

# ビフィズス菌の機能とその利用について

## The Biological Function of Bifidobacterium and their Use in Milk Products

八 木 直 樹  
Naoki YAGI

### はじめに

われわれは、生きていくために毎日、数多くの食物を摂取している。食物の通路にあたる体内の消化器管には、食物およびその分解物が通過するために、それらを栄養源とする微生物が数多く生棲し、およそ100種類・100兆個、重さにして1～1.5 kgにおよぶ微生物の存在が見られる<sup>1)</sup>。

そのうちの大半は、バクテロイデスとか、ユウバクテリウム、嫌気性連鎖状球菌、ビフィズス菌といった嫌気性菌（酸素が存在する条件下では生育できない菌）であるが、腸球菌、大腸菌、乳酸桿菌といった通性嫌気性菌（酸素の有無に関係なく生育する菌）も数多く生棲している。

小腸下部から大腸にかけての存在が特に著しく、そこに生棲する細菌を腸内細菌と呼んでいる。

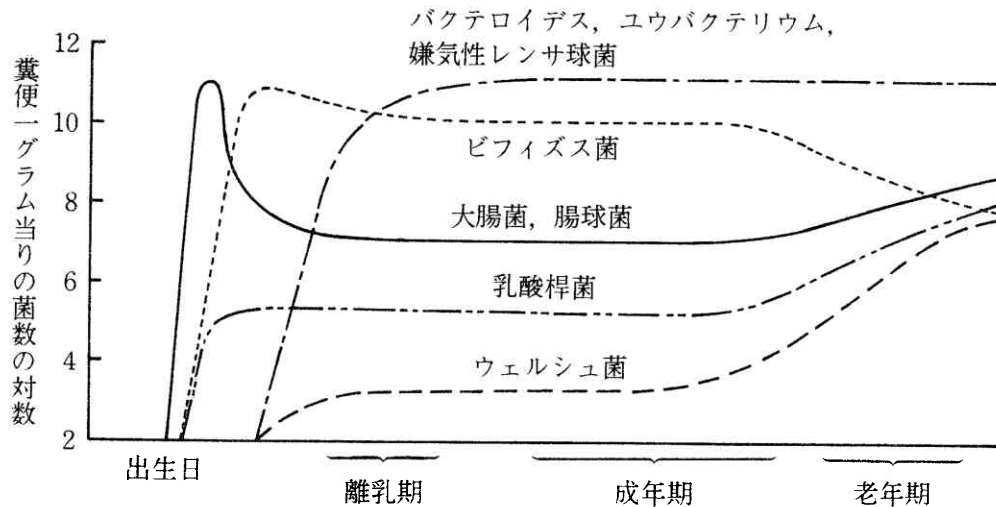
腸内細菌の種類や数など、その分布状況は、食物や年齢などの影響を受けて変化するが、腸内細菌の菌体成分や代謝産物が、菌種によってヒトの健康に与える影響がことなるので、有益な役割を果たす菌の増大と、有害な作用をする菌の排除が、健康を維持するうえで重要となる。

有益な役割を果たす菌の代表として、ビフィズス菌が注目を集めており、ビフィズス菌についての研究も最近著しい進展をみせ多くの報告がなされている。またビフィズス菌を利用して、製品化する実用的な面での技術研究も進んで、これら製品を日常容易に入手することも可能となっている。そこで、ビフィズス菌に対する認識を深め、十分にその有する機能が発現されるような製品づくりに役立つよう、利用に当たっての問題点などを最近の資料をもとに以下紹介してみたいと思う。

### 消化管内での腸内細菌の分布の様子

ヒトの腸内菌叢は、食べ物、年齢、消化管部位などによって変化することはわかっているが、食べ物の種類によってどのように変化するかはまだわかっていない。また年齢についても個人差が大きく、同一に扱うことはできないが、平均的な傾向として見ることはできる。

## ビフィズス菌の機能とその利用について

図1 年齢とともに移り変わる腸内菌叢 (模式図)<sup>2)</sup>

各消化管の部位の菌叢についても、研究者によって報告がことなっていて一致していないが、光岡<sup>3)</sup>による「消化管各部の菌叢」がよく知られている。

それによると、空腹時の胃は、胃酸のためpHが3.0以下と低く、乳酸桿菌、連鎖状球菌、ペーヨネラ、大腸菌など耐酸性の細菌が胃液1グラム当たり $10^2 \sim 10^3$ 個存在するに過ぎない。しかし、食事によって胃内のpHが4.0以上になると、バクテロイデス、ビフィズス菌、ブドウ状球菌などが新たに加わって、胃液1グラム当たり $10^4 \sim 10^8$ に達する<sup>4)</sup>。

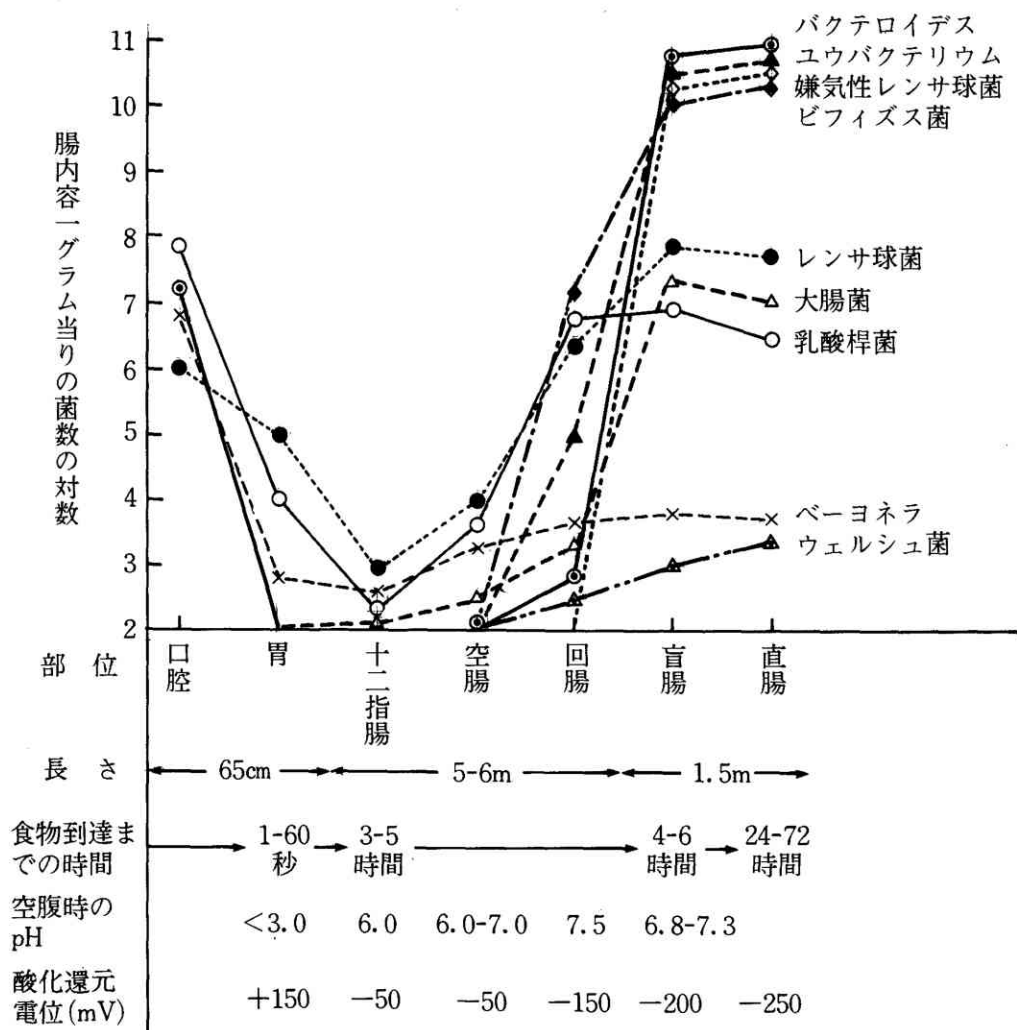
小腸上部である十二指腸や空腸では、胃から送り出された胃酸の影響、肝臓からの胆汁や腸粘膜から分泌されるリゾチームなどによって、菌数は低下し、連鎖状球菌、乳酸桿菌、ペーヨネラなど一部の菌種に限られ、その数も $10^4$ 以下に減少する<sup>5)</sup>。

小腸下部の回腸では、腸管内のpHがアルカリ側へと変化すると同時に、急激に菌数が増大する。菌叢を形成する菌は、小腸上部から送り出された乳酸桿菌、連鎖状球菌、ペーヨネラと、大腸内に棲息しているバクテロイデス、ビフィズス菌、ユウバクテリウム、嫌気性連鎖球菌などが混在している。

大腸(盲腸、結腸、直腸)では、今までの消化管内とは著しく様相を異にし、バクテロイデス、ビフィズス菌、ユウバクテリウム、クロストリジウムなどの嫌気性菌が $10^9 \sim 10^{11}$ /gで主力をなし、連鎖状球菌、ブドウ状球菌、乳酸桿菌などがそれに次いで多く、 $10^7 \sim 10^8$ /g位が検出される<sup>7)</sup>。

## 腸内細菌による有害物質の生成

ヒトの腸内には100種類、100兆個の細菌が棲みついているので、それら細菌が持っている酵素の種類は極めて多く、またその活性も著しく高いものとなっている。

図2 消化管各部位の菌叢<sup>8)</sup>

ヒトが摂取した食物は、生体内にある消化酵素によって変換されるが、同時に腸内細菌によっても変換される。

この場合、糖質では、単糖類まで分解されて吸収されるものと、難消化性のオリゴ糖や多糖類となって大腸まで到達し、酢酸、プロピオン酸、酪酸、炭酸ガス、水素ガスなどになるものがある。ラフィノース、イソマルトオリゴ糖、フラクトオリゴ糖、ガラクトシルラクトースなどのオリゴ糖は、腸内のビフィズス菌を増加させる作用があるなど、糖質の腸内細菌による代謝産物は、生体にとって著しい害作用のあるものがなく、逆に好ましい生理活性を示すものがある。

脂質では、ステロールが腸内細菌によって脱水素作用を受けて芳香族多環炭化水素となり、発癌性物質となる可能性が指摘されている<sup>8)</sup>。またステロイドからエストラジオール、エストロン、17-メトキシエストラジオールなどのホルモンになる可能性も考えられており、これが乳癌を引き起こすのではないかと考えられている<sup>9)</sup>。

ビフィズス菌の機能とその利用について

食餌成分のなかで窒素化合物は、腸内細菌によって有害物質に変えられ、各種疾病の原因となったり、免疫機能に影響を与える力大きい。

表1 食餌および生体成分より腸内フローラによって生成される主な代謝産物<sup>10)</sup>

| 糖 質             | 蛋白質,アミノ酸          | 脂 質                           |
|-----------------|-------------------|-------------------------------|
| Acetic          | Amines            | Secondary bile acids          |
| Propionic       | Ammonia           | Polycyclic aromatic compounds |
| Butyric         | Phenols           | Estradiol                     |
| Caproic         | Indole            | Estrone                       |
| Lactic          | Scatole           | 17-Methoxyestradiol           |
| Succinic        | Urea              | Cholestenone                  |
| CO <sub>2</sub> | Nitroso compounds | 3-Oxo-cho1-4-en-24-oic acid   |
| CH <sub>4</sub> | H <sub>2</sub> S  |                               |
| Aglycone        | Kynurenic acid    |                               |
|                 | Nitrite           |                               |

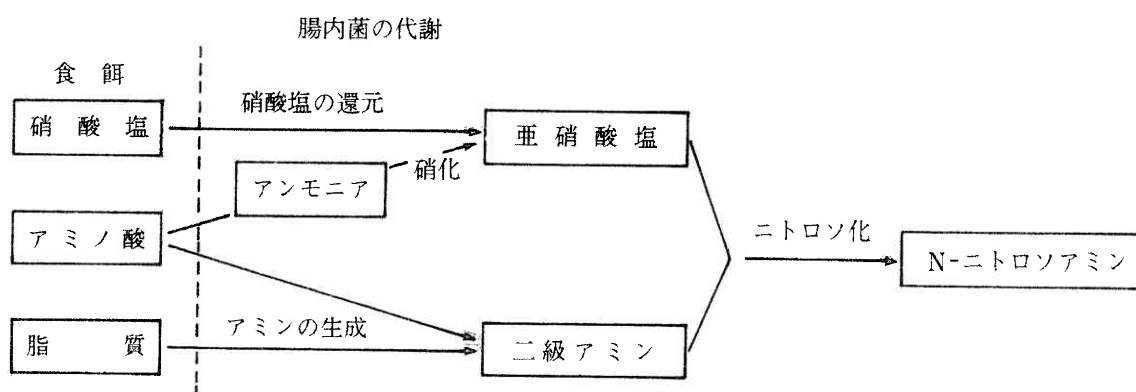


図3 腸内菌によるニトロソアミンの生成<sup>13)</sup>

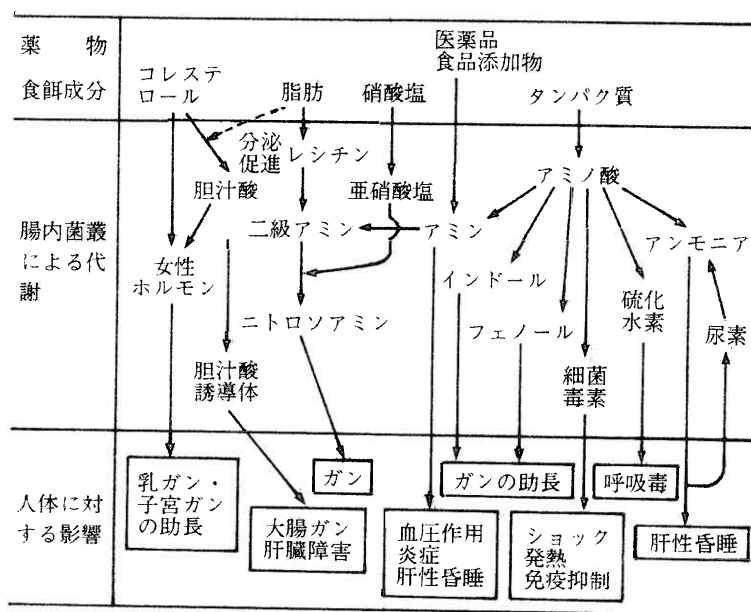


図4 腸内菌によって生成される有害物質とヒトに対する影響<sup>14)</sup>

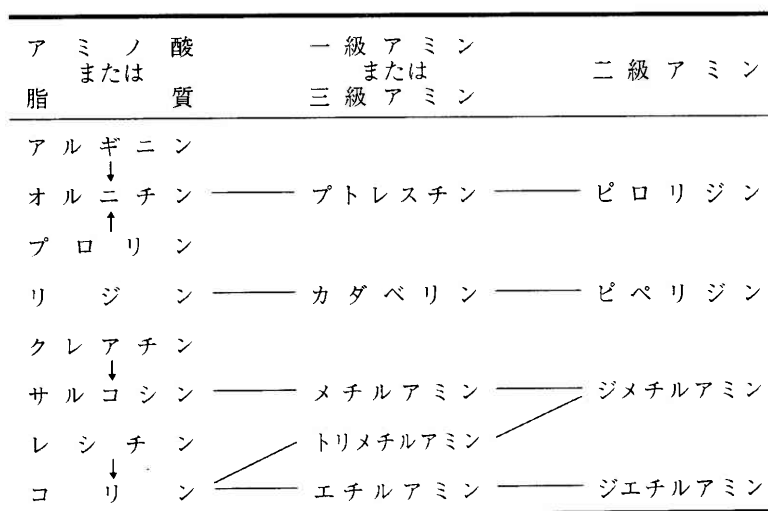
表2 腸内菌による窒素化合物の利用<sup>15)</sup>

| 基 質              | 菌 種  |
|------------------|--|
| アンモニア            | Bacteroides fragilis, B. vulgatus, B. distasonis,<br>B. thetaiotaomicron, B. rumincola group, Eubacterium spp.,<br>Peptostreptococcus productus, Selenomonas spp., Spirochaetaceae |
| 尿 素              | B. rumincola, P. productus, Eubacterium aerofaciens,<br>Ruminococcus albus, Clostridium innocum, C. soldellii,<br>C. perfringens, Escherichia coli, Klebsiella spp.                |
| 蛋 白 質<br>ア ミ ノ 酸 | Clostridium spp., E. coli, Proteus spp., Enterococcus faecalis<br>B. rumincola, Megasphaera elsdenii, B. fragilis group,<br>Ruminococcus bromii                                    |
| 硝 酸 塩            | Escherichia coli, Enterococcus, faecalis, B. fragilis group,<br>Mitsuokella multiacidus, Clostridium spp., Lactobacillus<br>fermentum, Staphylococcus aureus                       |
| 窒 素 ガ ス          | Klebsiella spp.  |

食餌成分の窒素化合物のなかの代表ともいえるタンパク質は、消化管のなかでペプチドやアミノ酸に分解される。アミノ酸は腸内細菌のもっているトリプトナーゼ<sup>11)</sup>やチロシナーゼ<sup>12)</sup>などの酵素によって更に変換されてインドール、フェノール、インドール酢酸、アミン、ニトロソアミンなどの有害腐敗物質となり、発癌促進物質となる。

腸内細菌によるニトロソアミン生成の模式図と、腸内細菌によって生成される有害物質とヒトへの影響を図4に示した。

腸内での窒素化合物の利用のされかたを見ると、アミノ酸を好んで利用する細菌よりも、アンモニア、尿素、硝酸塩を好んで利用する細菌の方が多いたことが表2に示されている。

図5 腸内菌によるアミンの生成<sup>17)</sup>

## ビフィズス菌の機能とその利用について

尿素は腸内細菌による分解の結果、炭酸ガスとアンモニアになり、硝酸塩は還元されて亜硝酸へと変化し、夫々図4に示したような人体へ悪影響を与えることになる。

腸内細菌による代謝の特徴は、腸内が強い嫌気的な環境にあるため、還元作用と加水分解が主となっており、アミノ酸や脂質からできる二級アミンに、亜硝酸が作用して発癌性の高いニトロソアミンが生成されるような合成反応は、例外的な存在といわれている<sup>16)</sup>。

## 腸管内でのビフィズス菌の役割

胎児の腸管内は無菌の状態にあるが、出生後約24時間頃には、外界から菌が侵入して腸内菌叢が形成される。この腸内菌叢は、年齢と共に変遷して図1に示したようになる。

ビフィズス菌は、1899年、フランスのTissierが、嫌気培養法で母乳栄養児の糞便を培養したときに初めて発見された。

Tissierがビフィズス菌を発見する以前から、母乳栄養児と人工栄養児とでは、前者が数倍も死亡率や罹患率の低いことがわかっていた。わが国の報告でも、成熟児では1：3、未熟児では1：4の比率の死亡率となっている<sup>18)</sup>。

このような死亡率、罹患率の相違は、Tissierによるビフィズス菌の発見以来、腸内のビフィズス菌存在の優劣によるものとされてきた。

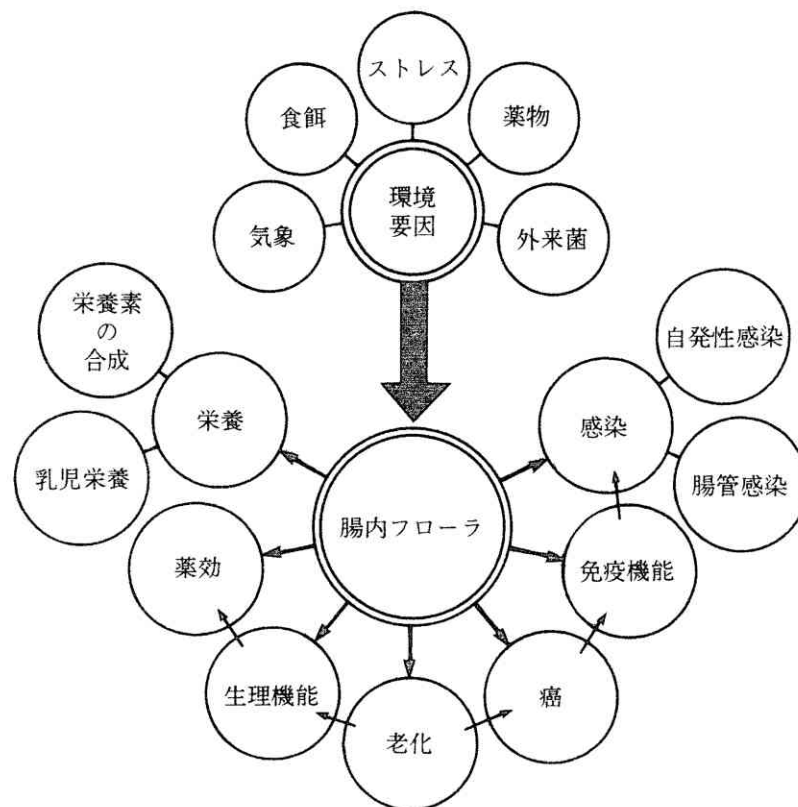


図6 環境要因・腸内フローラ・宿主の関係

また一方で、無菌動物の飼育の研究が進み、腸内が無菌であるネズミは、普通のネズミの約1.5倍の寿命があり、癌にかかる時期も遅れることがわかってきた。

このことがきっかけとなって、無菌動物を使用して、腸内菌叢と健康との関係についての研究が盛んに行われるようになった。

光岡は<sup>19)</sup>、腸内菌叢のバランスが、環境要因によって変化し、この変化によってヒトの代謝にも影響が現れて、生理機能、発癌、老化、免疫、感染など多岐にわたって関係することを図6にまとめている。

このように、ヒトは腸内に棲む多種多様で、有益あるいは有害な役割を果たす細菌と共に生きていかねばならないが、有益な役割を果たす菌を増やして有害な菌を排除することがヒトの健康を維持するうえで重要なこととなる。幸なことにビフィズス菌は、生後直ちに腸内に棲みつき、急激に増大して生後4～5日目には腸内最優勢な菌となり、腸内菌叢の約40%を占める状態となる。ビフィズス菌が優勢になる程、他の細菌群は減少するという拮抗作用があり、成人期までバクテロイデス、ユウバクテリウム、嫌気性連鎖球菌などと共に、腸内で優勢を維持する。

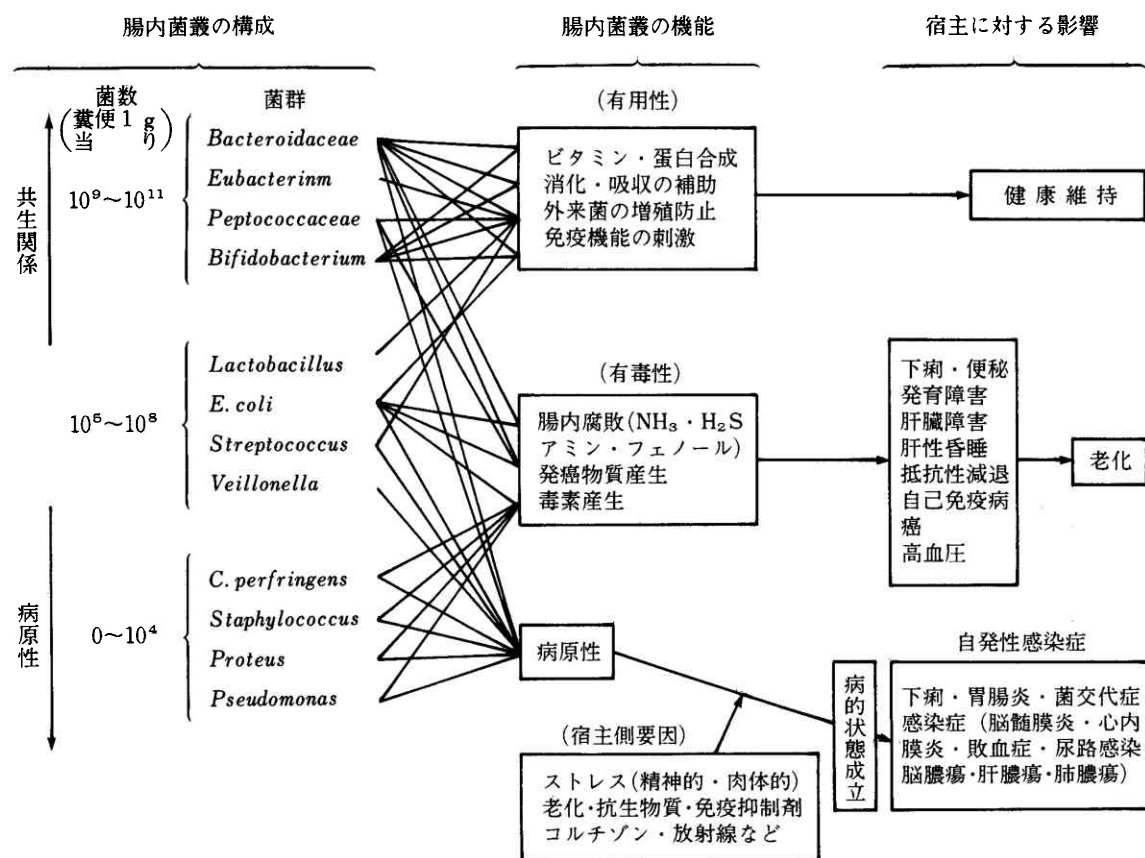


図7 腸内菌と宿主とのかかわりあい<sup>20)</sup>

ビフィズス菌の機能とその利用について

しかし、老人期に入ると、ビフィズス菌は著しく減少若しくは消失し、かわって成人期には僅かしか認められなかったウエルシュ菌が増大してくる。このような腐敗菌の増大によって、硫化水素、インドール、アンモニア、アミン、フェノールが多量に産出され、これが腸管から吸収されて益々老化を速める結果となる。

ビフィズス菌は、有害な代謝産物をつくらないだけでなく、ウエルシュ菌などの有害細菌の増殖を強く抑制するので、老人期に至ってもビフィズス菌優勢な菌叢につくり変え、それを維持することが、老化防止、健康維持のために必要なことである。

腸内に棲息するそれぞれの菌が、ヒトにどのような影響を与えているか、そしてその中でビフィズス菌が如何なる役割を果たしているかを、図7に示した。

ビフィズス菌の種類と、それらの生理的特徴

1899年、フランスのTissierは、母乳栄養児の糞便を嫌氣的に培養して、今迄に知られていない全く新しい菌が多数存在することを発見し、この菌をBacillus bifidus communisと命名した。これがビフィズス菌の最初の発見である。しかし、ビフィズス菌が乳酸菌のLactobacillusとよく似ていることから、乳酸菌の一種としてLactobacillus属に属する菌として取り扱われてきた。同時にビフィズス菌は、一種類ではなく、幾種類が存在することもわかってきた。

そしてこれらの菌を整理して分類してみると、生化学的な性質において今迄の乳酸菌とは異なっていることも次第に明らかとなり、1974年に出版されたBergey's Manual第8版で、Actinomycetales目、Actinomycetaceae科、Bifidobacterium属と正式に分類位置づけされた<sup>21)</sup>。

ビフィドバクテリウム属というのは、形態的には、培養条件の違いで、Y字状、湾曲状、

表3 ビフィズス菌の菌種と分布の関係

|           | 乳<br>児 | 成<br>人 | サ<br>ル | イ<br>ヌ | ブ<br>タ | ニ<br>ワ<br>トリ | ウ<br>シ、<br>ビ<br>ツ<br>ジ | ハ<br>ツ<br>カ<br>ネ<br>ズ<br>ミ | シ<br>ロ<br>ネ<br>ズ<br>ミ | モ<br>ル<br>モ<br>ット | ミ<br>ツ<br>バ<br>チ |
|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------------|------------------------|----------------------------|-----------------------|-------------------|------------------|
| ビフィダム菌    | ○      | ○      |        |        |        |              |                        |                            |                       |                   |                  |
| ロングム菌     | ○      | ○      |        |        |        |              |                        |                            |                       |                   |                  |
| インファンティス菌 | ○      |        |        |        |        |              |                        |                            |                       |                   |                  |
| ブレベ菌      | ○      |        |        |        |        |              |                        |                            |                       |                   |                  |
| アドレスセンチス菌 |        | ○      | ○      | ○      |        |              |                        |                            |                       |                   |                  |
| サーモフィルム菌  |        |        |        |        |        | ○            | ○                      | ○                          |                       |                   |                  |
| シュードロングム菌 |        |        |        | ○      | ○      | ○            | ○                      | ○                          |                       |                   |                  |
| アニマリス菌    |        |        |        |        |        |              | ○                      | ○                          | ○                     |                   |                  |
| インジカム菌    |        |        |        |        |        |              |                        |                            |                       |                   | ○                |
| アステロイデス菌  |        |        |        |        |        |              |                        |                            |                       |                   | ○                |



棍棒状などと多様な形をつくるか、継代培養すると直桿状や湾曲状の形態が主となる。

グラム陽性で、耐酸性が弱く、非運動性で胞子をつくらない。またカタラーゼ陰性、硝酸塩を還元せず、インドールをつくらず、ゼラチンを液化しないなどの性質をもっている。

また、糖を発酵して主に酢酸と乳酸に変換するが、酸素の存在下では生育できないし、容易に死滅するという偏性嫌気の細菌でもある。

現在、ビフィズス菌は25種類が発見されており、ヒトに生息する種類とヒト以外の動物に生息するものとに大別されている。

ヒトに生息するものとして、ビフィダム、アドレッセンティス、インファンティス、ブレーベ、ロングムの5菌種があり、ヒト以外の動物に生息するものとしてシュードロングム、サー

モフィルム、スウス、アステロイデス、インジカム、コリネフォームがあり、アドレッセンティスのように両方にまたがって分布するものもある。

ビフィズス菌の菌種と分布の関係を光岡<sup>22)</sup>は表3にまとめて示している。

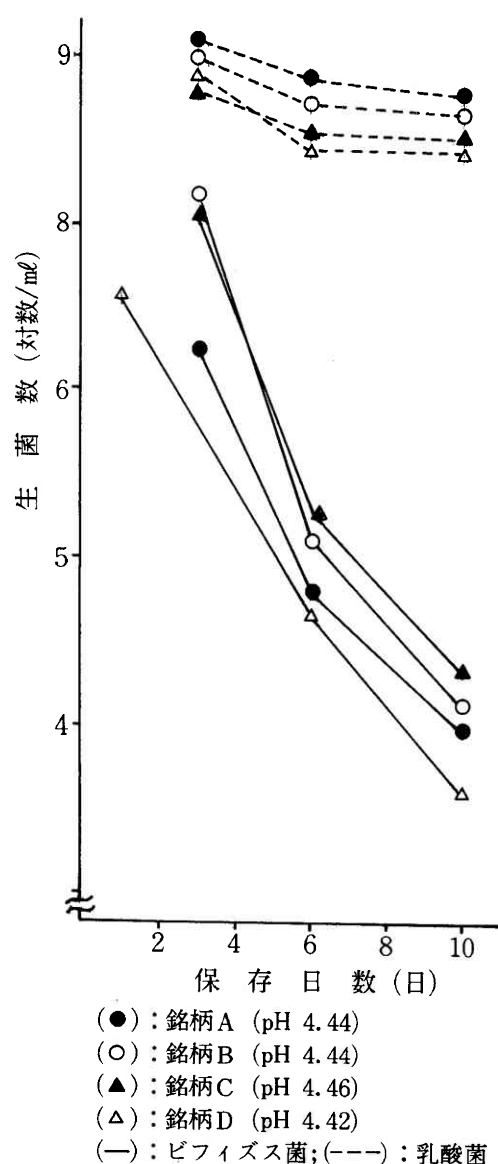


図8 ビフィズスヨーグルトの中の乳酸菌およびビフィズス菌の生残性におよぼす保存の影響<sup>23)</sup>

## ビフィズス菌の利用上の問題点

### 1) 生残性に及ぼすpHの影響

ビフィズス菌は、酸に対する抵抗性が極めて弱く、そのことが低pHの食品への利用を著しく阻害している。また、経口的に摂取した場合、胃を通過するとその胃酸による影響も十分に考慮しなければならないという問題をかかえている。

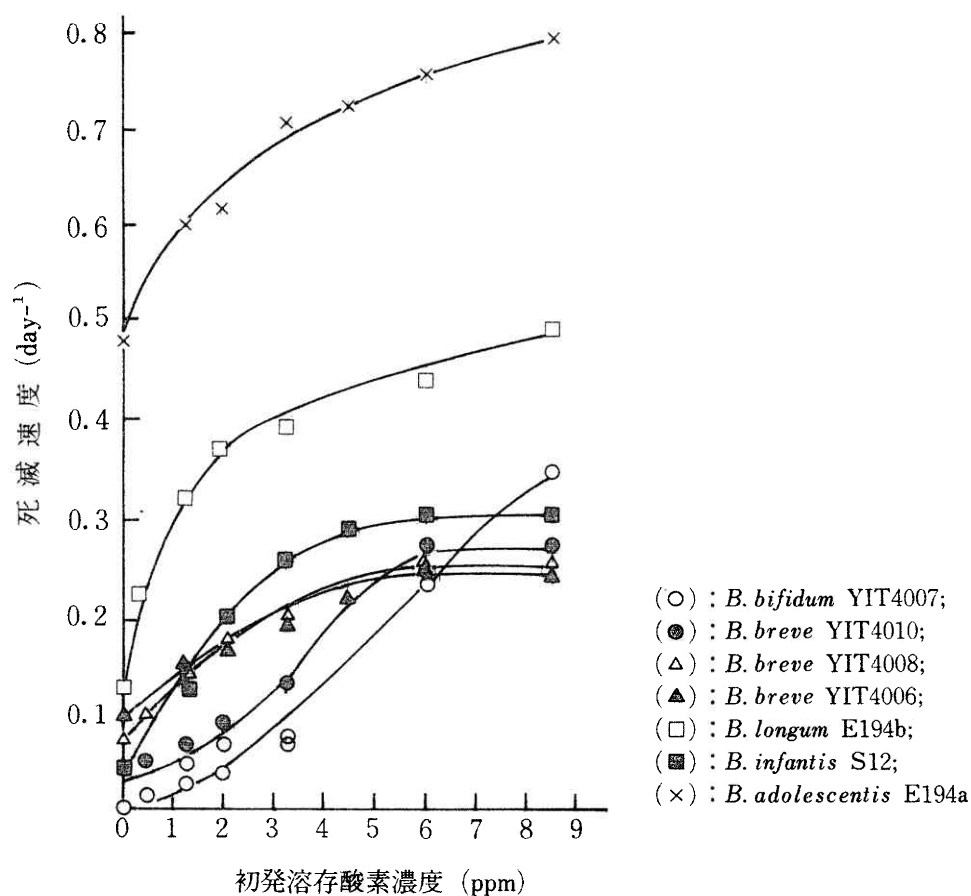
飲用牛乳の中にビフィズス菌を添加した非発酵型の飲料 (pH6.1~6.6) では、製品中にビフィズス菌を比較的長時間生存させることは可能であるが、ヨーグルトなどのpHの低い発酵型の食品中で、ビフィズス菌の生残性を維持することは極めて困難なことで、市販ヨーグルトの中には、消費者の手元に渡った時点で、ビフィズス菌が生残しないものも見受けられる。

ヨーグルト中でのビフィズス菌の生残性を改善するには、B.Longum,やB.bifidumの中で耐酸

## ビフィズス菌の機能とその利用について

表4 ビフィズス菌 (*B.bifidum*) の性残性におよぼすpH値の影響

| pH  | 菌株 | 保存日数 (日)          |                   |                   |                   |                   |
|-----|----|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|     |    | 0                 | 3                 | 5                 | 7                 | 10                |
| 6.0 | V  | $4.7 \times 10^8$ | $3.8 \times 10^8$ | $3.7 \times 10^8$ | $4.0 \times 10^8$ | $3.0 \times 10^8$ |
|     | S  | $4.5 \times 10^8$ | $3.1 \times 10^8$ | $6.8 \times 10^7$ | $4.2 \times 10^7$ | $2.1 \times 10^7$ |
| 5.0 | V  | $5.0 \times 10^8$ | $3.8 \times 10^8$ | $2.4 \times 10^8$ | $3.0 \times 10^8$ | $3.3 \times 10^8$ |
|     | S  | $4.9 \times 10^8$ | $3.1 \times 10^8$ | $5.5 \times 10^7$ | $1.9 \times 10^7$ | $2.1 \times 10^6$ |
| 4.6 | V  | $4.2 \times 10^8$ | $5.1 \times 10^8$ | $4.2 \times 10^8$ | $2.0 \times 10^8$ | $9.3 \times 10^7$ |
|     | S  | $4.5 \times 10^8$ | $1.0 \times 10^7$ | $3.6 \times 10^5$ | $4.0 \times 10^3$ | $< 10^2$          |
| 4.3 | V  | $4.6 \times 10^8$ | $4.0 \times 10^8$ | $2.1 \times 10^8$ | $6.9 \times 10^7$ | $3.0 \times 10^7$ |
|     | S  | $4.2 \times 10^8$ | $3.9 \times 10^6$ | $2.1 \times 10^4$ | $< 10^2$          | $< 10^2$          |
| 4.1 | V  | $4.7 \times 10^8$ | $9.5 \times 10^7$ | $3.4 \times 10^7$ | $5.6 \times 10^6$ | $4.3 \times 10^5$ |
|     | S  | $4.5 \times 10^8$ | $4.1 \times 10^4$ | $1.0 \times 10^3$ | $< 10^2$          | $< 10^2$          |
| 4.0 | V  | $5.0 \times 10^8$ | $7.0 \times 10^6$ | $8.0 \times 10^5$ | $2.8 \times 10^5$ | $2.9 \times 10^4$ |
|     | S  | $4.9 \times 10^8$ | $1.2 \times 10^3$ | $< 10^2$          | $< 10^2$          | $< 10^2$          |

V=*B.bifidum* YIT4005, (耐酸性株)S=*B.bifidum* E319, (対照株)図9 ビフィズス菌の性残性におよぼす溶存酸素濃度の影響<sup>25)</sup>

性を有する菌株を見つけて使用することで、pH4.6～pH4.3のヨーグルトの酸性領域下でも高い生残性を高めることは可能となる。

ビフィズス菌の効果に期待するヨーグルトでは、ヨーグルトベースが酸性の強いものでなく、また低温条件下でも乳酸発酵が進行しないような乳酸菌の菌株を選んでヨーグルトを製造することが必要となる。

## 2) 生残性に及ぼす溶存酸素の影響

ビフィズス菌は偏性嫌気性菌であるので、酸素の存在は、その生育と生残に著しい影響を与える。

培養液中の溶存酸素が3.0ppm以上あると、ビフィズス菌は急激に死滅し、1.0ppm程度の溶存酸素量でも生育に影響が現れるといわれるが、溶存酸素に対する影響は菌株によっても異なる挙動を示す。一般に*B.adolescentis*や*B.longum*は溶存酸素による影響が大きく、*B.infantis*では影響力が比較的小さいといわれている。

溶存酸素の存在は、好気条件下でビフィズス菌が過酸化水素を産出するので、これが細胞障害を起こしてビフィズス菌の生残性に影響を与えられている<sup>26)</sup>。

表5 *B.longum*の性残性におよぼす*S.thermophilus*の添加量の影響<sup>27)</sup>

| 菌株                      | 添加量<br>(1g当たり)  | 調整直後 |                   | 保存後(10℃7日間) |                   |        |
|-------------------------|-----------------|------|-------------------|-------------|-------------------|--------|
|                         |                 | pH   | 生菌数<br>(1g当たり)    | pH          | 生菌数<br>(1g当たり)    | 生残率(%) |
| 9 Y<br>(19.8)           | $3 \times 10^7$ | 4.75 | $2.8 \times 10^9$ | 4.69        | $1.1 \times 10^7$ | 0.4    |
|                         | $1 \times 10^8$ | 4.72 | $2.8 \times 10^9$ | 4.68        | $2.8 \times 10^7$ | 1.0    |
|                         | $5 \times 10^8$ | 4.72 | $2.6 \times 10^9$ | 4.69        | $8.3 \times 10^7$ | 3.2    |
|                         | $2 \times 10^9$ | 4.69 | $2.4 \times 10^9$ | 4.63        | $1.5 \times 10^8$ | 6.3    |
| ATCC<br>19258<br>(10.1) | $3 \times 10^7$ | 4.72 | $2.0 \times 10^9$ | 4.66        | $9 \times 10^6$   | 0.3    |
|                         | $1 \times 10^8$ | 4.73 | $2.7 \times 10^9$ | 4.68        | $2.4 \times 10^7$ | 0.9    |
|                         | $5 \times 10^8$ | 4.72 | $2.5 \times 10^9$ | 4.65        | $5.3 \times 10^7$ | 2.1    |
|                         | $2 \times 10^9$ | 4.70 | $2.5 \times 10^9$ | 4.65        | $1.2 \times 10^8$ | 4.8    |
| STH<br>50<br>(78.5)     | $3 \times 10^7$ | 4.73 | $2.9 \times 10^9$ | 4.65        | $6.4 \times 10^7$ | 2.2    |
|                         | $1 \times 10^8$ | 4.74 | $2.7 \times 10^9$ | 4.66        | $1.9 \times 10^8$ | 7.0    |
|                         | $5 \times 10^8$ | 4.70 | $2.3 \times 10^9$ | 4.63        | $3.8 \times 10^8$ | 16.5   |
|                         | $2 \times 10^9$ | 4.70 | $2.1 \times 10^9$ | 4.62        | $7.2 \times 10^8$ | 34.3   |

## 3) 生残性の改善策

ビフィズス菌の製品中での生残性は、製品のpH値、溶存酸素量などによって大きな影響を受けるが、菌株の種類、生育期の相違や添加される糖の種類によっても生残性に影響が現れる。

従ってこれらの条件を排除改善すれば、製品中でのビフィズス菌の生残期間を長くするこ

## ビフィズス菌の機能とその利用について

とは可能となる。

糖の共存の影響は、溶存酸素量と深い関係にあって、嫌気的条件下では糖の存在は生残性に影響がなく、好気条件下でのみ糖の存在がビフィズス菌の生残性を著しく低下しているため、製品中から溶存酸素を取り除くことの重要性は極めて大きい。製品中から酸素を除き、ガスバリアー性の容器を使用することは生残性の向上に役立つ。

溶存酸素量を低下させる方法として、酸素消費能の高い菌株、例えば*S.thermophilus*や*L.acidophilus*などと共棲させることも行われている。

ビフィズス菌に対して溶存酸素が直接死滅速度を速めるのではなく、ビフィズス菌が酸素を取り込んで産生する過酸化水素によるものであるため、カタラーゼ活性の高い菌種を選んで共棲させれば、ビフィズス菌によって過酸化水素が産生されてもこれを分解するので、ビフィズス菌の生残性の向上をはかることができる。

製品中の溶存酸素量と関係して、糖による生残性への影響は、ブドウ糖と果糖が高く、蔗糖では影響がないとされている。しかし蔗糖は、加熱処理中に容易に加水分解され、その構成糖であるブドウ糖と果糖に一部分解されるし、また発酵乳中の低pH条件下でも同様な加水分解が起こるので、蔗糖を製品の甘味料として使用することは、兼気的環境が維持できない場合は好ましくない。

その他の生残性の改善策として、還元力があるビタミンCの添加も効果が認められている。

先にビフィズス菌の腸内での有益な役割について述べたように、ビフィズス菌を製品に使用するにあたっては、製品中で如何に長く生存できるか、少なくともその製品が消費されるまでは、十分な生菌量が維持されていることが必要である。特にヨーグルト等の発酵乳では、pH値が低いので、長時間にわたって菌量を維持することが困難である。

そのために、それら製品にビフィズス菌を使用するには、比較的耐酸性の強い、また耐酸素性の強い菌株を選び出して使用しなければならない。勿論ヒト由来の人体に有益な効果をもたらす菌株でなければならないし、食品である以上、著しく風味を害さない要素も所有しなければならない。

## ビフィズス菌の増殖物質

加齢と共に腸内菌叢が変化することは先に述べたが、乳児の腸内では95～99%を占めていたビフィズス菌が、大人の腸内では僅かの10%程度を占めるだけで、残りの90%はバクテロイデスとかユウバクテリウム、ウエルシュ菌など嫌気性菌が占めるようになり、それと共に腸内腐敗が強まって、発癌物質の生成と老化促進がみられるようになる。

こうした腸内状態を改善するためには、大量のビフィズス菌を経口的に投与して、腸内のビフィズス菌の勢力を優勢にしなければならない。

このためには、大量の菌数が確保できる培養法や、経口的に摂取する食品中での生残性の

高い菌種の選定と培養技術が必要となってくる(前述)。

この方法に対し、腸内に生棲するビフィズス菌を、摂取する食餌によって増大させようとする手段もある。

表6 ビフィズス菌増殖物質の特徴

| 一般名称      | 主要成分                   | ビフィズス菌増殖のための摂取量目安 | 甘味度<br>甘味の質             | 自然界での分布                     | 原料と製法                             | メーカー     |
|-----------|------------------------|-------------------|-------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|----------|
| 大豆オリゴ糖    | スタキオース、ラフィノース          | 3g/日              | 70%<br>砂糖に近い味           | 豆科植物                        | 大豆ホエーより分離精製する                     | カルピス食品工業 |
| フラクトオリゴ糖  | 1-kestose、nystose      | 8g/日              | 60%<br>砂糖に近い味           | タマネギ<br>アスパラガス<br>ゴボウ<br>蜂蜜 | ショ糖にフラクトース転移酵素を作用させてつくる           | 明治製菓     |
| ガラクトオリゴ糖  | ガラクトシルラクトース            | 4g/日              | 40%<br>すっきりした<br>まろやかな味 | 母乳                          | 牛乳ホエーより分離した乳糖にガラクトース転移酵素を作用させてつくる | ヤクルト本社   |
| イソマルトオリゴ糖 | イソマルトース、パノース、イソマルトリオース | 14g/日             | 50%<br>まろやかな味           | 味噌<br>醤油<br>清酒              | 澱粉にグルコース転移酵素を作用させてつくる             | 昭和産業     |

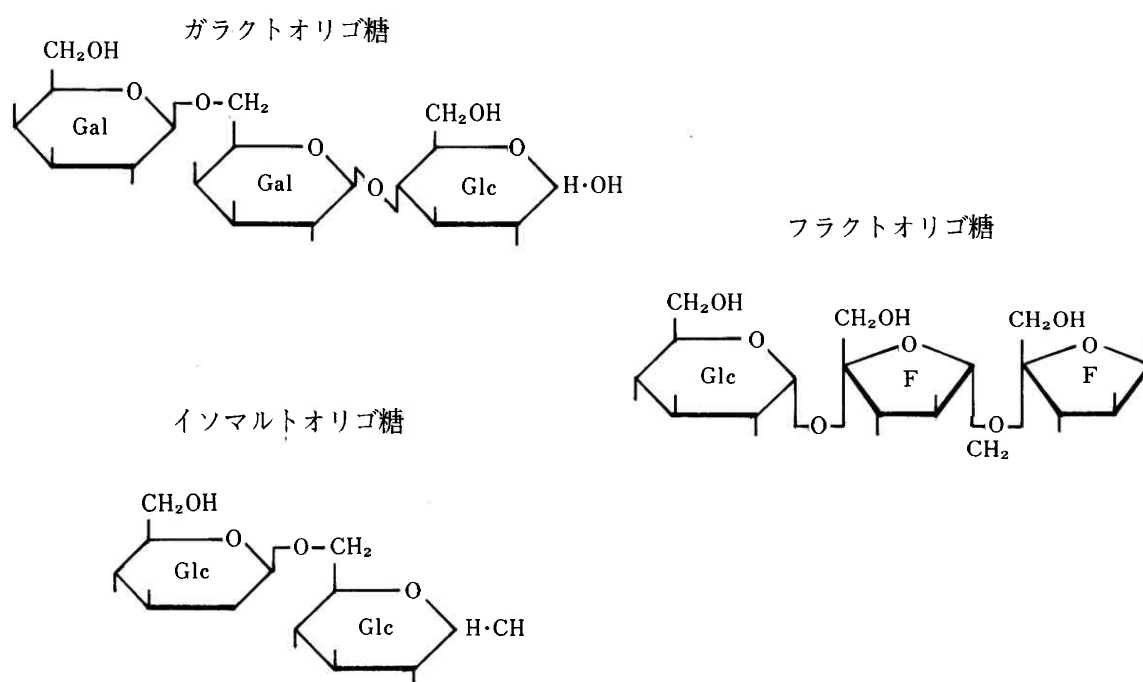


図10 代表的なオリゴ糖の構造式

## ビフィズス菌の機能とその利用について

表7 腸内細菌によるオリゴ糖の利用能

| 供 試 菌 株                              | T O S | 大豆オリゴ糖 | フラクトオリゴ糖 |
|--------------------------------------|-------|--------|----------|
| <i>Bacteroides</i>                   |       |        |          |
| <i>B.thetoiotaomicon</i> ATCC 12552  | ++    | ++     | ++       |
| <i>B.vulgatus</i> ATCC 8482          | ++    | ++     | ++       |
| <i>Fusobacterium</i>                 |       |        |          |
| <i>F.varium</i> ATCC 8501            | -     | -      | -        |
| <i>Eubacterium</i>                   |       |        |          |
| <i>Eu.aerifaciens</i> VPI 1003       | -     | -      | ++       |
| <i>Peptostreptococcus</i>            |       |        |          |
| <i>P.products</i> ATCC 27240         | +++   | +++    | +++      |
| <i>Clostridium</i>                   |       |        |          |
| <i>Cl.Perfringens</i> PB 6K          | ++    | +      | +        |
| <i>Cl.sporogenes</i> sp              | +     | +      | +        |
| <i>Staphylococcus</i>                |       |        |          |
| <i>Sta.aureus</i> FDA 209p           | -     | -      | ++       |
| <i>Escherichia</i>                   |       |        |          |
| <i>E.coli</i> H 146                  | ++    | +      | +        |
| <i>E.coli</i> K-12                   | ++    | +      | +        |
| <i>E.coli</i> sp                     | ++    | +      | ++       |
| <i>Streptococcus</i>                 |       |        |          |
| <i>St.faecalis</i> ATCC 23655        | +     | -      | ++       |
| <i>St.faecalis</i> ATCC 19433        | +     | -      | ++       |
| <i>St.faecalis</i> ATCC 14508        | +     | -      | ++       |
| <i>Lactobacillus</i>                 |       |        |          |
| <i>L.gasseri</i> YIT 0192            | -     | -      | ++       |
| <i>L.acidophilus</i> YIT 0168        | -     | -      | +++      |
| <i>L.acidophilus</i> YIT 0070        | -     | -      | ++       |
| <i>L.salivarius</i> YIT 0104         | ++    | ++     | ++       |
| <i>L.salivarius</i> YIT 0087         | ++    | +++    | +++      |
| <i>L.fermentum</i> YIT 0081          | ++    | ++     | +++      |
| <i>L.casei</i> YIT 9018              | -     | -      | -        |
| <i>L.casei</i> YIT 0078              | -     | -      | -        |
| <i>L.casei ss alactosus</i> YIT 0123 | -     | -      | ++       |
| <i>L.casei ss rhamnosus</i> YIT 0105 | -     | -      | -        |
| <i>Bifidobacterium</i>               |       |        |          |
| <i>B.bifidum</i> YIT 4007            | +++   | -      | -        |
| <i>B.bifidum</i> E 319               | +++   | +      | -        |
| <i>B.bifidum ver. pennsylvanicus</i> | +++   | -      | -        |
| <i>B.breve</i> YIT 4010              | +++   | +++    | -        |
| <i>B.breve</i> S-1                   | +++   | +++    | +        |
| <i>B.breve</i> As-50                 | +++   | +++    | +++      |
| <i>B.breve</i> Oa-31                 | +++   | +++    | -        |
| <i>B.infantis</i> S-12               | +++   | +++    | ++       |
| <i>B.infantis ss lactentis</i> 659   | +++   | +++    | +++      |
| <i>B.infantis ss liberorum</i> S76e  | +++   | +++    | +++      |
| <i>B.longum</i> 194b                 | +++   | +++    | +++      |
| <i>B.longum</i> 5a-15                | +++   | +++    | ++       |
| <i>B.adolescentis</i> 194a           | +++   | +++    | +++      |
| <i>B.adolescentis</i> SI-30          | ++    | ++     | ++       |

利用能：(+++), 強陽性 1日で黄色に変色；(++) , 中陽性 2日に変色；  
(+) , 弱陽性 3日に変色；(-), 陰性

この方法は、母乳と粉ミルクによる乳児の腸内菌叢の違いを明らかにする目的から、「ビフィズス・ファクター」の研究として1900年頃に始められた。

今日迄に何十種類に及ぶビフィズス・ファクターが発見されているが、ビフィズス菌のどの菌種にも共通して効果を発揮するものは得られなかった。ところが最近になって、ビフィズス菌に共通する増殖物質として、難消化性糖やオリゴ糖が発見され、これらの生産も軌道に乗ったので、これを摂取することで腸内菌叢の改善をはかる研究と実用化は一層躍進した。

現在ビフィズス菌増殖物質として利用されているものの特徴を、表6に示した。

ビフィズス菌増殖物質は、ヒトの消化酵素によって分解されないこと、ビフィズス菌による資化性がある、共存する他の腸内菌には資化されない選択性を有すること。ヒトに投与後、腸内菌叢が望ましい方向に変化すること。ビフィズス菌によって代謝された後、メタンや水素などの代謝産物をつくらないことなどが条件となるが、腸内pHの低下による下痢の誘発との関係、イオン強度、浸透圧、吸着性なども充分調査されていなければならない。

現在市販されているビフィズス菌増殖物質のうち、オリゴ糖について、腸内細菌の資化性は表7の通り報告されている。

この中で、ビフィズス菌の各菌株に対する利用性と、他の腸内細菌に対する選択性から比較すると、ガラクトオリゴ糖が最も優れていると思われるが、難消化性糖の評価は、非う蝕性、ビフィズス菌の増殖性、便秘改善、腐敗防止、血糖値低下、脂質改善、抗肥満性などの諸機能から総合的に評価されるようになっている。

## おわりに

ビフィズス菌が発見され、ヒトの健康への貢献度についての研究も、またその利用面の技術的研究と経験も日が浅いのに、その普及と認識率は極めて速くまた高い状態にあって、ビフィズス菌を使用したヨーグルトの消費量は年々増大している。

しかし認識といっても名前を知り、それが善玉菌であるという程度の認識であり、また使用する側においても、通常の乳酸菌程度の認識で取り扱っている場合が多いかと思われる。ビフィズス菌を工業的に利用できるカルチャーが普及し、容易に入手できることもその要因であろうが、ビフィズス菌について、それを使用する側も、消費する側も、改めて認識を深める必要があると思う。そのことが、ビフィズス菌を利用した製品の品質を更に向上させ、健康増進により役立たせることが可能となるであろう。

## 参考文献

- 1) 光岡知足：腸内細菌の話，(岩波新書) 岩波書店，(1982)
- 2) *ibid.*
- 3) *ibid.*

## ビフィズス菌の機能とその利用について

- 4) 光岡知足：腸内菌の世界, 叢文社, (1980)
- 5) Mitsuoka, T., : Bifido. Microflora, 1, 3-24, (1982)
- 6) 光岡知足：腸内細菌の話, 岩波書店, (1982)
- 7) *ibid.*
- 8) 光岡知足：腸内フローラの代謝, P.10, 学会出版センター (1988)
- 9) *ibid.*
- 10) *ibid.*
- 11) 光岡知足：臨床と細菌, 2, (1975)
- 12) Bone, E., A. Tamm, & M. Hill, : Am. J. Clin. Nutr., 29, 1448-1454 (1976)
- 13) 鈴木邦夫, 光岡知足：腸内フローラと発癌, 学会出版センター (1981)
- 14) 光岡知足：腸内細菌の話, 岩波書店 (1982)
- 15) *ibid.*
- 16) 光岡知足：腸内フローラの代謝, P.2, 学会出版センター (1988)
- 17) 鈴木邦夫, 光岡知足：腸内フローラと発癌, 学会出版センター (1981)
- 18) 本間道, 光岡知足：ビフィズス菌, P.233, ヤクルト本社 (1978)
- 19) 光岡知足：腸内フローラと発癌, P.3, 学会出版センター (1981)
- 20) 光岡知足：腸内菌の世界, 叢文社 (1980)
- 21) Buchanan, R.E., & N.E. Gibbons, : *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology*, 8th. ed., The Williams & Wilkins Co., Baltimore (1974)
- 22) 光岡知足：腸内細菌の話, 岩波書店 (1978)
- 23) 馬田三夫：New Food Industry, 24, 63-70 (1982)
- 24) 馬田三夫：ビフィズス菌の科学, P.141, ヤクルト本社 (1988)
- 25) *ibid.* P.142
- 26) 金子勉, 村尾周久, 高橋強, 土屋文安：日農化誌, 59 (1985)
- 27) 小此木成夫, 工藤力, 平松明德, 寺口進, 八重島智子：特許広報昭和59年NO.51997