

強化米

山本憲朗²・柴田克己¹

Fortified rice

YAMAMOTO Norio and SHIBATA Katsumi

Key Words : nutrition improvement, rice, vitamin

和文抄録：おいしい白飯を主食とするには、栄養学的に根本的な欠陥がある。主成分である糖質からエネルギーを獲得するときに必要な生体触媒であるビタミン B₁ が足りない。強化米は、栄養が貧困であった時代に、エネルギーの主要な給源となっている穀類に不足する微量栄養素を補足するという考えのもとで開発され、広く普及した。日本では食生活が豊かになるとともに強化米の利用は減少したが、微量栄養素を継続して摂取することが可能であるとして、強化米は見直されつつある。世界に目を向けると強化米の普及が急速に進展している。本稿では、強化米の製造法、強化米によるビタミン B₁ 不足の改善、災害時における強化米の活用ならびに葉酸強化米について紹介する。

キーワード：栄養改善、米、ビタミン

はじめに

コメの消費量は減り続けているが、それでも日本における主食が「ごはん」であることは変わらない。古代から死病として恐れられていた脚気は、江戸時代になると、「江戸患い」あるいは「大阪腫れ」とも呼ばれるようになり、裕福な白米多食者で多く発生していた。明治以降に庶民が白米を多食できるようになると患者が一期に増大し、結核と並んで「国民病」とまでいわれた。歴史を振りかえると、日清・日露戦争における「脚気大量発生事件」のように、主食の栄養学的欠陥が国を滅ぼしかねない時期があった。当時はビタミンがまだ発見されておらず、白米多食が原因であることには議論が分かれが、偏った食事が脚気の原因であることが判明し、ビタミンが発見されるに至った。しかし

ながら、すでにビタミン B₁ (VB₁) 欠乏による栄養障害だと判明していた昭和になってもなお、脚気は深刻な医療問題であった(図1)。

第二次大戦後、食糧難で多くの国民が栄養失調状態だった頃、米国での法令による小麦粉やパンへの栄養強化施策や強化食品を使用した大規模な介入試験による成果として、主要穀類への微量栄養素の強化の重要性が紹介された¹⁾。その内容は、「豊かな米国でも穀類への微量栄養素の補給を国策としている。脚気対策で玄米食、七分搗米、胚芽米を推奨しても白米食をやめられない日本において、いかに解決するかは国民保健上重要な課題である」というものであった。昭和27年1月に開催された「第52回ビタミンB総合研究委員会」(現ビタミンB研究委員会)においても、「白米のVB₁強化について種々の議論がなされた」という議事録が残っている²⁾。同席した食糧庁浅見技官から、「現在外米の配給

¹ 甲南女子大学医療栄養学部医療栄養学科

² ハウスウェルネスフーズ株式会社社員

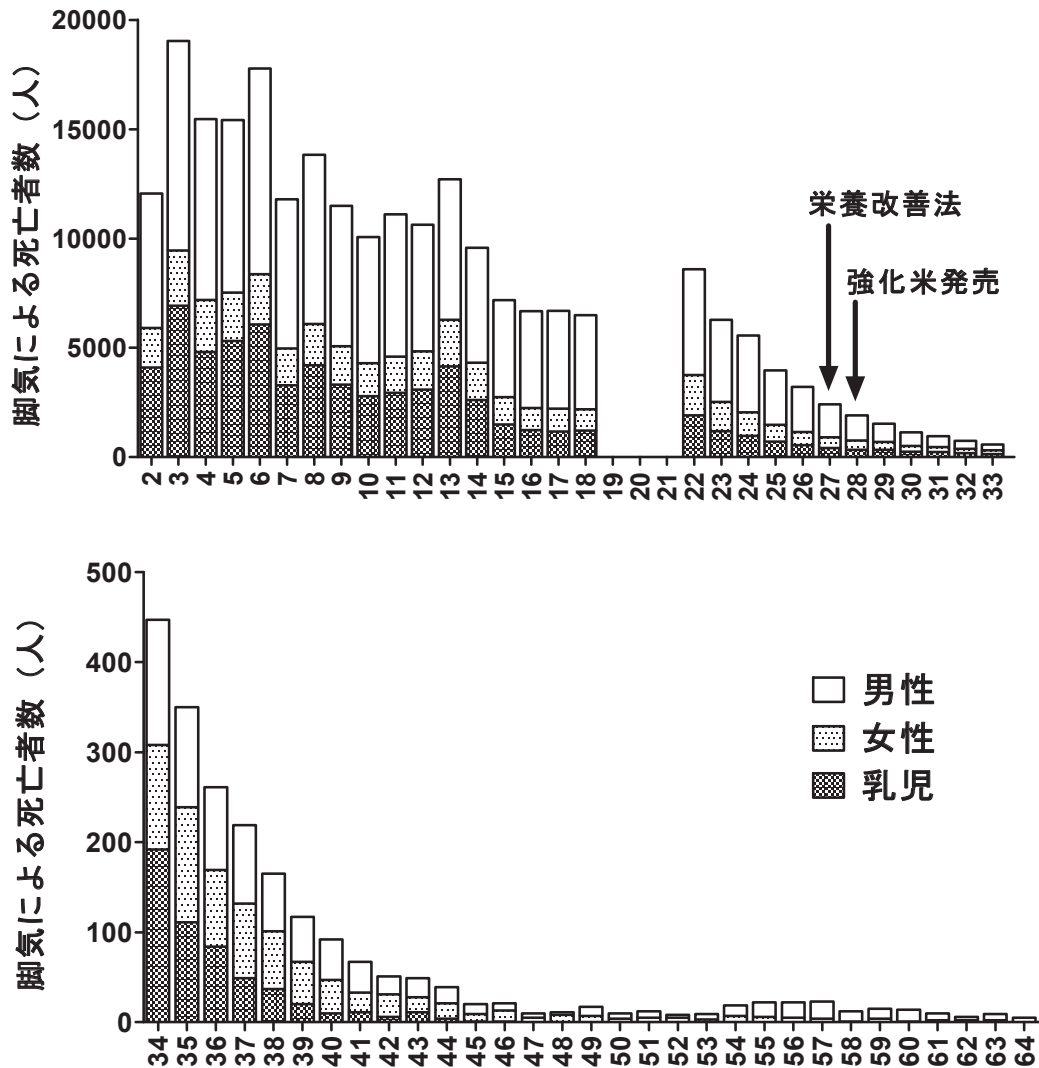


図1. 脚気死亡者の推移。(横軸は昭和の年号)山下⁷⁾が取りまとめたデータをグラフ化

が極めて多い。その大半は完全白米で、コメからのVB₁摂取量は欠乏していると思われる。できるだけ早く結論を出してほしい。我々はそれを尊重する」とのコメントも記載されている²⁾。その結果、米国のような法令による強制的な穀類への栄養強化はなかったが、日本における栄養改善施策は、昭和27年に施行された栄養改善法によって開始され、特殊栄養食品制度によってVB₁強化米は市場にでた。それらの多くは、源泉混入(米穀店が精米にあらかじめ強化米を混入するスタイル)で販売された。

自給率が100%を超えると、コメの流通統制が見直され、米穀販売店以外の量販店やコンビニエンスストアなどでも精米の購入が可能となった。経済成長によって国民の食生活が豊かになり、栄養改善法は健康増進法に引き継がれ

た。このような時代の流れとともに強化米は、消費者が選択して購入する製品のひとつとなった。一方、世界に目を向けると、途上国や貧困層の多い国における有効な栄養改善の手段であるとして、国策として穀類への栄養強化を義務付ける国は年々増加している³⁾。世界保健機構(WHO)は、微量栄養素を米穀に強化することについてガイドラインを策定している⁴⁾。

強化米の製造法

表1に強化米に関する歴史をまとめた。

白米は玄米に比べて食味は優れているが、搗精の過程で糠に含まれるビタミン類を著しく低下する。この欠点を補うため、さらには、日常で不足がちな栄養素を主食で摂取することを目

表 1. 強化米に関する歴史

西暦(邦歴)	強化米に関する出来事	関連法規・その他
1940年代	Hoffmann-La Roche が初の強化米「Premix rice」を開発	
1945 (S20)		太平洋戦争終結
1946 (S21)	京都大学で強化米の研究開始	
1948-1950	フィリピン Bataan 半島での介入試験で脚気減少に奏功	
1951 (S26)	京大で開発した酸浸漬法による強化米製造法の特許取得 Williams による来日講演	
1952 (S27)		「栄養改善法」制定
1953 (S28)	三共・武田・塩野義の製薬三社が酸浸漬法による「ビタライス」、藤沢薬品がコーティング法による「Premix rice」、葛原工業がエクストルージョン法による人造米「ニューライス」を特殊栄養食品として発売	
1955 (S30)	武田薬品がチアミン誘導体ジベンゾイルチアミンを使用した「ポリライス」を発売(酸浸漬法)	
1976 (S51)	学校給食用強化米(武田薬品)	学校給食法施行規則改正(学校給食に米飯を正式導入)
1981 (S56)	武田薬品が酸浸漬法とコーティング法を組み合わせた「新玄」を発売	
1995 (H07)	特殊栄養食品制度廃止(強化米から「厚生省許可特殊栄養食品」の表示が消える) カルシウム強化米「炊き立てカルシウム」発売(武田薬品工業)	「食品衛生法および栄養改善法の一部を改正する法律」制定 「食糧法」制定(「食管法」廃止)
2000 (H12)	学校給食用米を自治体の給食会で直接購入可能となる。	新食糧法の告示改正
2002 (H14)	コメの販売自由化(米穀登録販売店制度廃止。スーパーなどでも精米の購入が可能になる)	「健康増進法」制定 (「栄養改善法」廃止)
2005 (H17)	強化米の製造法をコーティング法のみに変更(酸浸漬法を廃止)(武田食品工業) 「新玄サブリ米 ビタミン・鉄分」「新玄サブリ米 カルシウム米」を発売(武田食品工業)	
2006 (H18)	強化米事業をハウスウェルネスフーズが継承	坂戸市「さかど葉酸プロジェクト」開始
2010 (H22)	「新玄サブリ米・葉酸米」発売(ハウスウェルネスフーズ)	
2018 (H30)	「新玄サブリ米」全3品のパッケージ変更。すべての製品で特定アレルギー不使用とする(ハウスウェルネスフーズ)	

的として強化米が作られた。強化米の主な製造法には以下のようなものがある。パーボイルド法とまぶし法で作られた製品はそのまま使用されるものであるが、強化米の多くはビタミン等を高濃度に含有させたもので、50:1から200:1の割合で精米に混入して使用される。

1) パーボイルド法(Parboiling) —————インドや東南アジアなどで古くから行われている加工法で、籾(もみ)米のまま水に浸漬して水分を吸収させてから蒸煮したものを乾燥し、これを精米(脱籾)する。加熱糊化によって表面が固くなるので籾摺り時の破碎米を減少するとともに、加熱によって虫やその卵を殺すことで虫害を減少することができる。厳密に言えば栄養強化を目的としていなかったが、このコメを食す地域では白米食にもかかわらず脚気が少ないことから注目された。糠や胚芽に含まれる微量栄養素が胚乳に移行してB群ビタミンの含有量の高い精白米が得られるので、現在では栄養学的

意義が認められている⁵⁾。古典的な方法では腐敗して品質を落とすことがあるので、近代的な工場ではさまざまな改良法が採用された。1940年頃に米国で開発されたConverted Riceは、常温で浸漬した籾米を浸透促進のため容器内で減圧脱気し、次いでオートクレーブで加圧蒸煮し、そのまま同一の蒸煮缶のなかで乾燥される。従来のパーボイルド法に比較して浸漬および加熱の時間が著しく短縮され、高圧蒸気滅菌を経ているので衛生面でも優位性があり、通常の精米を炊飯するよりも短時間で調理することができる⁵⁾。なお、米国においては規定された量のビタミン強化を義務付けているため、さらにビタミン類を強化されたものが販売されている。

2) まぶし法(Dusting) —————その名の通り、精白米の表面にビタミン混合粉末をまぶして、静電的にコメの表面に付着させる方法である。コメへの栄養強化が義務付けられている米国においてはこの方法の製品がほとんどである。

炊飯や調理前に洗米すると表面の栄養素を流失してしまうため、この方法で強化された製品には「炊飯前に洗わないように」との注意書きがパッケージに表示されている。日本やアジア系民族のように炊飯の前に淘洗(洗米)する文化圏には適さないが、ヒスパニック系民族のようにコメを淘洗しないで調理する文化圏においては問題ない。日本では数量は少ないが無洗米に強化した製品が販売されている。

3) 酸パーボイルド法 (Acid-Parboiling) ——
——パーボイルド法を参考にして、京都大学農学部近藤、満田、岩井らによって開発された⁶⁾。ビタミン類を高濃度に溶解させた酢酸溶液に精白米を浸漬して、蒸煮、乾燥して製造する。初期の国内製造品である「ビタライス」や「ポリライス®」はこの方法で製造された。米粒の内部にまで浸透しているため、手早く淘洗するのであれば、流失量は少なくなる。強化米そのものには酢酸臭が若干残存するが、200:1で精米に混入して炊飯するとほとんど気にならない。昭和の日本においては主流の製造法であったが、現在の日本で本法を使用した製品はない。

4) コーティング法 (Coating) ——濃厚なビタミン溶液に浸漬して米粒にしみ込ませるか、溶液を米粒に吹き付けたあとに、水に難溶のタンパク質やワックス、ガム類などで被膜し、乾燥して製造する。世界初の強化米である「Premix Rice」は本法で製造された。コーティング工程は回転円筒中で行い、回転させながら溶液の散布、加熱空気による乾燥を同時に行う。互いに反応する可能性がある複数の栄養素においては、それぞれ別々に調整した散布液で何層かに分けて多層被膜とすることで、それぞれの成分間の反応を抑制することができる。現在、日本国内で製造販売している強化米は本法で製造されている。

5) エクストルージョン法 (Extrusion) ——
——米粉や砕いた米穀粒およびビタミンとミネラルの混合物から作られた生地を1軸または2軸エクスルーダー(押し出し機)に通すことで強化米形穀物(強化人造米)を作る方法。エクストルーダーは様々な温度で行うことができ、パスタ製造に類似した加熱を行わない cold extrusion (加圧時の発熱で30~40℃)、加熱を行う hot extrusion (60~110℃)に分類される。hot extrusionでは精白米に近い透明度や硬さのものが得られる。ガラス化したデンプン質に栄養素が閉じ込められるため、淘洗による損失が少

なく粒が壊れにくい。現在、世界的には本法が主流となっており、NutriRice™やUltraRice®などに採用されている。

戦後日本における強化米の普及

脚気がVB₁欠乏症であることが確定し、VB₁結晶剤の投与で治療効果を確認できたのは、1930年から1931年にかけて行われたCohenらによる介入試験、また日本においては昭和7年(1932年)のことである⁷⁾。戦後、昭和26年(1951年)2月に米国のWilliams^(注1)が来日して、「米国における小麦粉への栄養強化施策」ならびに「フィリピンにおける強化米の介入試験の結果」について講演している^{1,8)}。当時の米国では小麦粉1kgに対してVB₁ 4.4 mg, VB₂ 2.6 mg, ニコチン酸 3.3 mg, 鉄 28.6 mg (パンに対しても乾燥物換算で同様)を規定し、販売される小麦粉の85%が国策で栄養強化されていた。当時の米国は化学合成のVB₁を年30トン製造しており、大量生産でVB₁が安価になったことも施策を推進した⁸⁾。この施策は、1941年Washingtonでの「国防のための国民栄養会議」によって促進され、政府の食糧栄養審議会、医学会、公衆衛生協会、製粉協会、製パン業者協会などの協力によって、わずか1~2年で実施されたという¹⁾。急速な進展に対して反対する者もかなりいたが、Williamsによると小麦粉およびパンへの栄養強化は非常に歓迎されたとのことであった^{1,8)}。彼は、米糠からの抗脚気因子探索にもかかわったこともあり、米食文化圏の脚気対策に精力的に取り組んでいた。混合するだけの製粉への強化とは異なり、炊飯まで損失しないようにVB₁を米粒に固着させる必要があるためWilliamsも苦勞していたところ、Hohhman-La Roche社によって世界初の強化米「Premix Rice」が開発された。このPremix Riceを使用した大規模介入試験はフィリピンのBataan半島で行われ、多発していた脚気をほぼ撲滅したことをSalcedoらが報告した^{7,9)}。

一方、京都大学農学部において昭和21年(1946年)から米穀の栄養強化に関する研究がなされ、酸パーボイルド法による強化米の製法が完成された⁶⁾。その特許の実施権は社団法人栄養食糧協会に委ねられ、昭和29年(1954年)1月に武田薬品、三共製薬、塩野義製薬から「ビタライス®」として販売された^{7,10)}。翌年には武田薬品がジベンゾイルチアミンを用いることでチアミン臭を軽減した「ポリライス®」を発売し、その後、

日本における主要な強化米となっていた。

Williams の講演と同じ年、「ビタミン B 総合研究委員会」のシンポジウム(昭和 26 年 6 月)で「日本における米への VB₁ 強化の問題」が討議されている²⁾。翌、昭和 27 年 5 月に経済安定本部資源調査会が「食品強化に関する勧告」を経済安定本部総裁(総理大臣)の吉田茂に提出。その二か月後に、「国民の栄養を改善し栄養の確保及び質の向上に資する目的」で栄養改善法(昭和 27 年法律第 248 号)が制定され、当時不足が顕著であったビタミンやカルシウム等 8 種類の栄養成分を強化した特殊栄養食品制度が導入された⁷⁾。その制度のカテゴリーとして日本における「強化米」は発展していった。ただし、米穀への栄養強化については、大学の研究者、企業の技術者、国会議員も交えた「強化米問題」として議論が継続し、白米に添加する行為を受け入れがたい世論や、一部の製薬企業だけの利益につながるなどの理由を考慮して、国として推奨はするが強制はしないということで落ち着いた。現状は、コメの流通を国が統制し、許可制の米穀店が販売していたので、VB₁ 強化米は広く普及し、全盛期の 1960 年代前半には、9 社 13 品の強化米製品が国内市場にあったとのことである¹¹⁾。国内でも小規模な介入試験は行われ、例えば、有本ら¹²⁾は、児童 122 名への集団給食に強化米を 3 カ月間給与して血中 VB₁・尿中 VB₁ の上昇を認め、下腿浮腫などに効果を認めている。

昭和から平成へ

経済成長によって国民が豊かになるにつれ、脚気死者は激減した。強化米も少なからず貢献したと考えられるが、充実した副食を摂取する食生活が国民全体に浸透したことの影響は大きい。所得の増加とともにエネルギーやタンパク質、脂質の摂取量は増加し、昭和 50 年代になると摂取エネルギーの増加はほとんど見られなくなり、食物は量的にほぼ充足された。この頃には VB₁ をはじめとしたビタミン不足は、食生活の向上によってほぼなくなったものと考えられていたが、1973 年頃から西日本を中心に脚気が多発して関心を集めた。また、基礎的ニーズが充足されると付随的価値が求められるようになる。武田薬品工業は新たなコンセプトとして VB₁ 以外の微量栄養素も玄米並みにした新強化米「新玄」を開発した。従来品は酸浸漬法だけで製造していたが、ビタミン E (VE)、カルシウム、鉄

などの水難溶性栄養素も配合する関係上、VB₁、VB₂、VB₆、ナイアシンを酸浸漬法で、VE、カルシウム、鉄をコーティング法で強化するという複合製法を取り入れた。コーティングにあたっては、医薬の総合ビタミン剤の技術を取り入れ、多層コーティングとすることで成分間の反応を低減して各栄養素の安定性を高めた¹⁰⁾。有効性の検証もなされ、小柳ら¹³⁾は、農村部の女性 20 名を対象として新玄を 1 年間摂取させ、血圧の低下とヘモグロビンおよび赤血球の増加効果を確認した。五十嵐¹⁴⁾らは、女子大生を対象として 6 カ月以上、強化米摂取群と非摂取群に分けて介入し、摂取群では血中 VB₁ 量が有意に高く、とくに強化米を摂取していない群では潜在性 VB₁ 欠乏が 36 名中 26 名であったが、強化米摂取群では 26 名中 2 名に過ぎなかったことを報告した。城田ら¹⁵⁾は、農業従事者 60 名を対象とした 6 か月間の強化米摂取による血中 VB₁ とトランスケトラーゼ活性を評価し、コメの摂取量が多くタンパク質エネルギー比が低いグループにおいて改善効果が顕著であることを確認した。なおこれらの試験では強化米を使用しない対照群において、食事調査で算出した VB₁ 摂取量が十分であったにもかかわらず、血中 VB₁ 量が低いことが示されている。すなわち、食事調査における実質的な摂取量については調理損失の考慮が必要である。

武田薬品工業の強化米事業を 2002 年に移譲された武田食品工業は、老朽化した酸浸漬法の設備を更新せず、2005 年にすべての強化米製品群をコーティング法のみで製造することに切り替えた。酸浸漬法を取りやめることによる成分の安定性については、「新玄」で培われた多層コーティングの技術によって品質維持を確保した。家庭用の強化米については、女子栄養大学の石田裕美教授の指導のもと、国民栄養調査の結果と民間調査機関のデータから、現代社会の食生活において不足しがちな栄養素 (VB₁, VB₂, VB₆, パントテン酸, 葉酸, 鉄) を強化したものに改めた¹⁶⁾(表 2)。2010 年には女子栄養大学と共同開発した葉酸強化米(後述)を上市している。

食事摂取基準における VB₁ の推奨量は、エネルギー代謝にかかわることから、チアミン塩酸塩量で 0.45 mg/1,000 kcal として算定している。すなわち、体格や活動量に応じて必要量は変化する。血中 VB₁ レベルが低下すると最大酸素摂取量が低下するため、アスリートにとって VB₁ 摂取は大変重要である¹⁷⁾。日常的に中～高強度

表2. 家庭用「新玄」と葉酸米の組成

		新玄 (1985年)	新玄 (2006年)	新玄サブリ米 (2018年)	葉酸米 (2018年)
<表示成分>	単位				
ビタミン B ₁	(mg/g)	1.5	1.5	1.76	1.87
ビタミン B ₂	(mg/g)	0.06	0.06	0.07	—
ナイアシン	(mg/g)	6.2	6.2	—	—
ビタミン B ₆	(mg/g)	0.08	0.08	0.58	0.67
パントテン酸	(mg/g)	2.34	2.34	1.3-3.1	—
葉酸	(μ g/g)	—	—	100	267
ビタミン B ₁₂	(μ g/g)	—	—	—	3.2
ビタミン E	(mg/g)	1.38	1.38	—	—
カルシウム	(mg/g)	8.0	8.0	—	—
鉄	(mg/g)	1.2	1.2	5.0	—
<製造法>		酸浸漬法 コーティング法	コーティング法	コーティング法	コーティング法

の持久性トレーニングを行うアスリートには、体重 1 kg あたり 7～10 g/日の糖質摂取が推奨されている¹⁸⁾。体重 60 kg では 420～600 g の糖質となり、ごはんの量に換算すると 1 日あたり 4～6 杯にもなるため VB₁ の摂取が課題となる。強化米は、ごはんの量に応じて VB₁ を摂取できるため、トップアスリートの栄養サポートとして有用であることが見直されつつある。同様な理由で、活動量の多い自衛隊においても多く利用されている。

学校給食における強化米

米国による占領統治下で再開された学校給食では、学校給食法が施行された 1954 年以降も 20 年以上にわたり、米産輸入小麦を使用したパン食を基本として、VB₁、VB₂ (1952 年導入) が強化されていた。米飯給食は 1976 年に正式に導入され、白米食による栄養低下を補うために、精米および米加工食品には、強化米もしくは強化精麦を用いてビタミン強化措置を講ずることを通達された¹⁹⁾。当時、学校給食用米は日本学校給食会が食糧庁から特別価格で買い入れた玄米を搗精・精米のうえ各都道府県の学校給食会を通じて供給しており、学校給食用強化米も同様の経路で供給されたため、全国の学校給食への強化米の導入率は 100%であった。その後、食糧法の制定、精米の販売自由化などによって、各自治体で精米を購入できるようになると、それに合わせて強化米の使用を取りやめる自治体も現れてきたが、学校給食摂取基準の VB₁ を

確保した献立を作りやすいため、多くの自治体で強化米の利用は継続され、その導入率は 70%程度と見積もられている(ハウスウェルネスフーズ調べ)。

災害時と強化米

脚気はすでに過去の病気となっていたのだが、1997 年に発生した阪神淡路大震災では避難所において脚気が見つかった²⁰⁾。兵庫県伊丹市に本社がある武田食品工業は、避難所を巡回していた管理栄養士から脚気症状の避難者がいたので強化米を供出してほしいとの要請を受け、強化米の無償提供を行った。この経緯を知っていた日本栄養士会は、2011 年に発生した東日本大震災では、日本ユニセフの協力で購入した強化米 4 トン (800 万食分) を被災地に届けた²¹⁾。大規模災害における支援物資は、おにぎり、パン、カップ麺などの炭水化物の物が主であり、野菜・肉・魚などの生鮮食品が届くことは少ない。そのためビタミンやミネラル、食物繊維が不足しやすくなる²²⁾。厚生労働省は避難所での食事提供に参考となる栄養基準の参照量を通知している。避難所で提供する食事では強化米を活用すると主食となる米飯から VB₁ を補うことが可能となる。東日本大震災をきっかけに日本栄養士会が設立した災害支援チーム JDA-DAT (The Japan Dietetic Association-Disaster Assistance Team) においても強化米の利用は推奨され²²⁾、2016 年の熊本地震においても「強化米など栄養素添加食品の利用も含めて必要な栄養素量の確保に努める

ように」と、厚生労働省から熊本県と熊本市に連絡された²³⁾。

葉酸強化米

先天性異常のうち二分脊椎などの神経管閉鎖障害については、諸外国における疫学調査によって、B群ビタミンである葉酸の摂取がリスクを低減することが明確となった。貧困層まで栄養改善するには穀類への強化策が有効であるとして、すでに80を超える国において小麦粉、トウモロコシ粉などに葉酸の添加が義務付けされている。これらの葉酸添加施策によって、米国、カナダ、メキシコ、チリ、コスタリカなどでは神経管閉鎖障害の出生率が低下した²⁴⁾。日本では強制添加の施策はないが、神経管閉鎖障害を予防する重要な手段として厚生省が2000年に妊娠前からの葉酸摂取を推奨するように通達した。近年では、葉酸不足によりホモシステインが上昇すると動脈硬化性疾患の危険度が高まるとして、循環器疾患の予防からも葉酸摂取の重要性が増している。実際に、葉酸の強制添加を行った米国とカナダでは心不全の死亡率も減少した²⁵⁾。埼玉県坂戸市は、健康施策の一環として2006年から女子栄養大学と協働し、市民に対して葉酸摂取量を増加させる取り組み「さかど葉酸プロジェクト」を実施している²⁶⁾。日常の食事で400 μgを目標として緑色野菜などから葉酸を多く摂るように管理栄養士による食事指導を行う取り組みで、目標に足りない分を補うためのサプリメントや葉酸強化食品の利用も推奨している。この取り組みの中で、女子栄養大学と共同開発でハウスウェルネスフーズは、葉酸、VB₁、VB₆、VB₁₂を強化した葉酸強化米を2010年に上市した²⁶⁾。プロジェクトでは、葉酸代謝に関連する遺伝子多形を解析して活動に取り入れている。葉酸の代謝に重要な5,10-methylenetetrahydrofolate reductase (MTHFR)のC667T遺伝子多形において、ホモ変異のTT型はMTHFR酵素活性が低いいためホモシステインが上昇しやすい。プロジェクトでは、葉酸摂取量の増加とともに血中葉酸の上昇ならびに血中ホモシステインの低下が認められ、特にTT型において顕著な改善が認められている²⁶⁾。なお、葉酸サプリメントや強化食品の使用に関するアンケート結果では、葉酸強化米の利用率が一番高かった。献立を気にすることなく継続して摂取することが可能な米飯からの葉酸補充が有効

な手段であることが示されたといえる²⁶⁾。また、安藤²⁷⁾は、高齢者施設の給食に葉酸米を6か月間使用して、低葉酸で高値となったMCV(平均赤血球容積)が血清葉酸値の上昇とともに減少することを確認して、栄養性貧血の改善の事例を報告している。

天然の食材に含まれる葉酸(食事性葉酸)は複数のグルタミン酸が結合した「ポリグルタミン酸型」で、栄養強化に使用する葉酸はグルタミン酸が一つ結合した「モノグルタミン酸型」(プテロイルモノグルタミン酸)である。食事性葉酸には過剰摂取による影響はほぼないと考えられるが、吸収性に優れるモノグルタミン酸型は、高用量であるとVB₁₂欠乏のマスキングならびに未変化体の葉酸や中間代謝物のジヒドロプテロイルモノグルタミン酸による健康影響が懸念されるため、耐容上限量が定められている²⁸⁾。サプリメントでは摂取方法を誤ると葉酸を摂り過ぎる心配があるが、葉酸強化米のような強化食品であれば食事量に応じた摂取量になるので摂り過ぎを回避することができる。なお、貧困層の栄養改善を目的として世界的に多く利用されているNutriRice™やUltraRice®にも葉酸はもちろん配合されている^{29,30)}。

おわりに

我が国は、かつての栄養不良の時代を学校給食や栄養教育などの優れた政策によって乗り越えてきた歴史があり、また近年の過剰栄養からくる生活習慣病対策などの知見も官民で共有してきた。抗脚気因子の存在が報告されてからすでに100年を経た。戦後昭和における栄養改善という面で強化米は大きな貢献をしてきたと考えられる。経済成長によって多様な副食を食べることができるようになったため、今では白米を中心とした食生活であっても脚気になることはほとんどない。まだビタミンが発見されていなかった明治時代に高木兼寛が海軍の大航海によって実証したように、副食を十分に摂らず一日に必要なたんぱく質の大半を主食のコメから賄うような食スタイルがVB₁欠乏の一番の要因だったのである。日本人の食生活は、飢餓の時代から豊食・飽食の時代を経て、崩食・節食の時代へと変化している。強化米の利用については、米穀店が源泉混入した精米を販売していた全盛期とは異なり、自分の意志で購入した消費者が炊飯時に混入する方法へと変化している。一方で

世界に目を向けると、公衆栄養として貧困層までの栄養改善を目的とした強化米の普及がトレンドになっている。栄養不足であった戦後から高度経済成長を成し遂げた日本における栄養改善の取り組みを手本としているのであろう。

和食が無形世界遺産に登録され、長寿国である日本型の食事は健康食であるとの解釈が流布されている。しかしながら、食事パターンと死亡率を調査した国立がんセンターの報告によると、野菜類・果物類・芋類・海藻類・きのこ類・魚介類の多い「健康型日本食」は死亡リスクを顕著に低減し、次いで肉類が多い「欧米型」も死亡リスクを低減するが、「伝統型日本食」では低減していない³¹⁾。都築³²⁾によると、1970年代の日本の食事パターンが健康有益性を持つとのことで、この頃の特徴は、i) いろいろな食材を少しずつ食べる「多様性」、ii) 煮る・蒸す・生を優先した「調理法」、iii) 大豆製品や魚介類・芋類・野菜類・果物類・海藻類・きのこ類そして緑茶を積極的に摂取する「食材」、iv) だし・発酵調味料を活かして、砂糖・塩を控えた「調味料」、v) 主食・汁物・主菜・副菜×2を基本とした一汁三菜の「形式」であったと分析している。都築は三大栄養素の観点で考察しているが、1970年代の日本の食事パターンはビタミン・無機質といった微量栄養素の摂取においても優れていたといえよう。

現在の日本では、バラエティ豊かな食事を楽しむことができるようになった一方で、調理済食品、加工食品、ファストフードの利用増加や緑色野菜の摂取量減少などに起因した微量栄養素不足による栄養問題が生じていることは否めない。例えば、近年、新生児の出生体重は低下傾向にあり、神経管閉鎖障害は実質的に増加している²⁴⁾。国立健康・栄養研究所が再集計した平成7年(1995年)以降の国民栄養調査におけるVB₁摂取量の年次推移を確認すると、成人の平均摂取量は、男性女性ともに2012年以降毎年連続して1.0 mg/日未満であり³³⁾、栄養摂取基準の推奨量を下回っている。残念なことに、先進国において1.2 mgを下回る国は日本だけのものである³⁴⁾。

我々は栄養素バランスの悪い食事を食べても何ら痛みも不快も感じない。欠乏症が顕在化してはじめて、自らの食事バランスの欠陥に気づき反省する。貯蔵、加工、調理などによって失われるビタミンなどの微量栄養素は、新鮮な野菜類や肉類から摂取することが良いと教育されるが、理想に

過ぎない。食品栄養科学者や食品工業界は、主要食品の栄養素バランスを矯正する方法を考え続けている。その結果、現代の食生活において、栄養バランスの優れた強化米や種々の加工食品を利用できるようになった。食品表示法によって加工食品の裏面表示には栄養表示がなされている。さらに原材料を確認すればその栄養が強化されているのかも判別可能である。強化米などの栄養強化食品を上手に食生活に取り入れて、現代にあった栄養改善が望まれる。

利益相反

山本憲朗はハウスウェルネスフーズ株式会社の従業員であり、給与ならびに研究費はハウスウェルネスフーズから支給されている。

注1) WilliamsはVB₁(チアミン)の化学構造を決定し、合成法を開発した人物である。彼は合成に関するすべての製造特許の権利を財団(Williams-Waterman Fund)に譲渡し、財団がその特許で得られた利益を化学研究や栄養問題等に対して無償で助成した。フィリピンBataan半島での大規模介入試験にも助成している。

参考文献

1. 村田希久. 1956. ビタミン強化問題について, ビタミン 11: 513-520.
2. ビタミンB研究委員会, 公益社団法人ビタミンバイオフィクター協会 編. ビタミンB研究委員会第450回記念B研究委員会のあゆみ. 京都: ビタミンB研究委員会, 公益社団法人ビタミンバイオフィクター協会, 2018.
3. Food Fortification Initiative. Global Progress of Industrially Milled Cereal Grains. http://www.ffinetwork.org/global_progress/index.php (accessed at 25 Sep. 2018)
4. World Health Organization (WHO), Guideline: Fortification of Rice with vitamins and minerals as a public health strategy. (2018).
5. 荒井克祐. 1980. パーボイルドライスの製法. 熱帯農業 24: 62-68.
6. 近藤金助, 満田久輝, 岩井和夫, 福田隆. 1952. 白米の栄養価増強に関する研究: 第5報 Enriched B₁-riceの調製に就いて(その3). 京都大学食糧化学研究所報告 10:1-9.
7. 山下政三. 脚気の歴史 ビタミンの発見, 東京: 思文閣出版, 1995.
8. Williams RR. 1951. 米食民族の脚気問題と白米強化について. 栄養と食糧 4: 1-3.
9. Salcedo J Jr, Bamba MD, Carrasco EO, Chan GS, Concepcion I, Jose FR, Deleon JF, Oliveros SB,

- Pascual CR, Santiago LC, Valenzuela RC. 1950. Artificial enrichment of white rice as a solution to endemic beriberi. Report of field trials in Bataan, Philippines. *J Nutr* 42: 501–523.
10. 安松克治. 1985. 米のビタミン強化. *日本栄養・食糧学会誌* 38: 15–24.
11. 高田亮平. 1963. 国策線上の強化米考. *ビタミン* 27: 251–260.
12. 有本邦太郎, 柳金太郎, 松室秀夫, 伊藤啓二, 野崎幸久, 吉澤正一, 島峰隆, 林令子. 1953. 強化米人體投與實驗. *栄養と食糧* 6: 97–100.
13. 小柳達男, 千葉茂, 鷹薺テル, 及川桂子, 赤沢典子, 常松滯子, 木村武, 小山寛. 1984. 農村婦人による新強化米の長期摂取試験. *日本栄養・食糧学会誌* 37: 65–70.
14. 五十嵐修, 大関静枝, 仁保喜之, 安東寛, 毛利佳世, 糸川嘉則. 1984. 新強化米の女子大生への投与効果 –とくに血液中ビタミン B₁, E について–. *日本栄養・食糧学会誌* 37: 145–150.
15. 城田知子, 安武律, 北野隆雄, 二塚信, 西野幸典, 糸川嘉則. 1991. 農村住民におけるビタミン B₁ 強化米長期投与の効果. *日本栄養・食糧学会誌* 44:429-435.
16. 山本佳弘. 2007. 新玄サブリ米の開発. *精米工業*, 225: 14–19.
17. Van der Beek EJ, Van Dokkum W, Schrijver J, Westra JA, Van de Weerd H, Hermus RJJ. 1984. Effect of marginal vitamin intake on physical performance of man. *Int. J. Sports.Med.* 5 (supple): 28–31.
18. International Olympic Committee, IOC Consensus Statement on Sports Nutrition 2010. <http://www.olympic.org/Documents/Reports/EN/CONSENSUS-FINAL-v8-en.pdf> (accessed at 25 Sep. 2018)
19. 文部省体育局通達. 米飯給食の実施について. 文体給第九〇号. 1976.
20. 和泉正人. 1995. 災害医学からみた阪神大震災, 震 – 阪神・淡路大震災記録集 (社団法人神戸市医師会), 平成 7 年 9 月 65–74. <http://www.lib.kobe-u.ac.jp/directory/eqb/book/10-334/04/04-03.htm> (accessed at 20 Sep. 2018).
21. 迫和子. 2011. 東日本大震災への対応 その 1 – 日本栄養士会の対応 – 1. 災害時の栄養問題と管理栄養士・栄養士の必要性. *日本栄養士会雑誌* 54: 470–473.
22. 国立健康・栄養研究所 国際災害栄養研究室. 避難生活で生じる健康問題を予防するための栄養・食生活について, 避難生活を少しでも元気に過ごすための資料集. 2017. http://www.nibiohn.go.jp/eiken/info/pdf/eiyo_pro.pdf (accessed at 20 Sep. 2018).
23. 厚生労働省, 避難所における食事提供の計画・評価のために当面の目標とする栄養の参照量について. <http://www.mhlw.go.jp/stf/houdou/2r9852000001a159-img/2r9852000001a29m.pdf> (accessed at 20 Sep. 2018).
24. 近藤厚生, 師田信人, 岡井いくよ, 山本憲朗, 近藤厚哉, 渡邊智之. 2018. 神経管閉鎖障害: 葉酸摂取による予防. *ビタミン* 92: 1–17.
25. Yang Q, Botto LD, Erickson JD, Berry RJ, Sambell C, Johansen H, Friedman JM, 2006. Improvement in stroke mortality in Canada and the United States, 1990 to 2002. *Circulation* 113: 1335–1343.
26. Kagawa Y, Hiraoka M, Kageyama M, Kontai Y, Yurimoto M, Nishijima C, Sakamoto K, 2017. Medical cost savings in Sakado City and worldwide achieved by preventing disease by folic acid fortification. *Congenit Anom (Kyoto)* 57: 157–165.
27. 安藤進. 2013. 高齢者施設における栄養介入. *日本老年医学会雑誌*, 50: 567–575.
28. 厚生労働省, 「日本人の食事摂取基準 (2015 年版)」策定検討会報告書. (2016)
29. Della Lucia CM, Rodrigues KC, Rodrigues VC, Santos LL, Cardoso LM, Martino HS, 2016. Franceschini SC, Pinheiro-Sant'Ana HM. Diet quality and adequacy of nutrients in preschool children: Should rice fortified with micronutrients be included in school meals? *Nutrients* 8: 296.
30. Steiger G, Müller-Fischer N, Cori H, Conde-Petit B. 2014. Fortification of rice: technologies and nutrients. *Ann. N.Y. Acad. Sci* 1324: 29–39.
31. Nanri A, Mizoue T, Shimazu T, Ishihara J, Takachi R, Noda M, Iso H, Sasazuki S, Sawada N. 2017. Tsugane S; Japan Public Health Center-Based Prospective Study Group. Dietary patterns and all-cause, cancer, and cardiovascular disease mortality in Japanese men and women: The Japan public health center-based prospective study. *PLoS One* 12 (4): e0174848.
32. 都築毅. 2017. 日本食の健康機能の科学的評価. *日本栄養士会雑誌*, 60: 29–36.
33. 国立健康・栄養研究所. 健康日本 21 (第二次) 分析評価事業, 国民健康・栄養調査, 主な健康指標の経年変化: 栄養摂取状況調査. http://www.nibiohn.go.jp/eiken/kenkouinippon21/eiyouchousa/keinen_henka_eiyou.html
34. Whitfield KC, Bourassa MW, Adamolekun B, Bergeron G, Bettendorff L, Brown KH, Cox L, Fattal-Valevski A, Fischer PR, Frank EL, Hiffler L, Hlaing LM, Jefferds ME, Kapner H, Kounnavong S, Mousavi MPS, Roth DE, Tsaloglou MN, Wieringa F, Combs GF Jr. 2018. Thiamine deficiency disorders: diagnosis, prevalence, and a roadmap for global control programs. *Ann NY Acad Sci*, early view, doi: 10.1111/nyas.13919.