

コラム 放射線測定の現場から No.31

放射性セシウムの高精度測定から見えるもの

小豆川勝見*1 しょうすがわ かつみ

堀 まゆみ*1 ほり まゆみ

齊藤拓也*2 さいとう たくや

*1 東京大学大学院総合文化研究科

*2 秋田放射能測定室「べぐれでねが」

2012年4月より食品や飲料などに含まれる放射性物質の基準値が改定され、一般食品は放射性セシウムとして100 Bq/kgの値が設定されている*1。この値は福島原発事故による追加の内部被ばくとして、1年あたり1 mSvを超えないように設定されていると同時に、簡便な測定が難しい放射性ストロンチウムやプルトニウムなどの核種群の放出比率が考慮されている。その放出比率は2011年6月から始まった文科省が主体になって行われた土壌サンプリングで得られた値を採用していて、 $^{238}\text{Pu} + ^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu} + ^{241}\text{Pu} : ^{90}\text{Sr} : ^{106}\text{Ru} : ^{134}\text{Cs} : ^{137}\text{Cs} = 0.000002 : 0.003 : 0.02 : 0.92 : 1$ とされている*2。

この放出比率には放射性ヨウ素(主に ^{131}I や ^{132}I)は含まれていない。事故直後の実試料(環境試料)を測定する限り、 ^{131}I の沈着量は ^{137}Cs のその1桁上の値を確認している。厳密な測定は困難であるが、放出量も同様の傾向があったと私は推定して

いる。それにもかかわらず食品中に放射性ヨウ素が組み込まれていないのはなぜか。土壌サンプリング時期が福島第一原子力発電所事故から約3カ月が経過した2011年6月なので、 ^{131}I (半減期8.02日)や ^{132}I (半減期2.3時間)はほとんど崩壊し尽くしている。つまり、私たちは放射性ヨウ素によって「被ばく済み」であるので、将来の被ばく対策として考えている基準値に放射性ヨウ素を加えることは(原子力発電所で新たな事故が発生しない限り)意味がないことが理由である。

^{131}I と ^{137}Cs の両者は実効線量係数が異なるため、放射能の比較が人体への影響に1対1で対応するわけではないが、しかしそれでも、やはり事故直後は膨大に放出された ^{131}I への対応が ^{137}Cs や ^{134}Cs 以上に急務であったことは間違いのない。さらに、また新たな原子力災害が発生した場合には、福島原発事故の放出比率を参照される可能性もある以上、福島原発事故後の被ばく量の計算には組み込まなくても、放射性ヨウ素の数値としては残しておくべきだったと考えている。

流通食品に含まれる放射性物質

福島原発事故を契機に厚生労働省、農林水産省をはじめ、多くの自治体は食品に含まれる放射性物質の測定を積極的に続けている。試料となる食品の選定には、陰膳方式(調理済みの食事をまとめて測定)からマーケットバスケット方式(市販流通品を購入して測定)に体制を変更しているケースが増えてきた。

厚生労働省では、マーケットバスケット方式によるさまざまな地域での調査の結果、「放射線量は現行規制の上限線量1ミリシーベルト/年の1

*1—2012年3月までは暫定基準値として一般食品には500 Bq/kgが設定されていた。追加内部被ばく量として5 mSvを上限にしていたことに加え、放出核種の割合はチェルノブイリ原発事故の値を参照している。

*2—厚生労働省薬事・食品衛生審議会食品衛生分科会放射性物質対策部会資料(2011年12月22日開催)

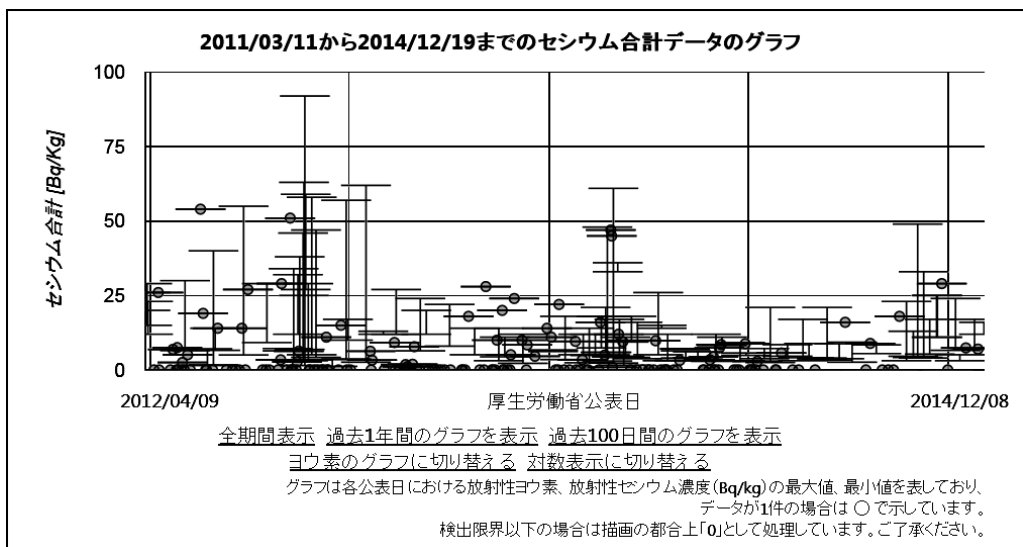


図1「食品中の放射性物質検査データ」による「マイタケ」中に含まれる放射性セシウムのデータ 813 件を示す。このデータベース上では 100 Bq/kg を超えたマイタケは一つもない。

% 以下」という見出しの文書を同省ウェブサイトにて複数掲載している。確かに、このほかの調査でも、年 1 mSv を超えるような食品が継続して流通しているとする調査結果は皆無である。このことは大変喜ばしいことで、あの大事故からよくぞここまで体制を整えたものだ、と、個人的には驚きさえ感じている*3。

このような数字が実現できたのは、第一に生産者の方の並々ならぬ努力があってこそなし得たことである。しかし、残念ながらすべての生産物が基準をクリアしているわけではなく、基準値超過のものは検査で見つけ出さねばならない。注目すべきは、生産物を検査する測定サイドであるが、ここに問題はないのだろうか。本コラムでは、厚生労働省が委託し、国立保健医療科学院が運営・管理している「食品中の放射性物質検査データ」*4から「マイタケ」を例に実際の測定について考えてみたい。下記の文書と図1は、このウェブサイトからの抜粋である。(図1に2012年4月9

日から2014年12月8日までのマイタケの放射性セシウムの値を示す。)

マイタケ(農産物)の放射性物質検査データは813件あります。このうち基準値(暫定規制値)を超える放射性物質が検出されたものは0件です。

検査された産地は栃木県(239)、福島県(167)、群馬県(101)、宮城県(93)、新潟県(74)、埼玉県(26)、岩手県(25)、静岡県(16)、茨城県(14)、千葉県(13)、青森県(11)、山梨県(10)、山形県(10)、長野県(6)、秋田県(6)、東京都(2)です。

カッコ内の数字はその都道府県産のマイタケの数を示している。このデータには流通品、非流通品が半々くらい含まれている。そのうち、およそ半分が検出限界以下(検出限界は放射性セシウムとして10 Bq/kg程度)であり、データのある813件はすべて基準値100 Bq/kg以下であるという結果である。

しかし、私が実際に群馬県川場村にある道の駅で市販されていた中条産のマイタケを購入し、ガンマ線の測定をしたところ、明らかに放射性セシウムとして100 Bq/kgを超過し、 185 ± 2.83 Bq/kgという値を得た。国が管轄するデータベースでは800件以上で基準値超過はまったく見つ

*3—余談ではあるが、2011年12月に原発から1.5 kmの地点で枝に生っていた柿を測定したことがある。 ^{137}Cs で3500 Bq/kgを超えていた。

*4—<http://www.radioactivity-db.info/>(マイタケのデータは2014年12月19日閲覧)

からないのに、なぜこうも簡単に基準値超えの食材が見つかるのだろうか。

これには福島県外の食品の検査体制の甘さを指摘したい。本コラムでも食品に対する検査体制について、過去に複数回指摘してきたが、事故から1年程度では、大手小売り業者でも非科学的な測定方法を用いて基準値の判定を行っているところがあった*5、*6。事故から3年以上が経過した現在、福島県の食材に対する放射能測定は、予算と人間が重点的に投下された結果、それなりの精度と規模で測定が行われている。しかし、福島県外、特に北関東では、測定体制の不十分さに加えて絶対的な沈着量が多かった地域があることから、基準値超えの生産物が安易に販売されている実状がある*7。この点について測定体制の強化とともに、「福島県外なら放射性物質は含まれていない」といった安直な意識を改める必要があると指摘したい。

濃縮による測定

食品中に含まれる放射性セシウムのオーダーは、実に幅広いレンジをもつ。非流通品であるが、福島県浪江町で採取したキノコからは9万Bq/kgの放射性セシウムを検出した。その一方で加工食品の多くは0.01Bq/kgのオーダーになる。つまり、測定の現場では、 10^4 Bq/kg から 10^{-2} Bq/kg という6ケタの幅の中で測定を行う必要がある。特に、1Bq/kg以下の放射能を測定する際には、前処理から測定まで高度な知識と技術を要する。ガンマ線測定器にはゲルマニウム半導体検出器を用いることが必須であり、測定時間も長くなりがちだ。このことに加えて、母材を構成する原子(これによって自己遮蔽効果が変化する)の検討や含水率(水は

ガンマ線を通りにくくする効果がある)も測定しておかねばならない。それでも試料によっては、検出限界以下になる場合もある。より高精度の測定を行うためには、前処理に濃縮行程を追加することになる。放射性物質測定のための前処理の公定法には、液体試料であれば加熱によって水分量を蒸発させ濃縮させる方法、固体試料であれば灰化^{かい か}が主な手法として挙げられている*8。「焼却炉の灰には放射性セシウムが濃縮している」という報道はこれまでに何度となくメディアから紹介されてきたことから、記憶にとどめている方もいるかもしれない。後者の原理は焼却炉の機構と基本的には同じである。

しかし、灰化作業の過程は慎重に温度制御を行う必要があり、理想的に濃縮するのはなかなか容易な作業ではない。一気に高温にすると水蒸気を含んだ煙が長時間発生するだけではなく、試料を入れた容器に試料が焦げとして残ってしまい、ロスした分だけ精度が落ちてしまう。試料に応じていかに適切な温度設定をするのか、ここが測定屋として腕の見せ所でもある。

2014年春より私は、秋田放射能測定室「べぐれでねが」の齊藤氏とともに食品の測定を協働で行ってきた。これまでにない高精度の測定を目指して、試料の濃縮と測定を行い、測定結果はウェブサイトですぐ公開している*9。本コラムではその中から興味深い2例を紹介してみたい。

1 例目:栃木県産コシヒカリ(2013年産)

精米した米(白米)を5.00kg用意し、強熱減量によって1.41kgにまで濃縮を行った。強熱減量はまず200℃2日間加熱し、5日間かけて徐々に温度を上げて最終的には350℃で加熱する行程で行われた。得られた灰は予め検出効率が求められている2Lマリネリ容器に入れ、ゲルマニウム半

*5—小豆川勝見:「農作物の放射性セシウムの検査体制」, 科学, 83(1), 11(2013)

*6—小豆川勝見:「農作物の放射性セシウムの低減法」, 科学, 83(5), 480(2013)

*7—基準値を超過していた場合、あるいはそれに近い値が検出された場合には、関係者に随時連絡している。

*8—ゲルマニウム半導体検出器等を用いる機器分析のための試料の前処理法, 文部科学省, 1983年

*9—べぐれでねが〜ほのぼのファミリーが贈る, 気が向いたらセシウムを検査するブログ〜<http://beguredenega.com/>

表 1—栃木県産コシヒカリ(2013 年産)に含まれる放射性物質

^{134}Cs (Bq/kg)	^{137}Cs (Bq/kg)	^{40}K (Bq/kg)	$^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ (事故当時)
0.0565±0.0080	0.165±0.013	22.5±0.50	1.01±0.16

導体検出器で 5 万 4000 秒(15 時間)間ガンマ線測定を行った。表 1 に前処理前、すなわち白米の状態での ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{40}K の放射能を示した。

^{134}Cs と ^{137}Cs を加えた放射性セシウムとしては、白米中に 0.2 Bq/kg 程度であり、基準値の 500 分の 1 程度にしかない。また、放射性物質としては、放射性セシウムよりも放射性カリウムの含有量が多く、実効線量係数を考慮しても放射性カリウムのほうが影響が大きい。つまり、被ばく量という観点では、この白米は放射性セシウムの影響は大きな意味はないことがわかる。

注目すべきは、 ^{134}Cs と ^{137}Cs の放射能比である。それぞれの放射能を事故当時(2011 年 3 月)の値に補正し、比をとるとおおよそ 1 になる。この特徴により含まれる放射性セシウムが福島原発事故由来であると決定づけることができる。つまり、この白米に含まれる放射性セシウムはほぼ全量が福島原発由来であり、チェルノブイリ事故をはじめとした過去の放射性物質の拡散による影響ではないことが明らかになった。

2 例目:北海道産白鮭(2014 年産)

もう一つ別の事例を見てみたい。北海道で水揚げされた鮭(白鮭)である。骨を除いた生の白鮭 9.495 kg を 105℃ 4 日間、150℃ 2 日間強熱減量し、最終的には 2.350 kg に灰化した。2 L マリネリ容器で 41 万 2500 秒(115 時間、4.77 日)間ガンマ線を測定した。表 2 にはその結果を示したが、表 1 と同様にこれらの値は生の状態に換算した放射能である。

栃木県産コシヒカリと同様に放射性セシウムは基準値に比較して圧倒的に低い(約 840 分の 1)。また ^{40}K のほうがより高いことも同じ傾向である。しかし、事故当時の ^{134}Cs と ^{137}Cs の放射能比は約 0.49(事故当時)を示した。このことは、この鮭に

表 2—北海道産白鮭(2014 年産)に含まれる放射性物質

^{134}Cs (Bq/kg)	^{137}Cs (Bq/kg)	^{40}K (Bq/kg)	$^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ (事故当時)
0.0161±0.0041	0.103±0.045	105±0.36	0.492±0.13

含まれる放射性セシウムのうち、おおよそ半分が福島原発事故由来、半分が福島事故以前による影響と判断することができる。鮭は数年かけて外洋を回遊する性質があることから、日本近海で生息していた影響とそれ以外の影響が如実に反映されていることが高精度な放射性セシウムの分析から解き明かすことができた。

放射性セシウムの分析を ^{90}Sr の推定に

このような高精度の放射性セシウムの測定は、汚染ルートの推定や福島原発事故由来か否かの判定に留まらず、これまでに報告されている $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ 比を用いて測定がより難しい ^{90}Sr の推定にも用いることができる。

さらにもう一つ重要なことがある。 ^{90}Sr は ^{137}Cs と比較すると易動性が高い特徴が報告されている。放射性物質の基準値を策定する際に用いられた福島原発からの核種の放出比はあくまで事故から数カ月間で得られた値にもとづいており、時間とともにその比がずれてくる可能性が高い。その結果、環境中における放射性物質の移動を考慮すれば、近い将来、また新たな基準値に改定される可能性もある。そのような場合にも放射性セシウムの高精度測定は極めて有効な知見を与えるものと考えている。