

同一樹齡のカキ '平核無' の葉群構造, 日当り及び
果実生産性の同一園地内分布及び
これらに関する諸形質の相互関係

山本隆儀・石嶋幸夫*・鈴木計恵子**
(山形大学農学部果樹園芸学研究室)
(平成3年9月2日受理)

Interrelationships among Characters Relating to Leaf Canopy Structure,
Light Environment and Fruit Production in Japanese
Persimmon Cultivar 'Hiratanenashi'

Takanori YAMAMOTO, Yukio ISHIJIMA* and Keiko SUZUKI**
Laboratory of Pomology, Faculty of Agriculture,
Yamagata University, Tsuruoka 997, Japan
(Received September 2, 1991)

Summary

Fifty characters related to tree form, leaf canopy structure, light environment and fruit production were investigated using 40, 14 year-old fruit trees of Japanese persimmon cultivar 'Hiratanenashi', which were grown under the same cultivation management in the same orchard. Interrelationships among 50 characters were analyzed using 'a system analyzing seasonal changes of tree form and leaf canopy structure of fruit trees'⁴⁴⁾ and 'a simulation model of distribution of radiational flux at leaf surface in a crown of fruit trees'⁴³⁾.

1. The coefficient of variation (CV) of the mean yield of fruits per tree for 2 years (MYF), the mean number of fruits per tree for 2 years (MNF), the volume of leaf canopy (VLC) and the MYF/VLC ranged from 40% to 90%. The CVs of the number of flower buds per tree (NFB), the mean leaf area density (MLAD) and the total leaf number per tree (TLN) ranged from 25% to 35%. The CVs of the total current shoot number per tree (TSN), the C/F ratio (CFR) and the leaf area index (LAI_c) ranged from 15% to 25%. The CVs of the mean trunk diameter for 2 years (TD), the tree height (TH) and the degree of baldness (DB) were about 10%. The lowest variation (0.8%) was found in the daily mean radiational flux at leaf surface (DMRFL).

2. The analysis of interrelationships among the 50 characters were investigated. The MYF was positively correlated to the DMRFL and negatively to the mean inclination angle of current shoots (MIAS). The MYF/VLC was highly and negatively correlated to the many characters relating with the

* 現在, 栃木県小山園芸高等学校
Tochigi Prefectural Koyama High School of Horticulture

**現在, 福島県岩瀬農業改良普及所
Fukushima Prefectural Iwase Agricultural Extension

tree vigor. The number of flower buds per tree (*NFB*) was not significantly correlated with the many characters. However, the maximum value was found at about 450 cm of *TH* and about 30 cm of the mean current shoot length (*MSL*). The *DMRFL* was negatively correlated to the *LAI_C*, the *MLAD* and the many characters relating with the tree vigor. However, the *DMRFL* was not significantly correlated with the *TH*, and distributed on a curvilinear curve of the *TH*. The daily total radiational flux at leaf surface (*DTRFL*) were positively correlated to the many characters relating with the tree vigor, suggesting that the larger trees received more total radiation, but became darker in the crown. There were highly negative correlations between characters relating with the tree vigor or the tree size. However, these characters were negatively correlated to the *DB* or the *MLAD*.

3. The analysis using 3 dimensional pillar-shaped graphs showed that the *MYF* decreased extremely in the region below about $685 \mu\text{Einstein}/\text{m}^2/\text{s}$ of the *DMRFL*, in combination with the region above about 460 cm of the *TH* or above about 42 degree of the *MIAS* or above 5000 of the *TLN*. Therefore, it was suggested that thorough fruiting management, improvement of light environment in tree crown, good pruning and training and moderate inhibition of vegetative growth are necessary for good fruit production.

緒 言

果樹栽培は均一で良品質、多収量の果実生産を目指しているが、このためには、適正な結実管理と肥培管理が大切である。しかし、同時に樹形・葉群構造や日当たりも無視できない。樹形・葉群構造は整枝・せん定作業により決まる部分が大きく、日当りは葉群構造により幾何学的に決まる。園地が異なる場合(土壌、気象あるいは栽培者が異なる場合)はいうまでもなく、同一園地、同一樹齢の果樹でも、同一の仕立て方を意識して栽培管理された場合においてさえも、樹形・葉群構造のばらつきが大きくなることは少なくない。同一園地の優良樹に混じって、劣悪樹が少なからず認められ、その一部は間伐の対象になる。永年生作物であるため、園地生産性を維持するためには一挙には改植できないことから、上記のばらつきの存在は園地生産性の低下の大きな原因になっているものと推察される。

しかし、上記の樹形葉群構造や日当りのばらつきに関する実態調査は極めて少ない。果樹の物質生産・収量性に関連したほ場調査(field study)は最近増えてきたが、調査の膨大な時間・労力を要するため、果樹関係の研究報告数に占める割合は依然として低く、また、調査項目数や研究の視点が制限されているのが実情である。この方面のこれまでに報告されたほ場調査研究は以下の4分野に大別できよう。①慣行栽培を行っている多数の園地の比較を目的として、リンゴ⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽²⁴⁾⁽⁴⁰⁾とニホンナシ⁽²⁷⁾で調査されている。これらは広い地域にまたがる生産現

場での実測結果という点で貴重であるが、調査項目が数個にしばられているうえに、園地が異なることによる土壌条件、気象条件及び栽培管理の違いから、厳密な定量化が困難である。②同一園地における整枝・せん定方法や台木の違いによる収量性などへの影響を比較するもので、ニホンナシ⁽²⁸⁾、カンキツ⁽¹⁹⁾、カキ⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾及びリンゴ⁽³⁹⁾で調査されている。これらはせん定の理論化や合理的せん定法の開発を目的としているが、収量や枝葉の形質の年次変動が中心で、調査項目も数個にしばられる。③同一園地における栽植密度を変えた場合の比較を目的として、カンキツ⁽⁶⁾⁽⁷⁾⁽⁸⁾⁽⁹⁾⁽¹⁷⁾⁽¹⁹⁾⁽²⁰⁾⁽²¹⁾、及びリンゴ⁽³⁰⁾⁽³¹⁾で調査されている。実験規模が大きくなるため、年次変動が中心で、調査項目数は少ない。④同一園地、同一栽培管理下の樹を用いて、自然に生じる樹个体差、あるいは簡単な処理を施した影響を特定の視点から樹体内各部位を細かく分けて比較調査したのものとして、リンゴ⁽²⁵⁾⁽³⁸⁾、カンキツ⁽¹⁸⁾及びニホンナシ⁽³³⁾で調査されている。上記の文献から見て、本研究の対象樹種であるカキに関する調査例⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾⁽²⁶⁾は少ないことがわかる。

上記の研究報告の調査項目の中でも、とりわけ、樹形・葉群構造や日当たりなどに関する調査には苦勞が多い。これらの調査には膨大な時間と労力を費やす。さらに、同一時期の多数の樹の測定を行うことは困難である。著者らは、この困難を解決するために、ここ数年来、落葉後せん定前の果樹の二側面写真画像を用いた「樹形・葉群構造簡易解析システム」⁽⁴⁶⁾、これをさらに季節的变化までも推定解析できるようにした「樹形・葉群構造の季節

的变化推定システム⁴⁴⁾及び上記のシステムからの出力データの一つである葉量の空間分布データを用いて、葉面放射の樹冠内瞬時分布を計算する「葉面放射の樹冠内分布推定シミュレーションモデル」⁴³⁾を開発してきた。

本報告は、上記のシステムとモデルを用いて、同一園地、同一樹齢及び同一栽培管理下にあるカキ‘平核無’40本の樹形・葉群構造、日当たり及び果実生産性の約50個の特性値を調査し、これらの特性値の分布及び特性値間の相互関係を解析したものである。

材料及び方法

1. 供試樹

山形大学農学部附属農場(鶴岡市高坂)に栽植されている14年生(1989年当時)の遅延開心形仕立て、南北列7m×9m植えのカキ‘平核無’のうち、隣接した3樹列中、改植したものを除く合計40本を供試した。本調査園である高坂農場においては、現在、約4.4haの果樹園をわずか1人の技官と年間約1000時間の季節労働で栽培管理せざるを得なくなっており、全体に粗放な栽培管理を余儀無くされている。したがって、本調査で用いた樹は篤農家により均一かつ集約的に管理されたものより樹個体間のばらつきが大きいものであることをこたわっておきたい。なお、同調査園の土性は砂壤土、地下水位1.5~2mであった。

2. 二側面写真画像を用いた樹形・葉群構造及び日当りの解析方法

各樹の二側面写真は1988年12月に撮影した。この写真画像を用いて、「樹形・葉群構造の季節的变化推定システム」⁴⁴⁾により、葉量がプラトーに達する7月下旬(7月22日)の樹形・葉群構造を解析した。また、このシステムの出力結果の一部である葉量の空間分布データを「葉面放射の樹冠内分布シミュレーションモデル」⁴³⁾に投入し、晴天日としての7月22日の1日分の日当たりに関する解析を行った。なお、上記システムとモデルの運用に必要なカキ‘平核無’に関する諸パラメータ及び晴天日としての7月22日の投射光データはすでに報告したものの⁴⁴⁾⁴⁵⁾を用いた。

3. 果実生産性の調査方法

1988年及び1989年の両年にわたり、収穫前に供試樹全樹について着果数(Number of fruits per tree, *NF*)を計測した。各樹の平均果重(Mean fruit weight, *MFW*)の推計

は、次のように行った。すなわち、収穫直前時に全園から任意に果実を50個採取し、各果実について、重さ及び90度異なる2方向の横径を測定し、果重と横径の積との間の関係式を求めた。収穫直前時に各樹から任意に選んだ果実約40個の2方向の果実横径を着生状態で計測した。この横径の積を上記の関係式に代入して果重を計算し、この平均値を各樹の平均果重(*MFW*)とした。これに着果数(*NF*)を乗じて果実収量(Yield of fruit, *YF*)とした。なお、1989年の各樹の果実横径の測定が幾分早すぎたので、1988年の結果に照らして補正を行った。1989年の萌芽時(5月上旬)に各樹の着芽数(Number of buds per tree, *NB*)を計測した。また、5月中旬に各樹から任意に選んだ新梢50本について、着生花蕾数を計測し、新梢当りの平均着蕾数を算出し、これに各樹の新梢数(上記システムの出力結果の一つ)を乗じ、着蕾数(Number of flower buds per tree, *NFB*)とした。果皮色(Peel color, *PC*)は、収穫直前時に各樹を東西南北、さらに上段、中段、下段に分け、それぞれの外側及び内側から1個ずつ選んだ合計約40個の着生果を、農林水産省果樹試験場製‘平核無’果皮色用カラーチャートを用いて、果頂部と側部に分けて測定し、平均値として求めた。

4. その他現場で計測した項目

1988年と1989年の両年、全樹の幹径(Trunk diameter, *TD*)を長径と短径に分けて測定し、これらを平均し、2年間平均幹径(Mean trunk diameter for 2 years, *MTD*)とした。

新梢の基部と先端部の直径及び新梢長を10月下旬に任意に選んだ50本の新梢について計測し、新梢総体積(Total volume of current shoot, *TVS*)と新梢基部と先端部の直径及び新梢長の関係式を得た。

材葉比(C/F ratio, *CFR*)の計算上必要な各種の枝及び葉の比重を計測した。新梢、2年生枝、側枝、亜主枝以上の太い枝について適量の試料を採取して体積と新鮮重を計測し体積比重を計算した。また、任意に50葉を採取して、リーフパンチャーを用いて各葉の太い葉脈を一部含むようにして各々1cm²のディスクを打ち抜き、全新鮮重を計測し平均して、1cm²当りの重量(面積比重)を得た。一方、名樹共、主枝・亜主枝3本、側枝5本、2年生枝7本について、基部と先端部の直径を計測し、各樹各種枝の平均直径を得た。

1988年と1989年の両年、各樹から30枚の葉を任意に選り、農林水産省果樹試験場製‘平核無’葉色用カラー

チャート」を用いて葉色を計測し、これを平均し、2年間平均葉色 (Mean leaf color for 2 years, *MLC*) とした。

5. 各樹の特性値及びその算出方法

第1表に本解析に用いた特性値 (及びこの略号) を示した。各特性値は、樹形・葉群構造特性値、日当り特性値及び果実生産特性値に大別した。

1) 樹形・葉群構造に関する特性値

樹高 (Tree height, *TH*), 東西樹幅 (East-west width, *EW*), 南北樹幅 (South-north width, *SNW*) 及び樹冠底部までの高さ (Height beneath leaf canopy, *HBLC*) はそれ

ぞれ、上記システム⁴⁴⁾⁴⁶⁾の理念グリッドで仕切られたブロックのうち、葉や枝の存在するブロックの最上端と最下端の間の距離、最東端と最西端の間の距離、最南端と最北端の間の距離及び地面とブロックの最下端の間の距離である。樹冠実容積 (Volume of tree crown, *VTC*), 葉層樹冠容積 (Volume of leaf canopy, *VLC*), 外部無効容積 (External unavailable volume, *EUV*), 内部無効容積 (Internal unavailable volume, *IUV*), 全無効容積 (Total unavailable volume, *TUV*) 及び樹冠下空間容積 (Volume beneath leaf canopy, *VBLC*) は、上記システムの理念グリッドで仕切られたブロックのうち、それぞれ、葉また

Table 1. Characters estimated or investigated and their abbreviations.

Abb.	Characters	Abb.	Characters
	(Tree form and structure of leaf canopy)		(Light environment)
<i>AOLA</i>	Area occupied by leaf area	<i>DIE</i>	Daily irradiation efficiency
<i>CFR</i>	C/F ratio	<i>DMRFL</i>	Daily mean radiational flux at leaf surface
<i>DB</i>	Degree of baldness	<i>DTRFL</i>	Daily total radiational flux at leaf surface
<i>EUV</i>	External unavailable volume	<i>DTRFS</i>	Daily total radiational flux at soil surface
<i>EUV/VLC</i>	<i>EUV</i> /Volume of leaf canopy	<i>HMRFL</i>	Hourly mean radiational flux at leaf surface
<i>EW</i>	East-west width		
<i>HBLC</i>	Height beneath leaf canopy		(Fruit production and leaf color)
<i>IUV</i>	Internal unavailable volume	<i>PC</i>	Peel color
<i>IUV/VLC</i>	<i>IUV</i> /(Volume of leaf canopy)	<i>FPC</i>	Fruit production coefficient
<i>LAI_c</i>	Leaf area index to <i>AOLA</i>	<i>FYC</i>	Fruit yield coefficient
<i>LAI_o</i>	Leaf area index to orchard	<i>LC</i>	Leaf color
<i>MIAS</i>	Mean inclination angle of current shoot	<i>NB</i>	Number of buds
<i>MLAD</i>	Mean leaf area density	<i>NF</i>	Number of fruits
<i>MSL</i>	Mean current shoot length	<i>NFB</i>	Number of flower buds
<i>MTD</i>	Mean trunk diameter for 2 years	<i>MPC</i>	Mean peel color for 2 years
<i>RAOC</i>	Ratio of area occupied by leaf canopy	<i>MFW</i>	Mean fruit weight for 2 years
<i>SNW</i>	South-north width	<i>MLC</i>	Mean leaf color for 2 years
<i>TCV</i>	Total canopy volume	<i>MNF</i>	Mean number of fruits per tree for 2 years
<i>TD</i>	Trunk diameter	<i>MYF</i>	Mean yield of fruits per tree for 2 years
<i>TH</i>	Tree height	<i>MYF10A</i>	Mean yield of fruits per 10 a for 2 years
<i>TLN</i>	Total leaf number	<i>YF</i>	Yield of fruits per tree
<i>TSL</i>	Total current shoot length	<i>YF10A</i>	Yield of fruits per 10 a
<i>TSN</i>	Total current shoot number	<i>YF/VLC</i>	<i>YF</i> /(Volume of leaf canopy)
<i>TUV</i>	Total unavailable volume	<i>YF/VTC</i>	<i>YF</i> /(Volume of tree crown)
<i>TUV/VLC</i>	<i>TUV</i> /(Volume of leaf canopy)		
<i>TVS</i>	Total volume of current shoots		
<i>VBLC</i>	Volume beneath leaf canopy		
<i>VLC</i>	Volume of leaf canopy		
<i>VTC</i>	Volume of tree crown		

は枝のいずれかが存在するブロックの全容積、葉が存在するブロックの全容積、樹冠表層部の葉の存在しないブロックの全容積、樹冠内部の葉の存在しないブロックの全容積、前2者の合計及び樹冠底部と地面との間の全容積である⁴⁶⁾。はげあがり程度(Degree of baldness, *DB*)は樹冠実容積に占める枝のみ存在するブロックの全容積の割合(%)である。全無効容積(*TUV*)と樹冠実容積(*VTC*)の合計である全樹冠容積(Total canopy volume, *TCV*)に占める全無効容積の割合(TUV/TCV)、外部無効容積の割合(EUV/TCV)及び内部無効容積の割合(IUV/TCV)の数値はいずれもパーセント(%)で表現した。樹冠占有面積(Area occupied by leaf area, *AOLA*)は葉の存在する全ブロックの地面への投影面積であり、葉面積指数(Leaf area index, *LAI*)はこれ(*AOLA*)に対する全葉面積の比であり、したがって、正確には樹冠占有面積当りの葉面積指数(LAI_C)で表現した。他方、栽培土地面積当りの葉面積指数(LAI_0)は7m×9m植えの各樹が均等に占有すると仮定した土地面積(この場合、63m²)に占める全葉面積の比である。同様に樹冠占有面積率(Ratio of area occupied by leaf canopy, *RAOC*)は63m²に占める樹冠占有面積(*AOLA*)の割合(%)である。

平均葉面積密度(Mean leaf area density, *MLAD*)、総新梢長(Total current shoot length, *TSL*)、平均新梢長(Mean current shoot length, *MSL*)、総新梢数(Total current shoot number, *TSN*)及び平均新梢傾斜角度(Mean inclination angle of current shoot, *MIAS*)はそれぞれ、上記システムが出力する各ブロック当りの葉面積密度分布データ平均値、新梢長分布データの合計値、同データの平均値、上記システムが読み取った新梢数の合計及び新梢傾斜角度分布データの平均値である。総着葉数(Total leaf number, *TLN*)は全てブロックの葉数合計値である。これまで記した特性値は上記システムの出力値をそのまま使用したが、以降述べる新梢総体積(*TVS*)及び材葉比(*CFR*)は上記システムの出力値と現場での計測値とを用いて算出した。新梢総体積(*TVS*)はシステムが出力する新梢長分布データと前述の別途調査して得られた新梢長～基部直径の関係式及び新梢長～先端部直径の関係式とを用いて円錐台体積の公式により算出した。材葉比(*CFR*)は葉重に対する枝重の比であるが、枝重は上記の新梢総体積(*TVS*)のほか、システムが出力する2年生枝、側枝及び主枝・亜主枝の各全長データ、前述の別途調査して得られた各種枝の体積比重及び各種枝の平均直径とを用いて計算し、葉重は上記の総着葉数(*TLN*)と葉の面

積比重とを用いて算出した。

2) 日当りに関係する特性値

日平均葉面受光量(Daily mean radiational flux at leaf surface, *DMRFL*)、日葉面総受光量(Daily total radiational flux at leaf surface, *DTRFL*)、及び日受光効率(Daily irradiation efficiency, *DIE*)は上記モデルが出力する毎時刻の全葉の葉面受光量瞬時分布データを基に、それぞれ、日中(午前6時より午後6時まで)の毎時刻の平均葉面受光量をさらに平均したもので、1日としての受光量の合計値及び樹冠占有面積(*AOLA*)の地面の1日の受光総量(占有面積土面日総受光量, Daily total radiational flux at soil surface, *DTRFS*)に対する日葉面総受光量の割合(%)である。これらの特性値は上記モデルの出力データを用いた。ただし、これらの特性値の季節的変化のデータまでを用いると以降に示す解析が煩雑になるので、葉量がプラトーに達する7月下旬(7月22日)の晴天日1日のデータのみを用いた。

このほか、日当りの詳細な解析のために、40樹の7月下旬(7月22日)の晴天日1日の毎時の平均葉面受光量(Hourly mean radiational flux at leaf surface, *HMRFL*)の分布を調査した。

3) 果実生産に関係する特性値

着果数(*NF*)、果重(*FW*)、果実収量(*YF*)、10a当り果実収量(Yield of fruit per 10a, *YF10A*)、着蕾数(*NFB*)、着芽数(*NB*)、及び果皮色(*PC*)についてはすでに示した。上記の略号で示した特性値は1989年に測定したものに当てたが、着蕾数(*NFB*)と着芽数(*NB*)を除く特性値については1988年も測定しており、これらの測定値の両年の平均値として、それぞれ、2年間平均着果数(Mean number of fruits per tree for 2 years, *MNF*)、2年間平均果重(Mean fruit weight for 2 years, *MFW*)、2年間平均果実収量(Mean yield of fruits per tree for 2 years, *MYF*)、2年間平均10a当り果実収量(Mean yield of fruits per 10a for 2 years, *MYF10A*)及び2年間平均果皮色(Mean peel color for 2 years, *MPC*)とした。

このほか、樹体の果実生産効率ともいべき指標である果実収量/樹冠実容積(Yield of fruit per tree/Volume of tree crown, *YF/VC*)及び果実収量/葉層樹冠容積(Yield of fruit per tree/Volume of leaf canopy, *YF/VLC*)は別途計算した。さらに、従来より、他の研究者¹⁶⁾²⁷⁾により提唱されている、果実生産係数(仮称, Fruit production coefficient, *FPC*)及び果実収量係数(仮称, Fruit yield coefficient, *FYC*)については(1)式及び(2)式を用いて

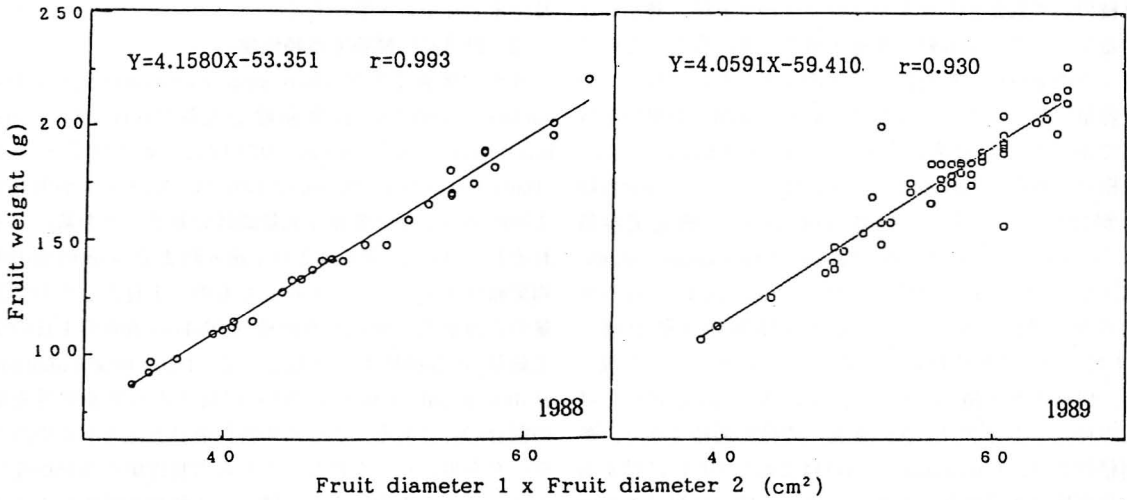


Fig. 1. Relationships between fruit weights and products of 2 cross diameters of the fruit at about the harvesting time of Japanese persimmon cultivar 'Hiratanenashi'.

算出した.

果実生産係数

$$= \text{果実収量} / (\text{果実収量} + \text{材積}) \times 100 \quad (1)$$

果実収量係数

$$= \text{果実収量} / (\text{果実収量} + \text{主幹断面積}) \times 100 \quad (2)$$

6. 特性値の変動係数の計算及び各特性値間の相互関係の解析

各特性値の変動係数 (標準偏差/平均値, CV) と相関係数行列の計算及び2特性間の単純分布図の作図を行った. さらに3次元柱状グラフを描いて, 樹形・葉群構造, 日当り及び果実生産の3要因間の関係を解析した. なお, 相関係数の計算は明らかに衰弱しているものとみなされた. 1樹 (以後, 衰弱樹と記す) のデータを除いて計算した.

結果及び考察

1. 果実の横径の積と果重との関係及び新梢の直径と長さとの関係

第1図に1988年と1989年の果実横径の積と果重との関係を示した.

第2図に新梢の体積を推定するための新梢基部直径あるいは先端部直径と新梢長さとの関係を示した. 上記システムが出力する新梢長さ分布データからの新梢長さ, 及びこの式に新梢長を代入して推定される基部直径及び先端部

直径とを用いて円錐台体積の計算式により新梢体積を計算し, 合計したものであった.

2. 各特性値の分布及び変動係数

第3, 4図に主な特性値の頻度分布を示した. また,

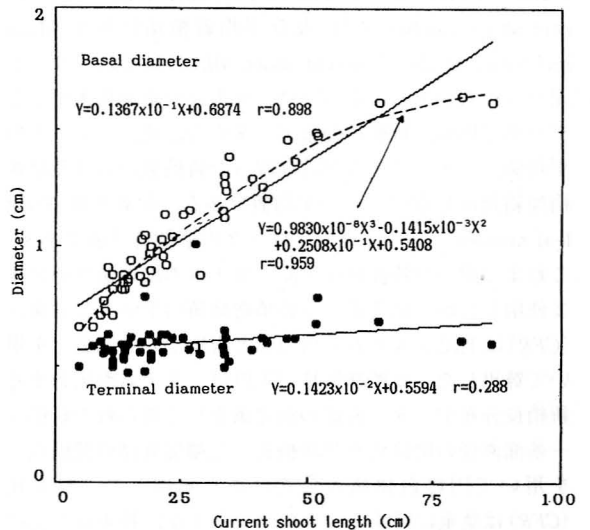


Fig. 2. Relationships between current shoot lengths and basal diameters or terminal diameters of Japanese persimmon cultivar 'Hiratanenashi'.

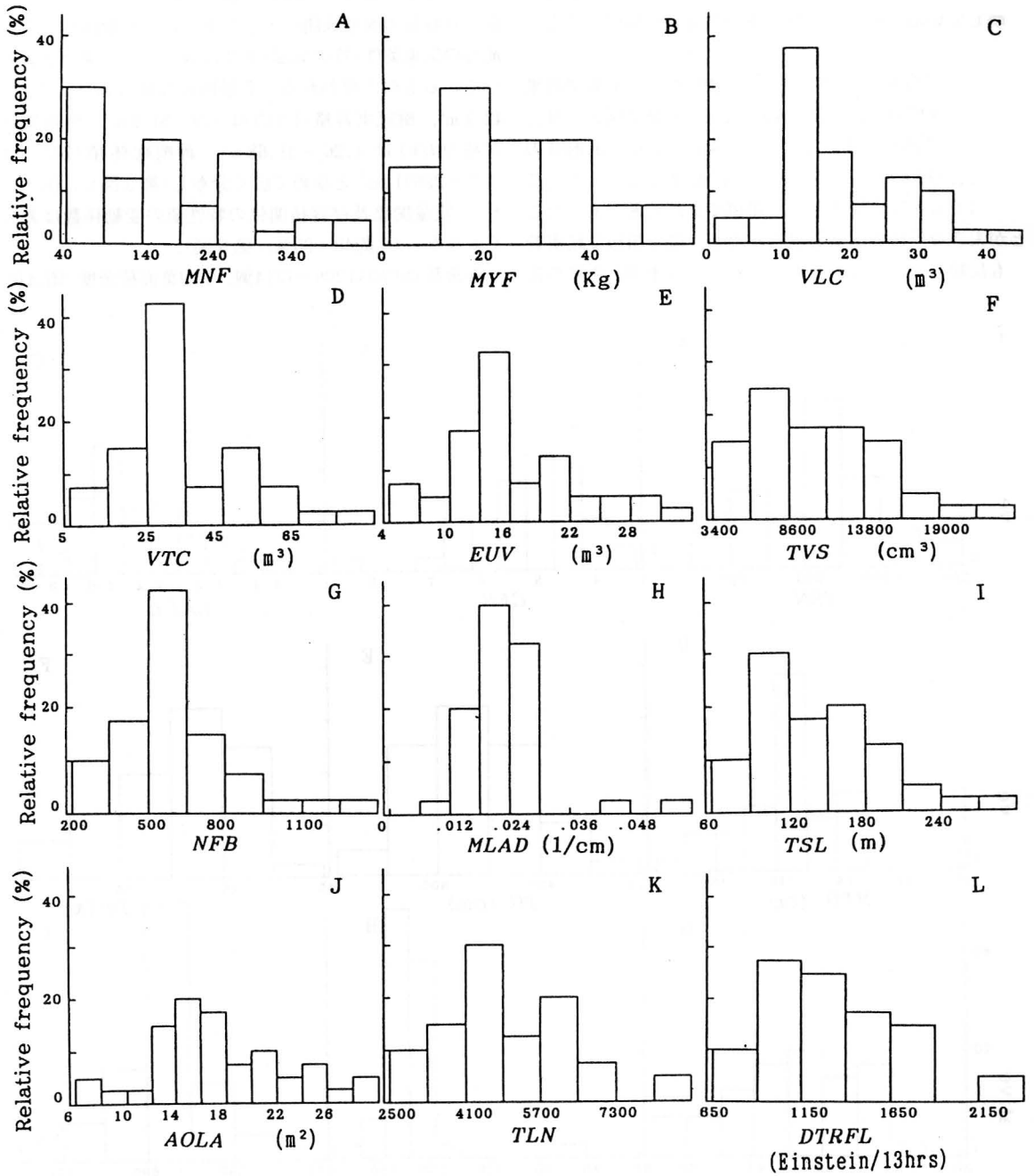


Fig. 3. Distributions of relative frequency of several characters of 40 trees of Japanese persimmon cultivar 'Hiratanenashi'.

第5図に全特性値の変動係数を示した。同一園地、同一樹齢及び同一栽培管理のもとで、幾分粗放な栽培管理を反映しているためか、各特性値の頻度分布幅は広がった。

2年間平均着果数(MNF)は40~401個、2年間平均果実収量(MYF)は3.1~57.3kgと少なく(第3図A, B)、10a当りに換算すると48.6~910kgとなり、山形県の生産目標(約2300kg/10a)の半分にも達しなかった。これには9m×6m植えという粗植でまだ若木であったことが大きな原因であると思われたが、幾分粗放な結実管理も反映しているものと考えられる。'平核無'生産の先

進地帯である和歌山県の1樹当たり平均収量の調査例として、8年生の樹で53.4kgが報告されている²⁹⁾。この1樹当たり収量の両地域間の大きな違いには和歌山県と庄内地方の気象条件(特に気温)並びに栽培管理の違いが影響しているものと思われる。葉層樹冠容積(VLC)は2.9~42.1m²、樹冠実容積(VTC)は7.9~81.8m³、外部無効容積(EUV)は4.26~31.68m³、新梢総体積(TVS)は3471~22691cm³と極めて広く分布し(第3図C, D, E, F)、収量関係及び容積関係の特性値の変動係数は著しく大きかった(約40~90%, 第5図)。

着蓄数(NFB)は206~1314個、平均葉面積密度(MLAD)

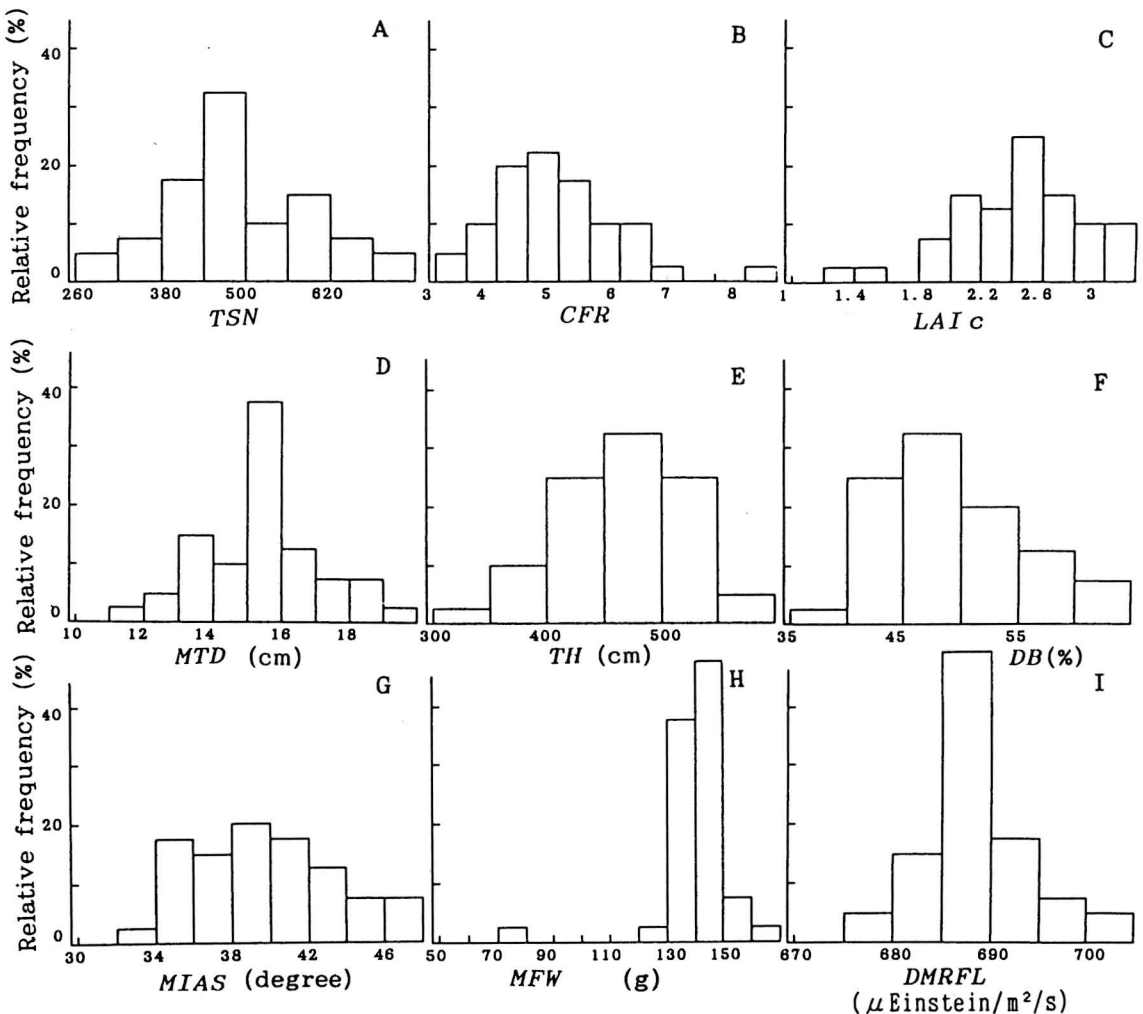


Fig. 4. Distributions of relative frequency of several characters of 40 trees of Japanese persimmon cultivar 'Hiratanenashi'.

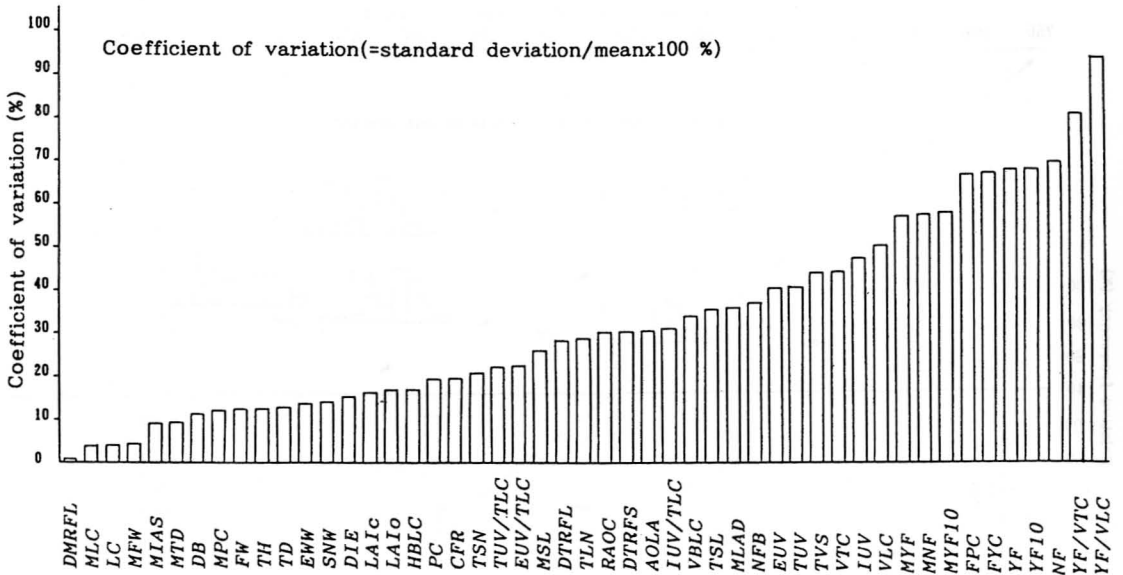


Fig. 5. Coefficients of variations (CVs) of the 50 characters of the 40 trees.

は $0.0108 \sim 0.058 \text{ cm}^{-1}$ 、総新梢長 (TSL) は $62.5 \sim 281.5 \text{ m}$ 、樹冠占有面積 (AOLA) は $6.9 \sim 28.8 \text{ m}^2$ 、総着葉数 (TLN) は $2502 \sim 8888$ 枚、日葉面総受光量 (DTRFL) は $655 \sim 2322 \text{ Einsteinin/13時間}$ の分布を示し (第 3 図 G ~ L)、約 25 ~ 35% の変動係数であった (第 5 図)。

総新梢数 (TSN) は $262 \sim 699$ 本、材葉比 (CFR) は $3.41 \sim 8.17$ 、樹冠占有面積当りの葉面積指数 (LAI_c) は $1.26 \sim 3.15$ の分布を示し (第 4 図 A ~ C)、変動係数は約 15 ~ 25% であった (第 5 図)。これまでに報告されているカキの葉面積指数の値は、低樹高モデル樹 (ハウス栽培) の ‘平核無’ の $2.36 \sim 3.6^{29)}$ 、露地栽培の ‘西村早生’ で $2.0 \sim 3.6^{14)}$ であり、本調査結果に比較して幾分大きかった。2 年間平均幹径 (MTD) は $11.1 \sim 19.05 \text{ cm}$ 、樹高 (TH) は $330 \sim 598 \text{ cm}$ 、はげあがり程度 (DB) は $37.9 \sim 64.2\%$ の分布を示し (第 4 図 D ~ F)、変動係数は約 10% であった (第 5 図)。

平均新梢傾斜角度 (MIAS) は約 $32 \sim 48$ 度、2 年間平均果重 (MFW) は $70 \sim 170 \text{ g}$ の分布を示し (第 4 図 G, H)、変動係数は約 5% であった (第 5 図)。

‘平核無’の各特性値に関する報告例はわずかであり、あまり参考にはならない。収益性向上のための低樹高栽培 (ハウス栽培、和歌山県) の例を示すと、樹冠占有面積は 34.5 m^2 、新梢数は 3002 本、着葉数は 17156 枚/樹、収穫果数は 1063 個/樹、収量は 227 kg/樹 であり²⁹⁾、本調

査園 (露地栽培) の結果との間に大きな違いがみられた。また、特性値の表現が異なるため、本調査結果との直接的な比較はできないものとして、‘平核無’の葉面積 1 m^2 当りの果実数 (fruit load ratio)、平均果重及び果実収量の範囲がそれぞれ $1 \sim 20$ 個/ m^2 、 $150 \sim 260 \text{ g}$ 及び $0.2 \sim 3.0 \text{ kg/m}^2$ であったという報告²⁶⁾、4 種の仕立て方による ‘西村早生’ の樹冠占有面積当りの果実収量、単位葉面積当りの果実収量、3 段階の高さの東西南北の受光量、樹冠占有面積当りの新梢数、着花新梢数及び着花数などの報告¹³⁾¹⁴⁾がある。

他方、変動係数についても、カキ樹では調査例が極めて少ない。一、二示すと、4 種の仕立て方による ‘西村早生’ の果皮色の変動係数は $6.5 \sim 11.0\%$ 、果実硬度の変動係数は $9.0 \sim 10.0\%$ 、Brix の変動係数は $2.8 \sim 5.4\%$ であった¹³⁾。

日平均葉面受光量 (DMRFL) は $677 \sim 703 \mu\text{Einstein/m}^2/\text{s}$ の狭い分布を示し (第 4 図 I)、変動係数はわずかに 0.8% であった (第 5 図)。しかし、このことから、どの樹も樹冠内の明るさがほぼ等しいとみなすのは早計である。何故ならば、各樹の日平均葉面受光量 (DMRFL) は、方法のところでも示したように、午前 6 時から午後 6 時までの合計 13 時刻のそれぞれの時刻の全葉の葉面受光量の瞬時分布データの平均値をさらに 1 日当たりとして平均したもので、いうならば、弱光である朝夕の受光量の極め

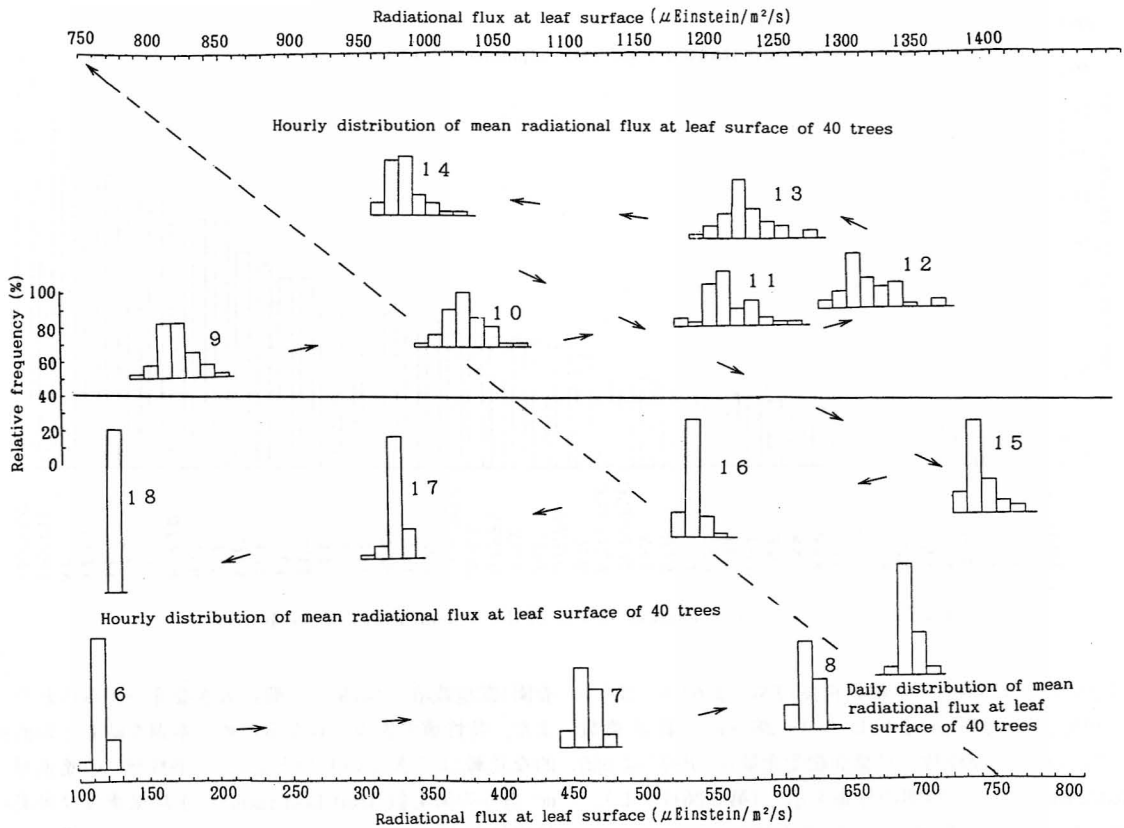


Fig. 6. A daily distribution of mean radiational flux at leaf surfaces of the 40 trees and a transition of the hourly distribution of mean radiational flux on a fine day at the end of July. The numerals indicate the hours.

て小さいかつ狭い分布データと、強光である昼間の受光量の極めて大きくかつ比較的広い分布を全て加算して単純平均化したためである。第6図は40樹の各時刻の平均葉面受光量(HMRFL)の分布の推移を示したものである。日平均葉面受光量(DMRFL)がわずかに $26 \mu\text{Einstein}/\text{m}^2/\text{s}$ の分布幅(第4図Iまたは第6図の右下挿入図)を有していたにもかかわらず、各時刻の平均葉面受光量(HMRFL)の分布幅は、強光条件下の日中の時刻の約 $100 \mu\text{Einstein}/\text{m}^2/\text{s}$ から弱光条件の朝夕の時刻の約 $10 \mu\text{Einstein}/\text{m}^2/\text{s}$ まで変化し、かつ、これらの分布域が約100から約 $1400 \mu\text{Einstein}/\text{m}^2/\text{s}$ までの広い範囲を移動していた(第6図)。したがって、各樹についてこれら全てを加算して平均した値(DMRFL)の分布幅は狭くなったとみられる。しかしながら、日当りの特性値として1個の数値のみを取り上げることになれば、強光時の時間帯

の数個の毎時平均葉面受光量(HMRFL)の平均値を用いることでは不十分である。太陽高度と方位が刻々と変化し、かつ立体的な植被である果樹にとっては、日平均葉面受光量(DMRFL)がこれに最もふさわしいものと考えられる。このことは、日平均葉面受光量(DMRFL)の分布幅や変動係数が小さかったにもかかわらず、後に示すように、これと他の特性値との間に深い関連性が存在していたことからいえることである。

3. 各特性値間の相互関係

多変量解析による50個の特性値間の相関行列及び特性値間の分布図を用いて以降の解析を行ったが、総当り組み合わせ数は1250組にもなるため、本報では一部省略し、主たる特性値間に限定して示した。

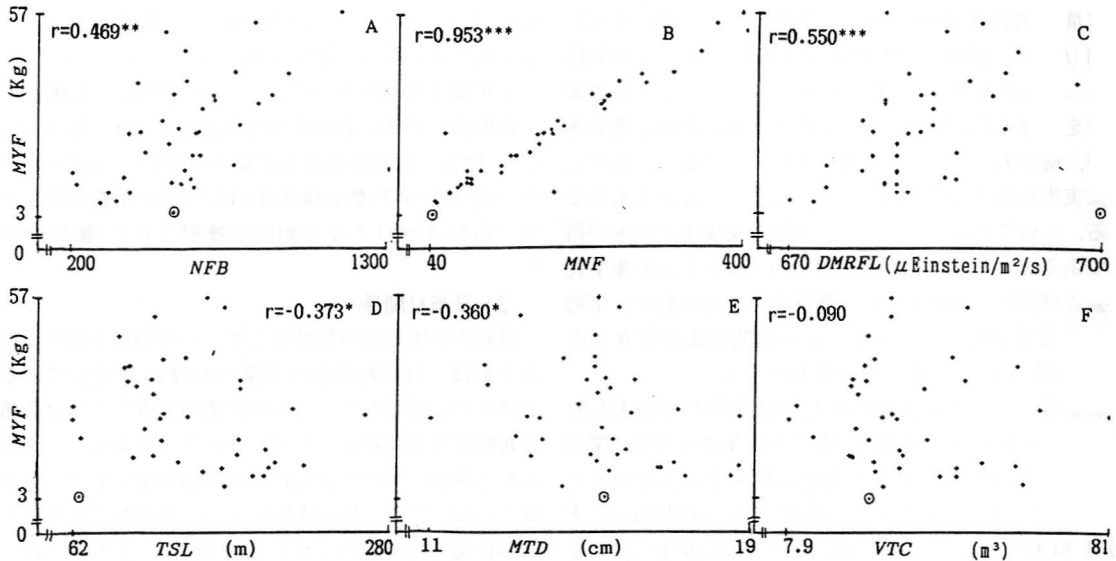


Fig. 7. Relationships between mean yields of fruits per tree for the 2 years (*MYF*) and several characters of the 40 trees. A circle indicates a tree of weakening growth. *, ** and *** indicates significant level at 5%, 1% and 0.1%, respectively. Coefficients of correlation (*r*) were calculated using 39 trees, except the tree of weakening of growth. The same symbols are used in the following figures.

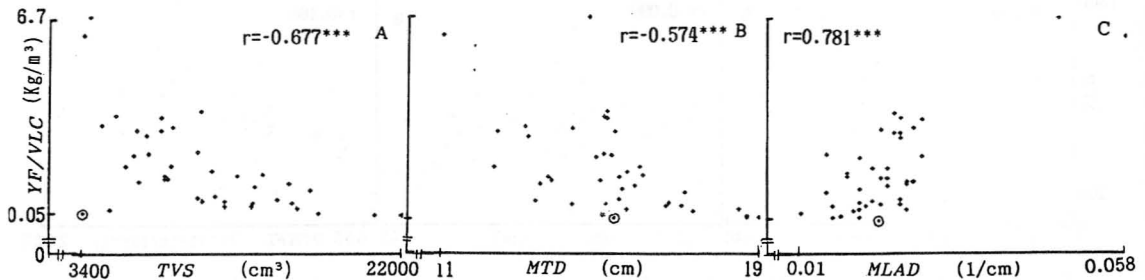


Fig. 8. Relationships between ratios of yield of fruit per trees in 1989 to volume of leaf canopy (*YF/VLC*) and several characters of the 40 trees.

1) 果実生産性

2年間平均果実収量(*MYF*)と着蓄数(*NFB*)及び2年間平均着果数(*MNF*)との間に当然ながら正の、また、日平均葉面受光量(*DMRFL*)との間に正の相関関係が見られた(第7図A~C)。1で示したように極めて狭い分布幅を有した日平均葉面受光量(*DMRFL*)であったが、果実収量との間に正の有意な相関関係が得られたことは、この特性値の日当たりの程度の指標としての有効性を示すものであろう。文室ら(1987)はカキの‘西村早生’

で仕立て方を変えて果実収量を比較調査したところ、収量性の最もすぐれた2本主枝仕立てと次いですぐれた垣根仕立ての受光量は樹冠全体にほぼ30%以上の受光量が見られたのに対し、収量性の劣る63本植え立ち木仕立てと119本植え立ち木仕立ての受光量はかなり小さかったことを見出した¹³⁾¹⁴⁾。日当たりの改善により果実収量性が向上することは、リング¹¹⁾¹⁵⁾²²⁾²³⁾³⁶⁾³⁷⁾³⁸⁾⁴²⁾やカンキツ³²⁾でも認められている。

他方、2年間平均果実収量(*MYF*)と総新梢長(*TSL*)、

2年間平均幹径(*MTD*)あるいは樹の寸法に関する特性値(*EW*, *SNW*, *TH*)や樹冠実容積(*VTC*)との関係ははっきりしなかった(第7図D~F). このことは果実収量をあげるには樹の大きさの増大がある程度必要であるが, 樹が大きくなっても材木生産の方に偏り, 必ずしも果実生産効率が高くはならないことを示唆するものである. このことは, たとえば, 葉層の果実生産効率の指標である果実収量/葉層樹冠容積(*YF/VLC*)と栄養生長の強さ(樹勢)に関連する多く特性値との間に負の, 平均葉面積密度(*MLAD*)との間に正の相関関係が存在した(第8図A~C)ことからいえるだろう.

着蕾数(*NFB*)は全芽数(*NB*)にほぼ比例して増大したが, 栄養生長の強さ(樹勢), 樹の寸法及び日当りに関連する多くの特性値に対して有意な相関を示さなかった(第9図A~C). すなわち, 樹高(*TH*)が約450 cm, 平均新梢長(*MSL*)が約30 cm及び日葉面総受光量(*DTRFL*)が約1300 Einstein/13時間で着蕾数(*NFB*)がほぼ最大であった(第9図A~C).

2年間平均果重(*MFW*)の分布幅は衰弱樹1樹を除くと狭く, 有意な相関関係は認められなかったが, 果重は栄養生長が強くなるほど大きくなり, はげあがり程度

(*DB*)及び2年間平均着果数(*MNF*)の数値が大きくなるほど減少する傾向が推察された(第10図A~C).

2年間平均果皮色(*MPC*)と, 栄養生長に関係する多く特性値との間に負の相関関係が認められ(第11図A~C), 他方, 日平均葉面受光量(*DMRFL*), はげあがり程度(*DB*)及び平均葉面積密度(*MLAD*)の数値が増大するほど色付きが良くなる傾向が推察された(第11図D~F).

2) 日当り関係

樹冠内の明るさの指標として, 一つのみを取り上げるとすれば, 日平均葉面受光量(*DMRFL*)が適していることはすでに記したが, この特性値の欠点としては数値の分布幅が非常に狭かった(第4図)ことである. しかし, これと植被内への光投入に最も関係の深いものと見なされている¹⁾¹⁰⁾¹²⁾³⁴⁾葉面積指数(*LAI_c*)との間に極めて高い負の相関関係が認められた(第12図A). また, これと栄養生長の強さ(樹勢)や樹の寸法を示す特性値との間に全体に負の相関関係が支配的であったが(第12図D, E), 樹高(*TH*)に対しては有意な相関を示さず, 樹高が約450 cmのところでも最大であった(第12図F).

日葉面総受光量(*DTRFL*)は葉数が多いほどあるいは

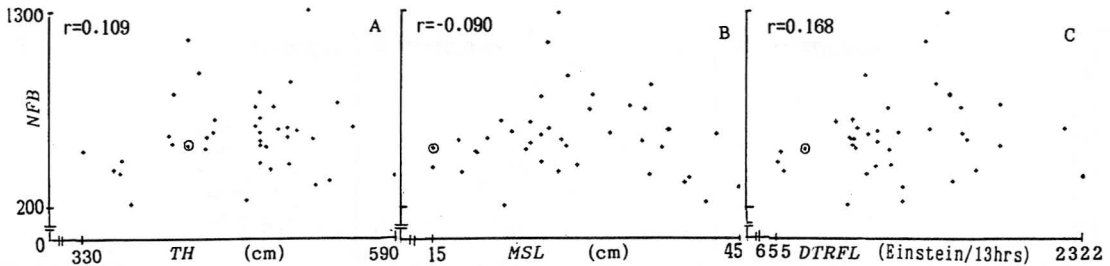


Fig. 9. Relationships between numbers of flower buds per tree (*NFB*) and several characters of the 40 trees.

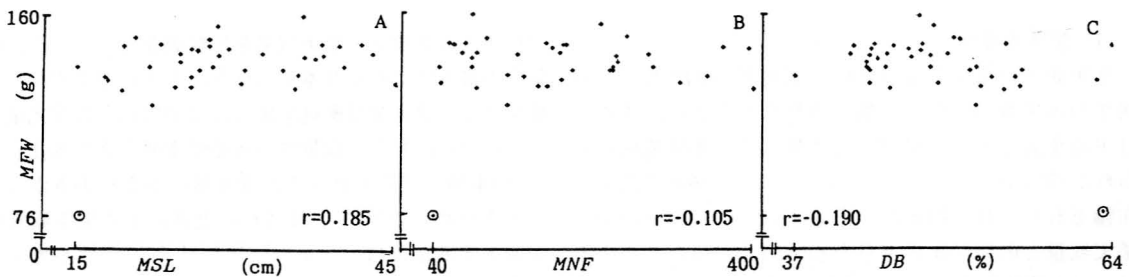


Fig. 10. Relationships between mean fruit weights (*MFW*) and several characters of the 40 trees.

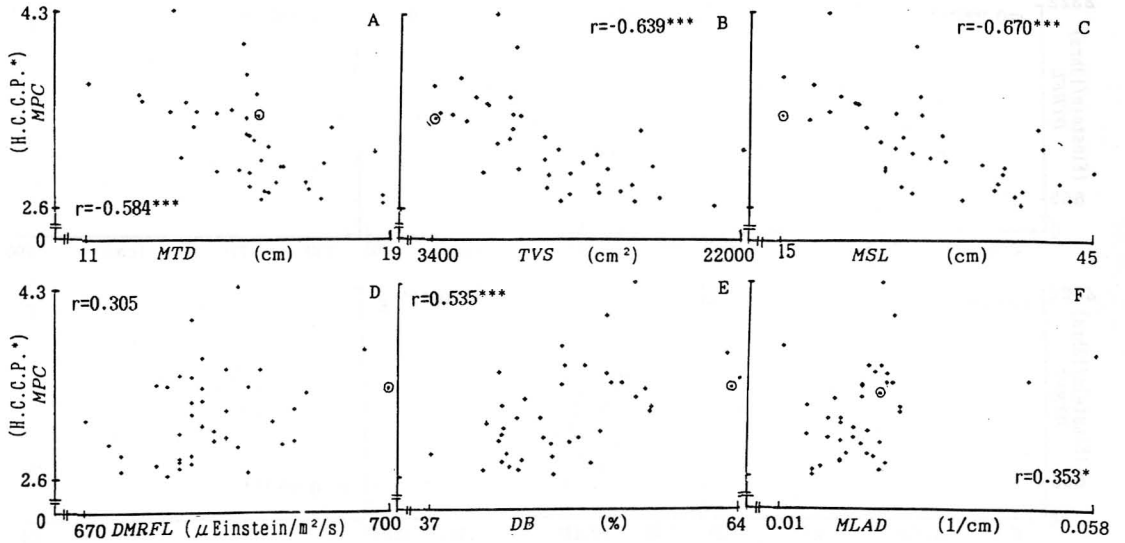


Fig. 11. Relationships between mean peel colors (*MPC*) and several characters of the 40 trees.

* Horticultural color chart of peel (H. C. C. P.) for ‘Hiratanenashi’

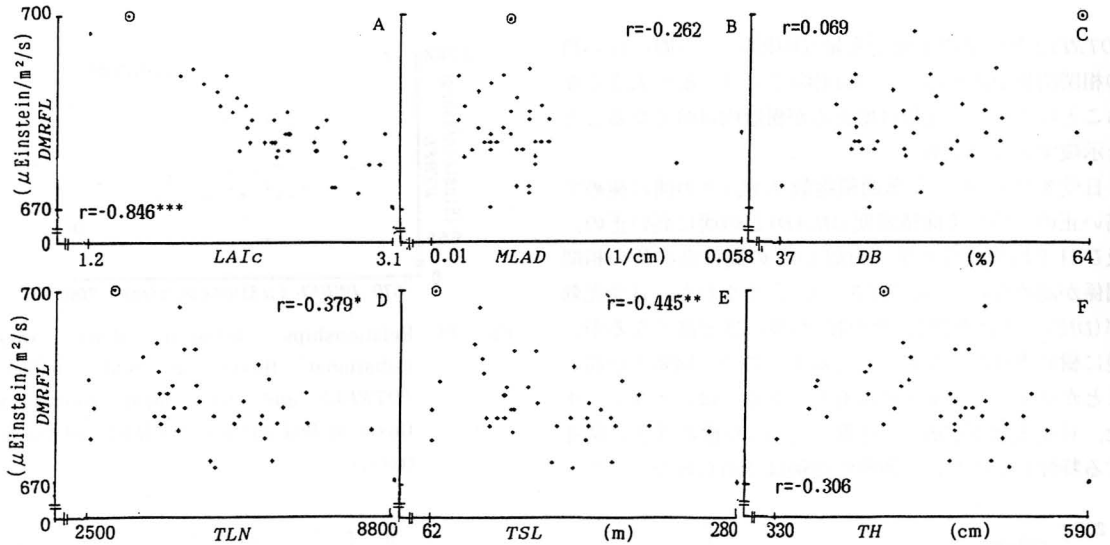


Fig. 12. Relationships between daily mean radiational fluxes at leaf surfaces (*DMRFL*) and several characters of the 40 trees.

樹が大きいほど大きくなるものであり, これと総着葉数 (*TLN*)をはじめ葉数の増大に密接な総新梢長 (*TSL*)あるいは樹高 (*TH*), 樹冠占有面積 (*AOLC*)などとの間に高い正の相関関係が認められた(第13図A~D). この反面, これと平均葉面積密度 (*MLAD*)あるいははげあがり程度 (*DB*)との間に負の相関関係が認められた(第13図E,

F). このことははげあがり樹のように空間内の葉の局在化により, 地面に漏れる光量が増えることを示す. 何故ならば, 本システムの計算する平均葉面積密度 (*MLAD*)は葉の存在するブロックだけを対象とした統計量であり, また, 樹が小さくても平均葉面積密度 (*MLAD*)が高いことがあるからであろう. また, 日葉面総受光量

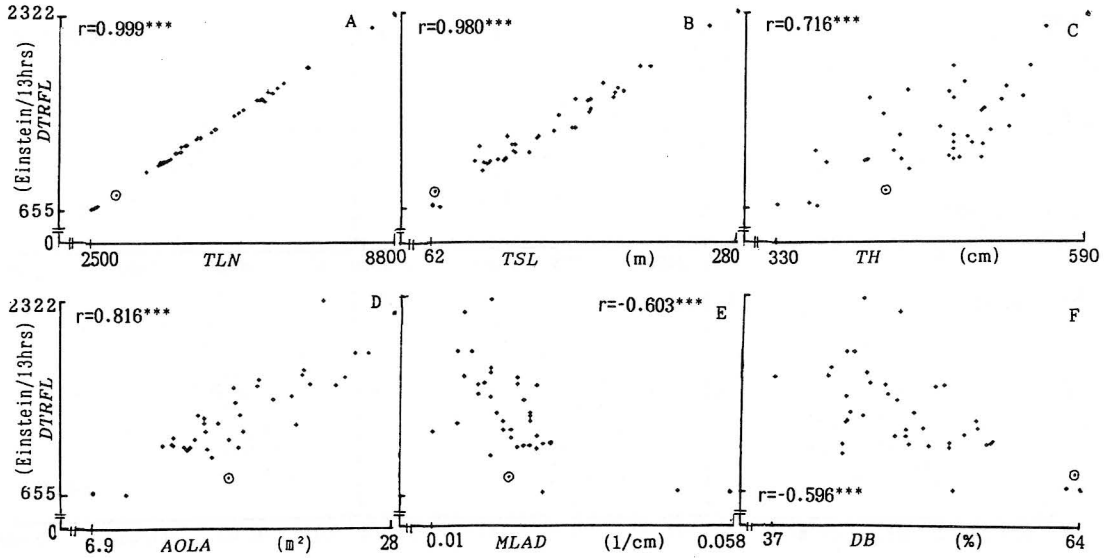


Fig. 13. Relationships between daily total radiational fluxes at leaf surfaces (*DTRFL*) and several characters of the 40 trees.

(*DTRFL*)と日平均葉面受光量(*DMRFL*)との間に低い負の相関関係が認められた(第14図)ことは、樹が大きくなることにより総受光量は増えるが樹冠内は暗くなることを示唆するものである。

日受光効率(*DIE*)と葉面積指数(*LAI_c*)との間に極めて高い正の、平均葉面積密度(*MLAD*)との間に高い正の、及び日平均葉面受光量(*DMRFL*)との間に高い負の相関関係が認められた(第15図A~C)。すなわち、日受光効率(*DIE*)は光遮断物質(葉や枝)が多いほど高くなるが、逆に樹冠内は暗くなることを示すもので、同効率が高いことが必ずしも果実生産に有利であるとはいえない。また、日受光効率(*DIE*)と材葉比(*CFR*)や樹の寸法に関連する特性値との間には明瞭な関係は認められなかった。

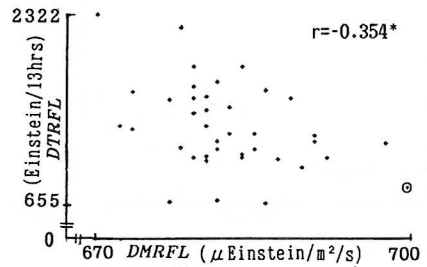


Fig. 14. Relationships between daily total radiational fluxes at leaf surfaces (*DTRFL*) and daily mean radiational fluxes at leaf surfaces (*DMRFL*) of the 40 trees.

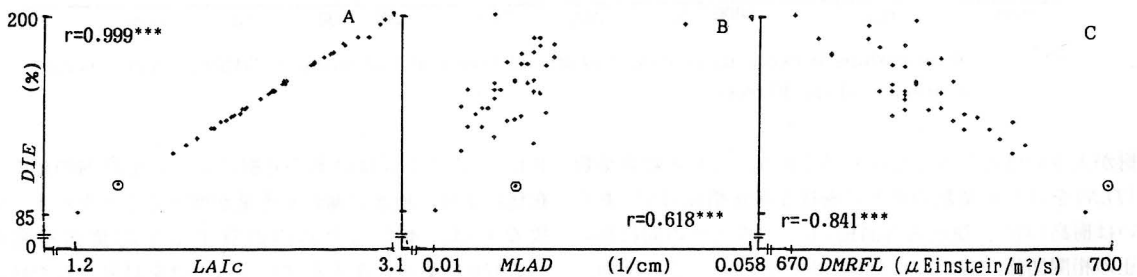


Fig. 15. Relationships between daily irradiation efficiencies (*DIE*) and several characters of the 40 trees.

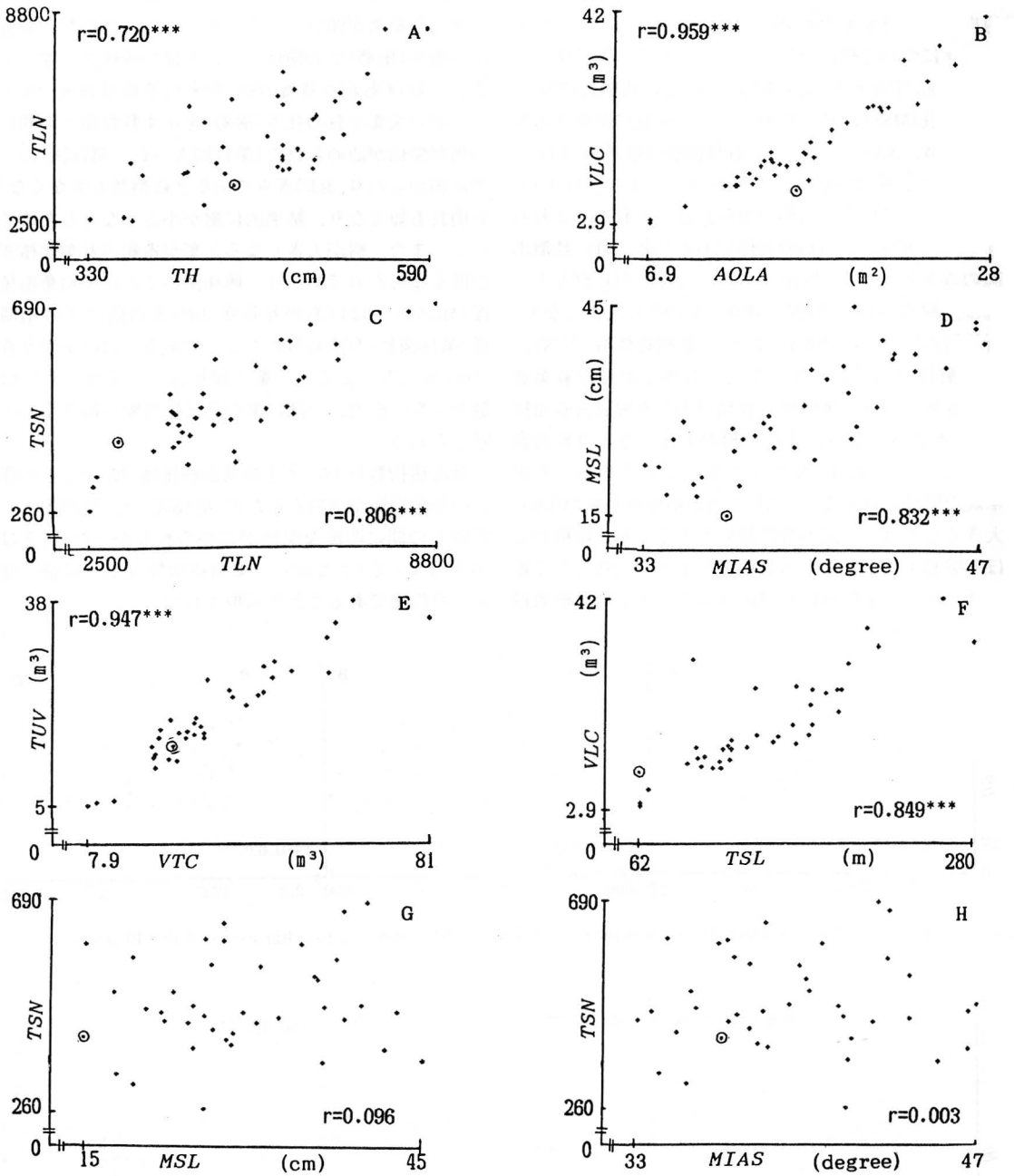


Fig. 16. Relationships between several characters relating with the tree vigor or the tree size of the 40 trees.

3) 樹形・葉群構造, 栄養生長及び樹の寸法

枝や葉の空間分布, したがって, 樹形や樹冠形は三次元的自由度を有するため, 樹によって大いに異なったが, その個々について検討していない. これらの集計値としての特性値, すなわち, 総新梢数(*TSN*), 総新梢長(*TSL*), 平均新梢長(*MSL*), 総着葉数(*TLN*), 樹幅に関連する特性値(*EWV*, *SNW*, *AOLA*), 容積関係の特性値(*VLC*, *VTC*, *TVC*), 無効容積関連特性値(*EUUV*, *IUV*, *TUV*)との間には相互に高い正の相関関係が認められた. これらの分布図は単純な正の相関関係であるため, 特に特徴ある図のみを示した(第16図A~F). 幹径(*TD*)が大きくなれば, 樹高(*TH*)や樹幅(*EWV*, *SNW*)も大きくなり, 総新梢数(*TSN*), 総新梢長(*TSL*), 新梢総体積(*TVS*), 平均新梢長(*MSL*)も大きくなり, 当然ながら総着葉数(*TLN*)も多くなり, 葉層樹冠容積(*VLC*)や樹冠占有面積(*AOLC*)も大きくなり, また, 樹が大きくなれば無効容積(*EUUV*, *IUV*, *TUV*)も大きくなるからである. 上記の単純な関係とは異なったが, 平均新梢傾斜角度(*MIAS*)が大きくなれば, 上記の特性値も大きくなり, 新梢が立つほど栄養生長が盛んであることを示す. 例外として総新梢数(*TSN*)と平均新梢長(*MSL*)あるいは平均新梢傾斜

角度(*MIAS*)との間には有意な相関関係はみられなかった(第16図G, H). すなわち, 新梢数が多いことがかならずしも樹勢が強いことを意味しない. 新梢数と栄養生長の強さ(樹勢)との関係については今後検討を要する. また, はげあがり程度(*DB*)や平均葉面積密度(*MLAD*)と上記の栄養生長の強さ(樹勢)を示す特性値との間に負の相関関係が認められた(第17図A~C, 第18図A). 樹勢が弱かったり, 衰弱きみであると新梢数も少なくなり, 新梢長も短くなり, 結果的に樹が小さくなったためであろう. また, 樹が大きくなると葉が希釈され葉面積密度が低くなったのであろう. 興味深いことは平均葉面積密度(*MLAD*)とはげあがり程度(*DB*)との間に正の相関関係(第18図B)が認められたことである. はげあがり程度(*DB*)が大きくなると, 葉は局在化し, 全体としては葉数が少ない樹内に一部に葉の過密化現象が起きるものと考えられる.

葉面積指数(*LAI_c*)と平均葉面積密度(*MLAD*)との間に正の相関関係が認められたが(第18図C), 他の多くの特性値との間に明瞭な関係が認められなかった(例えば, 第19図A~C)ことから, 葉面積指数(*LAI_c*)は独立度の高い特性値であることが示唆された.

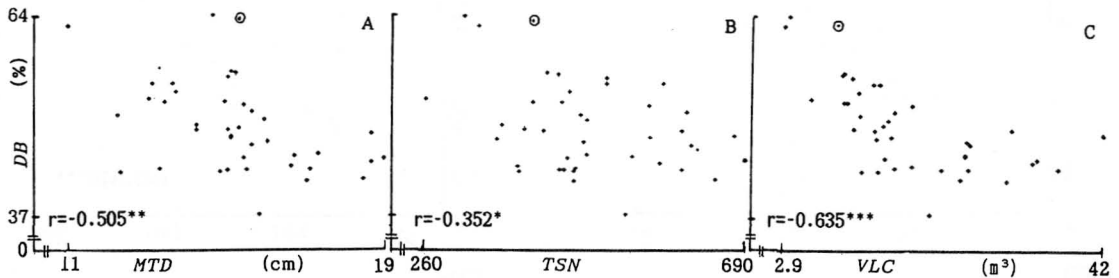


Fig. 17. Relationships between degrees of baldness (*DB*) and several characters of the 40 trees.

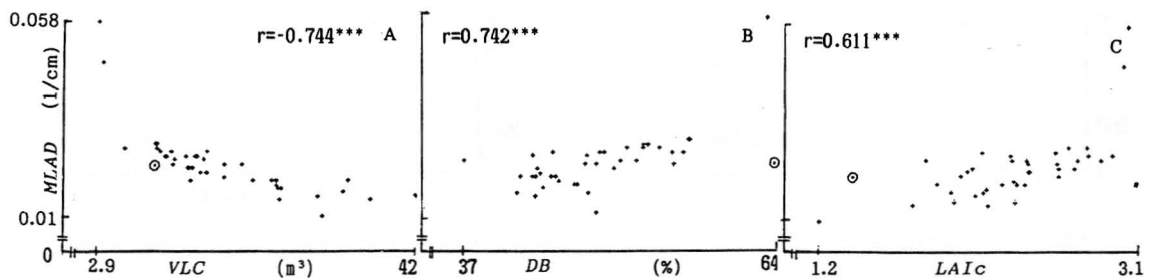


Fig. 18. Relationships between mean leaf area densities (*MLAD*) and several characters of the 40 trees.

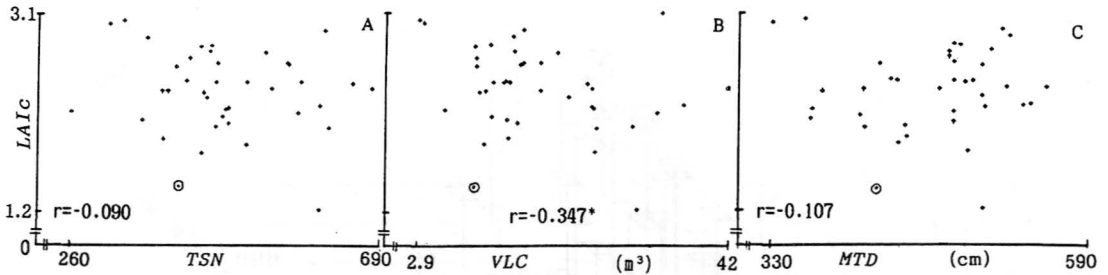


Fig. 19. Relationships between leaf area indices to area occupied by leaf area (LAI_c) and several characters of the 40 trees.

なお, 上記 1), 2), 3) を通じて複数の特性値を用いて算出される指標である, 外部無効容積/葉層樹冠容積 (EUV/VLC), 内部無効容積/葉層樹冠容積 (IUV/VLC), 全無効容積/葉層樹冠容積 (TUV/VLC), 果実生産係数 (FPC) 及び果実収量係数 (FYC) と他の特性値との間の関係は, 個々の直接的な特性値間の関係を反映したものになっていた。例えば, 果実収量と第(1)式に示したように, 分子に同じ果実収量を含んだ果実生産係数との間には高い正の相関関係が存在した。果実生産係数 (FPC) や果実収量係数 (FYC) は現場で容易に計測できるのが利点であり, これと 2 年間平均果実収量/葉層樹冠 (MYF/VLC) との間に高い正の相関関係が認められることから, 逆に葉層樹冠容積 (VLC) を推定するのに役立つだろう。

4. ま と め

栄養生長の強さ, 日当たり及び果実生産性のそれぞれ主たる特性値を用いて 3 次元柱状分布図を描くと (第 20 図), 衰弱樹 1 樹 (同図 * 印) を例外として日平均葉面受光量 ($DMRFL$) が約 $685 \mu\text{Einstein}/\text{m}^2/\text{s}$ 以下のところで, 総着葉数 (TLN) が約 5000 枚以上のところ (第 20 図上), あるいは樹高 (TH) が約 460 cm 以上のところ (第 20 図中), あるいは平均新梢傾斜角度 ($MIAS$) が約 42 度以上のところ (第 20 図下) で, 2 年間平均果実収量 (MYF) が極端に減少していた。この図から, 果実生産を支え, 増大させるためには受光量, 樹容積, 葉量のある程度の増大が必要であるが, 他方, 栄養生長を盛んにしすぎると結実が悪化するとともに樹冠内が暗くなり, おそらく花芽着生の減少及び光合成作用の低下を通じて, 果実生産が著しく減少することが示唆される。ただし, 上記の領域における果実収量の極端な減少が 1 樹当りの光合成産物の量的減少に直接的に起因するものと考えるのは早計である

う。1 樹の光合成産物の総計量は日葉面総受光量 ($DTRFL$) の大小に密接に関係し, 日葉面総受光量 ($DTRFL$) と総着葉数 (TLN) との間にはほぼ直線的な比例関係が認められた (第 13 図 A)⁴¹⁾。しかし, 総着葉数 (TLN) の多いところで果実収量が極端に少なかった (第 20 図上) からである。この背景には, 光合成産物の量が多くなっても, 果実に分配される割合は高くならず, 枝葉に分配される割合が高くなるのが考えられる¹⁾⁴¹⁾。すなわち, 材木生産に傾いてしまうことである。また, 日平均葉面受光量 ($DMRFL$) の値が多少増大してもあるいは葉面受光量の分布形が大きい方向に多少ずれていても, 光合成の光飽和現象のため, 光合成産物の量はさほど増えないものと考えられる。

本実験結果には長年にわたって形成されてきた, 各樹の果実着生の良否が反映しているものと考えられる。すなわち, 花芽着生量の多い樹は結果量も多く, したがって, 過度の栄養生長が抑えられ, 着葉数が多くならず, 樹冠内が明るくなり, 着葉数がさほど多くなっても, 果実生産に必要な程度の, かつ, 枝葉の過剰な繁茂をもたらさない程度の光合成産物の量が確保され, 一方, 果実の着色も向上し, 翌年のための花芽分化量も増大することである。いいかえれば, 樹冠内の明るさは果実収量の増大の原因でもあり, 結果でもあった可能性がある。この可能性はこの種の実態調査結果には常につきまとうことである。どの樹も着葉数がほぼ等しい状態では, 樹冠内の明るさの違いが光合成作用の違いをもたらし, ひいては, 花芽分化量や着果量の違いとなって現れるであろうが, 今回の実態調査において, これを比較する条件は存在しなかった。

いずれにしても, 上記の栄養生長の強さ, 結果量及び日当たり等の間に横たわるこの基本的矛盾を解決するに

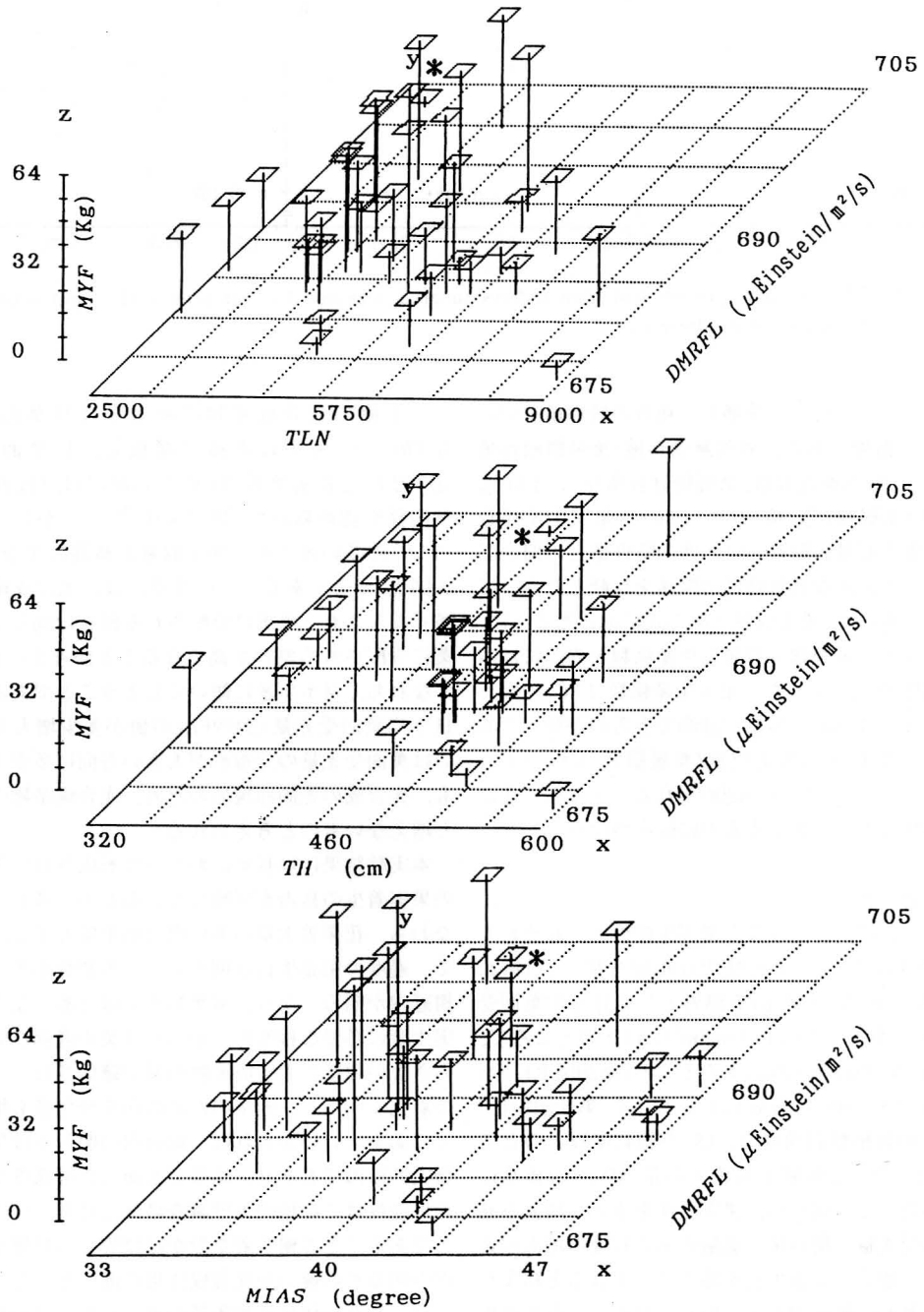


Fig. 20. Distributions of mean yields of fruits per tree for 2 years (MYF) (z axis) against daily mean radiational flux at leaf surfaces (DMRFL) (y axis), and against total numbers (TLN) (upper), tree heights (TH) (middle) and mean inclination angles of current shoots (MIAS) (lower) (x axis), respectively. Asterisks indicate the tree of weakening of growth.

は、第1に結実管理を徹底するとともに、第2に日当り良好な樹形・葉群構造を検索し、整枝せん定により、その構築と維持をはからねばならない。

摘 要

「樹形・葉群構造の季節的変化推定システム」⁴⁴⁾及び「葉面放射の樹冠内分布推定モデル」⁴³⁾を用いて、同一園地、同一樹齢(14年生)及び同一栽培管理下のカキ‘平核無’40本の樹形・葉群構造、日当り及び果実生産性に関する合計50個の特性値の分布及びこれらの相互関係を調査、解析した。

1. 果実生産性の特性値である2年間平均果実収量(MYF)や2年間平均着果数(MNF)、葉層樹冠容積(VLC)などの容積関係の特性値、果実生産効率ともいふべき2年間平均果実収量/葉層樹冠容積(MFY/VLC)の変動係数は約40~90%で極めて広く分布した。着蓄数(NFB)、平均葉面積密度(MLAD)、総着葉数(TLN)などの変動係数は約25~35%、総新梢数(TSN)、材葉比(CFR)、葉面積指数(LAI_c)の変動係数は約15~25%で、やや広く分布した。幹径(TD)、樹高(TH)、はげあがり程度(DB)の変動係数は約10%で狭く分布した。最も狭い分布を示した特性値は日平均葉面受光量(DMRFL)で、変動係数は0.8%であった。

2. 個々の特性値間の相互関係を解析したところ、2年間平均果実収量(MYF)は日平均葉面受光量(DMRFL)との間に正の、新梢平均傾斜角度(MIAS)との間に負の相関関係が認められた。2年間果実収量/葉層樹冠容積(MYF/VLC)と栄養生長の強さを示す多く特性値との間に高い負の相関関係が認められた。着蓄数(NFB)は多くの特性値に対しては相関を示さなかったが、樹高(TH)が約450cm、平均新梢長(MSL)が約30cm、日葉面総受光量(DTRFL)が約1300 Einstein/13時間のところで最大になった。日平均葉面受光量(DMRFL)は葉面積指数(LAI_c)との間に高い負の、平均葉面積密度(MLAD)との間に負の相関関係が認められた。また、これと栄養生長の強さ(樹勢)を示す特性値との間に高い負の相関関係が支配的であったが、樹高(TH)に対しては相関を示さなかった。日葉面総受光量(DTRFL)は栄養生長の強さを示す特性値との間に高い正の、日平均葉面受光量(DMRFL)との間に負の相関関係が認められ、樹が大きくなると総受光量は増えるが樹冠内が暗くなることを示唆した。その他、栄養生長の強さ(樹勢)や樹の寸法を示す多く特性値には相互に高い正の相関関係が認められた

が、はげあがり程度(DB)や平均葉面積密度(MLAD)との間には通常負の相関関係が認められた。

3. 3次元柱状グラフによる解析の結果、日平均葉面受光量(DMRFL)が約685 μ Einstein/m²/s以下であれば、総着葉数(TLN)が約5000枚以上の領域、あるいは樹高(TH)が約460cm以上の領域、あるいは新梢平均傾斜角度(MIAS)が約42度以上の領域で2年間平均果実収量(MYF)が極端に減少した。このことから、結実管理の徹底とともに、日当りの改善並びにこのための樹形・葉群構造の検索とこれの構築・維持及び栄養生長のある程度の抑制が安定的な果実生産にとって肝要であることが確認された。

引用文献

- 1) ANDERSON, M. C. 1966. Stand structure and light penetration. II. A theoretical analysis. J. Appl. Ecol. 3: 41-54.
- 2) 浅田武典. 1988. 開心形リング樹の果実生産性に関する研究. 第1報. 津軽地方における優良リング園の収量・弘大農報. 49: 47-60.
- 3) 浅田武典. 1988. 開心形リング樹の果実生産性に関する研究. 第2報. 葉面積指数, 単位葉面積当り果数, 収量の相互関係. 弘大農報. 50: 46-54.
- 4) 浅田武典. 1989. 開心形リング樹の果実生産性に関する研究. 第3報. 収穫果の果径別分布と発育良果の多収について. 弘大農報. 51: 69-79.
- 5) 浅田武典. 1990. 開心形リング樹の果実生産性に関する研究. 第4報. 樹冠占有面積率と樹冠の厚さからみた葉面積指数及び収量. 弘大農報. 52: 31-43.
- 6) BOSWEL, S. B., ATKIN, D. R., MCCARTY, C. D. and COPELAND, R. D. 1978. A preliminary assessment of citrus spacing on production using a "sub-standard" rootstock-scion combination. Hort. Sci. 13: 468-469.
- 7) BOSWEL, S. B., LEWIS, L. N., MCCARTY, C. D. and HENCH, K. W. 1970. Tree spacing of 'Washington' navel orange. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 95: 523-528.
- 8) BOSWEL, S. B., MCCARTY, C. D., HENCH, K. W. and LEWIS, L. N. 1975. Effect of tree density on the first ten years of growth and production of 'Washington' navel orange trees. J. Amer. Soc. Hort. Sic. 100: 370-373.
- 9) BOSWEL, S. B., NAUER, E. M. and ATKIN, D. R. 1982. Effect of tree density of fruit quality, temperature,

- light penetration, growth, and production of old-line 'Atwood' navel orange. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 107 : 60-65.
- 10) CHARLES-EDWARDS, D. A. and THORPE, M. R. 1976. Interception of diffuse and direct-beam radiation by a hedgerow apple orchard. *Ann. Bot.* 40 : 603-613.
- 11) DOUD, D. S. and FERREE, D. C. 1980. Influence of altered light levels on growth and fruiting of mature 'Delicious' apple trees. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 105 : 325-328.
- 12) FERGUSON, J. H. A. 1960. A comparison of two planting systems in orchards as regards the amount of radiation intercepted by the trees. *Netherland J. Agr. Sci.* 8 : 271-280.
- 13) 文室政彦・村田隆一. 1987. 低樹高密植カキ園の整枝法(第1報). 整枝法による果実の生産力及び品質の差異. 滋賀農試研報. 28 : 72-77.
- 14) 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生長の差異. 滋賀農試研報. 28 : 78-84.
- 15) HEINICKE, D. R. 1966. Characteristics of McIntosh and Red Delicious apples as influenced by exposure to sunlight during the growing season. *Amer. Soc. Hort. Sic.* 89 : 10-13.
- 16) 平野 暁・菊地卓郎編. 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.
- 17) 平野 暁・森岡節夫. 1973. 温州ミカンの栽植密度に関する研究(第1報). 初期収量. 園学要旨. 昭48春 : 22-23.
- 18) 平野 暁・森岡節夫. 1975. カンキツの着果程度と樹の生長および収量との関係(第1報). 宮川早生幼木における果実収量と葉の物質生産力. 園学雑. 44 (2) : 99-106.
- 19) 平野 暁・森岡節夫・橘 温. 1978. 温州ミカンの栽植密度に関する研究(第2報). 定植後11年までの収量. 園学要旨. 昭53春 : 50-51.
- 20) 平野 暁・森岡節夫・橘 温. 1979. 温州ミカンの栽植密度に関する研究(第3報). 密度及び樹齢とは場面積あたり収量との関係. 園学要旨. 昭54春 : 22-23.
- 21) 平野 暁・森岡節夫・橘 温. 1979. 温州ミカンの栽植密度に関する研究(第4報). 栽培条件が各樹齢における最高収量区の収量およびその密度に及ぼす影響. 園学要旨. 昭54秋 : 18-19.
- 22) JACKSON, J. E. 1970. Aspects of light climate within apple orchards. *J. Appl. Ecol.* 7 : 207-216.
- 23) JACKSON, J. E., SHARPLES, R. O. and PALMER, J. W. 1971. The influence of shade and within-tree position on apple fruit size, colour and storage quality. *J. hort. Sci.* 46 : 277-287.
- 24) 菊地卓郎・佐藤健勝. 1987. 青森県における密植リンゴ園の盛果期収量. 第1期. 'ふじ', 'ジョナゴールド', 'つがる'の樹勢と収量. 弘大農報. 48 : 136-147.
- 25) 菊地卓郎・塩崎雄之輔. 1988. リンゴ樹勢の指標としての頂端新梢長について. 弘大農報. 49 : 34-46.
- 26) 岸本 修. 1975. カキとナシにおける摘果の適正範囲と最適果重の推定. 園学雑. 43(4) : 368-376.
- 27) 岸本 修. 1988. ナシ主要品種における果実生産力と材形成—収量効率に代えて果実生産係数(仮称)等の提示—. 園学要旨. 昭63秋 : 86-87.
- 28) 岸本 修・清家金嗣. 1972. 日本ナシの整枝法の変異に伴う果実生産要因の推移. 園学雑. 41(4) : 331-338.
- 29) 北野励信. 1989. カキの施設栽培における整枝・せん定の基準化について. 農水省果樹試編 平成元年度果樹課題別研究会資料. 高品質果実安定生産のための整枝・剪定法の基準化. p.63-68.
- 30) 黒田治之・千葉和彦・西山保直. 1983. リンゴわい性樹における密度効果(第2報). 果実収量に関する密度効果. 園学要旨. 昭58春 : 94-95.
- 31) 黒田治之・西山保直. 1983. リンゴわい性樹における密度効果(第1報). 幹周肥大量に対する密度効果. 園学要旨. 昭58春 : 92-93.
- 32) 真部 桂・葦澤正義・中條利明. 1977. 温州ミカンの結実, 果実の生長, 品質に及ぼす光の影響. 香大農学報. 28 : 195-201.
- 33) 水戸部 満・浅野聖子・酒井雄作・奥野 隆・向井武勇. 1987. ニホンナシ新品種の整枝せん定の基準化による生産力の向上に関する研究(第1報). 優良ナシ樹の樹形解析. 園学要旨. 昭62春 : 96-97.
- 34) MONSI, M. and SAEKI, T. 1953. Über den Lichtfaktor in den Pflanzengesellschaften und seine Bedeutung für die Stoffproduction. *Jap. J. Bot.* 14 : 22-52.
- 35) 森岡節夫・八幡茂木. 1981. 温州ミカンにおける整枝せん定方法が樹の発育, 収量, 果実の品質などに

- およぼす影響(第1報). 樹の発育と葉の分布状態.
千葉暖地園試研報. 12:1-8.
- 36) ROBINSON, T. L., SEELEY, E. J. and BARRITT, B. H. 1983. Effect of light environment and spur age on 'Delicious' apple fruit size and quality. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 108: 855-861.
- 37) SEELEY, E. J., MICKE, W. C. and KAMMERECK, R. 1980. 'Delicious' apple fruit size and quality as influenced by radiant flux density in the immediate growing environment. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 105: 645-657.
- 38) 塩崎雄之輔・菊地卓郎. 1988. 樹勢と摘葉作業が開心形リンゴ樹の樹冠内光条件に及ぼす影響. 弘大農報. 50: 35-45.
- 39) 塩崎雄之輔・菊地卓郎・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. 弘大農報. 49: 22-23.
- 40) 外崎武範・長内敬明・斉藤貞昭. 1989. M26台リンゴ樹の収量に関与する樹冠の構造と大きさ. 園学要旨. 平元東北支部: 5-6.
- 41) 高橋国昭. 1989. ブドウにおけるせん定の基準化と問題点. 農水省果樹試編. 平成元年度果樹課題別研究会資料. 高品質果実安定生産のための整枝・剪定法の基準化. p.91-96.
- 42) TUSTIN, D. S. and HIRST, P. M. 1988. Influence of orientation and position of fruiting laterals on canopy light penetration, yield, and fruit quality of 'Granny Smith' apple. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 113: 693-699.
- 43) 山本隆儀. 1988. 果樹における葉面放射の樹冠内分布推定シミュレーションモデル. 山形大学紀要(農学). 10(3): 583-612.
- 44) 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(2): 343-373.
- 45) 山本隆儀・上田仁悦・小泉弘樹・西沢滝太. 1990. 落葉果樹の樹冠内放射の減衰係数とその推定パラメータ. 山形大学紀要(農学). 11(2): 155-176.
- 46) 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(4): 869-901.