

# 「食品照射」

## の基礎知識と最新技術動向

### 研究開発から社会実装へ／米国の長期戦略

#### 第9回

食のコミュニケーション円卓会議 副代表  
(元QST高崎量子応用研究所)  
小林 泰彦

#### 1980年代以降の動き

前回：2024年12月号の連載第8回「研究開発と実用化の歴史（1980年代まで）」の表1の続きとして、1988年以降の年表を表1に示す。

1967年に開始された日本の食品照射原子力特定総合研究<sup>注1)</sup>は、1988年に温州みかんの表面殺菌に関する研究成果を原子力委員会に報告して完了となった。

また、1986年から1991年にかけて日本アイソトープ協会が実施した照射食品についての総合研究では、原子力特定総合研究後に提起された問題として、誘導放射能、食品成分の変化、変異原性の誘発、微生物の毒素産生などの懸念について最新の手法による試験を実施して健全性（安全性と栄養適性）を再確認した<sup>注2)</sup>。（連載第6回：2024年10月号「照射食品の健全性評価と国際規格」参照）

海外では1988年12月にスイスのジュネーブで「照射食品の受容、管理、貿易に関する国際会議」が開催された<sup>注3)</sup>。この会議には57カ国および14の国際機関や非政府機関から科学者、行政官、消費者など200名以上が参加し、政府レベルの協力、消費者の態度、工程管理、貿易を含む広範囲にわたる項目についての合意を反映した最終合意文書が採択された。この文書は法的拘束力は持たないが、食品照射の国際的な発展に重要な影響を及ぼすもので、この会議を契機に食品照射は

研究段階から実用段階へ移行したと言える。

#### ジュネーブで採択された最終合意文書

1988年の「照射食品の受容、管理、貿易に関する国際会議」で採択された最終合意文書の結論と勧告は以下の通りである。

#### 結論：

- 食品照射は、食品、特に固体食品の病原菌汚染を低減させて食品由来の病気を減少させる可能性を秘めている。
- 食品照射は、農産物のポストハーベストロスを減少させて消費者により多くの多様な食品を提供することを可能にする。さらに、食品照射は、ある種の農産物の植物防疫<sup>注4)</sup>の手段として有効であり、農産物の国際貿易を促進する。
- 照射食品に関する国際一般規格<sup>注5)</sup>および食品照射の実施に関する国際規範<sup>注6)</sup>に従った、政府当局による規制・管理の実施が食品照射の導入の前提となる。食品照射はGMP<sup>注7)</sup>の代替として使用すべきでない。
- 食品照射の管理のための各国の規制を国際的に認められた規格に基づいて調和することにより、照射食品の国際間貿易が促進されるであろう。
- 消費者の受容が食品照射にとっての重要な因

表1 食品照射の研究開発の歴史(1988年以降)

	世界	日本
1988年	<ul style="list-style-type: none"> <li>・食品照射に関するアジア・太平洋消費者会議、食品照射の規則案を提示(コーデックス勧告とほぼ同内容)</li> <li>・EC委員会、EC統合のため食品照射の規則案を提示(コーデックス勧告とほぼ同内容)</li> <li>・FAO/IAEA/WHO/国連貿易開発会議(UNCTAD)/関税一般協定(GATT)、照射食品の受容、管理、貿易に関する合意文書を採択(この会議を契機に食品照射は研究段階から実用段階へ移行)</li> <li>・FAO/WHO、食品照射の一般向け解説書「食品照射-食品の安全性の保持および向上のための技術」作成</li> <li>・国際消費者連盟、WHO等へ公開質問提出</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・食品照射研究運営会議、ミカンの研究成果を原子力委員会に報告(原子力特定総合研究完了)</li> </ul>
1989年	<ul style="list-style-type: none"> <li>・WHO、国際消費者連盟の疑問に対し公式回答</li> <li>・コーデックス委員会、食品表示部会開催(照射食品の文字による表示を義務化)</li> <li>・米国で照射柑橘類のボイコット発生</li> </ul>	
1990年	<ul style="list-style-type: none"> <li>・米国FDA、サルモネラ菌対策で食鳥肉の照射許可</li> <li>・FAO/IAEAの検知法開発研究プロジェクト(ADMIT)開始(1994年終了)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・原子力委員会、食品照射研究運営会議を再開</li> </ul>
1991年	<ul style="list-style-type: none"> <li>・英国、食鳥肉等の照射許可</li> </ul>	
1992年	<ul style="list-style-type: none"> <li>・米国USDA、食鳥肉等の照射許可</li> <li>・WHO専門家委員会、10 kGy以下の照射食品の安全宣言を最新の研究成果で再評価し追認(1994年、報告書を発行。1996年、コープ出版から邦訳「照射食品の安全性と栄養適性」発行)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・日本アイトープ協会の食品照射研究委員会、研究成果最終報告書発行</li> </ul>
1993年		
1994年		<ul style="list-style-type: none"> <li>・ICGFI/日本原子力産業会議共催の食品照射セミナー、東京で開催</li> </ul>
1995年	<ul style="list-style-type: none"> <li>・WTO(国際貿易機関)設立(コーデックス規格および国際植物検疫基準(ISPM)の国際基準としての位置付けが強化される)</li> </ul>	
1996年	<ul style="list-style-type: none"> <li>・欧州標準化委員会(CEN)、欧州標準分析法(EN)に5種類の照射検知法を制定</li> </ul>	
1997年	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ドイツ連邦栄養研究所、シクロブタン類の変異原性の可能性を報告</li> <li>・FAO/IAEA/WHOの高線量照射に関する合同研究部会、10 kGyを超える高線量でも照射食品は安全であると勧告(報告書はWHOが1999年に発行)</li> <li>・米国FDA、食中毒菌殺菌を目的とした赤身肉の照射許可(2000年、米農務省(USDA)の許可後に商業化)</li> </ul>	
1998年		<ul style="list-style-type: none"> <li>・日本原子力研究所、インターネットにて食品照射データベース公開</li> </ul>
1999年	<ul style="list-style-type: none"> <li>・FAO/IAEA/WHO高線量照射に関する合同研究部会、食品照射に関する国際会議「放射線照射による食品の安全性と品質の確保」を開催(意図した技術上の目的を達成するために適切な線量を照射した食品は、適切な栄養を有し、安全に摂取できると結論)</li> <li>・EU、食品照射に関する域内統一基準(EC指令)制定(統一許可品目はスパイス、ハーブ類10 kGyまで)</li> </ul>	
2000年	<ul style="list-style-type: none"> <li>・米国、ハワイ州ヒロに植物検疫用X線照射施設開設</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・全日本スパイス協会、微生物汚染の低減化を目的とする香辛料の照射許可を要請</li> </ul>
2001年	<ul style="list-style-type: none"> <li>・オーストラリア/ニュージーランド、スパイス・ハーブ類の照射許可</li> <li>・コーデックス委員会、照射検知に関する欧州標準分析法(EN規格)をコーデックス標準分析法に採択</li> </ul>	
2002年	<ul style="list-style-type: none"> <li>・EU研究プロジェクト、2-アルキルシクロブタンに関する研究結果報告</li> <li>・カナダ保健省(Health Canada)、照射マンゴー、牛肉、食鳥肉、エビについての安全性と2-ドデシルシクロブタンの安全性評価結果を公表(基準改定による許可品目拡大には至らず)</li> <li>・米国USDA/APHIS、輸入果実の検疫処理に放射線照射を認める基準改正</li> </ul>	
2003年	<ul style="list-style-type: none"> <li>・欧州の食品科学委員会(SCF)、照射食品に関し再レビュー(10 kGy以下の照射食品の安全性を確認)</li> <li>・コーデックス委員会、「照射食品に関する国際一般規格」および「実施規範」を改定</li> <li>・国際植物防疫基準化暫定委員会(ICPM)、放射線照射を植物防疫処理として利用するための基準を採択し、国際植物検疫条約(IPPC)のISPM18として収載</li> <li>・オーストラリア/ニュージーランド、熱帯果実の照射許可</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・食品安全委員会設立</li> </ul>
2004年	<ul style="list-style-type: none"> <li>・国際食品照射諮問グループ(ICGFI)解散(日本は正式加盟しないまま)</li> <li>・オーストラリア からニュージーランドへの照射マンゴーの輸出開始</li> </ul>	
2005年	<ul style="list-style-type: none"> <li>・米国、貝類の食中毒菌の照射殺菌許可</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・厚生省、検知法開発研究開始</li> <li>・原子力委員会食品照射専門部会(2005-2006)</li> </ul>

2006年	・米国、放射線照射による輸入植物検疫処理基準の改定(ジェネリック線量の導入)	・原子力委員会、食品照射専門部会の報告書を受理(食品安全行政機関に許可品目拡大に向けた検討を要請)
2007年	・米国、インドの照射マンゴー輸入許可 ・米国、タイとの協定で6種の照射果実の輸入許可	・内閣府、「放射線利用の経済規模に関する調査」で食品照射について世界の実用化状況を調査 ・厚生労働省、照射検知法(TL法)を通知し輸入食品のモニタリング検査開始 ・厚生労働省、「食品への放射線照射についての科学的知見等についての取りまとめに関する調査」委託
2008年	・米国、食中毒菌対策で生鮮玉レタス、ハウレンソウの照射許可 ・オーストラリアにて照射キャットフード事件発生(2009年、オーストラリアは殺菌を目的とした輸入キャットフードの照射を禁止)	
2009年	・FAO/IAEA、国際共同研究(CRP)「植物検疫処理のためのジェネリック線量の開発」開始(～2015年)	・食品健康影響評価研究(2-ACBs毒性評価)
2010年	・FAO/IAEA、国際共同研究(CRP)「免疫不全患者および他の潜在的ターゲット層に向けた照射食品の開発」開始(～2015年)	・厚生労働省、業事食品衛生審議会部会で依託報告書の内容審議(2-アルキルシクロブタノンの安全性に関する科学的知見の不足と社会受容の未熟を指摘し、関係者に引き続きの努力を要請) ・検知法の追加(2-ACB法)
2011年	・欧州食品安全機関(EFSA)、食品照射の微生物学的効果と化学的安全性に関する意見公表 ・ISO 14470(Food irradiation—Requirements for the development, validation and routine control of the process of irradiation using ionizing radiation for the treatment of food)採択	
2012年	・オーストラリア/ニュージーランド、検疫を目的とする柿の照射許可 ・米国FDA、畜肉製品の照射許可(殺菌を目的とする食鳥肉の許可の最高線量を引上げる) ・米国USDA/APHIS、南部のメキシコ国境地域の照射施設を認可(Port of Entry 処理に有利)	・検知法の追加(ESR法) ・牛肝臓照射殺菌研究(厚生労働科学研究)
2013年	・オーストラリア/ニュージーランド、検疫を目的とするトマトとトウガラの照射許可	
2014年	・米国、殺菌を目的とする甲殻類(冷蔵・冷凍、乾燥、調理品)の照射許可	
2015年	・FAO/IAEA、国際共同研究(CRP)「電子ビームおよびX線を利用した食品照射技術の開発」開始(～2020年)	
2016年	・オーストラリア/ニュージーランド、生鮮物10種の照射許可	
2017年	・カナダ、牛挽肉の照射許可 ・オーストラリア/ニュージーランド、ブルーベリー・ラズベリーの照射許可	
2018年		
2019年		・農水省、植物検疫処理基準研究としてミカンバエ(柑橘)とモモンシクイガ(りんご)の照射殺虫試験と果実障害試験を実施、品質や商品価値を保ちながら効果的に処理できることを確認
2020年		
2021年	・オーストラリア/ニュージーランド、全生鮮農作物の照射許可 ・FAO/IAEA、国際共同研「低エネルギービームによる食品への革新的な放射線処理技術」開始(～2025年)	
2022年		・JA士幌町、照射芽止め馬鈴薯の出荷終了
2023年	・ISPM18「植物検疫措置としての放射線照射の利用の要件」改訂、X線のエネルギー上限を7.5 MeVに変更	
2024年	・オーストラリア/ニュージーランド、米国・カナダ・インド・インドネシア・韓国に続いて食品照射に用いるX線のエネルギー上限の国内規制を7.5 MeVに変更	

\*表中の主な項目については食品照射研究協議会HP掲載の年表(URL:<http://www.jrafi.jp/Fltoha.htm>)から関連資料へのリンクあり

子であり、そのためには情報の提供が必要である。

#### 勧告：

- ・食品照射の適用が有効であると思われる食品に対しては、国民の健康のために食品照射技術の利用を考慮すべきである。
- ・食品照射が農産物のポストハーベストロスの削減や植物防疫の手段として有効である場合には、食品照射の利用を考慮すべきである。

- ・食品照射の実施および照射食品の販売の前提条件として、各国政府は食品の照射および照射食品の販売を管理するための規制を策定すべきである。特に、照射施設の登録、許可、管理、検査、照射食品に関する記録と表示、監督官のトレーニング、GMPの導入などに関する事項をその規制に盛り込むべきである。
- ・食品照射を管理するための規制を策定する際は、その規制が照射食品に関する国際一般規格および食品照射の実施に関する国際規範に

盛り込まれた国際的に同意された原則と一致するようにすべきである。食品照射の実施中は、各国および国際的な規格で定められた線量測定を行なって、正当な食品照射が実施されていることを示す証拠とすべきである。

- 各国政府は、照射施設を離れても行政による照射食品の管理が行えるように、照射食品の検知技術の開発のための研究を推進すべきである。これにより、照射食品の国際間貿易が促進され、消費者が照射食品の全体の管理システムに対して信頼するようになる。
- 各国政府、特に食品照射を許可しようとしている政府は、食品照射について明瞭で適切な情報を提供するようにすべきである。その際、消費者団体を含むあらゆる関心を有している団体の参加を得るようにすべきである。

## 国際消費者連盟 (IOCU) の質問と WHO の回答

この会議には国際消費者連盟 (IOCU) <sup>注8)</sup> もオブザーバーとして参加していた。IOCU は 1987 年の第 12 回世界大会で食品照射反対を決議しており、ジュネーブの会議では照射食品に対する公開質問状を提出した。これに対して世界保健機関 (World Health Organization : WHO) は公式回答を作成した。それらの概要を以下に示す。

### IOCU が提示した疑問：

「照射食品が広く消費者に受け入れられる前に、WHO が以下の未解決の問題を解決するとともに文献を完全に引用した分かりやすいレポートを作成することを要望する」

1. WHO が以前に指摘した未解決の問題：①食品と接触する包装材に及ぼす照射の影響、②食品照射と他の処理を併用した際の栄養価に及ぼす影響、③過酸化脂質など脂質の照射生成物の化学的・毒性学的研究、④タンパク質およびビタミン B 群の生物価への照射の影響
2. 残留農薬、食品添加物、汚染物質に及ぼす照射の影響
3. 動物試験で観察された好ましくない影響
4. 照射直後の穀物を与えた動物試験で観察された悪影響に関する肯定的・否定的両方のデー

タの事実関係

5. フリーラジカルと抗酸化性ビタミンの反応および、動物試験における飼料へのビタミンの補強の目的とその効果
6. 照射による食品の栄養成分の損失の程度
7. 照射の管理と乱用の防止対策
8. 食品照射の限りある役割を論ずるための、食中毒の発生程度と原因、防止技術の解説
9. 食品照射を広い視点で論ずるための、世界的な食糧危機や栄養失調の解決のための包括的なプロジェクトの実施

### WHO の回答：

1. WHO が以前に指摘した未解決の問題：WHO のレポートでは必要な (required) 研究と好ましい (recommended または suggested) 研究を明確に区別しており、食品照射に関してはさらに実施する必要のある研究は何もない。IOCU が指摘した 4 つの問題は全て実施が好ましい (recommended) 研究であり、すでに実施されている。
2. 残留農薬、食品添加物、汚染物質に及ぼす照射の影響：食品添加物からの照射生成物の濃度は最悪でも ppm のオーダーであり、農薬や食品汚染物質 (食品加工用機械からの微量の潤滑油の混入、食品容器からの化学物質の混入、PCB のような環境汚染物質の混入など) からの照射生成物の濃度はこれよりも 2~3 桁低い。食品添加物や残留農薬からの照射生成物についての多くの実験結果によれば、毒性学的な問題はない。食品に存在する天然毒の方がはるかに大きな危険性を有しており、農薬などの照射生成物の毒性の研究に労力を費やすことは実験動物の乱用および毒性試験用試料の浪費である。
3. 動物試験で観察された好ましくない影響：動物試験結果に関する包括的な評価は FAO/IAEA/WHO 照射食品の健全性に関する合同専門委員会 (JECFI) によって行われた。IOCU が要求するように WHO が評価をやり直しても新しい情報は得られないだろう。有害な照射の影響と IOCU が主張しているのは、非常に古い研究によるものである。
4. 照射直後の穀物を与えた動物試験で観察され

た悪影響：照射直後の小麦をマウス、ラット、サルおよび栄養失調の子どもに与えると好ましくない影響が観察され、照射後貯蔵した小麦では観察されないというインド国立栄養研究所の論文（連載第6回：2024年10月号「照射食品の健全性評価と国際規格」参照）は、各国の専門家により詳しく論議され、病理学的には意味あるものではないと結論された。他のグループの追試でも再現されなかった。

5. フリーラジカルと抗酸化性ビタミンの反応、動物試験における飼料へのビタミンの補強の目的とその効果：長期の動物試験の目的は試験する照射食品の毒性を見出すことであるが、ビタミン不足の動物で悪い結果が得られたらその原因が照射かビタミン不足かを判断できない。高線量照射した飼料を用いた長期間の試験ではビタミンKなどを補強する必要があるが、中・低線量照射した食品の試験では照射によるビタミンの損失が少ないのでその必要はないことが多い。
6. 食品の栄養価に及ぼす影響：あるビタミンが照射により一部が分解されることや、栄養成分の分解は線量とともに増すが低温や脱酸素条件下の照射で低減できることはよく知られている。このようなビタミンの損失は、香辛料、乾燥野菜、穀物、馬鈴薯、冷凍水産物などの現在世界中で実施されているいかなる食品照射でも問題になっていない。
7. 照射の管理と乱用の防止対策：ある食品処理技術だけが他の技術と比べて不適切に利用されることはない。照射食品の検知技術は多く研究されており、有望と思われる。多くの国で既に確立している食品管理システムは容易に照射食品の管理に適用できる。
8. 食中毒の発生程度と原因、防止技術の解説：食中毒を防止する方策として次の3つがある。  
①病原菌のいない動物の食品製造への利用：原理的には可能であり、実験的には確立しているが、現実には大規模の飼育は困難で将来実施できる見込みもない。  
②食品の処理：食中毒を予防する食品処理として、加熱、冷凍、乾燥、薬剤の使用、食品照射がある。  
③情報提供と教育：食中毒の予防には消費者や食品流通・加工者に対する情報提供と教育が必要。以上

の3つの中では食品の処理が特に重要である。特に、乳幼児や子ども、免疫力の低下した患者や老人のように食品汚染に敏感な人にとっては。家禽肉や香辛料などの微生物汚染を起こしやすい食品の殺菌は食中毒の防止に役立つ。世界で食中毒の大きな原因となっているのが *Salmonella* と *Campylobacter* であり、これらは2.5～5 kGyの照射で殺滅することができる。

9. 世界的な食糧危機：特に熱帯地域では高温と多湿により食品の貯蔵が大きな問題となる。例えば害虫や微生物による汚染が原因となる穀物や豆類の損耗は20～50%と推定されている。しかし、それを防ぐ技術として食品照射が有効なのは社会経済が発達した地域においてのみである。非常に貧しい地域においては食品照射は食品の安定のために最初に行うべき手段ではない。IOCUはFAOとWHOが飢餓などの問題を緩和するための包括的なプロジェクトを実施するように提言しているが、それこそFAOとWHOが過去40年間実施してきた活動であり、食品照射がこれらの問題解決のための（主要なものではないが）一つの方法であることをIOCUは知らないようだ。

以上のIOCUの質問とWHOの公式回答の詳細は、1989年に食品照射誌に掲載された「照射食品の受容、管理、貿易に関する国際会議」<sup>注3)</sup>を参照されたい。

## コーデックス国際食品規格

コーデックス国際食品規格委員会は、1980年のFAO/IAEA/WHO合同専門家委員会(JECFI)の結論「10 kGy以下の総平均線量でいかなる食品を照射しても、毒性学的、微生物学的、栄養学的に全く問題がない。今後はこの線量以下で照射した個々の食品の健全性試験は不要である」を踏まえ、1983年に「照射食品に関する一般規格(CODEX STAN 106-1983)」<sup>注9)</sup>および「食品の放射線処理のための実施規範(CAC/RCP19-1979-(Rev.1-1983))」<sup>注10)</sup>を採択し、加盟各国に受け入れを勧告した。こうして10 kGy以下の照射食品が国際的に認められた。

WHOの専門家委員会は、1992年に10 kGy以下の照射食品の安全宣言を最新の研究成果で再評価して追認し、1994年に報告書<sup>注11)</sup>を発行した。1996年にコープ出版からその邦訳「照射食品の安全性と栄養適性」が発行されている。

1997年にはFAO/IAEA/WHOの高線量照射に関する合同研究部会(Joint FAO/IAEA/WHO Study Group on High Dose Irradiation)が「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」と勧告し、WHOは10 kGyを超える高線量でも照射食品は安全であるとする報告書<sup>注12)</sup>を1999年に発行した。

これを受けてコーデックス国際食品規格の改定が議論され、2003年に採択された現行の「照射食品に関する一般規格(CODEX STAN 106-1983, Rev.1-2003)」では「食品の最大吸収線量は、技術上の目的を達成する上で正当な必要性がある場合を除き、10 kGyを超えてはならない」と修正されている。

またコーデックス委員会は、2001年に、照射検知に関する欧州標準分析法(EN規格)<sup>注13)</sup>をコーデックス標準分析法<sup>注14)</sup>に採択している。

以上の詳細については連載第6回:2024年10月号「照射食品の健全性評価と国際規格」、連載第7回:2024年11月号「照射食品の表示と検知法」を参照されたい。

## 植物検疫措置に関する国際基準

2003年に国際植物防疫基準化暫定委員会(ICPM)は放射線照射を利用するための基準を

- ・照射殺虫処理の研究を基に臭化メチル全廃と照射検疫処理の導入を先導
- ・照射農産物の輸入拡大の次には、相手国との「相互承認」で輸出を拡大

1986年	すべての食品の1kGyまでの照射による殺虫処理を許可
1987年	プエルトリコ産マンゴーをフロリダのスーパーで試験販売
1992年	モンリオール議定書締結国会議で臭化メチルをオゾン層破壊物質に指定、先進国で2005年、途上国でも2015年までの全廃を決定
1997年	ハワイから米本土向け農産物の照射許可(国内検疫)
2002年	輸入検疫における放射線照射の基本的な規則の制定
2003年	ISPM18「植物検疫措置としての放射線照射使用の指針」採択
2006年	ジェネリック線量(Generic Dose)設定
2007年	タイとの協定で6種類の照射果実の輸入開始(Preclearance)
2008年	インドとの協定で照射マンゴーの輸入開始(Preclearance)
2012年	米国南部国境地域の照射施設認可(Port of Entry)
2015年	米国产の照射農産物のメキシコなどへの輸出プログラム開始

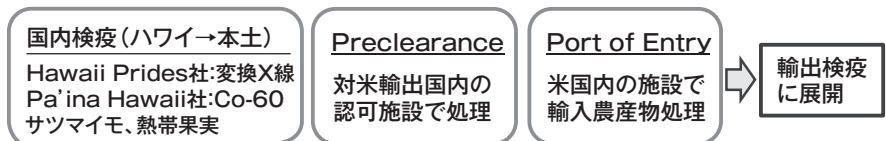


図1 米国農務省の長期戦略

採択し、国際植物検疫条約<sup>注15)</sup>に基づく植物検疫措置に関する国際基準<sup>注16)</sup>のISPM18「植物検疫措置としての放射線照射使用の指針」<sup>注17)</sup>として収載した。これによって放射線照射は国際的に認知された植物検疫措置となった。

農産物に潜む害虫を例外なく繁殖不能にしてその分布拡大を防ぎ農作物を保護する照射処理は、適用品目が限定される蒸熱処理や低温処理、オゾン層破壊物質である臭化メチル<sup>注18)</sup>を用いる燻蒸処理などに代わる新たな方法として導入が進み、照射検疫処理による熱帯果実などの生鮮物の国際流通が急速に増加している。(連載第3回:2024年7月号「芽止めと植物検疫」参照)

その背景には、米国の長期的な国家戦略があった(図1)。

## 米国の長期戦略 1： 照射殺虫処理の研究を基に臭化メチル全廃 と照射検疫処理の導入を先導

米国は食品照射の研究開発と実用化・社会実装で常に世界をリードしてきた。1985年の豚肉照射の許可以来、照射許可品目が徐々に増え、2014年に許可された甲殻類を含めて14品目に達している(表2)。

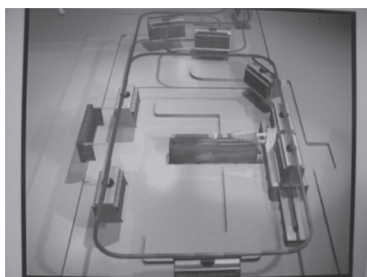
表2 米国FDAの食品照射許可品目と線量(21CFR179.21)

品目	目的	線量	許可年
1. 豚肉(生)	寄生虫抑制	0.3~1.0 kGy	1985
2. 生鮮果実・野菜類	成熟抑制	1.0 kGy(最高)	1986
3. 全食品	殺虫	1.0 kGy(最高)	1986
4. 乾燥・脱水酵素製剤	殺菌	10 kGy(最高)	1986
5. 乾燥香辛料・香味野菜／調味料	殺菌	30 kGy(最高)	1986
6. 生鮮(冷蔵／常温)食鳥肉、冷凍／非加熱食鳥肉	病原菌制御	4.5 kGy(非凍結:最高) 7.0 kGy(冷凍:最高)	2012 (改定)
7. 冷凍肉(NASA宇宙食)	滅菌	44 kGy(最低)	1995
8. 冷蔵・冷凍赤身肉	病原菌制御 貯蔵期間延長	4.5 kGy(冷蔵:最高) 7.0 kGy(冷凍:最高)	1997
9. 殻付き生卵	サルモネラ菌制御	3.0 kGy(最高)	2000
10. もやし用種子	病原菌制御	8.0 kGy(最高)	2000
11. 生鮮・冷凍エビ、カニ、貝類	病原菌制御	5.5 kGy(最高)	2005
12. 生鮮ホウレンソウ、生鮮アイスバーグレタス	病原菌制御 貯蔵期間延長	4.0 kGy(最高)	2008
13. 畜肉、畜肉副産物、畜肉製品(冷蔵および常温)	病原菌制御 貯蔵期間延長	4.5 kGy(最高)	2012
14. 甲殻類(生、冷凍、乾燥、調理済、部分調理済品を含む)	病原菌制御 貯蔵期間延長	6.0 kGy(最高)	2014

出典:等々力節子, 各国の食品照射の現状(2013年後半~2015年前半), 食品照射, 50(1), 47- 58 (2015)  
21CFR179.21 <https://www.ecfr.gov/current/title-21/chapter-I/subchapter-B/part-179>

### CW Hawaii Pride(X線)

2000年開設:青果物専用施設(国内検疫)  
ハワイ島 ヒロ



### Okinawa sweet potato



2017年の処理量  
約6,000トン  
うち サツマイモ  
4,800トン



### Pa'ina Hawaii(Co-60)

2013年開設:青果物専用施設(国内検疫)  
ハワイ島 カイオウ



プール中のCo-60線源近くにコンテナを沈めて照射

2017 Peter Follett USDA/ARS 日本食品照射研究協議会 照射植物検疫セミナー資料から

図2 ハワイから米国本土への照射青果物の出荷(国内検疫)

米国の食品医薬品局(Food and Drug Administration: FDA)は、1986年に安全性評価の考え方を整理し、青果物全般には1 kGy以下の害虫制御目的の照射、摂取量の少ない香辛料には30 kGy以下の微生物制御目的の照射を許可し

た。その後、1990年代にはサルモネラや大腸菌などの病原性微生物制御を目的とする食鳥肉や赤身肉の照射を許可し、2000年代には貝類や非加熱で喫食される可能性のある野菜類にも拡大した。

米国での照射処理量についての明確な統計情報

はないが、2010年の香辛料の殺菌照射処理量は7～8万トン（消費量全体の約3分の1）、青果物は1万5千トン、牛挽肉や食鳥肉は8千トンだった。その他、犬用のおしゃぶり玩具など愛玩動物用製品が年間約2万トン照射殺菌されているという。

米国は、照射による青果物の害虫の殺虫効果のデー

タを蓄積し、ハワイやプエルトリコなどから米国本土への国内検疫処理（図2）への応用を検討し、実現させると同時に、オゾン層破壊物質と考えられる臭化メチルの全廃を予見・先導して、燻蒸処理から照射処理への移行を国際的にリードしてきた。米国がこのような長期的な戦略のもとで食品照射の研究開発を推進してきたことに改めて驚かされる。

図1の「ジェネリック線量」の「generic」とは「包括」を意味し、害虫の分類上の種（species）ではなく、科（family）や属（genus）に共通の線量として設定された検疫処理基準（最低線量）である。ジェネリック線量の設定には日本での研究成果が大きく貢献したことを強調しておきたい。また、米国農務省は米国への輸入検疫処理基準において、鱗翅目（チョウ目）の成虫と蛹を除く害虫一般の処理に有効な線量を400 Gyと定めており、これに基づく二国間協定によって多くの国からの様々な照射農産物の輸入が実現している。

## 米国は最大の照射農産物輸入国

図1の2007～2008年、タイやインドの照射果実の輸入開始の「Preclearance」とは、米国農務省（United States Department of Agriculture：USDA）の植物検疫当局である動植物検疫局（Animal and Plant Health Inspection Service：

Matehuala, San Luis Potosi, MexicoのBENE BIONの照射施設  
2011年開設（Preclearance）



メキシコは米国への最大の輸出国

グアバ、マンゴー、イチジク、ザクロ、チリマンサノ（Chile manzano）、ドラゴンフルーツ、スターフルーツなど

Richard Wiens IMRP 2013 presentation

図3 米国向け輸出用に認可されたメキシコの照射施設（Preclearance）

APHIS）が認可した輸出国内の照射施設（図3）で、定められたPPQ（Plant Protection and Quarantine）Treatment Manual<sup>注19）</sup>に従って処理された照射農産物の輸入を認める仕組みである。USDAの植物検疫官が輸出国の施設で処理を確認しているため、輸入後は直ちに流通可能である。

メキシコやベトナムからも「Preclearance」によるグアバやマンゴーなどの輸入が急速に増加し、米国内で流通する照射生鮮農産物に関するUSDA/APHISの統計によると、2017年には27,400トン、2019年にはハワイからの5,600トンを加えて総量37,500トンを超える生鮮農産物が米国に輸入された。そして2022年にはハワイからの7,000トンを加えて総量55,000トンに達している<sup>注20）</sup>。

国別では、2022年の輸入の89%がメキシコからのもので、ベトナムの4%、ペルーとインドの各2%と続く。品目別ではマンゴーが36%、グアバ24%、オレンジ12%、サツマイモ12%、ドラゴンフルーツ3%と続く<sup>注20）</sup>。

**米国の長期戦略2：**  
**照射農産物の輸入拡大の次には、**  
**相手国との「相互承認」で輸出を拡大**

図1と図4の「Port of Entry」（米国への入港



パキスタン産マンゴーをテキサスで  
電子線照射処理 (Port of Entry)



Prof. Suresh D. Pillai  
Texas A&M University 提供

2017年2月、ペルーから輸入した  
ザクロおよびイチジクをミシシッピ州の施設で  
照射して米国内への流通開始  
(Port of Entry)



Henon 2018  
第54回日本食品照射研究協議学会大会 講演資料

図4 対米輸出国からの農産物を米国内で照射処理 (Port of Entry)

時) とは、USDA/APHIS によって認可された照射施設を持たない対米輸出国からの農産物について、米国内の認可された照射施設で照射処理することによって輸入を認めるものである。

当初は検疫対象害虫の分布地域に近い米国南部国境の州に立地する施設での処理は認められていなかったが、2012年に、施設周辺の害虫モニタリングや積荷の防虫包装などの適切な条件をみすことを条件に、中南米からアクセスの良い南部国境沿いの州にも「Port of Entry」処理施設の認可が拡大された。

例えば2017年にはペルー産のザクロやイチジク、メキシコやドミニカ、パキスタン産のマンゴー、南アフリカ産のライチなどが輸入され、米国内の照射施設で照射処理されたのちに米国内に流通している (図4)。

海外の照射施設での照射処理 (Preclearance) に加えて、米国本土の輸入港での処理 (Port of Entry) により、照射農産物の輸入を着実に増やしている。

その一方で米国は、米国が輸入を認めた相手国に向けて、今度は逆に米国産の照射農産物を輸出するプログラムにも着手しており、ジョージアやサウスカロライナからメキシコへのモモの輸出などが始まっている (図5)。

米国は「輸入」プログラムの開始に当たり、

「輸出相手国」との間で相互に同等の処理条件を認め合う同等作業計画体制 (Framework Equivalency Work Plan: FEWP) を20カ国以上と合意している。これは、放射線照射された農産物の貿易を許可する全般的な条件の相互承認を構築するものであり、米国への「輸入」に際して認めた照射の条件は、米国から相手国への照射農産物の「輸出」に際しても承認される。すなわち Port of Entry のシステムで輸入に利用される照射施設は、相手国へ

の輸出においても直ちに利用可能なのである。

米国以外にもベトナムやオーストラリアなどのアジア太平洋地域の諸国は、自国の農産物の輸出拡大にしのぎを削っており、そのために照射検疫処理を最大限に活用しようとしている。

中でも特に米国と並んで照射検疫処理の実用化を先導してきたオーストラリア/ニュージーランドの国家戦略、他の国々の実用化状況、最新の技術動向などについて、次回以降で紹介する。

米国はメキシコ国境にある照射施設を利用してモモの輸出に着手



図5 米国からの照射農産物の輸出  
(Port of Entryのシステムで輸入に利用される照射施設は、相手国への輸出においても承認される)

- 注1) 食品照射原子力総合特定研究: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、これにもつき国立試験研究機関、日本原子力研究所(当時)、理化学研究所などで7品目(ガンマ線による馬鈴薯と玉ねぎの発芽防止、米と小麦の殺虫、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。
- 注2) 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): [https://www.jstage.jst.go.jp/article/jrafi1966/28/1-2/28\\_1-2\\_41/\\_pdf](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jrafi1966/28/1-2/28_1-2_41/_pdf)
- 注3) 照射食品の受容、管理、貿易に関する国際会議:日本食品照射研究協議会事務局, 食品照射, 24(1,2), 32-44 (1989) [https://www.jstage.jst.go.jp/article/jrafi1966/24/1-2/24\\_1-2\\_32/\\_pdf](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jrafi1966/24/1-2/24_1-2_32/_pdf)
- 注4) 植物防疫:植物に有害な病害虫の侵入や蔓延を防ぐための業務や制度。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、病害虫の侵入防止を図るための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。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)を実施。これらの措置は、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いる。
- 注5) 照射食品に関する国際一般規格(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、技術的必要性があれば10 kGy以上の照射を認める、と改定された。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。
- 注6) 食品照射の実施に関する国際規範(Code of Practice for Radiation Processing of Food):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。
- 注7) GMP(Good Manufacturing Practice):製品の品質と安全性を確保するための製造管理や品質管理の基準。
- 注8) 国際消費者連盟(IOCU, International Organisation of Consumers Unions):消費者問題に関する国際横断的な運動を起こすこと、知識を共有することを目的に1960年に設立された。1995年に国際消費者機構(Consumers International)と改称。
- 注9) 照射食品に関する一般規格(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、技術的必要性があれば10 kGy以上の照射を認める、と改定された。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。
- 注10) 食品の放射線処理のための実施規範(Code of Practice for Radiation Processing of Food):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。
- 注11) WHO, Safety and Nutritional Adequacy of Irradiated Foods, WHO, Geneva (1994). <https://iris.who.int/handle/10665/39463> 邦訳は「照射食品の安全性と栄養適性」コープ出版(1996)
- 注12) WHO, High Dose Irradiation: Wholesomeness of Food Irradiated with Doses above 10 kGy, Report of a Joint FAO/IAEA/WHO Study Group, Technical Report Series 890 WHO, Geneva (1999). <https://www.who.int/publications/i/item/9241208902>
- 注13) 欧州標準分析法(EN規格):欧州標準化委員会(CEN)によって策定された標準分析法。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、EU圏内における照射食品の検査に使用されている。
- 注14) コーデックス標準分析法: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。
- 注15) 国際植物防疫条約(IPPC:International Plant Protection Convention):植物類の病害虫の国際間での移動の防止、病害虫防除のための適切な措置を執るための国際的手続きを取り決めた条約。日本を含め現在180以上の国と地域が加盟している。
- 注16) 植物検疫措置に関する国際基準(ISPM: International Standard for Phytosanitary Measures):国際植物検疫条約(IPPC)が定め

た国際基準。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、47の国際基準が採択されており、これらには植物検疫の原則や定義、病害虫のリスク分析、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、病害虫診断のプロトコルなどが含まれている。

注17) ISPM18「植物検疫措置としての放射線照射使用の指針」:植物検疫措置に関する国際基準(ISPM)の一つで、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。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。後に他の処理のISPMと体裁を合わせて表題を「植物検疫措置としての放射線照射の利用の要件」と変更。

注18) 臭化メチル(Methyl Bromide, CH<sub>3</sub>Br):農作物への薬害が少なく、多種類の病害虫や線虫、糸状菌、ウイルスに対して安定した効果を発揮する極めて汎用性のある農薬だが、1992年に「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」第4回締約国会合においてオゾン層破壊物質に指定され、1995年以降は検疫用途を除きその製造・使用が国際的に規制されることになった。日本を含む先進諸国では同締約国会合で承認された特別の用途(検疫用途、緊急用途、不可欠用途)を除き2005年までに、発展途上国では2015年までに、原則廃止することが決定されている。

注19) USDA / APHIS / PPQ Treatment Manual:<https://acir.aphis.usda.gov/s/>

treatment-hub#a1X3d000004zk6EAA-9f、等々力節子、食品照射、50(1)、47-58 (2015) [https://www.jstage.jst.go.jp/article/jrafi/50/1/50\\_47/\\_pdf/-char/ja](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jrafi/50/1/50_47/_pdf/-char/ja)

注20) USDA / APHISの統計:Laura Jeffers USDA APHIS/PsIP Webinar 2023.9.6, [https://youtu.be/8d4OmyEzjXk?si=\\_K8VLoUA11YNRfF2](https://youtu.be/8d4OmyEzjXk?si=_K8VLoUA11YNRfF2)

#### 参考資料

- 等々力節子、各国の食品照射の現状(2013年後半～2015年前半)、食品照射、50(1)、47-58 (2015) [https://www.jstage.jst.go.jp/article/jrafi/50/1/50\\_47/\\_pdf](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jrafi/50/1/50_47/_pdf)
- 等々力節子、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) <https://jrm.jrias.or.jp/10.3769/radioisotopes.71.55/index.html>
- 小林泰彦、食品照射の実用状況と消費者の受容、*RADIOISOTOPES*, 71(1)、63-83 (2022) <https://jrm.jrias.or.jp/10.3769/radioisotopes.71.63/index.html>
- 土肥野利幸、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) <https://jrm.jrias.or.jp/10.3769/radioisotopes.71.93/index.html>