Title	アマランサスの食品栄養学的研究から見えてくるもの
Author	小西, 洋太郎
Citation	生活科学研究誌. 14 巻, p.1-11.
Issue Date	2016-04
ISSN	1348-6926
Type	Departmental Bulletin Paper
Textversion	Publisher
Publisher	『生活科学研究誌』編集委員会

特別寄稿

アマランサスの食品栄養学的研究から見えてくるもの

小西洋太郎[*1,2]

[*1] 大阪市立大学大学院生活科学研究科
[*2] 現在　畿央大学健康科学部

What We See from Food and Nutrition Studies on Grain Amaranth

Yotaro KONISHI[*1,2]

*[*1]Graduate School of Human Life Science, Osaka City University*
*[*2]Faculty of Health Science, Kio University*

はじめに

近年、世界人口の急増とともに、中国・インドなどの新興大国の食料需要の増加、地球温暖化が関係しているといわれる局地的洪水や旱魃、食用作物のバイオ燃料への需要拡大、それらに伴う食料価格の値上がりなどで、世界の最貧国、貧困層の人たちの食料安全保障が脅かされている。国連の推計によると、世界人口は 2050 年には 92 億人と、現在の 1.3 倍に増える。92 億人の食料を賄うには食料生産を現状の生産量の 1.7 倍が必要になると試算されている。今後の食料供給については、後述するように、米、小麦、大豆など主要作物の増産（モノカルチャー）の戦略のみで対応できないことは明らかであり、マルチカルチャー（生物多様性重視型農業）による食料確保の考え方が重要視されている。

アマランサス（*Amaranthus*）は将来有望な食料資源として注目されている雑穀の一種である。筆者は長年、アマランサスの澱粉の性質、貯蔵タンパク質に関する研究、アルブミン-2 と名付けたアマランサス特有のタンパク質の発見、プロテインボディの形態観察とその単離、無機元素の分布、抗酸化活性物質の検索、ポップ装置の開発と利用など、食品学的特性や機能性に関する研究に携わってきた。研究材料としてはおもしろい種子であった。本稿ではアマランサスの研究から見えてくるものは何か、浅学を顧みず、世界の食料安全保障の観点からアマランサスという低利用食料資源を検証し、展望と課題について述べてみたい。本稿の構成は次のようである。

1．世界の農業と食料供給～モノカルチャーとマルチカルチャー
2．アマランサスとはどんな作物か
3．アマランサス種子の構造と栄養成分
4．飢餓と肥満と食料安全保障
5．アマランサスと食料安全保障
6．結論

1．世界の農業と食料供給～モノカルチャーとマルチカルチャー

人類は長い歴史の中で野生植物から約 3000 種類の栽培作物（食料用、飼料用、薬用、鑑賞用、林木など）を創りあげた。そのうち食料作物は約 1000 種類だといわれる。しかし、現在世界で栽培されている主な作物（穀類、豆類、野菜、果実など）は意外にも約 30 種類にすぎない [1)]。現代の世界農業は、いわゆるモノカルチャー（少数作物依存型農業）である。換言すると、忘れ去ら

れた作物が多くあるということである。穀物［遺伝子組換え(GM)作物も含む］の生産は60年代と比べ小麦は2.7倍、コメは3.0倍、トウモロコシは3.8倍に増えた。これには作付面積の拡大によるほか、品種改良による単収増加が大きく貢献している。主要作物増産のためモノカルチャーは今後も続くものとみられる。しかし、モノカルチャーは異常気象等による旱魃・飢饉に陥る危険性を孕んでいる。また、食料を供給するには農地の拡大が必要であるが、現在アマゾンはじめ多くの熱帯雨林の伐採により、主要作物の品種改良に必要とされる類縁植物や野生種の消滅が危惧されている。また、GM作物は大量の肥料や農薬が必要とされ、地力の減退や生態系への影響などが危惧されている。さらに、GM作物の導入は巨額の資金が必要なので、利権を握る大手多国籍企業によって小規模農家が吸収されてしまい、その国の農業基盤の弱体化を招くことが危惧されている。モノカルチャーの特徴をまとめると次のようになる。

・主要作物の増産に適している
・遺伝子組換え作物が対象
・巨額資金（多国籍企業）が必要
・大規模農場、効率化
・旱魃のリスク
・生態系・安全性への懸念

マルチカルチャー（生物の多様性を重視した農業）はモノカルチャーの対義語である。1975年アメリカ科学アカデミー（NAS）特別委員会は、「有望な経済価値を有する開発中の熱帯植物」として、アマランサスやキヌアなど36種の資源植物の開発を奨励した（表１）[2)]。選抜した主な基準とは(i)熱帯で栽培できること、(ii)食料、飼料、工業原料として将来性があること、(iii)開発途上国またはその一部の地域の生産性を高めるのに役立つことであり、すでに利用されている作物に取って代わるようなものを指しているわけではない。この報告書は、生物の多様性を重視することで農業の基盤を拡大すること、すなわちマルチカルチャーを再評価しようとする考え方に立脚している。熱帯地域の人たちが生態系を維持しながら、自分たちの身近な生物資源を実現可能な形で開発することによって、くらしの向上を図ることにあり、その意義はますます重要視されている。国連は2014年を国際家族農業年とし、家族農業が食料安全保障、真の経済成長と雇用創出、貧困削減等に貢献できることを提唱している[3)]。モノカルチャーの特徴をまとめると次のようになる。

・生物の多様性を重視
・農業の基盤を拡大
・多品種の作物の栽培
・小規模農場
・家族農業

表１　アメリカ科学アカデミーが推奨する36種の有用資源

穀類（４種）	ターネラナ	砂漠に育つヒエ
	アマランサス	アステカの高リジン食品
	キヌア	アンデスの高タンパク食品
	アマモ	海のコメ
根菜類（３種）	アラカチャ	ニンジンイモ
	ココヤム	アメリカサトイモ
	タロイモ	非アレルギー食品
野菜類（４種）	チャヤ	メキシコの保健食品
	パームハート	世界の珍味
	トウガン	低カロリー食品
	シカクマメ	熱帯の大豆
果実類（７種）	ドリアン	果実の王
	マンゴスチン	果実の女王
	ナランジラ	アンデスの黄金の果実
	ペジバエ	南アフリカのクリ
	ザボン	熱帯のオレンジ
	サワーソップ	麝香の香りの果実
	ウービーリャ	アンデスのブドウ
油糧種子（５種）	ババスヤシ	アマゾンのココヤシ
	バッファローウリ	驚異の砂漠植物
	カリオカ類	バターの木
	ジェセニア	南アフリカのアブラヤシ
	ホホバ	砂漠の鯨油
飼料作物（５種）	アルビダ	アフリカの畑の守護神
	ラモン	ミルクの木
	ストゥルティ	砂漠の高タンパク質源
	塩の木	塩を排泄する植物
	タマルゴ	塩の荒野に育つ植物
その他（８種）	ブリチヤシ	生命の樹
	ルテア	アマゾンのワックス源
	カンデリア	砂漠のワックス源
	グアー	ガムを含む豆
	グアユール	砂漠のゴムの木
	シルトグラス	海水に強い芝
	ラミー	高級天然繊維カラムシ
	スピルリナ	未来の食糧

出典：ナショナル・アカデミー・サイエンス編（吉田よし子、吉田昌一訳）「２１世紀の熱帯植物資源」、楽游書房（昭和58年）より、一部改変

ところで、モノカルチャーとマルチカルチャーは対立するのであろうか？世界人口の急増に対応した食料確保という喫緊の課題において両者は対立するものではなく、互いに補完しあうもの、補完しなければならないと思う。両者の根底あるキーワードは「生物資源」であり、それをどのように活かすかによって違いが出てきているだけである。しかし、理屈はそうであっても、肥料・農薬など環境への影響、水資源への影響、農業社会への影響は、モノカルチャーとマルチカルチャーとでは異なった形で現れることは確かである。食料問題の課題は、水、エネルギーの問題でもあり、個々のアプローチから統合的なアプローチへの必要性が提唱されている[4,5,6,7]。

2. アマランサスとはどんな作物か

前項で述べたように、NAS が提唱した「有望な経済価値を有する開発中の熱帯植物」の一つアマランサスの開発を奨励した報告書[8]に基づいて紹介する。

紀元前 4000 年頃からアステカ人（古代メキシコ人）によって栽培化されたアマランサスは、トウモロコシとともに彼らの主要作物の一つであった。彼らは、沼地に杭を打ち込み、堆積物を積み上げて肥沃な畑をつくった。彼らは水路をカヌーで移動し、トウモロコシやアマランサスを栽培した．このような農法をチナンパ農業といわれ、現在もメキシコシティ郊外の観光地ソチミルコにその形跡が見られる。15-16 世紀に栄えたアステカ帝国の貴族たちは、粉にしたアマランサスに生贄の人の血を混ぜ、軍神ウィツィロポチトリの偶像をかたどったパンを作り、神に捧げたという。このような儀式は、16 世紀初頭、アステカ帝国を侵略したスペイン人にとっては悪魔的に映ったらしく、アステカ征服後、アマランサスの栽培は禁止され忘れ去られた作物になってしまった[8]。それでもその後、トウモロコシなど新大陸の種々の作物とともにヨーロッパ、アジアに伝わったが、食料源して注目されることはなかった。アマランサスが脚光を浴びるのはそれから約 400 年後、必須アミノ酸リシンが多いという発見[9]まで待たなければならなかった。

アマランサスは双子葉類ヒユ科ヒユ属（*Amaranthus*）の一年生植物である。ヒユ属には約 50 種あるといわれ、そのうちのいくつかは紀元前から中南米で栽培化されていた。アマランサスは、種子を食用とする穀粒型と葉を野菜として利用する野菜型に分けられるが、ここでは前者をとりあげる。主な栽培種は、*A. hypochondriacus*（メキシコ原産、和名センニンコク）、*A. cruentus*（グアテマラ原産、和名スギモリゲイトウ）、*A. caudatus*（ペルー原産、和名ヒモゲイトウ）である（図１）。

アマランサスは C_4 植物で光合成能の高く、生長がはやい。播種から収穫までの期間は、品種によって異なるが、3-5 ケ月である。一つの穂に 30-50g の種子を実らせる。一般にアマランサスは水や高温に対するストレスに強く、土壌（塩、酸性）を選ばない。単位面積あたりの種子の収量（1-3 トン/ha）は一般の穀物にひけをとらない。このような栽培上の特性がアマランサスの優れている点である。一方、栽培上の欠点は、背丈が高いので（品種によって 2m を越すものもある）、風によって倒れやすいことである。これを克服するため、農研機構作物研究所（つくば市）は 2000 年、γ線を利用して背丈の低い（1.5m）『ニューアステカ』という新しい品種を開発した。この品種は現在岩手県で栽培されている。もう一つの短所は種子が小さい（直径約 1.5 ㎜、千粒は約 0.7 g）ことである。この欠点を克服するため、信州大学のグル

A. caudatus　　*A. cruentus*　　*A. hypochondriacus*

図１　アマランサスの栽培種

ープによってコルヒチン処理による染色体を倍加（４倍倍加（４倍体）させる研究が行われている。

アマランサスは現在、中国を筆頭にアメリカ合衆国、メキシコ、ペルー、ロシア、チェコ、インド、ネパールなど多くの国や地域で栽培されている。しかし、残念なことに、世界生産量・栽培面積に関するFAOのデータはない。

わが国の最近５年間（平成21-25年）のアマランサスの生産はほとんど岩手県に限られており、生産量は年間平均24トンである。アワ（177トン）、キビ（240トン）、ヒエ（255トン）と比べてかなり少ない[10]。アマランサスの単収は平均1.1トン/haであり、他の穀物とほとんど変わらない。市場販売価格は、筆者が調べたところ、1kgあたり1600-2500円、無農薬栽培だと5000-6000円である。ペルー、インド、アメリカからの輸入品（2000-3000円）も市場に出回っている。

3　アマランサス種子の構造と栄養成分

この項ではアマランサス種子の構造と栄養成分について、筆者が行なった基礎的研究を中心に紹介する。

1）種子の構造

アマランサスの種子は、種（species）に関わらず、直径約1.5mmの凸レンズ状をしており、中央部に位置する外胚乳と、その周りを取り囲む胚（子葉と幼根）とに分けられる。外胚乳と胚の重量比は約65:35。果皮の色は淡黄色、赤色、黒色などである。外胚乳は澱粉質に富み、胚にはタンパク質、脂質、ビタミン、ミネラルが分布している（図２）。このような特徴はアカザ科のキヌア（*Chenopodium quinoa*）の種子と酷似している。

2）タンパク質とアミノ酸

表２は穀類、雑穀類の一般成分を示す。アマランサスとキヌア（アマランサスと同様に注目されている雑穀）の両者は、炭水化物を除くすべての項目で最高値（＊印）を分け合っている。アマランサス種子の総タンパク質含量は12.7%である。アマランサスのタンパク質は、小麦、トウモロコシ、コメに不足しているリシンを充足しており、WHO/FAO/UNUが推奨する幼児を対象とした理想的なアミノ酸パターンを基準とすると、アミノ酸価は90に近い[11,12]。動物性タンパク質のアミノ酸価（100）と比べ、その栄養価の高さがわかる。生物価（体内に吸収された窒素量に対する体内に保留した窒素量の百分率）は73.0（非加熱）で、加熱調理加工（フレーク、ポップ、ローストなど）すると86～88に上昇し、牛乳カゼインの生物価（95～97）に近い。

アマランサスの貯蔵タンパク質はグロブリンであり、等電点5.0、分子量約44万の４種類のサブユニットから構成される[13]。このグロブリンは熱に安定で強い乳化活性を有する[14]。またアマランサスには、種（species）に関わらず、特異的なタンパク質（アルブミン-2）が存在する[15]。すなわち、穀類の粉末試料からタンパク質を抽出する場合、まず水でアルブミンが、次いで食塩水でグロブリンが抽出される。通常、アルブミンとグロブリンの抽出はこの段階で終了するが、アマランサスではグロブリン抽出後、再び水で抽出されるタンパク質が現れる。この奇妙な抽出のされ方をするタンパク質は調べた限りキヌア、ソバ、トウモロコシ、大麦などには検出されない[16]。その後の研究で、アルブミン-2はプロテインボディ（タンパク質顆粒）に局在し[17]、グロブリンによって包含されていることが示唆された[18]。

3）脂質

脂質含量は約6%で、トリアシルグリセロール（中性脂肪）がほとんどである（表1）。TGの構成脂肪酸の約50%はリノール酸であり、他の穀物油の構成脂肪酸と類似している。特筆すべきは、アマランサス油には、スクアレンが約7%ふくまれていることである。オリーブ油（0.4%）、トウモロコシ（0.03）、ピーナッツ（0.03）などの植物

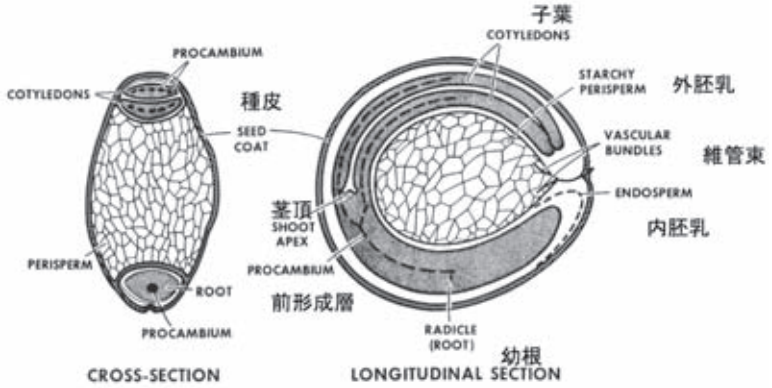

図２　アマランサスの種子の構造

油と比べると桁違いに多い。スクアレンは自然界ではサメの肝油に多量（脂質の約 90%）に含まれ、サプリメント、保湿剤など化粧品に使われているほか、ステロイド薬品の製造原料としても利用される。スクアレンはまた、免疫力を高め、抗ガン作用としても注目されている [19]。なぜアマランサスにスクアレンが多く含まれるかは明らかでない。また、アマランサスは、トコフェロール・トコトリエノール・植物ステロールも多く含有し、コレステロールを下げる機能性脂質が３拍子揃っている。他の植物にはみられない。アマランサス油の摂取は、動物試験により血漿コレステロールを下げる効果がある [20]。

4）炭水化物

炭水化物のほとんどは澱粉であり、種子重量の約 65% を占める。栄養学的には無関係であるが、アマランサスにはウルチ種とモチ種の区別があり、双子葉類ではたいへん珍しい。ウルチ（優性）とモチ（劣性）の分離はメンデルの分離の法則に従う。筆者らは、遺伝子型の異なるウルチ種（Wx／Wx）、モチ種（wx／wx）およびそれらの雑種（Wx/wx）種子を入手し、単離した澱粉のアミロース含量を測定してみると、それぞれ 17%、0%、11% であった。また、それらの澱粉粒に結合した澱粉合成酵素（アミロース合成酵素＝Wx-タンパク質）の量（SDS-PAGE 法）もアミロース含量に比例していることから、Wx 遺伝子は Wx-タンパク質およびその生産物アミロース量を支配していることが裏付けられた [21]。澱粉粒のＸ線回折図形はすべてＡ型であり、他の穀類澱粉と同様である。澱粉粒は微小（直径約１μm）ゆえに、単位重量あたりの表面積が大きいので水分の吸着量が大きい。したがって、ベビーパウダーのような工業製品としての用途も議論されている [22,23]。

5）ビタミンとミネラル

アマランサス種子の水溶性ビタミンで注目されるのは葉酸（130 mg/100g）である。玄米（27mg/100g）、小麦（38mg/100g）、トウモロコシ（28mg/100g）に比べるとかなり高い。豆類（100-200 mg/100g）と同レベルである。加熱処理（ポッピング）によってもほとんど分解されない [24]。葉酸は胎児の神経管閉鎖障害のリスク低減や、心疾患・脳血管障害予防などに有効なビタミンである。アマランサス種子を発芽させると、リボフラビン（ビタミン B_2）やアスコルビン酸（ビタミン C）は有意に増加する。脂溶性ビタミンでは、α-トコフェロール（ビタミン E）含量は 1.3 mg/100g であり、小麦および玄米と同レベル（1.2 mg/100g ）である。トコフェロールの同族体であるトコトリエノールはコレステロールを下げる効果がある [25]。

アマランサス 100g 中の各種ミネラル含量は、Ca（160 mg），Mg（270 mg），K（600 mg），P（540 mg），Fe（9.4 mg），Zn（5.8 mg）であり（表 1）、ほぼ大豆に匹敵する。著者が行ったエネルギー分散形Ｘ線マイクロアナリシスによると、Mg, K, P は胚芽組織に局在していることが分かった [26]。P は、細胞内のプロテインボディ（タンパク質顆粒）に封入されているフィチン酸（イノシトール-6-リン酸）に由来し、Mg と K はそのフィチン酸と結合した形（フィチン態）で存在していることが推測される。この結合型ミネラルは小腸で吸収されにくい。しかし、発芽させるとフィターゼによってミネラルは遊離型となり吸収されやすくなる。一方、Ca はほとんど種皮および外胚乳と胚との境界域に分布していたことから、細胞壁多糖ペクチン分子同士との架橋構造に関与していることが示唆された [26]。

表２　穀類の一般成分値

	穀物名	蛋白質	脂質	炭水化物	灰分	K	Ca	Mg	P	Fe	Zn	総食物繊維
擬穀物	アマランサス（玄穀）	12.7	*6.0	64.9	2.9	600	*160	*270	*540	9.4	*5.8	7.4
	キヌア	*14.6	5.6	64.4	*3.4	*927	149	250	384	*13.2	4.4	*13.4
	ソバ米	9.6	2.5	73.7	1.4	390	12	150	260	1.6	1.4	2.7
雑穀	アワ（精白粒）	11.2	4.4	69.7	1.4	280	14	110	280	4.8	2.5	3.3
	キビ（精白粒）	11.3	3.3	70.9	0.7	200	9	84	160	2.1	2.7	1.6
	ヒエ（精白粒）	9.4	3.3	73.2	1.3	240	7	58	280	1.6	2.2	4.3
	モロコシ（玄穀）	10.3	4.7	71.1	1.9	590	16	160	430	3.3	2.7	9.7
	オート麦	13.7	5.7	69.1	1.5	260	47	100	370	3.9	2.1	9.4
	大麦（七分つき押麦）	10.9	2.1	72.1	0.9	220	23	46	180	1.3	1.4	10.3
主要穀類	トウモロコシ（玄穀）	8.6	5.0	70.6	1.3	290	5	75	270	1.9	1.7	9.0
	小麦（玄穀、国産普通）	10.6	3.1	72.2	1.6	470	26	80	350	3.2	2.6	10.8
	玄米	6.8	2.7	74.3	1.2	230	9	110	290	2.1	1.8	3.0
	精白米（うるち米）	6.1	0.9	*77.6	0.4	89	5	23	95	0.8	1.4	0.5

*各項目の最高値。単位：無機質は mg/100g、その他は g/100g。キヌアは Koziol（1992）より、その他は七訂日本食品成分表より。

6）食物繊維・その他

品種によって変動があるが、総食物繊維量は概ね 7%である（表 1）。このうち水溶性食物繊維の占める割合は約 15%である。フィチン酸含量は 0.3-0.6%であり、コメ（0.1-0.14%）よりも多いが、小麦やトウモロコシよりも少ない。ポリフェノール含量（2-4 mg/g）は大豆（0.1-3 mg/g）よりも多い。トリプシンインヒビター（300-5100 U/g）は小麦より少ないし、加熱すれば失活するので問題とならない[27]。アマランサスのサポニンは 4 種のトリテルペンをアグリコンとして有し、その含量（0.1%以下）は豆類よりも少ない。発芽させると一過性に増加するが、毒性はほとんど問題にならない[28]。

7）生理活性成分と生体調節機能

アマランサス種子を添加した食餌で動物を飼育すると、血漿コレステロールを下げる効果があることが報告されている。この効果には食物繊維、脂肪酸組成、トコトリエノール（ビタミン E の同族体）などが関与しているらしい。また、アマランサスと他の穀物との組み合わせによって、耐糖性が向上し、糖尿病患者食としての利用を提唱する報告もある。このほか、Ig M 産生促進効果、白血病細胞の分化誘導作用とマクロファージ活性化、抗菌ペプチド、血圧上昇に関わるアンジオテンシン変換酵素の阻害ペプチドなどの生理活性物質[28]や抗酸化活性[29]が報告されている。また、アマランサスはグルテンを含まないので、グルテンに敏感なセリアック病患者の代替食の一つとして注目されている[30,31]。

8）アマランサスの加工食品

食品はいくら栄養や生理機能があってもおいしくなければ誰も食べない。おいしく食べられるレシピや加工法は、新しい食材の普及には重要である。アマランサス種子はコメのように搗精しない（小さすぎてできない）。全粒（whole grain）を利用するため食物繊維やミネラルの損失がなく、肥満、糖尿病、心疾患を予防する食材として広く受入れられている。粒はそのままピラフや粥、例えば米とともに炊飯できる。あるいは、粉にして小麦粉と混ぜて、パン、ケーキ、クレープ、クッキー、クラッカー、トルティーヤ、麺に利用できる。これらは小麦粉やトウモロコシに不足するリジンが付加されるので栄養価が向上する。また、モチ性のアマランサス種子は、蒸篭で蒸してから餅をつくることもできる。

アマランサスの加工でおもしろいのは、加熱するとポップコーンのように爆ぜることである。香ばしい香りがする。みかけの体積は約 7 倍に増加する。一般にポップ種子をトッピング、朝食シリアルに、あるいはシロップを加えて固めた菓子（メキシコの alegria、インドの Ladoos）に利用される[32]。熱鍋でポップさせる伝統的な方法は、熟練しないと熱の伝わり方が不均一になり、未爆裂のものが生じたり、逆に過熱で炭化したりする。そこで、熱工学が専門の伊與田浩志教授（大阪市立大学工学部）らとの共同研究で、熱風を利用した流動床型装置を開発した[33,34,35]。この方法（約 240℃、数 10 秒間）ではポップ率 100%、みかけの膨化率は約 8 倍であった。この装置でポップさせたアマランサス種子の水溶性ビタミン（リボフラビン、ナイアシン、葉酸、B6、ビオチン、パントテン酸）含量は、ポップ前の種子とほとんど変わらない[36]。熱に弱いとされる水溶性ビタミンだが、ポップするまでの時間が短いので、ほとんど分解されなかったと考えられる。ポップ処理はアマランサスの栄養価を損ねない、簡便な加工法といえる。

9）バイオマス

ある試算によると、1 ヘクタールあたりの種子の収量が 2-4 トンの場合、収穫後の葉は 30 トン、茎は 600 トンもとれるという。これらは家畜の餌のほか、乾燥させて茎に含まれるセルロースやヘミセルロースはバイオ燃料の原料となる[37,38]。

4　飢餓と肥満と食料安全保障

前項で紹介したように、アマランサスはそのすぐれた栄養機能、生体調節機能、加工特性を持っている。これらを活かすことができるか否かによってアマランサスは評価される。その検証のまえに、世界の食料安全保障について少し触れておきたい。

1996 年世界食料サミットでの食料安全保障は、『食料安全保障は、すべての人がいかなる時にも、彼らの活動的で健康的な生活のために、必要な食生活上のニーズと嗜好に合致した、十分で、安全で、栄養のある食料を物理的、経済的に入手可能である時に達成されるものである』と定義され、現在広く受入れられている。食料安全保障の考え方はもともと、アフリカで食料危機が起きた 1970 年代、食料供給に重点を置いた国家の食料安全保障（注１）が焦点だった。しかし、上述の定義にみられる『活動的で健康な生活のために』は、低栄養の人たちに限らず、過栄養の人たちをも対象とすべきではなかろうか。

（注１）デュポン社／英国の調査機関、『エコノミスト・インテリジェンス・ユニット（EIU）』は食料安全保障を数値化している。世界各国の食料安全指数（Global Food Security Index）がある。食料安全保障の柱である、「食料価格」「入手・利用のしやすさ」「栄養価」「安全性」などのデータを分析して算出し

た指標である。そのもとになるデータとは、公式に開示されている各国の統計や数値で、「家計に占める食費の割合」、「一人あたりの国内総生産」、「農産物の輸入関税」、「食料の輸入依存度」、「農業分野の公的研究開発費」、「食の安全性」、「食品価格を決定する要因」などである。総合点（100 点満点）でランク付けすると、2015 年の第１位はアメリカ（89.0）、２位はシンガポール（88.２）、３位アイルランド（85.4）と続き、10 位までは欧米諸国で占める。日本は 21 位（77.4）で、最下位（109 位）のブルンジ（25.1）に至る下層にはアフリカ諸国が連なる。

現に、世界の人口（約 70 億人）のうち肥満人口は 8 億人以上と推定され、飢餓人口ほぼ同数だといわれる[39]。従来、飢餓は途上国、肥満は先進国の問題といわれていたが、食のグローバリゼーションにより、同一国内に飢餓と肥満が同居するようになった。この現象は途上国に限らず、たとえばアメリカのような先進国の低所得者層でも肥満者数が増加し、健康を損ねている人が増えている。彼らは一日の必要なカロリーを手っ取り早く満たすため安価で高カロリーのハンバーガー等に手を出さざるを得ないのだという[40]。このように、一国における貧困層と富裕層との間でみられる経済格差が人々の思想、生活観、食習慣を変え、健康格差を生じる原因となり、その国の食料安全保証の考え方や課題を複雑化している。

5 アマランサスと食料安全保障

これまで述べてきたように、アマランサスのすぐれた栄養機能および生体調節機能は、飢餓（低栄養）と肥満（過栄養）の両方に貢献する可能性を持っている[41]。しかし、世界の現実はどうであろうか？　以下に「飢餓対策」、「飢餓と肥満対策」、そして「肥満対策」の 3 つのケースについてアマランサスの果たす可能性について私論を述べたい。

1）飢餓対策

FAO の食料危機最新情報（2013 年）によると、外部からの食料支援を必要としている国は、レソトほか 36 カ国（アフリカ 28 カ国、アジア 6 カ国、カリブ海諸国 2 カ国）あり、作物生産の見通しが好ましくない国が 1 カ国（ナミビア）ある[42]。ほとんどがアフリカのサブ・サヘル地帯の国々である。その背景には、干ばつによる不作、長引く紛争、食料・燃料の高騰などさまざまである。いずれにせよ問題は深刻であり、緊急な食料支援が必要である。その際、現地の人々の栄養失調を緩和し、解放するには現地の人たちの食習慣に適合した食料の供給が必要である。アマランサスは量的に多くは供給できないだろうが、小麦などの穀物と同時に摂取することによって、必要なカロリーとタンパク質が供給され、栄養改善に大きく貢献できる。

2）飢餓と肥満対策～メキシコの場合

メキシコでは飢餓と戦っている人々が多い。Godoy[43]によると、約 80 万人の低栄養の幼児がおり、毎年約 1 万人の子供が栄養失調で死亡している。メキシコの最も貧しい地方自治体である南部の Chiapas, Guerrero, Oaxaca の 3 州では少年少女の 80%が栄養不良だという。しかし、ある研究者が行った介入試験では、1 日 25g のアマランサスを 5 ヶ月以上摂取すると、栄養状態が改善されたという。

一方、ファーストフーズに安易に手を出すために、この国では子供も大人も肥満者が多い（大人の 33%が肥満）。13 歳の少年が心臓病で死亡したというニュースもある。先述したように、アマランサスは全粒（whole grain）を利用するため、肥満など生活習慣病予防に効果が期待される。

メキシコでは、オアハカ州（メキシコの中でも貧困者が多い）のアマランサス支持団体 Puente a la Salud Comunitaria 等がアマランサスの普及活動を行っている[44]。しかしアマランサスのよさを知っている消費者は少ないという。また、農民たちはトウモロコシを植えるよりアマランサスを植える方が高収入を得られること（注２）を知っているにもかかわらず、アマランサスの導入には及び腰だという。その理由はトウモロコシを栽培する方が確実に収入を得られるからである。仮にアマランサスの栽培を始めても、よい収量を得るには 2-4 年はかかり、それまで待てないのが現実のようだ。このように、アマランサスの原産地であるメキシコにおいて、復活したアマランサスが再び忘れ去られつつあることが危惧され、今後の成り行きが注目される。ただ、最も警戒すべきことは、アマランサス・バブルにならないことである。バブルよって価格が上昇すれば、輸出品目になったとしても、地元民は誰も買わないだろう。バブルが弾けた後、価格が下落すれば生産中止に追い込まれるであろう。このように考えると、アマランサスのような低利用食料資源の需要は徐々に右肩上がりが望ましい。

（注２）もともと経済作物（換金作物）とはリスクを伴うものである。藤田弘夫氏は次のように述べている。『農民は農耕によって自らの労働の価値を高めようとすると、それは農産物の量だけでなく、質に求めざるを得ない。農民は自己の生活の向上を願おうとすればするほど、そのエネルギーを高い価値を持つ農産物の生産へと振り向けていくことになる。価値の高い農産

物とは、とりもなおさず不作になりやすい農作物なのである。不作への危険を回避しようとすると、労働の対価は低くなる。つまり農民は過剰生産と不作という、相反する危険の中で、自らの目標を定めながら農業に従事しているのである』。藤田弘夫、「都市の論理」、中公新書（1993 年）

3）日本におけるアマランサス

お金さえあれば食料を自由に入手できるわが国ではアマランサスがなくても食生活は成り立つ。栄養不足ではなく、むしろ過栄養（肥満）対策にアマランサスを考えてみてはどうか。健康志向の強い日本では、アマランサスは他の雑穀と同様、健康によい食品として認識されている[45,46]。多種多様な健康食品が市場にあふれている中で、今後消費が伸びるかどうかは不明だが、米や小麦の消費を凌駕するとは考えられない。二次的な経済作物、すなわちニッチ市場での新たな付加価値を持った製品開発に期待がかかる。高齢者・小児用の栄養食品、学校給食、美味しさを追求したレシピ・加工法、高品質のアイデア食品の開発が期待される。これらの一部はすでに実施されている。岩手県、長野県ではアマランサスを栽培し、加工食品を製造販売、産官学が連携して地域振興に役立てている。岩手県は、県内産のアワ、キビ、ヒエ、アマランサスをブランド化する戦略を展開している。長野県伊那市では研究会をつくり、地元の学校給食のメニューにも取り入れられている。また、遊休農地の有効利用、新たな観光資源の創出、栽培の拡大事業を展開している。

非食料源としては、アマランサスは飼料、バイオマス、バイオエタノールなどの原料（既述）に使えるであろう。また、地域振興、スローフード、食農育への活用も期待できる。

わが国がアマランサスを通じて世界の食料安全保障の向上に貢献できるとすれば、栽培方法の指導、マルチカルチャーの普及活動、新品種の開発技術の指導、食品加工技術などの提供と支援、栄養指導、医療などの後方支援であろう。また、地域振興、健康的なまちづくり、グリーンツーリズム、フードツーリズムなどへの波及効果も期待できるので、間接的に途上国の人たちの食料安全保障の向上につながることを期待したい。

6　結論

(1) アマランサスは、干ばつに強く、成長が早い作物である。
(2) アマランサスは必須アミノ酸バランスがよく栄養価が高い。また、カルシウム、鉄などミネラルが豊富なので幼児の栄養改善に貢献する。
(3) アマランサスは必須アミノ酸バランスがよく栄養価が高い。また、カルシウム、鉄などミネラルが豊富なので幼児の栄養改善に貢献する。
(4) アマランサスは、農業おける多様性を推進し、モノカルチャーを補完することによって、食料安全保障を高める。

付記

本論文のタイトル「アマランサスの食品栄養学的研究から見えてくるもの」は、冒頭で述べたように、世界の食料安全保障の面からアマランサスという低利用食料資源を検証することが目的であると述べたが、十分に論じ得ず、針小棒大な議論であったかもしれない。むしろ、このタイトルの意図は自分の研究が当該分野のどの位置にあるかを見極めること、そしてそれを原点として、自分自身の研究テリトリーと食料問題への関心という 2 つの異なる次元をどのように関係づけながら方向性を示せるかという、自分自身への問いかけでもある。自分で自分を苦しめる羽目になるかもしれないが、研究者なら誰もが自問する「自分が本当にやりたい研究とは何か」ということを意識し実行しようとしているに過ぎない。

私は 1981 年本学に助手として赴任した早々、恩師である不破英次教授（当時食品化学講座）からゴマ粒ほどのアマランサス（*Amaranthus*）の種子を手渡された。当時農水省から客員研究員として来られた奥野員敏博士にはアマランサスの作物のことや植物遺伝学を教授していただき、論文作成の際もたいへんお世話になった。その後、途中中断はあったものの、アマランサスやキヌアの特性を引き出し、スポットライトをあてることを念頭に基礎的研究を行ってきた。しかし、アマランサスに手を出した以上は食料問題に関わらずに通れないと思うようになった。それで私なりに食料問題に関する書物を片っ端から手にしたのだが、あまりにも大きなテーマなのでどういう関わり方をすればよいのか分からなかった。乱読（途中で読むのをあきらめた本も含む）の末、「目から鱗」のような書籍が、デルブーシュ氏の「世界の食料・農業」[47]と小山鐵夫先生の「資源植物学」[48]の 2 冊であった。前者は入門書であるが、食料のグローバル化の歴史的な背景、食料をめぐる南北問題の流れ、今私たちができることの提案について解説されており、私の視野を広めてくれた。後者は、資源植物という概念、資源植物のインベントリー（育種材料、植物産業材料、植物資源の再生産の維持等に役立てる目的で、植物の形

態、分布、細胞遺伝学形質、成分、系統的類縁性、用途を記録・整理すること）の重要さ、遺伝子プールの保存など、各論として未開発・低開発植物資源の研究方法の紹介など、今まで知らなかった研究の世界があることを知った。

アマランサス研究の視野を広げるという意味では、中国との関わりが大きい。初めて中国を訪れたのは、95 年アジア栄養学会議（北京）であった。この時、片山洋子先生（大阪市立大学名誉教授）の紹介で中国アマランサスの育ての親、岳紹先・孫鴻良両教授（ご夫婦、中国農業科学院）と知り合った。97 年アマランサス学術研究会（北京）での招待講演後、孫先生とともに雲南省姚安を訪問した。初めて目にしたアマランサス畑は静寂で、ずっしりと大きな穂をつけたアマランサスの姿にとても感動した。また、当地の人々の暮らしを垣間みたことや醸造企業を視察することができたのも印象的であった。帰国後すぐに旅行記ならぬエッセイ [49] を雑誌に寄稿した。その拙文を読まれた坂本國継氏（元佐賀県農業大学校長）は、アマランサスにも造詣が深く、翌 98 年同氏とともに国際雑穀学会（山西省・太原）に参加した。同学会の後、訪問した貴州省のアマランサス畑や少数民族の人たちとの交流は楽しく、今となっては懐かしい。この頃から中国からの留学生も受入れるようになった。2001 年 9 月、大学院生らと黒龍江省ハルピンの東北農業大学、鉄力市のアマランサス農場を訪問し、中国南部とは風土も文化も異なることを肌で感じた。帰国前日、ニューヨーク同時テロのニュースが飛び込んできた。2004 年、上海科技大学で実施した雑穀に関する調査には同大学の王花田先生にお世話になった。その翌 05 年２月、極寒の北京市の中国農業科学院と上海水産大学で講演する機会を得た。

97 年アマランサス研究会が設立されて以来、多くの産官学の研究者と出逢ったのも刺激的だった（一人一人お名前を挙げることができないことをご了承ください）。岳紹先・孫鴻良両教授は二度大阪市立大学に来られた。岳先生は英語が堪能で生真面目な性格であるのに対し，孫先生は何事にも動じない大陸的なお人柄であった。道楽の気分でアマランサスのポップ装置の開発の相談を伊與田浩志先生（大阪市立大学工学部教授）は二つ返事で承諾していただいた。また、熱工学の基礎の基礎を教わった。90 年代に始めたキヌアの研究は、平野茂氏はじめ同氏の所属する大日本明治製糖（株）の研究者との共同作業であった。

振り返ってみれば、多くの人たちを知り合うことができ、私にとってアマランサスという種子は童話「ジャックと豆の木」以上の「話の種」になった。

最後になりましたが、恩師不破先生（故人）には研究の門を開いていただいた。深くお礼申し上げます。そして卒論・修論ガイダンスの時、「アマランサスはおもしろいで」と私の勧誘に応じ、結果を出してくれた学生・院生の皆さんにお礼申し上げます。

＊本寄稿は最終講義（2015 年 3 月）の内容に基づき加筆したものである。

参考文献

1) Vietmeyer, N. D.: Lesser-known plants of potential use in agriculture and forestry, Science, 232,1379-1384 (1986).
2) National Research Council: Underexploited Tropical Plants with Promising Economic Value, National Academy Press, Washington, D.C. (1975).
3) 国連世界食料安全保障委員会専門家ハイレベル・パネル：家族農業が世界の未来を拓く～食料保障のための小規模農業への投資、農文協（2014）.
4) M.E. ウェバー：省エネしながら食糧増産、日経サイエンス、21012 年 4 月号, pp.98-104.
5) M.E. ウェバー：地球の最適解を探る，日経サイエンス 2015 年 6 月号, pp.90-95.
6) J.A. Foley et al.: Solutions for a cultivated planet, Nature, 478, 337-342 (2011)
7) J.A. フォーリー：人口 70 億人時代の食糧戦略，日経サイエンス 2012 年 3 月号, pp.68-74.
8) National Research Council, Amaranth: Modern Prospects for an Ancient Crop, National Academy Press, Washington, D.C. (1984).
9) Downton, W. J. S.: Amaranthus edulis: A high lysine grain amaranths, World Crops, 25, 20 (1973).
10) 日本特産農作物種苗協会:雑穀の生産状況、特産種苗 No. 22 (2016).
11) Segura-Nieto, M., Barba de la Rosa, A. P. and Paredes-Lopez, O.: Biochemistry of amaranth proteins, in Amaranth: Biology, Chemistry, and Technology, ed. O. Paredes-Lopez, CRC Press, Boca Raton, pp. 75-106 (1994).
12) Becker, R. and Hanners, G. D.: Compositional and nutritional evaluation of quinoa whole grain flour and mill fractions. Lebens. Wiss. u Technol.,

23, 441-444 (1990).

13) Konishi,Y.. Fumita,Y., Ikeda,K., Okuno,K., and Fuwa, H.: Isolation and characterization of globulin from seeds of Amaranthus hypochondriacus L., Agric. Biol. Chem., 49,1453-1459 (1985).

14) Konishi, Y. and Yoshimoto, N.: Amaranth globulin as a heat-stable emulsifying agent, Agric. Biol. Chem., 53, 3327-3328 (1989).

15) Konishi,Y., Hosokawa,K., Oku,Y., Azumaya,J., and Nakatani,N.: Extraction of two albumin fractions from amaranth grains: Comparison of some physicochemical properties and the putative localization in the grains, Agric. Biol. Chem., 55, 2745-2750 (1991).

16) Konishi,Y., Azumaya,J., Hosokawa,K., and Nakatani,N.: A pitfall in determining the globulin/albumin ratio in amaranth grains, J. Nutr. Sci. Vitaminol., 38, 215-220 (1992).

17) Konishi,Y., Nakamura,R., Sugimoto,Y., and Fujimori, K.: Transmission electron microscopy of protein bodies in the Amaranthus cruentus seed embryo, Biosci. Biotechnol. Biochem., 59,2140-2142 (1995).

18) Nakamura,R., Konishi,Y., Kojima,A., and Nakatani, N.: Globulin and albumin-2 associated with protein bodies in Amaranthus cruentus seeds, Biosci. Biotechnol. Biochem., 62, 1231-1233 (1998).

19) Reddy, L. H. and Couvreur, P.: A natural triterpene for use in disease management and therapy, Adv. Drug Delivery Rev., 61,1412-1426 (2009).

20) Qureshi, A.A. Lehman, J. W., Peterson, D. M.: Amaranth and its oil inhibit cholesterol biosynthesis in 6-week-old female chickens, J. Nutr., 126, 1972-1978 (1996).

21) Konishi,Y., Nojima,H., Okuno,K., Asaoka,M., and Fuwa, H.: Characterization of starch granules from waxy, nonwaxy, and hybrid seeds of Amaranthus hypochondriacus L., Agric. Biol. Chem., 49,1965-1971 (1985).

22) 小西洋太郎：センニンコクの食品栄養学、大阪市立大学生活科学部紀要、36, 13-25 (1988).

23) Lopez,M.G., Bello-Perez, L.A., and Paredes-Lopez, O.: Amaranth carbohydrates, in “Amaranth: Biology, Chemistry, and Technology”, ed. O. Paredes-Lopez, CRC Press, Boca Raton, pp. 107-132 (1994).

24) Murakami,T., Yutani,A., Yamano,T., Iyota,H., and Konishi, Y.: Effect of popping on nutrients of amaranth seeds, Proceedings of the 6th International Conference of the European Amaranth Association, Nitra, Slovak Republic, pp.51-54 (2012).

25) Lehmann, J., Putnam, D.H., and Qureshi, A.A.: Vitamin E isomers in grain amaranths (Amaranthus spp.), Lipids, 29,177-181 (1994).

26) Konishi, Y., Takezoe, R., and Murase, J.: Energy dispersive X-ray microanalysis of element distribution in amaranth seed, Biosci. Biotechnol. Biochem., 62, 2288-2290 (1998).

27) Guzman-Maldonado, S. H. and Paredes-Ropez, O.: Functional products of plants indigenous to Latin America: Amaranth, quinoa, common beans and botanicals, in “Functional Foods”, ed. Mazza, G., Tecnomic Publishing Co. Inc., Lancaster, pp.293-328 (1998).

28) 小西洋太郎：擬穀物アマランサス、キノアの栄養特性とアレルギー代替食品への応用、日本栄養・食糧学会誌、55,299-302（2002）

29) Nsimba, R. Y., Kikuzaki, H. and Konishi, Y.: Antioxidant activity of various extracts and fractions of Chenopodium quinoa and Amaranthus spp. seeds, Food Chem., 106, 760-766 (2008).

30) Tosi, E. A., Ciappini, M. C. and Masciarelli, R.: Utilisation of whole amaranthus (Amaranthus cruentus) flour in the manufacture of biscuit for coeliacs, Alimentaria, 34, 49-51(1996).

31) Alvarez-Jubete, L., Arendt, E. K. and Gallagher, E.: Nutritive value of pseudocereals and their increasing use as functional gluten-free ingredients, Trend Food Sci. Technol., 21,106-113 (2010).

32) Tovar, L. R., Valdivia, M. A. and Brito, E.: Popping amaranth grain, state of the art, in “Amaranth: Biology, Chemistry, and Technology”, ed. O. Paredes-Lopez, CRC Press, Boca Raton, pp. 143-154 (1994).

33) 伊與田浩志、小西洋太郎、（株）アミスタ：熱処理装置、特許第 5117695 号（2012）.
34) Konishi,Y., Iyota,H., Yoshida,K., Moritani,J., Inoue,T., Nishimura,N., and Nomura, T.: Effect of moisture content on the expansion volume of popped amaranth seeds by hot air and superheated steam using a fluidized bed system, Biosci. Biotechnol. Biochem., 68, 2186-2189 (2004).
35) Inoue,I., Iyota,H., Uemura,T., Yamagata, J., Konishi,Y., and Tatemoto, T.: Optimal Conditions for Popping Amaranth Seeds, Drying Technology, 27, 918-926 (2009).
36) Murakami,T., Yutani,A., Yamano,A., Iyota,H., and Konishi, Y.: Effects of Popping on Nutrient Contents of Amaranth Seed, Plant Foods for Human Nutrition, 69, 25-29 (2014).
37) Viglasky, J., Andrejcak, I., Huska, J. and Suchomel, J.: Amaranth (Amaranthus L.) is a potential source of raw material for biofuels production, Agro.Res., 7,865-873 (2009).
38) Sitkey, V., Gadus, J., Klisky, L., and Dudak, A.: Biogas production from amaranth biomass, Acta Regionalia et Environmentalica, 2, 59-62 (2013).
39) P. ピンストラップ-アンダーセン、F. チェン：それでも 8 億人は餓えている、日経サイエンス、12 月号、pp. 70-78 (2007).
40) 堤未果：ルポ貧困大国アメリカ、岩波新書 (2008).
41) 小西洋太郎：アマランサス：古代の高栄養食品は食料安全保障を高めるか？　国際農林業協力，35, 12-21（2013）.
42) 世界の農林水産、通巻 831 号,20-25 (2013).
43) Godoy, E.: Can amaranth fix Mexico's dual dietary disasters? Inter Press Service, http://www.ipsnews.net/2010/05/can-amaranth-fix-mexicos-dual-dietary-disasters/ (2010).
44) Howard, B. C. : Amaranth: Another ancient wonder food, but who will eat it? National Geographic Daily News, Aug.12. (2013).
45) 真鍋久：雑穀ブームの背景を探る、日本調理科学会誌、38,440-445(2005).
46) 川西正子、王化田、小西洋太郎：雑穀に対するイメージと消費形態に関する調査、生活科学研究誌、5,51-58 (2006).
47) デルブーシュ：世界の食料・農業 Q & A、農文協（1990）.
48) 小山鐵夫：資源植物学、講談社サイエンティフィク（1984）.
49) 小西洋太郎：中国アマランサス事情、食の科学、通巻 239 号 46-57（1998）.