

健康文化

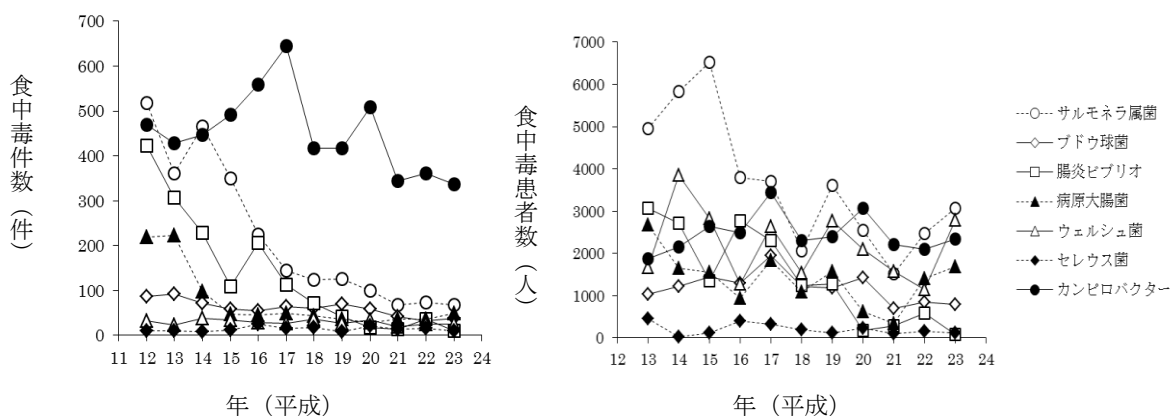
生肉・感染症・放射線

木藤 伸夫

今年7月1日をもって飲食店での牛肝臓の生肉、いわゆるレバ刺しの提供が禁止された。直前のレバ刺しの駆け込み需要はニュースでも報じられ、レバ刺しを好む人がこれほど多かったのかと驚かされた。また、7月1日以降は焼き肉用のコンロと生の肝臓を提供し、焼かないで食べるのは客の勝手とばかりに、正々堂々と脱法レバ刺しを宣伝する焼き肉店まで出る始末で、今年の流行語に「脱法」が入るかなと考えさせられた。盛んに報道されたので詳しくご存知の方も多いかと思われるが、今回は生肉を原因とする感染症と、放射線照射による生肉の除菌・殺菌法について紹介したい。

厚生労働省は平成10年に「生食用食肉の衛生基準」を設けた。厚生労働省は平成8年のレバ刺しによる腸管出血性大腸菌 O157 による食中毒発生以降生肉の摂取を避けるよう事業者へ指導を行っていたが、牛肝臓などの生食が国民生活の一部に定着しているとの考えから、消費者が安全に食することができるようにと安全性確保の規格基準を設定した。これは、腸管出血性大腸菌のような細菌は屠畜処理の過程、あるいはその後の処理中に肝臓表面に付着するもので、処理を注意深く行えば細菌による食中毒は防げると考えたからである。当初は肝臓の汚染防止に重点をおき、糞便に汚染されないように肝臓を取出す方法、取り出し後の汚染を防ぐ方法、さらに肝臓の保存法などを細かく指示し、汚染を防げば生食でも安全と考えていた。その後 O157 食中毒でレバ刺しが原因食になったと考えられる事例の増加や、牛肝臓から腸管出血性大腸菌が検出されること、肝臓内部に食中毒の原因菌となるカンピロバクターの汚染が見られることなどが明らかにされた。平成18年の腸管出血性大腸菌による食中毒事例24件中18件(75%)が、患者数にして88%が焼肉店での摂食が原因で起こっている。平成19年頃から牛肝臓を生食用として提供することを控えるようにとの指導が次第に強化され、牛肝臓の内部から O157 が検出されたことから、平成23年12月には牛肝臓を生食用に提供しないようにとの指導が徹底された。

腸管出血性大腸菌以外に、肉の生食による食中毒の原因菌としてカンピロバ



細菌が原因となる食中毒の年次推移

クターがあげられる。カンピロバクターはらせん型の特徴的な形をした細菌で、比較的最近（1982年）食中毒菌として指定された。下痢、腹痛、発熱、悪心など、サルモネラ菌などによる感染型の細菌性食中毒によく似た症状を示す。食中毒件数ではノロウイルスとトップの座を争っているが、細菌が原因となる食中毒件数では最も多い（上図、左）。ただし、カンピロバクターの食中毒事例は1件当たりの患者数が少ないのが特徴で、患者数をみるとサルモネラ菌による食中毒の患者数とほぼ同数となる（上図、右）。サルモネラ菌による食中毒は件数では急激に減少し10年前の五分の一ほどになったが、細菌が原因の食中毒では患者数はまだトップクラスにある。この菌による食中毒は汚染された卵や鶏肉が原因食となることが多く、卵の生食や加熱が不十分な卵料理、鶏肉が原因となる。一般にサルモネラ菌の食中毒は食べた菌数が多くないと発症しないといわれているが、小児や高齢者は感受性が高く少量の菌数でも発症することがあるとされる。鶏卵では加熱により菌が死滅する前にタンパク質が凝固するため熱が内部に伝わりにくくなり、内部に閉じ込められた菌は殺菌されにくいといわれているので、半熟卵や温泉卵などには新鮮な鶏卵を使うことをお勧めする。

もう一つ生肉で気をつけなくてはならないものにトキソプラズマがある。トキソプラズマは単細胞の寄生虫で、人間と動物が感染する人獣共通感染症の原因となる。ブタ、ヒツジ、ヤギ、ネズミ、ニワトリなどの哺乳類や鳥類で無性的に増殖し（中間宿主）、最終的な宿主（終宿主）であるネコ科動物の腸管内で有性生殖を行う。ネコの糞便中のトキソプラズマや、中間宿主の肉にいるトキソプラズマが経口的に人に侵入すると感染を起こす。トキソプラズマは熱に弱いことから加熱した肉は安全だが、生肉や不完全に加熱された肉を食べると感染が起こる。このように、生肉、あるいは生に近い肉を食べることは危険が多

いことをよく知るべきであると思うが、今年6月の狂騒的なレバ刺しブームや、昨年死者まで出て問題になったユッケ騒動を見ると生肉の需要は意外と多いのかもしれない。

厚生省は牛肝臓の生食を禁止する前に生肉摂取による食中毒を防ぐ方法がないか種々の方法について検討したようであるが、有効な予防対策を見出すことができなかつたと結論している。具体的な検討事例を見ると、生肉の汚染実態などがはっきりしてくるので、以下に紹介する。上で述べたように、当初細菌による汚染は筋肉や内臓を取り出した後で起こると考えられていた。そのため、最初に適切な衛生管理により感染を抑えることができるか検討した。ところが腸管出血性大腸菌が牛肝臓の表面だけではなく、内部にも存在することが確認され、衛生的に管理をしても肝臓内部が腸管出血性大腸菌に汚染されている場合は食中毒が発生する恐れがあると判断した。また、免許制により専門業者だけが生の牛肝臓を取り扱うことも検討された。しかし、フグのように危険な部位が特定されているわけではなく、肝臓内部のあらゆる部位に菌が存在する可能性があるため、専門の業者が取り扱っても肝臓内部の汚染は取り除くことができないと判断した。さらに、検査によって、腸管出血性大腸菌のいない牛肝臓のみを選別することを検討した。狂牛病の全頭検査に相当する方法である。しかし、糞便の検査でその牛の肝臓が腸管出血性大腸菌に汚染されているか判断できる確証が無く、さらに肝臓内の腸管出血性大腸菌を検査する有効な方法も考案できず、牛肝臓の安全性を確認する方法は現段階では無いと結論した。さらに、消毒薬や、放射線照射等によって殺菌することも検討した。高濃度の塩素系消毒薬で肝臓表面の腸管出血性大腸菌を殺菌できることは知られていたが、通常の濃度の消毒薬による効果に疑問があり、特に肝臓内部の菌に対する殺菌法は確立できなかった。紫外線照射では、表面汚染に効果があっても内部に存在する腸管出血性大腸菌を殺菌することはできず、放射線照射については安全性や品質に与える影響について十分な評価がなされていないため、今後更なる研究が必要であるとした。最後に、感受性の高い子どもやお年寄りだけが食べないようにすることも検討された。確かに腸管出血性大腸菌感染症にかかる患者の割合は若年層と高齢者で高くなっているが、他の年代でも感染しないわけではなく、摂食者を限定することでは安全性を確保できないと考えたようだ。以上の検討を踏まえ、冒頭で述べたようにレバ刺しの禁止という処置になった。

上記厚生労働省の検討課題の中でも触れられているが、放射線照射で食品中

の病原菌を殺菌するという方法にはどのような問題点があるのだろうか。放射線照射により病原菌を除くことができれば、生肉は食べられるようになるのだろうか。食品への放射線照射について少し調べてみた^(1,2)。日本における放射線技術の様々な分野への応用研究は古くからおこなわれており、食品に対する放射線照射に関しても1967年から研究が始まった。食品に対して放射線を照射する目的は、殺菌（病原菌、寄生虫）による感染症予防以外にも、腐敗菌の殺菌や食害昆虫の殺滅による食品保存性の延長、発芽防止、そして化学的、物理的作用による食品の改質効果などがあげられている。食品の改質改善とは、放射線照射により食品の物性を変化させることで、乾燥野菜の復元や食品成分の抽出促進などを目的に行われていたが、最近では食品に含まれる発がん物質（アクリルアミド、フラン）やアレルギーの除去の研究が進められているようである。しかし、実用化という点で見ると、日本では発芽防止を目的としたジャガイモへの照射が許可されているだけである。この技術は1974年に実用化され、年間8千トンのじゃがいもが照射され供給量が減る端境期（3月下旬から4月）に出荷され安定供給に役立っている。発芽防止のための照射は線源や放射線の種類、吸収線量が厳格に規定されていて、⁶⁰Coからのγ線を最大0.15 kGyまで照射できる。ただし、照射は1回に限り繰り返し照射することは禁止されている。

世界的な動向を見ると、1960年代に米国でベーコン、穀物への放射線照射が始まっている。照射の安全性に関しては、日本を含む24か国が参加して1970年に国際食品照射プロジェクトが開始された。その後10年間の国際共同研究の成果を基に、国連食糧農業機関（FAO）、世界保健機構（WHO）、国際原子力機関（IAEA）の合同会議は、1980年に「10 kGy以下で照射された食品には危険性は全く認められない」と結論した。その後WHOはこの結論に対する不安・批判を受けて、再度検討を行い、1994年には先の結論を再確認した報告書をまとめた。現在10 kGy以下の照射であれば問題ないというのが世界標準となっている。食品に照射される放射線は⁶⁰Coのγ線以外に、電子線（β線）、X線が利用されていて、後者については誘導放射能が生成されないエネルギーに限るという観点から、10 MeV以下の電子線、5 MeV以下のX線が使用されている。電子線は透過力が弱く厚さがある物の照射には不向きだが、高い線量率が得られること、取り扱いの簡便さなどから近年利用が増大しているようだ。またX線もその高い透過性から注目されている。平成20年時点で、米国では31施設が稼働し、果物、香辛料、牛肉、鶏肉に対して放射線照射が行われているが、このうち⁶⁰Coのみを使用している施設は24施設、電子線のみは3施設、

X線のみは1施設で、残り3施設はこれらを併用している。

放射線照射による殺菌効果は、電子を放出させる電離作用、分子を励起する励起作用などによるとされ、化学結合の切断や、分子間、分子内で起こる化学反応による化合物の生成などで殺菌が行われる。特に水を含んだ食品では、ヒドロキシラジカルによる反応が起こるとされる。主要な標的分子はDNAで、DNA骨格の糖-リン酸エステル結合がヒドロキシラジカルにより直接切断され、あるいは塩基が攻撃・修飾されDNAが損傷する。また、DNA損傷の修復機構の違いから、微生物の種類によって放射線感受性が異なる。下に示したように、グラム陰性菌が放射線で最も殺菌されやすく、次いでグラム陽性菌などが続き、ウィルスの抵抗性が最も高いといわれている⁽³⁾。

グラム陰性菌>グラム陽性菌、糸状菌>芽胞、酵母>ウィルス

食品中に見つかる微生物から主要なものを抜粋して、その感受性の違いをD値で表1に示した^(3, 4)。ほとんどの病原細菌のD値が1 kGy以下であり、腐敗菌のそれは10 kGy以下である。滅菌処理の場合はD値の12倍、すなわち細菌数が10¹²分の1になる条件での処理が求められる。理論的に無菌状態が達成されたと考えられるからである。表1の腸管出血性大腸菌をみるとD値が最大0.47 kGyであることから、その12倍、すなわち5.64 kGyの線量を照射すると腸管出血性大腸菌が完全に除去された状態が達成されることになり、WHOが定めた10 kGy以下の線量でも有効なことがわかる。食品への放射線照射は医療器具と異なり滅菌を目的とするわけではなく、病原菌の除去と腐敗菌の初期菌数を減少させることによる食中毒の防止と食品の保存性の向上が主たる目的であるので、現在のWHOの基準で充分目的が達成できると思われる。

ここで視点を変えて食品に対する放射線照射に反対する意見に目を向けてみよう。先に述べたように、食品に放射線を照射することによってラジカルが生じる。このラジカルが引き起こす化学反応により食品成分に変化が生じ、有害な化合物が生じるのではないかという危惧がある。この分野で必ず引き合いに出される例として、ドイツで報告された2-ドデシルシクロブタノンの生成がある。これはトリグリセリドなどの中性脂肪に放射線が照射された場合に生じる化合物で、ラットやヒトの大腸の細胞に対して毒性を示し、DNAを切断するこ

表1. 食品中に見つかる微生物のD値（引用文献3のTable6を改変）

微生物の種類	D値(kGy)
*	
病原細菌	
セレウス菌（芽胞）	1.25-4.00
カンピロバクター	0.08-0.32
ボツリヌス菌（芽胞）	0.41-3.20
ウェルシュ菌（栄養型）	0.29-0.85
腸管出血性大腸菌（O157）	0.24-0.47
リステリア菌	0.25-0.77
サルモネラ菌	0.37-0.80
黄色ブドウ球菌	0.26-0.45
腸炎ビブリオ	0.03-0.04
腐敗菌	
クロストリジウム スポロゲネス	2.30-10.90
マイクロコッカス ラディオジュランス （放射性抵抗性グラム陽性菌）	12.70-14.10
シュードモナス プチダ	0.08-0.11
ストレプトコッカス フェカーリス	0.65-0.70
ウイルス	2.02-8.10

*D値：滅菌・消毒の専門用語で、微生物の数を10分の1に減らすために必要な処理時間などを示す。放射線の場合は吸収線量で示す。

とが示された⁵⁾。しかし、その後の動物実験の結果や、突然変異の誘発率を調べるエームス試験が陰性であったことなどから、WHOはこの化合物は消費者に対して健康リスクをもたらすようには見えないとの見解を示している。また、この化合物には変異原性が無いという研究結果も発表されている。さらに、同類の化合物である2-テトラデシルシクロブタノンとその誘導体の発がん促進作用についても調べられていて、発がん物質と共にラットに投与すると、腫瘍数、腫瘍サイズが増大したことから、発がん促進作用があると発表された。しかし、この実験では飲料水に溶かした高純度のシクロブタノン化合物が、1匹のラット当たり毎日1.6 mg与えられており、この量はヒトが暴露される量よりも3けた多いとされた。この結果を受け、2-アルキルシクロブタノン類の摂取が発がんを促進するという科学的根拠は乏しいとされている。

これ以外にも、規定の線量を超えた放射線を照射すると、肉類で照射臭と呼ばれる異臭が生じることがあるとされている。アミノ酸、脂質の分解が原因と考えられているが、定められた線量の照射では問題が無いとされている。また、インドでは栄養失調児に放射線照射をした小麦を与えると、染色体数が倍加した細胞が血中に出現する割合が対照群に比べ高くなったと報告されている¹⁾。後

者の結果についてはその後再検討され、子供間のばらつきが多いこと、異常細胞の出現率が正常人と比べてもそれほど高くないこと、対照群では異常細胞が全く検出されていないことなどから、実験結果は信頼性に欠けるとされている。その後の動物実験でも異常が生じる結果と生じないという結果が出され、詳細に検討すると統計的に有意差が無かったり、技術的な問題が指摘されたりして、現時点では放射線照射した小麦が動物の骨髄やリンパ細胞に染色体異常を生じたり、栄養失調の子供に倍数細胞を出現させる根拠にはならないと判断されている。

細菌学を学んだ筆者としては、放射線照射された細菌が突然変異を起こし有害な菌が生じるのではないかという懸念をもつ。カビが産生するアフラトキシンやボツリヌス菌が産生する毒素の産生増大に関しては調べられていて、WHOは適正な条件で照射を行えばアフラトキシンが増加する危険性は無いと結論している。また、ボツリヌス菌についても、毒素産生への影響はないとされた。

もう一つの問題点として、放射線を照射した食品と照射していない食品の区別ができないという点が挙げられている。これは放射線照射の食品に対する影響が少ないことを反映しているように思えるが、照射線量の上限を決め、再照射を禁止しているので、法律に則り取り締まる際の問題だと思われる。DNAの損傷度の分析、化学分析、熱ルミネッセンス法などいろいろ検討されているようだが、まだ標準法は確立していない。放射線の専門家の方でアイデアがあれば活かすチャンスとなろう。

さらに消費者が選択できるように、放射線を照射した食品を明示する必要がある。下の図は米国で使用されている放射線照射食品に添付されるラベルで、**Radura** と呼ばれているようだ。米国で暮らした経験をお持ちの方はご覧になった事があるかもしれない。日本でもこのようなラベルを見る日が来るのであろうか。

米国で放射線照射食品
に添付されるラベル



なお、本原稿執筆中に厚生労働省は生食用の提供を禁止した牛肝臓について、放射線を使った殺菌方法を研究すると決定した。研究は、国立医薬品食品衛生研究所などが実施し、研究期間は年度内、⁶⁰Coのガンマ線を牛肝臓に照射し、腸管出血性大腸菌などが死滅するかを確認する実験が計画されている。

なお、本原稿執筆中に厚生労働省は生食用の提供を禁止した牛肝臓について、放射線を使った殺菌方法を研究すると決定した。研究は、国立医薬品食品衛生研究所などが実施し、研究期間は年度内、 ^{60}Co のガンマ線を牛肝臓に照射し、腸管出血性大腸菌などが死滅するかを確認する実験が計画されている。

参考文献

- 1) 食品への放射線照射について、原子力委員会食品照射専門部会、
www.aec.go.jp/jicst/NC/senmon/syokuhin/detail/20060926.pdf
- 2) 食品への放射線照射についての科学的知見のとりまとめ業務報告書、
www.mhlw.go.jp/topics/bukyoku/iyaku/syoku-anzen/housya/houkokusho.html
- 3) Mahapatra, AK, Muthukumarappan, K, Julson, JL. Applications of ozone, bacteriocins and irradiation in food processing: a review. *Cr. Rev. Food Sci.*, 45: 447-461, 2005
- 4) Farkas, J. Irradiation as a method for decontaminating food. *Int. J. Food Microbiol.*, 44: 189-204, 1998
- 5) Delincee, H, Pool-Zobel, B-L. Genotoxic properties of 2-dodecylcyclobutanone, a compound formed on irradiation of food containing fat. *Radiat. Phys. Chem.*, 52: 39-42, 1998

名古屋大学理学部准教授、生命理学専攻)