

報 文

雌ラットのカルシウム、リンおよびマグネシウム出納に 及ぼす飼料中カゼインまたは分離大豆たん白質レベルの影響

阿左美 章 治, 平 塚 静 子, 北 野 隆 雄^{*1}, 江 指 隆 年^{*2}聖徳栄養短期大学, ^{*1}熊本大学, ^{*2}国立栄養研究所

Effects of Dietary Casein and Soy Protein Isolate on Calcium, Phosphorus and Magnesium Balance in Female Rats

Shoji Azami, Shizuko Hiratsuka, Takao Kitano^{*1} and Takatoshi Esashi^{*2}Seitoku Junior College of Nutrition, ^{*1}Kumamoto University,^{*2}The National Institute of Nutrition

The experiment was carried out to observe the effect of dietary protein quality and quantity on urinary calcium (Ca), phosphorus (P) and magnesium (Mg) excretions in female rats.

Casein and soy protein isolates were used as a protein source, and a protein content in the diet was 20% or 40% respectively.

Female Fischer-strain rats of 4 weeks of age were divided into groups of 20% casein diet (C 20), 40% casein diet (C 40), 20% soy protein isolate diet (S 20) and 40% soy protein isolate diet (S 40), and were fed one of the experimental diets for 25 weeks. In 1, 13 and 25 weeks, Ca, P and Mg balance studies were done.

After the 25 weeks balance studies, rats were killed and the Ca, P and Mg content of serum, kidney and right femur were determined.

The results were as follows :

- 1) Body weight gain was not significantly different among the four groups.
- 2) Calcium and P absorption decreased with age but were not affected by the diets, whereas C 40 group exhibited higher urinary Ca, P and Mg excretions. Ca, P and Mg retention also decreased with age.
- 3) Soy protein isolate diets always indicated high Mg retention than the casein diets. On the other hand, C 40 group showed the highest urinary Mg excretion and gave negative Mg balance at 25 weeks.
- 4) The weight of fat-free femur, the ash content of per gram of femur, and the Ca content and Ca/P ratio of femur did not show a significant difference among the four groups. But the Ca content of femur per 100 g body weight significantly decreased in the C 40 group than in the S 40 group.
- 5) The kidney weights of the 40% protein diet groups significantly increased than the 20% protein diet groups. The calcium and Mg content of per gram of the kidney in the 40% protein diet groups significantly decreased than the 20% protein diet groups.

Jpn. J. Nutr., 47 (2) 103~112 (1989)

緒 言

高たん白質食は、カルシウム（以下、Ca と略）の尿中排泄量を増加させるが、それ以上に吸収量を高めるため、Ca の体内利用にとって有利とされてきた¹⁾。

Key words : calcium, phosphorus, magnesium, casein, soy protein isolate
カルシウム, リン, マグネシウム, カゼイン, 分離大豆たん白質

しかし、Anand and Linkswiler²⁾らは、成人男性を対象とした実験において、たん白質を1日当たり 95 g または 142 g 給与し、かつ Ca 摂取量を1日当たり 500 mg とした場合、Ca 出納が負になったと報告している。また、Licata ら³⁾、Johnson ら⁴⁾、Schuette ら⁵⁾も、骨粗鬆症患者や男女の高齢者、男子学生を対象とした実験において、高たん白質食摂取は Ca 出納に負の結果をもたらしたと報告している。しかし、Spencer ら⁶⁾の人体実験では、高たん白質摂取によっても Ca 出納は負を示さなかったとしている。

一方、ラットを用いた実験においても、高たん白質食摂取が、尿中 Ca 排泄量を高めることが認められている^{7, 8)}。しかし、Bell ら⁷⁾は、⁴⁵Ca で深部標識した成熟雄ラットに高たん白質食を給与したが、骨からの ⁴⁵Ca の動員増加を認めず、Whiting ら⁸⁾も ⁴⁵Ca を深部標識した成熟雄ラットに高たん白質食を10ヵ月間給与したが骨に異常を認めていない。一方、Whiting ら⁹⁾は、含硫アミノ酸または硫酸根を高たん白質食と同じ程度含む飼料を給与した成熟雄ラットの骨密度の減少を認めている。

以上のような一見矛盾する実験結果は、高たん白質食摂取が Ca 出納に負にするか否かについて、さらに検討すべき多くの課題が残されていることを示している。

特に、たん白質摂取量のみではなく、その質の違い、食事または飼料組成の差、被検者または実験動物の性、年齢および生体の状態、実験期間その他についても検討する必要性があると考えられる。

そこで著者らはまず雌ラットを用い、たん白質の摂取量の増加および質的差異が加齢に伴う Ca 出納に及ぼす影響について調べた。同時に血清、大腿骨および腎臓中の Ca 代謝に関係の深いリン（以下、P と略）、マグネシウム（以下、Mg と略）についても Ca と同様に調べた。

実 験 方 法

1. 実験動物

生後 4 週齢、体重 50 g 前後の Fischer 系雌ラット 24 匹を購入（日本チャールスリバー(株)）し、AIN-76 精製飼料¹⁰⁾を一部改変した 20% カゼイン食（Table 1 の C 20）にて 1 週間予備飼育した。その後、各群の体重がほぼ等しくなるように 1 群 6 匹ずつの 4 群に分け、6 ヶ月間の実験飼育を行った。

2. 実験飼料

飼料は、たん白質源をミルクカゼイン（オリエンタル酵母(株)）および分離大豆たん白質（不二製油(株)）の 2 種類とし、その含有量をそれぞれ 20% および 40% とした。すなわち、20% カゼイン食（C 20% と略、以下同じ）、40% カゼイン食（C 40）、20% 分離大豆たん白質食（S 20）、および 40% 分離大豆たん白質食（S 40）の 4 種類とした。その飼料組成を Table 1 に、また各飼料中の Ca、P および Mg 含有量の実測値を Table 2 に示した。

3. 飼育条件

ラットは、6 連の個飼いステンレス網製のかごにて 1 日 12 時間点灯（午前 7 時～午後 7 時）、飼育温度 23 ± 1℃、湿度 50 ± 5% の動物室で飼育した。午前 10 時～12 時の間に給餌、給水（蒸留水）、飼料摂取量、および体重測定その他の作業を行った。

4. 糞尿の採取

Ca の出納実験は、実験飼料給与開始 1, 13, および 25 週目にそれぞれ 4 日間実施した。出納実験期の飼料はカルミンにて着色（飼料 100 g 当たり 100 mg 添加）し、代謝ケージにて糞尿を分離採取した。糞は毎日採取したものを合わせ、乾燥重量を測定した後、粉末とした。尿は 5 N 塩酸 10 ml をあらかじめ添加したビー

Table 1 Composition of experimental diets

(g/100 g)

Ingredients	Diets * ¹			
	C 20	C 40	S 20	S 40
Casein	20.0	40.0	0.0	0.0
S.P.I * ²	0.0	0.0	20.0	40.0
α -corn starch	63.0	43.3	63.2	43.6
Soy bean oil	5.0	5.0	5.0	5.0
Cellulose powder	5.0	5.0	5.0	5.0
Mineral mixture * ³	3.5	3.5	3.5	3.5
Vitamin mixture * ⁴	1.0	1.0	1.0	1.0
Choline bitartrate	0.2	0.2	0.2	0.2
DL-methionine	0.3	0.3	0.3	0.3
CaHPO ₄ ·2H ₂ O	1.45	0.68	1.26	0.29
CaCO ₃	0.45	0.89	0.53	1.06
MgO	0.08	0.08	0.06	0.034
	100.0	100.0	100.0	100.0

*¹ C 20, 20% Casein diet ; C 40, 40% Casein diet ; S 20, 20% S. P. I. diet ; S 40, 40% S. P. I. diet*² Soy protein isolate (Fujipro R)*³ AIN-76 Mineral mixture [*J. Nutr.*, **107**, 1340 (1977)]*⁴ AIN-76 Vitamin mixture [*J. Nutr.*, **107**, 1340 (1977)]

Table 2 Average content of calcium, phosphorus and magnesium

(mg/100 g)

	C 20	C 40	S 20	S 40
Ca * ¹	579.6	562.8	589.2	589.5
P * ²	399.8	402.2	380.4	373.7
Mg * ¹	47.1	45.3	49.6	52.7

*¹ By air-acetylene flame atomic absorption spectrophotometry*² By Gomori method

カーに採取し、蒸留水にて 200 ml とした。

5. 試料の処理と分析方法

飼料、糞および尿についてはその一定量を分解用硬質試験管に採取し、混酸（硝酸：過塩素酸＝1：1、ともに重金属測定用）5 ml を加えて溶解、アルミブロックバスにて湿式分解した。230℃ で乾固後 0.5 N 塩酸を加え、超音波処理した後、沸騰水中で20分間加熱、放冷し、0.5 N 塩酸にて 50 ml とし分析に供した。血清は飼育期間終了後、12時間絶食させ、エチルエーテル麻酔下にて心臓より採血した血液を遠心分離（3,000 rpm, 15分間）して得た。腎臓（片側）は重量測定後、糞尿と同様の処理をし、0.5 N 塩酸にて 20 ml とした。大腿骨は湿重量および乾燥重量測定後、クロロホルム、メチルアルコール（2：1）混液で24時間、エチルエーテル、無水エチルアルコール（1：1）混液で72時間脱脂した¹¹⁾。乾燥重量測定後、分解用硬質試験管に移し、混酸にて溶解し、アルミブロックバスにて乾固した。さらにこれを400℃で灰化（2回繰り返す）した後、0.5 N 塩酸を加え、糞尿と同様の処理をし、100 ml とし分析に供した。

Ca, P, Mg の測定には次の方法を用いた。

Ca : Ca 測定用キット（和光純薬(株)）—血清 原子吸光法¹²⁾——大腿骨、腎臓、糞、尿

Table 3 Body weight and total food intake during the experimental period

(g ; M \pm SE ; n = 6)

	Body weight *				Total food intake
	1	5	13	25 weeks	
C 20	84.3 \pm 1.7	156.1 \pm 3.0	194.8 \pm 5.3	214.8 \pm 4.8	1,969.5 \pm 46.8
C 40	82.3 \pm 1.5	154.8 \pm 3.7	195.2 \pm 4.3	213.8 \pm 5.4	1,929.5 \pm 35.6
S 20	85.2 \pm 1.2	155.0 \pm 2.0	193.5 \pm 2.5	206.5 \pm 3.5	1,999.5 \pm 30.9
S 40	83.5 \pm 2.0	153.7 \pm 1.2	193.3 \pm 0.8	209.7 \pm 0.7	1,959.1 \pm 8.0

* Body weight was measured at the end of each experimental periods of the balance study.

P : P測定用キット (和光純薬(株)) — 血清 Gomori 法¹³⁾ — 大腿骨, 腎臓, 糞, 尿Mg : Mg測定用キット (和光純薬(株)) — 血清 原子吸光法¹²⁾ — 大腿骨, 腎臓, 糞, 尿

6. 統計処理

結果は, 比較すべき数値の等分散性を検定後, *t* 検定によって有意差を判定した。等分散性を示さなかったものについては, ウエルチの *t* 検定によって有意差を判定した¹⁴⁾。危険率は 5 % とした。

結果および考察

1. 飼料摂取量および体重増加

飼育期間中の飼料摂取量および体重変化を Table 3 に示した。飼料総摂取量および体重増加量はいずれの期間においても 4 群間に差を認めなかった。

2. カルシウム出納

Ca の出納結果を Table 4 に示した。Ca の摂取量は 4 群とも加齢とともに増加した。しかし, 増加量以上に糞中への排泄量が増すため, 摂取量から排泄量を差し引いた見かけの Ca 吸収量, 吸収率は, 加齢とともに低下した。ただし, 4 群間に差は認められなかった。

尿中排泄率は加齢とともに増加傾向を示し, 4 群とも 25 週目において最高値を示した。特に, C 40, S 40 が 20% 食群に比べ高値を示した。これらの結果は, カゼイン, ラクトアルブミン, ゼラチンを混合して飼料たん白質レベルを 10%, 20%, 40% とした場合の尿中排泄量を比較した Bell ら⁷⁾ の報告と同様であった。一方, カゼイン食群は大豆たん白質食群を上回る尿中 Ca 排泄率を示す傾向にあり, 25 週目においては C 20 の Ca 排泄率も S 40 以上であった。特に, C 40 においてはその傾向が著しく, C 40 は 8.3% の尿中 Ca 排泄率を示し, S 40 のおよそ 2 倍の値を示した。また, C 40 は Ca 出納実験を実施した飼育 1 週目, 13 週目, 25 週目いずれの期間においても, 常に他の 3 群に対し有意に高い尿中 Ca 排泄率 (量) を示した。

尿中 Ca 排泄量には Ca の血中濃度, 腎臓の糸球体濾過率や再吸収能, 副甲状腺ホルモンなどが関係する⁷⁾ が, 多量のたん白質を摂取した場合, Ca の腸管吸収が活発となり, Ca の排泄が糞から尿に変換されるため, 尿中排泄量が増加すると考えられる⁷⁾。Ca の体内保留率は, 出納実験を実施したいずれの期間においても 4 群間に有意差を認めなかった。しかし, カゼイン食群は 13 週目以降の吸収率の低下, 25 週目の尿中排泄量の増加によって大豆たん白質食群より Ca の体内保留率が低い傾向を示した。

この結果は, 雄ラットを用いた北野ら¹⁵⁾ や Calvo ら¹¹⁾ の報告と同様であった。また本実験は, カゼイン, 大豆たん白質の第 1 制限アミノ酸であるメチオニンを 4 群にそれぞれ同量添加したが, S 20 の Ca 吸収量が C 20

Table 4 Calcium balance of rats fed the diets containing casein or soy protein isolate
at the concentration of 20% or 40% (M ± SE ; n = 6)

Period (weeks)	Group	Intake (mg/day)	Absorption (%)	Urinary excretion (%)	Retention (%)
1	C 20	54.7 ± 1.9	63.9 ± 6.4 (34.4 ± 2.6)*	3.2 ± 0.2 (1.7 ± 0.1)	60.7 ± 6.5 (32.7 ± 2.7)
	C 40	50.4 ± 1.4	70.9 ± 3.7 (35.8 ± 2.2)	5.9 ± 0.3 ^a (3.0 ± 0.1)	65.1 ± 3.8 (32.8 ± 2.3)
	S 20	55.7 ± 1.5	64.7 ± 1.9 (36.0 ± 1.8)	2.6 ± 0.2 ^b (1.4 ± 0.1)	62.1 ± 2.0 (34.6 ± 1.8)
	S 40	47.0 ± 1.9	70.7 ± 2.4 (33.3 ± 2.1)	3.9 ± 0.4 (1.9 ± 0.2)	66.8 ± 2.7 (31.4 ± 2.1)
13	C 20	58.2 ± 2.1	34.1 ± 3.5 (19.7 ± 1.7)	3.3 ± 0.3 (1.9 ± 0.3)	30.9 ± 3.4 (17.7 ± 1.7)
	C 40	53.2 ± 1.2	38.2 ± 2.7 (20.4 ± 1.7)	5.6 ± 0.4 ^a (3.0 ± 0.2)	32.6 ± 3.0 (17.4 ± 1.8)
	S 20	56.5 ± 2.7	42.7 ± 2.9 (24.2 ± 2.1)	2.0 ± 0.2 ^b (1.1 ± 0.1)	40.7 ± 2.9 (23.1 ± 2.0)
	S 40	51.3 ± 1.8	40.2 ± 1.6 (20.7 ± 0.8)	3.2 ± 0.3 (1.7 ± 0.2)	37.0 ± 1.8 (19.1 ± 0.8)
25	C 20	63.7 ± 1.4	31.1 ± 2.9 (19.9 ± 1.9)	4.9 ± 0.4 ^c (3.1 ± 0.3)	26.3 ± 2.9 (16.8 ± 1.9)
	C 40	61.2 ± 2.6	31.6 ± 3.6 (19.2 ± 2.2)	8.3 ± 0.6 ^{a, c} (5.1 ± 0.6)	23.3 ± 3.8 (14.1 ± 2.1)
	S 20	64.1 ± 4.2	33.5 ± 2.8 (21.9 ± 3.2)	3.4 ± 0.8 (2.2 ± 0.5)	30.1 ± 2.8 (19.7 ± 3.1)
	S 40	58.2 ± 3.5	31.3 ± 1.2 (18.2 ± 1.3)	4.0 ± 0.3 (2.4 ± 0.3)	27.3 ± 1.2 (15.9 ± 1.2)

* () : Average value of the absolute quantity (mg/day).

^a Significantly different from the corresponding C 20, S 20 and S 40 ($p < 0.05$).

^b Significantly different from the corresponding C 20, C 40 and S 40 ($p < 0.05$).

^c Significantly different from the corresponding 1st and 13th weeks ($p < 0.05$).

に対して高い傾向を示した。この結果は、雄ラットを用いた新山ら¹⁶⁾、吉田ら¹⁷⁾の報告と同様であった。

以上のごとく、いずれの場合にも Ca 出納は負を示さなかったが、カゼインの過剰摂取が Ca 出納に対してマイナス因子になり得ることを示唆する結果が、雌ラットにおいても示された。

3. リン出納

P の出納結果を Table 5 に示した。P の摂取量は Ca の場合と同様に、加齢とともに増加したが、カゼイン食群が大豆たん白質食群より高値を示す傾向にあった。P の吸収量は、カゼイン食群が大豆たん白質食群に対して高値を示し、中でも C 40 の 25 週目において他の 3 群に対して有意に高値を示した。

鈴木ら¹⁸⁾は P の吸収にはたん白質量よりも Ca 量が強く影響を及ぼすと報告しているが、飼料中の Ca 量を 0.52% (理論値) とした本実験においては C 40 が高い P の吸収率を示した。このことは、たん白質量も P の吸収に影響することを示している。

尿中排泄率は、カゼイン食群がいずれの出納実験期においても大豆たん白質食群の S 20, S 40 より有意に高

Table 5 Phosphorus balance of rats fed the diets containing casein or soy protein isolate
at the concentration of 20% or 40% (M \pm SE ; n =6)

Period (weeks)	Group	Intake (mg/day)	Absorption (%)	Urinary excretion (%)	Retention (%)
1	C 20	37.7 \pm 1.3	75.7 \pm 4.2 (28.4 \pm 1.4)*	20.5 \pm 0.6 ^b (7.7 \pm 0.4)	55.2 \pm 4.6 (20.7 \pm 1.5)
	C 40	36.0 \pm 1.0	79.8 \pm 2.9 (28.7 \pm 1.5)	25.2 \pm 0.7 ^a (9.1 \pm 0.2)	54.6 \pm 3.4 (19.7 \pm 1.5)
	S 20	35.9 \pm 1.0	67.3 \pm 1.8 (24.2 \pm 1.2)	12.5 \pm 0.9 (4.5 \pm 0.3)	54.8 \pm 1.7 (19.7 \pm 1.1)
	S 40	29.8 \pm 1.2	73.1 \pm 2.5 (21.8 \pm 1.5)	10.8 \pm 1.0 (3.2 \pm 0.2)	62.3 \pm 3.1 (18.7 \pm 1.6)
13	C 20	40.1 \pm 1.5	49.1 \pm 2.6 (19.7 \pm 1.2)	27.8 \pm 0.9 ^b (11.2 \pm 0.7)	21.3 \pm 2.9 (8.5 \pm 1.1)
	C 40	38.0 \pm 0.9	58.5 \pm 2.6 (22.3 \pm 1.3)	35.6 \pm 0.9 ^a (13.5 \pm 0.4)	22.9 \pm 2.2 (8.7 \pm 1.0)
	S 20	36.5 \pm 1.7	52.8 \pm 2.9 (19.4 \pm 1.6)	22.8 \pm 1.2 (8.4 \pm 0.8)	30.0 \pm 2.7 (11.0 \pm 1.1)
	S 40	32.9 \pm 1.1	50.2 \pm 2.1 (16.4 \pm 0.8)	21.8 \pm 0.7 (7.1 \pm 0.1)	28.4 \pm 2.2 (9.3 \pm 0.8)
25	C 20	43.9 \pm 1.0	44.9 \pm 2.3 (19.8 \pm 1.1)	36.7 \pm 0.9 ^{b, c} (16.2 \pm 0.7)	8.2 \pm 1.9 ^b (3.6 \pm 0.8)
	C 40	43.7 \pm 1.8	53.3 \pm 2.7 ^a (23.2 \pm 1.3)	44.0 \pm 0.4 ^{a, c} (19.2 \pm 0.8)	9.3 \pm 2.5 (4.0 \pm 1.1)
	S 20	41.3 \pm 2.7	43.1 \pm 2.7 (18.1 \pm 2.3)	26.2 \pm 0.7 ^c (10.8 \pm 0.8)	16.8 \pm 2.6 (7.2 \pm 1.5)
	S 40	36.9 \pm 2.2	41.6 \pm 1.6 (15.3 \pm 0.9)	24.2 \pm 1.3 (8.9 \pm 0.4)	17.4 \pm 1.3 (6.4 \pm 0.7)

* () : Average value of the absolute quantity (mg/day).

^a Significantly different from the corresponding the other groups ($p < 0.05$).

^b Significantly different from the corresponding S 20 and S 40 ($p < 0.05$).

^c Significantly different from the corresponding the other experimental periods ($p < 0.05$).

い排泄率を示し、特にC 40についてはC 20に対しても有意に高いPの排泄率を示した。

また、Pの体内保留率についてみると、13週目において有意の差は認められないものの大豆たん白質食群が高値を示すようになり、25週目においてはS 20、S 40がC 20に対して有意に高値を示す結果であった。カゼイン食群は大豆たん白質食群よりPの吸収率が高いが、Pの尿中排泄率(量)も増加をきたすため体内保留率が大豆たん白質食群より低値を示したことになる。

以上のことは、Pの体内利用がたん白質の量の他に質的な影響を受けることをも示唆している。

4. マグネシウム出納

Mgの出納結果を表 Table 6 に示した。Mgの吸収率はカゼイン食群が加齢とともに低下傾向を示したが、4群間に差を認めなかった。尿中排泄率はカゼイン食群が加齢とともに増加するが、大豆たん白質食群では一定の傾向は認められなかった。各出納実験期間ごとのMg尿中排泄率をみると、1週間目でカゼイン食群は大豆たん白質食群に対し有意に高値を示し、13週目ではC 40のMg尿中排泄率がさらに増加し、C 20との間に有意

Table 6 Magnesium balance of rats fed the diets containing casein or soy protein isolate at the concentration of 20% or 40% (M \pm SE ; n =6)

Period (weeks)	Group	Intake (mg/day)	Absorption (%)	Urinary excretion (%)	Retention (%)
1	C 20	4.5 \pm 0.2	62.8 \pm 8.4	31.3 \pm 2.7 ^a	31.5 \pm 6.1
			(2.8 \pm 0.3)*	(1.4 \pm 0.1)	(1.4 \pm 0.2)
	C 40	4.0 \pm 0.1	62.2 \pm 5.0	33.4 \pm 1.9 ^{a, b}	28.8 \pm 6.1
			(2.5 \pm 0.2)	(1.3 \pm 0.1)	(1.2 \pm 0.3)
	S 20	4.7 \pm 0.1	49.0 \pm 1.6	18.4 \pm 1.0	30.5 \pm 1.1
			(2.3 \pm 0.1)	(0.9 \pm 0.0)	(1.4 \pm 0.1)
	S 40	4.2 \pm 0.2	48.2 \pm 2.5	20.5 \pm 2.1	27.7 \pm 1.4
			(2.0 \pm 0.1)	(0.9 \pm 0.1)	(1.2 \pm 0.1)
13	C 20	4.7 \pm 0.2	48.6 \pm 4.7	39.5 \pm 1.8 ^a	9.1 \pm 3.7
			(2.3 \pm 0.2)	(1.9 \pm 0.1)	(0.4 \pm 0.2)
	C 40	4.3 \pm 0.1	56.8 \pm 2.9	48.8 \pm 1.4 ^{a, b}	8.0 \pm 3.1
			(2.4 \pm 0.2)	(2.1 \pm 0.1)	(0.4 \pm 0.1)
	S 20	4.8 \pm 0.2	53.7 \pm 1.5	28.3 \pm 1.7	25.4 \pm 2.7 ^c
			(2.6 \pm 0.1)	(1.4 \pm 0.1)	(1.2 \pm 0.1)
	S 40	4.7 \pm 0.2	54.5 \pm 2.1	26.8 \pm 2.5	27.7 \pm 2.8 ^c
			(2.5 \pm 0.1)	(1.2 \pm 0.1)	(1.3 \pm 0.1)
25	C 20	5.2 \pm 0.1	48.0 \pm 2.3	47.9 \pm 1.8 ^a	0.11 \pm 1.6
			(2.5 \pm 0.1)	(2.5 \pm 0.1)	(0.0 \pm 0.1)
	C 40	4.9 \pm 0.2	49.2 \pm 2.5	53.3 \pm 1.1 ^{a, b}	-4.06 \pm 2.2 ^d
			(2.4 \pm 0.1)	(2.6 \pm 0.1)	(-0.2 \pm 0.1)
	S 20	5.4 \pm 0.4	50.7 \pm 1.8	28.0 \pm 2.5	22.7 \pm 3.5 ^c
			(2.8 \pm 0.3)	(1.5 \pm 0.1)	(1.3 \pm 0.3)
	S 40	5.2 \pm 0.3	42.3 \pm 4.5	13.5 \pm 2.7	28.8 \pm 5.4
			(2.2 \pm 0.3)	(0.7 \pm 0.1)	(1.5 \pm 0.3)

* () : Average value of the absolute quantity (mg/day).

^a Significantly different from the corresponding the other groups ($p < 0.05$).

^b Significantly different from the corresponding S 20 and S 40 ($p < 0.05$).

^c Significantly different from the corresponding the other experimental periods ($p < 0.05$).

差が認められた。25週目のMg尿中排泄率は、C 40, C 20, S 20, S 40の順に高く、それぞれの間で有意差が認められた。特に、C 40とS 40の間でその差が著しかった。

Mgの体内保留率は、カゼイン食群の尿中Mg排泄率が加齢とともに高まるだけ低下し、13, 25週目においてはS 20, S 40に対して有意に低値を示し、25週目のC 20はMg出納が0, C 40は負であった。一方、大豆たん白質食群のMg体内保留率(量)は加齢とともに著しく低下する傾向は認められなかった。

以上のように、Mg尿中排泄率および体内保留量に対するたん白質の質と量の影響が明確に示された。しかし、Mg尿中排泄率増加のメカニズムとその生理的意義については明らかではない。ここでは、Mgの体内保留にとって大豆たん白質がカゼインに比べて有利であったことを指摘するに留める。

5. 血清、大腿骨および腎臓中のカルシウム、リン、およびマグネシウム量

血清、大腿骨、腎臓中のCa, P, Mg含有量をそれぞれTable 7, 8, 9に示した。

尿中Ca排泄量が最高値を示したC 40についてみると、大腿骨の湿重量および脱脂骨重量においては、他の

Table 7 Effect of dietary casein and soy protein isolate on serum calcium, phosphorus and magnesium concentration (mg/dl ; M \pm SE ; n =6)

	C 20	C 40	S 20	S 40
Ca	9.87 \pm 0.14	9.20 \pm 0.18 ^a	9.37 \pm 0.11 ^a	9.35 \pm 0.12 ^a
P	4.25 \pm 0.14	4.73 \pm 0.38	5.46 \pm 0.24 ^b	5.94 \pm 0.38 ^b
Mg	1.80 \pm 0.07	1.78 \pm 0.06	1.66 \pm 0.06	1.82 \pm 0.05

^a Significantly different from the corresponding C 20 ($p < 0.05$).

^b Significantly different from the corresponding C 20 ($p < 0.01$).

Table 8 Femur weight and calcium, phosphorus and magnesium content (M \pm SE ; n =6)

	C 20	C 40	S 20	S 40
Fresh wt. (mg)	566 \pm 14	542 \pm 15	539 \pm 8	551 \pm 9
Dry fat-free wt. (mg)	368 \pm 9	356 \pm 11	361 \pm 8	369 \pm 3
Wt.mg/100 g body wt.	180 \pm 2	174 \pm 4	183 \pm 4	185 \pm 1 ^a
Femur ash wt. (mg)	287 \pm 9	274 \pm 9	278 \pm 6	278 \pm 5
Femur ash%*	77.8 \pm 0.2 ^b	77.0 \pm 0.3	76.9 \pm 0.5	75.3 \pm 0.9
Ca	{ total (mg)	90.8 \pm 3.8	79.7 \pm 2.6	82.4 \pm 1.8
	{ mg/fat-free 1 g	247.6 \pm 13.0	224.0 \pm 3.9	228.0 \pm 0.7
P	{ total (mg)	41.3 \pm 1.0	40.5 \pm 1.1	40.7 \pm 1.0
	{ mg/fat-free 1 g	112.2 \pm 0.4	113.8 \pm 0.5	112.6 \pm 0.4
Mg	{ total (mg)	1.44 \pm 0.04	1.40 \pm 0.04	1.41 \pm 0.04
	{ mg/fat-free 1 g	3.92 \pm 0.03 ^b	3.93 \pm 0.03 ^b	3.89 \pm 0.02 ^b
Ca/P	2.20 \pm 0.11	1.97 \pm 0.04	2.03 \pm 0.01	2.04 \pm 0.02

* Femur ash weight (mg) per dry fat-free femur weight (mg) \times 100

^a Significantly different from the corresponding C40 ($p < 0.05$).

^b Significantly different from the corresponding S40 ($p < 0.05$).

Table 9 Kidney weight and calcium, phosphorus and magnesium content (M \pm SE ; n =6)

	C 20	C 40	S 20	S 40
Kidney wt. (mg)	708 \pm 33	752 \pm 26 ^a	677 \pm 16	750 \pm 27 ^a
Wt.mg/100 g body wt.	346 \pm 10	368 \pm 8 ^a	342 \pm 7	377 \pm 14 ^a
Ca	{ whole (mg)	1.00 \pm 0.15	0.12 \pm 0.10 ^b	0.85 \pm 0.10
	{ mg/kidney 1 g	1.38 \pm 0.18	0.16 \pm 0.01 ^b	1.26 \pm 0.16
P	{ whole (mg)	2.22 \pm 0.10	2.02 \pm 0.04	2.11 \pm 0.04
	{ mg/kidney 1 g	3.14 \pm 0.07 ^d	2.69 \pm 0.04	3.12 \pm 0.06 ^d
Mg	{ whole (mg)	0.13 \pm 0.01	0.13 \pm 0.00	0.12 \pm 0.00
	{ mg/kidney 1 g	0.19 \pm 0.01	0.17 \pm 0.00 ^e	0.18 \pm 0.00

^a Significantly different from the corresponding S 20 ($p < 0.05$).

^b Significantly different from the corresponding S 20 and C 20 ($p < 0.05$).

^c Significantly different from the corresponding C 40, C 20 and C 20 ($p < 0.05$).

^d Significantly different from the corresponding C 40 ($p < 0.05$).

^e Significantly different from the corresponding S 20 and C 20 ($p < 0.01$).

群との間に差は認められず、また骨中の灰分量および脱脂骨 1 g 当たりの Ca 量においても差は認められなかった。高たん白質食摂取による Ca 尿中排泄量増加は、腎臓における Ca の再吸収能の低下とされ¹⁹⁾、体内保留量の低下をきたすことが本実験によっても示されたが、大腿骨の Ca 量に影響を与えるまでにはなっていないと考えられる。

一方、腎臓についてみると、その重量は 40% 食群が 20% 食群に対して有意に重く、体重 100 g 当たりに換算しても同様であった。このような腎臓の肥大化は、飼料中たん白質含有量を 35% とした Whiting ら⁸⁾の実験でも尿中への Ca や硫酸根の排泄量増加とともに観察されている。腎臓の肥大化は高たん白質摂取によって生ずる尿素や硫酸根を排泄させるための適応¹¹⁾、Ca を体内に保留しようとする機能の上昇すなわち、Ca の再吸収能の低下を最小限に抑えようとするために腎臓がその機能を上昇させた結果とも考えることができる。しかし、この件に関しては実験的証明が必要である。

また、腎臓中の Ca 量の腎臓 1 g 当たりの Ca 量についてみると、40% 食群が 20% 食群に対して有意に低値を示した。

血清 Ca 濃度は C 20 が他の群より高値を示したが、その意味は不明である。

大腿骨中の P、Mg 量は骨中総量、骨 1 g 当たりとも 4 群間に差を認めなかった。カゼイン食群の P、Mg 体内保留率は加齢とともに低下しているが、大腿骨中の P、Mg 量に影響を与えるまでにはなっていないと考えられる。血清においては、大豆たん白質食群の P が高値を示したが、P、Mg いずれも正常範囲内^{20, 21)}にあると考えられた。さらに、腎臓中の P 量は総量で S 40 が、腎臓 1 g 当たりの P 量では 40% 食群が他に対して有意に低値であった。また、Mg は腎臓中の総量において差を認めず、腎臓 1 g 当たりでは Ca 同様に 20% 食群が 40% 食群に対して有意に高値を示した。

腎臓中の Ca、P、Mg 量が高たん白質食群で低下する現象は、尿中排泄量の多さに原因するのか、さらには成長に伴う生体全組織の代謝でのミネラルの必要性の高まりのためなのか、今後さらに詳細に検討する必要がある。

以上の結果からみると、今回の実験条件のもとでは高たん白質食による雌ラットの骨形成障害および形成された骨からの過剰のミネラルの動員は起こらなかったと判断できる。飼料中の Ca、P、Mg 量などが十分量であったこと、Ca/P 比が 1.4~1.6 内であったことなどが関係していると考えられる。

一方、米国科学アカデミー国家研究会議 (NAS-NRC) によるラットの栄養必要量²²⁾によれば、成熟期にあるラットのミルクカゼイン必要量は飼料中 5.3% である。それゆえ、本実験で比較の対照とした C 20 の飼料たん白質量 (20%) が飼育期間 25 週目 (30 週齢) のラットにとって高たん白質食であった可能性も考えられ、C 20、C 40 および S 20、S 40 間の骨の Ca 量に差が認められなかったのかもしれない。これらに関しては今後さらに実験しなければならない。

要 約

生後 4 週齢の Fischer 系雌ラットに 20% および 40% のカゼインまたは分離大豆たん白質を含む飼料を 25 週間与え、その間 1, 13, 25 週目それぞれにカルシウム (Ca)、リン (P)、マグネシウム (Mg) の出納実験を行った。また、25 週目実験終了時における血清、大腿骨、腎臓中の Ca、P、Mg 量に及ぼす飼料たん白質量の影響について調べた。

結果は以下のとおりであった。

- 1) 本実験で用いた飼料組成ではラットの体重増加に差は認められなかった。
- 2) Ca および P の吸収率は加齢とともに低下したが、飼料間の差は認められなかった。しかし、Ca および P の尿中排泄率は40%カゼイン含有飼料飼育群 (C 40) が最高値を示した。4 群とも加齢に伴い Ca および P の体内保留率が低下し続けた。
- 3) Mg 出納については、C 40が最高の尿中排泄率を示した。体内保留率については分離大豆たん白質食群が高値を示し、25週目にはC 40が負のMg出納を示した。
- 4) 大腿骨重量、骨中灰分量、脱脂骨 1 g 当たりの Ca 量および Ca/P 比については、4 群間に差を認めなかった。しかし、体重 100 g 当たりの重量は、C 40が40%分離大豆たん白質含有飼料飼育群 (S 40) に対し有意に低値を示した。
- 5) 腎臓重量は40%食群が20%食群に比べて、高値を示した。腎臓 1 g 当たりの Ca, Mg 量は40%食群が20%食群より低値を示した。

文 献

- 1) McCane, R. A., Widdowson, E. M. and Lehmann, H. : *Biochem. J.*, **36**, 686~691 (1942)
- 2) Anand, C. R. and Linkswiler, H. M. : *J. Nutr.*, **104**, 695~700 (1974)
- 3) Licata, A. A., Bou, E., Barter, F. C. and West, F. : *J. Gerontol.*, **36**, 14~19 (1981)
- 4) Johnson, N. E., Aleantara, E. N. and Linkswiler, H. M. : *J. Nutr.*, **100**, 1425~1430 (1970)
- 5) Schuette, S. A., Zemel, M. B. and Linkswiler, H. M. : *J. Nutr.*, **110**, 305~315 (1980)
- 6) Spencer, H., Kramer, L. DeBartolo, M., Norris, C. and Osis, D. : *Am. J. Clin. Nutr.*, **37**, 924~929 (1983)
- 7) Bell, R. R., Engelmann, D. H., Sie, T.-L. and Draper, H. H. : *J. Nutr.*, **105**, 475~483 (1975)
- 8) Whiting, S. J. and Draper, H. H. : *J. Nutr.*, **111**, 178~183 (1981)
- 9) Whiting, S. J. and Draper, H. H. : *J. Nutr.*, **111**, 1721~1726 (1981)
- 10) Report of the Council of the American Institute of Nutrition, Ad Hoc Committee on Standards for Nutritional Studies : *J. Nutr.*, **107**, 1340~1348 (1977)
- 11) Calvo, M. S., Bell, R. R. and Forbes, R. M. : *J. Nutr.*, **112**, 1401~1413 (1982)
- 12) 武内次夫, 鈴木正己 : 原子吸光分光分析, 改稿第一版 (1978) 南江堂
- 13) Gomori, G. : *J. Lab. Clin. Med.*, **27**, 955~961 (1942)
- 14) 吉川英夫編 : 統計解析手順集 (1966) 日科技連
- 15) 北野隆雄, 阿左美章治, 江指隆年 : 第37回日本栄養・食糧学会講演要旨集, p.45 (1983)
- 16) 新山喜昭, 坂本貞一, 上西一弘 : 大豆たん白質栄養研究会会誌, **6**, 45~50 (1985)
- 17) 吉田 勉, 栗山久江 : 栄養と食糧, **28**, 25~32 (1975)
- 18) 鈴木和春, 五島孜郎 : 栄養学雑誌, **34**, 57~62 (1976)
- 19) Hegsted, M., Schuette, S. A., Zemel, M. B. and Linkswiler, H. M. : *J. Nutr.*, **111**, 553~562 (1981)
- 20) 長瀬スミ, 田中寿子 : 実験動物の臨床生化学データ, pp.86~87 (1976) ソフトサイエンス社
- 21) 松岡 理編 : 実験動物からヒトへの外挿, pp.273~274 (1980) ソフトサイエンス社
- 22) National Research Council, Subcommittee on Laboratory Animal Nutrition : Nutrient Requirements of Laboratory Animals, 3rd rev. ed., pp.7~37 (1978) National Academy of Science, U. S. A.

(受付: 昭和63年8月10日)