b G6,P3,Y9,
	A4 265	c 406	a 316	b 87	b 36.0	b 20.3	a 13.70	d 648	b 7.60	c K3, S1~S9
	A5 256	b 406	a 293	a 83	a 37.5	a 20.3	a 23.11	e 575	a 6.91	d Q1~Q5
3	A1 247	c 327	a 318	bc 95	a 32.9	cd 21.9	a 2.71	a 619	d 6.61	ab C3, E1,
	A2 245	c 327	a 324	c 95	a 32.8	d 21.9	a 4.48	b 607	d 6.62	a H3, I2, F1,
	A3 245	c 327	a 324	c 91	b 33.6	c 22.1	ab 7.20	c 583	c 6.40	b G4,P4,Y9,
	A4 241	b 327	a 315	b 85	c 35.5	b 22.6	bc 12.86	d 534	b 5.86	c K3, S1~S9,
	A5 234	a 327	a 298	a 79	d 37.5	a 22.9	c 21.45	e 476	a 5.27	d Q1~Q5
4	A1 270	c 337	a 324	c 94	a 38.8	c 23.6	a 2.38	a 697	d 4.82	a C4, E1,
	A2 265	bc 337	a 329	c 93	ab 39.5	ab 24.0	ab 4.50	b 669	c 4.62	b H4, I2, F1,
	A3 264	bc 337	a 325	c 91	b 39.1	c 23.7	ab 6.79	c 661	c 4.57	b G3,P4,Y9,
	A4 263	b 337	a 312	b 87	c 39.2	bc 23.6	ab 10.80	d 634	b 4.38	c K3, S1~S9,
	A5 255	a 337	a 294	a 81	d 39.7	a 24.1	b 17.93	e 570	a 3.94	d Q1~Q5
5	A1 294	b 339	a 305	a 119	ab 40.8	b 22.2	ab 2.58	a 674	d 6.57	a C5, E1,
	A2 292	b 339	a 317	bc 121	a 40.5	bc 22.1	a 3.68	b 670	cd 6.75	a H6, I2, F1,
	A3 294	b 339	a 324	d 117	b 40.4	c 22.0	a 4.94	c 662	c 6.68	a G2,P6,Y9,
	A4 290	b 339	a 321	cd 107	c 40.8	bc 22.5	b 7.69	d 631	b 6.26	b K3, S1~S9,
	A5 279	a 339	a 314	b 95	d 41.8	a 23.1	c 13.16	e 574	a 5.58	c Q1~Q5
6	A1 302	b 315	a 345	c 136	a 41.2	b 21.4	a 1.96	a 709	c 6.90	a C6, E1,
	A2 305	bc 315	a 352	c 135	a 42.0	a 21.7	a 3.36	b 688	b 6.53	c H6, I2, F1,
	A3 310	c 315	a 348	c 131	b 41.0	b 21.5	a 3.47	b 695	b 6.85	a G1,P2,Y9,
	A4 306	bc 315	a 334	b 120	c 40.5	c 21.6	a 4.53	c 686	b 6.75	ab K3, S1~S9
	A5 293	a 315	a 320	a 104	d 39.8	d 21.6	a 6.07	d 671	a 6.58	bc Q1~Q5

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

せることにより、多様な樹冠モデルを短時間に正しく設計できた。このときの整枝せん定における処理項目には、主幹の長さおよび斜立主幹の傾斜角度と傾斜方位、主枝数および主枝、ユニット両者における大きさ分布形、分岐角度の分布形、着生間隔の分布形および回転中心角とその増分などが含まれた。そして、各項目内に複数の選択枝を設け、様々な選択枝の組み合わせにより生まれた樹冠モデルの外観と内部構造を比較したところ、以下の傾向が見出された。すなわち、主幹長の違い、主幹の傾斜角度および主枝数の違いは樹冠外観を大きく変え、主枝長分布形、主枝の着生間隔分布形、主枝の分岐角度分

布形の各選択枝の違いは樹冠の内部構造も変えた。また、第1主枝の回転中心角と中心角増分の組み合わせやユニットのタイプの違いは樹冠外観に大きく影響した。主幹長が長いほど枝の混み合いや割り当て空間からはみ出しが抑えられ、作業空間が拡大した。しかし、190cm以上の主幹長では樹高制限(350cm)に抵触しやすく、40cmのように短い主幹では、ユニットの重なりによる葉ブロック数の不足をもたらした。2本主枝のとき、小さいユニットを用いると葉ブロック数が不足し、反対に大きいユニットを用いると葉ブロック数が過剰になった。6本主枝や5本主枝では葉ブロック数が過剰になりやすかつ

Table 18. The effects of the inclination directions of the trunk (L) on the means of several measuring results of tree crowns. The explanations of the table refer to Table 6. n=45.

Number of PSBs (L)	Ab.	Tree height	E-W		S-N		Height beneath canopy	Working space	Index of crowded-ness	Overflow of branches	Number of leaf blocs	Occupied area by crown		Abbreviations of other alternatives						
			width	width	width	width						m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>							
2	L1	266	a <sup>2</sup>	331	a	<u>406</u>	b	93	a	35.7	bc	20.3	a	5.97	a	691	ab	7.91	ab	C2, A3, E1, H3, I2, F1, G6,P3,Y9, K3, S1~S9, Q1~Q5
	L2	266	a	393	b	340	a	93	a	35.5	c	20.3	a	5.86	a	694	b	7.96	a	
	L3	266	a	<u>406</u>	b	331	a	93	a	35.7	bc	20.3	a	5.97	a	691	ab	7.90	ab	
	L4	266	a	340	a	393	b	92	a	35.9	bc	20.4	a	6.38	a	687	ab	7.82	ab	
	L5	266	a	331	a	<u>406</u>	b	93	a	36.1	abc	20.4	a	6.53	a	685	ab	7.75	abc	
	L6	266	a	393	b	340	a	92	a	36.5	a	20.4	a	8.28	b	671	a	7.53	c	
	L7	266	a	<u>406</u>	b	331	a	93	a	36.1	abc	20.4	a	6.53	a	685	ab	7.76	abc	
	L8	266	a	340	a	393	b	92	a	36.2	ab	20.3	a	7.76	b	679	ab	7.67	bc	
3	L1	245	a	324	a	327	a	91	a	39.1	a	22.0	a	4.55	a	591	a	6.56	a	C3, A3, E1, H3, I2, F1, G4,P4,Y9, K3, S1~S9, Q1~Q5
	L2	245	a	319	a	324	a	92	a	39.0	a	21.8	a	4.51	a	595	a	6.59	a	
	L3	245	a	327	a	324	a	91	a	39.0	a	22.0	a	4.54	a	591	a	6.56	a	
	L4	245	a	324	a	319	a	91	a	39.1	a	21.9	a	4.72	a	593	a	6.52	a	
	L5	245	a	324	a	327	a	91	a	39.4	a	22.1	a	5.20	a	<u>583</u>	a	6.40	a	
	L6	245	a	319	a	324	a	91	a	39.3	a	21.9	a	4.92	a	590	a	6.45	a	
	L7	245	a	327	a	324	a	91	a	39.4	a	22.1	a	5.20	a	<u>583</u>	a	6.40	a	
	L8	245	a	324	a	319	a	91	a	39.2	a	21.9	a	4.71	a	592	a	6.51	a	
4	L1	264	a	325	bc	337	c	91	a	39.0	a	23.6	a	4.77	a	664	a	6.56	a	C4, A3, E1, H4, I2, F1, G3,P4,Y9, K3, S1~S9, Q1~Q5
	L2	264	a	314	b	299	a	91	a	39.1	a	23.8	a	4.77	a	657	a	6.53	a	
	L3	264	a	337	c	325	bc	91	a	39.0	a	23.6	a	4.77	a	664	a	6.56	a	
	L4	264	a	299	a	314	b	91	a	39.1	a	23.9	a	4.80	a	657	a	6.52	a	
	L5	264	a	325	bc	337	c	91	a	39.3	a	23.7	a	5.09	a	659	a	6.46	a	
	L6	264	a	314	b	299	a	91	a	39.3	a	23.9	a	4.97	a	654	a	6.46	a	
	L7	264	a	337	c	325	bc	91	a	39.3	a	23.7	a	5.08	a	660	a	6.46	a	
	L8	264	a	299	a	314	b	91	a	39.2	a	23.9	a	4.94	a	655	a	6.47	a	
5	L1	294	a	324	a	339	b	117	a	40.3	b	22.0	a	3.66	a	666	bc	6.77	a	C5, A3, E1, H6, I2, F1, G2,P6,Y9, K3, S1~S9, Q1~Q5
	L2	294	a	339	b	326	a	117	a	40.5	ab	22.2	a	3.63	a	661	abc	6.67	ab	
	L3	294	a	339	b	324	a	118	a	40.2	b	22.0	a	3.62	a	666	c	6.79	a	
	L4	294	a	326	a	339	b	116	a	40.6	ab	22.2	a	3.83	ab	658	abc	6.60	ab	
	L5	294	a	324	a	339	b	117	a	40.4	ab	22.0	a	3.90	ab	663	abc	6.69	ab	
	L6	294	a	339	b	326	a	115	a	40.8	a	22.3	a	4.29	c	653	a	6.48	b	
	L7	294	a	339	b	324	a	117	a	40.4	ab	22.0	a	3.94	abc	662	abc	6.68	ab	
	L8	294	a	326	a	339	b	117	a	40.7	ab	22.2	a	4.09	bc	656	ab	6.56	ab	
6	L1	310	a	348	b	315	a	129	a	41.2	cd	21.5	ab	2.67	a	695	d	6.74	c	C6, A3, E1, H6, I2, F1, G1,P6,Y9, K3, S1~S9, Q1~Q5
	L2	310	a	352	b	355	b	131	a	41.3	cd	21.7	ab	2.55	a	689	cd	6.75	c	
	L3	310	a	315	a	348	b	130	a	41.1	d	21.4	a	2.54	a	697	d	6.80	c	
	L4	310	a	355	b	352	b	131	a	41.4	bc	21.7	ab	2.89	a	686	bcd	6.66	bc	
	L5	310	a	348	b	315	a	128	a	41.6	ab	21.6	ab	4.14	b	681	abc	6.51	ab	
	L6	310	a	352	b	355	b	129	a	41.9	a	21.8	b	4.34	b	672	a	6.42	a	
	L7	310	a	315	a	348	b	128	a	41.7	ab	21.6	ab	4.27	b	679	abc	6.45	ab	
	L8	310	a	355	b	352	b	130	a	41.7	a	21.8	ab	4.00	b	675	ab	6.50	ab	

<sup>2</sup>Different letters indicate significance at 5% level by Tukey's multiple range test.

た。ユニットの並びが上方にV字状にすると、横方向や下方向のはみ出しが抑えられ、作業空間を広く取れた。

### 引用文献

- 荒川 修・塩崎雄之輔・菊池卓郎. 1995. マルバカイドウ台木リンゴ‘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形. 園学雑. 63 : 711 - 718.
- 荒木 斉・藤原俊一. 1993. クリの低樹高整枝・せん定と樹冠間隔が園地の生産構造並びに収量と果実重に及ぼす影響. 近畿中国農研. 96 : 13 - 24.
- 千野知長. 1981. II. わが国ブドウ栽培技術の歴史. 加除式農業技術体系果樹編 2. ブドウ. p. 基5 - 基19. 農文協. 東京.
- 中央果実協会. 2018. 平成29年度省力樹形新たな果樹生産技術調査報告書. 中央果実協会調査資料. No. 246 : 1 - 99.
- 平野 暁・菊池卓郎. 1989. 果樹の物質生産と収量. 増収技術の基礎理論. 農文協. 東京.
- 福井正夫. 1984. II. 整枝法. 加除式農業技術体系果樹編5. キウイ. p. 基51 - 基58. 農文協. 東京.
- 福田博之. 1989. リンゴわい化栽培におけるスピンドル樹形の歴史. 農業および園芸. 64 : 1178 - 1186.
- 文室政彦・村田隆一. 1987. 低樹高密植カキ園の整枝法(第2報) 整枝法による葉量と光透過及び枝梢の成長の差異. 滋賀農試研報. 28 : 78 - 84.
- 伊藤大雄. 2018. 平棚で栽培したマルバカイドウ台リンゴ樹における果実収量と果実品質の経年変化. 園学研. 17 : 191 - 197.
- 木戸啓二. 1996. II. 仕立て方と整枝・せん定. 加除式農業技術体系果樹編3. 西洋ナシ. p. 技45 - 技51の5. 農文協. 東京.
- 菊池卓郎. 1979a. 西欧のリンゴ密植栽培(1). 農業および園芸. 54 : 41 - 43.
- 菊池卓郎. 1979b. 西欧のリンゴ密植栽培(2). 農業および園芸. 54 : 307 - 310.
- 菊池卓郎. 1979c. 西欧のリンゴ密植栽培(3). 農業および園芸. 54 : 408 - 414.
- 菊池卓郎. 1986. 図解・樹形とせん定シリーズ. せん定を科学する. 農文協. 東京.
- 菊池卓郎・塩崎雄之輔. 2005. せん定を科学する. 樹形と枝づくりの原理と実際. 農文協. 東京.
- 岸本 修・清家金嗣. 1972. 日本ナシの整枝法の変更に伴う果実生産要因の推移. 園学雑. 41 : 331 - 338.
- 北野励信. 1995. II. 仕立て方の種類と方法. 加除式農業技術体系果樹編6. ウメ. p. 技63 - 技68. 農文協. 東京.
- 倉橋孝夫. 1997. リンゴのY字形棚整枝における物質生産と栽培法に関する研究. 島根県農業試験場研究報告. 31 : 1 - 59.
- 倉橋孝夫・高橋国昭. 1995. Y字形棚整枝と主幹形整枝リンゴ樹‘ふじ’の光環境と果実品質および光合成特性の比較. 園学雑. 65 : 499 - 508.
- 宮原継男. 1995. 結実を左右する条件. 加除式農業技術体系果樹編6. ウメ. p. 技7 - 技11. 農文協. 東京.
- 向井武男. 2004. II. 各整枝法の特徴. 加除式農業技術体系果樹編3. ナシ. p. 技181 - 技190. 農文協. 東京.
- 村松久雄. 2000. II. 仕立て方の種類と特性. 加除式農業技術体系果樹編4. ビワ. p. 技74 - 技78. 農文協. 東京.
- 村岡那三. 1995. IV. 樹高の切り下げ. 加除式農業技術体系果樹編6. ウメ. p. 技74の2 - 技74の7. 農文協. 東京.
- 永沢勝雄. 1970. 新版図解 果樹の整枝と剪定. 博友社. 東京.
- 中村 一. 1995. II. 樹形構成と仕立て方. 加除式農業技術体系果樹編6. モモ. p. 技117 - 技124. 農文協. 東京.
- 沖嶋秀史. 1998. 樹形のタイプと仕立て方. 加除式農業技術体系果樹編4. カキ. p. 技105 - 技111. 農文協. 東京.
- 大東 宏・小野祐幸・富永茂人・森永邦久・工藤和典. 1980. ウンシュウミカンの栽植方式と樹形に関する研究(第1報) 異なる樹形における着果部位別日射量, 気温, 果実温の日変化と1日の積算日射量. 園学雑. 49 : 331 - 346.
- 塩崎雄之助・菊池卓郎・今 満・藤井明彦・三上道彦. 1988. マルバカイドウ台リンゴ半密植栽培の技術確立に関する研究. 弘前大学農学部学術報告. 49 : 22 - 33.
- 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・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. 2014. 二つのシミュレーションモデルと純光合成速度推定式を用いたリンゴ園の光環境と光合成



- の動態に関する研究. 山形大学紀要 (農学) 17 : 51 - 84.
- 山本隆儀. 2015. 仕立て方法および樹冠の形状に関する特性値の違いがリンゴ園の光環境に及ぼす影響—モデル手法を用いた解析例—. 山形大学紀要 (農学) 17 : 153 - 185.
- 山本隆儀. 2016. 樹冠内葉層分布形の3次元構造と果樹園光環境の関係—モデル手法を用いた解析例—. 山形大学紀要 (農学) 17 : 227 - 259.
- 山本隆儀. 2017. 葉量を変えない条件下の樹冠の部分的変形が果樹園光環境に及ぼす影響—モデル手法を用いた解析例—. 山形大学紀要 (農学) 17 : 333 - 363.
- 山本隆儀. 2018. 樹冠形の違いおよび樹冠形の部分的変形が果樹園光合成に及ぼす影響—モデル手法と純光合成速度推定式を用いた解析例—. 山形大学紀要 (農学) 18 : 31 - 53.
- 山本 強. 1983. The 3 Dimensional Computer · Graphics. CQ出版. 東京.