

資料

放射線障害の基礎

宮 本 亨 ((独)農業・食品産業技術総合研究機構 動物衛生研究所 病態研究領域)

Miyamoto, T. (2012). Fundamental knowledge of radiation effects on human and livestock.

Proc. Jpn. Pig Vet. Soc. 60, 3-6.

キーワード：放射線障害、環境放射能、家畜骨、ストロンチウム90

1. 放射線障害の基礎

2011年3月の東日本大震災とそれに続く東京電力福島第一原発の事故により、福島県を中心とした東北関東各県の畜産業はこれまでにないほど甚大な影響を受けている。特に風評被害は必ずしも科学的説明だけでは解消し得ない部分が多く、対応に苦慮するところである。しかし、家畜衛生に従事する者として放射線の基礎知識を理解し、生産者、消費者にいつでも説明できることは、非常に重要なことと考える。そこでまず放射線に関する基本的事項について説明する。

1. 放射線の単位：ベクレル (Bq)：放射能の強さを示す単位。1秒間に1つの放射線を出すと1Bq。シーベルト (Sv)：放射線を浴びた時の人体の影響度(実効線量)を示す単位。例えば、牛肉の中に1000 Bq/kgのセシウム137 (^{137}Cs) が含まれていたとすると、その肉の放射線量自体はどこにあっても変わらない。しかし放射線が人間に与える影響は、距離によって変わるため、その肉がある人から1mのところにあるか、手に持っているか、食べてしまったかによって、実効線量 (Sv) は変動する。

2. 自然放射能：我々は、原発事故がない通常の生活においても、宇宙線や食品中の放射性物質による自然放射線に常にさらされている。微量の放射線による健康への影響は、他の健康リスクに隠れてしまい、科学的に解析することは困難である。一般に体重60kgの人の体内には、自然放射能としてカリウム40 (^{40}K) が4100Bq、炭素14 (^{14}C) が2600Bq程度存在している。なお天然の放射線が安全で、原発事故による ^{137}Cs などが危険というような質的な違いは存在しない。放射線の危険性は全体の量(実効線量)によって決まることになる。

3. 放射線障害：放射線障害は主にDNA損傷によっ

て引き起こされる。したがって細胞分裂や細胞増殖が盛んな組織(造血細胞、小腸内壁上皮細胞、眼の水晶体前面上皮細胞など)や未分化な細胞(生殖腺)ほど影響を受けやすい。

確定的影響(短期的影響)：短時間に大量の放射線を浴びた際の吐き気や嘔吐、脱毛など。「しきい値」(それより低ければ生物に影響がないとされる量)が存在する。少なくとも原発敷地外ではこのような危険はないと考えられる。

確率的影响(長期的影響)：発がん、遺伝的影響など長期のリスクで、まさに現在問題になっているものである。発がんリスクは年間の被ばく線量が1Sv/年の場合、5%上昇すると言われているが、100-200mSv/年程度よりも低い線量では発がんリスクの有意な上昇は認められていない。しかし国際的には、安全のために「しきい値」はないものと仮定して、放射線防護対策を取ることになっている(例えば10mSv/年の発がんリスクは0.05%上昇すると仮定する)。

4. 内部被ばく：内部被ばくは放射性物質を含む空気、水、食物などを摂取することによりおこるが、放射性物質が体内にあり、代謝などの影響を受けるため、その量を直接測定するのは困難である。そこで人体への影響について、核種ごとに実効線量係数(mSv/Bq)が決められ、これを元に放射性物質を摂取した場合の影響を数値化する。例えば、 ^{137}Cs の実効線量係数は $1.3 \times 10^{-5} \text{mSv/Bq}$ だが、もし ^{137}Cs が500Bq/kg含まれる牛肉を1年間に20kg摂取すると、 $(1.3 \times 10^{-5}) \times (500 \times 20) = 0.13 \text{mSv}$ 相当の内部被ばくをうけたことになる。

2. 北海道における家畜骨中ストロンチウム90(^{90}Sr)濃度のモニタリング

1. はじめに： ^{90}Sr 、 ^{137}Cs 、ヨウ素131 (^{131}I)などの放射性元素は、もともと自然界にはほとんど存在していなかった元素で、核爆発や原子炉内でのウラン核分

裂反応の副産物として生成される。これらは核爆発や原子炉の事故に伴って全地球規模に拡散し、放射性降下物（フォールアウト）として地表や海面に落下、環境を汚染している。第二次世界大戦後、主として米ソによる大気圏内核実験が盛んに行われたため、日本でも放射能汚染への不安が広がり、全国規模の環境放射能調査がはじまった。

^{90}Sr は物理的半減期が約29年と長く、カルシウム (Ca) とよく似た特徴を持ち、体内に取り込まれた場合、その多くが主に骨に沈着する。したがって大量に内部被ばくした場合、骨腫瘍の危険があるといわれている。牛や馬のような草食動物はフォールアウトによって汚染された植物を直接摂取するため、草食家畜体内の放射性元素の測定は、飼養環境の放射能汚染状況を知る有力な手段となると考えられた。そこで、家畜衛生試験場（現・動物衛生研究所）でも環境放射能調査の一環として1957年から2007年までの51年間、家畜の骨中の ^{90}Sr の測定が行われた^{1,4,7)}。

東日本大震災に伴う福島第一原子力発電所の事故では原発周辺のみならず、東北関東の広い地域に ^{131}I 、 ^{137}Cs 、 ^{90}Sr などの放射性物質が拡散し、土壌、水、各種農産物からこれらが検出され、国民に大きな不安を与える事態となった。そこで、51年間にわたる調査結果を振り返るとともに、これらのデータを現在の放射能

汚染対策にどう生かせるか考えてみたいと思う。

2. 測定材料および方法：調査材料として牛および馬の前肢中手骨（一部大腿骨骨端）を用いた。1957-1970年には全国各地から材料が集められたが、1971年以降は北海道のみから採材した。なお少数ではあるが、豚、羊の骨中 ^{90}Sr 、また牛乳、飼料、乾草、トウモロコシ中の ^{90}Sr 測定も行った。 ^{90}Sr 分析法としてはジ-(2-エチルヘキシル)リン酸を用いた溶媒抽出法を用い、放射線 (β 線) の測定は低バックグラウンドガスフロー計数装置を用いて行った。

3. 家畜骨中 ^{90}Sr 濃度の推移：牛および馬における骨中 ^{90}Sr 濃度は、分析開始後急速に増加し、1965年には馬で4011mBq/g・Ca、1966年には牛で1439mBq/g・Caと頂点に達した。以後、若干の変動を示すものの減少に転じ、1980年代には分析開始時の値に、さらに調査終了時には牛馬ともに分析開始以来最も低い値であった(図1)。大気圏内核実験は1950年頃から増加し、1963年までに403回に上った。特に部分的核実験禁止条約 (PTBT) の調印 (1963年) 直前には年回100回以上行われ、この年、 ^{90}Sr と ^{137}Cs のフォールアウト量は最高値に達した²⁾。したがって、1965年以前に観測された骨中 ^{90}Sr 濃度の急激な上昇は、汚染された飼料、水などを直接摂取したことによると考えられる。

1963年以降のフォールアウト量は急激に減少し1967

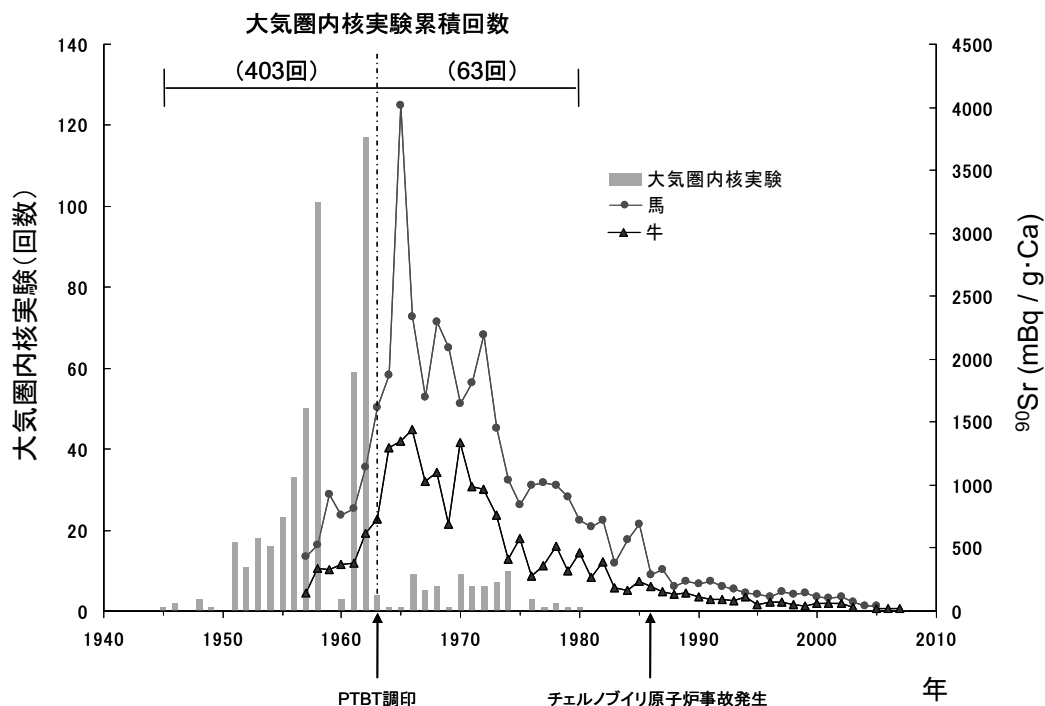


図1 馬および牛の骨中 ^{90}Sr 濃度の推移

年頃には1963年の数十分の一まで低下した。1980年まで中国が大気圏内核実験を行ったためフォールアウトは継続したが、1963年の10分の1以下のレベルであった。しかし骨中 ^{90}Sr 濃度の低下はこれに比べると緩慢である。これには土壌中 ^{90}Sr 蓄積量が関係していると思われる。

駒村ら²⁾によれば、土壌中 ^{90}Sr および ^{137}Cs 濃度も1963-1965年に最高値になった後、減少に転じた(減少の要因としては、表面流去、下層への溶脱、植物への吸収などがある)。しかしその減少速度は、フォールアウト量の減少速度に比べると緩慢で、土壌中の ^{90}Sr の「半減期」は平均8-11年と試算されている。また同じく駒村ら²⁾によれば、白米中 ^{90}Sr 量も土壌と同様に推移していた。残念ながら飼料作物についての継続的データはないが、おそらく同様の経過をたどったものと思われる。

馬骨中 ^{90}Sr 濃度が最高値に達した1965年から2007年までの変化に指数関数を当てはめると、馬、牛ともに骨中 ^{90}Sr はおおむね7-8年の「半減期」で減少していた。また三橋ら³⁾のデータによれば、牛乳中 ^{90}Sr 量も骨中 ^{90}Sr 量に近い半減期をもって減少している。これら数字は土壌や白米中 ^{90}Sr の「半減期」に近い数字である。すなわち、1965年以降、大気圏内核実験の回数が激減し、土壌に蓄積していた ^{90}Sr 量に比べてフォールアウト量が十分に減少した後は、土壌、飼料作物、家畜の間に平衡状態が成立し、土壌からの ^{90}Sr 減少速度に合わせて、家畜骨 ^{90}Sr も徐々に減少したと考えられる。

4. 牛骨と馬骨における ^{90}Sr 濃度の違いについて：骨中 ^{90}Sr 濃度は測定開始以来ほぼ一貫して馬骨の方が牛骨より高い値で推移した(図1)。この理由について、まず馬骨のSr含量(非放射性)が牛骨より高いことがあげられる。表1に示すように、Ca原子数に対するSr原子数は馬の方が牛より約2倍高い⁵⁾、すなわち放射性、非放射性Sr原子ともに、その取り込み量が牛の約2倍であることが予想される。次に、馬と牛における食性(飼料)の違いも理由に挙げられる。表2に示すように1971-1972年の調査では、馬用飼料では牛用飼料より ^{90}Sr 濃度が高かった¹⁾。また、乾草の ^{90}Sr 濃度は穀類(トウモロコシ)に比べて著しく高かった。馬は牛に比べて飼料に占める乾草量が多く、また放牧の機会が多いことなど飼料の違いも牛と馬における骨中 ^{90}Sr 濃度の差異に影響していると思われる。羊および豚の骨中 ^{90}Sr 濃度を測定した結果、羊はほぼ牛と同

表1 家畜骨中Sr原子数

分析年次	Sr原子数(例数)	
	牛骨 [※]	馬骨 [※]
1957	0.31±0.12 (96)	1.70 (1)
1958	0.19±0.06 (3)	0.51±0.20 (12)
1959	0.25±0.12 (34)	0.40±0.17 (23)
1960	0.28±0.15 (61)	0.50±0.24 (39)
1961	0.31±0.10 (57)	0.58±0.18 (21)
1962	0.10±0.60 (44)	0.60±0.16 (34)

※ Ca 1000原子に対する原子数

表2 家畜飼料中の ^{90}Sr 濃度

分析年次	試料	^{90}Sr 濃度 [※] (例数)
1971	牛乳	233±118 (10)
1972	牛乳	263±89 (10)
1971	配合飼料(牛)	718±56 (4)
1971	配合飼料(馬)	2653±63 (4)
1972	乾草	2050 (1)
1972	穀類(トウモロコシ)	36 (1)

※ mBq/g・Ca

レベル(991.6mBq/g・Ca)であったが、豚は羊の3分の1程度(314.5mBq/g・Ca)と低かった。牛、馬間の違い同様、骨中Sr含量の違いや食性の違いが影響していると考えられる。ちなみに1960年代の日本人成人骨 ^{90}Sr 濃度は36mBq/g・Caという値が得られている¹⁾。これは豚よりもさらに低い値であり、やはり食性の影響が大きいのかかもしれない。

5. 年齢による影響：年齢と骨中 ^{90}Sr 濃度の関係については報告が少ない。Sirotkinらは牛骨の ^{90}Sr 濃度は2歳以下の牛で高くそれ以降は減少すると報告している⁶⁾。しかし我々のデータからは馬、牛とも年齢と骨 ^{90}Sr 濃度の関係に有意な関係は見られなかった(データ非掲載)。これは、それぞれ飼養されていた地域や農場が異なったため、摂取していた飼料中の ^{90}Sr 含量に大きなばらつきが生じ、個体間の比較が難しくなったためと考えられる。今後さらに詳しくデータを解析する必要がある。

6. おわりに：骨中 ^{90}Sr 量の測定は材料の入手が困難で、手間もかかるため、汚染が与える影響の評価は難しい。我々の家畜骨のデータや、他機関で行われた土壌や作物のデータは、福島第一原発事故により汚染された家畜 ^{90}Sr 蓄積に与える影響、ひいては人への影響について考える上で非常に参考になると思われる。

引用文献

- 1) 岩田神之介ら (1988) 家畜の骨中 ^{90}Sr 濃度の調査 (1963-1986). 家畜衛試研究報告, 92: 21-27.
- 2) 駒村美佐子ら (2006) 我が国の米、小麦および土壌における ^{90}Sr と ^{137}Cs 濃度の長期モニタリングと変動解析. 農環研報, 24: 1-21.
- 3) 三橋俊彦 (1989) 牛乳の放射能調査25年の歩み. 放射線科学, 32: 239-243.
- 4) Miyao N, et al. (1963) Strontium-90 in the bone of domestic animals in Japan of 1957-1962. Nat. Inst. Animal Health Quart, 3: 93-100.
- 5) 宮尾陟 (1960) 家畜のストロンチウム-カルシウム差別率に伴うストロンチウム代謝に関する研究. 日獣学誌, 22: 273-286.
- 6) Sirotkin AN, et al. (1977) Kinetics of the uptake and excretion of ^{90}Sr and ^{137}Cs in cattle in relation to age. Vet Bull, 47: 690
- 7) 近山之雄ら (1999) 北海道における ^{90}Sr の牛馬骨への蓄積状況. RADIOISOTOPES, 48: 283-287.