

総説特集：伝統食品の科学—ルーツ、おいしさ、機能 - 7

昆布の健康機能成分—アルギン酸とフコイダン*

青木 央**

(北海道立工業技術センター・研究開発部・バイオテクノロジー科)

昆布の機能性の主力は食物繊維にある。昆布の食物繊維の主成分は、野菜や穀物に含まれる食物繊維とは異なった化学構造を持つアルギン酸やフコイダンである。昆布のヌメリ成分には、この二つの多糖類が含まれている。乾物として流通する昆布には、食物繊維以外の成分として、うま味を形成するアミノ酸や甘味をもつマンニトールなどが存在する。さらに、マグネシウム、カルシウムなどのミネラル分、そしてヨウ素なども栄養成分として含まれており、栄養補助の目的に合致する優れた食品であることは、消費者に理解されていると考えられる。本稿では、生活習慣病のリスク低減などの機能性への期待が寄せられているアルギン酸とフコイダンに注目して、その特徴ある機能性を既知の研究成果を踏まえて述べる。

キーワード：昆布、食物繊維、アルギン酸、フコイダン、機能性

はじめに

昆布は北海道の特産品である。函館市は平成16年12月1日の合併により真昆布（マコンブ）の一大生産地となった。

真昆布は、促成栽培技術が確立され実施されている品種である。昆布は三石昆布（日高産）が3年藻であるほか、普通は2年藻であるが、これを1年で出荷できる体制が函館にはある。昆布には生息分布がある。昆布は14属に分類されており、日本の品種は、コンブ属に12～14種とトロロコンブ属に2種存在する^{1,2)}。しかし、食品として一般的に食べられているものは食品標準分析表に掲載されている7種³⁾と考えてよい。

真昆布は、出汁向きの高級コンブとして紹介されている。しかし、加工用としての特性も優れた便利な性格をもっている。天然ものと栽培ものが流通しており、安定した生産がされている真昆布の分布は函館市を中心に南北海道沿岸に限られている。南北海道以外の地域で取れる他の品種の昆布、たとえば

オニコンブ、リシリコンブ、ナガコンブなどは促成栽培を実施していない。

昆布のうま味成分の中心はアミノ酸で、グルタミン酸が乾燥物中に数%も入っているのはよく知られた事実であるが、昆布の持つ機能性という意味では、特有の粘り成分を構成する多糖類の存在が重要である。その主成分はStanfordにより1881年に確認され、1883年Chemical News誌にMarine Algaeに共通する新物質として発表されたので、アルギン酸はすでに125年以上の歴史を有する。

昆布の機能性といった場合にまず指摘されるのは、食物繊維を含有することによる食品としての機能性があげられる。その食物繊維を構成する多糖類には、化学構造上の特徴に由来する機能性があり、すでに多くの研究の蓄積がなされている。山田信夫の著書2編^{4,5)}にかなりの部分が集約されているので参考にされることを薦める。アルギン酸とフコイダンは、昆布の食物繊維を構成する代表となる成分である。この2種類の多糖類は、全く性格の異な

*Recieved May 28, 2007; Accepted July 2, 2007

Healthy function ingredients of kombu, alginic acid and fucoidan

**Hiroshi Aoki, Research and Development Department, Hokkaido Industrial Technology Center, 379 Kikyo-cho, Hakodate, Hokkaido 041-0801, Japan; Fax:+81-138-34-2602

る性質を備えている。

1. 食物繊維の基礎機能

昆布は、表1に示した量の食物繊維を含有する。食物繊維の機能性は、大きく分類すると、I) 腸のぜん動運動の改善、II) 腸内細菌の活動の改善、III) 消化、栄養吸収の制御の3つが考えられる。食品には、食物繊維を含めたたんぱく質、カルシウム、鉄などのミネラル、ビタミン類の計19成分について、たくさん含まれているとか、豊富であるなどという強調表示をするには、「健康増進法」(平成14年8月施行、「栄養改善法」は廃止)の栄養表示基準が適用される。食物繊維の場合は、食品100g中に6g以上あれば、高、多い、豊富、たっぷりなどの「高い旨」の表示ができると規定されている。また、食物繊維を「含む旨」の表示をするにも3g以上なくてはいけない。

昆布の場合、乾燥物100gあたりに平均30%程度含まれている。その食物繊維の主な構成成分であるアルギン酸は、含有量の季節的な変動が少なく安定して存在している。したがって、昆布は食物繊維の含有に関して強調表示の可能な加工食品といえる。私たちは通常、水分含有量の高い生の昆布をそのまま食べるということは稀で、昆布は乾燥によって初めてうま味成分を持つのであるから、食品として流通している葉体の昆布は立派な加工食品である。曲げると昆布が折れる時は水分が10%未満になっている。市販の「折り昆布」というものは、折れるほど乾燥させてしまう前に折って、そして再び

均一に乾燥させるという大変手間のかかる食品である。

さて、食物繊維のもつ基本的な機能性は生活習慣病などの改善に有用とされている。腸のぜん動運動とは、消化物を搬送するための腸の動きのことであるが、この運動が改善されると便秘の予防と大腸などのガン予防につながる。腸内細菌の活動の改善は腸内フローラの改善と表現されることもあるが、免疫力の改善につながる。消化、栄養吸収の制御は肥満症、高脂血症、高血圧症、糖尿病の予防になる。したがって、これらの機能性を食物繊維が豊富に含まれる昆布に期待しても間違いはないと思われる。

食物繊維の成人一日あたりの理想的な摂取量は20gから25gであるといわれる。平成16年10月に「日本人の栄養所要量—食事摂取基準—策定検討会」(座長:田中平三 独立行政法人国立健康・栄養研究所理事長)においてとりまとめられた「日本人の食事摂取基準(2005年版)」(厚生労働省、使用期限2010年3月まで)によると18~69才男性の目標量は20g/日、女性は17ないし18g/日が設定されている。現在の摂取の実態は、(財)日本健康・栄養食品協会などの資料から野菜、穀物を中心に15gから20g/日である。「目安量」が男性の場合で27~24g、そして高齢化に伴い数値が減少する。逆の表現をすると高齢者は食物繊維のとりすぎが若年者よりも問題になる事例が多くなることを意味している。「目安量」とは良好な栄養状態を維持するのに十分な量と定義されているが、推定平均必要量(EAR)や推奨量(RDA)の算定根拠が十分な科学

表1 昆布の栄養成分。

食品名	エネルギー (kcal)	水分 (g)	たんぱく質(g)	脂質 (g)	糖質 (g)	食物繊維 総量(g)	灰分 (g)	食塩 相当量(g)
えながおにこんぶ	138	10.4	11.0	1.0	30.8	24.9	21.9	6.1
がごめこんぶ	142	8.3	7.9	0.5	27.9	34.2	21.2	7.6
ながこんぶ	140	10.0	8.3	1.5	21.7	36.8	21.7	7.6
ほそめこんぶ	147	11.3	6.9	1.7	30.0	32.9	17.2	6.1
まこんぶ	145	9.5	8.2	1.2	34.4	27.1	19.6	7.1
みついしこんぶ	153	9.2	7.7	1.9	29.9	34.8	16.5	7.6
りしりこんぶ	138	13.2	8.0	2.0	25.1	31.4	20.3	6.9

*五訂食品標準分析表3)より抜粋、糖質を算出して掲載してある。エネルギーは暫定値(たんぱく質、脂質、炭水化物からの計算値に0.5を乗じた値)をそのまま掲載。炭水化物=糖質+食物繊維の関係にある。

的根拠により定義できない場合に設定される値である。したがって、摂取量がこの値を下回るから、すぐにも重篤な症状を示すというものでもない。また、上限量の設定もないので食べ過ぎについても研究の蓄積が欲しい分野といえる。ただ、この目安量を下回る現代人は食物繊維がやや不足と表現してもよさそうである。不足量は一日 5 g 程度である。食物繊維の海藻類からの摂取量は 5 g から 6 g 程度で、数字の上からいえば、海藻を食べる量を 2 倍にすればよいとなるが、実際は食事の献立が難しくなり、野菜や穀物からの摂取を増やすほうが工夫しやすいのが現実ではないかとの印象を持っている。

昆布の中に含まれる食物繊維は、アルギン酸やフコイダンといった他の食材にはない多糖類である。アルギン酸やフコイダンが持つ化学構造には特徴があり、この構造的特徴こそが、昆布の機能性の特徴を決めている。

2. 昆布の食物繊維

食物繊維について、まず水溶性か不溶性かといった物理化学的な立場からの分類方法がある。食品の公定分析法で採用された表現でもあり、食品一般に通用する分析分類となる。ただし、この分類上の概念が難しい食物繊維を含むとされる食品に昆布は分類されている。そのため、食品標準分析表には、この水溶性、不溶性の欄に数値の掲載がない。しかし、この掲載の問題とは別に研究がされており、マコンブの場合に総食物繊維は乾物 100 g 当り 36.5 g で不溶性食物繊維が 29.1 g と水溶性食物繊維が 7.4 g であるとの報告がされている⁶⁾。

昆布の食物繊維を構成する多糖類の化学構造は、抽出方法と密接な関係にある。アルギン酸は希薄なアルカリ性溶液で得られる粘稠な水溶液に酸を加えたときに生じた物質をアルギン酸と命名した由来があるので、アルギン酸区分とかアルギン酸画分などとして表現すべき性格を持っている。したがって、分析により定量しようとする、抽出物の乾燥重量を計量するのではなくて、アルギン酸の場合は、酸で洗った昆布から炭酸ナトリウム水溶液のようなアルカリ性溶液で抽出し、抽出された成分画分を特異的な発色試薬であるカルバゾールとの強酸性下で加熱発色させる比色定量法（カルバゾール硫酸法）が一般的になっている⁷⁾。その後の研究で、アルギン

酸については構成糖や結合様式など明快な定義ができていないが、構成糖であるグルロン酸とマンヌロン酸の構成比率（G/M 比）や立体構造については、解析が難しく決着してない部分もある。これは、フコイダンの分析についても同様の事情がある⁸⁾。アルギン酸以外で、残った画分に含有するフコイダンやフコイダン以外の多糖類成分は、実のところ不明な点が多いのである。

2.1 アルギン酸

アルギン酸はいわゆる昆布の粘り成分といわれる粘性多糖類の一種で海藻の中でも褐藻類からとれる。D-マンヌロン酸とL-グルロン酸が α 、 β 1-4 結合した多糖類である。アルドースのヒドロキシメチル基がカルボキシル基に酸化されたカルボン酸なのでウロン酸とよばれる類の二つの単糖が直鎖で結びつき高分子化合物となっている。このため金属イオンを挟み込む効果が生まれる。このアルギン酸の持つ金属キレート効果は、昆布がカルシウムやマグネシウムを含む理由である。昆布を食するとミネラルバランスを改善するので食品としての機能性を高めている。ミネラルが「高い旨」の例えば豊富であるとの強調表示は、現在「健康増進法」の栄養表示基準関係で、「ナトリウム」「カルシウム」「鉄」「亜鉛」「カリウム」「クロム」「セレン」「銅」「マグネシウム」「マンガン」「ヨウ素」「リン」の 12 種のすべてのミネラル元素を分析することが要求される。通常の昆布はカルシウムや鉄を豊富に含んでいる。そのためか、昆布はミネラルが豊富と認識されているが、亜鉛や銅の場合、五訂食品標準分析表の掲載値が、100 g あたりの亜鉛の基準値 2.10 mg 以上や銅の基準値 0.18 mg 以上を下回る品種の昆布がある。食品表示を行うときは、自社製品を再分析して確認するなど注意が必要である。

アルギン酸はアルカリ性で良好な水溶性を示し、pH3 以下の酸性で不溶性となる。この性質により、酸性度の高い胃では不溶性食物繊維として働き、小腸、大腸と移動し、アルカリ性の環境になると水溶性食物繊維として機能することになる。昆布のアルギン酸は、胃の中では昆布の金属成分を一度、水素イオンと交換して放出するが、消化器官の移動に伴う pH の上昇により、再び、金属成分を消化物の中からキレート効果により回収する。また、アルギン

酸は、化学的な構造上多くの水酸基をもつので親水性が高く、多糖類の中でも水を抱える能力が高い。これを水和力が高いとか、現象面からは保湿性が高いと表現してもよい。この水を抱える能力が高いことは、アルギン酸ナトリウムを水に溶解させるときに、粉末が塊になる現象から体験できる。すなわち、アルギン酸ナトリウム粉末の集合と接触した水は、界面のアルギン酸に瞬時に取り込まれ拡散の自由度が喪失する。つまり、束縛された水の分子が水の浸透を阻止して、結果、表面は溶けるが中心部は粉末のままで平衡状態に陥る。この現象を回避するには、少量のエタノールにアルギン酸ナトリウム粉末を懸濁させてから水と混合するとよい。エタノールはアルギン酸が水を吸収し、膨潤しようとする作用を一時的に制御し、水との共沸化合物であるエタノールは水の浸透を助けるので、アルギン酸ナトリウム粉末は容易に均一な水溶性の溶液となる。

水溶性のアルギン酸は、カルシウムイオンのような2価イオンと結合すると強い架橋構造をつくり、ゲル化して不溶性となる。アルギン酸カルシウムのゲルは、アルギン酸が酸性下で沈降し不溶性となった状態と異なり、水分を保持できる。海にある昆布のアルギン酸は、このような性質があるので溶け出さないで葉体に存在すると説明できる。

アルギン酸の体内での挙動は、胃から小腸、大腸へと続く消化の過程で、pHの変化とともに再び消化物から金属イオンをキレートして回収し、膨潤し、糞便の水分を適度に保つ食物繊維としての機能性を発揮する。詳しいアルギン酸の機能性や物理化学的なことは、前著⁴⁾以外にも國崎ら⁹⁾が紹介しているので参考にされたい。

このような高分子化合物としての機能性は、食品工業での増粘剤の利用を越えて、例えば、歯科用印象材、胃部X線検査用バリウム剤、創傷治療材などの医療分野への利用がされる理由である。

アルギン酸印象材（日本工業規格 JIS T6505；2005）は、歯型をとるために、寒天印象材（日本工業規格 JIS T6512；2005）と併用される。アルギン酸カリウムと硫酸カルシウムを混合し、アルギン酸カルシウムとして遅延ゲル化させ歯型をとるよう工夫されている。

胃部X線検査用バリウム剤は、硫酸バリウムが主剤であり、アルギン酸カリウムが配合されている。

検査終了後に水を飲むことが推奨されるのは、アルギン酸がバリウムを回収し、腸内で膨潤する性質を活用し、便秘せずに排出されることを助けるためである。また、塩分過多を回避するためアルギン酸ナトリウムは使用されない。

創傷治療材¹⁰⁾には、すでにカルトスタット、アルゴダム、ソープサン、クラビオ AG といった商品名でアルギン酸カルシウムが利用されている。乾燥したアルギン酸カルシウムの繊維は、水分を吸って膨潤しようとして傷口からの滲出液を保持する。滲出液の成長因子成分などを保持するので、肉芽の形成を助ける。そして、傷口との接触が柔軟で疼痛がない。また、化学平衡によりナトリウムイオンとカルシウムイオンを交換するので、止血作用もある。

2.2 フコイダン

フコイダンは、L-フコースと呼ばれる単糖を主な構成成分とする多糖類の総称で、 α -1-3結合により主鎖が構成される。このほかにも、D-グルクロン酸、D-ガラクトース、D-マンノースなどを構成糖として含む。フコースはグルコースと異なり6位の炭素に酸素がないので、6-デオキシヘキース類とか5-メチルペントース類などと呼ばれている。構成糖に硫酸基を含んでいる。

ヘパリンは、構成糖にイズロン酸とグルコサミンを持つ硫酸化された動物性の多糖類で、よく知られている。構成糖にアミノ基をもつ糖は、褐藻類には存在しない。ヘパリンはFGF（繊維芽細胞成長因子）と結合する性質を有し、FGFの働きを高めることが知られている。また、ヘパリンは抗血液凝固活性を有することから健康診断での採血の際によく利用されている。同じ硫酸化多糖の仲間（ヘパリノイド）であるフコイダンも同様の作用¹¹⁾を機能性として備えている。

フコイダンは、おおむね昆布に1~2%前後含有している⁸⁾。トロロコンブ属のガゴメ（図1）は、フコイダンの量が通常のマコンブよりも多いために昆布特有の粘りが強い。ガゴメのもつ粘性多糖類の性質は、食品加工用として重宝されており、「とろろこんぶ」や「松前漬」に粘り出しのため古くから利用されている。私たちの分析でも、函館市小安（おやす）のあたりで採れるガゴメには4~5%程度も含有することが判っている。酒井、加藤らはガゴ

昆布の健康機能成分

メのフコイダンの部分構造が解析から、F-フコイダンやU-フコイダンという物質の化学構造式を明らかにした¹²⁾。その解析結果に基づき分子模型組み立てキット Molymod™ Molecular Models (Spring Enterprises Ltd., UK, <http://www.molymod.com>) を利用してフコイダン分子を可視化した (図2)。このフコイダンの可視化像は、F-フコイダンとU-フコイダンが交互に連結したという仮定で合成されている。この組み合わせを変えると分子構造に巻きが入るなどの多糖類としての構造の多様性が表現できる。図

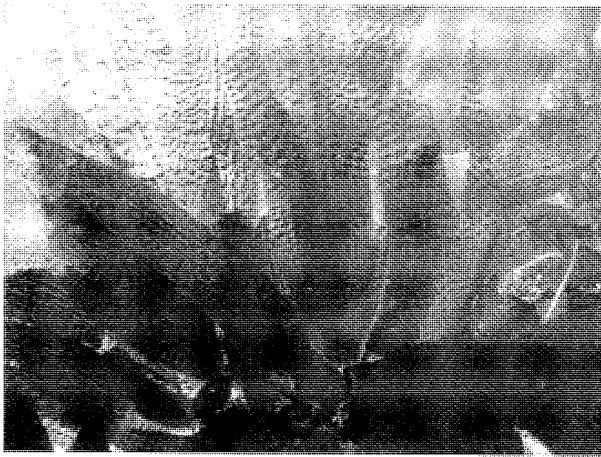


図1 ガゴメ (*Kjellmaniella crassifolia*)。

葉体に籠の目のような紋様を持つのが特徴となりガゴメの名前がついた。



図2 FUFUFUF型フコイダン分子の合成画像の例。

分子量は1万ある。フコイダン分子はこれより10倍以上大きな巨大分子である。硫酸基がもつ酸素分子の半径の占める割合が大きいことに気がつく。

2で示した分子の分子量は1万程度であるが、本来のフコイダン分子量はこの10倍以上ある。F-フコイダンやU-フコイダンのユニットとなる分子は、MOLDA (吉田、広島大) と Chemscape Chime (MDL Information Systems, Inc. USA) 閲覧ソフト¹³⁾で分子の可視化が可能で、Molymod™ モデルと一致する¹⁴⁾。この可視化により、化学構造式で表現される分子構造に存在する硫酸基のイメージが理解できる。硫黄原子の周りにある酸素原子の共鳴構造がしめる空間が大きい。この硫酸化多糖にある硫酸基は化学構造式で表されるイメージからは想像する以上に大きな空間に分子団を形成している。フコイダンは糖の骨格を本体に、酸素原子団の鎖をまとっているために、通常食物繊維には見られない抗ガン作用などの特徴的性格を秘めている。これらの官能基の存在は、フコイダンを臭化カリウム (KBr) とともに錠剤成型し、赤外分光 (IR) スペクトルを調べることで容易に確認できる。我々が測定したガゴメから熱水抽出したフコイダンの IR スペクトル (図3) は、多幸らのモズクから採取したフコイダンのスペクトル¹⁵⁾と一致した。

我々は、フコイダンの作用を FGF 存在化の正常ヒト繊維芽細胞培養系で調べた。正常ヒト繊維芽細胞を子牛血清 (FBS) 2%、FGF1 ng/ml、インスリン 5 μ g/ml を含む MCDB202 培地で試料とともに 2000 cells/well の細胞密度で培養し、各試料濃度の細胞増殖活性を XTT 法で比較した (図4)。XTT 法は、MTT 法と同じくテトラゾリウム塩の分解により生細胞数を検出する発色法である。XTT 法の利点は、

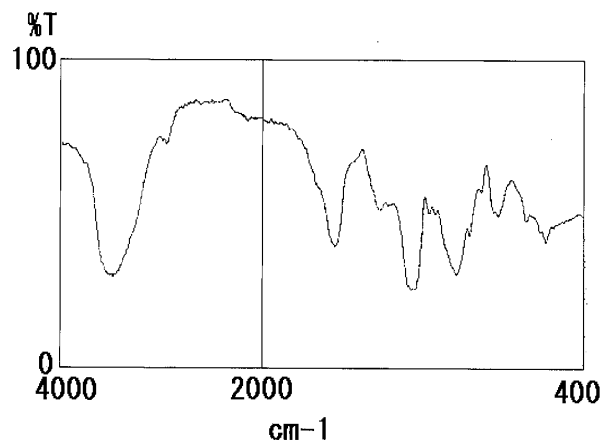


図3 ガゴメフコイダンの赤外分光スペクトルの例。

分解生成物が水溶性なので、酸性イソプロパノールを用いた抽出操作を必要としない。また、測定後も引き続き培養を継続できるので、アッセイ条件の最適化に好適である。検出波長は490 nm-655 nmを用いた。

フコイダンは、濃度10 $\mu\text{g/ml}$ 付近ではヘパリンと同様に、FGFとの協働的に細胞増殖作用を有することが示された。しかし、濃度が高くなるにつれ、その効果は減少し、100 $\mu\text{g/ml}$ くらいでは効果がなくなった。そして、それ以上の高濃度ではむしろ細胞増殖を抑制する効果のあることが示された。この傾向は微小血管内皮細胞でも見られた。細胞観察の所見では、死細胞が浮遊している状態を認めないことから、フコイダンは細胞成長に対して増殖および抑制作用を有することが示唆された。

このように同じ硫酸化多糖でも構成単糖と結合様式がヘパリンとは異なるフコイダンは、フコイダンとしての特徴ある機能性の挙動を示すものと考察される。このFGFのような成長因子やたとえば酵素を含むいわゆる蛋白質との親和性や協働作用は、セルロースなど通常食物繊維にはないので、特有の機能性として見てよい。

硫酸化多糖の機能性には、他に抗ウイルス活性が知られている。例えば、瓜生らはカードラン硫酸のHIVウイルスの感染阻止に対する臨床応用を検討した¹⁶⁾。この研究ではフェーズIIの人介入試験まで行われたが、硫酸化多糖は肝臓に集中するために治

療期間中の血中濃度の維持が難しいという結果が得られた。

以上の研究例が示すような細胞成長への制御機能や感染制御機能は、昆布の葉体を守るための反応を担う役割があると示唆される。フコイダンは示す水溶性の性質やカルシウムイオンによりゲル化しないことは、細胞壁構成成分や細胞間充填物質ではなく分泌物質であると考えられる。昆布の穴あき病に関連する微生物や捕食生物が持つアルギン酸分解酵素への阻害作用、そして抗ウイルス作用の研究から、昆布はなぜ硫酸化多糖フコイダンを持つのかというサイエンスとしての興味深い解答を見出すことになるだろう。

2.3 その他の食物繊維成分

昆布には、フコイダンと一緒に抽出される性質を有するラミナラン (β グルカン) と呼ばれるD-グルコースが β 1-3結合した多糖類も存在する。キノコの β グルカンは、6位の分岐構造が抗腫瘍性を示す¹⁷⁾。昆布のラミナランが、キノコの β グルカンとの構造の相関が高いかどうかは不明である。

昆布の不溶性食物繊維は加水分解に強く難消化性の特徴を有する。アルギン酸は細胞間充填物質であり、細胞壁を構成するセルロース質区分を、植物である昆布は持っている。酢酸混合溶液で加熱処理した場合、図5に示すような細胞壁の構成物質が抽出される。サウスゲートの変法にある冷72%硫酸による可溶化の後にTMS化によりキャピラリー

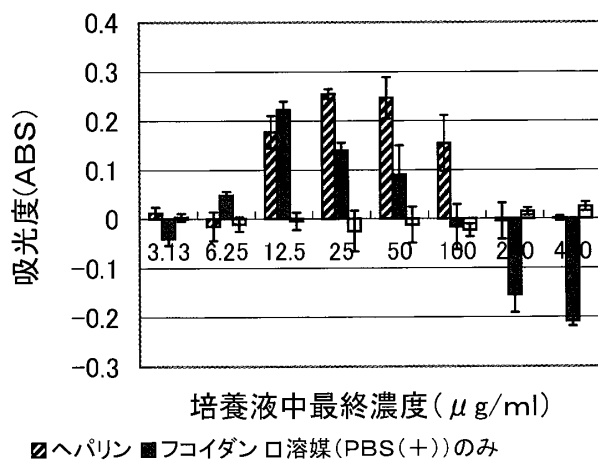


図4 正常ヒト繊維芽細胞の成長に対するフコイダンの効果。

フコイダンは100 $\mu\text{g/ml}$ の濃度を境に、細胞に対する効果が変わってしまう。

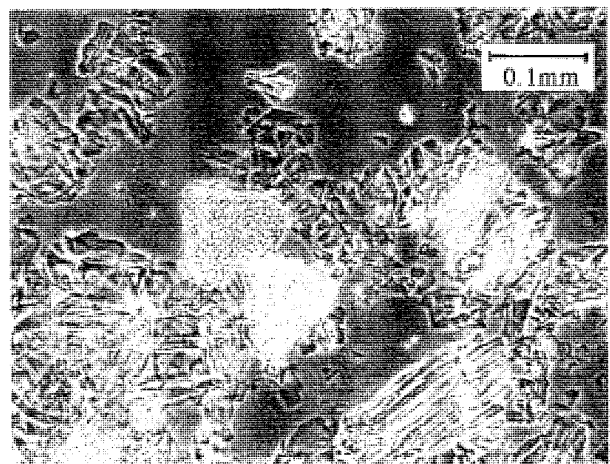


図5 マコンプの細胞壁画分。

酢酸混合溶液中で加熱処理により得られる不溶性食物繊維である¹⁸⁾。

昆布の健康機能成分

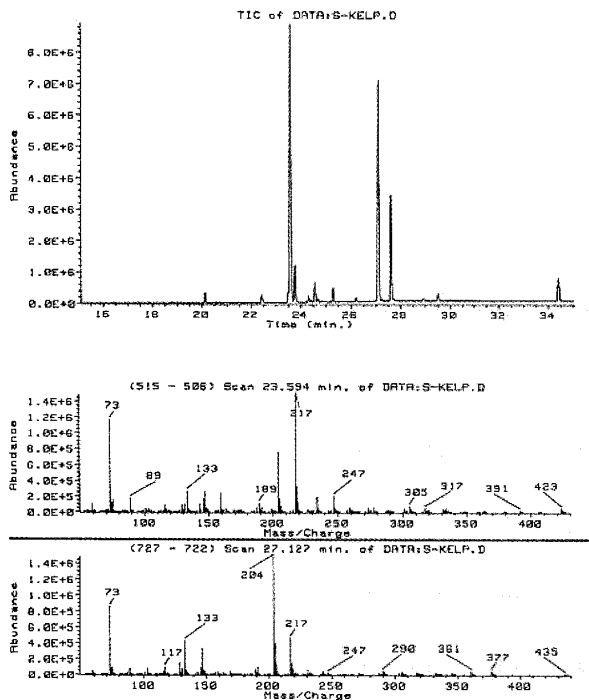


図6 マコンブの細胞壁画分のGC-MS分析の例。

最初の主ピークはウロン酸、27分前後の2つのピークはグルコースである。TMS化してあるので2本になる。34分後の最後のピークは内部標準のイノシトール。上段のマスパターン (RT23.5分) はウロン酸、下段 (RT27分) はグルコースで一致する。

GC-MSで分析したところ (図6)、主成分はグルコースとウロン酸であることが示された。この細胞壁構成多糖に硫酸基を合成導入し、水溶性の硫酸化多糖とすることは可能である。繊維芽細胞を用いた5ml培養実験において、 $12\mu\text{g/ml}$ の濃度では、細胞死は誘導されなかった。抗血液凝固活性もヘパリンの2割ほどの力価 (26~29 units/mg) を示した¹⁸⁾。

3. おわりに

昆布の機能性について食物繊維を中心に考察してみた。アルギン酸は高度な産業利用がされている。同様にフコイダンも今後、生理機能が詳しく解明されるにともなって優れた産業上の高度利用が開発されることだろう。

伝統食品である昆布は、「よろこぶ」といって結納に用いられる縁起ものであり、基本的に悪いところはない。古典「竹取物語」に出てくる長寿薬で蓬萊の薬草なるものが昆布であるとか、あるいは秦の始皇帝が捜し求めた不老不死の薬のひとつだったと

言われる昆布であるが、その時代からみると栄養状態や食糧事情の全く異なる現代では広義の健康志向食品という意味で長く食されることを期待している。現代人の食物繊維の不足量を補う効果とミネラルバランスを改善することを目的として、一角の昆布片から食べる習慣をお勧めしたい。

文 献

- 1) 大石圭一, 原田武夫: 日本人のための昆布の本, かんき出版, 東京 (1977)
- 2) 川嶋昭二: 日本産コンブ類図鑑, 北日本海洋センター, 札幌 (1989)
- 3) 科学技術庁資源調査会: 五訂日本食品標準分析表, 154-155 (2000)
- 4) 山田信夫: 海藻利用の科学 (改訂版), 成山堂書店, 東京 (2004)
- 5) 山田信夫: 海藻フコイダンの科学, 成山堂書店, 東京 (2006)
- 6) 吉江由美子: 日本水産学会誌, 海藻の食物繊維に関する食品栄養学的研究 67, 619-622 (2001)
- 7) Percival FCV and Ross AC: A colorimetric method for the estimation of alginic acid in seaweed specimens. *J. Soc. Chem. Ind.* 67, 420-421 (1948)
- 8) 西出英一, 安齋 寛, 内山直行: 日本産褐藻類中のフコース含有多糖量について. 日本水産学会誌 53, 1083-1088 (1987)
- 9) 國崎直道, 佐野征男: 食品多糖類-乳化・増粘・ゲル化の知識. 幸書房, 東京, pp.125-140 (2001)
- 10) 新藤勝久: 穴澤貞夫監修 改定ドレッシング 新しい創傷管理. へるす出版, 東京, pp.102-108 (2005)
- 11) 西野貴司, 名雲照一: 種々の褐藻由来フコース含有硫酸化多糖画分の糖組成と抗血液凝固作用. 日本農芸化学会誌 61, 361-363 (1987)
- 12) 酒井武, 加藤郁之進: ガゴメ昆布由来「フコイダン」の新規健康食品素材としての開発. *ニューフードインダストリー* 40, 1-5 (1998)
- 13) 本間義夫, 川端潤: パソコンで見る動く分子事典. 講談社, 東京, pp.286-339 (2003)
- 14) 青木央, 安井肇: 粘性多糖類フコイダンの簡易な可視化表現モデルについて. 北海道立工業技術センター報告 9, 45-49 (2006)

青木

- 15) Shiroma R, Uechi S, Taira T, Ishihara M, Tawata S and Tako M: Isolation and characterization of Fucoidan from *Hizikia fusiformis* (Hijiki), *J. Appl. Glycosci.* 50, 361-365 (2003)
- 16) Yoshida T, Yasuda Y, Mimura T, Kaneko Y, Nakashima H, Yamamoto N and Uryu T: Synthesis of curdlan sulfates having inhibitory effects in vitro against AIDS viruses HIV-1 and HIV-2. *Carbohydrate Res.* 276, 425-436 (1995)
- 17) 宮崎利夫：多糖の構造と生理活性。朝倉書店，東京，(1990)
- 18) 青木央，宮崎俊一：マコンブの細胞壁画分から調製した硫酸化多糖の性状。北海道立工業技術センター研究報告 5, 4-11 (1998)

<著者紹介>

青木 央（あおき ひろし）氏略歴

1984年 大阪大学基礎工学部生物工学科卒業

1986年 大阪大学大学院基礎工学研究科後期課程中途退学（9月）
北海道立工業技術センター 研究開発部 研究員（10月）

1997年 同研究開発部 企画情報科 主任

1999年 同研究開発部 バイオテクノロジー科 科長～現在に至る

