内閣府食品安全委員会平成16年度食品安全確保総合調査

放射線照射食品の安全性に関する文献等 の収集・整理等の調査報告書

平成17年3月

独立行政法人 食品総合研究所

はじめに

食品の放射線照射技術は、物理的な品質保持技術の一つであり、限られたエネルギーの電離放射線(ガンマ線、電子線、エックス線)を適切な管理下で照射することで、 食品の付着微生物の殺滅や害虫の駆除、農産物の発芽や発根の抑制、熟度調整による 保存期間の延長を可能にするものである。

国際的には1980年、WHO(世界保健機構)/FAO(国連食糧農業機関)/IAEA(国際原子力委員会)の合同専門家委員会により、10kGy以下の線量で照射された食品の健全性が確認され、さらに1997年に、10kGy以上の高線量を照射した食品についても、その健全性に問題がないとの見解が出されている。現在、全世界で50以上の国で食品への利用が許可され、30以上の国で商業レベルでの食品照射が行われている。

わが国においては、1972年、バレイショの発芽防止のための照射が承認されて 以降、消費者の理解が進まなかったこと等により、新たな対象品目の拡大はされてい ない。しかし、欧米やアジア諸国では食品照射の実用化が進んでおり、今後これらの 食品輸出国から、わが国に対し照射済み食品の輸入を求められる可能性は否定できな い。さらに、検疫や殺虫に使われている臭化メチル代替技術としても放射線照射技術 が求められる可能性がある。

また、国内のスパイス業界には、スパイスの品質向上や食中毒事故の未然防止のため、本技術の使用許可を求める動きがある。

このような状況下、本技術に関し適切なリスク評価を行う必要性が生じている。 そこで、本調査では、これまで国際機関や各国政府の行った照射食品の安全性評価結果や評価基準、および評価の根拠として用いられた研究文献・資料の収集と整理を行い、今後の照射食品の安全性評価のための基礎資料とすることを目的とし実施した。

平成 17 年 3 月

独立行政法人・食品総合研究所

目 次

1. 放射線照射食品の安全性評価、基準等資料の収集・整理	
1-1 国際機関における放射線照射食品の安全性評価・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	1
1-1-1 初期における照射食品健全性に関する国際的な概念の変遷・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	2
1-1-2 国際食品照射プロジェクト	3
1-1-3 JECFIにおける安全性評価の結論(10kGyまでの照射食品の安全性)··	4
1-1-4 WHOの健全性に関する再評価(1992年)	5
1-1-5 高線量(10kGy以上)を照射した食品の健全性····	6
1-1-6 コーデックス国際食品規格 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	8
1-2 ヨーロッパ共同体における放射線照射食品の安全性評価・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	9
1-3 英国における放射線照射食品の安全性評価・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	13
1-4 米国食品医薬品庁(FDA)の放射線照射食品の安全性評価・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	15
1-4-1 米国における規制・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	15
1-4-2 米国における安全性評価の考え方・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	16
1-4-3 個別食品に対する評価の経緯・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	19
1-5 カナダにおける放射線照射食品の評価・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	22
1-6 オーストラリア/ニュージーランドにおける放射線照射食品の評価・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	26
	33
1-8 まとめ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	43
2. 放射線照射食品の安全性に関する研究文献の収集・整理	
2-1 誘導放射能	45
2-2 化学的安全性······	48
2-3 栄養学的適合性・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	68
2-4 微生物学的安全性·····	77
2-5 毒性学的安全性······	95
3. 放射線照射食品の安全性に関する文献等の収集・整理等の調査に関する考察	
3-1 調査に関する検討会・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	
3-2 照射食品の安全性評価に関する今後の課題・・・・・・・・・・・・・・]	146

<別冊> 放射線照射食品の安全性に関する文献・資料集

放射線照射食品の安全性に関する文献・資料集 目次

- I. 国際機関および各国政府による安全性評価結果に関する資料
 - 1. 世界保健機構 (WHO) 関連レポート
 - 2. ヨーロッパ共同体 食品科学委員会 (EU-SCF) 評価レポート
 - 3. 英国農務省「照射・新食品に関する諮問委員会」評価レポート
 - 4. 米国食品医薬品庁 (FDA) 関連資料
 - 5. カナダ保健省(Health Canada)関連資料
 - 6. オーストラリア/ニュージーランド食品基準機関 (FSANZ)
 - 7. 日本における放射線照射食品の安全性評価
 - 8. まとめ
- Ⅱ. 放射線照射食品の安全性に関する研究文献等
 - 5. 毒性学的評価
 - 5-1 ラルテック鶏肉毒性試験の総括文献
 - 5-3 2-アルキルシクロブタノンの毒性評価に関するオリジナル文献と評価結果

1. 放射線照射食品の安全性評価、基準等資料 の収集・整理

1-1 国際機関における放射線照射食品の安全性評価

この項では、WHO(世界保健機関)を中心とした国際機関での、放射線照射食品の安全性評価について述べる。本節全体の歴史的経緯を表1-1-1にまとめた。

表1-1-1 国際機関における放射線照射食品の評価の経緯

- 1961年 照射食品の健全性と食品照射の規制に関する国際会議(ブリュッセル) 照射食品の健全性評価の必要性の提起
- 1964 年 FAO/IAEA/WHO 照射食品の規制の技術的基準に関する合同専門委員会(ローマ) 照射食品の健全性評価の検討、食品添加物扱い
- 1969 年 FAO/IAEA/WHO 照射食品の健全性に関する合同専門家委員会(JECFI)(ジュネーブ) 同一の食品なら品種間差、地域差はない
- 1970年 国際食品照射プロジェクト (IFIP)開始(カールスルーエ) 健全性試験研究の方法の検討、委託、情報提供
- 1976年 FAO/IAEA/WHO 照射食品の健全性に関する合同専門家委員会(JECFI)(ジュネーブ) 食品照射は物理的加工技術、類似食品の健全性は同じ、 放射線化学知見の活用 ケミクリアランス
- 1980 年 FAO/IAEA/WHO 照射食品の健全性に関する合同専門家委員会(JECFI)(ジュネーブ) 10kGy 以下の照射食品の健全性に問題はない
- 1981年 国際食品照射プロジェクト終了
- 1983 年 FAO/WHO 食品規格委員会が「照射食品に関する一般規格」 (Codex 規格) および 「食品処理のための照射施設の運転に関する国際基準」を策定
- 1984 年 国際食品照射諮問グループ (ICGFI)設立 食品照射の実用化と照射食品の貿易の推進
- 1988年 照射食品の受容、貿易、管理に関する国際会議 (ジュネーブ)
- 1989 年 国際食品規格委員会食品表示部会が照射食品の表示の結論(オタワ) 照射食品は言葉で表示する
- 1992 年 WHO 専門家委員会が照射食品の健全性について再評価
 Safety and Nutritional Adequacy of Irradiated Food(1994)
 (日本語版;照射食品の安全性と栄養適性(コープ出版)1996 年
- 1997 年 WHO 専門家委員会の高線量照射食品に対する見解
 10kGy 以上照射した食品の健全性に問題はない 他の加工・処理との実質的同等性
 High-dose irradiation: wholesomeness of food irradiated with doses above 10 kGy.(1999)
- 2003 年 FAO/WHO 食品規格委員会が 「照射食品に関する一般規格」 (Codex 規格) を改訂 (原則 10 kGy まで、技術的必要性が認められれば 10 kGy を超えても 可)

1-1-1 初期における照射食品健全性に関する国際的な概念の変遷

過去40数年間に、食品照射に関する国際的または各国での会合、会議、研修会が数多く開催されてきた。これらの会議には、WHO(世界保健機関)、FAO(国連食糧農業機関)、IAEA(国際原子力機関)などの国際機関が企画したものが多く含まれている。

最初にこの3つの国際機関が合同で開催した照射食品についての会議は1961年にベルギーのブリュッセルで開催された「FAO/WHO/IAEAの照射食品の健全性に関する合同委員会(Joint FAO/IAEA/WHO meeting on the wholesomeness of Irradiated Foods)」¹⁾で、国際的に照射食品の健全性を評価することの必要性が強調された。この会議のフォローアップとしての会議が、1964年にローマにおいて開催された²⁾。この中で、照射食品を法的に規制する上での一般的な原則が討議され、法規制に必要な照射食品の健全性の証明のための技術的な方法論と試験方法に関する勧告がなされた。その際、後述するように米国が既に1958年に決定したのと同様の立場をとり、照射食品を食品添加物とみなした試験方法を採用し、食品ごとにデータ収集が必要であると結論した。すなわち、毒性試験の方法としては、3種の動物を用いた長期(慢性)毒性試験(2年間)と2種の動物を用いた短期(亜急性)毒性試験(90日)の実施が提案された。また、毒性試験と並んで誘導放射能の問題も含めた放射線学的観点、さらに栄養学的および、微生物学的な観点の議論がなされた。1969年には、FAO/WHO/IAEA「照射食品の健全性に関する合同専門家委員会(Joint Expert Committee on Food Irradiation:略称JECFI)」の、第1回目の会議が、ジュネーブで開催された³⁾。

この会議では、既に得られた安全性データが小麦、バレイショ、タマネギについて多数提出され、これに基づき 0.75 k Gy まで照射した小麦と小麦製品、および、発芽防止の目的で 0.15 k Gy まで照射されたバレイショに対して暫定的な承認が与えられた。しかし、タマネギについてはデータが不十分であるとして、さらに検討が必要であるという結論に達した。

1976年の第2回のJECFIにおいては、それ以降に実施された種々の食品の安全性試験のデータが収集された。そして、その結果の総括から、殺虫を目的とした小麦と小麦粉($0.15\sim1.0$ kGy)、腐敗および病原菌の制御を目的とした鶏肉($2\sim7$ kGy)、発芽防止のためのバレイショ($0.03\sim0.15$ kGy)、殺虫を目的としたパパイア($0.5\sim1$ kGy)、貯蔵期間延長を目的としたイチゴ($1\sim3$ kGy)の照射を無条件で承認し、発芽防止のためのタマネギ($0.02\sim0.15$ k Gy)、腐敗および病原菌の制御を目的としたタラとサケ($2\sim2.2$ kGy)および殺虫のための米($0.1\sim1$ kGy)の照射を暫定的に承認した。マッシュルームについては、十分なデータが存在せず評価が見送られた。この会議では、同時に放射線化学的な研究のレヴューが実施され、食品照射を添加物とはみなさず、加熱や凍結と同様の食品の処理方法であるとする転換があった。これにより、健全性評価の考え方に変化がもたらさ

れ、1日許容摂取量(ADI)や安全係数の概念の適用は否定された。また、同じような食品成分を有する品目の毒性データは相互に参照できること、放射線化学の知見から放射線分解生成物の生成量が予測され、健全性試験における動物の毒性試験を補うことができることが強調された⁴⁾。

1-1-2 国際食品照射プロジェクト

第2回のJECFI以降、健全性試験に莫大な経費がかかることと、同一食品においては、主要品種における研究データを他品種にも適用できるとの考えが確認されたことから、各国が研究を分担して実施しようという機運が高まった。この結果、FAO、WHO、IAEAおよびOECDが協力し、本部をドイツカールスルーエの連邦栄養研究所内に設置して、International Project in the Field of Food Irradiation(国際食品照射プロジェクト:略称IFIP)が1970年に開始された。このプロジェクトの参加は当初19ヶ国であったが、最終的には日本も含めた24ヶ国が参加し、1981年12月31日に終了した。ここでは、加盟国の間で分担を決めて動物投与試験を実施した他、照射食品の健全性評価に関する方法論の検討調査、各国に対する健全性に関する情報提供を行った。また、試験内容は、小麦粉、バレイショ、タマネギ、魚、マンゴ、スパイス、乾燥デーツ、カカオ豆などの長期投与試験、変異原性試験に加え放射線分解生成物に関する研究も実施された。

このプロジェクトで得られた成果は、6 7の報告書: Technical Report (IFIP Technical Report R1-R67) および、4つのActivity Report、2冊の本 (Elsevier: Radiation Chemistry of Major Food Component (1977) ed by P.S. Elias and A.J. Choen, およびRecent Advance in Food Irradiation(1983) ed by P.S. Elias and A.J. Choen) として出版された。また、プロジェクト実施中の情報提供として、Food Irradiation Information (vol. 1~12)が発行された。

このプロジェクトの実施中に行われた、1976年および1980年のJECFIでは、各国政府のデータとともにIFIPで実施された健全性試験の結果が検討されており、IFIPの成果はJECFIが1980年の結論に達する過程で多大な貢献をした。

1-1-3 JECF I における安全性評価の結論 (10kGyまでの照射食品の安全性)

1980年にジュネーブで実施された第3回JECFIでは、照射食品の健全性について以下の結論を出した $^{5)}$ 。

10kGy以下の総平均線量でいかなる食品を照射しても、毒性学的な危害を生ずるおそれがない。 さらに今後は、10kGy以下の照射した食品についての毒性試験は、もはや不要である。そして、 10kGy 以下の線量で食品を照射することは、栄養学的または微生物学的にみて特別な問題を 引き起こすことはない。

なお、ここで扱った試験のほとんどが10kGy 以下を照射した食品であり、それ以上を照射した食品についての毒性や健全性評価については考慮がなされておらず、それに関してはさらに研究が必要とされている。

1976年のJECFIの結論を踏襲し、ここでも健全性評価における化学分析データの重要性が強調されている。異なる食品に含まれる同一の食品成分(たんぱく質、脂質、炭水化物、水など)については類似の放射線分解反応がおこるため、照射食品について生成する共通の放射線分解生成物の量は予想できる。このケミクリアランス(Chemiclearance)の概念は安全性(毒性)評価に際して非常に有用である。この概念は、前項の国際食品照射プロジェクト(International Project in the Field of Food Irradiation: IFIP)において実施された様々な食品における放射線化学的研究データによって裏付けられた。

1980年に実施されたJECFIにおける各食品の健全性の個別評価において、前回までに暫定承認または、保留されていた食品の再評価が実施され、次の品目が無条件承認された。

無(寄生虫駆除;1kGy 以下、病原菌または腐敗菌の減少;2.2kGy 以下(保存温度は0℃))、タマネギ(発芽防止;0.15kGy 以下)、米(貯蔵中の害虫防除;1kGy 以下)、ココア豆(殺虫;1kGy 以下、殺菌;5kGy 以下)、ナツメヤシ(殺虫;1kGy 以下)、マンゴ(殺虫、熟度調整、微生物制御;1kGy 以下)豆類(殺虫;1kGy 以下)、香辛料・調味料(殺虫;1kGy 以下、病原菌または腐敗菌の減少;10kGy 以下)。

以上3回のJECFIの結果から、最終的に無条件承認された食品(群)は13種類に上る。 これらを表にまとめた(表 1-1-2)。

表1-1-2 JECFIで無条件承認された食品の品目

食品	目的	線量 (kGy)
小 麦	害 虫 防 除	0.15-1.0
バレイショ	発 芽 防 止	0.03-0.15
鶏肉	病原菌防除	2. 0-7. 0
パパイヤ	殺虫・熟度遅延	0.5-1.0
イ チ ゴ	殺 菌 保 存	1. $0-3.0$
魚 · 加 工 品	寄生虫駆除・保存	2.2 以下
タマネギ	発 芽 防 止	0.15以下
米	害 虫 防 除	1.0 以下
ココア豆	殺虫・細菌減少	5.0 以下
ナツメヤシ	害 虫 防 除	1.0 以下
マンゴ	殺虫・熟度遅延	1.0 以下
豆 類	害 虫 防 除	1.0 以下
香辛料・調味料	殺虫・細菌減少	10.0以下

1980年に出されたJECFIの結論は、その後、スウェーデン、フランス、デンマーク、英国、アメリカ合衆国など多くの国で独自に実施された健全性評価によって追認されている。また、ECの食品科学委員会(Scientific Committee on Food)も入手可能なデータを用いて評価を実施している。これらのすべての評価結果は、JECFIの1980年の結論と同様の結論に達している。またJECFIの結論は多くの国における照射食品の許可の根拠に用いられ、さらに、JECFIの結論をうけた1983年と1984年の「照射食品に関する国際一般規格」および「食品処理のための照射施設の運転に関する国際基準」のコーデックス委員会における採択は、世界規模での照射食品の受容推進のための制度的な裏づけとなっている。

1-1-4 WHOの健全性に関する再評価(1992年)

1980年のJECFIの決定、1984年のコーデックス規格基準の採択以降、FAOとWHOは食品照射の実用化を加盟国に勧告したが、少なからぬ数の消費者団体が、食品照射に不安を訴え、反対をしてきた。国際機関はこれらに反論をしているが、照射食品に関する不安は解消されなかった。1992年にWHOメンバーの1つであるオーストラリアからの要望に応じ、WHOに専門委員会を設置して1980年以降の新しい研究デー

タと、それ以前の古い研究も考慮した新たな評価が実施された。ここでは特に、反対運動の議論となっている報告を注意深く取り上げ、米国政府機関(食品医薬品庁:FDAや米国農務省:USDA)およびドイツ連邦栄養研究所の照射食品に関する研究データベースから入手したデータの再評価を実施した。この評価結果は、"Safety and nutritional adequacy of irradiated food. WHO, Geneva."(日本語版「照射食品の安全性と栄養適性」コープ出版、1996年)として1994年にWHOから出版された⁶⁾。

この報告書では、特に毒性学的な観点に重点がおかれ、過去にFDAがデータベースを用いておこなった評価において採用(留保付き採用を含む)された試験とその影響を記述した表を掲載している。そして、この中で、照射の悪影響が認められたと報告された試験については、WHOの専門家委員会の解釈が示され、なぜ、その影響が観測されたかを解説した上で、ほとんどすべての場合において、それが真に照射による悪影響を示すものとは認められないという判断が下されている。結果的に、WHOの専門家委員会は、FDAの毒性研究データベースでは照射処理による毒性学的な悪影響は示されていないと結論している。さらに、このFDAが扱った毒性データベースにおける試験では、ヒトの食餌中に含まれると期待される、より高濃度の放射線分解生成物を含む餌が動物に与えられていることから、WHOの専門家委員会は、これらが毒性試験として適正な感度を有しているとも結論している。

この1992年報告の総合的な結論は次のようにまとめられている。

確立したGMP(適正製造規範)に則って、照射された食品は、以下に述べる3点から安全で栄養学的にも適合性があると考えられる。

- ・ 照射処理は、毒性学的な見地から、人間の健康に有害な影響を及ぼすような食品成分の 変化をもたらさない。
- ・ 照射処理は、消費者への微生物学的危険性を増大するような食品中の微生物叢の変化を もたらさない。
- ・ 照射処理は、個人および集団の栄養状態を悪化させるほどの栄養素の損失をもたらさない。

1-1-5 高線量(10kGy以上)を照射した食品の健全性

FAO/IAEA/WHOの合同研究グループは、1997年にジュネーブで会合を開き、10kGy 以上照射した食品の健全性を評価するために、毒性学的、微生物学的、栄養学的および、放射線化学および物理学的な点に関するデータのレヴューを実施した。この結果はWHOから1999年に出版された7)。ここでも、数多くの毒性試験についての結果

が膨大な表にまとめられている。そして、観察された悪影響のほとんどに関しては、与えられた餌や栄養が原因で、それが照射に起因するものではないと説明されている。また、いくつかのケースにおいては、観察された悪影響がその後に行われた追試験で再確認されていないことを指摘している。

そして、この合同研究グループは、次の2点を強調した。

- ・ 食品の処理技術の中で毒性学的な検討がもっとも実施されているのは、おそらく食品照射である。
- ・ 発ガン性試験のためのバイオアッセイや何世代にも渡る繁殖試験を含む非常に多くの毒性 試験結果は、照射に関連するいかなる急性および慢性毒性の存在も示さない。

そこで、最終的に以下の結論に到達した。

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。

そして、科学的な見地から、**食品照射の線量について10kGy 以上を超えても上限を設ける必要がない**と勧告している。これは、1980年のJECFIの結論や1983年に採択されたコーデックス規格の線量上限の考え方を転換するものである。ただし、ここでの考え方の重要なポイントは、"照射によって達成する目的にかなう適正線量"と記述されている点である。この適正な線量を、たとえば風味などの食品としての価値をとどめながら有害な微生物を殺滅できる線量と捉えれば、技術的な面で利用可能な線量と食品の種類にはおのずと限界が存在すると解釈される。

実質的同等性(substantial equivalence)

この研究グループの結論では、照射処理を通常の加熱処理や缶詰加工と同等の処理とみなし、食品中の生物学的な危害(病原微生物等)は低減するが、新たに何らかの危害要因となるような物理的あるいは化学的なものを生成することはないとしている。そして、集められた豊富なデータは、高線量照射された食品には、測定可能な誘導放射能レベルの上昇や非照射の食品と区別されるような特徴的な放射線分解生成物が有意なレベルで含まれていることはほとんどないことを示し、これらが食品中に生成しうる量は大変少なく、最大限に見積もっても毒性学的な影響はないと考えている。そこで照射食品の評価において、実質的同等性(substantial equivalence)の概念を導入することがより適切であり、高線量照射した食品は、人間が数世紀にわたって食べてきた加熱処理食品と同等に安全であると述べている。

1-1-6 コーデックス国際食品規格

1980年のJECFIの結論を反映し、1983年のコーデックス委員会総会(CA C)においてコーデックス照射食品に関する一般規格(Codex General Standard for Irradiated Foods) および食品処理のための照射施設の運転に関する国際基準 (Codex Recommended International Code of Practice for Operation of Radiation Facilities Used for the Treatment of Food) 8) が採択された。この規格基準は、1997年に出された高線量照射に関するFAO/IA EA/WHOの合同研究グループの結論を受けて改定が提案された。この改定案の討議過 程において、本報告書の2章の項で取り上げる、2-アルキルシクロブタノン類の安全性に 関する疑問が論争を巻き起こし、線量の10kGy の上限撤廃について反対の意見が提出され た。最終的には、線量に関して、"すべての食品に関して最低線量は、技術上の目的を達 成するのに十分な量とし、最大線量は、消費者の安全性と健全性を損なわない量、あるい は食品の構造、機能性あるいは官能的特性に悪影響をもたらすかもしれない線量よりも低 くすべきである。"という前書きに続き、"最高吸収線量は、正当な技術的目的を達成するの に必要とされる場合を除き10kGy を超えてはならない。"という表現が採用された。そして2 003年のCACにおいて「照射食品に関する一般規格」⁹⁾と「食品処理のための照射施 設の運転に関する国際基準」の改定が採択された。なお、後者はタイトルも変更され「コ ーデックス食品の放射線処理に関する国際規範(Codex Recommended International Code of Practice for Radiation Processing of Food) 」と改められた¹⁰⁾。

1-2 ヨーロッパ共同体における放射線照射食品の安全性評価

1986年の評価

1986年にヨーロッパ共同体の食品科学委員会 (Scientific Committee on Food: SCF) は、欧州委員会が適切に照射した食品の健全性についての助言を求めたのに応じ、1950年以降1985年までに入手可能なデータの評価を実施した。その結果、10kGy までの線量を照射した食品の安全性評価について動物を使用した飼育試験は必要ないという見解に達し、1980年のJECFIの結論を支持した。ここでは、照射食品の健康に直接関係する毒性および栄養学的性質ばかりでなく、存在している可能性のある病原菌または腐敗菌についての検討 (微生物学的安全性)、化学的な変化(放射線分解生成物の生成量)の観点での考察がなされている。さらに、食品の照射処理における効果と適正線量、照射の工程管理、検知法といった技術的な問題も扱われ、これらの評価結果は1987年に出版された報告書にまとめられている¹¹⁾。

この報告書では、放射線分解生成物について次のように考察している。照射に伴う化学変化には種々の条件が影響するが、生成する多くの化学物質の最大量は予想することができる。放射線化学的な変化を抑制するように注意し、照射食品の成分と照射条件が明らかな場合、放射線処理で生成する個々の生成物の量は ppm のレベルであると考えられる。照射された肉から検出される多くの揮発性物質の90%は他の処理法(加熱など)でも存在すると判断される。放射線化学の理論に基づく計算では、1kGy 照射した肉に生成する特異な揮発性物質(非照射食品中に検出されない成分)の総量は3ppm レベルであり、実際の食品中では1ppmにもならないと推察される。

毒性学的および栄養学的な評価では、食品別にデータの考察が行われたが、毒性学的な評価においては、過去の評価で疑問が想起された変異原性試験の結果とトリグリセリドを構成する不飽和脂肪酸の照射に由来する化合物(過酸化物、不飽和アルデヒド、マロンアルデヒドなど)の毒性について、特別の関心が払われた。そして、これらの問題は高線量を単純な食品成分に照射した際に観測される感度のものであり、技術的に適正な線量で照射された食品においては認められていないと結論づけている。

SCFの評価委員会は全ての健全性試験の評価結果を総括し、毒性学的、化学的、微生物学そして技術的にも正当であると考えられる、特定の照射線量と食品の類別を提案した(表 1-2-1)。

なお、1986年の評価では高線量照射食品は商業的に応用される可能性がないとの理由で、10kGy 以上の滅菌の目的で処理した食品類(例えば牛肉や食鳥類)のデータに関する考察は実施していない。また、食品添加物と包装材の照射については特に考察を行っていない。

表 1-2-1 1986年に容認された食品の分類と照射線量(ヨーロッパ共同体食品科学委員会)

 食品の類別	総平均線量	(kGy)
1. 果実	2.0まで	
2. 野菜	1.0まで	
3. 穀類	1.0まで	
4. 澱粉質根茎野菜	0.2まで	
5. 香辛料および調味料	10.0まで	
6. 魚および貝類	3.0まで	
7. 生鮮肉	2.0まで	
8. 食鳥肉	7.0まで	

その後、EUのSCFは、1992年に生乳を原料とするカマンベールチーズの微生物 叢の制御叢、特にリステリアの制御のための照射(2.5kGy) 12)を、1998年にカエルの脚(5kGy)、エビ(5kGy)、アラビアガム(3kGy)、カゼイン(6kGy)、卵白(3kGy)、穀物フレーク(10kGy)、米粉(4kGy)、乾燥血液および製品(5kGy) 13)の8品目の照射を好ましいとする意見を表明している。ただし、これらの照射に対する好意的な意見とは相反し、1999年に合意されたEUの照射食品に関する統一規制(EC 指令1999/2/EC および1999/3/EC)では、EUで共通する唯一の許可品目として、乾燥ハーブ・スパイス、野菜調味料類がリストアップされるに止まった。

2003年の再評価

2003年4月、SCFは、1986年の照射食品に関する評価結果に関し、以降の研究発展に照らした見直しを行った結果を報告した $^{14)}$ 。これは、1997年のWHOの高線量照射に関する評価、1999年のEC指令の合意などの状況変化から欧州委員会が発した次の2点の疑問に対する助言を与えるためであった。

- (1) 特定の食品の照射に関して線量の上限を決めることが適切かどうか。
- (2) それぞれの食品に対して以下の観点を考慮した個別の評価を実施することが適切かどうか。
 - ・消費者の健康に対する照射食品の安全性
 - ・技術的な必要性
 - ・適正衛生規範や適正農業規範(GAP)の代替とされないこと
 - ・高線量照射のための条件を指定する必要性

結論から述べると、この評価では1986年の評価結果を再確認しているが、1994年および1997年のWHO専門家委員会が勧告した「いかなる線量を照射したいかなる食品も安全である」という見解は受け入れず、食品を類別して最大線量を決めておくのは正当なことであり、各照射食品については引き続き技術的な必要性と安全性について個々に調べる必要があるとの見解を示した。また、委員会は現存する毒性学的なデータベースから得られた安全性と健全性の観点から、照射食品を生産する10kGyの上限を変更するのは困難であると判断した。

SCFは、この報告において、照射食品の毒性学的安全性に対して否定的な証拠を示す新たなデータの存在を認めていない。また、10kGy 以上の照射食品の人間による臨床的な研究で、照射食品の消費による異常が認められないことにも言及している。さらに、10kGy 以上の照射食品の微生物の問題は他の滅菌しない照射食品の場合と同じであり、照射による健康被害は生じないとの判断を示している。しかしながら、上記のような結論に到達した理由として以下の点を指摘している。

- ・線量が10kGy 以下の照射食品についての毒性学的、栄養学的データベースは、1980年のJECFIや1986年のEU食品科学委員会の報告と比べて著しい発展が見られないため、現時点で以前の見解を変えず、1986年に示した各食品の照射線量と類別を受け入れるべきである。
- ・多くの研究は、ヨーロッパや西洋の食品についての安全性を確認したものであり、欧米で用いられない食品加工工程で利用される食品成分についての照射後の成分組成や毒性のデータが得られていない。したがって、SCFは、1994年および1997年のWHO専門家委員会が勧告した「いかなる線量を照射したいかなる食品も安全である」という見解は受け入れられない。
- ・ 10kGy 以上の線量を照射した食品においては、食品の安全性を評価する上で許容できる 食味条件の確立、放射線分解生成物の低減、放射線による化学反応機構の解明のための 放射線化学の研究が続けられるべきである。
- ・ 10kGy 以上の照射食品については、限られた毒性試験しか行われておらず、極低温凍結下で10kGy 以上照射された即席食品についての毒性試験のデータは提供されていない。

委員会としては今後、10kGy 以上照射された食品の安全性と健全性を証明する適正なデータベースが得られるならば、現在の立場を再考するであろうとの見解を示している。

高線量照射の現時点での必要性については、乾燥芳香性ハーブ、香辛料、野菜調味料類のみが衛生的な観点から30kGy までの照射が技術的に必要であると委員会は認めている。

なお、ここでは放射線特異的分解生成物の2-アルキルシクロブタノン遺伝毒性試験に言及しているが、これまでに実施された試験法だけから遺伝毒性を証明できないこと、サル

モネラを使った突然変異試験の結果がネガティブであること、2-アルキルシクロブタノン を含む高線量照射した鶏肉の長期給餌試験で影響が見られないこと、を述べている。

1-3 英国における放射線照射食品の安全性評価

英国では1967年につくられた規制で、食品の放射線処理と輸入も含めた照射食品の流通(輸入も含む)を実質的に禁止した。その後、この規制の例外適用について検討するため食品照射諮問委員会を設立して、例外適用の条件に関する一般的な指針が作成された。1969年には、治療用として無菌食を必要とする患者に対して食品照射が許可された。

1980年代になって、JECFIの結論や諸外国の動向、食品産業界の意向が考慮され、英国厚生相と農業相は食品照射の再調査の必要性を認識した。そこで1982年に前述の委員会を改組し、産業界や政府とは無関係の食品照射関連の専門家からなる照射食品および新規食品に関する諮問委員会 (Adversary Committee on Irradiated and Novel Food: ACINF)が設立された。ACINFには照射食品のすべての事項に関する助言が求められたため、誘導放射能(国立放射線防護委員会)、微生物学(食品の微生物汚染の害に関する常任委員会)、毒性学(食品、消費物資、環境中の化学物質の毒性に関する委員会)、栄養学(新規食品に関する常任委員会)および表示(食品諮問委員会)に関する検討を各委員会に付託し、その結果をうけて1986年に "Report on the Safety and Wholesomeness of irradiated Food"を取りまとめた¹⁵⁾。

この報告書における助言の要旨を以下にまとめる。

- 1. 最大許容線量 平均10kGy の電離放射線を適性照射された食品は、安全で、食品照射はシェルフライフの延長、病原菌や腐敗菌の殺滅による衛生化、薬剤殺虫の代替処理という目的を達成できる。
- 2. コバルト60およびセシウム137のガンマ線、5MeV までのエックス線、10 MeV までの電子線を照射に利用できる。
- 3.1980年のFAO/IAEA/WHO合同委員会(JECFI)の結論、すなわち 平均線量10kGy までは毒性の発現、栄養学的または微生物学的な問題が生じないことを 支持する。
- 4. 食品照射の実施にあたっては、最近勧告された「コーデックス照射食品に関する一般 規格」(照射済みの表示の問題を除く)と「食品処理のための照射施設の運転に関する 国際基準」に準じた規制の整備が必要である。特に食品照射の一連の各プロセスおよび 照射後一定期間は、食品に対して照射の条件等を記載した証明書の添付が必要である。
- 5. 食品照射の許可が成立した場合、照射食品の消費、流通パターンを調査解析する手法 を開発、実施する必要がある。(それらのデータを用いて、予測不能な栄養学的な現象 の検出や起こりうるかもしれない照射食品内での新たな毒性発現の恐れについて考慮 することは重要である。)

- 6. 照射食品の小売に際しての表示に対し、広範な問題を考慮して消費者への周知の目的 で、以下の項目を勧告する。
 - a. 照射食品そのものや照射された成分を含む食品のすべてに対して照射方法および 照射済みであることを一定の方法で表示する。
 - b. 上に述べた表示およびそれを表す証明書は食品加工過程のすべてにわたって保持 されなくてはならないことを規則で定める。
- 7. この勧告は10kGy 以上の過剰照射が食品の安全性を損なうことを示唆するものではない。現時点では高線量照射に関するデータが不十分なので確固たる結論を出すのを控えているのである。高線量の食品照射が万一必要となった場合には、あらためて安全性、健全性の再評価を行う必要がある。

この報告を受けて1989年末に英国では、食品照射の原則禁止を決定、1991年に 食品照射に関する基準・規制を制定し¹⁶⁾¹⁷⁾果実、穀類香辛料等への照射を許可した(表1-3-1)。

表 1-3-1 英国における許可品目

食品名	許可線量	許可年月日
病人食		1969. 12. 01
果実(トマト、キノコ、大黄を含む)	2kGy 以下	1991.01.01
野菜(豆類を含む)	1kGy 以下	1991.01.01
穀類	1kGy 以下	1991.01.01
根菜類(バレイショ、タマネギ、ヤム	0.2kGy 以下	1991.01.01
ガーリック、シャッロット)		
香辛料、乾燥調味料	10kGy 以下	1991.01.01
魚介類	3kGy 以下	1991.01.01
食鳥肉(鶏、ガチョウ、アヒル、	7kGy 以下	1991.02.13
ホロホロドリ、ハト、ウズラ、		
七面鳥)		

(この許可リストは、EUの統一基準における許可リストが完成されれば失効する予定である)

1-4 米国食品医薬品庁 (FDA) の放射線照射食品の安全性評価

1-4-1 米国における規制

米国では、1958年に連邦食品医薬品化粧品法(FD&CAct)を改正し、放射線処理を食品添加物として定義した 18 。この考え方は現在も継続されており、食品に対する放射線照射の許可手続きは、新たな食品添加物の使用を求めるのと同様に、現行基準 $\lceil 21$ CFR179: Irradiation in the Production, Processing and Handling of Food(食品製造・加工・出荷における放射線照射) \rfloor 19 に対して、安全性を証明するデータを添えた変更申請書を提出することで開始される。

この変更提案は、食品製造業者や放射線照射会社からだけではなく、FDA自身のイニシアティブで実施される場合もある。いずれの場合においても、その内容が米国官報

(Federal Register) に公告されてパブリックコメントの募集が行われる。審議の結果、規制 改定がFDAにより決定されると、規制改正案が安全性評価結果やパブリックコメントへ の回答とともに米国官報に掲載されるため、米国官報の内容は、米国の安全性評価に関す る資料として非常に重要である。

現在の規制、21CFR179 のセクションでは、紫外線、マイクロウエーブなどの電磁波の食品の使用についても定めている(つまりこれらも食品添加物として扱われている)。そのうち、21CFR179.26 では、食品照射(電離放射線の使用)についての線源、線量と品目、表示などの条件が既定されている。また、21CFR179.45 には、照射に用いる容器包装に関する規制が定められている。現行の許可品目とその線量を表 1-4-1 に示す。

食品	目的	線量(kGy)	許可年月日	参照 (官報)
豚肉(生)	Trichinella spiralis(寄生虫)	0.3 kGy (最低)	1985. 07. 12	50FR15415 ²⁰⁾
	抑制	1 kGy (最高)		
青果物	成長、成熟抑制	1 kGy (最高)	1986.04.18	51FR13376 21)
全食品	殺虫	1 kGy (最高)	1986.04.18	
酵素製剤	殺菌	10 kGy (最高)	1986.04.18	
乾燥香辛料 / 調味料	殺菌	30 kGy (最高)	1986.04.18	
食鳥肉	病原菌制御	3 kGy (最高)	1990.05.02	55FR18538 ²²⁾
冷凍肉(NASA 宇宙食)	滅菌	44 kGy (最高)	1995. 03. 08	60FR12669 ²³
赤身肉(冷蔵)	病原菌制御	4.5 kGy (最高)	1997.03.12	62FR64107 ²⁴⁾
赤身肉 (冷凍)	病原菌制御	7.0 kGy (最高)	1997. 03. 12	
卵 (殼付)	病原菌制御	3.0 kGy (最高)	2000.07.21	65FR45280 ²⁵⁾
もやし用種子	病原菌制御	8.0 kGy (最高)	2000.10.30	65FR64605 ²⁶⁾

表 1-4-1 現在 FDAによって照射が許可されている食品とその線量

米国においては、1960年代から小麦、バレイショおよびベーコンの照射が許可された。その後FDAが食品添加物試験用のより厳格な必要条件を開発したが、ベーコンの評価に用いられた動物実験がこの条件を満足できず、1968年にその許可が取り消された。その後、1980年代前半までに、個別の申請に基づいて香辛料の許可などが追加された。FDAはそれらの品目の許可と並行して、照射食品の安全性についての体系的評価と規則の再編成を実施し、1986年に、照射食品の規制を現行の21CFR179.26に移行してその整備を行うとともに、新たに確立した評価基準に基づいて1kGyまでの青果物(成熟遅延、発芽防止など)および全食品(殺虫)の照射、殺菌を目的とした10kGyまでの酵素製剤および30kGyまでの香辛料の照射を許可した210。この評価基準と基になる考え方については次項で述べる。

その後の許可品目としては、1990年には米国農務省食品安全検査局(FSIS)の申請による食鳥肉が、1997年には照射会社の申請による赤身肉、2000年には卵ともやし用種子の照射が追加された。米国官報(Federal Register)には、新たな許可に際しての安全性評価の結果だけでなく、既に許可されている照射食品の安全性に疑問が寄せられた場合、その食品の安全性を再評価し、疑問を呈するコメントに回答した結果が公表されている。1988年には、1985年の豚肉の繊毛虫の防除の許可および1986年の許可(一括規則)に対する異議申し立てに対する回答と規則の改定²⁷⁾、1997年には、照射鶏肉の安全性に対する異議申し立てに対する再評価結果と回答²⁸⁾を公表している。なお、FDAの照射食品に対する規制の概略と安全性評価に関する姿勢が、食品安全・応用栄養学センター(CFSAN)の食品照射規制担当者、George Pauli によりFDAのウエッブサイトにわかりやすく紹介されている。この文書は、公式文書ではないが、FDAの考え方を理解する助けとして別冊資料集Iに収蔵した²⁹⁾。

1-4-2 米国における安全性評価の考え方

米国では他の政府機関と同様、照射食品の安全性評価において、放射線化学的評価、毒性学的安全性評価、栄養学的評価および微生物学的安全性を考慮に入れている。

初期段階での毒性学的評価では、安全係数や最大無作用量を考慮した食品添加物の毒性学的評価法を、照射食品に適用したことで問題が生じた。なぜなら、殺菌の目的で照射処理された食品は食事の大部分を占めるため、その摂取試験において、例えば安全係数の100倍を用いることは不可能で、食餌中の照射食品の含有量を増加させた場合には、栄養学的な悪影響を起こして、多くの混餌試験の結果を混乱させた。その後、放射線化学的な知見も蓄積されたため、これも加味した上での適切な毒性学的試験の評価法に関する検討が、FDAの要請により1980年代の初めまでに実施された。

その結果は1986年にFDAが行った規制改正時の安全性評価において採用されてお

り、それを公告する官報 $^{(21)}$ に、この時点までにFDAが照射食品の安全性評価方法を確立するために実施した作業の経過が詳しく紹介されている。

(1) BFIFCの勧告

1979年、FDAは照射食品の安全性評価に用いる毒性試験の要綱を検討するために委員会 (照射食品委員会資料事務所, Bureau of Foods Irradiated Food Committee: BFIFC) を設立した。BFIFCは放射線分解生成物の性質、摂取量、人への暴露レベル、最先端の有毒性検査の検出感度を考慮し、諸機関に対して決議指導すべき勧告内容を1980年にまとめた 300。

- *BFIFCは照射食品のヒトの摂取量について、最大全食餌の40%は照射しうるが、 実際に人間が食べるのは食餌の10%は越えないものだろうということを示した。
- *また、BFIFCは、放射線分解生成物について次のように考えた。
 - 1)食品を1kGy 照射した場合の全放射線分解生成物は約30ppm程度の収率と推定される。

収率(ミリモル/kg) = 線量(krad) × G値 × 10⁻³
ここで、G値の平均を1、食品成分の平均分子量を 300として 1kGyでの収率=30mg/kg食品 =30ppm

- 2) このうち、非照射食品には見出されない特異的放射線分解生成物 (URP) は全放射線分解生成物の10%、即ち3ppm、さらにそのうち単一のURP濃度は1ppm以下と推定される。
- 3)食品中で 0.01 %を超えないような少量の成分は、50kGy まで照射しても、上記の考え方を適用して、(人間が摂取する URP はわずかであり)安全であると考える。
- *さらに、1kGy 以下の照射食品について、従来の投与量と影響の相関関係から安全性を 判断する毒性試験方法では、照射食品中の有毒な放射線分解生成物の濃度や潜在的な URPの濃度があまりに低いために、毒性学的に意味のある解答を与えるとは期待で きないと判断した。

これらの見解に基づいて、BFIFCは照射食品の安全性試験の基準について以下の結論に達し、照射食品の安全性を判断する手順として、通称決定樹(Decision Tree)と呼ばれる図を提示した(図 1-4-1)。

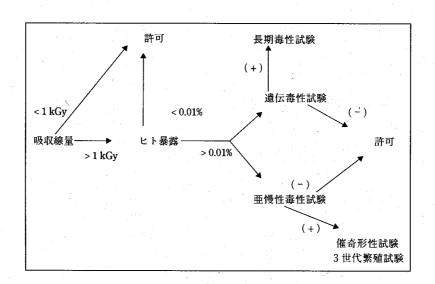


図 1-4-1 FDAの照射食品の安全性に対する判断基準 文献 30) より作成

- ・1kGy 以下で照射した食品は、国民が摂取しても健康上の問題はない。
- ・1 kGy を超えて照射した食品でも食事に占める割合が 0.01%以下であれば、国民が 摂取しても健康上の問題はない、
- ・1 kGy を超えて照射した食品で食事に占める割合が 0.01%を超える場合、遺伝的試験と亜慢性試験を行い、有害な結果が得られなければ、国民が摂取しても健康上問題はない。

この決定樹に従うと、摂取量の多い 1 kGy 以上の線量を照射される食品については、遺伝毒性と亜慢性試験の実施が要求され、その結果、異常が見つかれば、長期試験(哺乳動物を用いた慢性毒性試験)、動物試験(催奇形性試験、3世代繁殖試験)による判断が必要とされる。

(2) FDAの作業班 (Task Group) の毒性試験データ分析

1980年のBFIFCの報告書をうけて、1981年にFDAは放射線処理した食品に関して利用できる毒性学的データの全てを調査するために、照射食品作業班 (Irradiated Food Task Group) を設置した。この Task Group は収集した毒性学データの要約、分析を実施した。この内容については、前述のWHOの1994年のレポート 6) にも詳細に触れられている。

データ調査は3段階を踏んで進められた。第1段階では、全ての毒性学的研究の存在をFDAの整理記録および公開図書館で確認した。第2段階では、こうした研究のうちの441通をコピーして要約し、さらに次の3つのカテゴリーに区分けした。

(1) "受理"、はじめの検討で、十分完全に思われたもの。(2) "留保付き受理"、最初の検討で異論ないようにみえたが、そのデータの解釈を妨げるような相当の欠陥があったもの。(3) "棄却"、実験計画、データのとり方が適切でなく、本質的な評価ができないほど食餌に問題があったりするもの。第3の段階では、副作用の可能性に関し問題を提起したり、照射食品が安全であるという結論に対する証拠を示すような69通の研究を詳細に調べて報告した。

全てのデータの検討に基づき、作業班は照射食品に関する研究は、毒性学的副作用を示していないものと結論した。ただし、今後の安全性評価については次の見解を示した。³¹⁾

- ・ 1kGy 以下の線量を照射した食品に対しては、毒性学的試験によって証明できる安全性 の信頼度に限界があり、意味のある答を得ることはできない。よって、作業班はBFI FCの結論に同意し、1kGy 以下の照射食品に対して毒性試験は不必要であると考える。
- 1kGy より多い線量を照射した食品すべての安全性を評価するためには、収集データだけでは不十分であると結論し、大量に消費されている照射殺菌食品の承認要請は、行政がケースバイケースで判断するよう勧告する。

FDAは、1986年の規制改正において、以上2つの組織の結論に同意し、1kGy (100krad) を越えない線量で照射した食品は、人間の消費に対し安全であると結論した。このような照射食品中に存在する放射線分解生成物の毒性学的性質は試験で測定することはできないから、このレベルの放射線利用では、毒性試験の要求から除外されるべきものとした。また、30kGy まで照射した植物由来の香辛料、ハーブ類についても、その摂取量がわずかであることから毒性試験を実施しなくても安全との判断をしている。

決定樹はあくまでも勧告という位置づけにあり、これを基にした評価方法が法的な裏付けを持っているわけではない。1994年にWHOが、信頼に足る動物給餌実験を個々にではなく全体的に考察する委員会レポートを発行すると、FDAは照射食品の安全評価に同様のアプローチを取る事にし、赤身肉の許可にあたっては、鶏肉や他の生鮮食品に関する毒性学的評価データも考慮に入れた判断を実施している。

1-4-3 個別食品に対する評価の経緯

今回の調査では、文献収集のためFDAの照射食品の規制担当者と面会し、同時に、主な照射食品、香辛料、食鳥肉、赤身肉の安全性評価の根拠に対する質問をした。回答の要点を表1-4-2 にまとめた。さらに、米国官報にある内容も含めて、評価の経緯を示す。

表1-4-2 FDAが許可している主な照射食品の安全性評価の根拠

品目	評価に用いた根拠	
香辛料	BFIFCの勧告(摂取量の少ない食品については50kGy	
√	まで安全とする)に従った。	
食鳥肉	FDAが入手していた既存の個々の研究に関するレヴュ	
	ーに基づく(鶏肉を用いた混餌試験、遺伝毒性試験等)	
赤身肉	WHOの1994年のレポート(1992年の協議によ	
	る) によった。	

(1) 香辛料

FDAは1983年に申請に基づいて、リストアップした品目の各スパイスについての10kGy までの照射を認可した。1986年の規制改正は、規制を変更した方が効果的とのFDA自身の判断によって実施され、30kGy までの香辛料・調味料類(正確な表現では、乾燥または脱水した芳香性の植物性物質)の照射が許可された。

この時の判断根拠は、FDAが1980年のBFIFCのレポートの結論、"乾燥していて摂取量の少ない食品については50kGy まで、またあらゆる食品に1kGy までの照射をした場合、動物実験などをしなくとも毒性学的に安全である"を受け入れたことによる。FDAは、毒性学的観点だけでなく、これらの植物性芳香性物質が、主たる栄養の摂取源とは認められないことから、これらの食品を照射してもヒトが摂取する上で、栄養学的な損失が認められないとの判断も示している。なお、線量の上限については、安全性は50kGyまで保証されるが、30kGyを越える照射をスパイスに対して行うことについて業界の興味がほとんどなかったことから、FDAは30kGyの上限を設けた。

FDAは、全てのスパイスの照射が実施された場合の摂取量の合計が、決定樹に示された全食品摂取量の 0.01%以下になることを厳密に証明した訳ではない。BFIFCの判断基準は勧告であり、この 0.01%という数字に対する大小の判断が、照射食品の安全性評価において法律的に求められている訳ではない。1986年の最終規則の決定において、FDAはむしろ、照射される可能性があるスパイス類の1日摂取量の合計は、食事の 0.01%を上回る可能性があることを認めている。その上で、異種の香辛料から照射によって生成する分解物の種類はおそらく異なっており、照射処理された香辛料、調味料類から摂取される照射による分解生成物の量が少なく、安全と判断されると述べている。

(2) 食鳥肉 (Poultly)

1990年に、サルモネラ対策として食鳥肉の照射が許可された。この申請は Radiation

Technology Inc.および米国農務省食品安全検査局(FSIS)による申請に対する対応としてとられた措置である。

FDAは、この時の安全性評価に際して、鶏肉を用いた毒性試験データに基づいて評価した。この時用いられた主要な毒性試験データは、申請者から提出された、カナダのBio-Research Laboratories for Atomic Energy of Canada, Ltd.が実施したマウスの80週間発癌性試験、オランダの Centraal Instituut Voor Voedingsonderzoek (CIVO)で実施された3つの混餌試験(ラットの多世代試験、ラットの慢性試験、ビーグル犬の1年間の毒性試験)である。FDAはこれらのデータが照射鶏肉の毒性学的な安全性を証明していると判断した。さらに、FDAの側から、ラルテック科学サービスが実施した59kGy 照射した鶏肉の混餌試験(2章参照)、ドイツの連邦栄養研究所で実施した鶏肉の遺伝毒性試験を挙げ、いずれのデータも3kGy の食鳥肉の照射許可するための判断において毒性学的安全性を立証していると評価した。

(3) 赤身肉 (red meat)

1997年12月FDAは委託照射会社、イソメディック社の申請に対応して、赤身肉の照射を許可した。この評価において、FDAは、放射線分解生成物に関しては化学的な共通性があり、特定の生鮮食品に関する安全性評価において種々の条件で放射線処理した全生鮮食品のデータを検討することは妥当であると判断し、ケミクリアランスの概念を強調している。

FDAはまず、1981年のTask Group の毒性データ分析で採用したビーフシチューと 濃縮ミルクを給餌したラットの試験、および、1990年の鶏肉照射の評価根拠に用いた 3つの動物給餌試験の結果が、過去における照射生鮮食品の安全性を立証するものとして 存在することを指摘した。次にWHOが1992年に健全性の再評価を実施した際、FD AのTask Groupが扱った全てのデータ、USDAがまとめたラルテックの鶏肉試験のデータ、 ドイツ連邦栄養研究所が有する全てのデータベースを総合的に評価したことから、FDA はこのWHOの再評価作業が、毒性学的な評価として十分な感度を有した信頼性の高いも のと認められることを指摘した。その上で、申請された照射赤身肉の毒性学的安全性評価 においては、以前のFDAの評価とWHOの再評価で扱ったデータベースを改めて吟味し、 許可条件における照射肉の安全性を証明するに足る動物混餌試験や遺伝毒性試験の結果が 存在すると結論した。FDAは1997年の官報24)の中で、具体的な試験の例を挙げている。 その際、過去に問題点を指摘されたいくつかの試験の解釈も述べた。赤身肉の照射を実施 した場合の栄養学的考察では、特にチアミンに対する影響を詳細に分析し、放射線処理が 食物からのチアミン摂取量に影響を及ぼさないと結論した。微生物学的検討においては、 生存微生物の増殖パターンにおいて、特にボツリヌス菌の増殖に注目した分析を実施し、 この菌も含め放射線照射が微生物学的ハザードをもたらさないと結論した。

1-5 カナダにおける放射線照射食品の評価

現在の規制と許可要件、評価項目

カナダでは、1960年代にいくつかの食品への照射を許可した。その後カナダ厚生省(現保健省)は、1983年7月28日付けのインフォーメーションレター 651号において、食品照射を食品添加物から食品処理としての取り扱いに変更し規制強化する提案を行った。また同時に、JECFIによる10kGy以下の照射食品の健全性の見解を受け、新しい適用の許可申請の際の健全性試験を10kGy以下の場合に免除することも提案をされた。1988年にこの提案に対するパブリックコメントへの回答と審議の結果に基づく改正規制案をインフォーメーションレター 746号 32 20 として公表し、1989年に物理処理としての新しい規制が食品・薬品規制法の中に定められた。

カナダの照射食品の規制 Division 26 of Food and Drug Act and Regulation 33) には、許可品目および照射条件、目的と線量を記載したリストが掲載されている。この表への食品の追加や変更には以下要件を含む提案を必要とすることが、同規制に定められている。

- (a) 電離放射線の種類、頻度および最小および最大線量を含む、照射の目的および詳細
- (b) 申請された電離放射線の最小線量が照射の目的を達成し、また、最大線量は目的を達成するのに必要な量を超えないことを示すデータ。
- (c) 使用された線量計の性質に関する資料と、食品中での線量測定頻度、線量測定の結果が食品中の吸収線量を正しく反映していることを保証するデータ
- (d) 効果を示すデータ。もしあれば、申請された照射条件や照射と他のプロセスを組み合わせた場合における、生および調理後の食品の栄養学的品質に関するデータ。
- (e) 照射食品が、人間の消費に不適切となるような化学的、物理的な特性あるいは微生物学的 な著しい性質変化を起こしていないことを保証するデータ
- (f) 局長が要求するところで、提案された照射条件の下で安全であると確証するデータ
- (g) 照射食品に対して推奨される時間、温度および包装を含む貯蔵、輸送の条件、また非照射 の同一食品に対して推奨される貯蔵輸送条件との比較
- (h) 申請された照射の前後で、食品に適用される他の処理の詳細。
- (i) 照射食品の消費者および購入者が、その特徴、価値、成分、利益あるいは安全性に関して 偽られたり誤解を生じたりしないために局長が要求するデータ。

カナダ保健省は、10kGy以下を照射した食品に対して、毒性学上の危険はないことは大筋で認めており、追加または新しい毒性試験が必要であるかどうかはその申請内容をケースバイケースで吟味して決定する。そこで、規制中の許可(変更)申請に必要な要件については、上記の(f)の項目の記述を採用した。このように、照射食品の安全性評価はWHOなど国際機関の見解を尊重しつつも独自の評価基準で実施すると言う立場をとっている。

現行の規制における許可品目は表1-5-1の通りである。

カラムI カラムII カラムIII カラムIV 項目 食品 電離放射線における許可線源 処理の目的 許可吸収線量 バレイショ コバルト60 貯蔵中の発芽防止 最大 0.15 kGy 1. (Solanum tuberosum L.) タマネギ コバルト60 貯蔵中の発芽防止 最大 0.15 kGy 2. (Allium cepa) 小麦、小麦粉、 コバルト60 貯蔵された食品中の 最大 0.75 kGy 3. 小麦全粒粉 害虫の繁殖抑制 (Triticum sp.) 粒状もしくは コバルト60、セシウム137、 微生物数の低減 最大 10 kGy 粉末香辛料および 加速器からの電子線 (平均総線量) 4. 乾燥調味料等 (最大 3 MeV)

表1-5-1 カナダ保健省が現在放射線照射が許可している品目と吸収線量

*許可年月日: 1.1960年11月9日, 2.1965年3月25日, 3.1969年2月25日, 4.1984年10月3日

新たな申請に対する評価

カナダ保健省は新たに、食鳥肉(生および冷凍)、牛肉(生および冷凍)エビ(生、冷凍、乾燥、加工品)、マンゴの4つの食品についての照射許可の申請を受け、その評価を 2002年10月末までに終了した。その結果、下記条件でそれぞれの食品を照射することを安全と認め、現行規制(Division 26 of Food and Drug Act and Regulation)の表に以下に示すような $5\sim8$ までの項目を追加することを盛り込んだ改正案を提案した(2002年 11月23日 カナダ官報 project 1094) 34 。この経緯の概略と全体的な結論 35 および各食品についての個別の評価結果の概略はHealth Canadaのホームページより閲覧可能である $36\sim39$ 。

どの食品においても、①毒性学的な観点における照射食品の化学変化、②栄養学的適合性、③微生物学的な影響、の3つの観点における科学的な分析を実施し、示された証拠の総合的な重み付けから照射によるリスク(またはベネフィット)を評価している。そして、①毒性学的化学変化では、放射線照射によって生成する分解生成物の量は極めて低いこと(ppbレベル)、②栄養素の変化では、チアミン、リボフラビン、ナイアシンの減少が認められること、③微生物学的な評価においては、提案された線量で病原微生物に対して効果が

あるが、この線量で全ての微生物が殺滅される訳ではない。ただし、適切な貯蔵と包装を 実施すれば、競合するバクテリアが健康リスクを脅かすことはないこと、を指摘した。そ して、与えられた照射条件でこれら4種の食品の照射を実施した場合の総合的な評価とし て以下を導き出している。

- これらの照射食品の消費は消費者へのリスクをもたらさない。
- · これらの食品の照射は栄養素の重要な減少をもたらさない。
- ・ 食品照射は大腸菌とサルモネラ菌のような病原菌のレベルを低下させ、貯蔵期間の延長と昆虫の加害を減少させ、これらの食品の安全性および質を改善することができるであろう。

表 1-5-2 カナダ保健省によって現在、放射線照射が提案されている食品と条件

	カラム I	カラムII	カラムIII	カラムIV
項目	食品	 電離放射線における許可線源	 処理の目的	許可吸収線量
5.	マンゴ	コバルト60	貯蔵中の昆虫繁殖の抑制、	0.25kGy(最小)
-			製品寿命の延長	1.5kGy (最大)
6.1	新鮮 食鳥肉	コバルト60、セシウム 137、	病原体の増殖抑制、	1.5kGy (最小)
		加速器からの電子線 (最大 10MeV)	微生物量の減少、	3.0kGy (最大)
-			製品寿命の延長	
6.2	冷凍 食鳥肉	コバルト60、セシウム 137、	病原体の増殖抑制、	2.0kGy (最小)
		加速器からの電子線(最大 10MeV)	微生物量の減少、	5.0kGy (最大)
			製品寿命の延長	
7.1	新鮮,調理, 乾燥	コバルト60、セシウム 137、	病原体の増殖抑制、	1.5kGy (最小)
	小型および大型	加速器からの電子線(最大 10MeV)	微生物量の減少、	3.0kGy (最大)
	エビ類		製品寿命の延長	*
7.2	冷凍	コバルト60、セシウム 137、	病原体の増殖抑制、	1.5kGy (最小)
	小型および大型	加速器からの電子線(最大 10MeV)	微生物量の減少、	5.0kGy (最大)
	エビ類		製品寿命の延長	
8.1	新鮮/	コバルト60、セシウム 137、	病原体の増殖抑制、	1.5kGy (最小)
	冷蔵	加速器からの電子線 (最大 10MeV)	微生物量の減少、	4.5kGy (最大)
	牛挽肉	エックス線(最大 5MeV)	製品寿命の延長	
8.2	冷凍	コバルト60、セシウム 137、	病原体の増殖抑制、	2.0kGy (最小)
	牛挽肉	加速器からの電子線(最大 10MeV)	微生物量の減少、	7.0kGy (最大)
		エックス線 (最大 5MeV)	製品寿命の延長	

2002年11月23日官報に規制の改正提案が公告され、現在、コメント検討期間中であり最終決定に至っていない。

カナダにおける評価の特徴は、個別の食品に対して実際に照射を実施する条件や処理の工程を考慮して安全性評価を実施するところである。特に、上記のエビ類では、微生物学的な影響面で、放射線に対して強い抵抗性を持つボツリヌス胞子が潜在する可能性を考慮した。そこで、線量に関しては、照射によってターゲットである病原性微生物を殺滅することができ、照射後の微生物叢の競合においてボツリヌス菌の成長を抑制することができるような腐敗菌の十分な生存を考慮して、最大線量を申請の5.0kGyから3.0kGyに限定する必要があること結論した。

なお、カナダ保健省は、この4つの食品の照射の評価と同時に、放射線特異的分解生成物である2-アルキルシクロブタノン類についての評価を実施している 40)。その方法は新たな毒性学的実験の実施によるものでなく、①既存の照射食品全体における毒性学的/動物給餌試験の結果と、②2-ドデシルブタノンの毒性に対する懸念を想起させた文献(本報告書2章参照)の内容評価、③2-ドデシルシクロブタノンの照射食品からの摂取量推定によるものである。この摂取量推定は、化学分析文献に示されたシクロブタノンの生成効率(ドデシルシクロブタノン(μ g)/脂質重量(g)・線量(kGy))を根拠に、カナダにおける鶏肉(ロースト用鶏肉の皮の可食部)および牛挽肉(中挽)の脂肪含有量と、それらの食品のカナダ人の実平均消費量のデータとを用いて、鶏肉(3kGy)および牛肉(3kGy)からカナダ人が摂取すると推定される2-ドデシルシクロブタノン量を算定した。

その結果、①過去の毒性学的(動物給餌試験)の結果は容認できること、②懸念を示す 試験結果は疑わしく解釈が困難であること(特に試験法の妥当性)、③2-ドデシルブタノ ンの摂取量の推定値は、懸念を示す論文での実験条件に比べて著しく低いこと、を指摘し、 放射線処理技術の応用をさらに遅らせることは適切ではないと言う判断を下した。

1-6 オーストラリア/ニュージーランドにおける放射線照射食品の評価

食品照射基準作成までの経緯

オーストラリアでは、食品照射に関しては態度を保留し(モラトリアム)、ニュージーランドでは、1984年の New Zealand Food Regulation において食品照射を禁止していた。しかし、両国の食品基準の統一を目的に Australia New Zealand Food Authority (ANZFA)が 1991年に設立され、同時に照射食品に関する基準を制定する最初の提案がまとめられた。両国でのパブリックコメントの集約を経てANZFAはこの草案に関する審議を終了し、1999年8月3日、両国の厚生大臣はオーストラリア、ニュージーランドの食品基準協議会の会合で、新しい食品基準において、食品照射を許可することに同意した。そして照射食品に関する基準が、当時のオーストラリア食品基準A17(ニュージーランド食品規則 267)として成立した。なお、2003年1月から、両国の食品基準は完全統一され前述のANZFAは、Food Standard Australia New Zealand(オーストラリア・ニュージーランド食品基準機関:FSANZ)と呼ばれる組織に改められた。照射食品に関する基準は、Food Standard Code 1.5.3 41)に、新食品(Novel Food)と同じカテゴリーに位置づけられた。

基準と許可品目

Standard1.5.3では、食品照射を原則的に禁止し、限定された食品(群)に対してケースバイケースの許可を与えている。許可品目は、条項4の中の表に、照射の目的、最小、最大線量とともに記されている。食品照射がGMPの代替として利用されることがあってはならないことも明記され、照射は食品衛生上の必要性や発芽防止、害虫防除などの技術上での必要性を満たす場合にのみ適用できるとしている。また、再照射は禁止されている。この基準の中には、使用できる線源、記録、表示義務などについても規定されている。2005年3月現在までに、Standard 1.5.3における許可品目について、ハーブおよび香辛料類(A413) および熱帯果実(A443)の照射に関する2つの申請(Application)が提出され、その評価結果に基づき、現行(2005年3月現在)の許可品目に対する規制線量は 表-1-6-1-0ように定められている。

表-1-6-1 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

л ラム I	лэы I I	カラムIII
食品	最大・最小線量	条件
パンの実、スターフルーツ、	最小: 150 Gy	食品は検疫処理を目的とした害虫防除の
チェリモア、ライチ、リュウガン、	最大: 1 kGy	目的においてのみ照射できる
マンゴ、マンゴスチン、パパイア、	· ·	上述した技術的な目的を達成するのに必要
ランプータン		な最小線量。

	•	
ハーブ、香辛料(ただしStandard 1.4.2	最小:第3列を条件と	食品は、雑草防除を含む発芽防止、害虫防除
目録4に示した物*)	し規定しない。	の目的においてのみ照射できる。
	最大:6kGy	上述した技術的な目的を達成するのに必要
ハーブ抽出物-生、乾燥または発酵させ		な最小線量。
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		
ハーブ、香辛料	最小: 2 kGy	食品は殺菌の目的においてのみ照射できる。
(ただしStandard 1.4.2の目録 4 に示し	最大: 30 kGy	食品は照射前、後ともGMPの手順に則り行
た物*)		わなければならない。
ハーブ抽出物-生、乾燥または発酵させ	最小: 2 kGy	食品は殺菌の目的においてのみ照射できる。
た葉、花、または植物の他の部分から作	最大: 10 kGy	食品は照射前、後ともGMPの手順に則り行
った飲料で、茶を除く		わなければならない。

*ハーブ/香辛料 残留化学物質の限界濃度基準の項目での定義と同じである

オーストラリア/ニュージーランドにおける評価法の特徴

ハーブ/香辛料の照射に関する申請に対する最終評価報告書(2001年9月)⁴²⁾ および、熱帯果実の照射に関する申請に対する最終評価報告書(2002年12月)⁴³⁾ では、それぞれの食品を照射した場合の安全性、技術的な効果、栄養面での影響に対する科学的評価と、申請に関する社会的な影響も含めた論点を分析した結果が述べられている。そして、全体の結論を反映した基準改定に関する勧告がなされている。このうち科学的な評価の手法については、以下のような特徴が挙げられる。

- 1) WHOの専門家委員会による健全性評価結論(WHO:1994年および1999 年報告書)およびその根拠の採用
- 2) ケミクリアランス概念に基づく評価
- 3) 自国の国民の栄養摂取調査に基づく食事モデルを利用した栄養学的影響評価
- 4) 照射効果の分析に基づく技術的な正当性の評価

ANZFAの評価においては、申請において照射の許可が求められる品目について、毒性学的、微生物学的、化学的および栄養学的観点から評価が行われている。そのうち、毒性学的および化学的な安全性評価の元になるデータは、WHOが取りまとめた1994年および1999年の2つの報告書に引用されたものが採用されており、ANZFAとして新たな毒性試験は実施していない。また、JECFIやWHOの専門家委員会が照射食品の評価における概念として導入したケミクリアランスについて、過去の経緯を解説すると

ともに、この概念に基づいて、類似の化学成分から構成される一連の食品グループについては、そのグループにおける他の食品の毒性学的な評価結果が適用できることから、ハーブ抽出物については、毒性試験(動物試験)の実施結果がなくとも安全であるとの結論を導きだしている。また、同様に熱帯果実についても、ここで許可した種類の熱帯果実の全てに対してデータが存在するわけではないが、過去に行われた数々の果実類に関する毒性学的データにおける安全性の結論から、これらの果実の安全性も結論できるとしている。

なお、健康リスクが懸念された放射線分解生成物 2-アルキルシクロブタノン類に関しては、評価実施時点で入手可能な遺伝毒性の試験結果(コメットアッセイ)では、生体に対する危険因子の判断ができないとした見解を示した。その上で、熱帯果実(可食部)における脂肪酸含有量のデータから、照射後に生成する 2-アルキルシクロブタノン類の濃度は非常に低いと考えられ、照射した熱帯果実の消費がこの化合物による毒性学的な問題を示唆することはないとしている。

ANZFAは、許可申請された食品の食事に対する影響を判断するために、自国の栄養調査に基づいて構築された食事モデル解析ソフトウエアを用い各食品の摂取量を推定した。さらに、照射処理によって比較的影響を受けやすいとされる微量栄養素(ビタミンA、ビタミンC、チアミン、葉酸)および、不飽和脂肪酸、ビタミンEの摂取量全体に対する、各(照射)食品からの寄与率を推定し、申請された食品がこれらの微量栄養素の供給源として重要でないと判断した。そして、放射線処理を実施しても、オーストラリア/ニュージーランドの食事における栄養含量に影響がないと結論した。

また、ANZFAの科学評価レポートでは、その食品の照射を必要とする技術的な背景と照射効果を分析し、照射の正当性を評価している。ハーブおよび香辛料の許可申請(A413)では、ナッツ類の微生物制御と害虫防除が含まれていたが、ナッツの汚染微生物について病原菌の存在を特定できないとし、マイコトキシンを産生するカビについては、毒素産生を促進するような悪い保存状態がなければ問題はないとして、照射の技術的な必要性を認めなかった。その結果、照射ナッツ類の安全性は確認されたが、最終的に照射許可が勧告されなかった。

引用文献

WHO/FAO/IAEA 関連レポート

- 1) FAO (1962) Report of the FAO/WHO/IAEA Meeting on the Wholesomeness of Irradiated Foods, 23-30 Oct. 1961, Brussels, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- 2) WHO (1966) The technical basis for legislations on irradiated food. Report of a Joint FAO/IAEA/WHO Expert Committee. Technical Report Series, No. 316.
- *3) WHO (1970) Wholesomeness of irradiated food with special reference to wheat, potatoes and onions. Report of a Joint FAO/IAEA/WHO Expert Committee. Technical Report Series, No. 451.

<資 I -1-1>

- *4) WHO (1977) Wholesomeness of irradiated food. Report of a Joint FAO/IAEA/WHO Expert Committee. Technical Report Series, No. 604. 〈資 I -1-2〉
- *5) WHO (1981) Wholesomeness of Irradiated Food. Technical Report Series, No. 659.< 資 I -1-3>
- *6) WHO (1994) Safety and nutritional adequacy of irradiated food. WHO, Geneva. <原本>
 (日本語版:照射食品の安全性と栄養適性 コープ出版 1996) <原本>
- *7) WHO (1999) High-dose irradiation: wholesomeness of food irradiated with doses above 10 kGy.

 Report of a Joint FAO/IAEA/WHO Study Group, Geneva Technical Report Series, No. 890.

 <資 I -1-5>
 - 8) Codex Alimentarius Commission (1984) Codex general standard for irradiated foods and recommended international code of practice for the operation of radiation facilities used for the treatment of food. CAC/Vol. XV-Ed. 1, FAO, Rome.
 - Codex Alimentarius Commission (2003) Codex General Standard for Irradiated Foods (CODEX-STAN 106-1983, Rev. 1-2003)
 - http://www.codexalimentarius.net/download/standards/16/CXS_106_2003e.pdf
 - 10) Codex Alimentarius Commission (2003) Recommended international code of practice for radiation processing of food (cac/rcp 19-1979, rev.2, 2003) http://www.codexalimentarius.net/download/standards/18/CXC_019_2003e.pdf

EU 食品科学委員会関連

- *11) SCF (1987) Report on the irradiation of food. Opinion given in March 1986. 18th Series of Reports of the Scientific Committee for Food, EUR 10840, European Commission, Luxembourg. (英語版は 1989 年に改訂) **<資 I -2-1>**
 - 12) SCF (1994) Report on irradiated Camembert cheese. 32nd Series of Reports of the Scientific Committee for Food, EU Commission, Luxembourg.
 - 13) SCF (1998) Opinion of the Scientific Committee on Food on the irradiation of eight foodstuffs

(expressed on 17.09.1998)

*14) SCF (2003) Revision of the opinion of the Scientific Committee on Food on the irradiation of food (expressed on 4 April 2003) <資 I -2-2>

英国関連

- *15) Adversary Committee on Irradiated and Novel Food (1986) Report on the Safety and Wholesomeness of irradiated Food HMSO, London. 〈資 I -3-1〉
- *16) The Food (Control of Irradiation) Regulations SI 2490. HMSO, London (1991) <資 I -3-2>
- *17) Guidelines on the Food (Control of Irradiation) Regulations. HMSO, London (1991)<資 I -3-2>

米国関連

- 18) Food、Drug Cosmetic Act (1958) S.Rept 2422、85th Cong.,2dSess.63(1958)-上院報告 2422、85 議会第2定例会63ページ、1958年 (過去の規制の原本は入手できないので出典の確認は以下の総説によった。Pauli G.H. and Takeguchi C.A. (1986) Irradiation of Foods An FDA Perspective, Food Reviews International, 2, 79.
- 19) Code of Federal Regulations 21CFR179: Irradiation in the Production, Processing and Handling of Food http://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfcfr/CFRSearch.cfm?CFRPart=179
- 20) FDA(1985) Irradiation in the Production, Processing, and Handling of Food: Final rule, *Federal Register*, **50**, 15415-15417.
- *21) FDA (1986) Irradiation in the Production, Processing, and Handling of Food: Final rule, Federal Register, 51, 13376-13399. 〈資 I -4-3〉
- *22) FDA (1990) Irradiation in the Production, Processing, and Handling of Food: Final rule, Federal Register, 55, 18538-18544. 〈資 I -4-5〉
 - 23) FDA (1995) Irradiation in the Production, Processing, and Handling of Food: Final rule, Federal Register 60, 12669- 12669.
- *24) FDA (1997) Irradiation in the Production, Processing, and Handling of Food: Final rule, Federal Register, 62, 64107-64121. 〈資 I -4-7〉
 - 25) FDA (2000) Irradiation in the Production, Processing, and Handling of Food: Final rule, Federal Register, 65, 45280-45282.
 - 26) FDA (2000) Irradiation in the Production, Processing, and Handling of Food: Final rule, *Federal Register*, **65**, 64605-64607.
- *27) FDA (1988) Irradiation in the Production, Producing, and Handlich of Food: Final Rule, Denial of Request for Hearing and Response to Objection, Federal Register, 53, 53176-53209. <資 I
 -4-4>

- *28) FDA (1997) Irradiation in the Production, Processing, and Handling of Food: Final rule. Federal Register, 62, 64102-64107. <資 I -4-6>
- *29) Pauli G.H. (1999) U.S. Regulatory Requirements for Irradiating Foods, http://www.foodsafety.gov/~dms/opa/-rdtk.html <資 I -4-2>
- - 31) Food Additives Evaluation Branch (1982) "Final Report for the Task Group for the Review of Toxicology Data on Irradiated Foods", April 9.

Health Canada 関連

- *32) Health and Welfare Canada, Information Letter June 4 1988 <資 I -5-1>
 - 33) Food and Drug Acts and Regulations Part B section 26

 http://www.hc-sc.gc.ca/food-aliment/friia-raaii/food_drugs-aliments_drogues/act-loi/pdf/e_d-text-2.pdf
 - 34) The Canada Gazette of November 23, 2002

 http://www.hc-sc.gc.ca/food-aliment/friia-raaii/food_drugs-aliments_drogues/part-partie_1/e_109401.html
 - 35) Health Canada (2002) Food Irradiation-Proposed Regulatory Changes http://www.hc-sc.gc.ca/food-aliment/fpi-ipa/e_rlo01.html
- *36) Health Canada (2002) Food Irradiation-irradiation of mangoes: Summary of Submission

 Process http://www.hc-sc.gc.ca/food-aliment/fpi-ipa/e_mango_irradiate01.html< < 译 I -5-2-1>
- *37) Health Canada (2002) Food Irradiation- irradiation of poultry: Summary of Submission Process 〈資 I -5-2-2〉
 - http://www.hc-sc.gc.ca/food-aliment/fpi-ipa/e_summary_irradiation_poultry01.html
- *38) Health Canada (2002) irradiation of shrimp: Summary of Submission Process http://www.hc-sc.gc.ca/food-aliment/fpi-ipa/e_shrimp_irradiate01.html<< Tolsynthetic | 5-2-3>
- *39) Health Canada (2002) irradiation of ground beef: Summary of Submission Process http://www.hc-sc.gc.ca/food-aliment/fpi-ipa/e_gbeef_submission01.html<<http://www.hc-sc.gc.ca/food-aliment/fpi-ipa/e_gbeef_submission01.html
 - 40) Health Canada (2002) Evaluation of the significance of 2-Dodecylcyclobutanone and other alkylcyclobutanones.
 - http://www.hc-sc.gc.ca/food-aliment/fpi-ipa/e_cyclobutanone.html

オーストラリア/ニュージーランド関連

- 41) FSANZ: Food Australia New Zealand Food standard Code; Standard 1.5.3 Irradiation of Food http://www.foodstandards.gov.au/ srcfiles/ACF1C7D.pdf
- *42) FSAN (2001) Application A413 Scientific Assessment Report "Request to include herbs, spices, herbal infusions and peanuts, almonds, cashews and pistachio nuts in the Food Standards Code" Sep 19 2001 <資 I -6-1>
- *43) FSAN (2002) A443 Report on the Technical, Safety and Nutritional Aspects of Irradiation of Tropical Fruits Dec 18 2002 < 資 I -6-2>
- *印の資料については、本調査報告書 別冊文献資料集I-海外評価資料に収蔵した。下線のあるものについては本調査で翻訳を作成した。末尾の番号は資料集における資料番号を示す。

1-7 わが国における放射線照射食品の評価

初期の研究

わが国の食品照射研究は1955年(昭和30年)頃より開始された。当初、殺菌、殺虫、発芽防止などの照射効果などの研究が中心であったが、研究勢力の拡大とともに1960年代には、放射線分解生成物や、放射線抵抗性菌に関するような基礎的な研究が、大学や多くの研究機関で実施された¹⁾。

原子力特定総合研究

1967年に原子力委員会は食品照射をナショナルプロジェクトとしての原子力特定総合研究に指定し研究開発を開始した。本プロジェクトではバレイショ、タマネギ、米、小麦、ウインナソーセージ、水産練り製品、ミカンの7品目が取り上げられ、健全性(照射食品の安全性および栄養適性)、照射効果、照射技術についての研究を国公立の研究機関、大学によって分担、実施した。その総括は表1-7-1に示すように、7品目全ての食品は健全性に問題がなく照射効果も満足する結果であるとされた。

このプロジェクトにおける健全性試験では、実験動物への照射食品の投与量の設定に関し、初期の研究では薬剤と同じ100倍量の考えで「食品の投与量×吸収線量」により動物実験を開始した。その結果、タマネギのように過剰投与により非照射試験区および照射試験区とも同じように動物に異常が生じたこともあった。原子力特定研究の成果は、研究終了後品目ごとに成果報告にまとめられ、1988年に最後の品目であるミカンの報告書が提出されてプロジェクトが終了した。これらの研究成果を基に1972年にはバレイショの放射線による発芽防止処理が旧厚生省により認可され、1974年より北海道士幌農協において商業照射が開始された。

原子力特定総合研究における健全性試験の項目

このプロジェクトで実施された安全性試験(毒性試験および遺伝毒性(変異原性試験))の調査項目とデータの所在を表 1-7-2 に示す。また、栄養試験および栄養成分の変化に関する調査項目を表 1-7-3 に示す。オリジナルデータの所在は主として、食品照射運営会議による研究報告書の資料であり、このデータは日本原子力研究所高崎研究所が運営するホームページ http://takafoir.taka.jaeri.go.jp/ に公開されている。また、バレイショの変異原性試験は、バレイショの研究成果報告書の提出後に終了し、その結果は、科学雑誌に公表されている。

表 1-7-1 原子力特定総合研究の総括

品目	放射線	照 射	効 果	stel etc. Mr.		健 全 1	生 試 駅)	実施	
(照射目的)	の種類	効 果	問題 点等	判別法	栄養試験	慢性毒性試験	世代試験	変異原性試験	期間年度	備考
バレイショ (発芽防止)	γ線	70~150Gy の照射で室温中で 8ヶ月間発芽防止が可。	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	食品衛生許可 (1972 年) 実用化 (1974 年)
タマネギ (発芽防止)	γ線	20~150Gy の照射で室温中で 8ヶ月間発芽防止が可。	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年)
米 (殺虫)	γ線	200~500Gy の照射で 殺虫効果は完全。 殺菌効果もある。	品種により照射後の食味が 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 年)
小麦 (殺虫)	γ線	200~500Gy の照射で 殺虫効果は完全。 殺菌効果もある。	小麦粉の粘度が低下する。	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 年)
ウインナ ソーセージ (殺菌)	γ線	3~5kGy の照射、10℃ 貯蔵で貯蔵期間を 3~5 倍延長できる。	酸素透過性の小さい包装材 料で窒素ガス封入が条件。	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 年)
水産練製品 (殺菌)	γ線	3kGy 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 の変化による判別の 可能性あり。	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 年)
ミカン (表面殺菌)	電子線	0.5MeV のエネルギーの 電子線により 1.5kGy 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 年)
実施機関		究機関 ・カ研究所 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		

表 1-7-2 原子力特定総合研究においてわが国で実施された毒性試験の内容

<バレイショ>

試験項目	動物	期間	添加量	線量(kGy)	判定	文献
亜急性試験	サル	6ヶ月	35%	0.6		2 (N)
慢性試験	dde マウス	21 ヶ月	35%	0.15,0.3,0.6	_	2 (N)
慢性試験	ウィスター系ラット	2年	35%	0.15,0.3,0.6	· -	2 (N)
多世代試験	dde マウス	3 世代	35%	0.6	'	2 (N)
エームス試験 (i): (TA 98, TA 100)			0.15		
染色体異常試験	in vitro (i): (チャイニース゛ハムスタ	- CHL 細胞)		0.15		
エームス試験 (ii	i): (TA 98, TA 1535, TA 1	537) (アルコ	ール抽出物	0.15	_	9 (H)
染色体異常試験	in vitro (ii): (チャイニース ゙ハムス	ター CHL 細胞)	("	0.15		9 (N)
遺伝子突然変異	試験 (TA100-10, SM d)		("	0.15	, , —	9 (N)
プロファージ誘	導試験		("	0.15		9 (P)
小核試験 (ddY -	-SLC マウス)		(" // "	0.15	·	9 (A)
優性致死試験 (I	BDF ₁ マウス) 経口 2	回/日 7日	(") 0.15	<u> </u>	10 (H)
アルコール抽出!	物の化学組成分析					11

<タマネギ>

試験項目	動物	期間	添加量	線量(kGy)	判定	文献
慢性試験	ウィスター系ラット	2年	25%	0.07, 0.15, 0.3	: ·	3 (N)
慢性試験	ウィスター系ラット	1年	2%	0.3	 .	3 (N)
慢性試験	dde マウス	21 ヶ月	25%	0.07, 0.15, 0.3	· <u></u> .	3 (N)
世代試験	dde マウス	3 世代	2%	0.15		3 (N)
世代試験	dde マウス	3 世代	4%	0.3	· — ·	3 (N)
エームス試験 (TA 98, TA 100, TA 1535, TA	1537)		0.15	_	3 (H)
エームス試験(TA 98, TA 100) (溶媒抽出物	J)		0.15	_ `.	3 (N)
染色体異常試験	in vitro (チャイニース ハムスター CHI	し細胞) (溶媒	抽出物)	0.15		3 (N)
染色体異常試験	in vitro (HE 2144, DON-6)			0.15	- ,	3 (N)
S. C. E. 試験 in	vitro (溶媒抽出物)			0.15	_ · .	3 (N)
小核試験 in vitro	o(溶媒抽出物)			0.15	_	3 (N)
宿主経由試験(G 46 in BDF」マウス)			0.15		3 (H)
DNA 修復試験	(E, coli)			0.15, 0.3	· —	12 (P)
染色体異常試験	in vivo (BDF1 骨髄) p. o. x	5		0.15		3 (H)
染色体異常試験	in vivo (Long-Evans ラット	・ 骨髄)		0.15		3 (H)
体細胞変異試験	in vitro (V 79 細胞)			0.15	_ ·	3 (H)
優性致死試験 (BDF1 マウス) 経口 1 回/E	5日		0.15	_	3 (H)

<米>

表 1-7-2 続き

					24 1	7 2 196 0
試験項目	動物	期間	添加量	線量(kGy)	判定	文献
亜急性試験	サル	2年	40%	1.0	. —	4 (N)
慢性試験	ウィスター系ラット	2年	50%	0.5,1.0		4 (N)
慢性試験	ddY マウス	20 ヶ月	40%	0. 5		4 (N)
世代試験	ddY マウス	3 世代	40%	0.5	-	4 (N)
エームス試験	(TA 98, TA 100)		V 17 B11 V	0. 5	, -, ,	4 (H)
宿主経由試験	(G 46 in BDF) マウス) 経	口投与 3日		0. 5	· - ·	4 (H)
ほ乳類体細胞変	变異試験 (V 79 細胞)			0. 5	_	4 (H)
染色体異常試験	涣 in vitro (CHL 細胞)			0. 5		4 (H)
染色体異常試験	倹 in vivo (チャイニース゛ハムスター, ・	骨髄) 経口 1日		0. 5		4 (H)
優性致死試験	(BDFi マウス) 食餌による	40%		0. 5	—. ,	4 (H)

<小麦>

試験項目	動物	期間	添加量	線量(kGy)	判定	文献
慢性試験	ウィスター系ラット	2年	45%	0.2, 2.0	<u></u>	5 (N)
慢性試験	ddY マウス	2年	45%	2.0		5 (N)
多世代試験	ddY マウス	3 世代	45%	2.0	-	5 (N)
エームス試験	(TA 98, TA 100, TA 1535, T.	A 1537, TA 153	38, E, coli)	0.15	_	5 (H)
宿主経由試験	(G46 in BDFı マウス)経口	. 3 日		0.15	_	5 (H)
染色体異常試験	涣 in vitro (CHL 細胞)			0.15	_	5 (H)
小核試験 in viv	/o (BDFi マウス) 経口 5	5 日		0.50		5 (H)
優性致死試験	(BDF1 マウス) 食餌の 40%	6		0.50	. - .	5 (H)

<かまぼこ>

動物	期間	添加量	線量(kGy)	判定	文献
ウィスター系ラット	2年	2, 7.5%	4.5		6 (N)
ddY マウス	2年	2%	4.5	<u> </u>	6 (N)
ddY マウス	3 世代	2%	4.5		6 (N)
(TA 100SM, ストレプトマイ	シン依存性)		6.0		13 (N)
(TA 98, TA 100, TA 1535, TA	A 1537, TA 15	38, E, coli)	6.0		6 (H)
(G46 in BDF ₁ マウス)経口	5 日		6.0	_	6 (H)
験 in vitro (チャイニース゛ハムスター CH	L細胞,ヒト	リンパ球)	6.0	· -	6 (H)
小核試験 in vivo (BDF1 マウス) 経口 5日				– ,	6 (H)
(BDF ₁ マウス) 混餌 8週	間		6.0	_	6 (H)
	ウィスター系ラット ddY マウス ddY マウス (TA 100SM, ストレプトマイ (TA 98, TA 100, TA 1535, TA (G46 in BDF1 マウス)経口 験 in vitro (チャイニーズハムスター CH vo (BDF1 マウス) 経口 5	ウィスター系ラット 2年 ddY マウス 2年 ddY マウス 3世代 (TA 100SM, ストレプトマイシン依存性) (TA 98, TA 100, TA 1535, TA 1537, TA 155) (G46 in BDF1 マウス)経口 5日 験 in vitro (チャイニーズハムスター CHL 細胞, ヒト vo (BDF1 マウス) 経口 5日	ウィスター系ラット 2年 2,7.5% ddY マウス 2年 2% ddY マウス 3世代 2% (TA 100SM, ストレプトマイシン依存性) (TA 98, TA 100, TA 1535, TA 1537, TA 1538, E, coli) (G46 in BDF1 マウス)経口 5日 験 in vitro (チャイニーズハムスター CHL 細胞, ヒトリンパ球) vo (BDF1 マウス)経口 5日	ウィスター系ラット 2年 2,7.5% 4.5 ddY マウス 2年 2% 4.5 ddY マウス 3世代 2% 4.5 (TA 100SM, ストレプトマイシン依存性) 6.0 (TA 98, TA 100, TA 1535, TA 1537, TA 1538, E, coli) 6.0 (G46 in BDF1 マウス)経口 5日 6.0 験 in vitro (チャイニース ハムスケー CHL 細胞, ヒトリンパ球) 6.0 vo (BDF1 マウス)経口 5日 6.0	ウィスター系ラット 2年 2,7.5% 4.5 - ddY マウス 2年 2% 4.5 - ddY マウス 3世代 2% 4.5 - (TA 100SM, ストレプトマイシン依存性) 6.0 - (TA 98, TA 100, TA 1535, TA 1537, TA 1538, E, coli) 6.0 - (G46 in BDF1 マウス)経口 5日 6.0 - 験 in vitro (チャイニーズハムスター CHL 細胞, ヒトリンパ球) 6.0 - vo (BDF1 マウス)経口 5日 6.0 -

試験項目	動物	期間	添加量	線量(kGy)	判定	文献
亜急性試験	サル	2年	5%	6.0	_	7 (N)
慢性試験	ウィスター系ラット	2年	2,5%	6.0	_	7 (N)
慢性試験	ddY マウス	2年	5%	6.0	.—	7 (N)
多世代試験	ddY マウス	3 世代	5%	6.0	_	7 (N)
エームス試験(7	'A 100SM, ストレプトマイ:	ンン依存性)		6.0		13 (N)
エームス試験(TA 98, TA 100, TA 1535, TA	1537, TA 1538	B, E, coli)	6.0		7 (H)
宿主経由試験(G46 in BDFı マウス) 1回腹	腔内投与		6.0	_	7 (H)
染色体異常試験	in vitro (チャイニース*ハムスター CHL	細胞、ヒトリ	リンパ球 HLC)	6.0	· -	7 (H)
小核試験 in vivo (BDF1 マウス) 経口 1回 6.0 - 7 (H)						
優性致死試験(BDFi マウス) 混餌 8週間	1		6.0	_	7 (H)

<ミカン>

試験項目	動物	期間	添加量	線量(kGy)	判定	文献
亜急性試験	サル	2年	3%	1.5	— .	8 (N)
慢性試験	ウィスター系ラット	2年	1,3%	1.5	_	8 (N)
慢性試験	ddY マウス	2年	3%	1.5	_	8 (N)
多世代試験	ddY マウス	3 世代	3%	1.5	-	8 (N)
エームス試験((TA 100SM, ストレプトマイ	シン依存性)		1.5		13 (N)
染色体異常試験	È in vitro (CHL 細胞)			1.5	_	8 (H)
エームス試験((TA 98, TA 100, TA 1535, TA	1537, TA 1538	, E, coli)	1.5	_	8 (H)
小核試験 in viv	o(BDFi マウス) 経口 1	回		1.5	_	8 (H)
優性致死試験((BDF ₁ マウス) 経口 5日			1.5	_	8 (H)

^{*}この表は FAO/IAEA/WHO 合同専門家委員会の照射食品に関する会議(1980 年 10 月 27 日~11 月 3 日、ジュネーブ)のために準備されたものから改変して作成した。オリジナル文献は、成果報告書と科学雑誌に掲載された文献によった。

^{* *(}N): 厚生省国立衛生試験所 (現: 国立医薬品食品衛生研究所), 東京都, (H): 食品薬品安全センター秦野研究所, 神奈川県秦野市, (P): 理化学研究所, 埼玉県, (A): 農林水産省畜産試験場 (現: 農業・生物系特定産業技術研究機構 畜産草地研究所), 茨城県つくば市

_	表 1-7-3	原子力特定総合研	「究においてわが国で実施された照射食品の栄養試験
	品目		成 分 試 験
		1.試験項目	ビタミンB ₁ 、B2、C
		線量 (群)	0、0.15、0.3、0.6kGy
		貯蔵温度、期間	室温、4ヶ月
		結果	ビタミンCは直後低下するが、貯蔵により対照とほぼ同レベルに
			なる。B ₁ 、B ₂ では有意差なし。
		2.試験項目	還元糖、デンプン、ビタミンC、α化度、人口消化率、蒸煮時間、
		. *	硬度、組織学的検査
		線量 (群)	0、0.07、0.15、0.3kGy
		貯蔵温度、期間	室温、9ヶ月
	バレイショ	結果	栄養成分は 0.15kGy 以下では対象と大差なし。その他については
	(文献2)		僅かながら線量依存の変化あり。発芽部位に変化を認む。
			成 長 発 育 試 験
		試験項目	体重、飼料効率、蛋白効率、消化吸収率、臓器重量、後腹壁脂肪
			の脂肪酸組成、肝臓の脂質量と蛋白質
ĺ		動物	雄ラット 10 匹×5
-		線量 (群)	0、0.07、0.15、0.3kGy、C
1		添加量	10%(乾燥粉末)
		飼育期間	4 週間
		結果	照射による影響は認められず。
L		評価	栄養学的に問題なし。
L	品目		成 分 試 験
		試験項目	ビタミンB ₁ 、C、全糖量、還元糖、組織学的検査
ĺ		線量 (群)	0、0.03、0.07、0.15kGy
		貯蔵温度、期間	22℃、室温、4~5 ヶ月
l		結果	ビタミンCは照射により僅かに低下するが、貯蔵により対照と同
		and the second second	レベルになる。その他の成分の差異は認められず。芽の成長点に
			組織学的な変化を認む。
		= A#A -== [1]	成長発育試験
		試験項目	体重、飼料効率、蛋白効率、消化吸収率、臓器重量、後腹壁脂肪
l		£h.#m	の脂肪酸組成、肝臓の脂質量と蛋白質
		動物	雄ラット 10 匹×5
	タマネギ	線量(群)	0、0.03、0.07、0.15kGy
	(文献3)	添加量 飼育期間	8%(乾燥粉末)
		即有期间 結果	4週間 四色による場合はよる はん
		和木	照射による影響は認められず。
	•	試験項目	生理機能試験
		心然识日	体重、血清テストステロン(昼、夜)、生殖腺重量、睾丸組織像、血液学的栓木
		動物	血液学的検査 雄ラット、24 匹×2
		線量(群)	
		添加量	0、0.3kGy
		你加里 飼育期間	10%(湿重量)
		結果	1~3 ヶ月 日曜日 アスタ郷ロギョルとも ギ
	• .	評価	照射による影響は認められず。
L		Б І ІЩ	栄養学的に問題なし。

	1	成 分 試 験
品目	= 1 6 m 2 3 4 4 5 1	
	試験項目	水分、蛋白質、脂質、炭水化物、ミネラル、ビタミンB ₁ 、B2、
	◆台 目 (飛火)	アミノ酸
	線量(群)	0、0.1、0.2、0.3kGy
	貯蔵温度、期間	室温、1ヶ年
	結果	いずれの成分にも照射による影響は認められず。
		成長発育試験
	試験項目	体重、飼料効率、臓器重量、栄養素の消化吸収率
	動物	ラット、12 匹(♂6、♀6)×4
	線量 (群)	0, 0.1, 0.2, 0.3kGy
	添加量	78%
*	飼育期間	3 ヶ月
(文献4)	結果	特に影響は認められず。
		生理機能試験
	試験項目	体重、総摂餌量、血清テストステロン(昼、夜)、生殖腺その他
		の臓器重量、睾丸組織像、血液学的検査
	動物	雄ラット、24 匹×2
	線量 (群)	0.03kGy
	添加量	70.8%
	飼育期間	1~3ヶ月
	結果	血液学的検査では群間で有意差が認められる場合もあるが正常
		範囲内の変動で、その他については差異なし。
	評価	栄養学的に問題なし。
品目		成 分 試 験
-	試験項目	水分、蛋白質、脂質、炭水化物、ミネラル、ビタミンB ₁ 、B2、
		脂肪酸組成
	線量 (群)	0、0.2、0.5kGy
	貯蔵温度、期間	20℃、1ヶ年
-	結果	いずれも差異認められず。
		成 長 発 育 試 験
	試験項目	体重、飼料効率、臓器重量、栄養素の消化吸収率
	動物	ラット、10 匹(♂5、♀5)×3
	線量 (群)	0、0.1、0.2kGy
	添加量	75%
小麦	飼育期間	4 ヶ月
(文献5)	結果	いずれも有意差なし。
		生 理 機 能 試 験
	試験項目	体重、総摂餌量、血清テストステロン(昼、夜)、生殖腺その他
		の臓器重量、睾丸組織像、血液学的検査
	動物	雄ラット、24 匹×2
	線量 (群)	0、0.75kGy
	添加量	75%
	飼育期間	1~3 ヶ月
	結果	照射による影響認められず。
	評価	栄養学的に問題なし。
**		

	T	
品目		成 分 試 験
e v	試験項目	水分、蛋白質、脂質、炭水化物、ミネラル
	線量 (群)	0、3、5kGy
	貯蔵温度、期間	5℃、3 日
`	結果	照射による差異は認められず。
		栄養生理学的試験
ウインナー	試験項目	体重、総摂飼量、臓器重量、血清テストステロン (昼、夜)
ソーセージ	動物	雄ラット、24 匹×2
(文献 7)	線量 (群)	0.6kGy
	添加量	2.7% (乾燥粉末)
٠	飼育期間	1~3 ヶ月
	結果	照射による影響は認められず。
	評価	栄養学的に問題なし。
品目		成 分 試 験
	試験項目	水分、蛋白質、脂質、炭水化物、ミネラル
	線量 (群)	0、3、4、6kGy
	貯蔵温度、期間	5℃
	結果	照射による影響は認められず。
		栄養 生 理 学 的 試 験
かまぼこ	試験項目	体重、総摂飼量、臓器重量、血清テストステロン(昼、夜)
(文献 6)	動物	雄ラット、24 匹×2
	線量 (群)	0.3kGy
	添加量	3.3% (乾燥粉末)
	 飼育期間	1~3 ヶ月
	結果	照射による影響は認められず。
	評価	栄養学的に問題なし。

原子力特定総合研究以降の研究

(1) 照射グレープフルーツの健全性試験(国立原子力試験研究)

1986年から1988年までの3年間、国立原子力試験研究費により、柑橘類(グレープフルーツジュース)を用いた健全性試験が国立衛生試験所(現:国立医薬品食品研究所)で実施された。この研究では、マウス、ラットを用いた毒性試験、項目の毒性試験、変異原性試験が実施された $^{14)}$ $^{-18)}$ 。

(2) 日本アイソトープ協会によって行われた健全性試験

財団法人 日本アイソトープ協会は 1986年~1991年に食品照射研究委員会 を組織し国内外で反対運動が問題にしている代表的な項目について最新の研究技術で 再試験を行った。本研究委員会には約15に及ぶ大学、研究機関が参加し、表 1-7-4 に 示すように全ての項目に関する研究を実施した 190。

表 1-7-4 日本アイソトープ協会 食品照射研究委員会で実施された健全性試験

	衣 1-1-4	日本/イノトーノ協会 良品照射研究安員会・	で美施された健全性試験
	分類	内容	結果
		・10MeV 電子線:香辛料中の放射能測定	・誘導放射能は検出されない
		(黒コショウ、白コショウ)100kGy 照射	
1	誘導放射能	(赤書辛子、 ターメリック、 ジンジャー) 30kGy 照射	
.		・ガンマ線による誘導放射能	・5MeV 以下のガンマ線で放射
		食品構成元素での考察	化される核種はない
		・タンパク質(卵白アルブミン)消化性、免疫化学的性質	・変化なし
		・コショウの成分変化、香辛料の風味変化	・変化なし
	食品成分の変	(精油成分の GC パターン) (10kGy、3.5kGy)	
	化(化学分析)	・バレイショのビタミン C 減少	・照射による損失は無視できる
		(150Gy、調理、貯蔵の影響)	
		・活性酸素種の生成(水溶液、脂質溶液)と	・メラノイジンは強い消去作用
		メーラード反応生成物による活性酸素消去能	を持つ
		・照射糖液の変異原性試験	・照射糖液は弱変異原性物質を
			生成するが生体内で無毒化
			される
1		・糖とアミノ酸混合物の照射による変異原性	・変異原性なし
	変異原性	・スパイス(黒コショウ、赤唐辛子、ナツメグ、	・ナツメグ、パプリカ、マンゴ
-	試験	パプリカ抽出物) 1,10kGy, マンゴ(水溶物) 1kGy	変異原性なし。コショウ、赤
		の変異原性	唐辛子は照射に無関係に弱
			い変異原性を示した
		・照射小麦の給餌による倍数性細胞の誘発、	・倍数性細胞の誘発はない
		小核試験	小核試験の結果は陰性
Ī		・ボツリヌス菌芽胞	・ボツリヌス毒素産生能は変化
	微生物学的		せず
	安全性	・アフラトキシン産生能	・アフラトキシン産生能の増加
			は無視できる程度
٠.			

引用文献 (1章 7節)

日本の安全性研究

- 1)食品照射運営委員会(1970) 食品の放射線照射に関する微生物学的ならびに化学的基礎研究 - S41~43文部省化学研究費総合研究成果
- 2)食品照射運営委員会(1971) 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) (S46.6,30)
- 3) 食品照射運営委員会 (1980) 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) (S55.7.10)
- 4) 食品照射運営委員会(1983) 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) (S58.12)
- 5) 食品照射運営委員会(1983) 放射線照射による小麦の殺虫に関する研究成果報告書(資料編) (S58.12)
- 6) 食品照射運営委員会(1985) 放射線照射による水産ねり製品の殺菌に関する研究成果報告書 (資料編)(S60)
- 7) 食品照射運営委員会(1985) 放射線照射によるウインナーソーセージの殺菌に関する研究成 果報告書(資料編)(S60)
- 8)食品照射運営委員会(1988) 放射線照射によるミカンの表面殺菌に関する研究成果報告書(資料編)(S63)
- 9) Ishidate M. et al. (1981) Mutagenicity Studies On Alcohol Extracts From Gamma Irradiated Potatoes Tests For Biological Activities In Bacterial And Mammalian Cell Systems, Radioisotopes, 30 (12), 662-668.
- 10) Shibuya T. et al. (1982) Mutagenicity Studies On Alcohol Extracts From Gamma-Irradiated Potatoes-Dominant Lethal Test in Mice, *Radioisotopes*, **31** (2), 27211.
- 11) Shinozaki Y. et al. (1981) Mutagenicity Studies On Alcohol Extracts From Gamma Irradiated Potatoes Preparation of Samples And Their Chemical Analysis, Radioisotopes, 30 (12), 655-661.
- 12) Hattori Y. et al. (1979) Mutagenicity tests of irradiated onions by Escherichia coli mutants in vitro., *Mutation research*, **60**, 115-119.
- 13) 吉川 他 (1982) 照射食品 (かまぼこ, ウィンナーソーセージ, ミカンジュース) の微生物に対する 突然変異試験、衛生試験所報告、第100号、110-119
- 14) 川崎靖 他(1988) ガンマ線照射した柑橘類等の毒性に関する研究(1) ラットによる慢性毒性試験、昭和63年度 国立原子力試験研究成果報告書 29 (科学技術庁 昭和63年度)
- 15) 落合敏秋 他(1988) ガンマ線照射した柑橘類等の毒性に関する研究(2) マウスによる慢性毒性試験, 昭和63年度 国立原子力試験研究成果報告書 29 (科学技術庁 昭和63年度)
- 16) 関田清司 他(1988) ガンマ線照射した柑橘類等の毒性に関する研究(3) マウスによる世代試験、昭和63年度 国立原子力試験研究成果報告書 29 (科学技術庁 昭和63年度)
- 17) 石館基 他(1986) ガンマ線照射した柑橘類等の変異源性に関する研究 照射グレープフルーツの微生物に対する突然変異試験,昭和61年度 国立原子力試験研究成果報告書 2.7 (科学技術庁 昭和61年度)
- 18) 石館基 他(1987) ガンマ線照射した柑橘類等の変異源性に関する研究 照射グレープフルーツのほ 乳類培養細胞を用いる染色体異常試験,昭和62年度 国立原子力試験研究成果報告書 28 (科学 技術庁 昭和62年度)
- 19) 日本アイソトープ協会(1992) 食品照射研究委員会 研究成果最終報告書 (委員長 松山晃)

1-8 まとめ

本章で扱ったヨーロッパ連合、米国、カナダ、オーストラリア/ニュージーランドにおける照射食品の法的扱い、WHOの専門委員会の評価に対する見解およびそれぞれの機関における評価の特徴を表1-8にまとめた。

表1-8 諸外国における放射線照射食品の規制と評価の特徴

	:			
	ヨーロッパ連合 (EU-SCF)	米国 (FDA)	カナダ (Health Canada)	豪州・ニュージーラ ンド(FSANZ)
規制	EC指令1999/2/EC EC指令1999/3/EC	21CFR179.26	Food and Drug Act and Reg. 26	Standard 1.5.3
(体系)	食品処理	食品添加物	食品処理	食品処理
許可	原則禁止 ケースバイケース	ポジティブリスト	原則禁止 ケースバイケース	原則禁止 ケースバイケース
評価の基準	独自基準	独自基準	独自基準	独自基準
WHOの評価	1980年のJECFI結 論に同意(1992年 および1997年の見	1992年の再評価 結果を受容す る。	WHO の見解には 大筋で同意して いる。新な品目	1997年の見解に 大筋で同意し、 この評価結果を
	解は受容できない。		の許可における 毒性試験等のデ ータに関する要 求はケースバイ	受容して、スパ イス、熱帯果実 を許可する。
			ケースで判断する。	
高線量照射 (>10kGy)	認めない	認める 30kGy 香辛料	認めていない	認める 30kGy 香辛料
その他	 許可品目について の統一拡大リスト			
	について合意が得 られず、個別の国 内規制が効力を持			
	っている。		\ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \	

参考資料

本章の本文中の引用には資料の出所を明確にするため、オリジナル報告書および規制、官報等原文等を用いた。第1章の内容をまとめるにあたり以下の総説、解説書等も参考にした。

- 1. 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、23-30 (2003)
- 2. 宮原誠:照射食品安全性検証の歴史、食品照射、38, 31-48 (2003)
 - 3. 田中憲穂:日本における照射食品の遺伝的安全性試験、食品照射、39, 13-27 (2004)
 - 4. 食品照射調査委員会:諸外国における食品照射動向等に関する調査研究報告書、(社)日本原子力産業会議 (1986)
 - 5. 戸部満寿夫、伊藤均、林徹:「食品照射の効果と安全性」、監修: 藤巻正生、(財) 日本原子力文化振興財団、(1991)
 - 6. 伊藤均:食品照射の基礎と安全性、食品衛生と貯蔵にはたす放射線処理の可能性、 JAERI-Review 2001-2029、日本原子力研究所(2001)
 - 7. 日本原子力産業会議:照射食品の健全性関連資料仮訳集(1991年6月)
- 8. 等々力節子: オーストラリア/ニュージーランドにおけるハーブ・スパイスの照射の 許可、食品照射、**37**, 53-59 (2002)

2. 放射線照射食品の安全性に関する 研究文献の収集・整理

本章では、放射線照射食品の安全性に関する研究文献について以下の項目に分けて収集整 理を行った。

- 1. 誘導放射能:食品中の放射能の有無
- 2. 化学的安全性:照射副産物の有無とその産生量および化学的性質
- 3. 栄養学的適合性:照射に伴う栄養価の変動(食品としての適性が失われていないか)
- 4. 微生物学的安全性: 照射による食品中の微生物叢の変化および毒素産生の変化
- 5. 毒性学的評価:照射食品および照射副産物の毒性

各項目において収集した文献の一覧を掲載し、優先度の高い文献については内容分析を行 った。

なお、文献リスト中の文献IDのうちWHOの2つのレポートの引用文献を示すものがある。

*WHO (1994) Safety and nutritional adequacy of irradiated food. WHO, Geneva. (日本語版 1996 年) の引用文献としては、同書の化学的安全性、微生物学的安全性、毒性学的安全性、栄養学 的適合性を扱った各章の章末の文献リストの番号を活かして、以下のように文献 ID をつけ た。XXX の部分は、各章での参考文献番号と同じである。

第4章 食品照射の化学 94C-XXX

第6章 毒性学

94 T -XXX

第7章 微生物学 94M-XXX

第8章 栄養学 94N-XXX

*WHO (1999) High-dose irradiation: wholesomeness of food irradiated with doses above 10 kGy. の引用文献については、本文末のレファレンス番号を活かして以下のように示した。

99-XXX

2-1 誘導放射能

食品の放射線照射によって、食品の構成元素が放射性同位元素に変換され、照射食品中 に放射能が誘導されることがない(あるいは無視できる量の放射能の誘導しか起きること がない)ということを確認することは、安全性評価において考慮すべきことである。

現在、誘導放射能を考慮して、コーデックス国際食品規格や多くの照射許可国の規制では、食品照射に用いることのできる放射線源を次の3つに限定している。

- a) 放射性同位元素 60 Co(コバルト60:エネルギー1.33MeVおよび1.17MeV)または、 137 Cs(セシウム137:エネルギー0.66MeV)からのガンマ線
- b) 5 MeV以下のエネルギーで運転されるエックス線発生装置から得られるエックス線
- c) 10MeV以下のエネルギーで運転される加速器から得られる電子線

これらの放射線源は、食品中の原子の外殻電子や分子と作用して電子を放出し、イオンを生成する。それゆえこれらの放射線はイオン化放射線と呼ばれるが、これら3つの放射線が、食品中の元素との核反応によって有意なレベルの放射性同位元素を生成する可能性はないとされている。これらのことを実証するために、多くの測定と計算(シュミレーション)が実施されている(以下文献一覧B、Cの項)。

なお、多くの委員会勧告や報告書(文献一覧Aの項)では、(非照射)食品中に存在する自然放射能(たとえば、 40 K;カリウム 40 C;カーボン 14 C;カーボン $^{$

2002年にBrynjolfsonがIAEAのテクニカルドキュメントとして、食品中の自然および誘導放射能に関するデータを取りまとめている。この中で、上述した3つの放射線(ガンマ線、電子線(10MeV以下)エックス線(5 MeV以下))を用いたモデル食品の60kGyまでの照射による誘導放射能の有意な増加は認められず、感知できない程度のものであるとしている。また、7.5MeVのエックス線を30kGy以下で照射した場合の食品中の誘導放射能は、非照射食品中の自然放射能よりも低いと結論している(IAEA 2002)。

なお、エックス線のエネルギーについては、1995年のICGFI(食品照射に関する国際諮問グループ)の諮問委員会の会議を開き、7.5~MeVまでのエネルギーが安全であるという勧告を出している(ICGFI 1995)。2004年末にFDAは、食品照射に用いるエックス線のエネルギーを7.5MeVに変更する最終規則を提案している(FDA 2004)。

本調査では、照射食品の摂取の安全性について検討している。食品照射技術を放射線(医) 学的な観点で検討した場合、施設や工程管理の安全性についての考慮も必要であるが、適 切な管理下(たとえば放射線障害防止法に則った)で作業を行っている限り、作業者の被 爆等の健康に係わる問題はないと考えられるので、それに関する文献収集はここでは実施 しない。

<収集文献一覧>

A. 総説、委員会調査等報告書、規制

- 1) FDA (2004) Irradiation in the Production, Processing and Handling of Food, Federal Register, 69(246), 76844-76847.
- 2) IAEA (2002) Natural and induced radioactivity in food.
- 3) ICGFI (1995) The development of X-ray machines for food irradiation(proceedings of a consultants' meeting, Vienna, Austria 16-18 October 1995).
- 4) Olszyna-Marzys A. E. (1991) Radioactivity and foods, Bulletin of the Pan American Health Organization, **25(1)** 27-40.
- 5) CAST (A. I) (1986) Ionizing energy in food processing and pest control, I .Wholesomeness of food treated with ionizing energy, Council for Agricultural Science and Technology (Report No.109), p50.
- National Radiological protection Board (UK) (1985) Report on the radiological Implications of irradiated Foods (Adversary Committee on Irradiated and Novel Food (1986) Report on the Safety and Wholesomeness of irradiated Food HMSO: London. 3 Appendix B)
- 7) Becker, R.L (1983) Absense of induced radioactivity in irradiated Food. In "Recent Advance in Food Irradiation" P. S. Ellias Ed Elsevier p258-315.

B. 研究論文

- Katayama T. et al. (1994) Evaluation of induced radioactivity in 10 Mev-electron irradiated spices.
 II. β r ay counting, Radioisotopes, 43(2), 71-76.
- 9) Furuta M. et al. (1994) Evaluation of induced radioactivity in 10 Mev-electron irradiated spices. I. γ r ay measurement, Radioisotopes, 43(2), 63-70.
- 10) Findlay D. J. S. et al. (1992) Experimental electron beam irradiation of food and the induction of radioactivity, Int. J. Appl. Radiat. Isotopes, **43(5)**, 567-575.
- 11) Furuta M. et al. (1988) Preliminary examination of induced radioactivity in black pepper by 10 Mev electron irradiation, Radioisotopes, 37(7), 390-393.
- 12) Miller A. et al. (1987) Measurements of induced radioactivity in electron and photon irradiated beef, International journal of radiation applications and instrumentation. Part A, Applied radiation and isotopes, 38(7), 507-612.
- 13) Leboutet. H. et al. (1985) Theoretical evaluation of induced radioactivity in food products by electron or X-ray beam sterilization, Rdiat. Phys. Chem., 25(1-3), 233-242.

- C. 日本の原子力特定総合研究、日本アイソトープ委員会のプロジェクト研究報告
- 14) 食品照射運営会議 (1971) 照射馬鈴薯中の誘導放射能について。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] 1
- 15) 食品照射運営会議(1972)照射タマネギ中の誘導放射能について。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 [付録] 1
- 16) 武田篤彦 他 (1989) 照射食品の誘導放射能についての評価,日本アイソトープ協会食品照 射研究委員会研究成果中間報告書 日本アイソトープ協会
- 17) 橋爪朗 (1989) γ線による誘導放射能に対する考察 (1 0 MeV以下の光核反応) 日本アイ ソトープ協会食品照射研究委員会研究成果中間報告書 日本アイソトープ協会

2-2 化学的安全性

照射食品の安全性を議論する上で、食品や食品成分の放射線化学的な変化によって、毒性学上で問題となるような物資が生成しないかどうかは重要な観点である。

種々の食品成分や食品を放射線照射したときの化学反応については、多くの総説がある。 特にIFIP(国際食品照射プロジェクト)で実施された化学的成分変化に関する研究の 結果は、2つの単行本にまとめられている。

化学的安全性に関する総説およびオリジナルデータに関する収集文献はこの節の末尾に一覧にまとめた(表2-2-4)。

① 放射線特異的分解生成物 2-アルキルシクロブタノン類の生成に関する研究

食品中の2-アルキルシクロブタノンはトリグリセリドの分解物としてその構成脂肪酸よりも4つ炭素数の少ないアルキル鎖を持った環状化合物である。この物質の生成については、1972年にモデル系での生成が報告され、その後1990年に鶏肉の化学的検知の目的の研究過程で照射食品中での検出が報告された。

この化合物は、現在知られる中では、唯一の放射線特的分解化合物であり、最近ではその毒性評価に注目が集まった。その特異性から、照射食品の検知において指標化合物とされている。なお、照射食品中での生成量はわずかである(表2-2-1)。

② 香辛料、ハーブ等の成分、性質変化に関する文献

香辛料、ハーブ類に関しては、多くの国で放射線殺菌が実用化しており、産業的意味合いからここでの分析の対象として取り上げた。生薬、生のハーブ類もここでは取り上げてある。他に検知の目的で物理化学的な変化を研究した文献が多数存在するが、ここでは省略した(表2-2-2)。

③ 最近の文献(主に1997年以降)

食品の放射線照射に関する研究は現在も多数、報告されているが、ここでは主にアレルギーの観点で(食品)タンパク質の変化を扱ったもの、アルデヒド類の生成に関する最近の文献を扱った(表2-2-3)。

表2-2-1 食品中の2-アルキルシクロブタノン類の定量結果に関する文献

照射対象(食品)	線源	線量 (線量率)	温度 雰囲気	分析法	(結果(コメント)	文献
トリアシルグリセリド	コバルト60	60kGy	25℃	GC-MS	2-アルキルシクロブタノンの存在を初めて報告した論文	Letellier
				NMR		1972
脂肪酸、	コバルト60	10 kGy	·	GC-MS	トリアシルグリセリドから2-アルキルシクロブタノンの生成効率は構	Kim
トリアシルグリセリド					成脂肪酸が飽和脂肪酸(パルミチン酸、ステアリン酸)の場合の方	2004
					が、不飽和脂肪酸(オレイン酸、リノール酸、リノレン酸)よりも高い。	100

鶏肉	コバルト60	5kGy		GC-MS	DCB: 5 kGy 照射で 0.2 μ g/g fresh weight, 照射後 20 検出可	Stevenson
脂肪酸、	コバルト60	4.3~5.1kGy	12℃	GC-MS	能(食品中から初めて2-アルキルシクロブタノンを検出した文献) DCB の含量は貯蔵とともに減少, 照射後20日間は検出可能	1990 Boyd
トリアシルグリセリド 鶏肉		(1.3~21kGy/h)		NMR IR	DCB: 4.7 kGy で約 ~0.2 μg/g fresh weight.	1991a .
鶏肉	コバルト60	0.5~10 kGy (1.1 kGy/h)	8−10℃ プラスチックハ゛ック゛	GC-MS	DCB が線量に依存して精製 DCB は生肉の貯蔵中に安定、加熱調理で分解しない。	Crone 1992
鶏肉 (ラルテック毒性試験 試料)	コバルト60, 電子線	10~60 kGy (14kGy/h)	-46℃	GC-MS IRD/MSD	新たに-46℃の条件で60kGy まで照射して DCB の生成効率を検討。ラルテック動物試験で使用した鶏肉照射試料(58kGy、真空、缶詰、凍結乾燥 室温 13 年保存)がら DCB を検出、DCB 濃度は新しく照射した試料の 50%に減少	Victoria 1992
鶏肉、卵	コバルト60	2.5 kGy	4℃, -40℃ 空気、二酸化 炭素、真空		DCB は線量依存的に生成、照射温度は生成量に影響。凍結 (-40℃)は冷蔵 (4℃)に比べて DCB 生成量が少ない。包装雰囲気、貯蔵は分析結果に影響しない。	Stevenson 1993
鶏肉、卵、牛肉、羊、豚		0∼10 kGy		ESR GC-MS	照射食品検知の総説	Stevenson 1994
鶏肉	コバルト60	2.5∼10 kGy	プラスチックバ ッグ	ELISA GC-MS	エライザ法による2-アルキルシクロブタノン分析	Elliot 1995
鶏肉、パルミチン酸	コバルト60	5kGy, 60kGy (10 kGy/h)	10℃	SFE GC-MS	SFE 超臨界流体抽出法では、従来法(ソックスレー抽出、フルオリジル)に比べて検出量が4倍に。	Rahman 1996
チーズ、鶏肉、卵		0.5∼5kGy		LC-GC-MS	検出限界: 0.05mg/kg fat (0.5kGy) 2 -アルキルシクロブタノン生成は線量依存的	Meier 1996

牛肉、鶏肉	コバルト60	2~8 kGy (10 kGy/h)	10℃	SFE GC-MS	SFE 抽出 は従来法に比べて有利。牛肉からの2-アルキルシクロブタノンの抽出効率が従来法に比べて上昇	Tewfik 1998
チーズ、イワシ、マス、マンゴ、米、鶏肉、牛肉	1	0.1∼5 kGy	6-8℃, 20℃, -20℃, -80℃ プラスチックハ'ック' 空気	GC-MS	DCB/TCB の生成量は照射温度に依存的。-80℃ では 20℃照 射の半分。照射雰囲気の影響は少ない。 線量依存的な生成を広範に確認。生成効率: 1.1-1.6 nmol/mmol 前躯体 脂肪酸/kGy	Ndiaye 1999
米、卵、鶏肉	電子線	0.1~5 kGy (3kGy/s)	6-8℃, プラスチックバ ッグ	GC-MS	銀イオンクロマトグラフィーを前処理に導入することで、0.1kGy 照射の米から2-アルキルシクロブタノン検出が可能(脂質量を800mg の増量)	Ndiaye 1999
鶏肉、豚、卵、牛肉、マンゴ、パパイヤ	コバルト60	0.1~5kGy (0.87kGy)	4°C	SFE GC	SFE 法による分析は従来法に比べてまさる。DCB/TCB の生成量は線量依存的	Stewart 2001
鶏肉	コバルト60	0.5~30 kGy 0.4~ 4 kGy/h	室温	GC/FID	0.5 kGy 照射まで検出	Tanabe 2001
鶏肉	コバルト60	0.5∼10 kGy	室温	GC/FID	カラム条件の改良 同一カラムで HC 2-ACB の精製	田辺寛子 2002
牛肉 (バーガーパテ)	コバルト60 電子線	0.5~7kGy 1.01Gy/s(γ) 2.25 ~3.0 kGy/s(EB)	冷凍(-18℃) ナイロン/ポリエ チレンバッグ 酸素	GC-FID SFE GC-MS	DCB の生成は線量依存的電子線のほうがガンマ線に比べて生成量が多い。	Gadgil 2002
七面鳥、肉ダンゴ	電子線	5∼ 8 kGy		ESR TL GC-MS	硝酸銀イオンクロマトグラフィーまたは、SFE は低濃度の2-アルキルシクロブタノン分析に有利	Marchioni 2002
Вb	コバルト60	2.5-54.1 kGy (2~26.4kGy)	ガラスバイアル 4℃	GC-MS	DCB と TCB の生成は生卵でも熱殺菌した卵でも変化しない。 DCB/TCB の生成量の線量依存性を確認 DCB: $2.5 \text{ kGy}: 0.7 \ \mu \text{ g/g lipid}$ $10 \text{ kGy}: 3.3 \ \mu \text{ g/g lipid}$ TCB: $2.5 \text{ kGy}: 0.2 \ \mu \text{ g/g lipid}$ $10 \text{ kGy}: 1.2 \ \mu \text{ g/g lipid}$	Crone 1993
B b		1∼5 kGy		GC-MS	炭化水素 (C14:1/16:2/16:3/17:1/17:2) の生成量は線量依存的 (1-5kGy) DCB の生成量は TCB や TeCB に比べて多くより線量依存的 (1-5kGy)	Pfordt 1995
チーズ	コバルト60	1∼8 kGy		GC-MS	DCBとTCB の生成量の線量依存性を 1-8kGy で確認 DCB:TCB 比 2.1:1 パルミチン酸/ステアリン酸比= 2.5:1	Rahman 1996

1	À	コバルト60	2~8kGy (10kGy /h)	10℃	SFE GC-MS	SFE 抽出は従来法に比べて有利(魚油の分析可)	Tewfik 1999
=	ニジマス	コバルト60	0.56∼11.1 kGy	室温	GC-MS ESR	ESR シグナルの線量依存性を確認(0.56 - 5.7 kGy) DCB/TCB の生成量の線量依存性(1.1 - 11.1 kGy) DCB:TCB 比は 4.4, パルミチン酸:ステアリン酸比とほぼ同じ	Tanabe 2002
V	ነ አታ	コバルト60	0. 5~10kGy (2.5kGy /h)	12℃	GC-MS	炭化水素 (pentadecane, 1-tetradecene, heptadecane, 1-hexadecene, 8-heptadecene, 1,7-hexadecadiene) および 2-アルキルシクロブタノン CB (DCB, TCB)は 0.5kGy 以上で線量依存的な増加を確認	Kim 2004
13	ピーナツ、スープパウ ダー、ピスタシオ、カ E、豚、キャビア		2.5∼ 5 kGy		SFE GC-MSD	SFE を用い炭化水素、2-アルキルシクロブタノンを連続分析 SFE により精製度があがり2-アルキルシクロブタノン分析が可能 に。	Lembke 1995.
Ŀ	ピーナツ・	コバルト60	0.1∼10 kGy		GC/FID GC-MS	炭化水素、2-アルキルシクロブタノン生成ともに線量依存的 炭化水素 0.5 kGy 以上で検出可 DCB, TCB, TeCB:1 kGy 以上で検出可	Lee 1999
1	チーズ、鶏肉、アボカド、チョコレート、卵	電子線	0.5~100kGy	6-8℃ プラスチックバ ッグ 空気	SFE GC-MS GC/FID	SFE により複雑な食品マトリックスからの2-アルキルシクロブタノン検出が可能に。	Horvatovich 2000
	マンゴ、パパイヤ、チーズ、サケ	コバルト60	0.1~10 kGy (0.75~1 kGy/h)	4°C, −40°C	GC-MS	チーズ 0.5-5kGy, サケ 1-10kGy, マンゴ 0.5-2kGy, パパイア 0.1-1 kGy, TCB DCB の検出可。 パパイアの DCB は貯蔵期間中に減少	Stewart 2000
ŝ	/)	コバルト60	0.1~10 kGy (2.5 kGy/h)	10℃	GC-MS	炭化水素生成(C15:0/14:1/17:0/16:1/17:1/16:2/17:2/16:3) および CB (DCB, TCB, TeCB)の生成は 0.5-10 kGy で線量依存的	Lee 2000
	チーズ、ササゲ、米		50∼ 100 Gy; 100 kGy	6-8℃ プラスチックバ ッグ空気	SFE GC-MS	脂質量を2gに増やし、植物性食品50-100Gy 照射でも2-アルキルシクロブタノン検出が可能	Horvatovich 2002

DCB: 2-ドデシルシクロブタノン、 TCB: 2-テトラデシルシクロブタノン (本章 5-3参照)

表2-2-2 香辛料、ハーブ、生薬類の化学変化に関する文献

照射対象(食品)	線源	線量 (線量率)	温度、雰囲気	分析法	結果(コメント)	文献
白コショウ、ナツメグ、	コバルト60	0.5-4.5 Mrad	ポリエチレンバ	GC/MS	フリーラジカルの生成は無視できる。 揮発性生成物がわずかに	Tjaberg
ショウガ			ック 室温	ESR	増加 味、においの変化なし(1.58 Mrad:)	1972
オニオンパウダー	コバルト60	400-4000 krad	缶	UV 分光光度計 IR 分光光度計	たんぱく質、脂質、炭水化物、水分、灰分に変化なし	Galetto 1979
オニオンパウダー	コバルト60	0.9-4 Mrad; 27 Mrad		官能評価	変化なし	Silberstein 1979
クローバ、セージ オ	コバルト60	2-4 Mrad			抗菌性の変化なし	渡辺
レガノ、ローズマリ、タ イム、メース			· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·			1985
黒コショウ、パプリカ、	コバルト60	4-8 kGy	室温	製油成分(水蒸	変化なし	Farkas
オニオンパウダー、ニ ンニクパウダー		9.6 kGy/h		気蒸留) 分光 学的検査	殺菌効果も検討 エチレンオキサイドガスとの比較	1988
朝鮮ニンジン	コバルト60	1-10 kGy	室温	サポニン/炭水	サポニン/ginsenoside Rg1 に変化なし	Kwon
(ジンセン)		1kGy/h	室雰囲気	化物: (HPLC)	含硫アミノ酸 /チロシン減少(>5kGy)	1990
			,	ミネラル(ICP) アミノ酸分析	プロリン.リジンの増加(10 kGy) 遊離糖の変化なし。ミネラル変化なし	
ナツメグ	コバルト60	10 kGy		GC/MS	脂質の放射線分解を確認 炭化水素	Wilmers 1990
黒コショウ、ナツメグ、	コバルト60	5-80 kGy		GC	過酸化物の生成は線量依存的	金子
ローズマリー、クロー ブ		10 kGy/h		HS-GC	ョウ素価/酸価: 線量により若干増加 炭化水素/酸化物: 50 kGy まで有意な変化なし	1991
コショウ	コバルト60	0.1-10 kGy		HPLC ·	Piperine: 変化なし	奥山典生
·				SFC	Coumarine: 変化あり	1992
黒コショウ、白コショウ、	電子線	5-10 kGy	0.10 kGy/min	GC	精油成分に変化なし	林
オニオンパウダー、ナツメ					(殺菌効果の検討 電子線ガンマ線の検討)	1993
グ、パセリ、レッドペッパ ー、パプリカ、 ローレル	コバルト60					

トウガラシ	コバルト60	5-10 kGy	オゾン処理との 比較	GC カロリメトリー	capsaicin, capsanthin に変化なし 褐変、脂肪酸組成、官能特性の変化なし	Lee 1997
			· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·			
アロエ粉末	コバルト60	2.5-10 kGy	PVC コンテナ	アミノ酸、TBA	10 kGy で殺菌効果	Byun
		1 kGy/h	-20℃	値、ミネラル分	アミノ酸、脂肪酸、ミネラル、 TBA 値, barbaloin, クロロフィル, カ	1997
•				析(殺菌効果)	ロテノイド変化なし	
サフラン	コバルト60	2.5-5 kGy	18 Gy/min	GC/MS	揮発性精油成分: safranal 含量の減少	Zareena
			25℃	HPLC	5kGy で芳香性が若干減少	2001
				thin layer	色素:crocetin glucoside 減少	
*				chromatography	5kGy の照射は品質上好ましくない。	<u> </u>
コリアンダー(生)	セシウム 137	1-3 kGy	plastic bag	GC/MSD	Linalool, dodecanal,(E)-2-dodecenal の減少 Decanal	Fan
			5℃		(E)-2-decenal は変化なし	2002
			0.098 kGy/min	1	新規の揮発性物質は照射で生成しない。	
,					3kGy までは、揮発性(香気)物質への影響が無い。	
コリアンダー(ハーブ)	コバルト60	1-3 kGy	ポリエチレンバック	微生物検査	1 kGy で殺菌効果	Kamat
生	0.02kGy/min.	,	氷水中(0度)	色素 クロロフィ	色、色素成分、香気に影響なし	2003
			0.02kGy/min.	ル、カロチノイド		·
				(分光分析)		
				 精油成分:		
				GLC/GC-MS		
ナツメグ	コバルト60	2.5-10 kGy	14 Gy/min	TLC	5-10 kGy: 線量依存的にトリグリセリドの減少と遊離脂肪酸の増	Niyas
			25℃	GC/MS	加	2003
					5 kGy 以上でにおいの変化	

表2-2-3 化学変化に関する最近の文献(アレルギーの観点でのタンパク質の変化とアルデヒドの生成、脂質分解に関してなど)

照射対象(食品)	線源	線量(線量率)	温度。雰囲気	分析法	結果(コメント)	文献
タンパク質変化	a mood was a management of the	J 3000000000000000000000000000000000000				
卵白	コバルト60	10-20 kGy	10℃	SDS-PAGE	卵白アルブミンのコンホーメーション変化が照射によって起こっ	Seo 1999
		20 kGy/h		ELISA	た。 卵白のアレルゲン性の減少。卵白アルブミン濃度の減少(コントロ	1999
1					$-\nu$:375–432 μ g/g sample) 10kGy (14.3 μ g/g) 20kGy (8.8 μ /g).	
ブラウンシュリンプ(エビ)	コバルト60	1-10 kGy	10℃	ELISA: マウス		Byun
耐熱性タンパク質		10 kGy/h		モノクローナル		2000
(hsp)				抗体(mAB),		
				ヒト患者血清	患者 IgE の照射エビへのアレルギー反応は線量依存的に減少した。	
				IgE	SDS-PAGE の結果hspの高分子化が示唆された。	
				SDS-PAGE	照射はアレルギーの低減に利用できる可能性がある。	
卵 卵白アルブミン	コバルト60	0-100kGy	7.5kGy/h	モノクローナル	照射卵白アルブミンを認識するモノクローナル抗体を作成し、照	Masuda
			. •	抗体	射卵白アルブミンとの相互作用を表面プラズモン解析により検討	2000
				表面プラズモン		
		ī		解析(SPR)	10kGyまでの線量で照射したアルブミンでは変化は観測されな	
	and the second				かったが、20kGy 以上を照射すると線量依存的に卵白アルブミ	
					ンのコンホーメーション変化を表面プラズモン共鳴解析により検出 できた。	
牛乳 アルファカゼイ	コバルト60	3-10 kGy	10℃	Ci-ELISA: ヒト	照射により牛乳のアレルゲン性は低下した。	Woon
ン (ACA)		10 kGy/h	ガラスチュー	IgE	照射は ACA および BLG.のコンホーメーション変化を引き起こす。	2001
ベータラクトグロブリン	1 1		ブ	SDS-PAGE	SDS-PAGE の結果は照射による高分子化を示唆。	
(BLG)			1		ACA/BLG に対応する電気泳動でのバンドが照射により減少、照	
					射により溶解度が減少。	
列 ovomucoid	コバルト60	10 kGy	10°C10pH 7.4,	Ci-ELISA: ヒト	10kGy 照射または加熱でインタクトのオボムコイド濃度が減少す	Lee
		10 kGy/h	9.0, 10.0	IgESDS-PAGE	る。この効果は pH が高いほど大きい。	2002
					10 kGy + 100℃加熱によりpH によらずインタクトのオボムコイドがp	
			÷.		H にかかわらず効果的に減少する。	
					SDS-PAGE の結果 28kDa のバンドが10kGy 照射で消失。組み	
					合わせ処理はアレルゲンの低減に効果的。	

S	5	1
	i	

戼 ovalbumin	コバルト60	10 kGy	10℃	Ci-ELISA:	加熱と照射によりアレルギー性が低下した。	Kim
y). 0 / 4.10 4.11.11		10 kGy/h		human IgE	卵白アルブミンのマウス IgG への結合は 75℃以上で、ヒト IgE	2002
					への結合は 80℃以上で変化した。	4
•				14 (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1)	ELISA の結果では卵白アルブミンを 80℃かそれ以上で加熱する	
					と IgE の認識は低下したが、マウス IgG はこの条件で処理した卵	
					白アルブミンの認識を保持していた。	
					照射と加熱を組み合わせた場合どちらの処理を先にしても卵とヒト	
		* ***			患者血清 IgE の結合は低下した。	
アルデヒド生成						
七面鳥	電子線	1-2 kGy	ナイロン/ポリエ	比色、TBA	2kGy 照射でアセトアルデヒド、 2-methyl butanal, 3-methyl	Zhu
	(10MeV)	88.3kGy/min	チレンバック	GC/MS	butanal,トルエン ベンゼン生成. 含硫黄化合物	2004
			真空		TBA: 変化なし、1-2kGy で色調の a* value 増加	
リンゴ (ジュース)	セシウム 137	0-8.9 kGv	5℃	GC/MSD	マロンアルデヒド(MA), ホルムアルデヒド(FA),アセトアルデヒド	Fan
,		0.1 kGy/min	3.5 kGy:		ACT)の生成は、加熱殺菌および生ジュースの照射の両方で増加	2002
			0°C ,20°C,−20°C		した。	
		and the second	(ガラス・ゾイアル)		加熱殺菌ジュース中の G 値は MA(0.0056), FA(0.061) and	
		. *	空気窒素条		ACT(0.0044)。マロンアルデヒドは5℃貯蔵中に減少した。	,
			件 28 日間貯		これらのアルデヒドの生成は照射温度が低下すると減少(-20℃)。	
	4 - 5		蔵(5℃)		また、嫌気(N2)条件の照射によって ACT および FA の生成量は	
					低下したが MA は影響しなかった。	
					マロンアルデヒドの生成は 1000ppm のアスコルビン酸およびソル	
					ビン酸 亜硫酸の添加により減少。	
ショ糖、フルクトース、	セシウム 137	0-6 kGy	5℃	GC/MSD	マロンアルデヒド、ホルムアルデヒドが線量依存的に生成。	Fan
グルコース、アミロペ		0.099 kGy/min)	これらの生成は pH の影響を受ける。	2003
クチン、リンゴ酸				· .		

脂質変化	脂質変化							
鶏肉	コバルト60	2.5-25 kGy 30 kGy/h	4℃, 20℃ フラスコ中	GC/MS	揮発性化合物の生成: dimethyltrisulphide,cis-3 trans-6-nonenals, oct-1-en3-one, bis(methylthio-)methane 鶏肉飼養時の餌にアルファトコフェロールおよびアスコルビン酸を添加すると照射による揮発性化合物の生成が抑制された。	Pattweson 1995		
牛肉(ソーセージ)	セシウム 137	0.5-3 kGy 0.096 KGy/min	4℃ 液体窒素温 度	TBA 値 色の変化	脂質酸化および色調にわずかな変化(リステリアの D10 値=0.5 6kGy)	Sommers 2003		
卵(殻つき)	コバルト60	0.5-3 kGy		GC	炭化水素 C15:0, C14:1,C17:0, C16:1, C17:1, C16:2, C17:2, C16:3 は 0.5kGy 以上で検出され、線量依存的に増加した。	Hwang 1999		

表2-2-4 化学的安全性 収集文献一覧

A. 総説、単行本

著者	掲載年	表題	雑誌名	巻 (号)	頁	文献ID
Elias P.S.	1977	Radiation chemistry of major food components Amsterdam,	(Amsterdam Elsevier)			
Basson R.A.	1983	Advances in radiation chemistry of food and food components - an overview	In: Cohen AJ, Elias PS, eds. Recent advances in food irradiation. Amsterdam, Elsevier		38558	99-013
Diehl J.F. et al.	1975	Estimation of radiolytic products as a basis for evaluating the wholesomeness of irradiated foods	International Journal of Applied Radiation and Isotopes	26 (9)	499-501	FI0078
Taub I.A. et al.	1976	Irradiated food: validity of extrapolatin wholesomeness data	Journal of food science	41	942-944	99-015
Sonntag C.V.	1987	The chemical basis of radiation biology.	(London, Taylor and Francis)		375-393	99-043

化学全般

著者	掲載年	表題	雑誌名	巻 (房)	頁	文献ID
Diehl J.F.	1982	Radiolytic effects in foods	Boca Raton,FL,CRC Press		279-357	94C 011
			In:Josephson ES,Peterson			
			MS,eds.Preservation of			
			foods by ionizing			
			radiation ,Vol.1			<u> </u>
Simic M.G.	1983	Radiation chemistry of water-soluble	In:Josephson ES,Peterson		1-73	94C 036
		food components	MS,eds.Preservation of			
			food by ionizing			
			radiation, Vol. 2. Boca			
			Raton,FL,CRC Press			
Taub I.A.	1981	Radiation chemistry and the radiation	Journal of chemical	58	162-167	99-012
		preservation of food	education			
Taub I.A.	1983	Reaction mechanisms, irradiation	In:Josephson ES,Peterson		125-166	94C 038
		parameters, and product formation	MS,eds.Preservation of			
			food by ionizing			
		and the second s	radiation, Vol. 2. Boca	·		
			Raton,FL,CRC Press	· ·		
Taub I.A.	1984	Free radical reactions in food	Journal of chemical	61	313-324	99-022
			education			
Taub I.A.	1979	Factors affecting radiolytic effects in	Radiation physics and	14	639-653	99-024
et al.		food	chemistry			

タンパク質

著者	掲載年	表題	雑誌名	巻 (号)	"頁	文献ID
Liebster J.	1964	The radiation chemistry of amino acids	Advances in radiation	1	157-226	94C 024
et al.			biology	'		
Taub I.A.	1978	Radiation chemistry of high protein	(In: Proceedings,		371-384	99-027
et al.		foods irradiated at low temperature	International Symposium			
			on Food Preservation by			
			Irradiation. Vienna,			
			International Atomic			
			Energy Agency)			
					-	
Urbain W.M.	1977	Radiation chemistry of proteins	In:Elias PS,Cohen		63-130	94C 043
et al.			AJ,eds.Radiation chemistry			
			of major food			
			components.Amsterdam,El			
			sevier		;	

脂質

著者	掲載年	表題。北海道	雜誌名	巻 (号)	夏	文献ID
Merritt C.Jr.	1972	Qualitative and quantitative aspects of	Radiation research reviews	3	353-368	94C 025)
		trace volatile components in irradiated				
•		foods and food substances				
Nawar	1977	Radiation chemistry of lipids	In:Elias PS,Cohen	٠.	21-61	94C 029)
W.W.			AJ,eds.Radiation chemistry		·	
			of major food components.			
			Amsterdam, Elsevier			
Nawar	1983	Radiolysis of nonaqueous components	In:Josephson ES,Peterson		75-124	94C 030)
W.W.		of foods	MS,eds.Preservation of			
	· ·		food by ionizing			
			radiation, Vol. 2. Boca		,	
			Raton,FL,CRC Press			
Nawar	1986	Volatiles from food irradiation	Food reviews international	2	45-78	94C 031)
W.W.						
Nawar	1978	Reaction mechanisms in the radiolysis of	Journal of agriculture and	26	21-25	99-062
W.W.		fats: a review	food chemistry			

炭水化物

著者	掲載年	表題訓訓』	雑誌名	巻号	頁	文献ID
Dauphin	1986	Radiation chemistry of	In:Elias PS,Cohen		131-185	94C 005)
J.H. et al.		carbohydrates	AJ,eds.Radiation chemistry of			(99-45)
		the state of the s	major food			
			components. Amsterdam, Elsevier			
Delincee H.	1983	Recent advances in the radiation	In:Elias PS,Cohen		129-147	94C 006)
		chemistry of proteins	AJ,eds.Recent advances in food			
			irradiation,Amsterdam,Elsevier			
			Biomedical			
Sonntag	1980	Free-radical reactions of	Advances in carbohydrate	37	7-77	94C 046)
C.V.		carbohydrate as studied by radiation techniques	chemistry and biochemistry			

B. 研究論文 (オリジナルデータ)

B. 研究論文		Every and the second se	5a = + E	ye lesk	n	1112	
著者	掲載年	表題	雑誌名	巻 (号)	頁	対象館	文献ID
Annon	1994	Chemical method for detection of	Luxemburg, European		74-78	2-アル	94T
		2-dodecylcyclobutanone in irradiated chicken	Commission Report			キルシ	011
		meat (In: Concerted action of the Community	No. EUR 15261 EN)			クロブ	
		Bureau of Reference on methods of				タノン	
		identification of irradiated foods.)		-	<u> </u>	分析	
Beyers M.	1979	γ -irradiation of sub-tropical fruits.4.Changes	Journal of agricultural	27	48-51	果実	94C
et al.		in certain nutrients present in mangoes,papayas	and food chemistry				002)
		and litchis during canning, freezing and γ			·		
	ļ	irradiation		,			
Boyd D.R.	1991	Synthesis, characterization, and potential use of	Journal of agricultural	39	789-792	2-アル	99-042
et al.		2-dodecylcyclobutanone as a marker for	and food chemistry			キルシ	
		irradiated chicken				クロブ	
						タノン	
	ļ					分析	
Byun M.W.	2000	Effects of gamma radiation on the	Journal of Food	63 (7)	940-944	タンパ	FI0716
et al.		conformational and antigenic properties of a	Protection			ク質(ア	
		heat-stable major allergen in brown shrimp				レルギ	
				·		<u>—)</u>	
Byun M.W.	1997	Comparative effects of gamma irradiation and	International Journal of	32 (3)	221-227	香辛料	FI0993
et al.		ozone treatment on hygienic quality of aloe	Food Science &			類(アロ	
		powders	Technology			工粉末,	·
						生薬)	
Crone A.V.J.	1992	Effect of storage and cooking on the dose	J. Sci. Food Agr.	58	249-252	2-アル	OC-17
et al.	ŀ	response of 2-dodecylcyclobutanone, a				キルシ	
		potential marker for irradiated chicken				クロブ	
						タノン	
						分析	
Crone A.V.J.	1993	Synthesis, characterization and use of	J. Sci. Food Agr.	62	361-367	2-アル	OC-07
et al.		2-tetradecylcyclobutanone together with other				キルシ	
		cyclobutanones as markers for irradiated liquid				クロブ	
		whole egg			,	タノン	
B 11 17 11	1074	7700				分析	
Delincée H.	1974	Effect of γ -irradiation on the charge and size	Radiation research	59	572-584	タンパ	94C
et al.		properties of horseradish peroxidase:				ク質	007)
D.11 (II	1075	individual isoenzymes		20 (5)		(酵素)	
Delincée H.	1975	Structural damage of gamma-irradiated	International Journal of	28 (6)	565-579	タンパ	94C
et al.		ribonuclease revealed by thin-layer isoelectric	radiation biology			ク質	008)
D'HIE	1075	focussing	7 1 1 6 6	1.57	047.004	(酵素)	0.10
Diehl J.F.	1975	Thiamine in irradiated foodstuffs I. Influence	Zeitschrift feur	157	317-321	ビタミン	94C
		of different radiation conditions and of time	Lebensmittel-Untersuc				009)
		after irradiation	hung und -Forschung				
Diehl J.F.	1979	Reduction of radiation-induced vitamin losses	Zeitschrift feur	169	276-280	ビタミン	94C
		by irradiation of foodstuffs at low temperature	Lebensmittel-Untersuc				010)
		and by exclusion of atmospheric oxygen(原文	hung und -Forschung				
		ドイツ語)					
Diehl J.F.	1979	Radiolysis of carbohydrates and of	Journal of agricultural	26	15-20	炭水化	94C
et al.		carbohydrate-containing foods	and food chemistry		ľ	物	013)
Dizdaroglu	1973	γ -Radiolyse von Cellobiose in	Zeitschrift fuer	28b	635-646	炭水化	99-052
M. et al.		N2O-gesättigter wäßriger Lösung. Teil I.	Naturforschung		-	物,食	
		Identifizierung der Produckte	3			物繊維	
Dorfman	1962	Pulse radiolysis studies. I. Transient spectra	Journal of chemical	36	3051-3061	放射線	99-023
L.M. et al.	1702	and reaction-rate constants in irradiated	physics	50	-3001-3001	化学	77-043
initia. Ot al.		aqueous solutions of benzene	Fillipion			107	
	l	aqueous solutions of bonzone			L		

							
Drijver L.D.	1986	High-performance liquid chromatographic	Journal of agricultural	34	758-762	マンゴ	94T
et al.		determination of D-arabino-hexos-2-ulose	and food chemistry				044)
		(D-glucosone) in irradiated sugar solutions:					
		application of the method to irradiated mango					1
Elliot C.T.	1995	Detection of irradiated chicken meat by	Analyst	120	2337-2341	2-アル	OC-15
et al.		analysis of lipid extracts for 2-substituted				キルシ	
		cyclobutanones using an enzyme linked				クロブ	
		immunosorbent assay				タノン	
				1		分析	
Fan X.	2003	Ionizing radiation induces formation of	Journal of agricultural	51 (20)	Sep46	炭水化	FI0855
		malondialdehyde, formaldehyde, and	and food chemistry			物	
		acetaldehyde from carbohydrates and organic	•			糖	
	<u> </u>	acid					
Fan X.	2002	Changes in volatile compounds of γ	Journal of agricultural	50 (26)	Jun-22	香辛料	FI0857
et al.		-irradiated fresh cilantro leaves during cold	and food chemistry			類(コリ	
		storage				アンダ	
						一(生)	
Fan X.	2002	Formation of malonaldehyde, formaldehyde,	Journal of Food	67 (7)	2523-2528	果実 リ	FI0939
et al.		and acetaldehyde in apple juice induced by	Science			ンゴ(ジ	
		ionizing radiation				ュース)	<u> </u>
FASEB	1977	Evaluation of the health aspects of certain	Bethesda, MD, Life			牛肉	94C
		compounds found in irradiated beef	Sciences Research			揮発性	015)
			Office,Federation of		ľ	生成物	
	· .		American Societies for				
			Experimental Biology.				
FASEB	1979	Evaluation of the health aspects of certain	Bethesda, MD, Life			牛肉	94C
	'	compounds found in irradiated beef,	Sciences Research			揮発性	016)
		supplements I and II	Office, Federation of			生成物	· .
			American Societies for				
			Experimental Biology				
Gadgil P.	2002	2-alkylcyclobutanones as irradiation dose	J. Agric. Food Chem.	50	5746-5750	2-アル	OC-09
et al.		indicators in irradiated ground beef patties				キルシ	00 07
		•				クロブ	
						タノン	
						分析	
Galetto W.	1979	Irradiation treatment of onion powder: effects	Journal of food science	44	591-595	香辛料	94C
et al.		on chemical constituents				類(オニ	019)
						オンパウ	
·						ダー)	
Gower J.D.	1986	The oxidation of benzoa (α) pyrene mediated	Int. J. Radiat.Biol.	49 (3)	471-484	魚	FI0014
et al.		by lipid peroxidation in irradiated synthetic	Related Studies in			(脂質)	
		diets	Physics Chemistry and			. ,	
			Medicine				
Green B.E.	1966	Lipid oxidation in irradiated cooked beef	Food Technology	20 (8)	111-114	牛肉	940
et al.		The state of the s	1 ood 1 comology	20 (0)	111-114	午內 脂質	94C
	1006	Description of O. I. div. 1					020)
Hamilton L.	1996	Detection of 2-substituted cyclobutanones as	J CHEM SOC PERK T	2	139-146	2-アル	OC-08
et al.	,	irradiation products of lipid-containing foods:	1			キルシ	A
		synthesis and applications of cis- and	**			クロブ	
		trans-2-(tetradec-5'-enyl) cyclobutanones and				タノン	
		11-(2'-oxocyclobutyl) -undecanoic acid				分析	
Horvatovich	2000	Supercritical fluid extraction of hydrocarbons	Journal of	897	259-268	2-アル	FI0549
P. et al.		and 2-alkylcyclobutanones for the detection of	Chromatography A	(1-2)		キルシ	(OC-11
		irradiated foodstuffs		-		クロブ)
	.					タノン	
		·				分析	

			* - 1 * *				
Horvatovich P. et al.	2002	Supercritical fluid extraction for the detection of 2-dodecylcyclobutanone in low dose irradiated plant foods	Journal of Chromatography A	968	251-255	2-アル キルン クリン 分析	OC-31
Hwang K.T.	1999	Hydrocarbons detected in irradiated shell eggs during storage	Journal of the American Oil Chemists' Society	76 (10)	1183–87	戼	FI0555
Kamat A. et al.	2003	Potential application of low dose gamma irradiation to improve the microbiological safety of fresh coriander leaves.	Food Control	14 (8)	529-537	香 学 類 (コリアン ダー生)	FI0236
Katta S.R. et al.	1991	Effects of gamma irradiation of whole chicken carcasses on bacterial loads and fatty acids	Journal of Food Science	56 (2)	371-372	鶏肉 (脂質)	FI0193
Kavalam J.P. et al.	1969	Effects of ionizing radiation on some vegetable fats	Journal of the American Oil Chemists Sciety	46	387-390	植物油脂	94C 022)
Kennedy T.S. et al.	1971	Studies on the combined effect of gamma radiation and cooking on the nutritional value of fish	Journal of the science of food and agriculture	22	146-148	魚 ビタミン	94C 023)
Kim H.J. et al.	1984	Binding-site specificity of the radiolytically induced crosslinking of phenylalanine to glucagon	Radiation research	98	26-36	アミノ酸炭水化物	99-030
Kim H.J. et al.	1984	Binding site specificity of the gamma-radiation-induced crosslinking between phenylalanine and phenylalanine-containing tetrapeptide	Radiation research	100	3040	タンパク質 アシー酸	99-031
Kim H.J. et al.	2004	Analysis of radiolytic products of lipid in irradiated dried squids (Todarodes pacificus)	Journal of food protection	67 (8)	1731-5	2-アル キルシ タフン 分析	FI0841
Kim M.J. et al.	2002	Changes in the antigenic and immunoglobulin E-binding properties of hen's egg albumin with the combination of heat and gamma irradiation treatment	Journal of Food Protection	65 (7)	1192-1195	卵 (ア レルギ ー)	FI0948
Kwon J. H. et al.	1990	Chemical constituents of Panax ginseng exposed to γ irradiation	Journal of Agricultural and Food Chemistry	38 (3)	830-834	香辛料 類 (ジ ンセン)	FI0035
Laroff G.P. et al.	1972	The electron spin resonance spectra of radical intermediates in the oxidation of ascorbic acid and related substances	Journal of the American Chemical Society	94	9062-9073	アスコ ルビン 酸	99-056
Lee H.J. et al.	2000	Detection of radiation-induced hydrocarbons and 2-alkylcyclobutanones in irradiated perilla seeds	Journal of Food Protection	63 (11)	1563-1569	2-アル キルシ クロブ タノン 分析	OC-32
Lee H.J. et al.	1999	Detection of radiation-induced hydrocarbons and 2-alkylcyclobutanones from peanuts	J. Food Sci. Nutr.	4 (4)	271-275	2-アル キルシ クロブ タイ 分析	OC-16
Lee J.W. et al.	2001	Effects of gamma radiation on the allergenic and antigenic properties of milk proteins	Journal of Food Protection	64 (2)	272-276	牛乳(ア レルギ ー)	FI0963

Lee J.W. et al.	2002	Allergenicity of hen's egg ovomucoid gamma irradiated and heated under different pH	Journal of Food Protection	65 (7)	1196-1199	戼	FI0947
		conditions					
Lee S.H.	1997	Effects of ozone treatment and gamma	Journal of the Korean	26 (3)	462-467	香辛料	FI0764
et al.		irradiation on the microbial decontamination	Society of Food			(唐辛	
		and physicochemical properties of red pepper powder	Science and Nutrition			子)	
Lembke P.	1995	Characterization of irradiated food by SFE and	J. Agric. Food Chem.	43	3845	2-アル	OC-27
et al.		CG-MSD				キルシ	
						クロブ タノン	
						タノン 分析	
Letellier	1972	2-alkylcyclobutanones from the radiolysis of	Lipids	7	75-76	2-アルキ	OC-04
P.R. et al.		triglycerides				ルシクロ	
				·		ブタノン	
Marchioni	2002	Detection of low amount of irradiated	Radiat. Phys. Chem.	63	447-450	2-アルキ	OC-26
E. et al.		ingredients in non-irradiated precooked meals				ルシクロ	
	2000					ブタノン	
Masuda, T. et al.	2000	"Monitoring the Irradiation-induced	Biosci. Biotechnol. Biochem	64	710-716	蛋白質	OC-35
Ci ai.		Conformational Changes of Ovalbumin by Using Monoclonal Antibodies and Surface	Biochem			ギー卵白	
		Plasmon Resonance				アルブミ	
						ン)	
Meier W.	1996	Detection of irradiation of fat-containing foods	Mitteilungen aus dem	87	118-122	2-アル	OC-21
et al.		by on-line LC-GC-MS of alkylcyclobutanones	Gebiete der			キルシ	
			Lebensmitteluntersuch		3 1	クロブ	
			ung und Hygiene			タノン 分析	
Merritt C.Jr.	1983	Commonality and predictability of radiolytic	In:Elias PS,Cohen		27-57	肉	94C
et al.		products in irradiated meats	AJ,eds.Recent			揮発性	026)
			advances in food			物質	
			irradiation Amsterdam,				
Merritt C. Jr.	1985	A quantitative comparison of the yields of	Elsevier Biomedical Journal of the	62	708-713	肉	99-061
et al.	1703	radiolysis products in various meats and their	American Oil	02	/00-/13		99-001
		relationship to precursors	Chemists' Society				
Merritt C. Jr	1984	Radiolysis Cpmpound in Bacon and	cience and Advanced			鶏肉	
et al.		Chicken(Final Report)	Technoogy Laboratory			ベーコ	
*.			U.S Army Natick			$\boldsymbol{\nu}_{\scriptscriptstyle 0}$	
			R&D Lab Report PB 84-187095				-
Michel J.P.	1980	Experimental study of the	StaE rke.	32	295-298	デンプ	99-051
et al.		radiodepolymerization of starch				ン	
Moshonas	1984	Effects of low-dose γ-irradiation on	Journal of agricultural	32	1098-1101	果実(グ	94C
M.G. et al.	-	grapefruit products	and food chemistry	.		レープフ	027
						ルーツ)	
Nagai N.Y.	1985	Quality of gamma irradiated California	Journal of food science	50	215-219	果実(オ	94C
et al.		Valencia oranges				レンジ)	028
Narvaiz P.	1992	Physicochemical and sensory analyses on egg	Journal of Food Safety	12 (4)	263-282	乾燥卵	FI0425
et al.		powder irradiated to inactivate Salmonella and					,
		reduce microbial load					

Ndiaye B. et al.	1999	2-alkylcyclobutanones as markers for irradiated foodstuffs III. Improvement of the field of application on the EN 1785 method by using silver ion chromatography	Journal of Chromatography A	858	109-115	2-アル キルシ クロブ タノン 分析	OC-25
Ndiaye B. et al.	1999	2-alkylcyclobutanones as markers for irradiated foodstuffs II. The CEN (European Committee for Standardization) method: field of application and limit of utilization	Radiat. Phys. Chem.	55	437-445	2-アル キロノ タ分析	OC-22
Neta P.	1973	On the ESR spectra of radicals produced by the reaction of OH with uracils	Radiation research	56	201-204	核酸	99-057
Niyas Z. et al.	2003	Effect of γ-irradiation on the lipid profile of nutmeg (Myristica fragrans Houtt.)	Journal of agricultural and food chemistry	51 (22)	Apr-02	香辛料 類(ナ ツメグ・ 脂質)	FI0736
Silberstein O. J. et al.	1979	Irradiation of onion powder: Effects on taste and aroma characteristics	J. Food Science	44	917-919	香辛料 類	S-27
Patterson R.L.S. et al.	1995	Irradiation-induced off-odour in chicken and its possible control	British poultry science	36 (3)	42541	鶏肉	FI0630
Pfordt J. et al.	1995	Bakery products from irradiated and unirradiated eggs - detection of irradiation in processed food (原文ドイツ語)	Z. Lebensm. Unters. Forsch.	200	198-202	2-アル キルン タノン 分析	OC-28
Proctor B.E. et al.	1952	Biochemical prevention of flavor and chemical changes in foods and tissues sterilized by ionizing radiations	Food technology	6	237-242	タンパ ク質 (酵素)	94C 032)
Proctor B.E. et al.	1951	Effect of high-voltage cathode rays on ascorbic acid - in vitro and in situ experiments	Industrial and engineering chemistry	43 (3)	718-721	アスコ ルビン 酸	94C 033)
Radola B.J.	1974	Identification of irradiated meat by thin layer gel chromatography and thin layer isoelectric focusing (原文ドイツ語)	In: Identification of irradiated foodstuffs.Luxembour g,Commission of the European Communities,(EUR		27-43	肉 タンパ ク質	94C 034)
Raffi J. et al.	1985	Glucose oligomers as models to elucidate the starch radiolysis mechanism	StaE rke	37	228-231	炭水化 物グル コース	99-047
Raffi J. et al.	1987	Identification par résonance paramagnétique électronique de céréales irradiées	Science aliments	4	657-663	小麦 大麦 トウモロ コシ	99-063
Raffi J. et al.	1981	Gamma radiolysis of starches derived from different foodstuffs Part IV: study of radiodepolymerization	StaE rke	33	301-306	デンプン	99-049
Raffi J. et al.	1980	Theoretical study of the radiodepolymerization of starch	StaE rke.	32	227-229	デンプ ン	99-050
Raffi J. et al.	1983	Influence of the physical structure of irradiated starches on their electron spin resonance spectra kinetics	Journal of physical chemistry	87	2369- 2373	デンプン	99-046

D 00 1	1004	T =	T	1.		T	
Raffi J.	1981	Study of γ -irradiated starches derived from	Journal of agricultural	29.	1227-	炭水化	99-048
et al.		different foodstuffs: a way for extrapolating	and food chemistry		1232.	物,デン	
		wholesomeness data			.166	プン	
Rahman R.	1996	Cyclobutanones as markers for irradiated	Nahrung	40 (2)	55-59	2-アル	OC-29
et al.		samples of brie and camembert cheese				キルシ	
						クロブ	
						タノン	
			An and the second			分析	
Rahman R.	1996	A rapid method (SFE-TLC) for the	FOOD RES INT	29	301-307	2-アル	OC-14
et al.		identification of irradiated chicken	1000 1000 111	(3-4)	301307	キルシ	00-14
				(3-4)		クロブ	
		·				タノン	
	Ì					ケック	
Romani R.J.	1963	Radiation physiology of fruit - ascorbic acid,	Radiation botany	3	363-369		040
et al.	1703	sulphydryl and soluble nitrogen content of	Radiation botally	3	303-309	柑橘類	94C
Ct al.	l	irradiated citrus				(アスコ	035)
	1	infadiated citrus				ルビン	
Seo J.H.	1000					酸)	
	1999	Change of an egg allergen in a white layer cake	Journal of food	67 (8)	1725-30	タンパク	FI0842
et al.		containing gamma-irradiated egg white	protection			質(アレ	
0 31 0	1.000			ļ	<u> </u>	ルギー)	
Sevilla C.	1983	An ESR study of radical intermediates formed	Journal of the	60	950-957	脂質	99-040
et al.		by gamma radiolysis of tripalmitin and	American Oil	ļ ·			
		dipalmitoyl phosphatidylethanolamine.	Chemists' Society				
Snauwaert	1977	Radiation induced lipid oxidation in fish	Zeitschrift fur	164 (1)	28-30	脂質	FI0707
F. et al.			Lebensmittel-Untersuc	10.(1)	1 2000	"""	110707
			hung und -Forschung				4
Sommers C.	2003	Podiction (commo) maintanes and	-	(((11)	2051 2056	//	
et al.	2003	Radiation (gamma) resistance and	Journal of Food	66 (11)	2051-2056	牛肉	FI0120
ci ai.		postirradiation growth of listeria	Protection			(ソーセ	
		monocytogenes suspended in beef bologna				ージ)	-
		containing sodium diacetate and potassium lactate				脂質過	
	<u> </u>			-		酸化	
Sommers	2002	Antioxidant power, lipid oxidation, color, and	Journal of Food	65 (11)	1750-1755	牛肉	FI0126
C.H. et al.		viability of listeria monocytogenes in beef	Protection			(ソーセ	
		bologna treated with gamma radiation and				ージ)	
		containing various levels of glucose					
Sreenivasan	1974	Compositional and quality changes in some	In:Improvement of		129-155	小麦	94C
A.		irradiated foods	food quality by				037)
			irradiation.Vienna,Inte				
			rnational Atomic				
	ŀ		Energy Agency				
C4	1004						
Stevenson	1994	Identification of irradiated foods. Electron	Food Technology	May	141-144	2-アル	OC-20
M.H.		spin resonance spectroscopy and detection of				キルシ	
		2-alkylcyclobutanones are two approaches				クロブ	
		available to identify foods that have been				タノン	
		irradiated				分析	
Stevenson	1990	Irradiation detection	Nature	344	202-3	2-アル	OC-05
M.H.	ŀ			(15)		キルシ	
et. al						クロブ	*
						タノン	
				<u> </u>		分析	<u> </u>
Stewart	2001	Isolation of lipid and 2-alkylcyclobutanones	Journal of AOAC	84 (3)	976-986	2-アル	OC-10
E.M.		from irradiated foods by supercritical fluid	International	*		キルシ	
et al.		extraction				クロブ	
ci ai.	i						
ci ai.						タノン	

<u> </u>	T 2000		1		T	l	
Stewart	2000	2-alkylcyclobutanones as markers for the	Journal of the Science	80	121-130	2-アル	OC-30
E.M. et al.		detection of irradiated mango, papaya,	of Food & Agriculture			キルシ	
		camembert cheese and salmon meat				クロブ	
						タノン	
						分析	
Tjaberg,	1972	The Effect of Ionizing Radiation on the	J. Appl. Bact, 35,			香辛料	S-30
T.B. et al.		Microbiological Content and Volatile	473-478 (1972)		•	類	
		Constituents of Spices					
Tanabe H.	2002	Consideration on detection of irradiated	Food Irradiation, Japan	37	17-23	2-アル	FI0713
et al.		rainbow trout by ESR method and		(1/2)		キルシ	
		2-alkylcyclobutanone analysis				クロブ	
			, 1			タノン	
					1	ニジマ	
						ス	
Tanabe M.	2002	Detection method of irradiated chicken by GC	Radioisotopes	51	109-119	2-アル	OC-23
et al.		analysis of 2-alkylcyclobutanones and		· .		キルシ	
		hydrocarbons using soxhlet extraction and				クロブ	
		florisil chromatography				タノン	
		inorion cinomatography				分析	
Taub I.A.	1968	Transient solvated electron, hydroxyl, and	Journal of chemical	49 (6)	2499-2513	放射線	99-026
et al.	1700	hydroperoxy radicals in pulse-irradiated	physics	49 (0)	2499-2313	化学	99-020
Ct ai.		crystalline ice	physics	· ·			
		crystamme ice				(反応)	
Tewfik I.H.	1998	A rapid supercritical fluid extraction method	Lebensm. Wiss.	31	366-370	2-アル	OC-12
et al.		for the qualitative detection of	U-Technol.			キルシ	
		2-alkylcyclobutanones in gamma-irradiated		4		クロブ	
	İ	beef and chicken				タノン	
						分析	
Tewfik I.H.	1999	A rapid supercritical fluid extraction method	International Journal of	50 (1)	51-56	2-アル	OC-13
et al.		for the qualitative detection of	Food Sciences &	50(1)	3730	キルシ	00 13
		2-alkycyclobutanones in gamma-irradiated	Nutrition.			クロブ	
		fresh and sea water fish	Truthion.	21		タノン	
		iresii and sea water risii				分析	-
Thomas	1981	Effect of irradiation and conventional	Journal of food science	46	824-828	豚肉	94C
M.H. et al.	1901		Journal of food science	40	024-020	がい	
M.n. et al.		processing on thiamin content of pork		-		1	040)
701 D	1006	D. Frei and C. L. C. L. C. L.	01	22 (2)	1.57.005	ン)	770000
Thomas P.	1986	Radiation preservation of foods of plant origin.	Critical reviews in	23 (2)	147-205	熱帯果	FI0020
		III. Tropical fruits: bananas, mangoes, and	food science and			実 	
		papayas	nutrition				
Thomas P.	1971	Effect of gamma irradiation on the postharvest	Journal of food science	36	243-247	果実	94C
et.al.		physiology of five banana varieties grown in				(バナ	041)
		India			•	ナ) .	
Underdal B.	1973	The effect of ionizing radiation on the	Lebensmittelwissensch	6	90-93	魚	94C
et al.		nutritional value of fish (cod) protein	aft und Technologie				042)
	1						
Uzunov G.	1972	Changes in the soluble muscle proteins and	International journal of	22 (5)	437-442	牛肉	94C
et al.		isoenzymes of lactate dehydrogenase in	radiation biology			(タンパ	044)
		irradiated beef meat				ク質)	
Vajdi M.	1985	Identification of adduct radiolysis products	Journal of the	62	1252-1260	豚肉	94C
et al.		from pork fat	American Oil			(脂質)	045)
		•	Chemists Sciety			H 2€/	,
Crope I	1992	Detection of 2 dedecatevalet			601.604	0.23	00
Crone J.	1992	Detection of 2-dodecylcyclobutanone in	International Journal of	27	691-696	2-アル	OC-
et al.		radiation-sterilized chicken meat stored for	Food Science &		İ	キルシ	18
		several years	Technology.	,		クロブ	
					1	タノン	
						分析	

			•				
Ward J.F.	1978	Chemical consequences of irradiating nucleic acids	Journal of agricultural and food chemistry	26	25-28	核酸	99- 058
Whitburn K.D. et al.	1984	Interaction of radiation-generated radicals with myoglobin in aqueous solutions-II Analysis of product yields for hydroxyl radicals with oxymyoglobin under deaerated conditions	Radiation, physics and chemistry	23	271-278	タンパ ク質	99- 039
Whitburn K.D. et al.	1981	Globin-mediated redox processes in the interaction of hydroxyl radicals with ferrimyoglobin aqueous solution	International journal of radiation biology	40	297-303	タンパ ク質	99-035
Whitburn K.D.	1981	Formation of a steady state in the radiolysis of ferrimyoglobin in aqueous solution	Archives of biochemistry and biophysics	208	319	タンパ ク質	99-034
Whitburn K.D. et al	1983	Simultaneous reaction of hydroxyl radical and aquated electrons with ferrimyoglobin in irradiated solutions	Journal of food science	48	1888-1889	タンパ ク質	99-037
Whitburn K.D. et al.	1982	Redox transformations in ferrimyoglobin induced by radiation-generated free radicals in aqueous solution	Journal of biological chemistry	257	1860-1869	タンパ ク質	99-036
Wills P.A.	1965	Some effects of gamma radiation on several varieties of Tasmanian potatoes 2.Biochemical changes	Australian journal of experimental agriculture and animal husbandry	5	289-295	バレイ ショ	94C 049)
Wilmers K. et al.	1990	Chemometrische auswertung von GC/MS-profilen zum nachweis einer γ -strahlenbehandlung von gewürzen am beispiel der muskatnuß	Deutsche Lebensmittel-Rundsch au	86 (11)	344-348	香辛料類	FI0816
Yang J.S.	1998	Effects of gamma irradiation on the flavor composition of food commodities	Advances in experimental medicine and biology	434	277-84	バレイ ショ等 青果物	FI0231
Yang Z. et al.	2001	Study on radiation preservation of low temperature meat products	Food Science, China	22 (9)	8486	生肉・豚肉 ソーセー ジ,ハム	F10008
Zareena A.V. et al.	2001	Chemical investigation of gamma-irradiated saffron (Crocua sativus L.)	J. Agric. Food Chem	49	887-891	香辛料類	S-28
Zegota H.	1988	Suitability of Dukat strawberries for studying effects on shelf life of irradiation combined with cold storage	Zeitschrift fur Lebensmittel-Untersuc hung und -Forschung	187	111-114	イチゴ	94C 050)
Zhu M.J. et al.	2004	Influence of irradiation and storage on the quality of ready-to-eat turkey breast rolls	Poultry science	83 (8)	1462-6	七面鳥	FI0627
Zhu Y. et al.	1996	(Long-lived free radicals formation in irradiated dried beef)	Food Science, China	17 (8)	38418	牛肉	FI0679
奥山典生 他	1992	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、1992年12月		79-89	香辛料類	S-29
金子信: 他	1991	香辛料の精油成分及び脂質に対する γ 線照 射の影響	日本食品工業学会誌	38(11)	1025-1032	香辛料類	S-26
田辺寛子	2002	ESR 法およびアルキルシクロブタノン法に	Food Irradiation Japan	37	17	2-アル	OC-33

田辺寛子	2002	2-アルキルシクロブタノンおよび炭化水素	Radioisotopes	51	157-166	2-アル	OC-24
他		の同時分析(GC/FID)による照射鶏肉の検知				キルシ	
	. •	法に関する考察				クロブ	
					·	タノン	
						分析	
渡辺宏	1985	香辛料の抗菌性及び抗酸化性に対する γ 線	食品照射	20	27-30	香辛料	S-31
他		照射の影響				類	

2-3 栄養学的適合性

食品の放射線照射により特定の栄養素が破壊されたり、消化性が低下するなどの影響により、食品としての適性を欠くようなことがあってはならない。この栄養学的適合性に言及したものとしては、①動物を使った栄養試験、②化学的分析による放射線照射の栄養成分への影響を調べた文献の2つに大別される。栄養素としては、影響を受けやすいものとそうでないものがあり、前者については、脂質の分解と特にビタミンの破壊を考慮に入れる必要がある。その際、照射によって影響を受けやすいビタミンが、照射の対象となる食品を主な供給源としているか否かによっても影響が異なる。食品の放射線照射の栄養学的影響については、Diehlらの本によくまとめられている(Diehl 1995)。

栄養学的考察に関する初期の文献では、放射線照射による主な栄養源の変化を追っている (WHO 1994a)。その中で、照射によって食品の消化性に影響がでないか、脂肪の酸化による影響はでないか、蛋白質に変性が起きないか、デンプンがどの程度分解するか等が調べられている。脂肪については、例えば後述する文献 (Vaca 1986) のように不飽和脂肪酸の減少や過酸化物質の増加を示すものが存在する。

一方、本章の5節でも述べるように、動物を用いた毒性試験の初期段階では、照射食品を投与された動物に悪影響が観察され、毒性試験の実施が困難となった例がある。これらの原因を追求する過程で、この悪影響が照射によって毒性学的に危険な物質が生成したことによるものではなく、ビタミンなどの微量栄養素の照射による破壊が原因となっていることが明らかにされた。これらの経緯については、いくつかの総説的資料に解説されている(宮原 2003、林 1993、Tobback 1977)。

なお、栄養素の破壊に対する照射の影響を評価する際の観点としては、単に照射と非照射の食品の比較においての議論だけではなく、実際に食品を摂取する際の条件を考慮して、照射と加熱の組み合わせや加熱のみの場合の影響についても議論されている(Kennedy 1971、Theyer 1990)。また、バレイショのように長期貯蔵する農産物においては、照射直後の微量栄養素の変化だけでなく、貯蔵中の変化に着目した研究が実施されている。たとえば照射によってアスコルビン酸は減少するが、貯蔵後のアスコルビン酸含量は低温貯蔵された非照射のバレイショと比較して高いレベルにあるという報告もある(ICGFI 1997)。

さらに前章で扱った各国政府における個別食品の評価において指摘したように、照射食品の微量栄養素の損失の影響を評価する際には、分析化学的研究で得られる食品中の微量栄養素の照射による損失率のデータだけでなく、その食品の食事全体に占める割合を考慮に入れる必要があることがWHOの報告書でも述べられている(WHO 1994b).

最近の文献で、特に放射線に敏感なチアミン、ビタミン K、トコフェロール、アスコルビン酸、葉酸などの減少について調べた文献については内容を分析した(表2-3-1)。また、今回収集した文献の一覧は表2-3-2にまとめた。

<参考文献> 総説、解説等

- 1) Diehl J.F. (1995) Safety of irradiated food. (照射食品の安全性) 2nd Ed(New York, Marcel Dekker.)
- 2) WHO (1994a) Safety and Nutritional Adequancy of Irradiated Food, Geneva, p138.
- 3) 宮原誠 (2003) 照射食品安全性検証の歴史, 食品照射, 38, 33-39.
- 4) 林徹 (1993) 放射線の基礎と応用 (第6章) 大森豊明編 "電磁波徒食品" 光琳東京 p245.
- 5) Tobback (1977) ビタミンの放射線化学, Elias、Chohen編著 "食品照射の化学"(林力丸訳:学会出版センター、1981、東京)
- 6) ICGFI (1997) Irradiation of bulbs and tuber crop (IAEA-Techdoc-937 Genva, p15.
- 7) WHO (1994b) Safety and Nutritional Adequancy of Irradiated Food, Geneva, p143.

表2-3-1 栄養素の変化に関する最近の文献

照射対象(食品)	線源	線量(線量)率)	温度、雰囲気	分析法	信果(コメント) (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1	著者/参照	文献
ニンジン	コバルト	1kGy	ポリエチレンバック	βカロテン含量	1 kGy でパプリカのアスコルビン酸が 12% 損失。	Farkas	FI0239
パプリカ	60	2.35kGy/h,	(室温) 照射後は、	(比色 450nm),ア	Bカロテン含量は照射試料のほうが非照射よりも高い。	1997	
			5,10,15℃(パプリカ)	スコルビン酸			
			1,10,16℃ (ニンジン)	(HPLC)(リステリ			:
·			で保存	アの殺菌線量)			
A) ライ麦	コバルト			GLC	A)リノール酸(C18:2) およびリノレン酸(C18:3)含量:水分 10%で不飽	Vaca	94N
B) 小麦	60	0.33 Gy/s	室温.	TBA assay	和脂肪酸の減少なし;水分 13%の時のリノレン酸(C18:3)含量 63kGy で	1986	039)(99-
C) 米			60 日間貯蔵	HPLC	2.3%減少 (総脂肪酸に対する重量比); 63kGy+熱処理で 3.9%の減少,		116)
			照射. + 加熱		63kGy+O2 で 5%減少。水分 13%でリノール酸(C18:2): 63kGy+O2		
			照射.+酸素飽和		11.3%减少		1
			水分含量: 10%- 13%		B)C18:2 および C18:3: 水分 10%で変化なし;水分 13%の時 C18:2,		
					63kGy:3.2%,63kGy+heat 5.3% 減少,63kGy+O2 で0.4%減少		
					C)水分含量 10%の時 63kGy で C18:3 :1.2%減少		
					A)/C) 過酸化脂質: TBA 値は線量依存的に増加		
					B) 線量依存的に TBA 値が増加するほか 5% ~ 13%までの水分含量		
·					に応じても増加		
牛肉,豚肉,羊肉	· .		5℃	HPLC	2kGy まででαトコフェロール含量 は急速に減少。それ以上の線量で	Lakritz	99-072
七面鳥	137	kGy 0.108			は、トコフェロールレベルは一定。	1995	
		kGy/min			牛肉: 2.34-9.37 kGy, 59-46% 保持		
				,	豚肉: 2.34-9.37 kGy, 79-35% 保持		
					羊肉: 2.34-9.37 kGy, 84-44% 保持	r	
					七面鳥(胸肉): 2.34-9.37 kGy, 54-19% 保持		
					七面鳥(脚): 2.34-9.37 kGy,~64-33% 保持		
					自由水:変化なし		
芝エビ	コバルト	up to 7 kGy	4℃, −20℃	比色法	チアミンの減少は線量および照射温度に依存。 7 kGy, 4℃ で 31% 損	Lee 1996	99-075
	60	0.15	照射後調理		失, -20℃で 21% 損失。		
		kGy/min			照射後の調理でさらにチアミンの減少が大きい。		200
•					ナイアシン/リボフラビン: 有意な変化なし		1

-70 -

1989 1889 1889	A) チーズ、バニ ラアイス、 イチゴ		40 kGy	0.8 kGy/h	比色法	A) thiamin/riboflavin/vit.B12:変化なし	Dong	99-095
ルト、原開物名。B) 脱脂物乳。 C) マンアレラチー ズ N2 置換 A) dry ice (-78°C) B) 22/0-5/-78°C C) 0-5/-78°C C)		1		ポリエチレン、ポリエス		B) どの温度でもチアミンの損失はなし		
B) 脱脂粉乳 (プモツァレラチー ズ 牛肉, 羊、豚、七 面鳥 137 4 0.108 kGy/min Cyoxe E-300 Cyoxe E-300 Cyoxe E-300 Cyoxe E-300 (蛍光法) デアミン含量 (蛍光法) クラディシの減少は、含硫タンパク質や水分、脂質含量、pH に影響されない。 (サード) クリーンペッペート 日イースト、G) カマンペールチーズ(608 脂質) 包は H) カマンペールチーズ(608 脂質) 自は H) カマンペールチーズ(178脂質) マンゴ 電子線 0.5-1.5 kGy II.43 kGy/h PVC fmin. 12℃、80-85% 相対温度で保存 東京ジュース(セコノ、ブロッコリ、あします に見る (大阪) アスコルビン酸、 大阪 で保存 アスコルビン酸、 アスコルビン酸、 アスコルビン酸、 アスコルビン酸、 アスコルビン酸をは対し、 アスコルビン酸をは対し、 アスコルビン酸をは対し、 アスコルビン酸をは対し、 アスコルビン酸をは対し、 アスコルビン酸をは対し、 アスコルビン酸をは対し、 アスコルビン酸をは対し、 アスコルビン酸を対し、 アスコルビン酸をは対し、 アスコルビン酸をは対し、 アスコルビン酸をは対し、 アスコルビン酸をは対し、 アスコルビン酸を対し、 アスコルビン酸をは対し、 アスロビンの酸をは対し、 アスコルビンの酸をは対し、 アスロビンの酸をは対し、 アスロビンの酸をは対し、 アスロビンの酸をは対し、 アスロビンの酸をは対し、 アスロビンの酸をは対し、 アスロビンの アスロビンの アスロビンの アスロビンの アスロビンの アスロビンの アスロビンの アスロビンの アスロビンの アスロビンの アスロビー アスロビンの アスロビー					1	C) 0-5℃で 32% の損失。-78℃では変化なし		
C)モツァレラチーズ おいました。C) 0-5/-78℃ 3 kGy 以上の照射でチアミンの減少は 11%/kGy; リポフラビンの減少 は 2.5%/kGy チアミンの減少は 11%/kGy; リポフラビンの減少 は 2.5%/kGy チアミンの減少は、含硫タンパク質や水分、脂質含量、pH に影響され ない。 5℃ 9 pps A) ホウレンツウ		,		1 12 1				
ズ c) 0-5-7-78℃ 3 kGy 以上の照射でチアミンの減少は 11%/kGy; リボフラビンの減少 12.5%/kGy チアミンの減少は、含硫タンパク質や水分、脂質含量、pH に影響され ない。 Fox 1995 9 本 水ウンソウ								
牛肉、羊、豚、七面鳥 セシウム 137 0.234-9.374 (Gy min Cyoxec E-300 Cyoxec								
面鳥				C) 0-5/-78 C				
面鳥 137 kGy Cyowac E-300 がラナック、真空、 5℃ は 2.5% kGy チアミンの減少は、含硫タンパク質や水分、脂質含量、pH に影響されない。 A) ホウレンソウ B) キャベツ、C) 芽キャベツ、D) グリーンペッパー E) キレバー F) イースト、G) カマンベールチーズ(I7%脂質) なマンゴ 電子線 0.5-1.5 kGy 1.43 kGy/h 55℃/5min PVC film. 12℃、80-85% 相対湿度で保存 を 変	牛肉,羊、豚、七	セシウム	0.234-9.374	0.108 kGy/min	チアミン含量	3 kGv 以上の昭射でチアミンの減小は 118/hCm リギフニビンのせか	<u></u>	
1995 1996	面鳥	137	kGy	Cryovac E-300		は 2.5%/kGv		99-098
A) ボウレンソウ 80 キャベツ D) グリーンベッパー E) キレバー F) イースト (G)の H質) fill fill fill fill fill fill fill fil				パウチバック、真空、			1995	
A) ボウレンヴ B) キャベツ、C) 芽キャベツ D) グリーンペッパー E) キレバー F) イースト、G) カマンペールチーズ(60% 指質) fat H) カマンペールチーズ(17%指質) マンゴ 電子線 0.5-1.5 kGy 1.43 kGy/h 2.5℃/5min PVC film 12℃、80-85% 相対湿度で保存			, , , , , , , , , , , , , , , , , , ,	5℃		ない。		1
Toward		1	2.5-10 kGy	10 MeV			Mueller	99-105
(7) オキャペッ (D) がリーンペッパー (D) ボールチーズ(60% 情質) fat (D) カマンベールチーズ(17%脂質) マンゴ 電子線 (D.5-1.5 kGy (L.43 kGy/h (D) 1.43		(10MeV)		室温		A)乾燥/B)/C)/E)/F)G)/H): 0-30% 損失(10 kGv)		99-108
(3) キレバー F) イースト, G) カマンベールチーズ(60% lig) fat H) カマンベールチーズ(17% lig) で 電子線					4.4		1330	}
(イースト、G) カマンベールチーズ(60% 情質) fat (1) カマンベールチーズ(17%脂質) 電子線 0.5-1.5 kGy 1.43 kGy/h 55℃/5min PVC film. 12℃、80-85% 相対湿度で保存 は 2.7以している (2.10以、ブロッコリ、あ 60 で保存 によりに対している。 (2.10以 1.20以 1.2	The second second							
ボールチーズ(60% 指質) fat -il) カマンベールチーズ(17%指質) マンゴ 電子線 0.5-1.5 kGy 1.43 kGy/h 1.43 kGy/h 55℃/5min PVC film. 12℃, 80-85% 相対湿度で保存 野菜ジュース(セコバルト 60 と コバルト 60 と ロバルト 60 と ロップロッコリ、あまが、アスコルビン酸、たび、アスコルビン酸、たび、アスコルビン酸、たび、アスコルビン酸、たび、アスコルビン酸、たび、アスコルビン酸をはか、アスコルビン酸、たび、アスコルビン酸、たび、アスコルビン酸をはか、アスコルビン酸、たび、アスコルビン酸をはか、アスコルビン酸、では、アスコルビン酸をはか、アスコルビン酸、では、アスコルビン酸をはか、アスコルビン酸、では、アスコルビン酸をはか、アスコルビン酸をはか、アスコルビン酸、アスコルビン酸をはか、アスコルビン酸、アスコルビン酸をはか、アスコルビン酸、アスコルビン酸をはか、アスコルビン酸、アスコルビン酸をはか、アスコルビン酸、アスコルビン酸をはかり、アスコルビン酸をはかりが、アスコルビン酸をはかりが、アスコルビン					·			
指質) fat H) カマンベールチ ーズ(17%指質) 電子線								
H) カマンベールチ 一ズ(17%脂質) 電子線								
一ズ(17%脂質) 電子線 0.5-1.5 kGy 1.43 kGy/h 照射前に温水浸積, 55℃/5min PVC film. PVC film. 1.2℃, 80-85% 相対湿度で保存 フェノール化合物、カロテノイド、アスコルビン酸が照射によってわずかに減少。ただしマンゴの貯蔵期間中に起こるアスコルビン酸の減少は、非照射(コントロール)のほうが大きを増加。 Ei-Samah y 2000 FI コルビン酸が照射によってわずかに減少。ただしマンゴの貯蔵期間中に起こるアスコルビン酸の減少は、非照射(コントロール)のほうが大きを増加。 FI コバルト 60 CFU アスコルビン酸、ずかに増加 FI では、アスコルビン酸素 FI では、アスコルビン酸素 </td <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>e a</td> <td></td> <td></td> <td>s."</td>					e a			s."
電子線 0.5-1.5 kGy 1.43 kGy/h 1.43 kGy/h 55℃/5min PVC film. 12℃, 80-85% 相対湿度で保存								
1.43 kGy/h		電子.始	05.15.10	177 6 (24) - NE 1 NE 64				I
PVC film. 12℃, 80-85% 相対湿度で保存 F菜ジュース(セコバルト 1-5kGy 60 と		电丁冰		· ·		照射により総カロテノイド含量は若干増加。(熟成過程での増加)。アス	El-Samah	FI0386
12℃, 80-85% 相対湿度で保存 全糖、還元糖、酸度 「Tay and a second and			1.43 KGy/n			コルビン酸が照射によってわずかに減少。ただしマンゴの貯蔵期間中	у 2000	
度で保存 度 F菜ジュース(セ コバルト 1-5kGy						に起こるアスコルビン酸の減少は、非照射(コントロール)のほうが大き		
野菜ジュース(セ コバルト 1-5kGy	·	7 1 1				V)		
コリ、ブロッコリ、あ 60 アスコルビン酸 【Kim FIC まかに増加 1999		•		及(体行	没			
コリ、ブロッコリ、あ 60 アスコルビン酸、 ずかに増加 ST KGy C生風象低減。照射によりタンニン、総アスコルビン酸量はわ Kim FIC サットに増加		コバルト	1-5kGv		CELL	0.5.10		
たば ファ ハン		·	- Oncy			3-5 KGy で生困数低減。 照射によりタンニン、総アスコルビン酸量はわ	Kim	FI0975
							1999	
テノイド		.				グロノノイト,クロロノイル,EDA, 適酸化物価は変化なし		
EDA (electron							1	
donating ability)	<u>. </u>			*				

表2-3-2 栄養学的適合性に関する収集文献一覧

A. 総説、単行本

著者 湯 湯 湯 湯 湯 湯 湯 湯 湯 湯 湯 湯 湯 湯 湯 湯 湯 湯 湯	掲載年	表題注意的影響的影響。	雑誌名	巻 (号)	頁	文献 ID
Raica N. Jr. et	1972	The nutritional quality of irradiated foods	Radiation Research	3	447-457	99-065
al.			Reviews			
Sreenivasan	1974	Compositional and quality changes in some	IAEA-PL-561/10		129-155	94C 037)
A.		irradiated foods				
Josephson E.	1978	Nutritional aspects of food irradiation: An	Journal of Food Processing	2	229-313	99-067
S. et al.		overview	and Preservation			
Eggum B. O.	1979	Effect of radiation treatment on protein quality	Decontamination of animal	- ~	55-67	99-084
		and vitamin content of animal feeds	feeds by irradiation			
			Proc.Meeting Sofia, 1977			
·			IAEA Vienna	<u> </u>		
Diehl J. F.	1981	Effects of combination processes on the nutritive value of food	IAEA-/SM-250/28		349-366	94N 008)
Murray T. K.	1983	Nutritional aspects of food irradiation	Elsevier Biomedical Press		203-216	94N 029)
			Recent Advances in Food			
			Urradiation			
Thayer D. W.	1990	Food irradiation: benefits and concerns	Journal of Food Quality	13	147-169	94N 36
						(99-78)
Diehl J. F.	1991	Nutritional effects of combining irradiation	Food Control	Jan.	20-25	94N 010)
		with other treatments		-		
Diehl J. F. et	1991	Regulation of food irradiation in the European	Food Control	Oct.	212-219	94N 011)
al.		Community: is nutrition an issue?				
Thayer D. W.	1991	Effects of ionising radiation on vitamins	(In:Thorne S. ed. Food		285-325	99-070
et al.			Irradiation. Barking,			
			Elsevier)			
Diehl J. F.	1992	Food irradiation: is it an alternative to chemical	Food Additives and	9	409-416	99-088
		preservatives?	Contaminants			
Diehl J. F.	1995	Safety of irradiated food. (照射食品の安全性)	(New York, Marcel	1.		
		2nd Ed	Dekker.)		1	

B. 研究論文 (オリジナルデータ)

ヒトの摂食試験

者者	掲載年	表現。主義,以此一句,主	雜誌名	巻 (号)	頁	文献 ID
Plough I. C.	1960	Human feeding studies with irradiated foods	Federation	19(4)	1052-	94N 033)
et al.		(食事内容:肉、魚、鷄肉、キャベツ、豆、サツマイモ)	Proceedings		1054	
Bierman E. L.	1958	Short-term human feeding studies of foods sterilized	U. S. Army Medical	Report2		94N 004
et al.		by gamma radiation and stored at room temperature	Nutrition Laboratory	24		
	-	(食事内容:タラ、ベーコン、フルーツコンポート、モモ、グリーンピー				
		ス、小麦、バレイショ、エビ、マグロ、サツマイモ、トウモロコシ、ニンジン、				
	٠	パイナップル、ジャム、コールスロー、オレンジなど)				
Kraybill H. F.	1958	Nutritional and biochemical aspects of food preserved	Journal of Home	50(9)	695-	99-077
		by ionizing radiation.	Economics		700	
		(食事内容:カキ、チーズ、プルーペリー、サクランポ、肉、ミルク、豆、 小麦、トウモロコシ、ピーツ)				
Brasch A. et	1947	Ultrashort application time of penetrating electrons: a	Science	105	112-11	99-093
al.		tool for sterilization and preservation of food in the			7	
		raw state (官能評価)牛肉、豚肉、鶏肉、カキ、サケ、		V		
		エビ、卵黄、ミルク、チーズ、野菜、果実		l		

動物摂食試験

著者	掲載年	表題	雑誌名	巻 (号)	頁	文献 ID	食品
Bubl E. C. et	1960	The growth, breeding and longevity of	Journal of	70(2)	211-218	99-328	豚肉
al.		rats fed irradiated or non-irradiated pork	Nutrition				
Brin M. et al.	1961	Effects of feeding X-irradiated pork to	Journal of	75	35-38	94T 023	豚肉
		rats on their pyridoxine nutrition as	Nutrition				
		reflected in the activity of plasma					1. 1
<u> </u>		transaminases		<u> </u>			
Brin M. et al.	1961	Effects of feeding X-irradiated pork to	Journal of	75	29-34	94T 024)	豚肉
* * * * * * * * * * * * * * * * * * *].	rats on their thiamine nutrition as	Nutrition				
		reflected in the activity of erythrocyte			'		
		transketolase		<u> </u>			
Daghir N. J. et	1983	Effect of gamma irradiation on nutritional	Nutrition Report	27(5)	1087-	99-087	レンズ豆
al.		value of lentils (Lens culinaris) for chicks	International		1093		
Day E. J. et al.	1957	Effects of gamma radiation on certain	Journal of	62	27-37	99-098	牛肉
		water-soluble vitamins in raw ground	Nutrition				
		beef					
Day E. J. et al.	1957	The bioassay of thiamine in beef exposed	Journal of	62	107-118	99-092	牛肉
		to gamma radiation	Nutrition		~		
Ley F. J. et al.	1969	Sterilization of laboratory animal diets	Laboratory	3	221-254	99-085	動物試料
		using gamma radiation	Animals			*.	
McGinnis J. et	1978	Improvement in the nutritional value of	Federation	37	759	99-083	ライ麦
al.		rye by gamma irradiation	Proceedings				トウモロコシ
Metta V. C. et	1959	Vitamin K deficiency in rats induced by	Journal of	69	18-22	99-112	牛肉
al.		the feeding of irradiated beef	Nutrition				
Pfeiffer C. et	1994	Effect of irradiation on folate levels and	Acta	23(1)	105-118	99-106	ホウレンソウ、
al.	1	on bioavailability of folates in dehydrated	Alimentaria				アスパラガス,
		foodstuffs					卵黄
Read M. S. et	1961	Successive generation rat-feeding studies	Toxicology and	3	153-173	99-076	ヘ・ーコン、 牛
al.		with a composite diet of	applied				肉,タラ,豆
		gamma-irradiated foods	pharmacology				穀類,ビタミン
Reddy S. J. et	1979	Effect of gamma irradiation on nutritional	Journal of	109	1307-131	99-086	豆
al.		value of dry field beans (Phaseolus	Nutrition		2	.	
		vulgaris) for chicks					
Richardson L.	1961	Comparative vitamin B6 activity in	Journal of	73	363-368	99-099	牛レバー,鶏
R. et al.		frozen, irradiated and heat-processed	Nutrition				肉,キャベツ,
		foods					豆,サツマイモ
Richardson L.	1961	Comparative vitamin K activity of frozen,	Journal of	73	369-373	99-111	ホウレンソウ,フ
R. et al.		irradiated and heat-processed food	Nutrition				ロッコリー,キー
							ヘッ、アスハ。
		. *					ガス,豆,カリフ
					<u> </u>		ラワー
Skala J. H. et	1987	Wholesomeness of irradiated food	Journal of Fod	50(2)	150-160	99-097	牛肉,鶏肉,
al.			Protection				動物試料
Tou J. et al.	2003	Evaluation of NASA foodbars as a	Nutrition	19	947-954	FI0040	宇宙食
		standard diet for use in short-term rodent			ļ	. !	,
		space flight studies		I			•
Underdal B. et	1976	The effect of ionizing radiation on the	Lebensmittel	9	72-74	99-079	魚(サバ)
al.		nutritional value of mackerel	Wissenschaft und		1		
			Technologie				

栄養成分の化学分析

著者	掲載年	表題為非常的	雑誌名	巻 (号)	頁	文献 ID	食品
Adam S. et al.	1982	Influence of ionizing radiation on the fatty acid composition of herring fillets	Radiat. Phys. Chem.	20(4)	289-295	94N 001)	魚(ニシン)
Agneessens R. et al.	1989	Dosàge du β-carotène dans les fruits irradiés, par chromatographie liquide à haute performance avec détection ampérométrique	Bull. Rech. Agron. Gembloux	24(1)	85-90	94N 003)	オレンシ゛, ハ゜イ ナップ゜ル, アン ス゛
Al Kahtani H. A. et al.	1996	Chemical changes after irradiation and post-irradiation storage in tilapia and Spanish mackerel	Journal of Food Science	61(4)	729-733	99-074	魚(ティラピ ア,サバ)
Alexander H. D. et al.	1956	Radiation effects on water soluble vitamins in raw beef	Federation Proceedings	15	921-923	99-103	牛肉(生)
Brooke R. O. 1966 Preservation of fresh unfrozen fishery products by low-level radiation		Food Technology	20	99-102	99-101	魚(タラ)	
Chiou R. YY. et al.	1991	Characterization of gamma irradiated peanut kernels stored one year under ambient and frozen conditions	Journal of Food Science	56(5)	1375-137 7	99-118	ピーナッ
Diehl J. F.	1975	Thiamine in irradiated foodsutuffs I. Influence of different radiation conditions and of time after irradiation	Z. Lebensm. UntersForsch.	157	317-321	94C 009)	卵
Diehl J. F.	1979	Vitamin A in bestrahlten Lebensmitteln	Z. Lebensm. Unters. Forsch.	168	29-31	94N 006)	チーズ,ソーセージ, 豚レバー,粉末 卵,オレンジ
Diehl J. F.	1979	Verminderung von strahleninduzierten vitamin-E- und -B1- verlusten durch bBestrahlung von Lebensmitteln bei tiefen Temperaturen und durch Ausschluß	Z. Lebensm. Unters. Forsch.	169	276-280	94N 007)	粉末卵,植 物油
Dong F. M. et	1989	von Luftsauerstoff Effects of gamma-irradiation on the	Journal of Food	13	233-244	99-095	チース゛, ヨーク゛
al.	1909	contents of thiamine, riboflavin, and vitamin B-12 in dairy products for low microbial diets	Processing and Preservation		233 211	33 033	ルト, アイスクリー ム, ミルク
Fan X. et al.	2002	Sensorial and chemical quality of gamma-irradiated fresh-cut iceberg lettuce in modified atmosphere packages	Journal of Food Protection	65 (11)	1760-176 5	FI0737	レタス
Farkas J. et al.	1973	Feasibility of irradiation of spices with special reference to paprika	IAEA-SM-166/ 66		389-401	99-108	ハ゜フ゜リカ, マシ゛ョラムコショウ
		Acta Alimentaria	10(4)	293-299	94N 015)	オレンシ゛	
Fox J.B. et al. 1995 Gamma irradiation effects on thiamin and riboflavin in beef, lamb, pork and turkey		Journal of food science	60	596-598	99-064	牛肉	
Galetto W. et 1979 Irradiation treatment of onion powder:effects on chemical constituents		Journal of Food Science	44(2)	591-595. 605	94C 019)	夕マネキ*	
Groninger H. 1956 Some chemical and organoleptic changes in gamma irradiated meats		Food Research	21	555-564	99-089	牛肉,豚肉, 鶏肉,サケ,ッ ナ,ハム,カレイ	
Hafez Y. S. et al.	1985	Effect of gamma irradiation on proteins and fatty acids of soybean	Journal of Food Science	50	1271-127 4	99-117	大豆

Hammer C. T.	1979	The effect of ionizing radiation on the	International	35(4)	323-332	94N 018	油脂(ラー
et al.		fatty acid composition of natural fats	Journal of				ト゛, コーン油
		and on lipid peroxide formation	Radiation			1	ココナツ油)
	-		Biology				
Hozová B. et	2000	Microbiological, nutritional and sensory	Nahrung	44	13-18	FI0946	アマランサス、ノ
al.		evaluation of long-time stored amaranth		(1)			麦
		biscuits produced from					
<u> </u>	-	irradiation-treated amaranth grain					
Janave M. T.	1979	Influence of post-harvest storage	Potato Research	22	365-369	94N 021)	ハ゛レイショ
et al.		temperature and gamma irradiation on				,	
· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	ļ	potato carotenoids					
Kennedy T. S.	1971	Studies on the combined effect of	J. Sci. F. Agric.	22	146-148	94C 023)	タラ
et al.		gamma radiation and cooking on the	-	1	İ	, , , , ,	
·	ļ	nutritional value of fish		1			
Kim M. J.	1999	Sanitizing effect of γ -irradiation on	Journal of the	28	378-382	FI0975	野菜ジ
et al.		fresh vegetable-extract juices	Korean Society	(2)			ース
			of Food Science				
			and Nutrition	1			
Knapp F. W.	1961	Comparison of the radiosensitivities of	Journal of	9(6)	430-433	99-110	ピックミン
et al.		the fat-soluble vitamins by gamma	Agricultural and				(VA, D, E, 1
		irradiation	Food Chemistry				カロテン)
Kun-Fen L. et	1996	Effect of gamma-irradiation and	Food Chemistry	55(4)	379-382	99-075	IF,
al.		post-irradiation cooking on thiamine,				1 37 073	
		riboflavin and niacin contents of grass					
······		prawns (Penaeus monodon)	* .				
Matschiner J.	1966	Vitamin K content of ground beef	Journal of	90	331-334	99-113	牛肉 .
T. et al.			Nnutrition				irv .
Metta V. C. et	1959	Piel-i-l-1 C		ļ			
al.	1939	Biological value of gamma irradiated	Journal of	7(2)	131-133	99-081	トウモロコシ,小
u. .		corn protein and wheat gluten.	Agricultural and				麦
			Food Chemistry				
Müller H.	1991	Bestimmung der folsäure-gehalte von 1	Ernährungs-Um	38	101	94N 028)	葉酸
		ebensmittein - der einfluss der	schau				
		verabeitung und zubereitung auf das					
		Verteilungsmuster [Determination of	*				
		folic acid content of foodstuffs - effect					
f**11 YY .	1006	of processing on the distribution pattern]					
Müller H. et	1996	Effect of ionizing radiation on folates in	Lebensmittel	29	187-190	99-105	ホウレンソウ, キャ
ıl.		food.	Wissenschaft				ヘ゛ツ
· .			und				
			Technologie				
Richardson L.	1958	The activity of certain water-soluble	Journal of	65	409-418	99-104	ピータミン類
R. et al.		vitamins after exposure to gamma	Nutrition				
		radiations in dry mixtures and in					
		solutions					
homas M. H.	1981	Effect of radiation and conventional	Journal of Food	46	824-828	94C 040)	豚肉
t al.		processing on the thiamin content of	Science			94N 036)	
pork							
ipples K. H.	1965	Some effects of high levels of gamma	Cereal	42(5)	437-451	94N 038)	 小麦
t al.		irradiation on the lipids of wheat	Chemistry	ŀ			
aca C. E. et	1986	Radiation-induced lipid peroxidation in	Radiation	28(3)	325-330	94N 039)	 ライ麦,小
		whole grain of rye, wheat and	Physics and	20(3)	J_J_JJU		71友,小 麦,米
	İ	rice:Eeffects on linoleic and linolenic	Chemistry],			夕, 小
		acid		- 1		1 1	

•	Wilson G. M.	1959	The treatment of meats with ionising	Journal of the	10	295-300	99-094	豚肉,牛肉	
		·	radiation. II. Observations on the	Science of Food					
			destruction of thiamine	and Agriculture					
1			`	i					ı

2-4 微生物学的安全性

食品照射の実施目的は、多くの場合、特定の病原菌の殺滅や腐敗菌の制御による食品の衛生化や保蔵期間の延長である。これらの目的とする微生物学的効果を達成するのと同時に食品照射によって好ましからぬ微生物学上の変化が誘発され、食品としての安全性に問題が生じることがあってはならない。この点においてより具体的に想起される疑問は次の1から5までの項目に集約される。

- 1. 照射によって特定の有害微生物を食品中に増す危険性はないか。
- 2. 照射によって微生物の突然変異が誘発される危険性はないか。
- 3. マイコトキシン等の毒素産生能が増加しないか。
- 4. 微生物の放射線抵抗性が増す危険性はないか。
- 5. 病原微生物等の特性が変化しないか。

これらに加え、放射線照射の微生物学的検討を行った文献の存在の可能性として次の2点が考えられる。

- 6. 上記以外の観点で微生物学的安全性にかかわる問題を扱った文献
- 7. 単なる微生物の放射線死滅効果や感受性に関する文献

そこで、本稿の微生物学的安全性に関する文献収集と整理においては、WHOの2つのレポート(1994,1999 1章参照)の微生物に関する章のレファレンス文献と文献検索によって挙げられた文献の候補について、まず、上記の観点の1から7のどれかに該当する文献であるのかの分類を行った。その際、7番目の、放射線照射による微生物への影響を調べ、単なる致死効果や放射線感受性のデータを示している文献は今回の収集分析の対象から除外した。

候補文献の中に、6に示した新たな観点から微生物学的安全性に対する問題を提起するような文献に該当するものは見当たらなかった。また、2に示した、突然変異の誘発については、「微生物が突然変異をおこして従来存在しなかったような危険な生物が生じることはないのか」という食品照射技術に関する一般的な懸念として論じられることはあるが(たとえば Murray 1990)、これまでに存在しないような特殊な生物への突然変異が誘発されたことを実証するような研究論文は見当たらなかった。

今回、内容を分析した文献において、実質的に微生物学的安全性に関する議論の対象となる研究報告は、①照射による特定微生物の選択的増殖 および ③微生物の毒素産生能の変化 に関するものがほとんどであった。また、④放射線抵抗性の変化 および ⑤病原性等の変化 について、若干の文献が存在した。

照射による特定微生物の選択的増殖 ①

微生物の放射線感受性は D10 値 (90%の微生物を不活性化するのに必要な線量) で示される。主な病原微生物;Aeromonas hydrophila, Campylobacter jejuni, 病原性大腸菌 O157:H7、リステリア菌、サルモネラ、Staphylococcus aureus, Yersinia enterocolitica, Vibrio paraḥaemo-lyticus, は 1 kGy 以下の D10 値を示す。乳酸菌のような非病原性微生物はこれらの病原菌よりも放射線抵抗性が強いため、前述の病原微生物が照射食品中で選択的に増殖することはない。

しかしながら、バチルス属とクロストリジウム属の胞子は放射線抵抗性が強く、照射後の食品の保存条件がこれらの細菌の増殖を予防するのに適切でない場合(塩類濃度の調整や、低温貯蔵の措置がとられない場合)には、選択的増殖の危険性がある。特に、魚介類に存在する Clostridium botulinum type E の殺菌処理後の増殖の可能性は、放射線処理だけでなく他の完全滅菌でない処理(例えば魚の燻煙)でも懸念される。例えば照射マスの実験においては、適性製造規範(GMP)に則って低い貯蔵温度(3°C)を守れば、生存した通常の腐敗菌のフローラは、ボツリヌス菌と競合状態を保って生育し、ボツリヌス毒素が現われる前に、明確に認識できるような腐敗のパターンを示す(Diehl 1995)。しかしながら 10°Cより高い貯蔵温度では、腐敗臭による貯蔵(賞味)期限の終了が顕在化する前に、(ボツリヌス)毒素産生が開始されるという指摘がある。GMPは、照射食品、非照射食品のいずれにおいても、魚介類のような生鮮食品が低い特定の温度(4℃以下)で保蔵されることを要求している(ICGFI 1991)。

ボツリヌス菌の肉類における選択的な増殖の問題も議論されている。例えば、鶏においては、照射の後の残存する自然なミクロフローラが生存するボツリヌス菌よりはるかに速く成長して毒素産生の前に腐敗臭が発生すると報告されており、低線量の照射が芽胞形成細菌のリスクを増加させないと Radomyski らは述べている (Radomyski 1994)。

これら魚介類および肉類のボツリヌス菌の選択的増殖の問題は多くの総説(文献一覧 A の項参照) に解説されている。また、オリジナルデータを含む一次文献は文献一覧 Bにまとめた。

微生物の毒素産生能の変化 ③

照射がマイコトキシン(カビ毒)の産生能を増強させるか否かについて、多くのモデル系における接種実験がなされている。実験結果はまちまちで、マイコトキシンの産生に変化がないもの、増加するもの、減少するものそれぞれの報告が存在する。これらに違いについては、カビ(アスペルギルス属)の遺伝的多様性によるという説明や、用いられた実験系で、摂取されたカビの胞子数が考慮されず、照射が単純な希釈効果をもたらすことに起因していると説明するものもある(Diehl 1995)。しかしながら、マイコトキシン産生菌に自然汚染された小麦を使った実際条件の下では、照射の後の毒素産生の増加は観察されないという報告もある(Behere 1978)。

カビ毒(マイコトキシン)以外の細菌毒素、腸管出血性大腸菌0157:H7のベロ毒素産生、ボツリヌス毒素の産生に対する照射の影響についても研究がなされている。これらについては文献一覧 Bにまとめた。

いったん生成した微生物毒素に対する照射の影響は、アフラトキシンなどのマイコトキシンに対しては小さい。この項の文献整理では、毒素分解に対する照射の影響もまとめた。

放射線抵抗性の変化 ①、病原性等の変化 ⑤

加熱や薬剤などの他の殺菌手段と同様、放射線照射の繰り返しによって放射線抵抗性が 増大するかどうかについても研究例がある。照射の繰り返しによって放射線抵抗性の強い 細胞集団が得られたという報告がある。しかし、実際の食品照射の条件での抵抗性の増強 について明確な証拠を示した文献は見あたらなかった。

照射後の微生物の性質変化について検討した文献も存在するが、微生物学的な観点において照射が危険性を増す様な変化を起こすことを示す文献は見あたらなかった。

<収集文献一覧>

A. 総説、単行本

A-1. 微生物学的安全性全般

- 1) Diehl J.F. (1995) MicrobiologicalsafetyofIrradiatedFood In "Safety of irradiated foods", (2. ed.), Marcel Dekker, New York, p225-239.
- 2) Ingram M. et al (1977) Microbiology of foods pasteurised by ionising radiation Acta Alimentaria 6(2), 123-185.
- 3) Idziak E.S. (1973) Effect of radiation on midro organisms, Int. J. Radiat sterilize, 1,45-59.
- 4) Murray D.R. (1990) Biology of food irradiation. New York, John Wiley.

A-2. 照射食品中のボツリヌス菌の増殖に関連する総説

- 5) Shewan, J.M. et al. (1970) The Botulism Hazard in the Proposed Use of Irradiation of Fishery Products in the United Kingdom, in "Preservation of Fish, by Irradiation", FAO/IAEA Vienna.
- 6) ICGFI/IAEA (1991) "Code of Good Irradiation Practice for the Control of Microflora in Fish, Frog Leg, and Shrimps", ICGFI Document 10.
- 7) Maxcy R.G. (1983) Significance of residual organisms in foods after substerilizing doses of gamma radiation: a review. *Journal of Food Safety* 5, 203-211.
- 8) Quinn D.J. et al. (1967) The inactivation of infection and intoxication microorganisms by irradiation in seafood. In Microbiological problems in food preservation by irradiation. (Vienna,International Atomic Energy Agency,Panel Proceedings Series)
- 9) Eklund M. W. (1982) Significance of Clostridium boturinum in fishery products preserved short of sterilization, *Food Technology*, **36** (12), 107-112,115.
- 10) Hobbs G.(1976) Crostridium botulinum and its importance in fishery products, Advance in Food Res., 22, 135-185.
- 11) Radomyski T. et al. (1994) Elimination of pathogens of significance in food by low-dose irradiation:

 A review, *Journal of Food Protection*, 57 (1), 73-86.
- 12) 宮原誠(2004) 照射食品安全性検証の歴史(2)(総説)照射魚介類中のボツリヌス菌について-アメリカ合衆国原子力委員会の報告書より, 食品照射,39,28-49.
- 13) WHO(1977) Wholesomeness of irradiated food. (照射食品の健全性) Report of a Joint FAO/IAEA/WHO Expert Committee.Geneva,World Health Organization (WHO Technical Report Series, No.604)

A-3. 毒素産生能の変化

- 14) Mitchell G. E.(1988) Influence of irradiation of food on aflatoxin production, Food Technology in Australia, 140 (8), 324-326.
- 15) Fenell AJ.(1966) Aflatoxin in groundnuts. IX. Problems of detoxification of the aflatoxins.

Tropical science, 8, 61-70.

A-4. 放射線抵抗性の変化

- 16) Moseley B. (1992) Radiation, microorganisms and radiation resistance. in: Johnston D.E. et al. eds. Food irradiation and the chemist. Cambridge, Royal Society of Chemistry (Publication No.86), 97-108.
- 17) Grecz N. et al. (1978) Bacterial spores: biophysical aspects of recovery from radiation injury.,

 Journal of Food Processing and Preservation, 2, 315-337.

B. 微生物学的安全性に関するオリジナルデータ

表2-4-1 微生物の選択的増殖 ①

線源	服射条件	食品(実験系)	対象微生物	結果コメント	文献
セシウム137	1.5, 3 kGy	骨抜き鶏肉	Salmonella enteritidis	菌を接種後、窒素充填缶詰にして照射。	Thayer
	114 Gy/min,		Clostridium botulinum	5℃で2−4週間保存後も毒素産生なし。	(1995)
	5℃で照射				
	0.5, 1 kGy	共存酸素濃度を変えて(0%, 10%, 20%)	Clostridium botulinum	照射後5℃,15℃,25℃で保存しアフラトキシンが検出されるまでの日	LAMBERT
		パックした豚肉		数を比較。	(1990)
	. 1			15℃では、酸素濃度0%よりも10,20%の方が早くトキシンを産生、CO2	·
				濃度上昇のためか。	
コバルト60	10 kGy	冷凍ポーク、冷凍チキンを照射後、生	A:Clostridium boturinum(放射線	照射肉から C.botulinum 胞子よりも放射線抵抗性の胞子が分離され	Maxcy
	8kGy/min,	残菌を分離	抵抗性の比較対照)	たが、加熱処理と組み合わせれば問題とはならない。	(1978)
	-30°C				′
コバソレト 60	0, 0.5, 1 kGy	新鮮な豚肉に胞子を添加し、酸素濃度	Clostridium botulinum	5℃では全区で44日後まで毒性なし。25℃では全区で2日後に毒	Lambert
	10.86 kGy/h	0,10,20%で密封、照射後 5,15,25℃で最		素検出。	(1991a)
		大 44 日間保存、マウスで毒性をアッセ		15℃、酸素濃度 10,20%では照射の有無によらず 14 日後に、無酸素	
		イ		では非照射で21日後、1kGy 照射区で43日後に毒素検出。	
コバルト60	0, 0.5, 1 kGy	新鮮な豚肉に胞子を添加し、CO2 濃度を	Clostridium botulinum	どの二酸化炭素濃度でも、照射によって毒素産生が遅延した。	Lambert
	10.86 kGy/h	変えて(15-75%)密封、照射後 15℃で最			(1991b)
		大42日間保存、マウスで毒性をアッセイ			
コバルト60	45 kGy	十挽 肉	Clostridium botulinum strain 33A	肉に胞子を加えて缶詰にして照射。30℃で10ヶ月保存した後、生き	Fernandez
	3 kGy/h;			た胞子は検出されず。	(1969)
	-25℃,0℃,			しかし毒素の活性(マウスに注射してアッセイ)は残存。	
	25℃				
コバルト60	1, 2 kGy	タラ、カレイ、ヒラメ	Clostridium botulinum types B, E,	新鮮な切り身を酸素透過性あるいは非透過性のフィルムでパック、	Ekland
			F	毒素産生菌の胞子を接種、温度条件を変えて保存性をテスト。	(1970)
コバソレト 60	1, 3 kGy	新鮮な魚肉(カレイ、ハタハタ、スケトウ	Clostridium botulinum type E	マウス腹腔内注射で毒素を検出。	安藤
		ダラ、ニシン)に胞子を加え、照射後		非照射および 1kGy 照射区では試料の2-8%で毒素が検出された。	(1969)
		10℃で2週間または20℃で3日間保存		3kGy 照射区では毒素は検出されなかった。	
10 MeV EB	1, 2 kGy	新鮮な虹鱒の切り身に胞子を植え、ポ	Clostridium botulimun type E	10℃の貯蔵では、異臭の発生より毒素産生が早く始まった。	Hussain
,		リエチレンフィルムで真空パック、EB照			(1977)
		射して0℃、5℃、10℃で保存可能期間			
		を比較			

毒素産生能の変化③

線源	照射条件	食品(実験系)	対象微生物	結果コメント	文献
コバルト 60	0.5, - 2.5 kGy	ごま種子	A. flavus	接種後、照射、30℃で 15 日間培養、アフラトキシンB1を分析。	Shahin
1.1	43.2 Gy/h			2.5kGy 照射試料では毒素が産生されなかった。	(1998)
不明	3kGy	タラ切り身	Clostridium botulinum type E	芽胞を接種して照射、5℃または10℃で保存、毒素産生を調べた。	安藤
	` /				(1973)
コバルト60	1 - 10 kGy	トウモロコシ	Penicilium purpurogenum	胞子接種後、照射、10 日または 40 日間 28℃で培養。	Abd-El-Aal
	1 kGy/h		(rubratoxin-B 産生菌)	線量によっては非照射区よりも毒素産生量が増加、競合するフロー	(1996)
				ラの影響と思われる。	
コバンレト 60	0.5 – 3 kGy	トウモロコシ	Aspergillus flavus	胞子接種後に照射、30℃で15-45 日間培養。	Aziz
	200 Gy/min			1-1.5kGy 照射区でアフラトキシンB1産生が増加。	(2002b)
コバルト60	1, 3 kGy	トウモロコシ(非殺菌・オートクレーブ殺	Fusarium culmorum IMI 309344:	熱・ガンマ線殺菌試料に胞子を接種した場合、接種後の照射線量に	O'Neill
	16.9kGy/h	菌・12kGy ガンマ線殺菌)に胞子接種、	deoxynivalenol(DON),acetyl	よる毒素量の違いなし。	(1996)
	(殺菌),	さらに照射(0,1,3 kGy)して14-77 日後	deoxynivalenol(A DON),	非殺菌試料に接種した場合、DONとADONはOkGy試料では検出	
	1.11kGy/h	に3種類の毒素を定量	zearalenone 産生菌	されなかったのに、1,3kGy 照射試料で検出された。	
	(胞子接種後)				
コバルト60	0.5, 1, 2 kGy	トウモロコシ粉	Aspergillus flavus (アフラトキシン	オートクレーブ後、胞子を接種してから照射、28℃、14/28 日培養後	Aziz
	86 Gy/min		B1産生菌)	にアフラトキシンB1を定量。	(2000)
				Zn,Cu, Feを 100ppm 添加すると照射後培養中の毒素産生量が増加	
				した。	
コバルト60	0 – 5 kGy	ハーブ4種(キヤラウェイ、ケーラ、カモ	Aspergillus 属の毒素産生菌を分	照射ハーブ、2年間5℃で保存したハーブからアフラトキシン産生菌	El-Bazza
		ミールなど)	離	を分離。	(1996)
コバンレト 60	1, 3, 5 kGy	バステルマ(エジプトの生ハム)、スパイ	非照射試料で検出されたカビと	照射後 25℃で 2 週間保存した試料に存在するカビと毒素を分析。	Refai
	64 Gy/min	ス	毒素: Aspergillus, Penicillium,	3kGy 照射ではカビもアフラトキシンB1も検出されず。	Mohamed
			Mucor, Rhizopus, Fusarium,		(2003)
			Cladosporium; Aflatoxin B1m		
			B2, G1, G2		
コバルト60	2 kGy	ローストビーフおよび肉汁	Staphylococcus aureus	低線量の照射は、初期菌数を減らすことにより、食中毒の予防に有	Grant
	1.8 kGy, 8°C		Bacillus cereus	効に働く。	(1993)
コバソレト 60	1.5, 3.5, 5.0 kGy	果物(イチゴ、アプリコット、プラム、桃、	市中で購入した果物から、	市中で購入した果物100試料中60試料で何らかのマイコトキシンを	Aziz
	1.8 kGy/h	ぶどう、リンゴ、洋ナシなど)	Aspergillus, Penicillium, Botrytis,	検出。5 kGy 照射で、28 日保存後に毒素検出されず。	(2002a)
			Rhizopus, Alternaria 属のカビ検		
			出		

コバルト60	1, 3, 5 kGy	小麦、大豆、ハト豆(fababean)に胞子を	Aspergillus flavus	5 kGy 照射でカビの生育と毒素産生が阻害された。	Aziz
	200 Gy/min	加え、照射後、25℃で30日間保存、生			(2004)
		菌数測定、TLC でアフラトキシン B1 産			
		生量を測定			
ガンマ線	12 kGy	照射(12kGy)殺菌したトウモロコシ上	Fusarium moniliforme,	Fusarium 属の複数の毒素産生菌を混合培養した場合の相互作用に	Velluti
		で、各種の分離菌を単独あるいは混合	F.proliferatum, F.graminearum	よる毒素産生への影響を解析。	(2000)
		培養			
コバンレト 60	0.5 – 2.5 kGy	照射小麦に菌を植え、28℃で7日間培	Aspergillus parasiticus	接種に先立つ小麦への照射線量の増加に伴って、遊離脂肪酸含量	Priyadarshini
		養		とアフラトキシン B1 産生量が増加した。	(1979)
コバッレト 60	0.1 – 6 kGy	培地、あるいは小麦	A: Aspergillus ochraceus NRRL	照射した胞子を培養、オクラトキシンA産生量を分析。	Applegate
			3174	0.1-0.5kGy 照射区で 7-11 日後に毒素産生量が非照射区より大に。	(1976)
			B: 102 Gy/min	4,6kGy 照射区では胞子発芽せず毒素産生もなし。	
コバルト60	3kGy	培養系	Clostridium botulinum type E	致死線量以下のガンマ線を照射した芽胞を 30℃で培養すると、照射	安藤
			0℃、蒸留水浮遊芽胞を照射	によって発育と毒素産生が促進され、10℃で培養すると遅滞した。	(1972)
コバルト60	0.5, 1, 1.5, 2,	培養系。 菌糸を合成培地上で照射、14	A: Aspergillus ochraceus	1kGy 照射でカビ毒 ochratoxin の産生量増大、2kGy では非照射と同	Paster
7	3kGy	日後まで培養	B: 室温照射	じ(菌体乾燥重量は線量によって変わらず)。	(1985)
				生育(コロニー径)は、1Gy まで非照射と同じ、1.5Gy、2Gy で若干の	
				生育遅延、3kGyで生育阻害。	
コバルト60	0.05 - 2 kGy	白米、黒胡椒、白胡椒、赤唐辛子	Aspergillus parasiticus	低線量(0.05kGy) 照射によりアフラトキシン産生量の増大が認めら	伊藤
			Aspergillus flavus	れたが、分生子を植え継いだ2代目では照射の影響は消失してい	(1992)
				た。	
コバルト60	0.16 - 4.75 Gy	*	Aspergillus flavus	胞子懸濁液を照射したのち、コメに接種、7日間培養後、アフラトキ	Schindler
			Aspergillus parasiticus	シンB1, G1をTLCで分析。	(1980)
				照射区では、非照射胞子に比べ、最高で50倍も毒素産生量が増加。	<u> </u>
コバルト60	0, 1, 2 kGy	胞子または菌糸を照射後、酵母エキス	Aspergillus parasiticus NRRL	照射による毒素産生量の増加は認められなかった。	Bullerman
		で 7 日間培養、アフラトキシン B1, G1	2999, NRRL 3000		(1974)
		の産生量をTLCで測定			
コバルト60	0.5, 1, 2, 3, 4	トウモロコシ	A.flavus EA-81 (aflatoxin B1 産	胞子接種後に照射するとカビの生育・毒素産生は抑制、照射後に胞	Hassan
	kGy 198		生菌)	子接種すると、非照射の場合よりも生育・毒素産生が亢進。	(1998)
	Gy/min				
コバルト60	1, 3, 9 kGy	トウモロコシ、米	Fusarium graminearum(F-2 toxin	菌を接種してから照射、14日後まで培養。	Halasz
			産生菌)	1, 3kGy 照射では、生育は遅れたが毒素産生量は増加。9kGy で	(1989)
			Fusarium tricinctum(T-2 toxin 産	は、生育せず、毒素も検出されず。	•
			生菌)		
コバルト60	0.6, 1.25, 2.5, 5	ナイジェリア産の大豆、落花生、椰子果	Aspergillus flavus 胞子・室温で	すりつぶしてオートクレーブ滅菌した食材に胞子を植えて照射、8	Ogbadu
	kGy	汁、パパイヤ	照射	日間培養後、アフラトキシンB1産生量をTLC分析。	(1980)
		<u>'</u>		線量を増すと毒素は減少。	

~
8
7

		3. (4.1)			•
					3
					•
コバンレト 60	1, 3 kGy	ニシン(肉質部のホモジェネート)	Clostridium botulinum type E	芽胞を接種して照射、10℃または20℃で保存。	安藤
	4-10°C			ボツリヌス毒素産生をマウス腹腔内注射でアッセイ。	(1969)
			**	照射試料で非照射試料より毒素産生が増加。	
コバルト60	2.5, 5, 7.5, 10,	ピーナツ	Aspergillus parasiticus	カビを植えてから照射、4週間30℃で培養後、アフラトキシンB1,B2,	Chiou
	15 kGy			G1, G2 を TLC で定量。	(1990)
,				線量に応じて毒素産生量は減少。	
コバルト60	1-10 kGy	家禽飼料	Aspergillus flavus NRRL 5520	オートクレーブ滅菌した飼料に A.flavus の菌糸と胞子を加え、ポリエ	El-Far
	0.5 kGy/h			チレンでパック、照射後 27℃で 10 日間培養。	(1992)
				6 kGy 以上ではカビもアフラトキシンB1も検出されず。	4
コバルト60	20kGy	乾燥食品中の汚染微生物の探索と照射	A.Flavus	20kGy 照射による毒素低減率	Aziz
		による毒素分解の検討	A.ochrus	アフラトキシン B1(100%)、オクラトキシン A(72-76%) ゼラレノン(100%)	(2002c)
		ピーナツ、米、小麦、大豆、綿実、ヒマワ	Fusulium Oxysporum		
		リ、ソルガム			
10 MeV EB	1.6-2.4 kGy	寒天培地上で培養	A:Aspergillus flavus/Aflatoxin B1, G1	生残コロニーにおけるアフラトキシン産生能には特に増加も減少も	Frank
	1000		産生株 x3 株、非産生株x3 株	なく、照射の影響は認められない。	(1971)
			B:寒天平板培地上で室温で照		
		the state of the s	射、6 ヶ月間にのべ 16 回繰り返		1
			し照射。生残コロニーを植え継		
			ぎ、3 年後まで冷蔵と培養を半		
			年ずつ繰り返し		
コバソレト 60	10 kGy	黒胡椒、白胡椒、唐辛子、米	Aspergillus flavus	香辛料および香辛料抽出液が示すアフラトキシン産生抑制効果は、	伊藤
				10kGyのガンマ線照射で影響されない。	(1994)
コバルト60	75 Gy or 100	小麦、トウモロコシ、モロコシ	Aspergillus parasiticus NRRL	照射試料でのアフラトキシンB1産生量は、非照射の場合の1.3倍か	Priyadarshini
	Gy	(sorghum)、トウジンビエ、バレイショ、タ	2999	ら1.8 倍に増加した。	(1976)
		マネギを照射後、オートクレーブ滅菌し			
		て胞子を添加、27℃で7日間保存、抽			
- 18 n 1 co	0.5.41-0-	出、TLC でアフラトキシン B1 を定量	A	四年上末に関うとは経しは茶みでし、七四年の月入上に	G A 1.1
コバルト60	0.5-4 kGy	大麦	Aspergillus alutaceus	照射大麦に胞子を接種し培養すると、非照射の場合より	SzeA kely
コバルト 60,	198 Gy/min	上来、四件をストットは四件上来にゆっ	A	Ochratoxin-Aの産生量が増加(競合菌フローラの減少による)	(1991)
	0-4 kGy	大麦: 照射あるいは非照射大麦に胞子	Aspergilius aiutaceus	照射大麦では、非照射大麦より菌数(cfu)あたりの Ochratoxin 産生量	Chelack
10MeV EB	200Gy/min(Co), 4.5 kGy/s(EB)	を植え、28℃で最長 113 日間培養 		が増加。競合菌が照射によって減少したことが原因と考えられる。	(1991a)
コバルト60		大麦に胞子を接種、3、10日後に照	A.parasiticus NRRL 2999	ひとつの例外を除き、照射線量が高いほど毒素産生量は減少した。	Chana
1 7 7 7 F 60	0.5, 1, 2, 4 kGy	対、さらに最長60日間培養、アフラトキ	A.parasiucus NKKL 2999	して「シッププアを称う、原外家里が同いなる事系圧生重は例グした。	Chang
		対、さらに取せる00日間培養、アファイー シンB1, B2, G1, G2産生量をTLCで			(1982)
	Į	分析			

不明(ガン	0-1.5 kGy	培地	Aspergillus parasiticus 胞子	胞子の接種量を減らすと、25℃で 14 日間培養後のアフラトキシン産	Sharma
マ線)	36 Gy/min			生量が増える(28 日後には元に戻る)。	(1980)
				胞子液への照射は、胞子液の希釈と同様の効果をもたらす。	(/
コバンレト 60	0-12 kGy	培養系	Clostridium botulinum type E	芽胞は加熱ショックによって発芽が活性化されるが、ガンマ線照射	安藤
	0°C、7.2 kGy/h			によっては活性化されない。	(1971)
				(照射による毒素産生の増加は発芽の活性化では説明できない)	(2372)
コバンレト 60	3.5 kGy, 4 kGy	培養系	Aspergillus flavus	胞子の接種量を減らすと、28℃4 日間培養後のアフラトキシン産生	Odamtten
	60 Gy/min			量が増える。	(1987)
				胞子液への照射は、胞子液の希釈と同様の効果をもたらす。	
不明(ガン	0.2-1.6 kGy	培養系	Aspergillus parasiticus 胞子懸濁	照射胞子を培養しても非照射対照よりアフラトキシン産生量が増える	Sharma
マ線)	20 Gy/min.		液を照射	ことはない。	(1990)
コバルト 60	0.4 - 5 kGy	白米、黒胡椒、白胡椒、赤唐辛子	香辛料等から分離した		
	0.1 0 1.0		Aspergillus flavus var.	0.8kGy 照射で生存したコロニーから得た分生子を6回まで再照射。	伊藤
コバンレト 60	0.1-5 kGy		Aspergillus flavus Aspergillus flavus	D ¹⁰ もアフラトキシン産生量も特に変わらず。	(1991)
77 00	0.7 kGy/h		Aspergilius liavus	1-1.5kGy照射した胞子接種によりアフラトキシン生成が増加。	Jemmali
ガンマ線	20 kGv	えんどう豆、黒豆、緑豆、小豆、大豆	Ctanhalana		(1969)
1 //2/5	20 KGy	人がとり立、無立、林立、小立、八立	Staphylococcus aureus	オートクレーブまたは照射(20kGy)した豆から作った培地に菌を接種	Neumayr
コバソレト 60	250 Gy-6 kGy	照射した胞子を小麦あるいは合成培地	Aspergillus flavus の毒素産生株	し、enterotoxin A の産生を調査。	(1990)
77 00	平均 100	で 10 日間培養、生成アフラトキシン B1	1	毒素産生株では、1.5-2 kGy 照射胞子で照射後培養中のアフラトキ	Kenneth
	Gy/min	をTLCで分離、比色法(358nm)で定量	(NRRL-3145)および非産生株	シンB1産生量が非照射対照よりも増加した。	(1973)
<u></u> なし	なし	胞子を蒸し米に濃度を変えて接種、1	(NRRL-A-12268)	非産生株では照射の影響なし。	
, 0	1,40	元」を然し木に張及を変えて接種、1 −10 日後までのアフラトキシンB1産生	Aspergillus flavus subsp.	胞子の初期濃度が低いほど、毒素産生量が増加する傾向。	Karunaratne
		-10 日後までのアファインンB1座生 量をTLCで分析	parasiticus NRRL 2999 (旧名: A.		(1990)
コバンレト 60	0 - 2.0 kGy		parasiticus NRRL 2999)		
27 77 1 00		培養系	E. coli O157:H7	D10=0.05 - 0.1 kGy であり、比較的低線量のガンマ線で殺菌が可	菊池
	1.2 kGy/h			能。照射によるベロ毒素産生量の変化はみられなかった。	(2001)
 不明	2 kGy	大麦	Aspergillus alutaceus	四年加田後もフェント原本加州後に大井とかび、トット・フェント	
			(ochratoxin A 産生菌)	照射処理後あるいは燻蒸処理後に菌を接種すると、どちらも同様に	Borsa
			(OCHIAIOXIII A /至于黑)	非処理区よりも毒素産生量が増えた。	(1992)
ンジレト60	1-1.5 kGy	牛挽肉	A. A sparailly of farms	照射によるこの効果は、薬剤燻蒸と同等。	
, , 00	200 Gy/min	1 1\rm_1	A: Aspergillus flavus	10kGy 照射後に胞子を加え、各線量を照射、5℃で15日間保存後、	Youssef
	200 09/111111			アフラトキシン B1 産生量を逆層カラムクロマトで分析。	(1999)
ソジレト60	1 kGy	 大麦	A	1.5 kGy 照射区では生菌数ゼロ、毒素も検出されず。	
~ 4F1.00	198 Gy/min	八久	Aspergillus alutaceus	胞子接種後照射、28℃で 10 日間培養、コロニー分離。毒素産生量	Chelack
	190 СУ/ПШ		(ochratoxin A 産生菌)	が9倍に増した変種が分離された。	(1991b)

コバッレト60	2, 4, 6, 8 kGy	小麦、小麦粉、パン	Fusarium (DON, ZEN, T-2 産生	小麦、小麦粉から Fusarium 属のカビとカビ毒が検出された。	Aziz
	٠		菌)	4kGy 以上の照射によって(照射直後の)カビ生菌数は大きく減り、毒	(1997)
				素量も減少した。	
不明(ガン	200Gy	小麦(自然汚染)	Aspergillus flavus ATCC 15517	アフラトキシン生産菌で自然汚染した小麦を照射し、貯蔵中のアフラ	Behere
マ線)	T.			トキシン量を非照射試料と比較すると、照射試料のアフラトキシン産	(1978)
				生のほうが少なかった。	

微生物毒素の分解③'

線源	照射条件	食品(実験系)	対象微生物	結果コメント	文献
コバルト60	0.35-2.45 kGy	リンゴジュース		リンゴ果汁中の毒素パツリン含量は、照射によって線量依存的に減	Zegota
	0.2 Gy/sec			少。D50=0.35 kGy。 照射直後も、4℃で8週間保存後も、パツリン濃	(1988a)
				度は変わらず。	
コバルト60	1 - 10 kGy 0.2	リンゴジュース		パツリンを 2 mg/kg 添加したリンゴジュースを照射、線量に比例して	Zegota
	Gy/sec			パツリン含量(HPLC で分析)が減少、2.5 kGy で消失。	(1988b)
コバルト60	5, 10, 20 kGy	トウモロコシ、ピーナッツをオートクレー	Aspergillus flavus	20 kGy 照射してもアフラトキシンは残る。	Farag
	-	ブ滅菌後に胞子を添加して培養			(1995)
コバルト60	50 kGy まで	ゼラチン・リン酸緩衝液と、オートクレー	Clostridium boturinum neurotoxin	リン酸緩衝液では8kGy で分解、しかし挽肉では 23.7 kGy でも	Rose
	12.2 kGy/h	ブした牛挽肉試料で比較	type A (BNTA), Staphylococcus	BTNAの45%、SEAの27%が残留。	(1988)
			aureus enterotoxin A (SEA)		
コバルト60	2-24 kGy	ゼラチン・リン酸緩衝液と、オートクレー	staphylococcal enterotoxin A	照射後の SEA 量を ELISA で検出。リン酸緩衝液中では 8kGy で完	Modi
	9.4 or 12.2	ブした牛挽肉試料で比較	(SEA)	全に分解されたが、挽肉中では 27-37%、23.7 kGy 照射後でも	(1990)
	kGy/h			16-26%が検出された。	
コバンレト 60	1,- 50 kGy	トウモロコシ	deoxynivalenol (DON)	DON,3-A DONを水溶液中で照射すると50kGyで完全に分解した。	O'Neill
	26.43kGy/h		3-acetyl deoxynivalenol (3-A	しかし、トウモロコシに塗布して照射すると、50kGy でも 80-90%が残	(1993)
	(1kGy 照射区の		DON)	留た。	
	み 1.97kGy/h)				

コバルト60	70, 150, 300 kGy		Aspergillus flavus ATCC 15517, アフラトキシン溶液をガラス容器 内、室温で照射	TLC、UV吸収スペクトル、蛍光スペクトルなどで照射後のアフラトキシンを測定、極めて安定で、300 kGy 照射でも大きな変化は無かった	Miyaki (1967)
不明	2.5, 5, 10, 20 kGy 0.8 kGy/h		Aflatoxin B1 を水溶液で照射	た。 アフラトキシンの分解をエームス試験とTLCで評価。2.5 kGy で分解が見られるが、10 kGy でも 10%が残留、完全分解には 20 kGy が必要。	van Dyck (1982)
コバルト60	0.3 – 1.8kGy 0.2 Gy/sec		カビ毒素パツリンの毒性バイオ アッセイに、 Bacillus subtilis, B.megaterium を使用	パツリン水溶液に対し1.8 kGy 照射で毒性消失。	ZEGOTA (1989)
コバルト60	5, 7.5, 10, 20 kGy 1.86 Gy/min	トウモロコシ、小麦、大豆。 表面を殺菌して毒素を添加し、照射、 凍結保存ののち抽出液中の毒素量を ELISA で定量		アフラトキシン B1 の量には照射の影響なし。T-2 トキシンと DON(deoxynivalenol)は、10kGy 以上の照射で、元の 60-80%程度に 減少した。	Hooshmand (1995)
コバルト60	5.4 kGy	硬質小麦粉	Aspergillus flavus, aflatoxin	TLC スポットでは、5.4 kGy の照射はアフラトキシンに影響なし。	Killebrew (1968)
コバルト60	200 kGy まで	毒素試料を熟成チーズの表面に塗布 して照射	Clostridium toxin type A	200kGy 照射しても毒素量(MLD)は千分の一にしか減らない。	Wagenaar (1960)
2 MeV EB	10-140 kGy		Clostrudium type E Toxin	毒素 Toxin の放射線	Skulberg (1965)
コバルト60	1, 10, 50, 100 kGy 32 Gy/min		Aflatoxin B1 水溶液を peanut meal と混ぜて室温で照射	Salmonella typhimurium strain TM 667 に対する毒性と変異原性を評価。 毒性は 10 kGy 照射で消失。 変異原性は 50 kGy 以上で消失。	Temcharoen (1982)
コバルト60	2–10 kGy 66 Gy/min, 28°C		Aflatoxin B1 を DMSO に溶解後、0-5%の過酸化水素の存在下で照射し、HPLC、TLC、エームス試験で分解を評価	5%過酸化水素存在下で照射するとアフラトキシンの分解が促進された。	Patel (1989)
コバソレト 60	3, 15 kGy 2.1 kGy/h	トウモロコシ(カビ毒 fumonisin B1/B2 で 汚染されたもの)		毒素産生菌が死滅する線量:15kGy 照射後も80%の fumonisin が汚染トウモロコシに残留していた。	Visconti (1996)
コバルト60	0.2 – 2.5 kGy	香辛料から分離したカビを精白米上で培養	A. flavus 菌群の分離菌	香辛料から分離した糸状菌群の放射線感受性と aflatoxin B1, B2, G1, G2 産生能を調査。 リン酸緩衝液中での aflatoxin B1 の放射線分解を測定、D37 = 2.7kGy。	久米 (1987)

放射線抵抗性の変化④

線源	照射条件	食品(実験系)	対象微生物	結果コメント	文献
コバルト60	7-20 kGy	土壌、干草、糞	Deinococus	照射挽肉から分離された放射線抵抗性細菌の生育環境の考察、土	Krabbenhoft
			(Micrococcus)radiodurans	壌、干草、糞からの再分離の試み。	(1965)
				照射食品とは直接関係ない。	
コバルト60	0.3-1.1 kGy(繰		Salmonella typhimurium など	サルモネラ菌類への繰返し照射(20 回)により放射線抵抗性(D10 値	Licciardello
	返し照射)			が3倍など)の細胞集団が得られた。	(1969)
·	54 Gy/min				
コバルト60	1-15 kGy		Bacillus pumilus E601 ATCC	B. pumilus に亜致死線量の照射を最大23回繰り返すとD10値が数倍	Parisi
	15 kGy/h		27142E.coli B ATCC	に増加するなど抵抗性が増したが、胞子ほど抵抗性にはならなかっ	(1982)
			23226E.coli B/r ATCC 23227	t-0	
コバルト60,	•		Salmonella typhimurium LT12	放射線抵抗性、DNA 修復に関連する遺伝子の解析で、食品照射と	Ibe
UV	,			は特に関係はない。	(1982)

微生物の性質変化多

線源	照射条件	食品(実験系)	対象微生物	APP 10 Support Format Control of the	文献
コバルト	2.5 kGy または	鶏肉、エビ、バレイショ、レンズマメ、にん	E.coli HB101 (検出対象の指標	照射食品でも、DNAハイブリによる汚染菌検出法は有効(照射の影	Rowe
60	10 kGy	にく、タマネギ、トマト、マッシュルーム、	菌に用いられた)	響はない)。	(1994)
	1	小麦粉、米、マヨナラ、タイム、カルダモン	•		
Cs-137	0.2 - 1.25 kGy	豚挽肉、培地	Yersinia enterocolitica	低線量照射で、プラスミドに担われる crystal violet 結合能(および毒	Sommers
103				性)を失ったクローンが線量に依存して増加。	(2001)
Gy/min					

表2-4-1 微生物学的安全性に関するオリジナルデータの文献リスト

著者	掲載年		雑誌名	巻(号)	頁	文献ID
Abd-El-Aal	1996	Influence of competitive microbial flora and	Food Research	28 (6)	521-524	FI0271
S. S. et al.		inoculum size of Penicillium purpurogenum on	International			
•		the production of rubratoxin-B in corn medium				
		before and after exposure to gamma radiation.				
Ando y. et al.	1969	Studies on microbiological safety of irradiated	Report of the Hokkaido	19	248-252	FI0214
		foods 1 on the natural level of contamination of	Institute of Public Health			
		irradiated and non-irradiated fish flesh with				
	* .	clostridium-bptulinum type E				
Applegate K.	1976	Production of ochratoxin A by Aspergillus	Applied and Environmental	31	349-353	FI0246
L. et al.		ochraceus NRRL-3174 before and after	Microbiology	ľ	· ·	
		exposures to cobalt-60 irradirtion			1	
Aziz N. H. et	2002b	Influence of gamma-irradiation and maize	Nahrung	46 (5)	327-331	FI0257
al.		lipids on the production of aflatoxin B1 by				
A	2002	Aspergillus flavus.				
Aziz N. H. et	2002c	Inactivation of naturally occurring mycotoxins	Egyptian Journal of Food	30 (1)	167-177	FI0258
al.		in some Egyptian foods a and agricultural	Science			
Aziz N. H. et	2000	commodities by gamma-irradiation			<u> </u>	
al.	2000	Correlation of growth and aflatoxin production	Nahrung	44 (5)	354-359	FI0262
ai.		by Aspergillus flavus with some essential				
Aziz N. H. et	2002a	metals in gamma irradiated crushed corn Influence of gamma-radiation on mycotoxin	F 1C	10		
al.	2002a	producing moulds and mycotoxins in fruits	Food Control	13	281-288	FI0378
Aziz N. H. et	1997	Effect of gamma-irradiation on the natural	Nahaaaa	41 (1)	24.07	**************************************
al.	,,,,	occurrence of Fusarium mycotoxins in wheat,	Nahrung	41 (1)	34-37	FI0269
		flour and bread.				
·						
Aziz N. H. et	2004	Effect of gamma-irradiation on aflatoxin B1	Nahrung	48 (3)	234-238	FI0229
al.		production by Aspergillus flavus and chemical				ς,
<u> </u>		composition of three crop seeds				
Behere AG et	1978	Production of aflatoxins during storage of	Journal of food	43	1102-1103	94M
al.		gamma-irradiated wheat.(ガンマ線照射した	science(Diehl 1995 6-29)			007)
		小麦の貯蔵中のアフラトキシンの生成)				
Borsa J. et al.	1992	Comparison of irradiation and chemical	Journal of Food Protection	55 (12)	990-994	FI0276
		fumigation used in grain disinfestation on				
		production of ochratoxin A by Aspergillus				
<u>-, -, -, -, -, -, -, -, -, -, -, -, -, -</u>		alutaceus in treated barley				
Bullerman L.	1974	Effect of low dose gamma irradiation on	J. Milk Food Technol.	37(8)	430-434	Diehl 17)
B. et al.		growth and aflatoxin production of Aspergillus				İ
<u> </u>		parasiticus				
Chang H.	1982	Effect of gamma irradiation on aflatoxin	Journal of the Science of	33	559-564	Diehl 25)
P.et al.		production in barley	Food and Agriculture			
	1991a	Variants of Aspergillus alutaceus var.alutaceus	Applied and Environmental	57 (9)	2487-2491	FI0333
et al.		(formerly Aspergillus ochraceus) with altered	Microbiology			
<u> </u>		ochratoxin A production				
Chelack W.S.	1991ь	Role of the competitive microbial flora in the	Applied and environmental	57	2492-2496	99-220
et al.		radiation induced enhancement of ochratoxin	microbiology			
] -]	production by Aspergillus alutaceus var.				.
	L	alutaceus NRRL 3174				2

Chiou R. Y.	1990	Property characterization of peanut kernels	Journal of Food Science	55 (1)	210-213,	FI0286
Y. et al.		subjected to gamma irradiation and its effect on the outgrowth and aflatoxin production by Aspergillus parasiticus			217	
Dyck P.J.V. et al.	1982	Sensitivity of aflatoxin B1 to ionizing radiation	Applied environmental microbiology	43	1317-1319	99-293
Ekland,M.W. et al.	1970	The Significance of non- proteolytic Clostridium botulinum type B. E and F in the development of radiation pasteurized fishers products	Panel Proceedings series International Atomic Energy Agency, Viena		125-148	Diehl 05
El-Bazza Z. E. et al.	1996	Fungal growth and mycotoxigenic production in certain medicinal herbs subjected to prolonged cold storage and possible control by gamma irradiation	Egyptian Journal of Pharmaceutical Sciences	37 (1-6)	85-95	FI0293
El-Far F. et al.	1992	Inhibition by gammma-irradistion and antimicrobial food additives of aflatoxin B1 production by Aspergillus flavus in poultry diet	Nahrung	36 (2)	143-149	FI0110
Farag R. S. et al.	1995	Effect of gamma radiation on the infected yellow corn and peanuts by Aspergillus flavus	Chemie Mikrobiologie Technologie der Lebensmittel	17 (3-4)	93-98	FI0240
Fernandez E. et al.	1969	Toxicity of spores of Clostridium botulinum strain 33A in irradiated ground beef	Journal of General Microbiology	56	15-21	FI0115
Frank H. K. et al.	1971	Response of toxigenic and non-toxigenic strains of Aspergillus flavus to irradiation	Sabouraudia	9	21-26	94M 015)
Grant I. R. et al.	1993	Effect of low-dose irradiation on growth of and toxin production by Staphylococcus aureus and Bacillus cereus in roast beef and gravy	International journal of food microbiology	18	25-36	FI0308
Halász A. et al.	1989	Effect of gammma-irradiation on F-2 and T-2 toxin production in corn and rice	Folia Microbiologica	34	228-232	FI0243
Hassan A. A. et al.	1998	Influence of moisture content and storage temperature on the production of aflatoxin by Aspergillus flavus EA-81 in maize after	Journal of Food Safety	18	159-171	FI0266
Hussain AM	1977	exposure to gamma radiation. Comparison of toxin production by Clostridium	Archiv für	28	23-27	94M
et al.		botulinum type E in irradiated and unirradiated vacuum-packed trout (Salmo gairdneri). (照射および非照射の真空包装した鱒におけるボッリヌスE型菌による毒素産生の比較)	Lebensmittelhygiene			017)
Hooshmand H. et al.	1995	Effects of gamma irradiation on mycotoxin disappearance and amino acid contents of corn, wheat, and soybeans with different moisture contents.	Plant Foods for Human Nutrition	47 (3)	227-238	F10273
Ibe SN et al.	1982	Genetic mapping of mutations in a highly radiation-resistant mutant of Salmonella typhimurium LT2. (サルモネラ・ティフィムリウム LT2 株の放射線抵抗性変異株の変異の遺伝マップ)	Journal of bacteriology	152	_ 260	94M 018)
Ito H. et al	1994	Aflatoxin production by microorganisms of the Aspergillus flavus group in spices and the effect of irradiation.	Journal of the Science of Food and Agriculture	65	141-142	FI0294

					• • •	
Jemmali M. et al.	1969	Influence de l'irradiation ammma des spores d'A. flavus sur la production d'aflatoxin B1	C. R. Acad. Sc. Paris	269	2271-2273	94M 020)
Karunaratne A. et al.	1990	Interactive effect of spore load and temperature on aflatxin production	Journal of Food protection	53(3)	227-229	Diehl 23
Kenneth L. et al.	1973	Increased aflatoxin production by Aspergillus flavus via cobalt irradiation	Poultry Science	52	1492-1496	94M 4
Killebrew R et al.	1968	Irradiation with コバルト60 (gamma rays) of hard flour to destroy fungal spores and toxins	Transaction of the American Nuclear Society	11	85-86	99-292
Krabbenhoft K.L., et al.	1965	Ecology of Micrococcus radiodurans	Applied microbiology,	13	1030-1037	99-183
Lambert A. D. et al.	1990	Combined effect of modified atmoshere packaging and low dose irradiation on toxin production by Clostridium botulinum in pork	Journal of Food Protection	53 (10)	907	FI0112
Lambert A. D. et al.	1991a	Combined effect of modified atmosphere packaging and low-dose irradiation on toxin production by Clostridium botulinum in fresh pork.	Journal of Food Protection	54 (2)	94-101	FI0192
Lambert A. D. et al.	1991b	Effect of headspace CO2 concentration on toxin production by Clostridium botulinum in MAP, irradiated fresh pork	Journal of Food Protection	54 (8)	588-592	FI0187
Licciardello J. J. et al.	1969	Development of radiation resistance in Sallmonella cultures	Applied Microbiology	18	24-30	Diehl 38)
Maxcy RB, et al.	1978	Radiation-resistant vegetative bacteria in a proposed system of radappertized meats	In: Food preservation by irradiation, Vol. I.Vienna, International Atomic Energy Agency		347-359	99-176
Miyaki K. et al.	1967	Resistance of aflatoxin to chemical and biological changes by gamma irradiation	Microbiological problems in food preservation by irradiation.(Vienna, International Atomic Energy Agency)		57-64	99-291
Modi N.K. et al.	1990	The effect of irradiation and temperature on the immunological activity of staphylococcal enterotoxin A.	International journal of food microbiology	11.	85-92	99-289
Neumayr L. et al.	1990	Production of enterotoxin A and thermonuclease by Staphylococcus aureus in legumes	International Journal of Food Microbiology	10	225-234	FI0284
Odamtten G. T. et al.	1987	Influence of inoculum size of Aspergillus flavus Link on the production of aflatoxin B1 in maize medium before and after exposure to combination treatment of heat and gamma radiation.	International Journal of Food Microbiology	4	119-127	94M 031)
Ogbadu G.	1980	Influence of gammma irradiation on aflatoxin B1 production by Aspergillus flavus growing on some Nigerian foodstuffs	Microbios.	27	19-26	FI0028
O'Neill K. et al.	1996	The influence of gamma radiation and substrate on mycotoxin production by Fusarium culmorum IMI 309344	Journal of Applied Bacteriology	81	518-524	FI0268
O'Neill K. et al.	1993	The stability of deoxynivalenol and 3-acetyl deoxynivalenol to gamma irradiation	Food Additives and Contaminants	10 (2)	209-215	FI0275

Parisi, A. D. et al.	1974	Increased radiation resistance of vegetative Bacillus pumilus	Appl. Microbiol.	28	41	Diehl 36
Paster N. et al.	1985	Effect of gamma radiation on ochratoxin production by the fungus Aspergillus ochraceus	Journal of the Science of Food and Agriculture	36	445-449	94M 033) (99-227
Patel U.D. et al.	1989	Inactivation of aflatoxin B1 by using the synergistic effect of hydrogen peroxide and gamma radiation	Applied environmental microbiology	55	465-467	99-296
Priyadarshini E. et al.	1979	Effect of graded doses of gamma-irradiation on aflatoxin production by Aspergillus parasiticus in wheat	Food and Cosmetic Toxicology	17	505-507	94M 034)
Priyadarshini E. et al.	1976	Aflatoxin production on irradiated foods	Food and cosmetics toxicology	14	293-295	FI0233
Refai M. K. et al.	2003	Incidence of aflatoxin B1 in the Egyptian cured meat basterma and control by gamma-irradiation.	Nahrung	47 (6)	377-382	FI0098
Rose S.A. et al.	1988	Studies on the irradiation of toxins of Clostridium botulinum and Staphylococcus aureus	Journal of applied bacteriology	65	223-229	99-288
Rowe T. F. et al.	1994	Effect of irradiation on the detection of bacterial DNA in contaminated food samples by DNA hybridization	Letters in Applied Microbiology	18	171-173	FI0422
Schindler A. F. et al.	1980	Enhanced aflatoxin production by Aspergillus flavus and Aspergillus parasiticus after gamma irradiation of the spore inoculum	Journal of Food Protection	43 (1)	7-9	FI0350
Shahin A. A. M.	1998	Effect of different factors including gamma radiation on the growth and aflatoxin production of Aspergillus flavus in sesame seeds	Egyptian Journal of Microbiology	33 (3)	455-468	FI0317
Sharma A. et al.	1990	Aflatoxin producing ability of spores of Aspergillus parasiticus exposed to gamma radiation	Journal of food science	55	275-276	99-218
Sharma A. et al.	1980	Influence of inoculum size of Aspergillus parasiticus spores on aflatoxin production	Applied and Environmental Microbiology	40(6)	989-993	94M 037 (99-221
Skulberg A.	1965	The resistance of Clostridium botulinum type E toxin to radiation	Journal of applied bacteriology	28	139-141	99-285
Sommers C. H. et al.	2001	Loss of crystal violet binding activity in stationary phase Yersinia enterocolitica following gamma irradiation	Food Microbiology	18	367-374	FI0380
Szekely J.G. et al.	1991	Scanning electron microscope observations of growth and ochratoxin a production of Aspergillus alutaceus variety alutaceus (formerly A. ochraceus) on gamma-irradiated barley	Food structure	10	295-302	99-224
Temcharoen P, et al.	1982	Removal of aflatoxin B1 toxicity but not mutagenicity by 1 megarad gamma radiation of peanut meal.	Journal of food safety	4	199-205	99-294
Thayer D. W. et al.	1995	Effects of ionizing radiation and anaerobic refrigerated storage on indigenous microflora, Salmonella, and Clostridium botulinum types A and B in vacuum-canned, mechanically deboned chicken meat	Journal of Food Protection	58 (7)	752-757	FI0325

	· ·		The second secon			
Velluti A. et al.	2000	Fumonisin B1, zearalenone and deoxynivalenol production by Fusarium moniliforme, F proliferatum and F graminearum in mixed	Journal of the Science of Food and Agriculture	81	88-94	FI0238
		cultures on irradiated maize kernels				
Visconti A. et al.	1996	Stability of fumonisins at different storage periods and temperatures in gamma-irradiated maize	Food Additives and Contaminants	13 (8)	929-938	FI0270
Wagenaar	1960	Studies on the inactivation of type a	Food research	25	279-284	99-286
R.O. et al.		clostridium botulinum toxin by irradiation with cobalt 60			2,5 20.)) <u>2</u> 00
Youssef B. M et al.	1999	Effect of gamma irradiation on aflatoxin B1 production by Aspergillus flavus in ground beef stored at 5C	Journal of Food Safety	19	231-239	FI0141
Żegota H. et al.	1989	Elimination of the toxic effects of patulin on Bacillus subtilis and B.megaterium by irradiation	Zeitschrift fuer Lebensmittel-Untersuchung und -Forschung	188	348-350	FI0341
Żegota H. et al.	1988b	Effect of irradiation and storage on patulin disappearance and some chemical constituents of apple juice concentrate	Zeitschrift fuer Lebensmittel-Untersuchung und -Forschung	187	321-324	FI0430
Żegota H. et al.	1988a	Effect of irradiation on the patulin content and chemical composition of apple juice concentrate	Zeitschrift fuer Lebensmittel-Untersuchung und -Forschung	187	235-238	FI0431
安藤芳明 他	1971	ポツリヌスE型菌芽胞の放射線抵抗性に関する研究(第2報)発芽に及ぼすガンマ線 照射の影響	食品照射	6	47-53	MJ 03
安藤芳明 他	1972	ポツリヌスE型菌芽胞の放射線抵抗性に関する研究(第3報)発育および毒素産生に 及ぼす低線量照射の影響	食品照射	7	1-5	MJ 04
安藤芳明 他	1969	放射線パスツリーゼーションした魚肉にお けるポツリヌス E 型菌の毒素産生	食品照射	4	11-17	MJ 05
安藤芳明 他	1973	低線量照射タラ切身におけるポツリヌスE 型菌芽胞の接種試験	食品照射	8	118-119	MJ 06
伊藤均	1992	Asupergillus parasiticus および A. flavus 低線量照射によるアフラトキシン産生促進効果	食品照射	27	27-31	MJ 08
伊藤均 他	1991	Aspergillus flavus のアフラトキシン産生 に及ぼす照射の影響	食品照射	26	43-46	МЈ 07
菊池裕 他	2001	低線量放射線による微生物毒素産生能の変化に関する研究 1 ベロ毒素を産生する 腸管出血性大腸菌 Eschlicai Coli	食品照射	36	23-25	MJ 10
久米民和 他	1987	香辛料汚染糸状菌のアフラトキシン産生能 と放射線感受性	食品照射	22 (2)	16-18	MJ 01

2-5 毒性学的安全性

照射食品をヒトが摂取した場合の毒性学的な影響の検討は、1950年代から実施され、 世代試験も含めた動物混餌試験、遺伝毒性試験ともに膨大な量の研究文献が蓄積されてい る。これらのデータに対しては、1章でも述べたようにWHOや各国政府機関が評価を実 施し、毒性学的な安全性に関する結論を出している。従って、照射食品の毒性学的評価に あたっては、これらの評価結果(1章参照)の内容を十分に検討することが重要である。

そこで本調査では、①WHOの1994年および1999年の評価レポートに用いた参考文献および、本章2節で指摘した、②放射線特異的分解生成物2-アルキルシクロブタノン類の遺伝毒性に関する最近の研究、③1999年のWHOの報告書よりも後に実施された新たな毒性研究の文献収集を重点的に実施した。

そこでこの節の末尾に今回の調査の期間に収集できた毒性研究の一覧をまとめた。さらに重要度が高いと考えられるカテゴリーの収集文献について整理した結果を以下に述べる。なお、WHOの1999年のレポートには、WHOが毒性学的評価を実施した文献の内容が整理されており、今回の調査ではこの取りまとめ表の翻訳も実施している。(資料集 I)

ラルテックによる鶏肉の安全性試験

米国陸軍がラルテック(Raltech Scientific Service)に委託して1976年から開始した照射鶏肉に関する安全性試験は、その後、米国農務省が支援して実施され1984年に終了した。この全容は、最終的なとりまとめをした農務省東部研究所(USDA/ARS-ERRC)の Dr. Thayer が 1987年の Journal of Food Protection に公表した(資料集II に収録)。

この試験の結果は、米国の鶏肉照射の許可における安全性評価に用いられただけでなく、 照射食品全般の毒性学的評価において重要視されている。最近では、2-アルキルシクロブ タノンの遺伝毒性に関して示された懸念に対し、この放射線分解生成物を実際に含む食餌 試料を動物に長期投与した毒性試験として、WHOや他機関におけるこの化合物のリスク 評価に用いられている。

食餌の区分と処理条件(表 2-5-1) および試験の種類(表 2-5-2) は以下の通りである。

表 2-5-1 ラルテックの鶏肉毒性試験に用いられた試料と処理条件

食餌区分	鶏肉の処理 保存条件	鶏肉含有量
1) 電子線照射 (ELE)	-25℃真空下で 45-68kGy(平均 59kGy)	35%
 ガンマ線照射 (GAM) 	-25℃真空下で 46-68kGy(平均 56kGy)	3 5 %
3) 熱処理(TP)	115.6℃で加熱	3 5 %
4) 冷凍保存コントロール (FC)	真空状態で凍結	3 5 %
5)混合実験飼料(CLD)		0 %

表 2-5-2 ラルテック鶏肉の安全性試験で実施された項目

慢性毒性試	験(発ガン性試験、世代試験)	マウス
慢性毒性試	験	ビーグル犬
催奇形性試	験	ラット、ウサギ、ハムスター、マウス
優性致死試	験	マウス
伴性劣性試	験	キイロショウジョウバエ
エームス試	験	Salmonella TA1535, TA98, TA100, TA 1537, TA 1538

これらの試験については、WHOの1994年の報告書にも解説されており、総括としては、放射線による悪影響が認められないとされている。

なお、WHOやFDAが評価に使用したラルテック試験のオリジナル報告書については、 米国陸軍が実施した照射による鶏肉および牛肉の分解生成物の分析に関する報告書も含め て以下の通りであると米国官報に公告されている。(FR4940623) (表2-5-3)

表2-5-3 ラルテックの鶏肉安全性試験に関連するオリジナル報告書

*Pb84-186980	Wholesomeness Studies of Precooked (Enzyme inactivated) Chicken Product In Vacuum Sealed Containers Exposed To Dose Of Ionizing Radiation, Sufficient To Achieve Commercial Sterility (Summery Of Supporting Document) 191p	1984
*Pb84-186998	Animal Feeding Study Protocol For Irradiation Sterilized Test Foods; Packaging Materials For Use During The Ionizing Irradiation Sterilization of Prepackaged Chicken Products Technology, Product Quality, Feasibility Technical Report) 688p	1984
Pb84-187004	Animal Feeding Study For Irradiated Sterilized Chicken (Quarterly Report) (15073p)	
Pb84-187012	Chronic Toxicity, Oncogenicity And Multigeneration Reproductive Study Using Cd-1 Mice to Evaluate Frozen, Thermally Sterilized, Cobalt-60 Irradiated, And 10 MeV Eelectron Irradiated Chicken Meat.(Final Report) (10328p)	1984
Pb84-187020	Irradiated Sterilized Chicken Meat: A Chronic Toxicity And Reproductive Performance Study In Beagle Dogs. (196,861p)	1982
Pb84-187038	Irradiation Sterilized Chicken Feeding Study in Rats(401p)	
*Pb84-187046	Hamster, Mouse, Rabbit And Rat, Teratology Studies of Irradiation Sterilized Chicken Products. (835p)	1982
*Pb84-187053	Genetic Studies: Dominant Lethal Study, Sex Linked Recessive Lethal, Ames mutagenecity, and Heritable Translocation Test of Thermal Processed And Frozen, Electron Irradiated And Gamma-Irradiated Chicken. (406p)	1983
Pb84-187061	Protein Efficacy Ratio Determins of Irradiation Sterilized Chiken Product(44p)	1980
Pb84-187079	Antivitamin Studies of Irradiation Sterilized Beef And Chicken Assessment of Mutagenic Activity Of Irradiated Beef Using The Ames Salmonella / Mammalian Mutagenecity Assay (292p)	1979
*Pb84-187087	Evaluation of The Health Aspects of Certain Compounds Found in Irradiated Beef(184p)	1977
*Pb84-187095	Radiolysis Compounds in Bacon And Chicken (466p)	1984

ラルテック試験の一連の報告書類とオリジナルデータは、米国農務省東部研究所が所蔵していることを今回の調査において確認した。また、表2-5-3中*印のものについては、日本原子力研究所高崎研究所が所蔵している。日本国内にないものについては東部研究所にコピーを依頼している。

毒性試験(動物試験)で過去に異常が報告された研究

毒性試験に関してWHOの1994年および1999年の報告書の中で多くの研究について解説されている。多くの異常を示さなかった試験とともに、いくつかの試験では異常の結果が報告されたものがある。これらについて、WHO報告書の中では、専門委員会での解釈を示したり、その後の追試の結果を示したりすることで放射線照射による悪影響を否定している。

表2-5-4にこれらの研究の概要をWHOの解釈とともにまとめた。

初期の動物実験による毒性結果の異常の原因が、食餌中の栄養素がもともと欠乏していたり、照射によって栄養素が破壊されたりすることによるもので、照射によって生成する毒性物質の効果とは解釈されない例が報告されている。

例えば、Monsenらは、55.8kGy照射した豚肉、鶏肉をはじめとする照射食品の摂取によるマウスの心臓障害(心耳の拡張)を報告した(Monsen 1960)。しかし、その後の別の研究者による同系統のマウスを使った実験では、照射による心臓障害は確認できなかったと報告している(Thompson 1963)。また、Monsenらは追加試験を実施し、この影響は飼料中の鉄および銅の欠乏によるものだと報告した(Monsen 1965)。

別の例では、55.8kGy照射した牛肉を投与したラット雄で出血性症候群による死亡の報告がある(Malhotra et al. 1963 a)。WHOの報告書では、照射によるビタミンK3の破壊が原因であるとの解釈が示されている。なお、牛肉はビタミンKの重要な供給源ではないので、この結果は人間の栄養にとって重要ではないとも述べている。その後の研究でこの障害はビタミンKを補充すると予防することができたと報告された(Malhotra et al. 1965)。なお、56kGy照射した牛肉でのビタミンK3の破壊に伴う内出血は、Metta (1959)らによっても報告(WHOの報告書では栄養の章で扱われている)されており、ビタミンKの破壊は肉の加熱調理でも起こり、照射肉の場合と同様の症状が現れるがビタミンK3の補充で回復するとの研究もある(Matchner et al. 1966)。

<参考文献> ビタミンKの破壊に関して

- 1) Metta V.C. et al. (1959) Vitamin K deficiency in rats induced by the feeding of irradiated beef. *Journal of nutrition*, **69**, 18-22.
- 2) Matschiner et al. (1966) Vitamin K content of ground beef. Journal of nutrition, 90, 331-334.

表2-5-4 異常が報告された動物実験とその関連研究 亜急性毒性試験

食品館	1料(%)	動物	期間	線量	線源 照射条件	結果(コメント)	著者/参月	東文献
牛肉(3	5%)、スターチ	亜急性毒性	9 週間	55.8kGy	使用済み核燃料棒;	照射牛肉を与えられたラットは死亡率が有意に高かった。(非照射の子	Malhotra	94T 096)
(35%)、	ショ糖(19%)、	ラット SD 系	13週間		食品の缶詰	供のラットはゼロ)メチオニンの供与は死亡率を直線的に減らした。照射	1963a	(99-316)
タラ肝	油(1.5%)、小		l '		冷凍出荷	試料でプロトロビン速度が低下し、メチオニン添加はプロトロンビン速度を		(33 010)
	E種油(0.5%)、	メチオニン補			60℃ で照射;	上げた。ただしメチオニンは成長を低下させた。SD系のラットでは、非照		
塩混合	物(4%)、	完の影響を			室温で保存	射試料での成ラットに出血死したものがあった。メチオニン投与量の増加		
ビタミン	/混合物(5%)	合わせて調			* *,	は体重増加率を直線的に減少させた。それは非照射グループより照射		
,		查				グループの方が顕著だった。成獣ラットは離乳期に比べて、出血性素因		
		·			e e e e e e e e e e e e e e e e e e e	が強い。		
					and the second	WH094,99 の解釈では、照射によるビタミン K3 破壊によるもので、照射		
			. * . *			に特有の変化に起因するものでないと解釈。		
牛肉(3	5%) 同上	亜急性毒性	90 日間	55.8kGy	使用済み核燃料棒;	去勢された雄	Malhotra	94T 097)
	:	ラット SD系			食品の缶詰	食餌におけるメチオニン(Met)とテストステロン(Tes)濃度の内出血死亡率	1963b	(99-315)
					冷凍出荷	の影響が調査された。メチオニンは、直線的に死亡率を低下させ、テステ		
					60°Fで照射;	ステロンは死亡率を上昇させた。これら2つの影響は独立。		
					室温で保存			
牛肉(3	5%) 同上	亜急性毒性	14 週間	55.8kGy	使用済み核燃料棒;	死亡率はビタミン K3 と DL-メチオニンで減少した。	Malhotra	94T 098)
		ラット	(試験 I),	1	食品の缶詰	ビタミン K3 が増加したとき、プロトロンビン速度も増加した。メチオニンを		(99-317)
		7	8週間		冷凍出荷	0.23%添加するとメチオニン無添加に比べて速度は小さくなり、1.37%添加	. *	
			(試験 II)		60°Fで照射;	すると速くなった。 メチオニン 1.37%添加とビタミン K3 を週に 3 回経口投		
					室温で保存	与するとプロトロンビン速度は通常だった。0.23%メチオニン添加で体重		,
						増加率は有意に増加した。1.37%添加するとビタミン K3 の増加とともい直		
						線的かつ有意に減少した。		
						WH099 では、照射の影響はなく、上記 1963 年の出血障害をビタミン K	į	
						の破壊と解釈。	·	

挽き豚肉 (p) (35%),	亜急性毒性	84 日間	27.9kGy	使用済み燃料棒;	55.8kGy 照射した豚肉をラットに 84 日間投与すると、血漿アラニンアミノト	Brin	94T 023)
パン (br)* (80%), グ	ラット		55.8kGy	缶詰、冷凍、	ランスフェラーゼの減少と体重の減少が観察された。著者が指摘してい	1961a	(99-100)
リーンビーンズ (gb)		٠.		プール中で照射;	るように、このような影響はおそらく、ピリドキシンの減少の結果であろう。		
(35% and 80%) エビ				3-8ヶ月間室温で保管			•
(sh) (35% and 80%)	* -			(br) 0.25 and 0.5 kGy	・WH094 は食餌照射グリーンビーンズまたはエビの量に関連した影響は		
					なく、栄養の問題という FDA の解釈を支持した。		
イチゴ (5%):ジュー	亜急性毒性	84 日間	5kGy	電子線(3 MeV);	高線量の粉末を食べた雄のグループの成長遅延。雌と高線量ジュース	Verschuuren	94T-175
ス (j) 粉 (p);j,	ラット		50kGy	(j):冷凍保存、解凍	を与えられたすべての動物に有意な影響なし	1966	(99-345)
	ウィスター系	. *		後等量の水と混合;			
				(p)凍結乾燥し、粉株	WH099 では最終的には飼料中の既存の栄養欠乏もしくは照射に固有の		
				化後、N2 封入し保存	ものではない栄養素の劣化によるものであると解釈		
実験動物用飼料(100%):カ	亜急性毒性	120 日間	25kGy	コバルト60	食餌の肝臓機能への影響調査。25~45kGy 照射した飼料を投与した雌	Metwalli	94T 102)
ゼイン (8.5%), スキムミルク	ラット(SD		45kGy	NS	のラットの血漿中のアスパラギン酸アミノトランスフェラーゼ活性が低下	1977	(99-339)
(9.4%), 澱粉 (50%), 小麦粉	系)			PE バッグで保管	・FDAは、この現象には線量依存性がなく、試験の結果に疑問の余地		
(16.5%), 蔗糖 (5%), ヒマワリ					 有りとの解釈。WH094では統計的な有意差はわずか。対照の酵素活性		
油(6%),塩化コリン(0.1%),					が通常よりも高いことを指摘。WH099 飼料中の既存の栄養欠乏か照射		
塩混合 (3.5%) ビタミンの混					に固有ではない栄養素の劣化によると解釈		
合物 (1%)							
アポロ宇宙食	亜急性毒性	50 日 (P1),	54kGy	コバルト60 ,N2 缶詰	アポロ飛行士(1968年)の宇宙食の代表的な食餌組成を模倣し、ラッ	Luckey	94T 094)
	マウス	90 日(F1)			│ ト飼料を乾燥、窒素下で 54kGy 照射した。照射飼料を投与したマウ	1973	
		30 FJ (F2)			スの成長が遅く、貧血の症状を示すと報告した。ただし、貧血の症		
					│ 状は第1世代および第2世代の非照射飼料を食べたマウスにも現れ		
					ている。		
					FDA は飼料の不適切さ、プロトコールの不規則性によりこの試験を否定		
					し、WHOO4 では FDA の見解を引用。		
タマネギ(10%)	亜急性毒性	90日間	0.25kGy	コバルト60	体重測定や検尿ではグループ間での差異はなかった。タマネギの投与を	Gabriel	94T 058)
	イヌ				開始した時に貧血が見られた。実験の進行とともにより深刻なものとなっ	1976a	
					た。また、照射タマネギのグループの方が急速に進行した。両グループと		
					も脾臓重量の増加が見られた。また、肝臓・腎臓の色素沈着とゆるやか		
					な白血球増加が観察された。		
				e.	₩H094 は、FDA の照射と関係がない影響であり、実験として1 群の動物		
					数の不足という評価を支持。		

	ı
۲	_
(Ξ
ς	_
	1

固形飼料	亜急性毒性	90 日間	25kGy	コバルト60	肉類混合試料供給において35%の必須アミノ酸破壊と脂質酸化。穀類混	Smid	99-374
(100%):Vetacan (肉•	イヌ				合試料供給において炭水化物の破壊。しかし、餌において目立った味覚	1985	
飼料混合物)					の変化はないが、試験動物は総タンパク質の低下と血清の中のクレアチ		
(Vc)Vetavit (穀類・			<u> </u>		ンの低下を表示した。他の生物学的影響は示さなかった。		
飼料混合物)(Vv)					WH099では、飼料中の既存の栄養欠乏もしくは照射に固有のものではない栄養素の劣化によると解釈。		
大豆油を10%用い	亜急性毒性	ヒヨコ、	6,30,60k	300 kCi コバルト60;	30kGy 以上で過酸化物が多量に生成。照射飼料の脂質の自動酸化に	T-1-:	00.201
た実験動物用飼料	ドヨコ	5 週間	Gv	ガラス瓶に入れた大	起因すると考えられる作用や成長抑制低下。	Takigawa 1976	99-381
(100%)		0 22111	,	豆油	を回り。00万人の1F加 下及1X1が時間16.1。	1970	
·				100 kCi コバルト60;	WH099 では固有のものではない栄養素の劣化によるものであると解釈。		
				紙箱に入れた全飼料			

慢性毒性 繁殖試験

食品飼料(%)	動物	期間	線量	線源 照射条件	結果(コダント)	著者/参	报文献
実験動物用飼料	慢性毒性	730 日間	60kGy	コバルト60	栄養(ビタミン)不足によると考えられる成長と繁殖力の低下(ビタミンの補	Biagini	94T 018)
(100%)	マウス(スイ	P, F1,		6 kGy/h	てんがない)	1967	(99-359)
	ス系)	F2			・照射の影響はなし(WH099の解釈) ・成長の低下は10%以下であ		
		世代			り、繁殖力の問題は栄養に関係しているようである (WH094の解釈)		
混合物:	慢性毒性	19ヶ月間	55.8kGy	使用済み核燃料棒;	Strong A, Dba, Cb.	Monsen	94T 106)
豚肉 (8.8%)、鶏肉	マウス			食品の缶詰、冷凍;	Cb 血統でマウスの心臓に心耳の拡張を起こし、17.5%が死亡。 Strong A	1960	(99-351)
(6%)、濃 縮ミルク			1	60°F で照射;	系統の死亡率は2%。同腹のコントロール(非照射飼料を)与えられた動		(, , , , ,
(19.3%)、バレイショ	1.1			0.1kGy でバレイショを	物に障害は認められなかった。照射エバミルクの食餌は CB マウスの		
(19.3%) 人参 (43%)				照射し、5-10℃で貯蔵			
湿重量あたり							
					WHO94 では、Tompson の実験で追試できなかったことを挙げこの研究の		
			-		結果を否定。また、WHO99でも Monsen の続く2 つのレポートの結果も		
**	·				加味し、心臓障害は銅欠乏によると解釈(Monsen 1963 および 1965)。		

	ĺ		
۲	_	1	
¢	_	>	
۲	-	1	
	١		

同上混合食 および	慢性毒性	860 日	55.8kGy	同上	同上実験レポートの詳細(プロジェクト全体では途中経過)	Monsen	99-352
エバミルク	マウス				照射混合食(ビタミン補強)の実験(追試も含む)。1958 年の実験で、Cb	1963	
					系統に高率の心臓障害が発生。その後、1959 年に57匹および 85 匹の		
					動物で実験した際の心臓障害の発症は、それぞれ3匹ずつであった。後		
					者の実験で心臓障害を発症した動物は 600 日以上の高齢。		
					照射エバミルクのビタミン補強効果の実験:加熱、照射、ビタミン補強の		
				· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	組み合わせを変え8種類の食餌で実験を行ったところ、非照射、非加熱、		
					ビタミン補強試料の心臓障害発生率が一番低かった(22.7%)が、非照射		
					加熱、非照射、非加熱ビタミン補強なしの食餌でも高率の心臓障害が認		
					められた。照射エバミルクでは、ビタミン補強、加熱の有無で多少の差は		
					あるものの総じて 60-80%の割合で心臓障害が発生した。エバミルク試		
					料での体重増加はいずれの場合も通常の生育状態に比べて低い。		
エバミルク	慢性毒性				Lab Chow のコントロールを追加し、エバミルクに対して金属などの添加	Monsen	99-353
	マウス	·			効果を検討する実験を追加して、心臓障害の原因を究明した最終結論。	1965	
·	•				試料は照射せず、ビタミン、ミネラル添加の影響を検討。		
V				•	1)エバミルクのみの食餌は3種の系統のマウスに心臓障害を起こす2)		
				*	Cb 系統は遺伝的に心耳拡張の障害をおこしやすい3)高濃度の飽和脂		
*		,			肪酸と低率の B 群ビタミンは心臓障害の発症には無関係4)ミルクへの		
					銅の添加は心臓障害の発症を抑制。5)ミルク食餌による貧血の発症の		
				·	抑制には鉄と銅の両方が必要。		
				· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	WH099 は先の心臓障害の否定の根拠としてこの論文を支持。		
混合物:	慢性毒性	600日間	55.8kGv	使用済み核燃料棒:	Cb and Strong A (II), Cb 系統はそれ以外の試験.	Tompso	94T 160
豚肉 (8.8%)、鶏肉	マウス	(II)		食品の缶詰、冷凍;	Monsen の研究の反復(II): 心臓障害の病気の発生を決定するために(III):	n 1963	(99-354
(6%)、エバミルク		300日間		60°Fで照射;	病因(IV):100%ミルクの食餌(V)。Monsen の主張する心臓障害は見つかっ		355)
(19.3%)、人参(43%)		(III)		0.1kGy でバレイショを	ていない。		原本な
湿重量あたり		600日間		照射し、5-10℃で貯	WH094 および 99 は照射の影響なしと解釈し、Monsen の最初の実験を否		
		(IV)		蔵	定する根拠にしている。		
		寿命(V)		173			,

	実験動物用飼料	繁殖	繁殖と	25kGy	コバルト60;他の条	LACA and A2G.	Porter	94T 120)
	(100%):	催奇形性試	催奇形		件で NS	2 strains, 4 diets = 8 groups.	1970	(99-360)
	食餌1と食餌2	験	性			オートクレーブ/照射の比較:食餌1で、オートクレーブは子孫が増加;食		
	オートクレーブある	マウス	200日間			餌2で、照射は孫が増加。マウスは、オートクレーブした食餌に比べて		-
	いは、照射					照射した食餌に強い好みを示した。仔の数が減少したが、統計的有意差		
					the state of the s	なし。	2.	
				8.0		WH094 および 99 では、照射の影響なしと評価。		
	鶏肉シチュー(35%)	慢性毒性	730 日間	27.9,	コバルト60 シチュー	幼仔のラットで 19 日間 シチュー(6Mrep),キャベツ(0.6Mrep)を与えられた	Phillips	94T 118)
	キャベツ(35%)	ラット	4 世代	55.8kGy	缶詰 室温 コントロ	十二指腸細胞のアルカリフォスファターゼの低下。生育後および次世代	1961a	, , , , , ,
	乾物重量あたり	1		(シチュー)	ールは5oF) キャ	では異常なし		
$(x,y) = \sum_{i=1}^{n} (x_i - y_i)^{-1} + \sum_{i=1}^{n} (x_i - y_$				0.558,	ベツ 34oF 保存	・WH094 動物数が不十分。幼仔のラット以外の異常はないことを指摘。	ĺ	
				2.79kGy				
				(キャベ				
102				ツ)				
2 –	オレンジ(35%)	繁殖	2年間	1.4,	オレンジ、照射後 60-	第2世代の体重増加が照射試料でコントロールに比べて低下した。繁殖	Phillips	94T 119)
		催奇形性試験		2.79kGy	90日後 34℉ で保蔵	試験では、照射の有無にかかわらず、繁殖率が低かった。臓器重量、腫	1961b	
		ラット				瘍発生、血液像などで照射の影響は認められず。		
			. ,				-	
						・WH094 体重増の低下は、照射と関係ないと考えられ不適切な飼料が		
						原因。		
	混合物:ベーコン	慢性毒性	2 年間	55.8kGy	使用済み核燃料棒;	F 世代成長試験で、2 番目に生んだ動物だけを使用。 4 代目(F3)雌で体	Read	94T 130)
	(8.75%), 牛肉 (8.43%),	ラット	P,	Ť	缶詰の gb、凍らせて	重増加量が減少。雄ラットのチトクロムオキシダーゼ活性の増加。著者は	1961	(99-314)
	ハドック (19.15%),		F1-F3		出荷、60°Fで照射し、	体重減少や酵素活性変動は栄養の問題と解釈。	,1501,	(99-314)
	ハム (4.82%),		世代		室温で保管	11.11.11.11.11.11.11.11.11.11.11.11.11.		1
	粉ミルク (5.56%), ビー					WH094、WH099 では照射による影響は否定。		
	ト (15.45%), グリーンビ							
	ーンズ (8.39%), 穀物							
	(3%) 桃 (20.45%)							

	I	
۲		4
C		2
Ċ	٨	5
	١	

魚	慢性毒性	120 日間	61-0		四計をはつ世代ニューの改画に注口すぐも事件が出すれてばされた。ま	01 :11:	0.4TE 1.50\
	ラット	3世代	6kGy		照射魚は3世代ラットの成長に注目すべき毒性作用をおよぼさなかった。	Shillinger	941 152)
	フット	3世代			しかし、初代 雄の血液中のエリンエステラーゼの減少、第1世代の血液	1970	
					中、肝臓のアミノトランスフェラーゼ活性変化、第2世代におけるコハク酸		
					デヒドロゲナーゼとアラニンアミノトランスフェラーゼ活性の低下が見られ		
					た。睾丸の萎縮と発情期の長所化が観察された。		
			,		WH094では、飼料が不適切であり、ビタミンやミネラルの補給も行われな		
					かった。データが記載法にも難点がある。などの不備を指摘し、この試		
•	1. 				験のデータは疑問の余地があると結論。		
小麦粉(35%)	慢性毒性	730 日間	0.37kG	ガンマ線	照射食品と非照射食品間で初期体重、体重増加率、食物消費量に有意	Reber	94T 133)
	イヌ		у	24-27℃保管	差はなかった。コントロール、0.37kGy、0.74kGy グループでそれぞれ 21、	1961	
			0.74kG		13、16 頭の仔犬が誕生し、そのうち 9、1、5 頭が離乳した。照射小麦粉は		
			у		へモグロビン、赤血球、白血球、白血球百分率に非照射小麦粉と比べて		
					影響を与えなかった。線量に依存し甲状腺炎も増えた。		
					WH094 では動物数が限定されており、統計的な有意差なしなどの理由		
					で、照射の影響を否定		
牛肉(35%)	慢性毒性	2 年間	27.9kGy	使用済み燃料棒;	成長の違いはなし。照射したパイナップルジャム飼料を与えたイヌではい	Blood	94T 019)
鶏肉(35%)	イヌ(ビーグ		55.8kGy	缶詰、冷凍;	くらか差が見られたジャムコントロールグループは 27.9kGy と 55.8kGy グ	1966	(99-367)
パイナップル	ル系)			60°F で照射し、室温	ループの中間の値だった。『ジャム』グループに属する全ての犬には糖		
ジャム(35%)	en en en en en en en en en en en en en e			で保管	尿があった(ビーフシチューと鶏肉を参照)。原発性リンパ球性甲状腺炎も		
					4 例報告されており、そのうち 2 例は鶏肉摂取、1 例が牛肉飼料摂取、1		
			• •		例はジャム飼料摂取のイヌであった		
· .					 ₩H099 では照射の影響は否定、糖尿は高炭水化物、甲状腺は非特異的		
		٠			病変と解釈	1.	
米軍病理学研究所	①イヌ:米軍	病理学研究	芒所(Unit	ed States Armed Force	es Institute of Pathology)は、全試験(WHO99-,	Ross	99-425(月
動物実験病理学的	326,362,364	-366,368-3	71) Ø 27	3 例のイヌにおける様々	々な臓器組織で認められた病変の証拠について評価した(425)。その結		本なし)
病変の総合評価	果、イヌにお	ける甲状腺	泉炎は非特	異的な病変であり、照	射飼料群と非照射飼料群の双方において等しい頻度で発生しているこ		
	とがわかった	これらの	のイヌを対	象とした試験は発癌性	について評価するには十分な試験期間でなかったが、イヌを対象とし		
	たいずれの慢	性試験に	さいても、タ	病理学的異常を示唆する	6結果はなかった。②ラット:3,000 例を超えるラットで見られた様々		
					飼料に特に起因すると考えられる肉眼病変も組織病理学的病変も明ら		
	かにされなか	THE RESERVE OF THE PARTY OF THE					
			resel				

放射線特異的分解生成物 2-アルキルシクロブタノン類の遺伝毒性に関する研究

本章2節でも述べたように、2-アルキルシクロブタノン類(以下2-ACB)は、食品中の脂質に由来する放射線照射分解生成物である。この物質の存在が知られる以前には、照射によって食品中に生成する放射線分解生成物は、非照射食品中にも含まれる成分か、他の調理加工などによっても生成が誘発される既知の物質であるとされ、照射食品の安全性評価がなされてきた。2-ACB類の検出により、その前提が崩れることになり、現在の照射食品の安全性評価において大きな論点となっている。本項では、現在までに実施されている2-ACB類の毒性学的研究文献の整理と、国際機関、政府機関の評価について述べる。なお、関係資料は、本調査報告書 資料集Ⅱに収録した。

表 2-5-5 照射食品中に生成する 2-アルキルシクロブタノン類



脂肪酸	名称	R	略称
パルミチン酸 (C16:0)	2-Dodecylcyclobutanone (2ードデシルシクロブタノン)	(CH2)11CH3	2-DCB
パルミトレイン酸 (C16:1)	2-Dodec-5'-enylcyclobutanone (2ードデセニルシクロブタノン)	(CH2)4CH=CH(CH2)5 CH3	2-DeCB
ステアリン酸 (C18:0)	2-Tetradecylcyclobutanone (2ーテトラデシルシクロブタノン)	(CH2)13CH3	2-TCB
オレイン酸 (C18:1)	2-Tetradec-5'-enylcyclobutanone (2ーテトラデセニルシクロブタノン)	(CH2)4CH=CH(CH2)7 CH3	2-TeCB
リノール酸 (C18:2)	2-Tetradecadienylcyclobutanone (2ーテトラデセニルシクロブタノン)	(CH2)4CH=CHCH2CH=CH(CH2)4 CH3	

この化合物(純品)に関する遺伝毒性試験は、ドイツ、カールスルーエの連邦栄養研究所のDelincéeによって開始された。現在までに報告されている2-ACB類の毒性試験は、(A)Delincée らの初期の研究(B) EU-SCFがスポンサーとなって1999年から2001年までに実施されたフランスのルイ・パスツール大学(ULP)とドイツの栄養生理研究所 (BFEL)のグループによるプロジェクト研究 (INTERREGII) (C) 米国で実施されている2-ドデシルブタノンの(遺伝)毒性試験の3つに大別される。これらの研究の内容を表にまとめた(表2-5-6)。

これまでに実施された研究においては、高濃度の2-ACB類を用いた条件で、以下の可能性が指摘されている。

- ・コメットアッセイによるDNA鎖切断(in vivo投与 ラット大腸細胞)
- ・酸化的DNA障害(アルカリアンワインディング法)
- ・細胞毒性(微生物およびヒト培養細胞)
- ・発ガンプロモーター活性(ラットの実験的大腸癌発がんモデル系)

ただし、サルモネラ、大腸菌を用いた<u>変異原性試験(エームス試験)では、どのグル</u> <u>ープの研究者が実施して</u>も陰性の結果が確認されている。

表2-5-6 2-アルキルシクロブタノン類の毒性研究

A. BFELにおける初期の研究

	試験の種類	実験内容および結果	文献 (資料番号)
(1)	遺伝毒性 細胞毒性 (in vitro)	材料:ラット結腸細胞およびヒト直腸細胞 2-DCB:0.3 ~1.25mg/ml(37℃,30分インキュベーション) ラットおよびヒトの結腸細胞の生存率低下、DNAの1本鎖切断(コメットアッセイ)が、2-DCBの濃度に依存して観察された。	Delincée 1998 (II -5-3 ①)
(2)	遺伝毒性 細胞毒性 (in vivo)	材料:ラット、2-DCB:1.12mg/kg 体重、14.9mg/kg 投与16時間後に結腸細胞を採取、動物数:6匹/グループ 結腸細胞の生存率はコントロールと同様で変化がなかった。 コメットアッセイの結果、高濃度投与群で有意なDNA切断の増加。	Delincée 1999 (II -5-3 ②)

B. 独・仏プロジェクト研究 (INTERREG II)

オリジナルレポート (Ⅱ-5-3 ③)

遺伝毒性 細胞毒性	I I del - 2 Charle 29. Compt. verses 2: 2 - 29 verses 2: 4 cm at	
退场毋住 和旭毋住	材料:ヒト結腸ガン細胞、HT29 および、HT29,cl19A 細胞	Delincée 2002
(in vitro)	2-ACB(2-DCB、2-TCB、2-TeCB、cis、trans およびcis/transmix):	(II - 5 - 3 4)
		Delincée 2001
,	細胞生残率(テトラン゙リム還元法)は、30分処理、400μMでも影響なし、長	(II -5-3 ⑦)
	時間処理で、細胞毒性が認められる。	Delincée 2002
	コメットアッセイによるDNA鎖切断は、30分処理では有意に増加しない。	(II-5-3 ®)
		Pelzer 2001
(in vitro)		(II -5-3 9)
		•
		·
·		
細胞毒性 (細菌)		公表論文なし
エームス試験	2-TCB:4 ~400 μ M、2-DCBおよび、2-decyl-cyclobutanone:4 ~800 μ M	
	細胞毒性(生育阻害、および生残率の減少)が、短鎖長の2ACBに認	
	められた。エームス試験の結果、変異原性は認められなかった。	
発ガン	材料: Wister系 ラット, (6匹/群)	Raul 2002
プロモーター活性	2-TCBおよび2-TeCB 0.005% 溶液(1%Et-OH)を飲料水として投与	(II -5-3 (5))
(in vivo)	(~1.6mg /animal/day)。飼育3および4週に発ガン物質AOM	
	(Azoxymethane)を投与。3および6ヶ月後に直腸を観察。	
	3ヶ月後の観察は、AOMのみのコントロールに比べ異常なし。	•
	6ヶ月後には、2-TCB および 2-TeCB投与群で、腫瘍数、腫瘍サイ	·
	ズの増加。 発ガンプロモーター活性の確認。	
ラットの体内吸収	材料:Wister系 ラット,(6匹/群)	Horvatovich
(in vivo)	2-TCB, 2-TeCB 0.005% 溶液(1%Et-OH)を飲料水として投与	2002
	2-ACBの摂取量は、約1 mg /animal/day 4ヶ月飼育。飼育終了の3	(II-5-3 6)
	日間に収集した糞、解剖後、摘出した脂肪細胞中の2-ACBを定量.	
	体重増加、臓器重量、解剖所見は異常なし。1日に摂取した2-ACB量	
	の1%未満が糞中に排泄。脂肪組織から2-ACBを検出(腸管吸収後、	
	脂肪組織に極少量が蓄積)糞および脂肪組織中に検出された量は摂	
	取量に比べ、極微量。	-
	酸化的DNA障害 (in vitro) 細胞毒性 (細菌) エームス試験 発ガン プロモーター活性 (in vivo)	25 ~400μM(=~100μg/ml) 37℃,0.5, 24, 48h処理 細胞生残率(テトラン゙リム還元法)は、30分処理、400μMでも影響なし、長時間処理で、細胞毒性が認められる。 コメットアッセイによるDNA鎖切断は、30分処理では有意に増加しない。

C. 米国における研究

	T	
遺伝毒性	材料: Escherichia coli 2 WP2 (pkM101) およびWP2uvrA (pkM101)	Sommers 2003
(変異原性試験)	2-DCB: 0~1mg/well、アロクロール誘導ラットのS9フラクション5%溶液	(II -5-3 (I3))
	│ を用いた代謝活性化法	
	いずれの2-DCBの濃度でも、S9フラクションの有無に関わらず各株の	
	生存率は影響を受けず、またコロニー形成数はと溶媒対照に同等。	
	異を誘発しなかった。	
遺伝毒性	材料: Sallmonella TA98、TA100、TA1535、TA153 (エームス試験)	Sommers 2004
(エームス試験)	Saccharomyces cereviseae RS112株(染色体内組換え試験)	(II -5-3 (4))
(染色体内組み換え	2-DCB: 0~1mg/well	
試験)	2-DCB最高濃度(1mg/well、標準プレート法の最大許容濃度5mg/plate	
	2-DCBはイースト菌の染色体組換えを誘発しない。	
遺伝毒性	材料: Sallmonella TA97、TA98、TA100、TA102、TA1535(エーム	Gadgil 2004
(エームス試験)		(II-5-3 (b))
急性毒性	2-DCB : 1.0mg/plate (エームス試験),	` ,
(Microtox試験)	2-DCBに変異原性は認められなかった。	
*		100
	遺伝毒性 (エームス試験) (染色体内組み換え 試験) 遺伝毒性 (エームス試験) 急性毒性	(変異原性試験) 2-DCB: 0~Img/well、アロクロール誘導ラットのS9フラクション5%溶液を用いた代謝活性化法しずれの2-DCBの濃度でも、S9フラクションの有無に関わらず各株の生存率は影響を受けず、またコロニー形成数はと溶媒対照に同等。2-DCBは大腸菌トリプトファン復帰突然変異原性試験において突然変異を誘発しなかった。 遺伝毒性(エームス試験)(染色体内組み換え試験) 材料: Sallmonella TA98、TA100、TA1535、TA153(エームス試験)Saccharomyces cereviseae RS112株(染色体内組換え試験)2-DCB: 0~Img/well、標準プレート法の最大許容濃度5mg/plateに等価)においても、2-DCBはサルモネラ菌突然変異を誘発しない。2-DCBはイースト菌の染色体組換えを誘発しない。4材料: Sallmonella TA97、TA98、TA100、TA102、TA1535(エームス試験)Vibrio fischeri (Microtox試験)2-DCB: 1.0mg/plate (エームス試験),

なお、初期に行われたDlincéeの研究では、北アイルランドBelfastのクイーンズ大学で合成された 2 –ドデシルシクロブタノンが使用された (A)。この試験については、被検化合物の保管や純度が証明されていないとの批判があり、続くINTERREG II のプロジェクト研究では新た開発した合成法を用いて多種類の2-ACB類を合成し、その純度も検定した上で毒性研究に用いた (B)。なおこの研究では、多種の食品における照射による2-ACB類の生成量が測定されている。この研究結果から推定される 3kGy照射、調理後の鶏肉中の2-ACB類の総量は、大まかに見積もると 100gあたり 40 μ g 程度とされている。 (Burnouf 2002)。

2-アルキルシクロブタノン類の安全性研究に関する国際機関等の見解

これまでに実施された遺伝毒性試験の結果をヒトが脂肪を含有する照射食品を摂取する際のリスクの評価に直接的にあてはめることができるかどうか、2-アルキルシクロブタノンの存在により脂質を含む照射食品の毒性学的安全性に問題が無いかについては、WHO、欧州連合食品科学委員会(EU-SCF)、カナダ保健省(Health Canada)が見解を出している。また、国際食品照射諮問グループ(ICGFI)も初期の研究についてのレビューを実施している。これらに関する文書も資料集IIに収蔵した。それぞれの資料について年代順に説明する。

(1) ICGFI (1999)

この評価は、Delincéeの初期の研究(表2-5-6(A))の内容に関してなされたもので、 1999年10月に行われた第16回ICGFI年次大会で、WHOの代表が毒性学の 専門家3人に依頼した初期研究についてのレビュー結果として報告した。

ここでは、コメットアッセイの試験法としての妥当性、研究に用いた試薬の純度と管理が問題点として指摘された。結論としては、コメットアッセイをリスク評価に用いるのは、時期尚早で、完全なリスク評価のためには、より多くの試験研究が必要であるという見解がまとめられた。また、過去に英国で実施されたエームス試験に関する未公表データが紹介され、その結果が陰性であることからICGFIとして早急に新しい実験の実施を進める必要はないとの判断がなされた。

(2) EU-SCF (2002)

独仏のプロジェクト研究 INTERREG II (表2-5-6(B)) の結果が、2002年2月にEU の食品科学委員会の会議で報告され、それを受けて、2002年7月に上記の研究レポートに対する公式見解を発表した。

EU-SCFは、プロモーター活性の発現が、発ガン物質の投与23週間後であったこと、エームス試験の結果が陰性であったこと、哺乳動物細胞を使った、*in vitro* の遺伝子変異や染色体異常の試験が行われていないこと、標準的な Feeding 試験が実施されていないことを指摘した。そして、この試験の結果に対しては、実施したin vitro 試験のほとんどにおいて2-ACB類の悪影響が認められたが、これらの結果から、脂質を含む照射食品中の2-ACB類をヒトが摂取することの健康リスクを評価することは適当でないと結論した。

そして、脂質を含む照射食品の安全性に関しては、これまでのSCFの考え方を踏襲し、照射食品を使って行われた、多くの動物実験に基づいてWHO/FAO/IAEAが1981年に下した、健全性についての評価結果や、「適性な条件下における照射処理は安全である」とする1986年のSCFにおける見解を再確認する、としている。

なお、ULPとBFELの研究者らは、この見解に対して彼らの実験の意図は研究であり、規制当局のリスク評価ではないので用いた試験法に対する批判はあたらないとのコメントしている(Burnouf et al. 2002b)。

(3) カナダ保健省 (Health Canada 2002)

カナダ保健省は食鳥肉、牛肉、マンゴ、エビの4品目に対し新たな評価(2002年)を 実施した際、2-ドデシルシクロブタノン関連化合物に関する評価結果を公表した。

その結果、①過去の毒性学的試験(動物給餌試験)結果は容認できること ②懸念を示す試験結果は疑わしく解釈が困難であること(特に試験法の妥当性)③2-ドデシルブタノンの摂取量の推定値は、懸念を示す論文での実験条件に比べて著しく低いこと を指摘し、放射線処理技術の応用をさらに遅らせることは適切ではないという判断を下した。

(4) WHOの見解 (WHO 2003)

WHOの見解は、2003年3月、コーデックス規格の改訂に関する最終的な議論が実施された時期に合わせて公表された。なお、本調査においてIAEAの本部を訪問した際にも、この文書が2-アルキルシクロブタノンに関する公式文書として現時点でも取り扱われているという回答を得た。

WHOのこの問題に対する結論は、「長期間の動物実験とエームス試験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、2-DCBおよび2-アルキルシクロブタノン類は消費者の健康リスクを損ねないと判断する。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ような論拠は持っていない。」というものである。

なお、WHOはこの見解を結ぶにあたり、この化合物の毒性 / 発ガン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行くこと、照射食品に関し、公衆の健康に対するリスクの可能性を示すような新たな証拠が指摘された場合には、照射食品のリスクアセスメントを再開する意志があることを、再度表明している。

<文献:2-3 2-アルキルシクロブタノンに関する研究および評価>

- 1) 研究文献等
- A. BFE で実施された初期の実験
- ① Delincée H. (1998) Genotoxic properties of 2-dodecylcyclobutanone a compound formed on irradiation of Food containing fat. *Radiat. Phys. Chem.*, **52**, 39-42.
- ② Delincée H. et al. (1999) Genotoxizität von 2-Dodecyl-cyclobutanon,. In '5 Deutsche Tagung Lebensmittelbestrahlung' (Knörr M. et al. eds.), Karlsruhe, 11-12 November(1998), Berichte der Bundesforschungsanstalt für Ernährung, Karlsruhe, BFE-R--99-01, 262-269. (public citizen 英訳)
- B. 独仏プロジェクト研究レポート

<オリジナルレポート>

3 Burnouf D. et al. (2002) Etude toxicologique transfrontalière destinée à évaluer le risque encouru lors de la consommation d'aliments gras ionisés - Toxikologische Untersuchung zur Risikoberwertung beim Verzehr von bestrahlten fetthaltigen Lebensmitteln - Eine französisch-deutsche Studie im Grenzraum Oberrhein, Rapport final d'étude Interreg II, projet No 3171.

<公表論文>

Delincée H. et al. (2002) Genotoxicity of 2-alkylcyclobutanones, markers for an irradiation treatment in fat-containing food - Part I: cyto-and genotoxic potential of 2-tetradecylcyclobutanone, Radiat. Phys. Chem., 63, 431-435.

- S Raul F. et al. (2002) Food-borne radiolytic compounds (2-alkylcyclobutanones) may promote experimental colon carcinogenesis Nutr. Cancer., 44 (2), 88-191.
- (6) Horvatovich P. et al. (2002) Detection of 2-alkylcyclobutanones, markers for irradiated foods, in adipose tissue of animal fed with these substances ,J. Food Prot., 65(10), 1610-1613.

<Meeting Abstract>

- Delincée H. et al. (2001) Genotoxicity of 2-alkylcyclobutanones, markers for an irradiation treatment in fat-containing food II, Cyto- and genotoxic potential of 2-tetradecenyl-cyclobutanone, Poster presented during the European Environmental Mutagen Society (EEMS) GUM Meeting, Karlsruhe Germany, 25-28 September. (Abstract published in Conference Program and Abstracts, p73, 2001.)
- ® Delincée H. et al. (2002) Cyto- und Genotoxizität von 2-Alkylcyclobutanonen, Poster presented during the 39, Meeting of the German Nutrition Society, Jena Germany, 14-15 March. (Abstract published in *Proc. Germ. Nutr. Soc.*, 4, 31-32, 2002.)
- (9) Pelzer A. et al. (2001) Induction of oxidative DNA damage by cyclobutanones generated by irradiation of fat-containing food, Poster presented during the European Environmental Mutagen Society (EEMS) GUM Meeting, Karlsruhe Germany, 25-28 September. Abstract published in Conference Program and Abstracts, p74, 2001.

<情報、サマリー コメント (独仏研究プロジェクト) >

Marchioni et al. (2002)"Information about the potential toxicity of 2-alkylcyclobutanones, a group of substances exclusively formed upon irradiation of food containing fat"
http://www.iaea.org/programmes/rifa/icgfi/documents/summary-press.pdf

- ① Burnouf D. et al. (2002) Comment on a statement of the SCF on a report on2-alkylcyclobutanones.
- Marchioni E. et al. (2004) Toxicological study on 2-alkylcyclobutanones—results of a collaborative study, *Radiat. Phys. Chem.* 71 (1-2), p147-150.

C. 米国の遺伝毒性試験

- Sommers C. H. (2003) 2-Dodecylcyclobutanone does not induce mutations in the Escherichia coli tryptophan reverse mutation assay, J. Agr. Food Chem., 51, 6367-6370.
- Sommers C. H. et al. (2004) 2-Dodecylcyclobutanone does not induce mutations in the Salmonella mutagenicity test or intrachromosomal recombination in Saccharomyces cerevisiae, J. Food Prot., 67, 1293-1298.
- ⑤ Gadgil P. et al. (2004) Mutagenicity and Acute Toxicity Evaluation of 2-Dodecylcyclobutanone, J. Food Sci., **69(9)**, 713-715. (抄録)
- 2) 国際機関 政府機関のレビュー コメント
- 低 ICGFI: Peer Review on the Dr. H. Delincée's Report on the genotoxicity of 2-Alkylcyclobutanone, 16th Annual Meeting of ICGFI Agenda Item 4 Room Doc No 4. ICGFI: (1999 年までの Dr Delincée のレポートに関して)
- The European Committee: Statement of the Scientific Committee on Food on a Report on 2-alkylcyclobutanone

http://europa.eu.int/comm/food/fs/sc/scf/index_en.html

- WHO: WHO Statement on 2-Dodecylcyclobutanone and Related Compounds. March 2003(19th ICGFI 総会参加メンバーに配信) 2005 年 IAEA 訪問時にも WHO の公式見解として入手
- Health Canada: Evaluation of the Significance of 2-Dodecylcyclobutanone and other Alkylcyclobutanones
 http://www.hc-sc.gc.ca/food-aliment/fpi-ipa/e_cyclobutanone.html

照射した糖液の変異原性に関する研究

純粋な糖を照射した時に変異原性物質が生成することが報告され、これまでに多くの論議を呼んできた。この問題については様々な追試が実施され、実際の食品中においては変異原性を消失する成分が存在したり、マウスやラットを用いた実験では体内代謝によって変異原性を消失したりすることが報告されている。

純粋なブドウ糖溶液を照射すると変異原性物質が生成され、サルモネラ菌に細胞毒性を生じ(Schubert 1971)、サルモネラ菌を用いたエームス試験で変異原性物質が検出できる(Wilmer ら 1981)。また、ヒトのリンパ細胞に照射したショ糖溶液を加えると、染色体の切断が起こるとの報告(Shaw ら 1966) や、照射したブドウ糖がキイロショウジョウバエに突然変異を起こさせるとの報告 (Rinehart ら 1965)もある。

しかし、ブドウ糖を溶液 (Aiyar ら 1977、Munzner ら 1975) で照射しても、乾燥状態 (Varma ら 1982a, 1985,1986) で照射しても、マウスやラットを用いた試験では、変異原性を示さなかった。

Niemand は照射グルコース溶液にマンゴジュースを添加すると変異原性が低下することを報告した。なお、Den Drijver らは、成分分析の結果、照射果実や果汁成分の照射の際には、放射線分解生成物質の生成がほとんど見られないと報告している(Den Drijver 1986)。

日本においては、日本アイソトープ協会が実施した照射食品の健全性試験で、照射グルコース溶液の変異原性に関する研究が取り上げられ、照射によって誘発される変異原性はジュースなどの添加や生体内代謝で軽減化されることが示された。

糖の変異原性に関する研究文献を表 2-5-7 にまとめた。

<参考文献:照射糖液の放射線分解生成物の生成に関して>

- Basson R. A. et al. (1979) A Radiation Chemical Approach to the evaluation Of The Possible Toxicity Of Irradiated Fruits Part 1 The Effect of Protection By Carbohydrates Food Chemistry, 4(2) 131-142.
- den Drijver L. et al. (1986) High-performance liquid chromatographic determination of D-arabino-hexos-2-ulose (D-glucosone) in irradiated sugar solutions. Application of the method to irradiated mango, J. Agruc. Food CHem., 34, 758-762.

- 111 -

表2-5-7 照射した糖溶液 (糖結晶) の変異原性に関する研究論文

食品の種類	研究の対象	線量	処理条件	之。 《	著者/参照文	献
ショ糖溶液: (20%)	ヒト リンパ球 24h および 72h 処理	20kGy	コバルト60,2% 溶液、 20%濃度で照射 数ヶ月間、 室温か 5℃で保管し、使用前 に塩水で希釈	影響あり ヒトリンパ球培養細胞で染色体切断。純粋炭水化物溶液の放射線 化学的変化に起因する。(分解物の)濃度は酸化物の濃度に応じ て増加する。	Shaw 1966	94T 150 (99-391)
培養液 (ショ糖)	ショウジョウバエ12 日間 優性致死率、 伴性致死率、 F3世代の致死率	1.5、 5.0、30 kGy	エックス線(25 MeV 電子 (600 mA) タングステンコンバ ータ、)10kGy /min; (低線 量照射、250kVpと 15mA50Gy/分の条件)	優性致死:F1 の生存の減少がない。F3 伴性致死効果が増加。伴性劣性致死効率が全ての線量で一貫してわずかに(2 倍程度)増加した。検出可能な線量依存性はなし。投与前に照射食品を保管することは伴性劣性致死を減少させた。F3 の致死率はエックス線照射とコントロール間で有意差はなかった。	Rinehart 1965	94T 142 (99-419)
培養液、ショ糖 (30%)、 DNA	ショウジョウバエ 伴性劣性致死試験	1.5, 5, 30kGy	エックス線 (25 MeV 電子 (600 mA) タングステンコンバータ、)10kGy /min; ルーサイト小瓶中、照射直後か3週間後使用;媒体で10%希釈		Rinehart 1967	94T 143 (99-420)
ショ糖溶液	ソラマメ 染色体異常試験	20kGy	5.5krad/min 照射後 pH を調整	影響あり。純粋炭水化物溶液の照射で誘発された化学(変化)に 起因する染色体変化。	Bradley 1968	94T 021) (99-392)
ショ糖溶液	サルモネラ菌 LT2 細胞毒性	20kGy	100Gy/min	酸素飽和状態で照射したショ糖溶液に細胞毒性(が認められた。 H ² O ² の影響ではない。	Schubert 1967	94T 147)
ショ糖溶液	細胞毒性 Sallmonella typhimurium LT2	1-50kGy	コバルト60, 6.7krad/min 25℃ 嫌気条件	pH 調整せず嫌気条件で照射したショ糖溶液でサルモネラ菌の生育阻害が線量に依存して観察された。照射後に溶液をオートクレーブすること、さらに阻害が拡大。照射によるショ糖溶液中のカルボニル化合物の濃度とサルモネラ菌の初期倍加時間(世代時間)との間に直線関係を確認。ブドウ糖、D-フルクトース、D マンノース、L-ラムノース、DガラクトースおよびDフコースを照射してオートクレーブした場合にもショ糖と同程度の生育阻害。(照射によって生成したカルボニル化合物の特性を分析し、糖のエノール化を介したα、β不飽和カルボニル化合物の生成が示唆された。)	Schubert 1971	FI0506

The second second	ショ糖溶液	ラット肝臓細胞	5kGy	コバルト60, 14.5 krad	①ラット肝細胞スライスの代謝活性に対する照射ショ糖の影響(in	De 1969	O34-07
	(10%)	(in vitro)および		室温照射	vitro) および②14-C ラベルショ糖溶液を照射後ラットに経口投		
		ラット(in vivo)		−18℃で 2−3 週間貯蔵	与しトレーサー実験(in vivo)①照射糖液の分画成分は、コハク酸		
				pH 調整	酸化、ミトコンドリアの共役的リン酸化反応を阻害。脂質、タンパク		
	· ·				質、DNA の合成阻害。無酸素下、凍結状態での糖液の照射では		
			,		毒性が低下②ショ糖液を8週間経口投与したラットでは有害な影	the second	1
	,				響なし。14-C ラベルしたショ糖液の投与実験は、照射分解生成物		
					のラット体内での速やかな代謝を示唆。	1	
	ショ糖、リボース	サルモネラ菌	20kGy	コバルト60, 4.5 kGy/h;	影響あり	Aiyar 1977	94T
	溶液	変異原性	· ·	空気中、N2	純粋炭水化物溶液の放射線誘導化学(変化)に起因する変異原		001)
				10 分で密閉; ドライアイス;	の誘発作用有り。変異原性は照射後糖溶液を保存すると低下。		(99-393
		マウス		25 週間まで 6-8 度で保管	宿主経由試験では、復帰突然変異体の増加はない。	4	
v.		(宿主経由試験)					
	リボース、	サルモネラ	10kGy	0.13kGy/min N2,O2 また	照射した糖類に変異原性	Wilmer	94T
1	2-デオキシリボ	TA100,TA98、(エ		は N2O 飽和	サルモネラTA100においては、照射によるマロンアルデヒド以外の	1981	186)
112 -	ース	ームス試験)			アルデヒド(non-MDA)の生成量と照射2-デオキシリボースの変		
1					異原性との間に相関が認められた。照射した2-デオキシリボース		
					溶液を加熱すると変異原性は減少した。非照射の2-デオキシリボ		
	> July FFT July 8				ース溶液をオートクレープしても変異原性は認められなかった。		
	ショ糖、果糖、ブ	サルモネラ菌	5-50kG	コバルト60, 17 kGy/h;	影響あり	Niemand	99-383
	ドウ糖、麦芽糖		У	密封されたアンプル、	供与 5 菌株のうち 1 つの菌株(TA100)において、純粋な照射糖液	1983	
	溶液、およびモ デルマンゴ			O2 高濃度下, 25℃	に変異原性がみられた。複合形のモデルであるマンゴの系では変	• .	
	テルマンコ				異原は誘発されない。また、グルコース溶液にマンゴ(ジュース)を		
	動物飼料(糖液)		451.0	耐フ始	加えると照射糖液の変異原性が減少した。		
	野/切即科 (椐攸)	マウス 9-45 日	45kGy	電子線	宿主経由試験。変異原性の誘発作用なし。	Munzner	94T
	·	宿主経由試験		t en	30 日経過後、水のかわりに照射グルコース溶液。	1975	109)
					サルモネラ・ティフィムリウムのヒスチジン栄養要求菌株での照射食		(99-416
					品の変異原性活性はなかった。		

ブドウ糖(結晶)	マウス スイス系 7 日 および 8 週間	2, 5, 20, 50kGy	コバルト60,57 Gy/min; ポリエチレンバッグ、大気下、 25℃	影響なし 結晶状態の糖を照射 10%溶液として経口投与、優性致死試験にお いて変異原性の誘発作用なし。	Varma 1982a	99-398
ブドウ糖(結晶)	ショウジョウバエ 伴性劣性致死試験	2, 5, 20, 50kGy	コバルト60, 57 Gy/min; ポリエチレンバッグ、大気下、 25℃	影響なし 伴性劣性致死の頻度はどの線量においても変化せず。変異原性の誘発作用なし。	Varma 1982b	99-399
ブドウ糖(結晶)	マウス スイス系 (グループ 毎に 6 匹)	0.2, 2.0, 20, 50kGy	コバルト60, 57 Gy/min; ポリエチレンバッグ、大気下、 25℃	影響なし 宿主経由試験。変異原性の誘発作用なし。	Varma 1985	99-400
ブドウ糖(結晶)	マウス スイス系 小核試験	0.2, 2.0, 20, 50k Gy		影響なし 骨髄細胞における小核試験と染色体異常試験を含む。体細胞、 生殖細胞における変異原性の誘発に関する作用なし。	Varma 1986	94T 174) 99-401)
ブドウ糖、フルク トース、ショ糖 (1%)	サルモネラ TA104 (エームス試験)	5-30kG y	コバルト60, 試験管中	サルモネラ菌 TA104 を用いてエームス試験を行うと線量に依存した復帰突然変異のコロニーが増加した。線量に依存し、糖液中のジカルボニル化合物が増加した。照射グルコースの変異原性は野菜や果実のジュース添加で軽減された。	川岸 1992	TJ-30
ブドウ糖 (1-30%)	サルモネラ菌 (復帰突然変異) CHL 細胞 (染色 体異常試験) マウス(小核試験)	1 0 k Gy (5-30k Gy)	コバルト60, 118.6Gy/min〜 143.2Gy/min 試験管中	復帰突然変異試験および、染色体異常試験で照射糖液の変異原性が認められた。変異原活性は S-9 ミックスの添加により減少または消滅し、生体成分による不活性化が示唆された。マウスによる小核試験の結果は陰性であった。 照射グルコースによる染色体異常誘発はマンゴジュースの添加によって完全に抑制。	祖父尼 1992	TJ-31
ブドウ糖(1%)	サルモネラ菌 TA98、TA100, TA102, エームス 法および Niemand 法	0.01-20 kGy	コバルト60, 通気条件および試験管中	エームス法(プレインキュベーション法)では変異原性は検出されなかった。Niemand らの方法(糖液と菌液を1:1で混合し 37℃で数時間プレインキュベーション)10kGy 照射糖液で、TA100、および TA102 株に変異コロニー数の増加が認められた。S-9ミックスの存在下では変異原性は減少した。	坂本 1992	TJ-32
ブドウ糖溶液 (培養液中で 1%)	細胞毒性 E. coli A4-1 and S2 B. subtilis IAM1069 S. cerevisiae	16kGy	コバルト60, 4.0kGy/h; 酸素飽和および通気状態	S.cerevisiae の生育に照射の影響なし。E.coli は、酸素飽和した培養液の照射で生育速度低下。B.subtilis の著しい生育阻害が酸素飽和の照射で認められた。微生物の生育阻害は培養液の pH 低下によると考えられ、照射後の培養液の pHを 7.0-7.2 まで中和すると B.subtilis の生育阻害は観察されなかった。	伊藤 2003	FI0362

照射小麦による倍数性の変化に関する研究

照射小麦粉を動物に長期間与えると倍数性細胞(ポロプロイド)を誘発するという報告、また栄養失調の子供に照射小麦を与えると倍数性細胞が高くなるという報告があることから、この問題は遺伝毒性試験の中でも論議を呼び、多くの追試験が実施された。また政府機関の評価でもこの問題は取り上げられた。論議になった文献をまとめた。

この問題の論争は、1970年代のインドでの報告が起点になっている。Bhaskaram (1975)は、新鮮な照射小麦(0.75 kGy)を $4\sim6$ 週間 (42日) 摂取した栄養不良のインドの子供のリンパ細胞に倍数性の誘導について報告した。その場合、照射後数週間保存した小麦においてはこの結果は確認されなかった。その後、ラット、マウスおよびサル (Vijayalaxmi 6 1975, Vijayalaxmi 1975, Vijayalaxmi 1976、1978)に同様の結果が報告された。また、Renner (1977) は、 $10\sim100\text{kGy}$ 照射して滅菌した飼料を与えたチャイニーズハムスターの骨髄細胞について検討した。染色体の構造的な異常に関しての影響は観察されなかったが、45kGy照射した飼料を24時間投与した時に倍数細胞が $4\sim5$ 倍増加した。この試験では、非常に高い線量が照射されたが、 $30\sim100\text{kGy}$ の線量範囲では、倍数細胞の出現率の線量依存性は認められなかった。

その後の動物実験(Georgeら 1976, Reddiら 1977, Teshら 1977)では、これらの結果を追試することができないとされている。さらにラット、チャイニーズハムスター(田中ら 1992)の研究において、照射小麦の摂取による倍異数性細胞の増加は示されなかった。また、細胞数を増加させて実験を行ったスイスのグループ(Maierら 1993)も、照射小麦を摂取している 9 0 日間に倍数性細胞の蓄積はないとして照射小麦の消費がヒト健康の危険をもたらさないと結論を下している。

オリジナルデータの文献の内容を(表2-5-8)に整理した。なお、この問題に関する参考文献、解説を以下に挙げる。

<参考文献:照射小麦の倍数細胞関連> (総説,解説)

- 1) 田中憲穂(2004) 照射食品の生物学的安全性評価, FFI Journal, 209(12) 1079-1087.
- 2) Vijayalaxmi et al. (1989) A review of the studies on the wholesomeness of irradiated wheat, conducted at the national Institute of Nutrition India, *Radiat.Phys, Chem.*, **34(6)** 941-952.
- 3) Frohberg H. et al. (1975) In vivo cytogenetic investigation in bone-marrow of rats, Chinese hamsters and mice treated with 6-mercaptopurine, *Archives of toxicology* **33**, 209-224. (倍数細胞自然発生率と薬剤による誘発に関する考察)
- 4) Armendares M et al. (1971) Chromosome abnormalities in severe protein calorie malnutrition, Nature, 232, 271-273. (低栄養と倍数細胞自然発生率に関する考察)
- 5) 放射線利用振興協会: 照射小麦摂取による染色体異常誘発の可能性, 放射線利用技術試験研究データベース http://www.rada.or.jp/database/home4/normal/ht-docs/member/synopsis/020234.html

- 611

表2-5-8 照射小麦の倍数性細胞(倍数細胞)の変化に関する論文

食品の種類 (飼料中の%)	研究の種類。 /期間	線量。	処理条件	インスト (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1)	著者/参照了	て献 。
小麦	比	0.75 kGy	コバルト60	3 つのグループ試験; ①.照射直後の小麦,②.照射後保存した小麦	Bhaskaram	94T
(照射直後および	摂食試験		アルミニウム	③非照射の小麦 照射直後の小麦を食べた子供は、4人に倍数細胞が観察され	(1975)	017)
照射後保存)	42日間		のコンテナ	た。(0.8% at 4週間、1.8% at 6週間)照射後保管しておいた子供は①の子供に比	100	
			0.75 kGy/h	べ倍数細胞の数は非常に少なく、③の子供にはほとんど観察されなかった。		
小麦(70%)	ラット	0.75 kGy	コバルト60	低蛋白質(5%)および蛋白質量(18%)の飼料群において、照射小麦の影響を調	Vijayalaxmi	94T
照射20日後	12週間		アルミニウム	べた。低蛋白質のみの影響で、染色体の切断や欠失が増加、照射はこのような	(1975a)	180)
			のコンテナ	染色体異常に関与しない。照射小麦を与えた動物で蛋白質のレベルに関わりな		
				く倍数細胞が増加する。照射小麦を3カ月間貯蔵すると、照射の影響は観察され		
			0.75 kGy/h	なかった。この試験で、対照動物の倍数細胞の出現率は、0~0.05%であった。		
	:			照射飼料での倍数細胞の出現率は0.4~0.7%に上昇。ただし倍数細胞の数は		
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1			少なく、これらの結果は、統計学的に、他の研究者が正常なラットの骨髄細胞で		
				観察している範囲内。		
小麦(70%)	ラット	0.75 kGy	コバルト60	上記実験条件で、倍数細胞出現率のタイムコースをとった。染色体の損傷の発生	Vijayalaxmi	94T
照射20日後	1, 2, 3, 4, 6, 8, 1		0.75 kGy/h	率の増加は観察されなかったが、倍数細胞が経時的に増加。	(1975b)	176)
	0, 12週間					
小麦(70%)	マウス	0.75 kGy	コバルト60	2匹のマウスからなるグループに、照射後20日および3ヶ月貯蔵の小麦を与え骨	Vijayalaxmi	94T
照射後 15-18	12週間		アルミニウム	髄細胞の染色体を分析した。照射直後の小麦を与えられた2匹のマウスは、倍数	(1976a)	177)
日以内			のコンテナ	細胞の出現率が増加。照射後に貯蔵した小麦を与えたマウスでは、倍数細胞の		
照射後3ヶ月貯蔵				出現率の増加は観察されなかった。		·
小麦(70%)	サル	0.75 kGy	コバルト60	3 つのグループ試験	Vijayalaxmi	94T
照射後20日以内	4および10ヶ月		アルミニウム	1.非照射の小麦 2.照射直後の小麦 3.照射後保存した小麦	(1978)	178)
12週間貯蔵			のコンテナ	照射直後の小麦を食べたサルにおいて倍数細胞の増加が観察された。1.86%	·	l
			0.75 kGy/h	10ヶ月		-
		.,		照射後保管しておいた小麦を食べたサルでは倍数性の増加は認められなかっ		
				た。照射コムギの食餌を切り替えると倍数性細胞の頻度は7ヶ月後にはコントロー		
				ルのレベルに低下した。	:	

実験動物用飼料:	チャイニース、ハムスター	45kGy	10 MeV 電子	3つのグループで試験 1.コントロール(非照射)m=25, 2.照射(6週間)n=26	Renner	94T
ペレット	42日間		- 線;	3.照射(1 日絶食後 1 日)n=25	(1977)	137)
			解放系アルミ	染色体異常(構造異常)の増加はみられなかったが、45kGy 照射した飼料を投与		(99-
			ニウムトレー	した時、24時間以内に倍数細胞が増加した。照射食品の投与を中止したとき、倍		417)
	*			数細胞は最大6週間以内に通常レベルに戻った。また、照射後、投与前に6週		11/)
		·		間保管したら倍数細胞は増加しなかった。		
小麦(70%)	ラット	0.75 kGy	コバルト60	骨髄における倍数細胞の発生頻度は非照射・照射小麦の違いはなく、照射後 24	George	94T
実験2はグループ	56日間		3.0 krad/min	時間以内にラットに与えた時でさえ、違いはなかった。	(1976)	062)
毎に割合を変える			6.3 krad/min			'
小麦粉(70%)	ラット	0.75 kGy	コバルト60、	食物消費量、体重変化、死亡率に対する処理食品の影響はなかった。倍数細胞	Tesh	94T
,	84日間		ガンマ線 Air	の数だけでなく、倍数細胞を示すラットの数もまた照射小麦粉の影響を受けなか	(1977)	158'
	食物摂取量、		雰囲気下	った。同様に小核細胞の発生もテストダイエットの影響を受けなかった。優性致死	(12.77)	(94T
	倍数細胞、		0.75 kGy/hr	試験も繁殖か卵子受精、受精卵の発育、生存に対して照射小麦の悪い影響を示		158
	小核細胞、			さなかった。		1980
	優性致死試験				5	1300)
小麦粉(60%)、	マウス 360日間	0.2.	コバルト60	a.コントロール普通の餌 b.照射小麦(0.2 kGy) c.照射小麦(2 kGy)	Reddi	94T
	優性致死試験、染	2 kGy	1.12-1.26	優性致死試験・特異座突然変異試験・オスの染色体再構成試験・生殖細胞生存	(1977)	136)
	色体再構成試験、		krad/min	率試験の結果は、遺伝学的・細胞遺伝学的影響を示さなかった。		
小麦 (33%)	チャイニース・ハムスター	0 ,7.5, 15,	コバルト60;	食餌が N ² か空気中で照射された後 72 時間では、チャイニーズハムスターの骨髄	田中	99-
(新鮮な状態で照	(72 時間)	30 kGy	N2, 空気中	細胞の中の倍数細胞、網状赤血球の小核形成に差はなし。	(1992)	413
射した)		(1478-)	•	0.75kGy で照射した小麦粉を 6 週間と 12 週間与えたラットの末梢血での小核の	,	
	ラット(12 週間)	0.75kGy		分析。		
		(ラット)				
小麦 (70%)	マウス	0.25、	コバルト 60;	骨髄細胞および肝臓細胞の倍数性およびフローサイトメトリーによる細胞周期の	Maier	FI073
	90日間	0.75、		分析の結果、骨髄細胞における0.6%までのG2/M-期の増加、および肝臓細胞の	(1993)	8
		2.25 kGy		1.1%までの 8C 核の減少が認められた。この研究で観察された変化では、90 日間		
		0.97-1.0		の摂食中に倍数性細胞の蓄積は認められなかった。観察された細胞周期と倍数		
		1kGy/h		性に対する小さな影響は、食事制限の影響として解釈することができる。照射小		
				麦の消費が人間に健康の危険をもたらさないことが結論される。	* *	

照射バレイショのアルコール抽出物の変異原性に関する研究

ソ連のKopylovらは、バレイショのアルコール抽出物がマウスの生殖細胞に対して変異原性を示すとの論文を公表した。このとき照射バレイショ中に生成する物質をラジオトキシンと命名し、その存在が植物性の照射食品の実用性を損ねると指摘した(Kopylov 1972)。

この問題は論議を呼び、いくつかの追試がなされた。IFIPプロジェクトの中で、カナダのBio Research LaboratoryのLevinskyらが、ソ連の研究者の抽出法を再現して実施した優性致死試験では、異常は認められなかった(Levinsky 1973, 1975). またバレイショ(加熱)およびバレイショ抽出物を用いた優性致死試験では、照射による異常は認めらず、さらに、5世代のわたる慢性毒性および繁殖試験を実施しても異常は認められなかった。(Zajcev 1975)。これ以外の研究グループが実施した優性致死試験以外の染色体異常試験や小核試験の結果においても、照射による影響は認められなかったとしている(Hossain 1976, Zaitsev 1978)。

日本においても、原子力特定総合研究において、照射バレイショのアルコール抽出物を用いた変異原性試験が実施されている。これらの試験では、抽出物の精製法をソ連の研究者の方法に習って実施し、その分析を実施したほか、優性致死試験、復帰突然変異、プロファージ誘導試験、染色体異常試験、小核試験など様々な変異原性試験を実施し、いずれの結果においても照射による悪影響は認められなかったとしている(Shinozaki 1981, Shibuya 1982, Ishidate 1981)。

バレイショ(抽出物)の変異原性に関する研究文献を表2-5-9にまとめた。

<参考文献>解説等

1) 戸部満寿夫 他 (1991) 照射馬鈴薯の安全性「食品照射の効果と安全性」、監修: 藤巻正生、(財) 日本原子力文化振興財団、p68-70.

-118-

表2-5-9 照射バレイショ抽出物の変異原性に関する論文

食品の種類	研究の種類/期間	線量	処理条件		著者/参月	飛文献
バレイショ(アルコ	マウス	0.1kGy	セシウム 137(549	照射24時間後、0-4℃で2時間冷却し、-5℃で95%エタノール中でpH=2.0の	Kopylo	R-1
ール抽出物)	優性致死試験		R/min) 照射 24 時	条件で120分ホモジナイズし、攪拌抽出した。これをろ過後、アルコールがなくな	v 1972	
品種(Lorkv 種).			間0~4℃保存2時	るまでアルゴン気流下で濃縮し、フラスコ中に密封した。(この抽出物をラジオト	(露語)	1
			間、95%エタノー	キシンとした)この濃縮試料をもちいて優性致死試験を実施したとこ経口投与	. 7	
			ル(pH2.0)抽出、濃	後、1,3,5、週後の着床後の死亡胚の出現率が、21.5、22.2、21.1%に増加した。		
	, ,		縮物=ラジオトキシ	一方対照のそれは、1.7、1.7、2.1%であった。以上から、照射バレイショのアルコ		
			ン	ール抽出物がマウス生殖細胞に優性致死突然変異を誘発すると結論した。		
同上	上記ラジオトキシン	同上	同上	ラジオトキシン(濃縮物)の分析(ペーパークロマトグラフィー、およびカラムグラフ	Kuzin	R-2
	の化学分析			ィーラジオトキシンをオルトキノン類と報告。	1974	
					(露語)	
バレイショ(アルコ	マウス(生殖細胞)	0.1kGy	セシウム 137	照射後保存(40 日、90 日)または調理(加熱)により雄マウスの生殖細胞への変	Osipova	94T 114)
ール抽出物)			(540R/min)	異原性は消失する。	1974	·
品種(Lorkv 種)			照射 24 時間、40		(露語)	
			日、90日後に抽出			
バレイショ(アルコ	ラット骨髄細胞	0.1kGy	セシウム 137	生のバレイショ抽出物による変異原性(染色体異常)は、バレイショの貯蔵および	Osipova	94T 115)
ール抽出物)	染色体異常試験		(540R/min)	加熱により減少。	1975	ĺ
品種(Lorkv 種)			照射 24 時間、1、4		(原文	
			ヶ月後に抽出		露語)	1
バレイショ(アルコ	マウス 7日間	0.123kGy	コバルト60(55rada	皮付きバレイショを95%エタノール(pH2. 0)中でホモジナイズを行ない、−5℃	Levinsky	94T 090)
ール抽出物) 品種	優性致死試験		/min) 照射後	にて120分間攪拌した。その後アルコール分画を取り出し、アルコールが完全に	1973	
(Katahdin)			0-4℃で1夜貯蔵、	除去されるまで20℃でロータリーエバポレーターで濃縮、アルゴンガス置換によ	IFIP レポ	
			24時間以内に抽出	り酸素を除去。この濃縮液をマウスに投与し、優性致死試験を実施。妊娠率、着	ート)	
						94T 089)
				られなかった。	1975	
					IFIP 内容	
					の論文化	,
	バレイショ(アルコール抽出物) 品種(Lorkv種)。 同上 バレイショ(アルコール抽出物) 品種(Lorkv種) バレイショ(アルコール抽出物) 品種(Lorkv種) バレイショ(アルコール抽出物) 品種(Lorkv種)	バレイショ(アルコール抽出物) 品種(Lorkv 種)マウス 優性致死試験同上上記ラジオトキシンの化学分析バレイショ(アルコール抽出物) 品種(Lorkv 種)マウス(生殖細胞)バレイショ(アルコール抽出物) 品種(Lorkv 種)ラット骨髄細胞 染色体異常試験バレイショ(アルコール抽出物) 品種(Lorkv 種)マウス 7 日間 優性致死試験	バレイショ(アルコール抽出物) 品種(Lorkv 種)マウス 優性致死試験0.1kGy同上上記ラジオトキシンの化学分析同上バレイショ(アルコール抽出物) 品種(Lorkv 種)マウス(生殖細胞)0.1kGyバレイショ(アルコール抽出物) 品種(Lorkv 種)ラット骨髄細胞 	バレイショ(アルコール抽出物) 優性致死試験	パレイショ(アルコール抽出物) マウス 優性致死試験 優性致死試験 品種(Lorkv 種) 0.1kGy 優性致死試験 器様(Lorkv 種) セシウム 137 (549 R/min) 照射 24 時間の~4℃保存2時間冷却し、5℃で95%エタノールがなくなるまでアルコン気流下で議能し、プラスコ中に密封した。(この抽出物をラジオトキンとした)この濃縮試料をもちいて優性致死試験を実施したとこ経日投身権物 ラジオトキンとの化学分析 会はでアルコン気流下で議能し、プラスコ中に密封した。(この抽出物をラジオトキンとした)この濃縮試料をもちいて優性致死試験を実施したとこ経日投身を指数の矛柱がのの子に胚の出現率が、21.5、22.2、21.1%に増加した。一方対照のそれは、1.7、1.7、2.1%であった。以上から、照射パレイショのアルコール抽出物がマウス生殖細胞に優性致死突然変異を誘発すると結論した。ラジオトキン(濃縮物)の分析(ベーパークロマトグラフィー、およびカラムグラフィーラジオトキン)をオルトキン(製作物)の分析(ベーパークロマトグラフィーラジオトキン)を対しまり、原料・ビークロマトグラフィーラジオトキンの食物の分析(ベーパークロマトグラフィー、およびカラムグラフィーラジオトキンとをオルトキンの機を構造し、アシースの生殖細胞への変異原性は消失する。 無対後保存(40 日、90 日)または調理(加熱)により誰マウスの生殖細胞への変異原性は消失する。 パレイショ(アルコール抽出物) 品種(Lorkv 種) フット骨髄細胞 染色体異常試験 染色体異常試験 24 時間、1、4 ケ月後に抽出 センウム 137 (540R/min) 照射 24 時間、1、4 ケ月後に抽出 アンレムの情報を抽出 エバレイショを95%エタノール(pH2.0)中でホモジナイズを行ない、一5℃に120分間機件した。その後アルコール分画を取り出し、アルコールが完全に除去されるまで20℃でロータリーエバボレーターで濃縮、アルコンガス置換により酸素を除去。この濃縮液をマウスに投与し、優性致死試験を実施、妊娠率、着床数、初期および晩期の致死数に有意な差はなく、照射による変異原性は認められなかった。	ボレイショ(アルコ

-	バレイショ	ラット	0.2kGy	コバルト60	照射、貯蔵後のバレイショを加熱して 10g/dayで投与。ガンマ線照射、電子線	Zajcev	94T 189)
	(蒸煮)	優性致死試験	(ガンマ)	7.4rad/s)	照射試料いずれも優性致死率の有意な増加は認められず。	1975	
			0.3kGy	電子線(500rad/s)			
			(電子)	照射後3ヶ月貯蔵、			
	(アルコール抽出	マウス 7日	0.1kGy	コバルト60	優性致死試験の結果、照射40日後、90日後のバレイショからの抽出物ともコント		-
	物)	優性致死試験		(11.7rad/sec) 40	ロールとの間に死亡着床数に有意差なし。		
				および 90 日貯蔵、			·
				加熱後抽出			
	(蒸煮)	ラット 慢性毒性	0.3kGy	電子線	生存率、血液タンパクレベル、酵素活性、臓器重量、発ガン性、繁殖製について		
		世代試験(5世代)			照射による毒性効果を認められず。		
	バレイショ(生)	マウス 5日間	0.1kGy	コバルト60	非照射のバレイショを投与した場合と比較して、染色体異常(架橋、切断)の頻	Zaitsev	FI0745
		(骨髄細胞)		0.1kGy 照射 24 時間	度に有意な増加は認められず。	1978	-
		染色体異常試験		後、生および調理			•
. [バレイショ(アルコ	ラット 骨髄細胞	0.1kGy	電子線(10MeV)	照射直後および24時間後のバレイショ抽出物、および照射クロロゲン酸を用い	Hossain	FI0491
· ⊢	ール抽出物)、	(小核試験)			た小核試験の結果はいずれも陰性。	1976	
119-	クロロゲン酸、						
	バレイショ(アルコ	照射バレイショ抽出	0.15kGy	コバルト60		Shinozak	FI0489
	ール抽出物)	物の遺伝毒性試験		(H); 450Gy/h,	バレイショから得らた最終濃縮液は pH=3~4で、Kuzin によって報告された、"ラ	i 1981	
	品種:ダンシク	(日本)の試料の調		(L);57Gy/h	ジオトキシン"に相当する o-キノン類は、HPLC およびペーパークロマトグラフの		
		製と分析		照射後 24h4、24℃	いずれによっても検出されなかった。		
	バレイショ(アルコ	優性致死試験マウ	0.15kGy	高線量率(H);	優性致死試験の結果:陰性、陰性対象(蒸留水)、陽性対照(ジメチルベンゾア	Ishidate	FI0245
	ール抽出物)	ス(BDF1) 7日(1		450Gy/h,	ントラセン)、非照射および照射バレイショ抽出物を9週齢の雄マウスに投与し、4	1981	
	品種:ダンシャク	日2回経口投与)			日間隔で56日間交配した。交配期間の全てにおいて、非照射群および照射群		
					とも対照と比較して有意な生存着床数の減少は認められなかった。		
	バレイショ(アルコ	サルモネラ菌	0.15kGy	高線量率(H);	サルモネラ菌を用いた、ヒスチジン要求性並びにストレプトマイシン依存性に関	Shibuya	FI0485
	ール抽出物)	(復帰突然変異)		450Gy/h,	する復帰突然変異の結果は陰性。プロファージ誘導試験の結果は陰性。ほ乳類	1982	
		E. coli (プロファー		低線量率(L);	培養細胞を使った染色体異常試験の結果およびマウスを用いた in vivo 小核試		
		ジ誘導試験)		57Gy/h	験の結果も全て陰性。アルコール抽出物による変異原性は認めらなかった。	*. *	
		CHL 細胞 (染色体					:
		異常試験)					
		マウス(小核試験)		<u> </u>		<u> </u>	

照射香辛料に関する毒性学的研究

香辛料類の放射線照射は、実用化が最も進んでいる。香辛料類に関しては、香辛料に元 来存在する成分の影響も考慮に入れないと毒性試験の解釈が難しくなる。IFIPにおい てはハンガリーを中心に研究が進められた。この概要と経過は、Food Irradiation Information (Barna 1975, Farkas 1975, FAO/IAEA 1977)にまとめられている。このプロジェクトで扱っ た香辛料はスパイスミックス(パプリカ55% 黒コショウ14%、オールスパイス9% コリアンダー9%、マジョラム7%、クミン4%、ナツメッグ2%の割合で混合したもの)、 黒コショウおよびパプリカの3つに大別される。予備試験として非照射のスパイスミック スを2~25%の割合で混合した食餌をラットに食べさせ実験が可能な混合比を検討した ところ、摂食量の低下と生育速度の低下が認められ、特に高含量のスパイスミックスを与 えたラットの体重減少が起こった。そこで、当初の長期投与試験の計画が見直され、短期 間の遺伝毒性(変異原性試験)と化学分析による成分変化を中心に研究がまとめられた。 その他の研究グループの実験として、オニオンパウダーやパプリカの変異原性試験が実施 されている。また、最近では、韓国で香辛料、生薬類を使った遺伝毒性試験が実施されて いる。日本においても日本ラジオアイソトープ協会の実施した照射食品の健全性試験プロ ジェクトの中で、コショウ、赤トウガラシ、パプリカ、ナツメグの変異原性試験(エーム ス試験)が実施されている。

香辛料類の毒性学的および成分変化に関する文献については、いくつかの総説 (ICGFI 1992, Schuettler 1984, 1992) にも解説されている。

香辛料の毒性研究に関して収集できたオリジナル論文の内容をまとめた(表2-5-10)。

<参考文献> 総説等

- 1) Barna J. (1975) To Study the wholesomeness of irradiated spice, Food Irradiation Information, 4, 48.
- 2) Anon (1977) Spices-a new approach, Food Irradiation Information, 7, 67-68.
- 3) Farkas J. (1975) Progress in Food Irradiation, Food Irradiation Information, 4, 11.
- 4) Schuettler C. et al. (1990) (Chemical, sensory and toxicological studies on irradiated spices. I. Review.) Fleischwirtschaft, **70** (4), 431-436, 439-440.
- Schuettler C. et al. (1984) Irradiation of spices-chemical, sensory, microbiological and toxicological (Bundesgesundheitsamt, Berlin. Inst. fuer Strahlenhygiene.)
- 6) IAEA (1992) Irradiation of spices, herbs and other vegetable seasonings A compilation of technical data for its authorization and control (IAEA Tec DOC 639). International Consultative Group on Food Irradiation Viena IAEA Tec DOC 639.

表2-5-10 照射香辛料、ハーブ、生薬類の毒性に関する研究論文

食品の種類 (飼料中の%)	研究の種類 /期間	線量	処理条件	・コメント サンディー アー・アー・アー・アー・アー・アー・アー・アー・アー・アー・アー・アー・アー・ア	著者/参照文	献
スパイスミックス * 2~25%	ラット 18ヶ月	照射なし	George Control of Cont	動物投与試験の予備試験として、香辛料ミックスを割合を変えて飼料に配合してラットに投与し、動物実験が実施できる香辛料の量を求めた。摂餌量、摂水量、体重、死亡率を計測するとともに組織病理学的な観察を行った。その結果、香辛料ミックスを2%あるいは5%添加した飼料では香辛料添加の影響は認められなかったが、15%あるいは25%添加した飼料では香辛料の影響が観察され、特に飼育初期における体重の増加が少なかった。香辛料ミックスを飼料に25%添加しても、死亡率への影響は観察されなかった。	Barna 1974 (IFIPR19)	S-05
パプリカ	マウスサルモネラ菌	50kGy	コバルト60;好 気性、 常温下	宿主経由試験では、復帰突然変異体の増加なし 変異原性誘発作用なし	Central Food Research Institute 1977	99-388 IFIP R44
スパイスミックス* (25%): 胡椒 (pep)(3.5%), マイルドなパプリ カ (pap)(25%);	ラット 15日間 催奇形性 繁殖試験	15kGy	コバルト60 照射週間以内 照射後90日保 存の2種類の 実験	CFY アルビノ雌ラット。処理したグループの子孫に催奇形学的異常なし。 照射したブラックペッパーとパプリカを与えられたグループの水腎症の発生のわずかな増加は食餌に関連していないと考えられた。	Eotvos (IFIPR52)	94T 093 (99-337)
スパイスミックス* (25%) 黒コショウ(3.5%)	ラット CFY 6日間	0, 5, 15kGy	コバルト60;好 気性、常温下	NHDIR. ラットの血液による大腸菌プロファージ誘導試験では陰性。 ・	Farkas 1981b	99-411
スパイスミックス* (25%)	サルモネラ菌 ラット CFY 6日	15, 45kGy 5kGy 15kGy	コバルト 60、 好気性、常温 コバルト60;好 気性、常温	変異原性誘発作用なし 照射されたスパイス抽出物と照射されたスパイスが与えられたラットの尿のエームス試験陰性	Farkas 1981a	94T 052 (99-389)

スパイスミックス*	ラット	15kGy	コバルト60	NHDIR.	Barna	99-41
(25%)	SD 系 優性致死試験		0.5 kGy/h NS; 照射 5-9 日後の試 料	優性致死試験では、照射されたスパイスグループとコントロールで差はなし	1986	
パプリカ(20%)	マウス スイス系 小核試 験 12日	30kGy	コバルト 60 3.1 kGy/h 照射 8-18 日 後に使用	NHDIR. 小核試験では、小核を有する赤血球の値や、骨髄抑制の指標となる多染性赤血球の比は、全てのグループ間で差はない。	Chaubey 1979	99-41
オニオンパウダー	プロファージ誘導試験 E.Coli K12 GY 5027 envAuvrB (λ) , E.Coli K12 GY 5022 envAuvr $^{+}(\lambda)$	5,10kGy Air	コバルト 60 7kGy/h 照射後4℃貯 蔵3ヶ月	IFIP の香辛料の健全性試験の一環。オニオンパウダーとして 55mg および 22mg に各々相当する抽出物および酵素消化物を用いてプロファージ誘導試験を実施。陽性コントロールとして用いた aflatoxinB1 $(1 \mu g)$ streptozotocin $(1 \mu g)$ の両方は、プロファージ誘発をしたが、非照射および照射オニオンパウダーにおけるプロファージの誘導頻度には統計的な有意差はなかった。	Farkas (1982)	FI028
オニオンパウダー	エームス試験 サ ルモネラ TA 98 お よび TA 100 TA1535 TA1537 TA1538	5,10kGy Air	コバルト 60 7kGy/h 照射後 2-4 週 間4℃貯蔵	オニオンパウダー 水抽出物および酵素消化物によるエームス試験(代謝活性化法)の結果、照射による変異原性物質の誘導は認められなかった。	Farkas 1981C	S-10
オニオンパウダー (10%)	サルモネラ菌 チャイニース・ハムスター マウス	13.6kGy	コバルト 60 常温 金属缶の中に 開封プラステ ックバック	変異原性誘発作用なし 姉妹染色分体交換試験では、ハムスターと3品種のラットで陰性	Münzer 1981	94T 110 (99-387)
オニオンパウダー (24.5%)	ショウジョウバエ 2 日 伴性劣性致 死	1.5, 9.5, 15kGy	コバルト 60 NS	伴性劣性致死試験で、照射による有意な変化は認められなかった。	Mittler 1982	94T 105)

the state of the s						
生薬(ジンセン)	エームス試験サル	5,10kGy	コバルト60	サルモネラTA 98、TA 100 および TA 102 の中の復帰突然変異(代謝活性法によ	Jo 1997	FI0606
(Korean RedG	モネラ菌 TA 98 お			るエームス試験)およびチャイニーズハムスターの卵巣細胞の小核テスト。突然変	(韓国語)	
ingseng) エタノ	よび TA 100			異誘発性は、検知されなかった。Invitro 系での遺伝毒性は示されなかった。		
ール抽出物	TA102 小核試験	4	**			
	(CHO)					
黒コショウ	エームス試験サル	1,	コバルト60	4種のスパイスについて超臨界流体抽出物、さらに黒コショウについては、50%エ	坂本 1992	S-13
ナツメグ	モネラ菌 TA 98 お	10kGy		タノール抽出物を調製しエームス試験を実施した。黒コショウのエタノール抽出物		
パプリカ	よび TA 100			および超臨界抽出物のどちらも TA98 に対して代謝活性化法で弱い変異原性を		
赤トウガラシ	TA102			示した。これは、コントロールも含めた全ての試料に見られ、変異原性の強さに対		
				する線量依存性はなかった。赤トウガラシでは非照射の試料で TA98 に対して代		
				謝活性化法で弱い変異原性を示したが、照射試料では見られなかった。		
カンゾウ	エームス試験サル	10kGy	コバルト60	サルモネラTA 98、TA 100を用いた復帰突然変異(代謝活性法によるエームス試	Jo	FI051
(Glycyrrhizae	モネラ菌 TA 98 お			験)およびチャイニーズハムスターの卵巣細胞の小核テスト。突然変異誘発性は、	2001	0
Radix)	よび TA 100			検知されなかった。	(韓国語)	
チンピ (Aurantii	TA102 小核試験	٠	*			
Nobilis	(CHO)					
Pericarpium)						
サイコ						ŀ
(Bupleuri Radix)						
黒コショウ(サフ	サルモネラ菌 TA	10,20,30	コバルト 60	スターアニス、クミン、黒コショウおよびショウガ中のサフロールの定量。サルモネラ	Farag	FI0509
ロール)	98 および TA 100	kGy	0.8Gy/s	菌 TA 98 および TA 100 によるエームス試験により純粋なサフロールおよび黒コシ	(1997)	
				ョウの精油成分に細胞傷害性があることが証明された。黒コショウを洗浄後 70℃		
			·	30min で乾燥するか高線量(20 および 30 kGy)の照射は、黒コショウの中のサフロ		
			1. 1	ール含量を 90%以上の低下させた。(照射コショウを用いたエームス試験は実施		
				していない)		

^{*}スパイスミックス:パプリカ55% 黒コショウ14%、オールスパイス9% コリアンダー9%、マジョラム7%、クミン4%、ナツメッグ2%

<収集文献一覧> 本調査を通じて収集した毒性試験関連文献の一覧を掲載した。

A. 総説、単行本等

著者	掲載年	表題	雑誌名	巻(另)	頁	文献 ID
Diehl J. F.	1995	Safety of irradiated food. 2nd ed(照射食品の安全性)	(New York,Marcel Dekker.)		20000000000000000000000000000000000000	
Diehl J. F.	1990	Safety of irradiated food. (照射食品の安全性)	(New York,Marcel Dekker.)			94C 012)
Döllstädt R. et al.	1991	Gesundheitliche Verträglichkeit mit sehr hohen Dosen bestrahlten Tierfutters (独語)	In: Lebensmittelbestrahlung-1, Gesamtdeutsche Tagung. Institut fur Sozialmedizin und Epidemiologie des Bundesgesundheitsamtes	1	168-177	99-378
Moutschen J.	1973	La cyto-toxicité et la mutagénicité des aliments irradiés	Food Irradiation Information	2	51-64	FI0503
Brodsky W. Y. et al.	1977	Cell polyploidy: its relation to tissue growth and function	International review of cytology	50	275-332	94T 022)
Luckey T. D. et al.	1973	Apollo diet evaluation: a comparison of biological and analytical methods including bioisolation of mice and gamma irradiation of diet	Aerospace medicine	44	888-901	94T 094)
Fernandez M. et al.	1984	Genetic risk of irradiated food consumption evaluated theoretically and experimentally	Environmental and Experimental Botany	24 (4)	311-319	FI0592
Chanhan P.	1974	Assessment of irradiated foods for toxicological safety - Newer methods -	Food Irradiation Information	3	20-38	FI0513

B. 研究文献(日本で実施した原子力特定総合研究報告書は除く)

著者	掲載年	表題	雑誌名	巻(号)	頁	文献ID	食品
Blood F.	1966a	Feeding of irradiated beef to rats	Toxicology and applied	8	235-240	99-318	" 构
R. et al.			pharmacology				
Blood F.	1966ь	Feeding of irradiated chicken, beef, and	Toxicology and Applied	8	241-246	94T 019)	牛肉 鶏肉
R. et al.	4	pineapple jam to dogs	Pharmacology		-	(99-367)	パイナップ
<u> </u>							ルジャム)
Calandra	1961	The carcinogenic properties of irradiated	Chicago,IL, Industrial			99-350	ビーブシチ
J. C. et al.		foods	Bio-Test Laboratories				<u> </u>
			(USArmy Contract No.				
			DA-49-007-MD-895).				
Clarkson	1964	The effect of control-ground beef and	US Army,unpublished		Cl1-Cl10	94T 038)	4肉
T. B. et		irradiated 5.58 Megarad-ground beef	contract report			(99-365)	
al.		consumption on reproductive performance	DA-49-193-MD-2098				
		in the beagie					
Deichman	1961	Long-term dog and rat feeding experiment	Final Report.			99-366	ビーフシチ
n W. B.		employing irradiated milk and beef	(unpublished document;				ユ ─)
		stew(c-ration)	US Army Contract No. DA		·		
	Ll		49-007-MD-785).				

Deichman	1963	Mouse carcinogenicity study	(unpublished document;			99-348	混合物
n W. B.			US Army Contract				(牛肉な
			No.DA-49-007-MD:781)				ど)
			.(DA-49-007-MD-789)				•
Kang I. J.	1998	Genotoxicological and acute toxicological	J. Korean Soc. Food Sci.	30 (4)	775-780	FI0469	牛肉
et al.		safeties of gamma irradiated beef	Nutr.				
Kim J. H.	1999a	Effects of gamma-irradiated beef feeding	J. Korean Soc. Food Sci.	28 (3)	646-653	FI0662	牛肉
et al.	1	on antioxidative defense systems in	Nutr.				
		experimental hepatocarcinogenesis					
Kim J. H.	1999b	Effects of gamma-irradiated beef feeding	J. Korean Soc. Food Sci.	28 (3)	638-645	FI0663	牛肉
et al.		on preneoplastic hepatic lesion,	Nutr.				
		cytochrome P450 system and microsome	·				
		glucose 6-phosphatase activity in rat					
		hepatocarcinogenesis	2				
Kline B.	1959	The possible carcinogenicity of irradiated	US Army,unpublished		K11-K122	94T 156)	牛肉混合
E. et al.		foods	contract report				物
			No.DA-49-007-MD-583				
Loosli J.	1964	Components of ionized irradiated meats	US Army contract	<u> </u>	L1-L13	94T 092)	牛肉
K. et al.	1704	injurious to reproduction	No.DA49-193-MD-2097		LI-LI3	(99-375)	11/4
	1062-	Effect of methionine and age of rats on the		90	95.00	94T 096)	牛肉
Malhotra O. P. et	1963a	occurrence of hemorrhagic diathesis in rats	Journal of Nutrition	80	85-90	1 ′	デンプン
						(99-316)	7777
al.	1963b	fed a ration containing irradiated beef Methionine and testosterone effect on	Amorioon ilumol of	205	1000 1003	047 007)	上 牛肉
Malhotra	19030		American jJurnal of	203	1089-1092		十四
O. P. et		occurrence of hemorrhagic diathesis in rats	Physiology			(99-315)	
al. Malhotra	1965	Effect of methionine and vitamin K3 on	Towisology and applied	 	402-408	94T 098)	牛肉
O. P. et	1903		Toxicology and applied	7	402-406	(99-317)	十四
al.		hemorrhages induced by feeding a ration containing irradiated beef	pharmacology			(99-317)	
Mittler S.	1979	Failure of irradiated beef and ham to	International journal of	35(6)	583-588	94T 103)	牛肉
Wittier 5.	1979	induce genetic aberrations in Drosophila	radiation biology	33(0)	363-366	(99-395)	ハム
Monsen	1963	Heart lesions in mice		 	<u> </u>		牛肉 エ
	1903	Heart lesions in fince	(unpublished document; U S Army Contract			99-352	バミルク
Н.			1 -				ハミルク
Münzner	1983	T	No. DA-49-007-MD-794). Fleischwirtschaft	63(4)	611-613	99-394	生物 豚肉
R.	1963	Investigations on the mutagenic potential of fried meat (独語)	Fielschwirtschaft	03(4)	011-013	99-394	對例
*	1000			<u> </u>			
Radomski	1965	Chronic toxicity studies on irradiated beef	Toxicology and applied	7	113-121	l	
J. L. et al.		stew and evaporated milk	pharmacology			(99-326)	チュー無
							糖練乳
Reber E.	1960	The effects of feeding irradiated beef to	American journal of	21	367-370	94T 132)	牛肉
F. et al.		dogs I .Growth	veterinary research			(99-363)	
Reber E.	1962	The effects of feeding irradiated beef to	American journal of	23	74-76	94T 134)	牛肉
F. et al.		dogs II Reproduction and pathology	veterinary research			(99-364)	
Wasserma	1955	Effect of feeding dogs the flesh of lethally	Science	121	894-896	94T 183)	牛肉
n R. H. et		irradiated cows and sheep			07.070	- /1 100,	羊肉
al.							
			<u> </u>			l	
Dahlgren	1978	Hamster teratology study	US Army,unpublished		1-40	94T 040)	鶏肉
R. R. et al.	***		contract report		1 40	(99-379)) I BIN
-1. II. Ol ul.			DAMD-17-76-C-6047			(22 312)	
	-		<u> </u>	<u> </u>			
Kang I. J.	2001	Four-week oral toxicity study of gamma	J. Korean Soc. Food Sci.	30 (2)	234-238	F10467	鶏肉
et al.		irradiated chickens in mice	Nutr.				

Phillips A. W. et al.	1961	Long-term feeding studies: irradiated chicken stew (cs) and cabbage (c)	US Army unpublished contract report No.DA-49-007-MD-783		РН1-РН64	94T 118)	鶏肉
Phillips A. W. et al.	1961	Long-term rat feeding studies: irradiated chicken stew and cabbage	US Army Contract No. DA-49-007-MD-783			99-325	鶏肉 キャベツ
Proctor B. G.	1974	To determine the presence of carcinogenic substances in irradiated chicken by oral administration of the test food to mice throughout their entire life span	Food irradiation information	3 (Suppl.)	18	94T 122)	鶏肉
Renner H. W. et al.	1982	An investigation of the genetic toxicology of irradiated foodstuffs using short-term test systems. III- In vivo tests in small rodents and in Drosophila melanogaster	Food and chemical toxicology	20	867-878	94T 140)	鶏肉 魚肉, 乾 燥ナツメ ヤシ
Thayer DW et al.	1987	Toxicology studies of irradiated-sterilized chicken	Journal of food protection	50(4)	278-288	94T 159)	鶏肉
Thomson G. M. et al.	1977	Mouse teratology study	US Army unpublished contract report No.DAMD-17-76-C-6047			94T 161) (99-356)	鶏肉

		T					
Brin M. et al.	1961a	Effects of feeding X-irradiated pork to rats on their pyridoxine nutrition as reflected in the activity of plasma transaminase	Journal of Nutrition	75	35-38	94T 023)(99- 100)	豚肉
Brin M. et al.	1961Ь	The effects of feeding irradiated pork, bread, green beans, and shrimp to rats on growth and on five enzymes in blood	Toxicology and Applied Pharmacology	3	606-617	94T 025) (99-330)	豚肉 エビ グリーンピ ース
Brin M. et al.	1961c	Effects of feeding X-irradiated pork to rats, on their thiamine nutrition as reflected in the activity of erythrocyte transketolase	Journal of Nutrition	75	29-34	94T 024)	豚肉
Bubl E. C. et al.	1960	The growth, breeding and longevity of rats fed irradiated or non-irradiated pork	Journal of nutrition	70(2)	211-218	99-328	豚肉
Cheng K. W. et al.	1983	Investigation of the wholesomeness of gamma irradiated fresh pork - long-term animal feeding studies (Abstract)	Radiation physics and chemistry	22(3-5)	792	99-373	豚肉
Kang I. J. et al.	1999	Hygienic quality and genotoxicological safety of gamma irradiated pork	J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.	28 (5)	1092-1098	FI0468	豚肉
Monsen H.	1960	Heart lesions in mice induced by feeding irradiated foods	Federation proceedings	19	1031-1034	94T 106)(99- 351)	豚 鶏肉 シレクバレイショ他
Hickman J. R.	1975	To obtain data in support of the use of radiation for the elimination of salmonellae from frozen horse meat	Food Irradiation Information	5 (Suppl.)	91-92	94T 066)	肉類(馬 肉)
Kamal'din ova Z. M. et al.	1977	A study of possible mutagenic activity of raw and fried bfff irradiated with gamma-rays and its influence on yhe reproductive function of white rats(露語)	Voprosy Pitaniya	2	53-59	FI0007	肉類
McCay C. M. et al.	1960	Effect of irradiated meat upon growth and reproduction of dogs	Federation proceedings DA-49-007 MD-600	19	1027-1030	99-371	肉類

Dixon M.	1961	Influence of irradiated bacon lipids on	Journal of food science	26	611-617	94T 048)	ベーコン
S. et al.		body growth, incidence of cancer, and other pathologic changes in mice				(99-347)	
Hale M.	1960	Growth, reproduction, mortality, and	US Army,unpublished final	<u> </u>	1-36	94T 063)	ベーコン
W. et al.		pathologic changes in dogs fed	contract report			(99-362)	キャベツ
		gamma-irradiated bacon for two years	No.DA-49-007-MD-780.				
Mead J.	1959	Effect of ionizing radiation on the	unpublished document U.S.			99-312	ベーコン
F. et al.		nutritive and safety characteristics of foods	Army Contract No.				フルーツコ
			DA-49-007-MD-579				ンポート
Γ	1	F	<u> </u>	1	1	T	Γ
Anukaran	1981a	Wholesomeness study of irradiated salted	IAEA Technical Document		7-42	94T 007)	魚(サバ)
hanonta T. et al.		and dried mackerel in rats	No.256				
· · ·	10011						
Anukaran	1981b	Wholesomeness study of irradiated salted	IAEA (Summarized		7-42	94T 006)	魚(サバ)
hanonta T. et al.		and dried mackerel in rats	Technical Report,IAEA contract 1609/RB and				
1.00 al.			1609/R1/RB).				·
Aravinda	1978	Studies on the safety evaluation of	IAEA-SM-221/27	П	53-61	94T 008)	魚(サバ)
kshan M.		radurized indian mackerel					,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,
et al.							·.
Benakis	1977	Effect of feeding irradiated fish on the	Toxicology and Applied	42	553-560	FI0480	魚
A. et al.		drug-metabolizing liver enzymes in rats	Pharmacology				
Benson	1980	Long-term feeding studies in mice fed a	Toxicology letters	7	103-105	FI0010	魚 (タラ)
H. G. et		diet containing irradiated fish. II. 90-Day					
al.		toxicity study.					
Chaubey R.	1978	Mutagenicity evaluation of irradiated	IAEA-SM-221/68	. 11		94T 032)	魚(サバ)
C. et al.		indian mackerel in swiss mice					
Dela Rosa	1989	The effect of gamma-radiation on smoked	Mutation Research	223	303-307	FI0205	(燻製)
A. M. et al.		fish using short-term mutagenicity assays					抽出物
Dent N. J.	1975	90-day toxicity and reproductive toxicity	IFIP Technical Report			94T 081)	魚(ヒラ
et al.		of irradiated European plaice (Pleuronectes	IFIP-R41				メ)
Dent N. J.	1977	platessa)	ICAD D 40		-		(n / h)
et al.	19//	An investigation of the elevated serum alkaline phosphatase levels in rats fed	IFIP-R42			94T 045)	魚(タラ)
Ci al.		irradiated fish diets	· '	. ~			
Fegley H.	1976	To examine the wholesomeness of	Food Irradiation	6.	111-112	94T 053)	貝
C. et al.		irradiated soft-shell clams (Mya arenaria)	Information	(Suppl.)).1 033)	
		in dogs					
Giese W.	1976	Pasteurization of fish meal by irradiation	Zbl. Vet. Med. B	23	769-778	FI0708	魚
et al.		(II) The safety of feeding fattening swine					
		with fish meal pasteurized by irradiation			-		
Hickman	1975	To establish the toxicological safety of	Food Irradiation	5	96-97	94T 065)	魚 (タラ)
J. R.		skin-on cod fillets that have been irradiated	Information	(Suppl.)			
		in order to extend the chilled $(0\sim4^{\circ}\text{C})$					
		storage life when fed to rats					·
Hossain M.	1981	Studies on wholesomeness of irradiated	IAEA Technical Document	1	43-65	94T 075)	魚介類
M. et al.	1079	shrimp and carp	No.265				A / L
Impellizz eri J. et al.	1978	Multigeneration reproduction study Mutagenicity study	IFIP Technical Report IFIP-R49	7		94T 077)	魚(タラ,
	1070						スズキ)
Impellizz	1979	Studies in mice fed a diet containing	IFIP Technical Report			94T 078)	魚(タラ,
eri J. et al.		irradiated fish Eighty-week feeding study	IFIP-R50				スズキ)

Joner P. E. et al.	1978	Mutagenicity testing of irradiated cod fillets	Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie	11(4)	224-226-	94T 085)(99- 382)	魚 (タラ)
Joner P. E. et al.	1980	Mutagenicity testing of irradiated herring fillets	Lebensmittel Wissenschaft und Technologie	13(6)	293-296	99-386	魚(ニシ ン)
Nadkarni G. B.	1980	Wholesomeness studies in rats fed irradiated Indian mackerel	IFIP Technical Report R-54		1-59	94T 111)	魚
Phillips A. W. et al.	1961	Long-term rat feeding studies: irradiated shrimp and oranges diet	Final Report. 1961 (unpublished document; U SArmy Contract No. DA-49-007-MD-791).			99-331	エビ オレンジ
Phillips B. J. et al.	1980	An investigation of the genetic toxicology of irradiated foodstuffs using short-term test systems-II. sister chromatid exchange and mutation assays in cultured chinese hamster ovary cells	Food and Cosmetics Toxicology	18	471-475	F10896	魚, 鶏肉(抽 出)
Shatrov et al.	1985	Toxicological evaluation of gamma ray-treated fresh fish in an experiment on rats (露語)	Voprosy pitaniia	4	64-66	FI0887	魚
Shillinger I,Osipova IN	1970	The effect of fresh fish, exposed to gamma radiation on the organism of albino rats (露語)	Voprosy pitanija	29 (5)	45-50	94T 152)	魚
Vakil U. K.	1975	To study the wholesomeness of feeding dehydro-irradiated shrimps to rats	Food irradiation information	4(Supp 1.)	49-51	94T 166)	エビ
van Logten M. J. et al.	1972	The wholesomeness of irradiated shrimp	Food and cosmetic toxicology	10	781-788	94T 170)	エビ
Van Petten L. E. et al.	1980	Long-term feeding studies in mice fed a diet containing irradiated fish I. Multigeneration reproduction, mutagenicity, teratology, and longevity studies	Toxicology Letters	7	97-101	F10009	魚(タラ)
Yook H. S. et al.	2004	Genotoxicological safety of gamma-irradiated salted and fermented anchovy sauce	J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.	33 (7)	1192-1200	FI0482	アンチョ ビー(乾 燥)
Yoshikaw a K. et al.	1982	Bacterial mutagenicity tests on irradiated foods (fish-meat cake, wiener and orange juice)	衛生試験所報告	100	110-119	FI0102	カマボコ, ウインナ 一他
Zaitsev A. N. et al.	1981a	Effect of being fed gamma-irradiated fish on embryogenesis and the chromosomes of white rats(露語)	Voprosy pitaniia	6	61-63	FI0893	魚
Zaitsev A. N. et al.	1981b	Mutagenic properties of irradiated fresh fish in a chronic experiment(露語)	Voprosy pitaniia	4	19511	FI0894	魚
Kim M. J. et al.	2003	Safety evaluation on mutagenicity of white layer cake containing gamma-irradiated egg white	J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.	32 (7)	1172-1175	FI0604	ùl
Monsen H.	1965	Heart lesions in mice	(unpublished document; US Army Contract No. DA-49-007-MD-794	, .		99-353	エバミルク

Renner H. W. et al.	1973	Safety of high concentrations of free radicals in irradiated foodstuffs(独語)	Zbl. Vet. Med. B	20	648-660	94T 138) (99-343)	粉ミルク
Renner H. W. et al.	1973	Mutagenicity of irradiated foodstuffs with the dominant lethal test(独語)	Humangenetik	18	155-164	94T 139) (99-421)	粉ミルク
Aravinda kshan M.	1980	Ninety-day feeding and reproduction study on irradiated onion in rats	IFIP-R59		1-18	94T 010)	タマネギ
et al.							
Bone J. F.	1963	The growth, breeding, longevity and histopathology of rats fed irradiated or control foods (histopathological studies)	US Army contract report DA-49-193-MD-2064			94T 020) (99-321)	ニンジン
Gabriel K. L. et al.	1976a	To study the effects of radurized onions when fed to beagle dogs	Food Irradiation Information	6(Supp	116-117	94T 058)	タマネギ
Gabriel K. L. et al.	1976b	To study the effects of radurized onions when fed to albino rats	Food Irradiation Information	6(Supp l.)	118-119	94T 059)	タマネギ
Goud S. N. et al.	1982	Mutagenicity testing of irradiated onions in mice	INT. J. Radiat. Biol.	41 (3)	347-349	F10027	タマネギ
Hattori Y. et al.	1979	Mutagenicity tests of irradiated onions by Escherichia coli mutants in vitro	Mutation Research	60	115-119	94T 064)	タマネギ
Hilliard W. G.	1974	To provide clinical, haematological and pathological observations during an 18-month trial of feeding onion-incorporated diets, whether irradiated or non-irradiated, to dogs for	Food Irradiation Information	3(Supp 1.)	24	94T 071)	タマネギ
Hilliard W. G. et al.	1966	determination of any imparted toxicity Long-term effects of feeding irradiated onion to dogs	Food and Cosmetic Toxicology	4	557-583	94T 072)	タマネギ
van Kooij J. G. et al.	1978	Application of the Ames mutagenicity test to food processed by physical preservation methods	IAEA-SM-221/42	Vol. II	63-71	94T 168)	ニラセロリ ネギニン ジン
van Logten M. J. et al.	1971	The wholesomeness of irradiated mushrooms	Food and cosmetic toxicology	9	379-388	94T 169)	マッシュルーム
van Petten G. R. et al.	1966	Effect of feeding irradiated onion to consecutive generations of the rat	Food and cosmetic toxicology	4	593-599	94T 173)	タマネギ
Baev II et al.	1981	Investigation of wholesomeness studies of feeding irradiated diet to mice	IAEA Technical Report No.256	·	81-101	94T 014)	トウモロコシ ナッツ プラム
Bhaskara m C. et al.	1975	Effects of feeding irradiated wheat to malnourished children	the American Journal of Clinical Nutrition	28	130-135	94T 017)	小麦
<u></u>							

_							
Bronniko va I. A. et al.	1973	Research on the mutagenic and cytotoxic properties of irradiated foodstuffs (露語)	Voprosy pitanija	32 (4)	46-50	94T 026)	小麦
Bronniko va I. A. et al.	1972	Hygienic evaluation of diets consisting largely of vegetable products subjected to gamma-irradiation(露語)	Voprosy Pitaniya	31 (4)	74-80	FI0504	穀類(小 麦,トウモ ロコシ) 豆
Bugyáki L. et al.	1968	Do irradiated foodstuffs have a radiomimetic effect? II. Trials with mice fed wheat meal irradiated at 5 Mrad (仏語)	Atompraxis	14	112-118	94T 030) (99-361)	小麦
Bugyáki L.	1973	To study the effect of feeding irradiated wheat flour to mice	Food irradiation information	2(Supp	VII-VIII	94T 029)	小麦
Chauhan P. S. et al.	1977	Evaluation of freshly irradiated wheat for dominant lethal mutations in Wistar rats	Toxicology	7	85-97	94T 035)	小麦
Delcour-F irquet M. P.	1985	The effects of irradiated wheat flour on C57CL mice (III) Effect on hepatic and pancreatic enzymes	Journal de Toxicologie Clinique et Experimentale	5 (2)	113-119	FI0739	小麦
Delcour-F irquet M. P.	1983	Effects of irradiated wheat flour in the AKR mouse (1) Effects on longevity, morbidity and pathology	Toxicological European Research	5 (1)	7-15	FI0741	小麦粉 (穀類)
Delcour-F irquet M. P.	1983	Effects of irradiated wheat flour in the AKR mouse (IV) Effects on reproduction	Toxicological European Research	5 (1)	27-30	FI0742	小麦粉(穀類)
Delcour-F irquet M. P.	1983	Effects of irradiated wheat flour in the AKR mouse (III) Effects of activity of hepatic and pancreatic enzymes	Toxicological European Research	5 (1)	23-26	FI0743	小麦粉 (穀類)
Delcour-F irquet M. P.	1986	Effects of irradiated flour on C57Bl mice (IV) Effects on reproduction	Journal de Toxicologie Clinique et Experimentale	6 (3)	157-173	FI0740	小麦粉 (穀類)
Delcour-F irquet M. P. et al.	1983	Effects of irradiated wheat flour in the AKR mouse (II) Effects on hematology and activity of a serum enzyme	Toxicological European Research	5 (1)	17-21	FI0744	小麦粉(穀類)
George K. P. et al.	1976	Frequency of polyploid cells in the bone marrow of rats fed irradiated wheat	Food and Cosmetic Toxicology	14	289-291	94T 062)	小麦
Hickman J. R. et al.	1964	Rat feeding studies on wheat treated with gamma-radiation I .Reproduction	Food and Cosmetic Toxicology	2	15-21	94T 067)	小麦
Kim S. K. et al.	1973	Studies on the wholesomeness of gamma-irradiated rice (I)On the weight gain, reproduction ratio, mortality and growth rate after weanling of mice	Korean J. Food Sci. Technol.	5 (3)	149-152	FI0500	穀類(小 麦,米)

Koch F. et	1993	Effect of feeding 10 kGy irradiated barley	In: ebensmittelbestrahlung		110-116	99-377	大麦
al.		on hematological and lipid metabolism	-2, Gesamtdeutsche				
		parameters in growing quail (独語)	Tagung. Karlsruhe,			1	
			Bundesforschungsanstalt			* -	
			für Ernährung				
Maier P.	1993	Cell-cycle and ploidy analysis in bone	Food and Chemical	31 (6)	395-405	FI0738	小麦粉
et al.		marrow and liver cells of rats after	Toxicology			·	(穀類)
		long-term consumption of irradiated wheat					
Moran E.	1968	Effect of cobalt-60 gamma-irradiation on	Cereal chemistry	45	469-479	94T 107)	小麦(ふ
T. et al.		the utilization of energy, protein, and		-	٠.	(99-82)	すま)
		phosphorus from wheat bran by the			1.0		
		chicken					
Munhy	1981	Sister-chromatid exchanges in mice given	Toxicology	20	247-249	FI0495	小麦
P. B. K.		irradiated wheat					
Paynter	1959	Long-term feeding and reproduction	US Army contract report			94T	トウモロコシ
OE T		studies on irradiated corn and tuna. (照射	No.DA-49-007-MD-788			117)(99-	
1.0		したトウモロコシとマグロの長期投与				332)	
		試験および繁殖試験)					
Reber E.	1959	The effects of feeding irradiated flour to	Toxicology	1	55-60	94T 131)	小麦
F. et al.		dogs I Growth					
Reber E.	1961	The effects of feeding irradiated flour to	Toxicology and applied	3	568-573	94T 133)	 小麦
F. et al.		dogs II Reproduction and pathology	pharmacology				
	1070			60 (10)	1542 1546	0.457.1.25	
Reddi O.	1972	Effect of irradiated wheat on germ cells in	Indian journal of medical	60 (10)	1543-1546	941 135)	小麦
S. et al.	1077	mice	research	21.60	500 601	0.477.1063	
Reddi O.	1977	Lack of genetic and cytogenetic effects in	International journal of	31 (6)	589-601	94T 136)	小麦
S. et al.	•	mice fed on irradiated wheat	radiation biology	ļ			
Reddy P.	1978	Studies on the mutagenic and cytogenetic	Journal of Nuclear	7 (3)	81-86	FI0075	小麦
P. et al.		effects of irradiated wheat in mice	Agriculture and Biology	-			
Sialy R. et	1976	Effect on the reproductive functions of	INT. J. Radiat. Biol.	29 (6)	555-564	FI0024	小麦
al.		female rhesus monkeys of feeding					バレイショ
		irradiated wheat flour and potato diet			·		
Tanaka N.	1992	Induction of polyploids in bone marrow	The Japan Isotopes		212-220	99-413	小麦
et al.		cells and micronuclei in reticulocytes in	Association				
		Chinese hamsters and rats fed with an					
		irradiated wheat flour diet			la.		
Tesh J.	1980	To investigate the effects of feeding an	Food irradiation	10(Sup	183-184	94T 158)	小麦
M. et al.		irradiated wheat flour diet on the incidence	information	pl.)			
		of polyploidy and micronucleated					
		polychromatic erythrocytes in bone	· ·				
		marrow cells of rats and to assess					
		mutagenic potential by means of the	* .				
		dominant lethal assay					
Tesh J.	1977	Studies in rats fed a diet incorporating	IFIP R45				小麦
		irradiated wheat			L		
M. et al.			European Journal of	9 (6)	347-356	FI0030	トウモロコシ
M. et al. Truhaut	1976	The toxicological evaluation of irradiated					
Truhaut	1976			. '			
Truhaut	1976	maize srarch by long-term studies in the	Toxicology				
		maize srarch by long-term studies in the ray	Toxicology		55	94T 165)	· 小麦
Truhaut R. et al.	1976 1975	maize srarch by long-term studies in the		4(Supp	55	94T 165)	小麦

Vakil U.	1975	To study the Wholesomeness of feeding	Food irradiation	4(Supp	53-54	94T 167)	小麦
K.		gamma-irradiated red winter wheat flour to rats (chronic study)	information	1.)			
Vijayalax mi	1975b	Cytogenetic studies in rats fed irradiated wheat.	International Journal of radiation biology	27	283-285	94T 176)	小麦
Vijayalax mi	1976a	Genetic effects of feeding irradiated wheat to mice	Canadian journal of genetics and cytology	18	231-238	94T 177)	小麦
Vijayalax mi	1978	Cytogenetic studies in monkeys fed irradiated wheat.	Toxicology	9	181-184	94T 178)	小麦
Vijayalax mi et al.	1975a	Chromosomal aberrations in rats fed irradiated wheat	International journal of radiation biology	27(2)	135-142	94T 180)	小麦
Vijayalax mi et al.	1976b	Dominant lethal mutations in rats fed on irradiated wheat	International journal of radiation biology	29(1)	93-98	94T 179)	小麦
	· · ·						
Brownell L. E. et al.	1959	Growth, reproduction, mortality, and pathologic changes in rats fed gamma-irradiated potatoes	US Army contract report DA-49-007-MD-581			94T 027)	バレイショ
Burns C. H. et al.	1961	Necrotizing arteritis in rats used in a toxicity study of irradiated potatoes	US Army contract report DA-49-007-MD-581		1-16	94T 031)	バレイショ
Hossain M. M. et al.	1976	Mutagenicity studies on irradiated potatoes and chlorogenic acid; micronucleus test in rats	Toxicology	6	243-251	FI0491	バレイショ
Ishidate M. et al.	1981	Mutagenicity studies on alcohol extracts from gamma-irradiated potatoes - test for biological activities in bacterial and mammalian cell systems -	Radioisotopes	30 (12)	662-668	FI0245	バレイショ
Jaarma M et al.	1966	On the wholesomeness of gamma-irradiated potatoes III. Feeding experiments with rats	Nutritito et dieta	8	296-308	94T 084)	バレイショ
Jaarma M. et al.	1964	On the wholesomeness of gamma-irradiated potatoes	Acta veterinaria scandinavica	5	238-256	94T 082)	バレイショ
Jaarma M. et al.	1966	On the wholesomeness of gamma irradiated potatoes II Feeding experiments with pigs	Nutritito et dieta	8	109-129	94T 083)	バレイショ
Kopylov, V.A, et al.	1972	On the mutagenous effect of exracts from gamma-irradiated potato tubers on sex cells of mouse males	Radiobiologia	12 (4)	524-528	R-1	バレイショ (アルコー ル抽出)
Kuzin,V. A et al.	1974	Problem on Radiation Storage Mthod for Potatoes used for Food	USSR Academy of Science Pushino-an-Oke				バレイショ (アルコー ル抽出)
Levinsky H. V. et al.	1973	A study of the mutagenic effects of an alcoholic extract of irradiated potatoes in the mouse	IFIP Technical Report IFIP-R9			94T 090)	バレイショ
Levinsky H. V. et al.	1975	Mutagenic evaluation of an alcoholic extract from gamma-irradiated potatoes	Food and cosmetic toxicology	13	243-246	94T 089)	バレイショ(抽出物)
Osipova I.N.	1974	Investigation of the possible mutagenicity of extracts from irradiated potatoes as a function of storage and cooking(露語)	Voprosy pitanija	33 (1)	78-81	94T 114)	バレイショ(抽出物)

Osipova	1975	Influence of the storage and culinary	Voprosy pitanija	34 (4)	54-57	94T 115)	バレイショ
IN et al.		treatment of irradiated potatoes on the					
		cytogenetic activity of potato extracts(露語)					
Palmer A. K. et al.	1975	Reproduction and longevity of rats fed an irradiated potato diet	IFIP Technical Report IFIP-R25		1-102	94T 076)	バレイショ
Shibuya	1982	Mutagenicity studies on alcohol extracts	Radioisotopes	31 (2)	74-77	FI0485	バレイショ
T. et al.		from gamma-irradiated potatoes - dominant lethal test in mice -					
Shillinger YI,Kamal dinova ZN	1973	The wholesomeness of potatoes irradiated with an accelerated electron beam and gamma-irradiation for the purpose of inhibiting sprouting. (露語)	Voprosy pitanija	32 (6)	50-55	94T 151)	バレイショ
Shinozaki	1981	Mutagenicity studies on alcohol extracts	Radioisotopes	30 (12)	655-661	FI0489	バレイショ
Y. et al.		from gamma-irradiated potatoes - preparation of samples and their					
		chemicalanalysisin -					
Swaminat han M. S. et al.	1962	Cytological aberrations observed in barley embryos cultured in irradiated potato mash	Radiation research	16	182-188	94T 153)	バレイショ
Wolf A.	1983	Problem of the so-called radiotoxins	Z. ges. Hyg.	29 (9)	518	FI0890	バレイショ (抽出物)
Zaitsev A. N. et al.	1978	Cytogenetic activity of freshly irradiated potato(露語)	Voprosy pitaniia	3	61-63	FI0745	バレイショ
Zajcev A.	1975	Toxicologic and hygienic investigation of	Toxicology	4	267-274	94T 189)	バレイショ
N. et al.		potatoes irradiated with a beam of fast electrons and gamma-rays to control sprouting.					
			•				
Bernardes B. et al.	1981	Short-term toxicity studies of irradiated black beans (P.Vulgaris)	IAEA Technical Document No.256		67-80	94T 016) (99-414)	黒豆(マ メ類)
Larson P. S. et al.	1957	Long-term dog feeding tests on irradiated green beans and fruit compote	US Army Contract No.DA-49-007-MD-786			99-368	豆
Loaharan	1978	Feeding studies of irradiated foods with	IAEA-SM-221/67	Vol. II	113-131	94T 091)	黒豆
u S.	٠	insects				. ^	イワシ,コ ーヒー豆
Rattray E. A. S. et al.	1974	Toxicity of kidney beans (Phaseolus vulgaris L). to conventional and gnotobiotic rats	J. Sci. Fd Agric.	25	1035-1040	FI0026	インゲン豆
Richardso n L. R. et al.	1960	A long-term feeding study of irradiated foods using rats as experimental animals	Federation Proceedings(DA-49-007-M D-582 exp05755~05760)	19(4)	1023-1027	99-323	豆(グリー ンピース)
Takyi E. E. K. et al.	1981	Short-term toxicity study of irradiated cocoa beans in rats	Journal of the science of food and agriculture	32	933-940	94T 155)	カカオ豆
Takyi E. E. K. et al.	1981	Short-term toxicity study of irradiated cocoa beans in rats	Journal of the Science of Food and Agriculture	32 (9)	933-940	FI0072	ココア
Zimmerin g S. et al.	1992	Irradiated cocoa tested in the wing spot assay in Drosophila melanogaster	Mutation Research	281	169-71	FI0516	ココア

Feeding irradiated bananas to rats Information (Suppl.)	Anon	1976	To study the toxicological effects of	Food Irradiation	6	109	94T 002)	バナナ
Anon 1976 To investigate the wholesomeness of irradiated bananas fed to dogs Blood F. 1963 Long-term monkey feeding experiment on irradiated peaches, whole oranges and peeled oranges Chopra V. 1963 Cytological effects observed in plant material grown on irradiated fruit juices Drijver L. 1986 High-performance liquid chromatographic determination of D-Arabino-hexos-2-ulose (D-glucosone) in irradiated sugar solutions: Application of the method to irradiated mango Gabriel 1977a To study the effects of radurized sweet cherries, apricots and prune-plums when fed to dogs Horton G. 1976 To study the effects of radurized sweet cherries, apricots and prune-plums when fed to dogs Horton G. 1976 The effects of low-dose gamma-irradiation on the wholesomeness of mangese (Mangifers indica) as determined by short-term feeding studies using rats. Lee H. J. 2001 In vitro genotoxicological safety of fresh equal to the properties of the properties or again to the properties or agamma-irradiation on the wholesomeness of mangese (Mangifers indica) as determined by short-term feeding studies using rats. Lee H. J. 2001 In vitro genotoxicological safety of fresh equal to the properties of the properties or agamma-irradiation on the wholesomeness of mangese (Mangifers indica) as determined by short-term feeding studies using rats. Lee H. J. 2001 In vitro genotoxicological safety of fresh equal to the properties of the properti			•		1		1 002)	
Anon 1976 To investigate the wholesomeness of irradiation 16 (Suppl.) Blood F. R. et al. 1963 Long-term monkey feeding experiment on irradiated peaches, whole oranges and poeled oranges 1963 (University School of Medicine, 1963 (USArmy Cont No. DA-49-007-MD-779 and DA-49-007-MD-799 and DA-49-007-MD-79	. *				l .]	-	
Blood F. 1963	Anon	1076	To investigate the wholesomer see of	Tradition I'm	ļ <u> </u>	107	0.477.000	
Blood F. 1963 Long-term monkey feeding experiment on irradiated peaches, whole oranges and peeled oranges Patron of Biochemistry and Pathology, Vanderbilt University School of Medicine, 1963 (USArmy Cont No. DA-49-007-MD-779 and DA-49-193-MD-22286). Patron of Biochemistry and DA-49-193-MD-22286). Patron of Medicine, 1963 (USArmy Cont No. DA-49-007-MD-779 and DA-49-193-MD-22286). Patron of Medicine, 1963 (USArmy Cont No. DA-49-007-MD-779 and DA-49-193-MD-22286). Patron of Medicine, 1963 (USArmy Cont No. DA-49-007-MD-791 and DA-49-193-MD-22286). Patron of Medicine, 1963 (USArmy Cont No. DA-49-007-MD-791 and DA-49-193-MD-22286). Patron of Medicine, 1963 (USArmy Cont No. DA-49-007-MD-791 and DA-49-193-MD-22286). Patron of Medicine, 1963 (USArmy Cont No. DA-49-007-MD-791 and DA-49-193-MD-22286). Patron of Medicine, 1963 (USArmy Cont No. DA-49-007-MD-791 and DA-49-193-MD-22286). Patron of Medicine, 1963 (USArmy Cont No. DA-49-007-MD-791 and DA-49-193-MD-22286). Patron of Medicine, 1963 (USArmy Cont No. DA-49-007-MD-791 and DA-49-193-MD-22286). Patron of Medicine, 1963 (USArmy Cont No. DA-49-007-MD-791 and DA-49-197-MD-2791 and D	Allon	1970		I to the second of the second	· .		94T 003)	バナナ
Blood F. R. et al. 1963 Long-term monkey feeding experiment on irradiated peaches, whole oranges and peeled oranges 1963 Long-term monkey feeding experiment on irradiated peaches, whole oranges and peeled oranges 1963 Long-term material prown on irradiated fruit juices 1963 Long-term material grown on irradiated fruit juices 1964 Long-term material grown on irradiated fruit juices 1976 Long-term are liquid chromatographic determination of D-Arabino-hexos-2-ulose (O-glucosone) in irradiated sugar solutions: Application of the method to irradiated mango 1977a 1978 1			irradiated bananas led to dogs	Information	l .	1		
R. et al. Irradiated peaches, whole oranges and peached oranges Irradiated peaches, whole oranges and peached oranges Irradiated peaches, whole oranges and peached oranges Irradiated peaches, whole oranges and peached oranges Irradiated peaches, whole oranges and peached oranges Irradiated peaches, whole oranges and peached pea					.)			**
Pathology, Vanderbilt University School of Medicine, 1963 (USArmy Cont No. DA-49-007-MD-779 and DA-49-007-MD-779 and DA-49-1973-MD-2286). Pathology, Vanderbilt University School of Medicine, 1963 (USArmy Cont No. DA-49-007-MD-779 and DA-49-007-MD-779 and DA-49-197-MD-2286). Pathology Advantage of the Medicine o	Blood F.	1963	1	Nashville, TN, Departments		BI1-BI72	99-376	モモ
University School of Medicine, 1963 (USArmy Cont No. DA-49-007-MD-779 and DA-49-193-MD-2286). Chopra V. Let al. Drijver L. D. et al. P860 High-performance liquid chromatographic determination of D-Arabino-hexos-2-ulose (D-glucosone) in irradiated sugar solutions: Application of the method to irradiated mango solutions: Application of the method to irradiated mango in the method to irradiated mango in the method to irradiated mango in the method to irradiated mango in the method to irradiated mango in the method to irradiated mango in the method to irradiated mango in the method to irradiated mango in the method to irradiated mango in the method to irradiated mango in the method to irradiated mango in the method to irradiated mango in the method to irradiated mango in the method to irradiated mango in the method to irradiated mango in the method to irradiation in the method to irradiated mango in the method to irradiation in the method to irradiated mango in the method to irradiation in	R. et al.			of Biochemistry and				オレンジ
Medicine, 1963 (USArmy Cont No. DA-49-007-MD-779 and DA-49-193-MD-2286). Second No. DA-49-007-MD-779 and DA-49-193-MD-2286). Second No. DA-49-007-MD-779 and DA-49-193-MD-2286). Second No. DA-49-193-MD-291. Second No. DA-49-193-MD-2			peeled oranges	Pathology, Vanderbilt				
Chopra V. 1963 Cytological effects observed in plant material grown on irradiated fruit juices Pligh-performance liquid chromatographic determination of D-Arabino-hexos-2-ulose (D-glucosone) in irradiated sugar solutions: Application of the method to irradiated mango Gabriel 1977a To study the effects of radurized sweet cherries, apricots and prune-plums when al. Gabriel 1977b To study the effects of radurized sweet cherries, apricots and prune-plums when al. Gabriel 1977b K. L. et al. Gabriel 1977b To study the effects of radurized sweet cherries, apricots and prune-plums when fed to albino rats Gabriel 1977b To study the effects of radurized sweet cherries, apricots and prune-plums when fed to dogs Horton G. M. J. Horton G. M. J. Horton G. M. J. Lee H. J. 2001 In vitro genotoxicological safety of fresh vegetable-extract juice by gamma irradiation makkinen 1967 Cytotoxic effects of extracts from Y. et al. Phillips A. 1961 Long-term rat feeding studies: irradiated varages Phillips A. W. et al. Raltech 1979 Toxicology studies on rats fed a diet containing 15% irradiated Kent mangoes Services Two-year feeding study Containing 15% irradiated Kent mangoes Two-year feeding study Containing 15% irradiated Kent mangoes Two-year feeding study Containing 15% irradiated Kent mangoes Two-year feeding study Containing 15% irradiated Kent mangoes Two-year feeding study Containing 15% irradiated Kent mangoes Two-year feeding study Containing 15% irradiated Kent mangoes Two-year feeding study Containing 15% irradiated Kent mangoes Containing 15% irradiated Kent mangoes Two-year feeding study				University School of				
Chopra V. 1963 Cytological effects observed in plant material grown on irradiated fruit juices Drijver L. D. et al. 1986 High-performance liquid chromatographic determination of D-Arabino-hexos-2-ulose (D-glucosone) in irradiated sugar solutions: Application of the method to irradiated mango Gabriel K. L. et al. 1977a To study the effects of radurized sweet cherries, apricots and prune-plums when fed to albino rats Gabriel K. L. et al. 1977b To study the effects of radurized sweet cherries, apricots and prune-plums when fed to dogs Horton G. 1976 The effects of industry pl.) Pl. (Signal pl.) The effects of industry pl.) The effects of industry pl.) The effects of industry pl.) The effects of industry pl.) The effects of industry pl.) The effects of industry pl. (Signal pl.) Pl.) The effects of industry pl. (Signal pl.) Pl.) The effects of industry pl. (Signal pl.) Pl.) The effects of industry pl. (Signal pl.) Pl. (Signal pl.) Pl. (Signal pl.) Pl. (Signal pl.) Pl. (Signal pl.) Pl. (Signal pl.) Pl. (Signal pl.) Pl. (S				Medicine, 1963 (USArmy				
Chopra V. 1963 Cytological effects observed in plant material grown on irradiated frui juices Dniyer L. 1986 High-performance liquid chromatographic determination of D-Arabino-hexos-2-ulose (D-glucosone) in irradiated sugar solutions: Application of the method to irradiated mango (D-glucosone) in irradiated sugar solutions: Application of the method to irradiated mango (D-glucosone) in irradiated sugar solutions: Application of the method to irradiated mango (D-glucosone) in irradiated sugar solutions: Application of the method to irradiated mango (D-glucosone) in irradiated sugar solutions: Application of the method to irradiated mango (D-glucosone) in irradiated sugar solutions: Application of the method to irradiated mango (D-glucosone) in irradiated sugar solutions: Application of the method to irradiated mango (D-glucosone) in irradiated sweet cherries, apricots and prune-plums when fed to albino rats (D-glucosone) in irradiated sweet cherries, apricots and prune-plums when fed to dogs (D-glucosone) in from a fed to albino rats (D-glucosone) in from a fed to albino rats (D-glucosone) in from a fed to albino rats (D-glucosone) in irradiation (D-glucosone) in irradiation (D-glucosone) in irradiation (D-glucosone) in irradiation (D-glucosone) in irradiation (D-glucosone) in irradiation (D-glucosone) in irradiation (D-glucosone) in irradiation (D-glucosone) in irradiation (D-glucosone) in irradiation (D-glucosone) in irradiation (D-glucosone) in irradiation (D-glucosone) in irradiation (D-glucosone) in irradiation (D-glucosone) in irradiation (D-glucosone) in irradiation (D-glucosone) in irradiation (D-glucosone) in irradiated (D-glucosone) in irradiated (D-glucosone) in irradiated (D-glucosone) in irradiated (D-glucosone) in irradiated (D-glucosone) in irradiated (D-glucosone) in irradiated (D-glucosone) in irradiated (D-glucosone) in irradiated (D-glucosone) in irradiated (D-glucosone) in irradiated (D-glucosone) in irradiated (D-glucosone) in irradiated (D-glucosone) in irradiated (D-glucosone) in irradiate				Cont No.				
Chopra V. 1963 Cytological effects observed in plant material grown on irradiated fruit juices Drijver L. 1986 High-performance liquid chromatographic determination of D-Arabino-hexos-2-ulose (D-glucosone) in irradiated sugar solutions: Application of the method to irradiated mango Gabriel K. L. et cherries, apricots and prune-plums when fed to albino rats Gabriel K. L. et cherries, apricots and prune-plums when fed to dogs Horton G. 1977b To study the effects of radurized sweet cherries, apricots and prune-plums when fed to dogs Horton G. 1976 The effects of low-dose gamma-irradiation on the wholesomeness of mangoes (Mangifera indica) as determined by short-term feeding studies using rats. Lee H. J. 2001 In vitro genotoxicological safety of fresh et al. Part J. 2001 Long-term rat feeding studies: irradiated pineapples Phillips A. 1961 Long-term rat feeding studies: irradiated varies and procestal containing 15% irradiated Kent mangoes (Rallech Scientific Services Two-year feeding study Ross S. T. 1970 Cytological effects of juice or purce from Journal of food science 35 549-550 94T 145)				DA-49-007-MD-779 and				
L. et al. material grown on irradiated fruit juices Journal of Agricultural and determination of D-Arabino-hexos-2-ulose (D-glucosone) in irradiated sugar solutions: Application of the method to irradiated mango Food Irradiation Tostudy the effects of radurized sweet cherries, apricots and prune-plums when fed to albino rats Food Irradiation Tostudy the effects of radurized sweet cherries, apricots and prune-plums when fed to dogs Tostudy the effects of radurized sweet cherries, apricots and prune-plums when fed to dogs Food Irradiation Tostudy the effects of radurized sweet cherries, apricots and prune-plums when fed to dogs Food Irradiation Tostudy the effects of low-dose gamma-irradiation Tostudy the effects of low-dose gamma-irradiated Tostudy the effects of low-dose gamma-irradiated Tostudy the effects of low-dose gamma-irradiated Tostudy the effects of low-dose gamma-irradiated Tostudy the effects of low-dose gamma-irradiated Tostudy the effects of low-dose gamma-irradiated Tostudy the effects of low-dose gamma-irradiated Tostudy the effects of low-dose gamma-irradiated Tostudy the effects of low-dose gamma-irradiated Tostudy the effects of low-dose gamma-irradiated Tostudy the effects of low-dose gamma-irradiated Tostudy the effects of low-dose				DA-49-193-MD-2286).				
Drijver L. D. et al. Et al.	*	1963		Radiation Botany	3	1-6	94T 037)	リンコ(果汁)
D. et al. determination of D-Arabino-hexos-2-ulose (D-glucosone) in irradiated sugar solutions: Application of the method to irradiated mango Gabriel K. L. et cherries, apricots and prune-plums when fed to albino rats Gabriel K. L. et al. Gabriel K. L. et al. Gabriel K. L. et al. Gabriel K. L. et al. Gabriel K. L. et cherries, apricots and prune-plums when fed to dogs Horton G. M. J. Horton G. M. J. Lee H. J. 2001 In the effects of low-dose gamma-irradiation on the wholesomeness of mangoes (Mangifera indica) as determined by short-term feeding studies using rats. Lee H. J. 2001 In vitro genotoxicological safety of fresh vegetable-extract juice by gamma irradiation with each orange. Phillips A. 1961 Cytotoxic effects of extracts from gamma-irradiated oranges Raltech Scientific Services Raltech Scientific Services Raltech Scientific Services Robot Irradiation Food Irradiation Information Food Chemistry Food Irradiation Food Irradiation Information 7(Sup pl.) Food Irradiation Food Irradiation Information 7(Sup pl.)			material grown on irradiated fruit juices					オンジ(果汁)
Gabriel K. L. et al. 1977b To study the effects of radurized sweet cherries, apricots and prune-plums when fed to albino rats Gabriel K. L. et al. 1977b To study the effects of radurized sweet cherries, apricots and prune-plums when fed to do albino rats Gabriel K. L. et al. 1977b To study the effects of radurized sweet cherries, apricots and prune-plums when fed to dogs Horton G. M. J. 1976 The effects of low-dose gamma-irradiation on the wholesomeness of mangoes (Mangifera indica) as determined by short-term feeding studies using rats. Lee H. J. 2001 In vitro genotoxicological safety of fresh vegetable-extract juice by gamma irradiation makinen 1967 Cytotoxic effects of extracts from y. et al. 1961 Cytotoxic effects of extracts from gamma-irradiated Pineapples Phillips A. 1961 Long-term rat feeding studies: irradiated oranges Raltech Scientific Services Raltech Scientific Services Raltech Scientific Services Roll 1970 Cytological effects of juice or purce from Journal of food science 35 549-550 94T 145) Post To deficit so from the method to irradiated with mangoes plums and prune-plums when fed to alloring and prune-plums when fed to alloring and prune-plums when fed to dogs Post To study the effects of extraction from the wholesomeness of mangoes (Mangifera indica) as determined by short-term feeding studies using rats. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. NATURE 214 413 Q34-06 Year 1910 Agramma-irradiated Pineapples Phillips A. 1961 Long-term rat feeding studies: irradiated Final contract report, US Army contract No.DA-49-007-MD-791 Raltech Scientific Services Raltech Scientific Services Raltech Scientific Services Two-year feeding study	* 1	1986		Journal of Agricultural and	34	758-762	94T 044)	マンゴ
Solutions: Application of the method to irradiated mango Gabriel N. L. et cherries, apricots and prune-plums when fed to albino rats Gabriel N. L. et cherries, apricots and prune-plums when fed to albino rats Gabriel N. L. et cherries, apricots and prune-plums when fed to albino rats Gabriel N. L. et cherries, apricots and prune-plums when fed to dogs Horton G. 1976 M. J. The effects of low-dose gamma-irradiation on the wholesomeness of mangoes (Mangifera indica) as determined by short-term feeding studies using rats. Lee H. J. 2001 Lee H. J. 2001 In vitro genotoxicological safety of fresh vegetable-extract juice by gamma irradiation Mākinen 1967 Y. et al. Postotoxic effects of extracts from gamma-irradiated Pineapples Phillips A. W. et al. Raltech Scientific Services Raltech Scientific Services Raltech Scientific Services Two-year feeding study Ross S. T. 1970 Cytological effects of juice or purce from Journal of food science 35 549-550 94T 145)	D. et al.		determination of D-Arabino-hexos-2-ulose	Food Chemistry				放射線分
Gabriel K. L. et al. 1977a To study the effects of radurized sweet cherries, apricots and prune-plums when fed to albino rats Gabriel K. L. et al. 1977b To study the effects of radurized sweet cherries, apricots and prune-plums when fed to albino rats Gabriel K. L. et al. 1977b To study the effects of radurized sweet cherries, apricots and prune-plums when fed to dogs Horton G. 1976 The effects of low-dose gamma-irradiation on the wholesomeness of mangoes (Mangifera indica) as determined by short-term feeding studies using rats. Lee H. J. 2001 In vitro genotoxicological safety of fresh vegetable-extract juice by gamma irradiation witradiation or gamma-irradiated Pineapples Phillips A. 1961 Long-term rat feeding studies: irradiated oranges Raltech Scientific Services Raltech Scientific Services Robot Sci. 1970 Cytological effects of juice or purce from Robot Scientific Services Robot Scientific Scientific Services Robot Scientific Scientific Scientific Scientific Services Robot Scientific								解生成物
Gabriel K. L. et al. 1977a To study the effects of radurized sweet cherries, apricots and prune-plums when fed to albino rats Gabriel K. L. et al. 1977b To study the effects of radurized sweet cherries, apricots and prune-plums when fed to dogs Horton G. M. J. 1976 The effects of low-dose gamma-irradiation on the wholesomeness of mangoes (Mangifera indica) as determined by short-term feeding studies using rats. Lee H. J. 2001 In vitro genotoxicological safety of fresh vegetable-extract juice by gamma irradiation Mäkinen Y. et al. 1967 Cytotoxic effects of extracts from gamma-irradiated Pineapples Phillips A. W. et al. 1979 Toxicology studies on rats fed a diet containing 15% irradiated Kent mangoes Raltech Scientific Services Robert Scientific Services Robert Scientific Services Toxicology studies in rats fed a diet containing 15% irradiated Kent mangoes True year feeding study Toxicology studies of purce from Toxicology studies of			_ · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·					
K. L. et al. cherries, apricots and prune-plums when fed to albino rats Gabriel K. L. et al. 1977b To study the effects of radurized sweet cherries, apricots and prune-plums when fed to dogs Horton G. M. J. The effects of low-dose gamma-irradiation on the wholesomeness of mangoes (Mangifera indica) as determined by short-term feeding studies using rats. Lee H. J. 2001 In vitro genotoxicological safety of fresh vegetable-extract juice by gamma irradiation Mäkinen Y. et al. 2001 Cytotoxic effects of extracts from gamma-irradiated Pineapples Phillips A. 1961 Long-term rat feeding studies: irradiated oranges Raltech Scientific Services Raltech Services Ross S. T. 1970 Cytological effects of juice or puree from Information Pl.) Information 7(Sup pl.) 140-141 94T 061) Food Irradiation 7(Su								
al. fed to albino rats Gabriel 1977b To study the effects of radurized sweet cherries, apricots and prune-plums when al. fed to dogs Horton G. 1976 The effects of low-dose gamma-irradiation on the wholesomeness of mangoes (Mangifera indica) as determined by short-term feeding studies using rats. Lee H. J. 2001 In vitro genotoxicological safety of fresh vegetable-extract juice by gamma irradiation or gamma-irradiated Pineapples Mäkinen Y. et al. Politips A. 1961 Long-term rat feeding studies: irradiated oranges Raltech Scientific Services Raltech 1981 Toxicology studies in rats fed a diet containing 15% irradiated Kent mangoes Two-year feeding study Ross S. T. 1970 Cytological effects of juice or puree from Journal of food science 35 549-550 94T 145)		1977a	To study the effects of radurized sweet	Food Irradiation	7(Sup	138-139	94T 060)	サクランボ
Gabriel K. L. et al. Horton G. M. J. Lee H. J. et al. 1967 Y. et al. 1978 Y. et al. 1979 Phillips A. W. et al. 1979 Raltech W. et al. 1979 Raltech Scientific Services Raltech Raltech Raltech Ross S. T. 1970 Cytological effects of juice or puree from R. J. To study the effects of radurized sweet cherica, apricots and prune-plums when fed to dogs Food Irradiation Information 7(Sup pl.) 7(S			La vi	Information	pl.)			アンズ他
K. L. et al. cherries, apricots and prune-plums when fed to dogs Horton G. 1976 The effects of low-dose gamma-irradiation on the wholesomeness of mangoes (Mangifera indica) as determined by short-term feeding studies using rats. Lee H. J. 2001 In vitro genotoxicological safety of fresh vegetable-extract juice by gamma irradiation Mäkinen Y. et al. Phillips A. 1961 Long-term rat feeding studies: irradiated oranges Raltech Scientific Services Raltech 1979 Toxicology studies on rats fed a diet containing 15% irradiated Kent mangoes Two-year feeding study Ross S. T. 1970 Cytological effects of juice or purce from Journal of food science 35 549-550 94T 145)	ıl.		fed to albino rats					
al. fed to dogs Horton G. 1976 The effects of low-dose gamma-irradiation on the wholesomeness of mangoes (Mangifera indica) as determined by short-term feeding studies using rats. Lee H. J. 2001 In vitro genotoxicological safety of fresh vegetable-extract juice by gamma irradiation Mäkinen Y. et al. 1967 Cytotoxic effects of extracts from gamma-irradiated Pineapples Phillips A. 1961 Long-term rat feeding studies: irradiated oranges Raltech Scientific Services Raltech 1981 Toxicology studies in rats fed a diet containing 15% irradiated Kent mangoes Two-year feeding study Ross S. T. 1970 Cytological effects of juice or purce from Journal of food science 35 549-550 94T 145)	Gabriel	1977ь	To study the effects of radurized sweet	Food Irradiation	7(Sup	140-141	94T 061)	サクランボ
Horton G. M. J. The effects of low-dose gamma-irradiation on the wholesomeness of mangoes (Mangifera indica) as determined by short-term feeding studies using rats. Lee H. J. et al. In vitro genotoxicological safety of fresh vegetable-extract juice by gamma irradiation Mäkinen Y. et al. Phillips A. W. et al. Phillips A. W. et al. 1967 Raltech Scientific Services Raltech Scientific Services Raltech Scientific Scientific Services Ross S. T. 1970 Cytological effects of juice or puree from The effects of low-dose gamma-irradiation British Journal of Nutrition 35 67-75 Fi0617 Fio617 Fi	K. L. et		cherries, apricots and prune-plums when	Information	pl.)	-		アンズ他
M. J. on the wholesomeness of mangoes (Mangifera indica) as determined by short-term feeding studies using rats. Lee H. J. 2001 In vitro-genotoxicological safety of fresh vegetable-extract juice by gamma irradiation Mäkinen 1967 Cytotoxic effects of extracts from gamma-irradiated Pineapples Phillips A. 1961 Long-term rat feeding studies: irradiated oranges W. et al. 1979 Toxicology studies on rats fed a diet containing 15% irradiated Kent mangoes Raltech Scientific Services Raltech Scientific Services Raltech Scientific Services Rough 1970 Cytological effects of juice or puree from Journal of food science 35 549-550 94T 145)	ıl.		fed to dogs		1.			
M. J. on the wholesomeness of mangoes (Mangifera indica) as determined by short-term feeding studies using rats. Lee H. J. 2001 In vitro genotoxicological safety of fresh vegetable-extract juice by gamma irradiation Mäkinen Y. et al. Phillips A. W. et al. Phillips A. W. et al. Positional Scientific Services Raltech 1979 Toxicology studies on rats fed a diet containing 15% irradiated Kent mangoes Raltech Scientific Services Raltech 1981 Toxicology studies in rats fed a diet containing 15% irradiated Kent mangoes Two-year feeding study Ross S. T. 1970 Cytological effects of juice or puree from Journal of food science 35 549-550 94T 145)	Horton G.	1976	The effects of low-dose gamma-irradiation	British Journal of Nutrition	35	67-75	FI0617	マンゴ
(Mangifera indica) as determined by short-term feeding studies using rats. Lee H. J. 2001 In vitro genotoxicological safety of fresh vegetable-extract juice by gamma irradiation Mäkinen Y. et al. 214 413 Q34-06 Phillips A. 1961 Long-term rat feeding studies: irradiated oranges Phillips A. W. et al. 219 Toxicology studies on rats fed a diet containing 15% irradiated Kent mangoes Raltech Scientific Services Raltech Scientific Scrvices Two-year feeding study Ross S. T. 1970 Cytological effects of juice or puree from Journal of food science 35 549-550 94T 145)	М. J.					07.75	110017	. •
Lee H. J. et al. 2001 In vitro genotoxicological safety of fresh vegetable-extract juice by gamma irradiation Nutr. 214 413 Q34-06 Y. et al. 214 214 213 Q34-06 Y. et al. 214 214 213 Q34-06 Y. et al. 214 214 214 215 Q34-06 Qamma-irradiated Pineapples Phillips A. 215 Qamma-irradiated Pineapples Phillips A. 216 Qamma-irradiated Pineapples Phillips A. 217 Qamma-irradiated Pineapples Pinal contract report, US Army contract No.DA-49-007-MD-791 Qamma-irradiated Pineapples Pinal Contract report, US Army contract No.DA-49-007-MD-791 Qamma-irradiated Pineapples Pinal Contract report, US Army contract No.DA-49-007-MD-791 Qamma-irradiated Pineapples Pinal Contract report, US Army contract No.DA-49-007-MD-791 Qamma-irradiated Pineapples Pinal Contract report, US Army contract No.DA-49-007-MD-791 Qamma-irradiated Pineapples Pinal Contract report, US Army contract No.DA-49-007-MD-791 Qamma-irradiated Pineapples Pinal Contract report, US Army contract No.DA-49-007-MD-791 Qamma-irradiated Pineapples Pinal Contract report, US Army contract No.DA-49-007-MD-791 Qamma-irradiated Pineapples Pinal Contract report, US Army contract No.DA-49-007-MD-791 Qamma-irradiated Pineapples Pinal Contract report, US Army contract No.DA-49-007-MD-791 Qamma-irradiated Pineapples Pinal Contract report, US Army contract No.DA-49-007-MD-791 Qamma-irradiated Pineapples Pinal Contract report, US Qamma-irradiated Pineapples Pinal Contract report, US Qamma-irradiated Pineapples Pinal Contract report, US Qamma-irradiated Pineapples Pinal Contract report, US Qamma-irradiated Pineapples Pinal Contract report, US Qamma-irradiated Pineapples Pinal Contract report, US Qamma-irradiated Pineapples Pinal Contract report Pineapples Pinal Contract report Pineapples Pinal Contract report Pineapples Pinal Contract report Pineapples Pinal Contract report Pineapples Pineapples Pineapples Pineapples Pineapples Pineapples Pineapples Pineapples Pineapples Pineapples Pineapples Pineapples Pineapples Pineapples Pineapples Pineapples Pineapples Pineapples Pineapples Pineapple								•
et al. vegetable-extract juice by gamma irradiation Mäkinen 1967 Cytotoxic effects of extracts from gamma-irradiated Pineapples Phillips A. 1961 Long-term rat feeding studies: irradiated oranges Raltech 1979 Toxicology studies on rats fed a diet containing 15% irradiated Kent mangoes Raltech 1981 Toxicology studies in rats fed a diet containing 15% irradiated Kent mangoes Raltech Scientific Scrvices Ross S. T. 1970 Cytological effects of juice or purce from NATURE 214 413 Q34-06 Phillips A. Nature 214 413 Py 417 119) Phillips A. Nature 214 413 Py 417 119) Phillips A. Nature 214 413 Py 417 119) Phillips A. Nature 214 413 Py 417 119) Phillips A. Nature 214 413 Py 417 119) Phillips A. Nature 214 413 Py 417 119) Phillips A. Nature 214 413 Py 417 119) Phillips A. Nature 214 413 Py 417 119) Phillips A. Nature 214 413 Py 417 119) Phillips A. Nature 214 413 Py 417 119) Phillips A. Nature 314 Py 417 119) Phillips A. Nature 314 Py 417 119 Phillips A. Nature 314 Py 417 119 Phillips A. Nature 314 Py 417 119 Phillips A. Nature 314 Py 417 119 Phillips A. Nature 314 Py 417 119 Phillips A. Nature 314 Py 417 119 Phillips A. Nature 314 Py 417 119 Phillips A. Nature 314 Py 417 119 Phillips A. Nature 314 Py 417 119 Phillips A. Nature 314 Py 417 119 Phillips A. Nature 314 Py 417 119 Phillips A. Nature 314 Py 417 119 Phillips A. Nature 314 Py 417 119 Phillips A. Nature 314 Py 417 119 Phillips A. Nature 314 Py 417 119 Phillips A. Nature 314 Py 417 119 Phillips A. Nature 314 Py 417 119 Phillips A. Nature 314 Py 417 119 Phillips A. Nature 314 Py 417 119 Phillips A. Py 417 119 Phillips A. Nature 314 Py 417 119 Phillips A. Py 417 119 Phillips A. Py 417 119 Phillips A. Py 417 119 Phillips A. Py 417 119 Phillips A. Py 417 119 Phillips A. Py 417 119 Phillips A. Py 417 119 Phillips A. Py 417 119 Phillips A. Py 417 119 Phillips A. Py 417 119 Phillips A. Py 417 119 Phillips A. Py 417 119 Phillips A. Py 417 119 Phillips A. Py 417 119 Phillips A. Py 417 119 Phillips A. Py 417 119 Phillips A			short-term feeding studies using rats.		- 1			
et al. vegetable-extract juice by gamma irradiation Nutr. Mäkinen 1967 Cytotoxic effects of extracts from gamma-irradiated Pineapples Phillips A. 1961 Long-term rat feeding studies: irradiated oranges Army contract No.DA-49-007-MD-791 Phillips A. 1979 Toxicology studies on rats fed a diet containing 15% irradiated Kent mangoes Services Raltech 1981 Toxicology studies in rats fed a diet containing 15% irradiated Kent mangoes Two-year feeding study Ross S. T. 1970 Cytological effects of juice or purce from Journal of food science 35 549-550 94T 145)	ee H. J.	2001		J. Korean Soc. Food Sci.	30 (6)	1227-1236	FI0494	ジュース
irradiation Mäkinen 1967 Cytotoxic effects of extracts from gamma-irradiated Pineapples Phillips A. 1961 Long-term rat feeding studies: irradiated oranges Raltech 1979 Toxicology studies on rats fed a diet containing 15% irradiated Kent mangoes Raltech 1981 Toxicology studies in rats fed a diet containing 15% irradiated Kent mangoes Scientific Services Ross S. T. 1970 Cytological effects of juice or puree from NATURE 214 413 Q34-06 NATURE 214 413 Q34-06 Final contract report, US Army contract No.DA-49-007-MD-791 Final contract report, US Army contract Propring 194T 119) Final contract rep	t al.		vegetable-extract juice by gamma	Nutr.	(-)			
Y. et al. gamma-irradiated Pineapples Phillips A. 1961 Long-term rat feeding studies: irradiated oranges W. et al. 1979 Toxicology studies on rats fed a diet containing 15% irradiated Kent mangoes Services Raltech 1981 Toxicology studies in rats fed a diet containing 15% irradiated Kent mangoes Services Two-year feeding study Ross S. T. 1970 Cytological effects of juice or purce from Journal of food science Final contract report, US Army contract No.DA-49-007-MD-791 IFIP Technical Report IFIP Technical Report IFIP-R58 1-33 94T 125) 1-77 94T 126) Scientific Services Two-year feeding study								
Y. et al. gamma-irradiated Pineapples Phillips A. 1961 Long-term rat feeding studies: irradiated oranges W. et al. 1979 Toxicology studies on rats fed a diet containing 15% irradiated Kent mangoes Raltech 1981 Toxicology studies in rats fed a diet containing 15% irradiated Kent mangoes Services Raltech 1981 Toxicology studies in rats fed a diet containing 15% irradiated Kent mangoes Services Ross S. T. 1970 Cytological effects of juice or puree from Journal of food science Signal contract report, US Army contract report, US Army contract report, US Final contract report, US Fin	Mäkinen	1967	Cytotoxic effects of extracts from	NATURE	214	413	O34-06	パイナッ
W. et al. oranges Army contract No.DA-49-007-MD-791 Raltech 1979 Toxicology studies on rats fed a diet containing 15% irradiated Kent mangoes IFIP-R51 Raltech 1981 Toxicology studies in rats fed a diet containing 15% irradiated Kent mangoes IFIP Technical Report IFIP Technical Report IFIP-R58 Services Two-year feeding study Ross S. T. 1970 Cytological effects of juice or puree from Journal of food science 35 549-550 94T 145)	r. et al.		gamma-irradiated Pineapples					プル
W. et al. oranges Army contract No.DA-49-007-MD-791 Raltech 1979 Toxicology studies on rats fed a diet containing 15% irradiated Kent mangoes IFIP-R51 Raltech 1981 Toxicology studies in rats fed a diet containing 15% irradiated Kent mangoes IFIP-R58 Services Two-year feeding study Ross S. T. 1970 Cytological effects of juice or puree from Journal of food science 35 549-550 94T 145)	Phillips A.	1961	Long-term rat feeding studies: irradiated	Final contract report, US		,	94T 119)	オレンジ
Raltech Scientific Services Raltech 1979 Toxicology studies on rats fed a diet containing 15% irradiated Kent mangoes IFIP-R51 Toxicology studies in rats fed a diet containing 15% irradiated Kent mangoes IFIP-R51 Toxicology studies in rats fed a diet containing 15% irradiated Kent mangoes IFIP-R58 Scientific Services Two-year feeding study Ross S. T. 1970 Cytological effects of juice or puree from Journal of food science 35 549-550 94T 145)	W. et al.		oranges					
Scientific Services Containing 15% irradiated Kent mangoes IFIP-R51 IFIP-R51 IFIP-R51 IFIP-R51 IFIP-R51 IFIP-R51 IFIP-R51 IFIP-R58 IFIP-R5				No.DA-49-007-MD-791				
Scientific Services Containing 15% irradiated Kent mangoes IFIP-R51	Raltech	1979	Toxicology studies on rats fed a diet	IFIP Technical Report		1-33	94T 125)	マンゴ
Raltech 1981 Toxicology studies in rats fed a diet IFIP Technical Report 1-77 94T 126) Scientific Services Two-year feeding study Toxicology studies in rats fed a diet IFIP Technical Report 1-77 94T 126) Services Two-year feeding study Toxicology studies in rats fed a diet IFIP Technical Report IFIP-R58 Technical Report IFIP-R58 Technical Report IFIP-R58 Technical Report IFIP-R58 Technical Report IFIP-R58 Technical Report IFIP-R58 Technical Report IFIP-R58 Technical Report IFIP-R58 Technical Report IFIP-R58 Technical Report IFIP-R58 Technical Report IFIP-R58 Technical Report Technical Report IFIP-R58 Technical Report Technical Report IFIP-R58 Technical Report Technical Repor	Scientific		containing 15% irradiated Kent mangoes	IFIP-R51				
Scientific containing 15% irradiated Kent mangoes IFIP-R58 Services Two-year feeding study Ross S. T. 1970 Cytological effects of juice or puree from Journal of food science 35 549-550 94T 145)	Services							
Scientific Containing 15% irradiated Kent mangoes Two-year feeding study Ross S. T. 1970 Cytological effects of juice or puree from Journal of food science 35 549-550 94T 145)	Raltech	1981	Toxicology studies in rats fed a diet	IFIP Technical Report		1-77	94T 126)	マンゴ
Ross S. T. 1970 Cytological effects of juice or puree from Journal of food science 35 549-550 94T 145)	Scientific			· 1	2.7			
	Services		Two-year feeding study					
	Ross S. T	1970	Cytological effects of juice or puree from	Journal of food soins	25	540 550	04T 145	ノエンハッ
magaco survocinos	ľ	/ 10		Journal of 1000 science	33	349-330	941 145)	イチゴ(ジ
		1.	manated stawbolles		İ		i	ュース,
	chuhert	1973	Irradiated strawberries chamical	Journal of amigula 1 1	21.70	694 699	04T 140	ピューレ)
Schubert 1973 Irradiated strawberries-chemical, Journal of agricultural and 21 (4) 684-692 94T 148) J. et al. cytogenetic, and antibacterial properties food chemistry (99-390)	- 1	1713			21 (4)	084-692		イチゴ

-							
Susheela K. et al.	1997	Irradiation of Ananas comosus: shelf life improvement, nutritional quality and	Biomedical Letters	56	135-144	FI0056	パイナッ プル
Tinsley I. J. et al.	1963	assessment of genotoxicity The growth, reproduction, longevity, and histopathology of rats fed gamma-irradiated peaches	Toxicology and applied pharmacology	5	464-477	99-327	モモ
Verschuur en H. G. et al.	1966	Ninety day rat feeding study on irradiated strawberries	Food irradiation	7	A17-A21	99-345	イチゴ
	-				•		
Anon	1977	Spices - a new approach	Food Irradiation Information	7	67-68	S-02	スパス
Barna J.	1974	Report on preliminary studies relating to investigation of the wholesomeness of irradiated spices	IFIP-R19			S-05	<i>ス</i> パス
Barna J.	1975	To Study the wholesomeness of irradiated spice mixture in the rat	Food Irradiation Information (Suppl.)	4	48	S-01	シ ピス
Barna J.	1979	Compilation of bioassay data on the wholesomeness of irradiated food items	Acta Alimentaria	8 (3)	205-315	S-100	ひパス
Barna J.	1983	Mutagen ineffectiveeness of irradiated spice mixture in DLT	Mutation Research	113 (3-4)	231	S-14	ひらな
Barna J.	1986	Genotoxicity test of irradiated spice mixture by dominant lethal test	Acta alimentaria	15(1)	47-56	99-412	スペイスミッ クス
Central Food Research Institute.	1977	Mutagenicity testing of irradiated ground paprika	IFIP-R44			99-388	スパイス (パプリカ)
Chaubey R. C. et al.	1979	Cytogenetic studies with irradiated ground paprika as evaluated by the micronucleus in mice	Acta alimentaria	8 (2)	197-201	99-410	スパイス (パプリカ)
Farag S. E. A. et al.	1997	Degradation of the natural mutagenic compound safrole in spices by cooking and irradiation	Nahrung	41 (6)	359-361	FI0509	<i>ス</i> ・イス
Farkas J. et al.	1980	Testing of genetically active substances in irradiated spices by Microbiological method	Acta Aliment.	9 (1)	92	S-09	<i>プ</i> ピス
Farkas J. et al.	1981a	Evaluation of possible mutagenicity of irradiated spices	Acta Alimentaria	10(2)	129-135	94T 052) (99-389)	スパイスミッ クス
Farkas J. et al.	1981b	Prophage lambda induction (Inductest) of blood of rats fed irradiated spices	Acta alimentaria	10(2)	137-142	99-411	ンピスミッ クス
Farkas J. et al.	1981c	A study of possible mutagenicity of irradiated onion powder by salmonella/mammalian-microsome tests	Acta Alimentaria	10 (3)	209-213	S-10	<i>ス</i> パス
Farkas J. et al.	1982	Investigations on the possible genotoxic effect of irradiated onion powder by means of prophage induction (inductest)	Acta Alimentaria	11 (3)	245-251	FI0287	スパス (オニオン パウダー)
Jo S. K. et al.	1996	Genotoxicological safety of the gamma- irradiated Korean red ginseng In vitro	J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.	25 (3)	491-496	FI0606	生薬(ジ ンセン)
Jo S. K. et	2000	Stability in immunomodulation activity of	J. Korean Soc. Food Sci.	29 (1)	134-139	FI0799	スパス

Nutr.

irradiated Angelica gigas Nakai

	т						
Jo S. K. et	2001	Genotoxicological safety of hot water	J. Korean Soc. Food Sci.	30 (6)	1237-1245	FI0510	生薬(カ
al.		extracts of the gamma-irradiated	Nutr.				ンゾウ,
		glycyrrhizae radix, Aurantii nobilis					チンピな
	ļ	pericarpium and Bupleuri radix In vitro	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	ļ			ど)
Eotvos	1979	Teratogenic studies on albino rats fed diets	IFIP Technical Report		1-22	94T	ひりなシ
		containing either irradiated ground black	IFIP-R52			093)(99-	クス
		pepper, mild paprika or spice mixture				337)	
Mittler S.	1982	Failure of irradiated onion powder to	Mutation research	104	113	94T 105)	ひピス
et al.		induce sex-linked recessive lethal		1			(オニオン
		mutations in Drosophila melanogaster					パウダー)
Münzner	1981	Mutagenicity testing of irradiated onion	Journal of food science	46	1269-1270	94T	プピス -
R. et al.		powder	Journal of food science	70	1209-1270	110)(99-	オニオン
						387)	パウダー)
坂本	1992	ガンマ線照射したスパイスとマンゴの	食品照射研究委員会研究	<u> </u>	204-211	S-13	ひれる
		変異原性試験	成果最終報告書、日本ア		204 211	5-15	74 - 121
			イソトープ協会				
Yu Y. B.	2000	Evaluation on the safety of	J. Korean Soc. Food Sci.	29 (2)	300-306	FI0605	生薬(オ
et al.		gamma-irradiated Angelica gigas Nakai:	Nutr.	2) (2)	300 300	110005	ニノタケ)
		stability of active components and safety					
		in genotoxicity test				i	
		- T					
Anon	1987	Safety evaluation of 35 kinds of irradiated	Journal of Radiation	5(1)	395-404	94T 005)	食品(多
		human foods	Research and Radiation			-	品目)
			Processing				
Bierman	1958	Short-term human feeding studies of foods	US Army Edical Nutrition		1.	94N	食品(多
E. L. et al.		sterilized by gamma radiation and stored at	Laboratory, unpublished			004)(99-	品目)
		room temperature	document Report No.224			429)	
Kline B.	1959	The possible carcinogenicity of irradiated	unpublished document			99-313	泪众粉
E., et al.		foods	U.S.Army Contract No.			99-313	混合物
			DA-49-007-MD-583				
T	1070						
Levina A.	1978	Pathobmorphology of the kidneys ib rats	Bulletin of Experimental	85 (2)	236-238	FI0076	混合物
I. et al.		after prolonged ingestion of irradiated	Biology and Medicine				
-		foods				٠,	
Radomski	1965	A study of the possible carcinogenicity of	Toxicology and applied	7	122-127	94T 123)	混合物
JL et al.		irradiated foods	pharmacology			(99-349)	
Read M.	1961	Successive generation rat feeding studies	Toxicology and applied	3	153-173	94T 130)	混合物
S. et al.		with a composite diet of gamma-irradiated	pharmacology			(99-314)	,,,,,,
		foods				(; ,	
Read M.	1958	Short-term rat feeding studies with	Journal of nutrition	65	20.51	04T 100	泪入妝
S. et al.		gamma-irradiated food products	Journal of Huttition	65	39-51	94T 129) (99-320)	混合物
		gamma madiated food products	- William			(99-320)	
Anderson	1981	Irradiated laboratory animal diets	Mutation research	80	333-345	99-408	飼料
D. et al.		Dominant lethal studies in the mouse					
						-	
Aravinda	1978	Multigeneration feeding studies with an	IAEA-SM-221/69	П	41-51	94T 09)	 飼料
kshan M.	-	irradiated whole diet		"		(99-338)	中 四个十
et al.						(22-330)	
Biagini C.	1967	Growth and fertility of mice fed an	Ciomala da "	117	247.010	0.477.010	Iolu = A
et al.	. 701	irradiated diet for two years (伊語)	Giornale de medicina	117	1	94T 018)	飼料
J. u.		madiated their for two years (伊韶)	militare			(99-359)	

Chauhan P. S. et al.	1975	Studies on dominant lethal mutations in third generation rats reared on an irradiated diet	Int. J. Radiat. Biol.	28(3)	215-223	94T 033) (99-404)	飼料
Chauhan P. S. et al.	1975	Dominant lethal mutations in male mice fed gamma-irradiated diet	Food and Cosmetic Toxicology	13	433-436	94T 034) (99-405)	飼料
Endoh D. et al.	1989	Micronucleus test in mice fed on an irradiated diet	Jpn. J. Vet. Res.	37	41-47	FI0877	飼料
Eriksen W. H. et al.	1972	The effect on pre-implantation death of feeding rats on radiation-sterilized food	Int. J. Radiat. Biol.	22 (2)	131-135	94T 051) (99-415)	飼料
Ivanov A. E. et al.	1981	Pathomorphologic changes in the testes of rats fed gamma ray irradiated products (露語)	Biulleten' eksperimental'noi biologii i meditsiny	91 (2)	233-236	FI0895	飼料
Johnston- Arthur T. et al.	1975	Mutagenicity of irradiated food in the host mediated assay system	Studia biophysica	. 50	137-141	99-403	飼料
Johnston- Arthur T. et al.	1979	Investigation on irradiated standard diets and their extract components on the possible mutagenic effect in the `host mediated assay' using Salmonella typhimuriumG46 and TA 1530 (独語)	Die Bodenkultur	30	95-107	99-407	飼料
Léonard A. et al.	1977	Mutagenicity tests with irradiated food in the mouse	Strahlentherapie	153(5)	349-351	94T 088) (99-406)	飼料
Levina A. I. et al.	1978	Renal pathomorphology of rats fed irradiated food products over a long period (露語)	Biulleten' eksperimental'noi biologii i meditsiny	85 (2)	230-232	FI0898	飼料
Medawar P. B. et al.	1976	Alteration of the immune response in mice by dietary factors: effects of irradiating, autoclaving and essential fatty acid deficiency of rodent diets(proceedings)	Proceedings of the Nutrition Society	35	147A-148 A	FI0899	飼料
Metwalli O. M.	1977	Study on the effect of food irradiation on some blood serum enzymes in rats	Z. Ernährugswiss.	16	18-21	94T 102) (99-339)	飼料
Moutsche n-Dahme n M. et al.	1970	Pre-implantation death of mouse eggs caused by irradiated food	International journal of radiation biology	18(3)	201-216	94T 108) (99-402)	飼料
Münzner R. et al.	1975	Mutagenicity testing of irradiated laboratory animal diet by the host mediated assay with S.typhimurium G46(独語)	International journal of radiation biology	27 (4)	371-375	94T 109) (99-416)	飼料
Münzner R. et al.	1976	Mutagenicity testing of irradiated laboratory animal diet by the host mediated assay with S. typhimurium TA 1530 (独語)	Zbl. Vet. Med. B	23	117-121	99-418	飼料
Phillips B. J. et al.	1980	Genetic toxicology of irradiated foodstuffs using short-term test systrms. 1.digestion In vitro and the testing of digests in the Salmonella typhimurium reverse mutation test	Food and Cosmetics Toxicology	18	371-375	FI0208	飼料
Reddy P. P. et al.	1981	Micronucleus test in mice fed on irradiated whole diet	INT. J. Radiat. Biol.	39 (2)	217-219	FI0517	飼料

Renner H. W.	1977	Chromosome studies on bone marrow cells of Chinese hamsters fed a radiosterilized diet	Toxicology	8	213-222	94T 137) (99-417)	飼料
Saint-Lèb e L.	1979	Irradiation of commercial diets for axenic and heteroaxenic rats and mice (仏語)	Rec. Méd. vét.	155 (10)	805-810	99-336	飼料
Šmíd K. et al.	1985	Effect of radiation-treated feeds on some biochemical indicators of nutrition level achieved with energy nutrients(デンマーク語)	Veterinární mediciná	30 (9)	531-541	99-374	飼料
Strik J. J. T. W. A.	1986	Toxicological investigations on irradiated feed in pigs (チェコ語)	Tijdschrift voor Diergeneeskunde	111 (5	240-243	99-380	飼料
Aiyar A. S. et al.	1977	Studies on mutagenicity of irradiated sugar solutions in Salmonella typhimurium	Mutation Research	48	17-27	94T 001) (99-393)	糖液
Bradley MV et al.	1968	Low pH of irradiated sucrose in induction of chromosome aberrations	Nature	217	1182-1183	94T 021) (99-392)	糖液
Bugyaki L. et al.	1963	Have irradiated foods radiomimetic effect? I. Experiment on Escherichia coli C 600 (lambda) Ivsogene (仏語)	Atompraxis	9	194-196	99-384	培地
Chopra V. L.	1969	Lethal and mutagenic effects of irradiated medium on Escherichia coli	Mutation Research	8	25-33	Q34-09	培養液
Chopra V. L.	1965	Tests on Drosophila for the production of mutations by irradiated medium or irradiated DNA.	Nature	208(13	609-700	94T 036) (99-409)	培地
De A. et al.	1969	Biochemical Effects of Irradiated Sucrose Solutions in the Rat	Radiation Research	37	202-215	Q34-07	糖液
Diehl J. F. et al.	1978	Radiolysis of Carbohydrates and of Carbohydrate-Containing Foodstuffs	J. Agric. Food Chem.	26 (1)	15-20	Q34-03	デンプン 糖
Ito H.	2003	Effects of microbial growth in irradiated sugar media	Food Irradiation, Japan	38	6-10	FI0362	糖液
Kesavan P. C. et al.	1966	Cytotoxic and radiomimetic activity of irradiated culture medium on human leukocytes	Cytotoxic and Radiomimetic Activity of Irradiated Culture Medium	35 (16)	403-404	94 T 086)	培養液
Kesavan P. C. et al.	1969	Mutagenic effects of irradiated culture media in Drosophila Melanogaster	Indian Journal of Genetics and Plant Breeding	29 (2)	173-183	FI0084	培養液
Moutsche 1 J. et al.	1965	Cytological effects of irradiated glucose	Radiation Botany	5	23-28	Q34-05	糖液
Niemand . G. et al.	1983	A study of the mutagenicity of irradiated sugar solutions: implications for the radiation preservation of subtropical fruits	Journal of agricultural and food chemistry	31	1016-1020	99-383	糖液
Rinehart R. R. et al.	1965	Mutation in Drosophila melanogaster cultured on irradiated food	Genetics	52 (6)	1119-1126	94T 142) (99-419)	培養液
Rinehart R. R. et al.	1967	Mutation in drosophila melanogaster cultured on irradiated whole food or food components	International journal of radiation biology	12(4)	347-354	94T 143) (99-420)	糖液 培養液

al.

components

Schubert J. et al.	1971	Cytotoxic radiolysis products of irradiated α,β-unsaturated carbonyl sugars as the carbohydrates	Nature New Biology	233	199-203	FI0506	糖液
Schubert J. et al.	1967	Hydroxyalkyl peroxides and the toxicity of irradiated sucrose	International journal of radiation biology	13 (5)	485-489	94T 147)	糖液
Shaw M. W. et al.	1966	Effects of irradiated sucrose on the chromosomes of human lymphocytes In vitro	Nature	211(17)	1254-1256	94T 150) (99-391)	糖液
Swaminat han M. S. et al.	1963	Mutations: incidence in drosophila melanogaster reared on irradiated medium	Science	141	637-638	94T 154)	培養液
Truhaut R. et al.	1978	Different approaches to the toxicological evaluation of irradiated starch	IAEA-SM-224/14	Vol. II	31-39	94T 164)	デンプン
Varma M. B. et al.	1982	Non-induction of dominant lethal mutations in mice fed gamma-irradiated glucose	International journal of radiation biology	42(5)	559-563	99-398	糖(粉)
Varma M. B. et al.	1982	Mutagenic effects of irradiated glucose in Drosophila melanogaster	Food and chemical toxicology	20	947-949	99-399	糖(粉)
Varma M. B. et al.	1985	Lack of mutagenicity of irradiated glucose in Salmonella typhimurium using host-mediated assay	Experientia	41	396-397	99-400	糖(粉)
Varma M. B. et al.	1986	Lack of clastogenic effects of irradiated glucose in somatic and germ cells of mice	Mutation research	169	55-59	94T 174) (99-401)	糖液
Vijayalax mi	1980	Sister chromatid exchanges in human peripheral blood lymphocytes grown in irradiated medium	International journal of radiation biology	37(5)	581-583	99-385	培養液
Wilmer J. et al.	1981	Mutagenicity of gamma-irradiated oxygenated and deoxygenated solutions of 2-deoxy-D-ribose and D-ribose in Salmonella typhimurium.	Mutation research	90	385-397	94T 186)	糖液
坂本京子 他	1992	ガンマ線照射グルコースの変異原性	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		182-191	TJ-32	糖液
川岸舜朗	1992	ガンマ線照射糖液の変異原性およびそ の抑制	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		135-149	TJ-33	糖液
祖父尼俊雄 他	1992	ガンマ線照射グルコースについての変 異原性試験	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		150-181	TJ-34	糖液
坂本京子 他	1992	Influence of gamma-ray irradiation on the mutagenicity of maillard reaction products formed between sugars and amino acids	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		192-203	S-37	糖アミノ酸

Khan A.	1965	Mutagenic effect of irradiated and	Nature	208(13)	700-702	94T 087)	DNA
H. et al.	-	unirradiated DNA in Drosophila					
Szekely J.	1992	An evaluation of the genotoxicity of	Journal of Food Protection	55 (12)	1006-1008	FI0573	アミノ酸,
G. et al.		O-tyrosine, a proposed marker for					たんぱく
		irradiated food		\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \			質

<u> </u>							
Takigawa A. et al.	1976	Gamma ray irradiation to semi-purified diet - peroxide formation and its effects on chicks	Japanese journal of zootechnical science	47(5)	292-302	99-381	油脂
Becker R. R. et al.	1956	Nutritional and biochemical effects of irradiation	Food technology	10	61-64	99-333	バター脱 脂粉乳他
Lang K.	1963	Toxicity of irradiated fat	Food and cosmetics toxicology	1	125	99-344	脂質
McKee R. W. et al.	1959	The influence of irradiated lipids on the incidence of spontaneous mammary carcinoma and hepatoma in strains A He and C3 H mice	US Army contract report DA-49-007-MD-579			94T 101) (99-346)	脂質
Kimbrough R. D. et al.	1971	Gamma-irradiation of DDI: Radiation products and their toxicity	Journal of Agricultural and Food Chemistry	19 (5)	1037-1038	FI0601	農薬
Szekely J. G. et al.	1991	The effect of gamma-irradiation on the toxicity of malathion in v79 and molt-4 cells	Environmental and Molecular Mutagenesis Supplement	19	72	FI0579	農薬
Kahl R.	1984	Synthetic antioxidants: biochemical actions and interference with radiation, toxic compounds, chemical mutagens and chemical carcinogens	Toxicology	33	185-228	FI0512	添加物
	Linn	T_	Γ	I ·	I I		
Delincée H. et al.	1998	Genotoxic properties of 2-dodecyl- cyclobutanone, a compound formed on irradiation of food containing fat	Radiation physics and chemistry	52	39-42	99-427	(CB)
Delincée H. et al.	1999	Genotoxicity of 2-dodecylcyclobutanone	Federal Nutrition Research Institute BFE-R-99-01 Food Irradiation Fifth German Conference			CB- 03	(CB)
Gadgil P. et al.	2004	Mutagenicity and acute toxicity evaluation of 2-Dodecylcyclobutanone	J. Food Sci.	69 (9)	713-716	CB- 01	(CB)
Marchioni E. et al.	2004	Toxicological study on 2-alkycyclobutanones - results of a collaborative study	Radiation Physics and and Chemistry	71	145-148	CB- 04	(CB)
Rao C. V.	2003	Do irradiated foods cause or promote colon cancer?	Nutrition and Cancer	46 (2)	107-109	FI0845	(CB)
Raul F. et al.	2002	Food-borne radiolytic compounds(2-alkylcyclobutanones) may promote experimental colon carcinogenesis	Nutrition and Cancer	44 (2)	189-191	FI0848	(CB)
Sommers C. H.	2003	2-Dodecylcyclobutanone does not induce mutations in the Escherichia coli tryptophan reverse mutation assay	J. Agric. Food Chem.	51 (21)	6367-70	FI0302	(CB)
Sommers C. H. et al.	2004	2-Dodecylcyclobutanone does not induce mutations in the Salmonella mutagenicity test or intrachromosomal recombination in Saccharomyces cerevisiae	Journal of Food Protection	67 (6)	1293-1298	FI0298	(CB)

3. 放射線照射食品の安全性に関する文献等の 収集・整理等の調査に関する考察

3-1 調査に関する検討会

検討会の構成

本調査においては、その考察に本分野の有識者(5名程度)から構成される検討会を設置し、収集する文献の範囲や整理方法についての意見を聴取するとともに、文献の分析と 今後必要な試験等に関する議論を行った。

前章までに述べたように、WHOをはじめ多くの政府機関においては、照射食品の安全性を考える上で、次の観点での検討を行っている。

- ①化学的安全性:誘導放射能の有無、照射副産物の有無とその産生量および化学的性質
- ②毒性学的評価:照射食品および照射副産物の毒性
- ③微生物学的安全性:照射による食品中の微生物叢の変化および毒素産生の変化
- ④栄養学的適合性:照射に伴う栄養価の変動(食品としての適性が失われていないか)

そこで、本検討会においては、毒性学、食品化学、微生物学、放射線化学の各分野における専門家を選んで構成し、安全性評価に関する情報収集ができるよう配慮した。

検討会委員

小林泰彦 日本原子力研究所 高崎研究所 (誘導放射能、微生物学的安全性)

関田清司 国立医薬品食品衛生研究所 (毒性学的安全性 一般·生殖毒性)

田中憲穂 食品薬品安全センター (毒性学的安全性 遺伝毒性)

宮原 誠 国立医薬品食品衛生研究所 (化学的安全性、栄養学的適合性)

等々力節子 食品総合研究所 (国際機関等評価、総括)

事務局 独立行政法人 食品総合研究所 企画調整部

林 徹 企画調整部長

小林秀誉 企画科(事務局)

オブザーバー

三木 朗、 岡本 博(食品安全委員会事務局 評価課)

・第1回検討会を2004年12月20日、第2回検討会を2005年3月23日に実施し、第1回検討会では、調査の計画についての説明と、文献収集範囲、整理方法等に関する討議。第2回検討会では、文献収集状況に関する経過報告、今後安全性評価を実施する際の論点、本調査実施後に残された課題等に関する討議を実施した。

検討会の内容

文献の収集範囲

(1) 国際機関、各国政府機関などの評価レポート

照射食品の安全性については、過去40年以上にわたる研究が実施され、世界保健機関 (WHO) や米国食品医薬品庁 (FDA) 等の各国政府当局が、既に評価した結果が存在 する。そこで、照射食品の安全性評価においては、これらの評価機関における評価結果レポートの検討が非常に重要である。このほか最近になって、オーストラリア/ニュージーランド、およびカナダ政府が新たな食品に対して照射処理の安全性の評価を実施した。 これらの状況を考慮して、今回は以下の機関の評価レポートを収集することにした。

- 1)世界保健機関(WHO)
- 2) 欧州連合-食品科学委員会 (EU-SCF)
- 3) 英国農務省
- 4) 米国食品医薬品庁 (FDA)
- 5) カナダ保健省(Health Canada)
- 6) オーストラリア/ニュージーランド食品基準機関(FSANZ)

(2) 研究論文、実験データ

上述の評価レポートの中でも、WHOが1999年に出版した、10kGy以上を照射した食品の健全性について評価レポート(資料<math>I-1-5)、および1994年に出版された 10kGy以下の安全性の再評価結果(資料<math>I-1-4)は特に重要である。またWHOの評価後の文献情報のアップデートも必要である。なお、今回の調査の目的は、安全性評価や文献レビューではなく、情報の集約、資料の保存と整理が第一の目的である。

これらのことに留意し、収集の段階での個別資料の取捨選択は行わず、次の範囲に該当するものを出来るだけ網羅的に収集することを基本姿勢とした。

- ・WHOの2つのレポートの評価に用いたデータ (誘導放射能、化学的、微生物学的、毒性学的安全性についての章の引用文献)の収集。今回は、容器包装、検知技術は扱わない。
- ・WHOの評価の後のフォローアップとして、FSTA、BIOSIS、Medlineのデータベースを利用した文献検索を実施し、主に1995年以降の文献の収集。

文献の整理方法

(1) 国際機関、各国政府機関等の評価レポート

- ・照射食品の安全性評価部分の翻訳を作成してオリジナル資料とともに資料集に収録する。 また、各国の評価手法の特徴を明らかにし、報告書にまとめる。
- ・WHOの1999年のレポートについては、内部資料として翻訳を作成する。

(2) 安全性についての研究論文、実験データ

- ・収集した論文についての一覧表リストを作成して報告書にまとめる。
- ・文献収集を網羅的に実施しており、その点数が多いので今回の調査において整理出来る 範囲が限定される。そこで、収集(候補)文献のリストを検討会で検討し、各分野に於 いて優先的に整理すべき事項について次のようにまとめた。

1. 誘導放射能:

- *基本的に文献数は限られているので、収集できるものを最大限リストアップする。 なお、検討会での参考意見として次の2点が指摘された。
- ・電子線照射(10MeV)した食品(香辛料)中の誘導放射能を実測した研究として、大阪府立大学の古田先生の論文は重要である。
- ・最近実施された、エックス線のエネルギーの評価の結果のフォローは重要である。

2. 化学的安全性

放射線による化学的成分変化について解説した総説(単行本)の収集と内容理解、 研究文献の分析、整理では、以下の観点が重要である。

- *物質的に注目する必要があるもの
 - ・2-アルキルシクロブタノン類
 - ・アレルギーの観点から蛋白質の変化について言及した論文
 - ・ホルムアルデヒド (アレルギーとの関連も重要)
- *現時点で論文が出版されていないが、加熱による生成物としての報告があることから、放射線照射による生成の可能性とその量についての情報収集が必要と考えられるものとして、次の2つの物質が挙げられる。
 - ・アクリルアミド
 - ・フラン化合物

3. 栄養学的適合性

栄養学的適合性については、Diehl の Safety of Irradiated Foods (2^{nd} ed 1995)に良くまとめられている。この本については、食品安全委員会に収蔵し、資料として利用できるようにしておく。

*WHOの1999年のレポート以降で、特定の栄養素の破壊について言及した論 文については、内容整理を行う必要がある。

4. 微生物学的安全性

*WHOの2つの総説の中に引用された文献よりも新しい新規検索文献の中に大き く問題となる文献はなかった。

- *WHO等の報告書では、取り上げられた微生物学的安全性においての問題点は解決されているとされるが、過去に論点となった文献および総説の収集は重要である。
- *この項目に関しては収集した文献について以下の観点での分類整理を行う。
 - 1. 照射によって特定の有害微生物を食品中に増す危険性について記述した 文献 (ボツリヌス菌が増えることがこれにあたる)
 - 2. 照射によって微生物の突然変異が誘発される危険性に関する文献
 - 3. マイコトキシン等の毒素産生能が変化する(増強または低下する)文献
 - 4. 微生物の放射線抵抗性が増す危険性について言及した文献
 - 5. 病原微生物等の特性変化に関する文献
 - 6. その他微生物学的安全性にかかわる文献
 - 7. 単なる微生物の放射線死滅効果に関する文献(ここでは除外の対象とする)

5. 毒性学的安全性

①一般•牛殖毒性

動物実験レベルの照射食品の安全性については国際機関WHO等の見解がまとめられ、その中では解決された問題とされている。従って、文献の重要度としては、

- *第一に国際機関およびFDAの総説を整理する。
- *時間的余裕があれば、WHOレポートの中で取り上げられた、毒性発現を認めた 文献とそれを否定した文献を収集整理する(供覧できる状態にしておく)。
- *新しい化学物質の毒性研究、放射線分解生成物2-アルキルシクロブタノンの毒性 については、整理する必要がある。

②遺伝毒性

- *化学的に注目される物資に関する遺伝毒性文献はきちんと収集整理すべきである。
 - ・2-アルキルシクロブタノン類
 - ・照射グルコース(糖)の変異原性
- *倍数性細胞の誘発:この問題については、インドのグループの照射小麦の報告に端を発し、その後の数名の研究者によって追試なども行われ、結果的に照射した小麦に倍数性細胞を誘発する可能性はないと結論されているが、一連の議論に関係する文献を整理しておく必要がある。

その他: 産業的な意味合いから香辛料、ハーブ類の毒性評価、化学変化については重点的にまとめておく必要がある。

以上の点を考慮して、第2章に示した文献の整理を実施した。

文献収集状況

調査期間を通し、以下の数の文献を収集した(総説も含まれる)。

国際機関・政府資料26件化学的安全性151件誘導放射能17件栄養学的適合性50件微生物学的安全性92件毒性学的安全性296件

WHOのレポートで引用している文献の全てについて、今回の調査の期間中に収集を完了していない。リファレンスにあげられた全ての文献を完全に収集することは難しい。が、毒性試験の文献の中で、重要度が高いと考えられるラルテックの実施した毒性試験の報告書について、一部はすでに国内所有しているが、より完全な形での収集を目指して、米国農務省の東部研究所に複写を依頼している。

また、FDA等の評価根拠に用いられている文献で未収集のものがある。この中で、重要と思われるのは、オランダ(CIVO)で実施された鶏肉の動物試験の報告書が挙げられる。これらについては、今後できるだけ入手努力をしておくことが重要である。

文献収集整理に関する今後の課題

検討会の中で、今後の調査やその結果の活用について以下の意見が提出された。

- * 照射食品に用いる容器包装に関する諸外国の規制、安全性に関する文献は、別途取りま とめる必要がある。
- * 上記に指摘した2-アルキルシクロブタノンの安全性研究、フランやアクリルアミドに 関する研究なども含め、文献の収集については、今後もフォローアップしてゆくことが 必要である。
- * 収集した文献の保管場所を確保し、1箇所にまとめておくことが重要である。 (今回の収集文献に関しては、当面、食品総合研究所で保管する。他機関にある文献や 将来にわたる保管方法については、関係機関との調整が必要である。)

3-2 照射食品の安全性評価に関する今後の課題

本調査では、放射線照射食品の安全性について、国際機関および各国政府がこれまでに 実施してきた安全性(健全性)評価結果に関する報告書の収集と評価手法の分析、および、 その評価に用いたオリジナルデータの収集と分類、整理を実施した。

文献収集と整理の結果を総括して、今後の安全性評価に際して必要な事項を考察した。 本調査における検討委員の意見をそれぞれの担当項目について述べる。

総論:照射食品に関する一般的な評価に関して

日本では、1967年から開始された原子力特定総合研究において、当時、放射線照射技術に対するニーズがあると判断された7品目を選定し安全性評価を実施した。その結果選定された7品目については「食品照射運営会議」の評価結果が提出され、安全性についての結論が出された。そして、1972年にはこの評価結果をもって食品衛生法においてバレイショの例外的な放射線照射が認められている。

日本が原子力特定総合研究を実施した時期は、IFIPのプロジェクト研究など1980年のJECFIに向けて国際的にも活発に研究が実施され、日本の(原子力特定総合研究の)安全性研究の成果も多数の国際会議の場で発表され討議された。そのような意味において、日本で過去に実施した安全性試験は国際的にも十分評価を受けてきたといえる。

本報告書の1章でのべたように、日本でバレイショ照射が許可された後、1980年に JECFIの結論が出され、さらに1983年のコーデックス規格が制定されたことで、 放射線照射食品に対する国際的な評価が定まった。欧米では、その後1986年~198 7年頃にかけて、EUの食品科学委員会やFDA、英国、カナダなどで放射線照射食品に 対する全般的な評価や評価基準の整備と体系的な規制改正などが実施され、ほとんどの機 関で、1980年のJECFIの結論を容認している。

その後、1997年にWHOは10kGyを越えた高線量の照射をした食品の安全性を宣言した。米国(FDA)、カナダ保健省(Health Canada)では新たな照射食品の安全性の評価の場において、WHOの照射食品の安全性に関する見解への意見表明がなされているほか、2001年になって新たに食品の放射線照射を認めたオーストラリア・ニュージーランドの評価においても、一般的な照射食品の安全性についてWHOの見解を基にした考察を実施している。また、EUの食品科学委員会は、2003年に、1986年の評価をリバイスして放射線照射食品に対するEUの立場を表明している。

一方、日本においては原子力特定総合研究を実施して以来の社会的変化に対応した食品 照射技術の必要性および照射食品の安全性に対する評価が、明確になされていない。 そこで、今後日本において新たに食品照射技術や放射線照射食品に対する評価の実施が求められる場合には、有識者からなる専門調査会などを開催し、まず、これまでにWHOやFDAの専門家が実施した評価において用いたデータの範囲や方法およびその結果を、十分に分析検討することが重要であると考えられる。その上で、一般に放射線照射食品の安全性をどのように評価するか、わが国としての評価手法を決定することが重要であると考えられる。(等々力節子)

誘導放射能

食品への放射線照射によって、食品の構成元素が放射性同位元素に変換される現象、すなわち食品の放射化による誘導放射能の過程は、放射線の種類とエネルギーに依存する。 考慮するべき最も重要な物理学的過程としては、高エネルギー光子による核異性状態への原子核の励起と光核反応、そして光核反応により生じた中性子の捕獲反応が挙げられる。

光核反応については、食品照射に用いられる放射線の内、コバルト60のガンマ線(最大エネルギー:1.33 MeV)およびセシウム137のガンマ線(同:0.66 MeV)は光核反応の閾値よりも十分に低いため、食品を構成する元素の放射化は起こらない。5 MeV以下のエックス線および10 MeV以下の電子線では、 2 H(閾値:2.23 MeV)、 13 C(同:4.95 MeV)、 17 O(同:4.14 MeV)および 18 O(同:8.04 MeV)の閾値を上回り、(γ , n)反応が起こりうる。反応によって生成する核種はそれぞれ 11 H、 12 C、 16 Oおよび 17 Oであるから、直接放射性核種が生成する訳ではないが、同時に発生する 2 次中性子が他の元素に捕獲されることによる放射化の問題は残る。

原子核の励起エネルギーが陽子や中性子の結合エネルギー以下の場合、原子核はいったん励起された後に再びガンマ線を放出して元の基底状態に戻る。多くの場合、この(γ , γ ')反応の過程は非常に短時間(1億分の1秒以下)で終了するが、 ^{111m}Cd (半減期:48.5 m)のように準安定準位をとり半減期が1分以上の核異性体もある。

以上のように、照射によって極微量の誘導放射能が生成する可能性はあるものの、その生成量が非常に少ないため、照射食品を直接測定してもその検出は不可能と思われる。実際、食品中に元々含まれているウラン系列、トリウム系列に属する核種や 40 K などの自然放射能と比較して、有意に増加したことを検出できた例はない。唯一、黒コショウ、白コショウの構成元素の中から Cu、Zn、Cd、Sn、Sb、Cs、Ba を選んで、その硫化物(Ba については $BaSO_4$)をコショウの重量の 2 0 %添加して 10 MeV 電子線で 100 kGy 照射した実験により、照射直後のガンマ線測定で 111m Cd や 137m Ba などの短寿命の核種のピークを見出したが、数日後には検出限界以下に減衰したとの報告がある。

従って、食品中の自然放射性核種の濃度との比較において、実用線量の照射により新たに生じる誘導放射能のレベルは極めて低いとされている。ただし安全性評価の観点では、 誘導放射能に対する文献情報の整理は常に重要な課題と考えられる。(小林泰彦)

化学的安全性

化学的な安全性については、本報告書前章で述べられているように、IFIP (国際食品照射プロジェクト)の研究において、様々な食品の主要成分についての基礎的な化学変化が研究され、ケミクリアランスの概念が形成された。ただし、WHOの2つの報告書に引用されている文献の多くは、主要食品成分の照射による化学変化について言及しており、特定の食品から照射によって生成する放射線分解生成物を網羅的に同定するような研究を実施した例は限られている。米国陸軍研究所が実施した照射鶏肉と照射ベーコンの揮発成分に関してのみ言及した研究がその代表的なものである。

本調査においては時間的な制約もあり、食品の種類を特定して生成する放射線分解生成物を総覧して評価出来るような収集情報の整理が完了していない。そこで、今後の評価に際しては、食品別に照射によって生成する化学物質の種類と量について、今一度、整理しなおす必要があるだろう。その際、IFIPや米国陸軍等の研究が終了した1980年初頭より後の分析化学的手法の発展や、種々の化学物資に対する毒性や発ガン性に関する研究情報の蓄積を考慮することが重要である。特にホルムアルデヒドのようなアレルギーを誘発する可能性の高い化合物や、ベンゼン、キシレン、トリハロメタン、過酸化水素など発ガン性物質については、現段階で化学的安全性の観点で問題とされる量が照射食品中に生成するとの報告はないが、消費者等からの懸念に答える意味でも、これらの物質の生成量を食品ごとに明確にしておく必要があるだろう。

さらに今日では、かつて認識されなかった食品中の成分間反応に由来する問題が食品の加熱処理などにおいても議論されている。放射線によって高分子性食品成分は分解や重合するが、これらの不揮発性反応生成物とアレルギー性、アクリルアミドの生成、フランの生成等との関連において、さらに安全性を確認調査することも必要だろう。 (宮原 誠)

栄養学的適合性

今回の調査で明らかになったように、照射によって三大栄養素はほとんど影響を受けないと考えられるが、微量成分の喪失は十分に配慮する必要がある。食のパターンは個性があり、調理加工の方法も異なるので国民栄養調査のような画一的な数字を用いて、どのビタミンがどの食品に依存しているかを明確に知ることは困難だろう。乳幼児等のようにビタミン不足が大きな影響をもつ層もあることを配慮しつつ、今後照射食品の品目拡大の要求に応えるためには、放射線量に応じて食品ごとに、どの程度ビタミンが減少するのか的確に把握する必要があるだろう。そして、照射の対象とされる食品の(日本の)食事全体に対する摂取割合を推定する方法を検討し、その食品の照射によるビタミン損失の影響を評価することが必要である。(宮原 誠)

微生物学的安全性

微生物学的な安全性については、照射による毒素産生能の変化や突然変異といった一般的に想起される疑問点において、実用的な条件で処理した照射食品の安全性を否定するような研究は現在のところ見あたらない。

今後、特定の食品についてのリスク評価が実施される場合には、第一にその食品の放射線照射がどのような(微)生物学的ハザードの軽減を目的としているのか、また、その目的達成のために必要な照射の条件を、処理の前後の流通、貯蔵方法等の条件もふくめて明確にすることが必要であろう。そして、評価の対象となる食品に潜在する微生物の種類(対象食品における微生物叢)を検討し、想定される照射条件においてそれらの微生物が残存して貯蔵期間中に増殖する可能性について、特にボツリヌス菌のような危険性のある細菌に留意して、検討する必要がある。最終的に、食品の微生物叢全体に与える照射の影響と目的とする(微)生物学的効果とのバランスを総合的に判断することが重要である。

(小林泰彦)

一般・生殖毒性

毒性学的安全性に関しては、変異原性試験、中・長期毒性試験、発がん性試験、生殖試験などの諸試験を網羅した膨大な数の毒性試験が行われている。これらの膨大な試験結果に対する毒性学的安全性評価は世界保健機関(WHO)や米国食品医薬品庁(FDA)等の各国政府当局により行われている。FAO/IAEA/WHO食品照射の健全性に関する合同専門家委員会は、毒性学的影響を示唆した試験結果についても評価したうえで、放射線照射した食品にヒトの健康障害を引き起こす可能性を示す証拠は見られないとの見解を取っている。

一方、照射された食品の一部には過酸化物の増加なども既知のことである。また、2-アルキルシクロブタノンなどの放射線特異的分解物の生成も明らかになっている。しかし、照射食品そのものを添加した飼料を与えた動物を用いた種々の毒性試験から、これらの物質が原因物質とした毒性証拠は現時点では、検出されてない。なお、シクロブタノンの問題については、今後も積極的に情報を収集していく必要があると考える。

わが国の放射線照射食品に対する安全性評価手順や方法は明確になっていない。そこで、 有識者による専門員会などを組織し、第一に、国際機関やFDAでの評価内容を本調査で 収集した資料などと併せて十分に分析・検討することが重要と考える。その上でわが国の 放射線照射食品に関する安全性に関する基本的な考えや評価手順を整理することが重要と 考える。(関田清司)

遺伝毒性

照射した食品によって遺伝毒性が発現するか否かについては、発がん性や子孫への影響することを考慮すると極めて重要な問題である。前章にも詳述されているように、これまで照射ジャガイモや小麦粉について陽性の報告があり、これらの報告に対する確認実験もなされている。

照射バイレショでは、Kopylov ら(1972)により、そのエタノール抽出物がマウスにおい て優性致死を誘発するとの報告がなされた。照射によって毒物(ラジオトキシン)ができるた めと説明されたが、1群あたりの雄マウスも5頭と少なく(通常は、15~30頭)、ま た、マウスの系統も定かでない事から、試験条件に問題があったと解釈されている。その 後、彼らは加熱貯蔵中にラジオトキシンの毒性は消滅する事を報告し、分析化学的な方法 でも検出できなかったとしている。一方、IFIP(International Project in the Field of Food Irradiation, Karlsruhe, Germany) がカナダに依頼(Bio-Research Laboratories Ltd.)して行った 試験でも陰性の結果が得られている。わが国(Shibuya ら 1992)では、照射や抽出条件等を Kopylov の論文に合わせ、各1群30頭の雄マウスを用いる本格的な優性致死試験が実施さ れたが結果は陰性であった。小麦による倍数性細胞の誘発に関しては、Bhaskaram(1975)の 報告では栄養不良の子供達に照射直後の小麦を食べさせた場合、リンパ球の倍数性細胞が 6週目にピークになり、その原因として、貯蔵すると分解するようなコルヒチン様の物質 がガンマ線照射により生成される可能性をあげている。Vijayalaxmi (1975) らは、0.75kGy の放射線を照射した小麦を含む飼料をマウス、ラット、サルなどに長期間与えると倍数性 細胞を誘発するという報告をしている。一方、Renner(1977)は照射後3日以内に照射飼料を 与えた場合、非照射群に比べて倍数性細胞が増加し、照射6週間保存した後に飼料を与え た場合にはその影響がないことを報告している。わが国でも、チャイニーズハムスターや ラットにおいて、ポリプロイドや小核誘発を指標に調べられたが、全て陰性の結果であっ た。

倍数性細胞の誘発に関しては、DNA切断を基点とする染色体の構造異常誘発の場合と異なり、紡錘体の形成に関わるチュブリンタンパクが標的とされている。倍数性細胞の存在は肝細胞では通常の状態でも観察され、また、用いる細胞株によりその頻度が高くなることも報告されており、倍数性細胞のガン化に果す役割やその生物学的な意義が十分に解明されている訳ではない。

近年論点となっている2-アルキルシクロブタノン類に関しては、遺伝毒性に関してエンドポイントの異なる試験系において多数の報告はない。現在得られているデータでは、エームス試験の結果がすべて陰性であり、in vivo コメットアッセイ(ラット結腸)や酸化的DNA障害を見る試験で陽性となっている。後者の二つの試験系はごく初期のDNA障害をみる試験系であり、修復可能な障害も検出されてくる事から、この結果をもって遺伝毒性ありとはいえない。よって、遺伝毒性の評価をするには培養細胞を用いる染色体異常試

験や突然変異試験など、より高次の試験系のデータが必要とされる。特に、in vivo コメットアッセイに関しては、標本作成法によっては臓器によっては自然切断が生じ再現性が得られないとの報告があり、試験法自体のバリデーションが必要とされている。また、プロモーターとしての可能性に関しては、形質転換試験や代謝共同試験など、それを示唆するin vitro 試験データもあわせた総合的な評価がなされるべきであろう。(田中憲穂)