資 料

農作物の放射線育種の現状[†]

——放射線育種場の成果を中心として——

天野悦夫

農業生物資源研究所放射線育種場

319-22 茨城県那珂郡大宮町上村田

Key Words : radiation breeding, crops, mutant varieties, novel mutants

1. 突然変異による農作物の品種改良

農作物で優れた品種を作り出すにはいくつかの段階が考えられる。まず野生種の中から良いものを拾い出す栽培化、作物化。つぎにそれらを栽培している間により優れた系統を選び出す系統選抜。よい系統同士を掛け合わせてより良いものを作り出す交配育種。そして、遺伝子、突然変異の知識が進むと、手間のかかる交配育種よりも、場合によってはごく少数の特性の改良、言い換えればごく狭い意味での「品種改良」が考えられるようになる。もちろん、この突然変異育種の方法は、収穫時に穀粒がばらばらと落ちてしまわないようにする穀粒の非脱粒化など、野生種の栽培化の最初の段階から適用できる技術である。最近の例としては、農林水産省北陸農業試験場によるインド稲「南京11号」の非脱粒化が挙げられる¹⁾。

突然変異体の誘発に使用する変異原としては、紫外線を含む各種の放射線のほかに、その強力さおよび点突然変異の誘発の可能性などで定評があるものの、発がん性が強いために使用に細心の注意を要する化学変異剤などがある。実際の処理方法、処理後の取扱いなどを考慮すると、液体で濡らす必要がなく、また取扱方法を制限するような残留性がまったくないという点で、 γ 線照射が最も実用的である²⁾。

2. 放射線育種場の活動

第二次大戦後、強力なガンマ線の線源が使えるようになり、またイネの「レイメイ」の育成で突然変異育

種に成功したことから、農林省においても専門研究機関として昭和36年に放射線育種場を設立した。この研究機関には作物を栽培しながら長期にわたって放射線を照射する大きな野外照射圃場、いわゆるガンマフィールドを設置するため、その敷地については大きな面積が確保できてしかも外部から隔離できる場所で、大都市から日帰り圏内で交通の便の良い所が検討され、茨城県水戸市の北約25kmの水郡線沿線の現在の場所、大宮町が選ばれた。当初、農林省に所属する研究機関として発足し、後には農業技術研究所の、そして現在は農林水産省農業生物資源研究所の支場として位置付けられているが、一貫してつぎの方針でわが国の農作物と林木の育種事業を支援してきた。

- (1) 放射線育種法の技術を開発し確立するための基礎研究
- (2) その成果の広報と実際応用に当たっての相談と指導
- (3) その成果を応用するための依頼照射対応業務

これらの活動の成果として、主要穀類のイネ、大豆をはじめ鑑賞用花き類の菊に至るまで、わが国で育成された54突然変異品種（平成元年3月現在）のうち27品種は放射線育種場における処理に由来している。放射線育種場発足以後については、わが国の突然変異育種法による育成品種の2/3に達する（表1）。

ガンマフィールドは半径100メートルの円形圃場で、正午から翌朝8時までの1日20時間の照射が行われてきた。平成元年4月1日から施行された新しい規制基準に適合させるため、平成元年度は1日4時間の照射となっているが、補助遮蔽体の追加など必要な改修を行って、元の照射時間に復帰させる努力がなされている。線源は⁶⁰Coの88.8 TBq (2400 Ci) で、線源から10 m 強の位置になる圃場の最前列では放射線に強いイネに丁度適当であり、マツ、スギなどの林木や一般

[†] Radiation Breeding of Crops, Today. Etsuo AMANO: Institute of Radiation Breeding, National Institute of Agrobiological Resources, P.O. Box 3, Ohmiya-machi, Naka-gun, Ibaraki-Pref. 319-22.

表1 (1) わが国における突然変異育種による育成品種 (直接利用 54品種) (1989年3月現在)

作物	育成品種名	原品種名	処理年次	処理方法	処理場所	育成年次	育成場所	改良特	性
イネ	レイメイ	フジミノリ	1959	γ 線 20 kR	農技研 (平塚)	1966	青森県農試 藤坂支場	下部節間短縮による短稈化 (15 cm)。耐倒伏性。多収	
	美山錦	たかね錦	1972	γ 線 30 kR	放育場	1978	長野県農試	心白発現率高し	
	みゆきもち	トヨニシキ	1973	γ 線 20 kR	放育場	1979	長野県農試	糯性化	
	しらかば錦	レイメイ	1973	γ 線	放育場	1982	長野県農試	大粒, 心白化	
	しなのさきがけ	トヨニシキ	1973	γ 線	放育場	1982	長野県農試	大粒	
	岩手21号	ササニシキ	1979	γ 線	放育場	1986	岩手県農試	短稈, 早生, 良食味	
コムギ	ゼンコウジョコムギ	伊賀筑後オレゴン	1958	γ 線 30 kR	農技研 (平塚)	1969	長野県農試	短稈化 (15-20 cm) による耐倒伏性, 多収, 良質	
	シロワセコムギ	シロガネコムギ	1966	γ 線 25 kR	九州大学	1977	九州農試	株が閉じ穂が大。やや穂重型化。微動遺伝子の突然変異	
オオムギ	早神力	赤神力	1957	γ 線 40 kR	遺伝研	1961	静岡県農試	極早生, 良質	
	ガンママー4号	キリン直1号	1958	γ 線 15 kR	神奈川県工業試	1962	キリン麦酒(株)	短稈化 (15 cm) やや早生化 (1-2日) 耐倒伏性, 分蘗力強	
	あまぎ二条1号	ふじ二条	1965	X線 20 kR	東京大学 (農)	1971	キリン麦酒(株)	早生 (7日), 短稈 (14 cm)	
	ふじ二条 II	ふじ二条	1967	BUdR (1 mM) + γ 線 1 kR	東京大学 (農)	1974	キリン麦酒(株)	強稈	
	ライデン	ネマシラズ	1960	γ 線 10 kR	農技研 (平塚)	1966	東北農試	早熟化 (25日), 中粒種の早に属す	
大麦	ライコウ	ネマシラズ	1960	γ 線 10 kR	農技研 (平塚)	1966	東北農試	早熟化 (15日)	
	ワセズズナリ	オクシロメ	1975	γ 線 10 kR	放育場	1983	東北農試	早熟化 (極早性) (良質, 多収, 晩熟の原品種の早生化)	
	コスズ	納豆小粒	1979	γ 線 10 kR	放育場	1986	東北農試	早熟化 (中生), 耐倒伏性	
	紅南部	紋別26号	1968	γ 線 10 kR	放育場	1978	岩手県農試	早熟化 (10日), 子実鮮紅色で粒揃い色沢良, 多収	
ナタネ	ハヤナタネ	ミチノクナタネ	1955	コルヒチン 0.03% 24h	福岡県農試	1961	福岡県農試	在来種中最も早い原品種より3日早い。早生として多収	
サトウキビ	なんえい	Ni 1	1976	γ 線生体照射	放育場	1985	鹿児島大農	大型, 多収	
シチトリイ	とよみどり	大ゐ2号	1969	γ 線生体照射 115 kR	放育場	1979	大分県 い、業指導所	太茎, 耐倒伏性, べっこう病抵抗性	
イグサ	せとなみ	あさなぎ	1963	γ 線生体照射 68 kR	放育場	1982	広島県農試	長茎多く多収, 面積当たり畛表生産大, 最も品質良好美麗	
	ふくなみ	あさなぎ	1965	γ 線生体照射	放育場	1984	広島県農試	早利用多収, 先枯少, 引張り強さが大で製品の品質良好	

表1 (1) (つづき)

作物	育成品種名	原品種名	処理年次	処理方法	処理場所	育成年次	育成場所	改良特性	性
レタス	エバールグリーン ジャイアントグ リオン	ワヤヘッド ワヤヘッド	1959 1959	^{32}P 3.7MBq + γ 線 42 kR ^{32}P + γ 線	兵庫県農試 兵庫県農試	1966 1966	兵庫県農試 兵庫県農試	夏期高温時の抽苔性最も早く、盛夏期栽培や高温地帯の栽培を可能にした 耐暑性	
トマト	強力玲光	珠玉	1967	γ 線花粉照射 2340 R	放育場	1974	むさし育種農場	TMV および根腐れ萎凋病 (1-3) 複合抵抗性。 γ 線による交配不和合性の打破を利用して野生種の病害抵抗性を導入	
ゴボウ	コバルト極早生	柳川中生	1969	γ 線 10 kR	放育場	1981	柳川採種研究会	短根(約50 cm)尻部肉付良、ス入り少、生育100日の極早生	
	コバルト早生	柳川理想	1969	γ 線 10 kR	放育場	1981	柳川採種研究会	根の伸長早く、尻部肉付良、ス入り少、生育120日の早生種	
	コバルト晩生 常豊 (つねゆたか)	柳川中生 柳川理想	1969 1969	γ 線 10 kR γ 線	放育場 放育場	1981 1986	柳川採種研究会 柳川採種研究会	ス入り少なく、圃場および収穫後の貯蔵性高し。晩生根が太く、尻部肉付良	
リンゴ	選抜放射線ふじ 一系	ふじ	1963	γ 線徳木 3 kR	放育場	1988	中島天香園	鮮やかな縹状の着色果	
ビワ	白茂木	茂木	1961	γ 線 20 kR	遺伝研	1981	長崎県果樹試	大果、良食味	
ペロニア	緑波	ウインター・ クイーン	1966	γ 線 10 kR	都立 アイソトープ研	1976	都立 アイソトープ研	葉面緑色地に白銀色の小斑点を持つ渦巻葉、オゾンやオキシタント感受性大(公営指標植物);室内鉢物	
	銀星	ウインター・ クイーン	1966	γ 線 10 kR	都立 アイソトープ研	1976	都立 アイソトープ研	葉面緑色地に白銀色の小斑点を多数持つ並葉	
	オレンジアイ オン	アイアングロス	1971	γ 線 0.5 kR	都立 アイソトープ研	1976	都立 アイソトープ研	橙黄色葉に褐紫色の鉄十字模様を持つ中型葉	
	ミニミニアイ オン	アイアングロス	1971	γ 線 1 kR	都立 アイソトープ研	1976	都立 アイソトープ研	矮性、きれ込みの多い小型の葉を持つ	
	ビッグクロス	アイアングロス	1971	γ 線 3 kR	都立 アイソトープ研	1976	都立 アイソトープ研	葉面濃黄緑色地に葉全面に拡大した鉄十字斑	
	カエデアイ オン	アイアングロス	1972	γ 線 10 kR	都立 アイソトープ研	1976	都立 アイソトープ研	5角形で赤褐色のカエデ葉状の斑を持つ大型	
アベリア	明斑ハナツクバ ネウウギ	ハナツクバ ネウウギ	1972	γ 線 3 kR	都立 アイソトープ研	1976	都立 アイソトープ研	葉斑、やや矮性変異。葉緑が鮮黄緑色の覆輪くずれの葉を持つ矮性の植物;植込み、鉢物、盆栽用	

表1 (1) (つづき)

作物	育成品種名	原品種名	処理年次	処理方法	処理場所	育成年次	育成場所	改良特性	性
サツキ	碧 (コバルト)	高砂	1964	γ線 3 kR	農技研 (平塚)	1972	栃木県農試	分枝密生し矮性。盆栽に適す	
カーネーション	スカールレット	エンゼル	1977	γ線 31 kR	都立アイソトープ研	1983	栃ミヨシ	花色変化 (→赤色化)	
クリーピング グベントグ ラス	スプリングス	ペンクロス	1970	γ線	九州大学	1983	日本緑習(株)	夏枯れ抵抗性	
バラ	ブライダル・ソニア	ソニア	1979	γ線生体 15 kR	放育場	1985	神奈川県園芸試	花色変化 (→淡桃色)	
キク	黄うず潮	うず潮	1982	γ線 2.5 kR	放育場	1985	精興園	花色変化 (白→黄)	
	バイオ菊 レインボー (白)	精興の紅	1983	γ線	放育場	1985	精興園	花色変化 (紅→白)	
	バイオ菊 レインボー (黄)	精興の紅	1983	γ線	放育場	1985	精興園	花色変化 (紅→黄), 舌状花花卉より組織培養	
	バイオ菊 レインボー (桃)	精興の紅	1983	γ線	放育場	1985	精興園	花色変化 (紅→桃)	
	バイオ菊 レインボー (ピンク)	精興の紅	1983	γ線	放育場	1985	精興園	花色変化 (紅→ピンク)	
	バイオ菊 レインボー (赤)	精興の紅	1983	γ線	放育場	1985	精興園	花色変化 (紅→赤)	
トロアオイ	レインボー (緋)	精興の紅	1983	γ線	放育場	1985	精興園	花色変化 (紅→緋)	
	広島1号	広島在来	1956	γ線 0.5 kR	京都大学医学部	1967	香川大学農学部	高性, 疫病抵抗性	
	広島3号	広島在来	1956	γ線 0.5 kR	京都大学医学部	1967	香川大学農学部	高性, 疫病抵抗性	
	広島5号	広島在来	1956	γ線 0.5 kR	京都大学医学部	1967	香川大学農学部	高性, 疫病抵抗性	
アメリカ フヨウ	広島8号	広島在来	1956	γ線 0.5 kR	京都大学医学部	1967	香川大学農学部	高性, 疫病抵抗性	
	しらさぎの夢	堺の華	1981	γ線 30 kR	大阪府立放中研	1987	大阪府立放中研	花色がピンク白へ鮮紫ピンクに紫赤の縦縞	

固有品種名を持ち、登録、市販または公開されたもの。(1 kR=258 mC/kg)

表1 (2) わが国における突然変異育種による育成品種 (間接利用 31品種) (1989年3月現在)

作物	育成品種名	交配組合せ		突然変異系統親 (*,**の由来)	育成 年次	育 成 地	突然変異に由来する改良特性
		♀	♂				
イネ	兵系酒18号	山田錦	IM-106*	農林8号の放射線処理	1972	兵庫県農試	短強稈, 良質, 極大粒
	ムツホナミ	ワカクサ	ふ系70号*	後のレイメイ	1973	青森県農試藤坂支場	短強稈, 多収
	加賀ひかり	Ra-1*	ふ系72号	コシヒカリの γ 線照射	1973	石川県農試	良質, 良食味 (農技研平塚で照射, 鴻巣育成) 関東79号と同処理
	はなひかり	(stripe 36×び系53号)×び系53号	ふ系70号*	後のレイメイ	1975	山形県農試 尾花沢試験地	短強稈, 早生
	豊 盃	古城錦	レイメイ*	フジミノリの γ 線照射	1976	青森県農試	短強稈 (耐冷性)
	アキヒカリ	トヨニシキ	レイメイ*	フジミノリの γ 線照射	1976	青森県農試藤坂支場	短強稈, 極多収
	ハヤヒカリ	ふ系70号*	トヨニシキ	後のレイメイ	1976	東北農試	極短稈, 耐倒伏性
	なだひかり	5810-19× 兵系酒18号*	東近 1011	上記参照	1977	兵庫県農試	短稈, 大粒
	フジヒカリ	R151*	(ふ系71号**× 67号)×コシヒカリ B ₁ F ₁ **	コシヒカリの γ 線照射 フジミノリの γ 線照射	1977	中国農試	時なし短期, 良質。平塚照射, 鴻巣育成, 関東79号と同処理
	サチミノノリ	マンリョウウ× R4-B*	ヤマセニシキ	Pi No. 4の放射線処理	1978	北陸農試	やや強稈, いもち耐病性 (Pi-ta ²)
	カツラワセ	ふ系67号× ふ系71号*	コシヒカリ	フジミノリ γ 線種子照射	1978	鹿児島農試	早生, 短強稈
	みやにしき	関東79号*	トドロキワセ	コシヒカリの γ 線種子 照射 (20 kR)	1978	宮崎県農試	良質, 良食味
	新潟早生	ふ系91号*	長60	レイメイの子系統	1979	新潟県農試	短強稈
	ミネアサヒ	関東79号*	喜峯	コシヒカリの γ 線種子 照射 (20 kR)	1980	愛知県農試 山岡技術実験農場	良食味, 短稈
	むさしこがね	玉系56号*	愛知21号	レイメイ×日本晴	1981	埼玉県農試	短稈, 耐倒伏性
	むつかおり	ムツニシキ	ふ系 104 号*	後のアキヒカリ	1981	青森県農試藤坂支場	短稈, 耐倒伏性
	むつこまち	ムツニシキ	ふ系 104 号*	後のアキヒカリ	1981	青森県農試藤坂支場	短稈, 耐倒伏性
	六 甲 錦	5810-19*× 兵系酒18号F1	東近系 1011	山田錦, 1 M 106	1982	兵庫県農試	大粒
	恵 糯	愛知糯27号	ふ系 102 号*	フジミノリ×染分をレイメイ に戻し交配	1983	愛知県農試	短強稈, 多収
	ハツコガネ	ふ系 102 号*	マツマエ	同 上	1984	青森県農試藤坂支場	短強稈
	アキチカラ	北陸 101 号	アキヒカリ*	レイメイの子	1984	北陸農試	短強稈, 多収

作物	育成品種名	交配組合せ		突然変異系統親 (*,**の由来)	育成 年次	育 成 地	突然変異に由来する改良特性
		♀	♂				
	イブキワセ	ミネアサヒ*	ホウレイ	ミネアサヒ参照	1986	愛知県農試 山間技術実験農場	耐冷性
	むつはまれ	リドロキワセ× アキヒカリ*	藤329	アキヒカリ参照	1986	青森県農試	短稈, 良食味
	キスヒカリ	収2800 ×北陸100号*	ナゴユタカ	コシヒカリγ線照射	1988	北陸農試	良食味, 耐倒伏性
	だいせいみんのみり	鳥系4号*	サトミノリ	農林8号のγ線緩照射	1988	鳥取県農試	短稈, 耐倒伏性
オオムギ	にらさき二条8号 カワミズキ	ガンママー4号* 羽系H-83*	34r127 羽系H-79**	* 関東中生ゴールのγ線照射 ** アサヒ5号のγ線照射	1967 1979	キリン麦酒(株) 九州農試	早生, 短稈 短強稈, 早生, 安定多収
ダイズ	ナノンブシロメ	10kR-3-7*	北見長葉	*後のライデン	1977	東北農試	中性種
トマ	強力大型玲光	IRB301-31* ×世界一	(anahu×市原) ×世界一	*野生種のγ線照射交配	1984	むさし育種農場	TMV, 根腐萎凋病等に対する複合抵抗性
	住 玉	中間母本農4号*	中間母本農3号	*野生種のγ線照射交配	1985	野菜試	根腐れ萎凋病等への病害抵抗性
	竜 玉	中間母本農5号*	中間母本農3号	*野生種のγ線照射交配	1985	野菜試	根腐れ萎凋病等への病害抵抗性

突然変異遺伝子の利用は、品種として公開、市販された物を集計した。(1kR=258mC/kg)

の果樹類には50m以遠が適正線量位置となつてすみ分けができています。なお⁶⁰Coはほぼ5年で半分に減衰するため、線源は現在2年ごとに更新しており、またその機会に作動部分のオーバーホールを行って機能の万全を期している。

国内ただ1か所の施設であるが、この地は冬には時に零下15度にも下がるため、柑橘類など南日本系の作物のためにはガンマ温室も併設されている。この温室では¹³⁷Csの線源を使用しているほかはガンマフィールドと同様の照射時間で運用されている。

さらに種子や挿し穂、球根などの照射のための⁶⁰Co線源を備えた屋内照射用のガンマルームもあって、民間、個人からの照射依頼にも対応しており、国内における放射線育種の中心となっている。国の機関以外の場合は若干の手数料が必要であるが、最近ではバイテク・ブームの影響か、照射依頼の件数が増加して、年間80件を超えている。照射の依頼を含む依頼照射事業の詳細については放射線育種場まで問い合わせたい。

319-22 茨城県那珂郡大宮町私書箱3号

農業生物資源研究所放射線育種場

TEL 02955-2-1138

FAX 02955-3-1075

3. 突然変異育種の例

3・1 種子繁殖性作物

3・1・1 水稲品種「レイメイ」

イネのような自殖性の作物では、照射したつぎの世代でメンデルの法則に従って突然変異体が分離してくるので、容易に選抜できる。これは優れた既存品種のさらに1点を改良するような場合にきわめて有効な方法である。たとえば、突然変異育種の夜明けを告げるとして「レイメイ」(黎明)と名付けられたものは、水稲「フジミノリ」の草丈が低くなり、倒れ難くなった突然変異体である。この品種は多肥栽培に耐えるため多収化が可能で、昭和40年代には出荷量第一位となった。その後も半矮性突然変異遺伝子を利用する交配親として「アキヒ

カリ」,「アキチカラ」などの優れた品種を生み出している。「レイメイ」の場合、草丈以外の特性は元の「フジノリ」の長所をすべて引き継いでいる。

3・1・2 1点改良法と遺伝標識

突然変異育種の特徴の1点改良のもう一つの例としては、長野県の農業試験場で作られた「みゆきもち」がある。一般にはモチ米の育種は交配によって進められるが、本来モチとウルチの違いは遺伝子1個の違いである。したがって、優れた農業特性を持ったウルチ品種に突然変異を起こさせてモチ品種に変えてしまえば、1段階で優れたモチ米品種になり得る。しかし、この場合困ったことに、元の系統とは、乾燥させ扱摺りをして玄米にするまでは、まったく見分けがつかない。1点改良法の弱点である。このような場合には同一品種内に誘発された別の突然変異、たとえば籾に細毛のない無毛突然変異⁹⁾を品種内交配として組み合わせると、品種の純粋性をそのまま維持しつつ、必要な標識を付けることができる。

最近ではDNAの分析技術が進み、制限酵素で一定の様式で切断した後、適当なプローブDNAを用いて特定の区間を検出し、その長さを比較するRFLP分析法が使えるようになった。この方法を用いると、農業形質にはまったく影響を与えないような遺伝標識を付与することができる。とくに高LET放射線を用いればこの型の標識を付与できる可能性が高く、実際に京都大学原子炉の重水熱中性子設備での照射で得たイネのモチ性突然変異体で実証されている⁴⁾。

3・1・3 食味改善

現在はコシ・ササブームと呼ばれるほどに米の食味が重視されている。その食味を支配する要素としては、デンプンの主要成分であるアミロース含量が重視されている⁵⁾。ピラフ用などパサパサであることが求められる長粒種(インド稲)で通常25%程度含まれているこのアミロースは、より粘りのある日本稲では約20%と少なく、コシヒカリ・ササニシキではさらに17-18%程度と低くなっている^{6),7)}。これは穀粒の登熟温度に関係するため、とくに北海道で重視され、放射線育種に関心が持たれている。もっともアミロースが0%になれば完全なモチ米になるために、おいしいウルチ米にするにはほどほどの値にとどめておかねばならない。実際に調べてみると、関係する遺伝子は wx 遺伝子を含めて6個以上が報告されている⁸⁾。また完全なるモチ米にしてしまう wx 遺伝子の場合であっても中間型の変異体が選抜されている。その結果現在では、ことアミロースに関しては0%から20%まで

ほぼ連続的に突然変異体が得られている^{9),10)}。

3・1・4 その他の突然変異体の例

トウモロコシなどではヘテロシス利用の1代雑種が広く普及しているが、このような場合は、多収だからといってその種を収穫して翌シーズンに蒔いてもヘテロシス効果は激減する。したがって種子は毎年新しく購入しなければならない。イネでもこの1代雑種利用がアメリカから働きかけられた。これは米の輸入以上に、種子の供給源を外国に握られてしまうという意味で警戒が必要である。そこで農林水産省でも大きなプロジェクト研究として、対策を進めている。放射線育種からの寄与の例としては、本来自分の花粉を受粉する構造になっているイネの花を、外部の花粉親から花粉を受け易い構造にするための突然変異として、不閉穎(開いている時間が長い)、双子粒(受粉効率が高まる)などが検討されている^{2),11)}。

そのほかトウモロコシのスイートコーンに相当する、かじってみると甘味のある糖質変異体¹²⁾や、生長、生育、生理などに関係するものとして、基礎研究に役立つと思われるさまざまな突然変異体が得られている¹³⁾。これらについてはその数が膨大なため、本資料では省略したが、詳細は前述の農業生物資源研究所の放射線育種場まで問い合わせられたい。

3・1・5 病害抵抗性突然変異

この例としては大麦の萎縮病の抵抗性のもの¹⁴⁾、同じくうどんこ病抵抗性のもの^{15),16)}、イネの白葉枯れ病抵抗性のもの¹⁷⁾、などや、最近の放射線育種場のヒット作として現在実地試験が進行中の日本ナシ「二十世紀」の黒斑病抵抗性のもの「 γ -1-1」^{18),19)}などがある。

また病害抵抗性の突然変異の直接誘発ではないが、放射線を利用した例として、そのままでは種子ができない野生種と栽培種の交配に、放射線照射を利用した成功例がトマトにある^{20),21)}。これは野生種の耐病性遺伝子の導入に成功したもので、その系統を交配親として使用した結果、優秀な4品種が発表されている(表1参照)。

3・1・6 他殖性作物の突然変異

トウモロコシやウリ類などでは、雄花と雌花が別々に着くために、最も一般的な種子照射ではそれぞれの由来する細胞が異なることが多く、たとえ個体内での自家受粉を行っても、同一の突然変異遺伝子がメンデルの法則によってすぐにホモ接合体として分離してくることはまずない。しかし、半世代遡って花粉の時期に照射すれば、各種子はそれぞれが全身均一な遺伝子構成を持つ種子胚を得ることができる。この種子を栽

培して個体内で人工受粉し、突然変異体を分離、選抜する方法が開発された。その結果、たとえば普通のキュウリの五角星型の葉型から、丸葉ハート型の突然変異体が得られているほか、バイオテク最先端の分野の一つである細胞融合法において標識として使用できると思われるアルビノ(白色)変異体も得られている。またこのような方法では単細胞の花粉が処理対象となるため、透過力の弱い紫外線も利用できる。実際にトウモロコシでは紫外線によるモチデンプン性突然変異体が2系統得られている²²⁾。

3・1・7 突然変異による遺伝標識

イネは自家受粉型の植物であるので、研究の場面でも一般にはあまり圃場での袋掛けはしていないようである。しかし厳密な遺伝実験では、やはり飛んでくる花粉への対策が必要になる。その対策として、たとえば変異原処理する種子をあらかじめ袋掛けによって完全隔離しておき、処理次代に突然変異体が分離してきた場合に、劣性突然変異のみを選抜する方法が考えられる。この場合は処理当代 (M_1) に飛来花粉によるコンタミの可能性があるが、優性形質を選抜対象としなければ、かりに選抜されても後で除外され、また飛来花粉からの劣性形質は選抜世代の M_2 集団ではまだ表現されないのもこれら除外される。

また実験に用いる系統内にあらかじめ誘発しておいた突然変異遺伝子を標識に使うことも考えられる。たとえば、イネで葉色が変わったものを使えば、苗代でも、栽培圃場でも、もし正常な緑色個体があれば、望ましくない飛来花粉によるコンタミ個体として抜き取ることで系統の純粋性を保つことができる²³⁾。実際にこのようにして種子照射の場合を試験してみると、照射による花粉粘性の低下も一因であろうが、 M_2 の穂別系統栽培では正常緑色個体を含む系統は10%に達するという例も出ている。突然変異頻度が γ 線の最適線量照射の場合に遺伝子座当たり0.1%程度ということを考えると、遺伝標識の重要さが認識できよう。なお、標識として用いた遺伝子は、不必要なら元の系統に戻し交配して自殖分離させ、標識を取り除くこともできる。もっとも、今までに知られていないまったく新しい形質を求める場合は飛来花粉によるコンタミの心配自体必要ないこともあろう。

3・2 栄養繁殖性作物

突然変異体と正常体が1:3に分離するというメンデルの法則が直接には適用できない宿根性、多年生のものでは、放射線を照射した植物体からの枝変わりと

して突然変異体が得られる。このタイプの植物では挿し木や接ぎ木によって、まったく同一の遺伝子型のものを多量に生産することができる。その一方で、交配による育種が困難な場合が多く、突然変異育種による変異幅の拡大が唯一の手段である作物も少なくない。

これらの場合は元の系統の遺伝子型によって変異体の出方に差が出ることがある。これは、これらの体細胞ではすでにヘテロ接合状態になっている場合のみ、そしてその優性遺伝子の活性が失われたときのみ、変異形質が現われるためと思われる。しかし、これらの難点にもかかわらず、時には非常に効果的な手段となる。例としてはキクの花色変異が挙げられる。種苗業者の成功例では「精興の紅」から6色の花色変異体を得て、合計7色でパイオギク・レインボーシリーズという名でカタログ発表したものがある²⁴⁾。同様の色の例ではリンゴの「ふじ」の果皮色の改善例があり²⁵⁾、また前述の日本ナシ「二十世紀」の黒斑病抵抗性もその一つの例である。

3・3 高次倍数性作物

半数世代でも複数のゲノムを持つ倍数性作物では、ゲノム間の遺伝子の分化が進んでいるものについては、場合によってはメンデルの法則に従った突然変異体の分離を期待できることもある。また染色体の再構成によって相当大きな遺伝子型の変異が誘発できる場合もあるようで、実際に6倍体のコムギでも放射線育種の成果が挙げられている例が少なくない(表2参照)。さらに栄養繁殖型の倍数性作物でも、サツマイモでは量的変異体が得られており²⁶⁾、またサトウキビでも同様に量的形質の変異幅の拡大に役立っており、これらの分野でも重要な育種手段となっている。

4. 放射線育種に関する情報について

突然変異あるいは放射線の生物への作用に関する研究の成果は、一般学術雑誌での論文発表のほか、日本育種学会、日本遺伝学会などの講演会、大会等でそれぞれの分野として分類され、発表が進められている。これらのほかに、上述の放射線育種場ではテクニカルニュースとして新しく開発された技術などの研究成果を和英併記で紹介している。また、発足の初期から、大学等の研究者と協力して毎夏ガンマーフィールド・シンポジウムを開催して、代表的な研究成果の発表討議をお願いし、そのまとめをGamma Field Symposiaとして英文で出版している。なお平成元年度は7月20、21両日にわたり、その課題は「木本性作物におけ

表2 FAO/IAEA から公表された世界の突然変異育種による品種
Mutation Breeding Review No. 3 および Mutation Breeding Newsletter
第32号 (1988) までのものをデータ入力し、キーワード検索した

国名	品 種 数	交 配 利 用	作物									変異原					変異 形状	備考	
			穀類				花き類			その他		X線	γ線	中性子線	Rad.	Chem.			
			大 麦	稲	小 麦	その他	菊	ダ リ ア	* ス ト レ プ	その他	果 樹						その他		
中 イ オ ソ 日	238 180 169 95 82	37 17 0 19 29	1 5 0 14 6	91 20 0 2 28	71 4 0 9 2	36 29 0 17 3	0 36 79 17 7	0 11 18 0 0	0 0 7 0 0	7 34 63 1 16	2 1 0 9 1	30 40 2 26 19	5 19 147 1 2	184 113 17 43 52	14 9 6 0 0	1 4 1 1 0	3 19 3 37 2	218 40 0 27 32	Laser 11
ア メ ド 西 チェ コ ス ロ ヴ ァ キ ア フ ラ ン ス	68 38 34 32 23	23 20 3 23 0	6 20 2 25 1	13 0 0 0 4	3 0 2 0 1	9 3 0 4 0	1 8 9 0 0	0 0 0 0 5	0 0 15 0 0	23 7 3 1 6	1 0 1 0 6	12 0 2 2 0	13 13 33 2 0	22 0 0 3 20	11 0 0 0 0	0 1 0 0 0	3 3 0 2 3	32 24 6 23 4	
イ タ リ ア ベ ス ウ ェ ル ガ リ ナ	22 21 21 18 17	4 0 15 3 7	0 0 15 1 2	1 0 0 0 0	9 0 0 3 0	2 0 0 8 0	0 7 0 0 0	0 0 0 0 0	0 11 0 0 0	0 0 0 0 4	4 0 0 1 8	6 3 6 5 3	6 16 6 1 7	5 10 0 8 2	3 0 0 0 1	0 0 0 0 0	5 2 0 7 0	12 4 12 7 4	
オ ー ス ト リ ア ン ド ボ ー ラ ン ド イ ギ リ ス ド フ ィ ン ラ ン ド	13 11 11 11 10	10 0 8 9 6	5 0 0 10 4	0 3 0 0 0	6 1 0 0 1	1 5 7 0 5	0 0 0 0 0	0 0 0 1 0	0 0 0 0 0	0 0 1 0 0	1 0 0 0 0	0 2 3 0 0	1 0 1 2 2	2 0 9 1 0	0 1 0 0 0	0 0 0 0 0	11 3 6 4 2		
ヴィ エ ト ナ ム オ ー ス ト ラ リ ア ン ド バ ン グ ラ デ シ ュ ハ ン ガ リ ー 大 韓 民 国	7 6 6 5 5	4 3 0 1 0	0 0 0 0 1	6 0 2 3 1	0 0 0 1 0	1 2 0 1 1	0 0 0 1 0	0 0 0 0 0	0 0 0 0 0	0 2 0 0 0	0 0 4 0 2	0 0 0 0 0	0 0 0 2 4	5 0 6 2 0	0 0 0 2 0	0 0 0 0 0	2 3 0 1 0	2 0 2 3 3	
アル ゼ ン ティ ン マ ン ド ネ シ ン フ ィ リ ピ ン 台	4 4 3 3 3	0 1 0 0 2	0 0 0 0 0	0 2 2 3 3	1 0 0 0 0	2 1 0 0 0	0 0 0 0 0	0 0 0 0 0	0 0 0 0 0	0 0 0 0 0	1 0 0 0 0	0 1 0 0 0	1 0 1 3 0	2 0 3 1 0	0 0 0 0 0	0 0 0 0 0	1 0 4 1 0		
タ ブ ラ ジ イ ル ク マ ー ケ ニ ア アル ジェ リ ア	3 2 2 2 1	0 2 1 0 0	0 0 2 0 0	3 0 0 0 0	0 2 0 0 0	0 0 0 2 0	0 0 0 0 0	0 0 0 0 0	0 0 0 0 0	0 0 0 0 0	0 0 0 0 1	0 0 0 0 0	0 0 0 2 0	2 1 0 2 1	1 0 1 0 0	0 0 0 0 0	4 2 2 2 1		
チ ェ ジ ブ リ ト シ ヤ コ ー ト ジ ボ ア ー ル ノ ル ウ ェ ー	1 1 1 1 1	0 0 0 0 1	0 0 0 0 1	0 0 0 1 0	1 0 0 0 0	0 0 0 0 0	0 0 0 0 0	0 0 0 0 0	0 0 0 0 0	0 0 0 0 0	0 0 0 0 0	0 1 0 0 0	0 0 0 1 0	1 0 0 1 0	0 0 0 0 0	0 0 0 0 0	1 1 1 1 0		
ポ ル ト ガ ル ス リ ・ ラ ン ス イ カ ス	1 1 1	0 0 0	0 0 0	1 1 0	0 0 1	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	1 1 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	
合 計	1 178	248	121	190	119	138	165	34	23	179	36	173	282	532	52	9	96	502	

*: *Streptocarpus* sp.

る変異の作出」で行われた。

5. 突然変異育種の将来

現在、細胞や組織の培養、DNAの組み替えなど最先端のバイオテクノロジーの研究が盛んであるが、いまずぐに役立つ技術、しかも元の品種の特性をそのまま保つ、「品種改良」の手段としては、古典的手法と呼ばれても、放射線育種法はまだ現役の技術である。

ウィーンの国際原子力機関(IAEA)のなかにあるこの分野のセンター的存在のJoint FAO/IAEA Divisionの公表している世界の突然変異育種の成功例1178品種(Mutation Breeding Newsletter No. 32まで)を調べてみると、中国、インド、オランダ、ソ連について日本は世界の第5位になっている(表2)。

突然変異の誘発手段としては、種々の化学物質が報告されており、実験室規模での研究ではきわめて有効な方法であるが、これらの物質には強い発がん性も報告されており、扱いも廃液処理をはじめ、ゴム手袋の着用など細心の注意を要する。一方、実際の作物育種に利用するためには、種子、球・塊根、穂木、挿し穂、苗、成体、最近では培養細胞に至るまで千差万別の材料を、しかも時にはキログラム単位で処理する必要がある。また実際の育種家は選抜にかけては専門家であっても発がん物質の扱いに上達する余裕はないのが実状であろう。したがって、照射後の残留放射能もないガンマ線による放射線育種法は最も実用的な方法であるといえる。ただトウモロコシなど一部の作物や形質では、どうしても放射線では変異体の誘発が困難で、化学変異剤に頼らざるを得ないものもあるが、それでも「突然変異育種」が優れた方法であることには変わらない。

突然変異育種の特徴は、すでに存在している遺伝子の働きを変えることでわれわれが新しい形質を利用できるようにすることにある。これはつぎの3点に集約でき、引続き役立てられてゆくであろう。

- (1) 新しい遺伝形質の作出：今まで見えなかったものを見えるようにする。DNA鎖を新しく創るのではないが、事実上新しいものの創出に相当する^{14),27)}。
- (2) 新しい連鎖関係の作出：充分改良された最新鋭の染色体の上に既知の形質をもう一度作り出すことができる^{9),28),29)}。
- (3) 新しい表現型の作出：既知の遺伝子座でもミセンス突然変異の誘発で中間型などの新しい表現型を得ることができる。例えばモチ遺伝子座の変

異体として中間モチがイネヤトウモロコシで得られている。^{9),30)}

謝 辞

本稿をまとめるにあたって使用した表1は鶉飼保雄氏(農業環境技術研究所)が放射線育種場在職中に編集されたものをさらに継続したものである。また放射線育種場長はじめ各職員の激励、協力に対しても感謝する。

文 献

- 1) 藤巻：私信(1986)
- 2) Amano, E.: Gamma-Field Symposia, No. 25, pp.37-53 (1986)
- 3) 平岩 進, 田中幸彦：放射線育種場テクニカルニュース, No. 22 (1979)
- 4) 矢頭 治, 天野悦夫, 門脇光一：育種学雑誌, **39**, (別1) 248-249 (1989)
- 5) 国広泰史：農業技術, **44**, 40-44 (1989)
- 6) 不破英次：農林水産省農業研究センター・生物系特定産業技術研究推進機構, pp.57-102(1988)
- 7) 中川原捷洋：同上, pp.31-52 (1988)
- 8) 奥野員敏：研究ジャーナル, **11**, (6) 3-9(1988)
- 9) Amano, E.: Gamma-Field Symposia, No. 24, pp.81-96 (1985)
- 10) 天野悦夫：未発表
- 11) 天野悦夫：放射線育種場テクニカルニュース, No. 33 (1989)
- 12) Satoh, H.: Gamma-Field Symposia, No. 24, pp.17-37 (1985)
- 13) Amano, E.: *ibid.*, No. 15 (1976)
- 14) 鶉飼保雄, 山下 淳：放射線育種場テクニカルニュース, No. 21 (1979)
- 15) 山口勲夫, 山下 淳：同上, No. 20 (1979)
- 16) Yamaguchi, I. and Yamashita, A.: *JARQ*, **18**, 171-175 (1985)
- 17) Nakai, H., Kobayashi, M. and Saito, M.: *Euphytica*, **34**, 577-585 (1985)
- 18) Sanada, T.: Gamma-Field Symposia, No. 25, pp.87-108 (1986)
- 19) 真田哲朗, 西田光夫, 池田富貴夫：放射線育種場テクニカルニュース, No. 29 (1986)
- 20) 山川邦夫：同上, No. 11 (1972)
- 21) 山川邦夫, 永田伸彦：同上, No. 16 (1975)
- 22) Amano, E.: "New Genetical Approaches to Crop Improvement", Ed. by Siddiqui, K.A. and Faruqui, A.M., pp.177-190, PIDC Printing Press, Karachi (1986)
- 23) 天野悦夫：放射線育種場テクニカルニュース, No. 34 (1989)
- 24) 精興園：昭和61年春季カタログ(広島県)(1985)
- 25) 池田富貴夫：放射線育種場テクニカルニュース, No. 15 (1974)
- 26) 久木村 久：同上, No. 24 (1981)
- 27) Satoh, H. and Omura, T.: *Jap. J. Breed.*, **31**, 316-326 (1981)
- 28) Amano, E.: Gamma-Field Symposia, No. 11, pp.43-59 (1972)
- 29) 矢野昌裕, 佐藤 光, 大村 武, 奥野員敏：育種学雑誌, **34**, (別1) 82-83 (1984)
- 30) Amano, E.: *Ann. Rep. NIAR*, 47-50 (1986)