

食品照射についてご意見を聴く会
参考資料 1

食品への放射線照射について 参考資料

平成18年5月10日

参考1(1) 原理—照射による物理化学的な作用

- 放射線が照射され、植物や微生物・害虫に吸収されると：
 - 照射により、生物の細胞に含まれる水分子が励起され、ラジカル(参考2(2))が生成し、生物のDNA(2本鎖からなる)を切断する。
 - DNAの1本鎖切断は容易に修復されるが、2本鎖の同じ部分が同時に損傷を受けると、多くの場合、その細胞は死にいたる。
 - その度合いによって植物の発芽抑制、害虫の不妊化、殺菌効果が得られる。

参考1(2) 原理—照射による物理化学的な作用(続き)

- 電離放射線が照射され食品に吸収されると:
 - 食品に含まれる水分子や食品を構成する分子が励起され、ラジカルが生成し、瞬時に反応して食品中に分解生成物ができる。
 - 照射により生成する分解生成物は、そのほとんどがよく知られているもので、加熱や光の照射でも同様な物質が生成する。
 - 放射線照射特有の化合物の生成量はわずか。
 - 脂質に照射した場合の2-アルキルシクロブタン類生成の報告がある。
 - WHOは、この物質に関する長期間の動物実験と変異原性試験結果から、現時点での科学的証拠に基づいて、一般に、2-ドデシルシクロブタンおよび2-アルキルシクロブタン類は、消費者に健康の危険をもたらすようには見えない、としている。

参考1(3) 原理—照射による物理化学的な作用(続き)

- 原子と原子の結合において基本的に電子は2個ずつ対になっている。
- 結合にあずかる電子2個が1個ずつに分かれ、結合が切断すると、分離した両原子は対になっていない1個の電子をもつ化学種になる。これがラジカルである。
- 電子は2個対になっているのが基本なので余分な電子1個(不対電子)をもつラジカルは化学的に不安定で消滅しやすく、反応性に富む。

例: 水の場合

放射線のエネルギー



水に吸収



ラジカルを生成



参考2(1)照射食品の安全性と栄養学的適格性

照射食品の安全性は、以下の2つの観点で検討がなされている

毒性学的安全性

- 照射した食品の急性毒性、慢性毒性、発ガン性、遺伝毒性、細胞毒性、催奇形性、変異原性等(参考2(2)参照)はどうか。

微生物学的安全性

- 照射した食品に生残する微生物による影響はどうか。
- 照射による微生物の突然変異はどうか。

加えて以下の観点での検討がなされている。

栄養学的適格性

- 食品の栄養素は照射によりどう変化するのか。

なお、上記3つの観点を合わせて「健全性」と呼んでいる。

【参考文献】WHO「照射食品の安全性と栄養適性」(1994年)

古田雅一「照射食品の健全性」FFI J., 209(12), 1069(2004).

伊藤均 JAERI-Review 2001-029

参考2(2) 毒性について

急性毒性：短期間に一回または複数回暴露した後、直ちに引き起こされる毒性。

慢性毒性：長期間(6ヶ月以上)反復または継続投与して発現する毒性

発ガン性：生体に悪性腫瘍を誘発させる性質

遺伝毒性：直接または間接的に遺伝子またはDNAに変化を与え、細胞または個体に遺伝的影響をもたらす性質。

細胞毒性：細胞に悪影響を与える性質

催奇形性：妊娠中の母体に化学物質などを投与したときに、胎児に対して形態的及び機能的な悪影響を及ぼすこと

変異原性：突然変異を起こす性質

【参考文献】食品安全委員会「食品の安全性に関する用語集(改訂版)」(平成17年3月)等

参考3 誘導放射能

- 中性子やガンマ線などの放射線との核反応*により物質が放射化、すなわち、放射能を持つようになる場合、その放射能を誘導放射能という。

*: 原子核相互または原子核と中性子や陽子などの素粒子との衝突によって生ずる現象

参考4 WHO「照射食品の安全性と栄養適性」(1994年)の結論

- 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、有害動物や病原体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。
- 適正製造基準(GMP)に規定される必要条件が満たされている限り、食品照射は安全で効果的である。

適正製造基準: 食品を取り扱う場所・施設・人の管理を行うための衛生規範。

参考5 (1) これまでに示された照射食品の安全性への主な懸念と対応

インドの国立栄養研究所で栄養失調児に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;染色体異常の一種)の出現率が高まった。(Bhaskaram&Sadasivan, 1975)

- この懸念をきっかけに、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。
- 結論は、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性細胞を出現させる証拠にはならないことを報告し、倍数性細胞の増加を主張している上記のすべての試験は、技術的な欠陥がある。さらに注意深く解析すると、上記の試験結果は、照射小麦が倍数性細胞を増加させないとの結果を出した試験と比べ、有意な差がないことが明らかになった。
- 10 kGy以下または高線量を照射した飼料を6ヶ月間貯蔵した時には、倍数細胞の増加は認められなかった。

【参考文献】WHO「照射食品の安全性と栄養適性」(1994年)(林徹訳)

田中憲保「照射食品の生物学的安全性評価」FFI J., 209(12), 1079(2004).

参考5 (2) これまでに示された照射食品の安全性への主な懸念と対応

照射処理により、マイコトキシンの一種であるアフラトキシン(ジェマリとギルボー(1969), アペルゲートとチブレー(1973), プリヤダールシニとトゥルプール(1979))やオクラトキシン(パスターら(1985))の生成能が増大する。

- WHO: 他の研究者は、照射によるアフラトキシンの生産能は増加せずむしろ減少することを見いだしている。
- カビに汚染された小麦を貯蔵した際のアフラトキシンの生産能は、照射した方が低かった。
- 科学的知見に基づく総合的な評価は、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は増大しないことを示している。

マイコトキシン: かびが産生する有毒物質(かび毒)。アフラトキシンやオクラトキシンには発ガン性のあることが確認されている。

参考5(3) これまでに示された照射食品の安全性への主な懸念と対応

放射線特有の生成物として、脂質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(2-DCB)はDNAに障害を起こしたというDelincéeらの報告(1998,1999)がある。

WHOの見解(2003): 長期間の動物実験とAmes test* がネガティブという結果を含む、現時点での科学的証拠に基づいて、一般に、2-DCBおよび2-アルキルシクロブタノン類は、消費者に健康の危険をもたらすようには見えない。

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。

米国Sommersら(2003,2005)は、2-DCBによる変異原性はないとする研究結果を得ている。

【参考文献】久米民和「放射線の化学的効果」FFI J., 209(12), 1052(2004). 等々力節子「食品照射を巡る状況と課題」原子力委員会 放射線専門部会第3回資料(2003)等

*Ames test (エームス試験): サルモネラ菌などの細菌を用いて遺伝子の突然変異を検出する試験で、突然変異原性物質やがん原性物質の可能性のある物質の第一次スクリーニング法として、エームス博士が開発し、広く世界で用いられている試験。エームス試験、サルモネラ試験、サルモネラ変異原性試験とも言う。(食品安全委員会「食品の安全性に関する用語集(改訂版)」(平成17年3月)より)

参考6(1) 原子力特定総合研究－食品照射研究のまとめ

品目 (照射目的)	放射線種類	照射効果		検知法	健全性試験				実施期間 年度	備考
		効果	問題点等		栄養試験	慢性毒性	世代試験	変異原性試験		
ばれいしょ (発芽防止)	ガンマ線	0.07～0.15 kGyの照射、室温中で8ヶ月間発芽防止が可能	特になし	実用的な方法は見当たらなかった	影響なし	影響なし	影響なし	影響なし*	1967～1971	研究成果報告済(1980) 食品衛生法許可(1972)、 実用照射(1974)
タマネギ (発芽防止)	ガンマ線	0.02～0.15 kGyの照射、室温中で8ヶ月間発芽防止が可能	特になし	実用的な方法は見当たらなかった	影響なし	影響なし	影響なし	影響なし	1967～1978	研究成果報告済(1980)
米 (殺虫)	ガンマ線	0.2～0.5 kGyの照射で殺虫効果は完全。殺菌効果あり。	品種により照射後の食味の低下するものあり	実用的な方法は見当たらなかった	影響なし	影響なし	影響なし	影響なし	1967～1979	研究成果報告済(1983)
小麦 (殺虫)	ガンマ線	0.2～0.5 kGyの照射で殺虫効果は完全。殺菌効果あり。	小麦粉の粘度が低下する(製麺適性の低下が認められた)	実用的な方法は見当たらなかった	影響なし	影響なし	影響なし	影響なし	1969～1979	研究成果報告済(1983)
ウィンナー ソーセージ (殺菌)	ガンマ線	酸素透過性の小さい包装材料で窒素ガス封入後、3～5 kGyの照射、10 貯蔵で貯蔵期間を3～5倍延長できる。	特になし	実用的な方法は見当たらなかった	影響なし	影響なし	影響なし	影響なし	1968～1980	研究成果報告済(1985)
水産練り製品 (殺菌)	ガンマ線	3 kGyの照射、10 貯蔵で貯蔵期間を2～3倍延長できる。	特になし	励起蛍光スペクトルによる測定は高感度(紫外線吸収スペクトルでは検出できない。)、再現性良好で、操作も簡便	影響なし	影響なし	影響なし	影響なし	1969～1980	研究成果報告済(1985)
ミカン (表面殺菌)	電子線	0.5 MeVのエネルギーの電子線により1.5 kGyの照射、低温で貯蔵期間を2～3倍延長できる。	特になし	-	影響なし	影響なし	影響なし	影響なし	1970～1981	研究成果報告済(1988)
実施機関	農水省研究機関 日本原子力研究所 (社)日本アイソトープ協会(大学関係)			国立予防衛生研究所	国立栄養研究所	国立衛生試験所		(財)食品薬品安全センター		

* : 1981年に実施し確認

参考6(2) 照射食品の健全性に関する報告(我が国)

原子力特定総合研究終了後の食品照射研究

- 国際原子力機関(IAEA)と国連食糧農業機関(FAO)の東南アジア・太平洋地域を中心とする食品照射RCA(アジア原子力地域協力協定)プロジェクトへ協力。(香辛料、家畜飼料、冷凍魚介類、鶏肉等の殺菌効果、グレープフルーツの殺虫効果等の研究を実施)
- 電子線の照射技術の研究開発
- 食中毒対策としての病原菌の殺菌効果
- 検疫への応用を目的とした切り花の殺虫効果の研究
- 検知技術の研究開発
- 日本アイソトープ協会・食品照射研究委員会が中心となり大学や各研究機関で放射線分解生成物など当時国際的に議論になっていた項目や栄養学的評価、微生物学的安全性について研究。(1986～1991年)

参考7 照射の検知技術

ヨーロッパ標準法(CEN standards)とCodex標準分析法

方 法	分析対象食品	ヨーロッパ標準法 としての採択年	Codex標準分析 法としての採択年
ガスクロマトグラフによる炭化水素測定	鶏肉(0.5)、豚肉(0.5)、牛肉(0.5)、アホガド(0.3)、 マンゴ(0.3)、ハバイヤ(0.3)、カマンベールチーズ(0.5)	1996、 2003改定	2001
2-アルキルシクロブタン類の分析	鶏肉(0.5)、豚肉(1)、液体全卵(1)、カマンベールチーズ (1)、サケ(1)	1996、 2003改定	2001
骨の電子スピン共鳴(ESR)測定	鶏肉(0.5)、肉(0.5)、魚(マス)(0.5)、カールの足 (0.5)	1996	2001
セルロースのESR測定	ハフリカ粉末(5)、ヒスタチオナツの殻(2)、イチゴ(1.5)	1996、 2000改定	2001
ケイ酸塩無機物の熱ルミネッセンス測 定(TL)	ハーブ・スパイス類(6)、エビ(1)、貝類一般(0.5)、生鮮 (1)及び乾燥野菜果物(8)、ハレイショ(0.05)	1996、 2001改定	2001 2003
糖結晶のESR測定	乾燥ハバイヤ(3)、乾燥マンゴ(3)、乾燥イチジク(3)	2001	2003
光励起ルミネッセンス(PSL)	ハーブ・スパイス類(10)、貝類(0.5)	2002	2003
直接フィルター蛍光観察/プレート法 による微生物測定(スクリーニング)	ハーブ・スパイス類(5)	2001	2003
DNAコメットアッセイ(スクリーニング)	鶏肉(1)、豚肉(1)、植物細胞(1)	2001	2003
LAL/GNB法(スクリーニング)	鶏肉	2004	-

注) スクリーニング: 照射の有無の判別

括弧内の数字は、検出限界線量(kGy)

【参考文献】等々力節子「照射食品の検知技術」FFI J., 209(12), 1060(2004)等 13

参考8 モントリオール議定書による臭化メチルの使用廃止

- 「オゾン層保護のためのウィーン条約(1985年採択)」に基づき、1987年「オゾン層を破壊物質に関するモントリオール議定書」が採択され、破壊物質の削減スケジュール等の具体的規制措置が定められた。
- 土壌の燻蒸の他、食品の害虫駆除のため燻蒸剤としても使用されてきた臭化メチルは、オゾン層を破壊する物質のため、先進国においては、1999年以降段階的に削減し検疫など一部の使用を除き2005年までに使用を禁止することとされた。
 - 臭化メチルの代替薬剤として、ホスフィン類が挙げられるが、その使用により、ホスフィンに耐性を有する害虫が発生する可能性が示されている。
- 代替技術の1つとして照射が挙げられている。

参考8 臭化メチル等について

薬品名	関連法令等	用途
臭化メチル CH_3Br	労働安全衛生法 <ul style="list-style-type: none"> ・表示対象物質 ・名称等を表示すべき有害物 ・特化物等：特定化学物質第2類 毒物及び劇物取締法：劇物 化学物質管理促進法：第一種指定化学物質 IARC発ガン性評価： 3（発ガンの評価ができない物質）	殺菌剤、防かび剤、殺虫剤、防虫剤、食糧燻蒸剤、土壌燻蒸剤
ホスフィン PH_3	労働安全衛生法 <ul style="list-style-type: none"> ・名称等を表示すべき有害物 毒物及び劇物取締法：劇物	（臭化メチルの代替） 倉庫、船倉の燻蒸
エチレンオキサイド $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$	労働安全衛生法 <ul style="list-style-type: none"> ・名称等を表示すべき有害物 ・特化物等：特定化学物質第2類 毒物及び劇物取締法：劇物 化学物質管理促進法：第一種指定化学物質 IARC発ガン性評価： 1（発ガン性の十分なデータがある物質）	香料、界面活性剤、洗剤、殺菌剤、防かび剤

参考9 ICGFI による他の処理技術との比較の概要

- ICGFIは、1998年に有害微生物・害虫の制御技術に関し、照射技術と他の技術と定性的に比較した。
- その結果、照射技術は、有害微生物・害虫制御の有用な技術の1つで、貯蔵期間を延長できる技術であるとした。
- さらに、以下を課題として挙げた。
 - 認可が進んでいないこと、
 - 表示義務により他の技術に比べ技術の適用に制約が生じる傾向にあること、
 - 消費者への情報の供給や消費者の理解が不十分であること

ICGFI(国際食品照射諮問グループ)は、1984年、国連食糧農業機関(FAO)、世界保健機関(WHO)、国際原子力機関(IAEA)の後援により、食品照射に係る国際的な活動を評価し助言するために結成された組織。

参考9 ICGFIによる他の処理技術との比較の概要(続き)

項目	照射	化学処理(ガス燻蒸処理 / 薬剤洗浄)	雰囲気制御
適用範囲	<ul style="list-style-type: none"> 貯蔵期間の延長、微生物や病害虫の制御まで広い範囲で適用可能 食品内部に効果が浸透しうる 	<ul style="list-style-type: none"> ガス燻蒸は広い範囲の食品に適用が可能。 食品内部に拡散しにくい。 化学薬剤による洗浄はサルモネラ菌に有効。 	<ul style="list-style-type: none"> 長期貯蔵可能な作物に適する 貯蔵期間延長ができる場合もある 処理時間は数日
規制上の課題	<ul style="list-style-type: none"> 国際的な認可がある 国内においてはさらに認可が必要 	<ul style="list-style-type: none"> 国内において認可されている。 臭化メチル(オゾン層破壊物質)、エチレンオキサイド(発ガン性物質)の使用は廃止の方向 ガス燻蒸について新たな認可取得が難しい 	<ul style="list-style-type: none"> 課題はない
コスト	<ul style="list-style-type: none"> 設備投資は高い 単位作物あたりのコストは低い 	<ul style="list-style-type: none"> 近代的な設備には高い投資が必要 単位作物あたりのコストは低い 	<ul style="list-style-type: none"> 貯蔵施設の投資は大きい 単位作物あたりのコストは中程度
環境に係る課題	<ul style="list-style-type: none"> 環境影響は低い エネルギー消費は小さい 	<ul style="list-style-type: none"> 臭化メチルはオゾン破壊物質 化学処理では、塩素の過度の使用について懸念。水の使用量が増す。 	<ul style="list-style-type: none"> 環境影響は低い エネルギー消費は大きい
消費者の受容性など	<ul style="list-style-type: none"> 販売されている地域では受容性は高い 表示義務が制約になり得る 	<ul style="list-style-type: none"> 表示義務はない 	<ul style="list-style-type: none"> 消費者の受容性は高い 表示義務はない 肉類では高価格の小売商品のみ用いられる

ガス燻蒸処理 / 化学処理: 化学薬品によって害虫駆除や殺菌を行う方法。野菜類や香辛料等乾燥食品には燻蒸が適用される(主な燻蒸剤:臭化メチル、エチレンオキサイド)。肉類に対しては薬品による洗浄がある。

雰囲気制御: 貯蔵施設の空気の大部分を他のガス(二酸化炭素等)に置換して害虫を死亡させる処理方法

参考10(1) 食品照射許可の前提条件の例(EU)

■ 食品照射に係るEUの基本的条件

- 電離放射線の照射による個々の食品の処理は以下の場合に限り認める：
 - 合理的な技術的理由があること、
 - 健康上被害を与えないこと、
 - 消費者の利益となること、
 - 衛生及び健康規範、適正製造基準あるいは農業規範の代替として用いないこと
- 食品照射は以下の目的の場合に認める：
 - 病原性微生物の殺滅による、食品起源の事故発生の抑制、
 - 劣化遅延及び腐敗菌類殺滅による、食品の損失の抑制、
 - 成熟遅延、発芽による食品の損失の抑制、
 - 植物や植物からの加工品に害を及ぼす微生物の駆除。
- 放射線源の制限：以下の線源のみ
 - コバルト-60あるいはセシウム-137からのガンマ線
 - 最大エネルギーが5 MeVあるいはそれ以下の装置から発生されるX線
 - 最大エネルギーが10 MeVあるいはそれ以下の装置から発生される電子線
- 表示：照射された食品あるいは照射された食品添加物を含む食品は表示がなされるべき。
- EUにおける許可手続：EUによる照射認可リストに新たに食品を加える場合にはSCF(食品科学委員会)がそれを認める意見を示すことが必要である。

参考10(1) 食品照射許可の前提条件の例(EU)(続き)

■ EUの食品照射に係る現状

- 1999年にEU共通の許可品目としてスパイス・ハーブ類への10 kGyまでの照射をリストに挙げた。
- その他の品目に関するEUのメンバー国毎の食品照射の許可や制限についてはそれぞれ現在も有効。
- EUのメンバー国は、照射食品の検知に用いられる分析技術を公定法とし標準化することを保証。EUの支援により開発された複数の分析法を標準分析法として制定。
- 食品の照射は以下の施設でのみ可能。
 - メンバー国が許可した照射施設、あるいは EUが許可した第三国の照射施設。

参考10(2) 食品照射許可の前提条件の例 (豪州・ニュージーランド)

- オーストラリア・ニュージーランド両国は食品基準を2国間で統一*
- 食品照射に関する基準(Standard 1.5.3)
 - 食品、食品原材料への照射は特定の許可がなければ原則禁止。
 - 特定の許可には線量や包装材、認可された施設や装置に係る条件を満たすことが必要。
 - 照射による処理は、技術的な要求を満たすためか、食品の安全に係る目的からの必要性を満たす場合にのみ行うべき。
 - 照射のために適用する吸収線量は、技術的な目的と公衆の健康を維持する目的に見合う合理的に最小限な値にとどめるべき。さらに、照射は適正な照射処理基準に従って行われるべき。
 - 照射される食品とその包装材は処理の目的を満たす衛生条件下にあること。照射前後においてはGMP(適正製造基準)に従って取扱うこと。
 - 照射施設と照射工程の制御は国内の規制に従うこと。また、コーデックス一般規格と関連する基準に従うこと
 - 認められた線源によって照射し、照射記録を維持し、照射されたことを表示すること。
- 2000年に食品照射を許可する方針が決定され、2001年9月に香辛料・ハーブ類、2003年に熱帯果実の許可がなされた。(参考10参照)

*:Australia New Zealand Food Standards Code

参考10(2) オーストラリア・ニュージーランドにおける 許可品目と条件

第1列	第2列	第3列
食 品	最大・最小線量 [kGy]	条 件
パンの実、スターフルーツ、チェリモア、ライチ、リュウガン、マンゴ、マンゴスチン、パパイア、ランブータン	最小: 150 Gy 最大: 1 kGy	食品は検疫処理を目的とした害虫駆除の目的においてのみ照射できる。 上述した技術的な目的を達成するのに必要な最小線量
ハーブ、香辛料* ハーブ抽出物: 生、乾燥または発酵させた葉、花、または植物の他の部分から作った飲料で茶を除く。	最小: 第3列を条件とし規定しない 最大: 6 kGy	食品は、雑草の種子の発芽抑制、害虫駆除の目的においてのみ照射できる。 上述した技術的な目的を達成するのに必要な最小線量。
ハーブ、香辛料*	最小: 2 kGy 最大: 30 kGy	食品は殺菌の目的においてのみ照射できる。 食品は照射前、後ともGMPの手順に則り行われなければならない。
ハーブ抽出物: 生、乾燥または発酵させた葉、花、または植物の他の部分から作った飲料で茶を除く	最小: 2 kGy 最大: 10 kGy	食品は殺菌の目的においてのみ照射できる。 食品は照射前、後ともGMPの手順に則り行われなければならない。

参考11 最近の米国における食品照射許可

米国食料医薬品庁(FDA)が許可している照射食品

許可年	品目	目的
1985	豚肉(生)	寄生虫抑制
1986	青果物	成熟抑制
	全食品	殺虫
	酵素製剤	殺菌
	乾燥香辛料 / 調味料	殺菌
1990	食鳥肉	病原菌制御
1995	冷凍肉 (NASA宇宙食)	滅菌
1997	赤身肉(冷蔵)	病原菌制御
	赤身肉(冷凍)	病原菌制御
2000	卵(殻付)	病原菌制御
	もやし用種子	病原菌制御
2005	貝類	病原菌制御