

特用作物の系統発生的分化に関する研究 I

主成分分析法によるシソの系統分類

村上 道夫・森 重之・中西 宏夫
吉村 清裕・中村 重夫

MICHIO MURAKAMI, SHIGEYUKI MORI, HIROO NAKANISHI,
KIYOHIO YOSHIMURA and SHIGEO NAKAMURA

Studies on the phylogenetic differentiation of the industrial crops I
Classification of "Shiso" (*Perilla frutescens* Britton var. *crispa* Decne.)
by the application of the principal component analysis

要旨：筆者らは、最近とくに減少しつつある作物の遺伝子源を保存し、その特性を再検討するという見地より、各種の特用作物について、在来系統の分布とその類縁性の解析、ならびに系統発生的分化に関する研究を実施中である。本法は、そのうち、各地域より収集したシソの在来系統に対して主成分分析法を適用し、系統の群別化と系統群相互の類縁関係を検討し、あわせて主成分のもつ生物学的意義について考察したものである。

わが国および韓国より収集した39の在来系統に対し、シソ全体、青シソおよび赤シソに区分した場合、各々に対する主成分分析の固有値 (λ_k) は、第3成分までで全分散のそれぞれ 74.4%, 84.8% および 76.7% が表わされる。従って第3成分までの成分スコアによって系統の分類を行なった結果、シソ全体では10群、青シソは11群、赤シソは6群に分類される。この分類結果は、本法と同様に距離に判定基準をおく場合のクラスター分析の結果とよく一致しているため、主成分分析法はシソの系統分類の手法としてかなり有効であるものと推察される。青シソ、赤シソとも、同一群に所属する系統はシソ全体においてもほぼ同じ群に分類され、質的形質である葉色発現機構の差異は、量的形質に基づく分類結果に対して殆んど影響を及ぼさないものと考えられる。各主成分に関する生物学的意義を検討した結果、一般にシソの特性決定には、早晚性、葉のちりめん状態、粒重および分枝穂の形状が大きい支配力を有するものと推察される。

I 緒 言

最近の特用作物の利用度の低下に伴い、諸作物ともその在来系統は急速に減少し、他と代替しえない優良遺伝子源の消滅もまた極めて著しいものがある。この遺伝子源を積極的に確保乃至は保存し、作物特性の再検討を実施することは今後の育種にとって極めて重要な課題であると考えられる。

この見地より、筆者らは、各種の特用作物について各地域より多数の在来系統を収集し、その特性の調査より在来系統の類縁性を解析し、系統発生的分化についての研究を実施中である。

現在、生物の系統発生ならびに分化に対する統計学的解析方法として多変量解析法が提起され、とくに生物の系統分類法への適用が研究されている。これには因子分析法 (Morishima ら: 1960)、クラスター分析

京都府立大学農学部作物学育種学研究室

Laboratory of Crop Science and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Kyoto Prefectural University, Kyoto, Japan.

要旨は昭和49年日本育種学会第45回講演会にて発表
昭和49年7月27日受理

法 (Michener : 1957, Liang ら : 1966, Morishima ら : 1960) および主成分分析法 (Peason : 1901, Bailey : 1956, Blackith : 1960, Jolicoeur ら : 1960, Smith ら : 1962, 吉川ら : 1969) などがある。このうちとくに主成分分析法は、分類材料に対する先験的知識のない場合の総合的評価法として最も有効であると言われているが、本法の植物に対する適用例は比較的少ない。現在迄に Gomes (1961) はトウモロコシの形質の選抜に用い、鈴木 (1966) はシロクロバーの形質相関の解析に、橋口ら (1966) は遺伝子型集団に対する本法の利用について考察し、Yarranton (1967) は植生における変異の解析に用いている。しかし、Mochizuki ら (1967) および望月 (1968) が、トウモロコシの品種分類に本法を適用し、在来系統を群別してその類縁性を考察し、本法が、系統発生の解析と品種分類にとくにすぐれた手法であることを指摘して以来、各種の作物について多くの報告事例をみるに至った。すすなわ、渡辺ら (1969) はカラタチの分類に、岩田ら (1971) および渡辺ら (1971) はイネの品種分類に、浜村 (1971) はイネ品種の形質解析に、奥野ら (1971—a) はイネの収量成績の解析に本法を適用し、さらに広崎ら (1971) はイネの環境適応性に対する評価法にも本法を用いている。その他小川ら (1972) は広くイネ属に対し、また海妻ら (1972) はダイズ属、小西 (1972) は大麦、村上ら (1972) はエゴマに対してそれぞれ本法を適用して、形質分類ならびに系統発生上の知見をえている。

本報告は、主成分分析法によるこれら一連の解析手法に準拠し、わが国に古くより特用作物として広く分布し、生食用として栽培利用されて来たシソに対して本法を適用することにより、在来系統の分類を行なうとともに、シソにおける主成分のもつ生物学的意義と、分類された系統群の類縁性を考慮し、今後の育種素材の選抜ならびに利用上の手がかりを得ようとしたものである。

Ⅱ 実験材料および実験方法

供試材料のシソ (*Perilla Frutescens* Britton var. *crispa* Decne., *P. nankinensis* Decne. etc.) はシソ科 (*Labiatae*) に属する1年草であり、東印度および中国南部の原産とされている。わが国におけるシソは未だ明確な品種分類がなされず、単に色および形状によって類別されているにすぎない。従って本実験を遂行するに当り、各地よりなるべく多数の在来系統を収集することに努めたが、その結果、第1表に示ようにわが国各地より38系統、さらに韓国 (水原) より1系

Table 1. Origin of "Shiso" lines used in the principal component analysis

Line number	Locality	Latitude
1 G ⁺	Hokkaido, Sapporo	43° 03'
2 G	"	"
3 G	"	"
4 R	"	"
5 G	"	"
6 R	Aomori, Hachinohe	40° 31'
7 R	"	"
8 R	Akita, Yokote	39° 19'
9 G	"	"
10 R	Miyagi, Furukawa	38° 34'
11 G	"	"
12 G	"	"
13 G	"	"
14 R	Miyagi, Onoda	38° 34'
15 G	Yamagata, Sakata	38° 55'
16 G	Fukushima, Aizubange	37° 34'
17 R	Saitama, Kasukabe	35° 58'
18 G	"	"
19 G	Gunma, Tonegun	36° 41'
20 G	Niigata, Sado	38° 00'
21 R	"	"
22 G	Kanagawa, Yokohama	35° 27'
23 G	Shizuoka, Gotenba	35° 17'
24 G	Nagano, Oomachi	36° 30'
25 G	"	"
26 G	Nagano, Shiojiri	36° 06'
27 R	Aichi, Chita	34° 50'
28 G	"	"
29 G	Hyôgo, Awaji	34° 20'
30 R	Hyôgo, Himeji	34° 50'
31 G	Hyôgo, Tsuna	34° 33'
32 G	Hiroshima, Innoshima	34° 18'
33 G	Yamaguchi, Yamaguchi	34° 09'
34 G	Kagawa, Zentsûji	34° 12'
35 G	"	"
36 G	Kagawa, Shôdoshima	34° 30'
37 G	Nagasaki, Iki	33° 47'
38 G	Kagoshima, Kanoya	31° 23'
39 G	The R. O. K., Suigen	36° 14'

Note : *G and R indicate Aoshiso, Akashiso lines respectively.

統、合計 39 系統 (青シソ 29 系統、赤シソ 10 系統) の 1971 年度産種子を収集することができた。これらの種子はいずれも 1972 年 4 月 27 日に本学付属農場に系統別に播種した。圃場設計は畦間 70cm、株間 20cm で 1 区 1 列 10 株を栽植し、平均的個体 5 個体を選抜して形質調

査を行ない、試験区は2回反復の乱塊法とした。

調査形質は生理学および形態学的形質を29形質選定し、後述するように、このうちより分析形質を選抜した。分析方法は既述のとおり、主として主成分分析法 (Anderson : 1957, Seal : 1964, Rao : 1964, 奥野 : 1965, 伊藤 : 1969, Kendall : 1971, 奥野ら : 1971—b, 奥野ら : 1973) によったが、これと対比するために後述のクラスター分析法をも併用した。

主成分分析法は多変量解析法における最も基本的な手法であり、 p 個の変量 (x_1, x_2, \dots, x_p) が n 個の標本について測定されている場合、1次変換を行なうことによって変量数を減少させることを目的としている。この場合、各個体は p 次元空間に散布する n 個の点を示すことになる。本分析法は、この測定値の情報量の損失をできる限り少なくして、より少ない次元数に変換し、測定値全体の変動を総合的に評価する方法とすることができる。本分析法の計算の主要部分は、まず代表形質の相関行列より固有方程式の固有値 (λ_k) と固有ベクトル (l_{ki}) とを求め、さらに全分散の累積寄与率が60~80%を示す (奥野ら : 1971—b) 成分に関してスコアの計算を行ない、形質と主成分スコアの相関係数、各形質における累積寄与率などを算出することである。

一方、クラスター分析は類縁性を数量として表わすことができ、その値に基づいて群別化、さらには樹形図化を行なうことが可能である。本実験ではクラスター間の距離を判定する諸種の方法のうち、Sokal ら (1963) に基づく方法を鈴木 (1971) の作成したプログラムによって計算し、とくに個体間距離について求めることとした。

主成分分析およびクラスター分析において算出した統計量は以下のとおりである。なお、これらの計算の主要部分は電子計算機 HITAC 8000 Series を用いて行なった。

1. 主成分分析法

$$a. \text{成分スコア } Z_{k\alpha} = \sum_{i=1}^p l_{ki} \cdot u_{i\alpha} / \sqrt{\lambda_k}$$

ただし $Z_{k\alpha}$: 系統 α の主成分 Z_k に関するスコア

l_{ki} : 主成分 Z_k に対応する固有ベクトルの i 番目の値

$u_{i\alpha}$: 系統 α に関する i 番目の形質値の基準化した値

$$b. \text{形質の基準化した値 } u_{i\alpha} = (x_{i\alpha} - \bar{x}_{i\cdot}) / \sqrt{V_{ii}}$$

c. 形質と主成分との相関係数

$$r(x_i, Z_k) = \sqrt{\lambda_k} \cdot l_{ki} \quad (k=1, 2, \dots, m)$$

d. 形質の主成分に対する累積寄与率

$$v_i = \sum_{k=1}^m r^2(x_i, Z_k) \quad (k=1, 2, \dots, m)$$

2. クラスター分析 (個体間距離による)

$$d_{jk} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^p (Y_{ij} - Y_{ik})^2}{p}}$$

$$q_{jk} = 10 - d_{jk}$$

ただし、 Y_{ij} : i 番目の系統の j 番目の形質値の基準化した値

q_{jk} : d_{jk} の10に対する補数

$j, k = 1, 2, 3, \dots$ 系統番号

$i = 1, 2, 3, \dots, p$ 形質番号

本分析は q_{jk} を用いて系統を分類する

III 実験結果および考察

1. シソ (青シソ、赤シソをふくむ) の系統分類

調査29形質の特性値の分散分析により、系統間差異の有意性を検定した結果、開花開始期、開花摘期、花序抽出始期、全花序抽出終期、小花数、主稈穂長、主稈穂巾、穂数、分枝数、鋸歯数/葉長、最大分枝節数、最大分枝穂長、最大分枝穂巾、最大分枝長、最大節間長、花粉長、花粉巾、種子長および種子巾の19形質に5%水準で有意性が認められた。なお、有意性を検定出来なかった発芽率、発芽勢および1000粒重の3形質をこれらに加えて、合計22形質について形質間相関係数を計算し、相関行列を作成した。この相関行列に基づいて22形質を形質群に分け、群内では相関が高く、群間では相関が低いかまたは無相関であるようにして分類した結果、第2表に示すように7形質群に分けることができた。この形質群には、第2群のように多数の形質をふくむ群もあれば、第5群や第7群のように独立形質群も存在する。次にそれぞれの形質群中より最も重要と考えられる形質を1つずつ抽出して各群の代表形質としたが、これらは表示するように、発芽率、花序抽出始期、小花数、最大分枝長、鋸歯数/葉長、1000粒重および最大分枝穂巾の7形質であり、この選抜7形質をもって以後の主成分分析の基礎統計量とした。

まず供試39系統について代表7形質の形質間相関行列を作成したが、その結果は第3表に示すとおりである。ついでこの行列の固有方程式の固有値 (λ_k) と固有値に対応する成分の固有ベクトル (l_{ki}) を算出し、大きさの順に求めたがその結果は第4表に示すとおりである。ここで固有値とは、互いに相関のない各成分の分散を表わすものであり、7成分で全分散を示すこ

Table 2. Selection of 7 representative characters by means of correlation coefficient between characters

Character group	Representative character **	Character belonging to the same group ***
1 (4) ⁺	Germinating rate	Germinating vigor, Pollen diameter(long), Raceme diameter on stalk.
2 (6)	Raceme emergence date (beginning)	Flowering date (beginning), do. (full), Raceme emergence date(end), Number of racemes, Number of branches, Number of nodes with max. branch.
3 (4)	Number of flowers (raceme on stalk)	Raceme length stalk, Raceme length of max. branch, Max. internode length.
4 (2)	Length of max. branch	Stalk diameter
5 (1)	Number of serration/leaf length	-----
6 (4)	1000 seeds weight	Pollen diameter (short), Seed length, Seed width.
7 (1)	Raceme diameter of max. branch	-----

Note: * Number of characters belonging to the same group.

** Characters representing respective character groups.

*** Characters showing high correlation coefficient with corresponding representative character.

Table 3. Correlation matrix of seven representative characters of "Shiso" lines

Character ⁺	x 1	x 2	x 3	x 4	x 5	x 6	x 7
x 1	1.0000	-0.4528	0.1840	0.3964	-0.3620	0.5752	0.2918
x 2		1.0000	-0.7936	0.0976	0.2054	-0.0644	0.1263
x 3			1.0000	-0.2035	0.0894	-0.0535	-0.1714
x 4				1.0000	-0.2140	0.1990	0.0175
x 5					1.0000	-0.3658	-0.0935
x 6						1.0000	0.2358
x 7							1.0000

Note: * indicate representative characters.

x 1) Germinating rate, x 2) Raceme emergence date(beginning), x 3) Number of flowers (raceme on stalk), x 4) Length of max. branch, x 5) Number of serration/leaf length, x 6) 1000 seeds weight, x 7) Raceme diameter of max. branch.

とになり、7成分の固有値の和は形質値の基準化した値の和、すなわち7に等しい。分散の大きさより考察すれば、第1成分は全分散の $\frac{1}{4}$ にあたる32.8%を示しており、また第3成分までで全分散の74.4%が表わされることになる。一般に全分散の70~80%の範囲は分析を行なうのに十分な値であるとされているので、以下の分析は第1~第3の3成分で行なうことにした。また、ここで固有ベクトル (l_{ki}) とは各成分で与えられる係数のことであり、各形質への貢献度を示すものである。

次に形質と主成分 (第1~第3成分) との相関係数

ならびに第3成分までの累積寄与率を算出したが、その結果は第5表に示すとおりである。これによれば、分散の大きい第1成分では相関の高い形質が多く、第2, 第3成分となるに従って相関は低くなる傾向を示している。一方、累積寄与率は第3成分までによって表わされる各形質の変量の割合を示すものであるが、形質 x 5 (鋸歯数/葉長) を除き、すべて各形質の60%以上が第1~第3成分によって表わされており、少数の主成分によって全分散が代表されているものと考えて差し支えない。

そこで、全系統について 第1成分 (Z1), 第2成分

Table 4. Eigen value (λ_k) and associated eigen vector (l_{ki}) obtained from principal component analysis of the 7 x 7 correlation matrix

Principal component	Z 1	Z 2	Z 3	Z 4	Z 5	Z 6	Z 7
Eigen value (λ_k)	2.3003	1.9058	1.0038	0.7891	0.6155	0.2765	0.1088
Contribution	0.3286	0.2722	0.1434	0.1127	0.0879	0.0395	0.0155
Cumulative contribution (%)	32.8	60.0	74.4	85.7	94.4	98.4	100
Eigen vector	l_{1i}	l_{2i}	l_{3i}	l_{4i}	l_{5i}	l_{6i}	l_{7i}
x_1	0.5922	0.0488	0.0343	0.2614	-0.0605	0.6402	0.4046
x_2	-0.3789	0.5574	0.0101	0.0085	-0.1655	-0.1557	0.7027
x_3	0.2047	-0.6381	0.0696	0.1588	-0.0044	-0.5236	0.4965
x_4	0.2572	0.3224	-0.5958	0.5394	0.2176	-0.3420	-0.1395
x_5	-0.3945	-0.1616	0.2061	0.7310	-0.4406	0.1339	-0.1705
x_6	0.4560	0.2434	0.1410	-0.1679	-0.7350	-0.3271	-0.1928
x_7	0.1837	0.3005	0.7592	0.2295	0.4323	-0.2228	-0.1006

Note: $x_1 \sim x_7$ show the same characters in Table 3.

Table 5. Correlation coefficient between character and principal component, and cumulative contribution of the first three principal components to the character (Shiso)

Character	Principal component			Cumulative contribution
	Z 1	Z 2	Z 3	
x_1	0.8982***	0.0674	0.0344	0.8125
x_2	-0.5748***	0.7695***	0.0101	0.9226
x_3	0.3105	-0.8809***	0.0698	0.8773
x_4	0.3902*	0.4450**	-0.5969***	0.7066
x_5	-0.5984***	-0.2231	0.2065	0.4505
x_6	0.6917***	0.3361*	0.1413	0.6114
x_7	0.2784	0.4149**	0.7607***	0.8283

Note: *, ** and *** indicate statistical significance at the 5%, 1% and 0.1% level respectively.

(Z2) および第3成分 (Z3) に関して主成分スコアを算出した。この主成分スコアは、互いに無相関でかつ理論的に直交する各主成分上の位置に相当するので、各系統は3主成分を座標軸とする3次元空間中に散布する点を表わすことになる。しかし、実際に各系統の散布状態を明瞭に把握するために、2成分づつを座標軸にとって2次元平面図を作成し、その上に各系統の主成分スコアをプロットして系統散布図を作成した。その結果は第1図に示すとおりである。すなわち、測定形質が類似している系統ほど、この3次元空間にお

ける位置が接近しているものと考えられるので、全3図に共通して相互に接近している系統を1群にまとめると、その群に所属する系統の主成分スコアは類似することとなる。換言すれば、代表7形質、ひいては全形質が類似した系統群であることを示すものである。このような群別化を行なうことにより、シソ39系統は10群に群別することが可能である。なおこの群別化は、各系統の接近度に加えて、各主成分のもつ寄与率 (第4表) をも考慮して行なったものである。この10群の中には、I, III群などのように青シソ、VI, X

群などのように赤シソのみの群も存在するが、Ⅱ、Ⅳ群などのように青シソと赤シソの混合群も存在する。また、Ⅱ、Ⅲ群のように多数の系統をふくむ群や、Ⅴ、Ⅹ群のように1群1系統で、他に類似系統を有しない極めて特異な系統群も存在している。これら10群は、第6表に示すように、形質値についても群の特性が極めて明瞭である。例えば、Ⅰ群は最大分枝長、最大分枝穂巾がともに大きく、Ⅲ群は発芽率が良好であり、かつ1000粒重、最大分枝穂巾がともに大きい。Ⅳ群は発芽率が不良であるが、Ⅴ群は発芽率が良くかつ1000粒重が大きい傾向を示している。一方、各群の成分スコアに関しても、上述の傾向と同様に各群に著しい特徴を認めることができる。

以上のように、主成分分析法により供試39系統は上位3成分によって10群に分類でき、各群はそれぞれの形質値においても、成分スコアにおいても差異の明瞭な群に分類されることが明らかとなった。

今、 n 個の個体について p 個の特性(変量)が与えられているとき、形質間相関係数、個体間相関係数および個体間の分類学的距離により、それを親近性の尺度として個体を分類するのがクラスター分析である。従って、主成分分析法による分類と判定基準が異なる

クラスター分析とを対比することは、系統分類の正確さを期す上に有意義であると考えられる。本実験においては、分類学的距離によるクラスター分析との比較を行なった。その結果は第2図に示すとおりである。クラスター分析の樹形図によれば、類縁性の高い系統すなわちクラスターの Cycle No. が小さい位置における系統、たとえば 3—12—11, 23—35—24, 4—21—27, 1—37, 14—17—7 などは、主成分分析による分類のそれぞれ、Ⅰ、Ⅳ、Ⅵ、Ⅷ、Ⅹ群に属し、両分析法はかなりよく一致しているが、中には、Ⅱ群のようにやや異なる分類を示すものも認められる。なお、Ⅹ群の所属系統(系統番号18)はクラスター分析において他の系統とは明らかに類縁性の低い位置に存在するが、本系統は主成分分析においても他の系統との類縁性が極めて低い1系統1群の独立系統である。上述のように、主成分分析法による分析結果は、各形質間の平均距離(平均差)に基準をおいて総合判定するクラスター分析の結果とかなりよく一致することが判明したが、このことは、シソの系統分類の手法として主成分分析法が有効であることを示唆するものと考えられる。

以上のように主成分分析法はシソの分類に有効であ

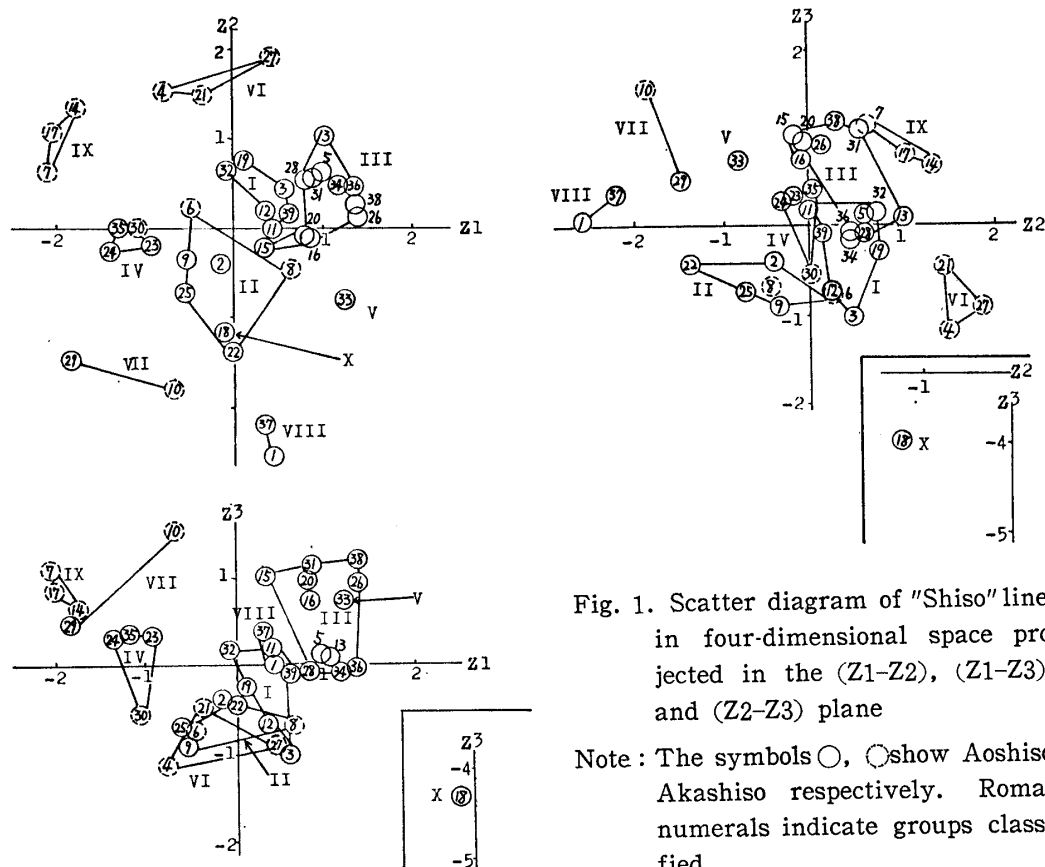


Fig. 1. Scatter diagram of "Shiso" lines in four-dimensional space projected in the (Z1-Z2), (Z1-Z3) and (Z2-Z3) plane

Note: The symbols ○, ⊙ show Aoshiso, Akashiso respectively. Roman numerals indicate groups classified.

Table 6. Mean values of 7 representative characters and 3 component scores for 10 groups

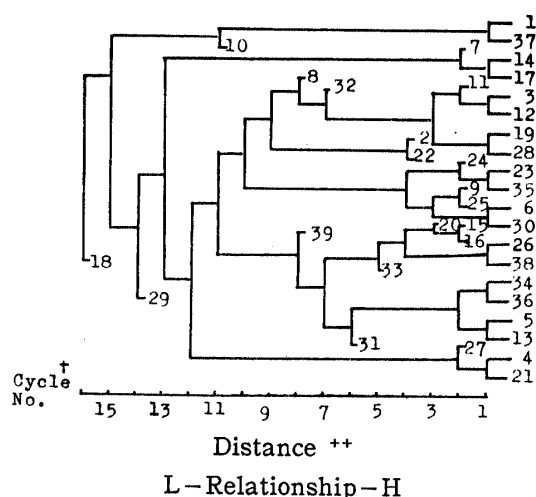
(A) 7 representative characters

Character \ Group	I + (6)	II (6)	III (11)	IV (4)	V (1)	VI (3)	VII (2)	VIII (2)	IX (3)	X (1)
Germinating rate	57.3	37.3	80.3	14.8	84.0	54.6	28.0	63.5	13.0	55.0
Raceme emergence date (beginning)	44.0	39.8	44.3	47.8	31.0	54.3	42.0	23.0	52.7	39.0
Number of flowers	56.7	60.8	56.6	55.8	65.0	43.0	67.0	70.5	44.7	61.0
Length of max. branch	120.3	114.3	112.6	102.0	107.0	121.7	81.5	94.5	96.7	130.0
Number of serration/leaf length	3.83	3.98	4.31	4.55	4.30	3.63	5.65	3.95	4.97	4.40
1000 seeds weight	1.014	0.840	1.330	0.847	1.239	1.000	0.889	0.676	0.772	1.070
Raceme diameter of max. branch	1.90	1.80	2.00	1.79	1.92	1.83	1.73	1.77	1.93	1.06

Note : *Number of lines belonging to each groups.

(B) 3 component scores

Principal component	Mean value									
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Z 1	.3420	-.1925	.9944	-1.1654	1.2475	-.5398	-1.2667	.3755	-1.9556	-.1091
Z 2	.3606	-.5370	.3382	-.1286	-.8277	1.6303	-1.6634	-2.4071	1.0234	-1.1616
Z 3	.2729	-.6396	.5444	.1296	.7447	-.8354	1.0330	.2045	.8691	-4.3526



Group	Line					
I	3	11	12	19	32	39
II	2	6	8	9	22	25
III	5	13	15	16	20	26
IV	23	24	30	35		
V	33					
VI	4	21	27			
VII	10	29				
VIII	1	37				
IX	7	14	17			
X	18					

Fig. 2. Relationships of "Shiso" by the cluster analysis (Right table shows classification by the principal component analysis to compare with cluster analysis)

Note : * The step is clustered by relationships among clusters.

** The degree of relationships among clusters.

L : low

H : high

ることが推察されたが、形質の発現機構は遺伝子の作用力の相違によってかなり異なる様相を示すことは言うまでもない。元来、シソは色素の表現型として、青シソと赤シソに区別されることはよく知られているが、色素決定の主働遺伝子と量的形質の類縁性に基づく主成分分析法との関係を検討することは、分類基準設定の見地より極めて重要である。従って、供試材料を青シソと赤シソとに区別してそれぞれに主成分分析法を適用し、その結果よりこの間の関係について考察を行なった。

2. 青シソにおける系統分類

すでに第1表に示したシソの供試39系統中、青シソは29系統存在するが、これらの測定値によって青シソ系統内の主成分分析を行なった。

代表形質選抜までの手順は前述のシソの場合と全く同様である。まず、青シソ29系統の系統間差異の有意性検定を行なった結果、測定29形質中、発芽率、発芽勢、開花開始期、開花揃期、花序抽出始期、全花序抽出終期、主稈穂巾、草丈、最大分枝穂長、最大分枝穂巾、鋸歯数/葉長、花粉長、花粉巾、種子長、種子巾および1000粒重の16形質に有意性が認められた。この16形質相互間の相関係数を求め形質間相関行列を作成し、これにより形質群に分け、代表形質を選抜した。その結果、草丈、花序抽出始期、最大分枝穂長、

花粉長、鋸歯数/葉長および1000粒重の6形質が代表形質として選抜された。そこでこの代表6形質の相関行列を作成し、これによって主成分分析を実施した。

第7表は固有方程式より求めた固有値(λ_k)およびそれに対応する成分の固有ベクトル(l_{ki})を示したものである。本表より、第1成分が34.5%、第2成分が約30%、第3成分は20%であり、この3成分で全分散の84.8%が表わされている。さらに各形質における第3成分までの累積寄与率を算出した結果、いずれの形質においても70%以上の割合でその変量が表わされることが判明した。従って、第1～第3成分によって以後の分析を行なうこととし、この3成分に関して各系統の成分スコアを算出した。

第3図はえられた成分スコアの値より前述の方法によって作成した系統散布図を示したものである。本図には第1～第2成分を座標軸とする系統散布図を示すにとどめたが、第2、第3成分による関係図にもほぼ同様の傾向が認められる。これによれば、青シソ29系統は11群に分類でき、シソ全体の場合と同様に、Ⅳ群のように多数の系統が混在する群や、Ⅶ、ⅧおよびⅪ群のように1系統1群などが存在する。なお系統33はシソ全体におけると同様に、青シソにおいても独立群を示しているが、系統28は前分析とは異なって、ここ

Table 7. Eigen value (λ_k) and associated eigen vector (l_{ki}) obtained from principal component analysis of the 6 x 6 correlation matrix (Aoshiso)

Principal component	Z 1	Z 2	Z 3	Z 4	Z 5	Z 6
Eigen value (λ_k)	2.0750	1.7917	1.2265	0.4885	0.2711	0.1468
Contribution	0.3458	0.2986	0.2044	0.0814	0.0451	0.0244
Cumulative contribution (%)	34.5	64.4	84.8	93.0	97.5	100

Eigen vector	l_{1i}	l_{2i}	l_{3i}	l_{4i}	l_{5i}	l_{6i}
x_1	0.4904	0.0720	0.4273	0.7249	-0.1796	-0.1175
x_2	-0.2277	0.6601	0.1035	0.2002	0.2983	0.6103
x_3	0.3564	-0.5141	-0.3873	0.1697	0.1072	0.6467
x_4	0.3458	0.3364	-0.6110	0.1415	0.4600	-0.4025
x_5	-0.4907	0.0351	-0.5019	0.4896	-0.5140	-0.0454
x_6	0.4692	0.4245	-0.1767	-0.3817	-0.6255	0.1769

Note: $x_1 \sim x_6$ are plant height, raceme emergence date (beginning), raceme length of max. branch, pollen diameter (long), number of serration/leaf length and 1000 seeds weight, respectively.

Table 8. Eigen value (λ_k) and associated eigen vector (l_{ki}) obtained from principal component analysis of the 8 x 8 correlation matrix (Akashiso)

Principal component	Z 1	Z 2	Z 3	Z 4	Z 5	Z 6	Z 7	Z 8
Eigen value (λ_k)	2.7385	2.1637	1.2373	0.7809	0.7337	0.2660	0.0735	0.0060
Contribution	0.3423	0.2704	0.1546	0.0976	0.0917	0.0332	0.0091	0.0007
Cumulative contribution (%)	34.2	61.2	76.7	86.5	95.6	99.0	99.9	100
Eigen vector	l_{1i}	l_{2i}	l_{3i}	l_{4i}	l_{5i}	l_{6i}	l_{7i}	l_{8i}
x_1	-.1700	.5804	.1525	-.3421	.1795	-.3329	-.4893	.3335
x_2	.5335	.0964	.1151	.2887	-.3082	-.3948	.2794	.5295
x_3	.3229	.3358	.4160	-.5226	-.1969	.1268	.3516	-.3976
x_4	-.5615	-.0216	.1370	-.1089	.2690	-.2311	.6929	.2179
x_5	.1867	.3918	.2016	.5679	.6053	.0369	.0762	-.2734
x_6	-.1510	.5399	-.3499	.1226	-.2339	.6136	.1889	.2848
x_7	-.4185	.2404	.0979	.3781	-.5704	-.3445	-.0564	-.4087
x_8	-.1840	-.1939	.7738	.1843	-.1225	.4086	-.1841	.2824

Note: $x_1 \sim x_8$ are germinating rate, raceme emergence date (beginning), stalk diameter, raceme length (stalk), angle of max. branch to stalk, pollen diameter (long), pollen fertility and seed width, respectively.

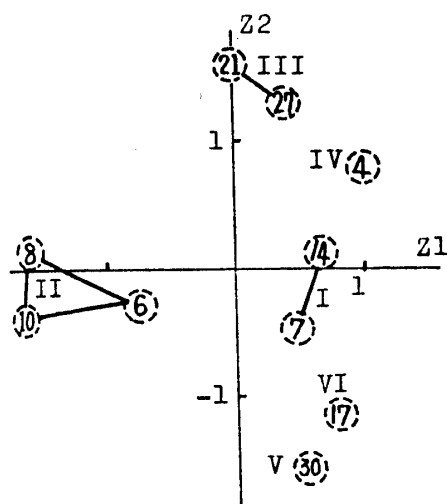


Fig. 5. Scatter diagram of Akashiso in four-dimensional space projected in the (Z1-Z2) plane
Note: Roman numerals indicate groups classified.

IV 論 議

1. 主成分分析法の適用と質的形質（葉色）との関係
主成分分析法によりシソ、青シソ、赤シソ各々について系統分類を行なった結果、シソ全体について10群、

青シソのみで11群、赤シソは6群に分類することができ、この結果はそれぞれのクラスター分析における分類ともかなりよく一致することは上述したとおりである。そこでシソ全体の分類に対して青シソ、赤シソの単独分類の所属系統がいかなる関係にあるかを比較検討したが、その結果は第9表に示すとおりである。

青シソでは、I群の18, 25, III群の23, VI群の22などの系統を除いて、同一群に分類される系統はシソ全体においても同一群に所属している。一方赤シソにおいてもI, III群などに同様な傾向が認められる。すなわち、シソの全体を主成分分析法によって分類した場合も、シソを青、赤に区別して分類を行なった場合も、所属系統がそれぞれほぼ同一群に群別化されると判断して差し支えないものと思われる。このことは、青シソのみで分類を行なう場合、それに他の変量（赤シソ）が加えられても、青シソの変量に基づいて分類するに十分な群間差異が存在すれば、他の変量の影響を殆んど受けないことを示唆している。しかし、シソ全体に比べて青シソ、赤シソ単独分類の場合は、さらに細群化される傾向を示している。

既述のとおり、主成分分析法は数量化されたデータにより分析されるものである。従って、より多くの量的、質的形質を変量化し、変異の総合評価を行なう

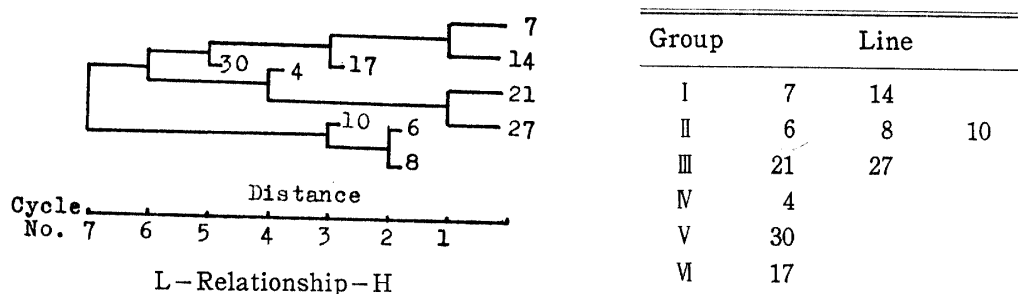


Fig. 6. Relationship of Akashiso by the cluster analysis (Right table shows classification by the principal component analysis to compare with cluster analysis)

ことは、品種および系統分類に際して極めて重要と考えられる。しかしながら、質的形質においてはその数量化が極めて困難であり、現在までの報告例は大部分が数量化の容易な量的形質に関するものであり、質的形質には言及されていない。

本実験の結果より、主成分分析法の適用によるシソの分類に対しては、質的形質である色について区別する必要はないものと推察される。このことは、他作物に対する主成分分析の適用に際してもかなり有力な手がかりを与えるものであるが、本問題の解明に関しては、今後さらに詳細な研究にまつべきであると考えられる。

2. 群間相互の類縁性

前述の結果より、供試39系統はほぼ10群に群別され

ることが判明した。従って次に、この10群の群間類縁性を検討することにより系統分化を考察する基礎資料を得ようとした。

従来、系統間、群間の類縁性については Pearson (1926), Sokal (1961), Mochizuki ら (1967) などによって種々の方法が提案されているが、本実験では Mochizuki らの提起した方法と同様に、成分スコアによる方法に従って算出した。

まず各群の平均成分スコアを3成分についてそれぞれ求め、これより各群間距離をピタゴラスの定理を拡張して算出した。この群間距離が小さい程、類縁性が高いことを示唆している。群間距離は最小値1.09 (I群とIII群) より最大値 35.44 (IX群とX群) の広い範囲にわたっているが、第7図は各群の類縁性を判別し

Table 9. Classification of Aoshiso, Akashiso lines by the application of the principal component analysis

Aoshiso					Akashiso			
Group	Line				Group	Line		
I	11(I) ⁺	12(I)	18(X)	25(II)	I	7(K) ⁺	14(K)	
II	3(I)	19(I)			II	6(II)	8(II)	10(VII)
III	2(II)	9(II)	23(IV)		III	21(VI)	27(VI)	
IV	13(III)	15(III)	16(III)	20(III)	IV	4(VI)		
	26(III)	34(III)	36(III)	38(III)	V	30(IV)		
V	5(III)	31(III)			VI	17(K)		
VI	1(VIII)	22(II)	37(VIII)					
VII	28(III)							
VIII	33(V)							
IX	24(IV)	35(IV)						
X	32(I)	39(I)						
XI	29(VII)							

Note: ⁺ Roman numerals in parentheses indicate groups in the total "Shiso" lines.

やすくするために、5段階に大別して類縁関係を図示したものである。

本図によれば、I、II群はIII、IV、V、VI群との類縁性が高く、又IV群はVI、VII、IX群と、VIII群はII、V、VII群との間にそれぞれ高い類縁性が認められる。

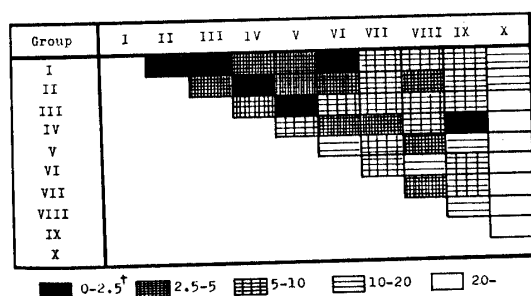


Fig. 7. Diagram showing the relationships among 10 groups

Note: * Numerical values show average square distance between groups calculated by the next formula.

$$d_{ab}^2 = \sum_{k=1}^3 (Z_{ka} - Z_{kb})^2$$

d_{ab}^2 : Average square distance between group a and b.

Z_{ka} , Z_{kb} : Mean of component score Z_k with group a, group b respectively.

概して、I～IX群は相互に何らかの関連性が認められるが、これに反してX群は、他の9群との間の関連性が極めて低いと考えて良い。

これらの群間関係は表現型としての形質値に基づく成分スコアによって決定されているが、橋口ら(1966)が指摘するようにこれらは群乃至は系統の遺伝子型を表現するものと考えて差し支えない。この観点に立てば、これらシソ10群の類縁性を系統発生的分化と関連づけて考察することが可能である。このことはさらに、主成分分析法は作物の発生分化ならびに進化を解く有力な手がかりを与えるものと考えられることができる。

3. 主成分の生物学的意義

主成分分析法によって算出された成分のもつ生物学的意義が判明すれば、分類された群の特性や植物体のタイプを明らかにできるものと考えられる。本分析の基礎となる成分スコアの符号と絶対値は、測定値および固有ベクトルの符号と絶対値により決定される。そこで、第1成分～第3成分に関して、固有ベクトル(方向係数)の各成分への貢献度によって形質の類別を行なうことにした。その結果は第10表に示すとおりである。本表より以下のごとき生物学的意義を考察することができる。

1) 第1成分では係数が正で絶対値の大きい形質順に示せば発芽率、1000粒重であり、負の場合は鋸歯数

Table 10. Division of characters by the degree of contribution of eigen vector to the first three principal components

Principal component Class*	Z 1	Z 2	Z 3
+	Germinating rate 1000 seeds weight	Raceme emergence date (beginning) Length of max. branch Raceme diameter of max. branch	Raceme diameter of max. branch
0	Number of flowers Length of max. branch Raceme diameter of max. branch	Germinating rate Number of serration/leaf length 1000 seeds weight	Germinating rate Raceme emergence date (beginning) Number of flowers Number of serration/leaf length 1000 seeds weight
-	Raceme emergence date (beginning) Number of serration/leaf length	Number of flowers	Length of max. branch

Note: * Representative characters were assorted by the values of eigen vector of the first three principal components (vid. Table 4.).

+ : >0.30 , $0.29 > 0 > -0.29$, - : <-0.30

／葉長，花序抽出始期である。ここで発芽率，1000粒重が大きいほどこの成分スコアは大きくなる。換言すれば，第1成分が大きくなるに従い，発芽率，1000粒重が大きくなる反面，鋸歯数／葉長，花序抽出始期の値が小さくなることを示している。なお，係数が0又はそれに近似する形質においては，成分への貢献度は小さい。従って，第1成分の増大は，系統の変異方向として発芽率の向上と1000粒重の増大をもたらすとともに，早生化し，かつ葉の周辺に丸みをおびることとなる。このことは，第1成分は生物学的には生長期間の長さ，種子および葉の形状に関連する成分であると考えられる。なお，鋸歯数／葉長は葉のちりめん状態と関連性があり，その値が大きくなるほどちりめん性は強くなる傾向が認められる。

- 2) 第2成分で正の係数を示すものは，花序抽出始期，最大分枝長および最大分枝穂巾であり，負であるのは小花数のみである。このことは晩生化および最大分枝の伸長に伴い，この成分は大きい正の値をもつが，小花数が減少することを意味している。従って，第2成分は晩生分枝型と早生主稈型に関与するものであり，植物体の横方向への広がり，すなわち植物体の草型に関連する成分であると考えられる。
- 3) 第3成分においては，大部分の形質が0に近似しており，正は最大分枝穂巾，負は最大分枝長のそれぞれ1形質にすぎず，ここでは第2成分における両形質の係数値の関係とは，顕著な差異のあることを示している。なお，第3成分は生物学的にみれば分枝に関連した成分であると考えられる。

以上の各成分に対する生物学的意義を要約すれば以下のとおりである。

第1成分：早晩性を伴う種子の成熟ならびに葉の形

第2成分：早晩性を伴う植物体の横への広がり

第3成分：最大分枝に関する成分

これらの成分の生物学的意義に関して実際に分類された10群の特性値ならびに群成分スコア（第6表）によって検討すれば，例えば，第1成分が最大であるV群では花序抽出始期が早くかつ発芽率が最も高い。一方，最大分枝長が最大でかつ最大分枝穂巾が最小であるX群では第3成分が最小となっている。

すでに述べたように本実験においては，第1成分が全分散の32.8%で最も大きい分散を示したことより，3成分中，第1成分に関する変異が最も主要な変異であることは，その生物学的意義の判定に際して，特に考慮する必要があると思われる。

一方，調査形質中，開花開始期，開花揃期，花序抽出始期，全花序抽出終期，鋸歯数／葉長，最大分枝穂長，最大分枝穂巾，花粉長，種子長および種子巾の10形質はシソ，青シソおよび赤シソいずれの分析においても有意な系統間差異を示した。これらの農学的特性と各成分の生物学的意義を考慮すれば，一般にシソの特性を決定する上に早晩性，葉のちりめん状態，1000粒重および分枝穂の4形質が極めて大きい支配力を有するものと考えられる。

引用文献

- 1) Anderson, T. W. (1957): An Introduction of Multivariate Statistical Analysis: 272—287. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- 2) Bailey, D. W. (1956): Growth, **20**: 63—74.
- 3) Blackith, R. E. (1960): Biometrics, **16**: 28—40.
- 4) Gomes, F. R. (1961): Experientiae, **1**: 25—64. Biol. Abst., **37**: No. 19807.
- 5) 浜村邦夫 (1971): 育雑, **21** 別冊 1: 40—41.
- 6) 橋口渉子・森島啓子 (1966): 育雑, **16** 別冊 2: 46—47.
- 7) 広崎昭太・奥野忠一・松尾孝嶺 (1971): 育雑, **21** 別冊 2: 108—109.
- 8) 伊藤孝一 (1969): 多変量解析の理論, 培風館.
- 9) 岩田伸夫・中川原捷洋・秋浜友也 (1971): 育雑, **21** 別冊 1: 38—39.
- 10) Jolicoeur, P. and J. E. Mosimann (1960): Growth, **24**: 339—354.
- 11) 海妻矩彦・堀江正樹 (1972): 育雑, **22** 別冊 2: 110—111.
- 12) Kendall, M. G. (1957): A Course in Multivariate Analysis. Charles Griffin & Co.
- 13) 小西猛朗 (1972): 育雑, **22**, 別冊 1: 165—166.
- 14) Liang, G. H. L. and A. J. Casady (1966): Crop Sci., **6**: 76—79.
- 15) Michener, C. D. and R. R. Sokal (1957): Evolution, **11**: 130—162.
- 16) Mochizuki, N. and T. Okuno (1967): Japan. J. Breed., **17**: 39—48.
- 17) 望月 昇 (1968): 農技研報告, D—**19**: 85—149.
- 18) Morishima, H. and H. Oka (1960): Evolution, **14**: 153—165.
- 19) 村上道夫・吉村清裕・中村重夫 (1972): 育雑, **22** 別冊 2: 112—113.
- 20) 小川紹文・片山 平 (1972): 育雑, **22** 別冊 1:

- 83—84.
- 21) 奥野忠一 (1965) : 標準化, **18**(1) : 33—38. **18**(2) : 49—53.
- 22) ———・菊池文雄・奥野千恵子・塩見正衛・田淵ひろみ(1971—a) : 農技研報告, A—**18** : 93—143.
- 23) ———・久米 均・芳賀敏郎・吉沢 正 (1971—b) : 多変量解析法 : 159—257. 日科技連.
- 24) ———(1973) : 数理科学, No. **117** : 5—11.
- 25) Pearson, K. (1901) : Phil. Mag., **2** (six series) : 559—572.
- 26) ———(1926) : Biometrika, **18** : 105—117.
- 27) Rao, C. R. (1964) : Sankya, Series A**26** : 329—358.
- 28) Seal, H. L. (1964) : Multivariate Statistical Analysis for Biologists : 101—122. Methuen & Co.
- 29) Smith, C. and J. W. B. King (1962) : Animal Produc., **4** : 42—43.
- 30) 鈴木 茂 (1966) : 育雑, **16** 別冊 2 : 42—43.
- 31) ———(1971) : 農林省研究計算センター報告, A—**7** : 145—170.
- 32) Sokal, R. R. (1961) : Systematic Zool., **10** : 70—79.
- 33) ———and P. H. A. Sneath (1963) : Principles of Numerical Taxonomy. Freeman & Co.
- 34) 渡辺 洋・安室喜正・山縣弘忠 (1969) : 育雑, **19** 別冊 2 : 25—26.
- 35) 渡辺利通・岡部四郎 (1971) : 育雑, **21** 別冊 2 : 106—107.
- 36) Yarranton, G. A. (1967) : Canad. J. Bot., **45** : 93—116.
- 37) 吉川誠次・石間 紀男・五十嵐洋子・斎藤 説子 (1969) : 食糧研報告, **24** : 23—30.

Summary

The 39 local lines of “Shiso” (*Perilla frutescens* Britton var. *crispa* Decne.) collected from Japan (38 lines) and R. O. K. (1 line) were classified by application of the principal component analysis (P.C.A.) in order to investigate the phylogenetic differentiation and to conserve desirable gene sources of the crop.

Twenty nine characters were investigated, from which the representative characters were selected based on correlation matrix of characters showing significant line differences, and only these characters were analysed thereafter.

Lines were divided by leaf colour to 29 green lines (Aoshiso) and 10 red lines (Akashiso). “Shiso” (Aoshiso + Akashiso), Aoshiso and Akashiso were analysed by P. C. A. separately, and the cumulative contributions of eigen values to the first three principal components amounted to 74.4%, 84.8% and 76.7%, respectively. Classification of lines by use of component scores of the first three components, as more than 70% cumulative contribution is enough to analyse, resulted in 10, 11 and 6 groups in “Shiso”, Aoshiso and Akashiso, respectively. The P. C. A. was considered an

efficient procedure to classify the crop, because of coincidence of this classification result with the cluster analysis based on mean distances among characters. The lines belonging to the same groups in Aoshiso and Akashiso classifications were almost always assorted to the same groups in “Shiso” classification. Therefore, the difference in leaf colour manifestation as a qualitative character was considered unrelated to classification due to quantitative characters. Judging from the contributions of eigen vectors to the first three components, each component was interpreted to possess the biological significance as follows :

- 1) First component : concerned with growing period, seed ripening and leaf shape.
- 2) Second component : concerned with growing period and luxuriance of plant.
- 3) Third component : concerned with shape of maximum branch.

From the result mentioned above, the P. C. A. is contemplated to give promising clues to the consideration of phylogenetic differentiation and to search and selection of breeding materials in “Shiso”.