

サツマイモ近縁野生植物の系統分類およびその育種的利用に関する研究

小 巻 克 巳*

抄 録

サツマイモの遺伝変異を拡大するための素材としてその近縁野生植物 (*Ipomoea* 属 *Batatas* 節植物) に着目した。わが国には西山(1959)以来、中南米から多数の近縁野生植物が導入され、現在では、サツマイモと交雑が可能な野生植物は倍数性を問わず *Ipomoea trifida* と同定されている。しかし、米国の研究者は4倍体および6倍体植物は *I. batatas* であるとしている。そこで、わが国に導入された近縁野生植物の系統分類学的考察を行うとともにこれまで利用されていない近縁野生植物の育種利用を試みた。

サツマイモ近縁野生植物の系統分類学的研究においては、形態的変異、相互の交雑関係およびRAPDパターンを解析し、サツマイモと交雑が可能な *Ipomoea* 属 *Batatas* 節第1群植物は、形態的、生物学的および分子遺伝学的に一つの種であり、*I. batatas* と同定するのが妥当であると結論した。

サツマイモ近縁野生植物の育種的利用については、根の肥大能力について変異の大きいことが報告されている2倍体植物に着目し、サツマイモとの交雑の可能性、利用できる形質、およびサツマイモとの雑種の生産力を評価した。その結果、サツマイモと2倍体植物の交雑は可能であること、根の肥大能力については圃場栽培でも直径が20mmを超える太い根をもつ個体が発見すること、サツマイモネコブセンチュウ抵抗性も概して強いことを明らかにした。さらに、サツマイモと2倍体植物の雑種が高い頻度で塊根を形成し、塊根形成の優れた雑種個体を高でん粉多収のサツマイモ品種と戻し交雑した後代では、多くの個体が優れた塊根形成を示すことを明らかにした。

キーワード: イポメア属植物、塊根形成、系統分類、サツマイモ、倍数性

Abstract

Wild species closely related to sweetpotato, genus *Ipomoea*, section *Batatas*, were investigated to enhance sweetpotato genetic variations. A large number of wild species related to sweetpotato had been introduced from Central and South America since Nishiyama's (1959) first expedition to the area. All the wild species that could be crossed with sweetpotato were classified into *I. trifida* in Japan irrespective to ploidy levels, though American scientists had reported that the hexaploid and tetraploid species belonged to *I. batatas*.

This study aimed of analyzing the phylogeny of sweetpotato and its wild species, and of using the species for sweetpotato breeding.

Firstly, morphological variation, crossing ability and RAPD pattern of the sweetpotato and its closely related species were analyzed in the phylogenetic study. As a result of the experiments, it was concluded that the accessions belonging to Group I of section *Batatas*, genus *Ipomoea*, which can be crossed with sweetpotato, formed one taxon, designated as *I. batatas*.

Secondly, diploid accessions, which were reported to have thick roots, were mainly used for sweetpotato breeding. Diploid accessions were evaluated from the viewpoints of crossing ability with sweetpotato, characters which could be used for sweetpotato improvement, and productivity of the progenies resulting from the crosses with sweetpotato. Diploid accessions produced hybrids with sweetpotato, though seed setting was very poor. Variation in root thickness was observed among the accessions, and one of them showed a diameter of more than 20 mm. Eighty percent of the progenies were resistant to the root knot nematode, *Meloidgyne incognita*, suggesting that diploid accessions could be used as a source of root knot nematode resistance. Furthermore, most of the progenies of the crosses between sweetpotato and diploid accessions produced storage roots. High storage root weight was also found in the back-crossed progenies of the hybrids to sweetpotato.

Key Words: genus *Ipomoea*, section *Batatas*, phylogeny, storage root, breeding materials, sweetpotato

目 次

緒言	4
サツマイモとその近縁野生植物の系統分類学的研究	7
1 導入されたサツマイモ近縁野生植物の形態的変異の解析と分類	8
1) 材料および方法	9
2) 結果および考察	9
2 <i>Ipomoea</i> 属 <i>Batatas</i> 節第 1 群に属する 4 倍体植物の形態的変異と交雑程度の解析 ...	16
1) 材料および方法	17
2) 結果および考察	18
3 <i>Ipomoea</i> 属 <i>Batatas</i> 節第 1 群に属する植物の Randomly amplified polymorphic DNA (RAPD) パターンの解析	24
1) 材料および方法	24
2) 結果および考察	25
4 考察	27
サツマイモ近縁野生植物の育種的利用に関する研究	29
1 サツマイモと 2 倍体近縁野生植物との交雑の可能性	30
1) 材料および方法	31
2) 結果および考察	32
2 2 倍体近縁野生植物の育種素材としての価値	34
1) 材料および方法	34
2) 結果および考察	37
3 サツマイモとの交雑および戻し交雑による 2 倍体植物の利用	39
1) 材料および方法	39
2) 結果および考察	42
4 考察	44
総合考察	46
1 導入植物の分類と同定	46
2 サツマイモ育種への近縁野生植物の育種的利用の展望	47
摘要	49
謝辞	50
引用文献	51
Summary	55

緒 言

サツマイモ、*Ipomoea batatas* L. Lam、の原産地は栽培種の遺伝変異の大きさ、近縁野生種の多様性などからメキシコからペルーにかけての地域であろうと推定されている(小林 1984、Ugent *et al.* 1981)。サツマイモは紀元前3000年にはこれらの地域で栽培され、紀元前1000年頃には南太平洋の島々に伝わり、コロンブスの新大陸発見以後は大西洋ルートでヨーロッパに、太平洋ルートでフィリピンに伝わり、アジア・アフリカへと広がっていったと考えられている(坂井 1999)。

サツマイモは太陽エネルギー固定効率が高く、不良環境に対する適応性が高いことや致命的な損害を与える病害虫が少ないところから、温帯から熱帯にかけて世界各地で栽培されている。1996年の世界のサツマイモ栽培面積は約915万ヘクタール、生産量は1億3千4百万トンで、いも類ではジャガイモとキャッサバに次ぎ第3位である(FAO 1996)。もっとも生産量が多いのは中国であり、栽培面積では世界の約2/3、生産量では約85%を占めている。ウガンダ、ベトナム、インドネシアなどのアジア・アフリカ地域で栽培が盛んであるが、アメリカ大陸での栽培面積は比較的少ない。

わが国では関東や南九州の畑作地帯の基幹作物として重要な作物の一つである。1600年代に導入されて以来、栽培面積は徐々に拡大し、特に第二次世界大戦中やその後の食糧難の中で、作付けが急速に増加した。その後、1950年前後まではでん粉原料用作物として、国によってその栽培が奨励されたため、1949年には栽培面積が44万ヘクタールに、1955年に生産量が718万トンにまで増大したが、この頃からでん粉原料として廉価なトウモロコシが輸入されるようになり、栽培面積は減少に転じた。その後、輸入トウモロコシの買入れ可能量を国産でん粉の買入れ量で制限する政策がとられたものの、原料サツマイモの価格が抑えられたことから、栽培面積は急激に減少し、農林水産省によれば

1999年には4万5千ヘクタールにまで落ち込んでいる。このような状況を打破するために、サツマイモも他の作物と同様に、高品質化・低コスト化が求められ、でん粉原料用のサツマイモについては、特に生産コスト低減にむけた収量およびでん粉歩留の飛躍的な改善が望まれている。

わが国には1600年代前半以降、様々な経路でサツマイモ品種が導入され、各地に定着してきた。この間、篤農家らによって、自然突然変異の利用、自然交雑実生からの選抜により、新しい品種が創出されてきたが、農林省がサツマイモをわが国畑作の基幹作物であると定め、国主導の育種を開始した1927年からは在来品種間の交雑育種が組織的に行われ、農林1号、農林2号、タムユタカなどの著名な品種が多数生み出された。しかし、交雑親として、七福、潮州、太白、吉田、元気、暗川、名護和蘭という限られた品種が用いられたために、近親交雑が進み、他系交雑によるヘテロシス効果が従来ほど期待できなくなった(坂井・広崎 1965)。このため、遺伝的変異の拡大を目的として、外国品種が交雑親として積極的に導入されるようになり、このうち米国品種のL-4-5およびインドネシア品種のT. No.3が、高でん粉多収品種のコガネセンガンの育成に貢献した。これらの成果をもとに坂井(1964)は広い遺伝的変異と組合せ能力の向上が優良品種の育成に不可欠であると指摘し、栽培種のみならず近縁野生種にも目を向ける動きが起こってきた。

こうした状況の中で、西山(1959)がメキシコで収集した6倍体植物(K123)が、わが国のサツマイモの起源に関する研究およびサツマイモ育種への近縁野生植物利用に大きなきっかけを与えた。K123はサツマイモと交雑が可能ではあるものの、サツマイモに比べて蔓が細く、巻きつき性を有し、塊根を形成しないため、西山ら(1961a、b)はサツマイモとは別種の*Ipomoea trifida*(H.B.K.)G. Don.と同定した。こ

の同定は、後述する日米研究者による論争を引き起こしたが、K123のもつ高度なサツマイモネコブセンチュウ抵抗性は、サツマイモネコブセンチュウ抵抗性育種における有用な遺伝資源であると考えられ、積極的に育種利用が図られた。その結果、サツマイモとの雑種にサツマイモを2度戻し交雑した世代から、高でん粉多収で、高度ネコブセンチュウ抵抗性を示す系統が得られ、「ミナミユタカ」として農林水産省命名登録された(小野ら 1977)。この成果は、近縁野生植物を利用したサツマイモ育種の有効性に展望を与えるものである。

その後、サツマイモと交雑が可能な2倍体(K221)、3倍体(K222)および4倍体(K233)がメキシコで発見され、Teramura (1979)により、それぞれ*I. leucantha* Jacq.、*I. trifida*および*I. littoralis* Bl.と同定された。Nishiyama (1971)は、これらの植物がサツマイモと同じゲノムを有し、細胞遺伝学的観点からは異種とするほどの差がないため、すべて*I. batatas*と同定し、それぞれを*leucantha*、*trifida*、および*littoralis*という変種として位置づけるべきであると結論した。そして、Nishiyama *et.al.* (1975)はサツマイモが2倍体植物の同質倍数化により進化し、6倍体においてサツマイモへ分化したという仮説を提示するに至った。

しかし、米国の研究グループは、西山ら(1961a、b)およびTeramura (1979)の同定に当初から疑問を呈していた。Jones (1967)はサツマイモの任意交配集団における地上部形態の変異の解析に基づいて、K123は*I. trifida*ではなく、単なる野生型のサツマイモであると同定し、Jones (1970)およびMartin and Jones (1972)はK233と形態的に酷似した植物を*I. gracilis*と同定した。さらに、Austin (1977)はK123をサツマイモ、K233をサツマイモと2倍体の野生種(おそらく*I. trifida*であろうとしている)の雑種であるとした。このため、Nishiyama (1971)が*Ipomoea*属の分類について示した考え方は、わが国のサツマイモの起源に関する研究を進展させた反面、K123の同定で始まった種名に関する日米研究者間の論争をさ

らに激しくすることになった。

サツマイモおよびその近縁野生種の分類については、Choisy (1845)が行って以来、広範に研究されることは少なく、van Ooststroom (1953)がアジアに自生する*Ipomoea*属の種の相互の関係から、サツマイモともっとも近縁な種を*Batatas*節として整理するまで、顕著な業績は認められなかった。その後、Verdcourt (1963)やMatuda (1963)がアフリカやメキシコの*Ipomoea*属植物の記載を行ったが、アメリカ大陸、特に南アメリカにおける種の分布についての情報は不十分であった。このような研究蓄積の少なさが、種の同定における日米の研究者の論争のもととなったことを否定できない。

1970年代にはいると、Austin (1978、1987)は中南米、アフリカ、アジアおよび太平洋地域の広範な植生調査を行い、*Ipomoea*属*Batatas*節に属する種を*Ipomoea batatas* complexとして分類した。この概念はこれまでの分類学的研究を集大成したもので、現在ではサツマイモ近縁野生植物の分類の基準となっている。

この頃から、わが国でも小林(1981)、小林・梅村(1981)、Muramatsu and Shiotani (1974)、Shiotani (1983)らがメキシコ、ベネズエラ、コロンビアなどで*Ipomoea*属*Batatas*節植物の探索と収集を行い、多数のサツマイモ近縁野生植物を導入するようになった。これらの植物の形態的特性の評価および細胞遺伝学的研究の結果、Kobayashi (1984)および塩谷・川瀬(1981)はサツマイモとK123などの6倍体野生種を形態的に区別することは困難であること、また、これまで*I. leucantha*と呼称していたK221に類似する2倍体植物および*I. littoralis*としていたK233類似植物を含むすべての4倍体植物が*I. trifida*であり、*I. trifida*は2倍体から6倍体までの倍数体を含む大きな倍数性複合体(*Ipomoea trifida* complex)を構成していると結論した。しかし、K123の分類学的な位置づけについては曖昧なままであった。

一方、米国においても種の分類に関する新しい考え方が示されるようになった。つまり、Austin (1983)は、形態的な特徴から、6倍体

植物であるK123だけでなく、サツマイモと交雑が可能な4倍体植物も*I. batatas* であるとし、Bohac *et al.* (1993) は花冠と萼片の先端の形状の分析、Jarret *et al.* (1992) はRestriction Fragment Length Polymorphism (RFLP) 分析、Jarret and Austin (1994) およびHe *et al.* (1995) は Randomly Amplified Polymorphic DNA (RAPD) 分析に基づいて、Austin の考え方を支持した。このことは、サツマイモあるいは *Ipomoea* 属の種の分類に関する考え方に日米研究者の間で、未だに大きな差があることを示している。

分類の基本的単位は種である。種は、遺伝的な形態的特徴を持っていて、他の種との区別が可能であること、個別性を保つため、他の種との間には地理的、生態的隔離および生殖的隔離が存在することが求められる(館岡 1983、湯浅 1958)。米国の研究者は、形態的な特徴を基本とし、生態的および分子遺伝学的知見を加えて、分類を行っているのに対して、日本の研究者は、生殖的隔離の程度を明らかにするために行った細胞遺伝学的研究成果を基本とし、形態的な特徴を十分に解析しないまま、分類を行ってきたといえよう。つまり、日米の研究者におけるサツマイモ近縁植物の分類に対する考え方の違いは、形態的分類あるいは生物学的分類のいずれに重点を置くかによって生じたものであり、形態的特性を詳細に解析した上で、生物学的および分子遺伝学的知見を加えた分類の考え方を示す必要がある。

サツマイモ育種への近縁野生植物の利用については、「ミナミユタカ」の育成以降、K123だけでなく、2、3および4倍体植物についても行われてきた。2倍体植物は、最初に導入された植物がサツマイモと直接交雑することが不可能であったため、4倍体植物と交雑し、得られた3倍体雑種をコルヒチン処理して6倍体にした後、サツマイモと交雑された。また、3倍体植物にまれに生じる非還元性配偶子(3倍性の卵および精細胞)を利用して、その相互の交雑によって得られた6倍体植物を、サツマイモと交雑して塊根形成能のある6倍体雑種を作成

し、これに2倍体を交雑する方法が試みられた。3倍体植物は、非還元性配偶子を利用して、サツマイモと直接交雑された。4倍体植物は、サツマイモとの直接の交雑あるいはその雑種へサツマイモの戻し交雑を通して利用が図られた。しかし、これまでのところ実用品種の育成に貢献するまでには至っていない。

本研究は、これまで述べてきたサツマイモ近縁野生植物の系統分類および育種利用について、残された問題を解決するとともに、さらに優れた品種育成を行うための育種素材の探索とその利用法に関する知見を得ようとしたものである。

では、わが国に導入されたサツマイモ近縁野生植物を、形態的形質の解析、相互の交雑の可否、および分子遺伝学的手法に基づいて分類した。-1では、導入されたサツマイモ近縁野生植物の分類上の問題を生じさせた原因の一つが、形態的な特徴の精細かつ総合的な評価が行われてこなかったことにあるところから、花器、萼片、および茎葉に関する多くの形質を調査した。これらを数量化し、多変量解析法を用いて総合的に解析することによって、サツマイモ近縁野生植物の形態による分類を行った。

-2では、形態的な変異が比較的大きい4倍体植物に多変量解析法を適用して、形態的な分類を行った。形態的に異なるグループに位置づけられた植物間の生殖的隔離の程度を明らかにするために、交雑実験を行うとともに、交雑後代における形態的形質の変異の解析を行い、4倍体植物について形態学および生物学的観点からの分類を行った。-3ではDNAの塩基配列の相同性をRAPD法によって解析し、分子遺伝学的視点から、サツマイモ近縁野生植物の分類を試みた。

では、サツマイモに極めて近縁であると分類された2倍体植物を、サツマイモ育種に効率的に利用するために、サツマイモとの交雑の可能性、雑種の塊根形成能、および実用品種育成の可能性について論考した。-1では、2倍体植物を育種利用するために、サツマイモとの交雑率を明らかにするとともに、2倍体植

物間の交雑率も併せて調査した。 - 2 では近縁野生植物を育種的に有効に利用できる形質を明らかにするため、根の肥大能力および病虫害抵抗性を明らかにした。 - 3 ではサツマイモと近縁野生植物との交雑後代から優れた塊根形成能をもつ個体を選抜し、これを再度サツマイモと交雑したときの後代の生産力を評価し、サツマイモの育種における近縁野生植物利用の有効性について考察を加えた。

では、サツマイモ近縁野生植物の系統分類および今後の近縁野生植物利用の方向について、およびの結果を受けて総合的に考察した。

本研究は1979年から1997年にかけて農林水産省九州農業試験場作物第二部作物第1研究室（鹿児島県指宿市）第2研究室（熊本県西合志町）および農業研究センター作物開発部甘しょ育種研究室（茨城県つくば市）において行ったもので、すでに公表したものも含め（Komaki *et al.* 1998, Komaki 1999, Komaki and Katayama 1999）、東京農工大学学位論文としたものである。

なお、サツマイモの近縁野生植物、つまり *Ipomoea* 属 *Batatas* 節植物はサツマイモとの交雑の可否により2群に分けられ、これまでの研究報告では便宜的にサツマイモと交雑可能な群を第1群、他を第2群と呼んできている。そこで、本研究でもそれを踏襲し、それぞれ *Ipomoea* 属 *Batatas* 節第1群および第2群植物と呼ぶことにする。また、供試材料につけられている K123、K221 などの K は、元来、西山（1959）の収集植物に整理番号として付されていたものであるが、その後九州農業試験場が収集した植物についても K300、K450、K500 および K510 と整理されている。ECAL は、Muramatsu and Shiotani（1974）によってメキシコ、グアテマラおよびコスタリカで収集された植物に整理番号として付されたものである。小林（1981）の収集植物は、上2桁に収集年（西暦）の下2桁を示し、下2桁には通し番号を付して整理されている。いずれの植物も数粒から数十粒の種子が収集されているので、同一番号の植物について複数の種子から材料が養成された場合は、K123-1 のように枝番を付して識別している。

サツマイモとその近縁野生植物の系統分類学的研究

作物の近縁野生植物を収集し、導入する場合、その植物の形態的な特徴を明らかにして、既知の分類群の中にその位置を与える同定が行われなければならない。一般に、未知の植物の同定は、分類群の識別に利用する指標形質をもとに、二分岐法によって作られた検索表に基づいて行われる。ここで、指標形質は外部形態のように評価しやすい形質が選ばれることが多いが、染色体や化学成分も重要視されている。

サツマイモと倍数性が同じで交雑が可能な K123 を、西山（1959）がメキシコで見だし、これを *Ipomoea trifida* (H. B. K.) G. Don と同定して以来、日本人の研究者による *Ipomoea* 属植物の同定に対して、Jones（1967）や Yen（1971）は当初から異論を投げかけていた。こ

うした論争が起こった原因としては、発見当時 *Ipomoea* 属の分類学的研究が世界的にも進んでおらず、詳細な検索表が確立されていなかったこと、わが国の収集植物の数が少なく、種の変異の幅を明確に認識することができなかったことがあげられる。

近年、Austin（1978、1987）は、中南米およびアフリカを中心に *Ipomoea* 属植物の広範な植生調査およびさく葉標本を精査し、これをもとに詳細な検索表を作成した。現在では、この検索表が形態および生態的形質に基づいた分類の基準と考えられている。一方、分類においては、生殖的隔離の程度、つまり生物学的な差も重要な要素である。したがって、形態的形質の詳細な調査と植物間の交雑の可能性を解明すること

は、*Ipomoea*属植物の正確な分類を行う上で不可欠であると考えられる。

そこで本章では、まずわが国に導入された*Ipomoea*属 *Batatas* 節植物の形態的変異を数量的に解析することにより、形態の変異に対する個々の形態的形質の寄与を明らかにし、分類上の指標形質となりうる形質を選択した。また、数量的な解析をもとに導入植物を分類し、Austin (1978、1987) の分類との比較を行った。

さらに、形態的に差があると判断された植物間の交雑の可能性を明らかにすることにより、生殖的隔離の程度に基づく植物の分類について考察した。これらの手法に加えて、近年著しい発展を遂げたDNA解析手法の一つであるRAPD法を用いて、形態的分類による種分類とDNAレベルでの分類と比較した。

1 導入されたサツマイモ近縁野生植物の形態的変異の解析と分類

サツマイモ近縁野生植物については、サツマイモにもっとも近い種として*Ipomoea*属 *Batatas* 節に12種3雑種が分類されている(Austin 1987)。 *Batatas* 節には2倍体、4倍体および6倍体の種が含まれ(Austin 1978、Nishiyama 1971、Teramura 1979)、形態的な差は、種によるものと倍数性の差によるものが複合して、識別は極めて困難である。館岡(1983)によれば、種々の倍数体を混じている種または近縁の群を倍数性複合体(Polyploid complex)というが、倍数性複合体では、倍数体間で交雑が可能であるため、様々な倍数体が生じ、自然倍加あるいは非還元性配偶子の働きによって、さらに高次の倍数体が創出される。このような様々な倍数体は交雑を通じて、ますます多様化し、形質の変異が連続し、外部形態による識別を不可能にするとされている。

塩谷・川瀬(1981)は、サツマイモと交雑が可能な2倍体、3倍体、4倍体および6倍体植物を倍数性複合体ととらえ、Kobayashi(1984)とともに*Ipomoea trifida* complexという概念を

提唱した。

サツマイモにおいても、形態的変異は極めて大きく、Jones(1966)はサツマイモの自然交雑集団において、蔓の長さ、葉の形および大きさ、植物体の毛茸の多少、および塊根形成程度について栽培されているサツマイモと類似する個体から、野生植物と区別のつかない特性をもつかない特性をもつ個体までの多様な変異を認めている。

これらの報告は、サツマイモおよびその極めて近縁な野生植物は外部形態からの区別が著しく困難であることを示唆している。

わが国には、*Ipomoea*属 *Batatas* 節に属する植物が多数導入され(西山 1959、Muramatsu and Shiotani 1974、小林 1981、小林・梅村 1981、Shiotani 1983)、導入された植物については、収集時の形態的な観察や導入後の調査に基づいて種名が同定ないし推定されている。Shiotani *et al.* (1990) はこれらの植物のうち2倍体を集めて、形態的形質の多変量解析に基づく分類を行っている。しかし、わが国に導入された*Ipomoea*属 *Batatas* 節植物の全体を対象として形態的変異を解析した研究結果は報告されていない。

本節では、倍数性を問わずにできるだけ多くの植物の形態的形質を数量化して主成分分析を行った。主成分分析は、互いに相関のある多数の形質のもつ情報を、互いに無相関な少数個の総合特性値(主成分)に要約するため、多数の形態的形質のもたらす情報を、それぞれの形質の重みづけ平均と考えられる主成分で説明することを可能にする。したがって、主成分分析によって、多数の形態的形質の変異に基づく分類が期待される。さらに、形態的形質の全変動に対する寄与が大きい形質、つまり主成分に対して重み(係数)の大きい形質が分類における指標形質ととらえることができる。そこで、主成分分析によって得られた分類を、Austin(1978)の分類と比較して、わが国に導入された*Ipomoea*属 *Batatas* 節植物の分類について考察を加えた。

1) 材料および方法

わが国に導入された *Ipomoea* 属植物のうち、形態的にみて *Batatas* 節に属すると考えられる 110 品種・系統を供試した。これらの品種名、収集番号、来歴、収集者、倍数性、および収集時に同定された種名を表 1 に示す。*I. batatas* については倍数性の確認は行っていないが、これまで多くの研究者 (Jones 1964、King and Bamford 1937、Nishiyama 1971、塩谷・川瀬 1981、Ting and Kehr 1953、Ting *et al.* 1957) によって報告されているように、すべて 6 倍体であるとして扱った。供試材料のうち、*I. batatas*、*I. trifida*、*I. littoralis*、および *I. leucantha* はサツマイモと交雑が可能な第 1 群植物で、その他の種は第 2 群植物である。これらの材料を九州農業試験場指宿試験地 (鹿児島県指宿市) のガラス温室で 21cm 径の素焼き鉢に播種または挿苗した。生育期間中の温度条件は 25 ~ 35 °C に保った。自然条件では開花しない品種・系統については、キダチアサガオ (*I. nil* cv. Kidachi) に高接ぎし、開花を誘導した。キダチアサガオは、径 24cm の素焼き鉢に播種し、全日長下で約 1 カ月養成し、草丈が約 50cm に成長した後、展開葉を 10 枚以上残して茎の先端を切断して台木とし、約 5 cm の接穂を接いだ。接木後約 1 週間は、接木部の乾燥を防ぐためにプラスチック袋で被うとともに、寒冷紗をかけて直射日光を避けた。なお、表 1 にある No. 88 までの材料はすべてキダチアサガオに高接ぎして試験に供した。

供試した 110 品種・系統のうち、81 品種・系統については表 2 に示す 1 から 54 までの形質について測定または肉眼観察し、残る 29 系統については花柱色、柱頭より上位にある葯の数、外輪および内輪の萼片の先端の形状の 4 形質を除く 50 形質を調査対象とした。

測定および肉眼観察はそれぞれの品種・系統から平均的な生育を示す 1 個体について行い、平均的な大きさおよび形状を示す 3 ~ 5 個の花、小花柄、花柄、萼片、および葉を、蔓については先端から 5 葉目と 6 葉目の間、中間部、および基部の節間を調査対象にした。色、毛茸

の多少、形状、質などの形質については 5 ~ 7 段階評価を行い、外部蜜腺の有無などの形質については有を 1、無を 0 として表示した。

得られた 110 品種・系統 × 50 形質のデータ行列のうち、花柱の毛茸の多少および花系の毛茸の形状の 2 形質については変異が認められなかったため、これらを除く 48 形質を用いて主成分分析を行った。計算は統計計算ソフト SPSS Base 8.0J (SPSS Inc., Chicago, Illinois, U.S.A.) により行った。

体細胞染色体数は、表 1 に示す植物のうち、小林の導入した植物についてのみ調査した。採取した根端を 2 mM キノリノールにより 15 分で 1 時間前処理し、処理の終わった根端をニューカマー液 12、氷酢酸 5 の割合の混合液で固定し、使用するまで冷蔵庫で保存した。解離はニューカマー液 12、氷酢酸 5、3.6 N 塩酸 2 の割合の混合液を用いて、50 °C で 10 分間行い、解離の終わった材料は、塩基性フクシン液で 10 分間染色し、その後アセトオルセイン液中で押しつぶし、染色体像を観察した。

2) 結果および考察

主成分分析の結果を表 3 に示す。第 1 から第 3 主成分の寄与率はそれぞれ 20%、12% および 8% であり、供試材料の形態的変異の約 40% がこれら 3 つの主成分によって説明されていた。第 1 主成分では、花冠径、花冠長、花筒径、花筒の形状、花柱長、花筒内基部の白い星形および外部蜜腺の 7 形質の係数が 0.2 以上で、花舷形の係数が -0.2 以下であった。ここで、花舷形は数値が小さいものほど円形で、大きくなるほど五角形から星形を示し、花筒形は数値が大きいほど太い鐘形になる (表 2)。このことから、第 1 主成分は花冠の大きさと形状、花筒内基部の星形の有無、および外部蜜腺の有無に関する変異を説明する軸であり、この主成分スコアが大きいものは花冠が大きく、丸くて、太く、花筒内基部の星形と外部蜜腺が顕著であり、小さいものはその逆の形態をとる傾向があると考えられた。

第 2 主成分では、最短花糸長、外輪および内

表1-1 形態的特性の解析に用いたサツマイモおよびその近縁野生植物

供試No.	品種名 ^{ア)} 又は 収集No.	来歴 ^{イ)}	収集者	倍数 性	収集時の同定 ^{ウ)}
1	関東94号	関東85号 x カネカシ	-	- ^{エ)}	<i>I. batatas</i>
2	フサベニ	関東85号 x 千系7238-19	-	- ^{エ)}	//
3	Alvaro	Marnes, Colombia	小林 仁	- ^{エ)}	//
4	Amaya	//	//	- ^{エ)}	//
5	Santa Catalina	UCV, Maracay, Venezuela	//	- ^{エ)}	//
6	U. C. 700	//	//	- ^{エ)}	//
7	7932-2	//	//	- ^{エ)}	//
8	8023	Belem, Brazil	//	- ^{エ)}	//
9	K123-1	Orizaba, Veracruz, Mexico	西山市三	6x ^{ナ)}	<i>I. trifida</i>
10	K123-11	//	//	6x ^{ナ)}	//
11	K123-16	//	//	6x ^{ナ)}	//
12	K177-2	Jalapa, Veracruz, Mexico	村松幹夫	6x ^{ナ)}	//
13	7903	Cali, Colombia	小林 仁	- ^{エ)}	<i>I. batatas?</i>
14	7904	Cali, Colombia	//	- ^{エ)}	//
15	7905	//	//	- ^{エ)}	//
16	7949	Costa Rica (79.12)	A. Jones	- ^{エ)}	<i>I. sp</i>
17	K233-1	Veracruz, Veracruz, Mexico	村松幹夫	4x ^{ナ)}	<i>I. littoralis</i>
18	K300-1	Esmeralda, Ecuador	C. M. Rick	4x ^{ナ)}	<i>I. trifida?</i>
19	K500-1	Cali, Colombia	入倉幸雄	4x ^{ナ)}	//
20	K500-2	//	//	4x ^{ナ)}	//
21	K500-4	//	//	4x ^{ナ)}	//
22	K500-5	//	//	4x ^{ナ)}	//
23	K510	Calima Lake, Colombia	//	4x ^{ナ)}	//
24	ECAL2145(1)-1	Mexico-Guatemala 国境, Guatemala	塩谷 格	4x ^{ナ)}	//
25	ECAL2156(1)-1	Guatemala City, Guatemala	//	4x ^{ナ)}	//
26	ECAL2156(5)-1	//	//	4x ^{ナ)}	//
27	ECAL2156(10)-2	//	//	4x ^{ナ)}	//
28	ECAL2192-5	Gualan, Guatemala	//	4x ^{ナ)}	//
29	ECAL2210(1)	Puerto Barrios, Guatemala	//	4x ^{ナ)}	//
30	ECAL2232(3)-1	Santa Elena, Guatemala	//	4x ^{ナ)}	//
31	ECAL2232(3)-2	//	//	4x ^{ナ)}	//
32	ECAL2232(3)-3	//	//	4x ^{ナ)}	//
33	ECAL2262-1	Teapa, Mexico	//	4x ^{ナ)}	//
34	ECAL2293(2)-1	Montepilo, Mexico	//	4x ^{ナ)}	//
35	ECAL2295(6)-2	Catemaco, Veracruz, Mexico	//	4x ^{ナ)}	//
36	ECAL2299(1)-1	//	//	4x ^{ナ)}	//
37	ECAL2305(2)-1	Lerdo, Veracruz, Mexico	//	4x ^{ナ)}	//
38	ECAL2312(12)-2	Veracruz, Veracruz, Mexico	//	4x ^{ナ)}	<i>I. littoralis</i>
39	ECAL2326(1)-1	Boca del Rio, Veracruz, Mexico	//	4x ^{ナ)}	//
40	ECAL2326(1)-2	//	//	4x ^{ナ)}	//
41	ECAL2326(1)-3	//	//	4x ^{ナ)}	//
42	7928	Elrocio, Colombia	//	4x ^{ナ)}	<i>I. trifida</i>
43	7947	Esmeralda, Ecuador(71.3)	//	4x ^{ナ)}	<i>I. trifida?</i>
44	7948	Cali, Colombia(73.1)	//	4x ^{ナ)}	//
45	8028	Popayan, Colombia	//	- ^{エ)}	//
46	8035	Santa Marta, Colombia	//	- ^{エ)}	//
47	8053	Veracruz, Mexico	//	- ^{エ)}	//
48	K270-1	Mexico	西山より	4x ^{ナ)}	<i>I. tiliacea</i>
49	K450-1	Salina Cruz, Oaxaca, Mexico	塩谷 格	2x ^{ナ)}	<i>I. leucantha</i>
50	K450-10	//	//	2x ^{ナ)}	//
51	ECAL2279(3)	Tuxtla, Gutierrez, Mexico	//	2x ^{ナ)}	//
52	ECAL2288(1)-1	Salina Cruz, Oaxaca, Mexico	//	2x ^{ナ)}	//
53	ECAL2288(1)-2	//	//	2x ^{ナ)}	//
54	ECAL2311(4)	Veracruz, Mexico	//	2x ^{ナ)}	//
55	ECAL2312(6)	//	//	2x ^{ナ)}	//
56	ECAL2337(4)	Veracruz, Mexico	//	2x ^{ナ)}	//
57	ECAL2367(1)	Cd. Guzman, Mexico	//	2x ^{ナ)}	//
58	ECAL2379(1)	Pihuamo, Mexico	//	2x ^{ナ)}	//
59	ECAL2392(1)	Los Brisas, Mexico	//	2x ^{ナ)}	//
60	ECAL2413(4)	Barra de Navidad, Mexico	//	2x ^{ナ)}	//

表1-2 形態的特性の解析に用いたサツマイモおよびその近縁野生植物 (続き)

供試No.	品種名 又は 収集No.	来 歴	収集者	倍 数 性	収集時の同定 性
61	7910	Y, Santa Marta, Colombia	小林 仁	2x ^{?)}	<i>I. trifida?</i>
62	7911	Iromata, Santa Marta, Colombia	//	2x ^{?)}	//
63	7912	//	//	2x ^{?)}	<i>I. trifida</i>
64	7915	Rio Frio, Santa Marta, Colombia	//	2x ^{?)}	<i>I. trifida?</i>
65	7916	Santa Rosaria, Colombia	//	2x ^{?)}	//
66	7930	UCV, Maracay, Venezuela	//	2x ^{?)}	<i>I. trifida</i>
67	7931-2	Parque, Maracay, Venezuela	//	2x ^{?)}	//
68	8014	Cali, Colombia	//	- ^{エ)}	<i>I. trifida?</i>
69	8030	Y, Santa Marta, Colombia	//	2x ^{?)}	//
70	8031	//	//	2x ^{?)}	//
71	8032	Santa Marta, Colombia	//	- ^{エ)}	//
72	8034	Santa Marta, Colombia	//	2x ^{?)}	//
73	8036	Santa Marta, Colombia	//	2x ^{?)}	//
74	8038	Santa Marta, Colombia	//	2x ^{?)}	//
75	8039	Santa Marta, Colombia	//	2x ^{?)}	//
76	8040	Santa Marta, Colombia	//	2x ^{?)}	//
77	8041	Santa Marta, Colombia	//	2x ^{?)}	//
78	8042	Santa Marta, Colombia	//	2x ^{?)}	//
79	8043	Santa Marta, Colombia	//	- ^{エ)}	//
80	8044	Santa Marta, Colombia	//	2x ^{?)}	//
81	8046	Santa Marta, Colombia	//	2x ^{?)}	//
82	8047	Santa Marta, Colombia	//	2x ^{?)}	//
83	8048	Santa Marta, Colombia	//	- ^{エ)}	//
84	8049	//	//	- ^{エ)}	//
85	8107	Costa Rica	河瀬晃四郎	2x ^{?)}	//
86	8108	//	//	2x ^{?)}	//
87	8301-1	Progeny of 8051 (パナマ産)	小林 仁	- ^{エ)}	//
88	8301-2	//	//	- ^{エ)}	//
89	7937	Mississippi, U.S.A. (67.36)	A. Jones	2x ^{?)}	<i>I. lacunosa</i>
90	7941	Texas, U.S.A. (67.71)	//	2x ^{?)}	//
91	8059	Santa Marta, Colombia	小林 仁	2x ^{?)}	<i>I. sp.</i>
92	7934	Georgia, U.S.A. (62.19)	A. Jones	2x ^{?)}	<i>I. cordatotriloba</i>
93	7938	// (67.39)	//	2x ^{?)}	//
94	7939	// (67.43)	//	2x ^{?)}	//
95	7942	Texas, U.S.A. (68.11)	//	2x ^{?)}	//
96	7943	South Carolina, U.S.A. (70.6)	//	2x ^{?)}	//
97	7945	// (73.4)	//	2x ^{?)}	//
98	7926	Cali, Colombia	小林 仁	- ^{エ)}	<i>I. triloba?</i>
99	7936	Georgia, U.S.A. (62.85)	A. Jones	2x ^{?)}	<i>I. triloba</i>
100	7940	Virgin Is., U.S.A. (67.66)	//	2x ^{?)}	//
101	7946	West Java, Indonesia (76.32)	//	2x ^{?)}	//
102	8055	Cali, Colombia	小林 仁	- ^{エ)}	//
103	8066	Guayaquil, Ecuador	//	- ^{エ)}	//
104	8077	Palenque, Mexico	//	- ^{エ)}	//
105	8078	Vilaermosa, Mexico	//	- ^{エ)}	//
106	8101	Lampung, Sumatera, Indonesia	知識敬道	- ^{エ)}	//
107	8202	Tagum, Davao, Philippines	小巻克巳	- ^{エ)}	//
108	S-1(ソコベニルカガオ)	不明	不明	- ^{エ)}	<i>I. sp.</i>
109	8068	Guayaquil, Ecuador	小林 仁	- ^{エ)}	//
110	8071	La Esperanza, Ecuador	//	- ^{エ)}	//

^{?)}Kは京都大学における整理番号、K300以降は京都大学の整理番号を引き継ぎ、九州農業試験場でつけた整理番号。
ECALはMuramatsu and Shiotani (1974) の整理番号。

¹⁾()内の数字はJonesの整理番号を示す。

^{?)}?は種名を同定するに至らず、推定にとどまっていることを示す。

^{エ)}倍数性は未調査であることを示す。

^{?)}Nishiyama (1971) およびTeramura (1979) に基づく。

^{?)}九州農業試験場作物第二部作物第一研究室(1971-1984)カンショ交配試験成績書に基づく。

^{?)}Muramatsu and Shiotani⁽²⁾に基づく。

^{?)}本研究の調査による。

^{?)}Jonesより分譲時の記載に基づく。

輪の萼片の長さや色の5形質の係数が0.2以上で、花筒内基部の白い星形、外部蜜腺、および内外輪の萼片の質の4形質の係数が-0.2以下であった。ここで、萼片の色に関する数値は緑色が淡いほど小さく、濃くなるにつれて大きくなり、赤みを帯びるようになるとさらに大きくなり、萼片の質に関する数値は草質、革質、膜質、洋紙質と変化するにつれて大きくなる(表2)。つまり第2主成分は萼片の長さ、色、質の変異と花筒内星形および外部蜜腺に関する変異を説明する軸であり、この主成分スコアが大きいものは、萼片が長く、濃い緑色から淡赤紫色で、草質であり、花筒内基部の星形や外部蜜腺がなく、小さいものはその逆の形態を示す傾向があると考えられた。

第3主成分では、最長花糸長、子房、外輪の萼片、花柄、葉身、葉柄および蔓における毛茸の多少の7形質の係数が0.2以上で、小花柄の径が-0.2以下であった。従って、この主成分は主に、毛茸の多少と小花柄の径の変異を説明する軸であると考えられる。毛茸の多少は多いものほど大きな数値が与えられているところから、この主成分スコアが大きいものは植物体が全般に多毛で小花柄が細く、小さいものは少毛で小花柄が太い傾向があると判断された。

以上の結果から、表3に示す花冠の大きさおよび形状、花柱および花糸の長さ、小花柄の径、花筒内基部の星形、外部蜜腺、萼片の長さ、色、毛茸および質、および植物体の毛茸に関する合計23形質は、サツマイモおよびその近縁野生植物における形態的形質の変異の40%を説明する第1~3主成分に対する寄与が大きく、種の分類における指標形質となりうると考えられた。これらの形質の中で、萼片の長さ、質および毛茸の多少、花冠の径および形状、葉の毛茸の多少がAustin(1978)の検索表における指標形質と一致した。

110品種・系統の第1および第2主成分スコアの散布図が図1である。散布図上の分布から110品種・系統は大きく3つのグループに分けられ、2系統がいずれのグループにも属しないと見なすことができた。

A群はもっとも大きなグループをなし、サツマイモ10品種・系統、*Ipomoea*属*Batatas*節第1群植物の6倍体7系統、4倍体31系統(*I. trifida*および*I. littoralis*を含む)、2倍体40系統(*I. trifida*および*I. leucantha*を含む)と*I. tiliacea*1系統から構成されていた。A群は比較的大きな第1主成分スコアをもち、第2主成分スコアはかなり広い変異を示したところから、この群は、花冠が比較的大きく花筒部が鐘形であり、花筒内基部に星形および外部蜜腺を有する傾向があると考えられた。A群には、2から6倍体までの倍数体が含まれているが、6倍体のうちサツマイモの第1および第2主成分スコアは、それぞれ0.7~2.0および0.1~1.7で、サツマイモ以外の6倍体はそれぞれ0.4~2.1および-0.1~1.3であった。4倍体では、第1および第2主成分スコアは、それぞれ-0.1~1.4および-1.2~1.2、2倍体では、それぞれ-0.6~0.9および-1.7~0.0であった(図1)。この結果から、倍数性が高くなるにつれて第1および第2主成分スコアは大きくなる傾向にはあるもののその分布は連続的であった。このことは、形態的形質の変異が倍数性によって明確に区別できないことを示しており、A群が分類学的に倍数性複合体とよばれる構造を有している可能性を示唆している。

B群は、第2主成分スコアの大きいグループで、*I. cordato-triloba*と同定された系統で構成された。萼片が大きくて、緑が濃く、多毛であり、花筒内星形と外部蜜腺がないという傾向をもつ群であると想定された。C群は、*I. triloba*と同定されている10種類と*I. lacunosa*と同定されている3種類からなっていた。このグループは第1主成分スコアが小さいところから、小さく丸い花冠をもち、花筒内星形や外部蜜腺がないという傾向にあると考えられた。しかし、第2主成分スコアについては、*I. triloba*とされている系統はほとんどが1.0以下で、*I. lacunosa*とされている系統は1.5以上であった。このことから、C群は第2主成分スコアの大きさ、つまり萼片の大きさ、色および質で、二つのサブグループに分けることができると考えられた。

第1および第3主成分スコアの散布図を図2

表2 調査した形態的形質と測定評価基準

形質No.	形質名	測定評価基準
1	花冠径	測定 (mm)
2	花冠長	測定 (mm)
3	花筒径	測定 (mm)
4	花舷形	観察 1:円形, 2:ほぼ円形, 3:やや五角形, 4:ほぼ五角形, 5:五角形, 6:星形
5	花筒形	観察 1:漏斗形, 2:ほぼ漏斗形, 3:細い鐘形, 4:鐘形, 5:太い鐘形
6	花舷色	観察 1:白, 2:ほぼ白, 3:淡赤紫, 4:赤紫, 5:濃赤紫
7	花筒色	観察 1:白, 2:ほぼ白, 3:淡赤紫, 4:赤紫, 5:濃赤紫
8	柱頭色	観察 1:白, 2:ほぼ白, 3:淡赤紫, 4:赤紫, 5:濃赤紫
9	花柱長	測定 (mm)
10	花柱色	観察 1:白, 2:ほぼ白, 3:淡赤紫, 4:赤紫, 5:濃赤紫
11	花柱の毛茸の多少	観察 1:無, 2:ほぼ無, 3:疎, 4:疎-中, 5:中, 6:中-密, 7:密
12	最長花糸長	測定 (mm)
13	最短花糸長	測定 (mm)
14	花糸色	観察 1:白, 2:ほぼ白, 3:淡赤紫, 4:赤紫, 5:濃赤紫
15	花糸の毛茸の多少	観察 1:無, 2:ほぼ無, 3:疎, 4:疎-中, 5:中, 6:中-密, 7:密
16	花糸の毛茸の形状	観察 1:綿状毛, 2:綿状毛-鎌状毛, 3:鎌状毛
17	柱頭より上位にある葯の数	計数 (0-5)
18	子房色	観察 1:ほぼ白, 2:淡黄緑, 3:黄緑, 4:濃黄緑
19	子房の毛茸の多少	観察 1:無, 2:ほぼ無, 3:疎, 4:疎-中, 5:中, 6:中-密, 7:密
20	花盤色	観察 1:黄白, 2:黄, 3:黄橙, 4:濃黄橙, 5:赤橙, 6:黄緑
21	花筒内基部の白い星形の有無	観察 0:無, 1:有
22	外部蜜腺の有無	観察 0:無, 1:有
23	小花柄長	測定 (mm)
24	小花柄径	測定 (mm)
25	小花柄の毛茸の多少	観察 1:無, 2:ほぼ無, 3:疎, 4:疎-中, 5:中, 6:中-密, 7:密
26	花柄長	測定 (mm)
27	花柄径	測定 (mm)
28	花柄の毛茸の多少	観察 1:無, 2:ほぼ無, 3:疎, 4:疎-中, 5:中, 6:中-密, 7:密
29	外輪の萼片長	測定 (mm)
30	外輪の萼片最大幅	測定 (mm)
31	外輪の萼片形	観察 1:三角形, 2:卵形, 3:楕円形, 4:倒卵形, 5:長楕円形, 6:皮針形
32	外輪の萼片の先端	観察 1:鈍形, 2:鋭形, 3:鋭先形, 4:尾形
33	外輪の萼片色	観察 1:ごく淡黄緑, 2:淡黄緑, 3:黄緑, 4:淡赤紫
34	外輪の萼片の質	観察 1:草質, 2:革質, 3:膜質, 4:洋紙質
35	外輪の萼片の毛茸の多少	観察 1:無, 2:ほぼ無, 3:疎, 4:疎-中, 5:中, 6:中-密, 7:密
36	内輪の萼片長	測定 (mm)
37	内輪の萼片最大幅	測定 (mm)
38	内輪の萼片形	観察 1:三角形, 2:卵形, 3:楕円形, 4:倒卵形, 5:長楕円形, 6:皮針形
39	内輪の萼片の先端	観察 1:鈍形, 2:鋭形, 3:鋭先形, 4:尾形
40	内輪の萼片色	観察 1:ごく淡黄緑, 2:淡黄緑, 3:黄緑, 4:淡赤紫
41	内輪の萼片の質	観察 1:草質, 2:革質, 3:膜質, 4:洋紙質
42	内輪の萼片の毛茸の多少	観察 1:無, 2:ほぼ無, 3:疎, 4:疎-中, 5:中, 6:中-密, 7:密
43	葉身長	測定 (mm)
44	葉身幅	測定 (mm)
45	葉身の切れ込み	観察 1:全縁, 2:ほぼ全縁, 3:浅, 4:浅-中, 5:中, 6:中-深, 7:深
46	葉身の先端	観察 1:鈍形, 2:鋭形, 3:鋭先形
47	葉身の基部	観察 1:切形, 2:浅い心形, 3:心形, 4:深い心形
48	葉身の表面の毛茸の多少	観察 1:無, 2:ほぼ無, 3:疎, 4:疎-中, 5:中, 6:中-密, 7:密
49	葉柄長	測定 (mm)
50	葉柄の毛茸の多少	観察 1:無, 2:ほぼ無, 3:疎, 4:疎-中, 5:中, 6:中-密, 7:密
51	蔓の太さ	測定 (mm)
52	蔓の毛茸の多少	観察 1:無, 2:ほぼ無, 3:疎, 4:疎-中, 5:中, 6:中-密, 7:密
53	蔓の巻きつき性	観察 0:無, 1:有
54	蔓の節からの発根の有無	観察 0:無, 1:有
55	葯の色	観察 1:白, 2:ほぼ白, 3:淡赤紫, 4:赤紫, 5:濃赤紫
56	1花序当たり花数	計数
57	葉身の厚さ	測定 (mm)
58	葉身の裏面の毛茸の多少	観察 1:無, 2:ほぼ無, 3:疎, 4:疎-中, 5:中, 6:中-密, 7:密
59	葉身の縁の毛茸の多少	観察 1:無, 2:ほぼ無, 3:疎, 4:疎-中, 5:中, 6:中-密, 7:密

表 3 サツマイモおよびその近縁野生植物110種類48形質の主成分分析によって得られた第 1 から第 3 主成分の固有値、寄与率、およびいずれかの主成分において係数の絶対値が一つでも0.2以上であった形質の主成分の係数

主成分	固有値	寄与率		主成分の係数								
		(%)		花冠		花筒	花脰	花筒	花柱	最長	最短	子房
			径	長	径	形	形	長	花糸長	花糸長	毛茸	内の星形
第 1	9.55	19.8	.271	.273	.281	-.230	.238	.225	.161	.069	-.049	.232
第 2	5.89	12.3	-.002	.126	.026	.082	-.161	.131	.158	.294	-.011	-.249
第 3	4.04	8.4	.045	.037	-.016	-.110	-.018	.174	.208	.191	.250	-.024

主成分の係数												
外部蜜腺	小花柄径	花柄毛茸	外輪の萼片				内輪の萼片			葉身の毛茸	葉柄の毛茸	蔓の毛茸
			長	色	毛茸	質	長	色	質			
.205	.090	.049	.075	-.046	-.109	.145	.149	-.076	.099	.078	.137	.084
-.235	.194	-.086	.286	.260	.004	-.241	.239	.272	-.246	.010	-.042	-.092
-.119	-.272	.242	-.033	-.018	.283	-.118	-.029	-.002	-.192	.282	.224	.256

に示した。この散布図上では、第 1 および第 2 主成分スコアで分類された A 群と B 群が合同して一つの大きな群を構成したが、サツマイモ 2 品種・系統の中の 6 品種・系統は第 3 主成分スコアが小さい傾向にあり、この大きな群の中ではやや離れて分布した。第 3 主成分は植物体の毛茸の多少および小花柄の太さとの相関が高い変動軸であるところから、サツマイモ 6 品種・系統は、植物体の毛茸が少なく、小花柄が太い傾向があると考えられた。しかし、サツマイモの中でも 2 品種・系統はこの中に含まれておらず、サツマイモは植物体の毛茸や小花柄の径についても広い変異を有するものと考えられた。第 2 および第 3 主成分スコアの散布図では B 群は独立していることが確認できたものの、A 群と C 群の識別は困難であった (図 3)。

このようにして主成分分析で得られた分類の指標形質に、Austin (1978) の指摘した萼片の形状および萼片の先端の形状を加えて、それらの変異をグループ別に示したものが、表 4 である。

A 群では、*I. batatas* および *I. trifida* (*I. littoralis* および *I. leucantha* を含む。以下同様) は倍数性が高くなるにつれて、花冠が大きく太

くなり、外輪の萼片が長くなり、さらに花筒部の形状が漏斗形から太い鐘形へと変化する傾向が認められたが、その変化は連続的であった。したがって、倍数性によって *I. batatas* および *I. trifida* を分類することは不可能であった。また、萼片の先端が尾形で、花筒内基部の星形および外部蜜腺が認められるという点で共通していた。さらに、これらの植物は、予備試験の結果すべて自家不和合性で、サツマイモとも交雑が可能であったことから、異なる種として認識するのは極めて困難であった。しかし、*I. tiliacea* (K270) は、花冠径が著しく大きいことおよび萼片の色が赤みを帯びているという点で、*I. batatas* および *I. trifida* とは異なり、花筒内基部の星形がない点で、むしろ、B 群および C 群に類似した特徴を有していた。また、Nishiyama (1971) および Teramura (1979) は、K270 がサツマイモとは交雑が不可能であることを明らかにしている。Bohac *et al.* (1993) をはじめとする米国の研究者は、K270 を *I. batatas* であるとしているが、K270 は形態的にも生物学的にも *I. batatas* および *I. trifida* とはやや異質であり、従来通り *I. tiliacea* であるとするのが妥当であると

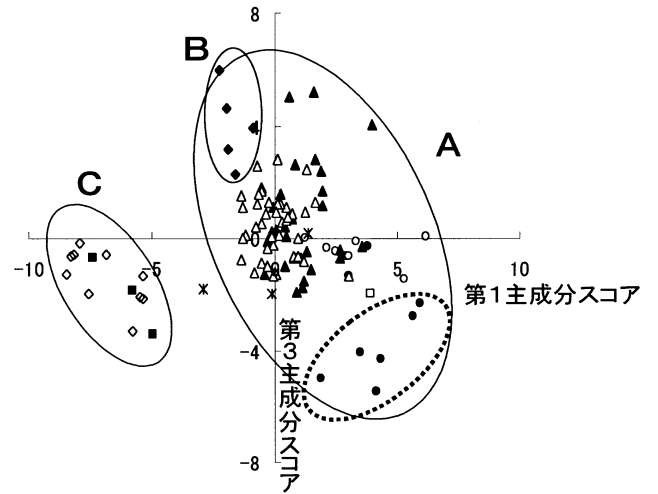
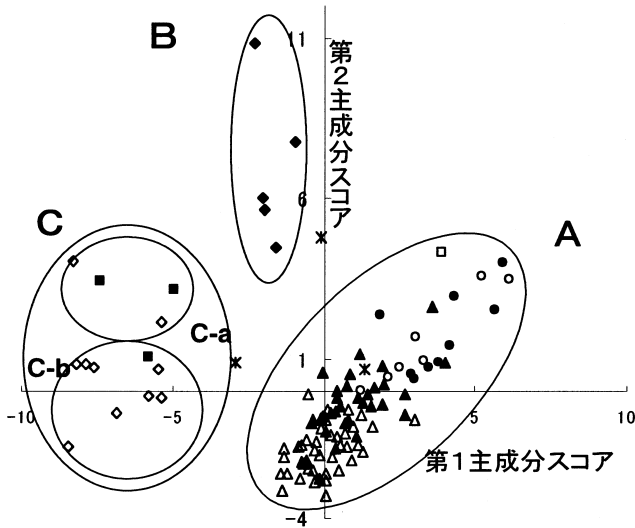


図1 サツマイモおよびその近縁野生植物の形態的形質の主成分分析により得られた第1および第2主成分スコアの散布図

サツマイモ *I. trifida* (6x) または *I. batatas*?
I. trifida (4x) または *I. littoralis*
I. trifida (2x) または *I. leucantha* *I. tiliacea*
I. lacunosa *I. cordato-triloba* *I. trikoba* * *I. sp*

図2 サツマイモおよびその近縁野生植物の形態的形質の主成分分析により得られた第1および第3主成分スコアの散布図

サツマイモ *I. trifida* (6x) または *I. batatas*?
I. trifida (4x) または *I. littoralis*
I. trifida (2x) または *I. leucantha* *I. tiliacea*
I. lacunosa *I. cordato-triloba* *I. trikoba* * *I. sp*

表4 主成分分析で識別された *Ipomoea* 属植物群を特徴づける形質の平均値とレンジ

形質	群								
	A		群		<i>I. tiliacea</i>	B 群		C 群	
	<i>I. batatas</i>	<i>I. trifida</i> or <i>I. sp</i> 6x	<i>I. trifida</i> ⁷⁾			<i>I. cordato-triloba</i>	a	b	
		4x	2x			<i>I. lacunosa</i>	<i>I. triloba</i>		
花冠径 (mm)	43.2 35.5-49.7	40.8 37.3-51.0	38.3 31.1-47.9	29.9 29.1-50.0	60.6 -	39.7 35.5-45.0	15.4 12.0-20.2	13.7 7.5-18.0	
花筒径 (mm)	11.8 9.1-14.1	11.4 9.0-12.4	10.1 7.8-12.9	8.2 6.6- 9.6	11.6 -	7.7 6.9- 8.8	5.4 5.0- 6.8	4.6 3.4- 5.8	
花筒形 ⁴⁾	3-4	3	2-3	1-2	3	1	1	1	
外輪の萼片長(mm)	8.7 7.3-10.7	9.2 6.2-11.7	7.3 4.9- 9.8	7.0 5.1- 9.4	8.9 -	10.2 7.1-11.5	9.6 8.0-12.3	6.4 4.8- 8.3	
外輪の萼片形 ⁴⁾	3 or 5	4-5	(1 or)2-5	1-5	5	4-5	4-5	3-5	
外輪の萼片の先端 ⁴⁾	4	4	(3-)4	(2-3)4	4	-	2-3	1-2-3-4	
外輪の萼片の質 ⁴⁾	4	4	4	4	4	1(or 4)	1 or 4	(1 or)4	
外輪の萼片色 ⁴⁾	1-2(-3)	1-2(-3)	(1-)2(-3)	1(-2)	4	2-3	2-3	2-3	
花筒内基部の星形 ²⁾	1	1	1	1	0	0	0	0	
外部蜜腺 ²⁾	1	1	1	1	1	0	0	1 or 0	

⁷⁾ *I. littoralis* および *I. leucantha* もこの中に含む。

⁴⁾ 段階評価基準は表2-1-2を参照

²⁾ 1: 有, 0: 無

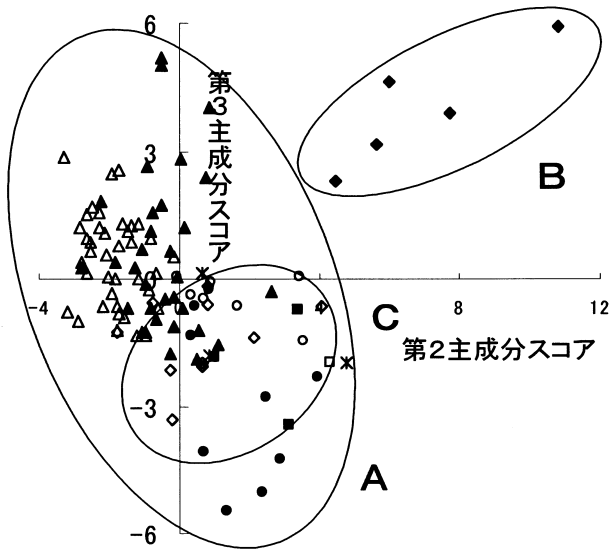


図3 サツマイモおよびその近縁野生植物の形態的形質の主成分分析により得られた第2および第3主成分スコアの散布図

サツマイモ *I. trifida* (6x) または *I. batatas*?
I. trifida (4x) または *I. littoralis*
I. trifida (2x) または *I. leucantha* *I. tiliacea*
I. lacunosa *I. cordato-triloba* *I. trikoba* **I. sp.*

考えられる。しかし、*I. batatas* および *I. trifida* は、今後、2倍体植物の倍数化を行って、4倍体および6倍体になったときの形態がどのように変化するかなど、さらに詳細な解析が必要であるが、本研究の結果からは、一つの種に包括されると考えられる。

B群に属する植物は花冠径、花筒径、および花筒形について、A群の2倍体植物に比較的類似していた。しかし、萼片が長いことや花筒内基部の星形および外部蜜腺が認められないという点でA群の2倍体植物とは著しく異なっており、B群の植物はAustin (1978) の記載により、*I. cordato-triloba* であると考えられた。

C群については第2主成分で説明される形質の変異で分けた二つのサブグループにおける指標形質の変異をみると(表4)、C群-aは外輪の萼片長で、C群-bと明瞭に識別できた。Austin (1978) の記載と比較すると、C群-aが *I. lacunosa* であり、C群-bが *I. triloba* であるとするのが妥当と考えられた。

以上の結果、サツマイモおよびサツマイモと交雑が可能な植物 (*Ipomoea* 属 *Batatas* 節第1群

植物) は2倍体から6倍体までの倍数体を含む一つの倍数性複合体を構成していること、*I. tiliacea*、*I. cordato-triloba*、*I. lacunosa* および *I. triloba* とは形態的に容易に識別できることが明らかになった。このことから、わが国の研究者により、*I. batatas*、*I. trifida*、*I. littoralis* および *I. leucantha* と同定あるいは推定されている植物はすべて一つの種に包括される可能性があるものと考えられる。

2 *Ipomoea* 属 *Batatas* 節第1群に属する4倍体植物の形態的変異と交雑程度の解析

Ipomoea 属 *Batatas* 節第1群植物をサツマイモと形態的に識別するのは困難であると結論したが、4倍体にはK233のように葉が小さくて厚く膜質で、草型もあまり巻きつき性のない匍匐茎をもつ植物があり、この植物は、Nishiyama (1971) および Teramura (1979) は *I. littoralis*、Jones (1970) や Martin and Jones (1972) は *I. gracilis* と同定していた。

塩谷・川瀬 (1981) は、花冠径、花冠長、花盤の高さ、花盤径、柱頭径、柱頭の着色、葯長、第1萼片と第4萼片の大きさ、萼片と子房の有毛性、花柄の有毛性、自家不和合性および草型の14形質を調査し、*Ipomoea* 属 *Batatas* 節第1群の4倍体植物の中で *I. littoralis* と同定されていた植物と *I. trifida* と推定されていた植物とは外部形態からは相互に区別がつかないとして、これらの4倍体植物を *I. trifida* であるとした。しかし、この研究では葉の大きさ、厚さおよび形態の調査は行っておらず、4倍体植物の形態的変異を包括的にとらえて解析したということはいできない。

本節では、4倍体植物の形態的変異を総合的に解析するために主成分分析を適用し、形態による植物の分類を試みた。また、分類された植物の生殖的な隔離の程度を明らかにするために、相互の交雑率を求めるとともに、雑種の形態的変異を明らかにした。これらをもとにして、4倍体植物の分類上の位置づけについて考察を加えた。

1) 材料および方法

においてA群に属した4倍体植物のうち、表5に示すようにK270を除くものの中から25種類を供試した。このうち5種類はこれまで*I. littoralis*、20種類は*I. trifida*と同定あるいは推定されていたものである。

自然条件下ではすべての植物で測定および観察に十分な開花が得られなかったため、それぞれ1個体について、前述のように九州農業試験場指宿試験地のガラス温室で生育させたキダチアサガオに高接ぎし、開花を誘導した。生育期間中、気温は25～35℃に保った。

花冠、萼片、蔓などに関して表2に示す59形質について3～5サンプルについてデータを収集した。質的形質については - 1の実験と同様に段階評価を行った。これら59形質のうち、

花筒内星形および外部蜜腺の有無、花筒部の形状、柱頭、花柱および葯の色、花柱の毛茸の多少、内外輪の萼片の先端の形状、蔓の巻きつき性および節からの不定根原基の有無の11形質については、供試した植物間で変異が認められなかったため、25種類×48形質のデータ行列を用いて主成分分析を行った(表6)。計算は統計計算ソフトSPSS Base 8.0J (SPSS Inc., Chicago, Illinois, U.S.A.)により行った。

さらに、4倍体植物間の生殖的隔離の程度を明らかにするために表7に示すような総計143組合せの交雑実験を行った。組合せ当たりの交雑花数は原則として25花とした。*Ipomoea*属*Batatas*節植物では1さく果に4胚珠含まれるところから、交雑率は次の式により求めた。交雑率(%) = (結実粒数×100) / (交雑花数×4)。ここで、(交雑花数×4)は交雑の対象と

表5 供試した4倍体植物とその来歴

供試 No.	収集 No.	収集地	収集者	収集時の同定
1	K233-1	Veracruz, Veracruz, Mexico	村松幹夫	<i>I. littoralis</i>
2	K300-1	Esmeralda, Ecuador	C. M. Rick	<i>I. trifida</i> ? ^{?)}
3	K500-1	Vicinity of Cali, Colombia	入倉幸雄	//
4	K510	Calima Lake, Colombia	//	//
5	7928	Elrocio, Colombia	//	<i>I. trifida</i>
6	7947	Esmeralda, Ecuador(71.3)	//	<i>I. trifida</i> ? ^{?)}
7	7948	Cali, Colombia(73.1)	//	//
8	8028	Popayan, Colombia	//	//
9	8035	Santa Marta, Colombia	//	//
10	8053	Veracruz, Mexico	//	//
11	ECAL2145(1)-1	Mexico-Guatemala 国境, Guatemala	塩谷 格	//
12	ECAL2156(1)-1	Guatemala City, Guatemala	//	//
13	ECAL2156(5)-1	//	//	//
14	ECAL2156(10)-2	//	//	//
15	ECAL2210(1)	Puerto Barrios, Guatemala	//	//
16	ECAL2232(3)-3	//	//	//
17	ECAL2262-1	Teapa, Mexico	//	//
18	ECAL2293(2)-1	Montepilo, Mexico	//	//
19	ECAL2295(6)-2	Catemaco, Veracruz, Mexico	//	//
20	ECAL2299(1)-1	//	//	//
21	ECAL2305(2)-1	Lerdo, Veracruz, Mexico	//	//
22	ECAL2312(12)-2	Veracruz, Veracruz, Mexico	//	<i>I. littoralis</i>
23	ECAL2326(1)-1	Boca del Rio, Veracruz, Mexico	//	//
24	ECAL2326(1)-2	//	//	//
25	ECAL2326(1)-3	//	//	//

?) ?は種名を同定するに至らず、推定にとどまっていることを示す。

なる総胚珠数である。さらに、全組合せの中から表 8 に示す 16 組合せについて、得られた交雑種子を組合せ当たり 10~20 粒づつ播種し、実生個体を、前述のように、ガラス温室内でキダチアサガオに高接ぎして開花を誘導し、57 形質を調査した。また、これらの実生個体の雌性器官の稔性を明らかにするために、同じ組合せに由来する実生個体間の多交配を行い、実生個体別に交雑率を算出した。なお、多交配は、実生個体からピンセットで花粉をほぼ同量ずつピーカーに集め、攪拌した後、小筆で、それぞれの実生個体に受粉する方法で行った。実生個体当たり交雑花数は 10~25 花とした。また、各個体の葯をピンセットでつぶしたときの花粉の飛散程度を観察した。

2) 結果および考察

48 形質について主成分分析を行った結果を表 6 に示す。第 1、第 2 および第 3 主成分の寄与率はそれぞれ、25%、12% および 8% であり、供試材料の形態的変異の約 45% がこれらの 3 主成分によって説明されていた。第 1 主成分では、花系の毛茸の多少、葉身長、葉身幅、および葉身の表面の毛茸の多少の 4 形質の係数が 0.2 以上で、花脛色、花筒色、小花柄径、外輪の萼片幅、内輪の萼片長および幅、葉身の厚さ、および葉身の切れ込みの 8 形質の係数が -0.2 以下であった。ここで花脛および花筒の色は数値が小さいものほど白く、大きくなるほど濃い赤紫になり、葉身の切れ込みは数値が大きいほど深い (表 2)。このことから第 1 主成分は、主として、花冠の色、花系の毛茸の多少、小花柄の太さ、萼片の大きさ、葉の大きさ、厚さ、形状および毛茸の多少に関する変異を説明する軸であり、この主成分スコアが大きいものは花冠が白く、花系の毛茸が顕著で、小花柄が細く、萼片が小さく、葉が大きく、薄く、切れ込みが少なく毛茸が多いという傾向を、小さいものはその逆の傾向をもつと考えられた。

第 2 主成分では、花冠径、花冠長、花筒径、最長および最短花系長、小花柄長および蔓の径の 7 形質の係数が 0.2 以上で、花脛形および花

系色の係数が -0.2 以下であった。ここで、花脛形に関する数値は円形であるほど小さく、五角形から星形になるにつれて大きくなり、花系色に関する数値は白から濃赤紫色になるにつれて大きくなる (表 2)。つまり第 2 主成分は、主として、花冠径、花冠長、花系長が示す花冠の大きさ、花脛の形状、花筒の太さ、花系の色、小花柄の長さ、および蔓の太さに関する変異を説明する軸であり、この主成分スコアが大きいものは、花冠が大きく、花系が長く、花脛が五角形から星形であり、花筒が太く、花系が濃赤紫色で、小花柄が長く、蔓が太いという傾向を、小さいものはその逆の傾向をもつと考えられた。

第 3 主成分では、花系の毛茸の形状、花柄長、外輪の萼片長、および葉柄長の 4 形質の係数が 0.2 以上で、花柱長、花柄の毛茸の多少、および内外輪の萼片の毛茸の多少の 4 形質の係数が -0.2 以下であった。したがって、この主成分は主に、花柱、花柄、萼片および葉柄の長さ、花柄および萼片の毛茸の多少、および花系の毛茸の形状の変異を説明する軸であると考えられる。毛茸の多少は多いものほど大きな数値が与えられているところから、この主成分スコアが大きいものは花柄や萼片に毛茸が少なく、花柄や葉柄が長い傾向があると判断された。

第 1 および第 2 主成分スコアの散布図から、25 種類の植物は大きく 4 分することができた (図 4)。第 1 主成分スコアが小さく (-1.5 以下)、第 2 主成分スコアが 0 周辺に分布する群 (A 群) は、濃い赤紫色の花、大きな萼片、小さく厚く毛が少なく、切れ込みの深い葉、および太い小花柄によって特徴づけられ、K233 およびその類似系統の 5 系統、つまり *I. littoralis* と同定されている植物で構成されていた。第 1 主成分スコアがやや小さく、第 2 主成分スコアが 0 周辺に分布する群 (B 群) は、2 系統から成っていた。第 1 および 2 主成分スコアともに大きい群 (C 群) は、大きく白い花、小さな萼片、大きくて、切れ込みがなく、薄く多毛な葉、および細くて、長い小花柄によって特徴づけられる系統群であり、小林 (1981) によって *I. trifida* と同定された 7928 を含む 5 系統で構成されてい

た。第1主成分スコアがC群と同様に大きく、第2主成分がC群より小さい群(D群)は、比較的小さく白い花、小さな萼片、大きくて、切れ込みが少なく、薄く多毛な葉および細くて、やや長い小花柄で特徴づけられ、*I. trifida*と同定あるいは推定された13系統で構成された。

第1と第3主成分スコア、および第2と第3主成分スコアの散布図をそれぞれ図5および図6に示すが、第1と第2主成分でみられたような明瞭な群は認められなかった。

以上の結果から、*Ipomoea*属*Batatas*節第1群の4倍体植物は4つの群に分けられた。*I. littoralis*と同定されていたK233とその類似系統からなるA群は、他の3群とは第1主成分スコアが著しく小さい点が特徴的であった。

次いで、形態により分けられた4群の間の交雑率を示したものが表7である。

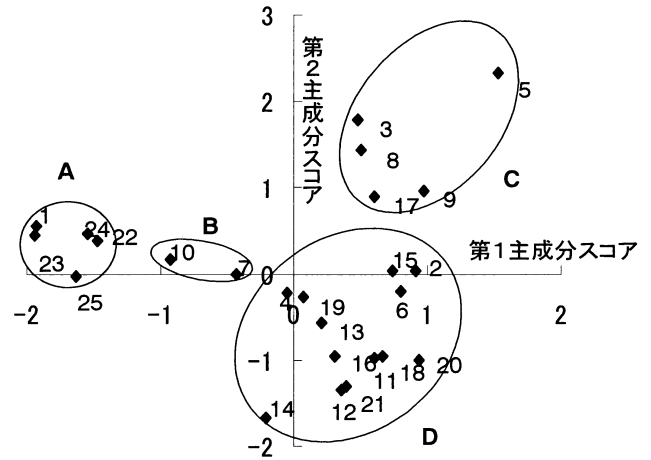


図4 *Ipomoea*属*Batatas*節第1群の4倍体植物の形態的形質の主成分分析により得られた第1および第2主成分スコアの分布
図中の数字は表5の供試No.に対応。

表6 4倍体植物の形態的形質の主成分分析により得られた第1から第3主成分の固有値、寄与率、およびいずれかの主成分において係数の絶対値が一つでも0.2以上であった形質の主成分の係数

主成分	固有値	寄与率 (%)	主成分の係数									
			花冠		花舷		花筒		花柱			
			径	長	形	色	径	色	長	花系長	最長	最短
第1	11.60	24.7	-.106	.080	-.113	-.259	-.123	-.232	.058	.127	.064	
第2	5.62	12.0	.292	.273	-.229	.012	.201	.052	.025	.338	.318	
第3	3.80	8.1	-.054	-.172	.051	-.009	-.028	.061	-.249	.013	.081	

花系色	主成分の係数											
	花系の毛茸の		小花柄		花柄		外輪の萼片			内輪の萼片		
	多少	形状	長	径	長	毛茸	長	幅	毛茸	長	幅	毛茸
.051	.209	.011	.015	-.227	.099	.043	-.136	-.215	.067	-.211	-.220	-.068
-.249	-.119	.065	.331	.067	.058	.046	.002	.078	.044	.061	.187	.048
.057	-.047	.238	.103	-.010	.238	-.310	.216	.113	-.303	.176	-.022	-.358

主成分の係数							
葉身					葉柄		蔓の
長	幅	厚さ	切込	表毛	長	径	
.254	.231	-.250	-.211	.221	.147	.149	
.002	.010	-.043	-.107	-.043	.142	.239	
.134	.075	.074	.117	.154	.252	.071	

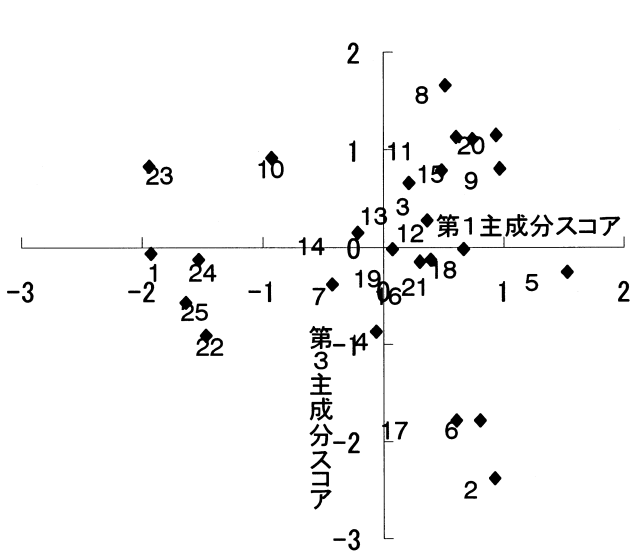


図5 *Ipomoea*属*Batatas*節第1群の4倍体植物の形態的形質の主成分分析により得られた第1および第3主成分スコアの分布
 図中の数字は表5の供試No.に対応。

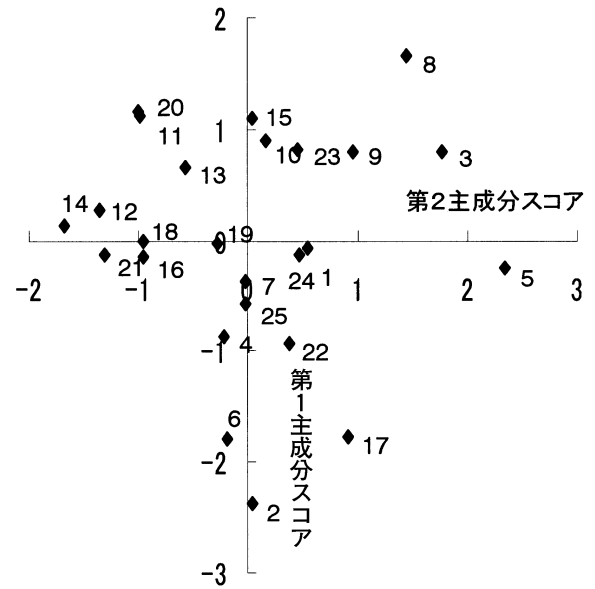


図6 *Ipomoea*属*Batatas*節第1群の4倍体植物の形態的形質の主成分分析により得られた第1および第2主成分スコアの分布
 図中の数字は表5の供試No.に対応。

表7 主成分分析により得られた4倍体植物の群間の交雑率^{ア)}とその分析

♀ \ ♂	A群	B群	C群	D群
A群	-	3 30.2 16.0-52.3	5 36.1 19.0-75.0	14 27.7 8.3-52.5
B群	2 34.8 4.5-65.0	-	2 43.3 41.7-45.0	7 50.7 9.0-81.3
C群	11 46.0 20.3-90.0	4 40.9 10.7-56.9	-	29 41.7 8.3-85.0
D群	17 25.0 3.1-75.0	14 50.0 6.7-86.7	35 36.0 2.8-81.3	-

交雑率についての二元配置分散分析

変動因	自由度	平方和	F値	確率 ^{イ)}
母本	3	613.0	1.36	.258 ^{ns}
父本	3	279.3	0.62	.604 ^{ns}
母本×父本	5	545.7	1.21	.308 ^{ns}
誤差	131	451.2		

^{ア)}: 図2-2-1で分けられたA-D群に属する植物間の交雑率を%で示す。上段、中段および下段はそれぞれ交雑組合せ数、平均値およびレンジを示す。-は交雑を行ってはいけない。

^{イ)}: nsは有意差がないことを示す。

K233とその類似系統からなるA群と他の群との交雑率を平均値でみると、B群との交雑においては、A群を母本および父本としたときは、それぞれ30.2%および34.8%、C群との交雑においては、それぞれ36.1%および46.0%であり、D群との交雑においては、それぞれ27.7%および25.0%であった。その他の群間については交雑率の平均値がもっとも低いのがD群×C群の組合せの36.0%で、もっとも高いのがB群×D群の組合せの50.7%であった。

異群間の交雑率の平均値の差の有意性を検定するために、143組合せを対象に二元配置の分散分析を実施したところ、表7に示すように、交雑に用いる母本および父本の種類による交雑率の差は統計的に有意ではなかった。

次いで、群間あるいは群内の植物間の交雑種子は、C群に属するK500-1とD群に属するK300-1の組合せで発芽率が50%に満たなかったが、他は60%以上の発芽率を示した(表8)。また、同一群内あるいは異なる群間のいずれの交雑組合せにおいても雑種植物は形態的には正常であり、138個体中4個体で葯からの花粉の飛散が認められなかったことを除くと異常個体は認められなかった。

主成分分析において全変異に大きく寄与していると判断された形質の交雑後代における変異をみると以下のものであった。まず、葉の大きさと厚さの変異についてみると、図7aのように、A群はCおよびD群と比較して、著しく葉が小さく、厚かった。B群はA群とCおよびD群の中間の特徴を示した。しかし、K233(A群)と7948(B群)またはK500-1(C群)の雑種個体は、A群とCまたはD群の中間に分布し、B群の植物と類似していた。つまり、雑種個体も含めた4倍体植物の葉の大きさと厚さの変異は連続性を示した。このほか、萼片の大きさ、小花柄の長さおよび太さ、花糸の長さについても変異は図7b, c, およびdのように、連続性を示した。質的形質である花脛部および花筒部の色、花糸および葉の毛茸の多少、葉の切れ込みの程度についても、表9のように雑種植物が各群の中間的な変異を示し、親系統において認められた形態の差は明瞭でなくなった。これらの現象は、A群あるいは他の群の植物の形態的特徴が、別の形態的特徴を有する植物との交雑によって、識別が困難になることを示すものであり、4倍体の形態的変異は種の分化に至るまでには大きくなっていないものと考えられる。

表8 4倍体植物間の交雑によって得られたF₁種子の発芽率および花粉不稔個体の出現率

交配組合せ ^{ア)}	播種 粒数	発芽		養成 個体数	花粉不稔個体 ^{イ)}	
		粒数	率(%)		数	率(%)
K233-1 (A) x K300-1 (D)	10	10	100.0	10	1	10.0
K300-1 (D) x K233-1 (A)	10	6	60.0	6	0	0.0
K233-1 (A) x K500-1 (C)	10	10	100.0	10	0	0.0
K500-1 (C) x K233-1 (A)	10	9	90.0	7	0	0.0
K233-1 (A) x K510 (D)	8	8	100.0	8	1	12.5
K510 (D) x K233-1 (A)	10	10	100.0	10	0	0.0
K233-1 (A) x 7928 (C)	10	10	100.0	10	0	0.0
7928 (C) x K233-1 (A)	10	10	100.0	9	0	0.0
K233-1 (A) x 7947 (D)	10	10	100.0	9	0	0.0
7947 (D) x K233-1 (A)	10	10	100.0	10	0	0.0
K233-1 (A) x 7948 (B)	15	13	86.7	12	2	16.7
7948 (B) x K233-1 (A)	3	2	66.7	2	0	0.0
K500-1 (C) x K300-1 (D)	15	7	46.7	7	0	0.0
K500-1 (C) x K510 (D)	20	16	80.0	15	0	0.0
K500-1 (C) x 7928 (C)	10	7	70.0	4	0	0.0
7928 (C) x K500-1 (C)	10	10	100.0	9	0	0.0

^{ア)} 括弧内には形態により分類された群を示す。

^{イ)} 葯を破ったときに花粉の存在が全く認められない個体を示す。

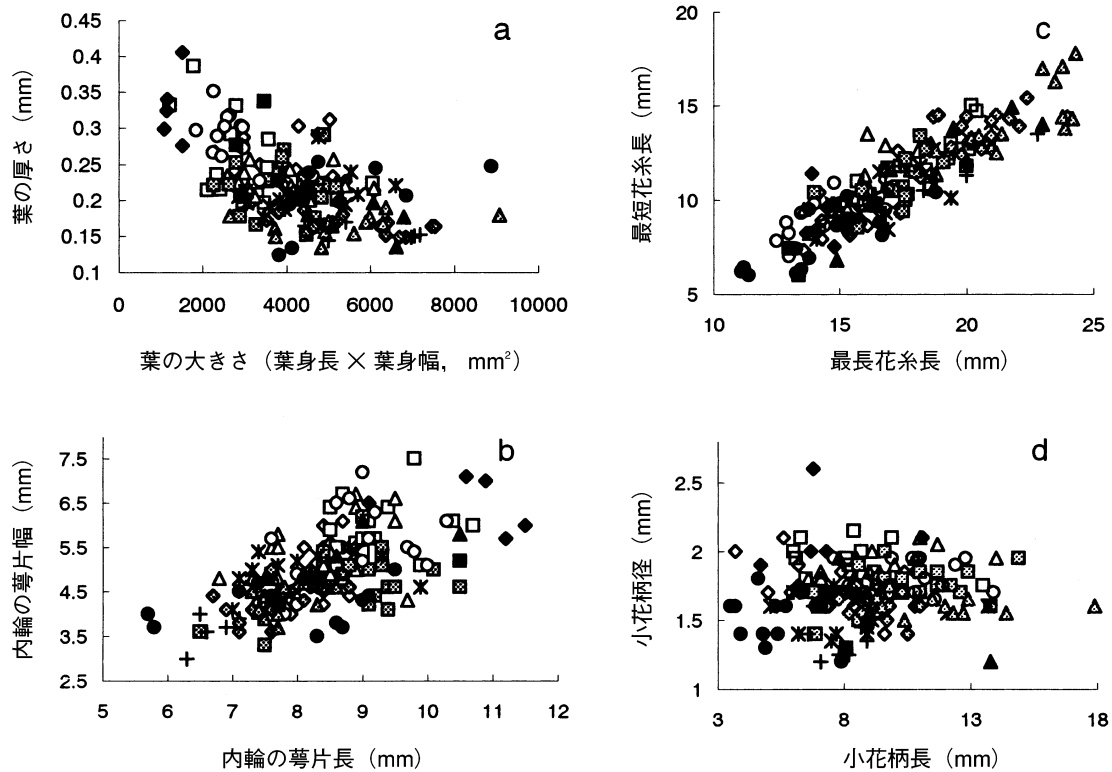


図7 4倍体植物およびその交雑後代における葉身の大きさと厚さ(a)、内輪の萼片の大きさ(b)、花糸長(c)および小花柄の長さ(d)の変異

:A群, :B群, :C群, :D群, :K233-1(A)×7948(B)または7948(B)×K233-1(A), :K233-1(A)×K500-1(C)またはK500-1(C)×K233-1(A), :K233-1(A)×7928(C)または7928(C)×K233-1(A), :K233-1(A)×K300-1(D)またはK300-1(D)×K233-1(A), :K233-1(A)×K510(D)またはK510(D)×K233-1(A), *:K233-1(A)×7947(D)または7947(D)×K233-1(A), +:K300-1(D)×K500-1(C), :K500-1(C)×K510(D), :K500-1(C)×7928(C)または7928(C)×K500-1(C)

さらに、交雑実生個体間の多交雑を行った結果、表10に示すように、交雑率は4.2～89.3%で、親系統間(表7)よりむしろ高い交雑率が得られた。このことから、異なる群間の交雑においてもその後代で雑種不稔は起こらないと判断された。

このように4倍体植物の中で、これまで*I. littoralis*と同定されていたK233およびその類似系統と他の4倍体植物は、形態的には異なっていたが、交雑は容易で、かつ雑種個体は正常な形態および稔性を示し、生物学的な差はないと考えられた。塩谷・川瀬(1981)は*Ipomoea*属*Batatas*節第1群植物が相互に遺伝子交流を行いながら倍数性進化を遂げているという仮説を提示している。また、小林(1984)は、中南米におけるサツマイモ近縁野生植物の分布調査において、多数の自然交雑種子を収集している。これらは、自然条件下での交雑が広く行われて

いることを示唆するものである。さらに、Shiotani(1983)はサツマイモやK233を含む倍数性*I. trifida*は2倍体の*I. trifida*のBゲノムを有すると報告している。A群を構成していたK233とその類似系統はメキシコの西海岸に位置するベラクルスでのみ収集・確認されていることから、これらの植物はベラクルスの海浜性条件に適応した一つの生態型であるとするのが妥当と考えられる。また、K233とほかの4倍体植物との中間的な形態を示す7948という植物がMartin *et al.*(1974)によってコロンビアのカリ周辺で収集されていることは、K233型の形態をもたらす遺伝子が南アメリカ大陸内部にも存在することを示唆するものであろうと考えられる。

わが国の研究者は、現在これらの4倍体植物は、*I. trifida*であるとしている(小林1981、Shiotani1983)。しかし、形態分類に関して世

表9 4倍体植物とその交雑後代の主な形態的形質の平均値とレンジ

4倍体植物 または 交配組合せ	形				質	
	花冠色		毛茸の多少		葉	葉身の 切込み
	花脰部	花筒部	花糸	花糸		
A 群	3.0 (-)	4.0 (-)	3.6 (3.0-5.0)	1.0 (-)	6.2 (5.0-7.0)	
B 群	3.0 (-)	4.0 (-)	4.3 (4.0-4.5)	4.0 (3.0-5.0)	6.0 (5.0-7.0)	
C 群	2.0 (-)	3.2 (3.0-4.0)	5.3 (5.0-6.5)	5.9 (5.0-7.0)	1.8 (1.0-5.0)	
D 群	2.1 (2.0-3.0)	3.2 (3.0-4.0)	5.4 (4.0-6.5)	4.5 (1.0-6.0)	3.5 (1.0-5.0)	
K233-1 (A) x 7948 (B)	2.9 (2.0-3.0)	3.9 (3.0-4.0)	4.0 (3.0-4.5)	2.8 (1.0-6.0)	6.2 (5.0-7.0)	
7948 (B) x K233-1 (A)	3.0 (-)	4.0 (-)	4.0 (-)	4.0 (-)	5.0 (-)	
K233-1 (A) x K500-1 (C)	2.1 (2.0-3.0)	3.2 (3.0-4.0)	4.7 (4.0-5.5)	4.7 (1.0-6.0)	6.0 (5.0-7.0)	
K500-1 (C) x K233-1 (A)	2.0 (-)	3.0 (-)	4.4 (4.0-5.0)	5.1 (3.0-6.0)	6.1 (5.0-7.0)	
K233-1 (A) x 7928 (C)	2.0 (-)	3.0 (-)	4.6 (4.0-6.0)	4.5 (1.0-6.0)	5.2 (1.0-7.0)	
7928 (C) x K233-1 (A)	2.0 (-)	3.0 (-)	4.6 (4.0-6.0)	4.1 (3.0-5.0)	4.3 (1.0-7.0)	
K233-1 (A) x K300-1 (D)	2.1 (2.0-3.0)	3.1 (3.0-4.0)	4.8 (4.0-6.0)	3.7 (3.0-5.0)	6.4 (5.0-7.0)	
K300-1 (D) x K233-1 (A)	2.7 (2.0-3.0)	3.7 (3.0-4.0)	5.0 (4.0-6.0)	3.5 (1.0-5.0)	6.0 (5.0-7.0)	
K233-1 (A) x K510 (D)	2.0 (-)	3.0 (-)	4.3 (4.0-5.0)	2.4 (1.0-3.0)	5.8 (5.0-7.0)	
K510 (D) x K233-1 (A)	2.0 (-)	3.0 (-)	4.4 (4.0-6.0)	2.7 (1.0-3.0)	6.4 (5.0-7.0)	
K233-1 (A) x 7947 (D)	2.0 (-)	3.0 (-)	4.6 (4.5-5.0)	2.6 (1.0-6.0)	5.9 (5.0-7.0)	
7947 (D) x K233-1 (A)	2.0 (-)	3.0 (-)	4.5 (4.0-5.0)	2.8 (1.0-4.0)	5.6 (5.0-7.0)	
K300-1 (D) x K500-1 (C)	2.0 (-)	3.0 (-)	5.4 (4.5-6.0)	5.1 (4.0-6.0)	2.6 (1.0-5.0)	
K500-1 (C) x K510 (D)	2.0 (-)	3.0 (-)	4.8 (4.0-6.0)	5.6 (3.0-6.0)	1.5 (1.0-5.0)	
K500-1 (C) x 7928 (C)	2.0 (-)	3.0 (-)	4.8 (4.5-5.0)	6.0 (-)	1.0 (-)	
7928 (C) x K500-1 (C)	2.0 (-)	2.9 (2.0-3.0)	4.9 (4.0-6.0)	6.2 (5.0-7.0)	1.9 (1.0-5.0)	

表10 主成分分析により得られた4倍体植物の群間の交雑後代の雌性稔性

交配組合せ ^{ア)}		交配 型	後代の雌性稔性 ^{イ)}		
母本	父本		平均	最高	最低
A群	B群	AB	21.5	60.0	4.2
A群	C群	AC	52.5	80.0	25.0
C群	A群	CA	52.6	89.3	15.6
A群	D群	AD	50.1	79.2	15.0
D群	A群	DA	47.6	83.3	15.0

ア) 図4参照

イ) 各雑種個体に同一組合せに由来する雑種個体の花粉を受粉したときの交雑率(%)

界的に認められている米国のAustinの分類系に基づいて行われた研究では、Bohac *et al.* (1993)、He *et al.* (1995) およびJarret *et al.* (1992) は

K233を*I. batatas*と、Austin (1977、1978) は*I. batatas*と2倍体の*I. trifida*の雑種であるとしている。B群に属する7948、C群に属する7928、D群に属する7947についても、Bohac *et al.* (1993) は*I. batatas*であるとしている。つまり、4倍体野生植物の形態的特性の変異を主成分分析で分析して得られた4群に属するすべての植物が米国の研究者により、*I. batatas*であると同定されている。

これらの結果から、サツマイモと交雑が可能な4倍体植物は形態的には差が認められるものの、交雑の程度からは異種とするほどの差はなく、種名についても*I. trifida*より*I. batatas*とするのが妥当であると考えられる。

3 *Ipomoea*属 *batatas*節第1群に属する植物のRandomly amplified polymorphic DNA (RAPD) パターンの解析

形態や交雑の可否は種の分類を行う有効な手法であるが、近年開発されたDNAの塩基配列の違いを検出する技術はDNAレベルでの種間の差異を直接認識するものとして、種の分類に非常に有効であると考えられる。原田(1993)は特定の遺伝子またはDNA領域の塩基配列を直接比較することができれば理想的であるが、現在の技術では労力・精度の点から有効な手法とはいえず、塩基配列を決定することなくゲノムDNAの特定領域の塩基配列多型を検出することにより、系統発生あるいはゲノムの進化の解析に適用できるとしている。制限酵素断片長多型(Restriction Fragment Length Polymorphism, RFLP)は植物の類縁関係をDNA配列の観点から解明する目的でもっともよく利用される解析手法の一つである。しかし、RFLPは純度の高いDNAを要求し、また検出手法も煩雑であるところから、近年ではRAPD解析が広く利用されている。RAPDは制限酵素認識部位の塩基配列の違いに基づくRFLPとは異なって、ゲノム配列中の欠失や挿入を反映したPolymerase Chain Reaction(PCR)増幅断片長の違いや断片の有無としてとらえられる。RAPDはRFLPほど純度の高いDNAを要求せず、また耐熱性のPolymeraseが次々と発見され、操作もサーマルサイクラーを用いることにより容易に実行が可能であるところから植物間の類縁関係を知る上で極めて有効な手法である。

前節までにおいて、サツマイモおよび*Ipomoea*属*Batatas*節第1群植物は形態的形質の変異の解析により、すべて一つの大きな群に包括され、分類することは困難であること、さらに、4倍体植物は形態的にも、生物学的にも一つの種であり、*I.batatas*とするのが妥当であることを明らかにしてきた。

本節では、形態的および生物学的に分類が困難である*Ipomoea*属*Batatas*節第1群の植物をDNAの変異に基づいて分類することが可能か

どうかを明らかにするために、*Ipomoea*属*batatas*節第1群に属する2、4および6倍体からそれぞれ数系統を任意に選んで、RAPD法による類縁性の解析を行った。

1) 材料および方法

*Batatas*節第1群に属する植物群より、サツマイモ8品種、サツマイモと交雑が可能な2倍体植物2種類、4倍体植物5種類、および6倍体植物2種類の合計17種類を供試した(表11)。これらを農業研究センター谷和原畑圃場のガラス温室で養成し、第1展開葉をDNA抽出用材料とした。なお、DNA抽出に用いる機材はすべてオートクレーブした後用いた。葉身からDNAを抽出・精製する方法を図8に示した。

まず、12塩基対のランダムプライマー(BEX Co. Ltd., Tokyo, Japan)84種類を用いてDNA断片の増幅の可否を検定した。サツマイモ3品種(元気、七福および元カジャール)、2倍体および4倍体植物それぞれ1種類(DD1-9およびK300-1)を対象とし、それぞれの材料から得られた20ngのDNAを20 μ lのPCR反応液中で増幅した。PCR反応液は0.2 μ Mのプライマー、10mM Tris-HCl(pH8.8)、50mM KCl、1.5mM MgCl₂、0.1% Triton X-100、250 μ MのdNTP、および1.25UnitのGene Taqポリメラーゼ(Nippon Gene, Tokyo, Japan)からなった。PCR増幅はサーマルサイクラー(Takara TP2000, Otsu, Shiga, Japan)を用いて、以下の温度条件で行った。まず、94 $^{\circ}$ Cで3分間予備加熱した。その後、94 $^{\circ}$ Cで1分間の変性、1分間のアニーリング、および72 $^{\circ}$ Cで2分間の伸長を45サイクル行い、最後に5分間72 $^{\circ}$ Cで加熱して完了した。なお、アニーリングの温度は、プライマーのG/C比率に基づいて計算された要求温度が35.6未満の場合は30 $^{\circ}$ C、35.6以上の場合は40 $^{\circ}$ Cとした。PCR産物は1.5%のアガロースゲルを担体にしてMupid(Advance Co. Ltd.)を用いて100Vで約30分間電気泳動した。アガロースゲルは0.1mg/lのエチジウムブロマイドで染色し、320nmの紫外線で発色させ、ポラロイド撮影した。

表11 RAPD分析に利用した材料

品種名 または 収集 No.	来歴	同定 ^{ア)}	倍数 性
元カジャー	沖縄県の在来品種	<i>I. batatas</i>	6x
元気	在来品種	//	6x
七福	米国からの導入品種	//	6x
ベニコマチ	コガネセンガン x 高系14号	//	6x
ベニアズマ	関東85号 x コガネセンガン	//	6x
関東83号	コガネセンガン x 高系14号	//	6x
Centennial	米国からの導入品種	//	6x
Amaya	コロンビアからの導入品種	//	6x
K123-11	Orizaba, Veracruz, Mexico	<i>I. trifida</i>	6x
7903	Cali, Colombia	<i>I. batatas?</i>	6x
K233-1	Veracruz, Veracruz, Mexico	<i>I. littoralis</i>	4x
K300-1	Esmeralda, Ecuador	<i>I. trifida?</i>	4x
K500-1	Vicinity of Cali, Colombia	//	4x
7928	Elrocio, Colombia	<i>I. trifida</i>	4x
7948	Cali, Colombia(73.1)	<i>I. trifida?</i>	4x
DD1-9	K450-1 x 7931	<i>I. trifida</i>	2x
DD2-5	7912 x 7916	//	2x

ア) は種名を同定するに至らず、推定にとどまっていることを示す。

このようにして得られたPCR増幅の程度および多型バンドの出現頻度によって、解析に適したプライマーを選定し、サツマイモおよびその近縁野生植物17種類を対象に同様にRAPD分析を行った。

得られたバンドデータは、個々のバンドについて、有を1、無を0とする2値データとし、Nei (1975) の方法によって遺伝的距離行列を求めた。この遺伝的距離行列に基づいて非加重群平均化 (UPGMA) 法でクラスター分析し、デンドログラムを求めた。クラスター分析はPhylogeny Inference Package (Washington State University, Washington, U.S.A) version 3.5c で行った。

2) 結果および考察

用いた84プライマーのうち46プライマーで良好なPCR増幅が観察された。このうち、多型バンドの出現程度およびバンドの明瞭さなどを基準に次の5プライマーを選定した。すなわち、BEXC00 (GAGTTGTATGCG), BEXC14 (CTGCCCTGTACCA), BEXC33 (GGCAACCTACAG), BEXC34 (TACCCAGGAGCG) およびBEXC36 (AGGGATAATGGC) である。これらのプライ

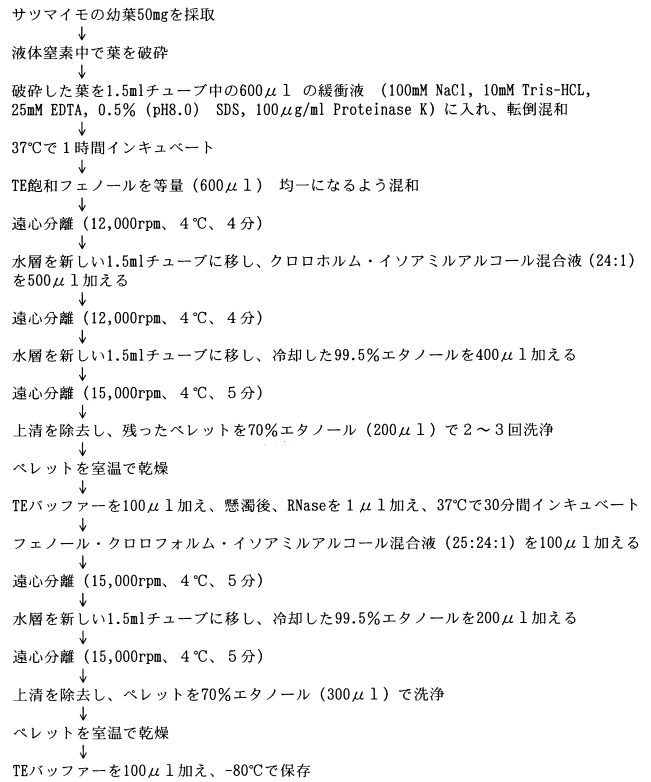


図8 サツマイモおよびその近縁野生植物の葉からのDNA抽出法

マーを用いて17種類の植物を対象にRAPD分析を行った結果、それぞれのプライマーは4~11のバンドを検出し、そのうち平均で6.6本が多型バンドであった。これらのバンドは300~1,300bpの断片を増幅したものであった(写真1および図9)。

これらのバンドデータを元にして得られた遺伝的距離とそのデンドログラムを図10に示した。分類の基準を、遺伝的距離が0.004以上であるとした場合、供試した17種類は大きく4つのクラスターに分かれ、3種類はどのクラスターにも属さなかった。クラスター1には、小林(1981)により*I. trifida*と同定された4倍体1系統(7928)と6倍体である米国産のサツマイモ1品種(Centennial)、コロンビア産の野生系統(7903)、および西山ら(1961a, b)により*I. trifida*と同定された系統(K123-11)の3品種・系統の合計4品種・系統、クラスター2は、Teramura(1979)により*I. littoralis*と同定されたK233、*I. trifida*と推定されている7948およびK500-1の4倍体3系統と6倍体であるコロ

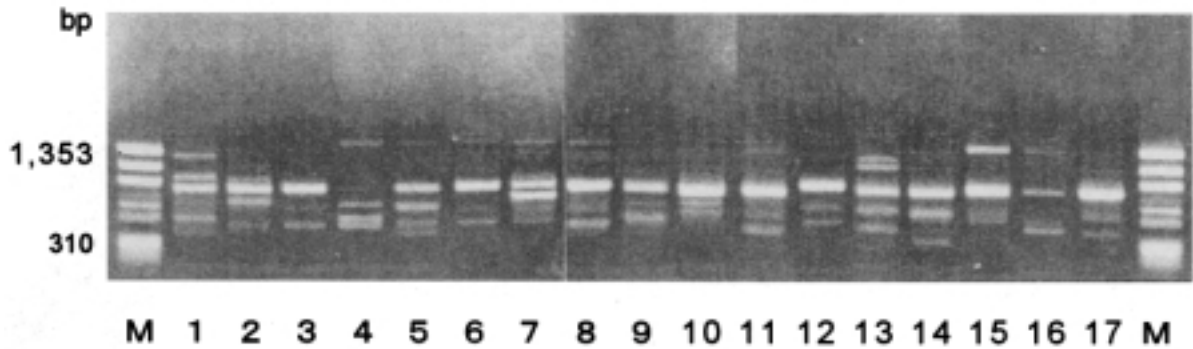


写真1 サツマイモおよびその近縁野生植物17種類において12塩基対のランダムプライマー (BEXC34) で増幅されたRAPDバンド (デジタル写真)

M : 分子量マーカー (x174/Hae digest)

1 : 元氣、2 : 七福、3 : 元カジャ、4 : センテナアル、5 : ベニアズマ、6 : ベニコマチ、7 : 関東83号、
8 : Amaya、9 : 7903、10 : K123-11、11 : K223-1、12 : K300-1、13 : K500-1、14 : 7928、15 : 7948、
16 : DD1-9、17 : DD2-5

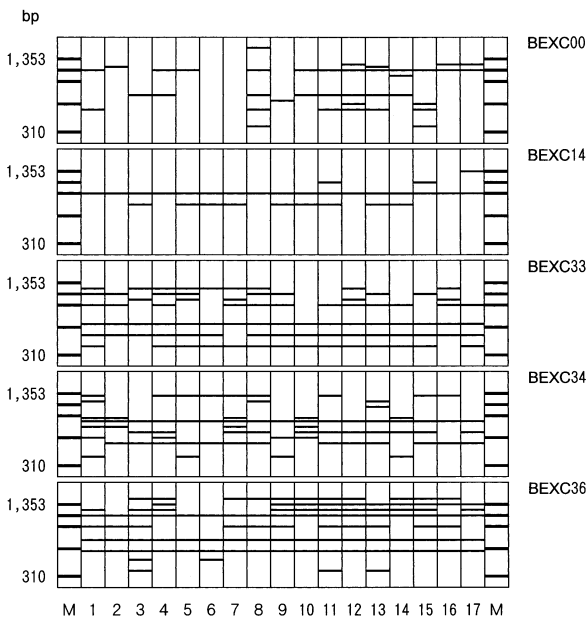


図9 サツマイモおよびその近縁野生植物17種類において5種の12塩基対のランダムプライマーで増幅されたRAPDバンドの模式図

M : 分子量マーカー (x174/Hae digest)

1 : 元氣、2 : 七福、3 : 元カジャ、4 : センテナアル、
5 : ベニアズマ、6 : ベニコマチ、7 : 関東83号、
8 : Amaya、9 : 7903、10 : K123-11、11 : K223-1、
12 : K300-1、13 : K500-1、14 : 7928、15 : 7948、
16 : DD1-9、17 : DD2-5

ピア産のサツマイモ1品種 (Amaya) の合計4品種・系統で構成された。クラスター3は、2倍体の*I. trifida* 2系統と*I. trifida*と推定されている4倍体1系統 (K300-1) の合計3系統で、クラスター4は日本で新しく育成されたサツマイモ3品種・系統のみで構成された。これらの3品種・系統はすべて片親にコガネセンガン

もち、特にベニコマチと関東83号はコガネセンガンと高系14号の交配組合せから選抜された兄弟系統である。独立していた3種類はすべて日本の在来品種であった。

このことから、クラスター1は主に野生型の6倍体、クラスター2は主に4倍体、クラスター3は主に2倍体、クラスター4は日本の新しいサツマイモ品種という傾向はみられた。しかし、クラスター1には4倍体系統、クラスター2にはサツマイモ品種、クラスター3には4倍体系統が含まれているところから、RAPD分析によるサツマイモとその近縁野生植物の分類は有効ではないと考えられた。また、供試材料は遺伝距離が極めて近いことから (図10)、非常に類縁性が高いと考えられた。He *et al.* (1995) は、6倍体の多数のサツマイモ品種に*Batatas* 節第1群の4倍体植物1種類 (K233) と第2群の*I. triloba*を加えてRAPD分析し、*I. triloba*がサツマイモと類縁性が低く、K233は比較的高いことを指摘している。Jarret and Austin (1994) は、2倍体および4倍体*Ipomoea*属の種、および6倍体のサツマイモの類縁性をRAPD法によって解析し、2倍体の*I. trifida*および4倍体の*I. batatas*は6倍体のサツマイモが類縁性が高く、他の*Batatas*節の種とは遠縁であること、6倍体のサツマイモは4倍体の*I. batatas*と2倍体の*I. trifida*とは異なるクラスターに分けられるが、4倍体の*I. batatas*と2倍体の*I. trifida*は同じクラ

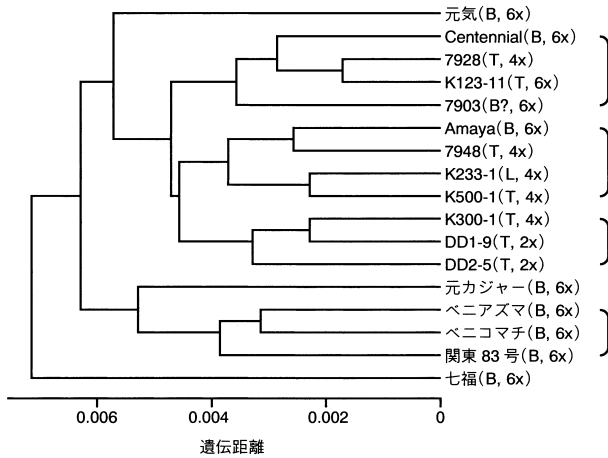


図10 サツマイモおよびその近縁野生植物17種類において5種の12塩基対のランダムプライマーで増幅されたRAPDバンドに基づくデンドログラム

B : *I.batatas*, T : *I.trifida*, L : *I.littoralis*,
6x : 6 倍体, 4x : 4 倍体, 2x : 2 倍体

スターに混在することを明らかにしている。これらの報告と今回の結果を総合すると、供試材料の遺伝的多様性により、RAPD法により得られる結果が異なることが推察される。つまり、6倍体のサツマイモを中心に解析した場合は、4倍体系統はサツマイモとは遠縁であると認識されるが、*Ipomoea*属の多数の種を加えて解析した場合は、*Batatas*節第1群植物がサツマイモと非常に近縁であるものの、第2群植物は遠縁で、*Batatas*節以外の植物はさらに遠縁であると分類される。2倍体から6倍体までの*Ipomoea*属*Batatas*節第1群植物とサツマイモを対象にした場合には、現段階では2倍体、4倍体および6倍体を明確に分類できるまでには至っていない。

分子マーカーを用いたもう一つの一般的な解析法であるRFLP解析についてみると、Jarret *et al.* (1992) は*Ipomoea*属の16種を供試し、これらの中でサツマイモにもっとも近縁な種は2倍体の*I.trifida*とK233であるとし、このうちK233は*I.batatas* var. *apiculata*であると結論している。さらに、Kowyama *et al.* (1992) は核DNAおよび細胞質DNAの解析により、2倍体の*I. trifida*はサツマイモやK123などの6倍体植物、4倍体の*I.trifida*および*I.tiliacea*とは遠縁であると結論している。このようにRFLP分析においても

異なる結論が得られている。

以上のことから、サツマイモと*Ipomoea*属*Batatas*節の第1群植物は他の*Batatas*節植物や*Batatas*節以外の植物とは遠縁であるが、第1群内では倍数性を問わず極めて近縁であり、DNAマーカーによっても明確に分類することは困難であると考えられた。

4 考 察

サツマイモおよびその近縁野生植物の分類においては、日米研究者による見解の違いが大きい。特に、野生の6倍体植物K123の分類上の位置づけが曖昧であるため、K123を用いて育成した高でん粉多収品種「ミナミユタカ」が、野生種を育種に利用して得られた成果として評価されない場合がある。

では、サツマイモ近縁野生植物を形態的、生物学的、および分子遺伝学的視点から解析し、分類することを目的とした。

わが国に導入されているサツマイモ近縁野生植物 (*Ipomoea*属*Batatas*節植物) について行われてきた分類を、異なる研究者の見解に基づいて整理すると、以下の通りであり、表12に整理した。

6倍体のK123およびK177については、西山ら (1961a, b) およびTeramura (1979) は*I.trifida*と同定したが、Austin (1977, 1978)、Jones (1967)、およびYen (1971) はサツマイモ、つまり*I.batatas*であるとした。また、4倍体のK233については、Nishiyama (1971) およびTeramura (1979) は*I.littoralis*、Jones (1970) およびMartin and Jones (1972) は*I.gracilis*、小林 (1981) や塩谷・川瀬 (1981) は*I.trifida*、Austin (1977, 1978) はサツマイモと2倍体 (おそらく*I.trifida*) の雑種あるいは*I.batatas*、Bohac *et al.* (1993)、He *et al.* (1995) およびJarret *et al.* (1992) は*I.batatas*であると同定している。他の4倍体植物であるK300-1、7928、および7948についてもKobayashi (1984) は*I.trifida*と同定または推定しているが、Austin (1983) およびBohac *et al.* (1993) は*I.batatas*と

表12 わが国に導入されたサツマイモ近縁野生植物の分類

整理 番号	導入者	導入 年	倍数 性	Nishiyama (1971) および Teramura(1979) による分類	小林(1984) による分類 ⁷⁾	Austin(1987) の検索表に基 づく同定 ¹⁾
K123	西山	1956	6x	<i>I. trifida</i>	<i>I. batatas</i> 又は <i>I. trifida</i>	<i>I. batatas</i>
K177	村松	1959	6x	//	//	//
K233	村松	1962	4x	<i>I. littoralis</i>	<i>I. trifida</i>	<i>I. batatas</i> との雑種
K222	玉利・小林	1961	3x	<i>I. trifida</i>	<i>I. trifida</i>	<i>I. batatas</i> ?
K221	//	1961	2x	<i>I. leucantha</i>	<i>I. trifida</i>	<i>I. trifida</i>
K134	西山	1956	4x	<i>I. gracilis</i>	—	<i>I. tiliacea</i>
K270	Gardner	1964	4x	<i>I. tiliacea</i>	—	//
K61	西山	1956	2x	<i>I. lacunosa</i>	—	<i>I. lacunosa</i>
K121	西山	1956	2x	<i>I. triloba</i>	—	<i>I. cordato- triloba</i>

⁷⁾ - は言及していないことを示す。

¹⁾ ?はAustin (1987) の記載等に基づいて推定したものである。

同定している。さらに、2倍体植物のうち、最初にわが国へ導入されたK221については、Nishiyama (1971) やTeramura (1979) は*I. leucantha*と同定しているが、小林 (1981) や塩谷・川瀬 (1981) およびBohac *et al.* (1993) は第1群の2倍体植物はすべて*I. trifida*と同定あるいは推定している。

本研究では、まず形態的形質を数量化し、多変量解析を適用した分類を行った。図1に示すようにIpomoea属Batatas節植物のうち第1群植物は、*I. tiliacea*と同定されているK270とともに一つの大きな群に包括され、第2群植物の*I. cordato-triloba*、*I. triloba*および*I. lacunosa*とは識別が可能であった。第1群植物は2倍体から6倍体までの倍数性を含み、倍数性が高くなるにつれて、花冠が大きく太くなり、外輪の萼片が長くなり、さらに花筒部の形状が漏斗形から太い鐘形へと変化する傾向が認められたが、その変化は連続的であった。このことから、第1群植物は異なる倍数性を含む倍数性複合体を形成する一つの種であると考えられた。このうち、4倍体植物については、K233およびその類似系統は形態的には、他の4倍体植物とは異なっているものの、表7に示すように生殖的隔離は認められず、生物学的には異種とするほどの差は

ないと判断された。形態的にも、K233およびその類似系統と他の4倍体植物の中間型が存在したところから(図4) K233のような形態的特徴を発現させる遺伝子が広く分布していることが推察された。つまり、K233と他の4倍体植物の交雑によって得られた雑種の形態的変異は図7および表9のように非常に多様であり、自然界でも様々な形態をもつ4倍体が出現する可能性を示唆している。これらの結果から、4倍体植物はすべて一つの種であり、K233は特殊な生育環境に適応した生態型であると判断された。また、種名は米国の研究者の形態分類に基づいて、*I. batatas*とするのが妥当であると結論した。

さらに、分子遺伝学レベルでの変異を解析するため、サツマイモおよび2倍体から6倍体までの倍数体を含む第1群植物にRAPD分析を適用したが、RAPDマーカーによってサツマイモおよび第1群植物を明確に分類することは困難であった。

これらの結果を踏まえて、Ipomoea属Batatas節第1群植物は、形態的、生物学的および分子遺伝学的に一つの種であり、表13に示すように、*I. batatas*と同定するのが妥当であるという結論に達した。

表13 本研究結果に基づく供試材料の分類

種名	倍数性	Teramura (1979)、Kobayashi (1984)、Shiotani (1990)、Austin (1978, 1987) による分類	品種・種類・系統 (番号は表1に対応)
<i>I. batatas</i>	6x	<i>I. batatas</i>	1 - 8
		<i>I. batatas</i> または <i>I. trifida</i>	9 - 16
	4x	<i>I. batatas</i> 、 <i>I. trifida</i> または <i>I. littoralis</i>	17 - 47
	2x	<i>I. trifida</i> または <i>I. leucantha</i>	49 - 88
<i>I. tiliacea</i>	4x	<i>I. tiliacea</i>	48
<i>I. lacunosa</i>	2x	<i>I. lacunosa</i> または <i>I. triloba</i>	89, 91, 98, 107
<i>I. cordato-triloba</i>	2x	<i>I. trichocarpa</i> または <i>I. triloba</i>	92 - 97
<i>I. triloba</i>	2x	<i>I. triloba</i>	90, 99 - 106
不明	不明	不明	108 - 110

における結論は、多数の形態的形質を数量化し、多変量解析によって得られているところから、これまでの分類と比べて極めて客観的で、信頼性の高いものであると考えられる。また、多数の4倍体植物間の形態的変異の主成分分析と広範な交雑実験は、従来行われてきた形態的形質の解析や限られた材料を用いた交雑実験では得られなかった新たな分類を可能にした。さらに、RAPD法という分子遺伝学的手法によって得られた知見を加えて行った系統分類学的な

研究は、*Ipomoea*属*Batatas*節第1群植物の分類が極めて困難であるとともに、すべて一つの種とするという概念を提起することを可能にした。

今後、*Ipomoea*属*Batatas*節の第1群植物がすべて一つの種であるという仮説を検証するために、2倍体植物の倍数化に伴う形態の変化の精査を通して、さらに論議を深化させていくことが必要である。

サツマイモ近縁野生植物の育種的利用に関する研究

サツマイモの近縁野生植物をサツマイモの品種改良に利用しようとする初めての試みがTioutine (1935) によって行われた。このとき用いられたのは*I. tiliacea*であったが、サツマイモとの交雑の可否や細胞遺伝学的研究の裏付けがなかったため、サツマイモとの交雑種子を得ることができず、この試みは失敗に終わった。その後、近縁野生植物がサツマイモの育種に利用されることはなく、在来品種や海外からの導入品種を用いた交雑育種によって、優れた品種が育成されてきた。

しかし、西山 (1959) が、サツマイモと交雑が可能な6倍体の野生植物 (K123) を見いだ

したのを契機に、改めてわが国で近縁野生植物の育種的な利用が開始された (Kobayashi 1978、Sakamoto 1970)。1977年には近縁野生植物を利用した高でん粉多収品種「ミナミユタカ」が世界に先駆けて育成され (小野ら 1977)、その後育成されたわが国の育成系統はほとんどが6倍体の野生植物を祖先にもつようになった。

サツマイモおよびその近縁野生植物は*Ipomoea*属*Batatas*節に分類されるが、Nishiyama (1971) はサツマイモと交雑が可能なものを第1群、不可能なものを第2群植物と呼んで区別している。K123の導入以降、*Ipomoea*属*Batatas*節第1群の2倍体 (K221)、3倍体 (K222) お

よび4倍体植物(K233)が我が国に導入され、4倍体植物と2倍体植物の雑種にコルヒチン処理して得られた人為合成6倍体、あるいはサツマイモと3倍体植物を交雑した際、3倍体植物にみられる非還元性配偶子により得られた6倍体雑種を利用した育種が行われたが、現在までのところ、有望系統は得られていない。

西山ら(1961b)は、K123は塊根を形成することはないが、でん粉を蓄積したゴボウ状の根(梗根)をもち、個体間で梗根の太さに差があることを認めている。「ミナミユタカ」の育成に用いられた個体はもっとも太い梗根を着生する個体であり、さらにサツマイモ栽培においてもっとも重要な問題の一つであるサツマイモネコブセンチュウに対しても極めて強い抵抗性を有していた。しかし、K221、K222およびK233はネコブセンチュウ抵抗性は示すものの、根はいずれも非常に細い梗根にしかならない。これまでK123以外に実用性に優れた系統が得られていない原因の一つとして、他の近縁野生植物の根の肥大能力の欠如があるものと考えられる。

後に、塩谷・川瀬(1981)はメキシコで、根の肥大能力を有し、K123よりも太い梗根を形成する2倍体植物を収集した。同様に根が肥大する2倍体植物はKobayashi(1984)によっても、コロンビアにおいて見いだされており、メキシコからコロンビアにかけて、広く分布しているものと考えられる。このように太い梗根を着生する近縁野生植物はこれまでのところ2倍体以外では見いだされておらず、サツマイモ育種に野生植物を利用する観点から、2倍体植物は極めて有用な育種素材であると考えられる。

では、2倍体野生植物をサツマイモ育種に活用するために、まず、 -1 で形態的変異に基づいて分類したA、BおよびC群の中で、サツマイモと同じA群に属した2倍体植物とサツマイモとの交雑を行い、その交雑率を求めた。さらに、2倍体植物の育種素材としての有用性を根の肥大性およびネコブセンチュウ抵抗性から明らかにするとともに、これらの特性を2倍

体レベルで改善するために、2倍体植物同士の間交雑の程度を把握した。さらに、サツマイモと2倍体植物の間交雑後代のいも収量および切干歩合の変異を通して、2倍体野生植物を用いたときの育種展望について考察を加えた。

1 サツマイモと2倍体近縁野生植物との交雑の可能性

近縁野生植物を育種的に利用する場合にしばしば問題となるのは、栽培種との交雑の障害である。館岡(1983)は、種間の遺伝的背景の差によって、受粉が起こっても生活力のある種子のできない不稔性、雑種が正常な発育をとげる力をもたない雑種の生活力欠如または弱体、雑種の生殖器官あるいは配偶子が不完全で機能しない雑種不稔、および遺伝的組成が不適切なために F_2 以降の雑種個体が衰退する雑種衰退のいずれかあるいはいくつかが起こり、雑種の形成が妨げられるとしている。

サツマイモに近縁な2倍体植物を育種的に利用する目的で、Nishiyama *et al.* (1975) および Teramura (1979) は、最初にわが国に導入された2倍体植物であるK221とサツマイモの直接交雑を試みた。K221を母本にした交雑組合せではさく果は多数形成されたが、種子は生育途中で退化し、雑種種子を得ることはできなかった。一方、サツマイモを母本にした交雑組合せでは、さく果および種子ともに全く形成されなかった。その後、中西・小林(1977)はサツマイモを母本とした場合、交雑率は極めて低いものの、品種によってはK221と直接交雑が可能であることを明らかにした。また、中西・小林(1977、1978)はK221を母本にしたときも、受粉後のオーキシン処理と胚培養を組み合わせることにより雑種作出が可能であることを明らかにした。しかし、K221以降、Muramatsu and Shiotani (1974) や小林(1981)により導入された多数の2倍体植物とサツマイモの間交雑の可能性については不明のままである。

2倍体植物とサツマイモとの交雑の可能性を明らかにすることは、2倍体植物をサツマイモ

育種に利用する上で極めて重要である。また、2倍体同士の交雑率は、根の肥大性およびネコブセンチュウ抵抗性を含む有用特性を2倍体レベルで改善するために必要である。

- 1では、サツマイモと2倍体植物、および2倍体同士の交雑の程度を明らかにした。併せて、で行った2倍体植物の分類的位置づけを生物学的側面からさらに検討した。

1) 材料および方法

サツマイモと2倍体近縁野生植物の交雑は1982年と1983年の2カ年にわたって行った。1982年には表14に示すようにサツマイモ6品種・系統とメキシコ、コロンビアおよびベネズエラから導入された2倍体近縁野生植物8系統を用いた37組合せ、1983年には表15に示すように、サツマイモ10品種・系統を母本とし、2倍体植物間の雑種10系統を父本とした105組合せの交雑を行った。なお、2カ年に用いたサツマイモ品種は実用的特性の改善の観点から選定しており、千系682-11、九州58号、L-4-5、九州78号、コガネセンガン、シロユタカおよびタマユタカは高でん粉・多収性、農林5号、Capela、ベニワセ、高系14号および千系7425-6は形状が良く早期肥大性、ナエシラズおよび中国25号は大きさ

の揃ったいもを多数着生する特性、中国23号は短蔓性という特性を持つ。なお、L-4-5は米国、Capelaはメキシコからの導入品種であり、コガネセンガンはL-4-5を父本とする交雑組合せから選抜された品種である。また、九州58号と九州78号はK123を祖先にもつ系統である。1982年に用いた2倍体植物は - 1で形態的特徴からA群に分類されたものであり、1983年に用いた2倍体植物は同じくA群に分類された植物間の5交雑組合せ(7915 x K450-10、8048 x 8039、8048 x K450-10、8048 x 7931-1および8039 x 8042)の雑種個体の中からそれぞれ無作為に選んだ2個体である。

2倍体植物同士については表16に示すように、A群に分類された31系統を用いて、1980年から1983年にかけて277組合せの交雑を行った。

なお、サツマイモと2倍体植物の交雑では、サツマイモを母本としてのみ利用したが、これはNishiyama *et al.* (1975) およびTeramura (1979) が、倍数性の低い系統を母本に用いた場合にさく果は多数できるものの種子は途中退化し、逆に倍数性の高い系統を母本にするとさく果および種子の形成頻度は低いが、発芽能力のある種子が得られるという現象を認めているためである。

表14 サツマイモと2倍体野生植物の交雑率¹⁾(1982年)

♀ \ ♂	K450-1	K450-3	K450-10	7910	7911	7912	7915	7931-1	平均
千系682-11	0.25	0.25	2.50	0.76	0.50	0.00	0.00	0.51	0.60 ^b
農林2号	0.76	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	- ¹⁾	0.00	0.25 ^b
九州58号	4.00	2.47	2.50	0.96	2.25	0.61	3.13	2.88	2.35 ^a
L-4-5	0.71	1.67	-	0.00	0.00	-	0.00	0.00	0.40 ^b
Capela	4.55	0.00	-	0.00	1.14	-	-	6.25	2.39 ^a
九州78号	0.69	1.61	-	-	1.15	-	-	-	1.15 ^{ab}
平均	1.83 ^a	1.17 ^a	1.67 ^a	0.34 ^a	0.84 ^a	0.20 ^a	1.04 ^a	1.93 ^a	1.16

¹⁾ 交雑率の単位は%。

¹⁾ - は交雑を行わなかったことを示す。

²⁾ Duncanの多重検定法により母本および父本による交雑率の平均値の差異を検定。交雑率の平均の右肩の文字が異なる場合は5%水準で有意差あり。

表15 サツマイモと2倍体野生植物の交雑率^{ア)}(1983年)

♀ \ ♂ ^{イ)}	D1-1	D1-2	D2-1	D2-2	D3-1	D3-2	D4-1	D4-2	D5-1	D5-2	平均
コガネセンガン	3.82	1.32	2.08	2.39	2.69	1.37	7.29	2.63	0.81	0.18	2.46 ^a
シロユタカ	0.00	0.96	1.14	3.33	0.54	0.00	0.00	0.00	1.67	0.00	0.76 ^b
ナエシラズ	0.59	0.76	0.00	0.00	0.85	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	0.24 ^b
タマユタカ	0.52	0.47	0.86	0.86	0.00	1.03	0.88	0.53	0.26	0.17	0.56 ^b
ベニワセ	0.00	0.00	0.66	0.50	0.43	- ^{ウ)}	-	-	0.63	0.00	0.32 ^b
高系14号	0.25	0.00	0.34	2.13	0.00	0.00	0.00	1.14	0.00	0.00	0.39 ^b
九州78号	1.56	0.38	0.49	0.85	1.34	0.66	2.70	0.00	0.25	0.29	0.85 ^b
中国23号	0.00	0.00	0.00	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00 ^b
中国25号	1.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.71	1.85	0.00	0.00	0.00	0.37 ^b
千系7425-6	1.28	0.00	0.00	0.00	0.61	-	0.00	0.00	0.93	0.00	0.31 ^b
平均	0.92 ^{ab}	0.39 ^{ab}	0.56 ^{ab}	1.12 ^{ab}	0.65 ^{ab}	0.47 ^{ab}	1.41 ^a	0.48 ^{ab}	0.48 ^{ab}	0.06 ^b	0.65

^{ア)} 交雑率の単位は%。

^{イ)} D1-1および2は7915 x K450-10、D2-1および2は8048 x 8039、D3-1および2は8048 x K450-10、D4-1および2は8048 x 7931-1、D5-1および2は8039 x 8042に由来している。

^{ウ)} - は交雑を行わなかったことを示す。

^{エ)} Duncanの多重検定法により母本および父本による交雑率の平均値の差異を検定。交雑率の平均の右肩の文字が異なる場合は5%水準で有意差あり。

すべての材料の開花を誘導するために、径24cmの素焼き鉢に養成したキダチアサガオ (*I. nil* cv. Kidachi) に高接ぎし、防虫網で花粉の媒介昆虫の侵入を防いだ温室においた。交雑を行う前に、母本に用いる品種・系統の自家和合性を事前に検定し、自家和合性を示す場合は前日のうちに除雄した。開花当日、ピンセットで父本の葯を摘出し、母本の柱頭に受粉した。ピンセットは受粉ごとに70%エタノールで洗浄した。交雑花数はサツマイモと2倍体の組合せでは100花以上を目標とし、他の組合せでは原則として25花とした。*Ipomoea*属*Batatas*節植物は1花に4胚珠あるところから、交雑率は次の式により求めた。

交雑率(%)=(稔実粒数×100)/(交雑花数×4)

統計分析には、統計計算ソフトSPSS Base 8.0J (SPSS Inc., Chicago, Illinois, U.S.A.) を用いた。母本および父本間の交雑率の統計的な差異

の検定は一元配置の分散分析に基づくDuncanの多重検定法によった。

2) 結果および考察

サツマイモと2倍体植物の交雑の結果は、表14および表15に示す通りである。交雑率の平均値は1982年には1.16%、1983年には0.65%と、いずれの年においても著しく低かった。しかし、九州58号、Capelaおよびコガネセンガンを母本にしたときの平均値はそれぞれ、2.35、2.39および2.46%であり、他の組合せより有意に高い値を示した。一方、全く交雑種子を得ることができなかった中国23号や交雑率が0.4%以下にとどまった農林5号、L-4-5、ナエシラズ、ベニワセ、高系14号、中国25号および千系7425-6のような品種・系統も認められた。

父本とする2倍体植物による交雑率の差は小さく、1982年には統計的に有意な差は認められ

表16 2倍体植物間の交雑率の変異

二倍体系統名	交雑組合せ数	母本として利用			父本として利用			
		交雑率 (%)			交雑率 (%)			
		平均 ^{ア)}	最高	最低	平均 ^{ア)}	最高	最低	
K450-1	14	65.0 ^{efgh}	97.5	20.0	15	61.9 ^{ab}	100.0	9.1
K450-10	7	43.8 ^{ij}	72.0	19.3	17	72.0 ^{ab}	98.3	23.2
ECAL2279(3)	8	64.5 ^{efgh}	93.0	21.0	4	52.6 ^{ab}	76.3	39.0
ECAL2288(1)-1	8	64.3 ^{efgh}	86.0	43.0	7	52.9 ^{ab}	93.0	31.7
ECAL2288(1)-2	7	67.0 ^{defgh}	79.2	46.7	7	68.7 ^{ab}	93.0	24.0
ECAL2311(4)	7	57.9 ^{fghi}	80.8	32.5	9	62.7 ^{ab}	98.0	39.0
ECAL2312(6)	9	71.7 ^{bcdef}	86.0	49.0	9	70.0 ^{ab}	93.0	40.0
ECAL2337(4)	7	80.3 ^{abcde}	94.2	39.0	7	73.6 ^{ab}	86.0	52.0
ECAL2367(1)	8	92.3 ^a	98.0	85.0	7	73.9 ^{ab}	87.0	58.0
ECAL2379(1)	6	51.3 ^{ghij}	67.0	31.7	9	62.0 ^{ab}	97.1	21.0
ECAL2392(1)	8	57.5 ^{efghi}	89.0	24.0	9	78.2 ^a	91.0	60.0
ECAL2413(4)	9	68.0 ^{defgh}	86.0	39.0	9	75.6 ^{ab}	94.0	48.0
7910	6	85.3 ^{abcd}	97.1	77.6	6	48.9 ^b	91.3	27.1
7911	6	38.4 ^j	57.7	23.9	6	71.4 ^{ab}	91.3	49.0
7912	7	40.9 ^{ij}	53.0	27.1	7	64.3 ^{ab}	97.1	18.0
7915	6	86.9 ^{abc}	95.5	74.1	6	56.7 ^{ab}	91.7	23.9
7930	6	87.8 ^{ab}	100.0	79.3	6	57.8 ^{ab}	88.0	39.4
7931-1	7	50.6 ^{ghij}	72.9	18.0	7	63.9 ^{ab}	95.5	19.3
8014	14	82.7 ^{abcde}	96.1	26.7	10	60.3 ^{ab}	91.7	8.8
8030	13	46.0 ^{ij}	71.2	21.6	10	70.4 ^{ab}	96.0	12.5
8032	11	49.7 ^{hij}	69.6	28.3	6	72.6 ^{ab}	84.0	60.0
8034	13	79.5 ^{abcde}	89.4	51.9	8	62.6 ^{ab}	90.0	5.0
8036	11	88.5 ^{ab}	97.5	80.0	9	69.5 ^{ab}	97.5	25.0
8038	10	68.7 ^{cdefg}	90.0	48.3	9	77.2 ^{ab}	93.3	45.0
8039	3	75.0 ^{abcdef}	80.0	70.0	11	71.0 ^{ab}	97.5	35.0
8040	13	83.1 ^{abcde}	97.5	63.3	12	69.2 ^{ab}	97.5	9.1
8042	9	10.5 ^k	23.2	2.5	13	64.4 ^{ab}	91.2	10.0
8043	5	87.1 ^{abc}	90.0	80.3	12	69.4 ^{ab}	93.2	20.0
8046	13	70.0 ^{bcdef}	91.7	25.0	9	73.7 ^{ab}	93.3	40.9
8048	12	81.7 ^{abcde}	98.3	46.1	11	55.0 ^{ab}	90.3	2.5
8049	14	64.9 ^{efg}	95.0	10.0	10	70.3 ^{ab}	95.0	4.2

^{ア)} Duncanの多重検定法により母本および父本による交雑率の平均値の差異を検定。
交雑率の平均の右肩の文字が異なる場合は5%水準で有意差あり。

ず、1983年においても最も高かったD4-1 (1.41%) と最も低かったD5-2 (0.06%) との間に有意な差が認められただけであった (表14 および表15)。

この結果から、サツマイモと2倍体植物の交雑においてはサツマイモの品種・系統によって交雑率にかなり差が生ずることが明らかになった。しかし、2~3%の交雑率は100花交雑しても、8~12粒の交雑種子しか得られないことを意味する。交雑組合せ当たり最低100粒を実

現しようとする、1,000花以上の交雑を行う必要がある。つまり、サツマイモと2倍体植物の直接交雑で優良な個体を選抜するためには、大規模な交雑を行うことが必要である。

2倍体植物間の交雑率を表16に示した。それぞれの系統を母本あるいは父本としたときの平均値はほとんどの系統で50%以上であったが、母本とする系統による交雑率の差異は統計的に有意であり、最高はECAL2367(1)で(92.3%)、最低は8042(10.5%)であった。しかし、8042

を除くと交雑率はすべて35%以上であり、また、8042を父本としたときの交雑率は64.4%であった。一方、父本による差はほとんど認められなかった。以上のように、2倍体植物間の交雑率は、母本によって差は認められるものの、サツマイモと2倍体の交雑組合せより著しく高かった。つまり、2倍体植物の間には生殖的な隔離はなく、生物学的に一つの種であると考えられた。

2 2倍体近縁野生植物の育種素材としての価値

サツマイモ近縁野生植物をサツマイモ育種に利用するとき、野生植物のどのような形質を利用するかが重要である。これまでの例では、サツマイモネコブセンチュウ抵抗性がサツマイモの近縁野生植物から導入されてきたが、同時に交雑後代からは多収性の系統が選抜されてきている。

多収性については、塩谷・川瀬(1981)、Kobayashi(1984)およびHambari(1988)によって、2倍体野生植物に根の肥大性に優れる個体のあることが報告されている。また、山川・坂本(1980)はサツマイモと2倍体野生植物との交雑で得られた雑種の収量特性を解析し、根の肥大の優れる2倍体植物を用いるとそうでない2倍体植物を用いたときより著しく多収であることを認め、2倍体野生植物の根の肥大能力はサツマイモとの雑種の塊根収量に大きく影響することを示唆している。したがって、根の肥大性は育種利用上重要な特性であると考えられる。

サツマイモネコブセンチュウ抵抗性の遺伝様式については、様々な報告があり、菊川・坂井(1969)は抵抗性が遺伝子の相加的效果によって支配され、交雑母本および交雑組合せによる選抜効果が高いことを明らかにしている。2倍体植物ではさらに詳しく遺伝様式が解析され、塩谷ら(1993)、徳井ら(1992)および徳井ら(1993)は2倍体植物のサツマイモネコブセンチュウ抵抗性には少なくとも2つの遺伝子座の優性遺伝子が関与することを明らかにしてい

る。これらの報告から、サツマイモネコブセンチュウ抵抗性のサツマイモ品種または野生植物を利用することによって、抵抗性個体を作成することは比較的容易であると考えられる。

そこで、サツマイモ育種への利用の可能性を明らかにするため、わが国に導入された2倍体サツマイモ近縁野生植物の根の肥大能力およびネコブセンチュウ抵抗性を評価した。

1) 材料および方法

(1) 根の肥大能力の検定

- 1で形態的にA群に分類された2倍体植物の中から表17に示す22系統および比較のため4倍体植物3系統の種子を1981年2月28日に九州農業試験場指宿試験地の温室内においた径18cmの素焼き鉢に播種した。6月29日に鉢から掘り出し、最も肥大した根の最大径をノギスで計測した。根の肥大性の系統間差異を圃場条件で検定するため、2倍体植物15系統および4倍体植物3系統の蔓の先端約25cmを系統あたり3本ずつとり、同日100cm x 15cmの密度で圃場に挿苗した。肥料水準は窒素、リン酸およびカリをそれぞれ10a当たり5、8および12kgとした。11月9日に収穫し、最も肥大した根の最大径をノギスで計測した。1994年には、表19に示すように、インドネシアの西ジャワでHambari(1988)によって収集され、*I.trifida*と同定された2倍体植物の自然交雑種子を6月1日に農業研究センター谷和原畑圃場の温室内に播種し、7月20日に100cm x 25cmの密度で圃場に移植した。肥料水準は窒素、リン酸およびカリをそれぞれ10a当たり2、6および6kgとし、11月10日に収穫した。収穫時に、最大根径が5mmを超える個体を選抜し、総根重およびでん粉歩留を測定した。でん粉歩留は総根重が50gを超えるものについて、1個体について1~2肥大根を用いて測定した。反復は設けなかった。測定方法は、小野田(1956)が行ったように、肥大根の表面をよく洗浄して、土を落とした後、水分を拭き取り、包丁で千切りにした試料を、50~200gとり、根100g当たり250mlの水を加えて、電動ミキサー(10,000回転/分)

で90秒間粉碎し、水道水で200メッシュ(75 μ m)の篩に通して、5の容器に流し込んだ。一晩静置した後、上澄み液を除き、沈殿したでん粉を室温で通風乾燥し、秤量し、供試した根重に対する割合を求めた。

2倍体植物の中で、鉢および圃場条件で根の肥大が優れていた7915、8039、8042、8048および8049の5系統と塩谷により根の肥大性で選抜されたK450-10を用いて、表18に示す8交雑組合せによる交雑種子を作成した。これらの雑種種子を1983年5月21日に九州農業試験場指宿試験地の温室内で径5cmのプラスチックポットに播種し、同年6月7日に100cm x 15cmの密度で圃場に移植した。肥料水準は窒素、リン酸およびカリをそれぞれ10a当たり5、8および12kgとした。11月2日に収穫し、最も肥大した根の

最大径をノギスで計測した。なお、親系統は播種後2年目の材料であるため、挿苗栽培せざるをえず、播種直後で種子根をもつ雑種個体とは生育が著しく異なるところから、比較としては栽培しなかった。

さらに、表19に示すように、根の肥大性に優れる7915とK450-10に7930を加えて作成した3交雑組合せの4系雑種種子を1994年6月1日に農業研究センター谷和原畑圃場の温室内で径5cmのプラスチックポットに播種し、同年7月20日に100cm x 25cmの密度で圃場に移植した。肥料水準は窒素、リン酸およびカリをそれぞれ10a当たり2、6および6kgとし、11月10日に収穫した。収穫時に、根の肥大の優れる個体を選抜し、総根重およびでん粉歩留を測定した。でん粉歩留の測定法は前述の通りである。

表17 根の肥大性の検定を行った *Ipomoea* 属 *Batatas* 節第1群の2倍体および4倍体植物

供試 No. ^{ア)} 収集 No.	収集地	倍数性 ^{イ)}
1	7910 Y, Santa Marta, Colombia	2x
2	7911 Iromata, Santa Marta, Colombia	2x
3	7912 //	2x
4	7915 Rio Frio, Santa Marta, Colombia	2x
5	7916 Santa Rosaria, Colombia	2x
6	7930 UCV, Maracay, Venezuela	2x
7	7931-1 Parque, Maracay, Venezuela	2x
8	8014 Cali, Colombia	2x
9	8030 Y, Santa Marta, Colombia	2x
10	8032 Santa Marta, Colombia	2x
11	8034 Santa Marta, Colombia	2x
12	8036 Santa Marta, Colombia	2x
13	8038 Santa Marta, Colombia	2x
14	8039 Santa Marta, Colombia	2x
15	8040 Santa Marta, Colombia	2x
16	8041 Santa Marta, Colombia	2x
17	8042 Santa Marta, Colombia	2x
18	8043 Santa Marta, Colombia	2x
19	8044 Santa Marta, Colombia	2x
20	8046 Santa Marta, Colombia	2x
21	8047 Santa Marta, Colombia	2x
22	8048 Santa Marta, Colombia	2x
23	8049 //	2x
24	8028 Popayan, Colombia	4x
25	8035 Santa Marta, Colombia	4x
26	8053 Veracruz, Mexico	4x

ア) 1 - 7はポット条件のみで検定し、8 - 26はポットおよび圃場の2条件で検定した。

イ) 形態および相互の交雑率により判定した植物も含む。

表18 2倍体植物間の雑種個体における根の肥大性の頻度分布

交雑組合せ	最大根径(mm)				
	≤ 5	5 - 10	11 - 15	15 - 20	20 ≤ ¹⁾
7915 x K450-10 ^{ア)}		9	1		
8039 x 8042	1	9			
8048 x 8039		6	3	1	
8048 x 8042		8	1		
8048 x 8049		7	3		
8048 x K450-10 ^{ア)}		3	3	2	1
8049 x 8039		7	1		
8049 x K450-10 ^{ア)}		1	7	2	

^{ア)} ECAL2288 (塩谷・川瀬, 1981) の後代から根の肥大性で選抜した系統。

¹⁾ 各根径の級に入る雑種個体数を示す。

表19 インドネシアから導入した2倍体集団および2倍体の4系雑種の根重およびでん粉歩留

交配組合せ	供試 個体 数	肥大根 ^{ア)} をもつ 個体数	根重(g/個体)			でん粉歩留(%)		
			平均	最高	最低	平均	最高	最低
インドネシアの集団 ¹⁾	63	12	64.2	165.0	30.1	11.3	16.3	2.0
(K450-10 x K450-1) x (7915 x K450-10)	116	36	105.0	161.8	52.3	12.0	15.4	4.8
(7915 x K450-10) x (K450-10 x 7930)	97	19	81.3	120.6	32.7	12.8	19.0	10.1
(7915 x K450-10) x (7915 x K450-10)	63	10	66.2	92.0	44.8	11.6	20.3	5.4

^{ア)} 5mm以上の最大根径をもつ根を肥大根とした。

¹⁾ インドネシアの西ジャワでDr.G.G.Hambaliにより収集(三重大学塩谷格博士により増殖)。

(2) サツマイモネコブセンチュウ抵抗性の検定
表20に示すように、2倍体植物間の5交雑組合せに由来する55個体を1993年7月28日に農業研究センターの谷和原畑圃場のサツマイモネコブセンチュウ抵抗性検定圃場に各2株を植え付けた。これらの交雑の親に用いた植物のサツマイモネコブセンチュウ抵抗性は不明である。抵抗性の標準品種として、強のシロサツマ、中のタマユタカ、やや弱のコガネセンガン、弱の関東14号および高系14号を栽培した。サツマイモネコブセンチュウ抵抗性検定試験圃場には、前年に感受性品種である関東14号を栽培し、サツマイモネコブセンチュウ密度を高めた。検定当年はサツマイモネコブセンチュウ密度を高め、かつ均一に増殖する目的で、検定される野生植物を栽培する直前までネコブセンチュウの寄生植物であるハウセンカを栽培した。収穫は9月20日に行い、サツマイモネコブセンチュウ抵抗

表20 サツマイモネコブセンチュウ抵抗性の検定に用いた2倍体植物

交雑番号	交雑組合せ ^{ア)}	供試個体数
DD1	K450-1 x 7931	12
DD2	K450-10 x 7911	7
DD3	7912 x 7916	16
DD4	7915 x 7931	9
DD5	8036 x 8048	11

^{ア)} 両親の来歴については表1を参照。サツマイモネコブセンチュウ抵抗性については不明。

性を検定するとともに、もっとも肥大した根の最大根径をノギスで測定した。サツマイモネコブセンチュウ抵抗性の検定は次のような方法で行った。まず、収穫時には細根を切断しないように丁寧に扱い、根を洗浄して、土を落とした後、50mg/ のフロキシシンA液に15分間浸漬し、細根に着生したネコブ(ゴール)を染色した。細根および塊根にみられるゴールの数および根

の腐敗程度を以下の基準でスコア化し、標準品種のスコアと比較して抵抗性の強弱を判定した。

ア) 細根にゴールがなく、塊根は正常に形成され、ネコブ症状(粗皮、黒色のひび割れ、裂開、凹凸ないしこれらの複合症状)がない。

イ) 細根にわずかにゴールを認め、塊根は正常に肥大するもののわずかにネコブ症状を認める。

ウ) 細根に点々とゴールを認め、塊根の肥大はやや抑制され、ネコブ症状を中程度認める。

エ) 細根に多数のゴールを認め、塊根は肥大が抑制され、ネコブ症状も著しい。

オ) 細根には著しく多数のゴールを認め、塊根の肥大もほとんど認められない。

2) 結果および考察

(1) 根の肥大性

導入された2倍体および4倍体植物のポットおよび圃場条件における根の肥大性を最大根径で比較した結果を図11に示す。根の肥大は4倍体植物に比べて2倍体植物で著しく優れた。2倍体植物の根は、写真2に示すように種子根(直根)および側根のいずれもが肥大した。圃場に苗を植え付けた2倍体植物はポットほど肥大しなかったが、これは根が種子根ではなく不定根であったことが影響している可能性が

い。つまり、2倍体植物の種子根は播種と同時に伸び始め、その伸長速度はきわめて速い。しかし、不定根は挿苗後1~2週間程度して伸び始めるものの、その数は少なく、伸長は遅い。戸苧(1950)によれば、サツマイモの根は若根から細根、梗根あるいは塊根に分化するが、中心柱細胞の木化の程度と第1次形成層の柔細胞の活性によりその方向が決まる。つまり、中心柱細胞の木化がなく、第1次形成層の柔細胞の活性が高いとき塊根になり、中心柱の木化が進んでいる場合は、形成層の柔細胞の活性が高いとき梗根に、活性が低いときは細根になる。中心柱細胞の木化は高地温で促進されることから、圃場栽培した2倍体植物は根の活性が低く、高地温という根の肥大にもっとも劣悪な条件にあったと考えられる。このことから、ポット栽培試験において、2倍体植物の潜在的な根の肥大能力をよりの確に評価できると考えられる。ポット栽培でもっとも優れた肥大性を示した植物は8039で、7915(写真2)および8048がこれに次いだ。

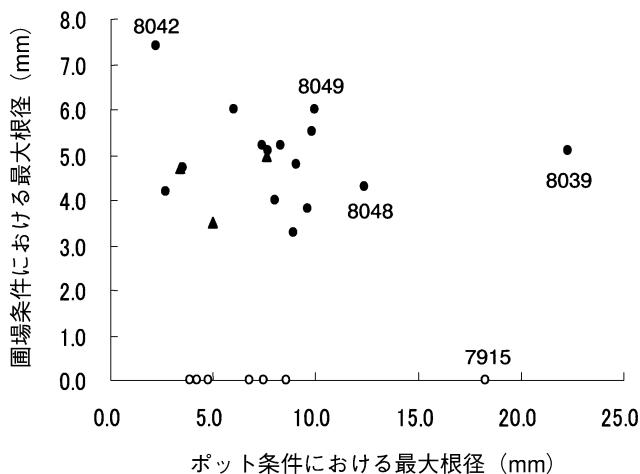


図11 サツマイモに近縁な2倍体および4倍体野生植物のポットおよび圃場条件における最大根径
 ● : 2倍体植物、○ : 4倍体植物、
 ○ : ポット条件でのデータのみ、△ : 圃場の傍の番号は系統番号



写真2 *Ipomoea*属*Batatas*節第1群の2倍体植物(7915)のポット条件における根の肥大

インドネシア産の2倍体植物の根の肥大性は、表19に示すように、最大根径が5mmを超える個体は全体の約20%であった。根の肥大した個体の平均根重も64gにとどまった。この値は、塩谷・川瀬(1981)の結果に比べ著しく低い。この原因として、植え付け時期が7月に入ったこと、農業研究センターの谷和原圃場で栽培されたため、生育期間の積算温度や総日照時間が短かったことなどが考えられる。でん粉歩留は2.0~16.3%でサツマイモに比べて著しく低かった。しかし、写真3に示すように、塊根状の根を着生した個体が認められた。このような塊根状の根をもつ2倍体植物はこれまで我が国では認められておらず、育種のおよび系統分類研究にきわめて興味深い素材であると考えられる。

次いで、2倍体の根の肥大能力改善のための素材として、7915、8039および8048を選抜し、圃場でやや肥大の優れた8042および8049と塩谷・川瀬(1981)がメキシコの収集材料の中から根の肥大能力に着目して選抜したK450-10と

あわせて8交雑組合せを作成した。雑種の根の肥大能力は、表18の通りで、ほとんどの個体の最大根径が5mmを超え、特に8048と8039および8048とK450-10の交雑組合せでは根径が15mmを超える個体がそれぞれ1および3個体認められ、8048とK450の組合せでは20mmを超える個体が認められた。これに比べ、ポットでの肥大が劣ったものの、圃場での根の肥大がやや優れた8042と8049を親に用いた交雑組合せの後代の根の肥大は概して劣り、15mm以上の根径をもつ個体は出現しなかった。このことはポットでの根の肥大性による選抜は圃場での選抜より優れていることを示唆している。

7915およびK450-10の後代から無作為に選んだ個体間でさらに交配し得られた後代の根の肥大能力をみたところ、表19に示すように、インドネシア産の2倍体植物と同様に、根が5mm以上肥大した個体は全体の約20%で、交雑組合せごとの個体あたりの平均根重は66~105gであった。この原因もまたインドネシア産の2倍体植物の場合と同様であろうと考えられる。でん粉歩留も個体によっては最高20%を超えるものが認められたが、交雑組合せあたりでは平均で11.6~12.8%と、サツマイモと比べて著しく低かった。

(2) サツマイモネコブセンチュウ抵抗性

2倍体植物を55個体検定した結果、表21に示すように、約80%である43個体が抵抗性を示した。しかし、交雑組合せによって抵抗性個体の出現頻度は異なり、7912と7916の交雑組合せでは16個体のうち8個体の抵抗性が中以下であった。これらの雑種の親は根の肥大性を勘案せず選んでいるが、抵抗性系統の中にも最大根径が10mmを超える系統も含まれていた。このことから、サツマイモ育種において、根の肥大に優れ、サツマイモネコブセンチュウに抵抗性の2倍体植物を用いることが可能であると考えられた。



写真3 インドネシアの西ジャワで収集された2倍体植物にみられる塊根状の根

表21 Batatas節第1群の2倍体植物の交雑後代^{ア)}のサツマイモネコブセンチュウ抵抗性と根の肥大能力

最大根径 (mm) ネコブセンチュウ抵抗性 ^{イ)}	< 3	3 - 5	5 - 10	10 <
	強	DD1-13, DD2-6, 7 DD3-2, 6, 7, 9, 12, 14, 15, 16 DD4-1, 2, 3, 8, 12 DD5-2, 4, 5, 8, 10	DD1-1, 3, 12 DD2-2, 4, 5 DD4-6, 9 DD5-1, 6, 7, 9, 11	DD1-2, 4, 7, 9, 10 DD2-1,
やや強		DD2-3, DD4-11		
中	DD3-3, 8, 10, 11, 13, DD4-7			
やや弱	DD3-1, 4, DD5-3			
弱	DD3-5			

^{ア)} 交雑後代の来歴は表20を参照。

^{イ)} サツマイモネコブセンチュウ汚染圃場で栽培し、対象品種との比較により抵抗性を判断。
シロサツマ(強)、タムコタカ(中)、コガネセンガン(やや弱)、関東14号(弱)

3 サツマイモとの交雑および戻し交雑による 2倍体植物の利用

前節までに、形態的にサツマイモにきわめて近い2倍体植物の根の肥大能力とサツマイモネコブセンチュウ抵抗性について明らかにしてきた。サツマイモの育種素材として2倍体植物の有用性を明らかにするためには、サツマイモとの雑種を作成し、雑種がもついても収量や切干歩合という実用的特性を明らかにする必要がある。

これまでに、宮崎(1976)はメキシコ産の2倍体植物であるK221を用いて4倍体で塊根を形成する雑種植物を作出し、Oracion *et al.* (1990)はサツマイモと2倍体植物の雑種を用いて細胞遺伝学的研究を行った。また、Orjeda *et al.* (1991)はサツマイモと2倍体植物との4倍体雑種を作出し、これをもって2倍体植物の実用性の評価を試みてきた。しかし、いずれもサツマイモ育種に活用するまでには至らなかった。

- 3では、サツマイモと2倍体植物の雑種の塊根形成能力を調査し、サツマイモの育種素材としての利用の可能性を明らかにした。また、雑種の実用性を評価するために、根の肥大性の

高い2倍体とサツマイモの間に得られた塊根形成能力のある雑種にサツマイモを戻し交雑し、得られた雑種の生産性を明らかにした。

1) 材料および方法

- 1で得られたサツマイモと2倍体植物の交雑種子を用いた。表14に示す37交雑組合せのうち、表22のように24交雑組合せから88粒の種子を得られたため、これらを1981年6月29日に九州農業試験場指宿試験地の温室内においた径5cmのプラスチックポットに播種し、得られた蔓先を1982年6月1日に100cm x 30cmの密度で圃場に挿苗した。比較品種はコガネセンガンおよび農林2号とした。肥料水準は窒素、リン酸およびカリをそれぞれ10a当たり5、8および12kgとし、10月25日に収穫した。塊根形成能力は塊根を形成しないものを0、農林2号を3、コガネセンガンを5として肉眼判定し、3以上(農林2号並以上)の塊根形成能力を示す個体を選抜した。

さらに、表15に示す105交雑組合せのうち、表23に示す51交雑組合せから88粒の種子を得られたため、これらを1982年10月25日に九州農業試験場指宿試験地の温室内においた径5cmの

表22 サツマイモと2倍体植物の雑種種子の発芽率と塊根形成能力による選抜数

交配組合せ		交雑 粒数 (A)	発率 粒数 (B)	発芽 率(%) (B/A)	生育 個体 数(C)	塊根形成 能力による 選抜数(D)	選抜率 (%) (D/C)
母本	父本						
千系682-11	K450-1	1	0	0.0	0	0	-
	K450-3	1	0	0.0	0	0	-
	K450-10	1	0	0.0	0	0	-
	7910	1	1	100.0	1	0	0.0
	7911	2	1	50.0	1	0	0.0
	7931	1	1	100.0	1	0	0.0
農林5号	K450-1	2	0	0.0	0	0	-
	K450-3	4	1	25.0	1	0	0.0
九州58号	K450-1	16	7	43.8	7	3	42.9
	K450-3	9	1	11.1	1	1	100.0
	K450-10	2	2	100.0	2	1	50.0
	7910	2	1	50.0	1	1	100.0
	7911	9	3	33.3	3	0	0.0
	7912	1	1	100.0	1	0	0.0
	7915	1	1	100.0	1	1	100.0
	7931	6	1	16.7	1	0	50.0
L-4-5	K450-1	2	1	50.0	1	1	100.0
	K450-3	1	1	100.0	1	0	0.0
Capela	K450-1	6	2	33.3	2	0	0.0
	7911	2	1	50.0	1	0	0.0
	7931	1	0	0.0	0	0	-
九州78号	K450-1	3	0	0.0	0	0	-
	K450-3	8	0	0.0	0	0	-
	7911	6	1	16.7	1	0	0.0
合計または平均		88	27	30.7	27	8	29.6

プラスチックポットに播種し、正常に発芽した個体の蔓先をとり、1983年6月1日に100cm x 30cmの密度で圃場に挿苗した。比較のために露地開花性のサツマイモの自然交雑実生集団114個体を栽培した。なお、このサツマイモ集団は露地開花性と真性種子直播栽培におけるいも収量について循環選抜を行った集団であり、塊根肥大能力に関して幅広い変異を含むと考えられるところから用いたものである。肥料水準は窒素、リン酸およびカリをそれぞれ10a当たり5、8および12kgとし、11月2日に収穫した。収穫時に株当たり総いも重を測定した。

次いで、サツマイモと2倍体植物との雑種個体(表22)のうち4個体を、表24に示すように、高でん粉多収品種「コガネセンガン」と「タマユタカ」と交雑した。得られた交雑種子を1984

年4月1日に九州農業試験場西合志圃場の苗床に播種し、伸長した苗を5月25日に71cm x 37cmの密度で圃場に植え付けた。比較品種はコガネセンガンとした。肥料水準は窒素、リン酸およびカリをそれぞれ10a当たり5、8および12kgとした。10月6日に塊根を掘取り、肉眼判定によりコガネセンガン並以上の塊根形成能力を示す個体(系統)を選抜した。選抜した系統の塊根を1985年3月18日に苗床に伏せ込み、同年5月20日に1個体当たり8株を71cm x 37cmの密度で圃場に植え付けた。反復はなく、比較品種はコガネセンガンとした。10月1日に掘取り、塊根の形状および塊根形成能力を肉眼で判定して選抜し、選抜系統については上いも重および切干歩合を測定した。ここで、上いもとは50g以上の塊根のことをいう。切干歩合は

表23 サツマイモと2倍体植物間の雑種種子の発芽率および総いも重

交雑組合せ		播種 粒数 (A)	発芽 数 (B)	発芽 率(%) (B/A)	養成 個体 数	塊根 ^{ア)} 形成 個体数	総いも重 ^{ア)}		
母本	父本						平均	最高	最低
コガネセンガン	(7915 x K450-10)-1	10	3	30.0	1	1	200	200	200
	// -2	1	1	100.0	1	1	1,800	1,800	1,800
	(8048 x 8039)-1	5	2	40.0	1	1	370	370	370
	// -2	6	5	83.3	3	3	483	670	120
	(8048 x K450-10)-1	9	7	77.8	4	4	638	900	140
	// -2	4	2	50.0	1	1	610	610	610
	(8048 x 7931)-1	5	4	42.9	3	2	793	1,400	60
	// -2	4	1	25.0	1	0	70	70	70
(8039 x 8042)-1	1	0	0.0	0	-	-	-	-	
// -2	2	0	0.0	0	-	-	-	-	
シロユタカ	(7915 x K450-10)-2	2	1	50.0	1	1	390	390	390
	(8048 x 8039)-1	1	1	100.0	1	1	770	770	770
	// -2	0	0	0.0	0	-	-	-	-
	(8048 x K450-10)-1	1	0	0.0	0	-	-	-	-
	(8039 x 8042)-1	1	0	0.0	0	-	-	-	-
ナエシラズ	(7915 x K450-10)-1	1	1	100.0	1	1	610	610	610
	(7915 x K450-10)-2	1	0	0.0	0	-	-	-	-
	(8048 x K450-10)-1	2	0	0.0	0	-	-	-	-
	(8039 x 8042)-1	1	0	0.0	0	-	-	-	-
タムユタカ	(7915 x K450-10)-1	2	0	0.0	0	-	-	-	-
	// -2	1	0	0.0	0	-	-	-	-
	(8048 x 8039)-2	1	0	0.0	0	-	-	-	-
	(8048 x K450-10)-1	1	0	0.0	0	-	-	-	-
	// -2	1	1	100.0	0	-	-	-	-
	(8048 x 7931)-1	1	1	100.0	0	-	-	-	-
	// -2	1	0	0.0	0	-	-	-	-
	(8039 x 8042)-1	1	1	100.0	0	-	-	-	-
// -2	1	0	0.0	0	-	-	-	-	
ベニワセ	(8048 x 8039)-1	1	0	0.0	0	-	-	-	-
	// -2	1	0	0.0	0	-	-	-	-
	(8048 x K450-10)-1	1	1	100.0	0	-	-	-	-
高系14号	(7915 x K450-10)-1	1	1	100.0	1	1	450	450	450
	(8048 x 8039)-1	1	0	0.0	0	-	-	-	-
	(8048 x 8039)-2	4	1	25.0	1	0	20	20	20
	(8048 x 7931)-2	1	1	100.0	1	1	610	610	610
九州78号	(7915 x K450-10)-1	1	0	0.0	0	-	-	-	-
	// -2	1	1	100.0	0	-	-	-	-
	(8048 x 8039)-1	2	1	50.0	1	1	110	110	110
	// -2	1	1	100.0	0	-	-	-	-
	(8048 x K450-10)-1	2	2	33.3	1	1	500	500	500
	// -2	1	0	0.0	0	-	-	-	-
	(8048 x 7931)-1	2	1	50.0	1	1	530	530	530
(8039 x 8042)-1	1	0	0.0	0	-	-	-	-	
中国25号	(7915 x K450-10)-1	1	1	100.0	0	-	-	-	-
	(8048 x 7931)-1	2	2	100.0	0	-	-	-	-
千系7425-6	(7915 x K450-10)-1	1	1	100.0	1 ^{イ)}	-	-	-	-
	(8039 x 8042)-1	1	1	100.0	1	0	90	90	90
合計または平均		88	47	53.4	26	22	528	1,800	20

ア) - はデータがないことを示す。

イ) 外観からサツマイモと判断されたため、試験対象とはしなかった。

表24 サツマイモと2倍体植物の雑種へのサツマイモの戻し交雑後代の実生選抜

交 配 組 合 せ	交配 花数	採種 粒数	交雑 率 (%)	発 芽		植付 個体 数	選 抜	
				数	率(%)		数	率(%) ^{ア)}
コガネンガン x TSP3-1 (九州58号 x K450-1)	368	199	13.5	156	78.4	156	32	20.5
コガネンガン x TSP9 (九州58号 x K450-3)	278	135	12.1	110	81.5	110	21	19.1
コガネンガン x TSP15-2 (九州58号 x K450-10)	294	88	7.5	82	93.2	82	15	18.3
タマユカ x TSP3-1 (九州58号 x K450-1)	760	262	8.6	231	88.2	231	19	8.2
タマユカ x TSP3-7 (九州58号 x K450-1)	839	142	4.2	116	81.7	116	12	10.3
タマユカ x TSP9 (九州58号 x K450-3)	793	100	3.2	80	80.0	80	12	15.0
合計または平均	3,332	926	6.9	775	83.7	775	111	14.3
サツマイモ品種間交雑 ^{イ)}	-	36,595	-	30,056	82.1	11,253	1,405	12.5

^{ア)} 選抜個体数/植付個体数

^{イ)} 同時に行われた育種試験における成績(農林水産省九州農業試験場作物第二部作物第1研究室)

以下の方法で測定した。肥大根の表面をよく洗浄して、土を落とした後、水分を拭き取り、包丁で千切りにした試料100gを2点とり、網箱に入れ、通風乾燥機に置き、80℃で10時間予備乾燥した後、105℃で6時間乾燥させた。乾燥重量を計測し、生試料に対する比率を求めた。

2) 結果および考察

サツマイモ6品種・系統と2倍体植物8系統の雑種種子88粒の発芽率は、表22のように30.7%と低く、17組合せからの27個体のみが成長するにとどまった。これらの個体中から、塊根形成の程度が農林2号並あるいはそれ以上であった8個体を選抜した。選抜した個体のうち、7個体が「九州58号」を母本とし、父本として用いた2倍体植物ではK450の系統あるいは7915であった。これらの2種類の2倍体植物は前節で根の肥大が優れていることが明らかにされている。このことは、母本に用いるサツマイモが雑種の根の肥大能力に影響を及ぼすこと、根の肥大能力が高い2倍体植物を用いると根の肥大の優れる雑種を得る可能性が高いことを示唆していた。

サツマイモ10品種・系統と2倍体植物間の雑種10系統との51交雑組合せで得られた88粒の種子を播種したところ、表23に示すように47粒が

発芽し、発芽率は53.4%であった。しかし、生育途中で枯死した個体が多く、26個体が正常に成長した。これらの個体の染色体数の計数は行っていないが、1個体を除いて地上部や塊根の形状などから、サツマイモと2倍体植物の雑種であると判断された(以後、これらの個体を便宜的に4倍体雑種と呼ぶ)。雑種とは考えにくかった1個体は以降の試験には供さなかった。圃場で栽培した25個体のうち、表23に示すように22個体で塊根を形成し、この中には写真4に示すようにサツマイモの栽培品種に近い塊根を形成する個体が認められた。総塊根重の分布を図12に示すが、平均では528g/個体であり、最高は1,800g/個体であった。これを、露地開花性のサツマイモ集団と比較すると、サツマイモ集団では、総塊根重の平均値は807g/個体で、最高は2,360g/個体で、雑種集団よりやや高かったものの、頻度分布に大きな差はなかった。このことから、雑種集団の塊根形成能力は露地開花性のサツマイモ集団にはやや劣ることが明らかになった。また、表23のように、「コガネンガン」を母本にしたとき、概して雑種の総塊根重は高かった。このことは、先の結果と同じように、母本とするサツマイモ品種・系統によって雑種の塊根形成能力に差が生ずることを示唆しているものと考えられる。

サツマイモと4倍体雑種の交雑率は、表24に示すように、平均は6.9%で、組合せによって3.2~13.5%までばらついた。

得られた926粒の種子は外見上全く正常で、苗床で775粒が発芽した。発芽率は83.7%であった。収穫時に、表24のように、塊根形成能力および塊根の形状で111個体を選抜した。選抜率は14.3%で、サツマイモ品種間の交雑組合せにおける選抜率の12.5%を上回った。

2年目の選抜試験では、表25のように、111系統のうちから15系統を塊根の形状および塊根形成能力で選抜した。最も高い塊根重を示した選抜系統(83125-19)は高でん粉多収品種である「コガネセンガン」の塊根重の153%であった。しかし、切干歩合は最も高い83125-16でも37.5%であり、「コガネセンガン」の37.8%を下回った。

サツマイモの切干歩合の遺伝様式について、坂井・広崎は(1965)は相加的遺伝子効果が大きく、ヘテロシス効果が小さい、つまり遺伝率が高いことを明らかにし、切干歩合の高い品

種・系統を用いた交雑組合せの作成およびその交雑実生に対する選抜が有効であることを指摘している。また、切干歩合と相関が極めて高いでん粉歩留について、Tarumoto *et al.* (1990) はでん粉歩留の異なるサツマイモ品種間の交雑後代におけるでん粉歩留の分布はほぼ正規分布し、平均値は親の平均よりやや低いことを指摘し、でん粉歩留に対する相加的遺伝子効果は大きいものの、一部でん粉歩留に対して負に働く優性効果があるのではないかと推察している。これらの報告から、サツマイモの品種間交雑後代の切干歩合あるいはでん粉歩留は交雑に用いる母本の切干歩合あるいはでん粉歩留が大きく影響するものと考えられる。2倍体植物のでん粉歩留は、表19に示すように、最高でも20%程度である。サツマイモと4倍体雑種の交雑後代の切干歩合が低かったのは、2倍体植物のでん粉歩留が低かったことに由来している可能性が高いものと考えられる。

- 3で、2倍体植物を用いた場合、上いも収量は比較的容易に改善できることを明らかにした。切干歩合の改善のため、2倍体レベルでの切干歩合の向上あるいは「ハイスターチ」や「サツマスターチ」のような極高でん粉歩留を示すサツマイモ品種を用いることにより、高でん粉多収性に関して、これまでの品種間交配によって得られなかった変異の拡大が可能とな



写真4 サツマイモ品種コガネセンガンと2倍体系統(7915 x K450-10雑種)の雑種にみられる塊根形成

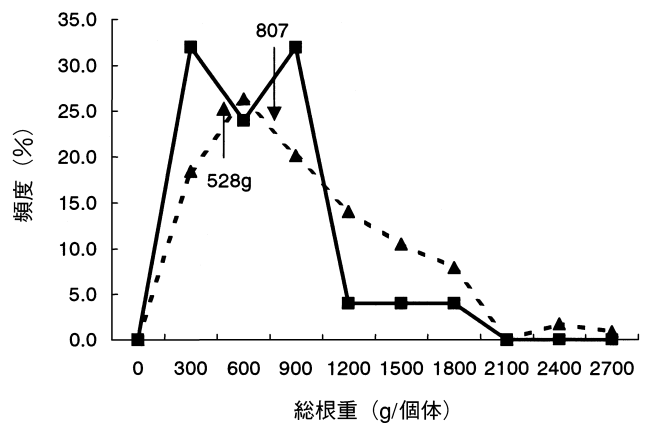


図12 サツマイモと2倍体植物の雑種個体および露地開花性サツマイモ集団の総根重の分布
 - - : 雑種個体
 ... : 露地開花性サツマイモ集団
 : 各集団の平均値

表25 サツマイモと2倍体植物の雑種への戻し交雑後代からの選抜系統の2年目試験における上いも重および切干歩合

系統 No.	交 配 組 合 せ	上いも重 (kg/a)	切 干	
			歩合(%)	重(kg/a)
83125-2	コガネセンガン x TSP3-1	188.1	35.4	66.5
83125-16	コガネセンガン x TSP3-1	254.3	37.5	95.3
83125-19	コガネセンガン x TSP3-1	285.2	33.1	94.4
83125-21	コガネセンガン x TSP3-1	227.4	33.2	75.5
83125-24	コガネセンガン x TSP3-1	232.9	33.4	77.7
83128-6	タムユタカ x TSP3-1	187.1	28.8	53.8
83128-7	タムユタカ x TSP3-1	252.0	28.0	70.4
83128-18	タムユタカ x TSP3-1	193.2	33.7	65.1
83129-8	タムユタカ x TSP3-7	186.1	35.9	66.8
83130-2	タムユタカ x TSP9	212.7	36.6	77.8
83130-10	タムユタカ x TSP9	187.1	31.7	59.3
	コガネセンガン ^{ア)}	186.1	37.8	70.3

^{ア)} 高でん粉・多収の標準品種

り、長期的にはこれまでの水準を上回る高でん粉多収品種の育成の可能性も期待できるものと考えられる。

4 考 察

サツマイモの近縁野生植物を育種的に利用して実用的な品種育成に成功した例は、これまでのところ6倍体植物であるK123を用いて「ミナミユタカ」を育成した以外にない。その原因の一つは近縁野生植物の根が肥大しないことにあり、K123でも梗根を着生するにすぎない。しかし、塩谷・川瀬(1981)が見いだした根の肥大性のある2倍体植物は、塊根は形成しないものの、根の直径は10~20mmであり、これまでの近縁野生植物に比べて著しく太い根を着生する。2倍体植物ではKobayashi(1984)およびHambali(1988)によっても根が肥大する個体が見いだされているが、他の倍数体植物では根の肥大する個体は見いだされていない。

では、サツマイモの育種素材として2倍体植物に着目し、サツマイモとの交雑の可能性、サツマイモ育種に利用できる特性、およびサツマイモとの雑種の能力を明確にすることを目的とした。ここで、利用した2倍体植物は形態的にサツマイモと類似すると判断されたもの

である。

まず、サツマイモと2倍体植物の交雑を行った。交雑率は、表14および表15に示すように、平均では0.65ないし1.16%ときわめて低かったが、母本とするサツマイモ品種・系統によっては比較的高い交雑率を示す場合があった。しかし、父本とする2倍体植物による差は小さかった。Oracion *et al.* (1990) や Orjeda *et al.* (1991) によっても同様の交雑率であることが報告されており、サツマイモと2倍体植物の交雑は母本とするサツマイモ品種・系統によっては比較的容易に雑種種子を得ることが可能であると判断される。しかし、2倍体植物を用いた育種を大規模に展開するためには、数%の交雑率は不十分であり、交雑率を高める試みを行う必要があると考えられる。一方、2倍体植物間の交雑率は表16のように非常に高かった。2倍体植物の根の肥大性やサツマイモネコブセンチュウ抵抗性のような実用形質の遺伝様式は同質6倍体であるサツマイモより単純であると考えられるところから、2倍体レベルで多数の雑種を作成し、実用形質に関する選抜を行った上で、サツマイモとの交雑を行うという育種手法も考慮すべきであると考えられた。

次いで、2倍体植物の育種的に利用可能な特性を検定した。根の肥大能力については、2倍

体植物間で差があり、ポット試験によって根の潜在的な肥大性が明らかにできることを指摘した。また、ポット試験で根の肥大性の異なる系統を選んで後代を作成したところ、根の肥大の優れる親を用いた組合せで、太い根をもつ個体を分離することを明らかにした(表18)。しかし、根のでん粉歩留は最も高い個体で約20%、平均では約12%とサツマイモに比べて著しく低かった(表19)。サツマイモネコブセンチュウ抵抗性については供試した系統の約80%が抵抗性強であった。坂本(1986)もK221が抵抗性を示すことを明らかにしている。徳井ら(1993)は2倍体植物のサツマイモネコブセンチュウ抵抗性が2個の遺伝子によって支配され、抵抗性が優性であると報告している。このことは、劣性遺伝子がホモ化しない限り、抵抗性個体が発現することを示しており、2倍体植物で抵抗性個体の頻度が高い原因であると考えられた。このことは、抵抗性系統を母本に用いることにより、後代で比較的容易に抵抗性を示す表現型個体を得ることが可能であることを示唆しており、2倍体植物はサツマイモネコブセンチュウ抵抗性をサツマイモに導入する素材として有用であると考えられた。

サツマイモと2倍体植物の雑種は高い頻度で塊根を形成した(表23)。塊根形成の優れる雑種個体を高でん粉多収品種であるサツマイモ品種「コガネセンガン」や「タマユタカ」と交雑した後代の中には、塊根重が「コガネセンガン」を大きく上回る個体が認められ、塊根重の改善には2倍体植物の利用は有効であると結論できた。しかし、切干歩合については「コガネセンガン」を上回るものはなく、でん粉歩留(切干歩合)の低い2倍体植物を利用する場合に留意すべき点であると考えられた。

これまで、2倍体植物をサツマイモと交雑して育種的に利用しようとする試みは行われてきた。たとえば、宮崎(1976)は初めてわが国に導入された2倍体植物K221を用いて「4倍体カンショ」を作出した。しかし、K221は根の肥大性がないだけでなく、サツマイモと直接交雑できなかったために、同時期に導入された3倍

体植物K222の非還元性配偶子により作出された人為6倍体を橋渡し植物とし、人為6倍体とサツマイモの雑種をK221と交雑するという操作を行った。このため、塊根重が低く実的に利用することは不可能であった。Orjeda *et al.* (1991)は、2倍体の育種的な能力を評価するために、サツマイモと2倍体の雑種を作成したが、2倍体植物を実際の育種に利用するには至らなかった。本章では、サツマイモ育種に2倍体植物を利用する際に問題となる、サツマイモとの交雑率、利用できる特性を明らかにした上で、実際にサツマイモとの雑種を作成した。2倍体植物自体は塊根を形成しないが、太い梗根を有し、サツマイモとの雑種は非常に高い頻度で塊根を形成することを明らかにした。雑種の塊根は、宮崎(1976)が得た「4倍体カンショ」よりも肥大に優れた。さらに、サツマイモとの戻し交雑によって、切干歩合は高くないものの、非常に塊根重の高い後代を得られることを明らかにした。このことは、サツマイモを戻し交雑することによって、サツマイモと2倍体との雑種のもつ塊根形成能力を、さらに高めることができることを示唆している。ここで、戻し交雑世代は理論的には5倍体になるが、栄養繁殖性を示すため、奇数の倍数体であっても実的には問題にならない。また、2倍体植物のもつサツマイモネコブセンチュウ抵抗性は、2個の優性遺伝子に支配されていることが報告されている(徳井ら 1993)ところから、2倍体レベルで優性ホモ個体を作成しておけば、サツマイモに容易に導入することができる。これらの結果は、サツマイモ育種において、根の肥大性をもつ2倍体植物は塊根重およびネコブセンチュウ抵抗性の改善に非常に有効であることを示しており、野生植物を利用したサツマイモ育種の進展に貢献するものと考えられる。

今後の方向としては次のように考えられる。サツマイモの育種は、主として青果用、食品加工用、でん粉原料用に行われている。これらのうち青果用と食品加工用は形状および食味といった多数の要因が複合して関与している形質に関して高い品質が要望される。一方、でん粉原

料用は収量が高く、でん粉歩留が高ければ利用される可能性がある。2倍体植物を育種的に利用すると必然的に野生植物の劣悪形質がサツマイモに持ち込まれるため、青果用や食品加工用の品種よりも、でん粉原料用に適した品種の育成を目的とすべきと考えられる。2倍体植物に由来する雑種系統は、これまでのところ切干歩合は低い。しかし、2倍体植物のでん粉歩留には変異が認められるところから2倍体レベルでの切干歩合の改善は可能であると考えられる。

また、「ハイスターチ」や「サツマスターチ」のようにでん粉歩留が30%にもなる極高でん粉性のサツマイモ品種が育成されており、こうした品種を母本に用いれば高切干個体の出現は期待される。今後は、サツマイモと2倍体の間の染色体数の差による交雑率の低さを解決する手法の開発、サツマイモとの雑種の能力を高めるため、2倍体レベルでの形質の改善あるいは用いるサツマイモ品種の精査を通して、さらに優れた育種素材の開発を進めていくことが必要である。

総合考察

1 導入植物の分類と同定

わが国にサツマイモ近縁野生植物が西山(1959)によって初めて導入されたとき、その分類学的位置づけがまず検討された。導入植物の多くはサツマイモとは形態的に著しく異なっていた。しかし、そのうちの1種類(K123)は、強い巻きつる性、高密度の植物体毛茸、塊根不形成など、サツマイモとは異なるいくつかの形態的特性をもっていたが、他の導入植物と比べると明らかにサツマイモに類似していた。K123は6倍体であり、サツマイモとも交雑が可能であったが、西山ら(1961)は、van Oostroom(1953)およびMatuda(1963)の記載を参考に、K123を*I. trifida* (H.B.K.) G. Donと同定した。その後導入された2倍体(K221)や4倍体(K233)も基本的にはK123に類似しているものの、花および葉の形状が異なっていたため、Teramura(1979)はそれぞれ*I. leucantha* Jacq.および*I. littoralis* Bl.と同定した。しかし、これらの同定は当初から疑問視され、特にJones(1967)およびYen(1971)はK123を野生化したサツマイモであると主張していた。その後、わが国にも多くのサツマイモ近縁野生植物が導入されると、小林(1981)および塩谷・川瀬(1981)によりK221およびK233は*I. trifida*であるとされるようになった。一方、米国では

Austin(1977、1978、1983)およびBohac *et al.* (1993)により、K123とK233は*I. batatas*であるとされ、日米での分類が一致しないまま今日に至っている。

本研究では、サツマイモ近縁野生植物の形態的特性、相互の交雑の可否およびDNA配列の解析を通じて、新しい分類を提示した。まず、において形態的形質を数量化して、主成分分析を行い、*Ipomoea*属*Batatas*節植物のうちサツマイモと交雑が可能な第1群植物は、*I. tiliacea*と同定されているK270とともに一つの大きな群に包括され、第2群植物である*I. cordato-triloba*、*I. triloba*および*I. lacunosa*とは識別が可能であること、第1群植物を含む群は2倍体から6倍体までの倍数性を含み、倍数性が高くなるにつれて、花冠が大きく太くなり、外輪の萼片が長くなり、さらに花筒部の形状が漏斗形から太い鐘形へと変化する傾向が認められたが、その変化は連続的であることを明らかにした(図1)。このことから、第1群植物は異なる倍数性を含む倍数性複合体を形成した一つの種であると判断した。このうち、4倍体植物は、相互に生殖的隔離は認められず、形態的にも異種とするほどの差はなく、*I. batatas*とするのが妥当であると結論した。また、RAPDマーカーによる分類でも、サツマイモおよび第1群植物を明確に分類することは困難であることを示した。

さらに、において、サツマイモと2倍体植物との間で低率ではあるが交雑が可能なこと(表14および15)、2倍体植物の間では交雑はきわめて容易で、生殖的隔離は全く認められないこと(表16)を明らかにするとともに、雑種植物は塊根を容易に形成し(表23)、サツマイモと交雑が可能である(表24)ことを明らかにした。また、インドネシアで収集された2倍体植物が塊根状の肥大根を有することも明らかにした(写真3)。これらの結果を踏まえて、*Ipomoea*属*Batatas*節第1群植物は、形態的、生物学的および分子遺伝学的に倍数性を問わず一つの種であり、*I. batatas*と同定するのが妥当であるという結論に達した。

この結論はこれまで行われてきた細胞遺伝学的研究によっても裏付けられる。Magoon *et al.* (1970)、Ting and Kehr (1953) およびTing *et al.* (1957) はサツマイモが複2倍体起源であると、Jones (1965) はサツマイモの3組のゲノムの内2組は特に近似し、さらにJones (1970) はK233およびその形態的な類似植物は同質倍数体であるとした。Nishiyama (1971) はサツマイモが同質倍数体であると、Nishiyama *et al.* (1975) はK221から染色体倍加を重ねて作られた同質倍数体は生育が貧弱で、稔性が低下するところから、2倍体から6倍体へと倍数化が進んでいく過程は単なるゲノムの重複によるのではなく遺伝的または染色体分化が伴っていることを想定した。Shiotani (1988) およびShiotani and Kawase (1987、1989) は、サツマイモは*Batatas*節第1群の2倍体植物K221のもつ B_1 ゲノムと4倍体植物K233の B_2B_2 ゲノムからなる $B_1B_1B_2B_2B_2B_2$ というゲノム構成をもつが、 B_1 と B_2 ゲノムは相同性が高く、同一ゲノムと考えられ、サツマイモは2倍体のゲノムからなる同質6倍体であると結論した。以上の報告は、サツマイモを構成する3つのゲノムはきわめて相同性が高く、2倍体のゲノムが起源となっていることを示唆している。このことは、2倍体から6倍体までが一つの種であり、*I. batatas*とするのが妥当であるという本研究での結論を支持するものである。

米国の研究者はこれまでのところ、萼片の先端の形状および花筒部の太さと形状の差異という形態的な特徴によって、少なくとも2倍体植物は*I. trifida*であるとしている。今後は2倍体植物の人為同質倍数体を作成し、その形態の変化を解析することにより、米国の研究者との見解の差を埋めていく必要がある。

2 サツマイモ育種への近縁野生植物の育種的利用の展望

サツマイモの近縁野生植物で育種的に利用できるものは、サツマイモと交雑が可能なものに限られる。これまでのところ、6倍体植物であるK123以外に実用品種の育成に貢献していないが、2倍体、3倍体および4倍体植物を育種的に利用する試みは行われてきた。

Nishiyama *et al.* (1975) は、4倍体植物であるK233と2倍体植物であるK221の交雑により得られた3倍体種子にコルヒチン処理を行って、人為的に6倍体を作成し、サツマイモとの交雑を行った。さらに、メキシコで収集された野生植物の中に認められた3倍体植物K222が減数分裂過程で非還元性配偶子を形成することに着目し、K222の系統間の交雑でごく低頻度で6倍体個体を得た。当時、K221はサツマイモと直接の交雑で雑種種子が得られていなかったが、この6倍体個体とは交雑が可能であったため、これを橋渡し植物にして、サツマイモと2倍体の交雑が行われた。しかし、これらの倍数性植物はいずれも根が肥大しなかったため、これまでのところサツマイモとの交雑によっても有望系統は得られていない。その後、塩谷・川瀬 (1981)、Kobayashi (1984) およびHambali (1988) が見いだした根の肥大性のある2倍体植物は、塊根は形成しないものの、直径が10~20cmに達したところから、K123以外にサツマイモ育種に利用できる可能性がある材料であると考えられた。

本研究では、2倍体植物のサツマイモとの交雑の可能性、サツマイモ育種に利用できる特性、およびサツマイモとの雑種的能力を把握するこ

とを目的とした。まず、サツマイモと2倍体植物の交雑を行い、交雑率の平均値は0.65ないし1.16%ときわめて低いが、母本とするサツマイモ品種・系統によっては比較的容易に交雑種子を得ることができることを明らかにした(表14および表15)。

次いで、2倍体植物の育種的に利用可能な特性を検定した。根の肥大能力については、2倍体系統間で差があり(図11)、20mm以上の梗根をつけるものを見だし、根の肥大の優れる親同士の間交雑組合せで、太い根をもつ個体を分離することを明らかにした(表18)。しかし、根のでん粉歩留は最も高い個体で約20%、平均では約12%とサツマイモに比べて著しく低いという欠点も有していた(表19)。サツマイモネコブセンチュウ抵抗性については供試した系統の約80%が抵抗性強であり、育種素材として利用可能であると考えられた。

サツマイモと2倍体植物の雑種は高い頻度で塊根を形成し(表23)、塊根形成の優れる雑種個体を高でん粉多収のサツマイモ品種と交雑した後代では、多くの個体が優れた塊根形成を示すことを明らかにした。これらの個体の中には、塊根重がわが国の代表的な高でん粉多収品種である「コガネセンガン」を大きく上回る個体が認められ、塊根重の改善には2倍体植物の利用は有効であると結論できた。しかし、切干歩合については「コガネセンガン」を上回るものはなかった。現在の高でん粉多収品種の育種試験では「コガネセンガン」の切干歩合より低いものは選抜の対象とならないために、「コガネセンガン」より切干収量の高かったいずれの系統も選抜されなかったが、いもの生産性という観点からは2倍体野生植物は極めて魅力的な育種材料であることが示唆された。

以上の結果は、サツマイモとの直接の交雑によって実用的に有望な系統が育成される可能性があることを示唆している。しかし、2倍体植物をサツマイモと直接交雑する方法にはいくつかの問題点が残されている。つまり、育種を大規模に展開するためには、数%の交雑率は不十分であり、また、2倍体植物のもつ劣悪形質が

サツマイモに導入される。この点を解決するための一つの方法として、次の方法が考えられる。まず、2倍体植物間の交雑率は非常に高い(表16)こと、および2倍体植物の遺伝様式はサツマイモより著しく単純であることに着目して、2倍体レベルで根の肥大性、でん粉歩留およびネコブセンチュウ抵抗性を改善する。表24で、サツマイモと4倍体雑種との交雑率の平均値は6.9%であるところから、2倍体植物をコルヒチン処理して染色体数を倍加して交雑する。この方法はNishiyama *et al.* (1975)が指摘しているように同一ゲノムの集積が起こるために稔性低下が起こる可能性があるものの、今後検討に値する方法と考えられる。予備的に行ったコルヒチン倍加処理では、実生個体に処理した場合あるいは各節を振盪処理し腋芽を摘出して*in vitro*で培養した場合には染色体数の増加した異数体がそれぞれ2個体得られたが稔性のある4倍体は得られなかった。また、挿苗個体の腋芽に処理した場合は処理部は肥厚し芽の伸長が期待されたが、それ以前に元の個体が枯死したため倍加個体は得られなかった。今後は、効率的なコルヒチン倍加技術の確立が必要である。

他の方法として、Freyre *et al.* (1991)およびIwanaga *et al.* (1991)が報告している非還元性配偶子を用いる方法が考えられる。非還元性配偶子を用いる方法は、非還元性配偶子の頻度が極めて高い2倍体植物を非還元性配偶子を生み出さない2倍体植物と交雑して3倍体雑種を作成し、3倍体雑種の中で非還元性配偶子の頻度が高い個体を選んで、サツマイモと交雑するものである。Iwanaga *et al.* (1991)によると、サツマイモとの交雑率は7.5%であり、サツマイモと2倍体植物の交雑の場合より高くなる。サツマイモと2倍体植物の雑種でもかなり高い塊根形成能力を示したところから、2倍体レベルで実用的な能力を高めておけば、非還元性配偶子を用いる方法は期待の高い方法であると考えられる。

以上のように、2倍体植物をサツマイモ育種に利用する方法は現在までのところ直接交雑のみが実用可能である。しかし、本研究で、2倍

体植物がサツマイモ育種において非常に有用な素材であることを明らかにしており、今後様々な方法を用いて2倍体植物を利用していく価値があるものと考えられる。

本研究では、サツマイモの近縁野生植物の形態的変異、交雑の可能性、および分子レベルでの解析に基づいて、サツマイモと交雑が可能な近縁野生植物は倍数性を問わず*I. batatas*と分類

するのが妥当であるとの結論を得た。また、これまで育種的に利用されていなかった2倍体植物をサツマイモと交雑し、さらに戻し交雑することによって、切干歩合は低いものの、高でん粉多収であるサツマイモ品種を上回る塊根重を示す系統を獲得できることを明らかにした。本研究の成果は近縁野生植物を用いたサツマイモ育種の進展に大きく貢献するものと考えられる。

摘 要

サツマイモの遺伝変異を拡大するための素材としてその近縁野生植物 (*Ipomoea*属*Batatas*節植物) に着目した。わが国には西山 (1959) 以来、中南米から多数の近縁野生植物が導入され、現在では、サツマイモと交雑が可能な野生植物は倍数性を問わず*Ipomoea trifida*と同定されている。しかし、米国の研究者は4倍体および6倍体植物は*I. batatas*であるとしている。そこで、わが国に導入された近縁野生植物の系統分類学的考察を行うとともにこれまで利用されていない近縁野生植物の育種利用を試みた。

1. サツマイモ近縁野生植物の系統分類学的研究においては形態的変異、相互の交雑関係およびRAPDパターンを解析した。

まず、形態的形質を数量化し、多変量解析を適用した分類を行った。*Ipomoea*属*Batatas*節植物のうちサツマイモと交雑が可能な第1群植物は、*I. tiliacea*と同定されているK270とともに一つの大きな群に包括され、サツマイモと交雑が不可能な第2群植物とされている*I. cordato-triloba*、*I. triloba*および*I. lacunosa*とは識別が可能であった。第1群植物は2倍体から6倍体までの倍数性を含み、倍数性が高くなるにつれて、花冠が大きく太くなり、外輪の萼片が長くなり、さらに花筒部の形状が漏斗形から太い鐘形へと変化する傾向が認められたが、その変化は連続的であった。このことから、第1群植物は異なる倍数性を含む倍数性複合体を形成した一つの

種であると考えられた。このうち、4倍体植物については、K233およびその類似系統は、形態的には、他の4倍体植物とは異なっているものの、自然界に両者の中間型が存在すること、相互に交雑は容易であることから、K233およびその類似系統は異種ではなく、特殊な生育環境に適応した生態型であると判断された。また、種名は米国の研究者の形態分類に基づいて、*I. batatas*とするのが妥当であると結論した。

さらに、分子遺伝学レベルでの変異を解析するため、サツマイモおよび2倍体から6倍体までの倍数体を含む第1群植物にRAPD分析を適用したが、RAPDマーカーによってサツマイモおよび第1群植物を明確に分類することは困難であった。

これらの結果を踏まえて、*Ipomoea*属*Batatas*節第1群植物は、形態的、生物学的および分子遺伝学的に一つの種であり、*I. batatas*と同定するのが妥当であると結論した。

2. サツマイモ近縁野生植物の育種的利用については、根の肥大能力について変異の大きいことが報告されている2倍体植物に着目し、サツマイモとの交雑の可能性、利用できる形質、およびサツマイモとの雑種の生産力を評価した。

まず、サツマイモと2倍体植物の交雑を行った。交雑率はきわめて低かったが、母本とするサツマイモ品種・系統によっては2~3%の交雑率を示す場合があった。一方、2倍体植物間

の交雑率は50%を超えた。

次いで、2倍体植物の育種的に利用可能な特性を検定した。根の肥大能力については、2倍体系統間で差があり、ポット試験によって根の潜在的な肥大性が明らかにできることを指摘した。また、ポット試験で根の肥大性の異なる系統を選んで後代を作成したところ、根の肥大の優れる親を用いた組合せで、圃場栽培でも20mmを超える太い根をもつ個体を分離することを明らかにした。しかし、根のでん粉歩留は最も高い個体で約20%、平均では約12%とサツマイモに比べて著しく低かった。サツマイモネコブセンチュウ抵抗性については、供試した系統の約80%が抵抗性強であり、2倍体植物はサツマイモネコブセンチュウ抵抗性をサツマイモに導入する素材として有用であると考えられた。

さらに、サツマイモと2倍体植物を交雑し、その雑種が高い頻度で塊根を形成することを明らかにした。塊根形成の優れる雑種個体を高で

ん粉多収のサツマイモ品種と交雑した後代では、多くの個体が優れた塊根形成を示した。これらの個体の中には、塊根重がわが国の代表的な高でん粉多収品種である「コガネセンガン」を大きく上回る個体が認められたが、切干歩合については「コガネセンガン」を上回るものはなかった。このことから、塊根重の改善には2倍体植物の利用は有効であるが、切干歩合についてはごく高でん粉性サツマイモを使うといった方策が必要であると結論した。

以上のように、本研究では、サツマイモの近縁野生植物の形態的変異、交雑の可能性、および分子レベルでの解析に基づいて、サツマイモ近縁野生植物の分類に関して新しい方向を示すとともに、これまで利用されていなかった2倍体植物の育種的価値を評価し、サツマイモとの雑種の生産力を解明した。これらから、本研究の成果は近縁野生植物を用いたサツマイモ育種の進展に大きく貢献するものと考えられる。

謝 辞

本研究を遂行するにあたり、懇切なご指導とご鞭撻をいただき、さらに本論文の校閲を賜った前茨城大学農学部教授丹羽 勝博士（現国際協力事業団パラグアイ大豆生産プロジェクトチームリーダー）に心より感謝の意を表す。東京農工大学農学部教授平澤 正博士、茨城大学農学部教授松田智明博士、宇都宮大学農学部教授松澤康男博士および茨城大学農学部助教授丸橋 亘博士には本論文に関し貴重なご助言をいただいた。深く感謝の意を表す。また、元九州農業試験場作物第二部作物第1研究室長小林仁博士（現財団法人日本植物調節剤研究協会理事長）には研究の当初から論文完成に至るまで終始、ご指導とご鞭撻を頂いた。前三重大学教授塩谷格博士（現名誉教授）には研究材料を供与いただき、また研究の実施にあたり貴重なご助言を頂いた。さらに、九州農業試験場作物第

二部作物第1研究室の元室長知識敬道氏、元主任研究官宮崎 司氏、九州農業試験場畑地利用部甘しょ育種研究室の元室長久木村 久氏、岡山大学農学部教授田原 誠博士、前農業研究センター作物開発部甘しょ育種研究室の主任研究官片山健二博士（現農業技術研究機構中央農業総合研究センター企画調整部主任研究官）および農業研究センター作物開発部甘しょ育種研究室（現農業技術研究機構作物研究所甘しょ育種研究室）の田宮誠司主任研究官には有益なご助言とご援助を頂いた。実験材料の管理・養成には九州農業試験場（現農業技術研究機構九州沖縄農業研究センター）および農業研究センター（現農業技術研究機構中央農業総合研究センター）の業務科職員の多大なご協力を頂いた。

ここに記して、これらの方々から心からの感謝を捧げる次第である。

引用文献

- Austin, D. F. (1977) Hybrid polyploids in *Ipomoea* section *batatas*. Jour. Hered. 68, 259-260.
- Austin, D. F. (1978) The *Ipomoea batatas* complex. I. Taxonomy. Bull. Torrey Bot. Club 105, 114-129.
- Austin, D. F. (1983) Variability in sweet potatoes in America. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci., Tropical Region 27 (B), 15-27.
- Austin, D. F. (1987) The taxonomy, evolution and genetic diversity of sweet potatoes and related wild species. In 'Exploration, maintenance, and utilization of sweet potato genetic resources' Rep. 1st Sweet potato Planning Conf., CIP, Lima, Peru., 27-59.
- Bohac, J. R., D. F. Austin and A. Jones (1993) Discovery of wild tetraploid sweetpotato. Econ. Bot. 47, 193-201.
- Choisy, J. D. (1845) Convolvulaceae. In DeCandolle, A. Prodrum 9, 323-465.
- FAO (1996) FAO Production Yearbook. Vol. 50
- Freyre, R., M. Iwanaga and G. Orjeda (1991) Use of *Ipomoea trifida* (H. B. K.) G. Don germ plasm for sweet potato improvement. 2. Fertility of synthetic hexaploids and triploids with 2n gametes of *I. trifida*, and their interspecific crossability with sweet potato. Genome 34, 209-214.
- 原田久也 (1993) DNA塩基配列多型の検出と利用. 育種とバイオサイエンス - 育種学の新しい流れ - 蓬原雄三編著., 145-165. 養賢堂. 東京. pp569.
- Hambali, G. G. (1988) Tuberization in diploid *Ipomoea trifida* from Citatah, West Java, Indonesia. Proc. the Eighth Symposium of the International Society for Tropical Root Crops., 469-473.
- He, G., C. S. Parakash and R. L. Jarret (1995) Analysis of genetic diversity in a sweetpotato (*Ipomoea batatas*) germplasm collection using DNA amplification fingerprinting. Genome 38, 938-945.
- Iwanaga, M., Freyre, R. and G. Orjeda (1991) Use of *Ipomoea trifida* (H. B. K.) G. Don germ plasm for sweet potato improvement. 1. Development of synthetic hexaploids of *I. trifida*, by ploidy level manipulation. Genome 34, 201-208.
- Jarret, R. L. and D. F. Austin (1994) Genetic diversity and systematic relationships in sweetpotato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) and related species as revealed by RAPD analysis. Genetic Resources and Crop Evolution 41, 165-173.
- Jarret, R. L., N. Gawel and A. Whittemore (1992) Phylogenetic relationships of the sweetpotato [*Ipomoea batatas* (L.) Lam.] J. Amer. Soc. Hort. Sci. 117, 633-637.
- Jones, A. (1964) Chromosome numbers in the genus *Ipomoea*. J. Heredity 55:216-219.
- Jones, A. (1965) Cytological observations and fertility measurement of sweetpotato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) Amer. Soc. Hort. Sci. 86, 527-537.
- Jones, A. (1966) Morphological variability in early generations of randomly intermating population of sweet potatoes (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.). Univ. Ga., Agric. Expt. Sta. Tech. Bull. N. S. 56, 1-31.
- Jones, A. (1967) Should Nishiyama's K123 (*Ipomoea trifida*) be designated *I. batatas*? Econ. Bot. 21, 163-166.
- Jones, A. (1970) Asynapsis in *Ipomoea gracilis*. Journ. Heredity 61, 151-152.
- 菊川誠士・坂井健吉 (1969) 甘しょにおける線虫抵抗性品種の育成方式に関する研究. 九州農業試験場彙報14, 365-397.
- King, J. R. and R. Bamford (1937) The chromosome number in *Ipomoea* and related genera. J. Heredity 28, 279-282.

- Kobayashi, M. (1978) Sweet potato breeding method using wild relatives in Japan. *Trop. Agr. Res.* 11, 1-8.
- 小林 仁 (1981) サツマイモの起原と分化 1. サツマイモの原産地と品種の分化. 育種学最近の進歩 22, 107-113.
- 小林 仁 (1984) サツマイモのきた道. 古今書院、東京.
- Kobayashi, M. (1984) The *Ipomoea trifida* complex closely related to sweet potato. Proceeding of a Symposium of the International Society of Tropical Root Crops. Lima, Peru, February 21-26, 1983. Edited by S. F. Shideler and H. Rincon. International Potato Center, Lima, Peru., 561-568.
- 小林 仁・梅村芳樹 (1981) 中南米の地下作物探索導入調査報告書. 熱研資料59. 農林水産省熱帯農業研究センター.
- Komaki, K. (1999) Morphology and crossing ability of tetraploid species closely related to sweetpotato. *Jpn. J. Trop. Agr.* 43, 42-48.
- Komaki, K. and K. Katayama (1999) Root thickness of diploid *Ipomoea trifida* (H. B. K.) G. Don and performance of progeny derived from the cross with sweetpotato. *Breed. Sci.* 49, 123-129.
- Komaki, K., H. N. Regmi, K. Katayama and S. Tamiya (1998) Morphological and RAPD pattern variations in sweetpotato and its closely related species. *Breed. Sci.* 48, 281-286.
- Kowyama, Y., T. Hattori, T. Asahi and K. Nakamura (1992) RFLP as probes for genetic variability in the genus *Ipomoea*. In 'Sweetpotato technology for the 21st Century' Hill, W. A., C. K. Bonsi and P. A. Loretan (eds.) Tuskegee University, Tuskegee, Alabama, U. S. A., 72-77.
- Magoon, M. L., R. Krishnan and K. Vijaya Bai (1970) Cytological evidence on the origin of sweet potato. *Theor. appl. Genet.* 40, 360-366.
- Martin, F. W. and A. Jones (1972) The species of *Ipomoea* closely related to the sweet potato. *Econ. Bot.* 26, 201-205.
- Martin, F. W., A. Jones and R. M. Ruberte (1974) A wild *Ipomoea* species closely related to the sweet potato. *Econ. Bot.* 28, 287-292.
- Matuda, E. (1963) El genero *Ipomoea* en Mexico - I. *An. Inst. Biol. Mex.* 34, 85-145.
- 宮崎 司 (1976) 野生種利用による「4倍体カンショ」の育成. 農業技術31, 24-25.
- Muramatsu, M. and I. Shiotani (1974) Closely related *Ipomoea* species of the sweet potato in Mexico and Guatemala. *Rep. Plant Germ-Plasm Inst. Kyoto Univ.* 1, 9-13.
- 中西建夫・小林仁 (1977) *Ipomoea*種間交雑胚の生長に対する生長調節物質の影響. 育種学雑誌27(別2), 168-169.
- 中西建夫・小林仁 (1978) *Ipomoea*種間の交雑促進に対するIBAの影響. 九州農業研究 40, 50.
- Nei, M. (1975) *Molecular Population Genetics and Evolution*. North-Holland Pub. Co. Amsterdam.
- 西山市三 (1959) 北米及びメキシコより導入した甘藷とその近縁植物. 育種学雑誌 9, 73-78.
- Nishiyama, I. (1971) Evolution and domestication of the sweet potato. *Bot. Mag. Tokyo* 84, 377-387.
- 西山市三・藤瀬一馬・寺村 貞・宮崎 司 (1961a) 甘藷とその近縁植物に関する研究 I. *Batatas*節植物の染色体数と主要特性の比較研究. 育種学雑誌11, 37-43.
- 西山市三・藤瀬一馬・寺村 貞・宮崎 司 (1961b) 甘藷とその近縁植物に関する研究. 甘藷野生種K123の生理生態的特性. 育種学雑誌11, 261-268.
- Nishiyama, I., T. Miyazaki and S. Sakamoto (1975) Evolutionary autopolyploidy in the sweet potato [*Ipomoea batatas* (L.) Lam.] and its progenitors. *Euphytica* 24, 197-208.
- 小野敏忠・丸峯正吉・山川 理・広崎昭太・坂本 敏・井手義人 (1977) かんしょ新品種“ミナミユタカ”について. 九州農業試験場報告19, 133-149.
- 小野田正利 (1956) ミキサー利用簡易澱粉検定に関する試験. 澱粉工業学会誌 3, 32-38.

- Oracion, M. Z., K. Niwa and I. Shiotani (1990) Cytological analysis of tetraploid hybrids between sweet potato and diploid *Ipomoea trifida* (H. B. K.) G. Don. *Theor. Appl. Genet.* 80, 617-624.
- Orjeda G., R. Freyre and M. Iwanaga (1991) Use of *Ipomoea trifida* germ plasm for sweet potato improvement. 3. Development of 4x interspecific hybrids between *Ipomoea batatas* (L.) Lam. ($2n=6x=90$) and *I. trifida* (H. B. K.) G. Don. ($2n=2x=30$) as storage-root initiators for wild species. *Theor. Appl. Genet.* 83, 159-163.
- 坂井健吉 (1964) 甘藷育種における変異の拡大法と選抜法の改善に関する研究. 九州農業試験場彙報 9, 247-397.
- 坂井健吉 (1999) さつまいも 法政大学出版局、東京.
- 坂井健吉・広崎昭太 (1965) 甘しょ高でん粉多収品種育成の現状と将来. 農業技術20, 124-128, 171-176.
- Sakamoto, S. (1970) Utilization of related species on breeding of sweet potato in Japan. *JARQ* 5, 1-4.
- 坂本 敏 (1986) カンショにおける連作障害に対する育種的アプローチ. 育種学最近の進歩 27, 121-130.
- Shiotani, I. (1983) A survey of habitats of *Ipomoea trifida*, a closely related species to sweet potato. *Rep. Plant Germ-plasm Inst. Kyoto Univ.* 6, 9-27.
- Shiotani, I. (1988) Genomic structure and the gene flow in sweet potato and related species. In 'Exploration, maintenance, and utilization of sweet potato genetic resources' *Rep. 1st Sweet Potato Planning Conf., CIP, Lima, Peru.*, 61-73.
- 塩谷 格・川瀬恒男 (1981) サツマイモの起原と分化 2. ゲノム構造と栽培化. 育種学最近の進歩22, 114-134.
- Shiotani, I. and T. Kawase (1987) Synthetic hexaploids derived from wild species related to sweet potato. *Japan. J. Breed.* 37, 367-376.
- Shiotani, I. and T. Kawase (1989) Genomic structure of the sweet potato and hexaploids in *Ipomoea trifida* (H. B. K.) G. Don. *Japan. J. Breed.* 39, 57-66.
- 塩谷 格・大八木秀一・奥村沙織・徳井 満 (1993) 倍数体 *Ipomoea trifida* 系統のサツマイモネコブセンチュウに対する抵抗性反応. 育種学雑誌43 (別2), 246.
- Shiotani, I., S. Yoshida and T. Kawase (1990) Numerical taxonomic analysis and crossability of diploid *Ipomoea* species related to the sweet potato. *Japan. J. Breed.* 40, 159-174.
- 館岡亜緒 (1983) 植物の種分化と分類. pp269. 養賢堂, 東京.
- Tarumoto, I., H. Ishikawa and S. Kato (1990) Inheritance mode of starch content in *Ipomoea batatas*. *NARC研究速報* 7, 7-11.
- Teramura, T. (1979) Phylogenetic study of *Ipomoea* species in the section *Batatas*. *Mem. Coll. Agr. Kyoto Univ.* 114, 29-48.
- Ting, Y. C. and A. E. Kehr (1953) Meiotic studies in the sweet potato. *J. Heredity* 34, 207-211.
- Ting, Y. C., A. E. Kehr and J. C. Miller (1957) A cytological study of the sweet potato plant *Ipomoea batatas* (L.) Lam. and its related species. *Amer. Nat.* 91, 197-203.
- Tioutine, M. G. (1935) Breeding and selection of sweet potato. *J. Heredity.* 26, 2-10.
- 戸苅義次 (1950) 甘藷塊根形成に関する研究. 農事試験場報告68, 1-96.
- 徳井 満・中村真紀・高橋栄子・塩谷 格 (1993) サツマイモネコブセンチュウ抵抗性を支配する *Ipomoea trifida* 系統の優性遺伝子. 育種学雑誌43 (別2), 247.
- 徳井 満・野呂和明・中村真紀・塩谷 格・山本敏夫 (1992) サツマイモ近縁野生種のサツマイモネコブセンチュウ抵抗性の遺伝様式. 育種学雑誌42 (別2), 398-399.
- Ugent, D., S. Pozorski and T. Pozorski (1981) Prehistoric remains of the sweet potato from the casma valley of Peru. *Phytologia* 49, 401-415.
- van Oostroom, S. J. (1953) The Convolvulaceae of Malaysia. III. The genus *Ipomoea*. *Blumea* 3, 481-582.

- Verdcourt, B. (1963) Convolvulaceae. In Hubbard, C. E. and E. Milne-Redhead (editors). Flora of Tropical East Africa pp162. London.
- 山川 理・坂本 敏 (1980) カンショ育種における野生種の利用 1. 4 倍体カンショ後代における結しよ性と収量性の変化. 育種学雑誌30 (別 2), 240-241.
- Yen, D. E. (1971) Construction of the hypothesis for distribution of the sweet potato. In 'Man Across the Sea' Eds. C. L. Reily et al. Univ. Texas Press, Austin, U. S. A., 328-342 .
- 湯浅 明 (1958) 植物学概論 . pp331 . 培風館、東京 .

Phylogeny of *Ipomoea* Species Closely Related to Sweetpotato and Their Breeding Use

Katsumi KOMAKI*

Summary

Wild species closely related to sweetpotato, genus *Ipomoea*, section *Batatas*, were investigated to enhance sweetpotato genetic variations. A large number of wild species related to sweetpotato had been introduced from Central and South America since Nishiyama's (1959) first expedition to the area. All the wild species that could be crossed with sweetpotato were classified into *I. trifida* in Japan irrespective of ploidy levels, though American scientists had reported that the hexaploid and tetraploid species belonged to *I. batatas*.

This study aimed of analyzing the phylogeny of sweetpotato and its wild species, and of using the species for sweetpotato breeding.

1. Morphological variations, crossing ability and RAPD pattern of sweetpotato and its closely related species were analyzed in the phylogenetic study.

Firstly, principal component analysis was applied to analyze the morphological variations between sweetpotato and its wild species. Accessions that could be crossed with sweetpotato, which Nishiyama (1971) classified as Group I of the genus *Ipomoea*, section *Batatas* (Group I), formed a large group. This group was characterized by a relatively large corolla, campanulate corolla tube, the presence of an external nectary, and star shape of the corolla tube bottom, and included diploid, tetraploid and hexaploid accessions. Though the accessions with a higher ploidy generally showed a larger corolla and thicker campanulate corolla tube than those with a lower ploidy, ranges of variation in the ploidy levels were overlapped each other. Therefore, it was difficult to designate them as different species, suggesting that these accessions might be considered as one taxon.

Among the tetraploid accessions, K233 and allied ones were morphologically different from other tetraploid accessions in terms of leaf thickness and size. There were, however, some intermediate types between them in Mexico and Colombia, and all the tetraploid species could be crossed with one other. Based on these results, all the tetraploid accessions were considered to belong to one taxon and were designated as *I. batatas*, as indicated in the taxonomical studies carried out in the U. S. A.

Randomly amplified polymorphic DNA (RAPD) analysis was also applied to sweetpotato, and diploid, tetraploid and hexaploid accessions which can be crossed with sweetpotato. Classification based on the RAPD pattern of variations was not effective in

the differentiation of the accessions.

As a result of the experiments, it was concluded that the accessions belonging to Group I formed one taxon, designated as *I. batatas*.

2. Diploid accessions, which were reported to have thick roots, were mainly used for sweetpotato breeding. Diploid accessions were evaluated from the viewpoints of crossing ability with sweetpotato, characters which could be used for sweetpotato improvement, and productivity of the progenies resulting from the crosses with sweetpotato.

Diploid accessions produced hybrids with sweetpotato, though seed setting was very poor. In order to use the diploid accessions for sweetpotato breeding on a large scale, improvement of seed setting is required.

Variation in root thickness was observed among the accessions in pot experiments, and some of them produced thick roots more than 15 mm in diameter. One of the progenies between accessions with thick roots showed a diameter of more than 20 mm, while the starch content was low, 12% on the average. Eighty percent of the progenies were resistant to the root knot nematode, *Meloidogyne incognita*, suggesting that diploid accessions could be used as a source of root knot nematode resistance.

Most of the progenies of the crosses between sweetpotato and diploid accessions produced storage roots. High storage root weight was also found in the back-crossed progenies of the hybrids to sweetpotato, while the dry matter content was low. Some of them showed a higher storage root weight than "Koganesengan", which was the most popular sweetpotato cultivar for starch production with a high storage root weight and starch content. Therefore, diploid accessions with thick roots were considered to have a high potential for the formation of storage root. In order to develop cultivars with a high yield of storage roots and high dry matter content, improvement of the diploid accessions and/or use of sweetpotato with a high dry matter content may be required.

In the studies, a taxonomical classification of sweetpotato and its related species were attempted based on the analysis of the morphological variations, crossing ability and molecular (RAPD) marker patterns. Breeding value of the diploid accessions was also evaluated from the viewpoints of productivity of the progenies resulting from the crosses with sweetpotato. Results of this study could contribute significantly to the progress of sweetpotato breeding using wild species.