

リング果実の表面色調の数量的表現に関する研究

山本隆儀・池野由起子・阿蘇真紀
山形大学農学部農業生産学講座
(平成8年9月2日受理)

Studies on Numerization of Skin Color Tone of Apple Fruits

Takanori YAMAMOTO, Yukiko IKENO and Maki ASO
Section of Agricultural Production, Faculty of Agriculture,
Yamagata University, Tsuruoka 997, Japan
(Received September, 1996)

Summary

Skin color tone of fruits is one of important factors of apple fruit qualities, but has ever been distinguished and valued by judgments on the base of naked eyes. This study have the first try to express it by using numerical data from the image analysis. Six species of 3-dimensional distributions patterns, namely, 6 combinations of each value of the 3 chromatic values (L^* , a^* and b^*) as the x axis, the color speck area or the shape coefficients (K) of color speck as the y axis and the % of frequency of the number against the total number as the z axis, respectively, were used as the numerical data in the present study. Further, their means or standard deviations were also used in the numerical comparisons.

As the results, in either case of the contour maps, there is no similar distribution pattern among the 16 apple cultivars used. Therefore, it is thought that these patterns and their statistical values from the present method may be used successfully in distinguishing and valuating the skin color tone of apple fruits.

key words : apple cultivars ; skin color tone ; image analysis ; color speck area ; numerization

緒 言

わが国ではリング果実の大半が生食用として出荷されるため、味とともに外観が重視される。着色の良否を左右するといわれている赤色色素(アントシアニン)含量の増大技術、選果時の赤色程度(着色程度)の非破壊的敏速測定方法およびその推定方法の研究が数多く報告されている^{1,8)}。このような赤色の濃さのみを求める傾向は、中味(可食部)の充実を伴わないアントシアニン含量のみの増大技術が論外であるというだけでなく、黄色品種などの存在から考えても行き過ぎの観を呈しているように思われる。一方、外国では‘ふじ’縞着色系統に人気が集まっている。価値観の多様化、高度化に伴って

果実外観の価値観が赤色の濃さだけを求めるという単純なものから、微妙な色合いや個性的色調(品種特有な色調)を重視する高度で多様なものによって変わっていくものと考えられる。この色調は多数の要素から構成される複雑なもので^{2,4,5,7)}、その評価と識別は色度センサーのような単純な検出器のついた選果機では現在のところ不可能であり、もっぱら肉眼に頼っている。果樹の枝変わり品の品種や系統の中には果実の形や風味は不変のままで色調のみ変異するものが多い。たとえば、従来の淡い色の‘ふじ’から色の濃い系統が出現するとともに、この着色系統‘ふじ’といわれているものの中にも色調が微妙に異なるものが数多く見出されており³⁾、これらの系統間の色調の客観的識別が生産現場や試験研究機関における課題となる。しかし、肉眼判定に頼らないで果実色調を客観的に識別したり、その方法の開発を試みた研究報告例は皆無に近い。画像解析は人の視覚(感覚)では識

キーワード: リング品種, 果実表面色調, 画像解析, 色班面積, 数量的表現

別不可能なわずかな色の差異や形状の差異をとらえ数量化する。これらの数量化されたものを幾つか組み合わせて表現することにより、観察者の個人差に影響されない再現性の高い色調の識別、評価が可能であると考えられる。本報告は上記の観点から実施したリンゴの果実表面色調の数量化とその表現方法に関する2年間の開発試験の結果をまとめたものである。

材料および方法

1. 供試品種、果皮片（全表面）のスライド作成および表色系色度（ L^* 、 a^* 、および b^* の各値）の測定

山形大学農学部付属農場の果樹園栽植および山形大学農学部実験圃場栽植の成木の9品種のリンゴ樹から収穫期に採取した果実および果物店から購入した7品種の果実（いずれも各品種5果、品種名および入手先は第1表参照）を果物ナイフで果軸を中心にして放射状に分割縦断し、丁寧に剥皮したもの（以後、果皮片と記す）を緑色の板に並べて近接撮影し（臓器撮影装置、高島商店製）、カラーズライドを作成した。次にその果皮片の着色程度を肉眼で判断しておおよそ7段階に分け、その場所に直径15mmの円形マークをマジックペンで記入し、上記と同様に撮影し、もう一枚のカラーズライドを作成した。次に、円形マーク内の表色系色度（ L^* 、 a^* および b^* ）を測定した（色彩色差計、ミノルタ、CR-200b）。色彩色差計の測光部の大きさが直径8mmであったので1円形マーク内を2反復測定した。

2. 画像処理装置のモニタ画面色輝度と表色系色度 $L^*a^*b^*$ との間の関係の調査

画像処理装置（PIAS, LA-555）のCCDカメラから取り込まれたカラーズライド画像のモニタ画面の色の輝度と果皮片の該当部分が有した表色系色度 $L^*a^*b^*$ 値との間の数量的な対応関係を見だし、この関係を用いて画像処理装置で読み取った画面上の任意の部分の色の輝度の値から、色度（ L^* 、 a^* および b^* の値）を逆に推定できる。モニタ画面上の色の光は3原色の光（赤色光、緑色光および青色光）から構成され、その構成方法は画像処理装置の性能やその解析システムによって異なるものの、その3原色の各輝度値（0~255）を組み合わせて数量的に表現される。表面色はその3原色（赤色、黄色および青色）に関係する色素が有する特有な波長帯の光の吸収・反射の結果生じるが、国際照明委員会（CIE）のもとで統一されたXYZ表色系色度、 $L^*a^*b^*$ 表色系色度、UCS表色系色度などを用いて表現されている。 $L^*a^*b^*$ 系において

表面色は L^* 値が大きいほど明るく、 a^* 値が大きいほど鮮やかな赤色、小さいほど鮮やかな緑色を、 b^* 値が大きいほど鮮やかな黄色、小さいほど鮮やかな青色を呈する。しかし、表面色の3原色のうち黄色と青色を混合すると緑色になり、光の3原色である緑色と赤色を混合すると黄色になるなど両3原色間の関係は複雑であり⁶⁾、したがって、 $L^*a^*b^*$ 系色度の各値とモニタ画面を構成する各色の輝度との間の関係も複雑であるが、両者のいずれの値とも相互に密接な関係がある。本研究の目的から見て、結果的に $L^*a^*b^*$ 値の推定精度が良ければどの組み合わせでも良いと思われたので、 L^* 値、 a^* 値および b^* 値のそれぞれと良い対応関係のある光の3原色を種々検討した。リンゴ表面の赤色が濃くなるほど暗くなり、赤色の鮮やかさ（ a^* ）と赤色光輝度との関係は複雑な関係となったが、リンゴの収穫果では赤色の補色である緑色が強くなるほど明るい。緑色の鮮やかさ（ a^* で表現される a^* 値が小さいほど鮮やかである）と緑色光輝度との関係は良好な負の相関関係にあった。白色~黄色の明るい地色の上に赤色の暗い着色斑が現れる赤色系リンゴ果実は緑色光分離画面にすると赤く着色するほどその緑色輝度は低く、その白黒画面は他の色に分離した白黒画面に比べて明るさとの対応関係が良好であった。このようなことから、本実験では a^* 値と緑色光輝度および L^* 値と緑色光輝度との間の関係を調査した。画面情報を有効に活用するために青色光輝度と b^* 値との間の関係も調査した。

円形マークの記入された果皮片のカラーズライドの緑色光および青色光の各モニタ画像（疑似カラー画像）を見ながら、円形マーク内の約半分の面積が2値化する輝度（以後、しきい値と記す）を読み取り、この測定を各品種5スライド分の全ての円形マーク内について繰り返した。得られた光の2原色の各しきい値と1.で測定した $L^*a^*b^*$ の各値との間の関係を、最小2乗法による次数を3次までとした多項式回帰により品種ごと解析した。

3. 色斑の色の違いを肉眼で識別できるしきい値のおおよその間隔の調査

肉眼で識別できる色斑の色の違いを越えてさらに細かく分割しても意味がない。そこで、1.で記した円形マークを記入する際の肉眼判断（各果実最大7段階に分割）を重視した。そこで、それぞれの円形マーク内のモニタ画面色のしきい値間隔に関するデータと各品種のしきい値の範囲を参考にした（データ省略）。なお、色調の識別は同一品種内にとどまらないことから、リンゴ全品種に共通した基準を有した色調の数量的表現が好ましいな

どの理由から、各輝度の範囲を10段階に分割することにした。要するに各果実最大7段階までは識別できたが、これは品種あるいは供試果実に特有な相対的なものであったので、品種や果実の違いを加味すると10段階がほぼ妥当である判断したものである。その結果、L*値推定のための緑色光輝度範囲(10~220)、a*値推定のための緑色光輝度範囲(10~200)、b*値推定のための青色光輝度範囲(0~150)をそれぞれ10分割するためにそれぞれのしきい値間隔はそれぞれ21, 19および15となった。

4. 画像解析法による色斑の色度別、面積別および形状係数別の度数分布解析方法

円形マークが記入されていない果皮片のカラーズライドを用い、各輝度画面において、2つの隣接したしきい値に挟まれた色斑の面積の度数分布あるいは形状係数の度数分布を画像計算した。なお、形状係数は不定形の度合を表すもので、 $\text{周囲長}^2 / (4\pi \times \text{面積})$ の計算式で算出され、数値が小さいほど円形に近くなることを示す。画像解析の対象となる2つの設定されたしきい値の間に該当する色斑の2値化画像の抽出は第1図に模式的に示す

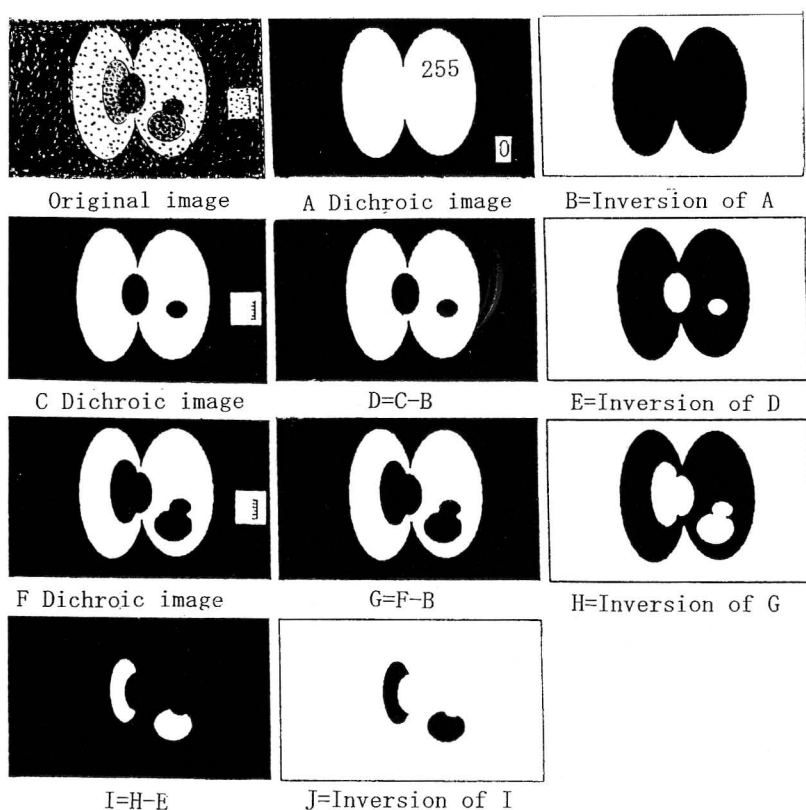


Fig. 1. The algorithm of calculations of brightness to extract a image with brightness belonging between 2 thresholds.

A: A dichroic image having 2 values of brightness (background=0, specimen=255).

C: A dichroic image with 2 values of brightness (below than a lower threshold=0, above than a lower threshold=255).

F: A dichroic image with 2 values of brightness (below than a higher threshold=0, above than a higher threshold=255).

D, G and I: Algorithm of subtraction of brightness. $255 \text{ (white)} - 255 \text{ (white)} = 0 \text{ (black)}$, $0 \text{ (black)} - 0 \text{ (black)} = 0 \text{ (black)}$, $0 \text{ (black)} - 255 \text{ (white)} = -255 \text{ (0} \rightarrow 0 \text{ (black))}$.

B, E, H and J: Inversion of brightness. white (255) \rightarrow black (0), black (0) \rightarrow white (255).

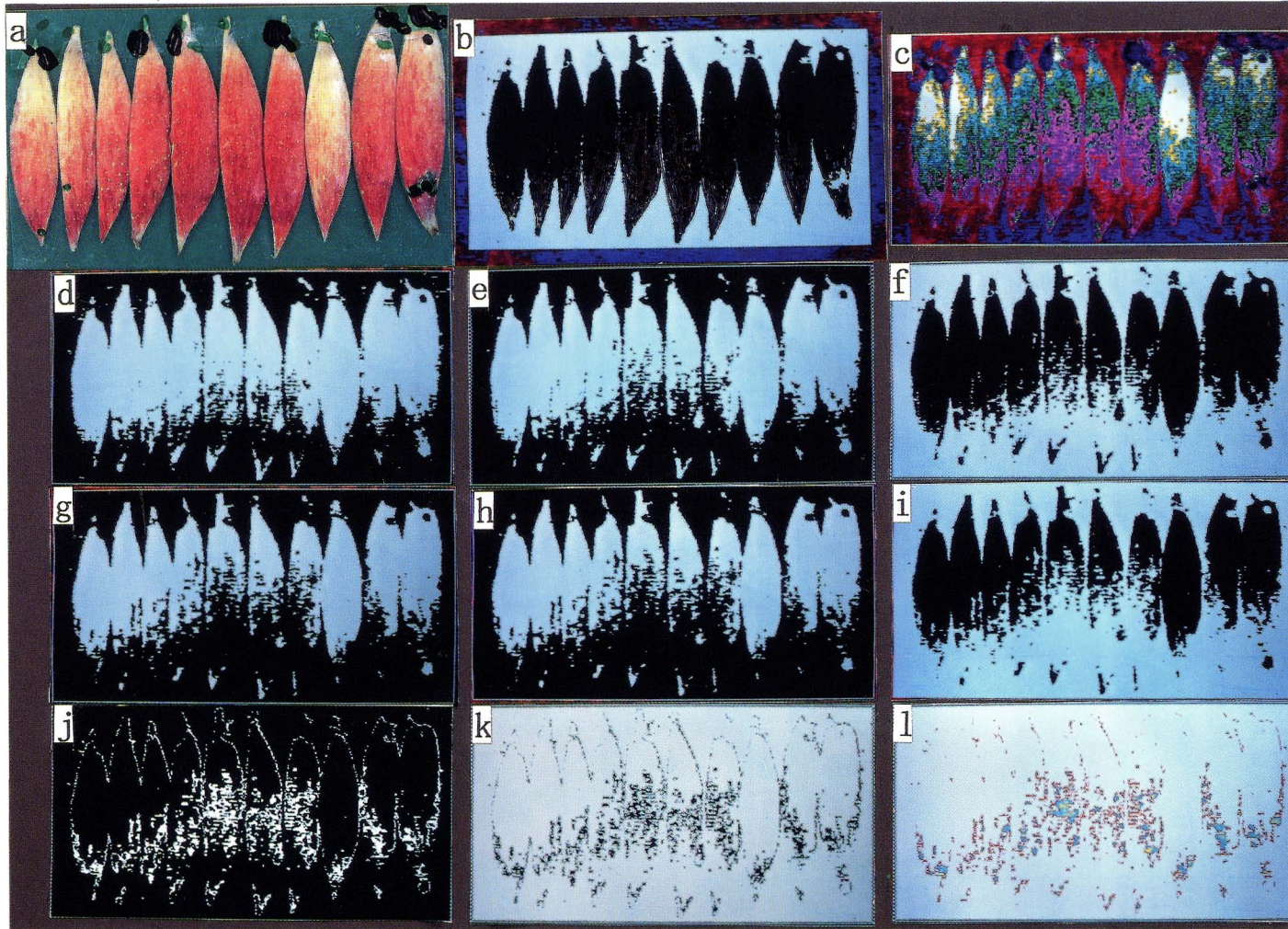


Fig. 2. An example of the image analyzing process to extract a image with brightness of green light belonging between 2 thresholds from a full color image of an apple peel (a) of 'Fuji'.
 b : A dichroic image (background=255, specimens=0).
 c : A image expressed by analog RGB 32 colors converted from brightness of green light.
 d, e, f, g, h, i, j and k corresponds to C, D, E, F, G, H, I and J in Fig. 1, respectively. l indicates a process of calculations of area of color speck, and their shape-coefficient (K) using the previous image (k).

画像計算のアルゴリズムに基づいた。原フルカラー画像について、果皮片撮影の際のバックの色だけを輝度0(暗黒)にできる分離色光画面を選び、バックのみ2値化してから(第1図A)反転し(バック部分を輝度=255の純白にする、B)、次にしきい値Aで2値化した画面(C)からバック2値化後反転画面(B)を画面間減算した画面(D)を反転する(E)。この画面はしきい値A以下の部分とバック部分のみが純白(輝度=255)となる。次に、Aより高いしきい値Bで2値化し(F)、バック2値化後反転画面(B)を画面間減算した画面(G)を反転する(H)。この画面はしきい値B以下の部分とバック部分のみが純白(輝度=255)となる。画面Hから画面Eを画面間減算すればしきい値Aとしきい値Bに挟まれた部分のみ純白になり、バックの影響を除去できる(I)。この画面をさらに反転した画面(J)が画像計算の対象になる。第2図はモニタ画面に映し出された緑色光分離の疑似カラー画像(第2図c, a*値用)を出発点として、上記のアルゴリズムに基づいて行われる画像解析の行程例を示したものである。実際には上記のアルゴリズムでは示さなかったモニタ画面内ウィンドウを設定し、その中でのみ上記の処理を行うので、果皮片と一緒に撮影したスケールや品種名ラベル片などを取り除くことができた。なお、撮影果皮片を固定する際に用いたセロファンテープに照明光が反射した所は黒のマジックインキで直接スライドの上から塗りつぶした(第2図のaの黒色部分を参照)。また、画面スケールと各色光10個ずつのしきい値は記憶され、各光分離画面(3画面)やバック2値化後反転画面は予備の画面ページに格納記憶され、画像計算結果は印字出力されるように解析行程を記憶させてあるので、スライドをCCDカメラに装着することとウィンドウを設定することを除き、他は全て自動的に行うことができた。この行程を全ての品種の全ての果実で繰り返した。

5. 画像解析結果を用いた3次元分布データの集計および3次元分布図の作図

各輝度から変換したL*a*b*表色系色度の各値をX軸にとり、画像解析結果である色斑の面積をY軸にとり、その度数%あるいは面積%をZ軸にとった2種類の3次元分布データあるいは色斑の形状係数をY軸にとり、その度数%をZ軸にとった3次元分布データを作成した。また、各軸の平均値、標準偏差、最大値、最小値およびZ値が最大になるX軸上の値またはY軸上の値(以後、最頻値と記す)、あるいはX軸とY軸から構成される全平

面ブロックのうち色斑が出現するブロックの合計数などを果実ごと計算し、これらの統計値の平均値の品種間分離度を調査した。

各品種5果のデータを平均した後に、X軸をL*a*b*の各値、Y軸を色斑面積あるいは形状係数、Z軸を度数%とした1品種合計6種類の3次元分布データについては等高線図あるいはスプライン立体図を作成し(SAS-GRAPH使用)、品種間の分布パターンを比較した。

6. 着色のむらの程度ならびにきめの細かさの比較方法

5.の分布図や統計値を参考にして果実表面の着色のむらの程度および色斑のきめの細かさを検討した。また、これとは別に、しきい値間隔を3.で記したものより広くとって、着色斑内部の色をあまり細かく分けしないで、色斑塊の集合とした画像を比較することで色斑のきめの

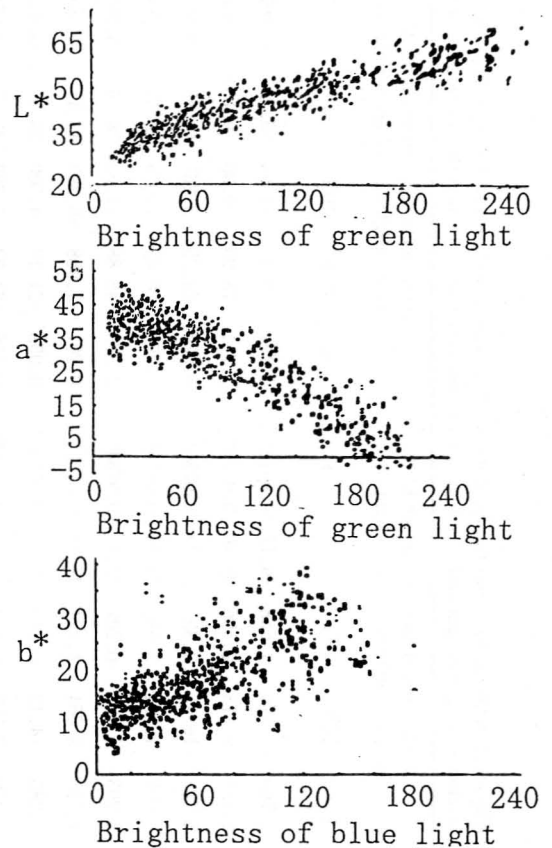


Fig. 3. Relationships between L* value and brightness of green light (upper), between a* value and brightness of green light (middle) and between b* value and brightness of blue light (lower).

Table 1. The coefficients (a, b, c) and the constant (d) of the equations ($y = ax + bx^2 + cx^3 + d$) for estimating chromatic values (L^* , a^* and b^*) using brightness of green light and blue light on a monitor, respectively, and the coefficients of multiple correlations (R) of 16 apple cultivars.

Cultivars	acqui- sitions ^z	Coefficients of an equation for L^* (y) using brightness of green light (x)					Coefficients of an equation for a^* (y) using brightness of green light (x)					Coefficients of an equation for b^* (y) using brightness of blue light (x)				
		10a	10 ⁴ b	10 ⁶ c	d	R	10a	10 ⁴ b	10 ⁶ c	d	R	10a	10 ⁴ b	10 ⁶ c	d	R
M. R. ^y	1 ^z	1.769	-5.776	1.658	26.17	0.9612*** ^x	1.491	-39.41	11.91	36.19	-0.9070***	-2.306	59.60	-23.91	10.99	0.8483***
A. S. P. ^w	3 ^z	2.191	-9.418	2.596	29.46	0.9138***	7.751	-78.90	19.00	9.159	-0.9560***	3.103	-27.76	12.67	5.236	0.8103***
Kagayaki	1	3.792	-16.45	3.355	25.29	0.9730***	0.524	-21.25	5.267	44.85	-0.9557***	2.124	-1.512	-1.839	11.15	0.9177***
Jonathan	2 ^z	3.007	-15.64	3.984	24.29	0.9828***	1.294	-30.42	7.025	38.55	-0.9214***	2.772	-27.70	14.16	8.499	0.8956***
Tsugaru	3	1.293	0.903	-0.207	32.57	0.9784***	3.389	-45.88	11.53	28.26	-0.9522***	-1.835	69.10	-33.61	13.81	0.9661***
Akane	3	1.510	-3.064	1.224	27.73	0.8458***	0.201	-1.988	-5.293	43.41	-0.6683***	0.037	4.409	-1.248	11.55	0.4748***
Nero 26	1	3.285	-14.42	3.115	25.09	0.9759***	0.952	-21.12	4.500	35.05	-0.9525***	-0.764	19.64	-5.910	8.868	0.7981***
Senshuh	3	1.679	-2.799	0.612	28.82	0.9631***	0.616	-21.93	5.720	37.57	-0.9542***	-1.433	34.01	-13.85	13.74	0.7502***
Jonagold	1	2.167	-4.552	0.396	30.48	0.9632***	-2.659	4.130	-1.381	47.24	-0.9847***	1.103	4.134	-1.009	13.51	0.8892***
Hokutoh	3	1.142	4.187	-1.543	36.54	0.9465***	-0.203	-19.24	5.126	47.81	-0.9580***	0.800	-3.123	1.663	13.98	0.6948***
S. D. ^v	1	4.347	-27.46	-7.741	22.22	0.9443***	5.830	-81.10	26.63	29.84	-0.5996***	3.330	-25.20	8.829	7.462	0.8461***
Redspur	1	2.855	-9.700	2.031	22.95	0.9684***	6.150	-74.45	21.25	27.29	-0.4843***	2.478	-16.38	11.08	5.404	0.9062***
R. D. ^u	2	1.891	-3.787	0.560	27.26	0.9594***	2.472	-38.11	10.55	33.46	-0.8002***	6.789	-99.36	48.34	0.535	0.8071***
Yohkoh	3	3.431	-13.51	2.786	26.38	0.9342***	-1.087	-4.186	0.771	48.29	-0.9238***	0.758	3.100	-2.202	11.84	0.7628***
Fuji	3	2.055	-3.932	0.401	29.71	0.9850***	-0.824	-5.525	0.794	44.09	-0.9537***	0.240	20.15	-10.71	10.68	0.9073***
Ralls	2	-0.390	15.76	-4.336	36.71	0.9606***	2.537	-44.64	12.36	28.42	-0.9463***	-2.520	41.92	-10.64	16.74	0.7415***

^z Samples were obtained from the orchard of Yamagata University Farm (1), the experimental orchard of Faculty of Agriculture of Yamagata University (2) and markets (3).

^y McIntosh Red.

^x *** indicates $P < 0.001$ (t-test).

^w American Summer Pearmain.

^v Starking Delicious.

^u Richard Delicious.

細かさの品種間比較を行った。

結果および考察

1. 各輝度による L*a*b*表色系各色度値の推定

リンゴ果実表面の色斑の明るさに密接な緑色光輝度から L*値に、緑色光輝度から a*値および青色光輝度から b*値に変換する 3 次までの多項式 ($Y = aX + bX^2 + cX^3 + d$, ただし, Y は L*a*b*表色系各色度値, X は各輝度値) の各係数 (a, b, c), 切片 (d) および重相関係数 (R) を第 1 表に示した。16 品種の全ての果実 (n=約90) から得られた上記の関係を第 3 図に示した。緑色輝度と L*値との関係は全品種および各品種とも高い正の相関が認められ、緑色輝度と a*値および青色輝度と b*値との関係はこれよりも低かったが多くの品種でそれぞれ高い負のおよび高い正の相関が認められた (第 1 表お

よび第 3 図)。重相関係数が低かった品種は緑色輝度と a*値の間では ‘あかね’, ‘スターキング・デリシャス’ および ‘レッド・スパー’, 青色輝度と b*値の間では ‘あかね’ および ‘北斗’ であった (第 3 表)。材料および方法の 2. で記したように円形マーク内の半分の面積が 2 値化するしきい値を読み取ったことから、円形マーク内の斑 (まだら) によりこの読取誤差はどの品種の輝度画面においても存在した。加えて上記の品種はいずれも色度の分布範囲が狭かったため、相関が低くなったものと考えられる。なお、第 3 図の横軸の輝度範囲が材料および方法の 3. で記した範囲を少し越えた理由は ‘祝’ などの若い緑色果のデータを含んだためである。

2. 果実表面色調の 3 次元分布図 (等高線図およびスプライン立体図) による表現

第 4 図に ‘ふじ’ (5 果平均) の L*~色斑面積~度

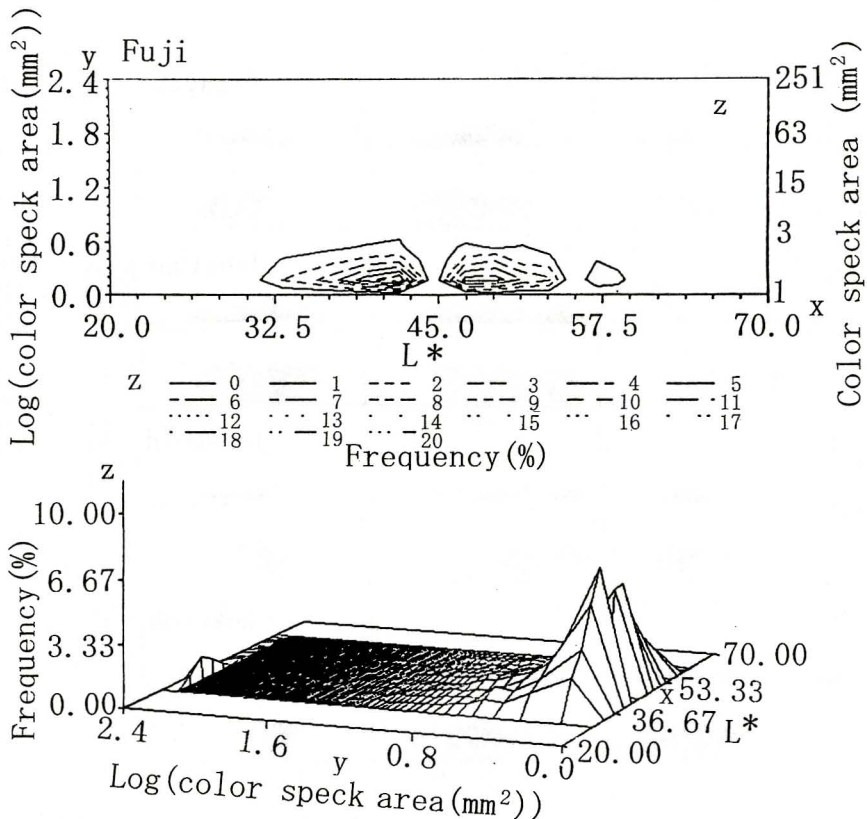


Fig. 4. An example of a contour map of L* value(x axis), area of color speck(y axis) and the % of frequency of the number of color specks against the total number(z axis) (upper). An expression of the same distribution data into a style of a spline graph (lower).

数%の等高線図とスプライン立体図を示した。色斑面積は数 mm² 付近のものがほとんどであるが同図のように数百 mm² のものもあり、Y軸に色斑面積の数値をそのまま取ると判読し難いことから色斑面積（単位：mm²）の常用対数値をとった。形状係数の場合にも同様なことが存在したため、Y軸は形状係数値の常用対数をとった。

同一の形式で3軸を表現した品種（5果平均）当たり6種類の3次元分布図（L*～色斑面積～度数%，a*～色斑面積～度数%，b*～色斑面積～度数%，L*～形状係数～度数%，a*～形状係数～度数%およびb*～形状係数～度数%）を16品種で比較したところ、6種類のパターンが相互に全く似た品種は存在せず、また、一部の種類の分布図のパターンが似た場合でも、他の種類の分布図のパターンが異なったため、結果的に品種間同志を明瞭に識別できた（第5図の4品種のパターンを参照。他の品種は省略）。ただし、着色斑と地色斑の両者が混在する

果実表面をL*値、a*値およびb*値にいったん分離してから、それぞれの色度値について一定の間隔で区切りながら、平面的に連続した区画の面積あるいは形状係数の分布を表現したので、肉眼で観察する際に印象の強い着色斑（リングでは赤色斑）の分布の特徴をこれらのパターンから直接読み取るのは難しい。a*値に関連するパターンは着色斑と密接であるが、L*値やb*値に関連するパターンはむしろ地色斑に密接である。したがって、これらのパターンの利用分野は肉眼では識別しがたい系統、品種間の色調の識別に限られるものと思われる。

3. 各種3次元分布データの統計値比較

果実全表面における色斑面積あるいは形状係数の分布データ（いずれもY軸）ならびに度数%あるいは面積%の分布データ（いずれもZ軸）の平均値の品種平均（5果反復）あるいは標準偏差の品種平均（5果反復）をDuncanの多重検定法を用いて比較したところ、これら

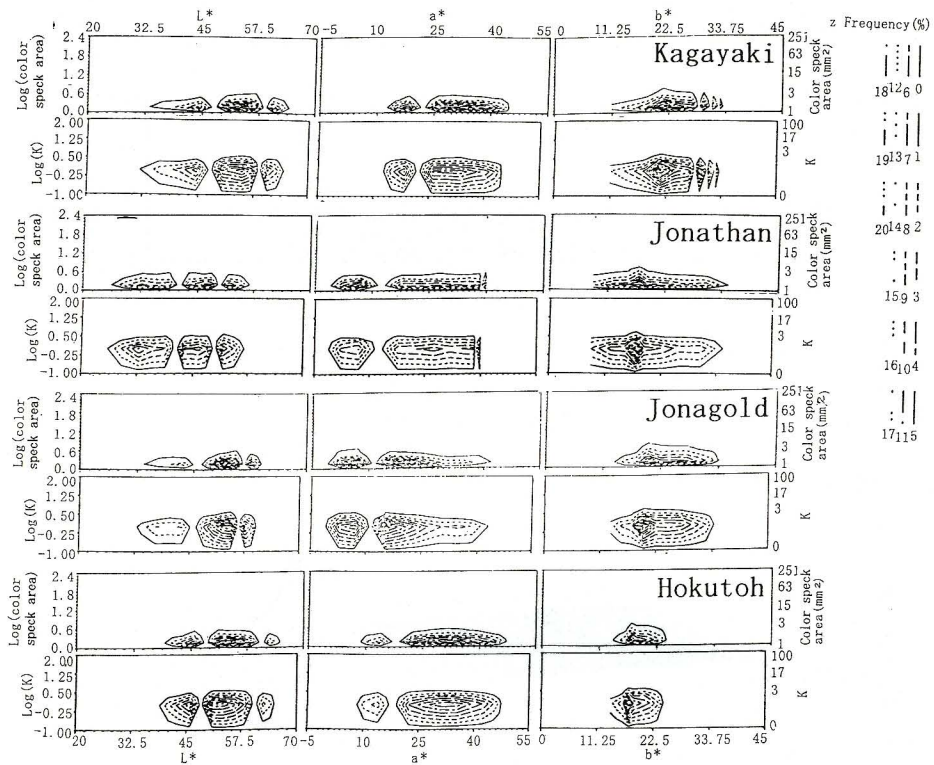


Fig. 5. Examples of 6 species of contour maps of 4 apple cultivars. The left, middle and right part indicates the distribution pattern of L* value, a* value and b* value, respectively, as x axis. The upper and lower part of each cultivar indicates area of color speck and shape-coefficient (K) of color speck, respectively, as y axis. The z axes indicate the % of frequency of color speck numbers.

Table 2. Several examples of strong separations of some statistical values from the distribution data of the several combinations of x axis (chromatic values, L*, a* and b*), y axis (area of color speck or shape-coefficient (K)) and z axis (% of the color speck area per xy block or frequency (%) of number of the color specks per xy block) among 16 apple cultivars. Abbreviations of the cultivars refer to Table 1.

y axis z axis x axis	Area of a color speck % of color speck area per xy block						Shape-coefficient (K) of a color speck Frequency (%) of number of color specks per xy block					
	b*	L*		a*		b*	L*	a*		b*		a* at maximum z
		Chromatic value	Chromatic value	Chromatic value	Chromatic value			Chromatic value	Chromatic value	Chromatic value		
Statistical values	Total numbers of blocks	MEAN ^z	MSD ^y	MEAN	MSD	MSD	MEAN	MEAN	MSD	MEAN	MSD	
Cultivars												
M. R.	215 def ^x	36.9 jk	31.4 e	28.6 ef	37.5 de	8.8 g	39.3 fg	25.4 f	37.5 efg	12.3 i	8.7 h	29.5 efg
A. S. P.	229 abcde	48.2 cdef	34.0 cd	20.5 h	21.7 g	8.1 g	48.1 b	19.7 gh	21.9 i	17.8 ef	8.7 h	18.1 gh
Kagayaki	225 bcde	52.6 ab	37.3 b	33.2 cd	44.3 a	14.1 b	53.4 a	31.8 e	44.7 ab	24.4 a	14.4 b	31.0 def
Jonathan	191 f	40.1 hi	33.9 d	34.8 c	39.5 cd	12.9 c	43.8 d	27.8 b	32.3 h	18.6 de	13.0 d	34.9 bcd
Tsugaru	246 abc	49.5 bcd	36.6 b	25.4 fg	32.0 e	12.6 cd	48.9 b	25.3 f	33.7 h	20.0 c	12.4 e	24.5 fg
Akane	155 g	34.7 jk	30.5 ef	43.3 a	43.6 ab	11.6 ef	38.6 g	41.2 a	43.6 bc	12.7 i	11.8 f	42.8 a
Nero 26	216 def	48.3 de	34.7 cd	26.7 ef	36.0 e	8.1 g	49.0 b	25.7 f	36.1 g	12.0 i	8.1 i	29.5 ef
Sensuh	234 abcd	43.6 gh	34.9 cd	28.8 ef	36.1 e	12.1 de	45.2 cd	26.0 f	37.6 efg	14.9 h	12.1 e	26.8 ef
Jonagold	250 ab	52.3 abc	39.3 a	19.9 h	36.8 e	15.4 a	51.9 a	18.1 h	39.7 de	23.1 b	15.2 a	13.5 h
Hokutoh	258 a	54.0 a	40.4 a	30.0 de	45.9 a	15.1 ab	52.8 a	31.3 e	46.1 a	18.8 cde	15.1 a	32.7 cde
S. D.	210 def	35.8 j	31.4 e	40.8 ab	38.1 de	10.9 f	32.2 h	38.0 bc	39.7 de	19.3 cd	12.2 e	41.3 a
Redspur	221 cde	31.5 k	29.2 f	41.7 a	36.9 e	8.4 g	40.5 ef	39.8 ab	38.8 ef	16.0 gh	9.2 g	40.9 ab
R. D.	205 ef	38.0 ij	31.5 e	39.0 a	36.2 e	6.6 h	41.0 e	35.2 cd	36.8 fg	15.5 gh	11.6 f	37.3 abc
Yohkoh	217 de	44.9 efg	35.7 bc	39.5 ab	45.2 a	12.9 c	48.6 b	36.7 c	45.2 ab	16.6 fg	12.9 d	40.6 ab
Fuji	221 cde	43.4 gh	36.0 bc	35.2 e	41.3 bc	11.4 ef	46.0 c	32.6 de	41.4 cd	16.8 fg	11.5 f	36.6 abc
Ralls	211 def	44.6 fg	36.8 b	22.5 gh	31.8 f	14.5 b	45.4 c	21.7 h	31.9 h	15.3 h	14.0 c	24.6 fg

^z Mean of the chromatic values of 5 fruits per cultivar.

^y Mean of standard deviations of the chromatic value of 5 fruits per cultivar.

^x Means of the statistical value with different letters in the same column were significantly different at P=0.05 by Duncan's multiple range test.

の分離は弱かった（データ省略）。この原因としては光の3原色で分離した各画面を10段階のしきい値間隔で抽出してできた不定形の区画の面積と形状係数の分布範囲はいずれの品種でもほぼ似ていたことが考えられる。これに対して、果実表面におけるL*値、a*値およびb*値の分布データ（いずれもX軸）の平均値の品種平均（5果反復）や標準偏差の品種平均（5果反復）の多くが強

く分離した。また最頻値や該当ブロック合計数も強く分離した。これらの比較的強く分離したものに限って第2表に示した。なお、x、yおよびz軸の統計値を用いた各品種の表面色調の特徴の記載については省略する。

4. 着色のむらの程度および色斑のきめの細粗の比較

果実表面の巨視的観察によってリング品種を比較すると、光環境の良否にあまり関係なく果実全面が着色する

Table 3. Relationships between 3 degrees in the unevenness of coloring from judgments based on naked eyes and 3 degrees of the statistical values in the 16 apple cultivars. Numerals indicate numbers of the apple cultivars. L, M and S indicates large, medium and small of the statistical values, respectively.

Degrees of the unevenness	Chromatic values	Mean of chromatic values			Standard deviations of chromatic values			Mean of color speck area			Mean of shape coefficient		
		L	M	S	L	M	S	L	M	S	L	M	S
High	L*	4	0	0	3	1	0	2	2	0	1	2	1
	a*	0	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	0
	b*	3	1	0	1	1	2	0	1	3	3	1	0
Medium	L*	1	5	2	2	4	2	2	2	4	3	3	2
	a*	1	5	2	2	3	3	2	3	3	2	4	2
	b*	2	2	4	3	1	4	2	4	2	2	3	3
Low	L*	0	1	3	0	1	3	1	2	1	1	1	2
	a*	4	0	0	2	1	1	2	1	1	1	0	3
	b*	0	3	1	0	3	1	3	1	0	0	2	2

Table 4. Relationships between 3 degrees in the coloring grain from judgments based on the naked eyes and 3 degrees of the statistical values in the 16 apple cultivars. Numerals indicate numbers of the apple cultivars. L, M and S indicates large, medium and small of the statistical values, respectively.

Degrees of the coloring grain	Chromatic values	Mean of chromatic values			Standard deviations of chromatic values			Mean of color speck area			Mean of shape coefficient		
		L	M	S	L	M	S	L	M	S	L	M	S
High	L*	2	3	0	3	2	0	0	3	2	3	0	2
	a*	1	2	2	3	1	1	0	2	3	2	2	1
	b*	2	3	0	2	3	0	1	3	1	3	1	1
Medium	L*	2	2	2	1	3	2	2	2	2	1	3	2
	a*	1	3	2	1	1	4	2	2	2	2	2	2
	b*	1	2	3	0	0	6	1	2	3	1	3	2
Low	L*	1	1	3	1	1	3	3	1	1	1	3	1
	a*	3	1	1	1	4	0	3	2	0	1	2	2
	b*	2	1	2	3	1	1	3	1	1	1	2	2

もの（全面着色タイプ）と光環境が悪いと地色部分が残るもの（斑（まだら）着色タイプ）に分けられる。カラースライドをもとに16品種をむらの程度から高、中、低の3群に分け、材料および方法の3. で記した種々の統計値の大きさから3群に分けて両者を比較すると、以下の傾向が認められた。すなわち、着色のむらの著しいものにはL*値とb*値の平均値が大きく、a*値の平均値が小さく、L*値の標準偏差が大きく、x軸にL*値をとった場合の色斑面積の平均面積が大きく、b*値をとった場合のそれが小さく、x軸にb*値をとった場合の形状係数が大きいものが多かった。むらの少ないものはこれとはほぼ反対の傾向でa*値の平均値が大きく、L*値の平均値が小さく、その標準偏差が小さく、x軸にb*値をとった場合の色斑面積の平均値が大きく、x軸にa*値をとった場合の形状係数が大きいものに多かった（第3表）。全面着色タイプの‘あかね’においては赤色が非常に強いが僅かに緑色部分があったため、a*値の標準偏差は大きかったが、z最頻値のa*値とa*値の平均値がほぼ一致し、同一のa*値を有した大きな面積の色斑が混在したため面積%（z軸）の標準偏差は著しく大きかった。このことから‘あかね’はa*値の分布範囲は広がったものの、ほとんどが狭い範囲の濃い赤色部分に集中分布したものと考えられる。しかし、着色のむらの程度は両

タイプとも着色改善のための栽培管理を十分行うことにより低くなるものと考えられる。

着色斑を拡大観察すると、その中に幾つかの微妙に異なる色斑が混在し、その大きさや形状の違いが着色斑のきめの細かさのちがいを与えている。カラースライドをもとにきめの細かさの肉眼判定を行い、16品種をきめの粗い、中間および細かいの3段階に分け、3. で記した種々の統計値の大きさを3段階にわけて両者を比較検討したところ、きめの粗いものにはL*値とa*値の標準偏差が大きく、x軸にb*値をとった場合の形状係数の平均が大きいものが多かった（第4表）。きめの細かいものにはL*、a*、b*いずれも色斑面積が大きく、L*値の平均と標準偏差がともに小さいものが多かった（第4表）。しかし、上記の傾向の例外も認められた。

きめの細かさの肉眼判断の際の決めてになる色斑は着色斑であることから、本実験結果の地色斑に関するこれらの統計値や3次元分布パターンを使用してきめの細粗を判別することにはもともと無理がある。そこで、方法の3. で記した方法と原理的には全く同じ方法を採用したが、緑色光輝度画面においてしきい値間隔をかなり広くとり、赤色が非常に濃い部分（緑色輝度10~80, L*が約32~45, a*が約50~30）、濃い部分（緑色輝度80~110, L*が約45~50, a*が約30~25）および薄い部分（緑色輝

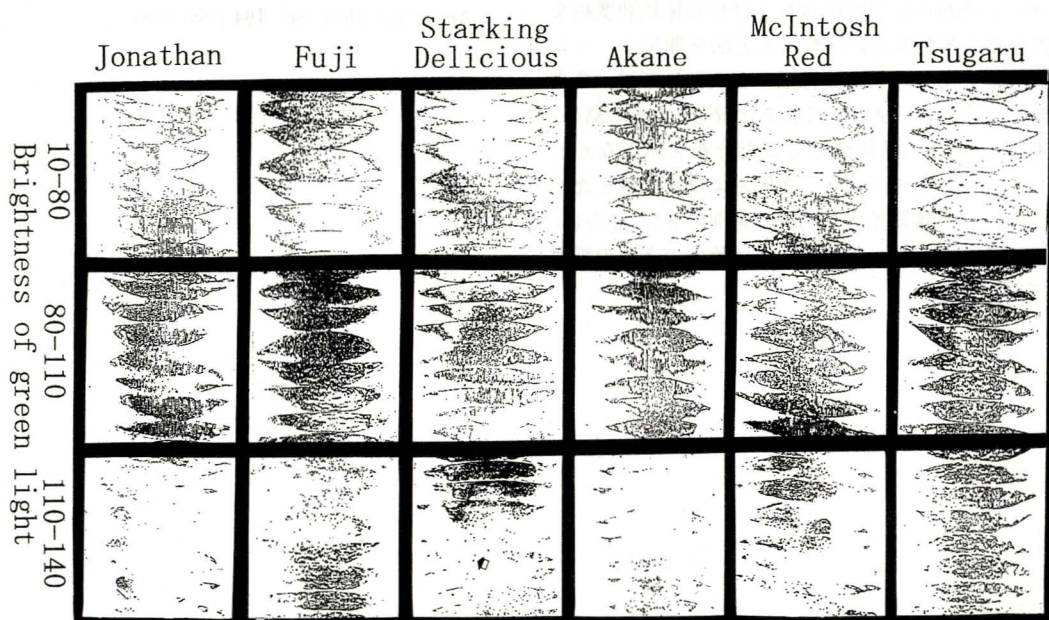


Fig. 6. Several images extracted with 3 wide intervals of brightness of green light(10-80, 80-110 and 110-140) of 6 apple cultivars. An arrow indicates a dot (a lenticel on fruit surface).

度110~140, L^* が約50~55, a^* が約25~18)に分けて,それぞれの部分の内部の赤色の微妙な違いを無視した塊に変えて,その2値化画像で比較した(第6図).なお,緑色輝度140以上は地色のみ部分として対象外とした.‘旭’(第6図McIntosh Red)では,非常に濃い,濃いおよび薄い部分が表面上の区域を異にし,その各内部のきめは細かかった.‘あかね’(第6図Akane)と‘紅玉’(第6図Jonathan)は薄い部分が極めて少なかったが,‘旭’と同様に非常に濃い部分および濃い部分の内部は均一できめが細かかった.これらに対し,‘つがる’(第6図Tsugaru)と‘ふじ’(第6図Fuji)は非常に濃い,濃いおよび薄い部分が表面上の区域をほぼ同じくして混在し,きめが粗かった.第3図には果点が分離されて現れていた.濃い色班中に薄い色の果点が点在するため,果点は薄い部分(第6図矢印)として点状に表示され,‘スターキング・デリシャス’(第6図Starking Delicious)および‘ふじ’(第6図Fuji)で顕著であった.なお,他の品種の結果は省略した.

摘 要

リンゴ果実品質の重要な要素である表面色調は従来肉眼による識別,評価に頼っていたが,これを数値を用いて客観的に表現することを目的として,画像処理装置により全表面の色班の面積別度数および形状係数別度数を $L^*a^*b^*$ 表色系の各色度別に解析する方法を開発し,リンゴ16品種を用いてこれらの6種類の3次元分布図(等高線図)および分布データの統計値を比較した.その結果,等高線図はいずれの品種間でも似た分布を示さなかった.よって,これらの3次元分布図および統計値を比較することにより品種間差異を明瞭に識別できた.さらに,16品種間の色調のむらの程度あるいは色班のきめの細粗について検討した.

引用文献

- 1) Arakawa, O. 1988. Photoregulation of anthocyanin synthesis in apple fruit under UV-B and red light. *Plant Cell Physiol.* **29**: 1385-1389.
- 2) Delwiche, M. J. and R. A. Baumgardner. 1983. Ground color measurements of peach. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* **108**: 1012-1016.
- 3) Fruit Tree Research Station, Minist. Agric. Forest & Fish. 1994. Induction, occurrence, and characteristics of several sports of ‘Fuji’ apples. In “Achievements of Horticultural Experiment Stations in Japan” (26th International Horticultural Congress. 21-27 August. Kyoto.), p.6-7.
- 4) Lancaster, J. E., J. E. Grant and C. E. Lister. 1994. Skin color in apples - Influence of copigmentation and plastid pigments of shade and darkness of red color in five genotypes. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* **119**: 63-69.
- 5) 梶浦一郎・大村三男・佐藤義彦・町田 裕. ニホンナシ品種の成熟特性の解析並びに収穫時期の判定のための「果皮着色特性図」. *園学雑.* **49**: 15-22.
- 6) 金子隆芳. 1972. 色の科学. その精神物理学. みすず科学ライブラリー 4. みすず書房. 東京.
- 7) Northmann, J., I. Rylski and M. Spigelman. 1976. Color and variations in color intensity of fruit of eggplant cultivars. *Scientia Hort.* **4**: 191-137.
- 8) Tan, C. S. 1979. Relationships and interactions between phenylalanine ammonia-lyase, phenylalanine ammonia-lyase inactivating system, and anthocyanin in apples. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* **104**: 581-586.