

## 家畜骨中<sup>90</sup>Sr濃度のモニタリング

宮本 亨<sup>1</sup>・近山之雄<sup>1</sup>・渡部 淳<sup>1</sup>・高橋雄治<sup>1</sup>・八木行雄<sup>1</sup>

### 1. はじめに

ストロンチウム90(<sup>90</sup>Sr)、セシウム137(<sup>137</sup>Cs)、ヨウ素131(<sup>131</sup>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い元素で、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。これらは爆発や事故に伴って全世界規模に拡散し、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核兵器開発競争が起こり、大気圏内核実験が盛んに行われた。そのさなかの1954年、ビキニ環礁での水爆実験に遭遇した第五福竜丸の乗組員が被ばくし、水揚げされたマグロから放射性物質が検出されたことから、日本でも環境、食糧の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行われるようになった。

これらの放射性元素のうち、<sup>90</sup>Srは物理的半減期が約29年と長く、 $\beta$ 線を放出してイットリウム90(<sup>90</sup>Y)を経てジルコニウム90(<sup>90</sup>Zr)となって安定する(図1)。<sup>90</sup>Srはカルシウム(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。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年から家畜の骨中の<sup>90</sup>Srの測定が始められた。測定は51年間続いたが、1980年の中国による実験を最後に大気圏核実験は行われなくなり、また飼料自給率が減少している現状では、局所環境の放射能調査としての意味は薄れたとの理由で本調査は2007年度採取分の分析をもって終了した。

しかし、2011年3月11日の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<sup>131</sup>I、<sup>137</sup>Cs、<sup>90</sup>Srなどの放射性物質が

---

MIYAMOTO Toru, CHIKAYAMA Yukio, WATANABE Atsushi, TAKAHASHI Yuji, YAGI Yukio: The Monitoring of Bone Strontium 90 in Domestic Animals

1. 連絡先: 農研機構・動物衛生研究所 〒305-8517 茨城県つくば市観音台3-1-1

(2012年10月5日受付・2012年10月27日受理)

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。本日は1957年から2007年までの51年か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. 実験方法

### (1) 測定材料

調査材料としては、各地から採取した牛および馬の前肢中手骨(一部大腿骨骨端)を用いた。表1に採材地域を示す。1957-1970年には全国各地から材料が集められていたが、1971年以降は北海道のみから採材した。なお1957年には豚、羊の骨、また1971-1972年には牛乳、飼料、乾草、トウモロコシの<sup>90</sup>Sr測定も行っている。

表1 家畜の骨材料採取地域

年次	採取地域(都道府県)
1957	北海道, 宮城, 山形, 新潟, 東京, 島根, 福岡, 鹿児島
1958	東京
1959	北海道, 群馬, 東京, 静岡, 名古屋, 兵庫, 島根, 福岡
1960	北海道, 青森, 宮城, 山形, 新潟, 東京, 名古屋, 兵庫, 鳥取, 島根, 福岡, 長崎, 宮崎, 鹿児島
1961	北海道, 宮城, 新潟, 東京, 名古屋, 兵庫, 鳥取, 島根, 福岡, 宮崎, 鹿児島
1962	北海道, 宮城, 山形, 新潟, 東京, 名古屋, 鳥取, 広島, 福岡, 鹿児島
1963	北海道, 宮城, 東京, 名古屋, 広島, 宮崎, 山形, 新潟, 鳥取
1964	北海道, 宮城, 東京, 名古屋, 広島, 宮崎, 山形, 鳥取
1965~1969	北海道, 東京, 宮崎
1970	北海道, 東京
1971~1976	北海道
1977~2007	北海道

### (2) <sup>90</sup>Sr分析法

<sup>90</sup>Sr分析法として、1957-1976年には発煙硝酸法(旧科学技術庁による統一手法)を、1977-2007年にはジー(2-エチルヘキシル)リン酸を用いた溶媒抽出法(その後開発された安全性の高い手法)を用いた。なお、同一試料をこの二つの方法で分析した場合、測定値が一致することが確認されている。放射線( $\beta$ 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。分析は同一試料につき2回以上

行った。

$^{131}\text{I}$ や $^{137}\text{Cs}$ のように、それぞれに特有なエネルギーを持つ $\gamma$ 線を放出する各種は、ゲルマニウム半導体検出器で比較的簡易、迅速に測定できる。一方 $^{90}\text{Sr}$ から放出される放射線は $\beta$ 線のみであり、化学的な抽出操作が必要であり時間と手間がかかる。これは現在でも変わらず、 $^{90}\text{Sr}$ 測定が $^{137}\text{Cs}$ 測定よりも遅れる原因である。我々が用いた溶媒抽出法の測定原理は、次の通りである。

$^{90}\text{Sr}$ は28.8年と比較的長い半減期を有し、 $\beta$ -崩壊によって半減期64時間の $^{90}\text{Y}$ が生じる(図1)。一般に崩壊前の核種を親核種、崩壊後の核種を娘核種というが、親核種の半減期が娘核種の半減期よりも長い場合には、時間が十分経過すると親と娘の間に放射能的な平衡関係が達成される。この平衡関係は放射平衡と呼ばれ、特に $^{90}\text{Sr}$ のような親の方が娘より遙かに長い場合に達せられる放射平衡は永続平衡と呼ばれている。このような場合、親と娘の原子数の比は半減期の比にほとんど等しくなるとともに、放射能の比はほとんど1に等しくなる。比が1ということは、親核種と娘核種のみかけの放射能が等しいことを意味する。したがって、娘核種の $^{90}\text{Y}$ を分離、測定することによって親核種である $^{90}\text{Sr}$ 濃度を求めることが出来る。(永続平衡を達成しているような親と娘の系から娘核種だけを何らかの化学的方法で分離することをミルクキング(milking)と呼んでいる)

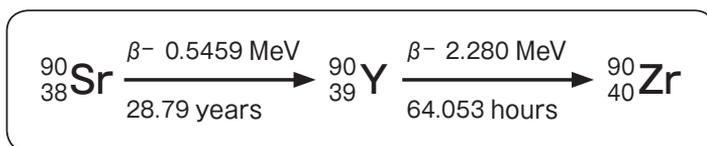


図1  $^{90}\text{Sr}$ の壊変

### 3. 結果および考察

#### (1) 家畜骨中 $^{90}\text{Sr}$ 濃度の推移

牛および馬における骨中 $^{90}\text{Sr}$ は、分析開始後急速に増加し、1965年に馬で4011 mBq/g・Ca、1966年に牛で1439mBq/g・Caとに頂点に達した。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2)。

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 $^{90}\text{Sr}$ 、 $^{137}\text{Cs}$ のフォールアウト量は最高値に達した。したがって、骨中 $^{90}\text{Sr}$ の急激な上昇は、汚染された飼料、水などを摂取したことによると考えられる。

1963年以降はフォールアウト量は急激に減少し、1967年頃には1963年の数十分の1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 $^{90}\text{Sr}$ の低下はこれに比べると緩慢である。これは、土壌中 $^{90}\text{Sr}$ 蓄積量が関係していると思われる。

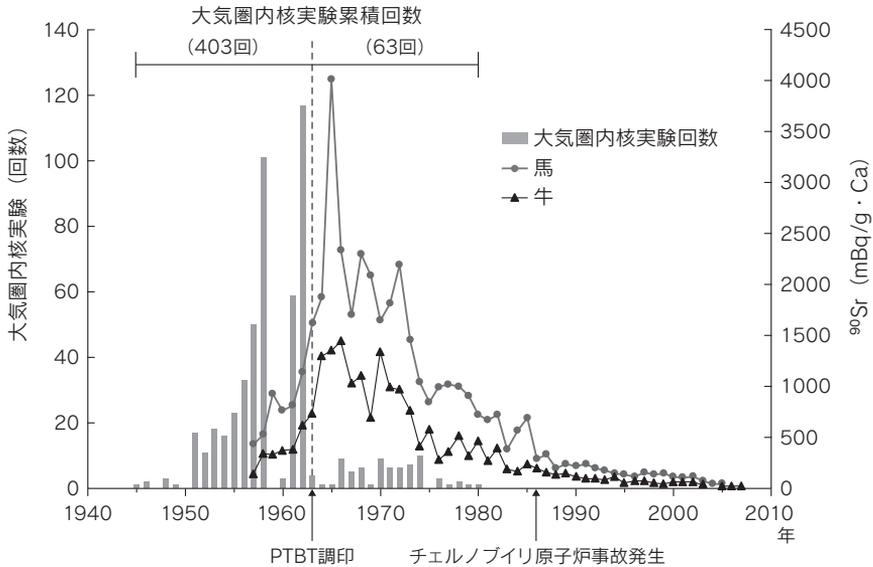


図2 馬および牛の骨中 $^{90}\text{Sr}$ 濃度の推移

駒村らによれば、土壌中 $^{90}\text{Sr}$ 、 $^{137}\text{Cs}$ も1963-1965年に最高値になった後、漸減している(表面流去、下層への溶脱、植物への吸収など土壌からの減少量がフォールアウト量を上回っていた)。土壌中の $^{90}\text{Sr}$ の「半減期」は平均8-11年と試算されている。馬骨が最高値に達した1965年から2007年までの変化を対数グラフで表したのが図3である。馬、牛それぞれに指数関数を当てはめると図3のようになり、馬、牛ともにおおむね7-8年の「半減期」で減少していることがわかる。この数字は土壌 $^{90}\text{Sr}$ の「半減期」に近い数字である。この「半減期」は、すでに土壌が蓄積していた $^{90}\text{Sr}$ 量に比べてフォールアウト量が十分低い条件下で、土壌中 $^{90}\text{Sr}$ の低下、それに伴う牧草中 $^{90}\text{Sr}$ の低下、さらに動物体内における生物学的半減期、物理的半減期などを総合的に包含した数字だと考えられる。

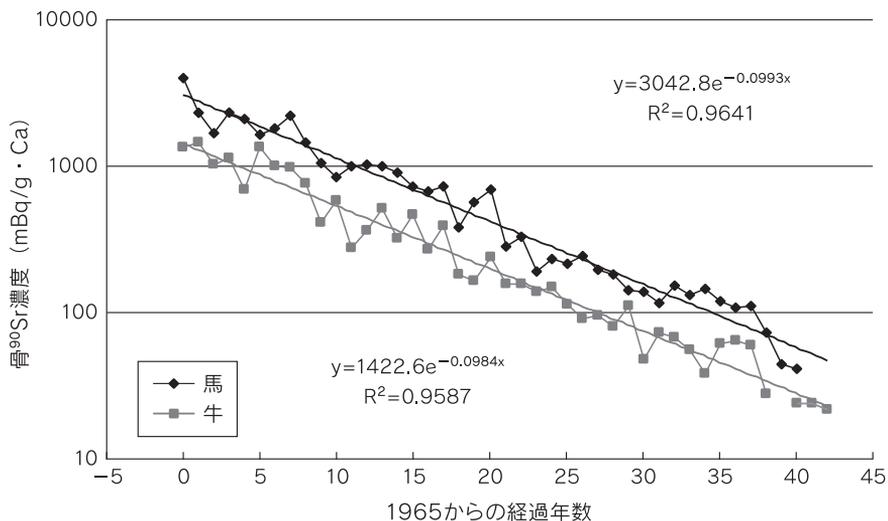


図3 家畜骨<sup>90</sup>Srの減少率

(2) 牛骨と馬骨における<sup>90</sup>Sr濃度の違いについて

<sup>90</sup>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2, 3)。この理由について、まず馬骨のSr含量が牛骨より高いことがあげられる。表2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。また表3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<sup>90</sup>Sr濃度が高かった。また、乾草の<sup>90</sup>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、飼料の違いも影響していると思われる。

表2 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3 家畜飼料中の<sup>90</sup>Sr濃度

分析年次	試料	<sup>90</sup> Sr濃度※(例数)
1971	牛乳	233 ± 118 (10)
1972	牛乳	263 ± 89 (10)
1971	飼料(牛)※※	718 ± 56 (4)
1971	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

※※乾燥、穀類などを当時の給与割合に従って配合したもの

羊および豚の骨中<sup>90</sup>Sr濃度を測定した結果、羊はほぼ牛と同レベル(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、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の<sup>90</sup>Sr濃度は36mBq/g・Caという値が得られている。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もしれない。

### (3) 年齢による影響

年齢と骨中<sup>90</sup>Sr濃度の関係については、報告が少ない。Sirotkinら(1976)は、牛骨の<sup>90</sup>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。しかし我々のデータからは、馬、牛とも年齢と骨<sup>90</sup>Sr濃度の関係に有意な関係は見られなかった。解析には北海道のみのデータを使っているが、それぞれ飼養されていた地域、農場が異なり、摂取していた飼料中の<sup>90</sup>Sr含量に大きなばらつきがあったため個体間の比較が難しくなっていると思われる。したがって、この結果からだけでは結論づけることはできない。今後さらに詳しくデータを解析する必要があるだろう。

### (4) 旧ソ連チェルノブイリ原子炉事故による影響

1986年には旧ソ連のチェルノブイリ原子炉事故が発生し、大量の放射性物質が放出され、日本でも一過性に<sup>137</sup>Cs、<sup>131</sup>Iの高いフォールアウトが観察され、牛乳中にもこれらの増加が報告されている。しかし、骨中の<sup>90</sup>Sr濃度には変化は認められなかった。これは、汚染被害が最も大きかった中央ヨーロッパに比べ、給与飼料の生産地(日本および北米)への降下量はそれほど大きくなかったこと、事故で

放出された放射性物質のうち、 $^{90}\text{Sr}$ の割合が3～6%と少なく、土壌 $^{90}\text{Sr}$ 蓄積量への影響が少なかったことが原因と考えられる。

#### 4. おわりに

骨中 $^{90}\text{Sr}$ 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。これら51年間の調査のデータに加えて、他機関で行われた土壌や作物のデータを考え合わせるにより、現在福島第一原発事故が家畜への $^{90}\text{Sr}$ 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参考になると思われる。また今後は、加齢と骨への蓄積量の関係などについても検討していく必要があるだろう。

#### 5. 引用文献

- 1) 岩田ら：家畜の骨中 $^{90}\text{Sr}$ 濃度の調査(1936-1986)，畜衛試研究報告，92,21-27(1988)
- 2) Miyao et al.：Strontium-90 in the bone of domestic animals in Japan of 1957-1962, Nat. Inst. Animal Health Quart. 3, 93-100.(1963)
- 3) 駒村ら：我が国の米，小麦および土壌における $^{90}\text{Sr}$ と $^{137}\text{Cs}$ 濃度の長期モニタリングと変動解析，農環研報 24,1-21(2006)
- 4) 三橋：牛乳の放射能調査25年の歩み，放射線科学，32,239-243.(1989)
- 5) 近山ら：北海道における $^{90}\text{Sr}$ の牛馬骨への蓄積状況，RADIOISOTOPES 48,283-287.(1999)