

### 3. わが国における食品への放射線照射に係るニーズ及び理解を把握するための調査

#### 3.1 調査方法

我が国における食品への放射線照射に係るニーズを把握するため、一般消費者・食品関連事業者等・学会等の3者に対して食品への放射線照射に関するアンケート調査を行った。

一般消費者に対してはWEBアンケートを、事業者等・学会等については調査票（紙媒体）によるアンケートを採用した。

WEBアンケートでは、WEBアンケートシステムに登録している一般消費者モニターの中から、国勢調査における地域・年代・性別比にあわせて抽出した対象者（全国・全年齢）に電子メールで回答を依頼し、自宅のパソコン端末からアンケートに回答してもらった。

事業者等については、「(社)日本輸入食品安全推進協会正会員」「(財)食品産業センター会員」を対象とした。ただし、通関時の検査業や倉庫業は対象外とした。また、上記2団体の会員ではないが、香辛料に対する放射線照射の許可要望を行っている全日本スパイス協会に対しても、事業者として重要な位置を占めると考えられるため、調査対象とした。

学会等については、放射線分野の学会、食品衛生分野の学会、生物分野の学会、薬学分野の学会など、26学会を対象とした。

次ページの表に調査方法の概要を示す。

表 3-1 調査方法一覧

	一般市民	食品関連事業者等	学会等
対象	<ul style="list-style-type: none"> <li>一般市民(インターネットアンケートシステムに登録している消費者モニター)</li> <li>サンプリングに偏りが生じないように、国勢調査による地域ブロック別、年齢構成別、性別の人口比率に合わせて、全国のモニター約30万人から対象者を抽出。地域ブロックは、北海道、東北、関東、中部、近畿、中国、四国、九州・沖縄、年齢層は、20歳未満、20代、30代、40代、50代、60歳以上の年齢層とした。</li> <li>抽出された対象者に電子メールで回答を依頼し、依頼されたモニターがPC端末を用いてアンケートに回答した。回答数が目標の3,000に達した時点で調査を終了した。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>(社)日本輸入食品安全推進協会正会員(94社:通関時の検査業や、倉庫業については除く)</li> <li>(財)食品産業センター会員(189社:(社)日本輸入食品安全推進協会正会員との重複は除く)</li> <li>許可要望団体(全日本スパイス協会)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>放射線分野、食品衛生分野、生物分野、薬学分野等の学会・団体26団体</li> <li>日本環境変異原学会、(社)日本原子力学会、(社)日本食品衛生学会、日本食品化学学会、(社)日本食品科学工学会、日本食品工学会、日本食品照射研究協議会、日本トキシコロジー学会、日本放射化学会、日本放射線安全管理学会、日本放射線影響学会、日本放射線化学会、日本包装学会、日本保健物理学会、その他12団体(五十音順)</li> </ul>
調査方法	インターネット調査	郵送留置法	郵送留置法
送付日	平成20年2月6日	平成20年2月15日	平成20年2月8日
締切日	平成20年2月7日	平成20年2月29日(集計は平成20年3月11日返送分まで)	平成20年2月29日
アンケート項目	<ul style="list-style-type: none"> <li>◇回答者プロフィール <ul style="list-style-type: none"> <li>・年齢</li> <li>・職業</li> <li>・同居家族人数</li> <li>・子供の有無</li> </ul> </li> <li>◇食への関心 <ul style="list-style-type: none"> <li>・食生活スタイル</li> <li>・食品に関する関心事項(栄養・価格・安全性・・・)</li> <li>・食の安全に関する情報源</li> </ul> </li> <li>◇放射線・照射食品の認知 <ul style="list-style-type: none"> <li>・放射線利用状況の認知</li> <li>・食品への放射線照射の有効性認知</li> <li>・照射食品への批判に対する認識</li> </ul> </li> <li>◇照射食品への判断 <ul style="list-style-type: none"> <li>・照射食品の購入意思</li> <li>・照射食品の導入賛否</li> <li>・照射食品導入の条件</li> </ul> </li> <li>◇照射食品に対する要望 <ul style="list-style-type: none"> <li>・照射食品の管理施策(表示義務等)の必要性</li> <li>・照射食品に関して欲する情報</li> <li>・その他自由意見</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◇回答組織プロフィール <ul style="list-style-type: none"> <li>・業種分類</li> <li>・事業規模</li> <li>・業務内容(流通、販売、加工等)</li> <li>・食品の入荷方法</li> <li>・輸入食品の取り扱い有無</li> <li>・放射線の利用有無</li> </ul> </li> <li>◇照射食品の有効性認知 <ul style="list-style-type: none"> <li>・食品への放射線照射の有効性認知</li> </ul> </li> <li>◇照射食品導入への判断 <ul style="list-style-type: none"> <li>・照射食品の導入賛否</li> <li>・照射食品導入の条件</li> <li>・照射食品導入への危惧</li> </ul> </li> <li>◇照射食品利用希望 <ul style="list-style-type: none"> <li>・照射食品利用希望の有無</li> <li>・利用を希望する照射食品の内容</li> <li>・照射食品を利用する際の条件(自社で照射)</li> <li>・照射食品を利用する際の条件(他からの入荷・利用)</li> </ul> </li> <li>◇自由意見 <ul style="list-style-type: none"> <li>・その他自由意見</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◇食品への放射線照射に関する活動 <ul style="list-style-type: none"> <li>・過去に行われた議論</li> <li>・公表活動の有無</li> </ul> </li> <li>◇自由意見 <ul style="list-style-type: none"> <li>・その他自由意見</li> </ul> </li> </ul>

### 3.2 一般消費者を対象とした意識調査

#### (1) 回答者属性

消費者アンケートの回答数は、3015件であった。年齢別に見ると、「50代」が特に多く約4割、その他の年代は概ね1割前後とほぼ同じであり、50代以上の高齢層からの回答で過半数を占めた。男女比については、極端な差はなかった。

職業別に見ると、「会社員・公務員等の常勤」が最も多く3割強。次いで「専業主婦・専業主夫」であった。

#### (2) 主要な調査結果

##### ○技術認知

食品に放射線を照射することについては、安全性の確保を行った上で、以下の項目の目的等で利用されています。あなたはこれらの目的で、食品へ放射線照射を行う技術があることを知っていますか。それぞれ最も当てはまるもの一つずつお選び下さい。

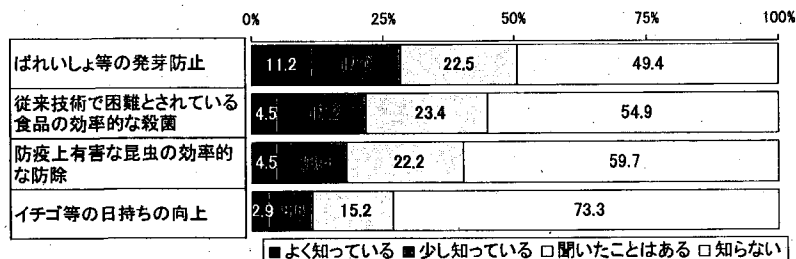


図 3-1 食品への放射線照射技術の認知度 (n=3,015)

食品へ放射線を照射する技術については、全ての目的に共通して、「知らない」と回答した人の方が多く概ね半数を上回っている。その中で「知っている」（「よく知っている」と「少し知っている」の合計）をみると、最も認知度が高かったものは、「ばれいしょ等の発芽防止」で28.2%であった。次いで「従来技術で困難とされている食品の効率的な殺菌」（21.7%）、「防疫上有害な昆虫の効率的な防除」（18.1%）の順であった。

##### ○我が国への導入賛否

科学的知見に基づく安全性評価を行った上で、有効性が確認された食品への放射線照射技術を我が国で導入することについて、あなたはどのように思いますか。最も当てはまるもの一つだけお選び下さい。

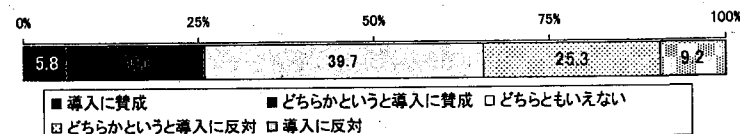


図 3-2 食品への放射線照射技術の導入について (n=3,015)

「どちらともいえない」が約4割と最も多く、「反対」「どちらかという反対」の合計は約35%であった。「賛成」「どちらかといえば賛成」の合計は約25%程度であった。

##### ○懸念事項

照射食品の安全性に関して、以下の項目のような意見もあります。これらの意見についてどのように思いますか。それぞれ最も当てはまるもの一つずつお選び下さい。

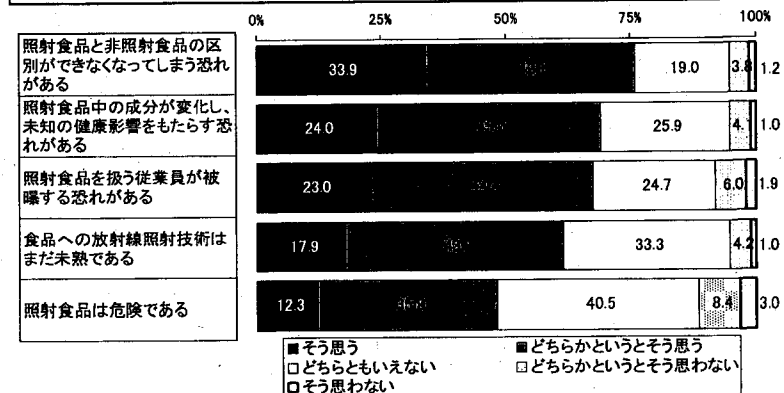


図 3-3 照射食品の安全性に関する意見 (n=3,015)

照射食品の安全性に関して、「そう思う」、「どちらかというと思う」の割合をみると、「照射食品と非照射食品の区別ができなくなってしまう恐れがある」が最も多く76.0%であった。次いで「照射食品中の成分が変化し、未知の健康影響をもたらす恐れがある」（69.0%）、「照射食品を扱う従業員が被曝する恐れがある」（67.4%）の順であった。「照射食品は危険である」との回答は48.2%となっている。

○不足情報・自由意見

食品への放射線照射技術や照射食品に関して不足していると思われる情報、入手したいとお考えの情報があれば、ご記入下さい。また、食品への放射線照射技術や照射食品に関して、その他ご意見があれば、自由に記述して下さい。

以下に主な意見を示す。

- 「不足していると思われる情報・入手したいと考える情報」に関する主たる意見
  - ・ 照射食品の科学的安全性に関する情報
  - ・ 照射食品と人体影響に関する情報（特に長期摂取の安全性）
  - ・ 照射食品の摂取に伴う被害等の事例
  - ・ 照射食品に関する海外の状況
  - ・ 照射食品が現在、我が国で流通しているのかどうか
  - ・ いつ導入するのか
  - ・ どのような食品に照射するのか
  - ・ どの程度の量の照射食品が流通するのか
  - ・ どのようなメリット・デメリットがあるのか
  - ・ 必要があるのか
  - ・ 管理や責任体制をどのようにするのか
  - ・ 照射食品のどこに表示等がされるのか
  - ・ どこで情報を入手できるのか
  - ・ レントゲンと比較してどうなのかといった分かりやすい情報提供を望む
- その他意見
  - ・ 照射食品というものを初めて知った
  - ・ よくはわからないが、放射線と聞くと怖い
  - ・ 食品は自然なままで食するのが良い
  - ・ 表示義務を課すべき
  - ・ 情報不足のため、周知・広報を進めるべき（政府・企業・マスコミ一体の広報）
  - ・ 情報をもっと欲しい
  - ・ もっと知りたい
  - ・ 現状では行政・企業の情報は信用できない
  - ・ 導入する場合は安全が大前提である
  - ・ 偽装問題等あるなかで厳重な管理が求められる
  - ・ TV等の公開でもっと議論して欲しい
  - ・ 照射は国内で行うべきである
  - ・ 照射食品かなんて考えてもいなかったが、ギョウザの事件で日本のギョウザ製造メーカーが放射線で異物をチェックしているのを知った

3.3 食品関連事業者等を対象とした意識調査

(1)回答組織属性

回収票数は133件（サンプル数は139件）、回収率は46.8%であった。また「民間企業」の回答が約7割を占め、「団体・協会」の回答は3割弱であった。

● 回収票数：133件\*（回収率46.8%）

※会員企業7社分の回答票を送付した団体が1件あるため、サンプル数を139件とした。

● 有効票数：139件

表 3-2 有効回答票の構成比

全体	民間企業	団体・協会	無回答
139	97	37	5
100%	69.8%	26.6%	3.6%

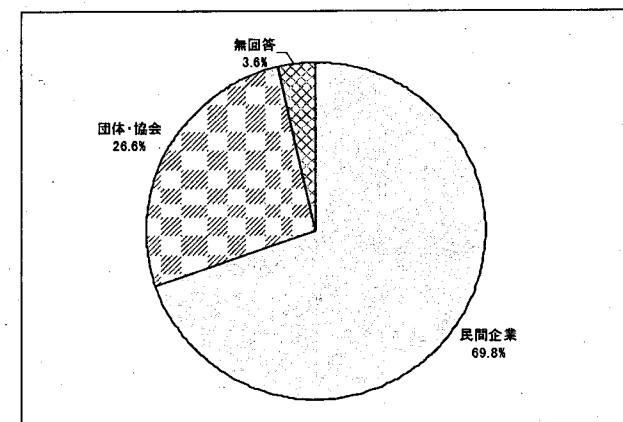


図 3-4 有効回答票の構成比

(2)主要な調査結果

食品関連事業者等のアンケート結果のポイントは以下の通り。

○放射線照射技術導入の意向

スパイス（香辛料）について、放射線照射による殺菌が有効であるとの主張がありますが、我が国において科学的知見に基づく安全性の評価を行った上で、有効性が確認された食品への放射線照射技術を導入することについてどのようにお考えですか。最も当てはまるもの一つだけに○をつけて下さい。

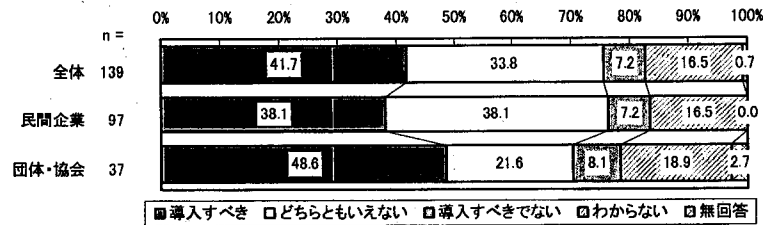


図 3-5 放射線照射技術導入の意向

全体では、食品への放射線照射技術を「導入すべき」と回答した割合は41.7%と最も多くなっている。一方で、食品への放射線照射技術を「導入すべきでない」と回答した割合は7.2%であり、意向が「決まっていない」（「どちらともいえない」と「わからない」の合計）と回答した割合は約5割程度である。

○放射線照射技術導入に必要な条件

設問6で「1. 導入すべき」を選択した方にお尋ねします。放射線照射技術を導入するためには、どのような条件が必要であるとお考えですか。貴社（貴団体）の考え方に当てはまるものに○をつけて下さい。（複数回答）

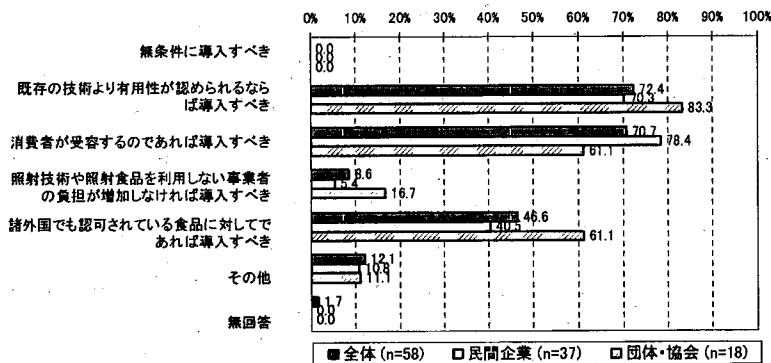


図 3-6 放射線照射技術導入に必要な条件

全体では、放射線照射技術を導入するためには、「既存の技術より有用性が認められるならば導入すべき」「消費者が受容するのであれば導入すべき」の2項目が高く約7割である。次いで、「諸外国でも認可されている食品に対してであれば導入すべき」（46.6%）であり、「無条件に導入すべき」との回答は0%であった。

○放射線照射技術を導入すべきでないとする理由

設問6で「2. 導入すべきでない」を選択した方にお尋ねします。その理由のうち、貴社（貴団体）の考え方に当てはまるものに○をつけて下さい。（複数回答）

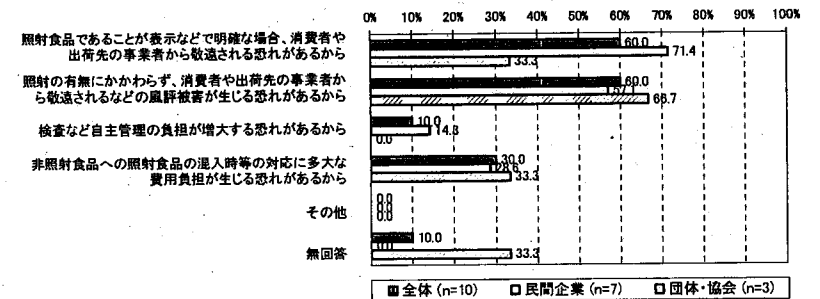


図 3-7 食品への放射線照射技術を導入すべきでないとする理由

一方、懸念事項としては、「消費者や出荷先からの敬遠」「風評被害」が特に強く、また「混入時事故への対応」なども挙げられた。

○放射線照射を行いたい、取り扱いたい食品の有無

貴社（貴団体）において放射線照射を行いたいと思っている食品、あるいは利用・取り扱いを行いたいと考えている照射食品はありますか。当てはまるもの一つだけに○をつけて下さい。

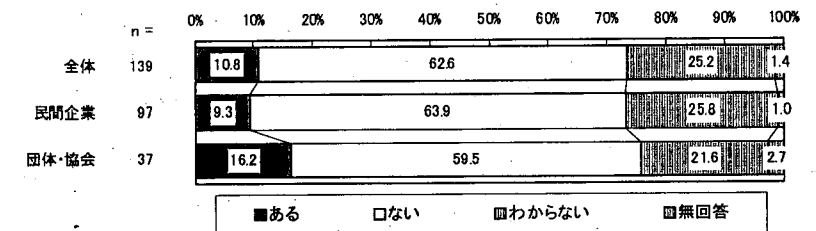


図 3-8 放射線照射を行いたい、取り扱いたい食品の有無

食品への放射線技術の導入には4割ほどが賛成しているが、実際に放射線照射を行いたい、あるいは取扱いを行いたいと考えている食品があるのは全体の1割程度である。放射線照射の利用意向が最も高い食品は、「香辛料」であった。

表 3-3 放射線照射を行いたい、取り扱いたい具体的食品名

		食品の種類 (品名)	照射を行う目的 (期待する効果)	照射を行う食品の用途
民間企業	1	香辛料	殺菌	加工用原材料
	2	香辛料	殺菌	加工用原材料
	3	香辛料	殺菌	加工用原材料
	4	香辛料	殺菌	加工用原材料
	5	香辛料	-	加工用原材料
	6	スパイス	殺菌	加工用原材料
	7	スパイス	殺菌	加工用原材料
	8	小麦	殺菌	加工用原材料
	9	米	殺菌	加工用原材料
	10	米	殺菌	加工用原材料
	11	そば	殺菌	加工用原材料
	12	大豆	殺菌	加工用原材料
	13	とうもろこし	殺菌	加工用原材料
	14	ハーブ類	殺菌	加工用原材料
	15	ばれいしょ	殺菌	加工用原材料
	16	フルーツソース等	殺菌	加工用原材料
団体・協会	1	果汁	殺菌	両方
	2	香辛料	殺菌	加工用原材料
	3	香辛料	殺菌	加工用原材料
	4	香辛料	殺菌及び殺虫	両方
	5	食肉	殺菌	両方
	6	ばれいしょ	発芽防止	直接消費用

～ (品名 50 音順 ただし「スパイス」は香辛料と同順とした)

### 3.4 学会等の関連団体を対象とした調査

#### (1) 回答組織属性

放射線分野、食品衛生分野、生物分野、薬学分野等の 26 学会・団体に対して意見照会を行ったところ、13 団体 (回答率 50%) から回答を得た。

#### (2) 主要な調査結果

##### ○食品への放射線照射に対する活動

食品への放射線照射技術の安全性または放射線照射がなされた食品 (以下「照射食品」という。) の安全性について、どのような議論がなされましたか。議論の内容及び見解について記載願います。

本設問に対しては 9 件の有効回答があった (原文のまま)。

- 照射食品の安全性についての議論はない。
- 検知法についての議論があった。
- 協賛で研究発表会を行い、消費者を含めた議論を行った。その際、企業・研究者による説明により、消費者の不安が大きく拭かれるとの意見があった。
- 学会誌・学術大会において研究発表されている。
- シンポジウムにおいて講演を行っている。
- 本会主催のセミナーにおいてテーマとして取り上げた。ただし、安全性に関する議論ではなく有用性や線量管理・検知などに係る議論であった。
- 学会やシンポジウムで多く扱っているが、本会としての統一の見解があるわけではない。ただし、適切な管理下で合目的に照射された食品の健康被害の可能性は低いと考えている。また、施設の安全性や環境影響についても問題はないと判断している。
- 複数回の学術大会においてテーマとして扱った。また、研究成果発表報告もしている。
- 関心を持っており、複数回の学術大会においてテーマとしている。

##### ○自由意見

食品への放射線技術又は照射食品に関する意見を聞いたところ、以下の通り、8 件の有効回答があった (原文のまま)。

- 放射線照射による変異物のリスクは極めて低く、アフラトキシン等の極めて強い遺伝毒性・発がん性を有するカビ毒等を抑える有効な手段になりうると考えており、その研究に貢献していきたい。また危険性・安全性・有効性をバランスよく国民に啓蒙していくことも本学会の使命と考えている。
- 100%安全と言える食品は存在せず、危険要因の種類と量に基づいて定量的にリスクが評価されるべきである。WHO 等の国際機関ですでに照射食品の安全性について十分データがあると結論しており、日本でも国際的な見解に基づいて政策的判断をすべきである。現状では海外からの照射食品が誤って輸入されてしまう

可能性が排除できず、そのような場合に正当なリスク評価がされていないと国民・事業者に必要な混乱等をもたらすことになる。リスクアナリシスの考え方を基本に、食品照射の法規制の可否の検討に早急に着手することが重要と考える。

- じゃがいもの放射線照射に対し、児童の保護者から問題視されたことがある。保護者の安全性に関する理解度が得られなければ今後も使用は難しいと考える。
- 既に国内に出回っていると思われるので基準を決めた方が良いのではないか。
- (回答者の個人的意見と断った上で) 照射食品の安全性には、「放射線照射による食品そのものの変異影響」と「照射したことによる変化から毒素などが産生される影響」の二種類があると考えている。後者については事前チェックが可能であろうが、前者についてはまだ不明部分等があると考えている。(注:原文のままであるため、ここで述べられている毒素の内容は不明)
- (回答者の個人的意見と断った上で) 照射食品の最大の課題は「科学的に安全とされていることをいかに公衆に理解いただくか」というリスクコミュニケーション問題であろう。食品照射の知識普及活動にあたっては、他の健康情報の正確性を確保するためにも関連諸学会との連携をとることを希望し、またそのような活動には協力していきたい。

### 3.5 わが国における食品への放射線照射に係るニーズのまとめ

前節までの調査結果を踏まえると、わが国における食品への放射線照射に対する意識状況については、おおむね次のようにまとめられる。

表 3-4 食品への放射線照射に対する意識状況

	照射食品の認知	照射食品の導入賛否	照射食品の利用意向
一般消費者	ほとんど認知されていない	賛否はほぼ均衡 (態度保留意見が最多)	購入にはやや否定的
事業者	認知はされている	賛成	一部の企業・団体において 利用意向あり
学会・関連団体	認知はされているが、メイン テーマとしての認知は少ない	賛否なし	

食品を実際に扱う食品事業者の中には、食品への放射線照射について、風味を損なわない・密閉後に行えるなど有効な殺菌の手段として将来的に利用意向を持っている事業者がいることがわかった。ただし、その割合は有効回答票のうち、民間企業で1割程度である。利用意向の最も多かった食品としては香辛料が特に多く、その他は少数であった。これらの企業・団体は照射食品の有効性から、照射食品の利用意向を持っているが、実際の利用にあたっては消費者の理解が前提であるとの認識を示している。

上記の利用意向をもった事業者や関連団体も含めた事業者全体の傾向としても、照射食品の導入自体については、賛成が約4割、反対が約1割と賛成傾向が強い。賛成理由としては、照射食品の有効性が挙げられる他、海外で導入実績があることが挙げられる。

対して反対理由としては消費者や取引先からの敬遠・風評被害や、混入事故等への対応等が挙げられた。なお、表示の義務化等や検査体制の義務化などについては他の反対要因に比して必ずしも高くはなく、風評等のネガティブな影響が回避できるのであればそのような運用体制を必ずしも否定はしていないと考えられる。

上記のように、事業者にとっては消費者の理解が重要であり、導入に当たっては消費者の理解が前提に挙げられているが、その消費者の状況に目を向けると、そもそも「照射食品」自体をほとんど認知していない状況である。放射線の利用自体の認知はあるものの、食品への照射については極めて認知度が低い。そのため、照射食品に対する導入・購入の賛否について、いずれも明確な賛成・明確な反対は少なかった。しかしながら、傾向としては導入に対しては中立的、購入に対しては否定的であるといえる。

また、照射食品の導入に当たっては、照射施設の適切な管理や、照射食品であることの実示義務等、国が管理していくことが消費者から求められている。

しかし、何よりも消費者が不安に考えているのは照射食品に関する情報の圧倒的不足であり、照射食品の安全性、危険性、有効性、必要性や海外における状況など、照射食品に関する情報の提供について多くの要望があった。なお、照射食品に関する情報の提供について、一般消費者を対象としたアンケートで、レントゲンとの比較など一般市民に理解しやすい情

報提供を求める声もあった。

一方、学会については照射食品を主たるテーマとして扱っている団体は多くないと考えられるが、一般消費者に対する適切な情報提供が重要であるとの意見を有する学会もあった。

これら3者の照射食品に関するニーズをまとめると、概ね表 3-5 となる。ただし、あくまで3者の全体的傾向を示したものであり、個々の企業・団体、個人ではそれぞれ異なっていることには留意すべきである。

表 3-5 照射食品に関する主たるニーズ

	主たるニーズ
一般消費者	<ul style="list-style-type: none"> <li>照射食品に関する種々の情報</li> <li>一般消費者にわかりやすい情報提供方法</li> <li>照射食品に対する国の管理</li> </ul>
事業者	<ul style="list-style-type: none"> <li>特に香辛料に対する照射</li> <li>一般消費者の理解</li> <li>風評被害の防止</li> </ul>
学会・関連団体	<ul style="list-style-type: none"> <li>一般消費者へのバランスのとれた情報提供</li> </ul>

最後に、この3者の照射食品に対する認知状況と賛否状況及びそれぞれのニーズを図 3-9 に示す。

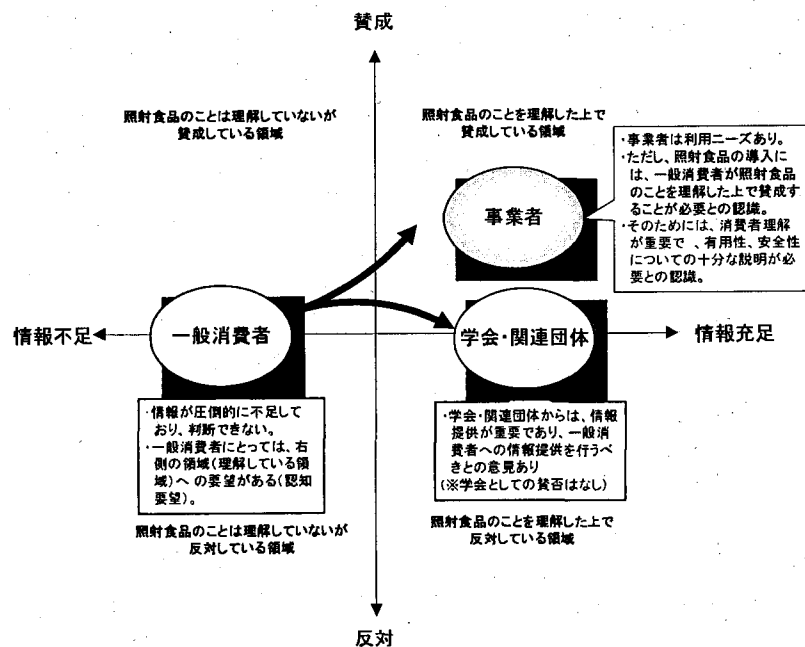


図 3-9 3者の意識状況とニーズ分類図

#### 4. リスクプロファイルの作成

##### 4.1 リスクプロファイル原案作成の考え方

WHO、IAEA 等の国際機関や米国 FDA、EC 等の諸外国の規制当局の作成したリスク評価に関する文書、国内外の科学技術文献を調査し、放射線照射食品のリスクプロファイル原案を作成した。リスクプロファイルの項目は以下の通り。

1. 照射食品の安全性に係るリスク
  - 1.1 有害物質等の生成 (過酸化化物、放射線分解生成物、アルキルシクロブタノン)
  - 1.2 微生物の増殖 (マイコトキシン産生菌、放射線抵抗微生物)
  - 1.3 誘導放射能の生成
2. 照射食品の栄養適性、加工適性、保存性に係るリスク
  - 2.1 栄養成分の変性 (栄養価等の損失、食品の加工適性・食味・風味への影響)
  - 2.2 食品包装への影響

##### 4.2 アルキルシクロブタノンに関するリスクプロファイル

1990年代後半より注目されている、放射線特異的分解生成物のアルキルシクロブタノンについて、表形式でまとめた。



アルキルシクロブタンンに関するリスクプロファイルシート

項目	内容																									
1. ハザード (危害要因)	①ハザードの分類	照射食品の安全性に係るリスク 有害物質等の生成																								
	②ハザードの名称	アルキルシクロブタンン																								
2. 注目されるようになった経緯	1970年代に放射線照射によって特異的に生成する放射線特異的分解生成物 (Unique Radiolytic Product, URP) として2-アルキルシクロブタンン (以下2-ACB) の存在が確認された <sup>1)</sup> 。その後、1990年代後半にドイツ国立栄養生理学研究所の研究グループがコスメットアッセイ (個々の細胞における DNA 損傷を検出する試験法) を用いて、本物質が遺伝毒性を有する可能性を示唆した <sup>2)</sup> 。																									
	科学的特性 2-ACB は、食品中の脂質であるトリグリセリドの分解によって生成し、前駆体となる脂肪酸の種類によって、2-ドデシルシクロブタンン、2-テトラデシルシクロブタンンなど、各種の2-ACB となる (表1参照)。アルキルシクロブタンンの構造と生成経路は図1の通りである <sup>3)</sup> 。																									
<p style="text-align: center;">表1 食品中の脂質から生成する2-ACBの例</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>前駆体 (脂肪酸)</th> <th>名称</th> <th>R</th> <th>略称</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>パルミチン酸 (C16:0)</td> <td>2-Dodecylcyclobutane (2-ドデシルシクロブタンン)</td> <td>(CH<sub>2</sub>)<sub>11</sub>CH<sub>3</sub></td> <td>2-DCB</td> </tr> <tr> <td>パルミトリン酸 (C16:1)</td> <td>2-Dodec-5'-enylcyclobutane (2-ドデセニルシクロブタンン)</td> <td>(CH<sub>2</sub>)<sub>5</sub>CH=CH(CH<sub>2</sub>)<sub>9</sub>CH<sub>3</sub></td> <td>2-DeCB</td> </tr> <tr> <td>ステアリン酸 (C18:0)</td> <td>2-Tetradecylcyclobutane (2-テトラデシルシクロブタンン)</td> <td>(CH<sub>2</sub>)<sub>13</sub>CH<sub>3</sub></td> <td>2-TCB</td> </tr> <tr> <td>オレイン酸 (C18:1)</td> <td>2-Tetradec-5'-enylcyclobutane (2-テトラデセニルシクロブタンン)</td> <td>(CH<sub>2</sub>)<sub>9</sub>CH=CH(CH<sub>2</sub>)<sub>9</sub>CH<sub>3</sub></td> <td>2-TeCB</td> </tr> <tr> <td>リノール酸 (C18:2)</td> <td>2-Tetradecadienylcyclobutane (2-テトラデカジエニルシクロブタンン)</td> <td>(CH<sub>2</sub>)<sub>5</sub>CH=CHCH<sub>2</sub>CH=CH(CH<sub>2</sub>)<sub>8</sub>CH<sub>3</sub></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>このほか、ミリスチン酸からは2-decylcyclobutane (2-decyl-CB) が生成する。 (出典：文献4をもとに一部情報を追加)</p>			前駆体 (脂肪酸)	名称	R	略称	パルミチン酸 (C16:0)	2-Dodecylcyclobutane (2-ドデシルシクロブタンン)	(CH <sub>2</sub> ) <sub>11</sub> CH <sub>3</sub>	2-DCB	パルミトリン酸 (C16:1)	2-Dodec-5'-enylcyclobutane (2-ドデセニルシクロブタンン)	(CH <sub>2</sub> ) <sub>5</sub> CH=CH(CH <sub>2</sub> ) <sub>9</sub> CH <sub>3</sub>	2-DeCB	ステアリン酸 (C18:0)	2-Tetradecylcyclobutane (2-テトラデシルシクロブタンン)	(CH <sub>2</sub> ) <sub>13</sub> CH <sub>3</sub>	2-TCB	オレイン酸 (C18:1)	2-Tetradec-5'-enylcyclobutane (2-テトラデセニルシクロブタンン)	(CH <sub>2</sub> ) <sub>9</sub> CH=CH(CH <sub>2</sub> ) <sub>9</sub> CH <sub>3</sub>	2-TeCB	リノール酸 (C18:2)	2-Tetradecadienylcyclobutane (2-テトラデカジエニルシクロブタンン)	(CH <sub>2</sub> ) <sub>5</sub> CH=CHCH <sub>2</sub> CH=CH(CH <sub>2</sub> ) <sub>8</sub> CH <sub>3</sub>	
前駆体 (脂肪酸)	名称	R	略称																							
パルミチン酸 (C16:0)	2-Dodecylcyclobutane (2-ドデシルシクロブタンン)	(CH <sub>2</sub> ) <sub>11</sub> CH <sub>3</sub>	2-DCB																							
パルミトリン酸 (C16:1)	2-Dodec-5'-enylcyclobutane (2-ドデセニルシクロブタンン)	(CH <sub>2</sub> ) <sub>5</sub> CH=CH(CH <sub>2</sub> ) <sub>9</sub> CH <sub>3</sub>	2-DeCB																							
ステアリン酸 (C18:0)	2-Tetradecylcyclobutane (2-テトラデシルシクロブタンン)	(CH <sub>2</sub> ) <sub>13</sub> CH <sub>3</sub>	2-TCB																							
オレイン酸 (C18:1)	2-Tetradec-5'-enylcyclobutane (2-テトラデセニルシクロブタンン)	(CH <sub>2</sub> ) <sub>9</sub> CH=CH(CH <sub>2</sub> ) <sub>9</sub> CH <sub>3</sub>	2-TeCB																							
リノール酸 (C18:2)	2-Tetradecadienylcyclobutane (2-テトラデカジエニルシクロブタンン)	(CH <sub>2</sub> ) <sub>5</sub> CH=CHCH <sub>2</sub> CH=CH(CH <sub>2</sub> ) <sub>8</sub> CH <sub>3</sub>																								

図1 アルキルシクロブタンンの構造と生成経路  
(出典：文献3より和訳)

放射線照射が行われている食品のうち、主要な脂質の一種であるトリグリセリドの含有量の多い食品ほど2-ACB生成との関連性が強くなる。

4. 毒性評価	
①体内動態	<p>2-ACBの毒性については、遺伝毒性・発がん性との関連性を中心に1990年代後半から多くの報告が出されている。これまでの研究結果の概要は以下の通り。</p> <p>○ラットへの給餌試験 飲料水 (1%エタノール) 中に2-ACB (2-TCB、2-TeCB) を添加してラットに4ヶ月給餌した (ラット一頭当たり約1mg/日)。その結果、2-ACBは腸管/バリアを通過して、脂肪組織から検出された。その濃度は、2-TCBが0.31 μg/g 脂肪、2-TeCBが0.07 μg/g 脂肪であった。ラットの脂肪組織の重量を30gと仮定すると、脂肪組織への蓄積量はそれぞれ9 μg、2 μgで、ラットの摂取量の10万分の1程度であった。糞中に排泄されたのは、摂取した2-ACBの1%未満であった。このことから、これらの化合物は動物体内で代謝されるとともに、糞中にも排泄されることが明らかになった<sup>7)</sup>。</p>
②一般毒性	<p>◆急性毒性 2-ACBの急性毒性に関する研究例はない。</p> <p>◆亜急性毒性、慢性毒性 亜急性毒性試験 (28日間、90日間) 又は慢性毒性試験 (12ヶ月以上) の試験データは検索されなかった。ただし、WHOによる1970年代に行われた米国防軍の実験データの再解釈については、後述のリスク評価の項目を参照のこと。</p> <p>◆その他の細胞毒性試験 ・サルモネラ菌 TA97株に対して、2-decyl-CB、2-DCB及び2-TCBの影響を調べたところ、2-decyl-CB、2-DCBといった短鎖長の2-ACBに細胞毒性 (増殖率の減少) が認められた<sup>6)</sup>。 ・ヒト結腸がん細胞 (HT29 stem cells, HT29 clone19A) を2-TCBに曝露させたところ、37℃、30分では細胞毒性 (テトラゾリウム塩を用いた生細胞のミトコンドリア酵素活性測定法) が見られなかったが、1~2日間の曝露では、細胞毒性が観察された<sup>7)</sup>。</p>

③変異原性・遺伝毒性	<p>・ヒト結腸正常細胞、前がん状態の細胞 (LT97 adenoma cells)、及びヒト結腸がん細胞 (HT29 clone19A) の 2-DCB に対する感受性を調べたところ、正常細胞及び前がん状態の細胞においては、細胞毒性 (トリパンブルー色素排除試験による細胞の生死判定法) が用量依存的に示された。一方、がん細胞においては、細胞毒性は観察されなかった<sup>8</sup>。</p> <p>○微生物を用いた試験</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・サルモネラ菌を用いた復帰突然変異試験 (Ames 試験) では、変異原性は認められなかった<sup>36)</sup>。</li> <li>・その他、大腸菌、酵母等を用いた試験でも変異原性は認められなかった<sup>10)</sup>。</li> </ul> <p>○哺乳類培養細胞を用いた遺伝毒性試験</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ヒト結腸正常細胞、前がん状態の細胞 (LT97 adenoma cells)、及びヒト結腸がん細胞 (HT29 clone19A) の 2-DCB に対する感受性を調べたところ、正常細胞及び前がん状態の細胞においては、DNA 鎖切断が用量依存的に示された。一方、がん細胞においては、DNA 鎖切断は観察されなかった<sup>8</sup>。</li> <li>・ヒト結腸がん細胞 (HT29 stem cells, HT29 clone19A) を用いた <i>in vitro</i> コメットアッセイにおいて、2-ACB 類は DNA 損傷の増加を引き起こさなかった<sup>3</sup>。</li> <li>・ヒト HeLa 細胞及びヒト結腸がん細胞 (HT29 stem cells) に対する 2-TCB、2-TeCB、2-DCB、2-decyl-CB の影響を調べたところ、2-TCB 及び 2-TeCB については、細胞傷害が見られる高濃度でしか酸化的 DNA 傷害を引き起こさなかったが、2-DCB、2-decyl-CB については、細胞傷害が見られるより低い濃度で、酸化的 DNA 傷害を引き起こした<sup>3</sup>。</li> <li>・ヒト HeLa 細胞及びヒト結腸がん細胞 (HT29 stem cells) に対する 2-TCB、2-DCB、2-decyl CB の影響を調べたところ、細胞傷害が見られるより低い濃度で、2-TCB は DNA 鎖切断を引き起こし、2-DCB 及び 2-decyl CB は、酸化的 DNA 傷害を増加させた<sup>6</sup>。</li> <li>・2-DCB の染色体異常誘発性に関して、ヒトのリンパ球細胞 (TK6 lymphoblasts) を用いて、サイトカラシン B で細胞分裂を阻害した状態での小核形成を調べたところ、最高濃度 (53<math>\mu</math>M) で小核の有意な増加が見られた<sup>12</sup>。</li> </ul> <p>○ラットを用いた <i>in vivo</i> 試験</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・2-DCB を 2 段階の濃度 (1.12mg/kg/bw、14.9mg/kg/bw) でラットに経管投与し、16 時間後に結腸細胞を採取してコメットアッセイにより、DNA 損傷を観察した。その結果、低用量投与群 6 頭のうち 2 頭、高用量投与群 6 頭のすべてで陰性対照群に比べて DNA 損傷の頻度と損傷量が増加した<sup>13</sup>。</li> </ul>
④発がん性	<p>○ラットを用いた発がんプロモーション作用に関する試験</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ラットを用い、発がん物質である azoxymethane (AOM) 単体、AOM+2-TCB、AOM+2-TeCB の 3 投与群において、結腸における腫瘍発生を観察したところ、AOM+2-TeCB を投与した群において、AOM 単体を投与した群と比較して、投与 6 カ月後に前がん状態の傷害の促進が認められた (投与 3 カ月には有意差なし)。また、投与 6 カ月後に腫瘍が発生した個体数に有意な差は見られなかったものの、AOM+2-TCB を投与した群、AOM+2-TeCB を投与した群において、AOM 単体を投与した群と比較して、個体あたりの腫瘍の数やサイズの増加が見られた。これらの結果より、2-ACB は発がんプロモーション作用を有していると示唆されている<sup>14</sup>。</li> </ul>

5. 暴露評価																																						
①含有実態	<p>WHO の声明 (2003) によれば、「2-DCB の照射食品中の生成量は極めて少なく、食品中での安定性も考慮すると、食品から摂取される 2-DCB の量は生の食品中の分析値よりも低い可能性がある<sup>15)</sup>。」とされている。この理由として、「一般的に、低用量から中程度の照射による 2-DCB の食品中の生成量はわずかなレベルであり、室温で保存した鶏肉中では安定であっても、熱、光、酸素にさらされるとある程度の分解が起こること」が指摘されている<sup>15)</sup>。</p> <p>これまでに、肉類 (牛肉・鶏肉)、卵・乳製品、魚介類 (サーモン)、アボガド、ヘーゼルナッツ、カカオ豆等で、2-ACB が検出されたとの報告がある<sup>3</sup>。</p> <p>なお、鶏肉を用いた実験によれば、2-DCB の生成量と照射線量 (10kGy 以下) との間には直線性が見られる<sup>16)</sup> (図 2)。</p> <div data-bbox="1523 462 1971 766" data-label="Figure"> <table border="1"> <caption>Data for Figure 2: 2-ACB formation in chicken meat</caption> <thead> <tr> <th>Dose (kGy)</th> <th>2-ACB formation (µg/g fat) - RAW</th> <th>2-ACB formation (µg/g fat) - FROZEN</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>~0.4</td><td>~0.2</td></tr> <tr><td>2</td><td>~0.8</td><td>~0.4</td></tr> <tr><td>3</td><td>~1.2</td><td>~0.6</td></tr> <tr><td>4</td><td>~1.6</td><td>~0.8</td></tr> <tr><td>5</td><td>~2.0</td><td>~1.0</td></tr> <tr><td>6</td><td>~2.4</td><td>~1.2</td></tr> <tr><td>7</td><td>~2.8</td><td>~1.4</td></tr> <tr><td>8</td><td>~3.2</td><td>~1.6</td></tr> <tr><td>9</td><td>~3.6</td><td>~1.8</td></tr> <tr><td>10</td><td>~4.0</td><td>~2.0</td></tr> </tbody> </table> </div> <p>図 2 鶏肉に放射線を照射した時のアルキルシクロブタン生成量 (出典: 文献 16 による)</p> <p>また、スライスの中にはゴマの種子、マスタードの種子、ナツメグ等、比較的脂肪含有量の高いものがあるが、これらについて、高線量照射を行った際の詳細な 2-ACB 生成量に関する研究はない。</p>		Dose (kGy)	2-ACB formation (µg/g fat) - RAW	2-ACB formation (µg/g fat) - FROZEN	0	0	0	1	~0.4	~0.2	2	~0.8	~0.4	3	~1.2	~0.6	4	~1.6	~0.8	5	~2.0	~1.0	6	~2.4	~1.2	7	~2.8	~1.4	8	~3.2	~1.6	9	~3.6	~1.8	10	~4.0	~2.0
Dose (kGy)	2-ACB formation (µg/g fat) - RAW	2-ACB formation (µg/g fat) - FROZEN																																				
0	0	0																																				
1	~0.4	~0.2																																				
2	~0.8	~0.4																																				
3	~1.2	~0.6																																				
4	~1.6	~0.8																																				
5	~2.0	~1.0																																				
6	~2.4	~1.2																																				
7	~2.8	~1.4																																				
8	~3.2	~1.6																																				
9	~3.6	~1.8																																				
10	~4.0	~2.0																																				
②推定摂取量	<p>・鶏肉を例とした試算例</p> <p>殺菌線量 (3kGy) における 2-ACB の生成量は、鶏肉の脂肪含量を 10% とすると、0.4<math>\mu</math>g/鶏肉 (調理後) と算定され、成人 (70Kg) が 200g の鶏肉を一度に摂取すると仮定すると、摂取量は 80<math>\mu</math>g (体重 1kg 当たり約 1<math>\mu</math>g) となる<sup>15)</sup>。</p> <p>なお、スライスからの推定摂取量に関する研究例はない。</p>																																					
6. 耐容量	<p>①耐容摂取量</p> <p>②急性参照値</p> <p>2-ACB に関する耐容摂取量、急性参照値は設定されていない。</p>																																					
7. 国際機関及び各国の取組状況	<p>①基準値及び検出方法</p> <p>(a) 基準値</p> <p>2-ACB についてはこれまでに基準値は設定されていない。</p> <p>(b) 検出方法</p> <p>EU の照射食品の標準分析法 (EN1785)、Codex の標準分析法 (EN1785 を採用) として、食品中の脂肪を抽出し、カラムで精製した後、ガスクロマトグラフ質量分析 (GC/MS) (ガスクロ/マススペクトル) で分離検出する方法が定められているほか、MS 以外には、TLC、ELISA による検出方法も報告されている<sup>17)</sup>。</p>																																					

②リスク低減方法	現在、国際的あるいは各国における規制はとられていない。
③リスク評価の状況	<p>○WHO WHOの声明(2003)によれば、「2-DCB及び他のシクロブタノン類の影響は、あったとしても極めてわずかが無視できる」とされている<sup>15</sup>。 これらの根拠となるデータは次の通り。 ◆1970年代の米国陸軍の実験データの再解釈 米国陸軍で1970年代に-30℃で保存した鶏肉に高線量照射(59kGy)を行い、長期毒性試験を実施した。この実験条件によれば、鶏肉中には約1.5µg/g 鶏肉の2-DCBが生成していたと推定されるが、この鶏肉をイヌ等に長期投与したり、細菌や哺乳類培養細胞を用いた遺伝毒性試験を行っても影響が見られなかったことから、2-DCB及び他のシクロブタノン類による影響は、あったとしても極めてわずかが無視できる。 ◆その他、最近の実験データの評価 ・実験に使用された2-DCBが分解している可能性を否定できず、原因物質が特定できない。 ・コメントアッセイは、繁殖性の結果が得られやすく、国レベルの規制機関によって正式な遺伝毒性試験方法としては採用されていない。 ◆体内動態 ・ラットへの給餌試験<sup>5</sup>(上述)によれば、2-ACBは脂肪組織に蓄積せず、速やかに代謝される。</p> <p>○EC ECの食品科学委員会の声明(2002)によれば、「これまでに2-ACBの悪影響を示すたとされたデータのほぼすべてが<i>in vitro</i>試験であり、これらの結果にもとづいて、脂質を含む照射食品中の2-ACB類をヒトが摂取した際の健康リスクを評価することは適当でない(not appropriate)。2-ACBの遺伝毒性は標準的な遺伝毒性試験法によって確認されたものではなく、各種2-ACB類に対するNOAELを定めるための適切な動物給餌実験データも存在しない<sup>16</sup>。」とされている。</p> <p>○米国FDA FDAの貝類への照射許可に関する官報(2005)によれば、「2-ACBが大腸がんを引き起こす可能性があるとの論文<sup>14</sup>があるが、この論文の著者も述べているように、実験で用いたラットの2-ACBの曝露量(mg/kg体重)は、予想されるヒトの曝露量(µg/kg体重)より3桁も大きい。実験動物モデルや実験計画の限界、データの曖昧性、実験で用いられた化学物質の曝露とヒトの曝露との間に密接な関係が存在しないことを考慮すると、大腸がんを引き起こすと考えるだけの科学的な確実性と信頼性をもった情報ではない」とされている<sup>19</sup>。</p> <p>○IARC(国際がん研究機関) 2-ACBの発がん性については国際がん研究機関(IARC)の評価書は出されていない。</p>
8. 消費者の関心・認識	<p>食品への放射線照射に関するアンケートによれば、一般消費者の食品への放射線照射に対する認知度は現状では高くない(p.22)。 ただし、同アンケートでは、照射食品について「食品中の成分が変化し、未知の健康影響をもたらす恐れがある」と思うかという設問に対して、69%の回答者が「そう思う」または「どちらかというと思う」と回答しており、この問題に対する潜在的な関心は高いと考えられる(p.23)。</p>
9. 不足しているデータ	<p>各照射食品中のアルキルシクロブタノンの生成量及びその推定曝露量については、さらにデータの蓄積が望まれる。また、アルキルシクロブタノンの毒性(特に、遺伝</p>

	<p>毒性、発がんプロモーション作用)についても、今後の研究の動向を注視し、データを充実させていく必要がある。</p>
10.	<p>出典</p> <ol style="list-style-type: none"> <li><sup>1</sup> Letellier PR and Nawar WW, 2-Alkylcyclobutanones from the radiolysis of triglycerides., <i>Lipids</i>, Vol.7, p.75-76, (1972)</li> <li><sup>2</sup> Delincée H. et al., Genotoxic properties of 2-dodecylcyclobutanone, a compound formed on irradiation of food containing fat. <i>Radiat. Phys. Chem.</i> 52, p.39-42, (1998)</li> <li><sup>3</sup> Boumouf D. et al., Etude toxicologique transfrontalière destinée à évaluer le risque encouru lors de la consommation d'aliments gras ionisés. <i>Toxikologische Untersuchung zur Risikobewertung beim Verzehr von bestrahlten fetthaltigen Lebensmitteln. Eine französisch-deutsche Studie im Grenzraum Oberhein.</i> In Marchioni et al. (ed.) <i>Rapport final/Schlussbericht INTERREG II. Project/Projekt No.3.171, Karlsruhe: Bundesforschungsanstalt fuer Ernährung</i></li> <li><sup>4</sup> 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」独立行政法人食品総合研究所 平成17年3月</li> <li><sup>5</sup> Horvatovich P et al., Detection of 2-alkylcyclobutanones, markers for irradiated foods, in adipose tissues of animals fed with these substances., <i>J Food Prot.</i> Oct;65(10), p.1610, (2002)</li> <li><sup>6</sup> Hartwig et al., Toxicological potential of 2-alkylcyclobutanones-specific radiolytic products in irradiated fat-containing food-in bacteria and human cell lines., <i>Food Chem Toxicol.</i> 45, p.2581-2591, (2007).</li> <li><sup>7</sup> Delincée H. et al., Genotoxicity of 2-alkylcyclobutanones, markers for an irradiation treatment in fat-containing food- Part I: cyto- and genotoxic potential of 2-tetradecylcyclobutanone., <i>Radiat.Phys.Chem.</i> 63, 431-435 (2002)</li> <li><sup>8</sup> Knoll et al., 2-Dodecylcyclobutanone, a radiolytic product of palmitic acid, is genotoxic in primary human colon cells and in cells from preneoplastic lesions., <i>Mutat Res.</i> 594, 10-19 (2006)</li> <li><sup>9</sup> Gadgil P and Smith JS., Mutagenicity and acute toxicity evaluation of 2-dodecylcyclobutanone., <i>J Food Sci.</i> 69, C713-716, (2004)</li> <li><sup>10</sup> Sommers CH, 2-Dodecylcyclobutanone does not induce mutations in the Escherichia coli tryptophan reverse mutation assay., <i>J Agric Food Chem.</i> 51, p.6367, (2003)</li> <li><sup>11</sup> Sommers CH and Schischl RH, 2-Dodecylcyclobutanone does not induce mutations in the Salmonella mutagenicity test or intrachromosomal recombination in Saccharomyces cerevisiae., <i>J. Food Prot.</i> 67, p. 1293, (2004)</li> <li><sup>12</sup> Sommers CH, Induction of micronuclei in human TK6 lymphoblasts by 2-dodecylcyclobutanone, a unique radiolytic product of palmitic acid. <i>J Food Sci.</i> 71, C281-284, (2006)</li> <li><sup>13</sup> Delincée H. et al., Genotoxicität von 2-Dodecylcyclobutanon In: Knoer M et al., (ed.) <i>Lebensmittelbestrahlung 5. Deutsche Tagung, Karlsruhe: Berichte der Bundesforschungsanstalt fuer Ernährung.</i> 11-12 Nov. 1998; BFE-R-99-01, p.262-269 (1999)</li> <li><sup>14</sup> Raul F et al, Food-borne radiolytic compounds (2-alkylcyclobutanones) may promote experimental colon carcinogenesis., <i>Nutr Cancer</i> 44(2), p.88, (2002)</li> <li><sup>15</sup> WHO, Statement on 2-Dodecylcyclobutanone and Related Compounds. (March 2003)</li> <li><sup>16</sup> Stevenson MH. et al., The use of 2-dodecylcyclobutanone for the identification of irradiated chicken meat and eggs, <i>Radiat. Phys. Chem.</i> Vol.42, no.1-3, p.363-366, 1993</li> <li><sup>17</sup> Ndiaye B. et al., 2-Alkylcyclobutanones as markers for irradiated foodstuffs III. Improvement of the field of application on the EN 1785 method by using silver ion chromatography <i>Journal of Chromatography A</i>, 858, p.109-115, (1999)</li> <li><sup>18</sup> EC: Statement of the Scientific Committee on Food on a Report on 2-alkylcyclobutanone <a href="http://europa.eu.int/comm/food/fs/sc/scf/index_en.html">http://europa.eu.int/comm/food/fs/sc/scf/index_en.html</a> (2002)</li> <li><sup>19</sup> U.S.Federal Register vol.70,157 Aug.16.(2005)</li> </ol> <p>(注) アルキルシクロブタノンの毒性に関する文献は、論文として発表された情報もしくはWHOの報告書等に引用されている論文に準じた学術的情報に限定した。</p>