

# 食品への放射線照射について

(案)

平成18年7月26日

原子力委員会  
食品照射専門部会

## 目 次

第1章 はじめに	1
1-1. 背景	1
1-2. 基本的考え方	1
第2章 食品照射を巡る現状	3
2-1. 食品照射を巡る動向	3
(1) 経緯	3
(2) 食を取り巻く社会状況と食品照射	5
(3) 国内外の照射食品の許可・実用化の状況	9
(4) 食品照射に対する社会的関心	11
2-2. わが国の照射食品に関する法制度等	12
(1) 照射食品の許可及び表示	12
(2) 照射食品等への監視・指導	13
第3章 食品照射の有用性	14
3-1. 一般的事項	14
3-2. 食品照射の便益とリスク	14
(1) 食品衛生面の便益	14
(2) 食品損耗の防止面の便益	15
(3) 食品照射のリスク	16
(4) 技術の選択肢を増やす必要性	16
3-3. 食品の貿易に貢献するものとして	17
3-4. 香辛料への放射線照射の有用性	17
(1) 香辛料の衛生確保の必要性	17
(2) 香辛料の衛生確保における放射線照射の有用性	18
第4章 照射食品の健全性の見通し	20
4-1. 食品照射を行う前提条件	20
4-2. 安全性（毒性学的安全性、微生物学的安全性）の見通し	20
(1) 毒性学的安全性	20
(2) 微生物学的安全性	22
4-3. 栄養学的適格性の見通し	23
4-4. 個別に指摘されてきた事項	23

(1) 誘導放射能の生成	・ ・ ・ ・ ・	2 3
(2) 放射線の照射により生じる化学反応	・ ・ ・ ・ ・	2 4
(3) 照射タマネギの慢性毒性試験と世代試験	・ ・ ・ ・ ・	2 4
(4) 栄養失調児の倍数性細胞の出現率	・ ・ ・ ・ ・	2 5
(5) シクロブタノン類の生成	・ ・ ・ ・ ・	2 5
(6) 放射線照射による異臭の発生	・ ・ ・ ・ ・	2 6
(7) 食味、加工性への影響	・ ・ ・ ・ ・	2 6
(8) ベビーフード事件	・ ・ ・ ・ ・	2 7
第 5 章 食品照射を巡るその他の課題	・ ・ ・ ・ ・	2 8
5－1．照射食品の検知技術	・ ・ ・ ・ ・	2 8
5－2．放射線照射施設等の安全性	・ ・ ・ ・ ・	2 9
(1) 放射線照射施設の運用	・ ・ ・ ・ ・	2 9
(2) 周辺環境への影響	・ ・ ・ ・ ・	3 0
(3) 放射性廃棄物の取扱い	・ ・ ・ ・ ・	3 0
5－3．照射食品の表示	・ ・ ・ ・ ・	3 1
第 6 章 まとめ	・ ・ ・ ・ ・	3 2
6－1．食品照射に取り組むにあたっての環境整備	・ ・ ・ ・ ・	3 2
(1) 食品安全行政の観点からの妥当性の判断等	・ ・ ・ ・ ・	3 2
(2) 検知技術の実用化	・ ・ ・ ・ ・	3 3
6－2．食品照射の社会受容性の向上	・ ・ ・ ・ ・	3 3
参考文献	・ ・ ・ ・ ・	3 5
付録 1 食品照射専門部会の設置について (平成 1 7 年 1 2 月 6 日原子力委員会決定)		
付録 2 食品照射専門部会委員名簿		
付録 3 開催実績		
付録 4 原子力政策大綱 (平成 1 7 年 1 0 月 1 1 日、原子力委員会決定) の関 連部分抜粋		

## 参考資料

## 主な用語解説

## 第1章 はじめに

### 1-1. 背景

放射線は、学術、工業、農業、医療、その他の分野で適切な安全管理の下で利用されてきており、学術の進歩、産業の振興及び人類社会の福祉と国民生活の水準向上に役立つなど、人類社会に大きな効用をもたらしている【参考1-1～2】。こうした放射線利用技術のうち、「食品照射」技術は、公衆衛生の向上や食品の品質保持などを目的として、食品に放射線を照射することにより、殺菌、殺虫、発芽防止等を行う技術であり、世界各国で許可・実用化されている。

今後のわが国における原子力の研究、開発及び利用に関する施策の基本的考え方を定めるものとして平成17年に策定された「原子力政策大綱」において、わが国においては、食品照射のように放射線利用技術が活用できる分野において、社会への技術情報の提供や理解活動が不足していること等が課題として指摘され、「食品照射については、生産者、消費者等が科学的な根拠に基づき、具体的な取組の便益とリスクについて相互理解を深めていくことが必要である。また、多くの国で食品照射の実績がある食品については、関係者が科学的データ等により科学的合理性を評価し、それに基づく措置が講じられることが重要である。」という今後の食品照射に関する取組の基本的考え方が示された。

原子力委員会は、原子力政策大綱に示されたこの基本的考え方を踏まえ、2005年12月に「食品照射専門部会の設置について（平成17年12月6日原子力委員会決定）」により、食品照射専門部会を設置した。この専門部会では、食品照射に関する内外の現状等について、9回にわたって調査審議を行うとともに、食品照射について国民の意見を聴く会を開催してきた。

本報告は、これらの審議結果を踏まえて、食品照射の現状等、関係者の今後の検討に資するところをとりまとめたものである。

### 1-2. 基本的考え方

放射線を利用した技術は、医学、工業等の各分野において幅広く活用が進められてきている。

原子力政策大綱は、この放射線利用技術についての現状認識については、原子力エネルギー利用（熱源としての利用）と並ぶものであるとして、その利用にあたっての基本的考え方として、「放射線を利用した技術等は、学術研究、工業、農業、医療活動等において利用される多種多様な技術の一つであり、他の技術と比較して優位性のある場合や、放射線利用技術の固有の特徴が必要不可欠な場合に採用されてきている。」としている。

「食品照射」は、放射線による生物学的作用（致死作用、代謝攪乱作用）を利用して食品の衛生化（病原菌、寄生虫の殺滅）や保存性の延長（腐敗菌、食害昆虫の殺滅、発芽防止や熟度調整）、あるいは化学的作用（重合、分解）及び物理的作用（高分子化合物の高次構造変化）による改質効果を期待して、食品・食材に放射線を照射する技術であり、食品照射の有用な特徴の一つは非加熱処理技術であることである。なお、放射線を照射された食品を「照射食品」又は「放射線照射食品」という。

これまで、食品の衛生化や保存性の延長を加熱せずに行う「非加熱処理」が求められる場合、化学薬剤の使用や冷蔵などによって実施されてきている。しかし、対象とする食品によっては、期待される効用に関して、食品照射が他の技術と比較して優位性のあることや、食品照射の固有の特徴が必要不可欠なことについて検討し肯定的な判断が得られるとともに、安全が確保されることなどについて一定の見通しがある場合には、当該食品に対する放射線照射の適用に向けて必要な検討や取組を進めることが適切であると考ええる。

そこで、本報告では、第2章で食品照射を巡る現状を把握した上で、第3章において食品照射の便益となる有用性について、第4章において食品照射の主要なリスクとして考慮すべきと考えられる照射食品の健全性<sup>(注)</sup>について、第5章において検知技術などの食品照射を巡るその他の課題について整理し、第6章においてわが国における食品照射に関する今後の取組に関する考え方をとりまとめた。

（注）ここでいう照射食品の健全性とは、照射食品の毒性学的安全性、微生物学的安全性、および栄養学的適格性の3つの観点を合わせたものである<sup>1-3)</sup>。

## 第2章 食品照射を巡る現状

### 2-1. 食品照射を巡る動向<sup>1-7)</sup>

#### (1) 経緯

##### a. 国内外の研究開発の進展

放射線については、1895年のレントゲンによるX線の発見以降、その利用についての様々な研究開発が進められた。1950年頃までに、食品照射に関連する、放射線による殺虫、殺菌等の生物学現象が発見され、これらを食品の殺菌等に用いることが提案され、世界各国及び国際機関での食品照射に係る取組が始まることとなった。【参考2-1】

はじめに大きな動きがみられたのは米国である。米国陸軍が10年間にわたる研究開発の成果に基づき、1963年、食品医薬品庁（FDA）にベーコン及び穀物への放射線照射が申請され、許可された。しかし、食品医薬品庁は、1968年、これらの実験方法等に欠陥があることが判明したとしてベーコンの許可を取消し、健全性評価及び法的許可の体制整備を行うことになった。

わが国も、世界各国に遅れることなく取組を始め、1967年、原子力委員会が「食品照射研究開発基本計画」を策定し、国家プロジェクトとして食品照射の研究を開始した。その結果、その対象品目のうち、ばれいしよについて、健全性に影響はないとの結果を踏まえて、1972年に食品衛生法に基づく許可がなされ、1974年にはわが国で実用化された。以降現在まで、新しい照射食品の許可はないが、ばれいしよについては、現在、年間8千トン程度が発芽防止を目的として放射線照射されて出荷されている。

また、照射食品の健全性評価についての国際的な取組も進められ、1970年、国連食糧農業機関（FAO）及び国際原子力機関（IAEA）は世界保健機関（WHO）の助言に従い、わが国を含む24カ国が参加する「国際食品照射プロジェクト」を開始した。同プロジェクトは、10 kGy<sup>(注)</sup>以下の線量を照射した食品を対象としたものであり、1981年まで、国際的共同研究が行われた。

(注) グレイ（Gy）とは電離エネルギーの吸収線量（エネルギー）の単位。1 Gyは、1 kgあたりに吸収された放射線のエネルギーが1ジュールであることを表す。食品中の微生物をほぼ完全に殺菌できる10 kGyの吸収線量は、それが全て熱に変わったとして、その微生物と同量の水を2.4℃温める程度のエネルギー量である。（1ジュール＝0.24

c a l)

b. 照射食品の健全性についての国際的確認

国際食品照射プロジェクトやその他の関連研究で得られたデータは一連の国際会議で総括され、1980年に、FAO、WHO及びIAEAの合同会議は「いかなる種類の食品でも、総平均線量が10kGy以下で照射された食品には毒性学的な危険性は全く認められない」と結論した<sup>8)</sup>。この結論に対して、WHO加盟国における食品照射に対する国民からの不安・批判があったため、1994年、WHOは、照射食品の健全性について、過去に行われた国際的な検討あるいは各国の専門家委員会により検討された膨大な量の研究と1980年以降に実施された科学研究の再評価を行い、その当時議論の的となった研究や指摘については特に注意深く評価して、上記の結論を再確認した報告書「照射食品の安全性と栄養適性」<sup>1)</sup>をまとめている。

さらに、世界各国での研究開発が進められ、1997年、10kGyを超える線量で照射した食品の健全性を明らかにすることとともに、照射する最高線量を規定する必要があるか否かを検討することを目的として、WHOの高線量照射に関する専門家委員会が10kGy以上を照射した食品に関しても健全性評価を実施し、適正製造規範（GMP：Good Manufacturing Practice）を前提として、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、適正な栄養を有し安全に摂取できる旨の結論を下した<sup>9)</sup>。

この時点までの、世界各国での照射食品の健全性に係る研究報告は1,200件以上を数え、そのほとんどは健全性に関する問題はないと結論している。なかには、疑問を呈する報告もいくつか存在したが、その指摘を受けて各国で行われた多くの追試の結果は、そこで問題とされた現象は見られないとし、これらについては、多くの場合、動物実験の測定誤差や不適切な実験設計が原因で起きたものと結論している<sup>2)</sup>。

c. 照射食品の一般規格（コーデックス規格）の採択

1980年のFAO、WHO及びIAEAの合同会議を受けて、1983年、国際食品規格委員会（コーデックス委員会）で10kGy以下の照射食品の一般規格（コーデックス規格）【参考2-2】が採択された。同規格の改定が、1997年、WHOの高線量照射に関する専門委員会の結論を受けて、コーデックス委員会で提案されたが、2-アルキルシクロブタン類の安全性に関する疑問から、10kGy以上の照射については反対

意見が提出された。最終的には、2003年、「最高吸収線量は、正当な技術目的を達成するのに必要な場合を除き、10kGyを超えてはならない。」とするコーデックス規格の改訂案が採択された<sup>10)</sup>。同規格には、食品照射を適正衛生規範や適正製造規範、適正農業規範の代用として使うべきではないこと、低水分含量の食品類（穀類、豆類、乾燥食品など）の殺虫を目的とした放射線処理を除き食品類は再照射してはならないことなども記載されている。また、コーデックス委員会は、2003年、品質を維持するとともに消費に適した安全な食品を生産するにあたり、食品の効果的な照射処理を実施するための基本的な規範である「食品の照射処理のための規範」も採択している<sup>11)</sup>。

なお、コーデックス委員会は、FAOとWHOが1962年に合同で設立した組織（わが国は1966年加盟）であり、国際食品規格などの策定を通じて、消費者の健康を保護するとともに、食品貿易における公正な取引を確保することを目的としており、そこが策定する規格は、1994年以降、WTO（世界貿易機関）協定のもとで、国際的な制度調和を図るものとして位置づけられ、各国における衛生植物検疫措置を原則、当該規格に基づいて取ることが求められている<sup>12)</sup>。

#### d. 食品照射の実用化を支援する国際的活動

研究開発の進展やコーデックス規格が採択されるにつれて、食品照射の実用化を国際的に支援する活動も進められた。1984年、FAO、IAEA及びWHOの共同で「国際食品照射諮問グループ（ICGFI）」が結成され、2004年まで、食品照射分野の世界的な進展の評価、加盟国に対する助言、食品照射に関する合同専門家委員会やコーデックス委員会に情報提供を行ってきた。

### （２）食を取り巻く社会状況と食品照射

食は、我々が生きていくために欠かせないものであり、食品の衛生を確保するとともに、食品の損耗を防いでその安定供給を確保することは、重要な課題である。

#### a. 食品衛生の視点

##### i) 食品衛生の確保と食品照射

食品の供給に当たっては、食中毒を起こさないような手段をとることが重要なことの一つであり、このためには食品に含まれる病原性微生物が一定のレベル以下に抑制されている必要がある。また、寄生虫の殺虫といっ



たことも必要である。現状では、この要請を満足するために、食品の性状などを踏まえて、適切な技術による殺菌あるいは殺虫が行われ、さらに各種規範に則った衛生管理が行われて、我々の食卓に届けられている。しかしながら、食中毒は依然発生しており、各国で食中毒を予防する努力が続けられている。

そうした場面で利用される技術は、加熱処理や化学薬剤処理など様々なものがあり、食品照射もその一つに含まれる。この食品照射は、サルモネラ菌、カンピロバクター、腸管出血性大腸菌O157など、食品衛生上大きな問題となる病原性微生物の大部分を比較的低線量で殺菌することができるという特長を持っている。ただし、ウイルスは放射線に対する感受性が低いため、食品の価値を損なわない線量範囲の照射で、完全に不活性化することはできない<sup>1, 13, 14)</sup>。

#### ii) わが国におけるより一層の食品衛生の確保の要請

わが国では、食中毒の予防のために、食品製造・流通の現場における自主衛生管理や各家庭における衛生意識の向上が図られている。しかしながら、カンピロバクター、ノロウイルス、サルモネラ菌を病因物質とする食中毒は依然発生しており、近年では、腸管出血性大腸菌O157による食中毒も発生している。2004年における、食中毒の件数は1,666件、患者数は28,175名となっている。【参考2-3】

一方、最近の傾向として、単独世帯の増加、女性の雇用者の増加等の社会情勢の変化の中で、食の簡便化志向の高まりや外部化が進展し、外食、加工食品が増加しており、2000年には、国民が最終消費した飲食料費のうち8割程度がそうした加工度を高めた形態で消費されている【参考2-4】。また、生産段階でみると、国内生産12.1兆円に対し、生鮮品の輸入が3.2兆円、食品加工された最終製品の輸入が1.9兆円となっており、食品流通は国際化されつつあるといえる。このような新たな状況に対応した食品の衛生化、貯蔵技術が求められる状況にある。【参考2-5】

また、わが国においては、国民の「食と健康」及び「食の安全・安心」に対する関心の高まりから、食生活の多様化や食品流通の国際化とも相まって、「食の衛生」への強い要望が生じてきており、より一層の食品衛生を確保する取組が求められている。そうした求めを受けて、事業者においては、様々な技術を利用して、食品に付着する生菌数を抑制するために、例えばコールドチェーン（生産者から消費者まで冷凍や冷蔵で結ぶこと）を発達させるといった取組が行われている。2000年に、全日本スパイス協会から香辛料について微生物汚染の低減化を目的とする放射線照射の許

可の要請が出されたのも、そうした取組の一つと理解される。

### iii) 食品衛生の確保策としての食品照射の世界各国での利用拡大

世界各国においてもそれぞれの国情の中で、食品衛生の確保策としての食品照射の利用拡大が進んでいる。

香辛料については、微生物による汚染の可能性が比較的高く殺菌が必要となる場合があるが、香辛料の品質は熱に対して極めて不安定であるため、加熱殺菌方法を採用した場合には容易に色調、香味などに変化が生じることもあり、世界各国で、殺菌技術の一つとして放射線照射が利用されている。そして、香辛料は、品目別に見ると世界で一番多くの国で放射線照射の許可対象となっており、EUの全加盟国、カナダ、米国、オーストラリア、ニュージーランドなど大半の先進国及びその他食品照射を実施している幅広い国々において許可されている。

また、肉類に対する放射線照射も欧米諸国で広がりつつある。米国疾病管理予防センター（CDC）によると、米国では、毎年、既知の病原体による食品媒介疾患に1400万人がかかり、1800人の生命が奪われていると推定されている<sup>15)</sup>。そのうち、サルモネラ菌による発症例は134万人で500人余りが死亡し、腸管出血性大腸菌O157についても6万2千人の感染があると推定している。そのため、肉類を汚染している食中毒菌に対する対応策の一つとして、放射線照射の効果について詳しく検討され、近年、サルモネラ菌等の病原菌制御を目的に食鳥肉、牛肉などの赤身肉への放射線照射が許可されてきている。なお、食鳥肉への放射線照射はオランダ、フランスなどでも許可されている<sup>5, 16, 17, 18)</sup>。

## b. 食品の損耗防止、安定供給の視点

### i) 食品の損耗防止、安定供給面と食品照射

食品は、その損耗を防いで安定供給することが必要であり、必要に応じて、食品の性状などを踏まえて、適切な技術を選択し発芽防止や成熟遅延といった処理とその後の管理が施されている。

わが国では、ばれいしよの発芽防止のための放射線照射が実用化されており、照射されたばれいしよは、全体の一部を担うだけではあるが、供給量が減少気味となる端境期に出荷されており<sup>19)</sup>、安定供給に貢献している。世界には、タマネギやニンニクの発芽防止のために放射線照射を行っている国もある。

## ii) 食品の損耗防止の必要性和食品照射の可能性

また、視点を広げると、地球規模の食料確保という課題が存在する。現在、世界人口は60億人を超えており、国連人口予測によれば、2020年には75億人に達し、2050年には90億人に近づくとされている<sup>16)</sup>。

一方、耕地面積は、1980年頃以降、減少傾向にあり、砂漠化の進行や熱帯雨林の消滅などによる耕作地縮小の危惧、灌漑に伴う塩分集積などの土壌劣化、地下水の枯渇あるいは農地転用による農地消失の問題、さらに、品種改良、栽培技術改善などによる農業生産性向上が限界に近いこともあわせると、地球規模での食料生産量が今後大きく増加することは期待できないと考えられている<sup>20)</sup>。

そうした食料生産の見込みに対して、食料の損耗量については、WHOの1988年の情報によると、世界の食料生産の約1/4～1/2が収穫後に細菌やカビによる腐敗あるいは虫害で損失しているとされている<sup>21)</sup>。

食品照射は、こうした食品の損耗の全ての問題の解決にはならないが、腐敗や虫害による食料損耗の低減に有効な選択肢であると言われている<sup>16)</sup>。

## c. 環境等への影響の視点

### i) 化学薬剤を用いる技術の使用の制限

最近の動きとして、化学薬剤の使用が薬剤自身の毒性や環境への影響の視点から制限される方向にあり、従来殺菌や殺虫の技術として利用されているガス燻蒸や化学処理が制限されつつある。

例えば、長年にわたって殺菌のために用いられてきたエチレンオキシドは、それ自身に毒性があり、食品中に残留して生体にとりこまれるとがんを誘発する可能性があることから使用が制限されつつあり、わが国及びEUでは認められていない。また、従来病虫害駆除のための燻蒸剤として使用されている臭化メチルは、1992年にオゾン層破壊物質に指定され、国連環境計画（UNEP）において、検疫など一部の使用を除き、先進国においては2005年まで、発展途上国においては2015年までに使用を禁止することとされている<sup>22)</sup>。さらに、臭化メチルの代替薬剤として挙げられているホスフィン類には、その使用により薬剤耐性を有する害虫が発生する可能性の指摘があり、長期間にわたりこれが利用可能かどうかという点について懸念がある。

### ii) 代替技術としての食品照射の世界各国での利用拡大

こうした動きは、諸外国において、食品照射の利用を促し、実際、香辛料の場合、これまで気流式過熱蒸気殺菌、エチレンオキシド殺菌あるいは

は放射線照射が一般的な微生物制御方法として利用されてきたが、エチレンオキシドの使用制限に伴い、近年、放射線照射される量が増えてきている。また、米国では、病害虫駆除のために、国産生鮮青果物に放射線を照射することは1986年に許可されていたが、臭化メチルの使用の制限を受けて、2002年には輸入生鮮青果物も放射線照射ができるようになった<sup>13)</sup>。

### (3) 国内外の照射食品の許可・実用化の状況

#### a. 全体概要

食を取り巻く社会状況の変化に伴い、食品照射の有用性が認められ、照射食品の許可・実用化が進捗してきており、2003年4月現在で、食品照射は52ヵ国及び台湾で230品目が許可され、また、その実用化は、他の技術との比較衡量を経て、優位性がある場合に進められることになるが、2003年4月現在、31ヵ国及び台湾で40品目が実用化されている<sup>23)</sup>【参考2-6】。

照射食品の流通量は、2004年で約30万トンと見積もっているデータ<sup>4)</sup>があるが、統計として必ずしも明確なデータがあるわけではない【参考2-7】。照射食品の内訳としては香辛料が多いと見積もられており、1991年で約3万トン、2000年には約9万トンに増えてきている【参考2-8】。しかし、これら流通量は、世界における食品全体の流通量のごく一部を占めるに過ぎず、全ての食品に対して食品照射が進められているわけではなく、他の技術との比較衡量を経て、優位性がある場合に実用化が進められているといえる。

#### b. 米国

1980年代前半に健全性評価、法的許可の体制が整備された後、食中毒菌などに対する対応策の一つとして、食品照射の効果について詳しく検討され、1985年、寄生虫抑制を目的とした豚肉（生）への放射線照射が許可された。1986年には、成熟抑制を目的とした青果物への放射線照射、殺虫を目的とした全食品への放射線照射、殺菌を目的とした香辛料・調味料、1990年以降、病原菌制御を目的とした食鳥肉、牛肉などの赤身肉、卵（殻付き）への放射線照射などが許可されてきた<sup>4, 24)</sup>。【参考2-9】

また、照射食品流通量について、米国内事業者からの最新情報では、香辛料消費約50万トンの1/3がエチレンオキシド殺菌、蒸気殺菌あるいは放射線照射のいずれかで殺菌処理されており、食品照射されたものが

約7万8千トンあるといわれている。

c. E U（欧州連合）【参考2－10】

E Uの食品科学委員会は、1987年および2003年に照射食品の健全性評価結果を報告書にまとめており、10 k G y未満の照射食品については、適正な毒性学的データ、微生物学的データ、栄養学的データ及びその他技術的データが示されている特定の食品の種類と照射線量についてのみ是認するとともに、この時点では10 k G y以上の毒性学的データは非常に限られているので、10 k G yの上限を撤廃できないとする結論を出している<sup>25)</sup>。

照射食品の扱いについての統一規制の制定を進め、1999年、食品照射に関する一般原則、許可条件、技術的事項（線源、表示義務等）についてのE U指令を制定するとともに食品照射許可品目についてのE U指令を制定した。食品照射許可品目についてのE U指令において、香辛料類を域内の統一許可品目とした<sup>4)</sup>。すなわち、香辛料類については、E Uにおいて統一的に許可されるものとされ、その他の品目については、現在、各国で個別の許可によって認められることとなっており、その取扱いは国によって異なる状況となっている。

照射食品流通量は、2002年で、オランダ7千トン（うち香辛料類4千トン）、ベルギー7千トン（うちカエル足3千トン）、フランス5千トン（うち鳥肉類3千トン、香辛料類1千トン）といった情報があり、それらを合計すると約2万トンとなる<sup>4,26)</sup>。

d. オーストラリア／ニュージーランド<sup>4)</sup> 【参考2－11】

オーストラリア及びニュージーランドの両国間で食品に係る基準（オーストラリア・ニュージーランド食品基準機関：F S A N Z）が統一されており、食品照射については、2000年に今後許可していく方針が決定され、2001年に香辛料類、2003年に熱帯果実が許可されている。

e. アジア諸国

アジア地域の2004年の照射食品の流通量は、I A E Aによると約17万トンであるといわれている。そのうちもっとも流通量が多いのは中国であり、ニンニク、乾燥野菜、調味料等が照射され、その量は約14万トンといわれている<sup>4)</sup>。その他、ベトナムなど東南アジアの多くの国においても食品照射が行われている。

f. 日本

1972年にばれいしよの発芽防止のための放射線照射が許可され、1974年、実用化された。現在、年間約8千トンのばれいしよが放射線照射され、国内のばれいしよ供給の端境期である3月下旬～4月に出荷されている。

その後、消費者団体の反対運動もあり、事業者などから照射食品の品目拡大の要望は特段なく、しばらく新たな許可に係る動きはなかったが、2000年に、全日本スパイス協会から香辛料について微生物汚染の低減化を目的とする放射線照射の許可の要請が出された。現時点においては、これ以外の品目について、具体的に要請されているものはない。

(4) 食品照射に対する社会的関心

世界各国で、食品照射に関しては、肯定的な見方ばかりではなく、慎重な見方や反対する見方が存在している。例えば、オーストラリア／ニュージーランドが食品照射を許可するに際して行ったパブリックコメントにおいても様々な懸念の表明が見受けられるが、これらに対して、オーストラリア・ニュージーランド食品基準機関（F S A N Z）はていねいに科学評価に基づく見解を示している。

わが国においても、1972年にばれいしよの発芽防止のための放射線照射が許可された以降において、慎重な見方や反対する見方は存在しており、消費者団体による反対運動もあった。わが国においてはその後、コールドチェーンの進展や発芽防止に化学薬剤（毒性の問題により使用できない品目もある）が使用されたことなどもあり、食品照射が他の技術と比較して、著しく優位性があるとは言えない状況が続き、国内的にあまり議論が行われずに来たといえる。

海外においては、1980年代から徐々に食品照射の実用化が進み、衛生確保における放射線照射の有用性に対する認識の高まりや化学薬剤の使用を制限せざるを得ない状況から、2000年前後より更に食品照射への取組が進んだ。わが国においても2000年に全日本スパイス協会から香辛料への放射線照射の許可の要望が国に出され、それに対し消費者団体が連名で全日本スパイス協会に、必要性や安全性が疑問として反対を申入れるといった動きがあったが、その後十分に議論がなされることはなかった。

食品照射に限らず他の工業等の利用分野においてさえ、放射線全般に対する消費者のイメージを懸念する関係者が放射線利用についてあまり積極的に言及しない風潮があるのではとの見方もあり、一部公的機関の研究者を除いて、食品照射の有用性について積極的に発言されることはなく、食

品照射に対する国内的関心は必ずしも高くない。

民間組織が行ったアンケート調査の結果によれば、かなりの割合で食品照射についてそもそも知識を持っていないこと、放射線について知らないことが怖いと思う理由につながること、放射線に関することについては恐怖感に関わりなくもっと知りたいと思っていること、などが報告されている<sup>27)</sup>【参考 2－12, 13】。

また、2006年5月10日都内で当専門部会が行った「食品照射についてご意見を聴く会」でも、情報の提供を求める声が多く出された。さらに、このご意見を聴く会では照射食品の表示について、消費者が選択できるようにするべきといったご意見や、今後どのように対処するのかという疑問の声が出たほか、放射線に関する教育の充実を求める意見なども出された。

これらのことから、現状においては、食品照射や照射食品に関する国民との相互理解を深めていくことも今後の大きな課題であり、そのためには関係者による国民への情報提供や理解活動の充実とともに、国民がそのような機会を積極的に活用できるような生涯学習の仕組みの工夫も関係者に求められているといえる。

## 2－2. わが国の照射食品に関する法制度等

### (1) 照射食品の許可及び表示

現在、照射食品について、わが国では、食品衛生法第11条に基づき定められる「食品の製造・加工基準、保存基準」において、原則禁止とした上で、ばれいしよに対する放射線照射のみ許可している【参考 2－14～17】。新たな食品への放射線照射が認められるためには、食品安全行政の観点から当該食品の安全性等について、食品衛生法及び食品安全基本法に基づく検討・評価が行われ、上記基準において許可される必要がある。具体的には、検討・評価の対象となる個別の食品について、リスク管理機関である厚生労働省で食品衛生法に基づき検討が行われ、厚生労働大臣の許可を受ける必要があり、その際に厚生労働大臣は、食品安全基本法に基づき、リスク評価機関である食品安全委員会から意見を聴かなければいけないこととなっている。ここで、食品安全委員会は、当該食品に関するリスク評価（食品健康影響評価）を行い、評価結果について意見を通知することとなっている。【参考 2－18】

なお、現在、上記基準で許可されている照射食品を流通する際には、再照射を防止する観点から、食品衛生法に基づき、放射線照射されている旨を表示することが義務付けられている。また、消費者の商品選択に資する

ために飲食料品の品質に関する表示を義務付けている J A S 法（農林物資の規格化及び品質表示の適正化に関する法律）においても、放射線照射されている旨を表示することが義務付けられている。

## （２）照射食品等への監視・指導

わが国では、食品衛生法に基づき、照射食品や食品照射を行う施設に対する監視・指導が以下の通り行われている【参考 2－19】。

現在、輸入食品の監視に当たっては、食品衛生法に違反する食品の流入を防ぐため、輸入時には厚生労働省が毎年度定める「輸入食品等監視指導計画」に基づき国の食品衛生監視員によって、国内流通時には都道府県等が毎年度定める監視指導計画に基づき都道府県等の食品衛生監視員によって監視・指導が行われている。その際、食品衛生法で認められていない照射食品への対応として、輸入された個々の食品について輸入時に製造方法を確認しているほか、過去の違反事例や海外情報等により食品に対し放射線照射を行っている可能性がある国からの食品であって殺菌処理を行っている場合には、輸入者を通じて製造者からの文書を入手し、食品に対して放射線照射が行われているかどうかの確認がなされている。放射線の照射が確認され、食品衛生法違反であることが判明した場合には、規制当局により、廃棄・積戻し等の措置が行われることとなる。

また、わが国において、照射食品に関し、食品衛生法に基づく行政処分をするか否かを判断するために用いる検知法として公的に認められている技術（以下、「公定検知法」という。）は現在のところないが、厚生労働科学研究費補助金による、公定検知法の確立を目指した検知技術に関する研究が行われている。

国内における食品に放射線照射する施設については、都道府県等が毎年度策定する「食品衛生監視指導計画」に基づき、放射線照射施設の営業許可や監視・指導が実施されているが、現在は、対象施設は 1 か所である。



### 第3章 食品照射の有用性

新しい技術が採用されるのは、一般的に、他の技術に対する優位性、固有の特長がある場合であり、その際には技術の有用性（必要性）が重要になる。食品照射の有用性について内外の状況等からの現状認識をとりまとめた【参考3－1～7】。

#### 3－1．一般的事項

食品照射は、食品に放射線を照射して、病原性細菌、腐敗菌、害虫、作物の生細胞において、放射線により生成するフリーラジカルがDNAに対して作用することにより細胞死が起こることなどを利用して、食品の殺菌、殺虫、発芽防止などを行うものである。放射線の照射量で作用の程度が変わるため、それぞれの目的に応じた量の放射線を照射することになる。フリーラジカルは、一般の加熱処理の際にも食品の中で生成され、放射線照射の際よりも生成量が多いと言われている。放射線照射と加熱調理のいずれにおいても、生成されるフリーラジカルの性質は基本的に同じで区別できず、短期間で消滅するとされている。

表1．食品照射の応用区分、対象品目、線量<sup>13)</sup>

応用区分	対象品目	線量(k G y)
発芽防止	ばれいしよ、タマネギ、ニンニク、甘藷など	0.03～ 0.15
殺虫及び不妊化、 寄生虫殺滅	穀類、豆類、果実、カカオ豆、豚肉など	0.1～ 1.0
成熟遅延	生鮮果実、野菜など	0.5～ 1.0
品質改善	乾燥野菜、コーヒー豆など	1.0～10.0
病原菌の殺菌（孢子非 形成型病原性細菌）	冷凍エビ、冷凍カエル脚、食鳥肉、畜肉、飼 料原料など	1.0～ 7.0
腐敗菌の殺菌（貯蔵性 向上）	果実、水産加工品、畜産加工品、魚など	1.0～ 7.0
殺菌（衛生化）	香辛料、乾燥野菜、アラビアガムなど	3.0～10.0
滅菌（完全な殺菌）	宇宙食、病院食	20.0～50.0

#### 3－2．食品照射の便益とリスク

##### （1）食品衛生面の便益

食品は、食品衛生の観点から、必要に応じて、食品の性状に応じた方法で殺菌や殺虫が行われることになる。その方法の一つとして、食品照射が世界で広く利用されていることは、以下のような特長による。

a. 優れた殺菌能力

サルモネラ菌、カンピロバクター、腸管出血性大腸菌O157など、食品衛生上大きな問題となる病原性微生物の大部分を比較的低線量で滅菌することができる。また、放射線（ガンマ線）は透過力が優れており、食品の形状を問わず、食品内部までほぼ均一な処理が可能である。

b. 温度上昇を伴わず、品質への影響が少ない

食品照射は、食品の温度をほとんど上昇させることのない、優れた非加熱処理技術であるため、加熱による変質や香気成分の揮散を起こさずに殺菌することが可能である。従って、生鮮食品、冷蔵・冷凍食品や香辛料、乾燥野菜など、加熱することに制約のある食品に対しても適用できる。上記aの特長との組み合わせにより、例としては、肉類における腸管出血性大腸菌O157の殺菌や香辛料における各種微生物の殺菌を行うことができる。また、化学薬剤処理の問題点である残留といった問題もない。

c. 作業性の良さ

殺菌、殺虫といった作業を行う際、食品の形状を問わない、連続で大量処理が可能、包装後に処理が可能、消費エネルギーが小さいことは、作業を効率的に進めることに寄与する。このことは同時に作業の確実性あるいは、経済性の向上にもつながる。

以上、食品照射の優れた殺菌能力や、温度の上昇が少なく、品質への影響が少ないという特長は、衛生的で高品質な食品を供給することにつながる。そこで、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。また、作業性の良さは、直接的には事業者の便益であるが、その結果として、市場に安全な食品が安定的に供給されることは、消費者の便益につながるものである。

(2) 食品損耗の防止面の便益

食品は、損耗を防止し安定供給を行うために、必要に応じて、発芽防止、成熟遅延、殺菌（腐敗菌の殺菌）、殺虫などの処理が行われている。その方

法の一つとして、温度の上昇が少なく、品質への影響が少ないことや、化学薬剤の残留がないこと、作業性が良いことという特長から、食品照射が世界各国で利用されている。

わが国でも、現在、年間約 8 千トンのばれいしよが発芽防止の目的で放射線照射され、端境期に出荷されている。

また、将来の世界の人口増加と食料生産量の関係の厳しい見通しに対して、食品照射は、食品の損耗の全ての問題の解決にはならないが、腐敗や虫害による食料損耗の低減に有効な選択肢であると言われている。

### (3) 食品照射のリスク

食品に何らかの処理をする場合、便益の一方でリスクも存在する。食品照射の主要なリスクとして、照射食品の健全性を考慮すべきであり、第 4 章に整理した。

### (4) 技術の選択肢を増やす必要性

#### a. 技術にはそれぞれ便益とリスクがあり、状況に応じて選択される

食品衛生の確保や食料損耗の防止のための技術としては、加熱処理の他に、非加熱処理方法として、ガス燻蒸・化学処理、雰囲気制御、冷凍・冷蔵、食品照射など様々な技術が実用化されている。食品の性状は様々であり、それぞれの食品において、その性状を踏まえつつ、それぞれの技術の優位性や固有の特長をもとに、採用される技術が選択されることになる。

食品照射の便益などについてこれまで述べてきたところであるが、それぞれの技術には、それぞれ固有の便益とリスクがある。加熱処理は、広く適用されているが、加熱が制約されるものへの使用は制限される。化学処理は、コストが安い反面、化学薬剤の使用が環境への影響や薬剤自身の毒性から制限される方向にあり、将来、既存の方法が制約を受ける可能性もある<sup>28)</sup>。

国際機関には、食品照射と他の方式について、適用できる範囲や規制上の課題などの比較評価を行った報告があり、また、オーストラリア／ニュージーランドでは、放射線照射を許可する場合と許可しない場合の便益とリスクの評価を行ったことがある。前者は定性的な比較を行ったものであるが、後者では、消費者、産業界、政府にとって利益があるとして、香辛料等への放射線照射を許可するに至っている<sup>28, 29)</sup>【参考 3－8】。

#### b. 技術の選択肢を増やすこと。その一つとしての食品照射

わが国においては、既存の技術により、食品衛生が確保されているが、

食中毒は依然発生しており、食生活の多様化に対応できるより一層の食品衛生の確保が求められる一方で、将来、化学処理等既存の方法が制約を受ける可能性もあることも踏まえると、健全性についての慎重な議論を経て、新しい技術が許可され、必要なときに使える技術の選択肢を増やすことは、今後とも食品の衛生を確保していく観点から有益であると考えられる。さらには、世界的に食糧需給が逼迫化する恐れのある中で、食料の損耗を防止する技術の選択肢を増やすことは望ましいことである。

食品照射は、既に国内外で事業として成立している実績があり、コストやエネルギー消費といった面も含めて他の技術と比較衡量すると、わが国で対象となる食品を広げたときに利用が拡大しうることについて一定の見通しがあるので、現実には技術の選択肢となりうると考えられる。

なお、食品照射を採用する場合にも、他の技術を採用する場合と同様に、食品衛生の一般原則に則った管理は、当然行われるべきである。食品照射の場合、コーデックス規格<sup>10)</sup>において、照射される食品及びその包装材について、それら規範に則った管理を行うことが技術的条件として規定されている。

### 3-3. 食品の貿易に貢献するものとして

照射食品は国際市場に流通しており、わが国において、新たな食品への放射線照射を認めることは、食品貿易の拡大に貢献し、ひいては、われわれの食生活の多様化、高度化に貢献するものと考えられる。

なお、放射線照射は、殺虫・検疫処理の有望な手段として認識されており、2003年に、植物検疫措置に関する国際基準の中に、「放射線照射を検疫処理に用いるための指針」が定められ、国際植物防疫条約において認知された検疫措置として、放射線照射が挙げられていることにも留意するべきである【参考3-9, 10】。

### 3-4. 香辛料への放射線照射の有用性

原子力政策大綱において、「多くの国で食品照射の実績がある食品については、関係者が科学的データ等により科学的合理性を評価し、それに基づく措置が講じられることが重要である。」とされているが、現在、世界で最も多くの国で食品照射の実績がある食品は香辛料であり、その有用性等についての現状認識をとりまとめた。

#### (1) 香辛料の衛生確保の必要性

香辛料は、主として熱帯、亜熱帯、温帯地方で産出する植物の種子、果

実等から得られる物質であり、飲食物に風味を賦与したり、着色したりするとともに、食欲増進、消化吸收を助けるといった働きがあるものの総称とされている<sup>30)</sup>。

産出された香辛料については、その産地の状況から微生物による汚染が著しく、1 g 当たり 10 万個から 100 万個以上の微生物で汚染されているものもある。これらの微生物の多くは有芽胞菌であり、加熱しても死滅しにくいと言われている<sup>20)</sup>【参考 3-11, 12】。

食中毒防止の観点から、そうした有芽胞菌の殺菌が求められ、わが国では、食品衛生法において、「食肉製品および魚肉練り製品を製造する場合、使用する香辛料は、その 1 g あたりの芽胞数を 1, 000 個以下にすること」を義務付けており、海外でも、国際市場で流通する香辛料原料に対して、微生物汚染や害虫類の混入などを厳しく規制している。

そうした微生物汚染に対して、産地での微生物制御は極めて難しいため、輸入国で気流式過熱蒸気殺菌、エチレンオキサイド殺菌、放射線照射によって殺菌が行われてきた。しかし、近年、多くの国で、エチレンオキサイドによる殺菌は毒性の懸念から禁止されている。現在、わが国においては、香辛料の殺菌は、気流式過熱蒸気殺菌だけが唯一の方法である<sup>30)</sup>【参考 3-13】。

## (2) 香辛料の衛生確保における放射線照射の有用性

### a. 香辛料の殺菌における制約と世界各国の対応

香辛料は、そもそも熱に対して高い感受性を有するものであり、気流式過熱蒸気殺菌により十分な殺菌効果を得ようとする、香辛料の種類によっては、色調、香味等の変化が生じ、天然価値が減じることがある。特に、加工用の香辛料には、食品の衛生保持の観点からの菌数の制限があり、その一方で香味等への影響を抑えることも求められ、気流式過熱蒸気殺菌ではそれら全ての要請に対応するのに困難な状況に陥ることがある。

そこで、世界各国で、香辛料に対する非加熱処理が模索され、研究開発の結果、要求される殺菌レベルを満たすことが可能な非加熱処理技術として放射線照射技術が確立し、世界で幅広く用いられる状況となっている。

### b. わが国において存在する香辛料の殺菌における制約

わが国においては、香辛料の年間輸入量は 5～6 万トンと推定されるが、気流式過熱蒸気殺菌を唯一の選択肢として、事業者の努力によって衛生的な香辛料が供給され、香辛料が食中毒の原因となった事例は報告されていない。

しかしながら、特に、加工用原料としての香辛料は、気流式過熱蒸気殺菌によって、求められる殺菌レベルは達成されているが、香味等への影響が小さくなく、加工用原料として思うように香辛料を使えない、あるいは、本来の性質をある程度失って加工用原料として出荷している、という現状がある。

食品照射は、食品の衛生の確保や損耗防止の一つの技術であるが、香辛料においては、既存の方法において存在する制約を取り払い、衛生的かつ高品質なものを市場に供給することのできる方法として、世界で幅広くその有用性が認められ実用化されている状況にある。わが国においても、その有用性を享受することを排除すべき理由はないので、その実用化について検討すべきものと考えられる。

## 第4章 照射食品の健全性の見通し

食品照射が有用な技術であるとしても、放射線照射された食品が健全でなければ、食品照射という技術を食品取扱い技術の選択肢の一つとすることはできない。ここでいう照射食品の健全性とは、照射食品の毒性学的安全性、微生物学的安全性、および栄養学的適格性の3つの観点を合わせたものである<sup>1-3)</sup>【参考4-1】。

照射食品の健全性に関する知見については、わが国や各国、さらには国際的な機関が大規模な調査・研究の実施により蓄積され、複数の学術的な報告書が公開されている。それらの知見を基に照射食品の健全性についての見通しを以下のようにとりまとめた。

### 4-1. 食品照射を行う前提条件<sup>4, 10, 13)</sup>

生鮮食料品に過剰な線量を照射すると、その食品本来の特性や商品価値を失う可能性があり、また、照射前後の管理が不十分な場合、生き残った微生物などが増殖する危険性がある。

コーデックス規格では、一般条件として、以下を必要としている。

- i) 食品照射の正当性は、技術的な必要性のある場合や消費者の健康上の利益となる場合、及びその両方の場合に認められること
- ii) 食品照射を適正衛生規範（GHP：Good Hygienic Practice）と適正製造規範（GMP）、または適正農業規範（GAP：Good Agricultural Practice）の代替として用いてはならないこと
- iii) 線量が技術的及び衛生上の目的に見合っていること
- iv) 適正照射基準（GIP：Good Irradiation Practice）に適合していること
- v) 食品及び容器包装が適切な品質、かつ許容できる衛生状態であり、放射線照射処理に適していること
- vi) 適正製造規範（GMP）に則って放射線照射前後に対象となる食品及び容器包装が適正に取扱われていること

### 4-2. 安全性（毒性学的安全性、微生物学的安全性）の見通し

#### （1）毒性学的安全性

毒性学的安全性とは、照射食品の急性毒性、慢性毒性、発がん性、変異原性、遺伝毒性、催奇形性等に関する安全性である。これに関しては、非常に多くの動物実験が過去数十年にわたって実施されてきた。

#### a. わが国の原子力特定総合研究

わが国の原子力特定総合研究では、同研究が終了する 1988 年までに、ばれいしよ（照射される放射線の種類：ガンマ線、その目的：発芽防止、以下同様に示す）、タマネギ（ガンマ線、発芽防止）、米（ガンマ線、殺虫）、小麦（ガンマ線、殺虫）、ウィンナソーセージ（ガンマ線、殺菌）、水産ねり製品（ガンマ線、殺菌）、みかん（電子線、表面殺菌）の 7 品目に対し、慢性毒性、繁殖性、催奇形性、変異原性、遺伝毒性など多くの毒性学因子に関する何百もの研究が実施され、その結果が評価・検討された<sup>31-34)</sup>。その結果は、

- i) 照射による毒性物質の生成を調べる化学的検査において、照射による影響と見られる成分変化は認められない
  - ii) 照射した食品の慢性毒性、繁殖性、催奇形性などに及ぼす影響を調べた動物実験において、影響が見られない
  - iii) 照射した食品の染色体や生殖細胞に対する遺伝的な影響を調べる変異原性試験や遺伝毒性試験において影響が見られない
- というものであった。

#### b. WHO の評価

WHO においては、各加盟国における食品照射に対する消費者からの不安・批判があったため、過去に行われた国際的な検討あるいは各国の専門家委員会により検討された膨大な量の研究と共に 1980 年以降に実施された科学的研究も検討・評価し、特にその当時議論の的となった研究や指摘について注意深く評価して、1994 年、報告書「照射食品の安全性と栄養適性」<sup>1)</sup>において、

- i) 入手可能な科学的な文献の再検討の結果、食品照射は十分に検証された食品処理技術であることを示している。安全性についての研究結果は、現在までのところ有害な影響を示していない。食品照射は、貯蔵期間を延長し、微生物などの有害生物を不活性化することで、より安全で豊富な食品の供給を保証することができる。
- ii) なお、慢性毒性、生殖毒性、催奇形性など多くの毒性学的因子を評価・検討した結果、対象とする因子によっては、評価・検討の対象となる研究報告が少ないものもあるが、照射食品の摂取による毒性学的な影響はない、という研究結果で一致している。

ということを確認している。

さらに、世界各国で研究開発が進められ、1997 年、WHO の高線量照射に関する専門家委員会は 10 kGy 以上の線量を照射した食品に関し



でも健全性評価を実施し、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、適正な栄養を有し安全に摂取できる旨の結論を下した<sup>9)</sup>。

#### c. 香辛料について

香辛料への放射線照射に関しては、放射線による分解生成物について、香辛料に放射線を80 kGy照射するとアルデヒド・有機酸類などの酸化物が微量生成されるが、10 kGyの場合ほとんど検出されないとされている<sup>35, 36)</sup>。毒性試験による評価については、香辛料にはもともと変異原性物質や刺激性物質が含まれているため長期毒性試験を実施することが難しい。ハンガリーでは、催奇形性試験、遺伝毒性試験について、代表的な香辛料の混合物（パプリカ55%、黒コショウ14%、コリアンダー9%、オールスパイス9%、マジヨラム7%、クミン4%、ナツメグ2%）にコバルト60からのガンマ線を15 kGy照射したものを被験試料として実験が行われた。その結果、照射香辛料でラットやマウスを飼育試験した場合、その生育には照射、非照射による差は認められず、また、照射によるそれらの催奇形性や遺伝毒性の発現は認められなかった<sup>37, 38)</sup>。さらに、照射香辛料による変異原性試験でも、照射による変異原性は認められていない<sup>39)</sup>。また、わが国で実施した4種類のスパイス（黒コショウ、赤唐辛子、ナツメグ、パプリカ）についてのエームス試験の結果<sup>40)</sup>においても変異原性は認められていない。

### (2) 微生物学的安全性

微生物学的安全性とは、照射食品に生残する微生物による影響や照射による微生物の突然変異に関する安全性である。放射線は、その物理化学的作用で微生物を殺滅または不活性化させる化学変化を誘発する。その線量レベルは、存在する微生物を完全に殺滅するには十分ではないが、微生物数やその種類を著しく減少させるには十分な線量に設定される。一方、放射線照射が、病原性や毒性または放射線などに対して抵抗性が増大した突然変異株の誘発を増加させるのではないかという懸念が指摘されているが、そのような誘発が生じているとの科学的な証拠は得られていない<sup>1)</sup>。

食品の中には、一般に、アフラトキシン等のカビ毒（マイコトキシン）を産生する可能性がある糸状菌類やボツリヌス菌で汚染されているものがある。放射線照射処理により、アフラトキシンの産生能が増加すると指摘された（Jemmali & Guilbot (1969), Applegate & Chipley (1973), Priyadarshini & Tulpule (1979)) ことに対し、他の研究者は、放射

線照射によるアフラトキシンの産生能は増加せずむしろ減少することを見出した。WHOは、科学的知見に基づく総合的な評価として、GMPに基づく適正な条件で貯蔵した照射食品のアフラトキシンレベルの増加という危険性は存在しないと結論した<sup>1)</sup>。また、ボツリヌス菌についても同様の試験が行われているが、毒素産生能への影響は認められなかった<sup>1, 41)</sup>。

以上により、安全性についての研究結果が現在までのところ有害な影響を示しておらず、安全性について一定の見通しは得られているものと考えられる。

#### 4－3．栄養学的適格性の見通し

食品照射は、主要栄養素及び微量栄養素の両方に変化を起し得るがその変化量は少ない<sup>1)</sup>。10 kGyまでの線量では、それらの主要栄養素の顕著な破壊は観察されていない。50 kGy程度の高い線量の場合、化学分析を行うと多種類の栄養素の含有量が減少することが検出されるが、その変化量は小さく、また、生成物は放射線照射に特有なものではないことがわかっている<sup>9)</sup>。また、タンパク質に対する放射線照射の影響は加熱と同様であり、その変化量は加熱と比較して小さい場合が多いとされるとともに、肉や魚をはじめとして多くの食品で滅菌線量を照射しても、必須アミノ酸への顕著な影響は観察されなかった。ビタミン類には、ビタミンB<sub>1</sub>などのように放射線照射によって破壊され易いものがある。しかし、放射線の効果はビタミンの種類によって異なるとともに、食品の種類によっても異なるため、栄養素摂取の観点からは、全体の食事に対するその食品の寄与率に左右されることを考慮すべきである。香辛料について考えると、香辛料の1日当たりの摂取量は食品全体から見て非常に小さいと推定され、香辛料本来の使用目的からしても栄養学的評価は無視できるレベルとされている。一方、ミネラルは放射線感受性が低いので放射線照射による損失は無視できる。

以上より、食品照射による栄養学的適格性についても見通しが得られていると言える。

#### 4－4．個別に指摘されてきた事項

以上に述べてきたことのほか、照射食品の健全性に係る事項として、今まで指摘されてきたことについて、これまでの知見を整理すると以下の通りである。

##### (1) 誘導放射能の生成<sup>1)</sup>

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<sup>28)</sup>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。

## (2) 放射線の照射により生じる化学反応<sup>1)</sup>

食品照射は加熱処理と同様に、物理的な方法である。すなわち、電離放射線のエネルギーが食品に吸収されると、励起分子が生成され、この分子が解裂またはイオン化を引き起こす。さらに化学結合が切断され、電荷を有するフリーラジカルが生成される。フリーラジカルは、非常に不安定で化学反応を起こし易く、ほとんど瞬間的にその反応が起きて、食品中に分解生成物ができる。分解生成物は、そのほとんどが加熱でも生成することがよく知られている。放射線照射特有の化合物としては、脂質に放射線照射した場合の2-アルキルシクロブタノン類の生成が報告されている<sup>42)</sup>。これについての評価や見解については後述する。

## (3) 照射タマネギの慢性毒性試験と世代試験<sup>43)</sup>

原子力特定研究で実施されたタマネギの慢性試験では、照射タマネギを摂取することによって生体が障害を受けるかどうかを評価するため、マウス及びラットを用いた慢性毒性試験が行われた。タマネギ無添加飼料、非照射タマネギ添加飼料及び0.07、0.15、0.3 kGy照射タマネギ添加飼料（タマネギは乾燥後添加、添加量は、マウスでは25%、ラットでは2%及び25%）を摂取させ、一般症状、体重等の観察を行うとともに、血液学的検査、病理組織学的検査等を行った。マウスを用いた試験においては、タマネギの添加によると考えられる赤血球数の減少、脾臓の腫大（はれて大きくなること）などが見られた（タマネギにはもともと溶血性があるため）が、照射によると考えられる影響はみられなかった。ラットを用いた検査には異常が認められなかった。

また、照射タマネギを摂取することによって次世代に影響を与えるかどうかを評価するため、マウスを用いて3世代目まで飼育し、繁殖生理に対する影響及び催奇形性の有無が調べられた。タマネギ無添加飼料、非照射タマネギ添加飼料及び0.15、0.3 kGy照射タマネギ添加飼料（タマネギは乾燥後添加。添加量は2%及び4%）を摂取させて試験を行ったが、妊娠率、平均同腹仔数、着床数等繁殖生理に対する影響は認められな

かった。また、催奇形性については、各群共通に骨の変異の一種である頸肋が認められたが、照射の影響によると考えられる異常は認められなかった。

以上の結果に基づいて、放射線照射したタマネギの慢性毒性試験や多世代試験では、問題がないことが報告されている。

#### (4) 栄養失調児の倍数性細胞の出現率<sup>44)</sup>

インドの国立栄養研究所から、栄養失調児に0.75 kGy照射した小麦を与えたところ血中の倍数性細胞（ポリプロイド；染色体数が倍化する異常）の出現率が高まったとの報告が公表された。(Bhaskaram & Sadasivan (1975))

このため、インド保健省は、専門委員会を設置し詳細な検討を行った。この検討では、議論の対象となった試験は0.75 kGy照射した小麦が種々の動物の骨髄やリンパ細胞に染色体異常を生じたり、栄養失調の子供に倍数細胞を出現させるという証拠にはならないとされ、さらに倍数性細胞の増加があるとしたすべての試験は、技術的な欠陥があるとされた。これらの試験結果を注意深く解析すると、照射小麦が倍数性細胞を増加させることはないという結果を出した試験に比べて、有意な差がないものであることが明らかになったと報告されている。

#### (5) シクロブタノン類の生成<sup>42, 45)</sup>

##### a. シクロブタノン類の毒性

放射線特有の生成物として、中性脂肪（トリグリセリド）の放射線分解で2-アルキルシクロブタノン類が生成するが、このうち、2-ドデシルシクロブタノンはDNAに障害を起こしたというDelincéeらの報告（1998, 1999）がある。しかしながら、WHOの見解（2003）では、長期間の動物実験とエームス試験が陰性という結果を含む、現時点での科学的証拠に基づくと、2-ドデシルシクロブタノンなどの2-アルキルシクロブタノン類は、消費者の健康に危険をもたらすようには見えないとした<sup>46)</sup>。WHOはこれまで、FAO/IAEA/WHOの専門家グループや各国各地域の専門家によって導き出された「照射食品は、安全で、栄養学的にも適合性がある」という結論に疑問を挟む様ないかなる論拠も持っていないとしている。なお、WHOはこの見解を結ぶにあたり、この化合物の毒性／発がん性について残された不確定要素の解明のための研究を実施することを引き続き奨励していくこととしている。また、米国Sommersら（2003, 2004）は、2-ドデシルシクロブタノンによる変異原

性はないとする研究結果を報告している<sup>47, 48)</sup>。

#### b. シクロブタノン類の発がん促進作用

2-アルキルシクロブタノン類の「発がん促進作用」については、Raulら（2002）<sup>49)</sup>が行った報告では、飲料水をラットに投与し、発がん物質であるアゾキシメタンを投与したところ、3ヶ月後の観察ではアゾキシメタンのコントロールに比べ異常はなかったが、6ヶ月後に2-アルキルシクロブタノン投与群で腫瘍数および腫瘍サイズの増大が認められ、発がん促進作用活性のあることが確認されたとしている。しかしながら、同報告について、米国の食品医薬品庁は、ラットの2-アルキルシクロブタノン類への暴露量が、人の暴露量とされる値よりも3けた多いことなどから、2-アルキルシクロブタノン類の摂取ががんを促進すると信じるに足る理由を示す実質的な情報や信頼できる情報がないとしている<sup>50)</sup>。また、EUの食品科学委員会は、この実験結果を基に脂質を含む照射食品中の2-アルキルシクロブタノン類を人が摂取することについて健康リスクを評価することは適当でないと結論している<sup>51)</sup>。

#### （6）放射線照射による異臭の発生

食品照射の場合、研究や実績の積み重ねにより、コーデックス規格や各国の規制において適正な照射線量が定められている。その定められた線量を超えて照射すると、食品（肉類や食鳥肉など）によってはにおい（照射臭）が発生したり、脂質の酸化により食味が低下することがある<sup>14, 34)</sup>。このにおいは主に肉蛋白構成成分である含硫アミノ酸あるいは脂質に由来するものと考えられている。このようなことから、適正な照射を行うことは商品価値を維持する観点からも重要であるが、健全性の点から見て問題はないと言われている。

#### （7）食味、加工性への影響

食品に放射線を照射すると、米については、供試した品種によっては、食味に変化が現れるものがあり、また、小麦については、製めん適性の低下が認められた報告があった<sup>2, 34)</sup>。これらは、放射線照射により生成したフリーラジカルによって、高分子であるデンプンが低分子化することなどに由来するものと考えられている。しかし、これは商品価値を低下させることになるので、通常、事業者において処理方法として選択されることはないと考えられるとともに、健全性の点から見て問題はないと言われている。

#### （8）ベビーフード事件

1978年、ベビーフードの原料に用いる粉末野菜に、食品衛生法に基づく許可がないにも関わらず、放射線殺菌を実施して販売していたという問題が発生した。本件については、法律に基づいた安全性の確認が行われていない食品を販売したものであり、食品の安全に関する企業コンプライアンスの欠如として、厳しく律せられるべき問題である。照射食品の安全性とは別次元の問題であるが、このような事案が過去にあったことも念頭におき、関係者はこのようなことによって国民の信頼が損なわれることについて十分認識すべきである。厚生労働省は、本事案を踏まえ、「食品の放射線照射業者に対する監視指導について」(昭和53年10月12日付け環食第267号厚生省環境衛生局食品衛生課長通知)により、各都道府県衛生主管部長等に対し、食品の放射線照射業者に対する監視指導の留意点について通知している。

## 第5章 食品照射を巡るその他の課題

### 5-1. 照射食品の検知技術<sup>52)</sup>

照射食品において放射線がどのように照射されているかを検知するための技術は、行政当局が規制の実効性を担保する手段であるとともに、製造業者・流通業者にとっては、取り扱う食品に対して意図された線量で正しく放射線照射されているか否かを確認するための品質管理に必要な技術として、研究開発が進められてきた。また、これらの結果、食品表示の妥当性の担保にもつながるものである。以上のように、今後の食品照射の展開を考える上で、検知技術の確立は重要である。

#### a. 検知技術の研究開発

放射線照射を検知する技術の主な研究開発としては、わが国も参加したFAO/IAEAの国際研究プロジェクト（1990～1994）が進められ、電子スピン共鳴（ESR）法、熱ルミネッセンス（TL）法、化学的方法（炭化水素法など）、その他の物理学的方法（粘度測定など）、生物学的方法（微生物数計測など）等多様な検知方法の研究開発が進められてきた。EUでの研究プロジェクト（1990～1993）でも、同様に多くの方法についての検討の上、有望な方法についてのプロトコールを作成し、その妥当性確認試験を実施した。

#### b. 国際的な検知法について【参考5-1】

国際的な検知法には、ヨーロッパ標準分析法がある。ヨーロッパ標準分析法では、ヨーロッパ標準委員会が5つの標準分析法（ESR法2種、TL法、化学分析法2種）を1996年制定するとともに、その後2003年までにこれら分析法の改定を行ったほか新たな分析方法を追加（2004年までに計10種類の分析方法を採択）している。これらの分析法では、分析対象食品によって、用いられる手法が異なるが、ヨーロッパ標準分析法全体としては、香辛料類、食鳥肉、豚肉、牛肉、生鮮及び乾燥野菜あるいは果実、貝類、チーズ、サケ、液体全卵などの食品を対象に放射線の照射を検知することが可能となっている。また、EU加盟国のなかでは、ヨーロッパ標準分析法を用いて、市場流通する食品の一部についての検査を実施している国がある。

また、コーデックス委員会は、化学分析法（2-アルキルシクロブタン法、及び炭化水素法）TL法及びPSL法、骨含有食品、セルロース含有食品、結晶糖含有食品を対象としたESR法3種、DNAコメットアッ

セイ法、D E F T / A P C法の9分析法をヨーロッパ標準分析法と食品分析に関する北欧委員会（Nordisk metodikkomité for Næringsmidler）が定めたN M K L法に基づいて、2001年及び2003年にコーデックス標準分析法として採択している。

E U加盟国が実施した香辛料の検査では、これら標準分析法のうち、主として以下のT L法、P S L法、E S R法が利用されている<sup>26)</sup>。

- ・珪素系無機物含有食品のT L法：農産物である香辛料に微量に混入している珪素系無機物を分離し、その熱ルミネッセンス（T L）を測定する。
- ・珪素系無機物含有食品のP S L法：T L法と同様、香辛料中の珪素系無機物に由来する光励起発光（P S L）を食品ごとに測定する。なお、この方法では、無機物を食品試料から分離する必要はなく、迅速測定が可能であるため、確度はT L法に比べて劣るが、スクリーニング法としては非常に有効である。
- ・セルロース含有食品のE S R法：植物である香辛料の組織中のセルロースに由来するラジカルを測定する。

#### c. わが国の検知技術の現状

わが国では、研究所や大学等において、化学分析法、E S R法、T L法、P S L（光励起発光）法、DNAコメットアッセイ法等の研究開発が実施されている。また、これらの機関で、T L法やE S R法を用いた依頼分析を実施して参考試験データを食品企業や流通業者に提供するなどをしている。

以上のように、検知技術の研究開発等は着実に続けられており、その方法は食品の種類と分析対象物に応じて多様化しているものの、わが国の行政検査に用いる公定検知法として実用化されるまでには至っておらず、その開発が急がれる。

### 5－2．放射線照射施設等の安全性

#### （1）放射線照射施設の運用

わが国における放射性同位元素及び放射線発生装置【参考5－2～5】による放射線の利用は、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（以下、「放射線障害防止法」という。）のほか、労働安全衛生法、医療法、薬事法等によって規制されている。放射線障害防止法に基づいて放射性同位元素又は放射線発生装置を利用している事業所の数は、2001年3月末で総数4,837である。



放射線障害防止法に関する事故・トラブルのうち、国内の食品照射施設では、稼動開始後の初期に作業員が好奇心で照射室に入ったために143mSvの線量を被ばくしたことがあるが、当該作業員は健診で異常はなかった<sup>53)</sup>。また、その後施設は改善され、従事者への教育・訓練も徹底されたこともあって、以降事故の発生は報告されていない。

さらに、安全性の一層の向上などのための放射線障害防止法の改正（2005年6月施行）や、原子力安全委員会における国内外の動向を踏まえた放射線防護に係る対応に関する調査審議が行われている。

## （2）周辺環境への影響

放射線照射施設は、放射線のエネルギーやその照射量に応じた適切な放射線遮蔽を有しており、周辺環境への影響は非常に小さいものとなっている。特に、ガンマ線を用いる施設の場合には、その厚い遮蔽のために元来強固なものとして造られている。作業員のマニュアル違反等による作業員自らの被ばく事故は発生しているが、周辺環境への影響を及ぼした事故はこれまで報告されていない。内外の放射線照射施設におけるこれまでの事故例からみて、当該施設に係る危険性の一つは、作業員が偶発的に電離放射線を浴びるかもしれないことである。作業員が、設備故障を発見するためあるいは作業員が何らかの原因で偶発的に放射線を浴びるのを防ぐために、放射線照射施設は幾重もの防護レベルのもとに設計されている。放射線源が照射室に出ている時には、危険な区域はモニターで監視され、インターロックシステムの働きで、照射室に立ち入ることを防いでいる。これらの設備面での対応に加え、作業員がマニュアルを遵守し、人為的な事故を避けることも重要である。

以上より、放射線照射施設は、そもそも構造的に周辺環境への影響がないように設計・建設されている施設であり、また作業員の安全確保についても十分な配慮がなされているが、マニュアルの遵守等安全文化の一層の徹底が期待されている。

## （3）放射性廃棄物の取扱い

食品照射を行った際の照射機器の放射化は、放射線のエネルギーが低いこと等、照射食品の誘導放射能が無視できる程度であるのと同じ理由で基本的に問題とならず、施設を廃止する際に解体に伴う放射性廃棄物は基本的には発生しない。ただし、放射線障害防止法の対象となる施設を廃止する際に発生する廃棄物については、同法に基づく適切な措置を講じることとなっている。食品照射に関連し発生する放射性廃棄物は主に放射線源であるガンマ線源本体となるが、使用するコバルト60線源は輸入に頼っており、使用後には輸出元へ返還

されている。

### 5－3．照射食品の表示

照射食品については、許可・実用化の進んでいる米国やEU等においても、放射線照射が行われたことについての表示が行われており、例えば、EUでは、1999年のEU指令で、照射された食品について「放射線照射済」又は「電離放射線処理」と記載することとされている<sup>4)</sup>。この他に、照射食品に関するコーデックス一般規格<sup>10)</sup>では、出荷書類に照射の事実を記載すること、最終消費者に対しバラ積みで販売される食品の場合、売り場において食品名と照射されている旨を食品が入っている容器に表示すること、また包装済み照射食品については、以下に示す包装済み食品の表示に関するコーデックス一般規格<sup>54)</sup>に従うよう定めている。

- i) 照射された食品は、照射された事実を、食品名の近くに言葉で表示しなければならない。国際食品照射シンボルは任意で表示しても良いが、表示する場合には、食品名の近くにしなければならない。
- ii) 照射された製品が、他の食品の原材料として使用された場合は、この事実を原材料リストに表示しなければならない。
- iii) 照射された原材料を用いて調製された単一成分食品については、照射された事実を表示しなければならない。

照射食品が社会に流通するにあたって、消費者が、選択することを可能とするように照射食品の表示が行われていることが重要であるとの意見が強い。照射食品の表示はこれを確保する上で重要な情報源であり、また、再照射等を防ぎ、適切な照射を担保する意味でも重要である。

わが国においては、第2章2－2で述べたように、再照射を防止する観点から食品衛生法において、また、消費者の適切な選択に資する観点からJAS法に基づき、既に、生鮮食品に対して表示義務が課せられている。今後、食品照射の適用範囲が広がる場合には、それらに対し、表示に対する国民のニーズも把握しつつ、科学的・合理的な検討を踏まえ、適切な表示のあり方を検討することが必要である。

## 第6章 まとめ

本専門部会は、放射線利用技術の一つである食品照射について、第1章で示した基本的考え方に沿って、調査審議を進めてきた。

ここで、食品照射の現状や食品照射の有用性等に関する第2章から第5章の検討を踏まえると、以下のとおり結論される。

- a. 食品照射が食品衛生の確保や損耗防止に有効な技術の一つであること、化学薬剤を用いた食品衛生管理が、環境への影響や薬剤自身の毒性の視点から制限される方向にあり、経済性に優れた代替技術が求められていること、各国において照射食品の許可・実用化が進展し実績があることなどから、食品照射は有用性がある。特に香辛料への放射線照射については、諸外国において多くの実績があること、わが国において具体的要請があること、健全性に関する検討や研究が行われ良好な成果が得られていることなどから、わが国において実用化する意義は高いと見込まれる。
- b. 照射食品の健全性については、国内外において、適正な線量等を守り照射を行った場合には健全であるという研究成果が蓄積されていることなどから、一定の見通しがある。
- c. 食品照射のための照射施設については、放射線障害防止法に基づく安全規制の遵守が求められることなどから、周辺環境に影響を及ぼすおそれの極めて小さいものとして建設・運転しうる。

したがって、食品照射技術を食品の衛生確保等のための技術の選択肢の一つとすることができるようにする観点から、以下の取組を進めることが有意義であると考ええる。

### 6-1. 食品照射に取り組むにあたっての環境整備

#### (1) 食品安全行政の観点からの妥当性の判断等

上記 a～c を踏まえ、有用性が認められる食品への照射について、食品安全行政の観点からの妥当性を判断するために、食品衛生法及び食品安全基本法に基づく検討・評価（第2章2-2.（1）参照。）が進められることが適切と考える。具体的には、まず、香辛料への照射について、諸外国の多くの実績、国内の具体的要請、健全性検討・研究の成果などから有用性があることから、検討・評価が行われることが妥当であると考ええる。更に、

その他の食品についても、産業界のニーズや社会動向等を踏まえ有用性が認められる場合には、適宜、検討・評価が進められることが期待される。

なお、健全性の検討・評価に当たっては、本専門部会の検討で参考としたデータの活用も含め、基本的には、信頼性のあるデータであれば、国内外を問わずその活用を図られるべきであると考え。その際、照射食品の健全性について不断に知見の集積を図ることが重要であり、諸外国での取組状況を踏まえた上で、わが国においても、必要に応じて、原子力委員会の方針の下、研究開発が推進されることが望ましい。

また、照射食品が社会に流通した際に、再照射防止及び消費者の選択を確保する観点等からの照射食品の表示は重要な情報源であり、適切に実施されることが必要であるとの意見が強い。そのために、現行の食品衛生法及びJ A S法に基づく表示の義務付けについて引き続き行われることが必要である。また、照射食品の表示の今後のあり方について、食品全体の表示に関する状況や照射食品に関する検討・評価の動きも踏まえつつ、科学的・合理的観点から必要な検討がなされることが期待される。

## (2) 検知技術の実用化

検知技術は、法に基づく適切な照射食品の流通であることを必要に応じ確認するために重要な技術である。わが国においては、検知技術の研究開発がこれまで継続的に実施されてきているが、行政処分をするか否かを判断するために用いる公定検知法として確立されている技術はない。このため、わが国において公定検知法を早期に確立し実用化するため、既存検知技術の試験手順の厳密化、公定検知法への採用等の取組を引き続き進めることが重要である。また、精度の向上等のために、引き続き、検知技術の高度化に向けた研究開発が行われることが期待される。

## 6－2．食品照射の社会受容性の向上

わが国において照射食品の流通が進められるにあたって、食品照射の社会受容性の向上が重要であり、関係行政機関、研究者、事業者など関係者と国民との相互理解を一層深める必要がある。そのため、関係者は、情報公開を推進するとともに、国民の意見を伺う広聴活動を出発点として、それを踏まえた広報や対話を行う活動に取り組んでいくことが必要である。これらの活動を通じた関係者と国民の相互の努力により、食品照射に関する理解が進むことが望まれる。

原子力委員会においては、本報告書の内容について国民との相互理解の充実に努めるとともに、原子力政策大綱に示される政策の評価を行う中で

フォローアップしていくことが重要である。一方で、消費者である国民一人一人におかれても、疑問や知りたい情報等について、関係者に忌憚なく伝えていただくとともに、対話や説明の場などへ積極的に参加していただくことが望まれる。

また、現在でも、食品照射に関する解説や研究成果などのデータについて様々なものが公開されているが、関係者は、引き続き、このような情報の存在を広く周知していくとともに、国民にわかりやすい形になるよう努めていくことが必要である。

さらには、今後、リスク分析の過程に進んだ場合には、関係者間のリスクコミュニケーションにおいて、これらの積み重ねが活かされることが望まれる。

最後に、食品照射について、国民一人一人が自分で判断できるようになるためには、食品照射のみならず、放射線利用全体についての広聴・広報活動や放射線に関する基本的な知識に係る教育の充実も重要である。

## 参考文献

- 1) WHO, “Safety and Nutritional Adequacy of Irradiated Food”, WHO, Geneva (1994) (日本語訳：照射食品の安全性と栄養適正, コープ出版, (1996)) .
- 2) 古田雅一, 「照射食品の健全性」, FFI J., 209(12), 1069 (2004).
- 3) 伊藤均, 「食品照射の基礎と安全性」, JAERI-Review 2001-029.
- 4) 等々力節子, 「食品照射の海外動向」, 食品照射 Vol. 40(1, 2), 49 (2005).
- 5) 食品照射専門部会 (第 1 回) 資料第 5 号「食品への照射について (その 2) 国際的動向及び各国の動向」(2005. 12. 14) .
- 6) R. A. Molins (The National Academics, Washington, DC), “Food Irradiation”, (2001) .
- 7) 山田友紀子, 「国際食品委員会と食品照射」, 食品照射 Vol. 36 (2001) .
- 8) WHO, “Wholesomeness of Irradiated Food”, Technical Report Series, No. 659 (1981).
- 9) WHO, “High-dose irradiation: Wholesomeness of food irradiated with doses above 10kGy”, Report of a Joint FAO/IAEA/WHO Study Group, WHO Technical Report Series, No. 890, Geneva (1999).
- 10) Codex Alimentarius Commission, CODEX GENERAL STANDARD FOR IRRADIATED FOODS (CODEX STAN 106-1983, REV. 1-2003).
- 11) Codex Alimentarius Commission, “RECOMMENDED INTERNATIONAL CODE OF PRACTICE FOR RADIATION PROCESSING OF FOOD”, CAC/RCP 19-1979, Rev. 2-2003.
- 12) WTO, “AGREEMENT ON THE APPLICATION OF SANITARY AND PHYTOSANITARY MEASURES”, (1994).
- 13) 日本原子力文化振興財団プレスリリース No. 109, 「食品の放射線処理」, (2003) .
- 14) 伊藤均, 「放射線処理による食品の衛生化」, FFI J., 209(12), 1079(2004).
- 15) Paul S. Mean, et al., “Food-Related Illness and Death in the United States”, Emerging Infectious Diseases, 5(5) (1999) .
- 16) 国際食品照射諮問グループ, Q&A シリーズ「わかりやすい食品照射」, (1998 改訂) .
- 17) Commission of the European Communities, “List of Member States’ authorizations of food and food ingredients which may be treated with ionization radiation”, Official Journal of the European Communities, C56/5 (2003).
- 18) IAEA, “Food & Environmental Protection Newsletter”, Vol. 9, (2006).

- 19) 内海和久,「馬鈴薯芽止め事業 30 年目の現状紹介」, 食品照射 Vol. 38 (2003) .
- 20) 林徹,「食品照射の背景と有用性」, FFIJ., 209(12) (2004) .
- 21) WHO, “Food irradiation. A technique for preserving and improving the safety of food” , Geneva (1988).
- 22) United Nations Environment Programme, “The Montreal Protocol on substrates that deplete the ozone layer (with amendments)” , Nairobi, Kenya, (2000).
- 23) 日本原子力産業協会ホームページ (元データは I A E A 資料等) .
- 24) Code of Federal Regulations 21CFR179.26, “Irradiation in the Production, Processing and Handling of Food” , (2006).
- 25) Scientific Committee on Food, European Commission, “Revision of the opinion of the Scientific Committee on Food on the irradiation of food” , (2003) .
- 26) COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES, “REPORT FROM THE COMMISSION ON FOOD IRRADIATION FOR THE YEAR 2002, COM(2004)69 (2004).
- 27) 碧海委員資料, 食品照射専門部会 (第 2 回) 資料第 7-1 号 (2006.1.25)、及び、ウイメンズ・エナジー・ネットワーク (WEN) , 「くらしと放射線」アンケート調査結果報告書, (2002)、及び、ウイメンズ・エナジー・ネットワーク (WEN) , 第 2 回「くらしと放射線」アンケート調査結果報告書, (2006).
- 28) ICGFI, “Irradiation and Trade in Food and Agricultural Products” , (1998).
- 29) 「オーストラリア・ニュージーランドにおける食品照射の許可の経緯」, 食品照射専門部会 (第 5 回) 資料第 5 号, (2006.4.19) .
- 30) 全日本スパイス協会, 「香辛料の微生物汚染の低減化を目的とする放射線照射の認可の要請について」, 食品照射専門部会 (第 4 回) 資料第 3 号, (2006.3.13) .
- 31) 原子力委員会, 昭和 40 年 原子力年報.
- 32) 原子力委員会, 昭和 42 年 原子力年報.
- 33) 伊藤均,「日本における食品照射の開発の経緯と今後の課題」, 食品照射, Vol. 38(1, 2), 23(2003).
- 34) 日本原子力研究開発機構高崎量子応用研究所のホームページ  
<http://takafoir.taka.jaea.go.jp/dbdocs/min001008.html>
- 35) 奥山典生他,「ガンマ線照射コショウの化学成分変動の解析」, 食品照射研究委員会研究成果最終報告書 (日本アイソトープ協会) , 79 (1992).

- 36) 金子信忠他, 「香辛料の精油成分および脂質に対する $\gamma$ 線照射の影響」, 日本食品工業学会誌, Vol. 38(11), 1025(1991).
- 37) IFIP, “Teratogenic studies on albino rats fed diets containing either irradiated ground black pepper, mild paprika or spice mixture”, IFIP-R-52, International Project in the Field of Food Irradiation, Karlsruhe (1979).
- 38) J. Barna, “Genotoxicity test of irradiated spice mixture by dominant lethal test”, *Acta Alimentaria*, 15, 47 (1986).
- 39) J. Farkas, et al., “Evaluation of possible mutagenicity of irradiated spices”, *Acta Alimentaria*, 10, 129 (1981).
- 40) 坂本京子, 「ガンマー線照射スパイス・マンゴーの変異原性」, 食品照射研究委員会研究成果最終報告書, 日本アイソトープ協会, 204 (1992).
- 41) 小崎俊司他, 「ボツリヌス菌芽胞に対するガンマ線照射の影響」, 食品照射研究委員会研究成果最終報告書 (日本アイソトープ協会), 224 (1992).
- 42) 等々力節子, 「照射食品中における2-アルキルシクロブタノンの生成とその毒性評価について」, 食品照射 Vol. 38 (2003).
- 43) 日本原子力研究開発機構高崎量子応用研究所のホームページ  
<http://takafoir.taka.jaea.go.jp/dbdocs/004045002026.html>
- 44) 食品照射専門部会 (第1回) 資料第6号, 「食品への照射について (その3)」 (2005. 12. 24).
- 45) 久米民和, 「放射線の化学的効果」, *FFI J.*, 209(12), 1052 (2004).
- 46) WHO, “WHO Statement on 2-Dodecylcyclobutanone and Related Compounds”, March 2003.
- 47) C.H. Sommers, *J. Agric. Food Chem.*, 51, 6367-6370 (2003).
- 48) C.H. Sommers, *J. of Food Protection*, 67(6), 1293-1298 (2004).
- 49) F. Raul, et al., “Food-borne radiolytic compounds promote experimental colon carcinogenesis”, *Nutr. Cancer.*, 44, 181 (2002).
- 50) Federal Register, vol. 70, 157, August 16, 2005 (70FR48057).
- 51) Scientific Committee on Food, European Commission, “Statement of the Scientific Committee on Food on a Report on 2-alkylcyclobutanones”, (2002).
- 52) 等々力節子, 「照射食品の検知技術」, *FFI J.*, 209(12), 1060 (2004).
- 53) 原安委放射線障害防止基本専門部会報告「放射性物質及び放射線の関係する事故・トラブルについて」 (2002年7月).
- 54) Codex Alimentarius Commission, “CODEX GENERAL STANDARD FOR THE LABELLING OF PREPACKAGED FOODS”, CODEX STAN 1-1985, Rev. 1-1991.