

■ 米穀（コメ）への栄養強化

ハウスウェルネスフーズ株式会社 山本 憲朗

1. はじめに

WHO（世界保健機構）は2018年に、穀類の「コメ」の栄養強化に関する初めてのガイドライン「Fortification of rice with vitamins and minerals in public health」を公表した¹⁾。WHOのホームページから全文および概要版をダウンロードすることができる。この文書は、WHOとFAO（国連食糧農業機関）の「Guidelines on food fortification with micronutrients (2006)」²⁾とPan American Health Organizationの「Iron compounds for food fortification: guidelines for Latin America and the Caribbean 2002」³⁾を補完する。この文書の焦点は、この栄養介入を「公衆衛生戦略」として使用することで、特定の企業・団体の営利を目的とした市場主導のコメへの栄養強化ではない¹⁾。不足している微量栄養素を主食から摂取できるようにすることは、低・中所得国において、乳児・小児の死亡率、先天性異常の出産率、貧血罹患率などを減少させるといった人道的な目的を達成でき、またその結果として、医療費を削減し、国民を元気にし、国力・経済を活性化させる。費用対効果が高いため、政策として穀類（小麦・トウモロコシ・コメ）への栄養強化を義務付けしている国は増加し続けている（図1）⁴⁾。例えば、ニュージーランドでは義務付けには至っていないが、政策に取り入れるか否か、をまさに議論しているところである⁵⁾。

小麦粉・トウモロコシ粉・精白米への栄養強化を義務付けしているアメリカ合衆国では、店舗などで一般消費者が購入する小麦粉とトウモロコシ粉に「ビタミンB₁、B₂、ナイアシン、葉酸、鉄」を、精白米に「ビタミンB₁、

ナイアシン、葉酸、鉄」を強制的に強化している。法による義務付けであるため、強化されていないものを販売することが法律違反となる。小麦粉に栄養強化しているから、小麦粉を原料とするパン類・麺類・菓子類も、栄養強化されたものが市場に出回る。隣国のカナダでは、小麦粉に「ビタミンB₁、B₂、ナイアシン、葉酸、鉄」を強化しているが、トウモロコシ粉と精白米への栄養強化を義務付けていない。このように、栄養強化の対象となる穀類ならびに強化する微量栄養素は、各国の食事情や施策によって異なり、一律ではない。なお、義務付けをしていないが、推奨することで、メーカーが任意で添加した製品が市場に供給され、一般消費者に届くようになっている国もある。このような情報は、国際的な非営利団体Food Fortification Initiative (FFI)のホームページ⁴⁾に公開されている。現在、穀類への栄養強化を義務付けしている国は84か国であるが、その多くは小麦粉のように挽いて作られた穀粉（製粉）への強化である。コメへの栄養強化を義務付けしているのは、アメリカ合衆国、コスタリカ、ニカラグア、パナマ、フィリピン、ソロモン諸島、パプアニューギニアの7か国である⁴⁾。

2. 強化米の製造方法

強化米の多くは、通常200対1から100対1の割合で精白米に混入して使用される。コメは、玄米の状態では保管され、消費者に近いところで精米されるという流通経路が一般的であるため、精白米に強化米を混入するほうが都合がよいからである⁶⁾。

強化米のおもな製造方法は、〔1〕まぶし法 (Dusting)、〔2〕コーティング法 (Coating)、〔3〕浸漬 (しんし) 法^{*1} (Soaking)、〔4〕エクストルージョン法 (Extrusion) である。それぞれの製造法の概要については文献6を参照していただきたい。また、〔5〕パーボイルド法 (Parboiling) は、脱穀の際の碎米と虫害を防ぐために主に東南アジアで行われていた方法で、粳（もみ）米を水に浸漬して水分を30～40%まで吸水させ、加熱乾燥し、表面を糊化硬化させる。糠層の栄養素が白米に移

Norio YAMAMOTO

ハウスウェルネスフーズ株式会社 開発研究所 企画運営部 グループマネージャー、博士（農学）

〔著者紹介〕（略歴）1993年岐阜大学農芸化学専攻修士課程修了。2011年博士（農学）神戸大学。

〔所属学会〕日本農芸化学会、日本栄養・食糧学会（代議員、参与）、日本ビタミン学会（学術広報委員、将来構想検討委員）、日本フードファクター学会（評議員）、日本食品分析学会、日本香料研究会。

〔専門分野〕食品機能学

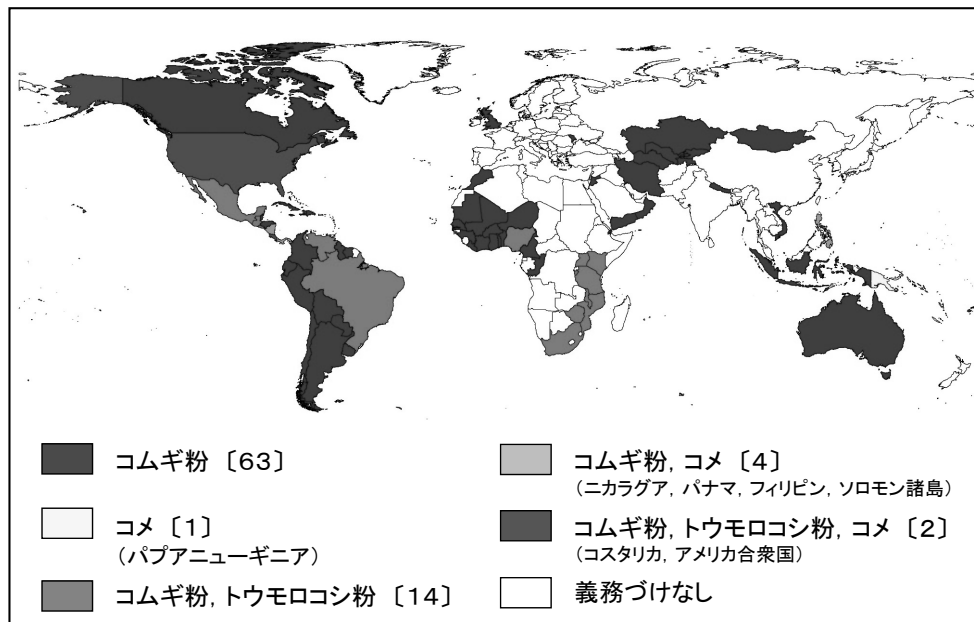


図1 穀類への栄養強化を実施している国.

2019年9月時点での各国の状況. 少なくとも鉄または葉酸を穀類に強化している国を分類. Food Fortification Initiative のホームページ⁴⁾ から許可を得て引用. 括弧内の数字は実施している国数.

行するため、通常の白米よりも栄養価が高くなる。工業的に製造されたものにコンバーテッド・ライスがある。なお、日本で開発された「酸パーボイルド法」(Acid-Parboiling) は、浸漬法とパーボイルド法の応用である⁶⁾。エクストルージョン法は、パスタ製造機のような設備で作られるいわゆる人造米を製造するものでコストを低くすることができる。世界に目を向けると、Ultra Rice[®]、NutriRice[®] など、エクストルージョン法で製造される強化米が主流になっている。

穀粉(コナ)への微量栄養素の強化は、その製造工程の最終段階において微量栄養素が配合されたプレミックスを混合するだけなので、製造コストがとても低い。一方、コメにおいては、米粉としての利用よりも穀粒として使用されることが圧倒的に多いので、その栄養強化には製造と流通においてコストの課題がある。炊飯方法(調理方法)が国や地域によって異なることも障壁となる。例えば、バングラデシュでの炊飯は、多量の水で煮てから余分な水を茹でこぼし、そのあとに蒸らすという方法が一般的であるため、強化した栄養素が流失してしまうといった課題がある。アメリカ合衆国で販売される精白米(栄養強化されている)のパッケージには「洗わないでください」との表示がある。これは、微量栄養素を含む微粉末を精白米にまぶしてあるだけだからである。リゾットやパエリアなどのようにコメを洗わずに調理するヒスパニック系人種には問題ないが、炊飯前に淘洗する(コメを研ぐ)場

合には栄養素が流失してしまう⁶⁾。

3. 強化米の歴史

読者のなかには、学校給食の炊飯米のなかに少し黄色がかったコメ粒があったことや、家庭にお米を配達してくれるお米屋さんが強化米入り精白米を勧めてくる、といったことで強化米を記憶している方もいらっしゃるであろう。鈴木梅太郎が世界に先駆けて米糠からビタミンを取り出したという史実と相まって、強化米は日本が最初に作りだしたと思っている方は多いかもしれない(筆者もそうでした)。実は、世界で最初に強化米の工業的生産を行ったのは、製薬企業のホフマン・ラ・ロシュ(現ロシュ)^{*2}であり、「精白米の表面に微量栄養素を噴霧し、乾燥後、淘洗の際に溶出しないように外を皮膜で覆った強化米、Premix rice[®]」を開発して1940年代に特許を取得した⁶⁾。第二次大戦中にはアメリカ合衆国が小麦粉の栄養強化を実施しており、穀類への栄養強化の重要性が認識されていたのである。Premix rice[®]を用いた大規模な介入試験はフィリピンのバターン半島で行われ、現地の風土病であった「脚気」を撲滅することができるということが証明された⁶⁾⁷⁾。ビタミンB₁(チアミン)の合成法を開発した研究者のWilliamsは、大戦後の1951年来日してそのことを講演している⁷⁾。この講演と同じ年には「ビタミンB総合研究委員会(現ビタミンB研究委員会)」のシンポジウムで「日本における米へのVB₁強化の問題」が討議されている。京都大学農学部で1946年に

強化米の研究が開始され、酸パーボイルド法で製造される強化米が開発された。この強化米は、酸性溶液に白米を浸漬し^{*1}、B₁を吸収させたのち中和蒸気加工し表面を糊化（こか）させ、乾燥して作る。この特許権は社団法人栄養食糧協会に移譲され、武田薬品、三共製薬、塩野義製薬から「ビタライス[®]」が1954年に販売開始され、「栄養改善法」のもとで規定された「特殊栄養食品」の第一号になった。その翌年に武田薬品が発売した「ポリライス[®]」（安定なB₁誘導体であるジベンゾイルチアミンを用いた改良版）は日本における主要な強化米となった⁶⁾。その後、酸パーボイルド法で作ったVB₁強化米にさらに複数の栄養素をコーティングするという製法で「新玄[®]」が開発される。平成になると、強化米事業を継承していた弊社は、製造コストを低減するため、酸パーボイルド法を取りやめてコーティング法に切り替えた。

経済成長で豊かになって充実した食生活を送ることができるとなると脚気は激減する（図2）。その一方で、農村部において脚気患者が発生するという現象が現れた。古来、豊かな食生活の象徴であった白米食（銀シャリ）が、経済的に豊かになった農村部に普及したからである。かつての江戸傾いが農村部にあるということである。1960～1970年代、都市部では精白米を米穀販売店からしか購入できなかった。米穀販売店は利益を上げるため積極的に強化米入りのお米を販売した。農村部では栄養強化されていない自主米が消費されていたので、農村部でVB₁が欠乏・不足するという逆転現象が生じたのである。その後、充実した副食を摂取することが普通になると、農村部の脚気はなくなっていく。

米国の統治下に開始された学校給食では、学校給食法が施行された1954年以降も米国产小麦粉を用いたパン食

が基本で、給食用小麦粉へのVB₁、B₂強化は1953年に開始された⁸⁾。1976年に導入された米飯給食では、白米食による栄養低下を補うために「強化米もしくは強化精麦を使ってビタミン強化措置を講ずること」が通達され、強化米の導入率は100%であった。給食用米穀の供給が自治体に移管されると、強化米を採用しない自治体が出てきたが、現在もビタミンを強化したパンや、強化米、強化精麦を利用する自治体は多い⁶⁾。最近では、食材費の高騰によって基準を満たした栄養の確保が難しくなっていて、使用を取りやめていた自治体でも、強化米を見直して、再導入したり、再導入を検討している。

スポーツ栄養の現場でも強化米が活用されている。食事摂取基準におけるVB₁推奨量は、体格や活動量に応じて変化するエネルギー代謝にかかわることから、チアミン塩酸塩量として0.45 mg/1,000 kcalとなっている。血中VB₁が低下すると最大酸素摂取量が低下するので、アスリートにとってVB₁摂取は重要である⁹⁾。中～高強度の持久性トレーニングを行うアスリートに推奨される糖質摂取量は、体重1 kgあたり7～10 g/日で¹⁰⁾、米飯の量に換算すると1日あたり4～6杯になる。強化米は、米飯の量に応じてVB₁を摂取することができ、アンチドーピングにも対応しているので、トップアスリートにも安心してご利用いただいている。海外遠征の際に炊飯器と強化米を日本から持参し、現地で購入した精白米を炊いているという選手が多いと聞いている。

4. 葉酸強化米

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神経管閉鎖障害のリスクを低減することが示されると、貧困層までの栄養改善には穀類への強化

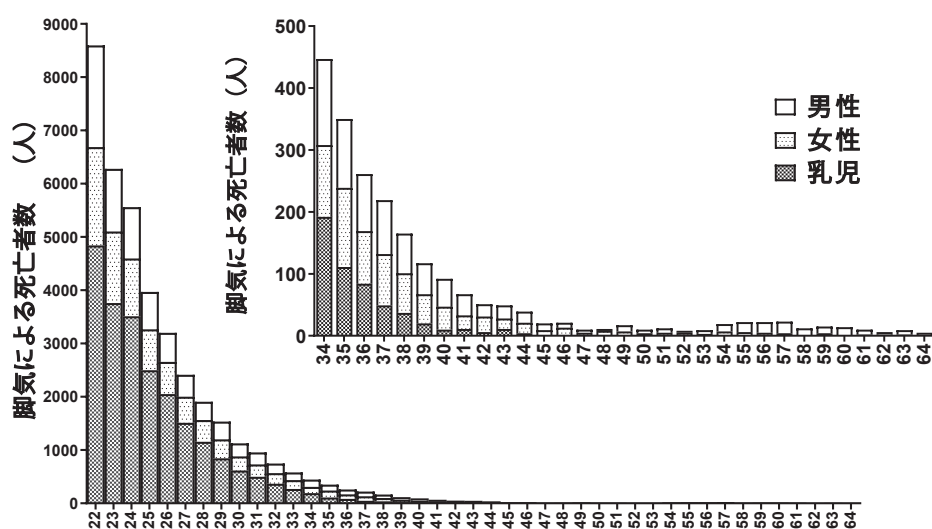


図2 戦後昭和における脚気死亡者の推移。

横軸は昭和の年号（西暦1947～1988年）。山下¹⁹⁾が取りまとめたデータをグラフ化

策が有効であるとして、今では80を超える国が小麦粉、トウモロコシ粉などに葉酸の添加を義務付けしている⁴⁾。施策を実施した国々では、神経管閉鎖障害児の出生率が低下している¹¹⁾。ただし、前述のように添加方法として課題が残るため、コメへの葉酸強化を義務付けしているのは5か国にとどまっている。日本では、旧厚生省が2000年に「神経管閉鎖障害を予防する重要な手段」として「妊娠前から葉酸を摂取することを推奨するように」と通達したが、強制添加の施策はない。日本人の食事摂取基準では、成人女性と妊婦の葉酸摂取推奨量（食事から摂取する葉酸）は、それぞれ240 μgと480 μgで、さらに「妊娠を計画するあるいは可能性のある女性は、神経管閉鎖障害のリスクの低減のために、付加的に（サプリメントなどで）400 μgのピテロイルモノグルタミン酸の摂取が望まれる」としている。しかしながら、現在の日本における神経管閉鎖障害児の出生割合は、1970～1980年代の2倍弱であり、出生前診断で障害が発見されて中絶される率も加算すると3～4倍にまで増加しているであろうという大変残念な状況である¹¹⁾。

葉酸摂取が不足するとホモシステインが上昇し動脈硬化性疾患の危険度が高まるとして、心疾患・脳疾患などの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が減少した¹²⁾。埼玉県は、健康施策の一環として女子栄養大学と協働した「さかど葉酸プロジェクト」を実施している。管理栄養士による食事指導を行うことで、葉酸400 μgを目標として摂るようにする取り組みで、野菜など副食になる食素材からの摂取量を増やすことを基本としているが、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、葉酸、VB₁、VB₆、VB₁₂を強化した強化米が開発された。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最も高く、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」であることが示されている¹³⁾。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は上昇、血中ホモシステインは低下し、特にTT型において顕著な改善が認められている¹³⁾。

5. 終わりに

現在の日本では、豊かな食事を楽しむことができるようになった一方で、加工食品、調理済食品、ファストフードの利用増加、緑色野菜の摂取量減少などに起因した微量栄養素不足という新たな栄養問題が生じている。ビタミンB₁に関して、ビル＆メリンダ・ゲイツ財団の助成で調査された2018年の研究報告¹⁴⁾では、チアミンの摂取量で色分けした世界地図が掲載されているのだが、日本はチアミン摂取量の足りない国（＜1.2 mg/日）として分類されている。残念なことに先進国では日本だけでVB₁が不足しているようである。国立健康・栄養研究所が再集計した1995年以降の国民健康・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毎年連続して1.0 mg/日未満で¹⁵⁾、食事摂取基準の推奨量（18～49歳男性1.4 mg、女性1.1 mg）を下回っている。ビタミン保健薬やビタミンサプリメントなどの利用者は推奨量を大幅に上回る量を摂取していて、利用していない消費者との栄養格差が生じている。2014年の国民健康・栄養調査では、世帯所得による栄養格差についても問題が提起された。所得が低いほど、穀物摂取の割合が有意に高く、肉類・野菜の摂取量が有意に低い¹⁶⁾（表1）。すなわち、食事は摂れているが、ビタミン・ミネラル（無機質）など微量栄養素の供給源となる副食の割合が少ないのである。

国民の栄養改善を施策「栄養改善法」（健康増進法に

表1 所得と食生活に関する状況（20歳以上）

		世帯所得 200万円未満		世帯所得 200万円以上600万円未満		世帯所得 600万円以上	
		人数	摂取量 (g)	人数	摂取量 (g)	人数	摂取量 (g)
穀類	(男性)	423	535.1*	1,623	520.9*	758	494.1
	(女性)	620	372.5*	1,776	359.4	842	352.8
野菜	(男性)	423	253.6*	1,623	288.5*	758	322.3
	(女性)	620	271.8*	1,776	284.8*	842	313.6
肉類	(男性)	423	101.7*	1,623	111.0*	758	122.0
	(女性)	620	74.1*	1,776	78.0*	842	83.9

平成26年国民健康・栄養調査（厚生労働省）のデータから抜粋。摂取量 (g) は平均値。*は、600万円以上の世帯所得の群と比較して、群間に統計学的有意差があった項目。

改法)として行い、経済的に豊かになった代表的な国がこの日本であることを多くの国が知っている。日本だけが忘れてしまっているのであろうか。2020年東京オリンピック・パラリンピックの開催後には「世界的な栄養改善の現状と課題を確認し栄養課題に向けた各国の今後の国際的取組の促進を主導する」ことを目的とした「東京栄養サミット2020」が開催される¹⁷⁾。ビタミンB₁に関する研究調査報告¹⁴⁾に助成したビル&メリンダ・ゲイツ財団も共催する予定である。低・中所得国の栄養改善の議論だけに終わらず、日本が直面しているような「新たな栄養課題」への取り組みについても議論されることを期待する。なお、2021年には第22回国際栄養学会議(ICN2021)が東京で開催される。日本での開催は1975年の京都から数えて2回目である。日本栄養改善学会および日本栄養・食糧学会は、ICN2021を当該年度の学術総会・大会とすることになっている。栄養学に携わる皆さんにはぜひ参加していただきたい。

日本においては、流通が複雑であるため、他国のような穀類への栄養強化を強制する施策を実施することは難しい。WHOがガイドラインを出すように、強化米が世界中で期待されている一方で、日本では栄養の専門家であるはずの管理栄養士・栄養士の多くが強化米の存在を知らないという状況になりつつある。企業主導で強化米を普及させようとする、広告宣伝コストがかかり、安価に供給することができない。昭和時代の強化米は、一般消費者に近い存在である米穀販売店が普及に貢献していた。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。例えば、葉酸の重要性に関する管理栄養士による認知率は10年前、15年前よりも上昇している¹⁸⁾。専門教育の成果である。令和以降は、一般消費者への仲介者としての立場である管理栄養士・栄養士の活動に期待したい。

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。

脚 注

- *1 「浸漬(する)」: 農学系・家政学系の分野で「しんせき(する)」と読まれることが多くなっているが、「しんし(する)」が本来の読み方である。
- *2 ロシュのビタミン関連事業は2002年にDSMによって買収され、DSMが事業を継承している。

文 献

- 1) World Health Organization. *Guideline: Fortification of*

Rice with vitamins and minerals as a public health strategy. Geneva. World Health Organization. <https://www.who.int/nutrition/publications/guidelines/rice-fortification/en/> (入手日2019.11.20).

- 2) World Health Organization and Food and Agriculture Organization of the United Nations. *Guidelines on food fortification with micronutrients*. L. Allen, B. de Benoist, O. Dary and R. Hurrell. Geneva. World Health Organization and Food and Agriculture Organization of the United Nations. http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/43412/9241594012_eng.pdf?sequence=1 (入手日: 2019.11.20).
- 3) Dary, O.; Freire, W.; Kim, S. Iron compounds for food fortification: guidelines for Latin America and the Caribbean 2002. *Nutr. Rev.* 2002, Vol. 60, S50-S61. doi:10.1301/002966402320285218.
- 4) Food Fortification Initiative (2019). "Global Progress of Industrially Milled Cereal Grain Fortification". http://www.ffinetwork.org/global_progress/index.php (入手日: 2019.11.20).
- 5) Ministry for Primary Industries (New Zealand Government). "Review of folic acid fortification of food". <https://www.mpi.govt.nz/news-and-resources/consultations/review-of-folic-acid-fortification-of-food/> (入手日: 2019.11.20).
- 6) 山本憲朗, 柴田克己. 強化米. 甲南女子大学紀要Ⅱ. 2019, No. 13, 83-91.
- 7) Williams, R. R. 米食民族の脚気問題と白米強化について. 栄養と食糧. 1951, Vol. 4, 1-3.
- 8) 全国学校給食会連合会. "学校給食の歴史". <https://www.zenkyuren.jp/lunch/> (入手日: 2019.11.20).
- 9) Van der Beek, E. J.; Van Dokkum, W.; Schrijver, J.; Westra, J. A.; Van de Weerd, H.; Hermus, R. J. J. Effect of marginal vitamin intake on physical performance of man. *Int. J. Sports Med.* 1984, Vol. 5 (supple), 28-31.
- 10) International Olympic Committee (2010). "IOC Consensus Statement on Sports Nutrition 2010". <http://www.olympic.org/Documents/Reports/EN/CONSENSUS-FINAL-v8-en.pdf> (入手日: 2018.9.25)
- 11) 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. 神経管閉鎖障害: 葉酸摂取による予防. ビタミン. 2018, Vol. 92, No. 1, 1-17.
- 12) Yang, Q.; Botto, L. D.; Erickson, J. D.; Berry, R. J.; Sambell, C.; Johansen, H.; Friedman, J. M. Improvement in stroke mortality in Canada and the United States, 1990 to 2002. *Circulation*, 2006, Vol. 113, 1335-1343.
- 13) Kagawa, Y.; Hiraoka, M.; Kageyama, M.; Kontai, Y.; Yurimoto, M.; Nishijima, C.; Sakamoto, K. Medical cost savings in Sakado City and worldwide achieved by preventing disease by folic acid fortification. *Congenit.*

- Anom.* (Kyoto), 2017, Vol. 57, 157-165.
- 14) Whitfield, K. C.; Bourassa, M. W.; Adamolekun, B.; Bergeron, G.; Bettendorff, L.; Brown, K. H.; Cox, L.; Fattal-Valevski, A.; Fischer, P. R.; Frank, E. L.; Hiffler, L.; Hlaing, L. M.; Jefferds, M. E.; Kapner, H.; Kounnavong, S.; Mousavi, M. P. S.; Roth, D. E.; Tsaloglou, M. N.; Wieringa, F.; Combs, G. F. Jr. Thiamine deficiency disorders: diagnosis, prevalence, and a roadmap for global control programs. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 2018, Vol. 1430, 3-43. doi: 10.1111/nyas.13919.
 - 15) 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＞栄養素等摂取量”. http://www.nibiohn.go.jp/eiken/kenkounippon21/eiyouchousa/keinen_henka_eiyous.html (入手日：2019.12.13).
 - 16) 厚生労働省. “平成26年国民健康・栄養調査報告”. <https://www.mhlw.go.jp/bunya/kenkou/eiyous/h26-houkoku.html> (入手日：2019.12.13).
 - 17) 鷺見学. “東京栄養サミット2020について”. <http://njppp.jp/wp/wp-content/uploads/c21dad749a94549ad-960f131a253e230.pdf> (入手日：2019.12.20).
 - 18) 岡井いくよ, 近藤厚生. 葉酸サプリメントによる神経管閉鎖障害の予防：管理栄養士の認知率. *日本栄養士会雑誌*. 2019, Vol. 62, No. 11, 31-36.
 - 19) 山下政三. 脚気の歴史 ビタミンの発見. 文閣出版, 1995.