

高アントシアンサツマイモの用途開発 と原料用品種の育種

北海道農業試験場

梅 村 芳 樹

1. 高アントシアン品種とは

(1)来歴 皮だけでなく内部にもアントシアンを含むサツマイモ品種は、日本では珍しいが、原産地の中南米やポリネシアの島々には多数栽培されている。沖縄など南西諸島でも自給用に古くから作られ、鹿児島県本土でも数品種が残っている。

これらの赤紫肉色のサツマイモはその分布から見ると東廻りで伝播したものと考えられ、西廻りの黄白肉色のサツマイモとは別のルーツを持つ。東廻りのサツマイモは赤紫だけでなく、カロチン品種も多く、肉色、肉質の変異が大きい。更に興味があるのは、筆者の中南米や南西諸島の調査ではこれらの品種は祭日などハレの日の食事に使われており、西廻りのサツマイモが荒救作物として伝播したのとは異なり、食文化を伴って広がったこと

である。アメリカ合衆国の南部でもデザートタイプと呼ばれるカロチン、アントシアンを含むサツマイモを感謝祭に食べる習慣があり、鹿児島県では沖縄の米国人向け専用「ベルベット」(カロチン、アントシアンを共に含む品種)を生産・出荷しているほどである。

(2)鹿児島本土の栽培品種 現在栽培され、入手可能なアントシアン品種は第1表の5品種。自給用や南西諸島には多数の在来あるいは渡来品種が作られているが未調査である。おそらく異名同種、同名異種が多いと思われる。この数年間に筆者の研究室に各地から持込まれた品種は第1表の2～4のいずれかであった。品種名は各地で共通するものはなく、「紫いも」、「なかむらさき」、「白皮むらさき」、「べにいも」と呼ばれることが多い。第1表の山川、頼娃、喜入紫は筆者が最初に入

第1表 鹿児島県で栽培されている紫肉
サツマイモ品種の特性概要

(1) 形 態

品 種 名	草 型	頂葉色	葉 色	葉 形	葉 の 大 小	茎 色	茎の太さ	い も の		
								形	皮 色	肉 色
山 川 紫	ほふく	緑	緑	波心	大	緑紫	やや太	紡すい	紫	紫
種子島在来	そう生	紫	緑(紫)	単心	大	紫	太	紡すい	紅	赤紫
頼 娃 紫	ほふく	緑	緑	複欠刻	小	緑	中	長紡	淡褐	淡紫
喜 入 紫	ほふく	紫	緑(紫)	単深裂	やや小	紫	細	長紡	白	淡紫
ナカムラサキ	ほふく	黄緑	緑	波心	やや大	緑紫	やや太	紡すい	淡紅	白(ウン)
ベルベット	そう生	黄緑	緑	歯心	中	紫	やや太	短紡	赤紫	淡橙(ウン)

(2) 収量など

品 種 名	収 量	貯蔵性	肉 質	甘 さ	食 味	アントシアン 含 量	用 途	そ の 他
山 川 紫	無～多	良	ごく粉	弱	不良	18.9mg	色素 加工用	南米産
種子島在来	やや多	中	やや粘	中	中	14.4mg	デザート	
頼 娃 紫	中	中	中	中	中	7.1mg	デザート	
喜 入 紫	中	やや不良	粘	強	やや良	7.2mg	食用、デザート	
ナカムラサキ	多	やや不良	やや粉	やや強	良	—	食用	二宮×大白
ベルベット	やや多	中	粘	強	中	—	デザート	北米品種

手した町名を付けたものである。

第1表の5品種は表から判るように3群に分類できる。アントシアン含量が高く、色が濃赤紫で食用色素原料やデザート用に注目されている山川紫、色はやや淡いが、食味が良く食用として売られている種子島在来、頼娃紫、喜入紫、アントシアンはウン（部分色）として含まれるだけのナカムラサキ、ベルベットである。言うまでもなく、本文で扱う新用途開発の原料となるのは山川紫タイプのアントシアン品種である。

(3)山川紫の特性 この品種は1984年に筆者が山川町の農家から入手した在来品種で南米産と言われているが、世界最大のCIPのコレクションにも筆者の調査では見当らず、国内では沖縄を含めて記録、情報は無い。食味が不良のうえ、肥沃地ではいも収量がゼロに等しいため、拡がらなかったであろう。

山川紫の最大の特性は土壌と施肥量によっていも収量がゼロから株当たり2kgまで変動することである。沖積土や黒ボクの肥沃地では無肥料でもいもは付かない。苗を分譲した大学、試験場、農家の大半は収量ゼロであり、晩夏以降、伸びたつる先につるねいもがつくことが多い。このいもが鹿児島では50~100gになり、株当たり500g、10aでは1.5tになるが、収穫は大変である。ところが排水のき

わめて良い礫（コラ）畑や瘠せたシラス土壌ではつる伸びは悪いが、第2表に見られるように株当たり1kg前後の収量となる。昨年の山川町の礫畑ではでん粉用品種に劣らない多収であった。またこのような土地では増肥効果が見られると言う。

予備試験であるが、3、6、9、12月に8号鉢に挿苗した結果では6月挿がゼロ（5鉢平均）、他は400g前後のいも収量であった。他の観察結果も考慮すると、この品種は長日で肥大が抑えられる傾向があると思われる。

この山川紫のいも収量の不安定の原因の究明は栽培生理の専門家の研究を期待しているが、筆者の5年間の観察では挿苗後3~4週間、すなわち、塊根形成初期の植物体の状態（誘因としての環境条件）にあると考えられる。現象としてみれば、多窒素、過湿（通気不良）、長日、光不足が塊根形成のマイナス要因である。このような性質は山川紫の後代系統にも見られ、1987~'88年の実生苗の選抜予備試験では、礫（コラ）やシラスの瘠地では全個体がいもを付け、収量も普通の品種と変らなかったが、黒ボクや沖積の肥沃地では半数以上の個体がまともないもを付けなかった。また1987年に礫畑で選抜した40個体を翌年肥沃畑に植えたところすべて減収、うち半数はほとんどいもが付かなかった。収量以外の特性は下記のようなものである。

萌芽性：本数がやや少なく節間が伸びる傾向があるが、萌芽はきわめて良い。

茎葉の生育特性：瘠地や少肥では分枝が少ないのでやや不良であるが、つるは長く伸びる。肥沃地では地ぎわから太い分枝が出、葉も大きく、過繁茂となる（いもは付かない）。根は太くて深く、抜きづらい。

第2表 収量試験結果（10個体平均）

品種名	1987 (1)				1988 (2)			
	肥沃地		瘠地(礫)		礫畑		単純平均	
	個数	いも重	個数	いも重	個数	いも重	個数	いも重
山川紫	6.4	0.52	7.4	1.01	3.8	0.98	5.9	0.87
種子島在来	2.5	0.55	4.2	1.00	3.7	0.79	3.5	0.78
頼娃紫	4.1	0.73	4.8	0.97	2.8	0.86	3.9	0.85
喜入紫	1.3	0.47	4.2	1.10	2.5	1.02	2.7	0.86

(1) 指宿市

(2) 山川町

耐病虫性：検定はしていないが、数年間の試作では被害は見られない。ナカジロシタバの喰害は他のすべての品種との比較できわめて少ない。

貯蔵性：良。指宿では掘残しの小さいものが越冬し、翌春萌芽する。

食用品質：粉質で甘味が少なく、蒸しいもや焼しいもの食味は下。色を活用した料理、デザート向である。

2. 新しい商品および開発中の製品

(1) サツマイモのアントシアンの特性 現在商品化されているアントシアン系食用色素の原料はペルーの紫トウモロコシのほかブドウの果皮、ビーツ、紫キャベツがあるが、共通の欠点として耐熱、耐光性の弱さがある。サツマイモ（山川紫）から抽出されたアントシアンは、既存の製品に較べ耐熱、耐光性が良い。このことは食用色素としての用途が拡大するだけでなく、後述のペースト、フレークなどの食材やデザート類の加工、流通の大きなメリットとなろう。

アントシアン系色素はその鮮明な色だけでなく、最近では薬理効果が注目され、研究が行なわれている。山ブドウ、赤カブについては今春の農芸化学会で有効性が報告され、サツマイモもA社の研究部の予備試験で腫瘍の抑制効果などを認め、本格的な研究が始まる。

食品の着色がナチュラル、ヘルシーをキーワードとして合成品から天然物に変わりつつあるが、消費者のニーズは同じ天然着色料でもより身近かな、食べ慣れた物を原料とする製品に移っていると言われる。コチニールやカビからの色素より、サツマイモの方が好まれるのである。

第3表 山川紫を原料とする商品および開発中の製品

分類	製品名	用途	メーカーなど
色素	食用色素(アントシアン)染料	飲料・食品主として絹	三共化学 就美女子短大
食酢	醸造酢	飲用他	日本食品化学
飴	いも飴、水飴	食用、加工原料	坂本いも飴店
一次加工品	ペースト フレーク 冷凍いも	デザート用 デザート用他 デザート用	カセチ食品、喜入加工組合 試作品 願姓農協他
デザート類	シャーベット アイスクリーム プリンなど ケーキなど		南九州冷凍他 上島珈琲他 モロゾフ他 九面屋、フェスティパロ他

(2) 山川紫を原料とする加工品 筆者が多少とも関係した製品、試作品のリストを第3表に挙げた。以下そのいくつかを紹介する。

a. 〈ペースト〉

ボイルしたいもをつぶして裏ごしし、砂糖を加えたもの。製品は冷凍、真空パック、ビン詰がある。原料の山川紫は水分が少ないため加水することが多く、歩留りがいい。普通は色の調整と維持のためレモン汁あるいはクエン酸を加える。アントシアンはPHによる色の変化が大きく、強アルカリで緑、強酸性で黄色となるが、中性に近いところではブルー→紫→赤紫→赤色と変化し、酸性側で安定と言われる。

山川紫のペーストはカロチンいもと同様、シャーベット、アイスクリームなど主としてデザート原料として使われているが、家庭でも水ヨーカンなどの菓子のほかドレッシング、フルーツソースなど用途が広い。

b. 〈フレーク〉

裏ごし、加糖しないペーストをドラムドライヤーで乾燥したもの。製造工程はポテトフレーク(マッシュドポテト)と同じである。製品は鮮かな濃紫色で耐光性が強く、カロチンいものフレークと異なり長期間変色しない。

用途はペーストと同じであるが、流通コストが安く、使い易いため業者からの引合いが多い。しかし本格的な生産計画がなく、企業化が待たれている。

c. 〈食用色素〉

スライスした紫いもから酸を用いてアントシアンを抽出、精製した製品。第3表に示したように耐熱、耐光性に優れ、色調も良いため清涼飲料などの食品業界の関心が高い。しかし現在の原料品種山川紫のアントシアン含量がやや低く、収量が不安定のため企業化が遅れていた。ところがこの2年間に大きな研究成果が得られたため、今秋には小規模ながら商品生産が計画されている。

成果の第一は南薩摩地方のシラスや礫土の畑地帯で安定多収の栽培技術が開発され、原料いも供給の目途が付いたこと。第二は焼酎会社、鹿児島農試の研究協力で低コストの製造方法がほぼ確立したことである。この方法は山川紫を原料としてまず焼酎を作る。色素は真赤な焼酎廃液から抽出、精製する。これはサツマイモの完全利用に一步近づいた方法であり、現在経費をかけて処理している焼酎廃液から高付加価値の食用色素を生産する画期的な方法である。もう一つは後述する育種研究の過程で、山川紫の2～4倍のアントシアンを含み、高収量の期待できる後代系統群が出現し、将来原料品種として普及する目途が付いたことである。

d. 〈食酢〉

鹿児島地方では古くから米や黒糖を主原料とする天然醸造酢が生産されているが、昨秋山川紫を原料として赤い飲用酢の開発に成功した。果実酢や醸造酢は健康飲料として根強い人気があるが、この山川紫の酢はワインの

ロゼに似た（より赤い）色に特徴があり、飲用のほか漬物用、ドレッシング用としても利用価値が高い。同時にカロチン品種を原料としたコハク色の製品も開発されており、引合いが多い。

e. 〈水飴、いも飴〉

一昨年商品化された飴で麦芽で糖化した製品である。水飴は濃紫、切飴はやや茶がかった赤紫色。水飴は溶かすと透明なワインカラーとなり、飴としてより液糖として使えると考えている。ただ粗製のためいも臭が強く、自然食品としては面白いが、用途拡大にはもう一工夫必要であろう。

f. 〈シャーベット〉

4年前から試作を続け、昨秋商品化されたものである。ペーストに9倍の水を加え凍らせただけである（もちろん砂糖、卵白、レモン汁を加える）が、淡い赤紫色、さわやかな味に加えてコクがあり、すこぶる好評である。

このシャーベットは大手4社でも試作しており、売出しているところもあるが、すべて筆者の評価はアイスクリームもどきで低い。それは日本の業界が高脂肪のアイスクリームを高級品、無脂肪のシャーベットを駄菓子とする先入観にとらわれているためであり、大半の試作品はクリーム、パーム油、香料、発泡剤など混入してさわやかさを失い、色の鮮明さを無くしている。

3. 高アントシアン品種の育種

(1) 紫肉色の遺伝様式 1987年に播種した交配種子の肉色の分離は第4表のようであり、ウンの個体を除けば、紫×黄肉では約50%、紫×紫肉では約80%が紫肉色であった。この

第4表 肉色の分離

1987年 秋

交配組合せ ♀ × ♂	肉 色	F ₁ の肉色別個体出現率					
		紫		ウ ン		白～橙	
		n	%	n	%	n	%
山 川 紫 × ベニアズマ	紫 × 黄	130	53.7	25	10.3	87	36.0
山 川 紫 × クリコガネ	紫 × 黄	145	47.9	35	11.6	123	40.6
山 川 紫 × 願 娃 紫	紫 × 紫	108	85.0	5	3.9	14	11.0
クリコガネ × 山 川 紫	黄 × 紫	69	51.9	16	12.0	48	36.1
願 娃 紫 × 山 川 紫	紫 × 紫	108	78.3	15	10.9	15	10.9
ベルベット × ベニアズマ	橙(ウン) × 黄	5	5.6	27	30.7	57	64.0
ベニハヤト × 九 系 36	橙 × 白	0	0	10	15.4	55	84.6

第5表 紫肉品種後代の肉色、皮色の分離

1988、'89年供試組合せ

交 配 組 合 せ	仮の遺伝子型	紫 肉 皮	紫 肉 非紫皮	ウ ン 非紫皮	黄白肉 非紫皮	母本系統の両親の遺伝子型
茨 城 1 号 × 山 川 紫	a × A ₁ (1)	46	0	3	52	
コガネセンガン × "	a × A ₁	53	0	4	43	
タ マ ユ タ カ × "	a × A ₁	48	0	16	36	
山 川 紫 × サツマヒカリ	A ₁ × a	36	0 (2)	—	64	
8 6 2 7 7 - 1 0 × "	A ₁ × a	54	0	—	46	A ₂ × A ₁
8 6 2 7 5 - 1 6 × "	A ₁ × a	43	0	—	57	a × A ₁
8 7 2 0 9 - 4 × シ ロ サ ツ マ	A ₁ × a	44	1	5	51	a × A ₁
九 系 1 1 6 × 8 6 2 7 4 - 1	a × A ₁	47	0	—	54	A ₁ × A ₂
GR 3 9 - 2 × 8 6 2 7 7 - 1 0	a × A ₁	61	0	—	40	A ₂ × A ₁
コガネセンガン × 山 川 紫	a × A ₁	48	0	1	51	
シ ロ サ ツ マ × 8 7 2 0 9 - 2 8	a × A ₁	42	0	0	58	a × A ₁
九州 1 0 0 号 × "	a × A ₁	48	0	14	38	a × A ₁
九州 9 6 号 × 8 7 2 0 9 - 3 6	a × A ₁	45	0	0	55	a × A ₁
茨 城 一 号 × 種 子 島 在 来	a × A ₂	17	23	45	15	
コガネセンガン × 願 娃 紫	a × A ₂	0	31	5	64	
山 川 紫 × 8 6 2 7 2 - 4 5	A ₁ × A ₁	74	0	4	22	A ₁ × A ₁
8 6 2 7 2 - 4 5 × 山 川 紫	A ₁ × A ₁	66	0	2	32	A ₁ × A ₁
山 川 紫 × 種 子 島 在 来	A ₁ × A ₂	51	24	19	6	
種 子 島 在 来 × 山 川 紫	A ₂ × A ₁	51	25	14	10	
コガネセンガン × 8 7 2 2 5 - 2 6	a × A ₁ A ₂	51	26	13	10	A ₁ × A ₂
九州 1 0 0 号 × 8 7 2 2 8 - 2	a × A ₁ A ₂	46	29	19	6	A ₂ × A ₁
九 系 5 8 × 8 7 2 2 5 - 2 6	a × A ₁ A ₂	43	35	0	21	A ₁ × A ₂
8 7 2 0 9 - 1 5 × 九州 1 1 6	A ₁ A ₂ × a	44	18	29	9	a × A ₁ ?
P. Bom × 8 7 2 0 9 - 1 4	A ₂ × A ₁ A ₁	69	27	5	0	a × A ₁ ?
8 6 2 7 7 - 1 0 × 8 6 2 7 7 - 8	A ₁ × A ₁ A ₂	82	18	—	0	共に A ₂ × A ₁
8 6 2 7 7 - 8 × 8 6 2 7 7 - 1 0	A ₁ A ₂ × A ₁	75	25	—	0	同上

注 (1) 肉、皮のほか茎基部も紫色

(2) 幼苗時調査のため、ウンは不明

出現率は優性主働遺伝子1個による形質の分離比に等しい。ウンの入る個体の出現率は4～12%と組合せによって異なり、ウンのあるベルベットのF₁では31%、全くアントシアンを含まないベニハヤト×九系36からも15%出現している。このウンと紫肉色との境界は連続していて明確ではないが、ここではいもの中央部を輪切りにして断面積の50%で分別し

ている。この境界線上のいも(淡紫肉)はアントシアン含量で最高値の10～20分の1であった。

1988、'89年の結果は第5表に示すように上記の結果と一致したほか、新しい知見を与えてくれた。すなわち紫肉色の個体を皮色、茎基(とくに幼苗時)とも紫色を呈するものとしないものと分け、前者をA₁、後者をA₂遺

伝子による表現型とし、 A_1A_2 は A_1 と同じ表現と仮定すると第 6 表に示したように、理論値とほぼ一致する出現となった。ここでいう紫皮は従来の品種の赤紫皮、たとえばベニアズマとは明らかに異なっており識別可能であるが、茎基部の色は紫茎の品種(非紫肉色の)と識別不能である。

以上の結果から推定するとウンを除く紫肉色の遺伝は次のように考えることができる。

(a) サツマイモの紫肉色は A_1 および A_2 の優性主働遺伝子によって発現する。

(b) A_1 は山川紫およびその後代の紫肉系統に存在し、肉色だけでなく皮および茎基部の紫色も支配する。 A_2 は喜入紫など白皮、赤皮の紫品種にあり、肉色だけに発現する。

(c) A_1A_2aaaa の遺伝子型をもつ系統の表現型は A_1aaaaa と同じである。すなわち A_1 は A_2 に対し優性である。

(2)塊根中のアントシアン含有量の遺伝 塊根中のアントシアン含有量の後代の変異は第 6 表に示すようにいずれの組合せも後代系統の平均値が親の紫品種を上廻る結果となった。最高値は親の 2～3 倍であり、1988 年の選抜個体では 4.7 倍もの個体が出現している。

でん粉など一般の成分育種では F_1 の含有量は両親平均を中心に正規分布し、親の 2 倍も

の高含量の系統の出現はきわめて稀であり、有望系統の選抜率は低い。第 6 表の結果は高アントシアン系統の選抜がきわめて容易であることを示すと同時に必ずしも紫肉品種間の交配が高アントシアン個体につながらないことも示し、交配組合せの選定にあたっては片親に実用形質の優れた母本を選ぶことができると言えよう。加えて 86277—10 の F_1 が親の山川紫の F_1 に較べてはるかに高率に高アントシアン個体を生じていることから、母本の選定によってはより高含量の F_1 個体の出現が期待できよう。

このような高アントシアン含量の個体が多数出現するのは親の山川紫(あるいは後代系統)が遺伝形質として高アントシアン遺伝子をもっていると仮定するのが妥当であろう。とすれば、今までにも原産地の中南米では自然結果によって多数の高アントシアン個体が出現したはずであるが、現存していないのは何故であろうか。その理由として考えられるのは食用としての評価である。筆者は供試材料の食用品質もチェックしているが、山川紫を含めて色価 2.0 以上のものは食用不適である。紫肉品種の中では喜入紫だけが食味中の上であり、アントシアンを評価しなければすべて食味不良で棄てられてしまう。おそらく

第 6 表 F_1 系統のアントシアン含有量の変異

(1) 1987

交配組合せ	系統数	アントシアン含有量 mg/%		両親の 遺伝子型	親の アントシアン含有量
		平均	レンジ		
山川紫×ベニアズマ	33	26.8	7.1—66.4	$A_1 \times a$	18.9×0
〃 × クリコガネ	26	26.7	2.0—71.4	$A_1 \times a$	18.9×0
〃 × 顕 娃 紫	30	19.7	5.7—63.5	$A_1 \times A_2$	18.9×7.2

註：鹿児島県農試の分析値

(2) 1989

交配組合せ	系統数	色 価		両親の 遺伝子型	親の 色 価
		平均	レンジ		
山川紫×サツマヒカリ	29	3.44	1.5—5.8	$A_1 \times a$	2.2×0
86277—10 × 〃	56	4.49	1.5—7.3	$A_1 \times a$	3.8×0

註 (1) 三栄化学工業の分析値

(2) 86277—10 は知覧紫×山川紫の選抜系統

中南米でもそうであったであろう。幸い遺伝的にヘテロで栄養繁殖作物のサツマイモだったので、高アントシアン遺伝子が保存されてきたと考えられる。

(3)効率的な育種システム 上記の結果に基づいて効率的な育種システムを考えると下記のようになる。

a. 交配採種

紫母本間の交配でなく、片親には早期肥大、そう生型の実用性の優れた、できれば緑茎の品種を選ぶ。グラニール加工を考えればβ-アミラーゼ欠が必要である。

b. 実生選抜

冬期間に箱播きし、胚軸色による選抜、細づる個体の抜取りを行ない、2～3ヶ月後小さいものを収穫。肉色（目的によってはβ-アミラーゼ活性も）で選抜した個体のつる先を圃場に挿苗する。この時の肉色の濃淡と収穫時のアントシアン含量とは正の相関がある。

c. 圃場個体選抜

競合を防ぐため瘠地、少肥、疎植とする。選抜個体のうち上位（主として肉色）のものは冬期間増殖すれば1個の種いもから200本以上の苗がとれるので、世代短縮が可能である。

d. 生産力および特性検定試験

一般のサツマイモ育種では系統選抜→生産力検定予備試験→生産力検定試験と年を追ってすすむが、本育種のように目標が限定される場合は供試材料の増殖につとめ年限の短縮をはかる方が効率的であろう。産地が限定されるなら現地に可能な限り植付けるのがいい。南九州であれば、4月上旬から7月上旬まで10回以上の採苗ができる。

収穫したいものは加工適性の検定に供試するが、貯蔵試験を兼ねた種子いもは残す。有望

系統が選抜されたら、収穫時の茎葉を増殖に使うのがもっとも効率的である。このためには早植の試験区を早期（9月下旬）に収穫し、遅植の収穫（南九州では11月下旬）までに選抜を終えたい。

このように関係者の意欲的な協力がなされれば、交配後2年で有望系統の選抜が可能であり、続く2年間の追試によって品種の登録ができよう。

おわりに

本報告は筆者の転勤（サツマイモ→ジャガイモ）のため急ぎまとめたものであるが、きっかけはUJNR（日米天然資源会議）のバイオマスシンポジウムの発表依頼であった。途中で中止したテーマであり、気はすすまなかったが、本文に近い内容で報告した。英文に全く自信がないため改めて邦文でまとめたものである。

前半の用途開発の部はすべて民間企業、農業団体などの仕事であり、筆者は少々口出ししたにすぎない。アイデアやノウハウなどふれない方がよかったかもしれないが、すべて特許申請済であり、問題なしと判断したものである。もちろん開発中の商品や技術も多く今後の発展を期待している。

●処方

ある医師と患者の会話
「タバコはいけません！」
「私はタバコを吸いません」
「酒はいけません！」
「私は飲まないで、先生」
「ぶどう酒一滴でも駄目ですよ！」
「私は水しか飲みません」
「ほう、それじゃ好きなものは何ですか」
「ジャガイモなんです」
「では、それを食べてはいけません」
(フランスジョーク)

(ボテトジョーク)