

リンゴ品種 '国光', '金星', 'レッドゴールド' 等の S 遺伝子型の再解析*

小森貞男**・副島淳一・阿部和幸***・古藤田信博・伊藤祐司****・別所英男*****

果樹試験場リンゴ支場 020-0123 盛岡市下厨川

Reanalysis of the S-allele Genotypes in Several Apple Cultivars

Sadao Komori**, Junichi Soejima, Kazuyuki Abe***, Nobuhiro Kotoda, Yuji Ito**** and Hideo Bessho*****

Apple Research Center, National Institute of Fruit Tree Science, Morioka, Iwate 020-0123

Summary

Because some inexplicable phenomena were uncovered in a series of our apple S-allele genotype analyses, the S-allele genotypes were reanalyzed in an attempt to explain the phenomena. The results of the reanalysis revealed that the inconsistency stemmed from the pedigree of 'Kinsei'. The pollen parent of 'Kinsei' was not 'Ralls Janet'. S-genotypes of following apple cultivars and strains were corrected and the following S-genotypes were established:

(S_{J a}, S_{J c}) = 'Fukutami', 'Megumi', Tohoku 6,
'Kinsei', 'Redgold', Karo Fumei, Rero 18
 (S_{J a}, S_{J d}) = Tohoku 5, I-172
 (S_{J a}, S_{J e}) = 'Orei'
 (S_{J a}, S_{J e}) = 'Ralls Janet'

—————: Cultivar or strain in which S-genotype was corrected.

—————: Cultivar or strain in which S-genotype was newly determined.

Key Words: apple, genotype, incompatibility, *Malus*, S-allele.

緒 言

著者らは、現在までにリンゴにおいて6つのS対立遺伝子の存在を明らかにし、その組合せである15種類のS遺伝子型に対応する品種・系統を選抜してきたが、既報(小森ら, 1998a;1998b;1999b)で行った解析結果と実際の交雑結果との間に幾つかの矛盾が生じた。すなわち以下に示す3点である。

- ① (S_{J a}, S_{J c})とされる'アキタゴールド', '輝', リ-51, (4)-425等と, (S_{J a}, S_{J e})とされる'レッドゴールド', カロ不明, レロ18等との交雑で不和合性が示され, 両S遺伝子型が同一である可能性がある。
- ② '国光'(S_{J e}, S_{J f})と'紅玉'(S_{J c}, S_{J d})の交雑実生である'福民', '恵', 東北5号, 東北6号, イ-172が, 両

親の組合せから出現が予想されるS遺伝子型と異なるS遺伝子型品種である(S_{J a}, S_{J c})型の'アキタゴールド', リ-34, リ-51, (4)-424等または'東光'(S_{J a}, S_{J d})と不和合性を示す。

- ③ '王鈴'が両親のS遺伝子型から推定される(S_{J a}, S_{J c}), (S_{J a}, S_{J e}), (S_{J b}, S_{J c}), (S_{J b}, S_{J e})の4つのS遺伝子型に相当する品種・系統すべてと交雑和合性を示す。

本報告では上記の現象を矛盾なく説明するために、矛盾の原因を明らかにし、各品種・系統のS遺伝子型の再解析を行いS遺伝子型を修正すべき品種を割り出し、修正の必要の無い品種については現状のまま矛盾が生じないことを証明した。また、新たに'福民', '恵', '王鈴'等のS遺伝子型を決定した。

材料および方法

第1表から第5表に示した117組合せおよび第6表に示した'レッドゴールド'×'はつあき', 'スターキング・デリシャス'×'はつあき', 'はつあき'×'レッドゴールド', 'はつあき'×'東光'の4組合せに加えて、既報(小森ら, 1998a;小森ら, 1999b)で行った交雑結果を用いてS遺伝子型の再解析を行った。解析の手順は'金星'の花

1998年12月21日 受付. 1999年12月6日 受理.

本報告の一部は平成10年度園芸学会春季大会で発表した。

果樹試業績番号: 1168

*リンゴの交雑不和合性に関する研究(第7報)

**現在: 国際農林水産業研究センター沖縄支所

***現在: 山形県立園芸試験場

****現在: 農業生物資源研究所放射線育種場

*****現在: 山梨県果樹試験場

粉親を規定していない以外は既報(小森ら, 1998a; 小森ら, 1999b)とほぼ同様であり, 結果および考察の2-2), 2-3), 2-5)-(3)の詳述は避けた。交雑方法, 花粉発芽率, 結実率, 1果当たり種子数の調査方法および和合と不和合の判別方法は既報(小森ら, 1998b)と同様である。供試した品種・系統の来歴は‘福民’, ‘恵’, ‘王鈴’が青森県リング試験場の育成, 東北6号が果樹試験場リング支場の育成であり, それ以外の品種・系統については既報(小森ら, 1998a; 1998b; 1999b)で詳述した。

結果および考察

1. 矛盾点の洗い出し

1) (S_Ja, S_Jc) と (S_Ja, S_Je) の区別の困難さ

これまでの解析(小森ら, 1998b)で, (S_Ja, S_Jc)および(S_Ja, S_Je)型とされている品種・系統は以下のとおりである。

(S_Ja, S_Jc) ‘アキタゴールド’, ‘輝’, 東北10号, リ-34, リ-51, (4)-424, (4)-425

(S_Ja, S_Je) ‘レッドゴールド’, ‘金星’, カロ不明
レロ18

これらの品種・系統の交雑結果を第1表に示した。

(S_Ja, S_Jc)型と(S_Ja, S_Je)型の各品種・系統の交雑は不和合性が示され, 両S遺伝子型の区別は不可能であった。(S_Ja, S_Jc)型を示す各品種・系統の両親の組合せについて見ると, ‘アキタゴールド’は‘ゴールデン・デリシャス’(S_Ja, S_Jb) x ‘ふじ’(S_Jc, S_Jf), ‘輝’は‘ゴールデン・デリシャス’ x ‘紅玉’(S_Jc, S_Jd), 東北10号, リ-34, リ-51は‘紅玉’ x ‘ゴールデン・デリシャス’, (4)-424, (4)-425は‘はつあき’(S_Jb, S_Jc) x ‘ゴールデン・デリシャス’である。したがって, ‘ゴールデン・デリシャス’, ‘ふじ’, ‘紅玉’のこれまでに解析されたS遺伝子型が正しいならば, いずれの組合せからでも(S_Ja, S_Je)型の出現は考えられない。一方, (S_Ja, S_Je)型の各品種・系統の両親の組合せは, ‘レッドゴールド’が‘ゴールデン・デリシャス’ x ‘デリシャス’(S_Jc, S_Je), ‘金星’が‘ゴールデン・デリシャス’ x ‘国光’(S_Je, S_Jf), カロ不明, レロ18が‘東光’(S_Ja, S_Jd) x ‘リチャード・デリシャス’(S_Jc, S_Je)であり, ‘金星’は(S_Ja, S_Jc)型とはなり得ないが, それ以外の品種・系統は(S_Ja, S_Jc)と(S_Ja, S_Je)の両型の可能性がある。‘レッドゴールド’のS遺伝子型は, ‘金星’との交雑不和合性から(S_Ja, S_Je)と決定され(小森ら, 1998a; 1999b), さらに, カロ不明, レロ11については, ‘金星’, ‘レッドゴールド’のS遺伝子型が(S_Ja, S_Je)と決定された後に両品種との交雑不和合性から(S_Ja, S_Je)型に決定された(小森ら, 1999b)。すなわち, (S_Ja, S_Je)型品種の決定にはすべて‘金星’との交雑不和合性が関与していることになる。現時点では, 両親のS遺伝子型から‘金星’を(S_Ja, S_Jc)型とは考えられないが, ‘金星’が(S_Ja, S_Jc)型品種・系統と交雑不和合性を示すことか

ら, 仮にそのS遺伝子型を(S_Ja, S_Jc)であるとした場合, S_Je遺伝子の供給親である‘国光’のS遺伝子型または‘国光’が‘金星’の花粉親であることに問題があると推察される。‘国光’がS_Jc遺伝子をもつと仮定した場合, 下記2)の‘国光’ x ‘紅玉’の実生のS遺伝子型の分離を全く説明できなくなる。したがって, ‘国光’と‘金星’の親子関係に問題があると考えるのが妥当である。

2) ‘国光’と‘紅玉’の交雑実生の交雑親和性

‘国光’(S_Je, S_Jf)と‘紅玉’(S_Jc, S_Jd)の交雑実生は, 両親の組合せから(S_Jc, S_Je), (S_Jc, S_Jf), (S_Jd, S_Je), (S_Jd, S_Jf)の4種類のS遺伝子型に分離することが予想される。交雑試験の結果, ‘新光’およびイ-661が(S_Jc, S_Jf)型の‘ふじ’と, イ-687が(S_Jd, S_Jf)型の‘千秋’とそれぞれ交雑不和合性を示したが, (S_Jc, S_Je)型品種と不和合性を示す品種・系統は確認されなかった(第2表)。そこで(S_Jc, S_Je), (S_Jc, S_Jf), (S_Jd, S_Jf)の3遺伝子型に和合性を示した品種・系統を相互に交雑すると, 交雑親和性から‘福民’, ‘恵’, 東北6号(以下‘福民’グループ)とイ-172, 東北5号(以下イ-172グループ)の2つのグループに分けられることが判明した(第3表)。なお, イ-259は‘福民’グループに含まれる可能性が高いが, 断定するにはさらにデータの蓄積が必要と考えられた。さらに, この2つのグループの交雑親和性を調査した結果, ‘福民’グループは(S_Ja, S_Jc)および(S_Ja, S_Je)型の品種と不和合性を示し, イ-172グループは‘東光’(S_Ja, S_Jd)と不和合性を示した(第4表)。これらの現象を説明するためには当該品種・系統の両親である‘国光’と‘紅玉’のいずれかがS_Ja遺伝子を持っている必要がある。さらに当該品種・系統で出現しているS遺伝子型が(S_Jc, S_Jf), (S_Jd, S_Jf), (S_Ja, S_Jd)および(S_Ja, S_Jc)または(S_Ja, S_Je)であるから, ‘国光’のS遺伝子型が(S_Ja, S_Jf)であれば矛盾なく説明できる。

3) ‘王鈴’のS遺伝子型

‘王鈴’は‘ゴールデン・デリシャス’(S_Ja, S_Jb) x ‘デリシャス’(S_Jc, S_Je)の交雑実生でS遺伝子型は(S_Ja, S_Jc), (S_Ja, S_Je), (S_Jb, S_Jc), (S_Jb, S_Je)のいずれかと考えられる。しかし, ‘王鈴’は上記S遺伝子型に該当する品種・系統のすべてと交雑和合性を示した(第5表)。この矛盾は(S_Ja, S_Jc)と(S_Ja, S_Je)が同一の遺伝子型(S_Ja, S_Jc)で, ‘王鈴’のS遺伝子型は未検定の(S_Ja, S_Je)に対応すると考えれば説明がつく。

2. 各品種・系統のS遺伝子型の再解析

‘国光’のS遺伝子型を(S_Je, S_Jf)と決定した既報(小森ら, 1998a)では, ‘金星’(‘ゴールデン・デリシャス’ x ‘国光’)と‘レッドゴールド’(‘ゴールデン・デリシャス’ x ‘デリシャス’)および‘千秋’(‘東光’ x ‘ふじ’)と‘いわかみ’(‘ふじ’ x ‘紅玉’)の2組の交雑不和合現象をもとに, 各品種・系統の系統図と交雑試験の結果を用いて遺伝解析を進めた。その結果‘金星’の花粉親とされている

Table 1. Cross compatibility among the cultivars and strains representing (S_Ja, S_Jc) and (S_Ja, S_Je) genotypes.

(S-genotype) ²	Cross combinations	Year	Pollen germination (%)	Fruit set (%)	No. of seed /fruit
(S _J a, S _J c) x (S _J a, S _J c)	'Akita Gold' x (4)-424	'96	52.2	0	
	'Akita Gold' x (4)-425	'96	55.2	10.3	-
	'Kagayaki' x (4)-424	'96	52.2	20.0	2.00
	'Kagayaki' x (4)-425	'95	-	0	
	Tohoku 10 x Ri-51	'93	57.1	5.0	-
	Tohoku 10 x (4)-424	'96	52.2	0	
	Tohoku 10 x (4)-425	'96	11.4	0	
	Tohoku 10 x (4)-425	'97	-	8.3	-
	Ri-34 x (4)-424	'96	52.2	0	
	Ri-34 x (4)-424	'97	5.9	0	
	Ri-34 x (4)-425	'96	11.4	0	
	Ri-51 x 'Kagayaki'	'96	74.5	60.0	1.50
	Ri-51 x Tohoku 10	'93	78.2	7.1	-
	Ri-51 x (4)-424	'96	52.2	15.8	-
	Ri-51 x (4)-425	'95	-	0	
	Ri-51 x (4)-425	'96	55.2	0	
	(S _J a, S _J c) x (S _J a, S _J e)	Ri-51 x Redgold'	'93	67.0	14.3
(S _J a, S _J e) x (S _J a, S _J c)	'Redgold' x 'Akita Gold'	'97	83.3	0	
	'Redgold' x 'Kagayaki'	'96	74.5	0	
	'Redgold' x Tohoku 10	'96	67.6	0	
	'Redgold' x Ri-34	'96	76.6	0	
	'Redgold' x Ri-51	'93	82.1	5.0	-
	'Redgold' x Ri-51	'96	69.0	10.0	-
	Karo Fumei x (4)-424	'96	52.2	0	
	Karo Fumei x (4)-425	'95	-	0	
	Rero 18 x (4)-424	'96	52.2	0	
	Rero 18 x (4)-425	'95	-	0	
	Rero 18 x (4)-425	'96	11.4	0	
(S _J a, S _J e) x (S _J a, S _J e)	'Kinsei' x 'Redgold'	'93	67.0	0	
	'Kinsei' x 'Redgold'	'94	85.7	0	
	'Kinsei' x Karo Fumei	'96	50.6	0	
	'Kinsei' x Rero 18	'96	69.7	0	
	'Kinsei' x Rero 18	'97	70.4	0	
	'Redgold' x 'Kinsei'	'93	74.0	0	
	'Redgold' x 'Kinsei'	'94	100	0	
	'Redgold' x 'Kinsei'	'95	70.0	10.0	-
	'Redgold' x Karo Fumei	'95	72.0	0	
	'Redgold' x Rero 18	'95	77.5	0	
	'Redgold' x Rero 18	'97	70.4	0	

² S-genotype determined by Komori et al. (1998b).

- No data.

‘国光’のS遺伝子型は、‘金星’および‘レッドゴールド’の交雑親和性や両品種の系統図から得られるデータによってS遺伝子型の可能性が限定された。‘金星’のS遺伝子型の(S_Ja, S_Je)が仮に(S_Ja, S_Jc)型と同一であったとしても、少なくとも‘金星’はS_Ja遺伝子を有していると推定されるので、種子親が‘ゴールデン・デリシャス’とされていることには問題がないと考えられる。そこで本報告では、‘金星’の花粉親品種を特定せずに既報(小森ら、

1998a; 1999b)の解析方法に可能な限り従ってS遺伝子型の再解析を行うこととした。解析の前提として‘ゴールデン・デリシャス’のS遺伝子型を(S_Ja, S_Jb), ‘紅玉’を(S_Jc, S_Jd), ‘紅玉’と‘ふじ’の共有遺伝子をS_Jcと規定した(小森ら, 1998a).

1) ‘金星’, ‘レッドゴールド’, ‘国光’, ‘デリシャス’, ‘ふじ’のS遺伝子型の解析
‘金星’と‘レッドゴールド’は正逆交雑で不和合性を示

Table 2. Cross compatibility in the progenies of 'Ralls Janet' and 'Jonathan' crossed with 'Starking Delicious', 'Fuji' and 'Senshu'.

Cultivar (Parent combination)	Year	Pollen ^y germination (%)	(S _{Jc} , S _{Je}) 'S. D.' ^z (♀)			(S _{Jc} , S _{Jf}) 'Fuji' (♀)			(S _{Jd} , S _{Jf}) 'Senshu' (♀)	
			Fruit set (%)	No. of seed /fruit	Pollen ^y germination (%)	Fruit set (%)	No. of seed /fruit	Pollen ^y germination (%)	Fruit set (%)	No. of seed /fruit
'Fukutami' (J ^x xRJ ^w)	'94	67.6	71.4	5.78	67.6	50.0	7.14	67.6	73.3	7.33
	'95	59.0	70.0	-	59.0	77.8	6.00	59.0	90.0	7.50
'Megumi' (RJxJ)	'94				77.8	71.4	6.60	83.3	86.7	8.15
	'94 ^v	100	100	7.20	56.3	58.3	5.75	41.9	40.0	6.33
	'95	80.0	88.9	5.60	48.4	40.0	6.00	48.4	90.0	8.78
'Shinko' (RJxJ)	'95 ^v	32.8	90.0	7.44	34.0	90.0	9.17	12.1	42.9	-
	'94	53.9	58.8	7.13	46.4	0		53.9	64.3	5.63
I-172 (RJxJ)	'95				37.3	0				
	'94	58.5	53.3	7.57	44.9	85.7	7.42	58.5	64.3	-
I-259 (RJxJ)	'97							41.9	66.7	10.00
	'94				84.4	93.3	9.36	63.9	57.1	5.63
I-661 (RJxJ)	'95	48.3	60.0	5.50						
	'94	66.7	53.3	-	43.1	0		66.7	78.6	4.80
I-687 (RJxJ)	'95				83.3	0				
	'97	83.3	79.2	5.71						
	'94	53.6	73.3	8.33	35.3	75.0	9.11	53.6	13.3	-
Tohoku 5 (RJxJ)	'95							51.1	0	
	'97				81.5	100	7.55			
Tohoku 6 (RJxJ)	'94	40.0	50.0	6.60	31.1	50.0	6.71	40.0	71.4	5.67
	'95	33.3	100	6.80				33.3	70.0	6.43

^z 'Starking Delicious'.

^y Pollen germination percentage of the cultivars and strains which crossed with 'S. D.', 'Fuji' or 'Senshu'. In case of reciprocal cross, that of 'S. D.', 'Fuji' or 'Senshu'.

^x 'Jonathan'.

^w 'Ralls Janet'.

^v Reciprocal cross.

- No data.

し(石山ら, 1995; 小森ら, 1998a), 両品種とも 'ゴールデン・デリシャス' (S_{Ja}, S_{Jb}) の実生であるから, (S_{Ja}, S_{Jx}) または (S_{Jb}, S_{Jx}) で交雑不和合性を示していると仮定する. 'デリシャス' から 'レッドゴールド' に伝わった遺伝子を S_{Jx}, 'デリシャス' のもう一つの遺伝子を S_{Jy} とすると, 'デリシャス' = (S_{Jx}, S_{Jy}) で表わせる.

2) 'デリシャス' から 'ふじ' に伝わった遺伝子を S_{Jx} と仮定し, 'ふじ' のもう一つの遺伝子を S_{Jz} とした場合

この場合 'ふじ' の S 遺伝子型は (S_{Jx}, S_{Jz}) となる. 以下の解析を既報(小森ら, 1998a)の手順に従って行うと, 矛盾の生じない組合せは以下の 6通りである.

	$\begin{bmatrix} S_{Jx}=S_{Jc} \\ S_{Jy}=S_{Ja} \\ S_{Jz}=S_{Je} \\ \text{のとき} \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} S_{Jx}=S_{Jc} \\ S_{Jy}=S_{Jb} \\ S_{Jz}=S_{Je} \\ \text{のとき} \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} S_{Jx}=S_{Jc} \\ S_{Jy}=S_{Ja} \\ S_{Jz}=S_{Ja} \\ \text{のとき} \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} S_{Jx}=S_{Jc} \\ S_{Jy}=S_{Je} \\ S_{Jz}=S_{Jb} \\ \text{のとき} \end{bmatrix}$
'金星'				
'レッドゴールド'	(S _{Jb} , S _{Jc})	(S _{Ja} , S _{Jc})	(S _{Jb} , S _{Jc})	(S _{Ja} , S _{Jc})
'デリシャス'	(S _{Jc} , S _{Ja})	(S _{Jc} , S _{Jb})	(S _{Jc} , S _{Je})	(S _{Jc} , S _{Je})
'ふじ'	(S _{Jc} , S _{Je})	(S _{Jc} , S _{Je})	(S _{Jc} , S _{Ja})	(S _{Jc} , S _{Jb})
'国光'	(S _{Je} , S _{Jw})	(S _{Je} , S _{Jw})	(S _{Ja} , S _{Jw})	(S _{Jb} , S _{Jw})
	$\begin{bmatrix} S_{Jx}=S_{Jc} \\ S_{Jy}=S_{Je} \\ S_{Jz}=S_{Jf} \\ \text{のとき} \end{bmatrix}$			
'金星'				
'レッドゴールド'	(S _{Ja} , S _{Jc})			(S _{Jb} , S _{Jc})
'デリシャス'	(S _{Jc} , S _{Je})	または		(S _{Jc} , S _{Je})
'ふじ'	(S _{Jc} , S _{Jf})			(S _{Jc} , S _{Jf})
'国光'	(S _{Jf} , S _{Jw})			(S _{Jf} , S _{Jw})

Table 3. Cross Compatibility between progenies of 'Ralls Janet' and 'Jonathan'.

Cross combinations	Year	Pollen germination	Fruit set	No. of seed
		(%)	(%)	/fruit
'Fukutami' x 'Megumi'	'94	77.8	0	
'Fukutami' x 'Megumi'	'95	48.4	0	
'Fukutami' x I-172	'95	12.9	60.0	6.00
'Fukutami' x Tohoku 5	'96	68.2	70.0	8.00
'Fukutami' x Tohoku 6	'96	56.3	0	
'Megumi' x 'Fukutami'	'94	67.6	6.3	-
'Megumi' x 'Fukutami'	'95	59.0	0	
'Megumi' x I-172	'95	56.7	80.0	10.00
'Megumi' x I-172	'96	91.5	70.0	7.29
'Megumi' x I-259	'94	63.9	43.8	-
'Megumi' x Tohoku 5	'94	40.0	78.8	3.55
'Megumi' x Tohoku 6	'94	75.4	26.7	0.50
I-172 x 'Fukutami'	'95	34.5	77.8	7.80
I-172 x 'Megumi'	'94	77.8	92.3	7.08
I-172 x 'Megumi'	'95	48.4	90.9	6.44
I-259 x I-172	'95	12.9	90.0	7.67
I-259 x I-172	'96	91.5	70.0	5.75
I-259 x Tohoku 5	'95	9.7	90.0	8.25
I-259 x Tohoku 5	'96	68.4	55.6	5.25
Tohoku 5 x 'Megumi'	'94	84.4	100	7.00
Tohoku 5 x 'Megumi'	'95	48.4	100	6.11
Tohoku 6 x 'Fukutami'	'95	34.5	10.0	-
Tohoku 6 x 'Megumi'	'94	53.3	0	
Tohoku 6 x 'Megumi'	'96	76.2	0	
Tohoku 6 x I-172	'95	12.9	77.8	6.00
Tohoku 6 x I-172	'96	91.5	40.0	8.50
Tohoku 6 x Tohoku 5	'96	10.3	50.0	5.25

- No data.

3) 'デリシャス' から 'ふじ' に伝わった遺伝子を S_{jy} と仮定し, 'ふじ' のもう一つの遺伝子を S_{jz} とした場合

この場合 'ふじ' の S 遺伝子型は (S_{jy}, S_{jz}) となる. 以下の解析を既報 (小森ら, 1998a) の手順に従って行くと, 矛盾の生じない組合せは以下の 4 通りである.

	$S_{jx}=S_{jd}$ $S_{jy}=S_{ja}$ $S_{jz}=S_{jc}$ のとき	$S_{jx}=S_{jd}$ $S_{jy}=S_{jb}$ $S_{jz}=S_{jc}$ のとき	$S_{jx}=S_{jd}$ $S_{jy}=S_{je}$ $S_{jz}=S_{jc}$ のとき	$S_{jx}=S_{jd}$ $S_{jy}=S_{je}$ $S_{jz}=S_{jc}$ のとき
'金星'				
'レッドゴールド'	(S_{jb}, S_{jd})	(S_{ja}, S_{jd})	(S_{ja}, S_{jd})	(S_{jb}, S_{jd})
'デリシャス'	(S_{jd}, S_{ja})	(S_{jd}, S_{jb})	(S_{jd}, S_{je})	(S_{jd}, S_{je})
'ふじ'	(S_{ja}, S_{jc})	(S_{jb}, S_{jc})	(S_{je}, S_{jc})	(S_{je}, S_{jc})
'国光'	(S_{jc}, S_{jw})	(S_{jc}, S_{jw})	(S_{jc}, S_{jw})	(S_{jc}, S_{jw})

2) と 3) をまとめると, この段階で矛盾のない各品種の S 遺伝子型組合せは, 上記の 10 通りである.

4) '千秋' と 'いわかみ' の交雑不和合性を用いた解析

(1) 'ふじ' と '千秋', 'いわかみ' の S 遺伝子型の関係

'千秋' ('東光' x 'ふじ') と 'いわかみ' ('ふじ' x '紅玉') は交雑不和合性を示すので (小森ら, 1998a), 同一 S 遺伝子型である. しかも 'いわかみ' は偏父性不親和 (菊地, 1929; 寺見ら, 1946) を示さず (吉田ら, 1985), さらに 'ふじ' と '紅玉' が S 遺伝子を 1 つ共有することから (Komori ら, 1994; 小森ら, 1999a), 'いわかみ' と '千秋' の S 遺伝子型は 'ふじ' に対応して 1 通りに限定できる. 前出の 10 通りの各品種の S 遺伝子型組合せに '千秋' と 'いわかみ' を加えた S 遺伝子型の関係を示すと以下のようになる.

'金星'				
'レッドゴールド'	(S_{jb}, S_{jc})	(S_{ja}, S_{jc})	(S_{jb}, S_{jc})	(S_{ja}, S_{jc})
'デリシャス'	(S_{jc}, S_{ja})	(S_{jc}, S_{jb})	(S_{jc}, S_{je})	(S_{jc}, S_{je})
'ふじ'	(S_{jc}, S_{je})	(S_{jc}, S_{je})	(S_{jc}, S_{ja})	(S_{jc}, S_{jb})
'国光'	(S_{je}, S_{jw})	(S_{je}, S_{jw})	(S_{ja}, S_{jw})	(S_{jb}, S_{jw})
千秋 'いわかみ'	(S_{jd}, S_{je})	(S_{jd}, S_{je})	(S_{ja}, S_{jd})	(S_{jb}, S_{jd})

'金星'		
'レッドゴールド'	(S_{ja}, S_{jc})	(S_{jb}, S_{jc})
'デリシャス'	(S_{jc}, S_{je})	(S_{jc}, S_{je})
'ふじ'	(S_{jc}, S_{jf})	(S_{jc}, S_{jf})
'国光'	(S_{jf}, S_{jw})	(S_{jf}, S_{jw})
千秋 'いわかみ'	(S_{jd}, S_{jf})	(S_{jd}, S_{jf})

'金星'				
'レッドゴールド'	(S_{jb}, S_{jd})	(S_{ja}, S_{jd})	(S_{ja}, S_{jd})	(S_{jb}, S_{jd})
'デリシャス'	(S_{jd}, S_{ja})	(S_{jd}, S_{jb})	(S_{jd}, S_{je})	(S_{jd}, S_{je})
'ふじ'	(S_{ja}, S_{jc})	(S_{jb}, S_{jc})	(S_{je}, S_{jc})	(S_{je}, S_{jc})
'国光'	(S_{jc}, S_{jw})	(S_{jc}, S_{jw})	(S_{jc}, S_{jw})	(S_{jc}, S_{jw})
千秋 'いわかみ'	(S_{jd}, S_{ja})	(S_{jd}, S_{jb})	(S_{jd}, S_{je})	(S_{jd}, S_{je})

上記の 10 組合せのうち下段の 4 組は '千秋' と 'いわかみ' の S 遺伝子型が 'デリシャス' と同じとなるが, '千秋' および 'いわかみ' は, とともに 'デリシャス' と正逆交雑で不和合性を示す (丹野ら, 1980; 吉田ら, 1985; 石山ら, 1995) ことから, この 4 組は不成立となる.

Table 4. Cross compatibility in the seedlings of 'Ralls Janet' and 'Jonathan' crossed with (S₁a, S₁c), (S₁a, S₁e) and (S₁a, S₁d) cultivars and strains.

(S-genotype)		Pollen germi. (%)	Fruit set (%)	No. of seed /fruit	(S-genotype)		Pollen germi. (%)	Fruit set (%)	No. of seed /fruit
	Cross combination	Year				Cross combination	Year		
(S ₁ a, S ₁ e)	'Redgold' ^z x 'Fukutami' ^y	96	71.4	0	(S ₁ a, S ₁ d)	'Toko' x 'Megumi'	95	48.4	88.9
	'Fukutami' x 'Kinsei' ^z	94	89.5	13.3		'Megumi' x 'Toko'	95	50.0	100
	Karo Fumei ^z x 'Fukutami'	95	34.5	0		'Megumi' x 'Toko'	97	64.1	81.8
	'Fukutami' x Karo Fumei	96	50.6	0	(S ₁ a, S ₁ e)	'Redgold' x I-172 ^y	96	91.5	60.0
	Rero 18 ^z x 'Fukutami'	95	34.5	11.1		Karo Fumei x I-172	95	12.9	50.0
	Rero 18 x 'Fukutami'	96	71.4	20.0		I-172 x Karo Fumei	96	50.6	80.0
	'Fukutami' x Rero 18	97	70.4	4.2		Rero 18 x I-172	97	-	50.0
(S ₁ a, S ₁ c)	'Fukutami' x 'Akita G.' ^{xw}	97	18.5	0	(S ₁ a, S ₁ c)	I-172 x (4)-424	97	-	85.7
	'Fukutami' x (4)-424 ^x	97	30.4	4.2	(S ₁ a, S ₁ d)	'Toko' x I-172	98	14.5	37.5
(S ₁ a, S ₁ d)	'Fukutami' x 'Toko' ^v	94	66.7	53.3		I-172 x 'Toko'	97	-	18.2
	'Fukutami' x 'Toko'	97	-	75.0		I-172 x 'Toko'	98	45.6	20.8
(S ₁ a, S ₁ e)	'Redgold' x 'Megumi' ^y	93	51.5	0	(S ₁ a, S ₁ e)	'Redgold' x I-259 ^y	96	81.1	10.0
	'Redgold' x 'Megumi'	94	83.4	0	(S ₁ a, S ₁ d)	I-259 x 'Toko'	97	-	81.8
	'Redgold' x 'Megumi'	95	48.4	0	(S ₁ a, S ₁ e)	'Redgold' x Tohoku 5 ^y	97	33.7	79.2
	'Megumi' x 'Redgold'	94	85.7	50.0		'Kinsei' x Tohoku 5	97	21.4	66.7
	'Kinsei' x 'Megumi'	94	83.3	0		Tohoku 5 x Karo Fumei	96	50.6	70.0
	'Megumi' x 'Kinsei'	94	100	0	(S ₁ a, S ₁ c)	Tohoku 5 x 'Akita G.'	97	83.3	100
	'Megumi' x 'Kinsei'	95	79.1	0		Tohoku 5 x (4)-425	97	30.3	100
	'Megumi' x Karo Fumei	95	72.0	80.0	(S ₁ a, S ₁ d)	'Toko' x Tohoku 5	98	19.6	16.7
	'Megumi' x Rero 18	95	77.5	80.0		Tohoku 5 x 'Toko'	97	64.1	70.0
(S ₁ a, S ₁ c)	Ri-34 ^x x 'Megumi'	95	96.0	0		Tohoku 5 x 'Toko'	98	45.6	33.3
	Ri-51 ^x x 'Megumi'	93	69.0	14.3	(S ₁ a, S ₁ e)	'Redgold' x Tohoku 6 ^y	96	56.3	0
	Ri-51 x 'Megumi'	94	53.3	0	(S ₁ a, S ₁ c)	Tohoku 6 x 'Akita G.'	97	18.5	8.3
	Ri-51 x 'Megumi'	95	96.0	0		Tohoku 6 x (4)-425	97	-	0
	'Megumi' x Ri-51	94	60.6	26.7					
	'Megumi' x Ri-51	95	37.0	10.0					
	'Megumi' x Ri-51	96	69.0	0					
	'Megumi' x (4)-425 ^x	97	30.3	12.5					

^z S-genotype of 'Redgold', 'Kinsei', Karo Fumei and Rero 18 is (S₁a, S₁e) (Komori et al., 1998b).

^y 'Fukutami' was the seedlings between 'Jonathan' x 'Ralls Janet'. 'Megumi', I-172, I-259, Tohoku 5 and Tohoku 6 were the seedlings between 'Ralls Janet' x 'Jonathan'.

^x S-genotype of 'Akita Gold' Ri-34, Ri-51, (4)-424 and (4)-425 is (S₁a, S₁c) (Komori et al., 1998b).

^w 'Akita Gold'.

^v S-genotype of 'Toko' is (S₁a, S₁d).

- No data.

(2) '東光'のS遺伝子型の解析

'ふじ'のS遺伝子型を(S₁c, S₁e), (S₁c, S₁a), (S₁c, S₁b), (S₁c, S₁f)の4種類と仮定すると, '千秋', 'いわかみ'のS遺伝子型は'ふじ'に対応して(S₁d, S₁e), (S₁a, S₁d), (S₁b, S₁d), (S₁d, S₁f)となる。'千秋'は'東光' x 'ふじ'の組合せであるから, '千秋'のS₁d遺伝子は'東光'に由来することになる。さらに'東光'の両親は'ゴールデン・デリシャス'(S₁a, S₁b) x '印度'であるから, '東光'のS遺伝子型は(S₁a, S₁d)か(S₁b, S₁d)のいずれかと考えられる。しかし'東光'と'千秋'は交雑和合性を示すので(丹野ら, 1980), 両品種は同一S遺伝子型ではない。したがって'千秋'が(S₁a, S₁d)の場合は'東光'は(S₁b, S₁d), '千秋'が(S₁b, S₁d)の場合は'東光'は(S₁a, S₁d)となり, '千秋'が(S₁d, S₁e)または(S₁d, S₁f)の場合は'東光'はそれぞれ

(S₁a, S₁d)と(S₁b, S₁d)の2通りの可能性がある。

5) 各品種のS遺伝子型の決定

(1) 'はつあき'の交雑親和性

'はつあき'は'紅玉' x 'ゴールデン・デリシャス'で, そのS遺伝子型は(S₁a, S₁c), (S₁a, S₁d), (S₁b, S₁c), (S₁b, S₁d)の4通り可能性がある。'レッドゴールド', 'デリシャス'(スターキング・デリシャス), 'ふじ', '千秋', '東光'と'はつあき'を交雑した場合, 交雑親和性は各品種の推定されるS遺伝子型に対応して第1図に示したように異なってくる。実際の交雑では, 'はつあき'は'レッドゴールド', 'デリシャス', 'ふじ', '千秋', '東光'のいずれとも和合性を示した(第6表)。従って, 第1図の の部分のみが交雑結果と一致していると考えられる。

Table 5. Cross compatibility of cultivars and strains with 'Orei'.

S-genotype ^z	Cultivar	Year	Pollen ^y germination (%)	'Orei'(♀)	
				Fruit set (%)	No. of seed /fruit
(S ₁ a, S ₁ c)	(4)-425	'96	55.2	40.0	6.67
	'Kagayaki'	'95	41.7	80.0	3.40
	Ri-34	'95	66.7	80.0	8.25
(S ₁ a, S ₁ e)	'Kinsei' ^x	'92	75.0	44.0	-
	'Kinsei' ^x	'96	70.9	50.0	5.50
	'Redgold' ^x	'95	65.2	60.0	4.00
	'Redgold' ^x	'97	41.5	66.7	6.89
(S ₁ b, S ₁ c)	'Hatsuaki' ^x	'95	65.2	90.0	6.14
	'Hatsuaki' ^x	'96	70.9	100	5.56
	'Taiyo 5'	'95	53.2	80.0	5.75
(S ₁ b, S ₁ e)	(4)-150	'96	71.4	50.0	11.00
	(4)-150	'97	63.3	83.3	6.75
	(4)-743	'96	58.2	50.0	-
	(4)-743	'97	25.8	75.0	7.50
(S ₁ b, S ₁ d)	'Tsugaru' ^x	'96	70.9	90.0	8.43
(S ₁ c, S ₁ e)	'S. D.' ^w	'94	100	25.0	8.33
	(4)-161	'95	58.3	50.0	7.50
	(4)-247	'95	50.0	77.8	6.25

^z S-genotype determined by Komori et al. (1998b).

^y Pollen germination percentage is that of the cultivars and strains which crossed with 'Orei' without reciprocal cross. In case of reciprocal cross, that of 'Orei'.

^x Reciprocal cross.

^w 'Starking Delicious'.

- No date.

(2) 'はつあき' と 'ふじ' の交雑実生群の交雑親和性

'はつあき' と 'ふじ' の交雑実生群に 'ゴールデン・デリシャス' および 'はつあき' を受粉し, その和合:不和合の分離個体数を集計した結果は, (はつあき x ふじ) x ゴールデン・デリシャス および (はつあき x ふじ) x はつあきが 10:0, (ふじ x はつあき) x ゴールデン・デリシャスが 4:1, (ふじ x はつあき) x はつあきが 6:4であった. また同一組合せでの理論上の分離比は, 'はつあき' と 'ふじ' の遺伝子型に対応して第7表のようになる. すなわち実際の分離比に適合しているのは, 第7表の [] の部分のみと推定される. 第1図と第7表を照合すると, 5) の (1), (2) を同時に満たす各品種の組合せは, 以下の2通りにしぼられる.

'金星'	[(S ₁ a, S ₁ c)]	[(S ₁ b, S ₁ c)]
'レッドゴールド'		
'デリシャス'	(S ₁ c, S ₁ e)	(S ₁ c, S ₁ e)
'ふじ'	(S ₁ c, S ₁ f)	(S ₁ c, S ₁ f)
'国光'	(S ₁ f, S ₁ w)	(S ₁ f, S ₁ w)
千秋 'いわかみ'	(S ₁ d, S ₁ f)	(S ₁ d, S ₁ f)
'東光'	(S ₁ a, S ₁ d) (S ₁ b, S ₁ d)	(S ₁ a, S ₁ d) (S ₁ b, S ₁ d)
'はつあき'	(S ₁ b, S ₁ c)	(S ₁ a, S ₁ c)

(3) '東光', 'はつあき' の S 遺伝子型の決定

'ゴールデン・デリシャス' から '東光' に伝わった S 遺伝子を S₁a と規定すると (小森ら, 1998a), '東光' の S 遺伝子型は (S₁a, S₁d) となる. 'はつあき' と '紅玉' の交雑実生のうち偏父性不親和を示さなかった系統が '東光' と和合性を示したことから, 'はつあき' の S 遺伝子型は (S₁b, S₁c) となる (小森ら, 1999b). したがって, 矛盾を生じない各品種の組合せは以下の1通りである.

'金星', 'レッドゴールド'	(S ₁ a, S ₁ c)
'デリシャス'	(S ₁ c, S ₁ e)
'ふじ'	(S ₁ c, S ₁ f)
'国光'	(S ₁ f, S ₁ w)
'千秋', 'いわかみ'	(S ₁ d, S ₁ f)
'東光'	(S ₁ a, S ₁ d)
'はつあき'	(S ₁ b, S ₁ c)

(4) '国光' の S 遺伝子型の決定

S₁w が S₁c の場合は '国光' = (S₁f, S₁c) = 'ふじ' となるが, '国光' と 'ふじ' は正逆交雑とも和合性であり (山田ら, 1971), この関係は成り立たない. S₁w が S₁d の場合は '国光' = (S₁f, S₁d) = '千秋', 'いわかみ' となるが, '国光' と '千秋' は正逆交雑とも和合性であり (石山ら, 1995), この関係も成り立たない. S₁w が S₁f の場合は '国光' = (S₁f, S₁f) で通常の場合 S 遺伝子型がホモである可能性は低く, 不成立と推定される. したがって, S₁w は S₁a, S₁b, S₁e, S₁g (S₁g = 新対立遺伝子) の4通りの可能性がある. その場合の '国光' の S 遺伝子型は (S₁f, S₁a), (S₁f, S₁b), (S₁f, S₁e), (S₁f, S₁g) の4通りが考えられる.

ここまでの解析結果から, '国光' と '紅玉' (S₁c, S₁d) の交雑実生の S 遺伝子型は, 'レッドゴールド' 等と不和合性を示す '福民', '恵', 東北6号 が (S₁a, S₁c), '東光' と不和合性を示す 東北5号 と イ-172 が (S₁a, S₁d) (第4表), 'ふじ' と不和合性を示す '新光', イ-661 が (S₁c, S₁f), '千秋' と不和合性を示す イ-687 が (S₁d, S₁f) と判明した (第2表). これらの '国光' と '紅玉' の交雑実生の S 遺伝子型の分離現象を説明できる唯一

Presumed S-genotype of 'Hatsuaki'	Presumed S-genotype of each cultivar														
	'Redgold' (S _{1a} , S _{1c})	'S.D.' (S _{1c} , S _{1a})	'Fuji' (S _{1c} , S _{1e})	'Senshu' (S _{1d} , S _{1e})	'Tokoku' (S _{1a} , S _{1d})	'Redgold' (S _{1a} , S _{1c})	'S.D.' (S _{1c} , S _{1e})	'Fuji' (S _{1c} , S _{1b})	'Senshu' (S _{1d} , S _{1e})	'Tokoku' (S _{1a} , S _{1d})	'Redgold' (S _{1b} , S _{1c})	'S.D.' (S _{1c} , S _{1e})	'Fuji' (S _{1c} , S _{1e})	'Senshu' (S _{1e} , S _{1a})	'Tokoku' (S _{1b} , S _{1d})
(S _{1a} , S _{1c})	+	-	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+
(S _{1a} , S _{1d})	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+
(S _{1b} , S _{1c})	-	+	+	+	+	+	-	+	+	+	-	+	+	+	+
(S _{1b} , S _{1d})	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-

Presumed S-genotype of each cultivar	Presumed S-genotype of each cultivar														
	'Redgold' (S _{1a} , S _{1c})	'S.D.' (S _{1c} , S _{1e})	'Fuji' (S _{1c} , S _{1f})	'Senshu' (S _{1d} , S _{1f})	'Tokoku' (S _{1a} , S _{1d})	'Redgold' (S _{1b} , S _{1c})	'S.D.' (S _{1c} , S _{1e})	'Fuji' (S _{1c} , S _{1f})	'Senshu' (S _{1e} , S _{1a})	'Tokoku' (S _{1b} , S _{1d})	'Redgold' (S _{1b} , S _{1c})	'S.D.' (S _{1c} , S _{1e})	'Fuji' (S _{1c} , S _{1f})	'Senshu' (S _{1e} , S _{1a})	'Tokoku' (S _{1b} , S _{1d})
(S _{1a} , S _{1c})	-	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+
(S _{1a} , S _{1d})	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
(S _{1b} , S _{1c})	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
(S _{1b} , S _{1d})	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-

Fig. 1. Theoretical cross compatibility of 'Hatsuaki'.

z 'Starking Delicious'
 + : compatible, - : incompatible
 : The data within this rectangle corresponded with Table 6.

の‘国光’のS遺伝子型は、(S₁a, S₁f)だけである。

3. S 遺伝子型が修正および新たに解明された品種・系統

上記のように‘国光’のS遺伝子型が(S₁e, S₁f)から(S₁a, S₁f)に変更された。また今までS遺伝子型を特定できなかった‘福民’、‘恵’、東北6号のS遺伝子型は(S₁a, S₁c)と決まり、東北5号とイ-172のS遺伝子型

を(S₁d, S₁e)から(S₁a, S₁d)に変更する必要が生じた。この他、再解析の結果を前報(小森ら, 1999b)の結果と比較すると、‘金星’と‘レッドゴールド’が(S₁a, S₁e)から(S₁a, S₁c)に変更された。従って‘金星’、‘レッドゴールド’と同一遺伝子型とされていたカロ不明とレロ18(ともに‘東光’x‘リチャード・デリシャス’(S₁c, S₁e)も(S₁a, S₁c)型に変更する必要がある。‘王鈴’は親品種の組合せから推定される(S₁a, S₁c), (S₁b, S₁c), (S₁a, S₁e), (S₁b, S₁e)の4つのS遺伝子型を有する各品種・系統すべてと和合性を示す(第5表)とされていたが、(S₁a, S₁e)型に相当していた品種がすべて(S₁a, S₁c)型に修正されたため、(S₁a, S₁e)型とは未検定であることが判明した。従って、‘王鈴’のS遺伝子型を(S₁a, S₁e)とすることで矛盾が解消される。以上のように、本論文での再解析によって緒言で示した問題点はすべて解決された。矛盾を生じていなかった品種・系統のS遺伝子型は、当該品種または当該品種の親品種および当該品種と不和合性を示した品種のS遺伝子型を修正する必要が無かったため、現状で問題が無いことが判明した。

4. 系統図を基にしたS遺伝子型解析の危険性とS遺伝子型解析による親品種推定の可能性
交雑不和合性をもとにS遺伝子型の解析を行う場合、公表されている親子関係を信頼して解析を進めるしかない。

Table 6. Cross compatibility between ‘Redgold’, ‘Starking Delicious’, ‘Fuji’, ‘Senshu’ and ‘Toko’ with ‘Hatsuaki’.

Cross combination	Year	Pollen germination (%)	Fruit set (%)	No. of seed /fruit
‘Redgold’ x ‘Hatsuaki’	’95	18.2	90.0	5.60
‘S. D.’ ² x ‘Hatsuaki’	’97	53.8	66.7	6.20
‘Fuji’ x ‘Hatsuaki’	’94	63.2	63.6	6.29
‘Senshu’ x ‘Hatsuaki’	’94	63.2	64.3	5.70
‘Toko’ x ‘Hatsuaki’	’94	63.2	76.9	11.67
‘Toko’ x ‘Hatsuaki’	’95	18.2	90.0	6.00
‘Hatsuaki’ x ‘Redgold’	’96	80.8	100	6.50
‘Hatsuaki’ x ‘Toko’	’95	50.0	90.9	7.44

² ‘Starking Delicious’.

Table 7. Theoretical segregation ratio of compatible and incompatible individuals in ‘Hatsuaki’ and ‘Fuji’ progenies crossed with ‘Golden Delicious’ or back-crossed with ‘Hatsuaki’.

Presumed S-genotype of ‘Hatsuaki’	Cross Combination	Presumed S-genotype of ‘Fuji’			
		(S ₁ c, S ₁ e)	(S ₁ a, S ₁ c)	(S ₁ b, S ₁ c)	(S ₁ c, S ₁ f)
(S ₁ a, S ₁ c)	(HxF) xGD	1:0		1:1	1:0
	(HxF) xH	1:0		1:0	1:0
	(FxH) xGD	1:0		1:1	1:0
	(FxH) xH	1:1		1:1	1:1
(S ₁ a, S ₁ d)	(HxF) xGD	1:0	1:0	3:1	1:0
	(HxF) xH	1:0	1:0	1:0	1:0
	(FxH) xGD	1:0	1:0	3:1	1:0
	(FxH) xH	1:0	1:1	1:0	1:0
(S ₁ b, S ₁ c)	(HxF) xGD	1:0	1:1		1:0
	(HxF) xH	1:0	1:0		1:0
	(FxH) xGD	1:0	1:1		1:0
	(FxH) xH	1:1	1:1		1:1
(S ₁ b, S ₁ d)	(HxF) xGD	1:0	3:1	1:0	1:0
	(HxF) xH	1:0	1:0	1:0	1:0
	(FxH) xGD	1:0	3:1	1:0	1:0
	(FxH) xH	1:0	1:0	1:1	1:0

H: ‘Hatsuaki’.

F: ‘Fuji’.

GD: ‘Golden Delicious’

☐: The data within this rectangle corresponded with the results of actual cross-pollination test.

Table 8. Apple cultivars and their S-allele genotypes and genetic symbols according to different breeders.

	Komori et al.	Mase et al. ^z Sassa et al. ^y	Sakurai et al. ^x	Kitahara et al. ^w
'Delicious'	S _j c, S _j e	S ^c S ^g	S9S* ^v	S ₉
'Fuji'	S _j c, S _j f	S ^c S ^f	S9S*	S ₉ S _f
'Golden Delicious'	S _j a, S _j b	S ^a S ^b	S2S3	S ₂ S ₃
'Hatsuaki'	S _j b, S _j c	S ^b S ^c		S ₃ S ₉
'Himekami'	S _j c, S _j d		S7S9	S ₇ S ₉
'Iwakami'	S _j d, S _j f			S ₇ S _f
'Jonathan'	S _j c, S _j d	S ^c S ^e	S7S9	S ₇ S ₉
'Kinsei'	S _j a, S _j c		S2S9	S ₂ S ₉
'Kogetsu'	S _j b, S _j d		S3S7	
'Megumi'	S _j a, S _j c		S2S9	S ₂ S ₉
'Natsumidori'	S _j b, S _j c	S ^b S ^c		
'Ralls Janet'	S _j a, S _j f	S ^a S ^f	S2S*	S ₂ S _f
'Redgold'	S _j a, S _j c			S ₂ S ₉
'Sekaiichi'	S _j b, S _j c	S ^b S ^c	S3S9	S ₃ S ₉
'Senshu'	S _j d, S _j f		S7S*	S ₇ S _f
'Toko'	S _j a, S _j d	S ^a S ^e		S ₂ S ₇
'Tsugaru'	S _j b, S _j d	S ^b S ^e		S ₃ S ₇

^z Determined by Mase et al. (1994).

^y Determined by Sassa et al. (1994).

^x Determined by Sakurai et al. (1997).

^w Determined by Kitahara et al. (1997, 1998).

^v S-allele unknown, S allele is not S2, S3, S5, S7 or S9 (Sakurai et al., 1997).

論理的な解析結果と実際の交雑親和性とに矛盾が生じた場合にはじめて矛盾の元を探り当て、修正することが可能になる。今回は'国光'と'紅玉'の交雑実生等で矛盾が生じ、すべての矛盾は'金星'の系統図に発していることが明らかとなった。今回の再解析の結果、'金星'の花粉親は'国光'ではなく S_jc 遺伝子を持つ品種であることが推定された。'金星'交雑当時の主力品種で S_jc 遺伝子を持つことが明らかな品種は、'紅玉'および'デリシャス'であり、どちらかが'金星'の花粉親である可能性が高い。このように S 遺伝子型の解析から親品種の推定もある程度可能である。

5. 他の S 遺伝子記号との対応関係

今回の再解析によって、既報(小森ら, 1998b)で間瀬ら(1994)および佐々ら(1994)の解析結果と著者らとの間で生じていた不一致が解消し、S 遺伝子型が完全に一致した。すなわち、第8表に示した解析結果を比較すると、S_ja=S^a, S_jb=S^b, S_jc=S^c, S_jd=S^e, S_je=S^g, S_jf=S^fであることが明らかである。また Kobelら(1939)と Manganaris・Alston(1987)に始まり、Vondráček(1964), Batlleら(1995), Janssensら(1995)によって進められた一連の解析の延長として、Sakuraiら(1997)は日本のリンゴ品種の S 遺伝子型を PCR 法を用いて解析している。また北原ら(1997)および Kitaharaら(1998)も PCR 法を用いたリンゴ品種の S 遺伝子型解析を行っている。両者の解析結果のうち著者らと共通する品種を第8表に示した。比較の結果 S_ja=S₂, S_jb=S₃, S_jc=S₉, S_jd=S₇で

あり、解析結果は完全に一致した。このことから PCR 法による S 遺伝子型の解析は精度が高く、今後の解析の有力な手段と考えられる。しかし著者らの設定した S_je 遺伝子に対応する S 遺伝子および S₁, S₄, S₅, S₆, S₈ 等に対応する著者らの S 遺伝子が判明していない。今後品種数を増やして解析を行う必要がある。

摘 要

現在までの S 遺伝子型の解析結果では説明できないいくつかの現象が見いだされ、それらの現象を矛盾なく説明するために S 遺伝子型の再解析を行った。その結果、'金星'の花粉親は'国光'ではないと推定され、以下に示す7つの品種・系統の S 遺伝子型が修正され、4つの品種・系統で新たに S 遺伝子型が決定された。

S 遺伝子型が修正された品種・系統

(S_ja, S_je) → (S_ja, S_jc) '金星', 'レッドゴールド',
カロ不明, レロ 18

(S_jd, S_je) → (S_ja, S_jd) 東北5号, イ-172

(S_je, S_jf) → (S_ja, S_jf) '国光'

新しく S 遺伝子型が決定された品種・系統

(S_ja, S_jc) '福民', '恵', 東北6号

(S_ja, S_je) '王鈴'

引用文献

Batlle, I., F. H. Alston and K. M. Evans. 1995. The use of the isozymic marker gene *Got-1* in the recognition of

- incompatibility S-alleles in apple. *Theor. Appl. Genet.* 90: 303-306.
- 石山正行・北山 弘・佐藤 耕・石沢 清・中村喜治・鈴木長蔵・山田三智穂. 1995. リンゴの交雑和合性. *青森りんご試報*. 28: 1-21.
- Janssenes, G. A., I. J. Goderis, W. F. Broekaert and W. Broothaerts. 1995. A molecular method for S-allele identification in apple based on allele-specific PCR. *Theor. Appl. Genet.* 91: 691-698.
- 菊地秋雄. 1929. 昭和2年及3年に於ける研究事項. *園芸の研究*. 24: 1-6.
- Kitahara, K., N. Furuta, S. Komori, H. Komatsu, J. Soejima and S. Matsumoto. 1998. S-allele genotypes of 16 *Malus x domestica* cultivars: Sg-allele within 'American Summer Pearmain', 'Indo', 'Kitanosachi' and 'Meku 10'. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 67 (Suppl. 1): 22-23.
- 北原健太郎・今津聡美・副島淳一・松本省吾. 1997. リンゴ15栽培種のS遺伝子型と自家和合品種'恵'のS遺伝子構造. *園学雑*. 66(別1): 22-23.
- Kobel, F., P. Steinegger and J. Anliker. 1939. Weitere Untersuchungen über die Befruchtungsverhältnisse der Apfel und Birnsorten. p. 160-191. *Ladow. Jb, Schweiz*.
- Komori, S., J. Soejima, Y. Ito and H. Bessho. 1994. Analysis of S-allele genotypes in some apple cultivars. XXIVth IHS: 35(Abstr.)
- 小森貞男・副島淳一・伊藤祐司・別所英男・阿部和幸・古藤田信博. 1998a. リンゴ主要数品種の自家不和合遺伝子型の解析. *園学雑*. 67: 917-926.
- 小森貞男・副島淳一・伊藤祐司・別所英男・阿部和幸・古藤田信博. 1999a 戻し交雑実生群を用いたリンゴ数品種のS遺伝子型の解析. *園学雑*. 68: 569-577.
- 小森貞男・副島淳一・工藤和典・小松宏光・京谷英壽・伊藤祐司・別所英男・阿部和幸・古藤田信博. 1999b. リンゴの各S遺伝子型に対応する品種・系統の選抜. *園学雑*. 68: 73-82.
- 小森貞男・副島淳一・工藤和典・京谷英壽・阿部和幸・古藤田信博・小松宏光・伊藤祐司・別所英男. 1998b. 'つがる', '世界一', '夏緑', 'アキタゴールド', M.9等のS遺伝子型の解析. *園学雑*. 67: 880-889.
- Manganaris, A. G. and F. H. Alston. 1987. Inheritance and linkage relationships of glutamate oxaloacetate transaminase isozymes in apple. *Theor. Appl. Genet.* 74: 154-161.
- 間瀬誠子・佐々英徳・平野 久・池橋 宏. 1994. S糖タンパク質の分析によるリンゴ品種の自家不和合遺伝子の同定. *育学雑*. 44(別1): 305.
- Sakurai, K., S. K. Brown and N. F. Weeden. 1997. Determining the self-incompatibility alleles of Japanese apple cultivars. *HortScience*. 32: 1258-1259.
- 佐々英徳・碓田輝顕・木庭卓人・池橋 宏. 1994. S糖タンパク質の分析によるリンゴ品種の自家不和合性遺伝子型の同定II: 東光, つがる, 陽光, 国光のS遺伝子型. *育学雑*. 44(別2): 265.
- 丹野貞男・田口辰雄・丹波 仁・鈴木 宏・今喜代治. 1980. リンゴの新品種"千秋"について. *秋田果樹試報*. 12: 1-12.
- 寺見廣雄・鳥瀧博高・島津裕吉. 1946. 日本梨各品種間の不稔性因子の分析. *園芸学研究集録*. 3: 267-271.
- Vondráček, J. 1964. Oplodňovací poměry u jableň. *Rostlinná Výroba*. 10: 729-742.
- 山田三智穂・鈴木長蔵・石山正行・佐藤 正・中村喜治・石沢 清. 1971. リンゴ品種相互ならびに自家授粉による結実率について. *東北農業研究*. 12: 282-285.
- 吉田義雄・羽生田忠敬・土屋七郎・真田哲朗・増田哲男・別所英男・定盛昌助. 1985. リンゴ新品種'いわかみ'について. *果樹試報 C*. 12: 11-20.