特 集 記 事

わが国におけるイチゴ育種研究の成果と展望

望月龍也

(農林水産省野菜・茶業試験場, 三重県安芸郡安濃町草生 360, 〒514-2392)

Progress and future aspects of strawberry breeding in Japan

Tatsuya Mochizuki

(Department of Vegetable Breeding, National Research Institute of Vegetables, Ornamental Plants and Tea, Kusawa, Ano, Age, Mie 514-2392, Japan)

キーワード：イチゴ, *Fragaria*, 育種, 品種, 近縁野生種, バイオテクノロジー, 遺伝資源

1. はじめに

現在の栽培イチゴ(*Fragaria*×*ananassa*)は, 18世紀中頃にオランダで作出されたチリイチゴ(*F. chiloensis*)とバージニアイチゴ(*F. virginiana*)の種間雑種に由来する比較的新しい作物である。現在では温帯～亜寒帯地域はもとより, 生態的には必ずしも適地といえない熱帯高原地域にも栽培が広がり, 世界的な園芸作物となっている。FAO統計によれば, 1998年の世界上位20カ国における生産量は約235万t, 国別ではアメリカ(約74万t), スペイン(約31万t), 日本(約20万t), 韓国, ポーランド(約15万t)等が多い(柳2000)。

わが国の1998年における作付面積は7,640 ha, 出荷量は181,000 t, また全卸売市場における取扱金額は園芸品目中ではミカンに次ぎ, リンゴやトマト, キュウリ等より多い約2,200億円に達している。全国のイチゴ生産量は1980年代中頃から20万t前後を維持してきたが, 作付面積は漸減傾向にあり, 1998年の作付面積は1985年の約70%である。単収向上の要因としては, 栽培管理技術の改善もあるが, 最大の要因は促成長期どり作型の拡大にある。

全出荷量の90%以上を占める温暖地・暖地のビニルハウス促成栽培では, 1980年代中頃から‘女峰, とよのか’の2大品種時代が続いてきた。これらの品種は, 早生で休眠が浅いため促成長期どり作型への適応性が高く, さらに, 夏季低温処理育苗による人為的な花芽分化促進技術が確立されたことから, 収穫期間は11～5月と半年あまりに及んでいる。促成栽培では, 頂果房に引き続き第3ないし第4次腋果房まで連続的に収穫するため, 気象条件による収量の年次間差が小さく, 平均的な収量は3.5～4.0 t/10 aであり, 市場価格もここ10年来

年平均1,100～1,300円/kgと変動が小さい安定収益作物であることから, 産地では地域を支える基幹作物に位置づけられている。

ここでは, 野菜・茶業試験場における研究を中心に, わが国における最近のイチゴ育種の現状と成果を概説するとともに, 今後の課題について検討する。

なお, わが国における栽培イチゴの導入から最近までの品種及び栽培技術等の変遷については, 本多(1983)及び望月(1997)を参照されたい。また海外におけるイチゴ育種の状況は, 国際園芸学会が4年ごとに開催する国際イチゴシンポジウムに紹介されている(Acta Horticultural No. 265(1988), No. 348(1992), No. 439(1996))。

2. 育種目標

促成イチゴ生産に要する労働時間は, 育苗から収穫・出荷まで含めると年間2,000～2,500時間/10 aと推定され, 労働生産性の面から大幅な省力化が必要である。特に労働時間の50～60%を占める収穫・選果作業は省力化が最も必要な部分であり, また高温期の集約的な管理を必要とする育苗作業は労働時間の10%強ではあるが, 生産者にとって最も負担感が強い作業であることから, これらの省力化に対応できる品種育成が求められている。

果物であるイチゴでは品質は基本的かつ重要な特性であるが, 促成栽培の拡大と並行して, 広域流通による全国的な安定供給が達成されるとともに, 最近では高品質と合理的価格のバランスを重視する消費傾向が強まっており, 流通適性に優れる品種が求められている。またわが国のイチゴ生産は歴史的に少数品種寡占の傾向が強かったが, 他の果実類と互して消費ニーズを拡大していくためには, 品質面で個性ある品種の開発が求められている。

食品の健全性に対する消費ニーズが拡大し, また農業生産における環境負荷低減が重要課題になっているが, 生果でしかも剥皮せずに消費されるイチゴでは, 特に消費者の関心が高い。このようなニーズに対応するために

図1. イチゴ生産の年次間推移

は病虫害抵抗性品種が必須である。わが国のイチゴ生産では炭そ病・うどんこ病・萎黄病・灰色カビ病・ハダニ・アブラムシ等が重要であり、さらに最近は萎凋病・葉枯れ炭そ病・ミカンキイロアザミウマ等の発生も拡大しているが、病虫害抵抗性を主目標に育成された品種はごく少なく、特に重要病害に対する複合抵抗性品種は皆無に近いことから、早急な開発が求められている。

夏秋期は業務用(ショートケーキ等)中心のため需要が少なく、生産量は冬春期の1/10以下である。しかし業務用需要は堅調で、価格も安定しており、安定生産可能な優良品種とこれを利用した作型が開発されれば、寒高冷地を中心に相当の生産拡大が見込まれる。また温暖地や暖地でも、中山間地活性化対策として、四季成り性品種を利用した夏秋期生産に期待が大きい。さらに昭和50年代初頭から、生産量の少ない夏秋期の業務用としてカリフォルニアから生果が輸入され、最近では年間5,000t近くに達しており、輸入依存割合を低下させるためにも、夏秋期栽培に適した品種の開発が求められている。

このような品種開発へのニーズを背景に、近年は新品

種の発表が相次いでおり、その中から促成栽培では‘とちおとめ’(石原ら1996)、『章姫’(萩原1995)、『さちのか’(森下ら1997)等、また露地～夏秋栽培では‘北の輝’(沖村ら1997)等が普及しつつある。しかし、これらの新品種も省力性・病害抵抗性・流通適性等の点で十分ではなく、一層の育種努力が求められている。

3. 省力・軽作業化

1) 収穫・選果作業

果実が軟弱で傷みやすく、また商品性の点からサイズ・形状・着色等の規格に合わせた選別が不可欠なイチゴでは、人手による収穫と選果を基本とせざるを得ないため、収穫・選果の省力化には収穫しやすい果房特性(直立性、果実配置の揃い等)と選果を容易にする果実の着色・形状の揃い、果実の大きさ及び果実硬度等が重要である。

収穫しやすい着果習性及び果実サイズの斉一化を可能とする果房型特性の解明に基づき(竹内1993、曾根ら1998)、収穫・選果作業の省力化が可能な‘久留米56号、

図2. 促成栽培におけるイチゴ作付品種の変遷

同57号'が育成された(望月ら2000)。これらは、果房形態の改造を育種目標として育成された最初の系統であり、'久留米56号'は基部から発生する1本の強い果梗から箒状に着果する分枝型、'同57号'は基部から発生する多数の強い果梗に各1~2果着果する直枝型の果房を有し、いずれも果実サイズの斉一性に優れている。将来的には果実硬度を強化することにより、機械選果による一層の省力化を可能とする品種の育成が期待される。

一方イチゴのように手収穫が基本となる作物では、果実は大きいほど収穫効率が高く、世界最大のイチゴ産地カリフォルニアにおいても数年前から極大果品種'Camarosa'が主力を占めている。わが国の促成栽培における極大果品種としては'アイベリー'が有名であるが、極大果数を増加させるためには厳冬期の草勢管理に熟達した技術を必要とすること等から、作付面積は減少傾向にある。'久留米54号'は、'とよのか'及び'アイベリー'を材料に、自殖と大果性に関する選抜を3世代繰り返して作出した系統間の交配により育成された中間母本系統であるが(望月ら1996)、厳冬期にも草勢低下せず連続的な極大果生産が可能であり、極大果性の交配親として能力が高いため、交配母本としての活用が期待される。

2) 育苗及び本圃管理

育苗面では、病害回避や作業姿勢改善に効果の高い高設採苗方式、省力効果に優れ機械化移植への適応性も高いセルトレイ等小型容器育苗、さらには極めて省力的であり育苗-生産分業にも有効な無仮植育苗等に対する適性が求められる。このためには発根性、活着性、草姿(立性、小型葉等)、さらには頂花房や腋花房分化の環境安定性等が重要である。これらの形質には明らかな品種間差が見られるが、品質優先のわが国ではこれまではあまり配慮されておらず、今後の検討が必要な分野である。

種子繁殖型品種は、レタスやキャベツ等の葉菜類やトマトやキュウリ等の果菜類で広く利用されている育苗セ

ンター方式等により、育苗-生産分業による省力化に有効と考えられる。一般的にイチゴは遺伝的なヘテロ性が高く、また固定系統育成には自殖弱勢の問題がある。しかし最近オランダで四季成り性を利用した種子繁殖型品種が開発されており(Bentvelsen and Bouw 2000)、わが国でも実用品種からの自殖系統利用(成川ら1997、斉藤ら1998)、あるいは八倍性栽培種への二倍性野生種のゲノム添加による合成十倍体の利用(望月ら1994)による形質固定等が試みられている。

本圃管理では、大幅な省力・軽作業化効果が期待されるNFT耕、ロックウール耕、養液土耕等による高設栽培に注目が集まっているが、現状ではこのような栽培方式に対する適応性には品種間差異がみられる。無培地あるいは少量培地栽培に特有な培地温度や養液濃度の変動に対する適応性、また導入コストを早期回収するための多収性や密植適性等が必要であり、生理生態面等からの研究深化が望まれる(田中1998)。

4. 病害抵抗性

1) 炭そ病抵抗性

野菜・茶業試験場では、育種における抵抗性の簡易検定法として葉柄浸漬接種法(Noguchi *et al.* 1994)が開発され、またフロリダ州立農試等から導入した抵抗性品種・系統を素材に高度抵抗性交配母本系統'久留米素材1号、同2号'が育成された(Noguchi *et al.* 1998)。これらの系統は、わが国で発生する炭そ病菌に対して素材品種・系統以上に安定した抵抗性を有しており、炭そ病抵抗性の交配母本としての活用が期待される。また、抵抗性育種の基盤となる遺伝情報等に関する研究は国内外とも少ないが、最近実生への人工接種を利用した循環選抜の効果が明らかにされ(森1998)、これに基づいて実用的な抵抗性品種が育成された(森2000a)。

図3. 果実サイズの斉一性を高めるための果房型モデル
(久留米56号：モデル1、久留米57号：モデル2)

表1. 主要病害抵抗性に関する品種間差(野菜茶試久留米支場, 1998)

品種名	うどんこ病	萎黄病	炭そ病	品種名	うどんこ病	萎黄病	炭そ病
アイベリー	S	S	S	女峰	IS	IS	S
あかねっ娘	RI	S	IS	章姫	IS	RI	S
アスカウエイブ	IS	R	IS	大石四季成	RI	R	I
てるのか	R	S	R	栃の峰	RI	IS	S
とよのか	S	IS	I	八千代	R	RI	R
はつくに	I	R	R	福羽	S	R	I
はるのか	S	I	RI	宝交早生	R	S	R
はるよい	RI	S	I	芳玉	S	R	S
ひのみね	R	RI	IS	堀田ワンダー	S	RI	I
ひみこ	I	I	R	明宝	R	S	R
ベリースター	R	RI	S	麗紅	S	S	S
ペルレージュ	IS	RI	RI	とちおとめ	IS	IS	IS
さちのか	IS	IS	S	濃姫	IS	IS	S

R：抵抗性，RI：やや抵抗性，I：中間，IS：やや罹病性，S：罹病性

表2. 炭そ病抵抗性素材‘久留米素材1号，同2号’の特性(野菜茶試久留米支場, 1998)

品種・系統	炭そ病接種		促成栽培				
	葉柄発病度	枯死株率(%)	成熟日	総収量(kg/a)	商品果1果重	糖度(%)	酸度(%)
久留米素材1号	0.17	8.5	1/16	241.0	10.2	7.1	0.55
久留米素材2号	0.43	0.0	1/9	194.9	11.8	7.6	0.49
とよのか(罹病性)	2.07	20.6	1/2	227.6	20.7	10.3	0.49
Dover(抵抗性)	0.90	18.3	—	—	—	—	—

炭そ病接種：3年間の平均値(葉柄発病度：無病斑0～葉柄折損4)，総収量：3月末まで

2) うどんこ病抵抗性

うどんこ病は収穫期間中の発生が多いため，生産上の実害が大きいためだけでなく，殺菌剤散布は生産物の食品としての健全性にも関わることから，抵抗性品種育成が最も急がれる病害である。うどんこ病菌は活物寄生性で人工培地での培養や保存が困難であるため，レース分化等病原菌の遺伝的多様性に関する研究や抵抗性発現機作に関する研究は遅れていたが，最近単胞子分離株の利用によって，わが国には少なくとも2種のレースが存在することが明らかにされた(内田・井上1998)。また育種のための効率的かつ再現性の高い抵抗性検定方法として，切断葉あるいはリーフディスクを利用した検定法が開発されている。さらに抵抗性の遺伝に関しては，ダイア

レルクロス解析により有効因子数や組合せ能力が推定されている(斉藤・後藤1997)。

5. 果実品質

1) 果実成分

イチゴ果実に含まれる成分の中でも，食味に直接的に関わる糖・有機酸及びビタミンCは最も重要な成分と考えられる。最近これらの含量及び組成の多様性，あるいは環境安定性に着目した品種特性の解明が進んでいる(萩原ら1998，曾根ら1997，曾根ら1999)。特にビタミンC含量については，遺伝解析を踏まえ(曾根ら2000)，安定高ビタミンC含量系統(120 mg/100 g以上が目標)の

表3. イチゴ品種における糖・有機酸組成及びビタミンC含量の多様性(野菜茶試久留米支場, 1996)

	単位	平均値	標準偏差	最大値	最小値
全糖含量	%	48.6	14.3	96.6	21.5
Suc./Fru.	%	82.1	7.02	98.0	58.1
有機酸含量	%	5.19	1.21	12.90	1.60
Mal./Cit.	%	20.3	14.1	122.5	5.3
ビタミンC	mg/100 g	59.0	18.0	132.4	15.9

供試品種数：257，Suc.：スクロース，Fru.：フルクトース，Mal.：リンゴ酸，Cit.：クエン酸

選抜が進められている。

Fragaria はラテン語の *Fragrans* (香りのよい) に由来しており、優れた香気性はイチゴの特徴である。イチゴ近縁野生種との種間交雑により多様な香気特性を有する素材の開発が進められており、これまでに、香気特性に関わる揮発性成分組成(特にエステル類)が栽培イチゴと全く異なり、モモあるいはスモモ類似の香気を有する‘久留米 IH 1 号’(野口ら 1995)をはじめとする多様な 10 倍体複倍数性種間雑種系統を育成した。これらの系統はこれまでのイチゴの範疇を超えた多様な香気特性を有することから、新規用途開発や消費拡大が期待される。また栽培イチゴへの戻し交雑における香気特性の遺伝性(Mochizuki *et al.* 1997)や関連する DNA マーカーの検索(李ら 1997)が試みられている。

イチゴ成熟果実の主たる色素である anthocyan を構成する agricon (anthocyanidin) には cyanidin と pelargonidin が知られているが、結合糖類等については必ずしも一致した見解が得られていなかった(枳穀ら 1995, Tamura *et al.* 1995)。最近多数品種による詳細な分析が行われ、主たる anthocyan は pelargonidin-3-glucoside (Pg3G)、cyanidin-3-glucoside (Cy3G) 及び pelargonidin-3-malonyl glucoside (Pg3MG) であり、Pg3MG は全く含まれない品種から全 anthocyan の 30% 以上を占める品種まで幅広い変異のあることが示された(山口ら 1999)。果色は外観品質の主要な要因であり、これらの研究が発展すれば、果色を対象とした育種の可能性が開けるものと期待される。

2) 流通適性

外皮をもたないイチゴは本来的に流通適性の劣る果実である。しかし果実硬度を高めることにより流通適性を向上できることがアメリカにおける研究から明らかにされており、我が国でも寒冷地の晩春～夏秋期生産を対象とした育種で成果を挙げてきた(門馬・上村 1978)。しかし低温期の促成栽培では流通適性の問題が相対的に大きくなかったこともあり、流通適性向上への育種的な対応は遅れている。

イチゴ果実の硬さは果皮及び果肉の硬さに分別され、両者は独立的に遺伝する形質と考えられており(門馬ら 1985)、遺伝率や選抜効果等も明らかにされている(森 2000b)。果皮硬度は日持ち性、また果肉硬度は輸送性に関わりが深いことから、流通適性付与を目指す場合には、果皮と果肉の両者に配慮した選抜が必要であるが、最近の促成栽培用品種では‘さちのか’が両者ともに優れており、流通適性が高い。また果実硬度を高めることは食味低下に直結しやすいが(森下ら 1997)、『とよのか』の有する成熟後の果肉軟化が遅い特性を利用することにより、必要以上に果実硬度を高めることなく、優れた食味と日持ち性の両立した品種を育成することが可能と考えられる(望月ら 1995)。

また完全着色果への高濃度 CO₂ 処理は果実硬度を不

可逆的に高め、結果として流通適性向上に効果が高いため(茶珍・後藤 1992)、長距離輸送を必要とするアメリカでは実用技術になっている。この効果には品種間差がみられることから、安定した流通技術開発のためには、高濃度 CO₂ 処理に対する反応に配慮した品種育成も検討する必要があると考えられる。

6. 夏秋期生産

1) 四季成り性品種

四季成り性品種とは、日長に関わりなく花芽を分化する品種群である。これを夏秋期生産に利用するためには、植物体形質では強い草勢、優れたランナー増殖性、安定した四季成り性(高温下で短日条件に転じる 8 月以降にも花房数が減少しないこと)等、果実形質では業務用主体であるため、果形の安定性、十分な硬度、優れた外観等、また成熟期間が短い高温期の生産であるため、優れた大果性(果実肥大性)と食味(特に糖度と酸度)等が求められる(沖村 2000)。

これまで夏秋期生産用の育種親として多く利用されてきた‘大石四季成’は、四季成り性が安定しているものの、高温期栽培に求められる果実肥大性や果実硬度等が十分でなく、本品種を素材として育成された品種もこれらの点に問題があるものが多い。しかし交配親の選択により、最近の育成品種には徐々に育種効果が現れており、一層の改良が期待される。またカリフォルニア大学で育成された中日性(day neutral)品種‘Serva’も育種に利用されてきたが、果実品質(食味、糖度)が劣るため、これまでのところ普及性の高い実用品種は育成されていない。最近ではヨーロッパでも四季成り性品種の開発が活発化しており(Simpson 2000)、今後はこれらの育種素材としての利用を検討する必要がある。

一方、寒冷地で育成された四季成り性品種は、生態特性面(四季成り性の安定性、休眠性とこれに起因するランナー増殖性等)から西南暖地には適しておらず、また温度等についてより不適な条件に対する適応性(肥大性、果実硬度等)も求められることから、温暖地や暖地に適した四季成り性品種の育成が求められている。

2) 中間型品種

中間型品種とは、低温遭遇による休眠覚醒後の春～初夏の長日条件下において、通常の品種と比べて早期に花芽分化感受性を獲得する品種群であり、カリフォルニアのように冬季の低温が不十分な地域では四季成り性品種と類似した開花生態を示す(柳 1992)。カリフォルニア大学で育成された‘Pajaro’は果実の大きさ、硬さ、形状等に優れる中間型品種であり、近年育種素材として広く利用されている。野菜茶試(盛岡)では‘Pajaro’を交配親とする中間型品種‘北の輝’を育成し、夏秋穫り作型への利用可能性を明らかにしており(沖村・五十嵐 1997)、

寒冷地イチゴの新たな作型開発が期待されている。

7. 育種方法

1) 交雑育種

現在の品種改良は世界的にみても交雑育種がほとんどであり、育成された品種は栄養繁殖により維持されている。イチゴは遺伝的なヘテロ性が高く、ゲノム内に重複が多いと考えられ、ほとんどの実用形質は量的遺伝を示す。このため、内外の主要な育種組織では、毎年5,000～10,000個体余の交雑実生個体から、優れた表現型を示す実生を選抜し、次年度以降に増殖・系統化し、数年間の選抜試験を経て品種を育成する方式がとられており、遺伝的知見に基づく育種は例外的といえる。

栽培イチゴでは、個別重要形質に関する遺伝情報が少なく、また優良遺伝子型個体を得るためには大きな交雑集団を必要とすることから、効率的な育種のためには「2段階育種法」が有効である。この方法では、1年目は必要とする個別形質を保有する品種間のできるだけ多くの組合せについて、各40個体程度を栽培し、各組合せにおける特定組合せ能力の発現傾向を把握する。2年目は1年目の結果から選定された少数の組合せについて、できるだけ大きい集団(1,000個体程度)から優良個体を選抜する。この方式による交配親選抜の効果は対象形質により異なるとされるが(Meulenbroek *et al.* 1996)、理論的な検討は十分になされていない。

また自殖により目的形質に関する量的遺伝子を蓄積し、あるいは不良な遺伝子を排除して交配親を作出し、これらの間の実生を選抜に供することにより、比較的小さな育種規模で実用品種を開発する方式も提案されており、「麗紅」(成川ら1981)、「久留米54号」(望月ら1996)等が、本法により育成された。

2) 突然変異利用

イチゴでは、自然突然変異(鬼怒甘等)、あるいはカルス培養(新女峰、アンテール)や茎頂培養(アキタベリー)を利用した人為突然変異による品種が報告されているが、交雑育種による品種と比較してごく少ない。これは実用形質の多くが量的遺伝子あるいは重複遺伝子に支配されているため、単因子に支配される劣性突然変異が表現型に反映されにくいと考えられる。また人為突然

変異源として、化学変異源(MNU)や紫外線等が検討されてきたが、実用品種が育成された事例はほとんどない。これは可視的な突然変異率を高めるほどの強い変異源処理では、染色体の欠損等により不稔等の劣悪変異を生じやすいためと考えられる。イチゴ育種に有用な突然変異誘起法は、今後の検討が必要な分野である。

3) 種間交雑

現在の栽培イチゴは、育種に利用される遺伝子プールが比較的小さく、異質(部分同質)八倍体の複雑なゲノム構成が比較的多様な品種分化を可能としてきたと考えられるものの、病害抵抗性等の重要特性に対して、栽培種内に十分な遺伝変異が認められない場合も多い。一方 *Fragaria* 属には倍数性の異なる多様な野生種が知られており、ヨーロッパを中心に古くから植物学的研究が行われてきたが、これまでに育種に利用された事例は少ない。実用的な成果としては *F. virginiana* に由来する四季成性(中日性)が挙げられる程度であり(Bringhurst and Voth 1978)、多くの実用形質に幅広い変異がみられる二倍性野生種(2n=14)は育種にほとんど利用されていない。

低次倍数性野生種からの栽培イチゴへのゲノム導入については、いくつかの方法が試みられてきた。種間雑種の複倍数体化は、両親由来の遺伝子をたどりやすい点で優れていると考えられるが、稔性の高い複倍数体の効率的作出がポイントとなる。野菜・茶業試験場では、二倍性の *Fragaria* 属野生種のもつ優れた香気特性の導入を目的に、八倍性(2n=56)の栽培イチゴとの間に作出した五倍性種間雑種から、試験管内染色体倍加法により多数の複倍数性種間雑種を作出した(森下ら1996, Noguchi *et al.* 1997)。本法では、不稔性の5倍性種間雑種個体のランナー先端から摘出した茎頂組織を、コルヒチン、BA、NAAを添加した培地に置床し、多数の側芽発生を促すことにより、倍加された分化植物体を高い確率で得ることができる。

この方法によりこれまでに、*F. nilgerrensis*, *F. vesca*, *F. iinumae*等との間に複倍数性種間雑種が作出されている。これらの系統は、栽培種に近い果実形質と野生種型の香気成分特性を有しており、栽培イチゴへの戻し交雑による果実特性の改良を進められているが、野生種型の香気を保持しつつ食味面でかなり改良された系統が得られている。なお複倍数性系統は、五倍体種間雑種のゲノ

表4. 栽培イチゴと2倍性野生種との複倍数性種間雑種の特性(野菜茶試久留米支場, 1997)

品種・系統	交雑由来	果重(g)	果形	糖度(%)	香気特性	肉質
久留米IH1号	とよのか× <i>F. nilgerrensis</i>	18.3	円錐	8.55	<i>F. nilgerrensis</i>	粉質
久留米IH2号	<i>F. vesca</i> ×女峰	10.0	球形	9.50	<i>F. vesca</i>	スポンジ
久留米IH3号	<i>F. vesca</i> ×アイベリー	13.0	長球形	8.30	<i>F. vesca</i>	スポンジ
とよのか	(栽培イチゴ品種)	18.6	円錐	8.70	栽培イチゴ	粘質

久留米IH1号～3号：複倍数性種間雑種

ムをそのまま倍加しているため、遺伝的にホモ化されていることが想定されるが、このことは自殖第1代における諸形質の個体間変異の調査から裏付けられている(望月ら1994)。

4) バイオテクノロジー利用

イチゴでは遺伝子組換え研究は遅れていたが、浅尾ら(1995)がイネ由来キチナーゼ遺伝子をうどんこ病に病性の‘とよのか’に導入し、様々なレベルの抵抗性を付与した系統を作出した。本研究を契機に国内でも取り組む研究機関が徐々に増えつつあり、特に病害抵抗性分野での成果が期待される。また最近、ディファレンシアルディスプレイ法等により果実成熟過程に特異的に発現する遺伝子の解析が行われており、遺伝子の単離と機能解析が進めば、果実品質、特に着色性、流通適性、食味等の遺伝的改変に発展することが期待される。

一方、DNA マーカー利用は育種の効率化に役立つ技術として期待されるが、イチゴにおいて明確な成果が得られた事例は、これまでのところオランダで開発された疫病抵抗性遺伝子連鎖マーカーのみであり(Haymes *et al.* 1997)、本マーカーについては最近 SCR マーカー化も報告されている(Haymes *et al.* 2000)。最近わが国においても、炭そ病・うどんこ病抵抗性、ビタミンC含量等に関するDNA マーカー検索が試みられているが、これらは量的形質であることから、純系作出が困難なイチゴに適用可能なQTL解析手法等の開発が望まれる。また遺伝様式は比較的単純であっても、選抜のために出蕾・開花まで養成する必要のある形質では、簡易に利用できるDNA マーカーが開発されれば育種が効率化される。これまでに *Potentilla palustris* 由来の赤花性に連鎖する RAPD マーカーが見出されており(雷ら2000)、四季成り性や

果房型等に連鎖するDNA マーカーも検討されている。

8. 遺伝資源

1) 遺伝資源の収集・保存

農林水産省ジーンバンク事業の一環として、現在野菜・茶業試験場では久留米支場において栽培品種約350点、近縁野生種約200点が保存され、逐次特性調査が進められており、また栄養体で保存する必要がある栽培品種等については、茎頂組織の低温培養による長期保存が図られている。しかし、数千品種が保存されているアメリカ(USDA/ARS)やロシア(バビロフ研究所)等と比較して、保存のための専門組織が整備されていないわが国が保有する遺伝資源は極めて少ない。

栽培イチゴの親となった八倍性野生種 *F. chiloensis* や *F. virginiana* については、アメリカが中心となり、原産地であるチリで組織的な収集・検討が行われている(Cameron *et al.* 1992)。わが国でも野菜・茶業試験場がチリ国立農業研究所と共同で、チリ国内において *F. chiloensis* の探索・収集を行い(Mochizuki *et al.* 1996)、収集された系統は、日本のみに分布する二倍性野生種 *F. iinumae*, *F. nipponica* (亜種とされる *F. yezoensis*, *F. yakushimensis* を含む)、あるいは中国から導入された二倍性野生種 (*F. nilgerrensis*, *F. gracilis*, *F. nubicola*) 等とともに、特性調査が進められている。

2) 近縁野生種

Fragaria 属には幅広い倍数性の野生種が記載されているが、種間の類縁関係は必ずしも明らかにされておらず、また中国等の東アジア地域には、いくつかの学名不詳二倍性種が確認されている。二倍性種間の交雑を除き、こ

表5. イチゴ属 (*Fragaria*) の主要野生種

種名	倍数性	分布地域	特徴
<i>Fragaria vesca</i>	2x	北半球温帯～亜寒帯地域	変異大, 芳香, 四季成性
<i>Fragaria viridis</i>	2x	ヨーロッパ～中央アジア	立性, 小果, 芳香性
<i>Fragaria nilgerrensis</i>	2x	東南アジア～中国南西部	多毛, 白実, モモ様香気
<i>Fragaria daltoniana</i>	2x	シッキム (3000–4000 m)	小葉, 紡錘型果, 無味
<i>Fragaria nubicola</i>	2x	中央アジア～シッキム	<i>F. vesca</i> 類似, 雌雄異株
<i>Fragaria iinumae</i>	2x	日本 (中部山岳以北)	照葉, 落葉性, 6–8 花弁
<i>Fragaria nipponica</i>	2x	日本 (中部山岳以北)	小型, 休眠性深, 小果
<i>Fragaria mandschurica</i>	2x	中国東北地方	<i>F. orientalis</i> の祖先種?
<i>Fragaria gracilis</i>	2x	中国西部～中央アジア?	果梗長く立性, 小果
<i>Fragaria orientalis</i>	4x	西シベリア～韓国	まれに二期咲き, 微芳香
<i>Fragaria moupinensis</i>	4x	中国南西部	橙赤果, <i>F. nilgerrensis</i> 類似
<i>Fragaria moschata</i>	6x	中部ヨーロッパ～シベリア	暗赤色大果, ムスク臭
<i>Fragaria chiloensis</i>	8x	アラスカ～チリ	変異大 (果色, 果重等)
<i>Fragaria virginiana</i>	8x	北米中部～東部	赤色小果, 変異大
<i>Fragaria iturpensis</i>	8x	エトロフ島	<i>F. iinumae</i> 類似, 球形小果
<i>Fragaria</i> × <i>ananassa</i>	8x	〈栽培種イチゴ〉	大果, 高糖

図4. PCR-RAPD マーカーによる *Fragaria* 属野生種の類縁関係(雷ら 1999)

これらの種は互いにある程度交雑可能であり、またカリフォルニアや中国東北地方では倍数性の異なる種からの浸透交雑の結果と考えられる自生五倍体、六倍体、九倍体、十倍体も見出されていることから、高次倍数性種は二倍性種を基本ゲノムとする自然複倍数体であるとも推定されるが、核型解析が困難なこともあり、高次倍数性種のゲノム構成にまだ決定的な結論は得られていない。

野菜・茶業試験場と瀋陽農業大学は、東アジア自生野生種を含む幅広い *Fragaria* 属近縁野生種について、種間交雑和合性と DNA マーカーを利用した系統分類の検討に取り組み、東アジア、ヨーロッパ、アメリカ大陸等に分布する *Fragaria* 属植物について類縁関係を明らかにしつつある(李ら 1996, 雷ら 1999)。

9. おわりに

現在のイチゴの育種目標は複雑かつ高度化しており、小規模な試行錯誤的な育種、あるいは既存品種を直接交配親に用いた育種のみでは十分な成果が期待できない。近縁野生種を含む広範な遺伝資源の収集・評価、あるいは近年進歩の著しいゲノム解析技術等を利用した重要形質に関する遺伝解析や選抜・評価法の開発等、基礎的・基盤的研究の充実が必要である。

引用文献

浅尾浩史・荒井 滋・西澤洋子・佐藤隆徳・平井正志・日比忠明(1995)育種 45(別 1): 141.
Bentvelsen, G. C. M. and E. Bouw (2000) 日本イチゴセミナー紀要

9: 62-67.

Bringham, R. S. and V. Voth (1987) Genetics 98: 510.

Cameron, J. S., T. M. Sjulian, J. R. Ballington, C. H. Shanks, C. E.

Munos and A. Lavin (1993) Acta Horticulturae 348: 65-74.

茶珍和雄・後藤隆子(1992)日本イチゴセミナー紀要 2: 93-98.

萩原章弘(1995)日本イチゴセミナー紀要 4: 50-52.

Haymes, K. M., B. Henken, T. M. Davis and W. E. van de Weg (1997) TAG 94: 1097-1101.

Haymes, K. M., W. E. van de Weg, P. Arens, J. L. Maas, B. Vosman and A. P. M. Den Nijs (2000) J. Amer. Soc. Hort. Sci. 125: 330-339.

本多藤雄(1983)育種学最近の進歩 24: 45-52.

石原良行・高野邦治・植木正明・栃木博美(1996)栃木農試研報 44: 109-123.

枳穀 豊・福原公昭・齊藤 勲・大田英明(1995)日食工誌 42: 118-123.

雷 家軍・望月龍也・野口裕司・曾根一純(1999)園学雑誌 68(別 2): 133.

雷 家軍・曾根一純・野口裕司・望月龍也(2000)園学雑誌 69(別 1): 244.

李 玉花・望月龍也・野口裕司・曾根一純ら(1996)園学雑誌 65(別 2): 306-307.

李 玉花・望月龍也・野口裕司・曾根一純(1997)園学雑誌 66(別 1): 268-269.

Meulenbroek, E. J., E. A. J. Hessel and C. P. van de Lindeloof (1996) Acta Horticulturae 439: 107-113.

望月龍也・森下昌三・野口裕司・曾根一純(1994)育種 44(別 2): 294.

望月龍也・野口裕司・曾根一純・三上哲一・若狭善彦(1995)園学雑誌 64(別 1): 360-361.

望月龍也・野口裕司・曾根一純(1996)野菜茶試久留米支場研究年報 8: 96-97.

- Mochizuki, T., A. Cubillos, A. Lavin, I. Matus, A. Torres, P. Leon, S. Suzuki and Y. Okawara (1996) Bull. Natl. Res. Inst. Veg., Ornam. Plants & Tea Ser. A. 11: 119–130.
- 望月龍也(1997)“昭和農業技術発達史”，農文協，5: 588–597.
- Mochizuki, T., Y. Noguchi, K. Sone and M. Morishita (1997) Acta Horticulturae. 43: 75–80.
- 望月龍也・曾根一純・沖村 誠(2000)野菜茶試久留米支場研究年報13: 93–96.
- 門馬信二・上村昭二(1978)野菜試報B2: 1–11.
- 門馬信二・上村昭二(1985)野菜試報B5: 49–57.
- 森 利樹(1998)園学雑誌67: 934–938.
- 森 利樹(2000a)園学雑誌69(別1): 99
- 森 利樹(2000b)園学雑誌69: 90–96.
- 森下昌三・望月龍也・野口裕司・曾根一純・山川 理(1997)野菜茶試研報12: 91–115.
- 森下昌三・山川 理・望月龍也(1996)野菜茶試研報A.11: 69–95.
- 成川 昇・石橋光治・荻原佐太郎・土岐知久(1981)千葉農試研報22: 45–55.
- 成川 昇・石川正美(1997)園学雑誌66(別2): 464–465.
- Noguchi, Y., T. Mochizuki and O. Yamakawa (1994) Bull. Natl. Res. Inst. Veg., Ornam. Plants & Tea Ser. A. 9: 13–26.
- 野口裕司・望月龍也・曾根一純(1995)園学雑誌64(別1): 342–343.
- Noguchi, Y., T. Mochizuki and K. Sone (1997) Abs. 94th ASHS Annual International Conference. 91–115.
- Noguchi, Y., T. Mochizuki and K. Sone (1998) Proc. XV EUCARPIA congress, 20.
- 荻原 勲・宮本 亮・羽布津真典・鈴木雅人・箱田直紀・志村 勲(1998)園学雑誌67: 400–405.
- 沖村 誠・五十嵐勇(1997)野菜茶試報12: 153–168.
- 沖村 誠(2000)日本イチゴセミナー紀要9: 15–23.
- 齊藤弥生子・後藤昌人(1997)園学雑誌66(別2): 462–463.
- 齊藤弥生子・番 喜宏・菅原真治(1998)園学雑誌67(別2): 327.
- Simpson, D. W. (2000) 日本イチゴセミナー紀要9: 24–34.
- 曾根一純・望月龍也・野口裕司(1997)園学雑誌66(別1): 284–285.
- 曾根一純・望月龍也・野口裕司(1998)園学雑誌67(別2): 320.
- 曾根一純・望月龍也・野口裕司(1999)園学雑誌68: 1007–1014.
- 曾根一純・望月龍也・野口裕司(2000)園学雑誌69(別1): 243.
- 竹内 隆(1993)静岡農試研報37: 41–52.
- Tamura, H., M. Takada and Y. Toshida (1995) Biosci. Biotech. Biochem. 59: 1157–1158.
- 田中和夫(1998)“イチゴ品種と新技術”，誠文堂新光社，166–174.
- 内田景子・井上治郎(1998)植物防疫52: 224–227.
- 山口雅篤・松添直隆・川信修二・曾根一純・望月龍也(1999)園学雑誌68(別2): 134
- 柳 智博(1992)大阪府大紀要(農学・生物学)43: 115–144.
- 柳 智博(2000)日本イチゴセミナー紀要9: 102–108.