

【資料】

食品に自然に含まれる放射性同位元素と放射性物質汚染について

山田 一孝^{1,2)} 山口 敏朗²⁾

- 1) 帯広畜産大学臨床獣医学研究部門 (〒080-8555 帯広市稲田町 2 線11)
 2) 岐阜大学大学院連合獣医学研究科 (帯広畜産大学配属) (〒501-1193 岐阜市柳戸 1 番 1)

1. はじめに

2011年3月11日の東日本大震災に続発した、東京電力福島第一原子力発電所の放射性同位元素漏れ事故で、農産物、水産物の放射性物質汚染が広がった。2011年7月には、放射性セシウムに汚染された牛肉が流通し、世間を震撼させた^[1]。しかし、その後の汚染検査と出荷制限が徹底されたため、人への影響は少ないと考えられている。事故後に暫定基準値が設定されたが、より一層の安心安全確保と、緊急的な対応としてではなく長期的な観点から、2012年4月に厚生労働省は食品中の放射性物質の新たな基準値を定め、一般食品100 Bq/kg、牛乳50 Bq/kg、飲料水10 Bq/kgと設定した(http://www.mhlw.go.jp/shinsai_jouhou/dl/leaflet_120329.pdf)。一方で小売り業者は、国よりも厳しい独自基準を設けて「検出限界以下の食品しか売れません」と消費者の安心を追求した。このような姿勢の業界団体に対し、過剰な規制と消費段階での混乱を避けるため、農林水産省から国が定めた基準を守るよう通知が出された (<http://www.maff.go.jp/j/press/shokusan/ryutu/pdf/kyoukucho.pdf>)。

目に見えない放射線の恐怖に対して、われわれ食の安全にかかわる獣医師は、規制値に対する誤解を解く努力も必要である。

2. 食品に自然に含まれる放射性カリウム

われわれが日常摂取している多くの食品に、カリウムが含まれている (http://www.eiyoukeisan.com/calorie/nut_list/kalium.html)。そして、カリウムの0.0117%は天然に存在する放射性カリウム (⁴⁰K) である (表)。

カリウムに含まれる放射能は、

$$\text{放射能 (Bq)} = \left(\frac{\text{壊変定数}}{\text{半減期}} \right) \times \text{原子数}$$

の式で計算される。

(壊変定数0.693、⁴⁰K 半減期12.6億年=4.0×10¹⁶秒)
 1.0 kg (=1,000 g) のカリウムには天然存在割合

0.0117%の⁴⁰Kが0.117 gが含まれている。

$$\begin{aligned} \text{{}^{40}\text{K}の原子数} &= \left(\frac{\text{重量}}{\text{質量数}} \right) \times \text{アボガドロ数} \\ &= \left(\frac{0.117}{40} \right) \times (6.02 \times 10^{23}) \end{aligned}$$

であることから、

カリウム1.0 kgに含まれる放射能 (Bq)

$$\begin{aligned} &= \left(\frac{\text{壊変定数}}{\text{半減期}} \right) \times \text{原子数} \\ &= \left(\frac{0.693}{4.0 \times 10^{16}} \right) \times \left(\frac{0.117}{40} \times 6.02 \times 10^{23} \right) \\ &\approx 30,000 \text{ Bq と計算される。} \end{aligned}$$

元素の化学的性質は、陽子数によって規定されるため、天然存在割合の高い安定同位体の³⁹Kも存在割合の低い放射性同位体の⁴⁰Kも、化学的には同じ原子である。カリウムを多く含む食品には、放射性同位体である⁴⁰Kも多く含まれることになる。

われわれの体にも0.14 kgのカリウムが含まれており、先述の計算をすると、4,200 Bqの⁴⁰Kを保有していることになる。さらに、自らの⁴⁰Kにより年間0.2 mSvの内部被曝を受けることが知られている。

表 カリウムの同位体の陽子数、中性子数、質量数、存在割合の比較

	³⁹ K	⁴⁰ K	⁴¹ K
陽子数	19	19	19
中性子数	20	21	22
質量数	39	40	41
存在割合	93.26	0.0117	6.73(%)
	安定同位体	放射性同位体	安定同位体

3. 放射性セシウムに汚染された肉を摂取した場合の預託実効線量

放射性同位元素漏れ事故では、本来生体に含有されて

いない放射性セシウムによる内部汚染が問題となった。一例として、われわれが入手した放射性セシウムに汚染された肉 (^{134}Cs 157 Bq/kg、 ^{137}Cs 182 Bq/kg)^[2]を、人が1.0 kg 摂取してしまった場合の預託実効線量を次式で計算してみる。なお、預託実効線量とは、影響がなくなるずっと先として成人なら50年間の実効線量と決められている^[3]。

預託実効線量(Sv) = 実効線量係数(Sv/Bq) × 放射性同位元素摂取量(Bq)

実効線量係数は、経口摂取が ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 、 ^{40}K それぞれ、 1.9×10^{-8} 、 1.3×10^{-8} 、 6.2×10^{-9} (http://www.remnet.jp.cache.yimg.jp/lecture/b05_01/4_1.html) であるため、 ^{134}Cs (157 Bq/kg) と ^{137}Cs (182 Bq/kg) に汚染された肉 (1.0 kg) を摂取すると、

$$^{134}\text{Cs} \text{ からの 預託実効線量(Sv)} = 1.9 \times 10^{-8}(\text{Sv/Bq}) \times 157(\text{Bq/kg}) = 3.0 \times 10^{-6}(\text{Sv})$$

$$^{137}\text{Cs} \text{ からの 預託実効線量(Sv)} = 1.3 \times 10^{-8}(\text{Sv/Bq}) \times 182(\text{Bq/kg}) = 2.4 \times 10^{-6}(\text{Sv})$$

この肉に本来天然に含まれていた ^{40}K (実際の測定値：100 Bq/kg) の預託実効線量(Sv) = $6.2 \times 10^{-9}(\text{Sv/Bq}) \times 100(\text{Bq/kg}) = 0.6 \times 10^{-6}(\text{Sv})$

^{134}Cs 、 ^{137}Cs 、 ^{40}K の預託実効線量を合計すると、 $6.0 \times 10^{-6}(\text{Sv})$ と計算される。

1 Sv = 1,000 mSv なので、この肉を1.0 kg 経口摂取した場合の人の預託実効線量は0.006 mSv である。

同様に計算すると、2011年の放射性セシウム汚染牛肉(最高値：4,350 Bq/kg) を1.0 kg 摂取した場合の預託

実効線量は、0.07 mSv になる(生データを持ち合わせていないため ^{134}Cs と ^{137}Cs を等量、 ^{40}K を100 Bq/kgとして計算した)。この数値は、人の自然放射線被曝の世界平均(2.4 mSv/年)と比較して、かなり低い。

4. 白菜とキノコのオートラジオグラム

オートラジオグラムとは、光輝尽性蛍光体の結晶が塗布されたイメージングプレートに試料を密着させ、試料に含まれる放射性同位元素の分布をバイオイメージングアナライザーシステムを用いて画像化する方法である。試料に含まれる放射性同位元素から放出された放射線が、光輝尽性蛍光体に照射されると励起状態になり、放射線の量に応じて記録される。これを光電子増倍管で読み取ることによって分布画像を得る^[4]。われわれが診療で使用している Computed Radiography は、被写体を透過しイメージングプレートに達した X 線量を読み取ることで画像を得る。一方で、オートラジオグラムは試料をイメージングプレートに密着させ、試料から放出される β 線を画像化したものである。Computed Radiography 撮影時の X 線の照射時間は0.1–0.2秒であるが、ここに紹介するオートラジオグラムは、微量の放射線を画像化したため露光時間は30日である。

スーパーマーケットで購入した白菜をイメージングプレート(SR、富士フィルム)で露光し、バイオイメージングアナライザーシステム(BAS-1800-II、富士フィルム)で読み取り、放射性同位元素の分布画像を得た(図1左)。また、白菜に含まれる放射性同位元素の核種を

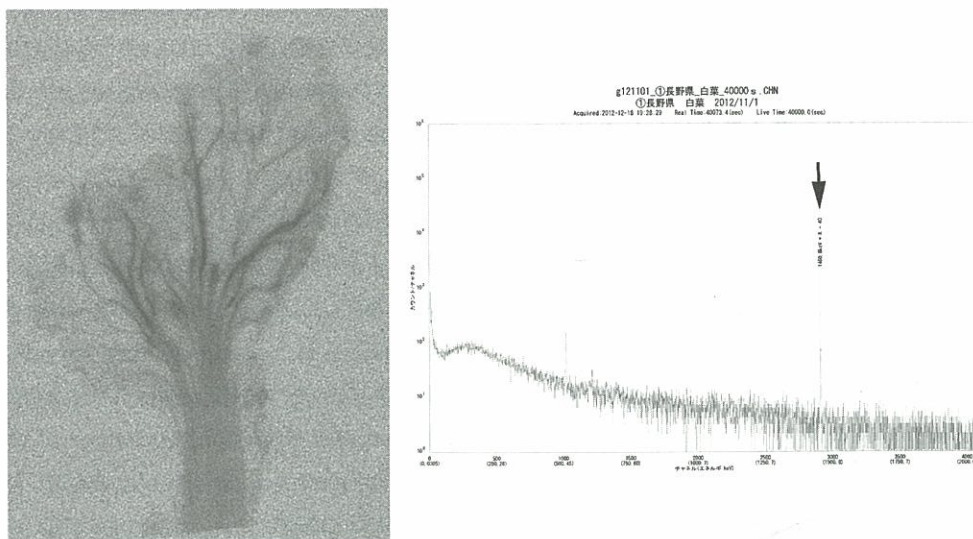


図1 白菜のオートラジオグラム(左)および γ 線スペクトル(右、測定レンジ30–2,000 keV、12時間測定)

γ 線スペクトルから、 ^{40}K のみが検出され(矢印)、放射性セシウムは検出されていない。つまり、オートラジオグラムは、天然に含まれる ^{40}K の分布を表現している。葉脈に沿って ^{40}K の分布が多いように見えるが、これは葉脈と葉の厚みの差により、葉脈が相対的に多く露光している。

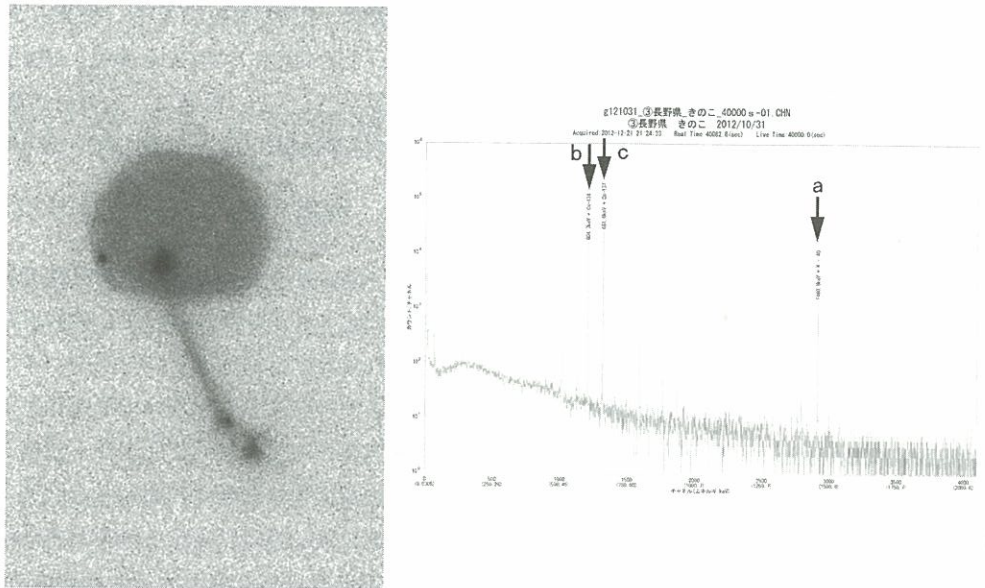


図2 2012年10月に長野県で採取された野生のキノコのオートラジオグラム（左）およびγ線スペクトル（右、測定レンジ30-2,000keV、12時間測定）

γ線スペクトルから、 ^{40}K 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs が検出された（矢印）。オートラジオグラムは、天然に含まれる ^{40}K (a)と放射性同位元素漏れ事故で飛散した ^{134}Cs (b)、 ^{137}Cs (c)の分布を表現している。画像上のホットスポットは、キノコの外部に付着した放射性同位元素か、内部に不均一に分布しているのか、この画像からはわからない。

同定するため、ゲルマニウム半導体検出器（LB-GMX-30190-HJ、ORTEC、Advanced Measurement Technology Inc.、Oak Ridge、TN、U.S.A.）で、γ線スペクトルを得た（図1右）。オートラジオグラムはβ線を画像化したもので、γ線スペクトルは同一の試料に含まれる核種をγ線で同定したものである。 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 、 ^{40}K はβ線とγ線を放出する。つまり、ここに示すデータは、放射性同位元素を異なる放射線で確認したことになる。このオートラジオグラムは、天然に含まれる ^{40}K の分布を示していることがわかった。葉脈に沿って放射性カリウムの分布が多いように見えるが、これは葉脈と葉の厚みの差により、葉脈が相対的に多く露光したためである。

つづいて、2012年10月に長野県で採取された野生キノコのオートラジオグラム（図2左）とγ線スペクトル（図2右）を示す。このキノコのγ線スペクトルからは、天然に含まれる ^{40}K に加えて、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs の存在が確認された。つまり、このオートラジオグラムには ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 、 ^{40}K が混在して画像化されている。

5. おわりに

今回、世間を騒がせた農水産物の放射性物質汚染によって、人に確定的影響（不妊、放射線宿酔、脱毛）が発生するとは考えにくい。問題となるのは、確率的影響（発癌）である。低線量被曝に関する生物学的効果は未だ解明されておらず、国際放射線防護委員会が提唱する

「しきい値なし直線モデル」の考え方では、わずかな被曝であっても発癌のリスクは生じるとされている。

安心に対する価値観は人それぞれであり、食品の放射性物質汚染について、「安全」とか、「危険」とかについて、本稿で述べるものではない。しかし、インターネットやブログでは、科学的根拠に基づかない情報が横行していることも事実である。信頼できる発信源をもとに、個人個人が判断するべきものだと思う。国立がんセンターのホームページに放射線被曝と生活習慣による癌リスクの疫学研究が示されている

(http://www.ncc.go.jp/jp/shinsai/pdf/cancer_risk.pdf)。興味のある方は参考にさせていただきたい。

引用文献

- [1] 唐木英明：牛肉のセシウム汚染問題、日獣会誌、64、744-747（2011）
- [2] Yamada K, Yamaguchi T, Sawano K, Kishimoto M, Furuhashi K: Radioactive contamination of a pig raised at a farm within 20 km of the Fukushima Daiichi nuclear power plant. *RADIOISOTOPES* 61, 129-132 (2012)
- [3] 田崎晴明：やっかいな放射線と向き合って暮らしていくための基礎知識、45-51、朝日出版社、東京(2012)
- [4] 小澤俊彦他：放射線の科学—生体影響および防御と除去—、33-35、東京化学同人、東京（2012）