

# 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

## I. 自然界における家畜骨の Sr·Ca 率と Sr·Ca 差別率

宮 尾 陟

農林省家畜衛生試験場

(昭和 35 年 2 月 11 日受付)

核実験の開始以来  $^{90}\text{Sr}$  の人体におよぼす障害が重要な関心事となってきたり、米国においては KULP ら<sup>21-23)</sup>, ECKELMAN ら<sup>10)</sup> が、英国では BRYANT ら<sup>5)</sup> が人骨について  $^{90}\text{Sr}$  の分析を行なっている。また Fallout による環境汚染と人の汚染との関係について多くの報告がみられる<sup>9,12,25)</sup>。わが国においては檜山が最初の人、動物の骨、角、魚類などについて分析し大きな成果をあげている。その後筆者も種々の家畜の骨について分析を行ない、人に比し著しい  $^{90}\text{Sr}$  蓄積があることをみとめた。

$^{90}\text{Sr}$  の汚染が問題になるとともに、Sr そのものについても関心が高まり、生物体内に入ってから Sr の生理的行動は勿論、土壌から植物への Sr の行動についても多くの研究がなされてきている。 $^{90}\text{Sr}$  が人体に蓄積されるまでには Fallout による汚染から種々の食物連鎖を経てくるわけであるが、欧米のように牛乳、乳製品を主要な Ca 源としている場合には土壌—牧草—飼料—牛—乳といった連鎖を経て人体内に入ることが考えられる。しかしわが国のように米が主要食品であり、その他の Ca 源として麦、魚、牛乳などを摂取する場合には食物連鎖も非常に複雑になってくる。Sr は Ca と同じく IIA 族に属し、生体内に入っても Ca と同じ行動をとるが、種々の生理作用により Ca とは差別 (discriminate) される。すなわち Sr·Ca 差別率により左右される。この点については小実験動物および人について比較的多くの研究が行なわれており<sup>1,6-8,24,25,32)</sup>、家畜については COMAR 一派が牛、山羊などについて行なっているが、Ca 代謝の研究<sup>16-19)</sup> に比し非常に少ない。わが国においては市川<sup>17)</sup> がニジマスについて実験しているほか、家畜についての研究は全くなされていないようである。

以上のように家畜の  $^{90}\text{Sr}$  汚染を系統的にしらべたものはなく、たとえ報告されていても 1, 2 の例

にすぎないようである。筆者はわが国における家畜の  $^{90}\text{Sr}$  汚染を 2~3 年に亘り調査したところ、人におけるそれよりも非常に高いことを知った。この原因が Sr·Ca の差別率によるものであるか否かを知る目的で飼料中の Sr·Ca 率をしらべるとともに、さらに Sr, Ca の吸収、排泄、差別率を知る必要をみとめこの研究を行なったものであるが、今回は自然の状態における家畜骨の Sr·Ca 率、 $^{90}\text{Sr}$ ·Ca 率、 $^{90}\text{Sr}$ ·Sr 率、Sr·Ca 差別率の結果について述べる。

### 実験材料ならびに方法

#### 1. 分析試料

北海道、宮城、山形、群馬、新潟、長野、静岡、島根、兵庫、福岡、鹿児島各県から送付を受けた馬、牛の股骨、家畜衛生試験場において飼養後殺した山羊、豚の股骨、鶏の大腿骨（以下馬、牛と同様股骨と呼称する）、つるの胸骨、脚部の骨について分析した。主に股骨を用いたのは WASSERMAN ら<sup>39)</sup> がラットおよび家兎で大腿骨の Sr·Ca 率および腸を除いた全屍体の Sr·Ca 率の、それぞれ餌の Sr·Ca 率に対する比が同じであり、大腿骨が  $^{45}\text{Ca}$  および  $^{90}\text{Sr}$  の代謝において全骨格を合理的に表わすことをみているためである。長骨においては骨端部を、扁平骨試料は周辺のちみつでない部分をえらんだ。骨端部を採用したのは KIDMAN ら<sup>19,20)</sup>、JOWSEY ら<sup>18)</sup> の Radioautography による  $^{90}\text{Sr}$  沈着の研究で、 $^{90}\text{Sr}$  が骨端部に多く沈着することをみているためである。

#### 2. 分析試料の調製

筋肉、脂肪組織をできるだけ除去した後、直火上で温度があまり高くないように注意しながら炭化後、電気炉に入れ 600~800°C で数時間灰化した。この程度の温度では Sr の飛散するおそれはない。

Table 1. Recovery Test of Strontium by the Fuming Nitric Acid Method (Without Bone Ash)

	I	II	III	IV	V	VI	VII
SrCl <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O (mg)	198.44	183.36	93.00	101.10	131.45	43.62	83.10
CaHPO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O (g)	50.00	50.00	50.00	50.00	30.00	30.00	20.00
Sr (mg)	161.74	131.50	67.87	83.63	98.07	33.92	62.12
Recovery (%)	102.7	90.4	92.0	95.7	93.5	98.0	94.3

Table 2. Recovery Test of Strontium by the Fuming Nitric Acid Method (With Bone Ash)

	I	II	III	IV
Bone ash (g)	50.0	50.0	50.0	50.0
SrCl <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O(mg)	—	—	92.94	33.06
Sr (mg)	63.39	67.20	94.20	75.04
Recovery (%)	—	—	94.0	96.8

3. <sup>90</sup>Sr の分析

発煙硝酸法<sup>2)</sup>を用いた。概要は科学技術庁の放射能測定小委員会試案による。回収試験の結果を Table 1, 2 に示す。Table 1 は骨灰を用いず Sr 源として SrCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O を, Ca 源として CaHPO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O を用い, これらを水にとかし硝酸を加えたものについて常法通り行なった結果である。Table 2 は Ca 源として Carrier を用いず骨灰を用いた場合で, 骨灰 200g を硝酸にとかした後, 水を加えて 200ml とし, これを 4 等分して I, II には Carrier を加えず, III, IV には SrCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O を表の通り加えたものについて行なった。いずれの場合も大体満足すべき結果であるが, ただ時に 80% 内外の回収率しか得られない場合があり, したがって試料の場合も低すぎるとされるものは分析をくり返し, なお満足な結果の得られないものは data からはぶいた。

4. <sup>90</sup>Sr の計測

<sup>90</sup>Sr は半減期の短い関係から骨中にはほとんどないと考えられるが, 一応少数例について Y のミルキングを行い, <sup>90</sup>Sr をしらべたがほとんど認められず, <sup>90</sup>Sr に相当する Count 数のある場合もあったが誤差の範囲内であり, <sup>90</sup>Sr はないものとして以後 Y のミルキングは行なわなかった。

計測試料は 2 週間以上放置して放射平衡に達した後計測した。初期の試料は G-M Counter (科研製 Model 1000) を用い, G-M 管は窓の厚さ 2 mg/cm<sup>2</sup>,

Table 3. Average Strontium to Calcium Ratio in Bone Ash of Cattle by Location

Location	Number of samples	Sr/1000 Ca	Range
Tokyo	16	0.28±0.09*	0.15~0.56
Hokkaido	10	0.28±0.09	0.12~0.31
Yamagata	15	0.46±0.27	0.13~1.01
Miyagi	15	0.49±0.19	0.14~0.82
Niigata	8	0.31±0.05	0.22~0.44
Gunma	3	0.32±0.02	0.29~0.34
Shizuoka	1	0.26	
Hyogo	1	0.20	
Shimane	5	0.31±0.07	0.21~0.40
Fukuoka	20	0.31±0.10	0.13~0.52
Kagoshima	14	0.29±0.17	0.13~0.70
Total average		0.34	

\* The standard deviation of the mean value

距離 10mm で計測, 放射能は弱いため計測時間は 30~60 分とした。比較標準試料は精製 KCl 500mg または理化学研究所より配布された標準 U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> (500 dps) を用いた。U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> については分解時間の補正を行なった。研究途上で Low-Background Counter が完備したため, 以後これにきりかえた。Counter は医理学研究所製, 流出ガスは高千穂製作所より入手した Q ガス, 計測時間は Count の比較的多い試料は 10 分, 少ない試料は 20~30 分。1 試料の計測は 2 回以上行ない, 誤差 2% 以内のものを採用した。比較標準試料は農業技術研究所より譲渡をうけた標準 <sup>90</sup>Sr (1N HCl 溶液で放射平衡時 9630±1.5% dps/ml (25°C) のもの) を稀釈し, 1954 年 4 月現在 110.7 dps/ml のものについて, 試料の場合と同様に操作して得た Sr\*(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> の沈澱を用いた。各試料は Sr(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> の沈澱から Sr(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> の沈澱量を換算し, それに応じた自己吸収の補正を行なった。

## 5. Sr-Ca 率の算出法

Sr/Ca は Ca 1000 原子に対する Sr の原子数の比,  $^{90}\text{Sr}/\text{Ca}$  は Ca 1g 当りの  $^{90}\text{Sr}$  の  $\mu\mu\text{C}$  数 (Sr 単位) であらわした. 標準試料との比較換算より得られた dpm の 1/2 を  $^{90}\text{Sr}$  の dpm 数とし, これより  $^{90}\text{Sr}$  の  $\mu\mu\text{C}$  数を算出した.

6. Ca の定量

骨灰 100mg 前後を HCl にとかした後, 常法通り磷酸塩の沈澱とし, 過マンガン酸加里滴定法により定量した.

実験結果

1. 各種家畜骨の Sr·Ca 率

Table 3 は成牛骨の Sr/Ca を地域別の平均で示したものである. 個々の試料の Sr, Ca% は紙面の都合で省略した. 各試料についての詳細な年令は不明であるが, 採取地東京のものはすべて当场において飼育後殺したもので, 5~7才, 地方からの試料は屠場において屠殺後の試料で大体 7 才以上のものが主である. Sr/1000Ca が 0.1 以下および 1.0 以上の試料については分析をくり返し, 結果の正確さを期した. Sr/1000Ca は最低 0.12, 最高 1.01 ですべての平均は 0.34 であった. 全試料について Sr/1000Ca の分布をみると Fig. 1 のようになり, 0.2 台が最も多く以下  $0.3 > 0.1 > 0.6 > 0.5 = 0.7 >$

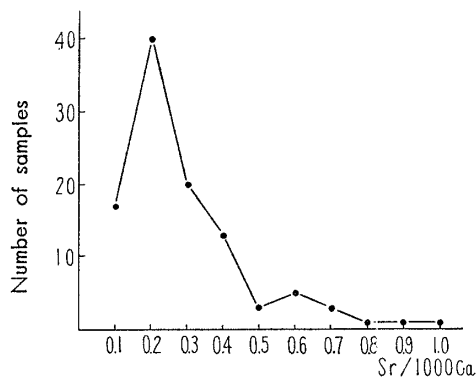


Fig. 1. Frequency of Strontium to Calcium Ratio in Bone of Cattle

Table 4. Strontium to Calcium Ratio in Bone Ash of Calf

No.	Sr (%)	Ca (%)	Sr/1000 Ca	Average
188	0.016	38.7	0.19	
189	0.021	35.6	0.27	0.19
242	0.008	34.5	0.10	

All samples were collected in Tokyo. The age are all less than one year, especially No. 188 and 242 are almost fetus.

0.8=0.9=1.0 台の順となっている.

仔牛骨の Sr/1000Ca は Table 4 のようであり, 3 例のみなのではっきりしたことはいえないが, 最低 0.10, 最高 0.27, 平均 0.19 と成牛骨の平均より相当低かった. この理由については後に考察する.

Table 5 は豚 13 例, 山羊 12 例の結果であるが, 豚は平均 0.31 (0.11~0.56), 山羊は 0.36 (0.11~0.78) で山羊の方が少し高い傾向がみられた.

成馬骨の Sr·Ca 率の地域別平均は Table 6 のようである. 東京のものは当场に飼育後殺したもので, 年令は 2~3 年のものが主であり, 地方のものは屠場において殺したもので, 大体 6 年以上が主である. 東京, 群馬の試料は平均が 0.44, 0.43 とほとんど同じであり, 福岡, 鹿児島のは例数が少ないが 0.30, 0.20 と大体似ている. 全試料の平均は 0.43 であり, 他の家畜に比し相当高いことが見出された. Fig. 2 に成馬骨の Sr·Ca 率の頻度をか

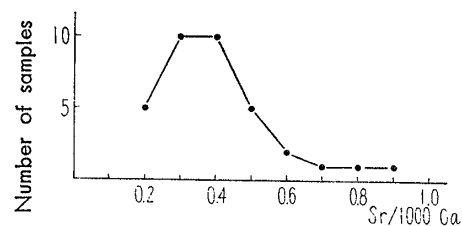


Fig. 2. Frequency of Strontium to Calcium Ratio in Horse Bone

Table 5. Average Strontium to Calcium Ratio in Bone Ash of Pig and Goat

Animal	Number of samples	Range of Sr content (%)	Range of Ca content (%)	Sr/1000 Ca	Range
Pig	13	0.009~0.047	37.2~39.6	0.31 ± 0.13*	0.11~0.56
Goat	12	0.009~0.066	36.2~39.5	0.36 ± 0.22	0.11~0.78

\* The standard deviation of the mean value. All samples were collected in Tokyo.

Table 6. Average Strontium to Calcium Ratio in Bone Ash of Horse by Location

Location	Number of samples	Range of Sr content (%)	Range of Ca content (%)	Sr/1000 Ca	Range
Tokyo	21	0.015~0.078	34.5~40.6	0.44±0.20*	0.18~0.91
Gunma	7	0.026~0.048	35.8~42.6	0.43±0.09	0.29~0.61
Fukuoka	3	0.023~0.032	39.4~40.6	0.30±0.04	0.26~0.35
Kagoshima	1	0.020	38.7	0.25	
Total average .....				0.43	

\* The Standard deviation of the mean value

Table 7. Strontium to Calcium Ratio in Bone Ash of Colt and Kid

Animal	No.	Sr (%)	Ca (%)	Sr/1000Ca	Average
Colt	213	0.009	34.9	0.11	
Kid	1	0.023	36.8	0.28	0.37±0.21*
	2	0.066	38.0	0.79	
	3	0.022	37.5	0.27	
	4	0.025	37.2	0.30	
	5	0.020	39.3	0.23	

\* The standard deviation of the mean value  
All samples were collected in Tokyo.

Table 8. Strontium to Calcium Ratio in Bone Ash of Fowl and Crane

Animal	No.	Sr (%)	Ca (%)	Sr/1000Ca	Average
Fowl	245	0.014	39.7	0.16	0.12±0.07*
	246	0.008	36.1	0.10	
	247	0.008	37.4	0.10	
	248	0.007	36.1	0.09	
	249	0.002	35.3	0.02	
	250	0.012	35.7	0.16	
	251	0.020	33.4	0.27	
	252	0.003	34.0	0.04	
Crane	195	0.013	37.9	0.14	
	196	0.007	33.3	0.10	

\* The standard deviation of the mean value  
All samples were collected in Tokyo.

かけたが、0.3, 0.4 台が最も多く 0.3=0.4>0.2=0.5>0.6>0.7=0.8=0.9 台となっている。

仔馬, 仔山羊の少数の例では (Table 7), 仔馬は 0.11, 仔山羊は平均 0.37 であった。ただこの仔馬は分娩後短時日で死亡したものであり, Sr・Ca 率の低いのもそのためと考えられる。仔山羊は大体 6 月

令前後のものであり, 骨も発育途上にあるものであるが, Sr・Ca 率は成獣の場合と大した差異がない結果を示している。

Table 8 は鶏およびツルの結果である。鶏はすべて 1 年以上の成鶏とみられるもので, 平均 0.12, ツルは同一個体の脚部の骨と胸骨であるが, これも平均 0.12 で鶏の場合と似た結果であった。以上各種家畜の Sr・Ca 率については馬が最も高く, 以下山羊, 牛, 豚, 鶏およびツルの順であり, 山羊, 牛, 豚に比して馬がとくに高く鳥類がとくに低い傾向があることが認められた。

## 2. 家畜骨の $^{90}\text{Sr}$ 濃度

成牛骨の  $^{90}\text{Sr}$  濃度は Table 9 の通りである。紙面の都合で個々の試料についての濃度は省略した。Sr 単位では同一年次, 同一地域の試料でも相当の変動があり, 中には偏差の方が大きい結果を示しているものがある。これが  $^{90}\text{Sr}$  汚染の異なった飼料を摂取した結果であるか, あるいは分析中の Sr 損失の結果であるかを, ある程度明らかにするために各試料について  $^{90}\text{Sr}$  と Sr との原子数の比を算出してみた。発煙硝酸法による Sr の分析は Ca の分離が相当困難であり, Ca の分離のため操作をくり返す場合, Sr を損失することは当然考えられる。この場合  $^{90}\text{Sr}$  も損失すると思われるので  $^{90}\text{Sr}/\text{Sr}$  をみることにより, 分析面からくる誤差は減少する。例えば群馬の 57 年の平均が  $\mu\text{C}$  数では  $17.18 \pm 13.1$  であるが  $^{90}\text{Sr}/\text{Sr}$  は  $(161.1 \pm 34.5) \times 10^{-12}$  であり偏差は相当少なくなる。Table 9, 10, 11 から Sr 単位で総平均をみると馬>牛>山羊>鶏>豚>ツルの順であるが, 豚は 57 年の例であり, 鶏は 59 年の試料であることを考慮すると, 大体草食獣で最も高く, 雑食獣がこれにつぎ鳥類が最も低いものと考えられる。しかし  $^{90}\text{Sr}/\text{Sr}$  での平均をみると馬が

Table 9. Average  $^{90}\text{Sr}$  Content in Cattle by Year and Location

Location	Year of collection	Number of samples	Average $^{90}\text{Sr}$ content by year		Average $^{90}\text{Sr}$ content by location
			$^{90}\text{Sr}$ $\mu\text{mc/g}$ of Ca	$^{90}\text{Sr}/\text{Sr} \times 10^{12}$	$^{90}\text{Sr}$ $\mu\text{mc/g}$ of Ca
Tokyo	1957	7	$4.04 \pm 2.12^*$ (1.50~7.59)	$46.0 \pm 33.8^*$ (14.2~119.0)	$5.08 \pm 2.63^*$
	58	1	8.27	94.5	
	59	9	$3.75 \pm 2.74$ (1.17~9.89)	$58.9 \pm 21.3$ (24.7~122.0)	
Hokkaido	1957	9	$7.54 \pm 4.63$ (0.56~13.78)	$73.8 \pm 35.6$ (1.6~160.0)	$7.28 \pm 4.42$
	59	1	4.96	104.0	
Yamagata	1957	15	$1.52 \pm 1.22$ (0.39~3.95)	$20.9 \pm 23.9$ (1.6~82.4)	$1.52 \pm 1.22$
Miyagi	1957	14	$2.78 \pm 2.56$ (0.35~8.48)	$26.5 \pm 26.7$ (2.7~72.0)	$2.78 \pm 2.56$
Niigata	1957	10	$4.28 \pm 2.25$ (1.42~8.19)	$47.1 \pm 8.9$ (11.3~117.0)	$4.28 \pm 2.25$
Gunma	1957	3	$17.18 \pm 13.1$ (3.81~30.43)	$161.1 \pm 34.5$ (41.3~282.0)	$12.59 \pm 10.1$
	59	2	$5.71 \pm 1.54$ (4.19~7.23)	$186.5 \pm 21.0$ (166.0~207.0)	
Shizuoka	1959	1	18.31	222.0	
Hyogo	1959	1	3.07	48.6	
Shimane	1957	1	2.10	16.5	$9.33 \pm 7.4$
	59	5	$10.77 \pm 7.26$ (1.12~19.10)	$185.0 \pm 35.0$ (125.0~208.0)	
Fukuoka	1957	20	$4.87 \pm 2.46$ (0.42~9.33)	$58.6 \pm 31.3$ (12.4~109.0)	$5.09 \pm 2.37$
	59	3	$7.23 \pm 0.54$ (6.60~7.86)	$100.8 \pm 78.6$ (43.5~211.0)	
Kagoshima	1957	16	$4.47 \pm 2.70$ (0.54~10.95)	$69.9 \pm 15.9$ (6.8~185.0)	$4.47 \pm 2.70$
Total average			4.81	145.75	

\* The standard deviation of the mean value

The number in parentheses give the range of  $^{90}\text{Sr}$  content.

最も高く以下牛，鶏，山羊，ツル，豚の順となり  $\mu\text{mc}$  数の結果とは異なるが，これは  $^{90}\text{Sr}/\text{Sr}$  の方が年次による差がはっきりあらわれているためである。

仔牛，仔馬，仔山羊の少数例の結果は Table 12 の通りで，山羊はいずれも 1 年未満，仔牛は 20 日以内，仔馬は出産後 1 週以内に死亡した胎児である。仔牛，仔山羊の平均は Sr 単位でも  $^{90}\text{Sr}/\text{Sr}$  で

みてもともに成獣の平均より高い。仔馬の 1 例は  $12.23 \mu\text{mc}$  と成馬の  $15.89 \mu\text{mc}$  より低いが， $^{90}\text{Sr}/\text{Sr}$  は  $352 \times 10^{-12}$  と成馬の場合より高くなっている。

成牛骨の  $^{90}\text{Sr}$  濃度の平均を年次別，地域別にヒストグラムで示すと (Fig. 3)，東京の試料は Sr 単位では 58 年のものが最も高く，59 年の平均が最も低い。しかし  $^{90}\text{Sr}/\text{Sr}$  では 58 年の最高であること

Table 10. Average  $^{90}\text{Sr}$  Content in Pig, Goat, Fowl, and Crane

Animal	Year of collection	Number of samples	Average $^{90}\text{Sr}$ content	
			$^{90}\text{Sr}$ $\mu\mu\text{c/g}$ of Ca	$^{90}\text{Sr}/\text{Sr} \times 10^{12}$
Pig	1957	10	$1.00 \pm 0.90^*$ (0~3.05)	$10.1 \pm 11.5^*$ (0~32.1)
Goat	1957	12	$2.05 \pm 2.42$ (0~7.32)	$19.3 \pm 20.2$ (0~62.6)
Fowl	1959	8	$1.83 \pm 1.97$ (0.02~6.89)	$35.3 \pm 21.2$ (6.3~80.5)
Crane	1958	2	$0.67 \pm 0.02$ (0.47~0.86)	$17.2 \pm 2.3$ (14.9~19.5)

\* The standard deviation of the mean value  
The number in parentheses give the range of  $^{90}\text{Sr}$  content.

Table 11. Average  $^{90}\text{Sr}$  Content in Horse by Location

Location	Year of collection	Number of samples	Average $^{90}\text{Sr}$ content by year		Average $^{90}\text{Sr}$ content by location $\mu\mu\text{c/g}$ of Ca
			$\mu\mu\text{c/g}$ of Ca	$^{90}\text{Sr}/\text{Sr} \times 10^{12}$	
Tokyo	1958	12	$16.45 \pm 9.26^*$ (3.59~37.13)	$110.9 \pm 65.6^*$ (9.5~260.0)	$21.28 \pm 10.7^*$
	1959	9	$27.70 \pm 8.90$ (16.76~37.27)	$223.0 \pm 81.7$ (97.6~421.0)	
Gunma	1959	7	$17.93 \pm 10.70$ (8.54~37.57)	$135.6 \pm 84.5$ (51.8~270.0)	17.93
Fukuoka	1959	3	$10.64 \pm 3.80$ (7.05~15.93)	$117.3 \pm 56.5$ (63.5~194.0)	10.64
Kagoshima	1957	1	6.80	86.0	6.80
Total average			15.89	145.75	

\* The standard deviation of the mean value  
The number in parentheses give the range of  $^{90}\text{Sr}$  content.

Table 12.  $^{90}\text{Sr}$  Concentration in Calf, Colt, and Kid

Animal	Year of collection	$^{90}\text{Sr}$ concentration			
		$\mu\mu\text{c/g}$ of Ca	Average	$^{90}\text{Sr}/\text{Sr} \times 10^{12}$	Average
Calf	1958	$6.58 \pm 0.12^*$	$10.92 \pm 4.35^{**}$	109	$144 \pm 35.0^{**}$
		$15.27 \pm 0.24$		179	
	1959	$2.23 \pm 0.08$	2.23	74	74
Colt	1959	$12.23 \pm 0.22$	12.23	352	352
Kid	1957	$6.20 \pm 0.30$	$3.03 \pm 2.03$	70	$40.7 \pm 22.2$
		$3.05 \pm 0.45$		12.2	
		$2.40 \pm 0.25$		28.2	
		$0.50 \pm 0.30$		52.7	

\* The error by counting      \*\* The standard deviation of the mean value  
All samples were collected in Tokyo.

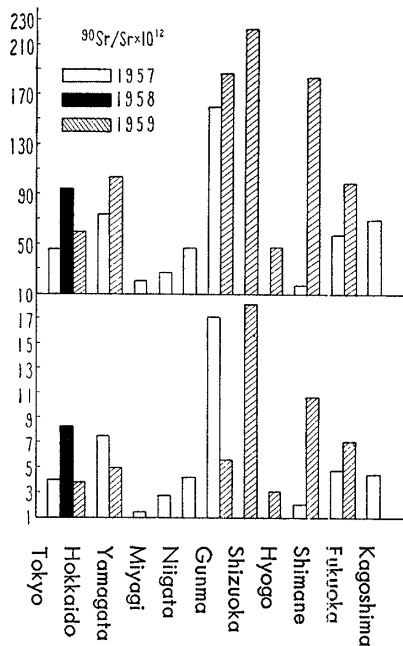


Fig. 3. Comparison of  $^{90}\text{Sr}$  Content in Cattle by Location and Year

は変わらないが、57年と59年とでは59年の方が高くなっている。58年のものは1例のみなので58年のものが高いということはいえず、漸増するとみた方がよいであろう。北海道、群馬の試料についても同様のことがいえ、島根、福岡の試料はSr単位、 $^{90}\text{Sr}/\text{Sr}$ とも59年の方が高く年次による増加の傾向は明らかと考えられる。このことは年次別にSr単位の例数およびその割合(%)をみるとさらにはっきりし、57年の試料では0~0.99が全体の20.7%、3~3.99が14.8%、大部分は0~5の間のもので全体の凡そ70%はこの間に入っているが、59年の試料は0~2.99のものが全体の10%にすぎず、7~7.99のものが25%で最も多くなっている。地域的には一定の傾向がみられず、空気、土壤汚染のようにとくに北日本に多いという傾向はみられなかった。

3. 飼料のSr・Ca率と家畜のSr・Ca差別率との関係

前節までに種々の家畜骨のSr・Ca率を知ったので、本節では当該において飼養された牛、馬、山羊、鶏の飼料のSr・Ca率を求め、これら骨のSr・Ca率との関係を明らかにしようとするものである。

(i) 各種飼料のSr・Ca率

当該において骨試料を採取した牛はすべて栄養障害実験牛であり、実験の目的により飼料の種類なら

Table 13. The Fodders of Experimental Cows for Nutritional Disturbance and Their Quantity Given a Day

Fodder	No. 25	26	27	28	33	34	35	36
A-1	4.0*	5.0	0	10.0	2.0	2.2	0	0
Hay	7.5	8.0	12.0	0	7.0	7.0	3.0	5.0
Beet-Pulp	1.8	2.6	1.8	3.0	2.6	2.6	1.0	1.0
Wheat-bran	0.2	0.4	0.2	0.2	0	0	0	0
C-3	0	0	0	0	0	0	5.0	5.0

\* Kilogram

Table 14. The Composition of A-1 and C-3 Fodder

Component	A-1	C-3
Soy-been cake	10.02*	54.5*
Linseed cake	10.02	0
Barley	25.05	9.1
Corn	16.03	9.1
Wheat-bran	25.05	0
Rice-bran	10.02	0
Mineral	0.05	0.02
Vitamin A, D	0.10	0.04
CaCO <sub>3</sub>	2.51	8.67
NaCl	1.00	0.37
Beet-pulp	0	18.2
Inorganic phosphorus	0.15	0

\* Percentage

Table 15. The Fodders of Horse and Goat and Their Quantity Given a Day

Fodder	Horse	Colt	Goat	Kid
Wheat-bran	4.0*	2.0*	0.8*	0.4*
Oat	1.0	0.5	0.3	0.2
Been-bran	0.5	0.5	0	0
Straw	4.0	2.0	1.0	0.5
Hay	4.0	2.0	1.0	0.5
CaCO <sub>3</sub>	0.05	0.025	0.03	0.02
NaCl	0.05	0.3	0.025	0.01

\* Kilogram

びにその日量は異なっている。骨を採取した個体の飼料とその日量はTable 13のようで、この中のA-1およびC-3は配合飼料であり、その成分組成はTable 14のようである。馬および山羊の飼料とその日量はTable 15の通りである。これらの飼料

について Ca を分析した結果は灰分当り A-1 15.31%、乾草 4.32~9.84%、ふすま 1.77%、ビート 13.37%、わら 1.28%、鶏配合飼料 24.59%、エン麦 1.85%、大豆粕 3.93%、C-3 24.34% であった。A-1、C-3、鶏配合飼料のような市販飼料は、CaCO<sub>3</sub> を含むので Ca% は相当高くなっている。これらの一つ一つについて Sr を定量することは非常に大変な仕事であり、かつ鶏以外はこれらの飼料が適当に混合されているから、個々の飼料の Sr・Ca 率を知る必要はなく、1 日量の全飼料の Sr・Ca 率のみがわかればよいので、各試料についての Sr の分析は行なわなかった。わら、乾草は細切し山羊の飼料については日量をそのまま、牛、馬の飼料は日量の割合通りに大体 3 kg 前後を直火上で注意しながら炭化後、電気炉で 500°C 前後で灰化した。Sr の

Table 16. Strontium and Calcium Levels of the Fodder of Cow and Bone Retention Factor of Strontium in Cow

No.	Bone	Fodder			Bone retention factor of Sr
	Sr/1000Ca	Sr %/ash	Ca %/ash	Sr/1000 Ca	
25	0.28	0.0183	7.73	1.078	0.260
26	0.29	0.0186	8.10	1.043	0.278
27	0.24	0.0175	5.27	0.648	0.354
28	0.35	0.0278	14.70	0.860	0.407
33	0.15	0.0177	6.96	1.155	0.130
34	0.28	0.0179	7.23	1.120	0.250
35	0.23	0.0274	14.10	0.883	0.261
36	0.12	0.0119	11.90	0.455	0.264
Average .....					0.276

Table 17. Bone Retention Factor of Strontium in Horse, Goat, and Fowl

	Horse		Goat		Fowl	
	Sr/1000Ca	Bone retention factor of Sr	Sr/1000Ca	Bone retention factor of Sr	Sr/1000Ca	Bone retention factor of Sr
	0.47	0.330*	0.72	0.442**	0.16	0.262***
	0.32	0.225	0.11	0.067	0.10	0.164
	0.85	0.596	0.26	0.160	0.10	0.164
	0.18	0.126	0.14	0.086	0.09	0.148
	0.91	0.638	0.20	0.123	0.02	0.033
	0.63	0.442	0.78	0.478	0.16	0.262
	0.25	0.176	0.27	0.166	0.27	0.443
	0.45	0.316	0.21	0.129	0.04	0.066
	0.18	0.126	0.67	0.411		
	0.34	0.239	0.37	0.227		
	0.44	0.309	0.24	0.147		
	0.32	0.225	0.35	0.215		
	0.70	0.481				
	0.35	0.246				
	0.37	0.260				
	0.45	0.316				
	0.27	0.190				
	0.42	0.295				
	0.55	0.386				
	0.18	0.126				
	0.59	0.413				
Average	0.44	0.308	0.36	0.221		0.193

\* The fodder of horse—Sr 0.0127%/ash, Ca 4.05%/ash, Sr/1000Ca=1.426

\*\* The fodder of goat—Sr 0.0216%/ash, Ca 6.02%/ash, Sr/1000Ca=1.630

\*\*\* The fodder of fowl—Sr 0.033%/ash, Ca 24.59%/ash, Sr/1000Ca=0.610



分析にはこの灰 100g 前後を用いた。分析は骨に用いた方法をそのまま行くと回収が非常に悪くなり、よい成績が得られないので、最初に蔭酸塩による抽出を行い、また飼料は Sr 量が少ないので Carrier として SrCl<sub>2</sub> 水溶液 (Sr<sup>++</sup>10 mg/ml) 2ml を加えた。

Table 13 の No. 25~36 の牛における飼料の日量についての Sr の灰当りの %, Ca の %, および Sr/1000Ca は Table 16 のようであり、馬, 山羊, 鶏におけるそれは Table 17 の註に記したような結果であった。

(ii) Sr の骨沈着率と飼料の Sr·Ca 率との関係  
本項では骨の Sr·Ca 率と餌すなわち体内に入る Sr·Ca 率との関係を求めるものであるが、もし体内に入ってから Sr が Ca と全く同一の行動をとれば、骨の Sr·Ca 率と体内に入る Sr·Ca 率とは全く同じで、その比は 1 になるべきであり、その値が 1

より小さい程 Sr の Ca に対する差別が大きいことになる。この比を ALEXANDER ら<sup>1)</sup> にならって Sr の骨沈着率という表現を用いると

$$\text{Sr の骨沈着率} = \frac{\text{骨の Sr·Ca 率}}{\text{餌の Sr·Ca 率}} \text{ である。}$$

牛の Sr の骨沈着率は Table 16 のように 0.130 から 0.407 と変動があるが平均は 0.276 となり、大体これに近い値と思われる。これと著しく離れた値を生じた原因は、Sr の分析による実験的誤差およびこれらの牛は、当场において現在しらべた飼料で 1 年近く飼養されてはいるが生後 5 ヶ月近くは現在と異なる飼料でかわれていたことによると考えられる。馬, 山羊, 鶏の Sr の骨沈着率は Table 17 の通りで、平均で馬が 0.308, 山羊 0.221, 鶏 0.193 であった。すなわちこの値からみた Sr の Ca に対する差別は鶏が最も大きく、以下山羊, 牛, 馬の順序であることを示している。

Table 18. Strontium to Calcium Ratio and Strontium-90 Content in Individual Bones in the Skeleton of a Cow and Her Fetus

Bone	Sr	Sr/1000Ca	<sup>90</sup> Sr	
			μμc/g of Ca	<sup>90</sup> Sr/Sr × 10 <sup>12</sup>
Metatarsus		0.40	0.10 ± 0.03*	0.79
Humerus		0.35	0.65 ± 0.11	5.90
Metacarpus		0.27	0.35 ± 0.04	4.10
Tibia		0.32	0.15 ± 0.03	1.40
Thoracic vertebra		0.37	0.15 ± 0.03	1.20
Mandible		0.33	0.16 ± 0.03	1.50
Frontal bone		0.53	1.97 ± 0.08	11.70
Rib		0.38	0.27 ± 0.04	2.25
Hoof		1.24	0.28 ± 0.04	0.70
Scapula		0.68	0.50 ± 0.04	2.30
Femur		0.94	1.85 ± 0.12	6.20
Radius		1.15	0.80 ± 0.09	2.20
Pelvis		0.79	1.49 ± 0.15	5.90
Cervical vertebra		0.83	0.62 ± 0.07	2.40
Horn		0.92	3.37 ± 0.58	11.60
The fetus of the above cow				
Femur		0.70	0.38 ± 0.05	1.70
Radius		1.00	0.75 ± 0.06	2.40
Cervical and thoracic vertebra		1.06	0.49 ± 0.08	1.50
Frontal bone		1.04	0.44 ± 0.06	1.30

\* The error by counting

#### 4. 牛における $^{90}\text{Sr}$ の骨格内分布

自然の状態における  $^{90}\text{Sr}$  の骨格内分布に差があるか否かを、乳牛の 1 例についてしらべ、たまたまその仔（胎児）の骨を得たので、その骨についても 1 部をしらべた。結果は Table 18 の通りであり、 $\text{Sr}/1000\text{Ca}$  は蹄の最高 1.24 から腕前骨の最低 0.27 の範囲があり平均 0.63 であるが、推計学的には有為の差はなかった。Sr 単位であらわした  $^{90}\text{Sr}$  濃度は角が最高で 3.37、最低は跗前骨の 0.10、平均 0.85 であるが、5%の危険率で有為の差があるのは角のみであった。しかし  $^{90}\text{Sr}/\text{Sr}$  であらわすと、高いのは前頭骨の  $11.7 \times 10^{-12}$ 、角の  $11.6 \times 10^{-12}$ 、低いのは蹄の  $0.7 \times 10^{-12}$ 、跗前骨の  $0.79 \times 10^{-12}$  で平均は  $4.01 \times 10^{-12}$  であるが、 $\alpha=0.05$  で棄却限界は  $4.01 \pm 7.98$  となり 11.6、11.7 という値も有為の差があるとはいえないことを示している。なおこの牛から得られた胎児の骨格についてその 1 部を分析したが、Sr·Ca 率が高すぎるようであり、Ca の分離が不完全であったことに帰因するものと考えられる。

### 考 察

脊椎動物の骨中に Sr の存在することは 1, 2 の例外を除いて<sup>11)</sup>、比較的早くから認められている<sup>13, 30, 33)</sup>。わが国においては浅利<sup>3, 4)</sup>が Sr の地球化学的分布について研究し岩石、古墳、貝塚をはじめ動物および魚の骨中にも Sr の存在することを認めた。

自然の状態における骨中の Sr 量については HODGES ら<sup>13)</sup>は人の骨で骨灰当り平均 220 ppm であることをみており、TIPTON らは 120 ppm であることを認めた。最近では TUREKIAN ら<sup>35)</sup>は HODGES らと一致する結果をみている。筆者の家畜骨の結果では Sr を Ca 1000 原子に対する原子数の比であらわして、牛は平均 0.34、馬 0.43、山羊 0.36、豚 0.31、鶏 0.12、ツル 0.12 であり馬>山羊>牛>豚>鶏=ツルの順であった。浅利<sup>30, 31)</sup>は 1950 年発煙硝酸法を用い、人で 1.4、犬 2.8、豚 1.7、馬 1.7、牛 3.0 という値を示し、ALEXANDER ら<sup>1)</sup>は Spectrograph 法により牛の 1 例で 0.99、馬の 1 例で 1.1 という値を示している。筆者の結果はこれらの値と比べると相当低い。しかし現在の結果も或程度の実験誤差はあるであろうが、浅利の結果は少し高すぎるようであり、方法は同じであるが

$\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$  の沈澱に Ca が混じていたか、または Si を含んでいたのではないかと思われる。ALEXANDER らの結果は 1 例のみであり方法も異なるので分析法による差か、とくに Sr 含量の高い飼料を摂取したためであるかは何とも断定できない。筆者の結果も或程度の範囲はあり、同じ東京の試料で最低 0.15 から最高 0.56 というちがいをみせている。しかしその偏差は 0.098 であり  $^{90}\text{Sr} \cdot \text{Ca}$  率の偏差に比し極めて小さい。全試料の中の最高は山形のもので 1.01 である。平均では山形、宮城のものが高く、その他は大体似ている。この地方の土壤、飼料の Sr 含量が高いのか否かは、しらべてないのでその理由は不明であるが、ただこの 2 県の試料の偏差が他の地方のそれに比し、とくに大きいことは興味がある。現在の試料はいずれも餌の Sr と平衡の状態にあると考えられるから、各地方の試料の詳細な年齢は不明であるが年齢による相違はないとみてよいであろう。したがって各種属間の差は主として餌の Sr·Ca 率が関係し、種属内のちがいは実験誤差が或程度影響しているものと考えられる。

各種属における Sr·Ca 率と餌の Sr·Ca 率との関係は当场に長く飼養し、餌の Sr·Ca 率が比較的一定であるとみられるものについてしらべた。その結果 Sr の骨沈着率は馬が最も高く平均 0.308、以下牛 0.276、山羊 0.221、鶏 0.193 であった。山羊および鶏の Sr 骨沈着率は後報する 2 重標識法でみた山羊の 0.21~0.22、鶏の 0.20 と極めてよく一致している。WASSERMAN ら<sup>38)</sup>は山羊の 2 例で 0.23 という値を示しており、その値とも大体一致している。このことから各種属における Sr の Ca に対する差別は鶏が最も大きく以下山羊、牛、馬の順であり、これらの種属でその Sr が餌の Sr と平衡の状態にあれば、餌の Sr·Ca 率にこれらの値を乗ずることにより骨の Sr·Ca 率を推定することができるわけである。

なお少数であるが Table 4, 7 のように仔牛、仔馬の Sr·Ca 率は成牛馬骨の Sr·Ca 率に比し相当低いが、これらはむしろ胎児に近いものであったためであると思われる。COMAR ら<sup>7)</sup>はラットの胎児の骨の形成に Ca が Sr より 5.1 倍利用されることを示している。また WASSERMAN ら<sup>39)</sup>はラットの Sr 骨沈着率 0.28 に対し、その胎児のそれが 0.17 であることをみており、胎児の Ca の 92% は親の餌からくることをみた。牛、馬の場合これらの

Factor は明らかでないが、この傾向はあるであろうから胎児の Sr·Ca 率が親のそれより低いことはうなずけるであろう。今仔牛の平均 0.19 で成牛の平均 0.39 を割ると 2.05、馬の場合は  $0.43/0.11=3.91$  であり、2~4 倍以上 Ca が利用されることは明らかと思われる。

$^{90}\text{Sr}\cdot\text{Ca}$  率を  $\mu\mu\text{c/gCa}$  でみると年次別を考慮しない場合、最高は馬の 15.89、以下牛 4.81、山羊 2.05、鶏 1.83、豚 1.00、ツル 0.67 の順となっている。この中で馬は 58、59 年が主、牛は 57、59 年が主で 1 部 58 年、山羊 57 年、鶏 59 年、豚 57 年、ツル 58 年のものである。すでに述べたように年次毎に  $^{90}\text{Sr}$  濃度は高くなっていることを考慮すると、大体馬、牛、山羊、豚、鶏、ツルの順となり、一般に草食獣程高く、雑食性のものは少ないこと、鳥類がとくに低いことが考えられる。ECKELMAN ら<sup>10)</sup> の人骨の例では 1956~57 年の平均が  $0.20 \mu\mu\text{c/gCa}$ 、また KULP ら<sup>21,23)</sup> の結果では 57 年の平均が 0.12、58 年の平均が  $0.52 \mu\mu\text{c}$  であり BRYANT ら<sup>5)</sup> の例では 56 年に 3 月~3 年半令の人で平均 0.9、20~65 才の人で  $0.07 \mu\mu\text{c}$  であって、家畜骨の  $^{90}\text{Sr}$  濃度は鳥類においてすら人に比し相当高く、LANGHAM ら<sup>26)</sup> の 57 年の予測値 ( $0.3\sim 4 \mu\mu\text{c}$ ) に比しても著しく高い。人の Sr の骨沈着率は大体  $0.24\sim 0.44$ <sup>9)</sup> であり、前の家畜の例と比較すると一般に家畜の方が低い。すなわち家畜における Sr·Ca の差別は人より大きい。しかも  $^{90}\text{Sr}$  濃度が人より相当高く、差別率の最も大きい鳥類でも人より  $^{90}\text{Sr}$  の多いことは飼料の  $^{90}\text{Sr}$  汚染によることは明らかであり、直接汚染された牧草、野草、土等を摂取する草食獣にとくに高いのもうなづける結果である。同じ草食獣の中で差があり馬が最も  $^{90}\text{Sr}$  濃度の高いことは Sr·Ca の差別率が最も小さいことによるものであると考えられる。

仔牛、仔馬、仔山羊の  $^{90}\text{Sr}$  濃度は Sr 単位では牛、山羊は成獣よりやや高く馬はかえって低い。しかし  $^{90}\text{Sr}/\text{Sr}$  でみると馬、牛はいずれも胎児に近いものであるにもかかわらず、いずれも相当高く倍以上である。このことは Sr 量が大して多くないにもかかわらず  $^{90}\text{Sr}$  濃度は相当高いことを示すものである。一般に幼若動物程、すなわち骨が発育途上にあるもの程  $^{90}\text{Sr}$  は多く集まると考えられ、KULP ら<sup>23)</sup> は人で 20 才までは  $^{90}\text{Sr}$  濃度が高く、それ以上は年令とは無関係であることをみている。しかし

家畜では成獣になる期間が人に比し極めて速く、大部分は 1 年以上ですでに繁殖能力を有するものであり、 $^{90}\text{Sr}$  濃度の年令による影響は人における程大きくはないと考えられる。

牛骨格各部の Sr·Ca 率、 $^{90}\text{Sr}$  濃度の結果は、ある程度の差はあるが有為の差ではないことを示し、ただ角の  $^{90}\text{Sr}(\mu\mu\text{c/gCa})$  のみ他の部分と差のあることが認められたが、 $^{90}\text{Sr}/\text{Sr}$  では差はなくなり実験誤差に入るものと考えられた。

HODGES ら<sup>13)</sup>、MACDONALD ら<sup>27)</sup> は骨格内の個々の骨の間で、Sr の蓄積は大体同じであることをみているが、PECHER<sup>29)</sup> は脊椎、歯が他の骨より高いこと、また KIDMAN ら<sup>19)</sup> は頭蓋骨、骨盤が他の骨と異なることを報告している。SCHULERT ら<sup>31)</sup> は人で Ca 1g 当りの  $^{85}\text{Sr}$  量に一定の相違があることを  $^{85}\text{Sr}$  を Tracer とした実験でみている。THURBER ら<sup>36)</sup> によると成人の骨格内における自然の Sr の分布は少なくとも 10% 以内で一定である。しかし SCHULERT ら<sup>34)</sup> は食物からの  $^{90}\text{Sr}$  が小児の骨格では一定であるが、成人の骨では一定の濃度差があり個々の骨と全骨格との間に一定の関係があること、したがって或一つの骨を分析することにより全骨格の濃度が推定できるとしている。このように Sr の分布については区々としているが、筆者の牛骨格の分布は一例のみであり、その  $^{90}\text{Sr}$  濃度も次報の Tracer 法による  $^{90}\text{Sr}$  の分布と必ずしも同じ傾向を示さず、一定の差異はないとみるのが妥当であろう。

## 総 括

家畜衛生試験場において 1 年近く飼養した馬、牛、山羊、豚、鶏ならびに各地方から送付をうけた馬、牛の股骨およびツルの 1 例について Sr·Ca 率、 $^{90}\text{S}\cdot\text{Ca}$  率、 $^{90}\text{Sr}\cdot\text{Sr}$  率をしらべ、さらに当场で得た試料についてはその飼料の既知のものについては、飼料の Sr·Ca 率をしらべ馬、牛、山羊、鶏の Sr·Ca の差別を研究し以下の如き成績を得た。

1. Sr·Ca 率 (Sr/1000Ca) は牛で平均 0.34、馬 0.43、山羊 0.36、豚 0.31、鶏 0.12、ツル 0.12 で馬が最も高く以下山羊、牛、豚、鶏とツルの順序であった。地域的には宮城、山形の試料が比較的高い平均値を示した。

2.  $^{90}\text{Sr}\cdot\text{Ca}$  率 ( $^{90}\text{Sr} \mu\mu\text{c/gCa}$ ) は馬が最も高く総平均 15.89 で、以下牛、山羊、鶏、豚、ツルの順

序で草食性のものが最も高く、雑食性のものがこれにつぎ、鳥類が最も低い傾向を示した。年次的にも増加の傾向があり、これは  $^{90}\text{Sr}\cdot\text{Sr}$  率でみるとさらに明らかであった。地域的には一定の傾向がみられなかった。

3. 飼養状態の比較的明らかな試料については、その飼料の  $\text{Sr}\cdot\text{Ca}$  率を分析し、これより各種属の  $\text{Sr}$  の骨沈着率を求めたところ、馬が最も高く平均 0.308、牛 0.276、山羊 0.221、鶏 0.193 であり、山羊、鶏の値は 2 重標識法により求めた値とよく一致した。これにより家畜における高い  $^{90}\text{Sr}$  汚染はその主要な原因が飼料の汚染にあることが明らかであり、草食獣の中で  $^{90}\text{Sr}$  濃度に差のある原因は  $\text{Sr}\cdot\text{Ca}$  の差別率が大きな影響を有することを明らかにした。

4.  $^{90}\text{Sr}$  の牛骨格内における分布には明らかな差異はなかった。

終りに実験に協力された本場林技官に深謝いたします。

#### 文 献

- 1) ALEXANDER, G. V., NUSBAUM, R.E. and M. S. MACDONALD: *J. Biol. Chem.*, **218**, 911 (1956).
- 2) 浅利民弥, 渡辺ヒサ: 理化学研究所集報, **23**, 402 (1944).
- 3) 浅利民弥: 日本化学会雑誌, **71**, 12 (1950).
- 4) 浅利民弥: 日本化学会雑誌, **71**, 287 (1950).
- 5) BRYANT, R. J. et al.: A. E. R. Esta.(Harwell) Rept., No. MP/P 2056 (1956).
- 6) COMAR, C. L., WASSERMAN, R. H. and M. M. MOLD: *Proc. Soc. Exp. Biol. & Med.*, **92**, 859 (1956).
- 7) COMAR, C. L., WHITNER, I.B. and F. W. LENGEMANN: *Ibid.*, **88**, 232 (1955).
- 8) COMAR, C.L., WASSERMAN, R.H., ULLBERG, S. and G. A. ANDREWS: *Ibid.*, **95**, 386 (1957).
- 9) COMAR, C. L., RUSSELL, R. and R. H. WASSERMAN: *Science*, **126**, 485 (1957).
- 10) ECKELMANN, W. R., KULP, J. L. and A. R. SCHULERT: *Science*, **127**, 266 (1958).
- 11) FORBES, R. M., COOPER, A. R. and H. H. MITCHELL: *J. Biol. Chem.*, **209**, 857 (1954).
- 12) FINKEL, M. P.: *Science*, **128**, 637 (1958).
- 13) HODGES, R. M., MACDONALD, N. S., NUSBAUM, R., STEANS, R., EZMIRLIAN, F., SPAN, P. and C. MCARTHUR: *J. Biol. Chem.*, **185**, 519 (1950).
- 14) HANSARD, S. L., COMAR, C. L. and M. P. PLUMLEE: *J. Anim. Sci.*, **11**, 524 (1952).
- 15) HANSARD, S. L., COMAR, C. L., PLUMLEE, M. P. and C. S. HOBBS: *J. Dair. Sci.*, **34**, 508 (1951).
- 16) HANSARD, S. L., COMAR, C. L., PLUMLEE, M. P. and C. S. HOBBS: *J. Animal Science*, **9**, 657 (1950).
- 17) 市川竜資: 第 1 回放射能調査研究成果発表会論文抄録集 (科学技術庁), p. 65 (1959).
- 18) JOWSEY, J., RAYNER, B., TUTT, M.L., and J. M. VAUGHAN: *Brit. J. Exp. Path.*, **34**, 384, (1953).
- 19) KIDMAN, B., TUTT, M.L. and J. M. VAUGHAN: *J. Path. & Bact.*, **62**, 209 (1950).
- 20) KIDMAN, B., RAYNER, B., TUTT, M. L. and J. M. VAUGHAN: *Ibid.*, **64**, 453 (1952).
- 21) KULP, J. L., ECKELMANN, W. R. and A. R. SCHULERT: *Science*, **125**, 219 (1957).
- 22) KULP, J. L.: *Ibid.*, **125**, 933 (1957).
- 23) KULP, J. L., SCHULERT, A. R. and E. J. HODGES: *Ibid.*, **129**, 1249 (1959).
- 24) LENGEMANN, F. W., COMAR, C. L. and R.H. WASSERMANN: *J. Nutrition*, **61**, 571 (1957).
- 25) LIBBY, W. F.: *Proc. Nat. Acad. Sci. U.S.*, **42**, 365 (1956).
- 26) LANGHAM, W. H. and E. C. ANDERSON: *Science*, **126**, 205 (1957).
- 27) MACDONALD, N.S., NUSBAUM, R.E., STEARS, R., SZMIRLIAN, F., MCARTHUR, C. and P. SPAIN: *J. Biol. Chem.*, **188**, 137 (1951).
- 28) MCCANCE, R. A. and E. M. WIDDOWSON: *Biochem. J.*, **33**, 1822 (1939).
- 29) PECHER, C.: *Proc. Soc. Exp. Biol. & Med.*, **46**, 86 (1941).
- 30) RUSOFF, L. L. and L. W. GADDUM: *J. Nutrition*, **15**, 169 (1938).
- 31) SCHULERT, J. and E. E. CONN: *Nucleonics*,

- 4, 2 (1949).
- 32) SINGER, L., MAQSOOB, M., MEDLEM, A.B. and C. L. COMAR: *Arch. Biochem. & Biophys.*, **66**, 404 (1957).
- 33) SHELDON, J. H. and H. RAMAGE: *Biochem. J.*, **25**, 1608 (1931).
- 34) SCHULERT, A. R., HODGES, E. J., LENHOFF, E. S. and J. L. KULP: *Health Phys.*, 文献 23 より引用.
- 35) TUREKIAN, K. K. and J. L. KULP: *Science*, **124**, 405 (1956).
- 36) THURBER, D. L., KULP, J. L., HODGES, E. J., GAST, P. W. and J. M. WAMPLER: *Science*, **128**, 256 (1958).
- 37) VISEK, W. J., MONROE, R. A., SWANSON, E. W. and C. L. COMAR: *J. Nutrition*, **50**, 23 (1953).
- 38) WASSERMAN, R. H., LENGEMANN, F. W. and C. L. COMAR: in preparation, 文献 9 より引用.
- 39) WASSERMAN, R. H., COMAR, C. L., NOLD, M. M. and F. W. LENGEMANN: *Amer. J. Physiol.*, **189**, 91 (1957).

## STUDIES ON STRONTIUM METABOLISM FOLLOWING STRONTIUM-CALCIUM DISCRIMINATION FACTOR IN DOMESTIC ANIMALS

### I. THE NATURAL STRONTIUM TO CALCIUM RATIO AND STRONTIUM-CALCIUM DISCRIMINATION FACTOR IN DOMESTIC ANIMALS

Noboru MIYAO

*National Institute of Animal Health, Tokyo*

(Received for Publication Feb. 11, 1960)

As a result of the nuclear weapons already tested during the last few years, the effect of strontium-90, from fallout, on the human body, has been a matter of concern and much effort has gone into researches to learn what proportion of this material has become incorporated in living things and how damaging it will be to plants, animals, and man.

In this respect KULP, et al. in U.S.A. and BRYANT, et al. in U.K. are researching the strontium-90 concentration in human bones. In Japan the assay of strontium-90 in man and animal bones, horns of deer, fishes, and so on, were carried out first by HIYAMA, et al. Many studies are being carried out on the relative metabolism of strontium and calcium in the cases of the experimental animals used. The studies on domestic animals, however, are very few, some studies have been carried out only on sheep and cows by COMAR, et al, and especially, almost nothing has been done on fowls. Moreover, there has not been found any systematic study on the hazard of strontium-90 fallout on domestic animals.

The author studied the strontium-90 concentration in the bones of various domestic animals, in Japan, during the past three years, and found a higher level of strontium-90 in them than in man. These studies were carried out to show the necessity of knowing the strontium to calcium ratio in the fodder, and moreover the absorption, excretion, and discrimination of strontium against calcium in order to determine whether the cause is due to the strontium-calcium discrimination factor in them, or not. This report summarizes the results of the natural strontium to calcium ratio, strontium-90 concentration, the

strontium-calcium discrimination factor from stable strontium to calcium ratio, and the strontium-90 distribution in cows.

The ratios of strontium to calcium and strontium-90 concentrations were studied using the femurs of horses, cattle, goats, pigs, and fowls. Those of the horses and cattle were collected from Hokkaido, Yamagata, Miyagi, Niigata, Gunma, Shizuoka, Hyogo, Shimane, Fukuoka, and Kagoshima prefectures, and one sample from a crane, in Tokyo. On samples collected in this institute assays were made on the strontium to calcium ratios of their fodders, and the strontium-calcium discrimination factor in horses, cattle, goats, and fowls.

The results are briefly summarized as follows:

1. The strontium to calcium ratios were 0.34 in the average of cattle, 0.43 in horses, 0.36 in goats, 0.31 in pigs, 0.12 in fowls, and 0.12 in the crane. They were in this order: horse > goat > cattle > pig > fowl = crane. The samples from Miyagi and Yamagata showed a comparative higher average, locally.

2. The average of strontium-90 level (strontium-90  $\mu\mu\text{C/g}$  of calcium) during the past three years was highest in horses, 15.89, and next 4.81 in cows, 2.05 in goats, 1.83 in fowls, 1.00 in pigs, and 0.67 in the crane. It appeared that there was generally a tendency for the strontium-90 concentration to be highest in graminivorous animals, intermediate in ones eating miscellaneous foods, and lowest in birds. The trend for the strontium-90 concentration to increase year by year was recognized, and this was made clearer by expressing the strontium-90 level with strontium-90 to strontium ratio. Locally, the definite tendency was not seen.

3. On the samples collected from animals fed on definite fodders, assays were made to determine the strontium to calcium ratios of their fodders and the bone retention factors of strontium in various species were also calculated. The average of the factor was highest in horses, 0.308, and the following orders were 0.276 in cattle, 0.221 in goats, and 0.193 in fowls. The values in goats and fowls agreed well with those found by the double tracer method as reported later on. Consequently, it is apparent that the high strontium-90 level in domestic animals is chiefly attributed to the strontium-90 contamination of the fodder, and the difference of the strontium-90 level in graminivorous animals is greatly influenced by the strontium-calcium discrimination factor.

4. The definite difference was not found on the distribution of strontium-90, from fallout, in the skeletons of cows.