

1 (1) 論文タイトル (タイトル・サブタイトル・キャッチコピーは必須です)

2 (タイトル) 乳酸菌の産生する菌体外多糖の機能性とその応用

3 (サブタイトル) 食品・医薬産業へ利用可能な機能性

4 (タイトル (英)) Industrial application of lactic acid bacteria-derived

5 exopolysaccharides

6 (サブタイトル (英))

7 Future potential for application in the pharmaceutical and functional food

8 industries

9 (キャッチコピー (20 字まで, タイトル・サブタイトルとの同一不可. 単独で

10 表紙に掲載されます. 主題・副題がなくても内容が伺えるようにしてください)

11 菌体外多糖の機能性

12 (2) 著者名

13 (和) 吉田健太郎<sup>1</sup>, 小柳喬<sup>1</sup>, 松崎千秋<sup>2</sup>

14 (英) Kentaro YOSHIDA, Takashi KOYANAGI, Chiaki MATSUZAKI

15 (3) 著者ご所属

16 1. 石川県立大学 食品科学科

17 2. 石川県立大学 生物資源工学研究所

19 (4) 要旨

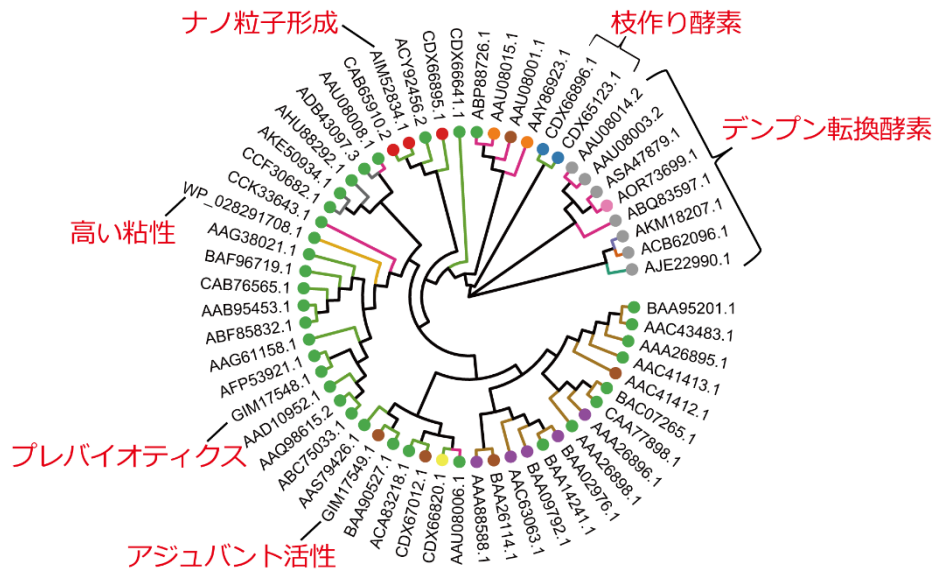
20 (和 : 100 字程度)

乳酸菌の産生する菌体外多糖の機能性に着目した製品開発が注目されている。  
本解説では、乳酸菌の生体と菌体外多糖の分子レベルでの研究の発展により、  
目的の機能性にターゲットを絞ったクオリティの高い製品開発が可能となる  
ような、最近の研究を紹介したい。

(英： 30 語程度)

Diverse structural and functional exopolysaccharides are synthesized by  
lactic acid bacteria with long history of safe use in fermented foods. This  
manuscript provides the current knowledge about exopolysaccharides on  
physicochemical and functional properties for industrial application.

(graphical abstract)



※以上の図・文章は、本誌・学会ホームページでの紹介に利用しますので必ずご記入くだ  
さい。

41

42 キーワード作成のお願い

43 ご執筆いただいた論文に関するキーワードの作成（1~5 個）をお願いいたします。キーワ

44 ードは、1 個以上 5 個以下

45 1. 菌体外多糖

46 2. 乳酸菌

47 3. 物理化学的特性

48 4. 保健効果

49 5. 多糖合成酵素

50

51

図表の挿入位置を本文中に示してください。  
文献は、出現順に上付きで両括弧囲みの番号<sup>(1)</sup>で引用して下さい。  
句読点は「.」「,」「」をご使用ください。

52      【本文】（「解説」の方は 300 字以内の序文をお書きください） 8,000～ 10,000

53      字程度（写真、図表を含む、刷り上がり 1/8 頁の大きさに 500 文字相当

54      ① はじめに

55              細菌が多糖類（菌体外多糖）を産生している理由としては主に、細菌の凝集や接着、そ  
56      して環境ストレスに対する菌体防御のためと考えられている。これら菌体外多糖を産生す  
57      る細菌の中でも乳酸菌は古来より食品の発酵に利用されており、その長い食経験ゆえ、安  
58      全性が高いことが知られている。そのため安全性の担保されたこの乳酸菌が産生する菌体  
59      外多糖は汎用性が高く、様々な産業分野への利用が期待できる。またその多糖の構造は菌  
60      株レベルで異なるため、現状でも様々な機能性が報告されており、さらに新たな機能が潜  
61      在している可能性も高い。本報告では乳酸菌の菌体外多糖の機能性を利用するために有用  
62      と思われる知見を、他の微生物由来の菌体外多糖と比較しながら紹介したい。

63

64      ② 菌体外多糖の物理化学的特性とその応用

65      菌体多糖の中でも単一の糖を構成糖とするホモ多糖体は菌からの産生量が多く<sup>(1)</sup>、物理化  
66      学的特性に基づいた産業利用が期待される。ホモ多糖体は D-グルコースから成る  $\alpha$ -グル  
67      カンや  $\beta$ -グルカンおよび D-フルクトースから成る  $\beta$ -フラクタンの 3 つのタイプに大別さ  
68      れる。 $\alpha$ -グルカンは *Leuconostoc* 属、*Weissella* 属および *Streptococcus* 属の細菌、 $\beta$ -フル  
69      クタンは *Bacillus* 属、*Streptococcus* 属、*Leuconostoc* 属および *Lactobacillus* 属（ただし  
70      旧分類上の *Lactobacillus* 属）の細菌が主に産生する<sup>(2-5)</sup>。これらの多糖は菌体外に分泌さ  
71      れる酵素によりスクロースを基質として菌体外で合成される。一方、 $\beta$ -グルカンは

図表の挿入位置を本文中に示してください。  
文献は、出現順に上付きで両括弧囲みの番号<sup>(1)</sup>で引用して下さい。  
句読点は「.」「,」をご使用ください。

72 *Agrobacterium* 属および *Gluconacetobacter* 属など幅広い細菌が産生する<sup>(6, 7)</sup>. 多くの場  
73 合, 菌体内での UDP-グルコースを基質とした重合反応ののちに分泌経路を介して菌体外  
74 に分泌される.

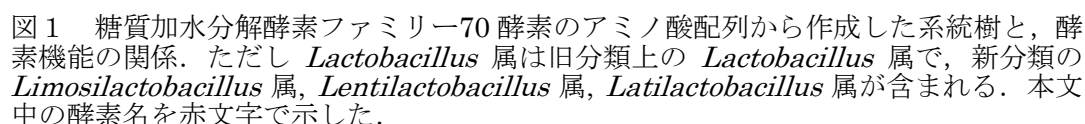
75 1)  $\alpha$ -グルカン合成酵素

76 乳酸菌が産生するホモ多糖体のうち最も一般的なグルカンである  $\alpha$ -グルカンは, 直鎖  
77 デキストラン ( $\alpha$ -1,6 グリコシド結合を主鎖とする), 分岐デキストラン (デキストランに  
78 著量の  $\alpha$ -1,2 および  $\alpha$ -1,3 グリコシド結合の分岐構造を有する), ムタン ( $\alpha$ -1,3 グリコシド  
79 結合を有する), ロイテラン ( $\alpha$ -1,4 および  $\alpha$ -1,6 グリコシド結合の複合体) およびアルテル  
80 ナン ( $\alpha$ -1,6 および  $\alpha$ -1,3 グリコシド結合を交互にもつ) が確認されている<sup>(8-11)</sup>. これらは  
81 糖質加水分解酵素データベース (<http://www.cazy.org/>) の糖質加水分解酵素ファミリー  
82 70 (GH70) に属するデキストランスクラーゼ (EC 2.4.1.5), ムタンスクラーゼ (EC  
83 2.4.1.5), ロイテランスクラーゼ, アルテルナンスクラーゼ (EC 2.4.1.140),  $\alpha$ -4,6 または  
84 4,3 グルカノトランスフェラーゼ, およびブランチングスクラーゼにて合成される<sup>(12)</sup>.  
85 GH70 のアミノ酸配列基づいた系統樹と酵素機能との関係性を解析したところ, これら機  
86 能ごとにクラスターが形成される傾向がある (図 1).

87 GH70 酵素の多くはスクロースを基質として  $\alpha$ -グリコシド結合を導入するが, グルカ  
88 ノトランスフェラーゼはデンプンを基質とするため, デンプン転換酵素としての利用が報  
89 告されている.  $\alpha$ -4,6 グルカノトランスフェラーゼはロイテランスクラーゼ (図 1, GtfA  
90 および GtfO; Genbank Accession No. AAU08015.1 および AAY86923.1) と同様の糖鎖  
91 ( $\alpha$ -1,4 および  $\alpha$ -1,6 グリコシド結合の複合体) を合成するが, 基質はスクロースではなく

句読点は「.」「,」をご使用ください。

つ新規構造の多糖の合成に成功している(13, 14).



高い粘度を示すことが示されている<sup>(15)</sup>.

図表の挿入位置を本文中に示してください。  
文献は、出現順に上付きで両括弧囲みの番号<sup>(1)</sup>で引用して下さい。  
句読点は「.」「,」をご使用ください。

アルテルナンはその凝集性によりナノ粒子を形成するため、高濃度溶液でも沈殿が生じない多糖である。Wangpaiboon ら<sup>(16)</sup>は *Leuconostoc citreum* ABK-1 由来の酵素 LcALT (図 1, Genbank Accession No. AIM52834.1) にて合成したアルテルナンによる約 90 nm ナノ粒子形成を報告するとともに、溶液内濃度の増加に伴いゲル化し溶解度が上昇する特異な物理化学特性を見出している。

デキストランへの著量の分岐構造の付加は、ポリメラーゼ活性が低くブランチング活性の高いブランチングスクラーゼが担っている。主要なブランチングスクラーゼとして BRS-A (Genbank Accession No. CDX66896.1) および BRS-B (Genbank Accession No. CDX65123.1) が知られている<sup>(17, 18)</sup>。それぞれデキストランに  $\alpha$ -1,2 グリコシド結合および  $\alpha$ -1,3 グリコシド結合の分岐を付与する酵素であり、付加する分岐構造は異なるがアミノ酸配列の相同性は高い (図 1)。 $\alpha$ -1,2 グリコシド結合の分岐度は、ブランチングスクラーゼ存在下にてスクロース/デキストラン比を変えることにより 13%から 40%の範囲で調整できることが報告されており、酵素の最適な利用によってバラエティに富んだデキストランの創出が可能である<sup>(19)</sup>。

## 2) $\beta$ -フルクタン合成酵素

$\beta$ -フルクタンはイヌリン ( $\beta$ -2,1 グリコシド結合) およびレバン ( $\beta$ -2,6 グリコシド結合に  $\beta$ -2,1 グリコシド結合の分岐構造) に分類され、糖質加水分解酵素ファミリー68 (GH68) に属するイヌロスクラーゼ (EC 2.1.4.9) およびレバンスクラーゼ (EC 2.1.4.10) にて合成される。

植物が産生するイヌリンおよびレバンの分子量はいずれも  $10^4$  であるが、微生物が産生

図表の挿入位置を本文中に示してください。  
文献は、出現順に上付きで両括弧囲みの番号<sup>(1)</sup>で引用して下さい。  
句読点は「.」「,」をご使用ください。

するイヌリンおよびレバンの分子量は  $10^6$  以上であり、微生物由来のフラクタンはより高分子である<sup>(20, 21)</sup>。レバンは非常に低い固有粘度を有しており<sup>(22)</sup>、Hundchell らは分子量の増加に伴い固有粘度が減少するポリマーであることを報告している<sup>(23)</sup>。

レバンスクララーゼやイヌロスクラーゼにより合成された高分子フルクタンにおいて、*Bacillus velezensis* BM-2 由来のレバンを添加したヨーグルトの保水能力や安定性が改善することや植物イヌリンと比べてゲル化能力や保存安定性が向上することなど、顕著な違いが確認されている<sup>(24, 25)</sup>。フルクタン合成酵素の利用例として、ラクトスクロースの生産が挙げられる。ラクトスクロース ( $4G\text{-}\beta\text{-D-galactosylsucrose}$ ) は基質特異性の幅広い *Arthrobacter* sp. K-1 株由来のレバンスクララーゼにて工業的に生産されている。この酵素合成ラクトスクロースについては、寺本らにより腸内カルシウム吸収を促進することが確認され、木村らによって体脂肪の蓄積を阻害することが確認されている<sup>(26-29)</sup>。

### 3) $\beta$ -グルカン合成酵素

微生物が菌体外に分泌する  $\beta$ -グルカンに限るとバクテリアセルロース ( $\beta$ -1,4 グリコシド結合)、カードラン ( $\beta$ -1,3 グリコシド結合) および混合結合型の  $\beta$ -グルカン ( $\beta$ -1,4 グリコシド結合と  $\beta$ -1,3 グリコシド結合の混合物) に分類される。 $\beta$ -グルカンの生産には  $\beta$ -グルカン合成酵素遺伝子クラスター上にコードされる酵素群が複合的に作用し、それぞれ主鎖構造の形成には糖転移酵素ファミリー2 (GT2) に属する酵素であるバクテリアセルロースシンターゼ (BcsA)、カードランシンターゼ (CrdS) および BgsA により  $\beta$ -グルカンが合成され、その後、分泌に関わる酵素にて菌体外へと分泌される<sup>(30-33)</sup> (図 2)。バクテリアセルロースはナノフィブリル構造により独特な物理的、機械的特性を有し、高い生体適合



図表の挿入位置を本文中に示してください。  
文献は、出現順に上付きで両括弧囲みの番号<sup>(1)</sup>で引用して下さい。  
句読点は「.」「,」をご使用ください。

性や生分解性から医療分野において応用利用されている<sup>(34-35)</sup>。また、バクテリアセルロー  
スは様々な修飾を施されることにより、新たな性質が付与される。Dincăらは酸化亜鉛ナ  
ノ粒子を蒸着させたバクテリアセルロース膜がグラム陽性およびグラム陰性菌に対する抗  
菌活性やヒト真皮線維芽細胞に対する生体適合性を有することを報告している<sup>(36)</sup>。

バクテリアセルロースは不純物が含まれておらず、植物セルロースに比べ容易に純粋な  
セルロースを回収できる。しかし、工業規模での生産には高価であることが課題とされて  
おり、安価な条件での生産に向けてバクテリアセルロース産生細菌のスクリーニング、培  
地条件の最適化、および合成に関わる酵素の過剰発現にて収量を増やす研究が多くなされ  
ている<sup>(37, 38)</sup>。

カードランは特異なゲル化特性を有しており、80℃以上の加熱後に冷却すると熱不可逆  
的な高硬化性ゲルとなるが、55℃の加熱では、熱可逆的な低硬化性のゲルとなることが確  
認されている<sup>(39)</sup>。

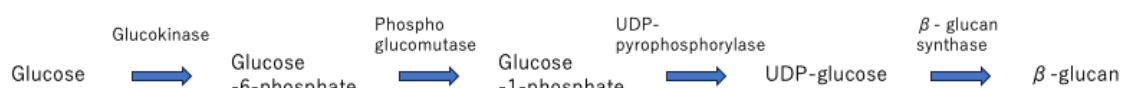


図2 β-グルカン合成までの模式図

### ③ 菌体外多糖の保健効果とその応用

乳酸菌の産生する菌体外多糖の有するヒトへの保健効果が注目されて久しい。ヒトへの保  
健効果の誘導には、腸内細菌を介した間接的作用と、腸内細菌を介さない直接的作用とが  
あり、いずれの作用も菌体外多糖の構造と誘導される機能との相関の解明が、意欲的に進

図表の挿入位置を本文中に示してください。  
文献は、出現順に上付きで両括弧囲みの番号<sup>(1)</sup>で引用して下さい。  
句読点は「.」「,」「」をご使用ください。

169 められている。乳酸菌の菌体外多糖および先行して研究されている他の微生物由来の菌体  
170 外多糖の保健効果について紹介する。

171

172 1) 腸内細菌を介した間接的な保健効果

173 腸内細菌を介した間接的作用には、菌体外多糖が有用な腸内細菌の増殖を促し、有益な  
174 代謝産物または活性成分の産生を促すことに起因する。ヒトの消化酵素で分解されない難  
175 消化性の菌体外多糖は、いわゆるプレバイオティクス（ヒト消化管で分解されず、腸内の  
176 有益な細菌の選択的な栄養源となり、それらの増殖を促進する成分）として腸内細菌によ  
177 る発酵の基質となり、主たる代謝産物として酢酸、プロピオン酸、酪酸などの短鎖脂肪酸  
178 に変換される<sup>(40, 41)</sup>。これら短鎖脂肪酸は、宿主が発現する G タンパク質共役受容体への  
179 作用、またはヒストンアセチル化亢進などのエピジェネティックな作用を介して、粘膜免  
180 疫系の増強、食物アレルギーの抑制、心血管疾患リスクの低減、摂食調節などの脳-腸相  
181 関を介した代謝改善などの健康の維持・増進に寄与する<sup>(42, 43)</sup>。

182 腸内細菌を介した保健効果の誘導には、腸内細菌による代謝が必要となるため、機能的  
183 の発現には腸内細菌に影響を与えるに足る投与量が必要になる。例えばイヌリンなどのプ  
184 レバイオティクスの場合、マウス試験では 250 mg/day 投与量で腸内における有益菌増殖  
185 効果が認められており<sup>(44)</sup>、ヒトへの用量は 4~24 g/day である<sup>(45, 46)</sup>。そのため、プレバイ  
186 オティクスとしての菌体外多糖の利用は、菌の他の代謝過程と競合する糖ヌクレオチドを  
187 基質として生産されるヘテロ多糖体よりも、糖加水分解酵素による触媒作用を利用して合  
188 成されるホモ多糖体またはその合成酵素の利用が、生産量において有利と考えられている。

図表の挿入位置を本文中に示してください。  
 文献は、出現順に上付きで両括弧囲みの番号<sup>(1)</sup>で引用して下さい。  
 句読点は「.」「,」をご使用ください。

189 前述の *Arthrobacter* sp. K-1 株由来のレバンスクララーゼによって工業的に産生されている  
 190 ラクトスクロースは、6 g/day を摂取することでヒト腸内のビフィズス菌を選択的に増や  
 191 すことが報告されている<sup>(47)</sup>。動物に対し有用機能を発揮するプレバイオティクスとしてデ  
 192 キストランに着眼した研究例も散見される。Sarbin らは<sup>(48)</sup>、 $\alpha$ -1,2 グリコシド結合による  
 193 分岐がデキストランの総食物繊維量の増加につながり、ヒト糞便培地における消化率を低  
 194 下させることを示している。さらに、Te Poele らは市販ラット腸アセトン粉末を使用した

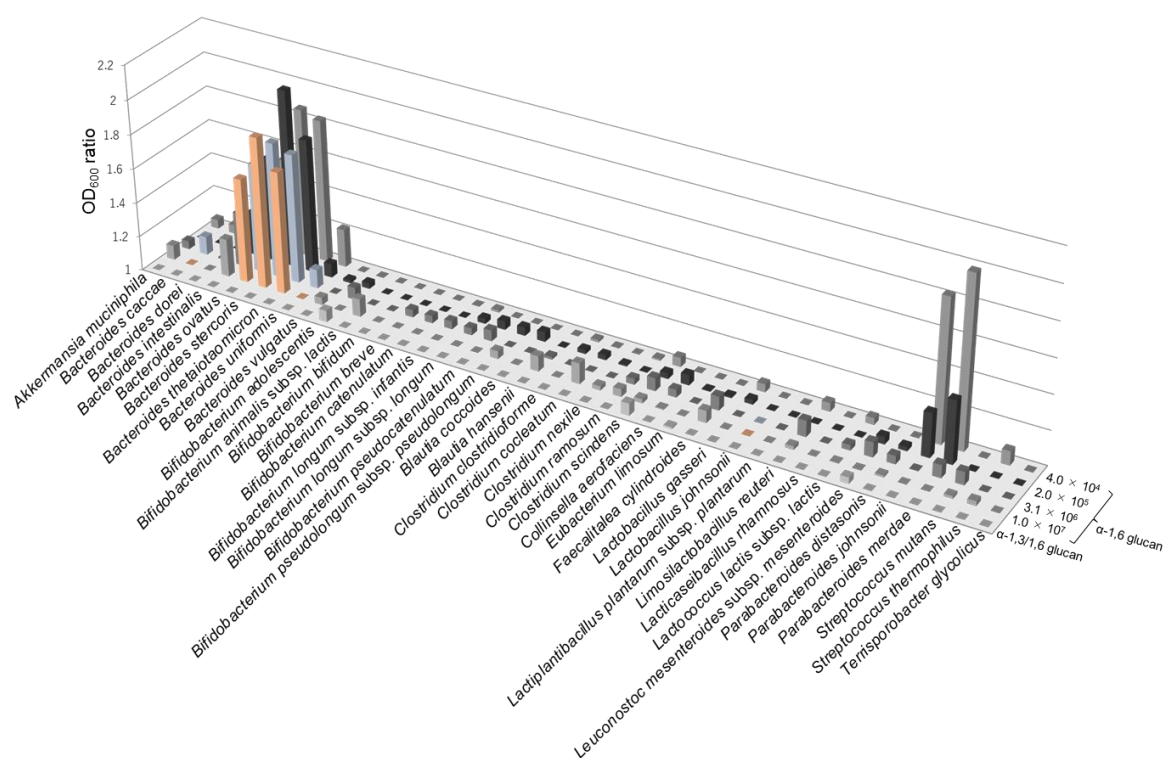


図3  $\alpha$ -グルカンの腸内細菌による資化性の比較. 各  $\alpha$ -グルカンに対する菌の生育を、糖源未含有培地との濁度 (OD<sub>600</sub>) の比で測定.  $4.0 \times 10^4$   $\alpha$ -1,6 グルカン: Sigma D1662,  $2.0 \times 10^5$   $\alpha$ -1,6 グルカン: Sigma 31398,  $3.1 \times 10^6$   $\alpha$ -1,6 グルカン: 酵素 Gtf1 より合成,  $1.0 \times 10^7$   $\alpha$ -1,6 グルカン: LmEPS,  $\alpha$ -1,3/1,6 グルカン: 酵素 Gtf2 より合成.

195 グルコース生成速度の測定により  $\alpha$ -1,3 グリコシド結合の増加に伴い消化率が低下するこ  
 196 とを確認している<sup>(49)</sup>。これらの報告は、分岐構造が付与されることによりデキストランが  
 197 腸管のグルコシダーゼによる分解に対して耐性を得ることを示している。

図表の挿入位置を本文中に示してください。  
文献は、出現順に上付きで両括弧囲みの番号<sup>(1)</sup>で引用して下さい。  
句読点は「.」「,」をご使用ください。

198

199       *Leuconostoc mesenteroides* NTM048 株の産生する菌体外多糖 (LmEPS) は主とし  
200       て GH70 酵素によって合成される 4% の  $\alpha$ -1,3 グルコシド結合を含む  $\alpha$ -1,6 グルカン为主  
201       成分としている<sup>(50)</sup>。Miyamoto<sup>(51)</sup>らによってこの LmEPS は腸内細菌 *Bacteroides ovatus*,  
202       *Bacteroides stercoris*, *Bacteroides thetaiotaomicron*, *Muribaculum intestinale*,  
203       *Paramuribaculum intestinale*, *Duncaniella muris* の増殖を促し、腸内の短鎖脂肪酸 (酢  
204       酸, プロピオン酸) を増加させて、肥満抑制に寄与することを明らかにされた。

205       我々の研究室では、 $\alpha$ -1,6 グルカンの分子サイズが機能性与える影響を調べている (図  
206       3)。LmEPS またはこの LmEPS を合成する GH70 酵素のひとつである Gtf1 (図 1  
207       Genbank Accession No. GIM17548.1) から合成した長鎖の  $\alpha$ -1,6 グルカン (それぞれ  $1.0$   
208        $\times 10^7$  または  $3.1 \times 10^6$ ) においては、Miyamoto ら<sup>(51)</sup>の結果と同様、腸内細菌 *B. ovatus*,  
209       *B. stercoris*, *B. thetaiotaomicron* が生育し腸内の代謝改善に寄与する効果が期待される結  
210       果が得られた。興味深いことに、 $2.0 \times 10^5$  以下の分子サイズでは、上記細菌に加えて心血  
211       管疾患予防効果などが報告されている *Parabacteroides* 属<sup>(52)</sup> の増殖にも寄与していた。  
212       菌体外多糖の分子サイズが腸内細菌の選択的増殖に直接影響することが示唆される。一方、  
213       LmEPS を合成する他の GH70 酵素 Gtf2 (図 1 Genbank Accession No. GIM17549.1) か  
214       ら合成した  $\alpha$ -1,3/1,6 グルカンは腸内細菌によって資化されず (図 3)、腸内細菌を介した  
215       間接的な保健効果は期待できない一方、直接的な保健効果が認められた (次節参照)。

216       近年、糖ヌクレオチドを基質とする糖転移酵素を利用したヒトミルクオリゴ糖の生産  
217       が遺伝子組換え大腸菌や酵母を用いて g/L 単位で可能となっており<sup>(53)</sup>、今後、ホモ多糖体

図表の挿入位置を本文中に示してください。  
文献は、出現順に上付きで両括弧囲みの番号<sup>(1)</sup>で引用して下さい。  
句読点は「.」「,」をご使用ください。

218 の利用だけではなく安価なヘテロ多糖体生産系の構築も可能となることが予想される。

219

220 2) 直接的な保健効果

221 免疫刺激物質（アジュバント）とは免疫細胞表面に発現しているパターン認識受容

222 体によって認識されて免疫細胞を活性化する成分であり、自然免疫を誘導して宿主の

223 免疫力を増強する効果のみならず、ワクチンによる免疫応答を高めて抗体産生を効果

224 的に誘導する成分としての利用が注目されている。これまでの菌体外多糖の免疫細胞

225 への刺激の効果を評価した報告から（表1）、菌体外多糖もパターン認識受容体によっ

226 て認識され、直接的に免疫細胞を刺激する効果が報告されている。しかしながら菌体

227 外多糖を認識するパターン認識受容体の種類およびその後の機能性誘導経路は一樣で

228 はない。

表1 菌体外多糖の構造と認識するパターン認識受容体					
構造	菌株	パターン認識受容体 (PRR)	PRR発現細胞	免疫誘導活性	参考文献
Zymosan Depleted, particulate $\beta$ -1,3/1,6-glucan, particle size 3 $\mu$ m, 240 kDa	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	TLR2, 4 and 5 when co-bound together to Dectin-1	HEK, THP-1 macrophage cell	stimulation of Dectin-1 signal via TLR4 inhibition of Dectin-1 signal via TLR2 and 5	56
$\alpha$ -1,6 glucan containing 4% of $\alpha$ -1,3 linked glucose and 6% of $\beta$ -fructan	<i>Leuconostoc mesenteroides</i> NTM048	TLR2, TLR4, TLR5		Induction of antigen-specific IgA	50, 62
mannose (88%) and glucose (11.9%)	<i>Bacillus subtilis</i>	TLR4	bone marrow-derived dendritic cells	induction of anti-inflammatory M2 macrophage, suppression of T-cell activation by induction of inhibitory dendritic cells	63, 64
galactofuranose, galactopyranose, and N-acetylgalactosamine (1:1:2), 500 kDa	<i>Thermus aquaticus</i> YT-1	TLR2	RAW264.7 macrophages	induction of nitric oxide, TNF- $\alpha$ , and IL-6	66
branched hexasaccharide repeating unit containing two galactose and two glucose moieties, galacturonic acid and the 6-deoxy-L-talose.	<i>Bifidobacterium longum</i> 35624	TLR2	dendritic cells, inflammatory preclinical model murine bone marrow derived osteoclast precursors	suppression of pro-inflammatory responses by increasing regulatory T-cells and IL-10 production inhibitory effect on bone-resorbing osteoclast formation by stimulation of TLR2/MyD88 signaling	67, 68 69, 70
zwitterionic polysaccharides possessing free amino, N'-acetyl, and carboxyl groups. (polysaccharide A)	<i>Bacteroides fragilis</i> NCTC9343	TLR2	BALB/c mice	Treg induction and IL-10 expression through TLR2	71, 72
galactosamine, glucosamine, glucose, mannose, and glucuronic acid with a molar ratio of 1:1.4:4.9:6.2, 3.84 $\times$ 10 <sup>5</sup> Da	<i>Lactobacillus plantarum</i> NCU116	TLR2	mouse epithelial colorectal carcinoma cell line CT26	the activation of TLR2 and JNK/c-Jun dependent Fas/FasL-mediated apoptotic pathway	73
Acidic extracellular polysaccharide	<i>Lactobacillus delbrueckii</i> TUA4408L	TLR4	porcin intestinal epithelial cells	down-regulation of expression of IL-8, IL-6, and MCP-1	74
Neutral extracellular polysaccharide	<i>Lactobacillus delbrueckii</i> TUA4408L	TLR2, TLR4	porcin intestinal epithelial cells	down-regulation of expression of IL-8, IL-6, and MCP-1	74
Neutral extracellular polysaccharide	<i>Lactobacillus plantarum</i> N14	TLR2	porcin intestinal epithelial cells	down-regulation of expression of MCP-1	75
Acidic extracellular polysaccharide	<i>Lactobacillus plantarum</i> N14	RP105, TLR4	porcin intestinal epithelial cells	down-regulation of expression of IL-8, IL-6, and MCP-1	75

図表の挿入位置を本文中に示してください。  
文献は、出現順に上付きで両括弧囲みの番号<sup>(1)</sup>で引用して下さい。  
句読点は「.」「,」をご使用ください。

230

231       *Saccharomyces cerevisiae* 由来の微粒子状の  $\beta$ -グルカン ( $\beta$ -1,3/1,6 グリコシド結合)

232       は、マウス皮内投与試験において牛血清由来のアルブミン特異的 IgG 抗体を誘導する効果

233       が<sup>(54)</sup>, マウス皮下投与試験においてオボアルブミン特異的 IgG を誘導する効果が報告され

234       ており<sup>(55)</sup>, 獲得免疫系を誘導してワクチンによる抗体産生を高めるアジュバントとして期

235       待される.  $\beta$ -グルカンは Dectin-1 (dendritic cell-associated C-type lectin-1), CR3

236       (complement receptor 3), TLR (Toll like receptor) 2, 4, 5 などのパターン認識受容体によ

237       って認識される<sup>(56, 57)</sup>. Dectin-1 においては, 受容体の細胞外ドメインである C-type レク

238       チンドメインにて認識され则认为られているが詳細な結合機序は未だ明らかではない.

239        $\beta$ -グルカンの結合により Dectin-1 の細胞内ドメインである ITAM (immunoreceptor

240       tyrosine-based-activation motif) の 2 量体構造が安定化して, 下流の Syk (spleen tyrosine

241       kinase) 依存経路または Sky 非依存経路のシグナルが活性化し, いずれの経路でも NF-

242        $\kappa$ B (nuclear factor  $\kappa$ B)による転写を誘導するが, この場合, 貪食活性と細胞障害活性が

243       向上する<sup>(58)</sup>. アジュバント効果に重要な獲得免疫を誘導するためには, Dectin-1 による刺

244       激とともに TLR とそのアダプター分子 MyD88 (myeloid differentiation factor 88) を介

245       したシグナルが必要となる<sup>(59)</sup>. さらに  $\beta$ -グルカンは補体受容体 CR3 (補体分子 iC3b のレ

246       セプター) へも結合し, CR3 によるシグナルを増強することが知られている. マクロファ

247       ージによって貪食された粒子状の  $\beta$ -グルカンは, 未だ解明されていない経路によって小分

248       子の可溶性  $\beta$ -グルカン (約 25 kDa) に分解された後, このマクロファージから放出され

249       る. 続いてその小分子  $\beta$ -グルカンは好中球の発現する CR3 のレクチンドメインに結合し,

図表の挿入位置を本文中に示してください。  
文献は、出現順に上付きで両括弧囲みの番号<sup>(1)</sup>で引用して下さい。  
句読点は「.」「,」をご使用ください。

250 CR3 の異なるドメイン（I-ドメイン）に結合する補体分子 iC3b と協調して Syk - PI3K  
251 (phosphatidylinositol 3-kinase) 経路を刺激し好中球の細胞障害性を増強する<sup>(60)</sup>。このよ  
252 うにマクロファージによって部分分解された高分子菌体外多糖の分解産物が、パターン認  
253 識受容体のリガンドとなるような免疫刺激経路が他にもあると考えられ、他の菌体外多糖  
254 への研究の展開が求められる。

255 *L. mesenteroides* NTM048 の産生する菌体外多糖 LmEPS 成分のうち、前述した Gtf2  
256 (図 1 Genbank Accession No. GIM17549.1) から合成した  $\alpha$ -1,3/1,6 グルカンは腸内細菌  
257 によって資化されない多糖である。マウスへの経鼻感作試験によってオボアルブミン特異  
258 的抗体を気道粘膜に誘導できることから<sup>(61)</sup>、やはり粘膜ワクチンによる抗体産生効果を高  
259 めるアジュバントとして期待されている。LmEPS の刺激を受けた樹状細胞において、IL-  
260 6, IL-10, IL-12 およびレチナール脱水素酵素遺伝子の発現が上昇し、T 細胞を介した抗体  
261 産生誘導経路によって抗原特異的抗体の産生が上昇する<sup>(50, 62)</sup>。HEK-298 細胞を用いたレ  
262 ポーターアッセイによる検討からこの多糖は TLR2, 4, 5 などのパターン認識受容体によ  
263 って認識される成分であることが明らかになっており（未発表データ）、 $\beta$ -グルカンとは  
264 異なる経路によって抗原特異的抗体が誘導されていると考えられる。

265 腸内の病原体に起因するアレルギー症状や大腸炎を抑制する効果を有する *Bacillus*  
266 *subtilis* 由来の菌体外多糖（構成糖：マンノース，グルコース）はパターン認識受容体の  
267 一つ TLR4 のリガンドである。この多糖は樹状細胞の発現する TLR4 を介して L-トリプ  
268 トファンからのキヌレニン生合成を促進する IDO (indoleamine 2,3-dioxygenase) を誘導  
269 し、キヌレニンは転写因子 AhR (aryl hydrocarbon receptor) との複合体形成を介して免

図表の挿入位置を本文中に示してください。  
文献は、出現順に上付きで両括弧囲みの番号<sup>(1)</sup>で引用して下さい。  
句読点は「.」「,」をご使用ください。

270 疫抑制性樹状細胞 (tolerogenic DC) の誘導とそれに伴う T 細胞の増殖抑制に寄与する<sup>(63,</sup>  
271 <sup>64)</sup>。それに対し同じ TLR4 のリガンドであるグラム陰性菌由来のリポ多糖 (LPS) による  
272 刺激では、TLR4 と炎症反応を促進する補助レセプターCD14 との会合により、炎症性サ  
273 イトカインが誘導される<sup>(64, 65)</sup>。

274 Toll-like receptor (TLR) 2 も菌体外多糖を認識する受容体である。 *Thermus aquaticus*  
275 由来のヘテロ多糖体（構成糖：ガラクトフラノース，ガラクトピラノース，*N*-アセチルガ  
276 ラクトサミン）は TLR2 のリガンドであり，アダプター分子 MyD88/TIRAP (Toll-  
277 interleukin 1 receptor domain containing adaptor protein) を介して転写因子 NF- $\kappa$ B を  
278 活性化し，マクロファージによる炎症性サイトカイン (IL-6, TNF- $\alpha$ ) や一酸化窒素の産生  
279 を誘導する<sup>(66)</sup>。一方 *Bifidobacterium longum* 35624 株由来のヘテロ多糖体（構成糖：ガ  
280 ラクトース，グルコース，ガラクトツロン酸，6-デオキシ-L-タロース）も TLR2 のリガンド  
281 であるが，IL-6 とともに抑制性のサイトカイン IL-10 も誘導し，炎症抑制に寄与する。ま  
282 た本多糖体による TLR2 の刺激は MyD88 を介して破骨細胞分化を抑制して骨粗鬆症リス  
283 クを軽減することも報告されている<sup>(67-70)</sup>。 *Bacteroides fragilis* の産生する両性イオン多  
284 糖ポリサッカライド A は TLR2 のシグナルを介して制御性 T 細胞のマスター転写因子  
285 Foxp3 (Forkhead Box transcription factor protein)を誘導する。制御性 T 細胞は IL-10 を  
286 産生して Th17 細胞を抑制，大腸炎抑制に寄与する<sup>(71, 72)</sup>。 *Lactiplantibacillus plantarum*  
287 NCU116 株由来のヘテロ多糖体（構成糖：ガラクトサミン，グルコサミン，グルコース，  
288 マンノース，グルクロン酸）も，マウス大腸がん細胞株に発現する TLR2 を介して JNK  
289 (c-Jun N-terminal kinase) / c-Jun 経路を刺激し，転写制御因子 c-Jun はデス因子 Fas リ



図表の挿入位置を本文中に示してください。  
文献は、出現順に上付きで両括弧囲みの番号<sup>(1)</sup>で引用して下さい。  
句読点は「.」「,」をご使用ください。

290 ガンドの発現を誘導してガン細胞のアポトーシスを誘導する<sup>(73)</sup>.  
291 同じ菌株が産生した菌体外多糖でも酸性多糖と中性多糖では関与するパターン認識受  
292 容体が異なることが、ブタ腸管上皮細胞株を用いた研究で解析されている。 *Lactobacillus*  
293 *delbrueckii*TUA4408L 由来の酸性多糖は TLR4 に、中性多糖は TLR2 と TLR4 の双方に  
294 作用することにより、TLR4/MD4 複合体による炎症性シグナルを負に制御して、IL-8, IL-  
295 6, MCP-1 (Monocyte chemotactic protein 1) を低下させる<sup>(74)</sup>。 *Lactobacillus plantarum*  
296 N14 由来の酸性多糖は TLR4 とともに TLR ファミリーに属する RP105 (radioprotective  
297 105) にも作用して、IL-8, IL-6, MCP-1 を抑制するが、中性多糖は TLR2 に作用して MCP-  
298 1 を抑制する<sup>(75)</sup>。

299 経口で摂取した場合、これらパターン認識受容体によって認識される菌体外多糖類は免  
300 疫細胞を直接刺激できるため、間接的に機能性を誘導する菌体外多糖類と比較して少量の  
301 摂取量で効果を誘導することができる。酵母 *S. cerevisiae* 由来の  $\beta$ -グルカンにおいて、  
302 マウスへの投与量 25 mg/day で腸管上皮細胞間リンパ球が増加し腸管免疫系を増強する  
303 効果が<sup>(76)</sup>、ヒトへの投与量 250～900 mg /day で上気道感染症を予防する効果が認められ  
304 ている<sup>(57)</sup>。

305

#### 306 ④「終わりに」

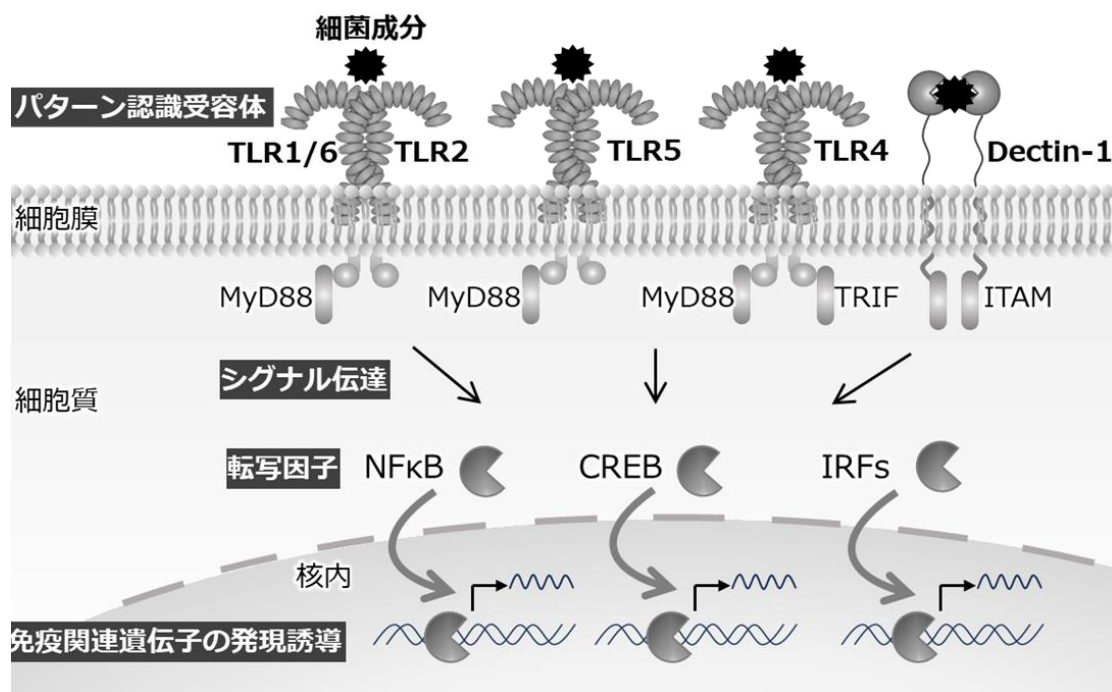
307 乳酸菌の機能性が菌株レベルで異なるように、菌体外多糖の機能性も菌株レベルで異なっ  
308 ておりそのことが産業利用の妨げとなっていた。しかしながら近年の構造と機能性解析の  
309 発展により、適切な生産系の構築やターゲットを絞った機能の利用が可能となる知見が深

図表の挿入位置を本文中に示してください。  
文献は、出現順に上付きで両括弧囲みの番号<sup>(1)</sup>で引用して下さい。  
句読点は「.」「,」をご使用ください。

化している。これら研究基盤を活用することが産業レベルの応用への近道となると考えて  
いる。

## ⑤「コラム」:

高校の授業では、様々な知識が断片的に蓄積されるが、大学の研究ではその知識が融合されていくところが面白い。高校生物の『免疫』の項にて、樹状細胞やマクロファージは、細菌の成分を「認識」して「自然免疫系を活性化」する役割を担う白血球として登場する。この「認識」とは、免疫細胞の発現するパターン認識受容体（PRR）に細菌成分が認識されることである。本文の表1で解説しているように、菌体外多糖もPRRによって「認識」されて細胞内にシグナルが伝達される。その概要をコラム中の略図にて示している。



細胞内シグナル伝達によって活性化した転写因子が核内へ移行して、「自然免疫系の活性化」に関与する遺伝子の発現誘導がおこなわれる。ここで重要な役割を果たす遺伝子発現

図表の挿入位置を本文中に示してください。  
文献は、出現順に上付きで両括弧囲みの番号<sup>(1)</sup>で引用して下さい。  
句読点は「.」「,」をご使用ください。

330 は高校生物では『遺伝』の項にて登場する。またシグナル伝達に重要な役割を果たしてい  
331 るのは細胞質中に存在している酵素であるが、こちらは高校化学の『酵素』の項にて学ぶ  
332 分野である。関与する様々な分子の機能を知るためには分子構造を解明する必要があるが、  
333 構造情報は高校物理で学ぶ『波形』データとして得られ、波形データの解析には高校数学  
334 の『微分・積分』の知識が必要となる。突き詰めていくと最終的に高校では学ばない『哲  
335 学』の領域に行き着くと言われているが、残念ながら私は到達出来そうにない。若い皆様  
336 が『哲学』の領域まで到達し、未知の世界を見てくれることを祈念している。

337

338

339

340

341

342

343

344

345

346

347

## 【文献】

(雑誌)

- 1) D. Abarquero, E. Renes, J. M. Fresno & M. E. *Int. J. Food Sci. Technol.*, **57**(1), 16-26 (2022)
- 2) W. Tang, M. Dong, W. Wang, S. Han, X. Rui, X. Chen, M. Jiang, Q. Zhang, J. Wu & W. Li: *Carbohydr. Polym.*, **173**, 654-664 (2017)
- 3) G. Ye, G. Li, C. Wang, B. Ling, R. Yang & S. Huang: *Carbohydr. Polym.*, **207**, 218-223 (2019)
- 4) L. Gan, G. Jiang, X. Li, S. Zhang, Y. Tian & B. Peng: *Food Chem.*, **365**, 130496 (2021)
- 5) J. Gangoiti, X. Meng, A. Lammerts van Bueren & L. Dijkhuizen: *Genome Announc.*, **5**(10), e01691-16 (2017)
- 6) N. H. Avcioglu: *World J. Microbiol. Biotechnol.*, **38**(5), 86 (2022)
- 7) M. Yuan, G. Fu, Y. Sun & D. Zhang: *Carbohydr. Polym.*, **273**, 118597 (2021)
- 8) H. Leemhuis, T. Pijning, J. M. Dobruchowska, S. S. van Leeuwen, S. Kralj, B. W. Dijkstra & L. Dijkhuizen: **163**(2), 250-72 (2013)
- 9) M. S. Bounaix, V. Gabriel, S. Morel, H. Robert, P. Rabier, M. Remaud-Siméon, B. Gabriel & C. Fontagné-Faucher: *J. Agric. Food Chem.*, **57**(22), 10889-97 (2009)
- 10) M. Hugh. Davis, Harry B. Hines & R. John: *Carbohydr. Res.*, **156**, 69-77 (1986)
- 11) S. Kralj, G. H. van Geel-Schutten, M. J. E. C. van der Maarel & L. Dijkhuizen: *Microbiology (Reading, U. K.)*, **150**(Pt 7), 2099-2112 (2004)
- 12) X. Li, X. Wang, X. Meng, L. Dijkhuizen & W. Liu: *Carbohydr. Polym.*, **249**, 116818 (2020)
- 13) M. Miao, B. Jiang, Z. Jin & J. N. BeMiller: *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.*, **17**(5), 1238-1260 (2018).
- 14) J. Gangoiti, S. S. van Leeuwen, G. J. Gerwig, S. Duboux, C. Vafiadi, T. Pijning & L. Dijkhuizen: *Sci. Rep.*, **7**(1), 39761 (2017).
- 15) M. Vuillemin, F. Grimaud, M. Claverie, A. Rolland-Sabaté, C. Garnier, P. Lucas, P. Monsan, M. Dols-Lafargue, M. Remaud-Siméon & C. Moulis: *Carbohydr. Polym.*, **179**, 10-18 (2018)
- 16) K. Wangpaiboon, P. Padungros, S. Nakapong, T. Charoenwongpaiboon, M. Rejzek, R. A. Field & R. Pichyangkura: *Sci. Rep.*, **8**(1), 8340 (2018).
- 17) D. Passerini, M. Vuillemin, S. Ufarté L, Morel, Loux V, C. Fontagné-Faucher, P. Monsan, M. Remaud-Siméon & C. Moulis: *FEBS J.*, **282**(11), 2115-2130 (2015)
- 18) M. Vuillemin, M. Claverie, Y. Brison, E. Séverac, P. Bondy, S. Morel, P. Monsan, C. Moulis & M. Remaud-Siméon: *J. Biol. Chem.*, **291**(14), 7687-702 (2016)
- 19) Y. Brison, E. Fabre, C. Moulis, J. C. Portais, P. Monsan & M. Remaud-Siméon: *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, **86**(2), 545-554 (2010)
- 20) R. Srikanth, C. H. Reddy, G. Siddartha, M. J. Ramaiah & K. B. Uppuluri: *Carbohydr. Polym.*, **120**, 102-114 (2015)
- 21) D. Ni, W. Xu, Y. Zhu, W. Zhang, T. Zhang, C. Guang & W. Mu: *Biotechnol. Adv.*, **37**(2), 306-318 (2019)
- 22) J. Ehrlich, S. S. Stivala, W. S. Bahary, S. K. Garg, L. W. Long, E. Newbrun. & I. Levans: *J. Dent. Res.*, **54**(2), 290-297 (1975)
- 23) C. S. Hundschell, F. Jakob & A. M. Wagemans: *Int. J. Biol. Macromol.*, **161**, 398-405 (2020)
- 24) D. Ni, Y. Zhu, W. Xu, X. Pang, J. Lv & W. Mu: *J. Agric. Food Chem.*, **68**(21), 5854-5862 (2020)
- 25) M. Xu, L. Pan, Z. Zhou & Y. Han: *Carbohydr. Polym.*, **291**, 119519 (2022)
- 26) 荒川 勝隆, 青山 葉子, 池田 宏, 三國 克彦, 藤田 孝輝, 原 耕三: *J. of Appl. Glycosci.*, **49**(1), 63-72 (2002)

- 27) Y. Kimura, Y. Nagata, C. W. Bryant & R. K. Buddington: *J. Nutr.*, **132**(1), 80-87 (2002)
- 28) F. Teramoto, K. Rokutan, Y. Sugano, K. Oku, E. Kishino, K. Fujita, K. Hara, K. Kishi M. Fukunaga & T. Morita: *J. Nutr. Sci. Vitaminol. (Tokyo)*. **52**(5), 337-346 (2006)
- 29) K. Fujita, T. Ito & E. Kishino: 20103351084, Japanese, Journal article, Japan, 57, Tokyo, Proceedings of the Research Society of Japan Sugar Refineries' Technologists, (13–21), Research Society of Japan Sugar Refineries' Technologists, Characteristics and applications of lactosucrose
- 30) U. Römling & M. Y. Galperin: *Trends. Microbiol.*, **23**(9), 545-57 (2015)
- 31) S. J. Stasinopoulos, P. R. Fisher, B. A. Stone & V.A. Stanisich: *Glycobiology*, **9**(1), 31-41 (1999)
- 32) D. Pérez-Mendoza, M. Á. Rodríguez-Carvajal, L. Romero-Jiménez, A. Farias Gde, J. Llore, M. T. Gallegos & J Sanjuán: *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, **112**(7), E757-765 (2015)
- 33) P. Jacek, F. Dourado, M Gama & S. Bielecki: *Microb. Biotechnol.*, **12**(4), 633-649 (2019)
- 34) P. V. Navya, V. Gayathri, D. Samanta & S. Sampath: *Int. J. Biol. Macromol.*, **220**, 435-461 (2022)
- 35) N. H. Avcioglu: *World J Microbiol. Biotechnol.*, **38**(5), 86(2022)
- 36) V. Dincă, A. Mocanu, G. Isopencu, C. Busuioc, S. Brajnicov, A. Vlad, M. Icriverzi, A. Roseanu, M. Dinescu, M. Stroescu, A. Stoica-Guzun & M. Sucheai: *Arab. J. Chem.*, **13**(1), 2020, 3521-3533
- 37) L. Yang, X. Zhu, Y. Chen & W. Jun: *Int. J. Biol. Macromol.*, **260**, 129552 (2024)
- 38) M. U. Rani, N. K. Rastogi & K. A. Anu Appaiah: *J. Microbiol. Biotechnol.*, **21**(7), 739-745 (2011)
- 39) C. Laroche & P. Michaud: *Recent Pat. Biotechnol.*, **1**(1), 59-73 (2007)
- 40) A. Koh, F. De Vadder, P. Kovatcheva-Datchary & F. Bäckhed: *Cell*, **165**(6), 1332-1345 (2016).
- 41) J. Miyamoto, H. Shimizu, K. Hisa, C. Matsuzaki, S. Inuki, Y. Ando, A. Nishida, A. Izumi, M. Yamano, C. Ushiroda, J. Irie, T. Katayama, H. Ohno, H. Itoh, K. Yamamoto & I. Kimura: *Gut microbes*, **15**(1), 2161271 (2023).
- 42) A. Nogal, A. M. Valdes & C. Menni: *Gut microbes*, **13**(1), 1897212 (2021)
- 43) B. Dalile, L. Van Oudenhove, B. Vervliet & K. Verbeke: *Nat. Rev. Gastroenterol. Hepatol.*, **16**(8), 461-478 (2019)
- 44) N. Takemura, K. Ozawa, N. Kimura, J. Watanabe & K. Sonoyama: *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, **74**(2), 375-381 (2010)
- 45) M. Roberfroid: *J. Nutr.*, **137**(3), 830S-837S (2007)
- 46) J. Tarini & T. M. Wolever: *Appl. Physiol. Nutr. Metab.*, **35**(1), 9-16 (2010)
- 47) T. Ohkusa, Y Ozaki, C Sato, K. Mikuni, & H. Ikeda: *Digestion*, **56**(5), 415-420 (1995).
- 48) S. R. Sarbini, S. Kolida, T. Naeye, A. Einerhand, Y. Brison, M. Remaud-Simeon, P. Monsan, G. R. Gibson & RA: *Appl. Environ. Microbiol.*, **77**(15), 5307-15 (2011)
- 49) E. M. Te Poele, S. G. Corwin, B. R. Hamaker, L. M. Lamothe, C. Vafiadi, & L. Dijkhuizen: *J. Agric. Food Chem.* **68**(24), 6664-6671 (2020)
- 50) C. Matsuzaki, C. Takagaki, Y. Tomabechei, L. S. Forsberg, C. Heiss, P. Azadi, K. Matsumoto, T. Katoh, K. Hosomi, J. Kunisawa, K. Yamamoto & K. Hisa: *Carbohydr. Res.*, **448**, 95-102 (2017)
- 51) J. Miyamoto, H. Shimizu, K. Hisa, C. Matsuzaki, S. Inuki, Y. Ando, A. Nishida, A. Izumi, M. Yamano, C. Ushiroda, J. Irie, T. Katayama, H. Ohno, H. Itoh, K. Yamamoto & I. Kimura: *Gut microbes*, **15**(1), 2161271 (2023)
- 52) S. Qiao, C. Liu, L. Sun, T. Wang, H. Dai, K. Wang, L. Bao, H. Li, W. Wang, S. J. Liu & H. Liu: *Nat. Metab.*, **4**(10), 1271-1286 (2022).

- 53) D. S. K. Palur, S. R. Pressley & S. Atsumi: *Molecules*, **28**(3), 1491 (2023).
- 54) V. K. Berner, M. E. Sura & K. W. Hunter: *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, **80**, 1053-1061 (2008).
- 55) H. Huang, G. R. Ostroff, C. K. Lee, C. A. Specht & S. M. Levitz: *MBio*, **1**(3), 10.1128 (2010).
- 56) P. Kanjan, N. M. Sahasrabudhe, B. J. de Haan & P. de Vos: *J. Funct. Foods*, **37**, 433-440 (2017).
- 57) A. B. C. Samuelsen, J. Schrezenmeir & S. H. Knutsen: *Mol. Nutr. Food Res.*, **58**(1), 183-193 (2014).
- 58) T. Haas, S. Heidegger, A. Wintges, M. Bscheider, S. Bek, J. C. Fischer, G. Eisenkolb, M. Schmickl, S. Spoerl, C. Peschel, H. Poeck & J. Ruland: *Eur. J. Immunol.*, **47**(5), 872-879. (2017).
- 59) N. M. Sahasrabudhe, J. Dokter-Fokkens, & P. de Vos: *Mol. Nutr. Food Res.*, **60**(11), 2514-2522 (2016).
- 60) X. M. O'Brien, K. E. Hefflin, L. M. Lavigne, K. Yu, M. Kim, A. R. Salomon & J. S. Reichner: *J. Biol. Chem.*, **287**(5), 3337-3348 (2012).
- 61) C. Matsuzaki, Y. Nakashima, I. Endo, Y. Tomabechi, Y. Higashimura, S. Itonori, K. Hosomi, J. Kunisawa, K. Yamamoto & K. Hisa: *Gut Microbes*, **13**(1), 1949097 (2021).
- 62) C. Matsuzaki, C. Takagaki, Y. Higashimura, Y. Nakashima, K. Hosomi, J. Kunisawa, K. Yamamoto & K. Hisa: *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, **82**(9), 1647-1651 (2018).
- 63) S. E. Jones, M. L. Paynich, D. B. Kearns & K. L. Knight: *J. Immunol.*, **192**(10), 4813-4820 (2014).
- 64) J. Zamora-Pineda, O. Kalinina, A. I. Sperling & K. L. Knight: *J. Immunol.*, **211**(8), 1232-1239 (2023).
- 65) K. L. Chan, K. F. Wong & J. M. Luk: *World J. Gastroenterol.*, **15**(38), 4745 (2009).
- 66) M. H. Lin, Y. L. Yang, Y. P. Chen, K. F. Hua, C. P. Lu, F. Sheu, G. Lin, S. S. Tsay, S. M. Liang & S. H. Wu: *J. Biol. Chem.*, **286**(20), 17736-17745. (2011).
- 67) E. Schiavi, M. Gleinser, E. Molloy, D. Groeger, R. Frei, R. Ferstl, N. Rodriguez-Perez, M. Ziegler, R. Grant, T. F. Moriarty, S. Plattner, S. Healy, M. O. Motherway, C. A. Akdis, J. Roper, F. Altmann, D. van Sinderen & L. O'Mahony: *Appl. Environ. Microbiol.*, **82**(24), 7185-7196 (2016).
- 68) E. Schiavi, S. Plattner, N. Rodriguez-Perez, W. Barcik, R. Frei, R. Ferstl, M. Kurnik-Lucka, D. Groeger, R. Grant, J. Roper, F. Altmann, D. van Sinderen, C. A. Akdis & L. O'Mahony: *Benef. Microbes*, **9**(5), 761-773 (2018).
- 69) A. Wallimann, M. Hildebrand, D. Groeger, B. Stanic, C. A. Akdis, S. Zeiter, R. Geoff Richards, T. Fintan Moriarty, L. O'Mahony & K. Thompson: *Calcif. Tissue Int.*, **108**, 654-666 (2021).
- 70) F. Altmann, P. Kosma, A. O'Callaghan, S. Leahy, F. Bottacini, E. Molloy, S. Plattner, E. Schiavi, M. Gleinser, D. Groeger, R. Grant, N. R. Perez, S. Healy, E. Svehla, M. Windwarder, A. Hofinger, M. O. Motherway, C. A. Akdis, J. Xu, J. Roper, D. van Sinderen & L. O'Mahony: *PloS one*, **11**(9), e0162983 (2016).
- 71) J. L. Round & S. K. Mazmanian: *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, **107**(27), 12204-12209 (2010).
- 72) A. O. Tzianabos, R. W. Finberg, Y. Wang, M. Chan, A. B. Onderdonk, H. J. Jennings & D. L. Kasper: *J. Biol. Chem.*, **275**(10), 6733-6740 (2000).
- 73) X. Zhou, T. Hong, Q. Yu, S. Nie, D. Gong, T. Xiong & M. Xie: *Sci. Rep.*, **7** (1), 14247, (2017).
- 74) S. Wachi, P. Kanmani, Y. Tomosada, H. Kobayashi, T. Yuri, S. Egusa, T. Shimazu, Y. Suda, H. Aso, M. Sugawara, T. Saito, T. Mishima, J. Villena & H. Kitazawa: *Mol. Nutr. Food Res.*, **58**(10), 2080-2093 (2014).
- 75) Y. Murofushi, J. Villena, K. Morie, P. Kanmani, M. Tohno, T. Shimazu, H. Aso, Y.

- Suda, K. Hashiguchi, T. Saito & H. Kitazawa: *Mol. Immunol.*, **64**(1), 63-75 (2015).  
76) Tsukada, C., H. Yokoyama, C. Miyaji, Y. Ishimoto, H. Kawamura, & T. Abo: *Cell. Immunol.*, **221**(1), 1-5 (2003).

本誌「執筆者紹介」欄に、先生のプロフィールを紹介させていただきたく存じます。  
お手数ではございますが、下記プロフィール見本をご参照のうえ、プロフィールをお  
作りいただき、**原稿と共にご提出ください**。また、**顔写真**も掲載しておりますので、  
あわせてご提出をお願い申し上げます。

\*なお御共著の先生がいる場合はその先生のプロフィールも頂戴したくお願い申し上  
げます。

**<御芳名>**（漢字とジャーナルなどに投稿される際の英文つづり）

吉田 健太郎, 石川県立大学大学院 生物機能開発科学専攻 (Kentaro YOSHIDA, Ishikawa  
Prefectural University Graduate School)

**<略歴>**（出身校、卒業年次、卒業後のご略歴）

2021 年石川県立大学生物資源環境学部食品科学科卒業 / 2023 年石川県立大学大学院生物  
資源環境学研究科博士前期課程修了 / 2024 年石川県立大学大学院生物資源環境学研究科  
博士後期課程、現在に至る

**<研究テーマと抱負>**（現在の研究テーマ、抱負、あるいは興味をもっておられること  
など）

乳酸菌が産生する EPS の酵素に関する研究

**<趣味>**

料理

**顔写真**



＜御芳名＞（漢字とジャーナルなどに投稿される際の英文つづり）

小柳 喬, 石川県立大学 (Takashi KOYANAGI, Ishikawa Prefectural University)

＜略歴＞（出身校, 卒業年次, 卒業後のご略歴）

2000 年京都大学農学部生物機能科学科卒業, 2002 年京都大学大学院生命科学研究科統合生命科学専攻修士課程修了, 2006 年同大学院博士課程認定退学, 2007 年京都大学博士（生命科学）, 2006 年～2009 年石川県立大学生物資源工学研究所研究員, 2009 年～2013 年石川県立大学食品科学科助教, 2013 年同准教授, 現在に至る。

＜研究テーマと抱負＞（現在の研究テーマ, 抱負, あるいは興味をもっておられることなど）

伝統発酵食品と乳酸菌のかかわりや微生物挙動の解明, 発酵食品由来乳酸菌の有用成分産生能の解明, 伝統発酵食品の微生物学的全貌を詳細に把握したい。

＜趣味＞

バイオリン

顔写真



＜御芳名＞（漢字とジャーナルなどに投稿される際の英文つづり）

松崎 千秋, 石川県立大学 生物資源工学研究所 (Chiaki MATSUZAKI, Ishikawa Prefectural University)

＜略歴＞（出身校, 卒業年次, 卒業後のご略歴）

1995 年神戸大学農学部園芸農学科卒業/1997 年神戸大学大学院自然科学研究科博士前期課程修了/2012 年石川県立大学大学院生物資源環境学研究科博士後期課程修了/2012 年石川県立大学生物資源工学研究所研究員/2016 年石川県立大学生物資源工学研究所助教/2020 年石川県立大学生物資源工学研究所講師, 現在に至る



**<研究テーマと抱負>**（現在の研究テーマ，抱負，あるいは興味をもっておられることなど）

乳酸菌の有用な機能性を発揮している原因因子を解明して，応用につなげていきたい。

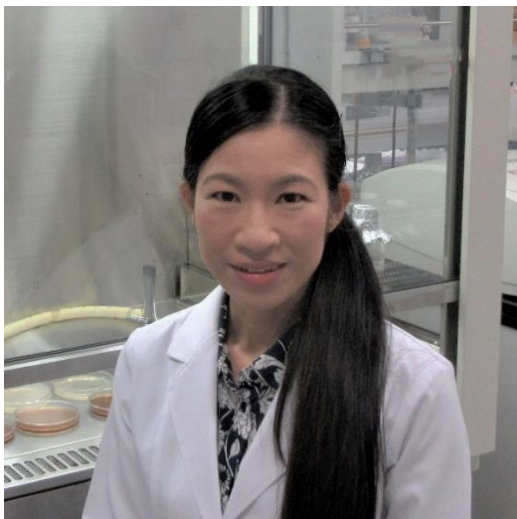
---

**<趣味>**

ジョギング，娘との文通

---

**顔写真**



Copyright © 2024 公益社団法人 日本農芸化学会

<https://katosei.jsbba.or.jp/>

DOI number

<http://doi.org/10.1271/kagakutoseibutsu.62.273>

