

プレバイオティクスとフラクトオリゴ糖 ～シュガーリプレイスメントから免疫改善まで～

株式会社明治フードマテリア 機能性素材事業部 主任 倉重 恵子

【要約】

世界初のオリゴ糖素材であるフラクトオリゴ糖は、“ショ糖由来のおいしさ”および腸内フローラ改善機能をもつ“理想的なプレバイオティクス機能”を持ち合わせていることから、機能性食品としてのニーズが高まっている。その代表格であるフラクトオリゴ糖について、その製法、機能、用途などを紹介する。

はじめに

腸内フローラと健康についての仮説を光岡知足博士が提唱してから半世紀以上が経過している¹⁾。近年の腸活ブームの影響もあり、腸内フローラ改善機能をもつ「プレバイオティクス」が改めて注目されている²⁾。

本稿では、プレバイオティクスの定義、種類、効果について簡潔に述べるとともに、プレバイオティクスの代表格であるフラクトオリゴ糖について、その製法、機能、用途などを紹介する。

1. プレバイオティクスとは

難消化性オリゴ糖や水溶性食物繊維に代表される「有用細菌の増殖を促進、あるいは、有害菌を抑制することによって、宿主の健康に有利に働く非消化性食成分」はプレバイオティクスであると定義されている。これは、1994年、国際生命科学研究所(ILSI Europe) 主催の「腸内菌叢^{きんそう}：栄養と健康」と題するワークショップにおいて、GibsonとRoberfroidにより提唱されたものであり、翌年の1995年、彼らの総説において、その詳細が説明された³⁾。

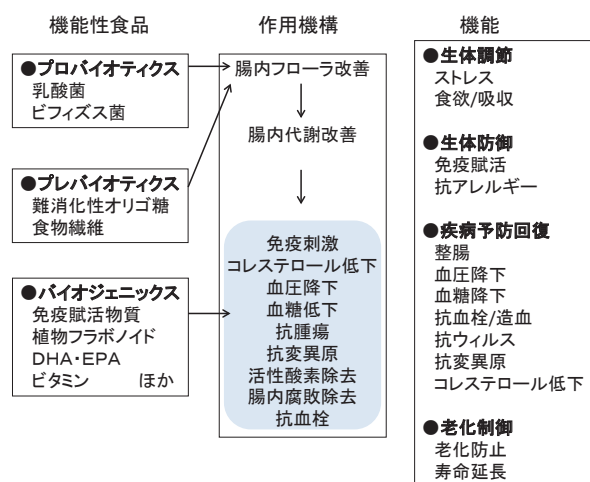
一方、ヨーグルトのように、「腸内フローラを改善し、宿主動物に有益に働くような生菌添加物（生きた善玉菌を含む食品）」はFullerにより「プロバイオティクス」と定義されている（1989年）⁴⁾。

また、効率的に腸内でビフィズス菌を増やすには、ビフィズス菌そのもの（プロバイオティクス）と、その餌になる難消化性オリゴ糖など（プレバイオティクス）とを同時に摂取することが有用である⁵⁾。これらの組み合わせは、後に「シンバイオティクス」と定義された⁴⁾。

さらに光岡博士は、菌体成分や発酵生成物の重要性に関する報告⁶⁾に基づき「直接あるいは腸内フローラを介して免疫賦活^{ふかつ}（注1）、コレステロール低下作用、血圧降下作用、整腸作用、抗腫瘍効果、抗血栓、造血作用などの体調調節、生体防御、疾病予防、老化制御などに働く食品成分」を「バイオジェニックス」と定義すると同時に、善玉菌の生産物質や善玉菌の死菌の有効性についても述べている⁷⁾。バイオジェニックスはプロバイオティクスが進化したものであり、プレバイオティクスとの組み合わせにより、からだ本来の力をも高められるものと大きく期待されている⁸⁾（図1）。

（注1）免疫機能を活性化させ、低下している防御力を増強すること。

図1 機能性食品の分類と作用メカニズム



資料：光岡知足（2002）『健康長寿のための食生活』岩波アクティブ新書 p93を基に筆者作成

2. プレバイオティクスとしての難消化性オリゴ糖と食物繊維

腸内細菌（とくに善玉菌）の大部分は大腸にすみついているため、プレバイオティクスは口から摂取された後に、消化液による分解を受けずに大腸まで到達しなければならない^{9、10）}。

1982年、株式会社明治（以下「明治」という）は「フラクトオリゴ糖が胃酸やヒト小腸内酵素により分解および消化されることなく大腸に到達し（難消化性）、乳酸菌やビフィズス菌など善玉菌の餌になり、腸内フローラを改善する」という知見を世界で初めて発見した^{11）}。

表1 各種プレバイオティクスの資化性

プレバイオティクス 腸内細菌	グルコース	フラクトオリゴ糖 (メイオリゴP)	1-kest トース	ニスト トース	1Fフラクト ニスト	ラク チュ ロース	ビートオリ ゴ糖 (ラフィ ノース)	ガラクト オリ ゴ糖	大豆 オリ ゴ糖	イソマ ルトオリ ゴ糖	キシロ オリ ゴ糖	ラクトス クロース (乳果オリ ゴ糖)	パラチ ノース	イヌリン	アカシア 食物繊維
Bifidobacterium（ビフィズス菌）															
B. Adolescentis	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	±	±
B. Bifidum	++	-	-	-	-	++	-	++	-	-	-	-	-	-	-
B. Infantis	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	±	++	++	±	-
B. Longum	++	++	++	++	±	++	++	++	++	+	++	++	+	-	++
B. Breve	++	+	++	++	-	++	++	++	++	++	-	++	++	-	-
Lactobacillus（乳酸桿菌）															
L. acidophilus	++	+	++	-	-	++	±	++	±	±	-	データなし	-	-	-
L. Plantarum	++	+	++	-	-	++	-	データなし	データなし	データなし	データなし	データなし	データなし	-	-
L. casei	++	-	-	-	-	++	-	++	-	-	-	-	-	-	-
L. Fermentum	++	-	-	-	-	+	+	+	データなし	データなし	-	データなし	データなし	-	-
L. Salivarius	++	+	++	-	-	++	++	++	++	-	±	-	-	-	-
Bacteroides（バクテロイデス属）															
B. Distasonis	++	++	++	++	++	++	++	+	+	+	+	++	±	+	-
B. fragilis	++	++	++	++	++	++	++	++	+	++	±	++	-	-	-
B. melaninogenicus	++	++	++	++	++	-	-	データなし	-	+	±	データなし	-	-	-
B. ovatus	++	++	++	++	++	++	++	+	-	±	+	データなし	データなし	++	-
B. thetaiotaomicron	++	++	++	++	++	++	++	++	++	+	+	++	±	++	-
B. vulgatus	++	++	++	++	++	++	+	+	-	+	-	++	-	-	-
Clostridium															
C. Butyricum	++	++	++	++	++	++	++	-	+	-	-	+	±	-	-
C. Difficile	++	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-
C. paraputrificum	++	-	-	-	-	+	-	-	-	++	-	-	-	-	-
C. Perfringens(ウェルシュ菌)	++	-	+	-	-	++	-	-	-	±	-	++	-	-	-
C. ramosum	++	+	++	-	-	++	+	データなし	データなし	++	データなし	データなし	データなし	-	-
C. sporogenes(スポロゲネス菌)	++	-	++	-	-	++	-	-	-	データなし	-	データなし	-	-	-
Escherichia															
E. coli（大腸菌）	++	-	-	-	-	++	-	++	-	-	-	-	-	-	-

資料：* 日高ら、フラクトオリゴ糖の腸内フローラに及ぼす影響、「理研腸内フローラシンポジウム4 腸内フローラと食物因子」（1984）

** 光岡知足、プレバイオティクスと腸内フローラ、腸内細菌学雑誌、16、1-10（2002）

注：表中の記号は以下の意味を指す。

++ グルコースと同様に増殖、+ 増殖するがグルコースより弱い、± わずかに増殖するのみ、- 増殖せず

フラクトオリゴ糖¹²⁾のほかにも、その後、ビートオリゴ糖（ラフィノース）¹³⁾、キシロオリゴ糖¹⁴⁾、ガラクトオリゴ糖¹⁵⁾、ラクトスクロース（乳糖果糖オリゴ糖）¹⁶⁾、大豆オリゴ糖¹⁷⁾、ラクチュロース¹⁸⁾などの難消化性オリゴ糖素材が開発された。

水溶性食物繊維であるイヌリン¹⁹⁾、アカシア食物繊維²⁰⁾を含めた各種プレバイオティクスの資化性を表1に示す^{21、22)}。なお、資化性とは、細菌などの栄養分となり得る性質のことを指しており、資化性が高いほど栄養分として細菌などが利用可能であることを示している。表1では最も一般的な栄養分であるグルコースと比較している。

フラクトオリゴ糖、ビートオリゴ糖（ラフィノース）、大豆オリゴ糖など、善玉菌（ビフィズス菌、乳酸菌など）の栄養源となり得る（資化性が高い）が、悪玉菌（大腸菌、ウェルシュ菌、スポロゲネス菌など）の栄養源とはならない（資化性がない）ことからオリゴ糖は、理想の「プレバイオティクス」といえるだろう²³⁾。また最近では、バクテロイデス菌（以前は日和見菌といわれていた）が免疫機能を成熟させる有用菌であるという報告もあり²⁴⁾、バクテロイデス菌の栄養源となるオリゴ糖についても大いに注目すべきである。

3. フラクトオリゴ糖とは

フラクトオリゴ糖は、自然界ではタマネギ、ニンニク、バナナ、ゴボウ、蜂みつなどの野菜や果物などに含まれる^{25、26)}、食経験豊富な素材である（表2）。

食品原料としてのフラクトオリゴ糖（素材）の研究は、今から40年以上前に開始された。1979年、明治は、太りにくく（難消化性・低カロリー²⁷⁾）、虫歯になりにくい（難^{しよく}う蝕性）²⁸⁾、砂糖に代わる新しい甘味料を得ることを目的として研究を開始した。1982年に「フラクトオリゴ糖が胃酸やヒト小腸内酵素により分解および消化されことなく大腸

表2 食品中のフラクトオリゴ糖含量

野菜・果物	可食部100g中の フラクトオリゴ糖含量（g）
ゴボウ**	3.6
タマネギ*	0.23
タマネギ**	2.8
ニンニク*	0.6
ライ麦*	0.7
バナナ*	0.3
ハチミツ*	0.75
トマト*	0.15

資料：* Judith E. et al., *Food Technology*, A PUBLICATION OF THE INSTITUTE OF FOOD TECHNOLOGIST, 85-89, (1994).

** 日高秀昌：治療学、14.635（1985）。

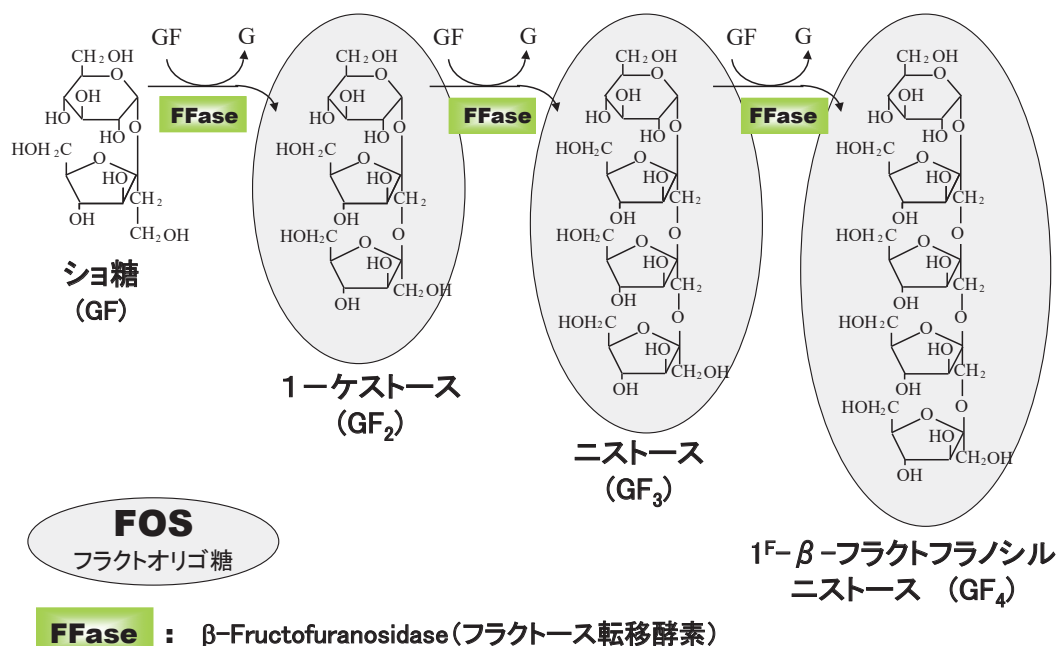
に到達し（難消化性）、乳酸菌やビフィズス菌など善玉菌の餌になり、腸内フローラを改善する」という知見を世界で初めて発見し¹¹⁾、1984年に「世界初の機能性オリゴ糖素材」として、フラクトオリゴ糖を商品化した²⁹⁾。フラクトオリゴ糖は、腸内フローラの改善³⁰⁾、短鎖脂肪酸の産生³¹⁾、便秘傾向者の排便回数増加³²⁾、下痢改善³³⁾、カルシウムやマグネシウムのミネラル吸収促進作用³⁴⁾、便臭軽減作用³⁵⁾、免疫改善作用³⁶⁾、血清脂質改善作用³⁷⁾、糖尿病予防作用と肥満抑制作用³⁸⁾ などさまざまな機能を有することが報告され、学会などで表彰されてきた（注2）。

（注2）昭和58年度日本澱粉学会学会賞、昭和62年度日本農芸化学会農芸化学技術賞、平成元年度科学技術庁長官賞、平成11年度日本栄養・食糧学会奨励賞、平成24年度日本応用糖質科学会二國賞など。

4. フラクトオリゴ糖の構造

フラクトオリゴ糖は、ショ糖（GF）のフラクトース残基に1～3分子のフラクトースが結合した3～5糖のオリゴ糖で、いわゆるフラクトースのオリゴ糖である。明治は、ショ糖にフラクトース転移酵素を作用することにより食品原料としてのフラクトオリゴ糖（素材）を製造している³⁹⁾。鎖長の短い

図2 フラクトオリゴ糖の構造と製造方法



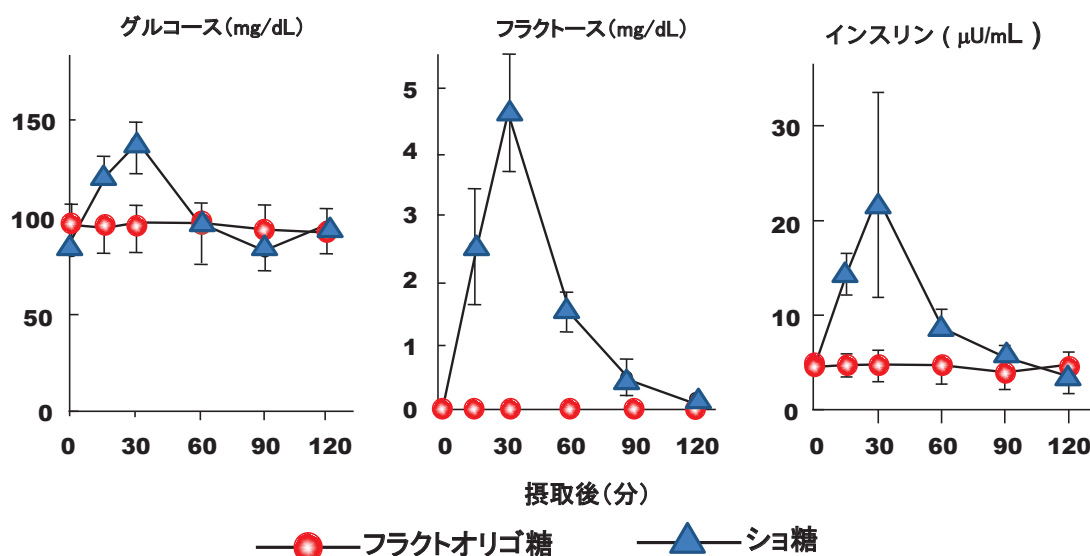
方より1-ケストース (GF₂)、ニストース (GF₃)、1^F- β フラクトフラノシルニストース (GF₄) と命名されるが、これらの総称がフラクトオリゴ糖である (図2)。これらの糖組成は酵素の種類による影響が大きく、先に述べた通りその構造や糖組成により資化性も異なる (表1)。

5. フラクトオリゴ糖の機能

(1) 血糖値を上げない・低カロリー

一般的な糖質が唾液や小腸から分泌される消化酵素で単糖まで分解され体内に吸収されるのに対し、プレバイオティクスは、これらの酵素では分解されずにそのまま大腸に到達することができる。フラクトオリゴ糖摂取後の血糖値および血中インスリンを

図3 フラクトオリゴ糖摂取による血糖値および血中インスリン値への影響



測定したところ、対照のグルコースの場合は摂取後急速にこれらの値が上昇したが、フラクトオリゴ糖の場合はいずれも上昇が認められなかった^{27, 40, 41)} (図3)。

Glycemic Index (GI値)⁴²⁾ は、70以上の食品が高GI食品、56～69の間の食品が中GI食品、55以下の食品が低GI食品と定義されている⁴³⁾。フラクトオリゴ糖のGI値はほぼ0であり (図3)、フラクトオリゴ糖は難消化性糖質で血糖値を上げないため、血糖値が気になる人にも安心して使用できる糖質だと言える。

(2) 難う蝕性 (虫歯になりにくい性質)

う蝕 (虫歯) は、*Streptococcus mutans* のもつ酵素によってショ糖から不溶性グルカンと呼ばれる粘着性物質ができ、菌体とともに歯垢^{しこう}として歯の表面に付着することからはじまる。不溶性グルカンはさらに *Streptococcus mutans* のもつ別の酵素により乳酸などの有機酸に変化し、エナメル質を溶かす (脱灰) ことで虫歯が発生する。フラクトオリゴ糖は *Streptococcus mutans* による資化を受けにくく、不溶性グルカン生成はまれである。また、乳酸の生成がショ糖と比較してかなり少ないことから、フラクトオリゴ糖は虫歯の原因となりにくい難う蝕性糖質と言える⁴⁴⁾。

(3) 整腸効果 (トクホ、機能性表示)

フラクトオリゴ糖を1日に1グラム、2週間摂取することにより、ビフィズス菌が有意に増えたと報告されている³⁵⁾。1993年には、フラクトオリゴ糖を有効成分とした商品が、「おなかの調子を整える」という整腸機能をうたった特定保健用食品 (トクホ) 第一号となった。さらに、2005年にフラクトオリゴ糖は、規格基準型トクホ素材として認められており⁴⁵⁾、近年では機能性表示食品の実績も増えてきている。

一方、低年齢層への応用例としては、1988年よ

り現在に至るまで、フラクトオリゴ糖を配合した育児用調製粉乳 (粉ミルク) が販売されており、フラクトオリゴ糖入り粉ミルクの摂取により、人工栄養児の便性状が母乳栄養児のものに近づくと効果が疫学調査で明らかになっている⁴⁶⁾。

(4) 短鎖脂肪酸産生によるミネラル吸収促進効果 (トクホ、機能性表示) など

大腸内でフラクトオリゴ糖が発酵 (資化) される際、腸内細菌による発酵代謝産物として、短鎖脂肪酸 (酢酸、プロピオン酸、酪酸など) が産生される⁴⁷⁾。食事から直接摂取・吸収される短鎖脂肪酸が一時的かつ不連続なものであるのに対し、腸内細菌の代謝産物である短鎖脂肪酸は、生体内の短鎖脂肪酸の定常的な供給源となっていると言われている⁴⁸⁾。

短鎖脂肪酸が産生されることにより大腸内の水素イオン指数 (pH) が低下すると、カルシウムやマグネシウムなどのミネラルがより溶けやすくなり、吸収が促進されることが報告されている³⁴⁾。2000年に「ミネラルの吸収促進」機能がトクホ表示として許可され、先述の「おなかの調子を整える」機能とともに、ダブルトクホ商品が誕生したほか、機能性表示食品にもなっている。

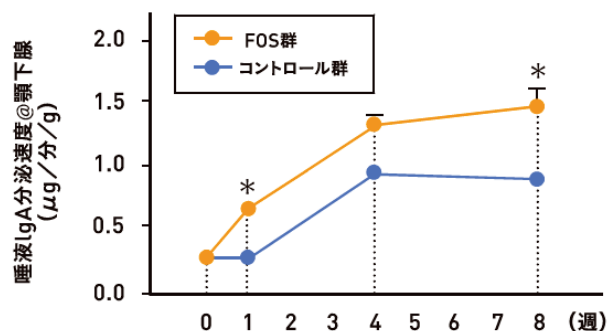
近年では、短鎖脂肪酸が宿主のエネルギー代謝調節に重要な役割を果たしていること、免疫機能やエピゲノム制御^(注3)にまで影響を及ぼす可能性があることが報告されている⁴⁹⁾。

(注3) ゲノムDNAの可逆的な化学修飾の一つでゲノムDNA中の遺伝子をRNAに転写する度合いを制御する仕組み。

(5) 唾液中の免疫グロブリン A (IgA) 分泌促進による感染予防の可能性

フラクトオリゴ糖の継続摂取により、唾液中のIgAが増加することがラット^{がっか}顎下腺において報告されている⁵⁰⁾ (図4)。メカニズムとして、腸管内で

図4 フラクトオリゴ糖（FOS）摂取による唾液IgA分泌速度



資料：Nutrients 2016 Aug 17;8(8)より筆者改変
注：p<0.05

短鎖脂肪酸が重要な役割を果たす「腸-唾液腺相関」が提唱され、腸管内での短鎖脂肪酸が重要な役割を果たす可能性が示唆された⁵⁰⁾。IgAは粘膜免疫の主役であり、とくに唾液中IgAは口腔や上咽頭におけるウイルスや細菌などの侵入を粘膜表面で抑制するため、フラクトオリゴ糖による上気道感染症の感染予防可能性が考えられた。

（6）保湿性機能、でん粉老化抑制機能ほか

フラクトオリゴ糖は、保湿性機能やでん粉老化抑制機能を持つことから、パン、ケーキ、ようかん、まんじゅうなどへの利用により、硬くなりにくい食品をつくることが期待できる⁵¹⁾。さらに、フラクトオリゴ糖は還元末端をもたないため、グルコースなどと比較してメイラード反応をおこしにくく着色度が低いのも特長である⁵²⁾。

6. 一日の上限摂取量の目安

フラクトオリゴ糖は難消化性の糖質であるため、一度に大量摂取した場合、一過性の下痢が誘発される可能性がある。下痢を生じさせない最大摂取量（最大無作用量）は、体重1キログラムあたり成人男性で0.3グラム、成人女性で0.4グラムと報告されている⁵³⁾。体重60キログラムの成人男性であれば一日18グラム、体重50キログラムの成人女性であ

ば一日20グラムが上限摂取量の目安である。どんな食品においても過剰摂取には気を付けたい。

7. 商品化された明治のフラクトオリゴ糖の安全性

（1）アレルギー物質なし、遺伝子組み換えなし

明治のフラクトオリゴ糖は、サトウキビ生まれのショ糖を原料とし、アレルギー義務・推奨表示27品目を含まない。また、遺伝子組み換え作物も使用されていない。

（2）長い食経験

このフラクトオリゴ糖は1984年の発売以来、国内外の多くの加工食品に利用されており、オリゴ糖としての長期の使用実績がある。また、フラクトオリゴ糖は、タマネギ、ニンニク、バナナをはじめ人々が日常生活で食する機会の多い野菜や果物にも含まれており^{25, 26)}、十分な食経験があるといえる。

（3）トクホ第一号、オリゴ糖初のGRAS取得

国内では厚生労働省から承認を受けた明治のフラクトオリゴ糖をトクホの関与成分とした商品が多数あり、米国ではFDA（米国食品医薬品局）からGRAS^{（注4）}の認定がなされている（オリゴ糖としては初の認証取得、2000年）。また、2023年2月現在、有害事象の報告はない⁵⁴⁾。

（注4）Generally Recognized As Safeの略称。米国における食品安全に関する認証制度。

（4）安全性試験実施済み

マウス・ラットを用いた急性毒性試験、慢性毒性試験において安全性が確認されている⁵⁵⁾。

8. 最近のトレンドと市場動向

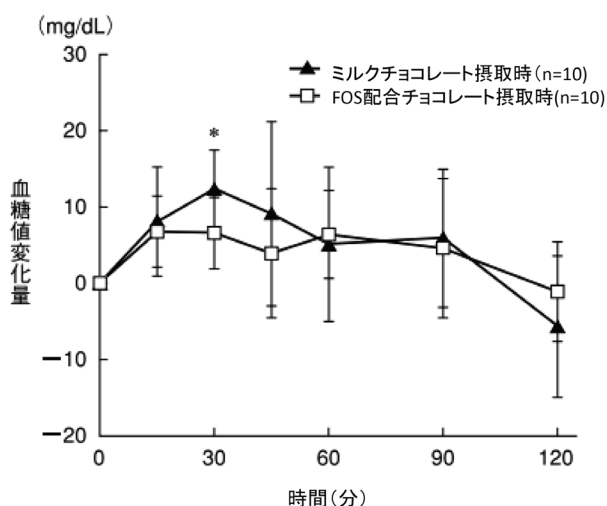
(1) ショ糖由来のおいしいシュガーリプレイスメント

フラクトオリゴ糖の味質はショ糖に近く、上質な甘みをもち、立ち上がりがよく切れも良く、ショ糖と同程度の耐熱性を有しているため、欧米ではかねてより砂糖の代替品（シュガーリプレイスメント）として広く利用されている。

国内でも年々シュガーリプレイスメント商品が増えており、砂糖の半量をフラクトオリゴ糖に置き換えたチョコレート（FOS配合チョコレート）は、一般的なミルクチョコレートと比較して血糖値の上昇が穏やかであるとともにインスリンの分泌も有意に低下することが報告されている⁵⁶⁾（図5、図6）。

なお、甘味度は砂糖100に対し30であり、栄養成分表に表記されるエネルギーは100グラム当たり220キロカロリーとなっている。

図5 チョコレート摂取による血糖値への影響



資料：薬理と治療, 2019;47 (7): 1075-1078. より改変

注1：平均値±標準偏差。

注2：*P<0.05。

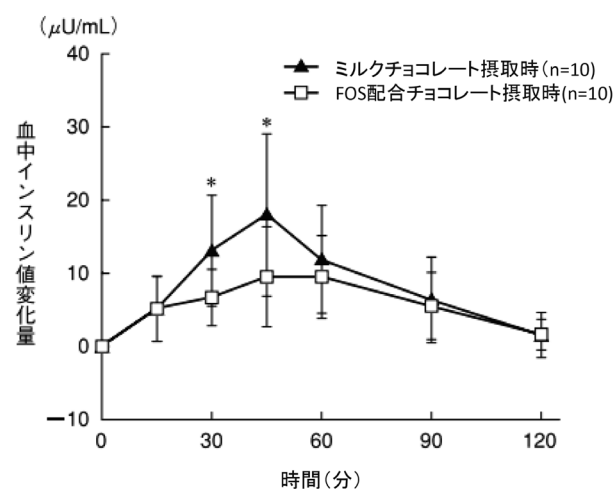
(2) オリゴ糖または低分子量水溶性食物繊維

国際食品規格（コーデックス）食品委員会では、「(ヒトの酵素では消化できない) 重合度3から9の低分子量炭水化物を食物繊維に含めるか否かは、各国当局の判断による」としており⁵⁷⁾、欧米では従来フラクトオリゴ糖は水溶性食物繊維に分類されていた。日本においては、食品表示における食物繊維の分析法を考慮して、重合度3から9の炭水化物は（低分子量水溶性）食物繊維とみなした（日本食品標準成分表2015年版〈七訂〉追補2018）ことから、フラクトオリゴ糖の食品表示においては販売者の意思で「オリゴ糖」または「食物繊維」を選択できるようになった。

(3) シンバイオティクス効果

近年、シンバイオティクス効果を期待したフラクトオリゴ糖入りのヨーグルトや乳酸菌飲料が増えている。超高温瞬間殺菌法やチルド流通での安定性が

図6 チョコレート摂取による血中インスリン値への影響



資料：薬理と治療, 2019;47 (7): 1075-1078. より改変

注1：平均値±標準偏差。

注2：*P<0.05。

表3 フラクトオリゴ糖の安定性

温度 pH	180℃ 3秒	170℃ 3秒	150℃ 15分	140℃ 3秒	130℃ 3秒	120℃ 15分	110℃ 15分	100℃ 15分	90℃ 15分	80℃ 15分	70℃ 15分	40℃ 1ヶ月	40℃ 2ヶ月	20℃ 1ヶ月	20℃ 3ヶ月	5℃ 2ヶ月	5℃ 3ヶ月
5.5 以上	○	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
5					◎	○	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
4				◎	◎	×	×	○	◎	◎	◎	△	×	◎	○	◎	◎
3					◎	×	×	×	×	○	◎	×	×	△	×	◎	○

資料：徳永「食品と科学」1991増刊号
注：空欄：データなし、◎：残存率90%以上、○：残存率70%以上、△：残存率50%以上、×：残存率50%以下

確認されている。フラクトオリゴ糖の加熱安定性および保存安定性を表3に示す⁵¹⁾。

健康食品に関しては、ビフィズス菌や乳酸菌のほか、酪酸を多く産生する酪酸菌との組み合わせ商品も上市されている。

9. 今後の展望：進化型プレバイオティクス

(1) “べたつかない”のに“溶けやすい”物性面での進化

一般的にオリゴ糖は吸湿性が高く潮解しやすいため、最終商品形態が限定されている。

そこで、明治では先述のフラクトオリゴ糖とアカシアファイバー（水溶性食繊維）とを組み合わせ加工し、物性面と機能面で進化を遂げた、新しい食品素材を開発した^{58、59)}。

フラクトオリゴ糖自体は分解や修飾を受けていないにもかかわらず、“べたつかない”ため、健康食品をはじめとした吸湿をきらう食品にも使いやすく、また“溶けやすい”ため、粉末ドリンクにも使いやすいという物性面での特長を持っている^{60、61)}。こういった商品の誕生により、オリゴ糖の用途が広がった。

(2) “相乗的プレバイオティクス”機能面での進化

フラクトオリゴ糖の大部分が大腸の前半部（上行結腸）で細菌の栄養源として利用されるのに対し、アカシアファイバーは、中・後半部（横行・下行結腸）で利用される⁶²⁾（図7）。

また、フラクトオリゴ糖とアカシアファイバーの同時摂取は、おののお単独摂取時よりも相乗的にビフィズス菌を増やすと、ヒト臨床試験において報告されている⁶³⁾。フラクトオリゴ糖とアカシアファイバー両者を含む商品は、上行結腸から下行結腸まで、ゆっくりと大腸全域で資化されながら大腸全体に善玉菌発酵産物（短鎖脂肪酸）を行き渡らせ“相乗的なプレバイオティクス”効果をもたらすことが期待されている。

おわりに

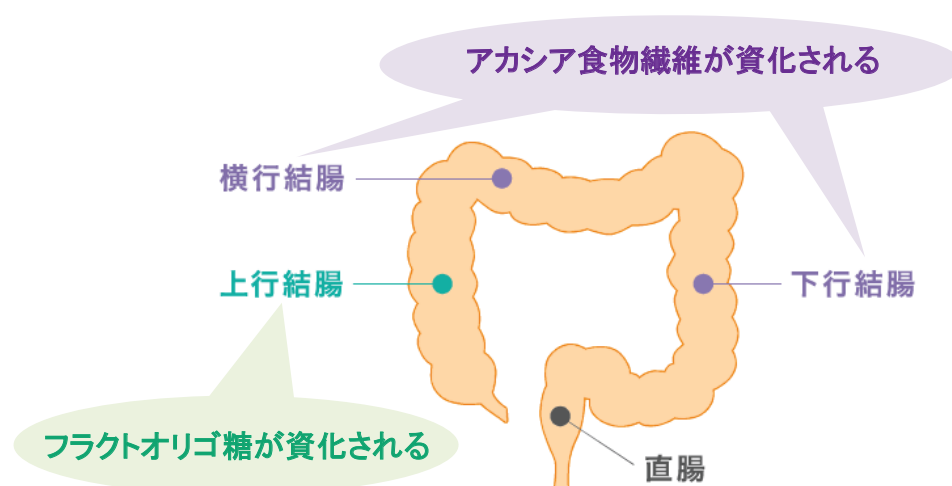
健康で快適な生活を送るためには、腸を丈夫にすることが一番良いと昔からいわれている。腸の中でもとりわけ大腸内のフローラを改善し、大腸のあらゆる部位に幅広く発酵産物（短鎖脂肪酸）を存在させることが重要であり、大腸で働くプレバイオティクスに期待が高まっている。

近年では、アスリートの運動コンディション⁶⁴⁾、

宇宙環境での健康⁶⁵⁾、肥満⁶⁶⁾、うつ病⁶⁷⁾ などと腸内フローラとの関係性についての研究も行われており、プレバイオティクスの新たな用途可能性が広がりそうだ。

フラクトオリゴ糖やフラクトオリゴ糖を活用した製品を通して「おいしさ、楽しさ、健康、安心」を提供し、世界中のすべての人々の「こことからだの健康」に貢献していきたい。

図7 フラクトオリゴ糖の進化型商品の大腸全域での働き



参考文献

- 1) Mitsuoka T., *Zbl Bakt Hyg I Orig*, A 210, 32-51 (1969).
- 2) 福田真嗣ほか, 医と食, 9 (4), 178-185 (2017).
- 3) Gibson GR. *et al.*, *J Nutr* 125, 1401-1412 (1995).
- 4) Fuller R., *J Appl Bacteriol* 66, 365-378 (1989).
- 5) 田村善蔵, 小児科診療, 47 (5), 717-722 (1984).
- 6) 荒井幸一郎ほか, 腸内フローラと発癌, 光岡知足編, p105-123, 学会出版センター (1981).
- 7) 光岡知足, 腸内フローラとプロバイオティクス, 光岡知足編, p1-13, 学会出版センター (1998).
- 8) 田代靖人ほか, プロバイオティクス・プレバイオティクス・バイオジェニクス, 光岡知足編, p115-128, 公益財団法人日本ビフィズス菌センター (2006).
- 9) 光岡知足, フラクトオリゴ糖国際シンポジウム講演記録集, 1-10 (2001).
- 10) 光岡知足, 腸内菌の世界-嫌気性菌の分類と同定, 叢文社 (1980).
- 11) 足立堯, ジャパンフードサイエンス, 22, 71-78 (1983).
- 12) 古賀仁一郎, 食品と容器, 51 (12), 724-730 (2010).
- 13) 藤崎裕之ほか, ビフィズス, 8, 1-5 (1994).
- 14) 安田隆, オリゴ糖の新知識, 早川幸男編, p261-271, 食品化学新聞社 (1989).
- 15) 小沢修ほか, 日本食品工業学会誌, 36, 898-902 (1989).
- 16) 藤田孝輝ほか, 澱粉科学, 38, 1-6 (1991).
- 17) 高野豊ほか, 日本食品工業学会誌, 38, 681-686 (1991).
- 18) Mizota T. *et al.*, *Milchwissenschaft*, 57 (6), 132-135 (2002).
- 19) フジ日本精糖株式会社, 食品と開発, 52 (1), 68-69 (2017).
- 20) 高草純生, Food style 21, 17 (1), 81-84 (2013).
- 21) 光岡知足, 腸内細菌学雑誌, 16, 1-10 (2002).
- 22) 日高秀昌ほか, フラクトオリゴ糖の腸内フローラに及ぼす影響, 「理研腸内フローラシンポジウム4 腸内フローラと食物因子」 (1984).
- 23) 倉重 (岩崎) 恵子, 医と食, 9 (4), 198-203 (2017).

-
- 24) 細野朗, 腸内細菌学雑誌, 27, 203-209 (2013).
 - 25) Judith E. et al., *Food Technology*, 48 (1), 85-89 (1994).
 - 26) 日高秀昌, 治療学, 14 (5), 635-638 (1985).
 - 27) 山田和彦ほか, 消化と吸収, 13, 88-91 (1990).
 - 28) 平澤正知ほか, 第2回ネオシュガー研究会報告, ネオシュガー研究会, p21-28 (1984).
 - 29) 株式会社明治フードマテリア「世界初の機能性オリゴ糖メイオリゴ」 < <https://www.meijifm.co.jp/products/material/oligo/meioligo/> > (2023/3/15アクセス)
 - 30) 日高秀昌ほか, フラクトオリゴ糖の腸内フローラに及ぼす影響. 腸内フローラと食物因子-腸内フローラシンポジウム 4, 学会出版センター, p39-68 (1984).
 - 31) Hidaka H et al., *Bifidobacteria Microflora*, 10, 65-79 (1991).
 - 32) 尾池洋美ほか, 健康・栄養食品研究, 2, 43-51 (1999).
 - 33) Oku T. & Nakamura S, *Food Nutr J*, FDNJ-128 (2017).
 - 34) 太田篤胤, 日本栄養・食糧学会誌, 52, 387-395 (1999).
 - 35) 徳永隆久ほか, ビフィズス, 6, 143-150 (1993).
 - 36) Hosono A. et al., *Biotechnol. Biochem.*, 67, 758-765 (2003).
 - 37) Fukasawa T. et al., *J. Agric. Food Chem.*, 55, 3174-3179 (2007).
 - 38) Kaji I. et al., *J Mol Histol.*, 42, 27-38 (2011).
 - 39) 日高秀昌, 栄田利章, *Bio Industry*, 1, 5-13 (1984).
 - 40) Oku T. et al., *J Nutr*, 114, 1574-1581 (1984).
 - 41) Tokunaga et al., *J Nutr*, 119, 553-559 (1989).
 - 42) Jenkins DJ et al., *Am J Clin Nutr* 34 (3), 362-366 (1981).
 - 43) Jennie C Brand-Miller et al., *Am J Clin Nutr* 89 (1), 97-105 (2009).
 - 44) 平澤正知: 第2回ネオシュガー研究会報告 (ネオシュガー研究会, 東京) (1984) p.21
 - 45) 食安発第0701007号; 平成17年7月1日
 - 46) 土屋文安, 山本良郎, 小児保健研究, 52, 465-471 (1993).
 - 47) Younes H. et al., *Br J Nutr*, 75, 301-314 (1996).
 - 48) Layden BT. et al., *Transl Res.*, 161, 131-140 (2013).
 - 49) Shimizu H. et al., *Glycative Stress Research*, 6 (3), 181-191 (2019).
 - 50) Yuko Y. et al., *Nutrients*, 8 (8), 500, doi: 10.3390/nu8080500 (2016).
 - 51) 徳永隆久, 「食品と科学」1991増刊号 (1991).
 - 52) 倉重恵子, 機能性食品素材有効利用技術シリーズ, オリゴ糖Ⅱ・Ⅲ, p6-28, 一般社団法人菓子・食品素材技術センター発行 (2015).
 - 53) 秦葭哉, 中島久美子, *Geriatr. Med.* (老年医学), 23, 817-828 (1985).
 - 54) 国立研究開発法人医薬基盤・健康・栄養研究所, 「健康食品」の安全性・有効性情報, <<https://hfnet.nibiohn.go.jp/contents/indiv.html>>
 - 55) 武田植人ほか, ネオシュガー研究会報告, p17-27, ネオシュガー研究会 (1982).
 - 56) 栗原毅ほか, 薬理と治療, 47 (7), 1075-1078 (2019).
 - 57) 第16 回食品成分委員会 資料6, 文部科学省科学技術・学術政策局政策課資源室 (2018.10.30)
 - 58) Kurashige I.K., *ICoFF 2015 Program Book*, p27 (2015).
 - 59) 高橋美智子ほか, 分析化学, 65, 667-670 (2016).
 - 60) 株式会社明治フードマテリア「オリゴとアカシア: 機能性オリゴ糖の明治」 <<https://www.meijifm.co.jp/products/material/oligo/meioligo/acacia/>> (2023/3/15アクセス)
 - 61) 倉重 (岩崎) 恵子, 食品と開発, 51, 11-13 (2016).
 - 62) Kathleen T. et al., *Environmental Microbiology Reports*, 5, 595-603 (2013).
 - 63) Rochat F. et al., *In Congress of Probiotic Medicine, Anaheim, CA*, (2001).
 - 64) Roberts J.D. et al., *Nutrients*, 8 (11), pii:E733 (2016).
 - 65) 加藤完ほか, 2014年度宇宙医学研究センター 年次活動報告, p19 (2015).
 - 66) Ley R.E. et al., *Nature*, 444, 1021-1023 (2006).
 - 67) Aizawa E. et al., *J Affect Disord.*, 202, 254-257 (2016).
-