

食品照射の最前線
～研究者が解説する Q&A～

公益社団法人日本アイソトープ協会

第3期 理工・ライフサイエンス部会

食品照射専門委員会

目 的

第3期 理工・ライフサイエンス部会 食品照射専門委員会委員長
等々力 節子

農産物や食品を適正な条件の放射線で処理する「食品照射」技術は、それらを汚染・加害する微生物や害虫を制御し、また、ジャガイモやニンニクなどの発芽・発根を抑制するなど、食品の衛生化や貯蔵期間の延長に寄与する、有効な選択肢の一つです。近年は、青果物に潜む害虫を例外なく繁殖不能にすることによって、その分布拡大を防ぎ農作物を保護するための検疫処理としての利用が進められ、海外では照射処理された青果物が国を超えて流通しています。

本書は、2008年に作成された「食品照射に関するQ&A」（旧ライフサイエンス部会編）を、近年の技術面での発展や国内外の規制や実用化等の状況変化を考慮して、全面改訂したものです。作成にあたっては、商業流通規模の食品・農産物を、安全かつ確実に処理するための照射施設や工程管理についての解説を補強いたしました。また、現在では科学的に解決済みとみなされている、旧版にあった安全性試験データへの懸念事項についても、専門家の理解を助けるために、参照出来るように配置しています。

食品照射は、薬剤等を使わない物理的な処理として持続可能な食料供給システムの構築に寄与することが期待されます。わが国の食品安全規制は国際基準とは相違が有り、「食品照射」技術を食品の殺菌や農産物の植物検疫処理に直ちに適用することは出来ません。まずは、技術に対する正しい理解と、社会的な議論が不可欠です。

食品照射について理解して頂くために、少しでも役立てれば幸甚です。

目 次

(Q1) 食品照射のメリットとデメリットは何ですか?.....	1
(Q2) 食品照射の国内外での実用化状況は?	3
(Q3) 食品照射の経済性はどのように考えますか?	5
(Q4) 照射香辛料の安全性はどのような考え方で担保されていますか?.....	8
(Q5) 放射線照射でシクロブタノン類が生成することは、安全性への懸念になりませんか?.....	10
(Q6) 食品中のカビのアフラトキシン産生能が照射によって増加することはありますか?.....	11
(Q7) 照射食品の表示はどのようになっていますか?.....	12
(Q8) 照射食品を検知する技術はありますか?	14
(Q9) 照射された食品の風味は変化(劣化) しませんか?.....	16
(Q10) 食品照射はどのような施設で行われているのですか?.....	17
(Q11) 放射線照射施設は、どのような法的規制や管理方法で運営されていますか?.....	19
(Q12) 食品照射に関する情報はどこで入手できますか?.....	21
(Q13) 過去の懸念について	23
用語集	33

各Q内の重要単語は、後半の用語集にて解説しております。電子媒体は、各Qの単語と用語集が相互リンクしますので是非ご活用ください。

(Q1) 食品照射のメリットとデメリットは何ですか？

メリットは、(1)温度がほとんど上昇しない、(2)薬剤を使わずに済む、(3)形状を問わず内部まで均一に処理できることです。デメリットは、対象食品や照射目的にもよりますが、(1)コストが高い、(2)食品によって向き不向きがある、(3)消費者の誤解や感覚的な拒否反応が心配なことです。

メリット(1)温度がほとんど上昇しない

生鮮青果物や食肉・魚介類を冷蔵・冷凍のまま、新鮮な状態で処理でき、色や香り、栄養素が高品質に保たれます。熱帯果実の植物検疫における殺虫処理でも、蒸熱処理や低温処理に比べて品質劣化が少ないです。冷凍食品もそのまま殺菌できます。耐熱性の芽胞菌で汚染されることが多い香辛料や乾燥野菜等の殺菌手段には、風味や色調が劣化しない照射処理が特に有効です([Q2 参照](#))。

メリット(2)薬剤を使わずに済む

発がん性が疑われるエチレンオキシドガスやオゾン層破壊物質である臭化メチルによる燻蒸処理などとは異なり、薬剤の使用に伴う食品中の残留毒性の懸念や環境汚染のおそれがありません([Q2 参照](#))。

メリット(3)形状を問わず内部まで均一に処理できる

均一な加熱が難しい粉末状の食品も含め、形状を問わず内部まで均一に処理できます。密封・包装してから食品を照射することで、微生物や害虫による再汚染を防ぐことができます。線量さえ管理すれば効果が100%確実で、製品出荷前の最終梱包形態で外部から照射して内部まで均一に処理できるという使い勝手の良さもあります([Q10 参照](#))。

デメリット(1)コストが高い

馬鈴薯の芽止め照射の費用は2~3円/kgといわれていますが、コストは線量に比例するため、殺菌目的の線量ではその10~100倍になります。したがって、商品価値が高くメリットが大きい場合や、他に適当な方法がない場合に限って使われます([Q3 参照](#))。

デメリット(2)食品によって向き不向きがある

肉類や乳製品に高線量(=大線量)を照射した場合の異臭の発生や色調の変化、小麦製品の粘弾性低下など、食材や照射条件によっては風味や加工適性が変わることがあります([Q9 参照](#))。そのため、缶詰やレトルトパウチのような加熱・加圧処理、冷凍処理、食品添加物の使用などの既存の食品加工技術・食品衛生化技術の全てが照射処理で代替される訳ではありません。また、加熱処理と同程度以下ですが、水溶性のビタミンB1やビタミンCなど特定の栄養素の損失もあり得ます。

食品照射技術は万能ではありません。照射によるウイルスの不活性化も原理的には可能ですが、カビや細菌の殺菌よりも高い(大きな)線量が必要となります。そのため多くの場合、風味や硬さの変化やコストの増加等の問題が発生し、食品としての価値がなくなるため、実質的に有効とは言えません。また、照射によってカビ毒産生菌の増殖抑制や害虫の食害痕からのカビ感染の予防が期待できますが、すでに蓄積したカビ毒の分解はできません([Q6 参照](#))。さらに、照射した食品も、滅菌されていない限りいずれは腐敗します。照射しようとする食品は、当然ながら食品としての適正を備えていることが必要

であり、照射済みの食品についても、適切な取り扱いが必要です。

デメリット(3)消費者の感覚的な拒否反応が心配

一般の消費者に誤解・敬遠されるおそれがあり、食品企業や小売店、飲食店としてはマスメディアやSNSでのネガティブな情報拡散によるイメージ低下や風評被害が心配でしょう。消費者の不安を煽る活動家や不安商法のグループによる嫌がらせやボイコット運動などのリスクも負います。科学的データに基づいた食品安全当局の毅然とした態度と行動、そして各方面の関係者の粘り強いリスクコミュニケーションの努力によって消費者の理解と信頼を得られない限り、日本の消費者が食品照射のメリットを享受することはできません。

食品照射に限らず、技術的に可能な食品処理法の全てが実用化される訳ではありません。どこまで商業的に受け入れられるかは、他の技術と同様に、実用面と採算面の評価で決まります。すでに世界各国で実用化されている食品照射の対象品目は、様々なデメリットを克服して社会にその価値を示すことができた希少な成功例だと言えるかもしれません([Q2 参照](#))。

参考資料

- ・ 林徹, 食品・農業分野の放射線利用, 幸書房(2008)
- ・ 等々力節子, (1) 食品照射とは—技術の概要及び評価と研究開発の歴史— *RADIOISOTOPES*, **71** (1), 55-62(2022)
- ・ 小林泰彦, (2) 食品照射の実用状況と消費者の受容, *RADIOISOTOPES*, **71** (1), 63-83(2022)

(Q2) 食品照射の国内外での実用化状況は？

食品照射は、多くの国で実用化されています。スパイス・ハーブ類や冷凍食肉・魚介類の非加熱殺菌に加え、近年は農産物の貿易に伴う病害虫の侵入・まん延を防ぐための「植物検疫措置に関する国際基準」に照射処理が採択され、青果物の処理量も急増しています。しかし日本ではジャガイモの芽止め以外は許可されていません。

食品照射は、[認可された放射線を定められた条件\(Q10 参照\)](#)で食品や農産物に照射し、殺菌・殺虫・芽止めなどの処理を行う技術です。そのため、殺菌などの目的達成に十分で、かつ食品の商品特性や嗜好性に悪影響が生じない範囲の適切な線量が照射されます。食品照射は、[毒性学的・微生物学的安全性](#)及び[栄養学的適格性](#)の観点から最もよく検討され、[国際的に標準化された食品処理技術](#)であり、公衆衛生や地球環境保全に寄与する有効な手段であると評価され、多くの国で食の安全確保と品質向上のために実用化されています。特に、耐熱性の[芽胞菌](#)で汚染されることが多い[スパイス・ハーブ類](#)(香辛料)や乾燥野菜等は、風味や色調が重要視されるため加熱殺菌が難しく、放射線殺菌に技術的な優位性が認められます。

2007年の調査では、2005年現在の世界全体の食品照射処理量は年間約40万トンと推定され、スパイス・ハーブ類や乾燥野菜など食品原材料が約19万トン、冷凍エビなどの水産物が1.4万トン、冷凍牛挽肉や鶏肉、[カエル脚](#)などの肉類が1.1万トンでした。2013年の[国際放射線加工会議\(IMRP17\)](#)などによると、2013年現在の世界全体の食品照射処理量は年間約100万トンと推定されました。その後、日本、韓国、ヨーロッパ連合(EU)では処理量が減少していますが、ベトナム、オーストラリア、メキシコなどの国々では増加が続いています。

農産物の貿易に伴う病害虫の侵入・まん延を防ぐために様々な[植物検疫処理](#)が行われていますが、適用品目が限定される[蒸熱処理](#)や[低温処理](#)、オゾン層を破壊する[臭化メチル](#)による燻蒸処理などに代わる新たな方法として、病害虫(有害動植物)の成育阻止と繁殖阻止(成虫の不妊化や産卵阻止)を目的とする照射処理があります。植物検疫のための照射処理は、1995年の実用化以降、徐々に増加していましたが、2007年以降は急増しています。「[植物検疫措置に関する国際基準](#)」の一つである [ISPM28「規制有害動植物に対する植物検疫処理」](#)の付属書には、2024年1月現在、[病害虫に対する処理基準](#)が45本採択されており、そのうち23本が照射処理による基準です。2022年の[国際放射線加工会議\(IMRP20\)](#)では、メキシコから米国向けのマンゴーとオレンジの2022年の見込み照射処理量は約4万トン、オーストラリアからニュージーランド及び米国向けのブドウとマンゴーは同じく約9千トンと報告されました。

日本は、1972年に ^{60}Co のガンマ線照射による馬鈴薯(ジャガイモ)の芽止めが認可され、1974年より2022年まで、毎年北海道産馬鈴薯の端境期となる春期に販売されてきました。(所期の目的を達成し、2023年以降は処理終了により販売停止)しかし、スパイス・ハーブ類をはじめとする他の食品への放射線照射の適用について慎重な姿勢が続いており、馬鈴薯以外の品目の照射を認可する規制の見直しは全く進展していません。

参考資料

- 等々力節子, (1) 食品照射とは一技術の概要及び評価と研究開発の歴史—*RADIOISOTOPES*, **71** (1), 55-62 (2022)
- 小林泰彦, (2) 食品照射の実用状況と消費者の受容, *RADIOISOTOPES*, **71** (1), 63-83 (2022)
- 土肥野利幸, (4) 植物検疫の仕組みと放射線照射処理の国際基準, *RADIOISOTOPES*, **71** (2), 93-99 (2022)
- Hallman, G. J., & Loaharanu, P. (2016). Phytosanitary irradiation-Development and application. *Radiation Physics and Chemistry*, **129**, 39-45.

(Q3) 食品照射の経済性はどのように考えますか?

照射処理施設の建設にかかる初期費用は高額ですが、海外で実用化している青果物の植物検疫処理や、香辛料やスパイスの殺菌、牛挽肉や冷凍エビの衛生化などを目的とした放射線照射処理のランニングコストは、他の処理技術と競争力のある範囲にあり、十分な経済性が見込まれます。

放射線照射処理にかかるランニングコストは比較的安いものの、新しい照射施設建設の費用は米国ドルで 500～1200 万米ドルと、かなり高額になります。しかし、多くの場合、照射施設は、単一の食品あるいは食品製造部門に特化しているわけではなく、独立の受託照射会社が運営する施設を利用して食品の処理を行うことが可能です。そのような場合の処理費用は、線量、スループット、その他の要因に依存しますが、一般に 1 kg あたり 0.02～0.40 米ドルの範囲になると推定されています。

放射線照射と他の処理法についての初期費用と経済性やその他の特徴を比較すると、別表のようになります。香辛料の放射線殺菌では、[植物検疫処理](#)や芽止めに比べて、十～数十倍程度大きな線量が必要なため、その分、処理コストも大きくなります。[ソフトエレクトロン](#)処理は、⁶⁰Co ガンマ線照射や高エネルギー電子線の処理施設のような分厚い遮蔽壁を必要とせず、これらに比べて装置導入の初期費用が低くなります。また、[放射性同位元素等規制法](#)の対象とならないため管理費が安価となり自社でインハウス処理されます。馬鈴薯のガンマ線照射処理では、線源のセキュリティ管理が強化され、管理と線源交換コストが以前よりも増大しています。[低温エチレンガス法](#)は貯蔵施設を新設する場合は高価ですが、既存の冷蔵倉庫が利用できれば安価となります。

ランブータンやマンゴスチンなどの一部の果実は、他の植物検疫処理では品質の劣化が避けられないため、害虫リスクによる移動制限を克服して取引を行うためには、照射処理が有効です。小売価格が比較的高いハワイのランブータンの場合には、1 kg あたり 0.60 米ドルの処理費用も問題無く受容されていた実績もあります。

また、食品を処理せずに失われる機会のコスト(経済損失)についても、考えることが必要です。オーストラリアのトマトとトウガラシの生産者は、ニュージーランドにおいて、年間約 1,100 万米ドルの冬期輸出市場を有していました。しかし、植物検疫上の処理として認められていた殺虫剤が、人体への健康リスクを理由に登録抹消されると、この市場は失われることになってしまいました。この市場を取り戻すための委託照射処理には、1 kg あたり 5～7 セントのコストがかかりますが、輸出を維持するために照射処理を選択する生産者もあり、照射されたオーストラリア産トマトがニュージーランドで販売されています。

米国では、[サルモネラ](#)、[腸管出血性大腸菌 O157](#)、[リステリア菌](#)、及び[カンピロバクター](#)による食中毒が年間 200 万人以上発生し、3 万 1,000 人の入院、700 人の死亡を引き起こしており、これらの健康被害のコストは、90 億米ドルから 110 億米ドルに相当すると推定されています(2021 年報告)。食中毒にかかる経済的コストを下げるという点においては、健康被害の低減効果が目に見える形で現れずとも、照射処理の導入による追加コストをかける価値があると考えられます。

照射処理の導入による経済的な効果は、照射食品の販売利益に基づく単純な採算性の計算だけでなく、化学薬剤の使用削減や食中毒の減少などに伴う、環境保護や公衆衛生上の便益なども考慮した社会的な利益も加味して評価することが重要です。

参考資料

- Morrison, R.M. (1989) An economic analysis of electron accelerators and cobalt-60 for irradiating food. Technical bulletin no. 1762 Economic Research Service. US Department of Agriculture, Rockville, MD, U.S.A.
- Roberts, P. B. (2014) Food irradiation is safe: Half a century of studies, *Radiation Physics and Chemistry*, 105, 78-82.
- Hollman G. J. (2011) Phytosanitary Applications of Irradiation, *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 10, 143-151.
- Batz M. B, et. al. (2021) Statistical Modeling Approach to Attribute Illnesses Caused by 4 Pathogens to Food Sources Using Outbreak Data, United States. *Emerg Infect Dis.*, 27(1) 214-222.

香辛料の殺菌

処理方法	⁶⁰ Co ガンマ線/ 高エネルギー電子線	ソフトエレクトロン (低エネルギー電子)	気流式殺菌 (過熱水蒸気)	エチレンオキシドガス (EOG)
初期費用 (円)	数～十数億円	5千万～数億円	5千万～数億円	数千万円
経済性	高価格	低価格	高価格	高価格
備考	日本では禁止されている。低温で水を使用しない処理のため風味を損なわない。	低温で水を使用しない処理のため風味を損なわない。	乾燥水蒸気のため風味は保たれるが処理時間が長くなる。	日本, EU 等では使用禁止、米国では利用されているが、使用削減が望まれている。処理工程が2日かかる。

馬鈴薯の芽止め

処理方法	⁶⁰ Co ガンマ線照射法	低温処理法	低温エチレンガス法
初期費用 (円)	数～十数億円	数千万～数億円	数千万～数億円
経済性	中価格	中価格	中価格
備考	⁶⁰ Co 線源のセキュリティ対策により、コストが増大。RI 等規制法では管理区域内における線源の24時間監視が必須。	貯蔵する施設の大きさ、周辺環境の温度、貯蔵する長さに依存し温度調整が必要となる。	低温処理法よりも温度条件が厳密でない。

種々の植物検疫処理のコストとその他の特徴の比較(Hollman 2011 Table 1 より作成)

処理	コスト	エンド ポイント	果実の耐性	有機認証	処理速度	輸送
低温	低	致死	中程度	可	とても遅い	容易
熱風	中程度	致死	中程度	可	中程度	中程度
温湯浸漬	低	致死	中程度	可	速い	中程度
臭化メチル 燻蒸	低	致死	中程度	不可	速い	容易
放射線照射	中程度	発育阻止	高	不可	速い	中程度

(Q4) 照射香辛料の安全性はどのような考え方で担保されていますか？

照射香辛料も、他の食品と同様に、放射線照射による有害物質の生成の有無とその摂取量に基づいて安全性が評価されています。そもそも、香辛料の摂取量自体が少ないため、照射による生成物の摂取量も極めて微量であり、その健康影響も無視できると考えられます。

香辛料は水分含量が少ないため、水の放射線分解によって生成するラジカル類の間接作用を受けにくい乾燥食品です。香辛料に含まれる特有の抗酸化成分も、酸化分解反応を防ぐことに寄与しています。香辛料・生薬類に含まれる生理活性成分の放射線分解によって、その風味や効能が顕著に変化するという報告はありません。

1979年、米国食品医薬品局(FDA)は照射食品の安全性評価に用いる毒性試験の要項を検討するための委員会(食品部照射食品委員会、BFIFC : Bureau of Foods Irradiated Food Committee)を設立し、「1 kGy以下の線量では分解物の生成が無視できるので無条件で許可、1 kGy以上の線量では食事中に占める割合が0.01%未満なら無条件で許可、0.01%以上では一定の毒性試験を行う」という指針を1980年に策定しました(図)。

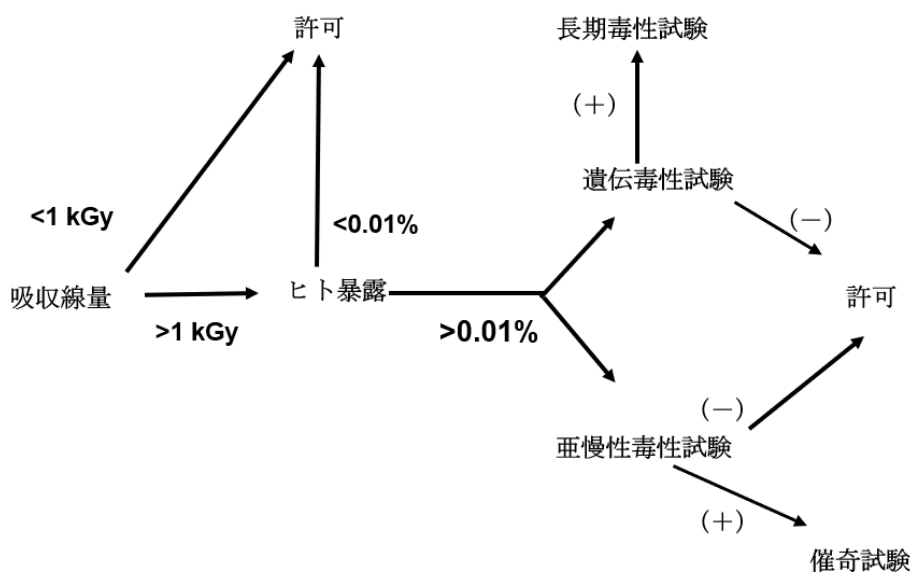


図 FDAが策定した照射食品の安全性評価の決定樹^(※)
(Safety decision tree)

※: Brunetti A.P, et al. (1980) Recommendations for Evaluating the Safety of Irradiated Foods, U.S. Food and Drug Administration, Washington, D.C. より作成

香辛料は一般的に食品中に少量だけ用いられる添加物であり、食事中に占める割合が0.01%未満とみなされるため、「無条件で許可、毒性試験データは安全規制上必要ない」と判断されました。そして米国では香辛料の放射線殺菌は30 kGyまでの範囲で許可され、実用化されています。

日本では1986年から1991年までの6年間に日本アイソトープ協会食品照射研究委員会によってコショウを含む数種の香辛料について[誘導放射能](#)の再評価と[サルモネラ菌](#)を用いた[復帰突然変異試験\(エームス試験\)](#)が行われ、安全性が確認されています。

参考資料

- ・ 古田雅一, 食品照射の現状と展望(6)放射線照射食品の健全性, *RADIOISOTOPES*, 71(3), 195-210(2022)
- ・ 古田雅一(分担執筆), 「第16章 放射線照射による香辛料の殺菌」, pp. 339-353, *スパイス・ハーブの機能と応用*(森川敏生(監修)株式会社シーエムシー出版, 2020年)
- ・ 日本アイソトープ協会, 「食品照射研究委員会研究成果報告書」, 1992年12月

(Q5) 放射線照射でシクロブタノン類が生成することは、安全性への懸念になりませんか?

脂質を含有する照射食品には、放射線照射に特異的な分解生成物である2-アルキルシクロブタノン類(2-ACBs)が極微量含まれています。1990年代の終わりから2000年代初頭にかけて、高濃度の2-ACBsに暴露された培養細胞でのDNA損傷作用等が報告されましたが、その後実施された国際的に標準化された方法による遺伝毒性試験では全て陰性の結果が得られています。そして、[WHO\(世界保健機関\)](#)をはじめ、食品照射を認可する各国の食品安全評価機関は、本化合物の存在による照射食品の安全性への懸念を否定しています。

[2-アルキルシクロブタノン類\(2-ACBs\)](#)は、照射食品の[検知法\(Q8参照\)](#)を開発する研究の中で、脂質由来の放射線照射に特有な分解生成物、すなわち照射食品に特異的なマーカー候補として同定されました。その構造は、脂質を構成する脂肪酸より炭素数が4つ少ないアルキル基を側鎖に持つ環状ケトンです。照射食品中の含有量は、線量と食品中の脂質(脂肪酸)含量に依存して増加しますが、その量は非常に少なく、例えば[パルミチン酸](#)に由来する[2-ドデシルシクロブタノン](#)の鶏肉100g中の含量は、3kGyの照射で12.9μg程度です。

この2-ACBsは1990年以降に新たに照射食品中で検出されたため、90年代後半に改めて2-ACBsの純品を用いた毒性評価が実施されました。そして高濃度の2-ACBsによる培養細胞中の[DNA損傷作用](#)や、[発がんプロモーション活性](#)(それ自体に発がん性は無いが発がん物質との同時投与で発がんを促進)の可能性が報告されると、照射食品の安全性を疑問視する消費者グループなどにより、その危険性がセンセーショナルに喧伝されました。

しかし、WHOや[欧州食品安全機関\(EFSA\)](#)等は、「発がんプロモーション活性を報告した論文では2-ACBs投与量が照射食品中の含有量に比べ桁違いに大きいため、この報告をヒトに対する照射食品の健康影響の議論に用いることは不適切」であり、「DNA損傷を検出した[コメットアッセイ](#)も遺伝毒性評価の標準法に採用されていない」と指摘しました。その上で、過去に実施された、[59kGyという高線量で照射された鶏肉の長期動物投与試験](#)や[細菌を用いる復帰突然変異試験\(エームス試験\)](#)の結果が陰性であることから、照射食品中に存在する2-ACBsのヒトへの悪影響は無視しうると結論しました。食品の安全性に関する多くの専門家はこの見解を支持し、高価な2-ACBs標準品を用いたこれ以上の動物投与試験は無用と考えていますが、一旦生じた懸念が払拭されない状況が続きました。

その後、日本の食品安全委員会が出資した研究プロジェクトで、十分な動物数を用いた発がんプロモーション試験や[長期反復投与試験](#)、国際的に妥当性が確認された[遺伝毒性のバッテリー試験](#)を用いた2-ACBsの毒性評価が行われ、全てについて陰性の結果が得られました。また、韓国の研究グループも同様の試験を行い、陰性との結果を論文で公表しています。これらの成果により、2023年時点では2-ACBsの遺伝毒性や発がんプロモーション活性についての懸念は否定されたとと言えます。

参考資料

- 古田雅一, 食品照射の現状と展望(6)放射線照射食品の健全性, *RADIOISOTOPES*, 71(3), 195-210(2022)

(Q6) 食品中のカビのアフラトキシン産生能が照射によって増加することはありますか?

現時点では、放射線照射によってアフラトキシン産生が促進されるという証拠はなく、アフラトキシンを強力に産生する変異株が照射によって出現したという報告もありません。むしろ逆に、食品中のアフラトキシン産生菌の初発菌数を照射で低減することによって、輸送中や貯蔵中のアフラトキシン産生を抑制する効果が期待できます。

過去に、[アフラトキシン](#)を産生するカビである *Aspergillus flavus* と *Aspergillus parasiticus* で、胞子を照射後にアフラトキシンの産生能が増加したという報告がありました。しかし、世界各国で追試された結果、照射による産生促進効果は無いか、ほとんど無視できると報告されています。また、胞子の接種量に対する毒素生産能の依存性が考慮されていない(接種量の条件が揃っていない)などの実験デザインの不備も指摘されています。

非照射の白米と 5 kGy 照射した白米にそれぞれ *Aspergillus flavus* を接種してアフラトキシンの生産量を比較したところ、照射試料でアフラトキシン産生促進が認められたという報告もありました。しかし、これは、照射によって殺菌された白米(照射試料)に接種された *Aspergillus flavus* が純粋培養に近い状態で盛んに増殖したのに対し、殺菌されていない非照射の白米では増殖の速い他の細菌やカビとの競合によって接種した *Aspergillus flavus* の生育とアフラトキシン産生が抑制されたことによる、「見かけ上の産生促進」と考えられます。

これらのデータも踏まえて世界保健機構(WHO)は、照射後適正な条件下で貯蔵した食品にはアフラトキシン産生能の増加の危険性は存在しないと報告しています。

2010年以降、5 kGy以上のガンマ線照射でアフラトキシンが減少することが多く報告されています。高線量の照射によって既に存在しているアフラトキシンを化学的に分解除去することも可能かもしれませんが、むしろ事前の照射で農作物や食品中のカビの初発菌数を低減することによって、輸送中や貯蔵中のカビの増殖とアフラトキシン産生を抑制する効果が期待できます。

さらに、[Q2 参照](#)の回答で説明した[植物検疫処理](#)への応用のように、放射線照射には、穀類に潜むコクゾウムシなどの昆虫やダニに対する殺虫や不妊化の効果があります。照射によってこれらの害虫等の繁殖による穀類の食害を防止することで、かじられた傷からのカビの発生とアフラトキシン産生を防止するという間接的な効果も期待できます。

参考資料

- ・ WHO(世界保健機構), 食品照射の安全性と栄養適正, コープ出版(1996)
- ・ 林徹, 食品・農業分野の放射線利用, 幸書房(2008)
- ・ 土肥野利幸, (4) 植物検疫の仕組みと放射線照射処理の国際基準, *RADIOISOTOPES*, **71** (2), 93-99 (2022)

(Q7) 照射食品の表示はどのようになっていますか？

照射食品が社会に流通する際は、消費者が選択できるように、照射食品であることの表示が必要と考えられます。そのため、国際食品規格で表示の方法が定められています。

[コーデックス国際食品規格](#)では、[照射食品に関する一般規格](#) (CODEX STAN 106-1983, Rev.1-2003) を定め、出荷書類に照射の事実を示す文言を記載すること、最終消費者に対してバラ売りする食品の場合は売り場に食品名と照射されている旨を表示すること、包装済み食品については「[包装食品の表示に関するコーデックス一般規格](#) (CODEX STAN 1-1985, Rev2018)」に従って食品名の近くに照射の事実を示す文言を記載し、原材料として照射された成分を含む食品の場合もその事実を表示すること、などを定めています。国際的な食品照射シンボルマークである Radura (☒) のロゴが追加して表示されることもあります。ただし、これらは加盟国に強制されるものではなく、国によって具体的な規制は異なります。

ヨーロッパ連合(EU)では、すべての照射食品で「照射」あるいは「放射線処理」という言葉を表示することを義務づけ、その担保として[欧州標準化委員会\(CEN\)](#)が定めた標準分析法を用いて市販流通品のモニタリング調査を行っています([Q8 参照](#))。この表示義務は、照射された成分が含まれる割合についての閾値がない(原材料のごく一部でも照射されていたら表示が必要)という厳格なもので、レストランやケータリングで提供される食事にも適用されることになっています。[オーストラリアとニュージーランドでも同様の規則](#)を定めています。しかし、例えば、微量の照射スパイスを含むブレンドスパイスで味付けされたサラミソーセージの薄切りをほんの少しだけトッピングしたピザのように、極めて微量の照射された原材料を含む食品にも表示の義務があることとなりますが、そのような場合でも照射の事実の有無を判別して表示義務の履行を確認できるかどうかは分析法(検知法)の感度の問題になるでしょう。

一方、米国では、「表示は消費者への警告ではない」という考え方から、肉類と果実はコーデックス規格に則った表示をしていますが、香辛料の表示は義務付けられていません。カナダでは、成分の10%以上が照射されている場合に表示を義務づけていますが、2005年から食品と医薬品のどちらでもない「サプリメント」というカテゴリーが設けられ、サプリメントの照射は食品照射の規制を受けないことになりました。

照射食品であることの表示に加えて、品質向上や環境保護などの照射の利点が記されることもあります。逆に、非照射の食品に「照射されていません」と敢えて記載することによって、「遺伝子組換えでない」や「添加物不使用」などと同様に、あたかもそれが他の食品に比べて安全で健康的な食品であるかのように消費者に思わせようとする宣伝も見られます。



図 食品照射シンボルマーク Radura のロゴ
(international version)

参考資料

- 等々力節子, (1) 食品照射とは—技術の概要及び評価と研究開発の歴史—
RADIOISOTOPES, **71** (1), 55-62 (2022)

(Q8) 照射食品を検知する技術はありますか？

はい。照射によって食品に生じる物理的、化学的、あるいは生物学的な変化を指標として照射されたか否かを判定する技術(検知法)が開発されています。なお、食品に放射線を照射してもその食品に放射線は残らないため、放射線測定器などで検知することはできません。

1990年頃から欧州を中心に照射食品の適切な表示と規制の実効性を確保する目的で検知法開発の共同研究が実施され、2004年までに合計10種類の検知法がヨーロッパ標準規格法に制定されました(表)。これらの検知法のうち9種類がコーデックス(Codex)標準分析法として採用されています。これらは、食品が照射されたか否かを判定する定性試験法であり、照射された線量を推定するものではありません。

➤ 物理的検知法

食品に付着・混入しているケイ酸系鉱物に蓄積されたエネルギーを検出する熱ルミネッセンス(TL)法や光刺激ルミネッセンス(PSL)法、食品中の結晶性の糖、セルロース、骨に由来する比較的安定なラジカルを検出する電子スピン共鳴(ESR)法があります。これらの物理的検知法は、放射線作業時の外部被ばく管理に用いる個人線量計や工業製品の照射処理の線量管理に用いるフィルム線量計などと同様の原理によるものです。

➤ 化学的検知法

食品中の脂質の放射線分解によって特異的に生成するごく微量の2-アルキルシクロブタノン(ACB)類を検出するACB法や、放射線分解の際に(加熱処理との比較において)特徴的に生成する揮発性炭化水素を検出する炭化水素(HC)法があります。

➤ 生物学的検知法

食品中の動植物細胞のDNA鎖切断を検出するコメットアッセイや、生菌数や微生物叢の変化を検出するDEFT/APC法とLAL/GNB法があります。しかし生物学的検知法は照射に対する特異性が低いため、いずれもスクリーニング法とされています。

日本では、以上の検知法のうち、照射に対する特異性が比較的高いと考えられるTL法、ACB法、及びESR法が厚生労働省より通知されています。

EU加盟国の多くは、照射許可品目外または照射の表示が不適切な食品の流通の防止を目的として上記のヨーロッパ標準規格法を用いたモニタリングを実施しています。これに対し、日本では、食品への照射は食品衛生法で原則として禁止されているため、輸入食品を対象に通知された検知法を用いたモニタリング検査が実施され、照射されたと判定された場合は食品衛生法13条(食品の製造、加工及び調理基準)に違反するものとして取り扱われます。

上記の検知法は検知性能の妥当性が確認されており、公的な検査に利用されています。一方で、公的な検査には利用されていませんが、上記以外の検知原理に基づいた検知法の開発も行われています。一

例になりますが、DNAが照射された際に生じる損傷ヌクレオシド(5,6-ジヒドロチミジン)を検知指標としたジヒドロチミジン法は、幅広い食品に適用できると考えられています。

参考資料

- ・ 林徹, 食品・農業分野の放射線利用, 幸書房(2008)
- ・ 堤智昭, (5)放射線照射された食品の検知法について, *RADIOISOTOPES*, **71**(1), 101-107(2022)

表 照射食品の検知法

方法	分析法番号	分析対象食品	コーデックス規格での位置づけ
炭化水素の分析 (HC)	EN1784	脂肪を含む食品 (生鮮肉、生鮮鶏肉、チーズ、果実など)	Type II
2-アルキルシクロブタノン分析 (ACB)	EN1785	脂肪を含む食品 (生鮮肉、生鮮鶏肉、全卵液)	Type III
骨の ESR 測定	EN1786	骨を含む食品	Type II
セルロースの ESR 測定	EN1787	セルロースを含む食品 (種実、スパイスなど)	Type II
糖結晶の ESR 測定	EN13708	糖を含む食品 (ドライフルーツ、干しぶどう等)	Type II
熱ルミネッセンス測定 (TL)	EN1788	ケイ酸系鉱物を含む食品 (ハーブ、スパイス、ハーブ・スパイス混合物、エビなど)	Type II
光励起ルミネッセンス測定 (PSL)	EN13751	ケイ酸系鉱物を含む食品 (貝類、ハーブ、スパイス、調味料)	Type III
DEFT/APC 法 (スクリーニング)	EN13783 NMKL137	ハーブ、スパイス	Type III
DNA コメットアッセイ (スクリーニング)	EN13784	DNA を含む食品 (種々の肉、種実、ドライフルーツ、スパイスなどの動物性及び植物性食品)	Type III
LAL/GNB 法 (スクリーニング)	EN14569	鶏肉	Codex 標準分析法への収載無し

(Q9) 照射された食品の風味は変化(劣化) しませんか?

はい、食品に高線量の放射線を照射すると、加熱処理による変化に比べて遥かに小さいものの、風味や色調、テクスチャーなどが変化することがあります。しかし、これらの変化は照射処理に特有の現象ではなく、食品の安全性にも関係ないことが確認されています。また、脱酸素状態や低温・凍結条件で照射することで、ある程度の抑制が可能です。

肉類や乳製品を高線量で照射した場合に発生する独特の「異臭」は「[照射臭](#)」とも呼ばれ、その原因は主として蛋白質や脂質の分解で生じる揮発性物質であり、空気中の酸素存在下で照射すると発生し易く、脱酸素下あるいは低温・凍結条件下の照射では抑制されます。このような「異臭」の発生は、コメの蛋白質に含まれる[含硫アミノ酸](#)の熱分解で生じた微量の[硫化水素](#)などが「ご飯が炊けた匂い」を感じさせることに似ています。生肉や生魚の加熱処理による風味の変化、焼肉や焼魚の匂いの発生に比べれば、かなり控えめな変化です。

日本で最も多く流通している[超高温殺菌牛乳](#) (120～130℃、2秒) でも加熱処理による風味の変化がわずかに感じられますが、超高温殺菌牛乳を飲み慣れた人の中には、[乳等省令](#)で定める殺菌法の原点になった[パスツール式の低温殺菌牛乳](#) (62～65℃、30分) や未殺菌の生乳を逆に生臭く感じる人もいます。個人差はあるとしても、嗅ぎ慣れない匂いに対する違和感を「異臭」と感じ、嗜好性に影響を与えると考えられます。

風味の変化以外にも、コメや小麦粉への高線量の照射で粘弾性が低下するなど、食材や照射条件によっては[テクスチャー](#)や[加工適性](#)が変わることもあります。[植物検疫処理](#)での生鮮果実への照射では、品種によっては放射線に対する感受性が高く、商品価値が低下する場合があります。照射処理は、これらの変化が問題とならない用途に限って使用されており、缶詰やレトルトパウチのような加熱処理や、冷凍処理、あるいは[ポストハーベスト農薬](#)や[食品添加物](#)など、既存の食品加工・衛生化技術の全てが照射処理で代替される訳ではありません。

なお、これらの照射による風味やテクスチャーの変化は、食品の安全性には関係なく、あくまでも嗜好性や商品性(市場性)に属する問題です。また、香辛料や茶葉などは、照射しても香りは変化しないか、逆に照射によって好ましい香りが強くなる場合もあるなど、食品に元々含まれる成分や商品特性に依存する部分が大きいことが知られています。現在世界で流通している照射食品は、嗜好性・商品性においてもテストに合格した例と言えます。

参考資料

- ・ 林徹, 食品・農業分野の放射線利用, 幸書房(2008)
- ・ 小林泰彦, (2) 食品照射の実用状況と消費者の受容, *RADIOISOTOPES*, 71 (1), 63-83 (2022)

(Q10) 食品照射はどのような施設で行われているのですか？

食品照射を行う施設では、遮蔽された照射室内で、食品及び周辺の物に照射により放射性物質を生じさせない条件の放射線が遠隔操作で照射されます。食品が放射線源に直接接触することはありません。照射施設には、放射線安全及び適正な放射線加工のための管理に加え、食品安全や植物検疫のための規制やガイドラインも適用され、搬送・照射・貯蔵等の全工程にわたり一貫して衛生的な食品加工プロセスとして取り扱われます。

食品照射を含む大線量(=高線量)の商業照射施設には、放射線照射により食品中に放射性物質を生じない種類及びエネルギー域の放射線として、放射性同位元素である⁶⁰Coから発生するガンマ線、加速器で発生させるエネルギー10 MeV以下の電子線、及び5 MeV^{m1}以下のX線が主に使われます。

最も多く普及している⁶⁰Coガンマ線照射施設では、ガンマ線が外部に漏れないように遮蔽された照射室内で、放射性同位元素(RI)である⁶⁰Coのペレットを特殊な難腐食性金属で二重に密封した棒状の⁶⁰Co線源を遠隔操作して照射します。この時なるべく可能な限り広範囲に均一にガンマ線を照射できるように、多数の線源を板状や円筒状に並べた線源集合体が用いられます。大きなトートボックス内やトレイ上などに崩れないように梱包・載荷された食品を、コンベアなどで自動的に照射室内に搬送し、線源集合体の周囲を直接触れることなく通過させながら目的の線量までガンマ線を照射します。電子線やX線照射施設の場合は、遮蔽された照射室内の加速器で発生させた電子線やX線の帯状になったビーム束の中を、同様の方法で食品を通過させて照射します(Q11参照)。

食品照射の目的によって必要な線量は異なりますので、実際に食品が受けた線量が予定の範囲に収まっているかどうかを、搬送物に貼付した線量計で実測した吸収線量値に基づいて確認し、その品質を管理します。一般的に、放射線加工で用いる照射施設における線量測定に係る国際的な規格として、2023年現在、ISO/ASTM51702など26の規格があり、電子線やX線照射施設における線量測定も含まれています。食品照射でもこれらを適用することが推奨されています。

食品照射施設では、工業用の放射線加工施設で必要とされる放射線安全(作業及び周辺環境における被ばく防止)のための管理(Q11参照)に加え、食品安全や植物検疫のための規制やガイドラインに従うことが求められます。食品の国際規格を定めるコーデックス委員会は、「照射食品に関する一般規格(CODEX STAN 106-1983, Rev. 1-2003)」及び「食品の放射線処理のための実施規範(CAC/RCP 19-1979, Rev2003)」において、食品照射施設についても他の食品加工・流通施設と同様の衛生管理を要求しており、食品中の有害な汚染微生物の低減を目的とした照射にはHACCPの原則が適用されます。このため、照射前後の保管や流通においても、食品の衛生状態を保ち、微生物の繁殖や汚染を防ぐ施設設計と管理が必要となります。また、温度管理が必要な食品の品質劣化を防ぐためには、照射施設に付帯して冷蔵・冷凍設備を設けています。

植物検疫処理を目的とした照射施設では、輸入する側の相手国も含め、管轄する国の植物防疫当局の認可と監査を受けることが必要です。国際植物防疫条約(IPPC)の定める植物検疫処理の国際基準(ISPM18 植物検疫措置としての放射線照射の利用の要件)では、農産物が照射施設に置かれている間に

新たな害虫の寄生やその他の汚染が起こらないような効果的な措置を講じることが求められます。例えば、飛翔性昆虫の侵入を防ぐには、二重扉やエアカーテンの他、窓などの開口部のスクリーン（網戸やメッシュ張り）、さらには、ローディングドックシール（積荷を搬出入するトラックと建物との間に生じる隙間の密閉）といった追加の設備を用います。

わが国では、食品照射は食品衛生法で規制されており、食品への放射線照射は、ジャガイモの芽止めを目的とした線量 150 Gy 未満の⁶⁰Co ガンマ線照射のみが認可されています。そのための照射施設も食品衛生法に基づいた管理を受ける必要がありますが、2024 年(令和 6 年)3 月現在、食品照射を実施している国内施設はありません。(Q2 参照)

*1:許容される最大エネルギーとして 7.5 MeV を採用している国もあります。

参考資料

- ・ 清藤一, 食品照射の現状と展望(3)放射線照射施設における吸収線量測定, *RADIOISOTOPES*, **71** (1), 85-91 (2022)
- ・ IAEA, Manual of Good Practice in Food Irradiation. Technical Reports Series No. 481, (2015)
<https://www.iaea.org/publications/10801/manual-of-good-practice-in-food-irradiation>

(Q11) 放射線照射施設は、どのような法的規制や管理方法で運営されていますか？

食品照射用の施設も含めて工業用の放射線照射施設(放射線加工施設)には、放射線障害の防止及び放射性同位元素等の防護の観点から、多重に安全設計された装置・施設の建設と稼働及び作業員等の健康と環境への影響に対する措置・監視などの継続的な実施が求められており、規制当局の許可・監督の下で十分な安全性を保って運営されています。

大線量の放射線を扱う工業用の放射線加工施設では、放射性同位元素から発生するガンマ線、加速器から発生する電子線、及び電子線を金属ターゲットにあてて発生させる変換 X 線が用いられます。いずれにおいても放射線による被ばくを防止した装置・施設に係る安全設計を施しており、十分な遮蔽構造の中で放射線照射が行われるとともに、作業員及び周辺住民の健康に影響がない生活環境が保たれています。

国際原子力機関(IAEA)が発行する「IAEA 安全指針：ガンマ線、電子線、X 線照射施設の放射線安全性(SSG-8:2010)」では、線源及びそれを備えた照射室の内部構造設計と遮蔽、照射対象物の照射室への搬送方法、作業員を含む全ての安全要因が満たされないと照射できないインターロック制御システム、放射線のモニタリングと警報標識、等々、これらに施す具体的な安全設計の重要な要素に関するガイダンスを示しています。放射線加工照射施設は、国際的にもこれらを適用した幾重もの防護レベルを施した安全設計に基づいて建設・運営されています。

放射線照射は、コンクリートなどの厚い遮蔽壁を持つ密室状態の照射室内で行われ、照射中はフェイルセーフも含めたインターロック制御システムの働きで照射室への立ち入りや危険な作業ができないように設計されています。また、照射中に限らず、照射室外の環境における放射線量に対して、放射線モニタ等で監視がなされています。

これらの設備面での対策に加え、マニュアルを遵守した作業が行われています。海外では過去に整備不良やマニュアル違反による事故が報告されているため、多重防護の対策を人為的に破らないことなどの作業員に対する教育訓練を徹底して再発を防止しています。

前述の IAEA のガイドラインでは、安全のためのハードウェアへの要求に加え、一般的な放射線安全に配慮した作業・運営体制、作業員等の被ばく線量管理や環境モニタリング、放射性同位元素の使用・管理におけるセキュリティ対策、機器類の動作確認試験と保守などに関する安全性の定期的検証や放射線防護プログラムが必要であるとしています。そして、照射施設の建設や運営に当たっては、放射線安全や線源管理に関与する自国の規制当局に照射施設の立地、設計、建設、取得、保管及び運営についての認可申請書を提出して認可を得るとともに、施設の運営組織は、その安全性に責任を持ち、国内規制要件及び放射線安全基準に従って照射施設を運営する責任があることも明記されています。

わが国においても、 ^{60}Co ガンマ線、電子線または X 線による放射線照射を行うためには、「放射性同位元素等の規制に関する法律(昭和 32 年法律第 167 号、令和 4 年法律第 68 号による改正)」に基づき、国(原子力規制委員会)からの認可を得ることが必要です。また、事業所ごとに放射線取扱主任者を選任す

るとともに、[放射線障害予防規程](#)を制定し、主任者の監督下で、照射装置の運転、[管理区域](#)への作業者の入退室管理、管理区域及び周辺環境の線量モニタリング、作業者の教育訓練、被ばく線量管理と健康診断等々を適切に実施し、それらを記録・保管することなどが義務付けられています。さらに、稼働している照射施設に対しては、国の認定機関による施設検査が定期的に行われています。

加えて、IAEA による「放射性物質及び関連施設に関する核セキュリティ勧告(2016)」を踏まえた法改正により、 ^{60}Co など[特定放射性同位元素等](#)を扱う事業所では、上述の管理区域を定めた放射線障害予防とは別の観点から、防護区域を定めた特定放射性同位元素の防護の実施が求められています。具体的には、防護区域の出入りの恒常的な監視体制により、盗難や不法な侵入への対策措置を講じています。なお、電源の ON/OFF で電子線や X 線の発生を制御できるいわゆる加速器施設では、このような措置は求められません。

以上で説明した放射線加工施設では、放射性物質の生成や汚染がない放射線種/エネルギーの線源を使用しているため、使用后あるいは廃止後の施設や装置は、汚染がないことが検査で確認された後に一般産業廃棄物として処分されます。また、 ^{60}Co 等の放射性同位元素の線源は、製造元に返還後、保管・再利用されます。なお、国内外の輸送は、放射性同位元素等に係る国内外の法律を遵守して規制当局による許可の下で行われます。

参考資料

- ・ ラジエ工業株式会社, ガンマ線照射施設と電子線照射施設での照射の様子
<https://www.radia-ind.co.jp/services/c01/facility> (動画あり)
- ・ 日本照射サービス株式会社, 照射梱包, ガンマ線照射・電子線照射実施例
<https://jisico-hq.jp/flow01>
- ・ 株式会社コーガアイソトープ, ガンマ線照射
<http://www.koga-isotope.co.jp/gamma/process.html>
- ・ IAEA:No. SSG-8 Radiation Safety of Gamma, Electron and X Ray Irradiation Facilities
<https://www.iaea.org/publications/8401/radiation-safety-of-gamma-electron-and-x-ray-irradiation-facilities>
- ・ 「放射性同位元素等の規制に関する法律」
<https://elaws.e-gov.go.jp/document?lawid=335C00000000259>
- ・ 乗物丈巳, シリーズ:放射線施設・設備に関する知識の伝承
第1回 放射線施設の建設, *Isotope News*, No. 759, 74-79 (2018年10月号)
- ・ 佐藤弘之, シリーズ:放射線施設・設備に関する知識の伝承
第2回 放射線施設に付随する設備の基礎, *Isotope News*, No. 760, 77-87 (2018年12月号)

(Q12) 食品照射に関する情報はどこで入手できますか?

食品照射に係る論文や報告書に基づいた情報は、整理され、下記にデータベース化して掲載されています。データベースには引用文献として情報源が掲載されており、これらの多くの文献は研究機関や大学等の図書館で入手または閲覧可能です。

- 放射線利用振興協会:放射線利用技術データベース
<https://rada.or.jp/dbtop/riyoudb/index.html>
- QST 高崎量子応用研究所:食品照射データベース
<https://foodirra.taka.qst.go.jp/>

また、日本食品照射研究協議会の学会誌「食品照射」の創刊号から最新号に掲載された学術論文や総説が下記より閲覧できます。

- 日本食品照射研究協議会:学会誌「食品照射」
<http://www.jrafi.jp/gakkaishi.htm>
- J-STAGE「食品照射」
<https://www.jstage.jst.go.jp/browse/jrafi/list/-char/ja>

食品への照射ではありませんが、実際の照射の様子が良く分かる動画がこちらにあります。

- ラジエ工業株式会社:放射線照射サービス/照射施設/ガンマ線照射施設(RIC1~3)、電子線照射施設(EB)
<https://www.radia-ind.co.jp/services/c01/facility>

海外の公的機関は簡潔で分かりやすい情報が多く公開されています。

- 米国疾病予防管理センター(CDC)「食品照射の仕組み、他」
<https://www.cdc.gov/foodsafety/communication/food-irradiation.html>
- 米国食品医薬品局(FDA)「食品照射:知っているべきこと」
<https://www.fda.gov/food/buy-store-serve-safe-food/food-irradiation-what-you-need-know>
- 米国環境保護庁(EPA)「食品照射について」
<https://www.epa.gov/radtown/food-irradiation>
- 米国農務省(USDA)「照射と食の安全のFAQ」
<https://www.fsis.usda.gov/food-safety/safe-food-handling-and-preparation/food-safety-basics/irradiation-and-food-safety-faq>
- オーストラリア連邦農林水産省(DAFF)「植物検疫照射に関するあれこれ」
<https://www.agriculture.gov.au/agriculture-land/plant/health/international-plant-protection/irradiation-insights>
- 植物検疫照射プラットフォーム(PsIP) (登録すれば限定記事も無料で閲覧できます)
<https://psipglobal.org/>

なお、[Q9](#)に関連して、消費者団体のメンバーが様々な食材を照射した後、その外観や風味の変化を実際に試食して確かめた「照射食味テスト」のレポートがあります。加熱殺菌香辛料と照射殺菌香辛料を用いたカレーの食べくらべなど、興味深い内容が掲載されています。

- **食のコミュニケーション円卓会議/食品照射/活動の記録(ガーリック通信)**
http://food-entaku.org/garlic_letter.html

(Q13) 過去の懸念について

1970年代に日本でジャガイモの照射芽止めが許可・実用化された当時、食品照射に対して様々な懸念や反対意見が表明されました。その多くは誤解や知識不足によるものでしたが、中には意図的なデータの曲解もありました。

○殺菌や殺虫には既存技術で十分であり、照射の有用性はないため、食品照射を進める必要はないのではないかと。

食品照射は、加熱処理のように品質が劣化せず、薬剤処理のように環境汚染や残留毒性の懸念がなく、省エネ・省資源、工程管理が容易、最終梱包形態で処理できるなどの多くの技術的優位性を備えています。

殺菌技術としては、耐熱性の芽胞菌で汚染されることが多い香辛料や乾燥野菜等は、風味や色調が重要視されるため、加熱殺菌が難しく特に照射殺菌に優位性があります。植物検疫における殺虫技術として臭化メチル燻蒸が広く使用されていますが、オゾン層の破壊に繋がる臭化メチルの排出を削減することが求められており、照射処理など他の技術に移行することが喫緊の課題となっています。

*さらに詳しく→[p26](#)及び[Q1](#)へ

参考資料

- ・ 林徹, 食品・農業分野の放射線利用, 幸書房(2008)
- ・ 日本原子力産業協会, 食品照射 Q&A ハンドブック(専門家向け), p. 41-44 質問9(2007)
https://www.jaif.or.jp/cms_admin/wp-content/uploads/about/publication/qa-handbook.pdf
- ・ 古田雅一, 香辛料の放射線殺菌の必要性, 放射線と産業, 115号, 12-19(2007)
<https://foodirra.taka.qst.go.jp/dbdocs/006001003068.html>
- ・ WHO(世界保健機構), 食品照射の安全性と栄養適正, コープ出版(1996)

○照射すると生命力が弱り、馬鈴薯やタマネギでは腐敗しやすくなるのではないかと。

照射した馬鈴薯(ジャガイモ)は、収穫時の傷の修復力が一時的に低下する、呼吸が活発になる、などの生理的反応を見せますが、「生命力が弱る」との指摘は見当違いです。

「馬鈴薯やタマネギでは腐敗しやすくなる」という主張は、「放射線照射によるタマネギの発芽防止に関する研究成果報告書」のデータを曲解したものです。発芽したタマネギはほとんど腐ってしまうため、発芽したものを除外して芽止めできているタマネギだけで集計すると、照射によってあたかも腐敗率が高くなるように見えます。しかし、発芽したタマネギも含めて集計すると、照射試料よりも非照射試料の方が腐敗率ははるかに高くなります。

*さらに詳しく→[p27](#)へ

参考資料

- ・ 日本原子力産業協会, 食品照射 Q&A ハンドブック(専門家向け), p. 34-35 質問7(2007)
https://www.jaif.or.jp/cms_admin/wp-content/uploads/about/publication/qa-handbook.pdf

○わが国の「原子力特定総合研究」で実施された、ラットに照射した馬鈴薯添加飼料を与えた実験では、体重増加、卵巣重量に変化が見られたので、健全性に問題があるのではないか。

照射ジャガイモを添加した飼料で飼育中のラットの体重増加カーブには、線量が0 Gy、150 Gy、300 Gy、600 Gy と異なる各グループの間で違いが見られましたが、線量が大きいほど体重の増加も遅れるといった線量依存性(線量との用量関係)はありませんでした。従ってこの体重増加カーブの違いは、線量すなわち照射とは無関係のばらつきと考えられます。

飼育開始から3、6、12、24ヶ月目の時点で卵巣重量を調べた実験では、600 Gy 照射したジャガイモを与えたグループで、6ヶ月目の時点でだけ、卵巣重量の減少が見られました。しかし、他の時点では見られず、卵巣の病理学的検査でも異常は見られなかったことから、この一時的な卵巣重量の減少は照射とは無関係と考えられます。

*さらに詳しく→[p28](#)へ

参考資料

- ・ 伊藤均, 特定総合研究での動物試験の結果について, 放射線と産業, 115号, 6-11(2007)
<https://foodirra.taka.qst.go.jp/dbdocs/006001003067.html>
- ・ 日本原子力産業協会, 食品照射 Q&A ハンドブック(専門家向け), p. 140-142 質問 44, 45(2007)
https://www.jaif.or.jp/cms_admin/wp-content/uploads/about/publication/qa-handbook.pdf

○わが国の「原子力特定総合研究」で実施された、タマネギ添加飼料を与えた実験では、慢性毒性試験や世代試験に頸肋などの影響が見られたので、健全性に問題があるのではないか。

照射タマネギを2%添加した飼料を与えたマウスの2世代目の胎児や新生児で、頸肋(けいろく)という軽微な骨格異常(第7脛骨に小さな肋骨が附着)の発生率がやや増加しました。しかし、頸肋はもともと胎児で発生率が高く成長に伴って消失するもので、観察される発生率には大きなばらつきがあり、上記の増加もばらつきの範囲内と考えられます。また、第1世代や第3世代では照射飼料を与えた方が逆に発生率が低くなった、照射タマネギを4%添加した飼料を与えた場合には発生率は増加しなかったなど、一貫した影響が見られなかったことから、頸肋の発生は照射とは無関係と考えられます。

*さらに詳しく→[p30](#)へ

参考資料

- ・ 伊藤均, 特定総合研究での動物試験の結果について, 放射線と産業, 115号, 6-11(2007)
<https://foodirra.taka.qst.go.jp/dbdocs/006001003067.html>
- ・ 日本原子力産業協会, 食品照射 Q&A ハンドブック(専門家向け), p. 150-151 質問 50(2007)
https://www.jaif.or.jp/cms_admin/wp-content/uploads/about/publication/qa-handbook.pdf

○わが国の「原子力特定総合研究」で実施された試験で実験動物の死亡率に影響が見られたので、健全性に問題があるのではないか。

照射米を与えたラットの死亡率には、線量依存性(線量との用量関係)が見られませんでした。また、雌では非照射米を与えたグループより照射米を与えた群の死亡率が高くなり、雄では逆に照射米より非照射米を与えたグループの死亡率が高くなるという矛盾した傾向が観察されました。これは、寿命に近くなったラットでは生理的個体差が大きくなる結果としてデータのバラツキが大きくなるためであり、この試験結果から照射の影響があると結論することはできません。

*さらに詳しく→[p31](#)へ

参考資料

- ・ 伊藤均, 特定総合研究での動物試験の結果について, 放射線と産業, 115 号, 6-11(2007)
<https://foodirra.taka.qst.go.jp/dbdocs/006001003067.html>

○放射線照射により誘導放射能が生じるのではないか。

食品照射に用いる Co-60 のガンマ線、10 MeV 以下の電子線、5 MeV 以下の X 線のエネルギーは、食品を構成する様々な元素の核反応の閾値以下であり、誘導放射能は生じません。

*さらに詳しく→[p32](#)へ

参考資料

- ・ 伊藤均, なぜ食品照射かーその歴史と有用性【4】照射食品の健全性評価と放射線分解生成物, 放射線と産業, 113 号, 26-31(2007)
<https://foodirra.taka.qst.go.jp/dbdocs/006001003062.html>
- ・ 日本原子力産業協会, 食品照射 Q&A ハンドブック(専門家向け), p. 10-14 質問 2(2007)
https://www.jaif.or.jp/cms_admin/wp-content/uploads/about/publication/qa-handbook.pdf

以下に過去の懸念についてまとめた内容を示します。（「食品照射に関するQ&A」2008年作成）

○殺菌や殺虫には既存技術で十分であり、照射の有用性はないため、食品照射を進める必要はないのではないか。

食品照射は、加熱のできない各種の生鮮物、冷蔵品、冷凍品、あるいは香辛料、乾燥野菜などの殺菌、殺虫などに適しており、そうした食品を中心に、数多くの国で照射食品の許可、実用化が進捗した。香辛料の品質への影響は過熱水蒸気処理よりも小さく（図1）、優れた殺菌技術である。

香辛料、乾燥野菜、ハーブなどにおいて、放射線殺菌は、過熱水蒸気殺菌と比較して精油成分への影響が小さく、色調への影響はほとんどないため、これらの品目の殺菌技術として優れている。また、オゾン層破壊に繋がる臭化メチル燻蒸の代替として、ホスフィン（リン化水素）による燻蒸があるが、薬剤耐性害虫の発生の可能性があり、完全な代替技術は食品照射のみである。

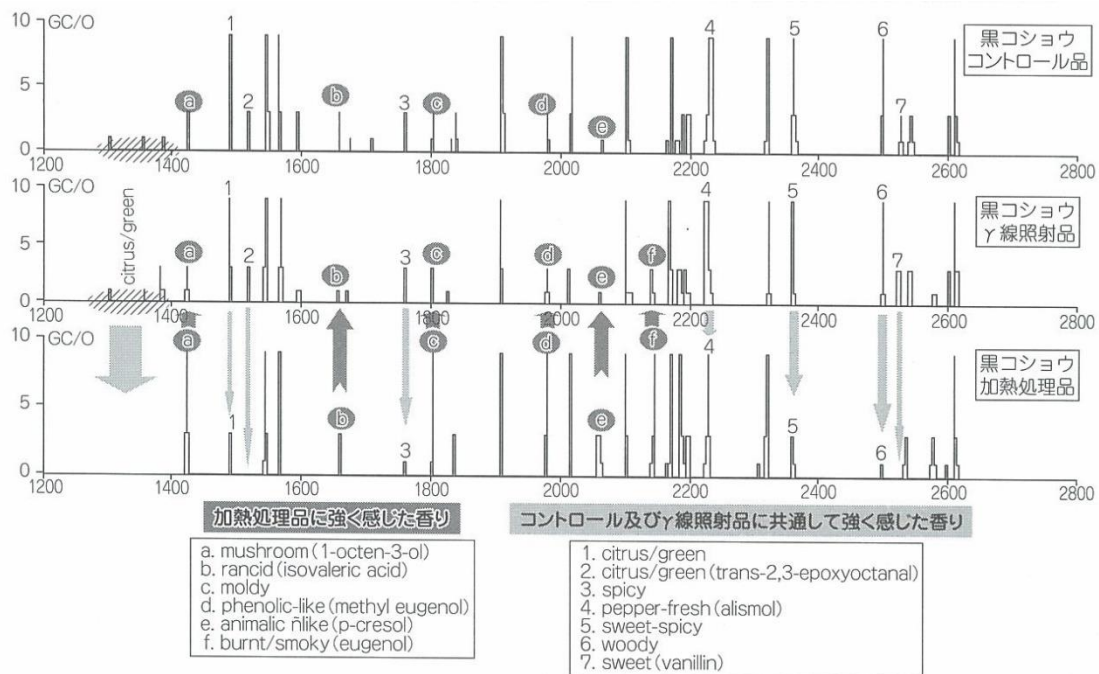


図1 無処理、ガンマ線照射、過熱水蒸気処理した黒コショウのGC/Olfactometryによる香気成分の分析結果

参考文献

古田雅一：香辛料への放射線照射、エネルギーレビュー 2006年5月号、10-13(2006)

○照射すると生命力が弱り、馬鈴薯やタマネギでは腐敗しやすくなるのではないか。

放射線を照射した馬鈴薯は非照射のものに比べて傷の治癒力が低下するために、収穫後 2～3 週間常温貯蔵(キュアリング)を行って収穫時の傷を完全に治癒してからガンマ線照射を行う必要がある。また、照射馬鈴薯は呼吸が活発になるために、呼吸に伴う酸素欠乏や湿気を防ぐのに十分な換気が必要である。キュアリングや貯蔵施設の換気をすることにより、放射線照射は発芽抑制技術として有効なものとなり、すでに土幌で実用化されており、これらの問題は解決されている。

照射したタマネギが腐敗しやすいという意見は、以下の事実を正しく理解していないか意図的に流布されているものである。

科学技術庁の食品照射研究運営会議がとりまとめた「放射線照射によるタマネギの発芽防止に関する研究成果報告書」(資料編)の中に示したデータでは照射タマネギの方が非照射タマネギよりも腐敗率が高くなっているが、これは発芽した試料を除外した後に腐敗した試料を計数したことによるものである。発芽したタマネギはほとんど腐ってしまうので、発芽した試料も対象とすると、照射試料よりも非照射試料の方が腐敗率ははるかに高くなる。表 2 に掲載されている収穫 242 日後の健全なタマネギは、非照射試料が 5.5%(=100-86.0-8.5)、0.03 kGy 照射試料が 75%(=100-0.5-24.5)、0.07 kGy 照射試料が 76%(=100-0-24.0)、0.15 kGy 照射試料が 73%(=100-1.0-26.0)となり、健全な試料の割合は、非照射のタマネギと比べて照射タマネギの方がはるかに高くなる。

表 2 収穫後 28 日目に照射したタマネギ及び非照射タマネギの発芽率及び腐敗率(室温貯蔵)

		収穫後の日数					
		28	63	83	124	185	242
非照射	発芽率	0	0	6.5	23.0	67.0	86.0
	腐敗率	0	0	7.0	8.0	8.5	8.5
0 Gy	発芽率	0	0	0.5	0.5	0.5	0.5
	腐敗率	0	0	5.0	12.0	13.5	24.5
70 Gy	発芽率	0	0	0	0	0	0
	腐敗率	0	0	0.5	12.0	14.0	24.0
150 Gy	発芽率	0	0	1.0	1.0	1.0	1.0
	腐敗率	0	0	4.0	12.0	18.0	26.0

参考文献

放射線照射によるタマネギの発芽防止に関する研究報告書、資料編、1980

○わが国の「原子力特定総合研究」で実施された、ラットに照射した馬鈴薯添加飼料を与えた実験では、体重増加、卵巣重量に変化が見られたので、健全性に問題があるのではないか。

照射馬鈴薯(150 Gy)によるラットの成長抑制の可能性について

体重あるいは体重増加量の数値には線量と変化の間に用量関係が認められない。又、血液形態学、血清生化学、病理学等の諸検査の結果には、体重増加の抑制に結び付くような影響は認められない。

過去多くの毒性試験の経験から、体重に検体投与が起因すると思われる変化があれば、定期的に実施した血液形態学的検査、血清生化学的検査及び臓器重量を含む病理学的検査の結果にも、検体の種類によって異なるが、何らかの変化が見られるものが多い。このような場合に生物学的意義があるものとする。

例えば、国立衛生試験所安全性生物試験センター毒性部で実施した塩基性炭酸銅のラットを用いた12カ月間投与試験では、体重増加の抑制が雄の最高用量群(2,000 ppm 群)で認められた。そして血清生化学的検査において、トランスアミナーゼ(GOT、GPT)、あるいは乳酸脱水素酵素の活性値に明らかな上昇が見られ、肝臓を組織学的に観察したところ、肝細胞の壊死が見られた。この実験では塩基性炭酸銅の投与により肝臓の機能低下が起り、同時に体重増加の抑制を起したものと推察された。

以上、照射馬鈴薯による体重増加の抑制は他の検査結果との関連性がない事などから、照射馬鈴薯による影響とは考えられない。又、この結果から見て150 Gyでは、体重に影響を与える事はないものと思われる。

また、マウスを用いた体重試験においては、照射馬鈴薯の摂取に伴う体重増加抑制は観察されていなかった。

照射馬鈴薯(600 Gy)によるラットの卵巣重量減少の可能性について

普通のエサや照射していないジャガイモを食べさせたラットと、照射したジャガイモを食べさせたラットとの間に差が出るかどうかを3、6、12、24カ月の4時点で調べた結果、600 Gy照射したジャガイモを与えたグループの6カ月の時点でだけ、卵巣の重量が減少したと報告されている。これが本当に放射線による影響であるとすれば、他の時点でも同様の傾向が見られるかあるいは何らかの変化が現れてもよいと考えられる。しかし3、12、24カ月では差が出ていない。卵巣の軽くなったものと、ほかのものとの組織の構造を、顕微鏡で調べたが、差は認められなかった。

このような試験で、安全性の問題点として取り上げなければならないのは、①臓器の機能的な変化、②臓器の組織学的変化、③全期間を通してある一定の傾向をもった重量変化の3点である。この試験では、組織学的に変化はなく、卵巣重量の点でも6カ月目だけの一時的な変化なので、危険な変化とは考えられない。

表3 照射馬鈴薯投与ラットの卵巢重量の変化

月数	群	対 照	非 照 射	0.15 kGy	0.3 kGy	0.60 kGy
3	匹 数	5	5	5	5	5
	実測値	77.50 ±25.70	75.90 ±26.06	101.70 ±19.94	89.80 ±46.21	96.10 ±29.89
	体重比	32.60 ±12.89	33.79 ±14.12	46.40 ±13.15	41.52 ±21.81	42.62 ±12.31
6	匹 数	5	5	5	5	5
	実測値	67.7 ±8.1	68.3 ±18.2	69.5 ±16.1	66.8 ±24.6	44.8**±7.6
	体重比	26.96 ±3.58	25.99 ±6.37	28.34 ±6.01	26.46 ±10.79	17.74**±2.75
12	匹 数	5	5	5	5	5
	実測値	56.7 ±28.8	60.8 ±25.7	73.2 ±55.4	49.2 ±11.1	43.7 ±3.73
	体重比	21.38 ±9.81	22.71 ±9.73	25.11 ±18.07	18.08 ±3.44	16.02 ±2.83
24	匹 数	10	9	8	8	11
	実測値	92.1 ±61.8	155.6 ±57.0	213.0 ±53.6	90.0 ±35.8	124.5 ±44.2
	体重比	26.56 ±14.89	47.17 ±35.36	67.05 ±37.68	33.54 ±13.98	42.25 ±13.19

単位:実測値:mg、体重比:mg/100g 体重。

** :P<0.01:対照群と比べ有意差あり。

参考文献

放射線照射による馬鈴薯の発芽防止に関する研究成果報告書(付録):食品照射研究運営会議、6、1971

○わが国の「原子力特定総合研究」で実施された、タマネギ添加飼料を与えた実験では、慢性毒性試験や世代試験に頸肋などの影響が見られたので、健全性に問題があるのではないか。

照射タマネギを2%添加した飼料を与えたマウスの胎児や新生児の頸肋(骨の変異)を観察すると、第一世代(F1)、第二世代(F2)、第三世代(F3)でそれぞれ異なった傾向が観察された(表4)。例えば、F2世代の頸肋出現率は対照群(タマネギを与えていない)が20%であるのに対して、非照射タマネギだけを添加したものでは19%、0.15 kGy照射したタマネギでは41%であり(太字部分)、ここだけが強調されて反対の根拠とされている。しかし、F1では逆の傾向が観察されており、頸肋の出現率は対照群が33%に対して0.15 kGyでは20%である。また、F3世代でも対照群の84%に対して0.15 kGyでは40%で逆に少なくなっている。一方、タマネギを4%添加した飼料を与えた場合には対照、非照射タマネギ、照射タマネギの間で頸肋の発生率に大きな差は生じなかった。頸肋はもともと胎児では発生率が高く、成長に伴い消滅するので、一般に頸肋発生率のデータにはバラツキが観察される。このように動物試験においてはデータのバラツキが観察されたり、一定の傾向が観察されない場合がある。すべて矛盾なく頸肋の発生率が照射試料で高ければ、照射の影響であると判断できるが、表4に示したデータからはそのような判断はできない。

表4 dde系マウスの次世代試験における頸肋の出現率

時期	群	1. 照射タマネギ4%添加			2. 照射タマネギ2%添加		
		F1世代	F2世代	F3世代	F1世代	F2世代	F3世代
末期胎仔	対照	41.0	60.6	53.5	33.3	20.0	83.9
	0 kGy	41.4	38.9	55.0	27.1	19.2	3.3
	0.15 kGy				20.4	41.2	40.6
	0.3 kGy	49.4	46.1	49.5			
新生仔	対照			79.5	30.3	15.0	61.9
	0 kGy			70.9	67.3	46.7	8.6
	0.15 kGy				47.6	68.9	59.8
	0.3 kGy			82.4			

参考文献

放射線照射によるタマネギの発芽防止に関する研究成果報告書(資料編)、1980

○わが国の「原子力特定総合研究」で実施された試験で実験動物の死亡率に影響が見られたので、健全性に問題があるのではないか。

照射米を与えたラットの死亡率は、線量との用量関係がないだけでなく、雌のデータからは非照射米を食べるよりも照射米を食べる方が死亡率が高くなり、雄のデータからは照射米よりも非照射米を食べる方が死亡率が高くなるという、矛盾した傾向が観察された(表 5)。これは、寿命に近くなったラットでは生理的個体差が大きくなる結果としてデータのバラツキが大きくなるためであり、雌のデータのみを取り上げて照射米の危険性を主張するのは間違っている。

表5 照射米を与えたラットの死亡率

	群	月										%
		1	3	6	9	12	15	18	19	21	24	
雄	対 照	0/30	0/30	0/25	0/25	0/25	1/18	3/18	3/18	6/18	10/18	(55.6)
	0 kGy	0/30	0/30	0/25	0/25	1/25	2/18	5/18	6/18	8/18	11/18	(60.5)
	0.5kGy	0/30	0/30	0/25	0/25	0/25	1/18	2/18	4/18	4/18	4/18	(22.3)
	1kGy	0/30	0/30	0/25	0/25	0/25	0/18	1/18	4/18	6/18	8/18	(44.4)
雌	対 照	0/30	0/30	0/25	1/25	1/25	2/18	2/18	2/18	3/18	5/18	(26.6)
	0 kGy	0/30	0/30	0/25	0/25	0/25	0/18	0/18	1/18	3/18	5/18	(27.8)
	0.5kGy	0/30	0/30	0/25	0/25	1/25	1/18	2/18	2/18	4/18	8/18	(43.6)
	1 kGy	0/30	0/30	0/25	0/25	0/25	0/18	0/18	2/18	4/18	10/18	(55.6)

対照:米を含まない飼料を投与

参考文献

放射線照射による米の殺虫に関する研究成果報告書(資料編)、1983

○放射線照射により誘導放射能が生じるのではないか。

食品照射に用いる電離放射線のエネルギーには、食品の構成元素に誘導放射能を生成する可能性がある核反応のしきい値を考慮して上限が設けられており、それを超えなければ、放射線測定感度の高い測定装置で測っても検知できるほどの誘導放射能は生成されない。コーデックス規格で定めている、照射する放射線のエネルギーの上限は、電子線10 MeV、X線及びガンマ線5 MeVであり、使用されるガンマ線源とそのエネルギーは、コバルト60が1.173 MeV及び1.333 MeV、セシウム137が0.662 MeVとなっている。わが国では、1986年から6年間、日本アイソトープ協会が「食品照射研究委員会」を設置し、食品照射の安全性に係る問題解決のための研究を実施した。その中で、理論的、実験的に上記放射線を照射しても食品中に有意の放射能増加はないことが証明されている。

文献

日本アイソトープ協会：食品照射研究委員会研究成果最終報告書、1992年12月

用語集

Q1: 食品照射のメリットとデメリットは何ですか？

植物検疫 Q1

植物の輸出入に伴い植物の病害虫がその植物に付着して侵入しないように輸出入の時点で検査を行い、検査の結果、消毒などの必要な措置をとることをいう。農林水産省では、植物防疫法に基づき、農業生産の安全及び助長を図ることを目的として、病害虫の侵入・まん延防止を図るため、輸入される植物等の検査等（輸入植物検疫）や輸出先国・地域の要求に応じた植物等の検査等（輸出植物検疫）を実施している。また、日本への侵入を特に警戒している病害虫について、侵入調査や防除等（国内植物検疫）を行っている。

植物検疫に関する措置は、WTO/SPS 協定（衛生植物検疫措置の適用に関する協定）や[国際植物防疫条約（IPPC）](#)等に従い、科学的根拠や国際基準に基づいて実施されている。

植物検疫処理（Treatment as a phytosanitary measure） Q1

植物検疫処理とは、病害虫（有害動植物）の殺虫（殺菌）、不活化若しくは除去、不妊化又は不活性化のための公的な手続のことをさす。具体的な処理方法には、蒸熱処理、低温処理などの温度処理、放射線照射処理、薬剤による燻蒸処理等が含まれる。

蒸熱処理（Vapor Heat Treatment） Q1

蒸熱処理とは高温の水蒸気を利用して虫を殺す植物検疫処理の 1 つである。蒸熱処理は庫内を飽和水蒸気の状態にして処理を行う。このため、果実の萎ちょうや、気化熱が奪われることによる果実温度の低下がなく、空気の熱容量も大きいいため果実温度を均等に上げることができる。蒸熱処理による消毒基準は、100%殺虫できる温度と時間、果実の商品性を損なわない温度と時間という、相反する条件の接点を探索して決められる。ミバエ類の寄生している生果実の消毒には通常 43～48℃の温度が用いられているが、果実の種類によって高温耐性が異なる。[ISPM28](#) の付属書には、2024 年 1 月現在、5 本の蒸熱処理基準が収載されており、例えば、ミバエ類を対象にパパイア、マンゴー等の果実中心温度 45～47.5℃、10～70 分間処理等の条件が規定されている。

低温処理 Q1

低温処理は、冷却空気を使用して物品の温度を一定期間、特定の温度以下に下げるものである。低温処理は、主に内部寄生する有害動植物の宿主である生鮮物品に対して用いられる。低温処理は、輸入国への輸送中（例えば、船舶の冷蔵船室や冷蔵海上コンテナを用いた輸送）に適用することができる。この処理は、積荷の発送前に開始し、入港時又はそれ以前に完了することができる。処理の開始に先立ち、物品はその処理温度になるよう予冷されることがある。[ISPM28](#) の付属書には、2024 年 1 月現在、14 本の低温処理基準が収載されており、例えば、ミバエ類を対象にオレンジ、グレープフルーツ等かんきつ類の果実中心温度、1～3℃、14～23 日間処理等の条件が規程定されている。

芽胞(菌) [Q1](#)

芽胞とは、一部の細菌が形づく、極めて耐久性の高い細胞構造。胞子膜、皮層、芯部からなり、胞子膜の外側に外皮を持つものもある。芯部には、DNA、リボソーム、酵素、低分子化合物などが含まれており、半結晶状態になっている。芽胞は通常の細菌と比べて極めて高温に強く、100℃での煮沸によっても完全に不活化することが出来ない。芽胞を高温で完全に不活化するには、オートクレーブ処理(約2気圧の飽和水蒸気中で121℃、15分以上)、乾熱処理(180℃、30分あるいは160℃、1時間以上)などの処理が必要となる。放射線殺菌においても、通常の細菌と比較して、大きな線量を要する。乾燥状態にある香辛料・ハーブや乾燥野菜等では、土壌等に由来する芽胞菌が胞子の状態で存在しており、加工食品中に添加した際には、発芽・増殖するため、原材料の状態での菌数低減が求められている。

香辛料・ハーブ [Q1](#)

香辛料は刺激や香り、辛味などを与える植物のことで、ラテン語では「スパイス」と呼ばれる。大きく分類すると花、葉、茎以外を使用するスパイスと、花、葉、茎を使用するハーブに分かれる。スパイスは加熱によって香りを引き出すのに対し、ハーブはちぎったりもんだりすることで香りを立たせることができる。

乾燥野菜 [Q1](#)

貯蔵・輸送に都合のよいように、また、独特の風味を付すために乾燥させた野菜。

エチレンオキシド(ガス) [Q1](#)

酸化エチレン(ethylene oxide)、分子式 C_2H_4O 、分子量 44.05 のエポキシドである。食品容器や医療器具の滅菌などのために用いられている薬剤であり、食品中に残留するとエチルクロロヒドリンなどの有害物質が生じるため、食品については、わが国やEU等、多くの国で使用を認められていない。

オゾン層破壊物質 [Q1](#)

人間活動により排出され、成層圏オゾン層を破壊する物質のことで、塩素原子や臭素原子を含有し、大気中の寿命が極めて長い。これらは、対流圏大気中に蓄積した後、大気の運動を通じて成層圏に輸送され、そこでオゾン層で遮蔽されない短波長の太陽紫外線によって分解され、反応性の高い物質に変換され、さらに、連鎖反応により成層圏オゾン層を破壊する。「オゾン層を破壊する物質に関するモントリオール議定書」(1987年)によって規制対象とされたオゾン層破壊物質は、わが国では「特定物質の規制等によるオゾン層の保護に関する法律」において「特定物質」として規制されている。具体的には、クロロフルオロカーボン(CFC)、ハイドロクロロフルオロカーボン(HCFC)、ハロン、四塩化炭素、1,1,1-トリクロロエタン、ハイドロブロモフルオロカーボン(HBFC)、ブロモクロロメタン、[臭化メチル](#)である。

臭化メチル (Methyl bromide) [Q1](#)

臭化メチルは、多くの病害虫に対して殺菌・殺虫効果があり、さらに常温常圧で気体である性質を利用して、倉庫や土壌中でガス化させ、穀物の害虫や園芸作物の病害虫の防除に広く利用可能な物質である。臭化メチルは、オゾン層を破壊する物質に関するモントリオール議定書締約国会合で、フロンなどと同様にオゾン層破壊物質として指定されており、検疫及び出荷前用途を除き、先進国では2005年、発展途上国では2015年までに、原則全廃された。植物検疫の分野では、現在も使用を認められているものの、国際的に、使用量の削減や代替剤への転換による臭化メチルの排出削減が求められている。

燻蒸処理 (Fumigation) Q1

燻蒸(くんじょう)とは、主に害虫駆除や防カビ・殺菌の目的で、気体の薬剤を対象に浸透させる処理方法。燻蒸は密閉した無人の状態で行われ、燻蒸終了後は人が入る前に十分に換気される。従来、植物検疫処理における燻蒸剤としては、効力と使用性の良さから臭化メチルが多用されてきたが、オゾン層破壊物質として、物理的な方法も含む代替法への転換が勧告されている。他の燻蒸剤としては、リン化水素、ヨウ化メチル、フッ化スルフリル等がある。

線量(吸収線量) Q1

質量 1 kg の物質中に電離放射線によって付与された平均エネルギー量。単位は Gy (グレイ)=J/kg (ジュール毎キログラム)。

粘弾性(粘り・弾力性) Q1

炊飯米や小麦粉を原料とする麺製品には、もちっとした噛み応え(テクスチャー)が求められるが、この粘り気や噛み応えには、米や小麦に含まれるデンプンの吸水・加熱により、ゲル状に糊化する性質が関与している。高分子構造のデンプンは、放射線照射により、糖鎖が切断されると低分子化して、糊化する性質が弱まり、ゲルの粘弾性が低下する。

水溶性ビタミン(ビタミンB1, ビタミンC) Q1

生物の正常な発育と栄養を保つ上で、微量で重要な作用をもち、動物の体内では生成されず、外界から摂取しなければならない栄養素であるビタミンのうち、水溶性のものを総称して水溶性ビタミンという。主要なものに、ビタミンB群(B1, B2, B6, B12, ナイアシン、パントテン酸、葉酸) ビタミンCがある。放射線に対する感受性は、ビタミンC(アスコルビン酸)やビタミンB1(チアミン)が高いとされる。

カビ毒(Mycotoxin) Q1

一部のカビが穀類等の農産物や食品等に付着・増殖して産生する毒素の総称。一般に、カビ毒は耐熱性であり、加工・調理の段階で毒素の量や強さを低減させることが難しいため、農作物の生産、乾燥、貯蔵等の段階で、カビの増殖やカビ毒の産生を防止することが重要である。湿潤かつ温暖な我が国は、カビの生育に適していることから、気象条件や農作物の防除・取扱いの方法によってはカビ毒を産生する可能性がある。カビ毒の例としては、[アフラトキシン](#)、[オクラトキシン](#)、[パツリン](#)、[デオキシニバレノール](#)、[フモニシン](#)等がある。

加工適性 Q1

食品加工において、用途に応じた各種の製品加工に適しているかどうか、その原料が有する性質の程度。例えば、[テクスチャー](#)(噛み応え)が重要となる麺への小麦(粉)の加工適性は、小麦粉生地粘弾性試験により評価される。

Q2: 食品照射の国内外での実用化状況は?

放射線(食品照射のために許可された放射線の条件) Q2

[エックス線](#)、[ガンマ線](#)などの高エネルギー電磁波(光子)並びにアルファ線、ベータ線、中性子線等の粒子線(アルファ線はヘリウム 4(⁴He)原子核の流れ、電子線は電子の流れ)を、総じて電離放射線(または、

単に放射線と呼ぶ。食品照射には、放射線照射により食品中に放射性物質を生じない種類及びエネルギー域の放射線として、[放射性同位元素](#)である⁶⁰Coから発生する[ガンマ線](#)、加速器で発生させるエネルギー10 MeV以下の[電子線](#)、及び5 MeV以下の[X線](#)を利用することが、[コーデックス照射食品に関する一般規格](#)にも定められている。

照射食品の健全性 [Q2](#)

照射食品の毒性学的安全性、微生物学的安全性、及び栄養学的適格性の3つの観点を合わせた概念である。WHOは、「意図した技術上の目的を達成するために適正な線量を照射した食品は、いかなる線量でも適正な栄養を有し、安全に摂取できる」と結論している。(WHO, 1999)

(食品の)毒性学的安全性 [Q2](#)

食品の急性毒性、慢性毒性、発がん性、遺伝毒性、細胞毒性、催奇形性、変異原性等に関する安全性のこと。照射食品の場合には、照射による誘導放射能の生成も考慮される。

(食品の)微生物学的安全性 [Q2](#)

照射食品に生残する微生物の叢変化による有害微生物の生育への影響や、照射による微生物の突然変異によって引き起こされる毒素生産能や放射線抵抗性の増強などの悪影響を考慮した、(照射食品の)安全性のこと。

(食品の)栄養学的適格性 [Q2](#)

主要栄養素や微量栄養素等が栄養という観点から見て、食品にとって必要な要件を十分に備えていること。

食品照射に関する国際標準 [Q2](#)

食品照射技術や照射食品に関する国際基準としては、WTO/SPS協定下における食品安全に関する国際基準としてのコーデックス国際食品規格として、「[照射食品に関するコーデックス一般規格](#)」及び「[食品の放射線処理のための実施規範](#)」が採択されている。また、植物検疫措置に関する国際基準(ISPM)として「[植物検疫措置としての放射線照射の利用の要件\(ISPM18\)](#)」及び「[規制有害動植物に対する植物検疫処理\(ISPM28\)の付属書](#)」における、23本の放射線照射処理基準が定められている。加えて、非政府組織の国際標準化機構(ISO)が定める国際基準においても、既に、ISO 14470:2011「食品照射 - 食品を処理するために使用する電離放射プロセスの作成、妥当性確認及び日常管理における要求事項(Food irradiation - Requirements for the development, validation and routine control of the process of irradiation using ionizing radiation for the treatment of food)」が発行されている。このように、食品安全及び品質保持、植物防疫の目的で利用される放射線照射のプロセス(すなわち食品照射)は、既に、国際的に標準化された技術として、その運用の調和が図られ、照射食品の国際流通が進められている。

芽胞(菌) [Q2](#) (再掲のため [Q1](#) 参照)

スパイス・ハーブ類 [Q2](#) (用語集 [香辛料・乾燥野菜](#)参照)

カエル脚 [Q2](#)

食用カエルのモモ肉(脚)のこと。フランス料理などの食材となる。

国際放射線加工会議(IMRP) [Q2](#)

放射線滅菌、材料加工、食品照射など、放射線利用に関する技術開発や商業利用の状況を討議する国際放射線加工会議(IMRP: International Meeting on Radiation Processing)のこと。国際放射線協会(IIA: International Irradiation Association)が主催し、2~3年ごとに、アカデミア、放射線加工事業者、滅菌事業者等のステークホルダーが参集する。2013年にはIMRP17が上海で、直近は、2022年11月にIMRP20がバンコクで開催された。

植物検疫処理 [Q2](#) (再掲のため [Q1](#) 参照)

蒸熱処理 [Q2](#) (再掲のため [Q1](#) 参照)

低温処理 [Q2](#) (再掲のため [Q1](#) 参照)

植物検疫措置に関する国際基準(ISPM) [Q2](#)

[国際植物検疫条約](#)(IPPC)が作成する植物検疫措置に関する国際基準(ISPM: International Standards for Phytosanitary Measures)は、WTO/SPS協定の下で、植物検疫措置に関する唯一の国際基準と位置づけられている。2024年1月現在、No. 47までISPMが採択されており、これらには、植物検疫の原則や定義、病虫害のリスク分析、植物検疫証明システムなどの輸出入規制、放射線照射も含む種々の[植物検疫処理](#)の要件や具体的基準、病虫害診断のプロトコルなどが含まれている。

(放射線照射による)植物検疫処理の国際基準(ISPM18) [Q2](#)

植物検疫措置に関する国際基準(ISPM)の一つである、ISPM18「植物検疫措置としての放射線照射の利用の要件(Requirements for the use of irradiation as a phytosanitary measure)」は、規制有害動植物及び規制品目を対象にした植物検疫処理としての放射線照射に関する技術指針を提供している。具体的には、放射線照射の目的(有害動植物に対して達成されるべき効果)、利用可能な線源を含む放射線照射の適用方法、線量測定、仕様への適合状況の確認手順、施設要件、文書化、検査と植物検疫当局の責務等について述べている。

規制有害動植物に対する植物検疫処理(ISPM28)及び付属書 [Q2](#)

国際植物検疫条約(IPPC)が定めるISPMの一つで、[植物検疫処理](#)の国際的調和を図るために策定されたガイドラインで、加盟国から提案される植物検疫処理基準案に関し、その有効性データや関連情報の提出、その評価について定めている。具体的な個別の植物検疫処理の条件は、植物検疫処理に関する技術パネル(TPPT: Technical Panel on Phytosanitary Treatments)で素案作成後、加盟国での検討を経て、IPPC年次総会で採択される。この個別の病虫害に対する処理基準は、このISPM28の付属書とされ、植物検疫処理に関する国際基準とみなされる。

⁶⁰Co [Q2](#)

原子番号 27 の金属元素 Co(コバルト)の放射性同位体。安定同位体である ⁵⁹Co を原子炉内に入れ、その原子核に中性子 1 個を捕獲させて生産する。半減期 5.27 年でベータ壊変して ⁶⁰Ni になる過程で 1.17 及び 1.33 MeV の 2 本のガンマ線を放出する。この ⁶⁰Co を放射線源として使用するものを ⁶⁰Co 線源といい、放射線加工や非破壊検査、医療など様々な分野での主要なガンマ線源として用いられている。

Q3: 食品照射の経済性はどのように考えますか

植物検疫(処理) [Q3](#) (再掲のため [Q1](#) 参照)

ソフトエレクトロン(低エネルギー電子) [Q3](#)

300 keV 以下の低エネルギー電子線を定義した用語。

通常の高エネルギー電子線(数 MeV 以上)に比べて、透過力が小さく、照射対象物の表面(数百 μm の深部)のみに作用する。低エネルギー電子を発生させる加速器は、厚い照射壁で囲まれた照射室での照射は不要で、電子加速装置と照射場を一体的に遮蔽する、小型の自己遮蔽型装置とすることができ、食品製造ラインに組み込んで、インライン・インハウスでの処理が可能である。

放射性同位元素等規制法(放射性同位元素等の規制に関する法律) [Q3](#) (詳細 [Q11](#) 参照)

サルモネラ(属)菌 [Q3](#)

ヒトや動物の消化管に生息する腸内細菌で、その一部は病原性を示す。よく知られているものとしてはサルモネラ・エンテリティディス(*S. Enteritidis*)やネズミチフス菌(サルモネラ・ティフィムリウム(*S. Typhimurium*))等がある。このエンテリティディスやティフィムリウムという呼称は、抗原性の違いに基づいた血清型の名前である。サルモネラ属菌による食中毒は、我が国での発生件数が多いものの一つである。生肉、特に鶏肉と卵を汚染することが多く、乾燥に強い。食中毒症状として、激しい腹痛、下痢、発熱、おう吐が見られ、長期にわたり保菌者となることもある。

腸管出血性大腸菌 0157 [Q3](#)

ヒトの腸管や腎臓等に対する細胞毒性を有するペロ毒素を産生し、出血を伴う腸炎や溶血性尿毒症症候群(HUS)を起こす病原性大腸菌。動物の腸管内に生息し、糞尿を介して食品、飲料水を汚染する。家畜では症状を出さないことが多く、外から見ただけでは、菌を保有する家畜かどうかの判別は困難である。赤痢菌が産生する志賀毒素類似のペロ毒素を産生し、僅かな菌数でも食中毒を発病することがある。加熱や消毒処理には弱く、75°C、1 分程度の通常の加熱により殺菌される。食中毒の原因となっている血清型には 0157 の他に 026、0111、0128、0145 等がある。初期の感冒様症状のあと、激しい腹痛と大量の新鮮血を伴う血便がみられ、発熱は少ない。患者数は多くないが、乳幼児や高齢者を中心に溶血性尿毒症症候群(HUS)を併発し、意識障害に至る等、重症になりやすい。

リステリア菌 [Q3](#)

動物の体内では、腸内に常在する細菌で、哺乳類、鳥類、魚類等広範囲の動物に存在し、自然界に広く分布する。主な菌種類は、*Listeria monocytogenes*。乳、食肉等、様々な食品が汚染され、低温長期保存中に増殖すること等で食中毒を起こす。その汚染源、経路は判明されていないが、諸外国では加熱をせずそ

のまま食べる総菜やハム、チーズなどの食品を介したリステリア症が多数報告されている。主症状は倦怠感、弱い発熱を伴うインフルエンザ様症状で、妊婦、乳幼児、高齢者では、感染すると髄膜炎や敗血症、流産等を起こし、死に至る場合もある。

カンピロバクター Q3

温血動物の腸内に広く分布する微好気性の細菌で、鶏、牛、豚をはじめ、犬、猫、小鳥等からも検出され、我が国で発生している細菌性食中毒の中で、発生件数が最も多い。食肉(特に鶏肉の生食)、飲料水、生野菜、牛乳等を介した食中毒が多い。主な菌種は、*Campylobacter jejuni*、*Campylobacter coli* 等。食中毒症状は、発熱、倦怠感、頭痛、吐き気、腹痛、下痢、血便等で、少ない菌量でも発症する。潜伏期間が長いので、原因食材が判明しないことも多い。腸炎等の症状は重くなく、一般に予後は良好であるが、感染後に神経疾患であるギラン・バレー症候群を発症することもある。

(ジャガイモ)低温処理 Q3

北海道産のジャガイモは、一般にはイモが休眠期に入る秋に収穫され、休眠明け後も低温で貯蔵することで強制的に休眠を延長できるため、翌年5月頃まで長期にわたって供給されることが多い。特に生食用ジャガイモは、萌芽・減耗抑制を目的に2~4℃付近の温度、80~90%以上の湿度で貯蔵するのが望ましいとされている。多くのジャガイモ品種は、8℃より低い温度で貯蔵すると、デンプンが分解してブドウ糖に変換され、さらにその一部が果糖に変換される低温糖化が起こる。

低温エチレングラス法 Q3

ポテトチップスなど、高温の油加工の際には、低温貯蔵によりジャガイモ中に増加したブドウ糖や果糖のような還元糖が、メイラード反応と呼ばれる現象を通して茶褐色の色素を生成し、製品に苦み・焦げ色を生じさせる。これを避けるため、加工用のジャガイモの貯蔵法として、植物ホルモンであるエチレンを利用した貯蔵法が用いられている。具体的には、低温(8℃)に管理された貯蔵庫内(冬期は外気導入)に、エチレングラスを空気で希釈して間欠的に噴霧し、制御装置を介して所定の濃度(4 ppm程度)を保つ。

Q4: 照射香辛料の安全性はどのような考え方で担保されていますか?

香辛料 Q4 (再掲のため Q1 参照)

放射線分解 Q4

[電離放射線](#)を照射された物質の電離・励起によって引き起こされる分解。例えば、水の放射線分解によって水和電子、OH [ラジカル](#)、水素、過酸化水素などが生成し、高分子の放射線分解によって主鎖の切断や側鎖の解離、分子量の低下などが起こる。より広義には、脂質の放射線分解による [2-アルキルシクロブタノン\(ACB\)類](#)の生成や高分子鎖間の架橋(橋かけ)など、放射線によって引き起こされる化学反応全体を示す。

ラジカル(類) Q4

1個またはそれ以上の不対電子(対になっていない電子)を持つ原子または分子のことで、放射線を照射した場合には、放射線のイオン化作用により照射対象物中に生成される。フリーラジカルともいう。放

放射線化学では一般に遊離基と同じ意味に用いる。ラジカルは一般に不安定であり、単離できるものは少なく、反応や分解の中間体として想定されていることが多い(稀に溶液中で安定に存在するものもある)。放射線エネルギーの吸収は物質を構成する原子、分子にイオン化や電子励起を引き起こし、初期過程を経て溶媒和電子、イオンラジカル及び中性のラジカルを生成する。これらのラジカルは反応活性であり、種々の反応を行った後に最終生成物となる。

間接作用 Q4

生物に対する放射線の影響を分子レベルで見た場合、放射線のエネルギーがその分子に直接吸収されて障害をおよぼす直接作用と、他の分子がエネルギーを吸収し活性生成物を作り、それが標的分子と反応して標的分子に障害を及ぼす間接作用に分けることができる。一方、直接作用は乾燥状態の物質に対するとき起こる。生体(細胞)では放射線の水分子(細胞の80%を占める)への作用の結果、生成したラジカルや分子生成物が生体内成分に障害を引き起こす間接作用が中心となる。

抗酸化成分 Q4

食品中において酸素が関与する有害な反応を減弱もしくは除去する成分物質の総称。特に生物化学あるいは栄養学において、狭義には脂質の過酸化反応を抑制する物質を指し、広義にはさらに生体の酸化ストレスあるいは食品の変質の原因となる活性酸素種(酸素フリーラジカル、ヒドロキシルラジカル、スーパーオキシドアニオン、過酸化水素など)を捕捉することによって無害化する反応に寄与する物質を含む。

米国食品医薬品局(FDA) Q4

米国保健福祉省(HHS : Department of Health and Human Services)配下の政府機関。連邦食品・医薬品・化粧品法を根拠とし、医療品規制、食の安全を責務とする。(FDA : Food and Drug Administration:)
米国食品の放射線照射に関する規制は、FDA の管轄する 21CFR179 の「食品の製造、加工、取り扱いにおける放射線照射」の条項に規定される。

誘導放射能 Q4

中性子やガンマ線などの放射線の照射によって物質中の一部の原子に核反応が生じた結果、物質が放射化(物質中に放射性核種=放射性同位体が生成)し、俗に言う「放射能を持つ」ようになった場合、この放射能を誘導放射能と呼び、自然界に存在する放射能と区別している。

サルモネラ(属)菌 Q4 (再掲のため Q3 参照)

細菌を用いる復帰突然変異試験(エームス試験) Q4

DNA や染色体に突然変異を引き起こす物理的、化学的、生物学的な作用をもたらす性質を変異原性といい、DNA に直接的又は間接的に変異をもたらす細胞又は個体に影響を与えるこの性質は、狭義の遺伝毒性と捉えられている。変異原性を確認する目的で実施される試験を変異原性試験といい、遺伝子突然変異試験、染色体異常試験等がある。このうち、サルモネラ属菌又は大腸菌を用いて化学物質等を作用させて遺伝子(DNA)が突然変異を起こす頻度を調べる復帰突然変異試験(Reverse Mutation Test)を、エームス(エイムス)試験と呼ぶ。ブルース・エームス博士が開発し、変異原物質の第一次スクリーニング法として広く世界で用いられている試験。

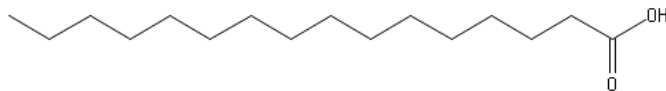
Q5 放射線照射でシクロブタノン類が生成することは、安全性への懸念になりませんか？

2-アルキルシクロブタノン類(2-ACBs) Q5

炭素数4つの環状ケトンであるシクロブタノンの2位にアルキル基が結合した構造をもつ、脂質の放射線照射により分解生成する化合物。放射線照射により脂肪(トリグリセリド)のアシル基-酸素結合が開裂すると、前駆体となる脂肪(トリグリセリド)を構成する脂肪酸よりも炭素数が4つ少ないアルキル基を持つ、元の脂肪酸と総炭素数が同じ2-ACBが生成する。すなわち、16個の炭素を有する脂肪酸のパルミチン酸からは、シクロブタノンの2位に炭素数12のドデシル基が結合した2-ドデシルシクロブタノンが生じる。他にも、前駆体となるトリグリセリドの脂肪酸組成に対応して異なる2-ACBs が生成し、ステアリン酸から2-Tetradecylcyclobutanone、オレイン酸から2-Tetradec-5'-enylcyclobutanone、リノール酸から2-Tetradecadienylcyclobutanone などが生成する。このように照射食品中の2-ACBsの種類は食品中の脂質の構成脂肪酸に依存し、それぞれの量は各前駆体脂肪酸量と、照射時の線量に応じて変動する。室温における食品中での生成効率は、脂肪酸1ミリモルを1 kGy 照射した際に数ナノモルが生成する程度である。

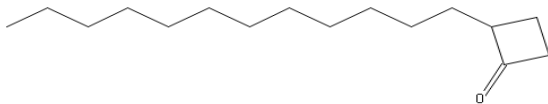
パルミチン酸 (palmitic acid 化学式 $C_{16}H_{32}O_2$) Q5

飽和脂肪酸の一種。IUPAC 系統名はヘキサデカン酸(hexadecanoic acid)。多くの動物性脂肪や植物油に含まれ、植物油では、アブラヤシから採取して製造されるパーム油の主な構成成分であり、畜肉の脂肪中にも多く存在している。



2-ドデシルシクロブタノン (2-dodecylcyclobutanone 化学式 $C_{16}H_{30}O$) Q5

食品中の脂質を構成する脂肪酸の中で、比較的存在量の多いパルミチン酸に由来する2-アルキルシクロブタノンの一種で、照射食品の検知法(Q8)のマーカー化合物として利用されている。



(照射食品)の検知法 Q5 (詳細 Q8参照)

世界保健機関 (WHO) Q5

国連の専門機関として1948年に設立。「全ての人々が可能な最高の健康水準に到達すること」(世界保健憲章第1条)を目的として、保健医療分野に関する指導・調整、研究の促進、国際的基準の策定、技術協力等を行っている。194か国(2022年11月時点)が加盟、本部はジュネーブ(スイス)。食品安全の分野では、食品由来の健康リスクの低減に向けた施策に関する科学的基礎の提供等を行っている。

欧州食品安全機関(EFSA) Q5

欧州連合(EU)における立法機関や執行機関とは法的に独立した食品の安全性に関するリスク評価機関として、2002年1月に設立。食品及び飼料の安全、栄養、動植物衛生並びに動物福祉について、リスク評価とリスクコミュニケーションを行っている。リスク評価は、同機関内の科学パネルが担う。事務局はパルマ(イタリア)。

DNA 損傷作用(DNA の損傷) Q5

通常のDNA代謝とは異なる過程によって生じたDNA分子の化学変化。DNA損傷の原因には、好気呼吸に伴う活性酸素、一部は抗がん剤などとしても使用されるDNA修飾薬剤、紫外線、電離放射線などがあげられる。DNAの損傷の種類、概要とその生成原因を以下表にまとめた。このうち、1990年代に2-ACBsの培養細胞への添加により誘発される可能性が報告されたDNA損傷は、DNA二重らせん鎖の切断作用をコメントアッセイにより検出したものである。

DNA損傷の名称	DNAに起きる化学変化の概要	主要な生成原因や誘引物質の例
塩基損傷	DNAを構成する塩基の酸化、あるいは小分子の結合による化学修飾	活性酸素、ラジカル化合物、メチルメタンスルホン酸(MMS)、など
脱塩基	DNA分子の糖と塩基の間の結合が切断されて塩基が失われる	DNA分子の不安定さ、酸化損傷の修復過程、など
ピリミジン二量体	2つの連続するピリミジン塩基の間に共有結合を生成	紫外線
一本鎖切断	DNA二重らせんを構成する1本の鎖に切断が生じる	DNA切断酵素、電離放射線、DNA損傷の修復過程、など
二本鎖切断	DNA二重らせんを構成する2本の鎖に切断が生じる	DNA切断酵素、電離放射線、高線量の短波紫外線、物理的引っ張り、DNA複製の事故的な停止、など
クロスリンク損傷	DNAの塩基間、あるいはDNA塩基とタンパク質などとの間に共有結合を形成する	カンプトテシン(トポイソメラーゼ阻害剤)、マイトマイシンC(鎖間架橋剤)、アザデオキシシチジン(DNAメチルトランスフェラーゼ阻害剤)、電離放射線など
DNA架橋 (鎖間架橋、鎖内架橋)	DNAの対合した鎖の塩基間、あるいは1本の鎖の塩基間に共有結合が形成される	DNA架橋剤(シスプラチン、マイトマイシンCなど)
DNAミスマッチ	DNA塩基の対合組み合わせ(AとT、GとC)が、本来と違う組み合わせになる	DNAポリメラーゼの複製エラー

出展:放射線影響・放射線防護ナレッジベース Sirabe DNA 損傷 表1

<https://sirabe.nirs.qst.go.jp/sirabe/DNA%E6%90%8D%E5%82%B7>

発がんプロモーション活性 Q5

生体におけるがんの発生過程には、化学物質や放射線等によって体細胞の遺伝子への付加体形成やDNA切断等の遺伝子(DNA)損傷が起き、修復されずに突然変異として遺伝子に固定されるイニシエーションの過程と、その後、突然変異を起こした細胞を増殖させ、がん化に導くプロモーションの過程の2段階を経る。前者のイニシエーション作用を有する物質を(発がん)イニシエーター、後者のプロモーション作用(活性)を有する物質を(発がん)プロモーターと呼ぶ。多くのイニシエーターには、プロモーション作用を有するものもあるが、イニシエーション活性のないプロモーターが細胞に作用するだけでは、必ずしもがん化は起こらない。また、プロモーション作用が発現する際にも、閾値を超えた投与(暴露)が必要になると考えられている。

遺伝毒性 Q5

物質が直接的又は間接的に DNA に変化を与える性質のこと。

遺伝毒性試験 Q5

細菌等の微生物、培養細胞又は実験動物を用いる方法があり、通常、いくつかの遺伝学的指標の異なる方法を組み合わせて、結果を総合的に評価する。遺伝子突然変異試験や染色体異常試験等の変異原性試験と DNA 損傷を検出するインディケーター試験 (^{32}P ポストラベル法やコメットアッセイ等) に分類される。このうち、細菌を用いる復帰突然変異試験(エームス試験)、培養細胞を用いる染色体異常試験、げっ歯類を用いる小核試験の3つを遺伝毒性試験バッテリー(試験法の組み合わせ)として用いることが一般的である。

細菌を用いる復帰突然変異試験(エームス試験) Q5 (再掲のため Q4参照)

コメットアッセイ Q5 Q8 用語集「DNA コメットアッセイ」参照

放射線や化学物質への暴露によって細胞に誘発された DNA 損傷のうち、1本鎖または2本鎖の切断を検出する試験法で、ゲル中に包埋した細胞 DNA の電気泳動像が、DNA の断片化により、コメット(彗星)のように尾を引くことからコメットアッセイと名付けられている。[遺伝毒性試験](#)の中では、DNA 損傷までの初期過程を検出するインディケーター試験と位置づけられている。

長期反復投与試験 Q5

動物に繰り返し被験物質を投与した際にどのような毒性影響が生じるかの情報を得るための試験で、一般状態観察、体重や摂餌量の測定、血液学的検査、血清生化学的検査、尿検査、病理組織学的検査等を行うものを、反復投与(毒性)試験という。投与期間の違いにより生じる毒性は、急性毒性(一般的には14日以内)、亜急性毒性または亜慢性毒性(通常1~3ヶ月程度)、慢性毒性(長期間:通常6ヶ月以上)と整理されている。

59 kGy という高線量で照射された鶏肉の長期動物投与試験 Q5

1970年代に、米国ラルテック社が、照射鶏肉を用いた安全性試験を受託した。試料の鶏肉は、 -30°C において59 kGy 照射した。この照射鶏肉を凍結乾燥して餌に混ぜ、2年以上にわたり、マウスやビーグル犬に反復投与する慢性毒性試験に加え、ラット、マウス、ハムスター、ウサギを用いる催奇形性試験、及び一連の *in vitro* 試験が実施された。投与した鶏肉試料には、鶏肉1 g(新鮮重量)あたり約1.7 μg の2-ドデシルシクロブタノンが含有されていたことが後年の化学分析でも明らかにされたが、イヌ及びマウスを用いた慢性毒性試験や、細菌と哺乳類細胞の *in vitro* 遺伝毒性試験において、照射に起因する有害作用の証拠は認められなかった。

Thayer, D.W. *et. al.* Toxicology Studies of Irradiation-Sterilized Chicken. *Journal of Food Protection*, Vol. 50, No. 4, Pages 278-288 (1987)

Q6: 食品中のカビのアフラトキシン産生能が照射によって増加することはありますか?

アフラトキシン(Aflatoxin) [Q6](#)

アフラトキシン類は、穀類、落花生、ナッツ類、とうもろこし、乾燥果実などに寄生するカビである *Aspergillus flavus* 及び *Aspergillus parasiticus* によって産生されるカビ毒。食品から検出される主要なものに4種類(B1、B2、G1、G2)ある。これらは、[遺伝毒性発がん物質](#)とされ、摂取量を可能な限り低減すべきと評価され、基準値が設けられているほか、様々な低減対策が取られている。

(https://www.maff.go.jp/j/syouan/seisaku/risk_analysis/priority/kabidoku/kabi_iroiro.html#af (農林水産省))

植物検疫(処理) [Q6](#) (再掲のため [Q1](#) 参照)

遺伝毒性発がん物質 [Q5](#) 及び用語集 [遺伝毒性、発がんプロモーション活性等](#)も参照

Q7: 照射食品の表示はどのようになっていますか

コーデックス国際食品規格 [Q7](#) (CAC : Codex Alimentarius Commission)

食品や農作物の輸出入に関する措置は、国際的には SPS 協定(Agreement on the Application of Sanitary and Phytosanitary Measures: 衛生植物検疫措置の適用に関する協定)に適合させる必要がある。この SPS 協定においては、FAO (国連食糧農業機関) と WHO が合同で設置した[国際食品規格委員会](#)によるコーデックス国際食品規格(Codex 規格)が食品に関する唯一の国際規格・基準となっている。

[コーデックス委員会、コーデックス食品規格について](#)

https://www.maff.go.jp/j/syouan/ki_jun/codex/index.html (農林水産省))

照射食品に関するコーデックス一般規格 [Q7](#)

CXS 106-1983, REV. 1-2003:General Standard for Irradiated Foods

[コーデックス国際食品規格](#)の一つ。1983年、10 kGy 以下の照射食品について採択され、さらに、2003年に技術的必要性があれば 10 kGy 以上の照射を認める、とする改訂案(現行規格)が採択された。照射食品の製造に関し、利用する線源、吸収線量、施設とその管理、衛生上の取扱い、技術的な条件、照射後の確認(検知)、表示などについて規定されている。(参考：[英文原文](#))

包装食品の表示に関するコーデックス一般規格 [Q7](#)

CXS 1-1985:General Standard for the Labeling of Prepackaged Foods

消費者への提供又はケータリングとしてレストラン等での提供を目的とする全ての包装食品の表示に関し、食品の名称や原材料の記載方法等の規格を定めた[コーデックス国際食品規格](#)。

照射食品に関しては、5.2 項に、以下の3つの要求が規定されている。(参考：[英文原文](#) [和訳](#))

- 1) 電離放射線で処理された食品のラベルには、その処理を示す記載を当該食品の名称に近接して添付すること(Radura ロゴは任意)。
- 2) 放射線照射製品を別の食品の原材料として使用する場合は、原材料の一覧にその旨を明記すること。
- 3) 単一原材料による製品が放射線照射原料から製造される場合は、当該製品のラベルにはその処理を示す記載を含めること。

欧州標準化委員会(CEN) [Q7](#)

欧州標準化委員会(仏 CEN : Comité Européen de Normalisation)

メンバー30ヶ国(欧州連合27ヶ国と欧州自由貿易連合(EFTA)3ヶ国)で構成され、標準規格と仕様の開発・保守・配布を行うための効率的基盤の提供により、国際社会におけるヨーロッパ経済の力を強め、ヨーロッパの市民の福祉や環境を高めることを目的とした非営利組織である。同組織が定める規格(EN規格)の一部は自発的なものだが、EUの法律の定めに従って策定されている義務的規格もある。

照射食品の検知法に関しては、CEN/TC 275/WG 8が管轄し、10種類の[ヨーロッパ標準規格法](#)を定めている。欧州委員会が定める食品照射に関するEC指令では、これらの分析手法を利用した市場モニタリングを加盟国に義務づけている。

オーストラリア/ニュージーランドの(照射食品表示)規則 [Q7](#)

オーストラリアとニュージーランドは、食品の安全を確保し、両国民の健康を守ることを目的として、二国間協定に基づいて、オーストラリア・ニュージーランド食品基準機関(FSANZ : Food Standards Australia New Zealand)を設立している。両国間で販売される食品の使用基準及び成分規格、食品表示基準等の「食品標準規格(Food Standards Code)」を定めており、照射食品については、Standard 1.5.3において規定している。同基準の9条において、照射された食品及び照射された成分を含む食品についての表示が義務づけられている。(参考：[Standard1.5.3 原文](#))

Q8: 照射食品を検知する技術はありますか?

ヨーロッパ標準規格法 [Q8](#)

欧州標準化委員会(CEN)によって策定された標準分析法のこと。試験室間共同試験によって分析法の検知性能の妥当性が確認されている。EU圏内における照射食品の検査に使用されている。

コーデックス (Codex) 標準分析法 [Q8](#)

食品の国際規格を定める [Codex 委員会](#)により、照射食品の標準分析法として採択された分析法のこと。一般には妥当性が確認された分析法が採択される。採択された検知法のうち、HC法、ESR法、TL法は係争時や校正の目的において使用が推奨される参照法(Type II)、その他は規制や検査などの行政目的に有効な代替承認法(Type III)に分類されている。

TL法 [Q8](#)

食品に付着あるいは混入しているケイ酸塩鉱物(長石や石英など)が、照射により蓄積したエネルギーを加熱により放出する際の発光現象を検知指標とする。鉱物の発光特性は採取された鉱物の性質によって大きく異なるため、発光量の大小だけで照射の有無を判定することは難しい。そこで、測定後の鉱物試料に既知線量の放射線を照射して再度、発光を測定し、初期発光量に対する比(TL発光比)を計算して判定を行う。

PSL法 [Q8](#)

食品に付着あるいは混入しているケイ酸塩鉱物(長石や石英など)が、照射により蓄積したエネルギーを光により放出する発光現象を検知指標とする。PSL法はTL法と比較して食品に付着した鉱物試料を分離する必要がないため、迅速に照射食品の検知が可能である。発光の強さはTL法と同様に鉱物の種

類や含量によるため、ヨーロッパ標準規格法では予め照射及び非照射の試料を用いて求めた発光量の閾値と測定試料で得られた発光量の比較によって判定を行っている。

ESR 法 [Q8](#)

照射により生じた食品中のラジカルを検出する方法である。骨や植物の実の殻など、乾燥して硬い組織に生じた比較的安定なラジカルを測定する。このうち、植物組織の成分であるセルロース、骨の成分であるヒドロキシアパタイト、乾燥果実中の結晶性の糖に由来するラジカルを検出することで、香辛料、骨付き肉、及び糖結晶を含む乾燥果実を対象に照射の検知が可能となる。なお、ラジカルは熱に不安定であるため、常温で流通期間の長い食品では、照射の判定が困難になる場合がある。

ACB 法 [Q8](#)

照射により食品中の脂質(トリグリセリド)から生じる特異的な放射線分解生成物である ACB 類を検出する方法である。ACB 類は照射のみによって生成する化合物であると考えられるため、特異性が高い方法である。照射により生成する ACB 類は単一物質ではなく、前駆体となる脂質の脂肪酸側鎖に応じた種々の ACB 類が生成する。ACB 類の中でも比較的検出が容易である 2-ドデシルシクロブタノン及び 2-テトラデシルシクロブタノンが検知指標として利用されており、ガスクロマトグラフ質量分析計(GC-MS)がこれらの ACB 類の検出に用いられる。

HC 法 [Q8](#)

照射による放射線分解で食品中の脂質(トリグリセリド)から生じる炭化水素を、水素炎イオン化検出器付きガスクロマトグラフ(GC-FID)等により検出する方法である。ヘキサデカジエン、ヘプタデセン、テトラデセン、ペンタデカン等の炭化水素は照射に対する特異性が比較的高いことから、検知指標として利用されている。脂質を構成する脂肪酸(C_n)より生成するとされる炭化水素(C_{n-1} 及び $C_{n-2:1}$)が検出され、その比率($C_{n-1}/C_{n-2:1}$)が期待される値であった時に照射されたと判定される。炭化水素は照射以外の加熱等によっても生じる場合があることから特異性は必ずしも高いとは言えない。

DNA コメットアッセイ [Q8](#)

照射によって生じた DNA 鎖切断を検出する方法である。照射された動植物の細胞をアガロースに包埋して電場をかけると、様々な長さに切断された DNA 断片が細胞の核から流れ出し、陽極に向かって尾を引いて泳動(コメット像)される。DNA 鎖切断は細胞の自己消化や凍結融解などによっても誘発されるが、照射による損傷は細胞群全体に起こるため、加熱料理されていない生肉や植物種子等で様にコメット像が観察されれば、照射されている可能性が高いと判断できる。ただし、DNA 鎖切断は照射以外の種々の条件でも誘導されるので、特異性が低くスクリーニング法として位置づけられており、判定を確定するには他の検知法によらなければならない。

DEFT/APC 法 [Q8](#)

照射によって生じた生菌数や微生物叢の変化を検出する方法である。直接落射蛍光フィルター法(DEFT: Direct Epifluorescent Filter Technique)では食品中の死菌と生菌を合わせた総菌数を、プレート法(APC: Aerobic Plate Count)では食品中の生菌数を測定する。食品が照射されると多くの微生物が死滅するので、両者の差が大きければ照射された可能性が高いと判断できる。照射以外の殺菌処理に

よっても生菌数や微生物叢の変化は生じるので、特異性が低くスクリーニング法として位置づけられており、判定を確定するには他の検知法によらなければならない。

LAL/GNB 法 Q8

照射処理によって生じた生菌数や微生物叢の変化を検出する方法である。リムルス(LAL : Limulus Amebocyte Lysate) 試験からグラム陰性菌由来のエンドトキシン活性を、コロニーカウントからグラム陰性菌(GNB)の生菌数を測定する。食品が照射されると多くの微生物が死滅するので、両者の差が大きければ照射された可能性が高いと判断できる。照射以外の殺菌処理によっても生菌数や微生物叢の変化は生じるので、特異性が低くスクリーニング法として位置づけられており、判定を確定するには他の検知法によらなければならない。

モニタリング検査 Q8

国が輸入食品について幅広く監視するため、食品衛生法第 28 条に基づいて行う検査のこと。検査は年間計画に基づいて実施され、検査結果の判明を待たずに輸入することが可能である。モニタリング検査によって食品衛生法違反となった場合は、当該食品の廃棄・積戻し、あるいは回収等の措置がとられる。

ジヒドロチミジン法 Q8

照射によって DNA 中に生じる損傷ヌクレオシドの一つである 5,6-ジヒドロチミジンを検出する方法である。最近では液体クロマトグラフ・タンデム型質量分析計が 5,6-ジヒドロチミジンの検出に用いられている。5,6-ジヒドロチミジンは非照射の食品にはほとんど含まれていないため特異性が比較的高い。また、ほとんどの食品には DNA が含まれているため、適用範囲が広い特徴がある。

Q9:照射された食品の風味は変化(劣化) しませんか?

照射臭 Q9

肉類や乳製品などを空気存在下で高線量照射した時に感じられる独特の異臭。ケモノ臭とも呼ばれる。肉類を日光にさらしたときに発生する臭いに似ているという。脱酸素下あるいは低温・凍結条件下の照射で抑制できる。なお、包装材のポリエチレンや塩化ビニルから照射によって発生した炭化水素やカルボニル化合物などの異臭が照射臭と間違われることがある。

含硫アミノ酸 Q9

分子内に硫黄原子を含むアミノ酸の総称。メチオニン、システイン、ホモシステインなどがある。硫黄原子を持つがカルボキシル基は持たないタウリンは、厳密にはアミノ酸ではない。

硫化水素(H₂S) Q9

硫黄を含む蛋白質の腐敗・分解によって生じる硫黄と水素の無機化合物。特徴的な腐卵臭を持ち、常温常圧では空気より重く無色で水溶性の気体。火山ガスや鉱泉水にも含まれる。

超高温殺菌牛乳(殺菌、UHT : Ultra High Temperature) Q9

120~130°Cで 2 秒間加熱殺菌された牛乳で、日本で主流となっている。ほぼ全ての菌が殺菌されるが、完全滅菌ではないので、冷蔵流通が必要。さらに厳しい条件の 135~150°Cで 1~4 秒加熱滅菌後に無菌

的に充填した製品はロングライフ牛乳(LL : Long Life)と呼ばれ、常温(外気温を超えない温度)での長期保存が可能。

乳等省令(乳及び乳製品の成分規格等に関する省令) [Q9](#)

食品衛生法に基づき、牛乳やその他の乳、乳製品、これらを主要な原料とする食品についての成分規格や製造基準、容器包装の規格、表示方法などを定めた厚生労働省令(昭和26年厚生省令第52号)。省令が制定された当時、牛乳や家庭飼育が流行したヤギ乳等が不衛生であったため、その衛生管理が厳しく規定されたとのこと。

<https://elaws.e-gov.go.jp/document?lawid=326M50000100052>

パスツール式の低温殺菌牛乳 [Q9](#)

62～65℃で30分加熱殺菌された牛乳。低温長時間殺菌(LTLT : Low Temperature Long Time)牛乳、パスチャライズド牛乳とも呼ばれ、牛乳の殺菌の原点となった方法だが、殺菌効率が悪くコスト高で消費期限も短いため、小規模の限定的生産にとどまっている。このような100℃以下の温度で行う食品の殺菌はパスチャライゼーション(pasteurization)と呼ばれ、フランスのルイ・パスツールとクロード・ベルナールによって1866年にワインの殺菌法として最初に導入された。

(食品の)テクスチャー [Q9](#)

食べ物を口に入れて咀嚼し飲み込むまでに唇、歯、口蓋や喉で感じる口触り、舌触り、歯応え、喉ごたえなどの様々な食感をさす。食品の力学的な[粘弾性](#)、空気含まれ具合や粒子の粗さ/滑らかさと均一/不均一性、水や油脂の含有率など多くの特性に左右される。

粘弾性 [Q9](#) (再掲のため [Q1](#) 参照)

加工適性 [Q9](#) (再掲のため [Q1](#) 参照)

植物検疫処理 [Q9](#) (再掲のため [Q1](#) 参照)

ポストハーベスト農薬(postharvest treatment) [Q9](#)

収穫後の農産物に使用する殺菌剤、殺虫剤、芽止め剤、防カビ剤などをさす。日本では収穫後の農薬処理は認められていない。日本に輸入される果実に使われたオルトフェニルフェノール(OPP)やチアベンダゾール(TBZ)などの防かび剤やピペロニルブトキシド(PBO)などの防虫剤は、食品添加物としての規制を受ける。

食品添加物 [Q9](#)

食品の製造過程で、または食品の加工や保存の目的で食品に添加、混和などの方法によって使用するもの。日本では、食品添加物の安全性と有効性を確認して厚生労働大臣が指定した「指定添加物」、長年使用されてきた天然添加物として品目が決められている「既存添加物」のほかに、「天然香料」や「一般飲食物添加物」に分類されている。今後、新たに使われる食品添加物は、天然、合成の区別なく、すべて食品安全委員会による安全性の評価を受けた上で、厚生労働大臣の指定を受け「指定添加物」になる。

Q10:食品照射はどのような施設で行われているのですか？

⁶⁰Co [Q10](#) (再掲のため [Q2](#) 参照)

ガンマ線 [Q10](#)

放射性壊変後などの不安定な原子核のエネルギー準位が遷移(エネルギーを放出して安定化)する際に原子核から放出される高エネルギー電磁波。同じエネルギーを持つガンマ線と X 線は共に同じ波長の電磁波であり物理的な実体は同じであるが、[X線](#)は軌道電子の遷移(特性X線)や自由電子の運動エネルギー(制動X線)を起源として発生するものをさす。1.022 MeV 以上のエネルギーを持つガンマ線から電子と陽電子が対生成されることがあり、逆に電子と陽電子が対消滅する際には、0.511 MeV のガンマ線 2 本が反対方向に放出される。天体物理学の分野では、深宇宙から飛来する未知の発生機構による高エネルギー電磁波もガンマ線と呼んでいる。

電子線 [Q10](#)

[加速器](#)で加速された電子の流れ(ビーム)。工業分野では EB(Electron Beam)と呼ばれることが多い。通常、真空中で電流を流して加熱されたタングステンなどの金属フィラメントから発生した熱電子を、静電加速器あるいは高周波加速器を用いて加速する。

X線(エックス線) [Q10](#)

紫外線よりも波長が短い電磁波のこと。発見者であるヴィルヘルム・レントゲンの名をとってレントゲン線と呼ばれることもある。エネルギーが低く(約 10 keV 以下)空気などの物質に吸収されやすい波長域の X線を軟X線、それよりもエネルギーが高く物質に吸収されにくく透過力の大きいX線を硬X線と呼ぶ。同じエネルギーを持つ X 線と [ガンマ線](#)は共に同じ波長の電磁波であり物理的な実体は同じであるが、ガンマ線は、放射性壊変後などの不安定な原子核のエネルギー準位が遷移(エネルギーを放出して安定化)する際に原子核から放出されるものや、電子と陽電子が対消滅する際に発生するものをさす。

加速器 [Q10](#)

電子や陽子、イオンなどの荷電粒子を真空中で電氣的に加速して [電子線](#)やイオンビームなどの高エネルギー放射線が発生させる装置。加速器を用いて発生させた電子線やイオンビームを適切な標的物質に照射して X 線や中性子線を間接的に発生させることもできる。

トートボックス [Q10](#)

照射施設において、様々な形の商品を入れて線源の周囲を搬送して照射するための箱型または、カゴ型の容器。

(吸収)線量 [Q10](#) (再掲のため [Q1](#) 参照)

放射線加工 [Q10](#)

主としてプラスチックなどの高分子材料などに、放射線(通常、高エネルギーかつ大線量のガンマ線、X線、電子線)を照射して物性の向上・改質を行う加工法。この処理により架橋、発泡、分解、グラフト重合、硬化などが起こり、材料の耐熱性、耐薬品性、耐摩耗性、機械的強度などが向上する。放射線加工の利点

は、(1) 常温で処理できるため省エネになる、(2) 重合開始剤などの添加物が不要で処理後に不純物が残らない、(3) 材料の元の形状を維持したままで処理できる、(4) 吸収線量だけで処理効果が保証できるため工程管理が容易、など。

線量測定 [Q10](#)

放射線に対して測定可能な応答を再現性よく示す素子である線量計と、その読み取りシステムを用いて、吸収線量を測定すること。

ISO/ASTM51702 [Q10](#)

「Practice for dosimetry in a gamma facility for radiation processing」

国際標準化機構 (ISO) 及びアメリカ材料試験協会 (ISTM) が定める、ガンマ線照射による放射線加工施設が用いるべき線量測定の手順に関する国際標準。製品が所定の吸収線量の範囲内で処理されたことを保証するために、照射装置の設置適格性評価プログラム、及び運転適格性評価、性能適格性評価、及び日常処理において従うべき線量測定手順について概説している。

植物検疫 [Q10](#) (再掲のため [Q1](#) 参照)

コーデックス委員会 (Codex 委員会、国際食品規格委員会) [Q10](#)

コーデックス委員会 (Codex Alimentarius Commission) は、消費者の健康の保護、食品の公正な貿易の確保等を目的として、1963 年に FAO 及び WHO により設置された国際的な政府間機関であり、[国際食品規格](#)の策定等を行っている。我が国は 1966 年より加盟している。

コーデックス委員会の下に、計 28 部会 (休会中の部会も含む) が設けられており、食品全般に横断的に適用できる規格基準、実施規範等の検討を行う一般問題部会のうち、食品衛生部会 (CCFH : Codex Committee on Food Hygiene) が[照射食品の一般規格](#)や[食品照射の実施規範](#)を、分析・サンプリング法部会 (CCMAS : Codex Committee on Methods of Analysis and Sampling) が検知法を取り扱っている。

参考：[コーデックス委員会、コーデックス食品規格について \(農林水産省\)](#) [Codex Alimentarius \(英文\)](#)

HACCP (危害要因分析重要管理点、Hazard Analysis and Critical Control Point、ハサップ) [Q10](#)

食品の安全性に大きな影響を与える危害要因を特定、評価及び管理するシステム。原料の入荷から製造・出荷までの全工程における危害を予測し、その危害を防止 (予防、消滅、許容レベルまでの減少) するための重要管理点 (CCP) を特定して、そのポイントを継続的に監視・記録 (モニタリング) し、異常が認められたらすぐに対策を取り解決することにより、不良製品の出荷を未然に防ぐ方策。

照射食品に関する一般規格 (CODEX STAN 106-1983, Rev. 1-2003) [Q10](#) (再掲のため [Q2](#) 参照)

食品の放射線処理のための実施規範 [Q10](#)

食品照射施設における照射工程の要件を対象とした実施規範。食品の効果的な放射線処理を実現するために、照射施設が実施すべき施設のレイアウト、目標線量の決定、線量測定等の工程管理に加え、照射処理の対象産物の一次生産、収穫、収穫後の処理、保管及び出荷、包装、表示、照射後の保管及び取り扱い、作業者の訓練など、照射工程に附随する他の側面も考慮している。

[CXC 19-1979:Code of Practice for Radiation Processing of Food](#)

国際植物防疫条約(IPPC: International Plant Protection Convention) [Q10](#)

[国際植物防疫条約\(IPPC\)](#)は、植物に有害な病害虫が侵入・まん延することを防止するために、加盟国が講じる植物検疫措置の調査を図ることを目的としており、日本を含め現在 180 以上の国と地域が加盟している。

(放射線照射による)植物検疫処理の国際基準(ISPM18) [Q10](#) (再掲のため [Q2](#) 参照)

Q11:放射線加工施設は、どのような法的規制や管理方法で運営されていますか?

放射線加工 [Q11](#) (再掲のため [Q10](#) 参照)

放射性同位元素(=放射性同位体) [Q11](#)

原子番号が等しく質量数が異なる元素(原子核の陽子数が同じで、中性子数が異なる元素)を同位体といい、同位体のうち放射性壊変するもの(いわゆる放射能を持つもの)を放射性同位体という。ラジオアイソトープ(RI)とも呼ばれる。一方、放射性壊変しない同位体を安定同位体という。用語としての「同位体」≒「核種」であるが、本来「同位体」は同一元素の間での比較に用いられ、「核種」は様々な元素や原子、原子核の種類を区別する場合に用いる。

ガンマ線 [Q11](#) (再掲のため [Q10](#) 参照)

電子線 [Q11](#) (再掲のため [Q10](#) 参照)

X線 [Q11](#) (再掲のため [Q10](#) 参照)

国際原子力機関 (IAEA) [Q11](#)

原子力の平和利用を促進するために、国際連合の下に設立された国際的な協力機関。1957年発足。平和利用に関する技術情報の交換、原子力施設の運転の安全基準作成、軍事目的への転用の防止などを行う。

加速器 [Q11](#) (再掲のため [Q10](#) 参照)

インターロック [Q11](#)

ある一定の条件が整わないと他の動作ができなくなるような機構のことで、安全装置・安全機構の考え方のひとつ。

フェイルセーフ [Q11](#) (fail safe)

「故障は安全側に」すなわち装置はいつか必ず壊れることを前提とし、故障時や異常発生時でも安全側に動作させることで絶対に人命を危険に晒させないようにシステムを構築する設計手法。

放射線モニタ Q11

放射線取扱施設などにおいて放射線量(率)を連続的に測定監視する設備。放射線のレベルを、検出器が置かれている場所とモニタ監視盤で表示し、その値を記録計に連続的に記録し、異常時には検出器の場所とモニタ監視盤で警報を発報する機能を持つ。これにより作業者に放射線レベルの異常を知らせて被ばく線量の低減を図るとともに、放射線安全が確保されていることを確認する。

放射性同位元素等の規制に関する法律 Q11

昭和32年法律第167号として成立(旧名:「放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律」から改正)。原子力基本法(昭和三十年法律第百八十六号)の精神にのっとり、放射性同位元素の使用、販売、賃貸、廃棄その他の取扱い、放射線発生装置の使用及び放射性同位元素又は放射線発生装置から発生した放射線によって汚染された物(以下「放射性汚染物」という。)の廃棄その他の取扱いを規制することにより、これらによる放射線障害を防止し、及び特定放射性同位元素を防護して、公共の安全を確保することを目的として制定されたもの。

https://www.nra.go.jp/activity/ri_kisei/kanrenhourei/index.html

放射線取扱主任者 Q11

日本の「[放射性同位元素等の規制に関する法律](#)(以下、RI法)」に基づく国家資格の一つ。

RI法に基づいた放射性同位元素あるいは放射線発生装置の使用者(一般には法人等をさす)、販売業者、賃貸業者及び廃棄業者は、同法に基づき、放射線障害の防止について監督を行うために放射線取扱主任者を事業所ごとに1名以上選任し、原子力規制委員会に届け出なければならない。

放射線障害予防規程 Q11

放射性同位元素等を取扱う事業所内部の管理基準。[放射性同位元素等の規制に関する法律](#)において、その策定と原子力規制委員会への届出が義務付けられている。

管理区域 Q11

放射線の不必要な被ばくを防ぐため、放射線量が一定以上ある場所を明確に区域し、人の不必要な立ち入りを防止するために設けられる区域。[放射性同位元素等の規制に関する法律](#)、医療法令、労働安全衛生法令、人事院規則などによってそれぞれ管理区域の設定基準が定められている。

特定放射性同位元素 Q11

[放射性同位元素](#)の中で、その放射線が発散された場合において人の健康に重大な影響を及ぼすおそれがあるものであって、その種類又は密封の有無に応じて(セキュリティ対策の観点から)原子力規制委員会が定める数量(D値)以上の放射性同位元素(^{241}Am 、 ^{252}Cf 、 ^{244}Cm 、 ^{60}Co 、 ^{137}Cs 、 ^{153}Gd 、 ^{192}Ir 、 ^{147}Pm 、 ^{226}Ra 、 ^{75}Se 、 ^{90}Sr 、 ^{170}Tm 、 ^{169}Yb 、 ^{198}Au 、 ^{109}Cd 、 ^{57}Co 、 ^{55}Fe 、 ^{68}Ge 、 ^{63}Ni 、 ^{103}Pd 、 ^{210}Po 、 ^{106}Ru 、 ^{204}Tl 、 ^{124}Sb の24核種)のこと。

Q13 過去の懸念について

頸肋 Q13

胎児や新生児で見られる軽微な骨格異常で、胎生期の下位頸椎から出ている肋骨が遺残し、頸部の側面に伸びてきたもの。

世代試験 Q13

交配前から物質の投与を開始し、交配、妊娠を経て次世代まで投与を継続し、親及び次世代への影響を調べる試験(2世代繁殖毒性試験の場合)。

原子力総合特定研究 Q13

食品照射の早期実用化を促進すべく、原子力委員会が昭和42年9月に指定した研究。食品照射開発基本計画が策定され、これにもとづき国立試験研究機関、日本原子力研究所(当時)、理化学研究所等において7品目(ガンマ線による馬鈴薯と玉ねぎの発芽防止、米・小麦の殺虫、水産ねり製品とウインナーソーセージの殺菌、電子線によるみかん表面のカビ殺菌)について研究開発が進められた。

編集・発行

公益社団法人日本アイソトープ協会

第3期 理工・ライフサイエンス部会 食品照射専門委員会

委員長	等々力 節子	国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構
委員	朝田 良子	大阪公立大学
	大村 和孝	農林水産省 横浜植物防疫所
	片岡 憲昭	地方独立行政法人東京都立産業技術研究センター
	亀谷 宏美	国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構
	小林 泰彦	国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構
	小嶋 拓治	ビームオペレーション株式会社
	堤 智昭	国立医薬品食品衛生研究所
	古田 雅一	大阪公立大学

お問い合わせ先：
(公社) 日本アイソトープ協会 学術振興部 学術課
TEL : 03-5395-8081
E-mail : gakujutsu@jrias.or.jp

初版 2024年3月

- (注1) 印刷物等に転載するには、転載許可が必要です。
- (注2) 委員の所属等は執筆時のものです。
- (注3) 本文中のリンクは発行時のものです。