

食品の放射性物質と 摂取制限の考え方等



国立保健医療科学院生活環境研究部
特命上席主任研究官 寺田 宙

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震は大津波を伴って東北地方ならびに関東地方の沿岸部に壊滅的な被害をもたらした。同年9月30日時点における人的被害は死者15,815名、行方不明3,966名に上る。また、震災により東京電力福島第一原子力発電所は全ての電源を失ったため原子炉を冷却することが不可能となり、2011年3月15日の同原発2号機圧力抑制室の損壊により大気環境中に大量の放射性物質が放出された。同事故の国際原子力事象評価尺度は暫定値でレベル7と、チェルノブイリ原子力発電所事故に並ぶ深刻な事故となった。放射性物質による食品の汚染が懸念されたため、厚生労働省は2011年3月17日に食品衛生法の観点から原子力安全委員

会により示された「飲食物摂取制限に関する指標」を食品中の放射性物質に関する当面の暫定規制値とし、これを上回る食品については食品衛生法第6条第2号に当たるものとして食用に供されることがないように対応することとした。

ここでは食品中放射性物質の検出動向、暫定規制値の基本的な考え方、さらに厚生労働省に対する食品安全委員会の答申である「食品中に含まれる放射性物質の食品健康影響評価（案）」について紹介する。

2. 食品中放射性物質の検出動向

2011年10月1日時点で26,872件の検査結果が公表され、このうち表1の暫定規制値を超過したのは675件と、全検体の2.5%であった（表2）。産地

■表1 食品衛生法の規定に基づく食品中の放射性物質に関する暫定規制値

食品	放射性物質 (Bq/kg)			
	放射性ヨウ素	放射性セシウム	ウラン	Pu及び超ウラン元素の α 線放出核種
飲料水	300	200	20	1
牛乳・乳製品	300 ¹⁾			
乳幼児食品	—			
野菜類	2,000 ²⁾	500	100	10
穀類	—			
肉・卵・魚介類・その他	魚介類に対して 2,000			

1) 100 Bq/kgを超えるものは、乳児用調製粉乳及び直接飲用に供する乳に使用しないよう指導すること

2) 根菜、芋類を除く

別にみると1都12県で暫定規制値を超過しており、超過件数は福島県が434件と最も多く、以下、茨城県67件、宮城県49件、栃木県29件、千葉県27件、岩手県18件、神奈川県16件、群馬県10件、埼玉県10件、静岡県7件、東京都4件、秋田県2件、山形県2件の順であった。品目別では牛肉（137件）、ハウレンソウ（81件）、茶葉（72件）、タケノコ（55件）、シイタケ（42件）、原乳（23件）、ブロッコリー（21件）、アユ（21件）の順が多かった（表2）。食品群別の概略は以下のとおりである。

1) 野菜類

放射性物質は大気中の粉塵とともに降下するなどし、葉の表面に付着すると考えられる。ハウレンソウ、コマツナ、シュンギクといった非結球性葉菜類は葉の表面が上を向いて広がっているため他の野菜に比べ放射性物質が付着しやすい。また、放射性物質の濃度は単位重量当たりの値で表されるので、表面積の大きいこれらの野菜の方が高い濃度として検出される。このため、事故後初期は非結球性葉菜類で放射性ヨウ素、放射性セシウムの規制値を超える検体が多くみられ、福島県、茨城県、栃木県、千葉県、群馬県の5県で出荷制限の措置が取られた。放射性ヨウ素濃度、放射性セシウム濃度の最大値そ

れぞれ茨城県産ハウレンソウ（54,100 Bq/kg）、福島県産クキタチナ（82,000 Bq/kg）であった。5月中旬以降は規制値を超過したものは皆無で、出荷制限措置も東電福島第一原発の半径20km以内の地域を除き解除された。現在では放射性ヨウ素については半減期が約8日と短いことから検出されておらず、放射性セシウムもその濃度レベルは漸減傾向にある。

この他の野菜類の放射性物質の取り込みは土壌からの吸収が主な経路となる。タケノコとウメは比較的放射性セシウム濃度が高く、それぞれ55件、11件で規制値を上回っているものの、その濃度レベルは3,100 Bq/kg（タケノコ）が最大と、葉菜類ほど高くはない。規制値を超過した検体は全て福島県産で、葉菜類と比較すると地域は限定的であり、土壌中の放射性セシウム濃度が高い地域に限られていると考えられる。また、これら放射性セシウム濃度が高い検体でも放射性ヨウ素は検出されておらず、その移行の程度は小さいことが示された。

野菜類の中でもキノコは放射性セシウム濃度が高い傾向にあることがよく知られている [1-3]。今回の事故後に行われた検査ではこれまでに62検体が規制値を超過しており、チチタケ、ハツタケ、マツタケといった菌根性キノコの他、シ

■表2 東電福島第一原発事故後に行われた食品中放射性物質の検査結果（10月1日厚労省公表分までを集計）

1. 結果の概要

食品	検査件数	超過件数
牛乳・乳製品	1,119	23
野菜類	9,074	317
穀類	3,407	1
魚介類	2,391	116
肉・卵	10,302	145
その他	579	73
計	26,872	675

2. 品目別の規制値超過件数

品目	件数	産地
牛肉	137	岩手県、宮城県、秋田県、山形県、福島県、栃木県
ハウレンソウ	81	福島県、茨城県、栃木県、群馬県、千葉県
茶葉	72	福島県、茨城県、栃木県、群馬県、埼玉県、千葉県、東京都、神奈川県、静岡県
タケノコ	55	福島県
シイタケ	42	福島県
原乳	23	福島県、茨城県
ブロッコリー	21	福島県
アユ	21	福島県

イタケで規制値を上回った。最も放射性セシウム濃度が高かったのはチチタケ（福島県）で28,000 Bq/kgであった。また、外部からの放射性物質の付加がないと考えられる施設栽培のシイタケでも、規制値を上回る放射性セシウムが検出されている。著者らのヒラタケを用いた培養実験では、培地濃度に応じて高い放射性セシウム濃度の子実体が形成されることが明らかになっており [4]、シイタケ等の栽培で用いられる原木や、培地に使われているオガ粉の管理が重要であると考えられる。

2) 魚介類

今回の事故では海洋中にも大量の放射性物質が放出されたことから魚介類への影響が懸念された。魚介類についてはこれまで2,391件の検査が行われ、このうち116件で規制値を超過した。規制値を上回ったのはこれまでのところ福島県、茨城県、群馬県の3県に限られている。放射性セシウム濃度が最も高かったのはイカナゴ稚魚（14,400 Bq/kg）で、他では淡水魚のアユ、ヤマメ等が比較的高い。事故後当初、規制値を超えたのはこれら小型魚と淡水魚および貝類に限られていたが、6月以降はコモンカスベ、アイナメ、キタムラサキウニ等でも高い放射性セシウム濃度が検出されるようになった。魚介類はその性質上、放射性物質の低減策を取りづらいため、長期にわたってモニタリングを継続する必要がある。

なお、魚介類に対しては当初、放射性ヨウ素に対する規制値はなかったが、4月4日にイカナゴ稚魚から高濃度の放射性ヨウ素が検出されたことから、4月5日に急遽、魚介類に対する放射性ヨウ素の規制値2,000 Bq/kgが設けられた（表1）。放射性ヨウ素の規制値を超過したのはイカナゴ稚魚だけで、他ではムラサキイガイが820 Bq/kgと比較的高い値を示したものの、7月以降は魚介類から放射性ヨウ素は検出されていない。

3) 牛乳・乳製品

農林水産省は牛乳・乳製品から規制値を超える放射性ヨウ素が検出されたことを受けて、3月19日に通知「原子力発電所事故を踏まえた家畜の

飼養管理」を発出した。この中で、乾牧草を給与する場合は、事故の発生前に刈り取り・保管されたもののみを使用すること、事故の発生時以降も屋内で保管されたものを使用すること、放牧を当面の間行わないこと等、と農家に対して適切な飼養管理を求めた。採取日が3月23日以降の検体では規制値を超過したものはなく、上記の措置に一定の効果があったものと考えられる。10月1日現在ではほとんどが放射性セシウムの暫定規制値の10分の1である20 Bq/kgを下回っており、健全な濃度レベルにあるといえる。なお、牛乳・乳製品では放射性セシウムの規制値を超過したのは1検体だけである。

4) 肉・卵類

先の牛乳・乳製品と対照的なのが牛肉である。上述の「原子力発電所事故を踏まえた家畜の飼養管理」では稲わらの取り扱いについて具体的な記述がなかったため、多くの農家が放射性セシウムに汚染された稲わらを利用した。これらの農家で飼育された牛の肉が市場に流通したため、大きな社会問題となった。食の安全を確保する上では規制値を超える食品が市場に流通しないことが大前提であり、行政側には適切な対応が求められるが、これらの牛肉を摂食した場合でも大きな健康影響が現れるわけではない。放射性セシウム濃度が最大の牛肉（4,350 Bq/kg）を1kg食べたとしても被ばく線量は $4,350 \times 1 \times 1.9 \times 10^{-5}$ (^{134}Cs の線量換算係数) = 0.08 mSv程度である。

放射性セシウムの牛肉、豚肉、鶏肉、卵への移行係数はそれぞれ0.022、0.2、2.7、0.4 (d/kg) [5] で、牛肉よりも豚肉、鶏肉、卵の方が飼料から放射性セシウムが移行しやすいが、これまでのところ豚肉、鶏肉、卵では規制値を超える放射性セシウムは検出されていない。稲わら等、高い放射性セシウム濃度の飼料を与えられていないためと推察される。牛肉中の放射性セシウム濃度は30日程度で半分になるので、高濃度の放射性セシウムに汚染された稲わらを与えられた牛についても、非汚染飼料を1年間与えられ続ければ、その濃度は問題のないレベルになる。今後の飼養管理が重要である。

5) 穀類

穀類については3,407件の検査が行われ、このうち規制値を上回ったのは小麦（福島県）の1件だけである。米の検査体制については以下のとおりである。

稲の作付については原子力災害対策本部が「稲の作付に対する考え方」（4月8日）で、「生産した米（玄米）が食品衛生法上の暫定規制値を超える可能性が高い地域については、稲の作付制限を行うこと」とした。また、これまでの知見から、水田の土壌から玄米への放射性セシウムの移行の安全側指標を0.1とし、これを前提として、玄米中の放射性セシウム濃度が規制値である500 Bq/kg以下となる土壌中放射性セシウム濃度の上限値を5,000 Bq/kgと定めた。農林水産省は、米の検査体制について、東北、関東等の土壌中の放射性セシウム濃度が1,000 Bq/kg以上の市町村等において、予備調査（収穫前の段階にあらかじめ放射性物質濃度の傾向を把握）、本調査（収穫後の段階の放射性物質濃度を測定し、出荷制限の可否を判断）の2段階で実施するとし、本調査の結果、玄米中の放射性セシウム濃度が暫定規制値（500Bq/kg）を超える米が確認された場合は、その地域の米を全て確実に出荷制限の上、廃棄することにより安全性を確保としている。予備調査の段階で規制値を上回った例はあるが、これまでのところ本調査では全て100 Bq/kgを下回っている。また、これらの検査は玄米の状態におけるもので、精米の状態では4割程度の値になる。

6) その他

その他の食品に該当するのは茶、菜種その他、加工食品である。このうち規制値を超えたのは茶（72件）と菜種（1件）である。茶については規制値を超えたのが福島県、茨城県、千葉県、栃木県、群馬県、埼玉県、東京都、神奈川県、静岡県と極めて広範囲に及んだのが特徴的で、規制値は上回らなかったものの、愛知県でも360 Bq/kgと比較的高い濃度の放射性セシウムが検出された。その詳細な取り込み機構は明らかになっていないものの、土壌中の放射性セシウム濃度がさほど

高くない神奈川県、静岡県からも規制値を超える茶が出たことから、土壌からではなく茶葉の気孔等を介したものではないかと考えられる。

7) 東電福島第一原発事故後の食品摂取による被ばく線量について

ここまで事故後の食品中放射性物質の検出動向について述べてきた。2011年10月1日現在で食品中の放射性セシウムの濃度は80%以上が50 Bq/kg未満で90%近くが100 Bq/kg未満である。葉事・食品衛生審議会食品衛生分科会放射性物質対策部会による事故後1年間の被ばく線量の推計値は、食品中の放射性物質濃度を2011年3月から6月までを実測値の中央値濃度、2011年7月から2012年2月までは2011年6月と同じ状況と仮定すると全年齢平均で0.106 mSvとなった [6]。この値は自然放射線による1年間の被ばく線量の世界平均値2.4 mSv [7] と比較しても十分小さい。

3. 暫定規制値について

1) 飲食物摂取制限に関する指標

前述のとおり厚生労働省は原子力安全委員会により示された「飲食物摂取制限に関する指標」を食品中の放射性物質に関する当面の暫定規制値とした。ここでは文献 [8] を参考に、「飲食物摂取制限に関する指標」の基本的な考え方について述べる。

原子力安全委員会は米国スリーマイル島原発事故を契機に放射性物質の放出の態様、緊急時環境放射線モニタリング、周辺住民に対する防護対策等の原子力防災対策の技術的、専門的事項について基本的考え方を示した「原子力施設等の防災対策について」（防災指針）を策定した。防災指針はチェルノブイリ原発事故、JCO臨界事故等の経験を踏まえ改定された。「飲食物摂取制限に関する指標」はこの中で防災対策のための指標として定められている。本指標は飲食物中の放射性物質が健康に悪影響を及ぼすか否かを示す濃度基準ではなく、防護対策の一つとしての飲食物制限措置を導入する際の目安である。

今回の事故のように原子力施設外に大量の放射

性物質の放出を伴うような事故が発生した場合は、一般公衆の過度の被ばくを防ぐために適切な被ばく低減策が求められる。その判断の基礎となる線量は介入線量レベルと呼ばれており、「飲食物摂取制限に関する指標」は1年間飲食物を摂取し続けても介入線量レベルを超えないように計算して求められた誘導介入濃度である。線量は

$$\text{食品の摂取量} \times \text{食品中の放射性物質濃度} \\ \times \text{線量換算係数} \times \text{飲食物の摂取期間}$$

で求められるので、誘導介入濃度の算出に当たっては飲食物の分類と摂取量、年齢による違い、対象とする放射性物質等を考慮する必要がある。なお、放射性物質濃度は物理的な減衰と希釈係数が考慮されている。

2) 飲食物の種類とその摂取量

食品の摂取量は年齢の他、地域によって異なるし、男女の差もあるが、あまり細かく分類すると実用的ではないので、放射性セシウムについては飲料水、牛乳・乳製品、野菜類、穀類、肉・卵・魚介類・その他の5群に分類された。放射性ヨウ素の場合、半減期が短いことから穀類、肉類等への移行の程度は小さいと考えられるため、これらを除き飲料水、牛乳・乳製品、野菜類の3群、に分類した。今回の事故後の食品の検査結果でも穀類、肉類の放射性ヨウ素濃度は概して低く、上記の分類は妥当だったといえる。年齢区別の食品群の摂取量については厚生省国民栄養の現状（成人）、放射線医学総合研究所による東海村周辺の食品実態調査（乳児、幼児）をもとにした。

3) 年齢による違い

環境中に大量の放射性物質の放出されると、あらゆる年齢層が影響を受ける。年齢によって食品の摂取の仕方や、体の大きさ、放射性物質の代謝が異なる。誘導介入濃度の算出に当たっては年齢を乳児、幼児、成人の3つに区分している。食品の摂取は国民栄養の現状、体の大きさと放射性物質の代謝については線量換算係数により年齢による違いを反映させた。

4) 対象とする放射性物質

事故には様々な放射性物質が放出されるが、その放出量、食品への移行、人体への影響は異なる。これらを勘案して¹³¹I、¹³⁷Cs、⁹⁰Sr等が指標を設定すべき放射性物質とされた。なお、⁹⁰Srについては分析のために煩雑な化学分離が必要であり、また、⁹⁰Yの生成に2週間以上要するため、緊急時におけるモニタリングは困難である。このため、チェルノブイリ原発事故における放出量のデータ等から

$$^{89}\text{Sr} : ^{90}\text{Sr} : ^{134}\text{Cs} : ^{137}\text{Cs} = \\ 0.28732 : 0.04555 : 0.54455 : 0.45545$$

と放射性セシウムとの比を仮定し、その影響を加味した上で放射性セシウムの誘導介入濃度を求めている。

5) 放射性ヨウ素の指標値

放射性ヨウ素は甲状腺に集積しやすい性質があるため、実効線量ではなく甲状腺等価線量でその影響を評価する。指標値を算出するに当たってはICRP publication 63等の国際的動向を踏まえ、甲状腺等価線量50mSv/年を基礎とした。飲料水、牛乳・乳製品、野菜類以外の食品からの放射性ヨウ素の摂取も考慮し、これらに1/3、飲料水、牛乳・乳製品、野菜類の3食品群に残りの2/3を均等に割り当てた。すなわち飲料水、牛乳・乳製品、野菜類については

$$50\text{mSv/年} \times 2/3 \times 1/3 = 11.1 \text{ mSv/年}$$

を超えないように指標値が設定された。具体的には年齢区分ごとの摂取量、線量換算係数の違いを考慮しながら誘導介入濃度を算出し、年齢間で最小となる誘導介入濃度を丸めて指標値とした。

6) 放射性セシウムの指標値

放射性セシウムについては実効線量5 mSv/年を基準とし、これを飲料水、牛乳・乳製品、野菜類、穀類、肉・卵・魚介類・その他の5つの食品群に均等に割り当てた。すなわち、各食品群とも1mSv/年を限度とし、年齢区分ごとの摂取量ならびに放射性セシウム・ストロンチウムの寄

与を考慮して誘導介入レベルを求めた。なお、誘導介入濃度は¹³⁴Cs濃度と¹³⁷Cs濃度の合計値として表される。放射性セシウムの指標値は年齢間で最小となる誘導介入レベルを丸めたものである。また、食品群が大まかな括りになっているので、ある特定の食品が高濃度の放射性セシウムで汚染されていても食品群ごとの限度値である1mSv/年を超えることはない。例えば牛肉については、肉・卵・魚介類・その他は成人で1日の摂取量が500gとされているのに対し、実際の肉の摂取量は1日100 g程度に過ぎない。以上のことから、介入線量レベル5mSv/年に対しては現在の暫定規制値は余裕のある値といえる。ただし、放射性ストロンチウムの寄与については放射性セシウムとの比を仮定したため、モニタリングによって仮定を下回っているのかどうか、今後も検証していく必要がある。また、生物中での挙動に配慮し、それ以外の核種も慎重に評価する必要がある。

4. 食品中に含まれる放射性物質の食品健康影響評価(案)について

食品中の放射性物質に関する暫定規制値については、緊急を要するために食品安全委員会のリ

スク評価を受けずに設定された。このため、厚生労働省は食品安全委員会に対し食品衛生法上の指標値に関して諮問を行った。これを受けて食品安全委員会は3月29日に「放射性物質に関する緊急とりまとめ」を厚生労働省に通知し、今後リスク管理側において必要に応じた適切な検討がなされるべきであるとした上で、継続して食品健康影響に関する評価を行ってきた。その結果、7月26日に提示されたのが「食品中に含まれる放射性物質の食品健康影響評価(案)」[9]である。評価(案)では健康影響が現れる線量をおよそ100mSvとし、この値が(自然放射線や医療被ばくなど通常の一般生活において受ける放射線量を除いた)生涯における累積の実効線量の基準とされた。また、小児に関しては甲状腺がんや白血病等、より放射線の影響を受けやすい可能性を指摘し、一定の配慮を求めた。今後、これらの点に留意しながら新しい規制値が設定されるものと考えられる。

なお、この記事は保健医療科学60巻4号に掲載予定の記事に加筆したものである。

参考文献

- [1] Mascanzoni D. Chernobyl's challenge to the environment: A report from Sweden. *Sci Total Environ*. 1987; 67:133-148.
- [2] Battiston G A, Degetto S, Gerbasi R, Sbrignadello T. Radioactivity in mushrooms in Northeast Italy following the Chernobyl accident. *J Environ Radioact*. 1989; 9:53-60.
- [3] Borio R, Chiochini S, Cicioni R, Esposti P D, Rongoni A, Sabatini P, Scamoli P, Antonini A, Salvaderi P. Uptake of radiocesium by mushrooms. *Sci Total Environ*. 1991; 106:183-190.
- [4] 杉山英男, 寺田宙, 磯村一郎, 塚田祥文, 柴田尚. キノコへの放射性セシウムの移行特性—野生キノコおよび培養キノコ—. *Radioisotopes*. 1993; 42:683-690.
- [5] International Atomic Energy Agency. Handbook of Parameter Values for the Prediction of Radionuclide Transfer in Terrestrial and Freshwater Environments. 2010.
Available at http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/trs472_web.pdf
- [6] 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
Available at <http://www.mhlw.go.jp/stf/shingi/2r9852000001ip01att/2r9852000001ipae.pdf>
- [7] United Nations Scientific Committee on the effect of atomic radiation (2000) : Sources, effects of ionizing radiation. UNSCEAR 2000 report to the general assembly, with scientific annexes. United Nations, New York.
- [8] 須賀 新一, 市川 龍. 防災指針における飲食物摂取制限指標の改定について. *保健物理*. 2000; .35: 449-466.
- [9] 食品安全委員会. 食品中に含まれる放射性物質の食品健康影響評価(案).
Available at http://www.fsc.go.jp/iken-bosyu/pc1_risk_radio_230729.pdf