

# *Euglena gracilis* EOD-1株が産生するパラミロンの機能性

## Function of Paramylon from *Euglena gracilis* EOD-1



大中信輝\*  
Nobuteru Ohnaka



竹崎 潤\*  
Jun Takezaki  
技術士 (生物工学部門)



川嶋 淳\*  
Jun Kawashima



高橋 円\*  
Madoka Takahashi



青江誠一郎\*\*  
Seiichiro Aoe

当社独自の *Euglena gracilis* EOD-1株は、その独自成分として、食物繊維に分類される不溶性の $\beta$ -グルカン（パラミロン）を多量に蓄積する。食物繊維は、様々な物理化学的特性を有するものが多く、生理機能も多岐にわたる。EOD-1バイオマスおよびパラミロンの機能性について検討した結果、動物実験により、食後血糖値の上昇抑制効果（耐糖能改善）、血中コレステロール低下作用が確認された。

*Euglena gracilis* EOD-1 synthesizes a large amount of insoluble  $\beta$ -glucan (paramylon), known as dietary fiber. Dietary fiber has various physicochemical properties and physiological functions. We confirmed that oral administration of EOD-1 biomass and paramylon improved glucose tolerance and lowered blood cholesterol in mice.

### Key Words :

食物繊維	Dietary fiber
$\beta$ -グルカン	$\beta$ -glucan
ユーグレナ グラシリス EOD-1	<i>Euglena gracilis</i> EOD-1
パラミロン	Paramylon

### 【セールスポイント】

EOD-1バイオマスおよびパラミロンに、食後血糖値の上昇抑制効果、血中コレステロール低下作用が確認された。これより、EOD-1バイオマスおよびパラミロンが健康食品素材として有望であることが示唆された。

### まえがき

当社はユーグレナに含まれる栄養成分や機能性に着目し、食品素材としての利用を軸とした事業を展開している。当社独自の *Euglena gracilis* EOD-1株は食物繊維に分類される特徴的な $\beta$ -グルカン（パラミロン）を多量に蓄積する。

近年、動脈硬化症、脂質異常症、糖尿病、肥満などの疾病は、食物繊維の不足が深く関わっていることが明らかになってきている。そのため、食物繊維の十分な摂取が、生活習慣病の予防や治療に重要と

されている。

本報では、食物繊維について解説するとともに、EOD-1バイオマスおよびパラミロンの機能性について検討した結果を報告する。

### 1. 日本人の食物繊維摂取量の変遷

日本人の食物繊維の1日平均摂取量は、1955年度の国民栄養調査成績では22 gだったが、2016年度の国民健康・栄養調査結果では14.2 gに減少した（図1）<sup>1, 2)</sup>。食物繊維の給源としての食品群は、かつては穀類がもっとも重要であったが、現在では野菜

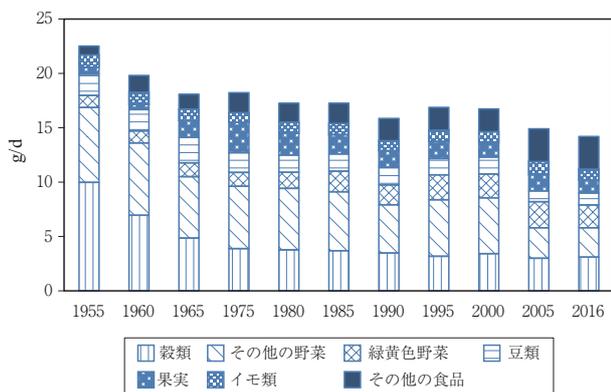


図1 日本人の食物繊維摂取量の変遷<sup>1, 2)</sup>

類がもっとも寄与率が高い。日本人の食事摂取基準(2015年版)では、1日の食物繊維の目標量は成人男性が20g以上、女性が18g以上であるが、若い世代で摂取量が少ない。とくに穀類からの食物繊維の摂取が年々低下しており、2015年度では1955年度の約1/3である<sup>2)</sup>。これは、糖質を避ける傾向が強まり、米飯類を食べなくなったことも一因である。

近年になって、穀物摂取が疾病リスク低下に関係すると報告された<sup>3)</sup>。全粒穀物を多く含む食品は、2型糖尿病のリスク低減、過体重や肥満のリスク低減と関係すると評価された。さらに、1日16g(1回)の全粒穀物摂取で全死亡リスクが7%低下、1日48g(3回)の摂取で20%低下することが示された<sup>4)</sup>。全粒穀物の効果に関して、64報の論文についてメタ解析\*が行われ、1日90gの全粒穀物の摂取は、冠動脈性心疾患、心血管疾患、全てのガン、呼吸器、感染症、糖尿病、その他疾患が原因の死亡率のリスクを低下させることが報告された<sup>5)</sup>。全粒穀物の食物繊維の主体は全粒小麦由来の不溶性食物繊維である。しかし、穀物中の不溶性食物繊維のどの性質が疾病予防に重要であるかは未だ解明されていない。

\*過去に独立して行われた複数の臨床研究のデータを収集・統合し、解析すること

## 2. 食物繊維の分類ならびにβ-グルカンについて

日本における食物繊維の定義は、「ヒトの消化酵素によって消化されない食物中の難消化性成分の総体」である。この定義によれば、難消化性オリゴ糖やレジスタントスターチも含まれることになるが、食品成分表や食事摂取基準に用いられている食物繊維は、プロスキー変法(酵素一重量法)を用いて定量されるものに限られる。したがって、難消化性オ

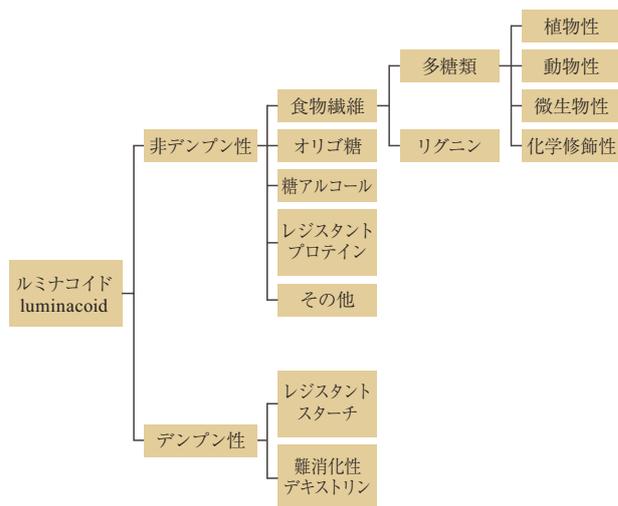


図2 ルミナコイドと食物繊維の関係

リゴ糖は含まれず、レジスタントスターチも老化デンプン(RS3と呼ばれる)と加工デンプン(RS4と呼ばれる)のみが測定される。各分析法が開発され、食物繊維に類似したはたらきをする成分を食物繊維の分類に入れるようになったが、食物繊維の定義を全て反映させると図2のようになり、日本食物繊維学会ではルミナコイドという名称を食物繊維とは別に命名している。成分名ではなく包括的な用語である。

食物繊維の中でも、β-グルカンに関する記事、論文が多く見受けられるようになっている。β-グルカンは、グルコースがβ結合した多糖類の総称である。もっとも身近で自然界に多く存在するセルロースもβ-グルカンの1種である。セルロースは、グルコースがβ-1,4結合した不溶性の多糖類である。一方、ラミナランは褐藻類、とくにコンブ属に多く含まれる貯蔵多糖で、グルコースのうちの大部分がβ-1,3結合を形成していると推測されており、これもβ-グルカンの1種である。古くからその存在が注目され研究されてきたのが、パン酵母の不溶性β-グルカンである。構造的には、β-1,3結合とβ-1,6結合の組み合わせで、長い直鎖状のβ-グルカンを形成している。また、カードランは土壌細菌(*Alcaligenes faecalis*)の変異株が細胞外につくるβ-グルカンである。ほとんどβ-1,3結合のみからなる直鎖状のβ-グルカンと考えられている。近年、ユーグレナグラシリスに含まれるβ-グルカンもパラミロンと称され注目されている。パラミロンは、β-1,3結合をした直鎖状のβ-1,3-グルカンである。表1に食物繊維源としてのβ-グルカンを示す。

表1  $\beta$ -グルカンの種類

名 称	結 合 様 式	起 源
セルロース	$\beta$ -1,4結合	植物細胞壁
パラミロン	$\beta$ -1,3結合	ユーグレナグラシリス
ラミナラン	大部分が $\beta$ -1,3結合	褐藻類, とくにコンブ属
カードラン	$\beta$ -1,3結合	土壌細菌 ( <i>Alcaligenes faecalis</i> ) の変異株
麦類 $\beta$ -グルカン	$\beta$ -1,3, $\beta$ -1,4結合分枝型	大麦, ライ麦, オート麦
酵母 $\beta$ -グルカン	$\beta$ -1,3, $\beta$ -1,6結合分枝型	酵母
きのこ $\beta$ -グルカン	$\beta$ -1,3結合直鎖型 $\beta$ -1,4, $\beta$ -1,6結合分枝型	キノコ類

### 3. 食物繊維の機能性

食物繊維が腸疾患や代謝性の疾患と密接な関連をもつことが示唆されて以来、食物繊維の生理作用に関する実験的研究、介入試験などが精力的に行われてきた。研究に使用される食物繊維素材も多様化し、様々な食物繊維素材が開発されている。食物繊維は、その包括的な定義から様々な物理化学的特性を有するものが多く、生理機能や疾病予防効果も多岐にわたる。一般に従来から疾病予防効果が確認されてきた食物繊維は、以下のいずれかの物理化学的性質を有するものが多い。

- ①保水性…食物繊維の組織中に水分を含んで数倍～十数倍に膨れる
- ②粘 性…水を含むと粘性の高い溶液になる性質をもつ
- ③吸着性…様々な物質（栄養素、有害成分、胆汁酸など）を吸着する性質をもつ
- ④イオン交換能…ある種の多糖類（ウロン酸や硫酸基をもつ）はナトリウム、カリウム、カルシウムなどと交換能をもつ

食物繊維は、胃および小腸内では、他の栄養素を包込む作用があるために炭水化物や脂質の消化吸収を緩やかにする独特の作用がある。ある食物繊維は胆汁酸の排泄を促進するので、コレステロールから胆汁酸合成の促進がコレステロール低下作用のメカニズムとして提案されている。他の性質として、病原性細菌との結合性や、食品中の変異源物質の消化管との結合を阻害したりする。また、上記の物理化学的特性とは別に大腸内では、多くの水溶性食物繊維は腸内細菌により発酵を受け、短鎖脂肪酸が産生され、吸収されてエネルギー源となり、様々な生理機能の発現に関与することが明らかとなっている。一方、発酵を受けにくい不溶性食物繊維は、水分を吸

収し、便のかさを増す働きがある。表2に疾病予防に関するエビデンスについて示す。

#### 1) 腸疾患予防とエビデンス

##### ①排便・便性改善効果

食物繊維は、大腸内の通過時間の短縮<sup>5)</sup>、便の重量と排便回数の増加<sup>6)</sup>、大腸内容物の希釈、また大腸内の腸内細菌叢による発酵基質となることにより大腸機能に影響を与えている。腸内通過時間を考える場合、大半は大腸内の通過時間である。食物繊維の摂取は、便重量に大きく影響し、通過時間を短縮させる。この作用が排便には重要であり、大腸の疾患を予防するのに重要な役割を果たしている。これらの作用は、セルロース、ヘミセルロースなどの発酵を受けにくい不溶性食物繊維に顕著である。

大部分の水溶性食物繊維は、発酵により産生された短鎖脂肪酸が大腸内 pH を低下させ、ぜん動を促進する。大部分の食物繊維は、水の吸着、発酵産物による浸透圧効果、菌体量の増加のいずれかにより便通を促す。

##### ②腸疾患の予防効果

食物繊維は、大腸の腸憩室症を予防し、症状を緩和する作用があることが報告されている<sup>7, 8)</sup>。便の重量を増やし、腸内容物の通過時間を短縮し、大腸内の圧力を低下させることが、予防効果に関与していると考えられている。健康なアメリカ人男性を対象に、食物繊維摂取量と大腸憩室症発症の関係を4年間追跡した調査では<sup>9)</sup>、食物繊維摂取の多い集団は、少ない集団に比べて、有意に相対危険度が低下した。食物繊維給源の比較では、果実由来と野菜由来の食物繊維摂取の増加が、発症リスクの低下に有意に関係していた。また、水溶性食物繊維の摂取の増加よりも、不溶性

表2 疾病予防とエビデンス

生理機能	エビデンス
<b>腸 疾 患</b>	
排便・便性改善効果 IDF	かさ増加, 便形成の調節 排便回数の改善
腸疾患の抑制 IDF	炎症性腸炎の予防とコントロール 結腸癌のリスク低減 ポリープ形成, 腸憩室症の予防効果
プレバイオティクス効果 SDF	腸内細菌叢の改善 短鎖脂肪酸の生成
消化管機能 IDF, SDF	消化管組織形態変化 小腸粘膜機能の調節: ムチンの産生促進 消化酵素の活性調節 消化管ホルモンの分泌調節: 消化管ペプチドホルモン (GIP, GLP-1, エンテログルカゴンなど) の産生刺激
<b>代 謝 性 疾 患</b>	
糖尿病予防 SDF	糖質の消化吸収速度の遅延 (低 GI) インスリン分泌の節約 (インスリン抵抗性の予防)
脂質代謝 SDF	血清コレステロール低下作用 胆汁酸排泄促進
<b>そ の 他 疾 患</b>	
免疫刺激 IDF, SDF	バリア機能や腸管感染の改善 細菌侵襲による全身性感染の防御
有害物質毒性軽減効果 IDF, SDF	変異源物質の吸着排泄作用 環境汚染物質の体外排泄作用
骨粗鬆症予防 貧血改善 など SDF	Ca, Mg 吸収促進作用 Fe, Cu, Zn の吸収への影響

IDF: 不溶性食物繊維の効果, SDF: 水溶性食物繊維の効果

食物繊維の摂取の増加の方が, 大腸憩室症リスクの低下に有効であったという報告もある<sup>10)</sup>。

食物繊維には, 結腸, 直腸癌の発症リスクを低下させる効果が古くから言われてきた。その効果は未だ議論の対象となっている。作用機序として, 発癌性物質との結合およびその希釈による有害作用の軽減, 2次胆汁酸生成の抑制, 大腸内通過時間の短縮, 発酵代謝産物などの関与が提案されている。しかし, 食物繊維摂取と大腸癌発症の関係については, 疫学研究の結果が一致していないのが現状である。

## 2) 代謝性疾患予防とエビデンス

### ① 糖尿病予防

総食物繊維摂取と2型糖尿病の発症リスクは負の相関性があることが報告されている。とくに, 全粒穀物に由来する食物繊維が2型糖尿病のリスクを軽減するというエビデンスが多くある。食物

繊維の中では水溶性食物繊維の摂取は, 食後の血糖値上昇やインスリン分泌を緩和する機会が多い。一方, セルロースなどの不溶性食物繊維は, 食後の血糖値やインスリン応答にはわずかな影響しか与えない。

2型糖尿病患者を対照にした介入試験により, 粘性のある水溶性食物繊維を摂取した場合, 血糖応答を有意に低下させることが報告されている。食物繊維の長期摂取が糖代謝に及ぼす影響についても, 健常者から糖尿病患者, 肥満者などを対象として多くの報告がある。評価に用いられた食物繊維もオーツ麦, 小麦フスマ, サイリウム, グアーガム, ポリデキストロース, フルクトオリゴ糖などがある。空腹時血糖値や糖尿病関連マーカーに対して有効であったとする報告<sup>11, 12)</sup>と, 有意差が認められなかったとする報告<sup>13, 14)</sup>があり, 食物繊維の質と量によって有効性が異なる可能性

がある。

## ②脂質異常症の予防

食物繊維摂取と冠状動脈心疾患の発症リスクは、逆相関することが多くのメタ解析で示された。Andersonら(2000)<sup>15)</sup>は、過去20年間における12のコホート研究のメタ解析を行い、冠状動脈疾患と食物繊維摂取の関係を調べた。その結果、総食物繊維、とくに全粒穀物の摂取が、冠状動脈心疾患のリスクを低下させると結論づけた。高コレステロール血症の患者への効果を調べた研究のメタ解析により、脂肪摂取などを減らすなどの食事の変化に加えて、粘性タイプの食物繊維の摂取を増やすと、コレステロールの低下に有効であることが示された。一方、粘性のほとんどないセルロース、リグニンなどの単離食物繊維やトウモロコシ外皮や小麦フスマなどの食物繊維源は、血中コレステロール値にほとんど影響を与えないとされている。

心臓血管系に与える食物繊維の明らかな予防効果は、様々なメカニズムにより説明されてきたが、血中コレステロール値低下作用の機序は未だ確立されていない。有力な仮説として、コレステロールまたは胆汁酸の排泄促進によるもの、コレステロール合成能の低下、血中からのコレステロール除去速度の増加などが挙げられる。その中でも、粘性の高い食物繊維は共通して胆汁酸の排泄を増加させることから、ステロール排泄促進作用が有力である。また、低分子の食物繊維素材であるポリデキストロースや難消化性デンプンが血中脂質低下作用を有するというエビデンスも少ない。

## 3) その他の疾患予防とエビデンス

動物といくつかのヒト試験で、難消化性オリゴ糖や易発酵性食物繊維が大腸で発酵するとカルシウム、マグネシウム、鉄などのミネラルの吸収を促進するという報告がある<sup>16, 17)</sup>。本作用は骨密度増加作用や鉄欠乏性貧血改善作用をもたらす。ミネラル吸収を促進する作用機序は、発酵により生成された短鎖脂肪酸が、大腸内容物のpHを低下させ、その結果ミネラル類の可溶性が増し、受動的拡散により大腸上皮の通過を促進する。

## 4. ユーグレナが産生するパラミロン<sup>18, 19)</sup>

前述のとおり、食物繊維はその種類により、様々な機能を持つことが分かってきている。ユーグレナが産生するパラミロンは不溶性の食物繊維に分類される。当社独自の *Euglena gracilis* EOD-1株はパラミロンを多量に蓄積する。ここからは、ユーグレナ

とその特有の成分であるパラミロンおよびそれらを用いた動物実験の機能性評価について紹介する。

### 4.1 ユーグレナ(ミドリムシ)とは

ユーグレナは、葉緑体を持つ単細胞の微細藻類である。細胞幅が約10 μm、細胞長が約50 μmで細胞の一端に2本の鞭毛があり、活発に遊泳する。また、ペリクルと呼ばれるらせん状の細胞外構造を有し、細胞が伸び縮みしたりくねくねする独特の運動(ユーグレナ運動または、すじりもじり運動という)を行う。

ユーグレナは、光独立栄養(いわゆる光合成)培養法、グルコースなどの有機性炭素を利用して暗所・好気条件で培養する従属栄養培養法、あるいは、それらの中間の光従属栄養のいずれの方法でも培養可能である。パラミロンの生産量は、従属栄養条件で培養した方が圧倒的に高く、株や培養条件により差はあるが、その生産量はユーグレナバイオマス乾燥重量の50%以上に達するものもある。当社は食品素材としての安全性および生産性の観点から、従属栄養培養法を採用している。

### 4.2 *Euglena gracilis* EOD-1株の培養<sup>20, 21)</sup>

当社は筑波大学との共同研究において、*Euglena gracilis*の新規株であるEOD-1株を分離した。本株は、研究に多用されている *Euglena gracilis* Z株(NIES-48)に比べ増殖が速く、パラミロンの含有率が高いといった優れた性質を有する(写真1)。

図3にEOD-1株とZ株の培養結果の一例を示す。AF-6培地<sup>22)</sup>に25 g/Lのグルコースと2.5 g/Lの酵母エキスを添加し、暗所28℃の条件で72時間培養した。EOD-1株のバイオマス生産量はZ株の約2倍、パラ

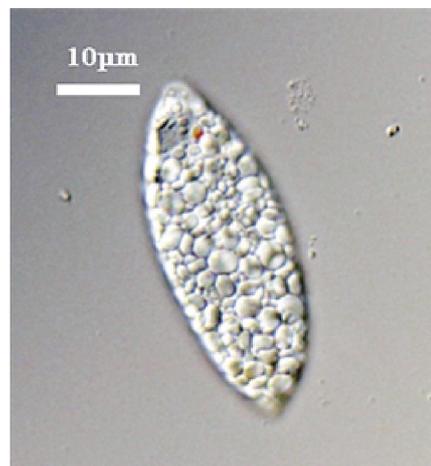


写真5 従属栄養培養で培養した *Euglena gracilis* EOD-1の光学顕微鏡像。細胞内に観察される白い顆粒がパラミロン。

表3 EOD-1バイオマスの安全性評価

項目	結果	備考
遺伝毒性試験	陰性	—
・Ames試験(微生物)	問題なし	突然変異
・致死感受性試験	問題なし	DNA損傷
・小核試験	問題なし	染色体異常
単回投与毒性試験	問題なし	ラットにおける急性経口毒性(LD50): 2000 mg/kg/day以上
反復投与毒性試験	問題なし	ラットに1000 mg/kg/dayを90日間反復投与を行い、異常は認められなかった。
催奇形性試験	問題なし	1000 mg/kg/dayの強制投与を行い、母ラット胎児ともに催奇形性は認められなかった。
アレルギー性試験	検出されず	特定原材料5項目(乳、卵、小麦、そば、落花生)甲殻類は原材料に含まれないため除外

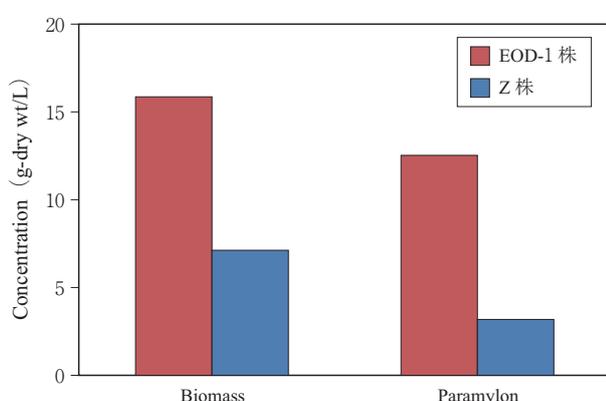


図3 *Euglena gracilis* EOD-1株とZ株(NIES-48)のバイオマス生産性およびパラミロン生産量の比較

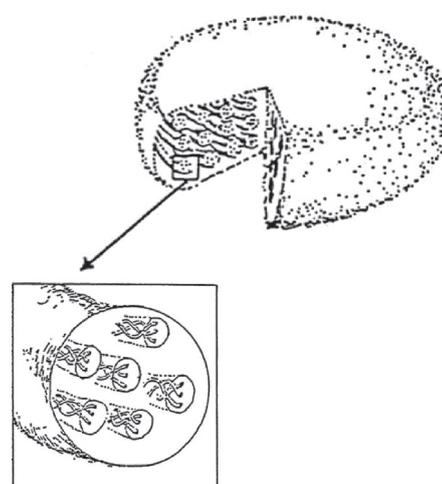


図5 パラミロンの3重らせん構造<sup>18)</sup>

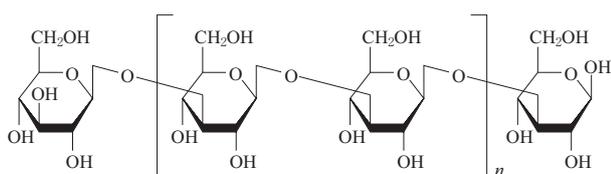


図4 パラミロンの構造式

ミロン生産量は約4倍の差があった。当社では培養方法の改良によりさらに生産性を向上させ、安定的にバイオマス中に70~80%のパラミロンを蓄積する培養条件を確立している。なお、バイオマス中のパラミロン( $\beta$ -1,3-グルカン)含有率は定量NMR法で定量している<sup>23)</sup>。また、EOD-1バイオマスを食品として提供するにあたり各種安全性試験を実施し、問題がないことを確認している(表3)。

#### 4.3 パラミロンとは

パラミロンは1000個前後のグルコースが $\beta$ -1,3結

合をした直鎖状の $\beta$ -1,3-グルカンである(図4)。3本の直鎖状 $\beta$ -1,3-グルカンが右巻きの縄のようにねじれあつた緩やかな3重らせん構造をとり、これらが複数集まるとぐるを巻いた状態でパラミロン顆粒を形成する(図5)。近年、ユーグレナやパラミロンに関して機能が研究されており、現在までに免疫賦活<sup>24, 25)</sup>、花粉症<sup>26)</sup>、胃潰瘍<sup>27)</sup>等への効果が報告されている。

写真2に、EOD-1株のパラミロンの電子顕微鏡写真を示す。EOD-1株のパラミロン顆粒の平均直径は約3 $\mu$ mであり、丸餅の様な形をしている。

パラミロンの化学的性質として、熱水も含め水には全く溶解しないが、希アルカリ等には溶解し、無色透明の粘度を帯びた水溶液になる。また、パラミロン顆粒は、*in vitro*試験(試験管内試験)では $\beta$ -1,3-グルカナーゼで分解されないが、希アルカリ

で前処理することにより分解されるようになる。これは、希アルカリ処理によりタイトな結晶構造が壊れ、酵素がアタックしやすくなったためと考えられる。このように、パラミロンの構造の特性から、種々の加工処理により物性が変化することが分かっている。

## 5. EOD-1バイオマスおよびパラミロンを用いた動物実験<sup>28)</sup>

### 5.1 実験概要

EOD-1バイオマスおよびパラミロンの機能性を調べるため、動物実験によりこれらの摂取が血糖値や血中脂質に及ぼす影響について検証した。図6に動物実験の概要を示す。

試験飼料は標準精製飼料を基本に、脂肪エネルギー比が50%となるようにラードを配合した高脂肪食

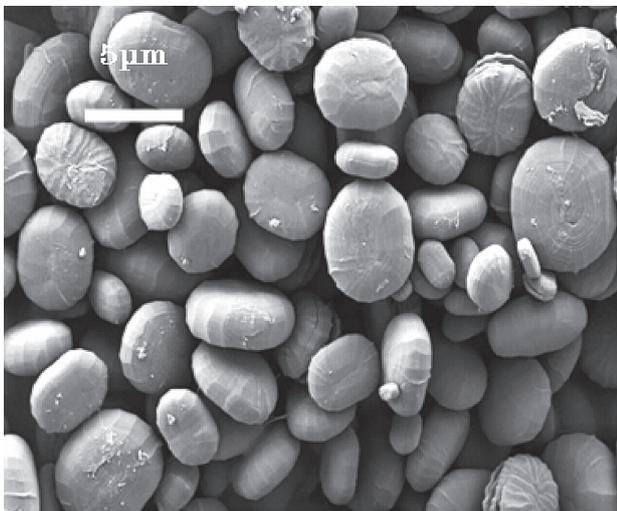


写真2 パラミロンの電子顕微鏡写真

を対照とした。試験群としてEOD-1バイオマスまたはEOD-1由来のパラミロンを配合した高脂肪食を調製した。

実験動物は5週齢の雄マウスを用いた。1週間の予備飼育後、体重が均一になるように群分けした。試験飼料を12週間摂取させ、試験最終週に経口ブドウ糖負荷試験を行った。

経口ブドウ糖負荷試験とはブドウ糖(グルコース)摂取後の血糖値の変化を測定する検査であり、ヒトでは糖尿病の診断に適用されている試験である。

試験終了時にマウスを8時間絶食させ、解剖および採血を実施し、血中総コレステロールおよび血中non-HDLコレステロール、血中インスリン濃度を測定した。

血中総コレステロールは、血液に含まれる善玉コレステロール(HDL-C)や悪玉コレステロール等の全てのコレステロールの総量である。一方、血中non-HDLコレステロールは総コレステロールからHDL-Cを引いた値であり、脂質異常症の指標として注目されている。

### 5.2 実験結果および考察

マウスの成長結果および各種臓器重量に有意差は認められず、同等であった。

経口ブドウ糖負荷試験の結果、血糖値はグルコース投与後60分でパラミロン摂取群が低下傾向を示し、120分後ではEOD-1バイオマス摂取群とパラミロン摂取群が有意に低値を示した(図7)。一方、血中インスリン濃度に差はなかった。このことから、EOD-1バイオマスおよびパラミロンの継続的な摂取により耐糖能が改善していることが示唆され

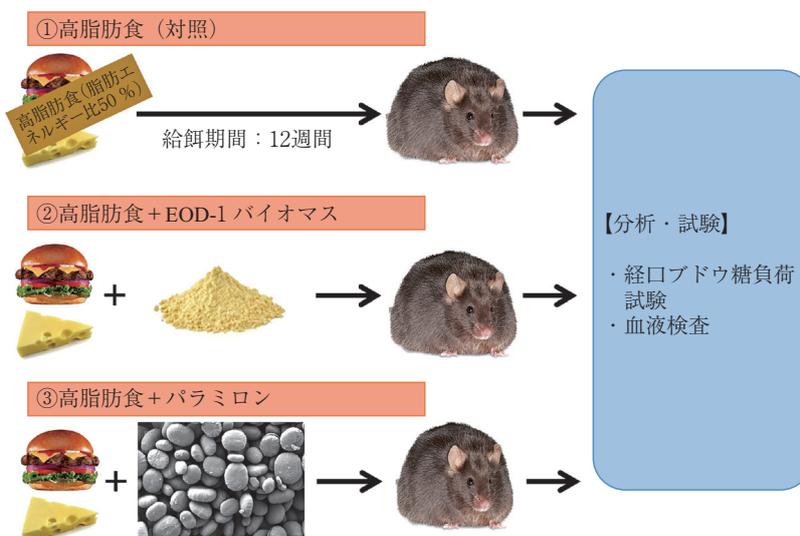


図6 動物実験概要

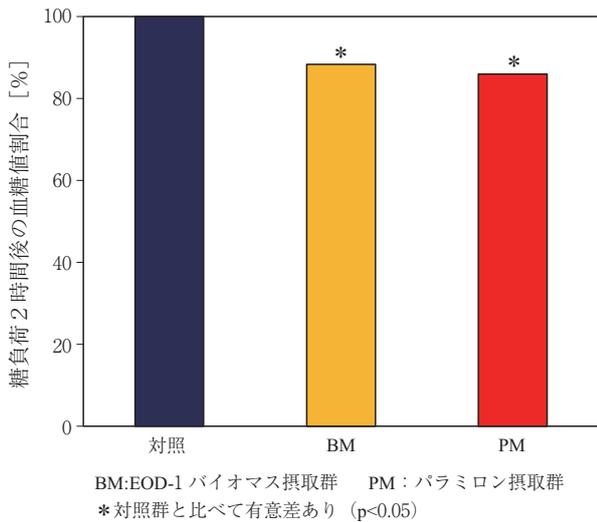


図7 経口ブドウ糖負荷試験による血糖値の比較

た。(耐糖能が悪化すると、インスリンが分泌されても血糖値は下がりにくくなる。)

血中総コレステロールおよび血中 non-HDL コレステロール濃度はパラミロン摂取群で有意に低下、EOD-1バイオマス摂取群で低下傾向にあり、パラミロン量に依存した低下が認められた(図8, 9)。

以上の結果から、EOD-1バイオマス中のパラミロンは、食後血糖値の上昇抑制効果(耐糖能改善)および血中コレステロール低下作用を有することが確認された。

これまで高粘性の水溶性食物繊維の特徴とされる機能性が、不溶性食物繊維であるパラミロンで見られた。図10に推測されるパラミロンの作用メカニズムを示す。パラミロンの摂取により、摂取した餌の

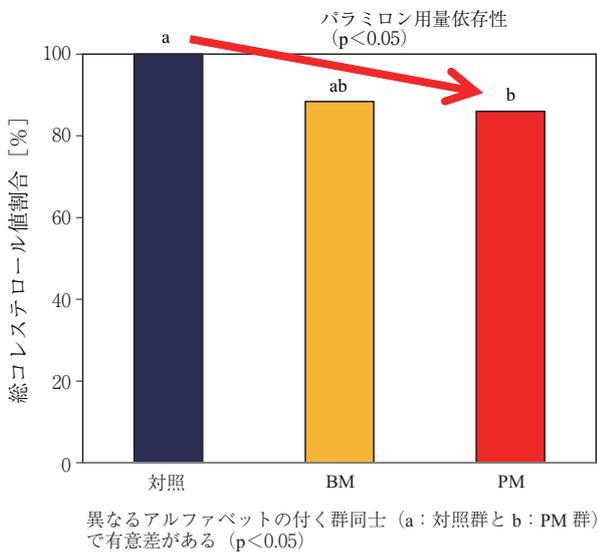


図8 血中総コレステロール値の比較

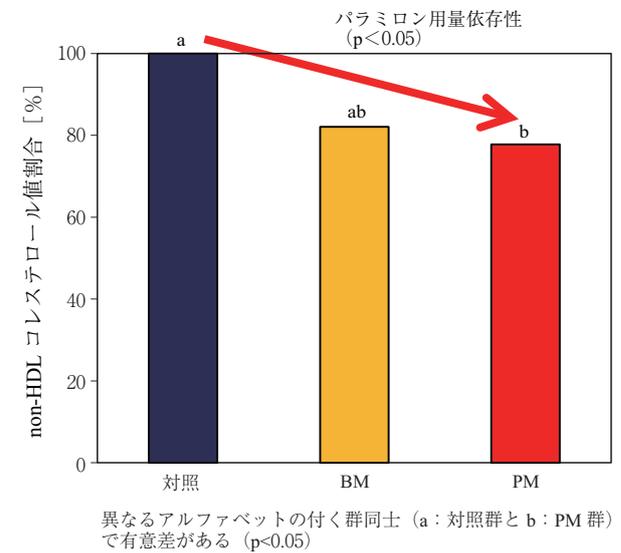


図9 血中 non-HDL コレステロール値の比較

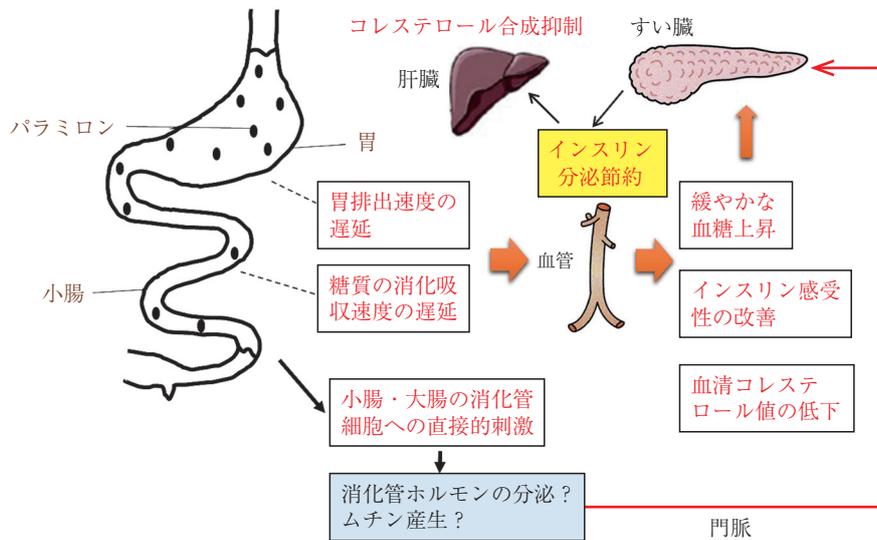


図10 推定されるパラミロンの作用機序

胃内滞留時間が延長し、糖質の吸収速度の遅延が起こることで、インスリンの分泌が節約され、血糖値上昇抑制（耐糖能改善）や血中コレステロール低下につながる可能性が考えられた。

## むすび

本稿では食物繊維とその機能性について解説し、EOD-1バイオマスおよびパラミロンを用いた動物実験について、血糖値上昇抑制効果（耐糖能改善）、血中コレステロール低下作用を紹介した。当社は本実験を含め、EOD-1バイオマスの食品素材としての可能性について機能性エビデンスの取得を目指している。今後もさらなる機能性の追及を目指し、精力的に取り組んでいく所存である。

## [参考文献]

- 1) 池上幸江, 日本食物繊維研究会誌, 1, 3-12 (1997)
- 2) 厚生労働省健康局がん対策・健康増進課, 平成28年国民健康・栄養調査結果の概要 (2017)
- 3) Williams PG, *Adv Nutr*, 5, 636S-673S (2014)
- 4) Zong G *et al.*, *Circulation*, 14, 2370-2380 (2016)
- 5) D.P. Burkitt *et al.*, *Lancet*, 2, 1408 (1972)
- 6) T. Saito *et al.*, *J. Nutr. Sci. Vitaminol.*, 37, 493 (199)
- 7) 太田昌徳他, 日本消化器病学会雑誌, 82, 51 (1985)
- 8) S. Nakaji *et al.*, *Int. J. Colorectal. Dis.*, 17, 365 (2002)
- 9) W.H. Aldoori *et al.*, *Am. J. Clin. Nutr.*, 60, 757 (1994)
- 10) W.H. Aldoori *et al.*, *J. Nutr.*, 128, 714 (1998)
- 11) V. Vuksan *et al.*, *Diabetes Care*, 22, 913 (1999)
- 12) S.A. Ziai *et al.*, *J. Ethnopharmacol.*, 102, 202 (2005)
- 13) M.S. Alles *et al.*, *Am. J. Clin. Nutr.*, 69, 64 (1999)
- 14) D.J. Jenkins *et al.*, *Diabetes Care*, 25, 1522 (2002)
- 15) J.W. Anderson *et al.*, *Am. J. Clin. Nutr.*, 71, 472 (2000)
- 16) H. Younes *et al.*, *J. Nutr.*, 115, 53 (1985)
- 17) A. Ohta *et al.*, *J. Nutr.*, 128, 486 (1998)
- 18) 北岡正三郎編. 1989, ユーグレナ 生理と生化学, 学会出版センター
- 19) 藻類ハンドブック. 2012, 渡邊 信監修, 藻類ハンドブック, 株式会社エヌ・ティー・エス
- 20) 赤司昭, 竹崎 潤, 濱田武志, 出村幹英, 河内正伸, 渡邊 信, 2014年度日本農芸化学会大会
- 21) 赤司昭, 他: 神鋼環境ソリューション技報, Vol.12, No.1, 9-15 2015
- 22) 国立研究開発法人国立環境研究所 微生物系統保存ホームページ <http://mcc.nies.go.jp/02medium.html>
- 23) 一般財団法人日本食品分析センターホームページ <http://www.jfri.or.jp/item/other/nmrqnmr.html>
- 24) Y. Kond *et al.*, *J. Pharmacobio-Dym.*, 15 617-621 (1992)
- 25) R. Russo *et al.*, *Food Science & Nutrition*, 5 (2) 205-214 (2017)
- 26) 大串美沙, 他: ビタミン, 89, 215 (2015)
- 27) 小泉未希, 他: 日本食生活学会誌, 24巻, 3号 p. 171-176 (2013)
- 28) 青江誠一郎, 山中千恵美, 瀨瀬琴音, 竹崎 潤, 寺澤 圭, 大木亨祐, 赤司 昭, 日本食品科学工学会第64回大会 (2017)