

# カカオを利用したミネラルの吸収促進

鈴木 和春 (東京農業大学教授)

高齢化社会を迎える中でもう一度、健康の維持増進を考えてみる必要があると思い、日本人の栄養素摂取状況、特にミネラルについてみる。

平成6年度の国民栄養調査によると、いまだ所要量に達していない栄養素の中でミネラルのカルシウム（以下Ca）が唯一であり、より多くの摂取を心がける必要がある。また鉄（以下Fe）の摂取は所要量を満たしているものの、女性には鉄欠乏症および潜在性貧血者が多いことは世界的に見られているところである。その原因として食品中の鉄の化学形態による吸収率の違いや蛋白質等の他の成分の影響が考えられる。

図1 カルシウム摂取量の年次推移

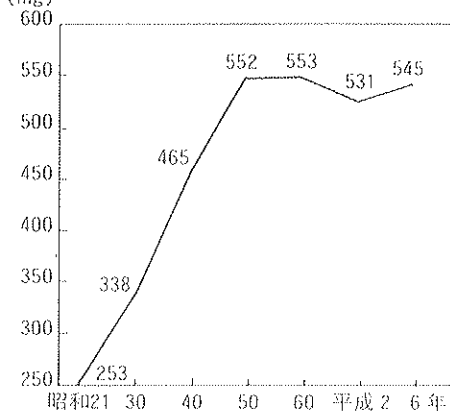


図2 鉄摂取量の年次推移

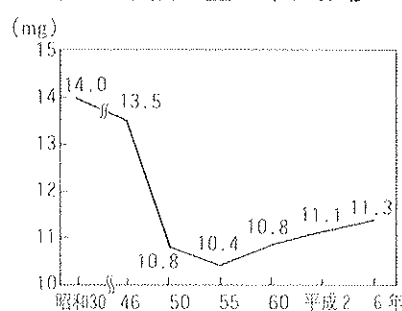


図3 血色素量の分布（性別）

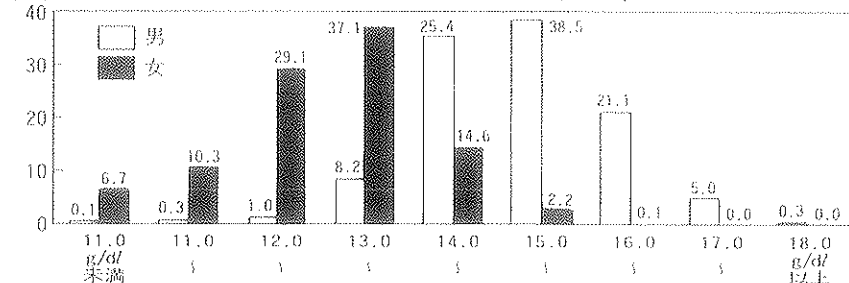
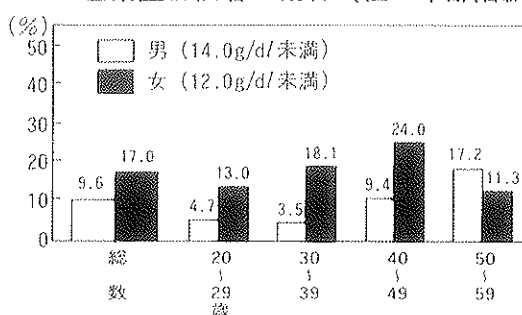
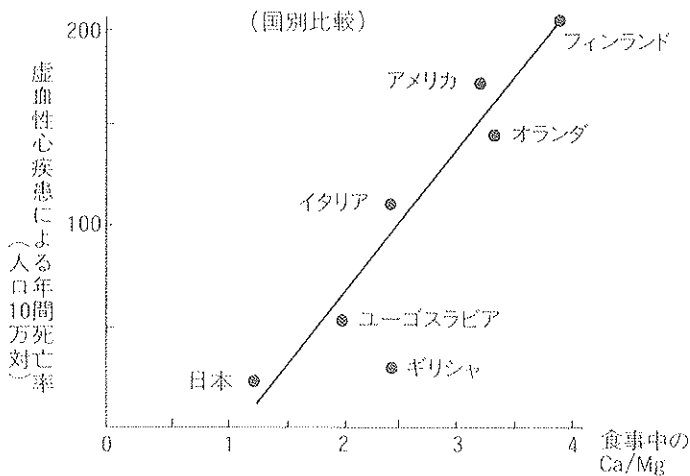


図4 血色素量低値者の割合（性・年齢階級別）



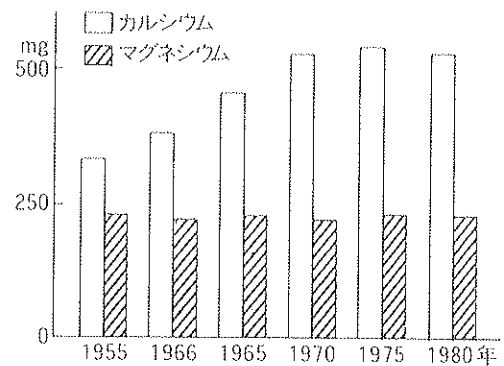
さらに、カルシウムと関係があるミネラルにはリンやマグネシウムがあげられる。最近関心が深くなっているマグネシウムについてみると、現在の我が国の食生活から考えてみても特殊な疾患の場合以外では滅多にマグネシウムの欠乏は起こらないと思われる。また、日本人成人のマグネシウム摂取量は160~300mg/日であるという報告がなされている。第4次改定の日本人の栄養所要量のなかにマグネシウムの目標摂取量が300mgと策定されることとなった背景には、フィンランドのカルパーネンが1978年に食事中カルシウムとマグネシウムの比率が虚血性心疾患の死亡率との間に正の相関関係があることを報告したことにより、この両者の比率が虚血性心疾患との間に重要な関係が見出され、マグネシウムが多い食事を取ることが望ましいことであるといわれるようになったことからである。

図5 虚血性心疾患死と食事中カルシウム・マグネシウム比の関係



＜資料＞H.Karpmanら: Advances in Cardiology 25, 9 (1978)

図6 我が国のマグネシウム、カルシウム摂取量年次推移



(糸川嘉則: 生体微量金属の話、農業図書より引用)

ところで食品の中で、種実類は多くのミネラルを含有することが知られている。中でもカカオ豆(胚乳部)はCa(91~163mg/100g)、マグネシウム(以下Mg)(245~441mg/100g)、Fe(2.6~3.5mg/100g)、亜鉛(3.2~6.1mg/100g)等のミネラルを多く含有し、有効なミネラル給源として期待できる。しかし一般的に種実を多量に摂取するとミネラルの吸収を阻害すると言われている食物繊維がアーモンド11.8%、ピーナッツ7.2%、ごま13.2%<sup>4)</sup>、カカオ豆(胚乳部)20.9%<sup>5)</sup>と多く含有している。

表1 蛋白質、脂質およびミネラル濃度

|       | 蛋白質      | 脂質   | Ca     | Mg   | P    | Na    | K    | Fe                | Cu | Zn |
|-------|----------|------|--------|------|------|-------|------|-------------------|----|----|
|       | (g/100g) |      | (mg/g) |      |      |       |      | (ug/g)            |    |    |
| カカオ   | 12.2     | 57.1 | 0.79   | 2.81 | 3.64 | 0.02  | 0.19 | 103 <sup>4)</sup> | 23 | 43 |
| アーモンド | 24.9     | 55.6 | 3.39   | 2.94 | 5.10 | 0.01  | 0.18 | 65                | 12 | 37 |
| ピーナッツ | 32.4     | 45.5 | 0.52   | 2.17 | 4.21 | 0.002 | 0.17 | 38                | 9  | 43 |
| コンブ   | 7.1      | 1.8  | 4.76   | 8.04 | 2.37 | 2.36  | 1.60 | 198               | 6  | 13 |

一方、食品中の各種栄養素によりミネラルの利用が影響を受けること、さらに調理加工の仕方でも損失を受けることが知られていることも事実である。

そこで、本発表ではミネラルを多く含有するカカオ豆に着目し、まず最初に「ミネラル利用に及ぼす各種種実類投与の影響」について、種実類投与によるカルシウム、リン、マグネシウム、鉄、銅、亜鉛の利用を出納試験と臓器中ミネラル濃度の両面より検討を試み、さらにミネラルの含有量

の豊富な海藻である昆布を用いて比較検討した。

実験方法として、被験動物として、70g前後のWistar系雄ラットに、種実類としてカカオ、アーモンド、ピーナッツの各乾燥粉末と昆布乾燥粉末を用い、表に示す飼料組成にて飼料中各ミネラルの

表2 飼料組成 (%)

|          | (A)  | (B)  | (C)  | (D)  |
|----------|------|------|------|------|
| 乳カゼイン    | 18   | 15   | 14   | 20   |
| コーン油     |      |      | 1    | 10   |
| 無機混合     | 3.6  | 3.6  | 3.6  | 3.8  |
| ビタミン混合   | 1    | 1    | 1    | 1    |
| A) カカオ   | 20   |      |      |      |
| B) アーモンド |      | 20   |      |      |
| C) ピーナッツ |      |      | 20   |      |
| D) コンプ   |      |      |      | 10   |
| MgSO4    |      |      | 0.1  |      |
| コーンスターチ  | 57.4 | 60.4 | 60.3 | 55.4 |

濃度が等しくなるように飼料を作成した。また、飼育期間は4週間とし、飼育終了前5日間にわたり糞尿を採取して出納試験を行った。さらに、肝臓、心臓、腎臓、大腿骨の臓器を摘出し、ミネラルの分布状態からミネラルの生体内利用を検討した。

## 結 果

1) 成長曲線および飼料摂取量は投与飼料の間には有意な差は見られなかった(表3)。ミネラル出納はカカオ群が昆布群に比し、カルシウム、鉄、銅の吸収率及び体内保留率は高値か高値傾向を示し、リンは吸収率において同様な傾向を示した。また、カカオ群はアーモンド群との比較でリンと銅の吸収率が高値を示し、さらに、銅では体内保留率においても高値を示した。しかし、カカオ群はピーナッツ群との比較ではカルシウムの吸収と体内保留率が低値を示した。

臓器中ミネラル濃度において、肝臓、腎臓及び脾臓中铁濃度はカカオ群が他の3群に比較して高値か高値傾向を示し、心臓中のカルシウム濃度においても同様な結果であった。しかし、血清中カルシウム、リン、マグネシウム濃度には投与飼料の影響は見られなかった。

表3 体重増加量と体内窒素保留量

| 群名    | 窒素保留量 (mg/day) | 体重増加量 (g/day) |
|-------|----------------|---------------|
| カカオ   | 216 ± 5        | 5.39 ± 0.18   |
| アーモンド | 238 ± 18       | 5.62 ± 0.13   |
| ピーナッツ | 220 ± 13       | 5.80 ± 0.11   |
| コンブ   | 215 ± 9        | 5.71 ± 0.13   |

表4 体内鉄保留量と臓器中铁濃度

| 群名    | 体内保留量 (mg/5days) | 腎 臓 (ug/g乾重) | 脾 臓 (ug/g乾重) | 肝 臓 (ug/g乾重) | 大腿骨 (ug/g乾重) |
|-------|------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| カカオ   | 0.91 ± 0.16      | 308 ± 20     | 1246 ± 91    | 464 ± 32     | 100 ± 7      |
| アーモンド | 0.77 ± 0.42      | 272 ± 24     | 977 ± 35a    | 368 ± 18a    | 86 ± 4       |
| ピーナッツ | 1.03 ± 0.23      | 271 ± 24     | 954 ± 61a    | 361 ± 34a    | 84 ± 5       |
| コンブ   | 0.94 ± 0.20      | 289 ± 28     | 945 ± 38a    | 260 ± 30abc  | 145 ± 15abc  |

表5 体内銅保留量と臓器中銅濃度

| 群名    | 体内保留量 (mg/5days) | 心 臓 (ug/g乾重) | 腎 臓 (ug/g乾重) | 脾 臓 (ug/g乾重) | 肝 臓 (ug/g乾重) |
|-------|------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| カカオ   | 1.30 ± 0.04      | 59 ± 5.5     | 49 ± 8.0     | 33 ± 4.0     | 66 ± 8.1     |
| アーモンド | 0.55 ± 0.05a     | 55 ± 3.4     | 39 ± 7.2     | 26 ± 3.3     | 61 ± 10.5    |
| ピーナッツ | 1.15 ± 0.09b     | 51 ± 3.5     | 38 ± 6.0     | 27 ± 4.3     | 49 ± 4.3     |
| コンブ   | 0.81 ± 0.05abc   | 54 ± 6.0     | 36 ± 4.3     | 30 ± 4.2     | 46 ± 9.0     |

表6 体内亜鉛保留量と臓器中亜鉛濃度

| 群名    | 体内保留量<br>(mg/5days) | 心臓<br>(ug/g乾重) | 腎臓<br>(ug/g乾重) | 肝臓<br>(ug/g乾重) | 大腿骨<br>(ug/g乾重) |
|-------|---------------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|
| カカオ   | 0.33±0.02           | 98±3.3         | 107±1.4        | 97±3.1         | 302±9.3         |
| アーモンド | 0.53±0.04a          | 102±4.6        | 102±2.3        | 108±1.7        | 213±6.4a        |
| ピーナッツ | 0.50±0.08           | 90±6.2         | 99±2.3         | 105±2.9        | 236±5.1ab       |
| コンブ   | 0.53±0.03a          | 108±5.5        | 92±3.3         | 105±3.0        | 221±4.4ac       |

ラット6匹の平均値±平均誤差。%：摂取量に対するパーセント。

a：カカオとの比較 (p<0.05)。 b：アーモンドとの比較 (p<0.05)。 c：ピーナッツとの比較 (p<0.05)。

表7 カルシウム出納

| 群名    | 摂取量<br>(mg/5days) | 吸収<br>(mg/5days)         | 体内保留<br>(mg/5days)       |
|-------|-------------------|--------------------------|--------------------------|
| カカオ   | 481.1±9.8<br>(%)  | 272.3±6.1<br>56.6±1.2    | 271.7±6.1<br>56.5±1.2    |
| アーモンド | 489.4±19.5<br>(%) | 286.0±12.0<br>58.4±1.1   | 285.4±12.0<br>58.3±1.1   |
| ピーナッツ | 426.8±13.5<br>(%) | 303.1±15.2<br>70.8±1.6ab | 302.8±15.2<br>70.7±1.6ab |
| コンブ   | 549.3±14.0<br>(%) | 265.4±5.8<br>48.3±0.9abc | 264.5±5.8<br>48.2±0.8abc |

ラット6匹の平均値±平均誤差。%：摂取量に対するパーセント。

a：カカオとの比較 (p<0.05)。 b：アーモンドとの比較 (p<0.05)。

c：ピーナッツとの比較 (p<0.05)。

表8 臓器中のカルシウム濃度

| 群名    | 血清<br>(mEq/L) | 心臓<br>(mg/g乾重) | 腎臓<br>(mg/g乾重) | 肝臓<br>(mg/g乾重) | 大腿骨<br>(mg/g乾重) |
|-------|---------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|
| カカオ   | 6.00±0.37     | 0.51±0.06      | 0.44±0.03      | 0.22±0.01      | 196±8.2         |
| アーモンド | 5.72±0.13     | 0.32±0.02a     | 0.47±0.01      | 0.19±0.01      | 228±3.6a        |
| ピーナッツ | 5.71±0.06     | 0.43±0.07      | 0.43±0.02      | 0.23±0.02      | 179±2.5b        |
| コンブ   | 5.72±0.10     | 0.35±0.01a     | 0.48±0.04      | 0.19±0.01      | 237±2.1ac       |

ラット6匹の平均値±平均誤差。%：摂取量に対するパーセント。

a：カカオとの比較 (p<0.05)。 b：アーモンドとの比較 (p<0.05)。 c：ピーナッツとの比較 (p<0.05)。

表9 リン出納

| 群名    | 摂取量<br>(mg/5days) | 吸収<br>(mg/5days)         | 体内保留<br>(mg/5days)      |
|-------|-------------------|--------------------------|-------------------------|
| カカオ   | 431.1±8.8<br>(%)  | 387.6±7.4<br>89.9±0.4    | 179.5±4.2<br>41.7±1.0   |
| アーモンド | 423.9±16.9<br>(%) | 329.0±12.7<br>77.6±0.9a  | 223.2±10.3<br>52.6±0.9a |
| ピーナッツ | 405.8±12.8<br>(%) | 331.8±13.7<br>81.6±1.1ab | 208.8±12.1<br>51.2±1.6a |
| コンブ   | 413.1±10.5<br>(%) | 342.1±8.9<br>82.8±0.6ab  | 207.9±4.0<br>50.5±2.0a  |

ラット6匹の平均値±平均誤差。%：摂取量に対するパーセント。

a：カカオとの比較 (p<0.05)。 b：アーモンドとの比較 (p<0.05)。

c：ピーナッツとの比較 (p<0.05)。

表10 臓器中のリン濃度

| 群名    | 血清<br>(mg/100ml) | 心臓<br>(mg/g乾重) | 腎臓<br>(mg/g乾重) | 肝臓<br>(mg/g乾重) | 大腿骨<br>(mg/g乾重) |
|-------|------------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|
| カカオ   | 3.98±0.08        | 9.82±0.15      | 12.2±0.23      | 8.15±0.47      | 83±0.7          |
| アーモンド | 3.11±0.26        | 9.98±0.09      | 12.0±0.36      | 8.73±0.58      | 100±0.6a        |
| ピーナッツ | 2.88±0.14        | 9.66±0.14      | 11.8±0.34      | 8.38±0.36      | 87±2.8b         |
| コンブ   | 2.75±0.10        | 9.68±0.07      | 12.1±0.52      | 7.55±0.82      | 101±0.9ac       |

ラット6匹の平均値±平均誤差。%：摂取量に対するパーセント。

a：カカオとの比較 (p<0.05)。 b：アーモンドとの比較 (p<0.05)。 c：ピーナッツとの比較 (p<0.05)。

表11 マグネシウム出納

| 群名    | 摂取量<br>(mg/5days) | 吸収<br>(mg/5days)     | 体内保留<br>(mg/5days)     |
|-------|-------------------|----------------------|------------------------|
| カカオ   | 56.0±1.1<br>(%)   | 36.3±1.2<br>64.8±1.7 | 23.7±1.4<br>42.4±3.1   |
| アーモンド | 51.0±2.0<br>(%)   | 34.4±1.6<br>67.5±1.3 | 29.3±1.9<br>57.2±2.3a  |
| ピーナッツ | 43.2±1.3<br>(%)   | 29.4±1.4<br>67.9±1.6 | 24.7±1.7<br>57.1±3.1ab |
| コンブ   | 74.3±1.1<br>(%)   | 41.1±1.5<br>55.4±1.6 | 32.7±1.9<br>44.3±3.0b  |

ラット6匹の平均値±平均誤差。%：摂取量に対するパーセント。

a：カカオとの比較 (p<0.05)。 b：アーモンドとの比較 (p<0.05)。

c：ピーナッツとの比較 (p<0.05)。

表12 臓器中のマグネシウム濃度

| 群名    | 血清<br>(mEq/L) | 心臓<br>(mg/g乾重) | 腎臓<br>(mg/g乾重) | 肝臓<br>(mg/g乾重) | 大腿骨<br>(mg/g乾重) |
|-------|---------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|
| カカオ   | 1.83±0.04     | 0.95±0.01      | 0.91±0.01      | 0.75±0.02      | 4.60±0.12       |
| アーモンド | 1.67±0.06     | 0.82±0.01a     | 0.87±0.01      | 0.73±0.01      | 3.58±0.14a      |
| ピーナッツ | 1.66±0.07     | 0.91±0.02b     | 0.89±0.01      | 0.72±0.01      | 3.86±0.08a      |
| コンブ   | 1.75±0.03     | 0.79±0.01ac    | 0.82±0.02ac    | 0.69±0.02      | 4.08±0.07a      |

ラット6匹の平均値±平均誤差。%：摂取量に対するパーセント。

a：カカオとの比較 (p<0.05)。 b：アーモンドとの比較 (p<0.05)。 c：ピーナッツとの比較 (p<0.05)。

以上の結果を要約するとカカオ中のミネラル利用は他の種実類と比較しても比較的良いことが判明した。

次に、「ミネラル利用に及ぼすミネラル強化カカオ投与の影響」について報告する。

カカオ豆から皮を取り除いた胚乳部分に焙焼などの加工を行ったチョコレートおよびココアの原料となるカカオと、Ca剤(炭酸カルシウム)、Fe剤(クエン酸鉄)をその加工途中に加え、強化したカカオを用いてCa、Mg及びFeの利用に対する効果を検討した。

## 実験方法

### 1. カカオ、Ca強化カカオ、Fe強化カカオの調製

本実験飼料として用いたカカオ(Cacao)は、カカオ豆から皮(約20%)を分離除去した胚乳部分(カカオニブという)をジャケット付きの圧力釜(梶原工業製、レオニーダーKQVP-2型)に

入れ、殺菌等を行うために密閉状態で内部に加圧蒸気を投入し、加圧（1気圧）、加温（130℃）で20分間攪拌した。その後乾燥（100℃30分間）、焙焼（120℃1時間）を行い、摩砕してペースト状にし、冷却固化させ、砕いて粉末化した。Ca強化カカオ（CCa：Cacao with enriched calcium）は、上記カカオの調整の中で圧力釜にカカオニブと共に炭酸カルシウムを入れて、その後同一条件で調製した。Fe強化カカオ（CFe：Cacao with enriched iron）は、炭酸カルシウムの代わりにクエン酸鉄を圧力釜に入れ、調製した。

炭酸カルシウムおよびクエン酸鉄とカカオニブの混合比率は、CCaのCa含量2.3%、CFeのFe含量0.03%になるようにした。

## 2. 動物実験

被験動物として初体重70g前後のWistar系雄ラットを用い、飼料中のCaレベルを0.5%、Feレベルを50ppm、Mgレベルを0.05%になるように調製した飼料組成をTable 1に示した。すなわち、Ca強化カカオ投与（CCa）群、Fe強化カカオ投与（CFe）群、未強化カカオ投与（Cc）群と、今回使用したカカオの食物繊維量が20.5%であり、飼料中の総食物繊維量として4.1%に相当したため、セルロースを同量添加調整した対照（No）群を設けた。

体重と飼料摂取量は、毎日測定した。ラットは、1群24匹として1週間ごとに同群間無作為に6匹ずつ抽出し、代謝ケージにて2日間予備出納試験を行った後、連続3日間毎日糞と尿を採取し、Ca、Mg及びFeの出納実験を行った。

Table 1 Composition of experimental diets (%)

|                                 | No   | Cc   | CCa  | CFe  |
|---------------------------------|------|------|------|------|
| Casein                          | 20   | 18   | 18   | 18   |
| Cocoa butter                    | 10   | —    | —    | —    |
| Mineral mix. <sup>*1</sup>      | 3.6  | 3.6  | —    | —    |
| Mineral mix. <sup>*2</sup>      | —    | —    | 2.4  | —    |
| Mineral mix. <sup>*3</sup>      | —    | —    | —    | 3.6  |
| Vitamin mix. <sup>*4</sup>      | 1    | 1    | 1    | 1    |
| MgSO <sub>4</sub> <sup>*5</sup> | 0.5  | —    | —    | —    |
| Corn starch                     | 60.9 | 57.4 | 57.4 | 57.4 |
| Cacao <sup>*6</sup>             | —    | 20   | —    | —    |
| Cacao <sup>*7</sup>             | —    | —    | 21.2 | —    |
| Cacao <sup>*8</sup>             | —    | —    | —    | 20   |
| Cellulose                       | 4.1  | —    | —    | —    |

No, control; Cc, cacao mix.; CCa, cacao mix. in cacao with enriched calcium; CFe, cacao mix. in cacao with enriched iron. <sup>\*1</sup>According to Harper, A.E.: J.Nutr., 68, 408(1959), but MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O was excepted. <sup>\*2</sup>According to Harper, A.E.: J.Nutr., 68, 408(1959) but MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O and CaCO<sub>3</sub> were excepted. <sup>\*3</sup>According to Harper, A.E.: J.Nutr., 68, 408(1959), but MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O and Fe(C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>O<sub>7</sub>)·6H<sub>2</sub>O were excepted. <sup>\*4</sup>Takeda Panvitan powder. <sup>\*5</sup>— <sup>\*6</sup>Cacao. <sup>\*7</sup>Cacao with enriched calcium. <sup>\*8</sup>Cacao with enriched iron.

## 結 果

### 1. 体重変化、飼料摂取量及び飼料効率

体重増加量、飼料摂取量及び飼料効率の結果をTable 2、3及び4に示した。

体重増加量は全試験期間を通してCc群、CCa群、CFe群がNo群に比べ、低値を示したが、この3群の間には1週目にCCa群、CFe群がCc群より有意に低値を示した以外は大きな差は見られな

Table 2 Body weight gain of rats fed the experimental diets.

| Group <sup>*1</sup> | Body weight gain (g)     |                          |                           |                          |
|---------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|
|                     | 1 st week                | 2 nd week                | 3 rd week                 | 4 th week                |
| No                  | 44.5 ± 1.1 <sup>a*</sup> | 82.2 ± 2.2 <sup>a</sup>  | 118.6 ± 2.7 <sup>a</sup>  | 158.7 ± 4.1 <sup>b</sup> |
| Cc                  | 39.1 ± 1.3 <sup>b</sup>  | 69.2 ± 3.0 <sup>b</sup>  | 110.8 ± 5.5 <sup>ab</sup> | 136.4 ± 4.9 <sup>b</sup> |
| CCa                 | 35.0 ± 1.0 <sup>c</sup>  | 78.5 ± 3.6 <sup>ab</sup> | 116.6 ± 3.5 <sup>ab</sup> | 141.6 ± 6.6 <sup>b</sup> |
| CFe                 | 33.4 ± 1.5 <sup>c</sup>  | 70.8 ± 3.6 <sup>b</sup>  | 105.3 ± 3.7 <sup>b</sup>  | 142.8 ± 3.4 <sup>b</sup> |

\*1 No: Control. Cc: Cacao.

Eca: Cacao with enriched calcium.

CFe: Cacao with enriched iron.

\*2 Mean ± standard error of 6 rats. Values on each column not followed by the same alphabetical letter are significantly different (p &lt; 0.05).

Table 3 Food intake of rats fed the experimental diets.

| Group <sup>*1</sup> | Food intake (g)          |             |           |           |
|---------------------|--------------------------|-------------|-----------|-----------|
|                     | 1 st week                | 2 nd week   | 3 rd week | 4 th week |
| No                  | 86.7 ± 1.5 <sup>*2</sup> | 194.3 ± 3.1 | 305 ± 4   | 442 ± 6   |
| Cc                  | 81.2 ± 1.8               | 186.7 ± 3.6 | 327 ± 8   | 435 ± 9   |
| CCa                 | 84.1 ± 1.3               | 187.4 ± 4.1 | 303 ± 4   | 411 ± 7   |
| CFe                 | 79.8 ± 1.6               | 187.9 ± 3.4 | 290 ± 6   | 408 ± 8   |

\*1 \*2 See the footnote of table 2.

Table 4 Food efficiency<sup>\*3</sup> of rats fed experimental diets.

| Group <sup>*1</sup> | Food efficiency (%)     |                         |                          |                          |
|---------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|
|                     | 1 st week               | 2 nd week               | 3 rd week                | 4 th week                |
| No                  | 51.3 ± 0.5 <sup>a</sup> | 42.3 ± 0.8 <sup>a</sup> | 38.8 ± 0.6 <sup>a</sup>  | 35.9 ± 0.7 <sup>a</sup>  |
| Cc                  | 48.2 ± 0.9 <sup>b</sup> | 37.0 ± 0.1 <sup>b</sup> | 33.8 ± 0.9 <sup>c</sup>  | 31.3 ± 0.6 <sup>b</sup>  |
| CCa                 | 41.5 ± 0.7 <sup>c</sup> | 41.8 ± 1.3 <sup>a</sup> | 38.5 ± 0.9 <sup>ab</sup> | 34.4 ± 0.2 <sup>ab</sup> |
| CFe                 | 41.7 ± 1.3 <sup>c</sup> | 37.6 ± 1.3 <sup>b</sup> | 36.3 ± 0.6 <sup>b</sup>  | 35.0 ± 0.6 <sup>a</sup>  |

\*1 \*2 See the footnote of table 2.

\*3 Food efficiency = Body weight gain / Food intake × 100.

った。飼料摂取量は、3週目でCc群がNo群に比べ有意に高値を示したのみであった。またCCa群およびCFe群では、3および4週目でどちらもCc群にくらべ低値を示した。

## 2. カカオ配合飼料によるCa、Mg及びFe出納

カルシウム出納の結果をTable 5に示した。No群の吸収量並びに体内保有量は2週目をピークに徐々に減少していった。Cc群も同様の傾向にあった。CFe群では2、3週目でNo群に比べて吸収量及び体内保有量が低いが、1週目と4週目では有意な差はなかった。また、Cc群に比べると1、2週目では吸収量及び体内保有量ともに有意に低かったが、3週目、4週目では差は認められなかった。CCa群は1週目、2週目ではNo群と1週目体内保有量のみ有意差があった他は、No群やCc群と比べて差はなかったが、3週目、4週目ではNo群やCc群に対し、吸収量、体内保有量ともに有意に高値を示した。

マグネシウムの出納については、Cc群とCCa群では一定の傾向が認められなかったが、No群とCFe群で体内保有量が経時的に増加していった。

Table 5 Effect of cacao, cacao with enriched calcium, cacao with enriched iron on retention of calcium

| Administration weeks | Group <sup>*1</sup> | Intake (mg/3 days)     | Absorption (mg/3 days) | Absorption (%)           | Urinary excretion (mg/3 days) | Retention <sup>*3</sup> (mg/3 days) |
|----------------------|---------------------|------------------------|------------------------|--------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|
| Ca 1                 | No                  | 214 ± 4 <sup>b**</sup> | 146 ± 3 <sup>b</sup>   | 68.4 ± 0.8 <sup>a</sup>  | 0.75 ± 0.07 <sup>b</sup>      | 146 ± 3 <sup>b</sup>                |
|                      | Cc                  | 253 ± 7 <sup>a</sup>   | 163 ± 7 <sup>a</sup>   | 64.4 ± 1.4 <sup>a</sup>  | 1.25 ± 0.12 <sup>a</sup>      | 162 ± 7 <sup>a</sup>                |
|                      | CCa                 | 269 ± 5 <sup>a</sup>   | 178 ± 6 <sup>a</sup>   | 66.1 ± 2.0 <sup>b</sup>  | 0.97 ± 0.06 <sup>b</sup>      | 177 ± 6 <sup>a</sup>                |
|                      | CFe                 | 217 ± 5 <sup>b</sup>   | 142 ± 5 <sup>b</sup>   | 65.4 ± 0.9 <sup>a</sup>  | 0.95 ± 0.07 <sup>b</sup>      | 141 ± 5 <sup>b</sup>                |
| Ca 2                 | No                  | 279 ± 5 <sup>a</sup>   | 197 ± 3 <sup>b</sup>   | 70.5 ± 0.7 <sup>a</sup>  | 1.09 ± 0.09 <sup>b</sup>      | 196 ± 3 <sup>a</sup>                |
|                      | Cc                  | 298 ± 7 <sup>a</sup>   | 176 ± 7 <sup>a</sup>   | 58.8 ± 1.3 <sup>b</sup>  | 1.83 ± 0.12 <sup>a</sup>      | 174 ± 7 <sup>b</sup>                |
|                      | CCa                 | 292 ± 8 <sup>a</sup>   | 179 ± 9 <sup>a</sup>   | 61.2 ± 1.7 <sup>b</sup>  | 1.27 ± 0.13 <sup>b</sup>      | 178 ± 8 <sup>ab</sup>               |
|                      | CFe                 | 252 ± 7 <sup>b</sup>   | 149 ± 8 <sup>b</sup>   | 58.9 ± 1.8 <sup>b</sup>  | 0.94 ± 0.10 <sup>b</sup>      | 148 ± 8 <sup>c</sup>                |
| Ca 3                 | No                  | 263 ± 7 <sup>b</sup>   | 176 ± 5 <sup>b</sup>   | 67.0 ± 0.7 <sup>b</sup>  | 0.81 ± 0.03 <sup>c</sup>      | 175 ± 5 <sup>b</sup>                |
|                      | Cc                  | 273 ± 7 <sup>b</sup>   | 162 ± 6 <sup>bc</sup>  | 59.2 ± 1.1 <sup>c</sup>  | 1.62 ± 0.17 <sup>a</sup>      | 160 ± 6 <sup>bc</sup>               |
|                      | CCa                 | 318 ± 14 <sup>a</sup>  | 238 ± 9 <sup>a</sup>   | 75.0 ± 2.8 <sup>a</sup>  | 1.31 ± 0.13 <sup>a</sup>      | 236 ± 9 <sup>a</sup>                |
|                      | CFe                 | 246 ± 5 <sup>b</sup>   | 154 ± 4 <sup>c</sup>   | 62.5 ± 0.8 <sup>bc</sup> | 0.85 ± 0.07 <sup>bc</sup>     | 153 ± 4 <sup>c</sup>                |
| Ca 4                 | No                  | 266 ± 6 <sup>bc</sup>  | 155 ± 3 <sup>b</sup>   | 58.6 ± 1.0 <sup>b</sup>  | 0.98 ± 0.09 <sup>a</sup>      | 155 ± 3 <sup>b</sup>                |
|                      | Cc                  | 266 ± 7 <sup>c</sup>   | 145 ± 4 <sup>b</sup>   | 54.5 ± 1.4 <sup>b</sup>  | 1.19 ± 0.10 <sup>b</sup>      | 143 ± 4 <sup>b</sup>                |
|                      | CCa                 | 322 ± 9 <sup>a</sup>   | 245 ± 20 <sup>a</sup>  | 76.1 ± 5.3 <sup>a</sup>  | 1.01 ± 0.12 <sup>a</sup>      | 244 ± 20 <sup>a</sup>               |
|                      | CFe                 | 286 ± 3 <sup>b</sup>   | 177 ± 4 <sup>b</sup>   | 61.7 ± 1.4 <sup>b</sup>  | 1.24 ± 0.16 <sup>a</sup>      | 175 ± 4 <sup>b</sup>                |

\*1 \*\* See the footnote of table 2. \*3 Retention = {(Intake - Faecal output - Urinary output) / Intake}

Table 6 Effect of cacao, cacao with enriched calcium, cacao with enriched iron on retention of magnesium

| Administration weeks | Group <sup>*1</sup> | Intake (mg/3 days)        | Absorption (mg/3 days)  | Absorption (%)           | Urinary excretion (mg/3 days) | Retention <sup>*3</sup> (mg/3 days) |
|----------------------|---------------------|---------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|
| Mg 1                 | No                  | 19.4 ± 0.4 <sup>c**</sup> | 15.6 ± 0.4 <sup>b</sup> | 80.5 ± 0.7 <sup>a</sup>  | 8.02 ± 0.42 <sup>a</sup>      | 7.60 ± 0.50 <sup>b</sup>            |
|                      | Cc                  | 25.4 ± 0.7 <sup>a</sup>   | 18.4 ± 0.7 <sup>a</sup> | 72.2 ± 1.3 <sup>b</sup>  | 8.41 ± 0.48 <sup>a</sup>      | 9.97 ± 0.67 <sup>b</sup>            |
|                      | CCa                 | 23.5 ± 0.4 <sup>b</sup>   | 14.7 ± 0.4 <sup>b</sup> | 62.7 ± 1.5 <sup>c</sup>  | 4.51 ± 0.45 <sup>b</sup>      | 10.23 ± 0.70 <sup>a</sup>           |
|                      | CFe                 | 22.8 ± 0.5 <sup>b</sup>   | 16.0 ± 0.4 <sup>b</sup> | 70.3 ± 1.1 <sup>b</sup>  | 7.83 ± 0.73 <sup>a</sup>      | 8.18 ± 0.43 <sup>b</sup>            |
| Mg 2                 | No                  | 24.9 ± 0.4 <sup>b</sup>   | 20.1 ± 0.5 <sup>a</sup> | 80.5 ± 0.9 <sup>a</sup>  | 10.92 ± 0.56 <sup>a</sup>     | 9.14 ± 0.43 <sup>ab</sup>           |
|                      | Cc                  | 29.3 ± 0.7 <sup>a</sup>   | 19.5 ± 0.5 <sup>a</sup> | 66.6 ± 1.4 <sup>b</sup>  | 10.88 ± 0.36 <sup>a</sup>     | 8.67 ± 0.49 <sup>ab</sup>           |
|                      | CCa                 | 25.6 ± 0.7 <sup>b</sup>   | 14.4 ± 0.8 <sup>c</sup> | 56.1 ± 2.4 <sup>c</sup>  | 7.16 ± 0.60 <sup>b</sup>      | 7.21 ± 1.00 <sup>b</sup>            |
|                      | CFe                 | 26.2 ± 0.7 <sup>b</sup>   | 17.1 ± 0.9 <sup>b</sup> | 65.0 ± 2.2 <sup>b</sup>  | 7.48 ± 0.97 <sup>b</sup>      | 9.59 ± 0.85 <sup>a</sup>            |
| Mg 3                 | No                  | 25.0 ± 0.7 <sup>c</sup>   | 19.1 ± 0.4 <sup>a</sup> | 76.3 ± 1.5 <sup>a</sup>  | 10.71 ± 0.54 <sup>a</sup>     | 8.36 ± 0.68 <sup>b</sup>            |
|                      | Cc                  | 28.6 ± 0.8 <sup>a</sup>   | 19.1 ± 0.6 <sup>a</sup> | 66.7 ± 1.4 <sup>b</sup>  | 10.79 ± 1.15 <sup>a</sup>     | 8.32 ± 1.36 <sup>b</sup>            |
|                      | CCa                 | 27.9 ± 1.2 <sup>ab</sup>  | 19.1 ± 1.3 <sup>a</sup> | 68.3 ± 2.2 <sup>b</sup>  | 5.85 ± 0.66 <sup>b</sup>      | 13.26 ± 0.84 <sup>a</sup>           |
|                      | CFe                 | 25.8 ± 0.6 <sup>bc</sup>  | 18.2 ± 0.8 <sup>a</sup> | 70.6 ± 1.7 <sup>b</sup>  | 7.81 ± 1.27 <sup>b</sup>      | 10.44 ± 0.72 <sup>b</sup>           |
| Mg 4                 | No                  | 26.2 ± 0.6 <sup>b</sup>   | 18.9 ± 0.8 <sup>b</sup> | 72.3 ± 2.3 <sup>ab</sup> | 9.36 ± 1.31 <sup>a</sup>      | 9.56 ± 0.77 <sup>ab</sup>           |
|                      | Cc                  | 27.4 ± 0.7 <sup>b</sup>   | 17.2 ± 0.6 <sup>b</sup> | 62.8 ± 1.9 <sup>c</sup>  | 10.81 ± 0.77 <sup>a</sup>     | 6.39 ± 1.11 <sup>b</sup>            |
|                      | CCa                 | 28.2 ± 0.8 <sup>ab</sup>  | 18.4 ± 1.4 <sup>b</sup> | 65.2 ± 3.7 <sup>bc</sup> | 8.51 ± 1.15 <sup>a</sup>      | 9.94 ± 1.65 <sup>ab</sup>           |
|                      | CFe                 | 29.8 ± 0.3 <sup>a</sup>   | 22.6 ± 0.5 <sup>a</sup> | 76.0 ± 1.8 <sup>b</sup>  | 9.15 ± 1.69 <sup>a</sup>      | 13.48 ± 1.52 <sup>a</sup>           |

\*1 \*\* See the footnote of table 2. \*3 See the footnote of table 4.

鉄の出納では、No群とCc群間に有意差はなく、吸収量及び体内保有量とも経時的に減少していく同じような傾向にあった。それに対し、CCa、CFe群は1週目では、No群及びCc群に対し、吸収量、体内保有量とも有意に低値を示していたが、逆に2週目以降は吸収量、体内保有量ともNo群、Cc群に対し有意に高値を示している。特にCFe群では、その傾向が強かった。

以上の結果から考察するとCc群のCa、Fe、Mgの吸収率ならびに体内保留量が成長にともない減少傾向が見られた。この傾向は、No群でも同様に見られた。成長とミネラル利用との関係は多くのミネラルが加齢に伴い利用率の低下を示すと言われ、我々の結果はそのことを追従したもの



Table 7 Effect of cacao, cacao with enriched calcium, cacao with enriched iron on retention of iron.

| Administration weeks | Group*1 | Intake (mg/3 days)        | Absorption (mg/3 days)   | Absorption (%)        | Urinary excretion (mg/3 days) | Retention*2 (mg/3 days)  |
|----------------------|---------|---------------------------|--------------------------|-----------------------|-------------------------------|--------------------------|
| Fe 1                 | No      | 3.58±0.07 <sup>b**2</sup> | 2.48±0.05 <sup>a</sup>   | 69.5±1.9 <sup>a</sup> | 0.17±0.02 <sup>a</sup>        | 2.32±0.04 <sup>a</sup>   |
|                      | Cc      | 4.46±0.13 <sup>a</sup>    | 2.69±0.13 <sup>a</sup>   | 60.1±1.4 <sup>b</sup> | 0.20±0.01 <sup>a</sup>        | 2.49±0.13 <sup>a</sup>   |
|                      | CCa     | 2.83±0.05 <sup>d</sup>    | 1.81±0.04 <sup>b</sup>   | 63.9±0.9 <sup>b</sup> | 0.15±0.02 <sup>a</sup>        | 1.66±0.06 <sup>b</sup>   |
|                      | CFe     | 3.16±0.07 <sup>c</sup>    | 2.01±0.06 <sup>b</sup>   | 63.7±0.8 <sup>b</sup> | 0.15±0.02 <sup>a</sup>        | 1.86±0.06 <sup>b</sup>   |
| Fe 2                 | No      | 3.21±0.06 <sup>c</sup>    | 1.65±0.10 <sup>b,c</sup> | 51.3±3.0 <sup>b</sup> | 0.17±0.03 <sup>b</sup>        | 1.48±0.10 <sup>b,c</sup> |
|                      | Cc      | 3.91±0.09 <sup>a</sup>    | 1.49±0.10 <sup>c</sup>   | 38.0±1.8 <sup>c</sup> | 0.23±0.02 <sup>a,b</sup>      | 1.26±0.10 <sup>c</sup>   |
|                      | CCa     | 3.08±0.08 <sup>c</sup>    | 1.82±0.09 <sup>b</sup>   | 59.0±1.8 <sup>a</sup> | 0.17±0.01 <sup>b</sup>        | 1.65±0.08 <sup>b</sup>   |
|                      | CFe     | 3.64±0.10 <sup>b</sup>    | 2.32±0.10 <sup>a</sup>   | 63.5±1.3 <sup>a</sup> | 0.26±0.02 <sup>a</sup>        | 2.06±0.10 <sup>a</sup>   |
| Fe 3                 | No      | 2.81±0.08 <sup>c</sup>    | 0.86±0.09 <sup>b</sup>   | 30.6±3.3 <sup>b</sup> | 0.18±0.02 <sup>b</sup>        | 0.68±0.09 <sup>b</sup>   |
|                      | Cc      | 3.67±0.10 <sup>a</sup>    | 0.81±0.10 <sup>b</sup>   | 22.0±2.2 <sup>c</sup> | 0.27±0.03 <sup>a</sup>        | 0.54±0.09 <sup>b</sup>   |
|                      | CCa     | 3.36±0.14 <sup>b</sup>    | 2.00±0.08 <sup>a</sup>   | 59.6±1.7 <sup>a</sup> | 0.20±0.03 <sup>a,b</sup>      | 1.80±0.10 <sup>a</sup>   |
|                      | CFe     | 3.55±0.07 <sup>a,b</sup>  | 2.05±0.08 <sup>a</sup>   | 57.7±1.4 <sup>a</sup> | 0.17±0.01 <sup>b</sup>        | 1.89±0.08 <sup>a</sup>   |
| Fe 4                 | No      | 2.73±0.06 <sup>c</sup>    | 0.78±0.04 <sup>c</sup>   | 28.7±1.1 <sup>b</sup> | 0.24±0.03 <sup>a,b</sup>      | 0.54±0.04 <sup>c</sup>   |
|                      | Cc      | 3.44±0.09 <sup>b</sup>    | 0.68±0.10 <sup>c</sup>   | 19.5±2.5 <sup>c</sup> | 0.28±0.02 <sup>a</sup>        | 0.40±0.09 <sup>c</sup>   |
|                      | CCa     | 3.39±0.10 <sup>b</sup>    | 2.04±0.08 <sup>a</sup>   | 60.0±1.0 <sup>a</sup> | 0.15±0.02 <sup>c</sup>        | 1.89±0.08 <sup>b</sup>   |
|                      | CFe     | 4.14±0.04 <sup>a</sup>    | 2.52±0.02 <sup>a</sup>   | 60.9±0.3 <sup>a</sup> | 0.19±0.01 <sup>b,c</sup>      | 2.32±0.02 <sup>a</sup>   |

\*1 \*\* See the footnote of table 2. \*3 See the footnote of table 4.

と考えられた。またNo群と比較して、Cc群は低い吸収率および体内保留量を示した。飼料中の食物繊維の質、量がミネラル吸収に影響することは広く研究されている。ところで我々が用いた飼料中の食物繊維として、No群はセルロースを用い、Cc群はカカオ由来の食物繊維を含有している。今回用いたカカオの食物繊維の内訳はリグニン51.4%、ヘミセルロース19.0%、セルロース13.4%、水溶性食物繊維16.2%であった。食物繊維がミネラルの吸収を阻害するメカニズムは食物繊維のイオン交換能によるミネラルとの不可逆的結合やゲル形成能による拡散抑制等であり、繊維の種類により影響が異なると言われており、今回No群とCc群との差は食物繊維の種類の違いによるものと考えている。

腸管からのCa利用に及ぼすCa強化カカオ投与の影響については、No群及びCc群が経時的に吸収率、体内保留量の減少が見られたのに対して、CCa群は実験後半に増加傾向を示し、しかも高いレベルであった。Ca強化カカオは食物繊維の種類と量がカカオと同等であるにもかかわらず吸収率と体内保留量の増加を示したことは前述の加齢に伴うミネラル利用低下と食物繊維の種類による吸収抑制を打ち消す結果となっている。そこで利用率向上のメカニズム解明のため、Ca強化カカオ投与によるCaの腸管内での溶解性について、in vitroの実験により人口胃液 (pH2.5) と人口腸液 (pH6.8) へのCaの溶解度を検討した。CCa (Ca2.3%) と対照カカオ (Ca剤を分散させ、Ca2.3%) には差が見られず、胃から十二指腸、小腸上部までの間では両者のCaの溶解度には差がないことを示唆している。よって小腸下部以降から大腸にかけて、なんらかの吸収促進要因があるものと考えられる。一方、カカオをCa強化処理することにより、pHの上昇が認められた。これは難溶性である炭酸Caが加圧、加温されたことで、一部溶解したことによるものと推察される。このpHの変化に伴い、リグニンやヘミセルロースが一部加水分解を受け低分子化し、消化・発酵性が高まっていることが考えられる。ジオキサン可溶のリグニンの低～中分子画分も約1.4倍に増加しており、Ca強化処理により、カカオ中のリグニンが低分子化していることが示唆された。ま

た、このリグニンの低～中分子画分に結合しているCaも、通常カカオの約16.5倍も結合している。これらの低～中分子リグニンが大腸内で発酵することにより、リグニンに結合していたCaが、リリースされて吸収されたとも推察される。また、ヘミセルロースも低分子化が進んで、より発酵性が高まり、腸内菌叢へも影響している可能性がある。鈴木らは、ラットにおいてラクツロース投与によりCaの利用が向上し、同時に腸内細菌であるビフィズス菌の菌数が増加し、pHの低下が認められたと報告している。今回は腸内細菌についての検討を行っていないが、今回のCCaによるCaの吸収促進は、一部には腸内細菌の関与も考えられる。また、Ca強化処理中のpH上昇は蛋白質の変性、分解を起こし、Ca吸収を促進するペプチドなどを生成している可能性があるが、この件については現在研究を進めている最中である。今回はFeの利用が、CFeやCCaで高まっている。CFeの人口胃液、人口腸液への溶解度が高まっていることより、Fe強化カカオのFe吸収量、体内保有量の増加は、一部には消化管内の溶解性が向上したことによると推察される。一方でまた、CCaによっても、Feの吸収および体内保有量が高まっている。CCaのpH上昇に伴い、鉄吸収促進因子が生成された可能性があるが、今のところは不明である。

今後、CCa、CFe製造工程中の物理化学的变化について解明を試み、これらによるCa、Fe吸収促進の作用機序について、検討を進めていきたいと考える。

## 要 約

カカオとCa強化カカオ（CCa）並びにFe強化カカオ（CFe）の摂取が、ラットのCa、Mg、Feの利用に与える影響について検討した。初体重70g前後のWistar系ラットを4群にわけ、ミネラル出納実験を行った。

- 1) No群、Cc群に比べて3週目、4週目にてCCa群でCa吸収量並びに体内保有量が有意に高まった。
- 2) Mgの出納については一定の結果が得られなかった。
- 3) Feの吸収量、並びに体内保有量については3週目、4週目において、No群及びCc群に比べ、CCa群、CFe群で有意に高値を示した。

---

鈴木 和春（東京農業大学教授）

昭和47年東京農業大学農学部卒業。62年同助教授を経て平成8年同教授。日本栄養・食糧学会理事。医学博士。