

世界の食品・原材料・添加物トピックス①⑥

長期宇宙飛行のためのビタミンの安定化〈前編〉

——宇宙飛行士の健康維持からみる食の開発課題のトレンド——

●アメリカ陸軍ナティックソルジャーセンター

アン バレット Ann Barret Ph.D (シニアエンジニア)

ダニエル フロイオ Daniel Froio (シニアエンジニア)

ミッシェル リチャードソン Michelle Richardson (シニアエンジニア)

翻訳・ライティング 久保村 喜代子

Kiyoko Kubomura

久保村食文化研究所

長期宇宙飛行のためのビタミンの安定化〈前編〉

——宇宙飛行士の健康維持からみる食の開発課題のトレンド——

●アメリカ陸軍ナティックソルジャーセンター

アン バレット Ann Barret Ph.D (シニアエンジニア)

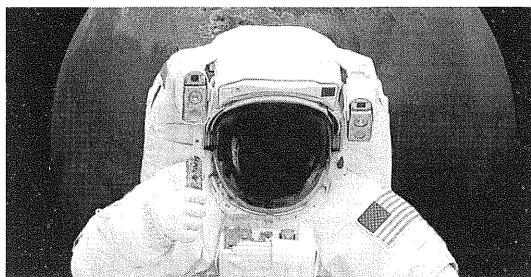
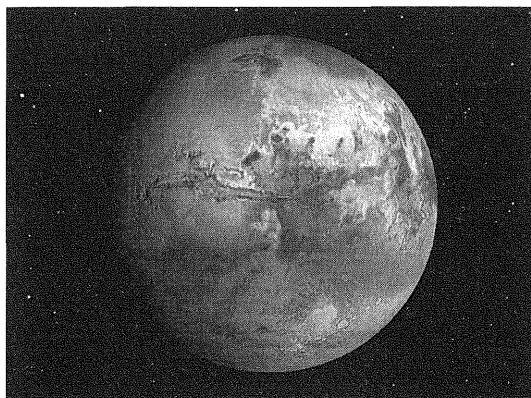
ダニエル フロイオ Daniel Froio (シニアエンジニア)

ミッシェル リチャードソン Michelle Richardson (シニアエンジニア)

翻訳・ライティング 久保村喜代子

Kiyoko Kubomura

久保村食文化研究所



火星へのミッションに向けた食品のビタミンの安定化には、マトリックス操作と革新的加工技術が不可欠である。

National Aeronautics and Space Administration (NASA: アメリカ航空宇宙局) は、火星に向かう計画を企てている。地球からはるか彼方にあり、生命体にとって過酷なその環境を想像してみしてほしい。前

任者が残していった備蓄があるにせよ、複数年滞在するための大量の食料品の準備には多くの課題がある。

火星に宇宙飛行士を送るという事は、彼らを選び無事に帰還させるという使命と同時に、任務の間、宇宙飛行士たちの生命を維持するという事が大切な命題である。火星への1回のフライトには少なくとも半年を要する。さらにフライトの距離と時間を最小限にするために、ほぼ隔年ごとに訪れる地球と火星との距離が接近する時期にのみ飛行スケジュールを組まなければならない。結局、乗組員は最低2年半宇宙に滞在する事になる。NASAは長期的な選択肢として宇宙での農業も検討してはいるが、当面は備蓄食料品に頼ることになる。大量の食料を前もって輸送するに当たり、NASAは火星プロジェクトにおける宇宙食の品質保持期限の目標を基本的に5年に据えている。宇宙飛行士の滞在期間に安全で栄養価の高い食糧を保障するためには究極の食品品質保持技術が必要となる。

食事には何が必需なのだろうか？任務中の数年間にもわたる食事には何がふさわしいのであろうか？その食事が高い栄養価を保持している事をどのようにして保障するのか？具体的にどのようにして食品中の栄養素が損な

われないようにするのだろうか？

これらの問いと懸念事項に対して、ナティックソルジャー研究開発およびエンジニアリングセンター（NSRDEC）糧食理事会（CFD）はNASA出資のプロジェクトに基づき「長期宇宙飛行に対処可能なビタミン安定化」について研究を進めている。同プロジェクトの研究者らにより2014年、ヒューストンにある国立宇宙生物医学研究所本部において「ビタミン安定化の原理」と題した支援ワークショップが開催された。同ワークショップでは、宇宙飛行士の健康維持の必須課題である「ビタミン安定化」に焦点をあて、異なる科学分野からさまざまな研究発表がなされた。

1. 長期宇宙飛行での食とは？

宇宙飛行士の健康維持に必需な栄養を考慮して開発された通称「宇宙食」は、地上食を超越した高度なフードサイエンスと加工食品技術の粋を結集したものである。地球からはるか遠方で、狭い空間に閉鎖された宇宙船内で、生活する宇宙飛行士にとって食事は大きな楽しみである。さらに、宇宙食開発においては、下記のようなコンセプトが必須条件となる。

- 1) **栄養補給面**：宇宙での長期滞在ではさまざまな栄養成分が要求される。不足が憂慮される栄養成分としては、窓が少なく日照不足により生成が減少するビタミンD、宇宙での高い放射線環境に晒されるため必要となる抗酸化作用のあるビタミンE、骨粗鬆症予防に備えるためのカルシウム、宇宙食に適した加工のプロセスで失われるセレンやクロムなどがあり、こうした素材を強化した宇宙食レシピ開発が必要とされる。
- 2) **長期保存性**：宇宙ステーションへの物資補給に組み入れるには、常温で製造後長期に保存可能でなければならない。
- 3) **食品安全性**：食中毒などのリスクを回避

すべく高度に衛生管理された工程で製造する（HACCPの徹底）。

- 4) **容器包装の安全性**：宇宙食のパッケージはあらゆる面で安全でなければならない。万が一の火災発生時に有毒ガスなどの発生のない包材を使用する事。
- 5) **宇宙において微小重力環境で食する事に対応可能**：微小な重力環境では食材をさまざまな工夫と共に固定して直接口に運んで食べれるようにする必要がある。粉末状の食品は不可。液体やそれに近い食品は密封容器に入れるか、テクスチャーを改良して粘度を上げる。固体と液体が混在している食品は、日本のインスタント麺のメーカーがアイデアを結集し宇宙食インスタントラーメン開発に健闘し、実際に宇宙ステーションに持ち込まれた実績があるが、一般的にはまだまだ対応が難しい。容器包装については宇宙への輸送でさらされる高温低温の温度帯、低高圧状態など物理的に過酷な環境に耐えられる事が要求される。
- 6) **宇宙ステーションでの調理装置への対応性**：現状のステーションでは加温器と注水、給湯の簡易な調理器が設置されている。これらによる簡素な調理によることが可能か、もしくはダイレクトに食することができること。
こうした条件下、現状での宇宙食の基本的なスタイルは？
 - (1) **加水して食べる**：凍結乾燥に代表される Dehydrated Foods（フリーズドライやエアードライ食品）で水やお湯を加え戻してから食べる。
 - (2) **いわゆる加工食品**：レトルトや缶詰食品のような加熱殺菌調理されたもの
 - (3) **放射線照射食品**：肉などは風味を失わず非加熱処理により殺菌される
 - (4) **水分調整（水分活性など考慮）された半乾燥食品**：例えばドライフルーツ

(5) 風味調味料(五感に訴えるために食に使う
香辛料や調味料などフレーバリング素材)
さらに短期利用向けには、生鮮食品も一部
宇宙へ積載されているので、地上同様な多彩
な食事ができるようになりつつある。



2. ビタミン損失懸念

宇宙食開発において、NASAが特に関心を寄せているビタミンは、ビタミンA, B₁(チアミン), B₉(葉酸), C, およびEである。Mahan and Escott-Stum (2004)によると「ビタミンAは免疫機能と目の健康に不可欠」「ビタミンB₁は食欲, 代謝, および神経機能の調節に重要」「ビタミンB₉は赤血球生産, ホモシステイン量の調節および神経機能のサポートに寄与」「ビタミンCは免疫および非ヘム鉄の吸収のために重要」「ビタミンEは酸化ストレスに関連した症状を緩和する役割を果たす」としている。これらの栄養素の長期摂

取不足は宇宙飛行士の身体的, 精神的健康だけでなく、複数年にわたる任務中の乗組員の効率的な連携作業にも深刻な支障をきたすと予測されている。

ビタミンは、総合的な露出時間, 温度・環境による水分含量, ビタミン自体の化学構造の変化などの要因によって、各々分解速度が決定され、時間の経過とともに活性が低下する。特に太陽の放射熱は宇宙飛行中, 火星滞在中と絶えず存在する因子であり、ビタミンを破壊するフリーラジカル促進酸化反応の原因にもなりうる。従って宇宙食は生理的に必要なレベルの栄養素を維持できるようにこうしたビタミン類を処方して製造する事が必須条件となる。

食品業界では高品質でより鮮度が高く, 安全な製品への需要が高まり, マイクロ波加熱殺菌(MAT: microwave assisted thermal sterilization), 加圧加熱殺菌(PATS: pressure assisted thermal sterilization), 放射線照射殺菌といった革新的な保存技術が生み出されている。

マイクロ波は熱エネルギーを食品にダイレクトに与えるので微生物を破壊するのに必要な時間を短縮し, 栄養素や品質の劣化を最小限に抑える事が可能であるが, 非金属包装が必要となる。

PATSは液体および半流動性の食品に適用できる。微生物の混入を抑え, 酵素を不活性化するために高いアイソスタティック圧(熱間等方圧加圧法など数100から2000℃の高温と数10から2000MPaの等方的な圧力を被処理体に同時に加え処理するプロセス)などを利用する(Caner et al; 2000)。PATS処理用の包装材は食品に圧力をかける際に遮断層が破損されることなどを回避するために十分な柔軟性が必要である(Lopez-Rubio et al; 2005)。

放射線処理は現在, さまざまな市販食品の低温殺菌に用いられており, 国際宇宙ステー

ション用の肉製品の滅菌のためにも使用されている。微生物を死滅させるために電離放射(アルファ線ビームやX線のように媒質を通過する際に電離作用を伴う放射線)を採用している。

さらにそれぞれの技術は包装材料の化学的、遮断的、および力学的特性に潜在的影響を受けるので、それぞれの処理と相性が良い包装材を選択するための検討が不可欠となる。

さまざまな側面を考慮した上で、宇宙空間で長期間ビタミンを失活させない食品を考案し、製品化するには多面的な努力が必要である。米航空宇宙局(NASA)によるビタミン安定化の取り組みは、食品化学、食品栄養、食品加工、包装技術の研究領域が協働している。「ビタミン安定化の原理」ワークショップには、ストレスがかかった際の必要栄養量、加速保存下でのビタミン安定化の先行研究、ビタミン保護のためのカプセル化技術、食品中の特定のビタミン含有量を分析する上での問題、新規殺菌技術、代替滅菌プロセスと互換性のある革新的なノンフォイル包装材料といった領域に対処すべき多彩な専門分野を代表する人々が参加した。ワークショップの目的は、こうした参加者の専門知識やアイデアを活用し、NASAのプロジェクトに応用する事であった。

3. ビタミン安定化技術

NASA先進食品技術プロジェクトの科学者Grace Douglas;グレース・ダグラス氏(NASA AFT:Advanced Food Technology)は、ビタミン活性保持の研究において必要な知見として、先進食品技術研究戦略の中の、食品の栄養成分含有量に加工・備蓄が与える影響に関するAFT1、長期宇宙飛行任務中に栄養価が高く安全で味も満足できる食料を届ける技術に関するAFT4の二つの研究領域に焦点をあてている。

現在NASAのプロジェクトで研究中の特

殊な安定化法として、「脂質ベースか澱粉ベースのコーティング材でカプセル化することによりビタミンの親水性/疎水性環境を調整し食品マトリックス中の脂質レベルを操作する」「水分活性の高い食品中のビタミンの損失を減らす革新的な加工・包装技術を利用する」などの取り組みがなされている。マトリックス効果についての研究は、Porter (1993) and Frankel (1994) et al.によって唱えられた「ポラーパラドックス」現象を基にしている。その中で抗酸化剤は、逆極性環境にある時、安定性および活性を増大させることが証明されている。加工の影響に関する研究では、滅菌中の暴露温度の低下と時間の減少を基本的目標としている。

ワークショップにおいて、U.S. Army Research Institute for Environmental Medicine (環境医学米国陸軍研究所)のシニア研究栄養士Holly McClung氏は、同研究所が進める栄養量解析プログラムについて発表した。同プログラムは80°Fで3年間(100°Fで6カ月)の消費期限要件に相当する加速条件下において200品目以上の食品の栄養の損失を評価している。現在の備蓄食品は、全体的にビタミンB₁(チアミン)、葉酸、ビタミンCに著しい損失が示された。さらに幾つかの食品には劇的な栄養損失があり、これらが複数の食事に含まれていれば、軍隊で推奨されているレベルを下回る可能性もある。

不十分な栄養摂取がメンタルヘルスと認知機能に及ぼす影響について、カリフォルニア大学ロサンゼルス校食品科学教授Fernando Gomez-Pinilla氏が発表した。代謝機能不全が脳の炎症を促進し、鬱病やアルツハイマーなどの疾患に罹患するリスクがいかに高くなるかを説明した。さらに認知力を維持するには、運動と特定の栄養素(オメガ-3脂肪酸、葉酸およびビタミンE)が役立つ事を論じた。宇宙飛行士が経験する心理的ストレス、閉そく性、および微小重力環境を考慮するとビタ

ミンの損失は深刻な懸念材料になる。

ビタミンを保護する手段としてのカプセル化については、マサチューセッツ大学アマースト校食品科学教授Julian McClements氏が説明。ビタミンカプセル化の課題は、保存期間中のビタミンを安定化すると同時に、ビタミンのバイオアベイラビリティ（生物学的利用能）を最大限に活かすために胃腸管内で十分に消化力がある事を保証するカプセル材料の使用が求められる。カプセル化された栄養物の吸収速度は粒子サイズと表面積に影響され、粒子が小さいほど吸収率が高くなる。また脂質カプセルビタミンの吸収率はコーティング剤の消化率に影響を受け、コーティング剤の消化率は分子サイズによって影響される。(McClements (2010), McClements and Xiao (2012))。

栄養補助食品のビタミン含有量の解析については、ウィスコンシン州マディソンにあるCovance Laboratoriesの栄養化学シニアマネージャーWayne Ellefson氏が発表した。ビタミンは消化過程でカプセルが溶解した状態で生物学的に利用可能でなければならない。そのため栄養素としてのビタミンの分析測定には、カプセル材としてと食品からの各々における消化管内でのビタミンの放出を考慮した前処理を必要とする。コヴァンス研

究所では、NASA製品のビタミン分析においてカプセルを除去するために材料固有の手法を用いている。脂質ベースのコーティングにおいては熱湯および脂肪分解酵素を使用しての除去処理を行い、また炭水化物コーティングにおいても炭水化物分解酵素を使って除去する。分離は餾化(ビタミンAおよびE)、クロロホルム抽出(ビタミンC)、イオン交換膜による酸抽出(B₁(チアミン))、高圧液体クロマトグラフィー(葉酸)によって各々実施し必要量を測定する。NASAのサンプル品のビタミン含有量の測定は1年目は70°Fと100°Fの保管温度で年に2回、その後5年間は毎年1回70°F保存で実施される。

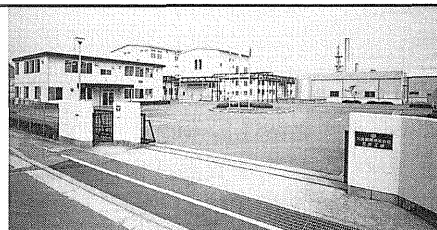
次号に続く



くぼむら・きよこ

専門は、セイボリーフレーバー、特に反応系香料。食品メーカーと新製品開発プロジェクトを組み商品開発などを主な業務とし、手掛けた製品は1000を超える。ワールドフードサイエンスの編集委員、IFT本部評議会、国際評議員、IFTジャパンセクション評議員、IFT教育プログラム講師などとして活動中。2008年、IFTフェロー受賞。

- カンゾウ抽出物 ●ステビア抽出物
- 熟成黒ニンニク ●ツルレンゲエキス
- マタタビエキス ●マンゴージンジャーエキス
- その他各種機能性天然抽出物



三次工場 (広島県 三次市)

丸善製薬株式会社

- 東京 TEL (03) 3496-1521(代) FAX (03) 5458-7634
〒150-0021 東京都渋谷区恵比寿西2-6-7
- 大阪 TEL (06) 6203-6918(代) FAX (06) 6233-3606
〒541-0045 大阪市中央区道修町2-6-6(塩野日生ビル6F)