



Title	ストロンチウムとカルシウムの差別因子に関する研究 (動物長期飼育実験による考察)
Author(s)	柄川, 順
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1959, 19(2), p. 256-264
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/17366
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

ストロンチウムとカルシウムの差別因子に関する研究

(動物長期飼育実験による考察)

東京大学医学部放射線医学教室（主任 宮川正教授）

柄 川 順

（昭和34年1月24日受付）

I. 序 論

Sr^{90} による人体汚染の主な経路は放射性降下物による土壤の汚染から出発し、植物、動物と移行して、人体には植物や動物を介して食物として経口的に摂取され、骨組織に沈着する。Sr は Ca と化学的性質が酷似しているので、Ca と同様に代謝されるといわれていた。近年は、Sr が動物体内で bone seeker として Ca と似た動きを示すとはいえ、必ずしも同一の代謝を示していない点が問題とされ、C.L. Comar らの系統的な研究をはじめとしてすでに多くの研究があり、その一部は国際連合科学委員会報告書¹⁾にまとめられている。Sr⁹⁰による生体の汚染度は核実験の増加に伴つて増大しており、今後も次第に増加していく危険性を帯びている。したがつて将来における人体汚染度の推定のために Ca と Sr の代謝の差、Sr, Ca 差別因子 (Sr, Ca Discrimination Factor) の研究は、自然環境、植物、動物等のいろいろな相で必要となつてくる¹⁾²⁾²¹⁾²²⁾。

II. Sr, Ca Discrimination Factor の定義

国連科学委員会の定義¹⁾によれば、生物体による Ca と Sr の利用度の差は、前駆体と生物体が平衡状態にあるとき、Sr と Ca の比を比較することにより示すことができる。この両者の比が Sr, Ca Discrimination Factor (DF) である。

$$DF = \frac{\text{Sr/Ca 試料}}{\text{Sr/Ca 前駆体}} \dots \dots \dots (1)$$

いくつかの生物体が関与するとき、たとえば土壤→植物→牛乳→人骨と経由するときの、これらすべてによる Discrimination は

$$DF_{\text{土壤}} \rightarrow DF_{\text{植物}} \rightarrow DF_{\text{牛乳}} \rightarrow DF_{\text{人骨}}$$

乳・DF牛乳→人骨…… (2)

で示される。

はじめ Sr と Ca の関係は W.F. Libby により $1 \mu\mu\text{cSr}^{90}$ を 1 Sunshine Unit(或は 1 Strontium Unit) とし、この値について前駆体と骨との比を Discrimination Factor とした。檜山教授は、汚染度を Sr の比放射能でみるため $1 \mu\mu\text{cSr}^{90}/7\text{mgSr}$ を 1 Moonlight Unit と定義し、C.L. Comar⁴⁾ は Ca^{45} と $\text{Sr}^{89}, \text{Sr}^{90}$ 等の二重追跡法による前駆体と骨等の試料の Sr^*/Ca^* (+) の比を Observed Ratio (OR) とした。

C.L. Comar による Discrimination Factor の定義は国連の定義と比較すると、その意義は同じであるが多少生物学的な代謝に主眼がおかれている。すなわち、生物体の試料の Sr^*/Ca^* と前駆体の Sr^*/Ca^* の比を OR とした。

$$OR = \frac{\text{Sr}^*/\text{Ca}^* \text{ 試料}}{\text{Sr}^*/\text{Ca}^* \text{ 前駆体}} \dots \dots \dots (3)$$

かれは OR を決定するのに関与している相による Discrimination の値を Discrimination Factor としている。

$$OR = DF_1 \cdot DF_2 \cdot DF_3 \dots \dots \dots (4)$$

結局 (2) の左辺の DF と (4) の左辺の OR は同じ意義のものである。

体内にある Sr と Ca の比は、吸収による Discrimination と、尿への排泄による Over all の Discrimination によって決定されるから

$$OR_{\text{体内残留}} = DF_{\text{吸収}} \cdot DF_{\text{尿}} \dots \dots \dots (5)$$

で示される。

(脚註+) * は使用したアイソトープの質量を示す。

C.L. Comar の定義では生物体のどのような試料についても前駆体との Sr, Ca の比のちがいが示される点、便利である。

動物実験で Ca^{45} , Sr^{90} を経口的に投与した場合、各々の投与量を 100% とすれば次式のように示される。

$$\text{OR 尿-飼料} = \frac{\text{尿中の } \text{Sr}^{90} \text{ 排泄\%}}{\text{尿中の } \text{Ca}^{45} \text{ 排泄\%}} \quad \dots \dots \quad (6)$$

$$\text{DF 吸収} = \frac{100 - \text{尿中の } \text{Sr}^{90} \text{ 排泄\%}}{100 - \text{尿中の } \text{Ca}^{45} \text{ 排泄\%}} \quad \dots \dots \quad (7)$$

$$\text{OR 体内残留-飼料} = \frac{100 - (\text{尿中と尿中の } \text{Sr}^{90} \text{ 排泄\%})}{100 - (\text{尿中と尿中の } \text{Ca}^{45} \text{ 排泄\%})} \quad \dots \dots \quad (8)$$

$$= \text{DF 吸収} \cdot \text{DF 尿} \quad \dots \dots \quad (5)$$

$$\therefore \text{OR 骨-飼料} \quad \dots \dots \quad (9)$$

従来のデータからいえば、動物実験で DF 吸収 = 0.2~0.6, DF 尿 = 0.7~0.9, OR 体内残留-飼料 = 0.2~0.6 であり^{1), 4)~8)}, 何れも比較的短期間の飼育によるものである。人体実験では OR 血液-食物 = 0.25~0.62 であり^{1), 9)~11)}, 動物実験の結果と大差がない。

III. Sr/Ca 値の生体と環境との平衡

国連の定義による DF は生体の Sr/Ca が環境の Sr/Ca と平衡状態にあるときにはじめて得られる値である。したがつて DF は安定な Ca と Sr の比が骨と食物について求められれば決定していく。Sr⁹⁰ による人体汚染度はまだ外界の汚染度と平衡に達していない。檜山教授³⁾によれば、わが国では食物中の Sr⁹⁰ は約 4 $\mu\mu\text{c}/\text{gCa}$ であり、人骨では 0.04~0.4 $\mu\mu\text{c}/\text{gCa}$ である。これは、人体の Ca が約 1 kg であつて turnover が遅く、食物の Sr⁹⁰/Ca と平衡に達するのには多年を要するからである。食物の Sr⁹⁰/Ca と平衡にある骨の Sr⁹⁰/Ca は、OR 骨-飼料の値を Factor として一致し、Sr⁹⁰ の比放射能は外界の Sr⁹⁰ 比放射能と一致してくるといつてよからう。これらの観点から近年では安定な Sr の定量が重要視されるようになつた。Ca 中に微量に混入する Sr の定量はかなり困難であり、わが国では浅利氏らによる発煙硝酸法と Emission Spectrometer による測定値の発表³⁾がある。前者では灰分として

約 100 g の試料が必要であり、小動物実験ではほとんど利用できない。後者は微量の試料を用いるが、精度の高い測定値を得るために特殊な装置を必要とする。その他、Sr の微量測定法として Flamephotometer 法、Activation Analysis があり、骨や食物についてのデータが 2, 3 発表されている^{8), 12)~14)}。

安定な Sr, Ca と Sr⁹⁰ 汚染度、放射性 Ca(Ca*), 放射性 Sr (Sr*) を用いた実験との関係は次のように示される。

$$\begin{aligned} \text{OR 骨-飼料} &= \frac{\text{Sr}^{90}/\text{Ca 骨}}{\text{Sr}^{90}/\text{Ca 飼料}} \stackrel{(1)}{=} \frac{\text{Sr}/\text{Ca 骨}}{\text{Sr}/\text{Ca 飼料}} \\ &\stackrel{(2)}{=} \frac{\text{Sr}^*/\text{Ca}^* \text{ 骨}}{\text{Sr}^*/\text{Ca}^* \text{ 飼料}} \quad \dots \dots \quad (10) \end{aligned}$$

こゝで①は食物と骨の Ca, Sr⁹⁰ が平衡状態にあるときにだけ成立し、この際 $\text{Sr}^{90}/\text{Sr 骨} = \text{Sr}^{90}/\text{Sr 飼料}$ となる。すなわち、現在の Sr⁹⁰ 汚染度は①を満足していない。

IV. Ca*, Sr* による動物実験法の考察

Sr, Ca Discrimination の研究法として、放射性 Ca, 放射性 Sr の 1 回あるいは短期間投与によって両元素の動きを追跡する方法と、長期間投与あるいはこれらの動物から生れた仔動物を同一の飼料で飼育して研究を行う方法とが考えられる。前者では動物の骨組織での Ca*, Sr* のイオン交換の差による影響、尿排泄の差による影響があり、これらの研究には有力であるが、一方、steady state での OR 骨-飼料を求めるにはさらに考察を必要とする。後者は Ca* 比放射能および Sr*/Ca* を一定とすれば steady state での OR 骨-飼料のみでなく安定な Sr, Ca の Discrimination を知ることができよう。

すなわち、(10) 式の②は平衡状態では $\text{Sr}^*/\text{Sr 骨} = \text{Sr}^*/\text{Sr 飼料}$, $\text{Ca}^*/\text{Ca 骨} = \text{Ca}^*/\text{Ca 飼料}$ となる。もし平衡状態に達していない場合でも骨の Sr*/Ca* が steady state にあれば②の関係は満足される、この際、 $\text{Ca}^*/\text{Ca 骨} = K_{\text{ca}} \text{Ca}^*/\text{Ca 飼料}$, $\text{Sr}^*/\text{Sr 骨} = K_{\text{sr}} \text{Sr}^*/\text{Sr 飼料}$ ……(11) となる。K_{ca}, K_{sr} は実験期間や、Ca, Sr の biological half life によって異り、時間が長ければ 1 に近づく。動物実験では、第一代動物に Ca*, Sr* を投与し

はじめた時にすでにかなり大きな Ca プールがあるので、かなり長期間飼育を行つても K は 1 より小であるが、もし同一の Ca^{45} , Sr^{90} を加えた飼料で飼育した第一代動物より生れた実験動物を、さらに引つづいて同一の Ca^{45} , Sr^{90} を加えた飼料で飼育すれば、K は殆んど 1 となつてくると想像される。

柄川ら¹⁵⁾によるハツカネズミを使用した実験では、飼育後10日以降では骨の Ca^{45} 比放射能が飼料の比放射能と一致していない時期で、OR骨一飼料は一定となつてきており、必ずしも $K = 1$ の条件を満足する必要はないと思像されるが、出来るだけよい条件で OR骨一飼料を求める目的と、 $K < 1$ の条件で $K_{\text{ca}} = K_{\text{sr}}$ といえるかどうか直接的証明がない以上、K が 1 に近い状態での実験が必要となるであろう。

V. 実験方法

1) 実験動物 Wister 系シロネズミ、同腹の10匹（♀6匹、♂4匹）を使用した。

2) 飼料 繁殖用粉末合成飼料（4% : Filter paper powder, 1% : Carboxymethylcellulose を添加）100grあたり Carrier free の Ca^{45} Cl_2 170,600 cpm, $\text{Sr}^{90}\text{Cl}_2$ 56,750 cpm を加え、蒸溜水を約 100ml 加えて粘状として投与した。 Ca^{45} 比放射能は $130 \pm 10 \text{ cpm/mgCa}$ であつた。全実験期間にわたつて同一組成の実験飼料を使用した。合成飼料にはいく分吸湿性がみられるが、その誤差は各サンプルの測定値変動による誤差以内である。

3) 飼育実験 全実験模式図を図1に示した。第一代シロネズミ（P群）は生後23日より実験飼料で飼育し、表1に示すように、生後40日以降5回にわたつて実験を行つた。実験方法は既報⁵⁾のように Metabolism cage で飼育した。各実験は3～4日間の Ca^{45} , Sr^{90} 摂取量を 100% とし、正確に同一時間内に排泄された尿、尿を定量的に分別採取した。（P I～P V）。生後53日目に Ca^{45} , Sr^{90} を加えない飼料で飼育した♂4匹を交配し、約10日後隔別した。この際♂は Ca^{45} , Sr^{90} を加えた飼料で飼育した。ついで♂のみについて同様

図1 実験模式図

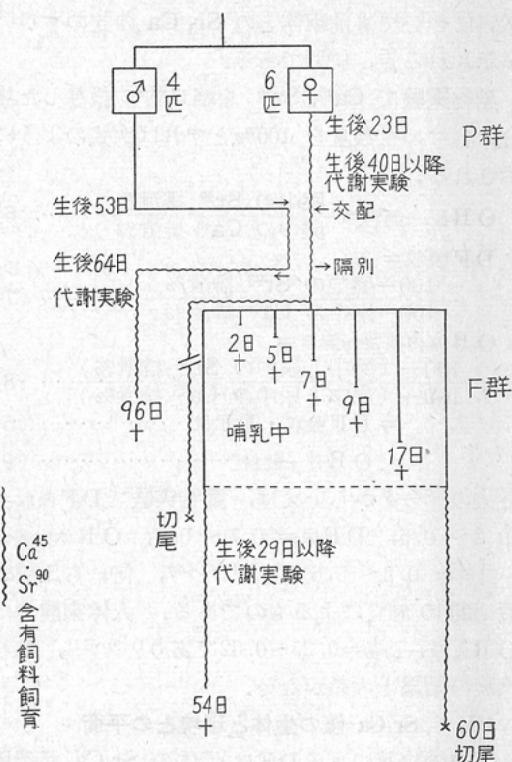


表1 第1代シロネズミ実験条件（P群）

実験番号	シロネズミ数	性	実験期間		体重(g)
			生後日数	飼育後日数	
P I	6	♀	40～43	7～10	86 * ± 6 **
P II	〃	〃	43～46	10～13	97 ± 6
P III	〃	〃	46～49	13～16	103 ± 6
P IV	〃	〃	49～53	16～20	115 ± 7
P V	5	〃	64～69	31～36	129 ± 5
P VI	4	♂	64～69	11～16	183 ± 10
P VII	〃	〃	92～96	39～44	253 ± 7
P VIII	1	♀	108～112	75～80	212 ± 11
P IX	4	〃	122～125	89～92	210 ± 10

* 平均値, ** 平均値の標準偏差

の代謝実験を行つた（P VI～P VII）。6匹の♀はすべて妊娠し各シロネズミから生れた仔シロネズミを生後2日目、5日目、7日目、9日目、17日目に殺し、実験に供した。観察すると、17日以降では仔シロネズミは離乳しはじめ、飼料を食べ出す。した

表2 第2代シロネズミ実験条件(F群)

実験番号	ラット数	性	実験期間 生後日数	体重 (g)
F I	9	♂4 ♀5	29~32	* * *
F II	8	♂4 ♀4	44~47	76±7
F III	8	♂	47~50	88±6
F IV	8	♀	50~54	96±8

* 平均値, ** 平均値の標準偏差

がつて、哺乳期としての実験は17日までとした。第2代シロネズミは図1に示すように2系統を同一の Ca^{45} , Sr^{90} を加えた飼料で飼育し、一系統の成長をまつて代謝実験を行つた。実験条件を表2に示す。他の一系統は切尾し、尾骨のみを測定した。

4) 試料調製法

(1) 尿 定量的に集めた全量を電気炉で約80°Cで灰化し、乳鉢で粉末均等化し、一部を放射能測定用に、一部をCa定量用として秤量した。

(2) 尿 濃硝酸を加えて加熱し、濾液をメチルオレンヂを指示薬としてアンモニヤアルカリ性とし、最終濃度約10%に冰酢酸を加え、酢酸々性下で亜酸アンモンにより Ca^{45} , Sr^{90} を亜酸塩として共沈澱させた。

(3) 骨 尿の処理法と同様に操作した。

(4) 軟部組織 皮膚、骨、胃腸管以外の組織を軟部組織として一括し、乾性灰化後、常法にし

たがつて亜酸塩として沈澱させた。

5) 放射能測定法

その詳細は前報⁵⁾の如くである。

6) Ca定量法¹⁷⁾

灰分を約2N HClに溶解し、砂浴上で蒸発乾固し、 $1/10$ N HClで抽出した抽出液の一定量をNaOHアルカリ性(pH約13)の下にEDTAによるキレート滴定を行つた。指示薬としてDotite NNを使用した。尿は亜酸塩として沈澱してあるので、放射能測定後ルツボで加熱、分解した上、 $1/10$ N HClに溶解した上、上法のようにEDTA滴定を行つた。

VI. 実験結果

1) 第一代シロネズミ(実験番号P I ~ P IX)

結果を表3に示した。尿、尿とともに Sr^{90} 排泄%は Ca^{45} 排泄%より大である。 Ca^{45} 比放射能は飼料の比放射能 $130 \pm 10 \text{ cpm/mg Ca}$ よりも低く、時間の経過とともに幾分高くなつてきている。尿の比放射能は一般に尿の比放射能より大であつた。表3のOR, DFの値は、1実験群での Ca^{45} , Sr^{90} 排泄%の平均値より計算を行つて得られたものであり、個々の動物によるOR, DF値のばらつきは示していないが、OR尿-飼料, OR尿-飼料はいずれも1より大であつた。個々の動物のOR尿-飼料の値と Ca^{45} 排泄%との関係は考案の項で論ずる。DF吸収は0.28~0.57であ

表3 第1代シロネズミの Ca^{45} , Sr^{90} 排泄%とDF

実験番号	尿				尿				DF 吸収	DF 尿	OR 体内残留 —飼料
	Ca^{45} %	Sr^{90} %	OR 尿- Ca^{45} s.a.	** * * Ca^{45} s.a.	Ca^{45} %	Sr^{90} %	OR 尿- Ca^{45} s.a.				
P I	46.3 ± 6.2 **	69.4 ± 8.3	1.50	94 ± 7	1.24 ± 0.57	2.52 ± 1.08	2.04	103 ± 20	0.57	0.93	0.53
P II	50.3 ± 4.8	80.8 ± 6.3	1.59	93 ± 18	1.23 ± 0.48	2.90 ± 0.94	2.35	101 ± 24	0.39	0.86	0.35
P III	53.1 ± 4.0	78.5 ± 6.8	1.44	100 ± 8	1.39 ± 0.24	3.58 ± 1.41	2.51	92 ± 7	0.44	0.86	0.38
P IV	43.8 ± 4.1	78.1 ± 5.7	1.78	97 ± 17	0.91 ± 0.37	2.79 ± 0.62	3.06	93 ± 9	0.39	0.88	0.35
P V	55.7 ± 3.0	86.9 ± 3.7	1.56	109 ± 5	1.00 ± 0.58	3.52 ± 0.78	3.52	122 ± 20	0.29	0.75	0.22
P VI	50.8 ± 6.0	86.3 ± 7.0	1.70	99 ± 6	0.89 ± 0.03	3.08 ± 0.05	3.45	116 ± 20	0.28	0.79	0.22
P VII	49.7 ± 1.0	81.8 ± 4.1	1.64	111 ± 3					0.36		
P VIII	45.5	78.5	1.75	105					0.39		
P IX	55.7 ± 3.1	85.0 ± 5.0	1.52	109 ± 7	1.09 ± 0.35	2.52 ± 1.06	2.30	119 ± 22	0.34	0.85	0.29

* 排泄率の平均値, ** 標準偏差, *** cpm/mg Ca

表4 第1代シロネズミの骨

シロネズミ数	4	1	5			
生後日数	96	113	125			
実験飼育後日数	44	80	92			
性	♂	♀	♀			
	OR骨一飼料	Ca ⁴⁵ s.a.***	OR骨一飼料	Ca ⁴⁵ s.a.	OR骨一飼料	Ca ⁴⁵ s.a.
大腿骨	0.41±0.03**	88±7	0.52	104		
上腕骨	0.40±0.02	78±7	0.50	111		
肋骨	0.39±0.05	96±13	0.52	98		
下顎骨	0.43±0.03	79±4	0.45	87		
脊椎骨	0.42±0.05	98±5	0.46	104		
尾骨	0.42±0.04	96±13	0.45	108	0.41±0.04	109±12

* ORの平均値, ** 標準偏差, *** cpm/mg Ca

表5 哺乳中仔シロネズミのDF

生後 日数	仔ズミ 数シロ ネ	体 重 (g)	Ca ⁴⁵ * cpm	Sr ⁹⁰ * cpm	OR 仔一飼料	*** Ca ⁴⁵ s.a.	生後2日目の Ca ⁴⁵ , Sr ⁹⁰ cpm を減じた場合		
							Ca ⁴⁵ cpm	Sr ⁹⁰ cpm	OR仔一乳
2	2		790	66	0.25	158			
5	2	8.1±0.1**	3115	212	0.20	143	2325	146	0.75
7	3	10.5±1.1	5400	342	0.18	148	4610	276	0.72
9	3	12.5±0.7	6236	395	0.19	143	5446	329	0.72
17	2	19.3±0.4	15300	1044	0.21	156	14510	978	0.80
母ラットの乳 OR乳一飼料=0.25 Ca ⁴⁵ s.a.=186 Sr ⁹⁰ /Ca ⁴⁵ =0.083									
母ラットの骨 OR骨一飼料=0.41 ∴ OR仔一母=0.61, OR乳一骨=0.61									

* 1匹平均値 ** 標準偏差 *** cpm/mg Ca

り、DF尿の平均は0.85となつた。OR体内残留一飼料は0.22~0.53である。

骨のOR骨一飼料を表4に示した。生後96日の♂のOR骨一飼料は平均0.41であり、OR値の分散も少ない。骨の部位による差はみとめられない。生後113日の♀のORはいくつ高い値を示しているが、1匹だけの数値であるから比較の対象としては不適当であるが参考として示した。生後125日の♀5匹の尾骨では、OR骨一飼料=0.41であり、♂のOR値とよく一致している。Ca⁴⁵比放射能は生後44日では78~98であり、生後92日では109であつて時間の経過とともに増加しているが、飼料のCa⁴⁵は130±10 cpm/mg Caであるから、式11によるKcaは、前者は0.6~0.7、後者は0.8程度と考えられる。

2) 哺乳中の仔シロネズミ

図1に示したように6匹の♀シロネズミより生れた仔シロネズミが、まだ哺乳中である時期(2日~17日)に殺して実験に供した。腹部臓器を除去した仔シロネズミを灰化し、そのCa⁴⁵, Sr⁹⁰放射能を測定した。表5に示すように、体重の増加に伴つてCa⁴⁵, Sr⁹⁰は増加する。OR仔一飼料は生後2日で0.25、5日以後は0.18~0.21であつた。これらの仔シロネズミの胃内容を集めて母シロネズミの乳と見なし測定を行つたところ、OR乳一飼料=0.25, Ca⁴⁵比放射能=186 cpm/mg Caであつた。一方、母シロネズミのOR骨一飼料=0.41より、母シロネズミから乳分泌へのDFを計算するとDF乳一飼料=0.61となる。

生後2日目のシロネズミのCa⁴⁵, Sr⁹⁰はほとん

表6 第2代シロネズミのSr⁹⁰, Ca⁴⁵排泄%とDF

実験番号	尿				尿				DF	DF	OR 体内残留 一飼料
	Ca ⁴⁵ %	Sr ⁹⁰ %	OR 尿一飼料	Ca ⁴⁵ s.a.	Ca ⁴⁵ %	Sr ⁹⁰ %	OR 尿一飼料	Ca ⁴⁵ s.a.			
F I	42.0±6.0 **	74.1±5.6	1.76	102±6	2.33±0.78	5.02±2.40	2.15	120±28	0.45	0.84	0.38
F II	48.5±3.2	79.9±6.7	1.64	100±8	1.49±0.66	2.76±1.70	1.85	138±15	0.39	0.89	0.35
F III	48.0±4.3	79.6±4.6	1.66	106±9	1.34±0.34	2.38±0.59	1.78	160±18	0.39	0.89	0.35
F IV	48.6±2.5	78.7±4.2	1.61		1.16±0.28	2.96±1.10	2.55		0.41	0.88	0.36

* 排泄%の平均値 ** 標準偏差 *** cpm/mg Ca

どすべて母シロネズミを経由したものと考えられるから、胎内で母シロネズミから仔シロネズミへの Sr⁹⁰, Ca⁴⁵ Discrimination Factor を求めることが出来る。すなわち、OR 骨一飼料 = 0.41 であるから、DF 仔一母 = 0.61 となる。この値は DF 乳一骨と一致している。したがつて、胎ばんを経由する際の DF を 0.61 としてよいと思われる。

5 日以後の仔シロネズミの骨は、胎児中の Ca⁴⁵, Sr⁹⁰ 量と、母シロネズミの乳より吸収された Ca⁴⁵, Sr⁹⁰ によって形成されるから、2 日目の Ca⁴⁵, Sr⁹⁰ を減じた 5 日以後の Ca⁴⁵, Sr⁹⁰ cpm より母シロネズミの乳と哺乳中仔シロネズミの骨との関係が求められるであろう。表 5 に示すように、OR 仔一乳は 0.72~0.80 となつてくる。

仔シロネズミの Ca⁴⁵ 比放射能は飼料の比放射能より幾分高い値を示している。

3) 第二代シロネズミ

表 2 に実験条件を示した。生後 29 日より 54 日まで 4 回実験を行つた。表 6 の結果が示すように、Ca⁴⁵, Sr⁹⁰ 排泄率、Ca⁴⁵ 比放射能の傾向は、親シロネズミの結果とほとんどかわりがない。尿の比放射能は 100~106 であり、尿は 120~160 であつた。OR, DF 吸收、DF 尿、OR 体内残留一飼料も親ラットの結果と本質的な差はみとめられない。

表 4 に示した第一代シロネズミの骨の OR は、部位による差異がみとめられないので、第二代シロネズミでは大腿骨のみについて測定した。表 7 に示すように、平均値は 0.42 であり、第一代シロネズミの平均、0.41 とよく一致している。軟部組織は 0.37 であつて、大腿骨の 0.42 に比していく分低くなつている。生後 60 日に検査した群は、尾骨

表7 第2代シロネズミの骨、軟部組織

シロネズミ数	8		6		
	生後日数	OR	Ca ⁴⁵ s.a.	OR	Ca ⁴⁵ s.a.
大腿骨	0.42* ±0.04**	123±12			
尾骨			0.41 ±0.06	134±14	
軟部組織	0.37±0.06	165±7			

* OR の平均値、** 標準偏差、*** cpm/mg Ca

のみについて検査したところ 0.41 であつた。Ca⁴⁵ 比放射能は大腿骨は 123 であり、軟部組織はこれより大で 165 であつた。生後 60 日では更に高くなり 134 となつた。したがつて、第二代の条件下では前述の K は K = 1 とみなしてよいと思われる。

VII. 考 按

Ca⁴⁵, Sr⁹⁰ 排泄率

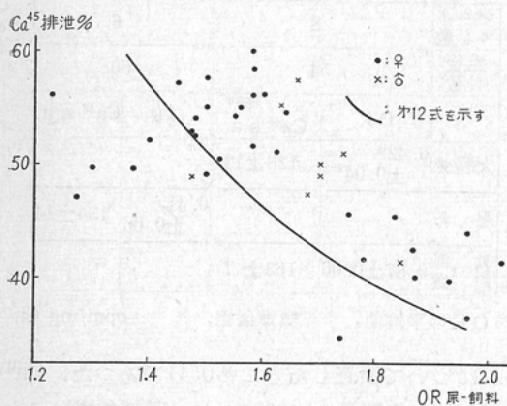
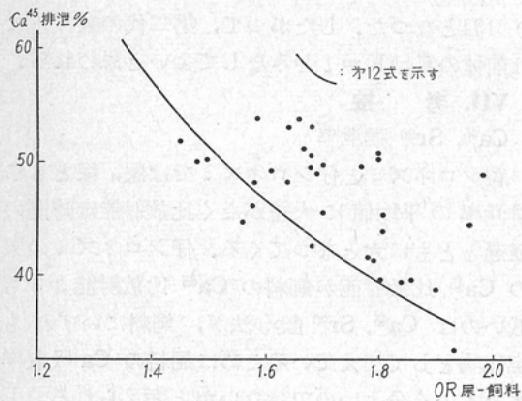
親シロネズミと仔シロネズミでは尿、尿とともに排泄率の平均値に大差がなく比放射能は時間の経過とともに大となつてくる。仔シロネズミの尿の Ca⁴⁵ 比放射能が飼料の Ca⁴⁵ 比放射能よりも低いのは Ca⁴⁵, Sr⁹⁰ 投与法が、飼料にいづれも塩化物として加えているために飼料の Ca 吸收率よりもいく分よいのではないかと考えられる。したがつて第一代シロネズミの初期の実験での尿の Ca⁴⁵ 比放射能と飼料の Ca⁴⁵ 比放射能とのちがいは、この吸收率の違いと、既に体内にある安定な Ca の腸管への再排泄によるものであろう。

Ca⁴⁵ 排泄率と OR 尿一飼料との関係

表に示した OR 尿一飼料は、Ca⁴⁵, Sr⁹⁰ 排泄率の平均値より計算されたものであつて、個々の

表 8

	P 群	F 群
O R 体内残留一飼料	0.22~0.53	0.35~0.38
O R 骨一飼料	0.41	0.42
D F 尿	0.85	0.88
D F 吸収	0.28~0.57	0.39~0.45
O R 骨一飼料より 計算した D F 吸収	0.48	0.48

図 2 Ca^{45} 排泄率と O R 尿一飼料 (P I ~ P IX)図 3 Ca^{45} 排泄率と O R 尿一飼料 (F I ~ F IV)

動物の O R 尿一飼料の平均値ではない。個々の動物について O R 尿一飼料をみると、かなりばらつきがある。また、 Ca^{45} , Sr^{90} の吸収量より D F 吸収の計算をおこなうと、0.1~0.7 の拡がりがある。これは、 Ca^{45} , Sr^{90} の投与量と排泄量との関係によるもので、3~5 日の代謝実験では動物の尿排泄の状態が必ずしも一様でなく、正確な吸収

量が求められない場合があることによると考えられる。式(9)に示したように、厳密な実験下では O R 体内残留一飼料と O R 骨一飼料はほとんど一致してくるべきである。表 8 に示したように、P 群、F 群ともに O R 体内残留一飼料は O R 骨一飼料より小さい値となっている場合が多い。これは実験的に求めた Ca^{45} , Sr^{90} 吸収量が正しい吸収量より少い値であつたことを示していると思われる。したがつて、いま、O R 骨一飼料が、より正しい O R 体内残留一飼料の値を示していると考えれば、正しい D F 吸収は P 群、F 群ともに 0.48 となつてくる。

図 2, 3 に個々の動物の Ca^{45} 排泄% と O R 尿一飼料との関係を点で示した。P 群、F 群ともに Ca^{45} 排泄% がますと O R 尿一飼料は減少する。これらの関係は次のように分析できよう。

定義から

$$(6) \cdots \cdots \text{O R 尿一飼料} = \frac{\text{Sr}^{90} \text{ 排泄\%}}{\text{Ca}^{45} \text{ 排泄\%}}$$

$$\therefore \text{Sr}^{90} \text{ 排泄\%} = \text{Ca}^{45} \text{ 排泄\%} \cdot \text{O R 尿一飼料}$$

$$(7) \cdots \cdots \text{D F 吸収} = \frac{100 - \text{Sr}^{90} \text{ 排泄\%}}{100 - \text{Ca}^{45} \text{ 排泄\%}} \\ = \frac{100 - \text{Ca}^{45} \text{ 排泄\%} \cdot \text{O R 尿一飼料}}{100 - \text{Ca}^{45} \text{ 排泄\%}}$$

上式を整理すると

$$\text{O R 尿一飼料} = \frac{100 \cdot (1 - \text{D F 吸収})}{\text{Ca}^{45} \text{ 排泄\%}} + \text{D F 吸収}$$

したがつて、計算により求めた D F 吸収 = 0.48 を代入すると

$$\text{O R 尿一飼料} = \frac{52}{\text{Ca}^{45} \text{ 排泄\%}} + 0.48 \cdots (12)$$

$$\text{或は } \text{Ca}^{45} \text{ 排泄\%} = \frac{52}{\text{O R 尿一飼料}} - 0.48 \cdots (12')$$

この式を図 2, 3 に実線として示した。D F 吸収が Ca^{45} 排泄率の如何にかわらず一定であると仮定すると、 Ca^{45} 排泄% が増すと O R 尿一飼料は小となつてくる。上式と実測点は必ずしも一致していないが、傾向としては満足できるものであつて、この bias は上述したように代謝実験の実験誤差によるものである。D F 吸収を 0.48 としたことは、第一代、第二代の O R 骨一飼料がいくつかの測定点でほぼ一致していること、D F 尿が同様にはほぼ一致していることから、D F 吸収が一定していると考えても大過ないと思われる。

O R 骨一飼料

P群, F群ともに0.41, 0.42でよく一致している。時間的経過を追つたOR骨一飼料のデータは、C.L. Comar¹⁶⁾によればSr⁹⁰を加えた長期実験で0.28であり、R.H. Wassermanら¹⁷⁾は飼料中のCa含有量を4倍にかえてもOR骨一飼料がほとんど一定している事実を発表している。柄川ら¹⁵⁾はハツカネズミを用いた30日間の実験で、OR骨一飼料は0.41～0.45であつた。宮川ら⁵⁾のSr⁹⁰, Sr⁸⁹, Ca⁴⁵1回投与実験によれば、時間の経過とともにOR骨一飼料は減少し、24時間、0.54, 7日目0.34であつた。SrがCaよりも早く骨組織から離れるというデータは、in vitroによる2, 3の実験があり¹⁸⁾¹⁹⁾、生体組織でも同様と考えられる。しかし、放射性Ca, 放射性Srを用いた場合、OR骨一飼料は比較的早く一定してくると思われる。

飼料や、サンプルの安定なSrの定量をおこなつてはいないが、第二代シロネズミの骨では、Kca=1となつていていることから、CaもSrも均等にラベルされていると考えられるので、安定なCa, SrについてもOR骨一飼料値が適用できよう。

哺乳中の仔シロネズミ

哺乳中の仔シロネズミのORについては、C.L. Comar²⁰⁾, R.H. Wasserman²⁰⁾によるデータでは、山羊を用いた場合OR血漿一飼料=0.24, OR乳一飼料=0.09であり、血液から乳汁へ移行する間にSr/Caは約1/4に減少している。また、シロネズミではOR母一飼料=0.28, OR胎児一食飼=0.17, DF胎盤一胎児=0.65であつた。表5に示したように、2日目、OR仔一飼料=0.25, OR仔一母=0.61でありよく一致している。また、母シロネズミの乳ではOR乳一飼料=0.25より、OR仔一乳=0.72～0.80となつた。C.L. Comar⁴⁾は、シロネズミを合成飼料で飼育した場合、OR骨一飼料=0.27、乳で飼育した場合0.57であつた点から、乳で飼育した方がSrの吸収量が多いと結論しているが、本実験結果からも同様の事実が認められる。

VIII. 結語

Ca⁴⁵, Sr⁹⁰を加えた合成飼料で長期間飼育した

シロネズミを用いて、二代にわたつてSr⁹⁰, Ca⁴⁵Discrimination Factorの研究を行つた。第一代、第二代共にOR骨一飼料=0.41, 0.42であり、差がみとめられない。母シロネズミの母乳への移行時ではOR乳一母体=0.61, 哺乳中仔シロネズミは、OR仔一飼料=0.81～0.21, 母シロネズミより仔シロネズミへの移行時ではOR仔一母=0.61, 母乳の、哺乳中シロネズミによるDFは0.72～0.80であつた。

Ca⁴⁵排泄率とOR尿一飼料との関係式を求め、実験値と比較した。

おわりに終始御懇意な御指導、御校閲をたまわつた恩師宮川教授、江藤助教授、田坂助教授に深謝する。種々御助言をたまわつた中泉東大名誉教授、東大農学部檜山教授に深謝する。実験上の御助力をたまわつた都立衛生研究所関博磨氏、教室員諸兄に深謝する。

文献

- 1) 放射線の影響: 国際連合科学委員会報告書. 1958年, 都築正男編 (日本学術振興会, 1958). — 2) C. L. Comar, R. Scott Russell & R.H. Wasserman: Science 126: 485-492, 1957. — 3) Radiological Data in Japan II. The National Institute of Radiological Sciences. Science & Technics Agency, Tokyo, Japan. — 4) C.L. Comar, R.H. Wasserman & M.M. Nold: Proc. Soc. Exptl. Biol. Med. 92: 859-863, 1956. — 5) 宮川正, 柄川順, 関博磨: 日医放誌, 18: 273-280, 1958. — 6) N.S. Mac Donald, P. Noyes & P.C. Loric: Am. J. Physiol. 188: 131-136, 1957. — 7) R.H. Wasserman, C.L. Comar & D. Papadopoulou: Science 126: 1180-1182, 1957. — 8) G.V. Alexander, R.E. Nusbaum & N.S. Mac Donald: J.B.C. 217: 911-919, 1956. — 9) H. Spencer, M. Brothers, E. Berger, H.E. Hart & D. Laszlo: Proc. Soc. Exptl. Biol. Med. 91: 155-158, 1956. — 10) H. Spencer, D. Laszlo & M. Brothers: J. Clin. Invest. 36: 680, 1957. — 11) C.L. Comar, R.H. Wasserman, S. Ullberg & G.A. Andrews: Proc. Soc. Exptl. Biol. Med. 95: 386-391, 1957. — 12) K.K. Turekian & J.L. Kulp: Science 124: 405-406, 1956. — 13) E.M. Sowden & S.R. Stich: Bioch. J. 67: 104-109, 1957. — 14) 石田良平: 炎光分析法によるK, Srの定量: ストロンチウム, セシウムの分析法 (科学技術庁原子力局, 昭和32年12月23日) — 15) 柄川順, 関博磨: 医学のあゆみ, 29: 3, 135-137, 1958. — 16) C.L. Comar, I.B. Whitney & F.W. Lengemann: Proc. Soc. Exptl. Biol. Med. 88: 232-236, 1955. — 17) 関博磨: 総合医学, 14: 835-838, 1957. — 18) F.W. Lengemann: Proc. Soc. Exptl.

Biol. Med. 94 : 64, 1958. — 19) W.F. Neuman: Second United Nations International Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy Report 6, Sept. 1958. — 20) R.H. Wasserman, C.L. Comar, M.M. Nold & F. W. Lengeman:

nn: Am. J. Physiol. 189 : 91~97, 1957. — 21) Y. Hiyama & R. Ichikawa: Records of Oceanographic Works in Japan 3 : 78~84, 1957. — 22) R. Ichikawa & Y. Hiyama: Ibid 4:55—66, 1957.

Study on the Sr, Ca Discrimination Factor
(Considerations by the long term feeding Experiment)

By

Jun Egawa

Department of Radiology, Faculty of Medicine, Tokyo University
(Director: Professor Tadashi Miyakawa)

Sr, Ca discrimination factor (DF) was studied for two generations of rats which were feeded with Ca^{45} and Ca^{90} containing diet continuously. The ratio of Sr^{90} and Ca^{45} and specific activity of Ca^{45} of diet were constant over the all periods of experiment, namely the former was 0.33 and the later was $130 \pm 10 \text{ cpm/mg Ca}$.

The terms of Observed Ratio (OR sample-precursor = $\frac{\text{Sr}^{90}/\text{Ca}^{45} \text{ of sample}}{\text{Sr}^{90}/\text{Ca}^{45} \text{ of precursor}}$) and DF in this paper were used according to the definition of OR and DF proposed by C.L. Comar in his original report.

OR bone-diet: The OR bone-diet of the first generation and second generation were not different each other, namely values of 0.41~0.42 were obtained. Ca^{45} specific activity by bone in the second generation was 125~135 cpm/mg Ca, so, it was considered that the ratio of Sr^{90} and Ca^{45} of bone and of diet would be equilibrated.

Newborne: OR newborne-diet was 0.25 at 2nd days, 0.18~0.21 from 5th days after their births.

Milk: Milk of mother's rats (first generation) was collected from the stomachs of newborne rats and $\text{Sr}^{90}/\text{Ca}^{45}$ ratio was measured. OR milk-diet was 0.25.

Calculated from these data, OR newborne-mother's bone = 0.61, DF newborne-milk = 0.61, DF newborne-milk = 0.72~0.80.

The relation between Ca^{45} percentage excretion in feces and OR feces-diet was discussed with experimental formula.