

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	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

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壌の汚染から出発し、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、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ず、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。 Sr^{90} による生体の汚染度は核実験の増加に伴って増大しており、今後も次第に増加していく危険性を帯びている。したがって将来における人体汚染度の推定のためにも 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が必要となってくる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。

$$DF_{\text{前駆体} \rightarrow \text{試料}} = \frac{Sr/Ca_{\text{試料}}}{Sr/Ca_{\text{前駆体}}} \dots (1)$$

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

$$DF_{\text{土壌} \rightarrow \text{人骨}} = DF_{\text{土壌} \rightarrow \text{植物}} \cdot DF_{\text{植物} \rightarrow \text{牛}}$$

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 $1 \mu\mu Sr^{90}$ 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 $1 \mu\mu Sr^{90}/7mgSr$ を 1 Moonlight Unit と定義し、C.L. Comar⁴⁾ は Ca^{45} と Sr^{89} , Sr^{90} 等の二重追跡子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。

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

これは 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。

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

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 によつて決定されるから

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

で示される。

(脚註十) * 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.

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

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

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

$$= DF_{吸収} \cdot DF_{尿} \dots\dots (5)$$

$$\therefore OR_{骨-飼料} \dots\dots (9)$$

従来のデータからいえば, 動物実験で $DF_{吸収} = 0.2 \sim 0.6$, $DF_{尿} = 0.7 \sim 0.9$, $OR_{体内残留-飼料} = 0.2 \sim 0.6$ 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 $OR_{血液-食物} = 0.25 \sim 0.62$ 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. したがって 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くる. Sr^{90} 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 Sr^{90} は約 $4 \mu\mu\text{c/gCa}$ であり, 人骨では $0.04 \sim 0.4 \mu\mu\text{c/gCa}$ である. これは, 人体の Ca が約 1kg であつて turnover が遅く, 食物の Sr^{90}/Ca と平衡に達するには多年を要するからである. 食物の Sr^{90}/Ca と平衡にある骨の Sr^{90}/Ca は, $OR_{骨-飼料}$ の値を Factor として一致し, Sr^{90} の比放射能は外界の Sr^{90} 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った. 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 100g 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は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 Sr^{90} 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.

$$OR_{骨-飼料} = \frac{Sr^{90}/Ca_{骨}}{Sr^{90}/Ca_{飼料}} = \frac{Sr/Ca_{骨}}{Sr/Ca_{飼料}} = \frac{Sr^*/Ca^*_{骨}}{Sr^*/Ca^*_{飼料}} \dots\dots (10)$$

ここで①は食物と骨の Ca, Sr^{90} が平衡状態にあるときにだけ成立し, この際 $Sr^{90}/Sr_{骨} = Sr^{90}/Sr_{飼料}$ となる. すなわち, 現在の Sr^{90} 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つ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 $Sr^*/Sr_{骨} = Sr^*/Sr_{飼料}$, $Ca^*/Ca_{骨} = Ca^*/Ca_{飼料}$ 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, $Ca^*/Ca_{骨} = K_{Ca} Ca^*/Ca_{飼料}$, $Sr^*/Sr_{骨} = K_{Sr} Sr^*/Sr_{飼料} \dots\dots (11)$ となる. K_{Ca}, K_{Sr} は実験期間や, Ca, Sr の biological half life によつて異なり, 期間が長ければ 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^* , Sr^* 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^* , Sr^* 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⁵⁾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想像されるが、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 $K_{Ca} = K_{Sr}$ 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, $Sr^{90} Cl_2$ 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 日後個別した。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

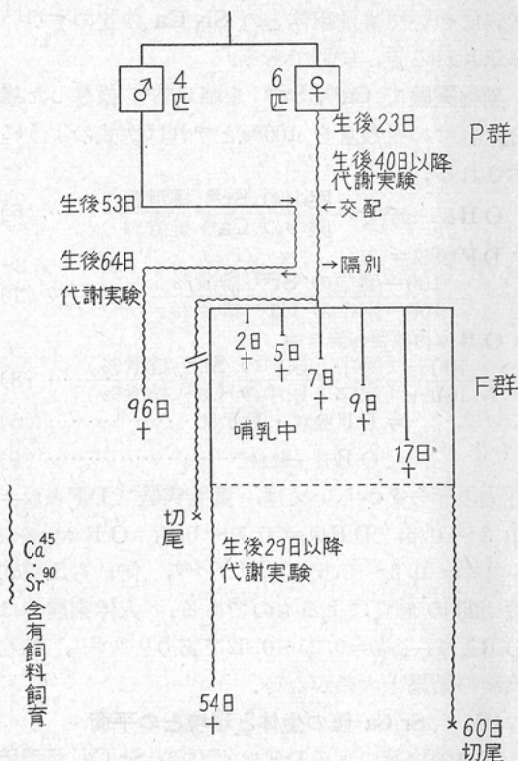


表 1 第一代シロネズミ実験条件 (P 群)

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	* ** 54±5
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

がって、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Ca⁴⁵, Sr⁹⁰を加えた飼料で飼育し、一系統の生長をまつて代謝実験を行った。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800°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ジ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%に氷酢酸を加え、酢酸マ性下で尿酸アンモンによりCa⁴⁵, Sr⁹⁰を尿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

たがって尿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、1/10N 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った。指示薬としてDotite NNを使用した。尿は尿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、1/10N HClに溶解した上、上法のようにEDTA滴定を行った。

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、尿ともにSr⁹⁰排泄%はCa⁴⁵排泄%より大である。Ca⁴⁵比放射能は飼料の比放射能130±10cpm/mgCaよりも低く、時間の経過とともに幾分高くなってきている。尿の比放射能は一般に尿の比放射能より大であった。表3のOR, DFの値は、1実験群でのCa⁴⁵, Sr⁹⁰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より大であった。個々の動物のOR尿-飼料の値とCa⁴⁵排泄%との関係は考按の項で論ずる。DF吸収は0.28~0.57あ

表3 第1代シロネズミのCa⁴⁵, Sr⁹⁰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- 飼料	** Ca ⁴⁵ s.a.	Ca ⁴⁵ %	Sr ⁹⁰ %	OR 尿- 飼料	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乳一母=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はいく分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±10cpm/mgCa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=186cpm/mgCa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はほとんど

表6 第2代シロネズミの Sr⁹⁰, Ca⁴⁵ 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—飼料	*** Ca ⁴⁵ s.a.	Ca ⁴⁵ %	Sr ⁹⁰ %	OR 尿—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—飼料=0.41であるから、DF仔—母=0.61となる。この値はDF乳—骨と一致している。したがって、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によつて形成されるから、2日目のCa⁴⁵, Sr⁹⁰を減じた5日以後のCa⁴⁵, Sr⁹⁰cpm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—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2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回実験を行った。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吸収, DF尿, OR体内残留—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2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くる。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	
	OR	*** Ca ⁴⁵ s.a.	OR	Ca ⁴⁵ s.a.
生後 日数	54		60	
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。したがって、第2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、飼料にいずれも塩化物として加えているために飼料のCa吸収率よりもいく分よいのではないかと考えられる。したがっ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、この吸収率の違いと、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—飼料との関係

表に示したOR尿—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
OR体内残留—飼料	0.22~0.53	0.35~0.38
OR骨—飼料	0.41	0.42
DF尿	0.85	0.88
DF吸収	0.28~0.57	0.39~0.45
OR骨—飼料より 計算した DF吸収	0.48	0.48

図2 Ca⁴⁵ 排泄率とOR尿—飼料 (PI~PIX)

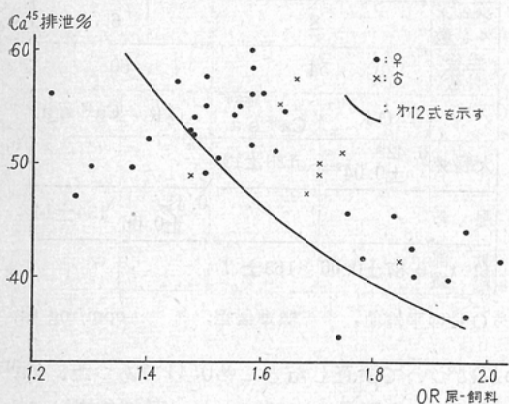
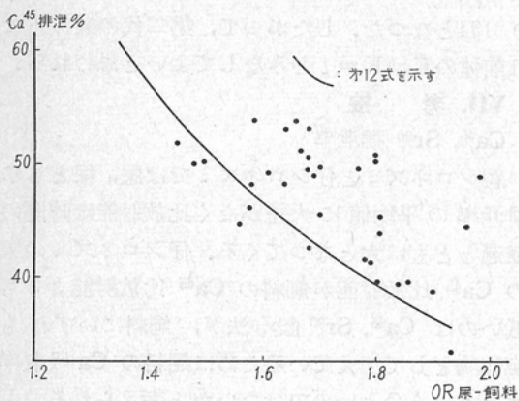


図3 Ca⁴⁵ 排泄率とOR尿—飼料 (FI~FIV)



動物のOR尿—飼料の平均値ではない。個々の動物についてOR尿—飼料をみると、かなりばらつきがある。また、Ca⁴⁵, Sr⁹⁰の吸収量よりDF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、Ca⁴⁵, Sr⁹⁰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OR体内残留—飼料とOR骨—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OR体内残留—飼料はOR骨—飼料より小さい値となつている場合が多い。これは実験的に求めたCa⁴⁵, Sr⁹⁰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、OR骨—飼料が、より正しいOR体内残留—飼料の値を示していると考えれば、正しいDF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Ca⁴⁵排泄%とOR尿—飼料との関係を点で示した。P群, F群ともにCa⁴⁵排泄%がますとOR尿—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

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

$$\therefore \text{Sr}^{90} \text{ 排泄}\% = \text{Ca}^{45} \text{ 排泄}\% \cdot \text{OR尿—飼料}$$

$$(7) \dots \text{DF吸収} = \frac{100 - \text{Sr}^{90} \text{ 排泄}\%}{100 - \text{Ca}^{45} \text{ 排泄}\%} \\ = \frac{100 - \text{Ca}^{45} \text{ 排泄}\% \cdot \text{OR尿—飼料}}{100 - \text{Ca}^{45} \text{ 排泄}\%}$$

上式を整理すると

$$\text{OR尿—飼料} = \frac{100 \cdot (1 - \text{DF吸収})}{\text{Ca}^{45} \text{ 排泄}\%} + \text{DF吸収}$$

したがつて、計算により求めたDF吸収=0.48を代入すると

$$\text{OR尿—飼料} = \frac{52}{\text{Ca}^{45} \text{ 排泄}\%} + 0.48 \dots (12)$$

$$\text{或は } \text{Ca}^{45} \text{ 排泄}\% = \frac{52}{\text{OR尿—飼料} - 0.48} \dots (12')$$

この式を図2, 3に実線として示した。DF吸収がCa⁴⁵排泄率の如何にかかわらず一定であると仮定すると、Ca⁴⁵排泄%が増すとOR尿—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。DF吸収を0.48としたことは、第一代, 第二代のOR骨—飼料がいくつかの測定点でほぼ一致していること、DF尿が同様にほぼ一致していることから、DF吸収が一定していると考えても大過ないと思われる。

OR骨—飼料

P群, F群ともに0.41, 0.42でよく一致している。時間的経過を追った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. Wasserman¹⁷⁾らは飼料中の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であった。宮川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であった。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, $K_{Ca} = 1$ となつていることから, 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. Comar²⁾, 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 $\frac{1}{4}$ 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胎ばん一胎児=0.65であった。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, Ca⁴⁵ Discrimination 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。

おわりに終始御懇篤な御指導, 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, 東大農学部植山教授に深謝する。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. Papadopolou: 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, HE. 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: ストロネチウム, 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. Lengema-

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 ± 10 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 rept.

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.