

海藻食物繊維の発酵への期待

天野 秀臣

はじめに

食物繊維は多糖類ですが、ヒトの消化酵素では消化されないことから、古くはエネルギーもなく、栄養にはならないとされてきました。しかし日本食品標準成分表 2015 年版（七訂）での表頭項目では、炭水化物含量は差引法による値（水分、タンパク質、脂質、灰分の合計値を 100 から差引いた値）が記載され、エネルギー計算に使用されています。一方、食物繊維は水溶性食物繊維、不溶性食物繊維および食物繊維総量の 3 項目が記載されていますが、いずれの項目もエネルギー計算には使用してきませんでした。しかし最近、食物繊維はヒトの消化管、特に大腸内の細菌によって発酵されることが広く認識されるようになり、日本食品標準成分表 2020 年版（八訂）ではエネルギー計算に使用されるようになっていきます。

食物繊維の種類

食物繊維には動物由来のもの、陸上植物由来のもの、微生物由来のものなどさまざまなものがあります。表 1 に食物繊維を多く含むよく知られた食品を示しました。これらの食品は私たちの日常生活にさまざまな形で密接に関わってきましたが、最近では食物繊維を添加して機能性を謳った加工食品もたくさん目にする事ができます。

表1 食物繊維を多く含むよく知られた食品

陸上植物関係
芋類、豆類、穀物、果物（製品例:かんぴょう）
海藻関係
緑藻、褐藻、紅藻（製品例：寒天）
動物関係
エビ・カニの殻

海藻は多量の食物繊維を含み、その種類も多く、かつ、構造は海藻によって異なることも知られています。表 2 に海藻食物繊維のよく知られた例を示しました。これらの内で、私たちの日常生活で馴染み深いものに褐藻類のコンブ、ワカメ、モズクの粘質物（いわゆる“ねばねば”）があります。いずれの粘質物も食物繊維で、その成分はアルギン酸とフコイダンが主です。その他、藻体の外観そのものからは粘質物の存在に気がつきに

くい食物繊維として、ヒジキのアルギン酸とフコイダン、紅藻アマノリ類のポルフィランと紅藻マクサやオバクサなどの寒天、紅藻フノリのフノランがあります。アルギン酸、フコイダン、フノランなどは昔から食用のみではなく糊料としても私たちの生活で使用されてきたものです。

表2 海藻の主な多糖類と存在場所

細胞壁骨格を構成する多糖	
緑藻	セルロース、キシラン、マンナン
褐藻	セルロース、ヘミセルロース
紅藻	セルロース、ヘミセルロース、キシラン、マンナン
細胞間を充填する粘性のある多糖	
褐藻	アルギン酸、フコイダン
紅藻	カラギーナン、ポルフィラン、フノラン（製品例：寒天）
細胞内に貯蔵される多糖	
緑藻	陸上植物のデンプンに類似のデンプン （アミロースとアミロペクチンで構成される）
褐藻	ラミナラン
紅藻	紅藻デンプン

表2には主な海藻食物繊維と藻体における存在場所についても記載しました。海藻の葉体の部位により含まれるものが異なることが分かります。

食物の消化吸収経路

食物に含まれるタンパク質、脂質、炭水化物などは消化酵素によって分解され、大部分は小腸で吸収され、大腸では主に水分の吸収が起こります。残ったものは大便になります。ヒトの消化酵素で消化されない食物中の食物繊維や消化されにくい性質を持った難消化性デンプンは、小腸を通過して大腸まで移動します（図1）。海藻のアルギン酸、フコイダン等の食物繊維も同様の挙動をします。

食物繊維を説明するために使用される用語に、水に対する溶解度の違いによる水溶性食物繊維と不溶性食物繊維があります。その生理機能は、水溶性食物繊維には整腸作用、食後血糖値の上昇抑制、血中コレステロール低下作用などが、不溶性食物繊維には保水性を高め、便の「かさ」を増やし、便秘促進作用や有害物質の吸着作用が知られています。海藻の食物繊維にも水溶性食物繊維と不溶性食物繊維があり、前者にはアルギン酸ナトリウム、フコイダンなどが、後者にはセルロースがあります。

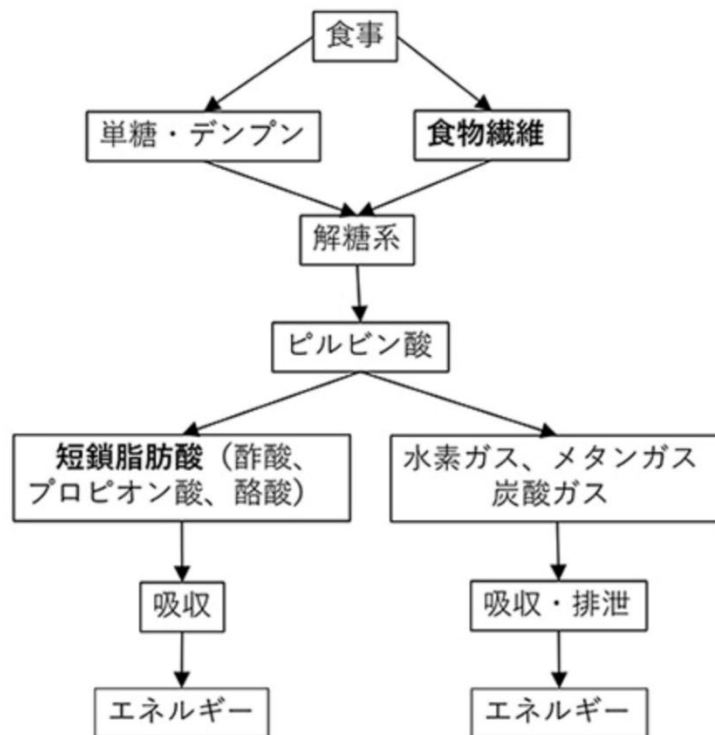


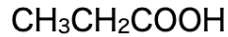
図1 食物の消化吸収経路

食物繊維の発酵

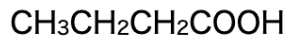
食物として取り込まれた炭水化物は小腸で消化・吸収されますが、食物繊維は大腸まで到達し、腸内共生細菌によって発酵されます。発酵は、「一般に酵母類・細菌類などの微生物が、有機化合物を分解してアルコール類・有機酸類・炭酸ガスなどを生ずる過程」(広辞苑)とされます。腸内には1,000種類以上の細菌が存在し、菌数は100兆個以上とされるので、私たちがとり入れた食物に含まれる食物繊維も胃から小腸をとり大腸へと移動し、腸内細菌によって活発な発酵を受けます。この時に働く主な腸内細菌は Bacteroidales 目など一般的な共生細菌とされています。その結果、食物繊維からは、短鎖脂肪酸、炭酸ガス、水素ガス、メタンガスなどが生成されます。短鎖脂肪酸は炭素数が2~5個の小さな化合物で、炭素数が2個のものが酢酸、3個のものがプロピオン酸、4個のものが酪酸、5個のものが吉草酸です。その構造式を図2に示しました。これら短鎖脂肪酸はエネルギー源として利用され、食物繊維は約2kcal/gのエネルギーをもっていることも明らかになりました。



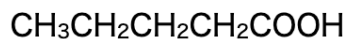
酢酸



プロピオン酸



酪酸



吉草酸

図2 食物繊維の発酵で生成される短鎖脂肪酸

発酵により生成された短鎖脂肪酸は以下に示すような様々な機能、即ち① 脂肪組織におけるインスリン感受性の低下、脂肪蓄積の減少、肥満の抑制、② 制御性 T 細胞の分化誘導をすることで、免疫恒常性の維持と炎症の抑制、ガン抑制、③ ミネラル吸収促進作用、④ 腸の蠕動運動促進などをもつことが分かっています。

しかし、海藻の摂取と腸内細菌との関連についての研究はこれまでほとんど行われていません。日常よく食べている海藻と海藻多糖類（食物繊維）の健康への影響を *in vitro*（試験管内、体外）およびラットを用いた実験で腸内環境の面から検討がされました。その結果、ヒト糞便フローラおよび腸内の代表的な菌株による海藻多糖類の発酵は、褐藻類中の多糖類であるラミナランおよびアルギン酸ナトリウムで明らかであり、酢酸や乳酸など数種類の短鎖脂肪酸が生成されました。とくにラミナランは腸内菌 *Bacteroides ovatus* によって、より強く発酵されました。

それでも海藻の食物繊維の発酵に関する基礎研究が少なく、今後の研究課題として残っています。

発酵技術を用いた海藻食品の開発

海藻の食物繊維の発酵に関するデータは少なく、短鎖脂肪酸などの生成物に関する研究は今後の課題として残っています。

海藻は乾燥すると貯蔵性、運搬性に優れた食品となります。このために古くから海藻の乾燥品が普及してきました。現代社会の食生活の多様化もあり、消費者の海藻食品に対する要望も様々なものがあります。その一例として、海藻を発酵させた食品素材の研究例を紹介します。

スサビノリを乾燥させた後、粉末にし、酵素で発酵させて海藻調味液が開発されています。これを原料とした様々な商品開発が試みられています。この調味液は小麦を使用

していないので、アレルギーフリーの食品素材として期待されます。

終わりに

ヒトの健康に関わる食品の研究は栄養素の研究から始まり、これまでに多くの成果を上げてきました。また、分析方法の進歩により新たな食品機能も見つかっています。過去には栄養にもならないと考えられていた食物繊維は、その重要性が認識されるようになり、第6の栄養素と考えられることもあります。今回は食物繊維の発酵で生成される短鎖脂肪酸をとりあげ、その機能の一端を紹介しましたが、海藻におけるこの分野の研究はまだ少なく、これから発展が望まれます。

執筆者

天野 秀臣 (あまの・ひでおみ)

一般財団法人海苔増殖振興会評議員、三重県保健環境研究所特別顧問、三重大学名誉教授 (元三重大学生物資源学部長)、農学博士