難消化性糖質（フラクトオリゴ糖）の ミネラル吸収促進作用*

太田 篤胤**

Stimulatory Effects of Indigestible Carbohydrates- (Fructooligosaccharides) on Mineral Absorption*

Atsutane Ohta**

J Jpn Soc Nutr Food Sci 52: 387-395 (1999)

The importance of indigestible carbohydrates such as dietary fiber is well recognized. In recent years, the stimulatory effects of indigestible sugars such as fructooligosaccharides (FOS) on mineral absorption have been discovered and examined. This review provides an overview of current research work in this field. FOS are not digested by human enzymes. Dietary FOS are effective for increasing not only apparent but also true intestinal calcium (Ca) absorption in rats. Dietary FOS also stimulate magnesium (Mg) and iron (Fe) absorption. These effects show dose dependency and are long-lasting. FOS increase the absorption of Mg from natural foods such as cocoa and rice bran. The increase in Ca and Mg absorption is diminished by cecectomy. Ca and Mg disappear from the colorectal contents in the course of transit from the cecum to the anus. The absorption of cecally infused Ca and Mg is increased by dietary FOS. Moreover, dietary FOS increase large intestinal calbindin-D9k. These results suggest that the stimulatory action of FOS is exerted in the large intestine. FOS improve the bioavailability of these minerals in severe disease models rats. Dietary FOS prevent osteopenia in both ovariectomized rats and gastrectomized rats. In gastrectomized rats, FOS feeding also prevents anemia. Supplying a diet with a high Ca and high phosphorus content markedly decreases Mg absorption, and rats fed such a diet exhibit typical symptoms of Mg deficiency. However, these symptoms are suppressed by FOS feeding. The Ca absorption-promoting effect of FOS has been confirmed in humans by two different methods (balance study and double isotope method). Therefore, it is expected that many clinical applications of FOS will be established in the near future.

Key Words fructooligosaccharides, absorption, calcium, magnesium, iron.

(Received August 30, 1999; Accepted August 30, 1999)

難消化性とは、消化されにくいということ。かつては、栄養的に価値が低いことを意味し、無用なものと考えられがちであった。しかし、食物繊維の生理的機能に関する研究が進み、その摂取が推奨されるようになったことで、その言葉のイメージも大きく変わったといえる。食物繊維の生理機能としては、便秘の改善などの整腸作用、糖尿病患者における耐糖能改善作用、高脂血症

患者における脂質代謝改善作用などがよく知られるところである¹⁾。一方、食物繊維の負的作用としてミネラルに対する吸収阻害作用があるものと信じられてきた²⁾。しかし近年の研究から、食物繊維を含む多くの難消化性糖質が、むしろミネラルの吸収に対して促進的に働いていることがわかってきた。本論文では、難消化性糖質の新しい機能であるミネラルの吸収促進作用について、著

* 本総説は平成11年度奨励賞の受賞の対象になったものである。

** 連絡・別刷請求先 (Corresponding author)

明治製菓株式会社生物科学研究所 (350-0289 坂戸市千代田 5-3-1)

Bioscience Laboratories, Meiji Seika Kaisha Ltd., 5-3-1 Chiyoda, Sakado 350-0289, Japan

者らのラットを用いた動物実験による研究を中心に紹介する。

1. ミネラルの吸収を促進させることの意義

現在、栄養所要量の第6次改訂の施行にむけて準備が進められている。特殊なケースを除き今回の改訂を経ても、摂取の不足が問題となるミネラルは、カルシウム、鉄、マグネシウムおよび亜鉛と考えられる。カルシウムの不足と骨疾患、鉄の不足と貧血、マグネシウムの不足と心疾患などの関係が認められている³⁾。これらミネラルの十分な摂取は、関係する疾患のリスク回避の意味から、きわめて重要である。しかし、安易に特定のミネラルを大量に摂取することは効率的な補給方法といえないばかりか、他のミネラルの吸収が阻害されるなど新たな栄養の問題を引き起こす危険性もある⁴⁾。したがって、栄養バランスのよく考慮された食事を通じて摂取されたミネラルをいかに効率良く生体に吸収させるかという観点からのミネラル吸収促進作用に関する研究は重要であると考えられる。

2. 難消化性糖質（フラクトオリゴ糖）とそのミネラル吸収促進作用の性質

2.1 難消化性糖質（フラクトオリゴ糖）とは 難消化性糖質とは、ヒトの消化酵素では加水分解されにくい性質を有する糖質を意味する。その代表的なものとして食物繊維やいくつかのオリゴ糖、糖アルコールがある⁵⁾。われわれが、被検物として用いているフラクトオリゴ糖（以下FOSと略す）の化学構造はFigure 1に示すとおりであるが、消化酵素に対する抵抗性がきわめて高いことが種々の方法で⁶⁾⁷⁾証明されており、典型的な難消化性少糖の一つである。FOSの摂取は、大腸内に存在するビフィズス菌を増殖させる⁸⁾。このこと自体、あるいはビフィズス菌が産生する短鎖脂肪酸の作用により整腸作用が発現するものと推定されており、実際、

Figure 1 Chemical structures of the fructooligosaccharides (FOS).

FOSを含有する多くの食品が、整腸作用が期待できる食品として表示許可され、特定保健用食品として販売されている⁹⁾。

2.2 ミネラル吸収促進作用の基本特性 FOSのミネラル吸収促進作用には、用量依存性および持続性がある¹⁰⁾。FOSの試験飼料に対する添加量の増加に伴い、用量依存的にカルシウムおよびマグネシウムの吸収率が増加する (Figure 2)。乳糖にも同様な作用があることは古くから知られていたが、FOSの作用の強さは、その約5倍程度と推定される。また、この作用は少なくとも1カ月間持続した。Brommage *et al.* は、ラクチュ

Figure 2 Effect of lactose and fructooligosaccharides (FOS) on the absorption of Ca, Mg and P in rats.

Values are mean $\pm$ SD ($n=7$). Mean not sharing a common superscript letter are significantly different ($p<0.05$). Absorption (%) = (Intake - Fecal output) / Intake $\times$ 100 (for each rat).

Figure 3 Magnesium absorption in rats fed experimental diets containing cocoa or rice bran with or without fructooligosaccharides (FOS).

Values are mean $\pm$ SD ($n=7$) in each group. Differences among groups were evaluated for significance by Tukey's test after two-way ANOVA. Mean not sharing a common superscript letter are significantly different ($p<0.05$).

ローズを用いそのカルシウム吸収促進作用に用量依存性があること、その作用が8カ月以上持続することを報告している¹¹⁾。さらに、FOS 摂取による正味のカルシウム吸収の増加は、真のカルシウム吸収の増加によるものであることが、 ^{45}Ca を用いたラットカイネティックス試験により明らかとなった¹²⁾。また、この作用は糞食防止下のラットにおいても発現することを確認している¹³⁾。天然の食品中には、フィチンやフェノール系化合物などミネラルの吸収に対して阻害的に働く成分が存在し¹⁴⁾¹⁵⁾、ミネラルの多くはこれら成分の塩として存在している。ココアや米糠という天然物中ではマグネシウムの多くはフィチン酸塩であるが、FOS はこのようなマグネシウムの吸収をも促進する (Figure 3)¹⁶⁾。また、

後で述べる鉄や亜鉛、銅に対してもその吸収を促進するとの報告もある¹⁷⁾。

2.3 ミネラル吸収促進作用の発現部位と機作 FOS のおもな発酵部位である盲腸を切除したラットでは、カルシウムの吸収促進作用がほとんど消失し、マグネシウムの吸収促進作用についても大きく減弱する (Figure 4)¹⁸⁾。次いで、非吸収性マーカーを摂取させたラットの結直腸内容物中カルシウム、マグネシウム濃度の変動と盲腸から肛門への移動率の相関を調べることにより、両ミネラルの吸収促進作用の約半分が結直腸で発現しているがわかった¹⁹⁾。さらに、糞食防止下のラット盲腸に留置したカテーテルよりマグネシウムを直接投与することによりその吸収を調べたところ、FOS のマグネシウム

Figure 4 Characterization of the apparent absorption of Ca and Mg in the sham operated or cecectomized rats.

Values are the average of all datas of apparent absorption ratio for the four balanced periods. NF : Increase was due to FOS in the sham operated rats. OF : Increase was due to FOS in the cecectomized rats. ¹ Rats with sham operation, ² Rats with sham operation fed the FOS diet, ³ Rats with cecectomy, ⁴ Rats with cecectomy fed the FOS diet.

吸収促進作用のほとんどが大腸で発現していることがわかった²⁰⁾²¹⁾。従来、難消化性糖質のカルシウム吸収促進作用は、細胞間を通る単純拡散の亢進であろうと推定されていた²²⁾²³⁾。しかしわれわれは、細胞内でカルシウムの輸送を担っていると考えられているカルシウム結合タンパク質 (calbindin-D9k) が FOS の摂取により大腸で顕著に増加することを明らかにした (Figure 5)²⁴⁾²⁵⁾。以上の結果から、FOS のカルシウムおよびマグネシウムに対する吸収促進作用の発現部位が主に大腸であり、calbindin-D9k の消長から細胞内カルシウム輸送系も関与していることがわかった。

3. 難消化性糖質がミネラルの生体利用性に及ぼす影響

難消化性糖質である FOS やグアガム分解物²⁶⁻²⁸⁾ の作用により吸収が促進されたミネラルの生体利用性については、種々のラットを用いた動物実験により明らかにされている。ミネラルの欠乏状態にあるラットにおいては、これら難消化性糖質の摂取によりミネラルの生体利用性が向上し、欠乏症状が顕著に改善される。以下にその具体的な例を紹介する。

3.1 骨に対する作用 難消化性糖質は、カルシウム以外の骨に豊富に存在するミネラルであるリンやマグネシウムに対しても吸収促進作用を有するため、その摂取は、骨に大きな影響を及ぼす。FOS やグアガム分解物を摂取させると、健常ラットの大腿骨カルシウム量が増加する¹⁰⁾。骨粗鬆症の病態モデルラットとして広く用いられている卵巣摘除ラットにおいても、FOS の摂取により成熟期の卵巣摘除ラットに見られる骨密度の低下が抑制される (Figure 6)²⁹⁾。同様の作用は、ガラクトオリゴ糖³⁰⁾ やマルチトール³¹⁾ についても報告されている。

FOS のカルシウムの生体利用性を向上させる作用が最も顕著に現れるのは、胃切除ラットである。胃切除ラットでは、胃酸により食餌中のミネラルの溶解ができないためカルシウムの吸収が著しく低下し、カルシウム欠乏による骨形成不全を発症する。この事実は、臨床的にも確かめられている³²⁾。FOS のカルシウム吸収促進作用の大部分は大腸で発現しているので、胃切除ラットにおいても FOS の摂取によりカルシウム吸収が正常レベルまで上昇し、骨密度の低下がほぼ完全に予防される (Figure 7)³³⁾。現在、難消化性糖質摂取下でのより詳細な骨代謝に関する研究が進められており、結果の待たれるところである。

3.2 貧血に対する作用 栄養実験で最も一般的な貧血のモデル動物は、鉄欠乏飼料で飼育することにより作製する鉄欠乏性貧血ラットである。このようにして作製した貧血ラットに、生体利用性が低いピロリン酸鉄を鉄源とした飼料を与え貧血の回復に及ぼす FOS の影響を観察したところ、FOS の摂取により貧血の回復が早まった³⁴⁾。貧血についても FOS の効果が最も顕著に現れるのは胃切除ラットである。胃切除ラットでは、鉄の吸収不全に基づく重度の貧血が発症する。FOS の摂取によりこの貧血は完全に予防される (Figure 8)³⁵⁾。このような結果は、FOS の鉄吸収促進作用の発現部位も大腸であることを示唆しているが、直接的な証明は今後の課題である。余談ではあるが、胃切除ラットの貧血はきわめて難治性であり、われわれは FOS 以外にそれを防止できる食品素材を見いだすに至っていない。たとえば、ヘム鉄³⁶⁾ や多量のビタミン C を摂取させてもこの貧血は治らない。胃切除ラットは生体利用性の高い鉄剤のスクリーニングに利用できる可能性があると考えてい

Figure 5 Relationship between apparent Ca absorption and relative amount of calbindin-D9k (CaBP) in the intestinal segment mucosa in rats fed control (without fructooligosaccharides, FOS), 5%FOS or 10% FOS diet.

Each value of relative amount of CaBP was estimated from pooled sample of three rats and each value of apparent Ca absorption is the mean for the same three rats. A : proximal small intestinal mucosa, Regression equation : $y = 36352 - 8425x$, $r = -0.7149$, $p = 0.0304$ ($n = 9$). B : distal small intestinal mucosa, Regression equation : $y = 46083 - 14810x$, $r = -0.8740$, $p = 0.0021$, ($n = 9$). C : cecal mucosa, Regression equation : $y = -7883 + 5713x$, $r = 0.8956$, $p = 0.0011$, ($n = 9$). D : colo-rectal mucosa, Regression equation : $y = -9028 + 6661x$, $r = 0.8828$, $p = 0.0016$, ($n = 9$).

る。

3.3 マグネシウム欠乏症状に対する作用 マグネシウムの吸収は、カルシウムやリンに大きな影響を受ける。ラットに過剰なカルシウムやリンを含有する飼料を摂取させるとマグネシウムの吸収が著しく低下し、典型的なマグネシウム欠乏症状である顔面部、耳介部皮膚の発赤、浮腫、出血あるいは腎臓の石灰化などが起こる³⁷⁾。また、このようなマグネシウム欠乏ラットは、ストレスに弱くやや乱暴にハンドリングしただけでもショック状態に陥り死亡することも多い。飼料中のカルシウムとリンの含有率をそれぞれ1%と1.2%まで上昇させるとマグネシウムの吸収率は通常の約1/3まで低下し、先の欠乏症状が発症した。このラットにFOSを摂取さ

せると、用量依存的にマグネシウム吸収率が上昇しこれに伴い欠乏症状の発症も予防された³⁸⁾³⁹⁾。マグネシウムについては、日常的な食品の中にマグネシウムを多量に含有するものがないこと、その欠乏がカルシウムや鉄の場合と異なり臨床的に確認しにくいことなどから、意識的にその摂取に努める必要のあるミネラルであろう⁴⁰⁾。難消化性糖質のマグネシウム吸収促進に関する今後の応用研究の進展が期待されるところである。

4. ヒトにおける作用の発現

ミネラルの正味の吸収を調べる最も普遍的な栄養試験法は出納試験である。近年フランスのグループが、この方法によってFOSのカルシウム吸収促進作用をヒトで検証した⁴¹⁾。次いで、オランダのグループによりカルシ

Figure 6 Effect of FOS feeding on the femur bone mineral density (BMD) in ovariectomized rats. Each column shows mean $\pm$ SD. Right femur was divided into proximal, middle and distal site, and each site of femur BMD measured by DEXA. ***Significantly different from initial group (Student's *t*-test) : * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, columns with different superscript letters (a and b) are significantly different among three groups of each site (Tukey's test) : $p < 0.05$.

Figure 7 Bone mineral density of the femur and tibia at the end of experiment in rats subjected to sham operation or gastrectomy fed diet with or without fructooligosaccharides (FOS). Each bar represents the mean $\pm$ SEM, $n = 7$. Bars not sharing a common superscript letter are significantly different ($p < 0.05$).

ウムの安定同位体を用いた二重標識法によっても同様な効果がヒトで確認された⁴²⁾。両試験は、いずれも被検者が青年であり難消化性糖質の継続的な摂取下で行われた試験である。現在、対象や難消化性糖質の摂取方法を変えるなどさまざまな局面での有用性の検証が進められている模様である。

Nordin *et al.* は、健康な成人においては、カルシウムの吸収量の増加は尿中カルシウム、マグネシウム排泄を増加させることを明らかにしている⁴³⁾。われわれはこの

現象を応用し、カルシウムの負荷後尿中排泄量を指標として、健康人での FOS の単回摂取で吸収促進作用が発現するかどうか、その可能性についての検証を試みた。その結果、FOS の摂取により骨吸収マーカーの増加を伴わないカルシウムおよびマグネシウムの尿中排泄量の増加が観察され、単回の摂取でも吸収促進作用がヒトで発現する可能性が高いことを示唆する結果を得た (Figure 9)⁴⁴⁾。

Figure 8 Weekly change in hematocrit and hemoglobin concentration in rats subjected to sham operation or gastrectomy fed diets with or without fructooligosaccharides (FOS). Each points represents the mean SEM, $n=7$. †, significantly lower than in sham with FOS diet; ‡, significantly lower than in sham fed either control of FOS diet; §, significantly lower than in other three groups ($p<0.05$).

Figure 9 Urinary excretion of Ca and Mg after CaCO_3 (2.5 g) and MgO (0.83 g) loading with or without fructooligosaccharides (10 g) in human. Urinary value of Ca and Mg for every 2 h are shown as the mean $\pm$ SD ($n=5$). *Significantly difference from control groups at $p<0.05$.

おわりに

難消化性糖質のミネラル吸収促進作用については、本論文において紹介した以外にも近年多くの研究が報告されるようになってきており⁴⁵⁻⁴⁸⁾、この作用自体には、コンセンサスが得られたものとする。今後は、この作用をがどのようにヒトのミネラル栄養に応用できるかに関する研究が増えてくるであろう。しかし、作用メカニズムなどの基礎的な課題についても未だ不明な部分が多々残されている。われわれは、おもな作用発現部位が大腸であると考えている。しかし、それですべてが説明できるかどうかには疑問も残る⁴⁹⁾⁵⁰⁾。また、ミネラルの消化管粘膜細胞内輸送ルートと細胞間輸送ルートのそれぞれが作用発現にどの程度寄与しているかについても答えは出ていない。昨今の分子生物学的手法の進歩には目覚ましいものがあるが、ミネラルの吸収メカニズムについ

ては未だ説明されていない部分が多く、ミネラルの吸収を定量的に理解するための情報は十分とはいえない。このような基礎的研究を含めたミネラル栄養学の今後の発展を切望するものである。

本研究は明治製菓生物科学研究所および共同研究機関において実施されたものである。共同研究をしてくださった、女子栄養大学佐久間慶子先生、東京農工大学上原万里子先生、北海道大学原博先生、石巻専修大学坂田隆先生、岡山大学坂口英先生、国立健康・栄養研究所山田和彦先生、昭和女子大学木村修一先生、昭和大学諸橋富夫先生に感謝申し上げます。動物実験の基礎を教えてくださいました東京農工大学名誉教授船引龍平先生、本研究に多くのご助言くださいました、東京農工大学矢ヶ崎一三先生、国立健康・栄養研究所西牟田守先生、東京農工大学名誉教授五島孜朗先生、鈴木和春先生に感謝いたし

ます。また、研究の機会を与えてくださった明治製菓株式会社と生物科学研究所の足立堯所長、日高秀昌前所長に感謝いたします。研究に協力してくれた生物科学研究所の大槻雅子、馬場星吾、細野朗の諸氏、ならびに薬品総合研究所の皆様に深く感謝いたします。最後に奨励賞の受賞と本総説を書く機会を与えてくださった日本栄養・食糧学会の会員の皆様に厚く御礼申し上げます。

文 献

- Jenkins DJ, Jenkins AL, Wolever TM, Vuksan V, Rao AV, Thompson LU, Josse RG (1995) Effect of reduced rate of carbohydrate absorption on carbohydrate and lipid metabolism. *Eur J Clin Nutr* **49** : S68-73.
- Schrijver RD, Conrad S (1992) Availability of calcium, magnesium, phosphorus, iron, and zinc in rat fed oat bran containing diet. *J Agric Food Chem* **40** : 1166-71.
- 厚生省保健医療局健康増進栄養課 (1995) 第五次改訂日本人の栄養所用量, p. 94-108. 第一出版, 東京.
- Cook JD, Dassenko SA, Whittaker P (1991) Calcium supplementation : Effect on iron absorption. *Am J Clin Nutr* **53** : 106-11.
- 星 清子 (1995) オリゴ糖と腸の生理. *食品工業* **5**, 57-66.
- 山田和彦, 日高秀昌, 猪岡 元, 岩本安彦, 葛谷健 (1990) フルクトオリゴ糖摂取後の血液中フルクトース及びグルコース濃度動態. *消化と吸収* **13**, 88-91.
- Molis C, Flouria B, Ouarne F, Gailing MF, Lartigue S, Guibert A, Bornet F, Galmiche JP (1996) Digestion, excretion, and energy value of fructooligosaccharides in healthy humans. *Am J Clin Nutr* **64** : 324-8.
- Hidaka H, Tashiro T, Eida T (1991) Proliferation of bifidobacteria by oligosaccharides and their useful effect on human health. *Bifidobacteria Microflora* **10** : 65-79.
- 徳永隆久 (1991) フラクトオリゴ糖の特性と効果的利用. *食品と化学* **426**, 1-7.
- 太田篤胤, 越阪部奈緒美, 山田和彦, 斎藤安弘, 日高秀昌 (1993) フラクトオリゴ糖および各種少糖類のラットにおけるCa, Mg, Pの吸収に及ぼす影響. *栄養・食糧学会誌* **46**, 123-9.
- Brommage R, Binacua C, Antille S, Carrie AL (1993) Intestinal calcium absorption in rats is stimulated by dietary lactulose and other resistant sugars. *J Nutr* **12** : 2186-94.
- Morohashi T, Sano T, Ohta A, Yamada S (1998) True calcium absorption is enhanced by fructooligosaccharide feeding in rats. *J Nutr* **128** : 1815-8.
- Ohta A, Baba S, Ohtsuki S, Taguchi A, Adachi T, Hara H (1996) Prevention of coprophagy modifies magnesium absorption in rats fed with fructooligosaccharides. *Br J Nutr* **75** : 775-84.
- Brune M, Rossander-Hultén L, Hallberg L, Gleerup A, Sandberg AS (1992) Iron absorption from bread in humans : inhibiting effects of cereal fiber, phytate and Inositol phosphates with different numbers of phosphate groups. *J Nutr* **122** : 442-9.
- Hurrell R, Reddy M, Cook JD (1999) Inhibition of non-haem iron absorption in man by polyphenolic-containing beverages. *Br J Nutr* **81** : 289-95.
- 馬場星吾, 太田篤胤 (1995) マグネシウム源としてのココア, 米糠の吸収性とフラクトオリゴ糖摂取の影響. *マグネシウム* **14**, 167-77.
- Delzenne N, Aertssens J, Verplaetse H, Roccato M, Roberfroid M (1995) Effect of fermentable fructo-oligosaccharides on mineral, nitrogen and energy digestive balance in the rats. *Life Sci* **57** : 1579-87.
- Ohta A, Ohtsuki M, Takizawa T, Inaba H, Adachi T, Kimura S (1994) Effects of fructooligosaccharides on the absorption of magnesium and calcium by cecectomized rats. *Int J Vitam Nutr Res* **64** : 316-23.
- Ohta A, Ohtsuki M, Baba S, Adachi T, Sakata T, Sakaguchi E (1995) Calcium and magnesium absorption from the colon and rectum are increased in rats fed fructooligosaccharides. *J Nutr* **125** : 2417-24.
- Baba S, Ohta A, Ohtsuki M, Takizawa T, Adachi T, Hara H (1996) Fructooligosaccharides stimulate the absorption of magnesium from the hindgut in rats. *Nutr Res* **16** : 657-66.
- Ohta A, Baba S, Ohtsuki M, Takizawa T, Adachi T, Hara H (1997) *In vivo* absorption of calcium carbonate and magnesium oxide from the large intestine in rats. *J Nutr Sci Vitaminol* **43** : 35-46.
- Demigne C, Remesy C, Rayssiguier Y (1980) Effect of fermentable carbohydrates on volatile fatty acids, ammonia and mineral absorption in the caecum. *Reprod Nutr Develop* **20** : 1351-9.
- Schulz AGM, Amelsvoort JMM, Beynen AC (1993) Dietary native resistant starch but not retrograded resistant starch raises magnesium and calcium absorption in rats. *J Nutr* **123** : 1724-31.
- Ohta A, Motohashi Y, Ohtsuki M, Hirayama M, Adachi T, Sakuma K (1998) Dietary fructooligosaccharides change the concentration of calbindin-D9k differently in the mucosa of the small and large intestine of rats. *J Nutr* **128** : 934-9.
- Ohta A, Motohashi K, Sakai M, Hirayama T, Adachi T, Sakuma K (1998) Dietary fructooligosaccharides increase calcium absorption and levels of mucosal calbindin-D9k in the large intestine of gastrectomized rats. *Scand J Gastroenterol* **33** : 1062-8.
- Hara H, Nagata M, Ohta A, Kasai T (1997)

- Increases in calcium absorption with ingestion of soluble dietary fiber, guar gum hydrolysate, depend on the caecum in partial nephrectomized and normal rats. *Br J Nutr* **76** : 773-84.
- 27) Hara H, Suzuki T, Kasai T, Aoyama Y, Ohta A (1999) Ingestion of guar gum hydrolysate, a soluble fiber, increases calcium absorption in totally gastrectomized rats. *J Nutr* **129** : 39-45.
- 28) Hara H, Suzuki T, Kasai T, Aoyama Y, Ohta A (1999) Ingestion of guar-gum hydrolysate partially restores calcium absorption in the large intestine lowered by suppression of gastric acid secretion in rats. *Br J Nutr* **81** : 315-21.
- 29) 田口あずさ, 太田篤胤, 安部允泰, 馬場星吾, 大槻雅子, 滝沢登志雄, 湯田康勝, 足立 堯 (1994) 卵巣摘出骨粗鬆症モデルラットの骨に及ぼすフラクトオリゴ糖の影響. 明治製菓研究年報 **33**, 37-43.
- 30) Chonan O, Matsumoto K, Watanuki M (1995) Effect of galactooligosaccharides on calcium absorption and preventing bone loss in ovariectomized rats. *Biosci Biotechnol Biochem* **59** : 236-9.
- 31) Goda T, Suruga K, Takase S, Ezawa I, Hosoya N (1995) Dietary maltitol increases calcium content and breaking force of femoral bone in ovariectomized rats. *J Nutr* **125** : 2869-73.
- 32) Tovey FI, Godfrey JE, Lewin MR (1990) A gastrectomy population : 25-30 years on. *Poasgrad Med J* **66** : 450-546.
- 33) Ohta A, Ohtsuki M, Hosono S, Adachi T, Hara H, Sakata T (1998) Dietary fructooligosaccharides prevent osteopenia after gastrectomy in rats. *J Nutr* **128** : 106-10.
- 34) Ohta A, Ohtsuki M, Baba S, Takizawa T, Adachi T, Kimura S (1995) Effects of fructooligosaccharides on the absorption of iron, calcium and magnesium in iron-deficient anemic rats. *J Nutr Sci Vitaminol* **41** : 281-91.
- 35) Ohta A, Ohtsuki M, Uehara M, Hosono S, Hiramaya M, Adachi T, Hara H (1998) Dietary fructooligosaccharides prevent postgastrectomy anemia and osteopenia in rats. *J Nutr* **128** : 485-90.
- 36) Ohta A, Sakai K, Takasaki M, Uehara M, Tokunaga T, Adachi T (1999) Dietary heme iron dose not prevent postgastrectomy anemia but fructooligosaccharides improve bioavailability of heme iron in rats. *Internet J Vitam Nutr Res* **69** : 27-31.
- 37) Matsuzaki H, Arai K, Uehara M, Suzuki K, Sato S, Kanke Y, Goto S (1997) Increasing magnesium intake prevents high phosphorus diet-induced kidney damage in young rats. *Nutr Res* **17** : 325-37.
- 38) Ohta A, Baba S, Takizawa T, Adachi T (1994) Effects of fructooligosaccharides on the absorption of magnesium in the magnesium-deficient rat model. *J Nutr Sci Vitaminol* **40** : 171-80.
- 39) 太田篤胤, 馬場星吾, 滝沢登志雄, 足立 堯 (1994) ラットにおけるフラクトオリゴ糖のマグネシウム生体利用性に及ぼす影響. マグネシウム **13**, 135-42.
- 40) 白石久二雄 (1992) マグネシウムの摂取量. 臨床栄養 **81**, 270-7.
- 41) Coudray C, Ballanger J, Castiglia-Delavaud C, Remesy C, Vermorel M, Rayssiguier Y (1997) Effect of soluble or partly soluble dietary fibers supplementation on absorption and balance of calcium, magnesium, iron and zinc in healthy young men. *Eur J Clin Nutr* **51** : 375-80.
- 42) Heuvel EGHM, Muys T, Dokkum V, Shaafsma G (1999) Oligofructose stimulates calcium absorption in adolescents. *Am J Clin Nutr* **69** : 544-8.
- 43) Nordin BEC, Marshall DH (1994) Calcium in human biology. In : Dietary requirements for calcium (Nordin BEC, ed), p.137. Springer-Verlag, Boston.
- 44) 細野 朗, 大槻雅子, 太田篤胤, 足立 堯 (1998) Ca および Mg 尿中排泄を指標としたフラクトオリゴ糖のミネラル吸収促進作用についてのヒトにおける評価の試み. マグネシウム **16**, 87-95.
- 45) Mattila P, Svanberg MJ, Mäkinen KK, Knuuttila LE (1996) Dietary xylitol, sorbitol and D-mannitol but not erythritol retard bone resorption in rats. *J Nutr* **126** : 1865-70.
- 46) Heijnen MA, Berg GJ, Beynen AC (1996) Dietary raw versus retrograded resistant starch enhances apparent but not true magnesium absorption in rats. *J Nutr* **126** : 2253-9.
- 47) Trinidad TP, Wolever TM, Thompson LU (1996) Availability of calcium for absorption in the small intestine and colon from diets containing available and unavailable carbohydrates : An *in vitro* assessment. *Int J Food Sci Nutr* **47** : 83-8.
- 48) Greger JL (1999) Nondigestible carbohydrates and mineral bioavailability. *J Nutr* **129** : 1434S-5S.
- 49) Goda T, Takase S, Hosoya N (1993) Maltitol-induced increase of transepithelial transport of calcium in rat small intestine. *J Nutr Sci Vitaminol* **39** : 589-95.
- 50) Kishi K, Goda T, Takase S (1996) Maltitol increases transepithelial diffusional transfer of calcium in rat ileum. *Life Sci* **59** : 1133-40.

(1999年8月30日受付・受理)