

福島原発事故と肉をはじめとする食の安全について

誌名	All about swine
ISSN	0918371X
著者	伊東, 正吾 石川, 弘道 石関, 紗代子 大井, 宗孝 伊藤, 貢 井上, 聖也 森田, 重光 須永, 藤子
巻/号	39号
掲載ページ	p. 9-16
発行年月	2011年9月

福島原発事故と肉をはじめとする食の安全について

伊 東 正 吾 (麻布大学), 石 川 弘 道 (サミットベテリナリーサービス),
石 関 紗代子 (サミットベテリナリーサービス), 大 井 宗 孝 (豊浦獣医科クリニック),
伊 藤 貢 (あかばね動物クリニック), 井 上 聖 也 (アーク・リソース),
森 田 重 光 (元 日本原子力研究開発機構), 須 永 藤 子 (麻布大学)

Itoh S., Ishikawa H., Ishizeki S., Ooi M., Ito M., Inoue S., Morita S. and Sunaga F. (2011).
Influence on foods' safety especially meats by Fukushima nuclear accident

All about SWINE 39, 9-16

【はじめに】

平成 23 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災の影響を受け、東京電力福島第一原子力発電所の 1 号炉から 4 号炉においてメルトダウン（核燃料が溶けて原子炉圧力容器内に溜まる事象）やメルトスルー（核燃料が溶け落ちて原子炉圧力容器を溶かして容器外に流れ出す事象）、水素爆発等の事故が発生し、史上最悪の原子力事故と言われているチェルノブイリ事故（国際原子力・放射線事象評価尺度：INES のレベル 7）に匹敵する惨事となった。

本報では、まず、原子力の基礎と問題となる放射性物質の種類・特徴について説明した後、今回の事故による現時点での問題点と、ヒト、家畜へのリスクについて考察する。

【原子力発電と放射性物質】

核燃料であるウランが詰められた燃料集合体は「原子炉圧力容器」と呼ばれる厚い金属製の容器に覆われており、その外側にさらに「原子炉格納容器」がある。発電の原理は簡単であり、核分裂

反応で発生した熱で純水を沸騰させ、発生した高圧の水蒸気でタービンと連結された発電機を回すというものである。発電機と連結されたタービンを回して発電するという点では、基本的に太陽光発電を除く他の発電方法と変わりがない。

一般的な原子炉ではウラン 235 という放射性物質を濃縮して用いる。このウラン 235 に中性子を照射するとウランが 2 つに分裂する。これが「核分裂」である。核分裂すると質量が少しだけ減る。この減った質量が熱エネルギーとなるのである。そして分裂したウラン 235 はさらに 2～3 個の中性子を放出して近くのウラン 235 にぶつかり分裂させる。このようにねずみ算式に核分裂反応が連続する状態になることを「臨界」と言う。

この核分裂で生成される物質が「核分裂生成物」、いわゆる「死の灰」と呼ばれる物質である。図 1 は核分裂でどのような物質がどれくらい生成されるかを示している。横軸が質量数、縦軸がウランの核分裂で相対的に何%生成されるかを示している。今回の事故で問題となっているセシウム 134,137 もヨウ素 131 も、あるいは今回の事故

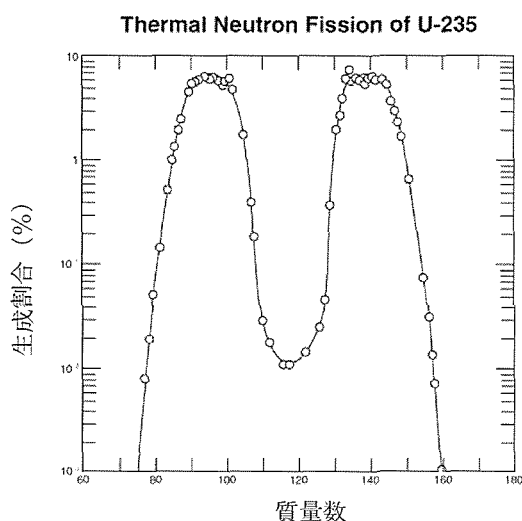


図1 核分裂で生成される元素

では現時点で問題となっていないストロンチウム90もすべてこの核分裂生成物である。図1から、現在問題となっている放射性物質の生成割合が高いことがわかる。

核分裂してもウランの質量数から中性子の2を引いた値（質量数233）のちょうど半分にあたる質量数の物質ができるわけではないのである。

【今回の事故の特徴】

地震と同時に中性子を吸収する「制御棒」が働き、核反応はストップした。しかし、津波により地震発生の約50分後に外部電源の全ての系統が停止してしまい、冷却水の循環ができなくなったのが今回の事故の原因である。一度臨界となった核燃料は核分裂が停止しても長期にわたって発熱し続け、常温に冷えるまでには数年から十年程度水中で冷却する必要がある。チェルノブイリ事故は故意に外部電源を遮断する実験をしている最中に制御できなくなり爆発した。電気を作る原子力

発電所の命綱は外部から来る電源なのである。

運転されていた1号炉から3号炉までの原子炉の冷却水は循環がストップしたため高温になっている核燃料により蒸発し、燃料が水中から露出してさらに高温となった。その結果、核燃料は融解して原子炉压力容器の底部に溜まり（メルトダウン）、さらには原子炉压力容器の底部を貫通して容器外に漏出（メルトスルー）したものと推測される。また、これまでの注水後の水の漏出状況から考えて、2号炉、3号炉は原子炉格納容器あるいは圧力抑制室が1号炉と比べて大きく損傷している可能性が高いと推測されている。

一方、原子炉で使用直後の核燃料は、前述したように非常に高温となっているため、原子炉の横にある燃料貯蔵プールで長期間、水を循環させながら冷却する。事故当時には各燃料貯蔵プールには292本から1535本の燃料棒が貯蔵されていた。ところが、今回の事故では外部電源が遮断されたため、原子炉本体と同じように燃料貯蔵プールの中の水も上昇し、特に4号炉の燃料貯蔵プールでは燃料が水面から露出して溶融し、燃料を覆うジルコニウム製の管（被覆管）と高温となった水が反応して水素が発生し爆発した。ちなみに4号炉プール内に保管されている燃料は1日70トンもの水を蒸発させる熱量を持っている。4号炉燃料貯蔵プールの破損は他のプールに比べ大きく、注水している水の漏れが多かった。この4号炉燃料貯蔵プールの補修も第一段階の対応として重要な意味を持つ。

【放射線と放射性物質】

これまで検出されている「ガンマ線」は放射性物質が出す電磁波（波長が紫外線よりもさらに短

い光の一種)、「ベータ線」という放射線は放射性物質や加速器から放出される電子のビームのことで、これらを総称して「放射線」と呼ぶ(他にも様々な種類の放射線があり、一般には電離作用のある放射線、つまり「電離放射線」を「放射線」と呼ぶ)。

放射線を常時観測している「モニタリングポスト」の線量が事故後広い範囲で上昇した。これは、クリプトンやキセノン等の放射性ガスあるいは高温で揮発したヨウ素やセシウムが放射線を出しながらモニタリングポスト近くを通過していったためである。放射線は距離の2乗に反比例して減衰することから、原子力発電所の敷地外で検出されている放射線は、原子炉内で発生した放射線が直接到達したものではなく、事故炉から流れてきた放射性物質が測定地点近くを通過したときのみ、一時的に線量が上昇するのである。一方、事故後も福島やその近隣県においては継続して放射線レベルが高めであるが、これは、地表面に降下し沈着したセシウム等の放射性物質が放射線を出し続けているからである。

「放射性物質」とは、文字通り放射線を出す物質のことで、クリプトンやキセノン等の放射性ガスも放射性物質の一種であるが、今後、問題となると考えられるセシウムやヨウ素は、高温になると気化して拡散するが、元々は金属元素であることから様々な物質との反応性が高く、環境中や人体、家畜体内中における挙動がそれぞれ異なる。

クリプトンやキセノンの通過による被ばくは身体の外部からのもの(「外部被ばく」と呼ぶ)であり、一過性であるが、セシウムやヨウ素などの放射性物質を呼吸や食事により体内に取り込んでしまうと(「内部被ばく」と呼ぶ)、様々な組織の

近傍でしばらくの間、放射線を出し続けることになる。したがって、内部被ばくの方が外部被ばくよりも発癌等のリスクを考える上ではより重要である。

【問題となる放射性物質とその影響】

セシウムやヨウ素などの放射性物質が環境中に多量に放出されると、チェルノブイリ事故と同様、深刻な問題が発生する。以下、原子炉の事故で問題となりうる放射性物質の特徴を、今回の事故に関する考察を交えて以下に示す。

①ヨウ素 131

ヨウ素 131 は汚染された牧草を摂取した乳牛の原乳中に濃縮され、この汚染された原乳を飲むことによって人(特に乳幼児)に障害を及ぼす可能性がある。ヨウ素 131 は人体内に入ると甲状腺に濃縮される。甲状腺は成長ホルモンを分泌する器官でありヨウ素を蓄積するからである。甲状腺は子供の時ほど活発に働いており、それが故にチェルノブイリでは子供の甲状腺癌が多発した。牛乳はヨウ素 131 の重要な摂取経路であると考えられている。しかし、半減期は短く8日であることから、事故発生後の1ヶ月後には1/16に、3ヶ月後には1/2,400の線量に減衰する。

我が国では、事故後、直ちに原乳の分析を行い、出荷を制限したため、甲状腺癌が発生するリスクは極めて低いものと推測される。

②セシウム 134, 137

セシウム 134 の半減期は2年、セシウム 137 の半減期は30年であることから、長期にわたって問題となりうるのはセシウム 137 の方である。養

豚の場合は「セシウム 137 をいかに摂取しないように管理するか」が豚肉の汚染を防ぐ上でのキーポイントとなる。体内での挙動はカリウムと同族元素であることからカリウムに準ずる。放射線を出さない安定セシウムを分析した結果、食物から人体への取り込みが $10 \mu\text{g}/\text{日}$ 、大気から人体への取り込みが $0.025 \mu\text{g}/\text{日}$ 、そして尿からの排泄が $9.0 \mu\text{g}/\text{日}$ 、便への排泄が $< 1.0 \mu\text{g}/\text{日}$ 、その他、汗からも排泄されることが明らかとなっている。つまり、体内に取り込まれたセシウムは、ほとんど 100% 近くが排泄されることになる。

親和性が最も高い器官は筋肉で、その他多くの臓器に集積する。しかし、物理学的半減期は 30 年と長いものの、生物学的半減期（体内から摂取された半量が排泄されるまでの時間）は 50 ~ 200 日と比較的短いと考えられている。

養豚という観点からは半減期が長いセシウム 137 も必要以上に恐れる必要はないと推測される。その理由として豚の飼料にセシウムが含まれていないことが挙げられる。

対照的に牛肉からは基準値を超えるセシウムが検出されて問題となっている。これは、セシウム濃度が極めて高い稲藁（数万 Bq/kg）あるいは牧草を継続的に与えていたことが関与していると考えられる。体内に蓄積される割合は低くても、投与量が多ければ少しずつ体内に蓄積されるのである。その証拠として、筆者らは牛肉中のセシウムの濃度レベルが、事故直後から 4 月までは基準値を大きく下回っていたものの、5 月に入ってから徐々に基準値に近い濃度レベルとなって来ていることを報告している。

ヨウ素 131 が検出された場所にはセシウム 134, 137 も沈着しているものと考えられる。原

乳や葉菜類の出荷が停止になった地域で栽培した作物を飼料として使用することは極力避けることが望ましいが、もし使用せざるを得ない場合は、飼料の検査をしてから与えることが汚染を防ぐ上で肝要であろう。

③プルトニウム 238, 239, 240

プルトニウムは化学的な毒性が高く、放射線の飛程は短いものの組織に大きな損傷を及ぼすアルファ線を放出するため、内部被ばくした場合は非常に危険な放射性物質である。新聞等でも長期モニタリングが必要であると報道されている。

しかし、プルトニウムの土壤中濃度を定量した結果、当該原子力発電所の敷地内でも濃度レベルは非常に低かった。

プルトニウムは質量が重く粒子状で拡散するため、水素爆発で飛散する距離は、ガス状の放射性物質（クリプトン、キセノン等）や酸化しやすい核分裂生成物（セシウム、ヨウ素等）よりも短くなるためであると推測される。

④アルファ線放出核種

食品衛生法の暫定基準にはアルファ線放出核種やウランが設定されている。これらの核種が放出する放射線は文字通りアルファ線で、空気でも遮へいされることから皮膚に直接沈着しないかぎり外部被ばくの可能性は低い。しかし、これら放射性物質と結合した土壌や食物を体内に吸引・摂取すると、今まで問題としてきたガンマ線やベータ線を放出する放射性物質（ヨウ素やセシウム）よりもリスクは大きくなる。

しかし、ウランもプルトニウム同様、重い元素であることから、もし放出されたとしても事故炉

の近傍に降下しているものと考えられる。

⑤ストロンチウム 90

ストロンチウムはカルシウムと同族元素であることから、内部被ばくすると骨に集積し、造血器官の癌（例えば白血病）の原因となる可能性がある。

ストロンチウム 90 は半減期が 28.8 年とセシウム（同 30.2 年）と同等に非常に長く、また、核分裂で生成される割合（核分裂収率）も非常に高いため、「ストロンチウム 90、ヨウ素 131、セシウム 137」の 3 種は最も注意すべき放射性物質であると考えられている。

しかし、浪江町および飯舘村の 3 点で採取した土壌から検出されたストロンチウム 90 濃度は最大 32Bq/kg、ストロンチウム 89 は同 260Bq/kg であった。この濃度はセシウム 137 濃度の 0.06% に相当する非常に低い値である。また、大玉村や本宮市など 4 点で採取した葉野菜から検出されたストロンチウム 90 濃度も最大で 5.9Bq/kg と、セシウム 137 濃度の 0.007% に相当する非常に低い値であった。

図 1 から考えると、ストロンチウム濃度がセシウム濃度に比べて非常に低いのは、一見奇妙に思える結果であるが、これにはそれぞれの沸点の違いが関与しているものと考えられる。セシウムとストロンチウムの沸点はそれぞれ 671℃および 1,382℃であり、大きく異なる。今回の事故はチェルノブイリ事故よりも核燃料の融解温度が低く、沸点が低いセシウムは環境中へ気化して放出されたものの、ストロンチウムは気化せず、かつ水溶性が高いことから、原子炉内やピット水、トレンチ水等に溶解して施設内に留まっているもの

と考えられる。

ストロンチウムの放出量が少なかったことから、今回の事故が原因となって白血病が発生する可能性も非常に低いと考えられる。

【豚肉の汚染はない】

豚肉には天然に存在する放射性物質であり、セシウムと同族であるカリウム 40 が平均で約 170Bq/kg 含まれている。カリウム 40 はベータ線を放出する。セシウムはカリウムと同族元素であることから、人や家畜の体内においてほぼ同じ挙動を示し、筋肉や各種臓器に蓄積されるが、脂肪にはカリウムがほとんど含まれないことから脂肪分が多くなるほどセシウム濃度は低くなる。

事故前の国内の豚肉中のセシウム 137 に関する濃度については古いデータ（1983 年）があるのみであるが、その値から推測される事故直前の濃度レベル（バックグラウンドレベル）は 0.1～数 Bq/kg である。事故前にもセシウムが検出されるのは、1950 年代から 1960 年代に行われた大気圏内核実験の影響である。

我々が事故後に測定した福島産豚肉の放射性物質濃度は、ヨウ素 131 は不検出、セシウム 137 で不検出～5.6Bq/kg という値で、極めて低かった。したがって、飼料に注意している限り、豚肉が基準値を超える可能性は限りなく（ほぼ 0% に近く）低いと言える。

【飲用水の汚染について】

3 月に水道水中の放射性物質濃度が上昇したのは、地表面に降下した放射性物質が雨水で洗い流されて水源に移流したためと考えられる。セシウムは土粒子と強力に結合し、チェルノブイリ事故

の例では、事故後10年以上が経過しても、地表面に降下したほとんどの成分が表面下10cmまでの層に保持されていた。したがって、その汚染された土壌粒子が井戸や水道水の水源となる河川等に流れ込めば、しばらくの間、降雨のたびに飲用水中の濃度レベルは上昇するのである。

水道水については厚生労働省が安全宣言を既に出しているが、井戸水等を利用する場合は土壌表面を流れてきた水が入り込まないように注意する必要がある。

【低線量被ばくの影響】

放射線に被ばくして細胞質等にラジカルが発生し、障害が生じることを「急性障害」と呼ぶ。やけどや脱毛がこの急性障害にあたる。急性障害には図2のようにある線量までは障害がまったく生じない「しきい値」が存在する。今回、脚部だけに3Sv（人の50%致死線量）の放射線を浴びた作業員が3人いたが、障害はなかった。

一方で、発癌や遺伝的影響など被ばくしてから一定の時間がたってから生じる障害を「晩発性障害」と呼ぶ。この晩発性障害の発生率（例えば発癌率）はもっぱら広島・長崎での疫学調査の結果

や動物実験の結果から導き出されたものであり、100mSv以上では被ばく線量と発癌率との間に明確な直線関係が認められるものの、100mSv以下については様々な解釈があり、国際放射線防護委員会（ICRP）では100mSv以上の関係式を低線量側に外挿した場合、ほぼ原点を通ることから晩発性障害の発生率は確率的で原点を通る直線モデルで表されるとしている。つまり、リスクゼロはないということである（図3）。

ICRP2007年勧告では、年間20mSvまでは緊急時には許容できる範囲であり、年間20～100mSvの間では何らかの対策をとるようとしている。これが「年間20mSv以下」を基準としている理由である。

今回の文科省の調査では年間推定被ばく線量が数百mSvとなってしまう地点もあり、100mSvを超えると推測される地点が複数箇所あることが明らかとなった。これらの結果はモニタリングカーと呼ばれる測定器を積載した車で測定したものであり、概ね実際のレベルに合致していると考えられるが、より精度の高い、固定の積算線量計で測定した正確な値も公表され始めている。

また外部被ばくばかりでなく、ホールボディカ

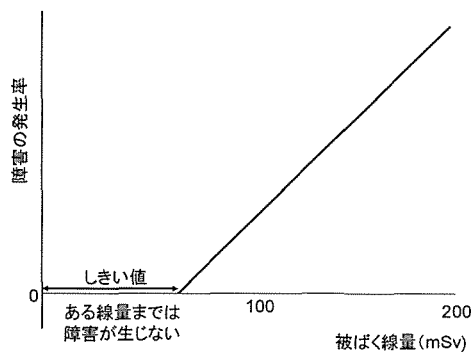


図2 急性障害の発生率

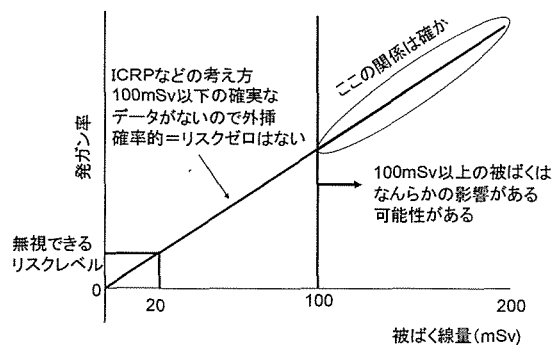


図3 ICRPの発癌率の考え方

ウンタを用いた内部被ばく量の把握も進められている。

【放射線・放射性物質の影響はあるのか？】

土壌汚染レベルの高い地域で生活あるいは作業する場合以外は外部被ばくに注意する必要はないものと考えられる。必要対策は内部被ばくをいかに防ぐかである。これから、我々は否応が無しに放射性物質と長年にわたってつきあっていかなければならない。そのとき注意すべき点は

- ①いかに放射性物質に汚染された食品を摂取しないか
- ②いかに大気を浮遊している放射性物質を吸引しないか

の2点である。

①については生産者およびリスク管理者（国や自治体）の責任が大きいですが、消費者も各食品類の汚染状況を把握するとともに、野菜類等についてはよく洗浄することによりリスクを低減化できる。また、②については風が強く土埃が舞っているときマスクを着用することによりリスクを低減化できる。

発癌リスクの主要因子は喫煙、運動不足と不規則な食生活でいずれも20～30%を占める。それに対して100mSv被ばくしたときの発癌の向上率は0.5%と見積もられている。

今回の事故の約10倍の放出量があったチェルノブイリ事故を例に挙げると、事故が原因で癌になった人数は3,900人（チェルノブイリフォーラム）から9,000人（WHO）と推定されている。この中には事故対応で被ばくした人も含まれる。ここで注意すべき点は、今回の事故による放出量が1/10であるから癌になるのは390人から900

人かということ、そうはならないということである。なぜなら、事故の性質と事故後の対応がチェルノブイリ事故と今回の事故では大きく異なるからである。チェルノブイリ事故でさえ白血病は増えなかったという報告もある。

唯一チェルノブイリ事故で危険性が明確になっているのはヨウ素131の摂取による子どもの甲状腺癌の発症リスクの向上である。チェルノブイリ事故の場合、事故の年（1986年）に出生した子ども約3,400人中甲状腺癌の発生数は1名、チェルノブイリ事故後に出生した子ども約9,500人中甲状腺癌の発生数は0名であったのに対し、チェルノブイリ事故時に3歳以下であった子ども約9,700人中甲状腺癌の発生数は31名と有意に高かったという論文が発表されている。しかし、チェルノブイリ事故時にはヨウ素131等に汚染された牛乳をしばらくの間、摂取していたという経緯もある。

わが国では原乳の流通を事故後すぐに制限したことと、浄水場で高度処理をして飲用水中の濃度レベルも低く抑えることができたことから、甲状腺癌についても発生リスクは極めて低いものと考えられる。

なお、日本産婦人科学会も200Bq/L程度の水道水を毎日飲んでも母体や胎児に影響はなく、また、授乳にも影響はないと発表している。また、外部被ばくによる胎児への影響も全くないレベルであると考えられている。

【まとめ】

養豚業界にとっては不幸中の幸いで、放射性物質の暫定基準値超えやそれに伴う出荷停止の可能性は極めて低いことであろう。しかし、牛肉の汚

染問題でもわかるように、思わぬ原因で基準を超過する可能性はどの食品にもある。筆者らは牛肉中のセシウム濃度レベルが徐々に高くなって来ていることから、何らかの汚染経路があるのではないかと5月の段階から警鐘を鳴らしてきた。

牛肉問題は養豚業界に対して教訓を与えてくれた。それは、「早期そして継続的なモニタリングの必要性」と「飼料への配慮（モニタリングを含む）」である。継続的なモニタリングは、問題が顕在化する前に対策をとるためにも、また、風評

被害を防ぐ上でも最も強力な裏付けとなるものである。豚の全頭検査など現実的ではないだけに、問題が顕在化した場合は現在の牛肉問題よりもさらに深刻な状況となるものと考えられる。

放射性物質による汚染問題に対しては、常に先手を打って対応することが肝要である。農林水産省をはじめ、養豚業界、獣医師、飼料会社等が一丸となって当該問題が発生しないよう準備する必要がある。養豚業界に放射性物質汚染問題が発生しないことを願ってやまない。