

## はじめに

糖質は生命の維持や肉体的・知的活動を支える基礎的な栄養素でありながら、私たち日本人の糖質摂取量は70年代をピークに減少傾向を辿っています。一方、エネルギー総摂取量に占める動物性脂質の比率は高まっています。このような傾向は、日本人のライフスタイルの変化と食生活の欧米化に伴う変化の産物です。日本人が長寿世界一に躍り出た70年代から30年経た今日まで、私たちの食や栄養に対する知識、食環境は大幅に向上したと言えるのでしょうか？否むしろこのような食事内容の変化は2型糖尿病、高血圧、脂質異常症とこれらに伴う動脈硬化の促進など多くの生活習慣病の助長要因となってきました。最近では内臓脂肪の蓄積と、これらの症状が複数同時発生するメタボリックシンドロームが注目されるようになってきていますが、これは正にこのような変化に対する警鐘だと考えられます。わが国の急速な高齢化と医療財政の逼迫は大きな社会問題と化しており、生活習慣病やメタボリックシンドロームの予防は個人個人自らが担うべき責務となってきています。以上を鑑みると、生涯食育や食環境の改善は正に急務と言えましょう。

現在、市場での糖質のイメージは必ずしも良いものではないようにおもわれます。「糖質ゼロ」の食品がひとつのブームを形成し、以前から何となくあった糖質に対するネガティブイメージを助長し、今や糖質は歓迎されざる栄養素として扱われることもしばしばです。しかしながら、糖質は生命を支える基礎的な栄養素であると同時に、甘味やテクスチャーなどおいしさに寄与する特性により生活に潤いを与え、こころの満足を食品に付与する重要な役割があります。「糖質ゼロ」が喜ばれるなか、糖質の特性をふんだんに活用した食品がこのまま日本人の食生活の片隅に追いやられていってしまうてよいのでしょうか。

このような背景のもと、「スローカロリー」という新たな概念が誕生しています。スローカロリーとは、従来のように糖質が健康に与えるインパクトをカロリー（栄養）「量」のみで見のではなく、栄養の「質」に着目しようとする考えであります。たとえカロリー値は同じでも、消化吸收速度が遅くインスリン分泌の無駄を省く糖質は、長期間摂取した場合健康に及ぼすインパクトが明らかに異なり、生体機能により良い効果をもたらすエネルギーとなってくれることが期待されます。

スローカロリー実現のカギを握る素材の一つがパラチノースです。パラチノースは甘味を有する二糖類で、それ自体の吸収が遅いことに加え、他の糖質の消化吸收を遅延させる働きがあり、パラチノースを食品に配合することで、食品自体をスローカロリー化できることが明らかになってきています。グリセミック・インデックスの考え方にも似ていますが、長期摂取による生活習慣病予防効果を臨床レベルで実証していこうとする点、効果の源泉をパラチノースに求めることからメカニズムが特定できる点でグリセミックインデックスとは一線を画したものと言えるでしょう。「ローカロリー」「ゼロカロリー」ばかりが目立つ我が国に「スローカロリー」という新たな概念を根付かせ、皆様の食生活のQOLを少しでも向上できるようになれば幸いです。

監修 スローカロリープロジェクトオフィシャルアドバイザー

家森 幸男

池田 義雄

## 1. パラチノースとは？

パラチノース (palatinose, isomaltulose, 6-O- $\alpha$ -D-glucopyranosyl-D-fructose) ※は、蜂蜜に微量に含まれる天然の糖質<sup>1)2)3)</sup>です。パラチノースはグルコース（ブドウ糖）とフルクトース（果糖）からなる二糖類であり、スクロース（ショ糖）に対して、*Protaminobacter rubrum* CBS 574.77 という微生物が生成する  $\alpha$ -glucosyltransferase (sucrose isomerase) という酵素を作用させ、グルコースとフルクトースの結合位置を変える（ $\alpha$ -1,2 結合 $\rightarrow$  $\alpha$ -1,6 結合）ことで作られます<sup>4)</sup>（図 1）。

パラチノースとスクロースは互いに構造異性体の関係にあります。パラチノースは還元糖、スクロースは非還元糖に分類されます。パラチノースの甘さはスクロースの半分程度ですが、外観や味質はスクロースと似ています。

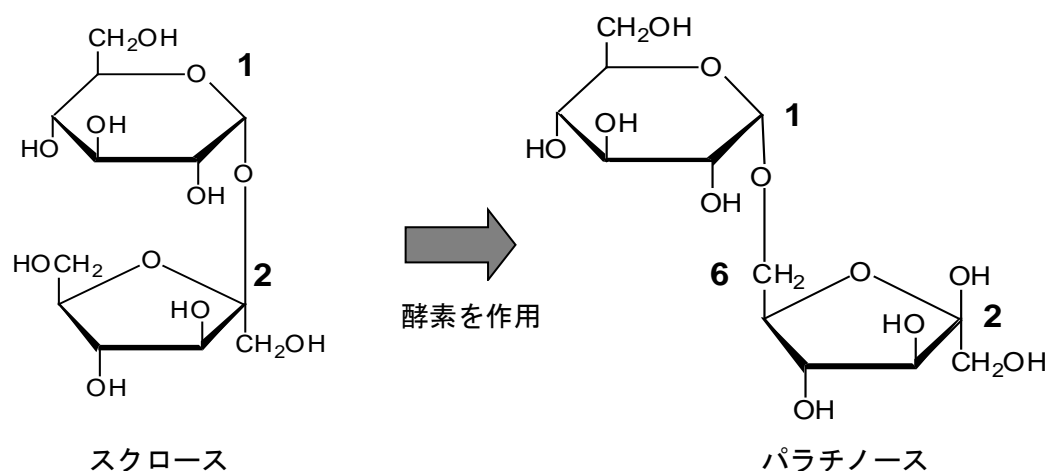


図 1 スクロースおよびパラチノースの化学構造式

パラチノースを生産する菌である *Protaminobacter rubrum* CBS 574.77 が最初に発見されたのは 1950 年代、ドイツの Offstein (Pfalz 州、ラテン名 Palatin) であり、地名の「Palatin」と、糖質を表す「-ose」の組合せから「Palatinose」と命名されました。パラチノースは非う蝕性（虫歯の原因にならない）甘味料として世界各地で用いられており、日本国内では 1984 年にバイオリクター技術を用いた工業生産が開始されました。

※パラチノース®は三井製糖株式会社の登録商標です。物質名として「イソマルチュロース」「イソマルツロース」等が用いられることがあります。なお、本書では「パラチノース」に統一して表記を行います。

## 2. 安全性

パラチノースは各種毒性試験により安全性が確認されており、欧州での流通についてその安全性が認められ、ノベルフーズの認定を受けています。欧州、米国、アジアの殆どの国々で食品原料として使用されており、日本国内でも食品として20年以上にわたり使用されているほか、厚生労働省により、特定保健用食品（虫歯の原因になりにくい食品）の関与する成分として認められています。また、一般の炭水化物と同様に1日当たりの摂取量に制限はありません。

具体的には、以下のような試験が行われています。

### ・ 急性毒性試験

急性毒性試験は、Sprague-Dawley系ラットを用いて行われています。体重1kg当たり検体32gという高い投与量で投与しましたが、14日間の観察期間中に死亡例は認められず、体重増加も正常であり、病理解剖でも異常は認められませんでした。

（財団法人食品薬品安全センター秦野研究所）

### ・ 亜慢性毒性試験

亜慢性毒性試験は、Sprague-Dawley系ラットを用いて行われています。ラットを3群に分け、それぞれ1回に1,500、3,000、および4,500 mg/kgを1日1回26週間、経口投与を続けましたが、観察期間中、死亡例、特記すべき中毒症状は認められず、尿検査、眼科学的検査、血液学的検査、血液生化学、いずれも異常は認められませんでした。

（財団法人食品薬品安全センター秦野研究所）

### ・ 細菌による変異原性試験

細菌による変異原性試験は「Amesテスト」によって行われています。どの検体についても変異原性が無いと判断されました。

（財団法人食品薬品安全センター秦野研究所）

### ・ ヒトによる経口投与試験

11名のボランティアにより、7日間毎日50g（25g/回 × 2回/日 × 7日間）のパラチノースを摂取する試験が行われましたが、下痢、その他身体的異常は認められませんでした。また、肝機能など一般的臓器機能検査でも異常は認められませんでした。

（北里大学薬学部臨床薬理学教室 片桐鎮夫報告書）

18名のボランティアにより、一度に79gのパラチノースを摂取する試験が行われましたが、下痢、その他身体的異常は認められませんでした。

（三井製糖株式会社）

他にも、安全性に関する論文<sup>5)</sup>が報告されています。

### 3. 消化と吸収

パラチノースは小腸に存在するイソマルターゼという酵素によりグルコースとフルクトースに分解され、小腸内で完全に消化吸収されます。

パラチノースが体内のどこで、どのように消化・吸収されるかを調査するため、唾液（ヒト唾液α-アミラーゼ）、膵液（ブタ膵液アミラーゼ）、胃液（pH2 および pH3 の人工胃液）、および小腸（ラット小腸アセトン粉末）を用いた *in vitro*\*での消化試験が行われています。その結果、パラチノースは唾液、胃酸、および膵液の消化作用を受けず、小腸に局在するイソマルターゼにより、ほとんど全てがグルコースとフルクトースに分解されることがわかりました<sup>6)</sup>。

パラチノースが大腸まで到達しないことが次の動物実験により確認されています。1 群 30 匹の C3H/He 雄マウスを 3 群に分け、パラチノースを 27%含む飼料（飼料中の炭水化物の約 50%に相当）、パラチノースを 55.5%含む飼料（飼料中の炭水化物の全量に相当）、パラチノースを含まない飼料のいずれか（表 1、それぞれ「パラチノース 27%群」、「パラチノース 55.5%群」、「対照群」）を 15 日間にわたり自由摂取させ、腸内容物の測定を行ったところ、小腸で微量（内容物当たり 0.06%）のパラチノースが検出されただけであり、盲腸および結腸内容物中においては、パラチノースおよびその他の糖は全く検出されませんでした（表 2）。

表 1 飼料の配合

	対照群	パラチノース27%群	パラチノース55.5%群	
スターチ	45.5%	28.5%	0.0%	炭水化物
スクロース	10.0	0.0	0.0	
パラチノース	0.0	27.0	55.5	
ベタイン	24.5	同左	同左	タンパク質
コーンオイル	6.0	同左	同左	
アディセル	3.0	同左	同左	脂質
KC フロック	2.0	同左	同左	
オカノール	1.0	同左	同左	
ビタミンMix	1.0	同左	同左	
ミネラルMix	7.0	同左	同左	
合計	100.0%	100.0%	100.0%	繊維性物質

表 2 小腸内容物重量当たりの糖含量 (%)

	フルクトース	グルコース	スクロース	パラチノース	マルトース	合計
対照群	0.00	0.60	0.04	0.00	0.09	0.73
パラチノース27%群	0.08	0.39	0.00	0.06	0.08	0.61
パラチノース55.5%群	0.21	0.20	0.00	0.06	0.00	0.47

※ なお、盲腸および結腸の内容物の糖含量を測定したところ、いずれの群においても上記糖類は検出されなかった。

※試験管内のような、人工的に構成された条件下であることを“*in vitro*”と  
いいます。語源はラテン語の「ガラスの中で」。逆に生体内の条件下であ  
ることを“*in vivo*”といいます。

パラチノースを分解する酵素であるイソマルターゼは、スクロースを分解する酵素であるスクラーゼとほとんど全てが複合体（スクラーゼ-イソマルターゼ複合体、SI 複合体）を形成して小腸に局在しています<sup>7)8)9)</sup>。ヒトがスクロースを消化・吸収できるのは、この酵素複合体を小腸に持っているためです。そのため、ヒトはスクロースと同じように、パラチノースも小腸で消化・吸収できると考えられます。

仮にパラチノースが小腸で消化しきれずに大腸まで到達するのであれば、パラチノースの大量摂取により下痢や、腸内フローラ（腸の細菌のバランス）の変化が観察されることが考えられます。しかしながら、パラチノースを 92.9%含むタブレットを、10 日間にわたり 24g/日ずつ摂取し続けるという試験が行われましたが、試験期間中、下痢、鼓腸感、腹痛などの現象は認められず、腸内フローラの変化も認められませんでした<sup>10)</sup>。【2. 安全性】に記載した、ボランティア 18 名がパラチノース 79 g を摂取する試験においても下痢等の身体的異常が認められなかったことも考慮すると、パラチノースはヒトにおいても小腸でほぼ完全に消化吸収され、大腸まで到達しない、下痢の原因にならない糖質であると考えられます。

ラットを用いてパラチノースの吸収・代謝に関する呼気試験も行われています。パラチノースは、スクロースと比較して緩やかに吸収・代謝されるものの、スクロースと同様ほぼ全量が小腸で消化・吸収後に代謝されること<sup>11)</sup>、そして体内でスクロースと同様に利用されていることが確認されています<sup>12)</sup>。

## 4. カロリー

パラチノースは小腸で完全に消化吸収され、食物繊維としての働きが無いこと<sup>10)</sup>、また糖アルコールでは無いことから、4 kcal/g<sup>\*</sup>と表示されます。

※炭水化物の栄養表示基準における栄養成分等の分析法は、平成 11 年 4 月 26 日衛新第 13 号新開発食品保健対策室長通知により定められています。この通知によると、炭水化物のうち難消化性でない糖質は、4 kcal/g と表示することになっています。逆に、難消化性糖質や食物繊維は、その消化特性を考慮したうえでカロリーを表示する必要があります。

## 5. 非う蝕性・抗う蝕性

パラチノースは歯にやさしい糖質として知られており、特定保健用食品（虫歯の原因になりにくい食品）の関与する成分として認められています。

虫歯は *Streptococcus mutans* 等の細菌（虫歯菌）がスクロースを原料にして歯の表面に細菌や不溶性グルカン※等からなる歯垢（プラーク）を形成すること、次に歯垢にスクロースが触れることで歯垢中の細菌がスクロースを代謝し歯垢内に酸を蓄積すること、そしてこの酸が歯の表面のエナメル質を溶かすことにより発生すると考えられています。

パラチノースは口腔内に歯垢が形成されている状態で歯垢に接しても、歯垢内の pH が虫歯が発生するとされる 5.5 以下に下がらないため、虫歯の原因にはなりません<sup>13)</sup>。また、パラチノースは歯垢の基になる不溶性グルカン形成の材料を阻害するため、歯垢の形成が抑制されます<sup>14)15)</sup>。さらに、パラチノースは、スクロースと共存したときにスクロースによるう蝕の発生を抑制（抗う蝕性）します（図 2）<sup>16)17)</sup>。

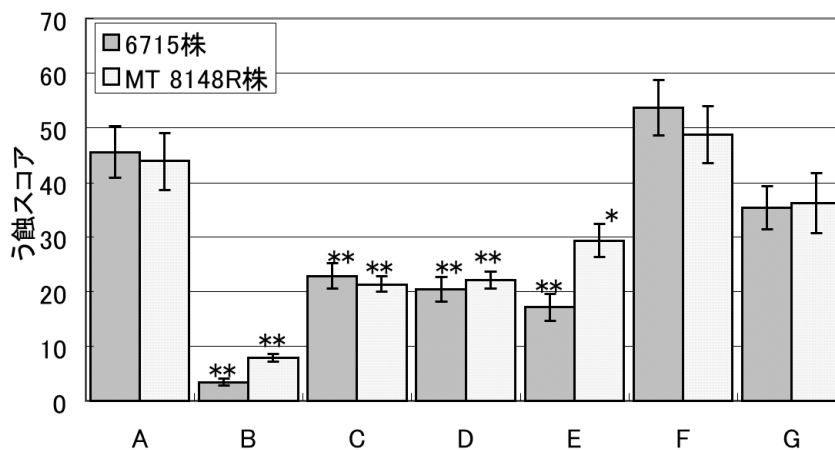


図 2 糖質によるう蝕スコアの比較

A: スクロース56%  
 B: パラチノース56%  
 C: グルコース56%  
 D: フルクトース56%  
 E: スクロース28%+パラチノース28%  
 F: スクロース28%+グルコース28%  
 G: スクロース28%+フルクトース28%

注 1) 実験日数: 55 日間 実験動物: 18 日齢のラット 10 匹/群使用

注 2) 統計学的有意差は、スクロース 56%群の値との比較 \*\*\*:p<0.001, \*\*:p<0.01, \*:p<0.05

注 3) う蝕スコアは、ラットの歯（12 本の臼歯）の損傷程度を表し、臼歯の欠損部分の面積と深さの積から算出した。

~20: ほとんど虫歯は無い、20~30: 歯の裂孔部に明らかな欠損がある。40~60: かなりひどい虫歯である

※不溶性グルカン中には虫歯菌以外にも多数の細菌が存在し、全体として歯垢（プラーク）と呼ばれます。歯垢中の細菌は 200 種類以上、細菌数は歯垢 1g あたり  $10^{11}$  個（1000 億個）といわれています。