

提言

私の海藻食論～ My Sea-vegetarianism

館脇正和*

要 旨

この海藻食論は、大腸疾患に悩まされていた私が25年間コンブを食べ続けた一被験者としての体験談に基づいてまとめた食物論である。海藻とは、海に生育する藻類の中で海水中の硫黄を巧みに取り込み、細胞壁構成成分にすることで多細胞化、大型化に成功した「硫黄栄養生物」の総称であり、紅藻、褐藻、アオサ藻の3群が含まれる。海藻のヒトに対しての栄養はとくに硫黄を含んだ水溶性食物繊維である。水溶性食物繊維は陸上植物にもあるけれども、硫黄を含んだ水溶性食物繊維は海藻だけがもち、抗腫瘍（アポトーシス誘導）作用、抗菌作用、抗凝血作用などの薬理効果を示す。ヒトの健康維持にとって、腸内細菌との共存共栄およびスムーズな排便が重要である。海藻は腸内細菌の餌にはならないノンカロリー食品であり、通常の摂取量では腸内細菌の増殖を阻害することではなく、日々少量を摂取することで腸内の有害物質を吸着して排泄し、さらに排便を促進する。褐藻に含まれるヨウ素は必須元素であるが、過剰摂取は健康に好ましくないため、適正な調理法を工夫し、摂取量を把握すべきである。

キーワード：海藻食、硫黄栄養生物、含硫水溶性食物繊維、硫黄の薬理活性、排便促進

私は、試験管やペトリ皿などの小さなガラス容器の中で、コンブやワカメ、アマノリやヒトエグサといった海藻類を、様々な条件下で孢子から培養して発生活史の様式や形態が分化していくしくみを調べ、さらに、無菌培養法を考案し、海藻各種の栄養要求性についての研究をして40年間、風光明媚な海岸に建てられた海藻研究施設で過ごしてきた。その成果といえば、研究室の卒業生の皆さんの研究実績を通じ、全国津々浦々で、海の側でなくても、大都会の真ん中でも、山の中でも海藻類を培養し、生きた材料を用いて研究できるシステムを作り上げたことくらいか。その評価はほとんど取るに足らないことかも知れない。

そのような男がふとしたことから肉食中心の食生活をしてしまい、その結果、大腸ポリープに悩まされ、40代から50代の10年間に2年から3年おきに5～6個ずつ内視鏡手術でポリープを切除することを繰り返して、ついには開腹手術で胆嚢まで摘出されてしまった。それが海藻、とくに、煮たコンブを毎日10～20g（乾燥重量で3～5g）ずつ食べ続けたところ、3ヶ月足らずでポリープの不快感から解放されて大感激。

全快したと勝手に信じ込み、その顛末をTVの料理番組で著名なクッキングキャスターの星澤幸子先生と共著で「食べてわかったコンブパワー」（館脇・星澤1999）を出版したが、それからもう10数年が経ってしまった。その後もたった一人の被験者としてコンブを食べ続け、現在までにコンブ食を始めてから25年間の歳月が過ぎた。その間にコンブパワーだけでなく、次第に他の海藻類のパワーも知ることになり、海藻食全般を見直すことにした。そして、最初に感銘を受けた栄養論である「菌食論」の原点に戻ることにより、海藻類の栄養とは、他の生物からは摂取できない海藻特有の硫黄を含んだ細胞壁構成成分のファイココロイド、いわゆる水溶性食物繊維であると確信するに至った。

生命は海で誕生し、進化してきたが、まさにそれを裏付けるように、私たちの体構成成分の元素量の順位が海水の構成元素量の順位とほぼ同じであり、陸上の土壌成分の元素量順位とは著しく異なっている。となると、その母なる海が全ての生物とその生命を見守り続けているのではないかと思ってしまう。私たちの健康を維持するために、母なる海で育まれてきた海藻だからこそ得ることができる栄養成分、すなわち硫黄を含んだファイココロイドのパワーに注目し、また、海藻類を「硫黄栄養生物」にまとめて海の恵みとして改

2013年12月2日受領

* 館脇正和氏（北海道大学名誉教授）は2013年11月2日に逝去されました。本論文は氏の遺稿であり、氏が生前に掲載を希望していた「黒潮圏科学」に奥田一雄（高知大学, okuda@kochi-u.ac.jp）が著者に代わって投稿した。

めて目を向けてみたいという思いを込め、ここに「私の海藻食論～My Sea-vegetarianism」を自分史的なエッセイとしてまとめた。海藻という起源も進化の過程も異なるまとまりのないグループを研究し続けてきた男がやっと海藻を食べる意義に一つの共通性を見いだしたことで、それをベースに海藻食の普及を提言する。この提言がひいては母なる海の健全な環境を守る新たな研究につながってほしいと願っている。

1. プロローグ

この「私の海藻食論」は1977年の二度目の米国への短期出張から始まる。しかし、その伏線は1962年の3月の最初の米国留学の時に遡り、Woods Hole海洋研究所のある町の海岸で採取したアオサ藻のマキヒトエ (*Monostroma oxyspermum*) という奇妙な発生をする海藻と出会ったことにあった。

北海道大学理学部植物学科に進級した私は、海藻学の世界的権威であった山田幸男教授の藻類についての名講義に心酔し、当時はまだ十分に研究が進んでいなかった海藻類の培養による生活史の解明という研究に魅せられた。1956年に大学院へ進学したのと同時に、山田先生が所長を兼任されておられた室蘭所在の理学部附属海藻研究所（後に海藻研究施設に名称変更）に移り、アオサ藻の培養・生活史の研究をテーマにして



図1. 太平洋を臨む北海道大学理学部附属海藻研究施設の全景（1995年）。室蘭市チャラツナイ。1957年移設当時は左側の二階窓4個分までの小さな建物だった。

研究生活に入った。結局は、卒業後もそのまま当研究施設に勤務し、定年まで過ごすことになってしまった（図1）。

その初期の研究で、アオサ藻のモツキヒトエという種で全く新しいタイプの生活史を発見したが、山田先生がその結果を共著で論文にまとめ、1958年にカナダで開催された第9回国際植物学会議で発表して下さった。その発表に対して米国ニューヨークのハスキンス研究所海洋生物部門のプロバソーリィ (Luigi Provasoli) 博士が注目され、プロバソーリィ先生の研究室に1961～63年の2年間、研究助手として留学することになった。藻類栄養生理学、とくに人工合成培地作製の第一人者であった先生には、海藻の無菌培養法と合成培地を用いた栄養要求性の研究の指導を受けた。その一連の実験により、紅藻類の種には正常な成長のためにビタミンB₁₂が必要であり (Tatewaki and Provasoli 1964)、また、アオサ藻の種は植物ホルモン様の物質を必要とすることが明らかになった (Provasoli 1958) ので、海藻類の多くの種は完全な独立栄養生物ではなく、補助栄養生物であると考えてしまった。

さて、冒頭に挙げた奇妙な発生をするマキヒトエであるが、胞子から発芽してくる体は、普通の海水培地で培養すると、まず袋状の形になり、その後、細胞が一層に配列した膜状の葉に発達する。しかし、人工合成培地で無菌培養すると、細胞分裂が無規則に起こって細胞壁同士の連結がなくなり、発芽体はばらばらになって単細胞化してしまい、正常な膜状の葉に発達しないことがわかった。このように、マキヒトエは植物の体づくりである形態形成のしくみを研究するのには最良の実験材料であった（図2）。

それから15年間、マキヒトエが正常に形態形成をするために必要な物質を、プロバソーリィ先生は海産バクテリアから、私は紅藻類のアカバの抽出物から分離・精製することを試み、かなり純度の高い精製物が得られてきた。そこで、共同研究で結論を出すため、1977年5～8月の4ヶ月間の短期出張であったが、私がプロバソーリィ先生の研究室に行って最終実験をすることになった。当時のハスキンス研究所（母体は音響物理学）はニューヨークからニューヘブンのエール大学構内へ移転していたため、先生もエール大学に移られて大学院教授を兼任されていた。その研究室で休日なしに朝から夜遅くまで、北大の共同研究者から2週間毎に送られてくるサンプルの活性検定を続けた

が、残念ながら決着をつけることができずに終わってしまった。

この時に、海藻が補助栄養生物であるという固定観念から離れ、より基本的な無機物、たとえば、硫黄についての要求性を再考してみなかったことが悔やまれるが、後の祭りである。なお、この微量形態形成活性物質の研究は若い研究者に引き継がれ、その成果が米国の科学雑誌「Science」に掲載された (Matsuo *et al.* 2005)。私がその研究を始めて以来、実に20数年を経て目の目を見ることになった。

ハスキンス研究所に滞在していた4ヶ月間は、自動炊飯器と米を買ってごはんを炊いたが、おかずは牛肉、にく、ニクばかりで、野菜はトマトとレタスを少々というような異常な肉食生活をしてしまった。

2. ポリテクトミーとの付き合い10年

短期とはいえ、異常な食生活が原因か、実験失敗の過剰なストレスによるものか、多分両方の相乗作用であろう。1977年9月に帰国してからすっかり体調を崩してしまった。丁度44歳。10月に入って急に便秘が続いて腹が張り、潜血便が出始めた。結構不愉快な気分なので、大学病院で内視鏡検査を受けたところ、大腸ポリープが直腸とS状結腸のところに7~8個あり、そのうち5個は高さが1 cm を越えており、一見まだ良性だが、ガン化する可能性があるので、なるべく早く切除するようにとのことであった。

1978年3月に大学病院で直腸とS状結腸にあるポリープを5個、ポリテクトミーで切除してもらったけ

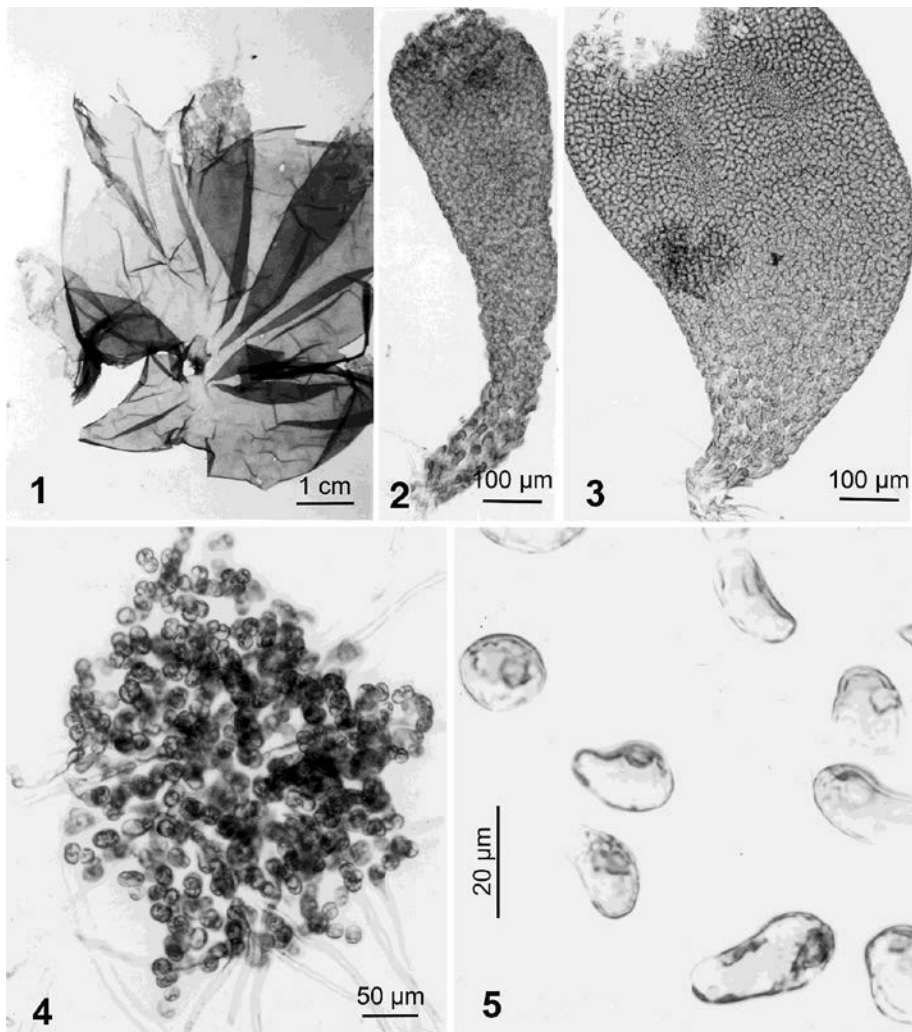


図2. アオサ藻マキヒトエ (*Monostroma oxyspermum* (Kütz.) Doty) の発生。1. 成熟藻体。2 & 3. 遊走細胞から発達した嚢状体 (海水培地で培養)。4. 合成培地で培養すると細胞壁の接着がなくなる。5. バラバラになって単細胞化する (合成培地で培養)。

れど、次々と予備軍があつて大きくなってくるとのこと。肉食に偏り、野菜不足の付けが回ってきたのだ。最初はそれほど深刻には考えていなかったけれども、極力根菜類のゴボウ、ニンジン、ダイコン、そして豆類や芋類をよく食べるように努めた。しかし、大腸ポリープの抑制には効果がないらしく、2～3年経つと再び便秘と血便が始まる。そのたびに4～5個ずつポリープを切除することを繰り返し、9年後には胆嚢にまでポリープができ、腹を縦にバサリ切られて胆嚢摘出手術を受けた。1986年2月、53歳の時だった。その間も野菜、果物、芋・豆類などの食物繊維が多いといわれるものはほとんど食べてみたけれども、私の大腸ポリープは一向に改善の兆しはなかった。

3. 「海藻コンブ」～食べて驚くコンブのパワー

そんな折、実験に使った干からびたコンブの切れ端を見て、そうだ！海藻はまさに食物繊維の塊ではないかと気がついた。研究材料として利用していながら、コンブをほとんど食べたことがなかった。海の傍らで生活しているので、フノリやアマノリ、マツモといった海藻はそれらを採取に来る漁師のおばさんから季節ごとに時々もらってみそ汁の具にしていたし、ワカメも実験に使った胞子葉（めかぶ）以外の藻体部分や浜辺に打ち上げられた藻体を干して保存し、食用に供していたことはあった。しかしコンブは、研究用に数本採取しても文句は言われなければならないけれども、漁業組合員ではないために、目の前に大量に繁茂していても採取することは厳禁だったので、それまで食べることもなかった。

現在は北海道民もコンブをよく食べるようになったが、当時の北海道は全国的にもっともコンブ消費の少ない地域であった。コンブは北海道からの土産品や歳暮のために購入するものであり、産地でありながらも高価なために正月のお節料理で昆布巻きを食べるといって、毎日食べたり、また、出汁をとるためにコンブを使う習慣もなかったと思う。だいたい、利尻昆布、真昆布、羅臼昆布といったブランド品は庶民の行くスーパーマーケットや朝の市場では売られていない。これらは、昔からの北前船に商い任せの伝統で、まずは大阪、関西、北陸へと売られていったからであろう。

話は逸れたが、北の海の代表的な海藻として季節に

関係なく何処のスーパーマーケットでも山積みされているのはミツイシコンブ（商品名は日高昆布）。それを買って求めて毎日食べ続けてみることにした。調理法は、購入した乾燥コンブを幅0.5～1 cm前後に細切りにし、水洗いして砂やごみを流してから、黒砂糖、削り節、酒、みりん、酢、水を加えて1時間ほど煮込み、最後に醤油で味付けをして佃煮風にする。乾燥品100 gを煮て味付けすると、約4倍の400 gになるが、それを冷蔵庫に保存して毎日10～20 g（乾燥重量で3～5 g）ずつ食べ続けた。すると、食べ始めてから3ヶ月足らずで排便がスムーズになり、潜血便テストも陰性になり、毎日スッキリ。大腸ポリープ発症以来、不安と不快な思いから10年ぶりに解放されることとなった。

1986年の53歳の時に受けた胆嚢摘出手術後の翌年からコンブを食べ始めて79歳の今日までの25年間、国内外の出張や旅行の際にはトロロコンブを持参し、毎日3～5 gを食べ続けてきた。その間、自分のコンブ食と大腸ポリープからの解放経験に基づき、コンブや海藻類の共通した栄養とは何かを考え続けてきた。タンパク質の含有量は少ないし、脂肪もほとんど含まない。ビタミン、ミネラル類が豊富とはいっても、日常の摂取量からみても非常に少量である。そのような海藻類がもつもので、量が少なくても効果的な栄養は何であるかを考えたとき、それは水溶性食物繊維であると確信し、海藻を日常の食生活に積極的に取り入れるために「藻食論」を提唱してその普及に努めることにした。しかし、一研究者としては、コンブ食が私の大腸ポリープに有効だったのは単なる偶然か、それとも私個人の体質の特性によるものではないかという思いもあり、何とか一人でも多くの人がコンブを食べて同じ体験をしてくれないものかと、講演会や様々な会合を通して同士を募ってみたが、賛同者はいたけれども、実践者は一人も現れなかった。

4. コンブの食べ過ぎに注意

そんな折の1993年12月17日の朝日新聞に、「コンブの食べ過ぎに注意～甲状腺機能低下してむくみも」の見出し記事、原因はヨードであるという。続いて1994年1月12日に北海道新聞が、「コンブの食べ過ぎに注意～甲状腺機能低下の恐れ」、と報道。いずれも大きな活字でセンセーショナルな見出しの記事であったが、内容はごく当たり前のものだった。

朝日新聞によると、「海藻はビタミン、ミネラルが豊富で低カロリーであり、健康や美容の面から注目されているが、ヨードを多く含むコンブは摂りすぎるとからだによくない。食卓で普通に食べる程度なら問題はないが、続けて多量に摂ると甲状腺機能が下がって代謝が悪くなることもある」。記事には癌研究会付属病院顧問の藤本吉秀医師のコメントが引かれており、「高血圧によいといわれている根コンブの粉末を毎日3回スプーンで1～2杯服用した50歳男性と便秘によいと聞いてコンブを毎日食べた40歳女性の場合、二人とも顔につやがなくなりむくんでくる症状が出ていたので、コンブの摂取を止めたところ、両名ともに1ヶ月前後で正常に戻った」、とのこと。このことは、コンブは日常の食生活では問題にならないし、過剰摂取も止めれば元に戻るが、健康食品だからといって余分に摂ると害が出ることがあるという極めて正しい内容であり、新聞の見出しにはどっきりさせられたが、普通に納得できる記事であった。

一方、北海道新聞の記事は健康ワイド版に掲載され、北海道社会保険中央病院（札幌）と船員保険北海道健康管理センターの研究グループの調査結果をまとめたものであり、見出しは朝日新聞とほぼ同じであったが、内容は全く異なった学術論文の紹介であった。ここで取り上げられた主論文は、「日本沿岸地域における食事のヨード摂取量と潜在性甲状腺機能低下症の多発との関連について」(Konno *et al.* 1994)である。その内容を以下に要約する。

被験者は札幌地区4,110名、コンブ生産地域を含む北海道沿岸地区から1,061名の合計5,171名で、外見上健康な人を対象とした。1) 甲状腺異常は一般に女性に多いが、本調査の各沿岸域の被験者はほとんど男性であったので、もし被験者に女性が多ければ、異常判定の評価値は高くなっただろうと予想された。2) コンブ消費量は地域によって異なっており、沿岸域の集団では、尿中のヨウ化物の値の変動幅が大きく、また、一部は高い数値もみられた。尿中のヨウ化物の値が高くなる頻度は甲状腺機能低下症の頻度と相関するものの、甲状腺機能亢進症とは関連がなかった。3) 自己免疫甲状腺症が原因で尿中のヨウ化物の値が高くなっている可能性はなかった。4) 年齢と甲状腺機能低下症との間には関連がなかった。5) 自己免疫甲状腺症ではない甲状腺機能低下症の被験者の多くが毎日コンブを食べていた。6) 上記の被験者から男女各1名ずつを任意に選び、コンブ摂食を2～25ヶ月間制限する

と、甲状腺容量や甲状腺刺激ホルモン、尿中ヨウ化物などのそれぞれの数値が正常になった。

以上の研究結果は、コンブ類を常食している地域では、甲状腺機能低下症がコンブを食べる量と関係することを示しており、コンブ常食に関して最初に取り組んだ医学的にも貴重な成果であった。一連の研究から今野医師は、コンブの安全な摂食量をヨード量として1日当たり10 mg以下、すなわちコンブの佃煮に換算すると13 g（乾燥重量として3～4 g）を目安として食べれば安全であると示唆していた。

このような内容は至極もっともなものであったが、報道した新聞の見出しがいささかセンセーショナルに受けとめられたため、コンブの消費低迷に結びついたらどうしようと心配した漁業関係者もいたわけである。私からみれば、これは今までに行われていなかったコンブ食のヨード量と甲状腺疾患の関係を明らかにした疫学的な研究であり、さらにまた、コンブを食べる際の量的安全基準を示した、願ってもない論文であった。それで、私はこのような結果をもとにしてコンブの利用と消費のより正しい知識を持つてくのではないかと漁業関係者に対して逆提案した。そこで、コンブを安全に食べ続けることで大腸ポリープから解放された私自身の体験が特異的な事例ではなく、より一般的な出来事であることを証明するため、コンブと健康についてのアンケート調査を大々的に実施することを提案し、その実行に踏み切った。

5. コンブと健康についてのアンケート

アンケート用紙（表1）は、コンブ販売促進キャンペーンの一環として北海道漁業連合会（ぎょれん）が中心になって集配を引き受けてくれた。調査対象区域はいずれも北海道沿岸域のコンブ産地であるが、ぎょれんによって胆振、日高、釧路、網走の4地域の36箇所の漁業協同組合が選ばれ、それぞれの婦人部を通じ、1994年6月に9,750枚が配布され、その後8月末に5,584枚が回収された（回収率57.3%）。

日高地域はミツイシコンブ、釧路地域はナガコンブの主産地であり（図3）、いずれのコンブも生産量の多い種類である。ミツイシコンブは出汁によし、総菜によしで、もっとも大衆的に利用されているコンブである。ナガコンブは典型的な総菜用で、煮て食べるコンブの代表として棹前昆布とか早煮昆布とも呼ばれる。胆振の室蘭では、ミツイシコンブとマコンブが混

生し、東部はミツイシコンブ、西部はマコンブの生産地となる。網走はリシリコンブの生産地である。しかし、室蘭と網走はいずれもコンブの主産地でも量産地でもない。出汁やとろろこんぶなどの高級加工用として知られるマコンブの主産地である渡島地域、リシリコンブの宗谷地域とオニコンブ（商品名は羅臼昆布）の根室地域を含むコンブの有名ブランド品の主産地がこのアンケート調査に加わらなかったのは残念であった。

このアンケートでは、前出の今野先生をはじめとする内分泌専門医師のグループの研究結果と関連させた質問をした。コンブを食べることと甲状腺疾患との関わりを調べる質問項目に加え、ポリープやガンを含

む大腸系疾患、便秘、糖尿病、高血圧症などの従来からコンブ食による予防効果があるといわれてきたいくつかの疾患との関係を調べる質問項目を用意した。回収・集計したアンケート結果を最初はコンブの量産地と非量産地とに分けて分析したが、コンブの量産地だからといっても沢山食べるとは限らないことが分かり、産地別区分ではなく、消費量に注目して区分し、分析を行った。

25市町村のうち、毎日のように食べると回答のあった組合員が20%を越えた13市町村を多食地域とみなし、20%以下であった12市町村を少食地域として2つに区分し、市町村別にアンケート結果を集計した（表2）。さらに、全般的に丁寧な回答を寄せた女性組合

表1 コンブと健康についてのアンケート（1994）

北海道大学理学部附属海藻研究施設

このアンケートはコンブのもつ健康面、栄養面での効用を改めて見直すための基礎データとするために行うものです。どうかご協力をお願い致します。
（お答えはどちらかに○をつけて下さい）

あなたの性別	男	女	年齢	才	市・町・村
Q1. あなたは殆ど毎日のようにコンブを食べますか？					はい・いいえ
Q2. はい、と答えた方は、1日当たり乾燥したもので何g食べますか？ （ちなみに1gは1円玉1個の重さです。大きさは乾燥したコンブで約5cm×3cm角です）					g
Q3. コンブはどのように利用していますか？ 1) 昆布巻き、田の煮物総菜、とろろ・おぼろ昆布などの加工品として食べる。 （1）1週間に（ ）回程度 （2）1年間に（ ）回程度 2) だしをとる場合、だしを取った後昆布は食べずに捨てる。 食べる場合、どのくらいの頻度で食べますか？ （1）1週間に（ ）回程度 （2）1年間に（ ）回程度					はい・いいえ はい・いいえ
Q4. あなたは昆布をよく食べる方ですか？					はい・いいえ
Q5. 1) あなたはいままでに甲状腺の病気だと言われたことがありますか？ 2) ご家族ではどうですか？					はい・いいえ はい・いいえ
Q6. あなたは便秘になりやすい方ですか？					はい・いいえ
Q7. あなたは糖尿病を患ったことがありますか？					はい・いいえ
Q8. あなたを含めご家族に大腸ポリープや大腸癌などで入院された方がいましたか？					はい・いいえ
Q9. ご家族の方は（ご先祖を含む）コンブをよく食べていましたか？					はい・いいえ
Q10. あなたは高血圧であると言われたことがありますか？					はい・いいえ
Q11. あなたは油もの（脂肪分）をよく食べますか？					はい・いいえ
Q12. あなたはコンブ以外の海藻をよく食べますか？					はい・いいえ
はい、とお答えの方は具体的にその海藻の種類をお知らせ下さい。 ○で囲んで下さい。					
1. ノリ（味付け海苔、干海苔） 2. ワカメ 3. ヒジキ 4. マツモ 5. フノリ 6. ギンナンソウ 7. その他					

アンケートに対してのご協力ありがとうございました。

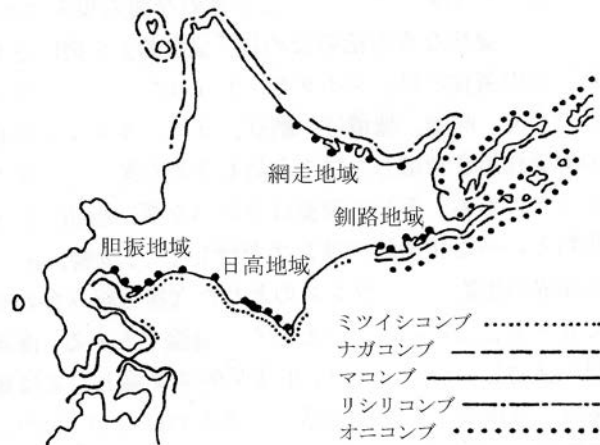


図3. アンケート実施地域と各地域の主要コンブ類の分布。●は各地域の市町村を示す。

員を選び、そのアンケート集計結果を多食地域と少食地域に分けてヒストグラムで示した(図4)。

女性組合員へのアンケートから、コンブを毎日のように食べると回答した人の割合と各種の疾患をもつと回答した人の割合を市町村毎にプロットし、コンブ食と各疾患との相関関係について分析を行い、以下の結果を得た。

1) コンブ食と甲状腺疾患との関係(図5A): 相関

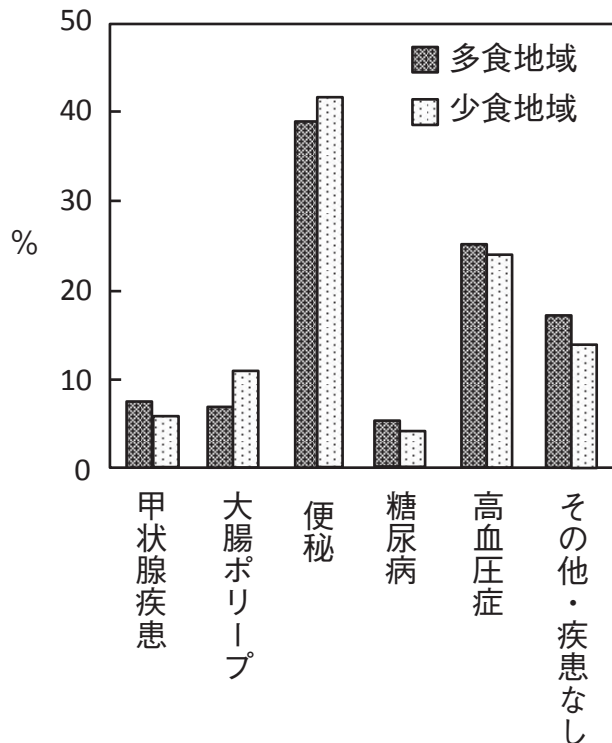


図4. コンブ多食地域と少食地域における各疾患の割合(女性回答者のみ)。

係数0.39、確率0.051となり、正の相関が見られるが、有意水準5%では有意とは断定できない。

2) コンブ食と大腸疾患との関係(図5B): 相関係数0.45、確率0.024となり、負の相関があり、かつ有意水準5%で有意である。

3) コンブ食と便秘との関係: 相関係数0.13、確率0.54となり、負の相関があるが、有意水準5%で有意なものとはいえない。

4) コンブ食と糖尿病との関係: 相関係数0.36、確率0.074となり、正の相関がみられるが、有意水準5%で有意性はない。

5) コンブ食と高血圧症との関係: 相関係数0.07、確率0.74となり、わずかに正の相関がみられるが、有意水準5%で有意性はない。

コンブ食による甲状腺機能障害については、完全な有意性はなかったが、やはり過食はヨードの過剰摂取を招き、ひいては甲状腺機能低下につながるのではないかと考えた。その理由は、表2のUr町には甲状腺疾患者が19名おり、一日にコンブを6 g以上食べる人が同数の19名いたことである。同様に、Er町では、29名の甲状腺疾患者に対して24名のコンブ多食者がおり、Sa町は甲状腺疾患者数26に対して多食者数22であった。多食地域全体を合わせると、146名の甲状腺疾患者がおり、コンブ多食者はほぼ同数の142名いた。それに対し、少食地域全体では甲状腺疾患者が108名いる中で、コンブ多食者はその半数余りの62名であった。このことは、コンブを食べる量の多さと甲状腺疾患発症の間に関連性があることを強く示唆する。

先に述べたヨード摂取に関する研究を行った今野医師は、健康上毎日食べても安全であるとするコンブの摂食量は佃煮で13 g(市販のコンブの乾燥品で3~4 g)であると示唆している。因みに、普通サイズの昆布巻(長さ7 cm、太さ2.5 cm)の重量は1本で35~50 gあるので、中身の身欠きニシンなどの具を15~35 gとすると、コンブそのものの量は15~20 gとなる。一口昆布巻なら、1つ7 gで中身の具を1 gとすると、コンブの量は6 gとなる。昆布巻を毎日食べるとすると、普通サイズで1本弱、一口サイズで2つまでなら安全量となる。とろろこんぶは乾燥しているので、ひとつまみ5 cm四方のひとつ山で4 g程度となり、これも毎日食べても安全といえる量である。私自身のコンブの摂食量は乾燥重量で3~5 g(煮物換算で12~20 g)であるが、今までに過剰摂取の問題は起こらなかった。

表2 コンブ多食地域と少食地域におけるコンブの食べる量と甲状腺疾患数および大腸系疾患数（女性回答者のみ）

市町村	回答者数	毎日食べる (%)	甲状腺疾患者 数 (%)	大腸系疾患者 数 (%)	1日当たりの食べる量		
					回答者数	5 g以下	6 g以上
多食地域							
Er	302	89 (29.5)	29 (9.6)	20 (6.6)	61	37	24
Sa	339	91 (26.8)	26 (7.7)	21 (6.2)	76	54	22
Ur	191	68 (35.6)	19 (9.9)	8 (4.2)	51	32	19
Mi	139	38 (27.3)	12 (8.6)	12 (8.2)	30	23	7
Si	55	18 (32.7)	12 (18.2)	6 (10.9)	14	10	4
Ku市	111	23 (20.7)	3 (2.7)	6 (5.4)	17	10	7
Sir	267	54 (20.2)	8 (3.0)	11 (4.1)	48	19	29
Mu市	99	28 (28.3)	9 (9.1)	12 (12.1)	21	16	5
Da市	161	36 (22.4)	2 (1.2)	8 (5.0)	26	24	2
To	65	18 (27.7)	4 (6.2)	1 (1.5)	17	11	6
Ab市	82	17 (2.7)	6 (7.3)	12 (14.6)	12	11	1
Mo市	189	55 (29.1)	7 (3.7)	14 (7.4)	48	37	11
Om	91	25 (26.4)	9 (9.9)	6 (6.6)	10	5	5
小計	2091	559 (26.7)	146 (7.7)	137 (6.6)	431	289	142
少食地域							
Ni	33	6 (18.2)	1 (3.0)	5 (15.2)	5	3	2
Ki	378	35 (9.3)	25 (6.6)	22 (5.8)	28	18	10
Ha	176	3 (1.7)	8 (4.5)	58 (33.0)	1	0	1
Ak	356	53 (14.9)	21 (5.9)	28 (7.8)	40	26	14
Ku	149	19 (12.8)	19 (4.0)	5 (3.4)	17	11	6
No市	77	13 (16.9)	1 (1.3)	1 (1.3)	5	3	2
Ab	59	10 (16.9)	2 (3.4)	2 (3.4)	8	7	1
Sh	276	38 (13.8)	7 (2.5)	45 (16.3)	33	24	9
To	44	8 (18.2)	7 (15.8)	6 (13.6)	8	7	1
Sar	87	13 (14.9)	6 (6.9)	4 (4.6)	10	6	4
Yu	233	20 (8.6)	19 (8.6)	36 (15.5)	15	8	7
Ok	66	12 (18.2)	5 (7.6)	4 (6.1)	20	15	5
小計	1934	230 (11.9)	108 (5.6)	216 (11.2)	200	128	62
合計	4025	789 (19.6)	254 (6.3)	337 (8.4)	631	417	204

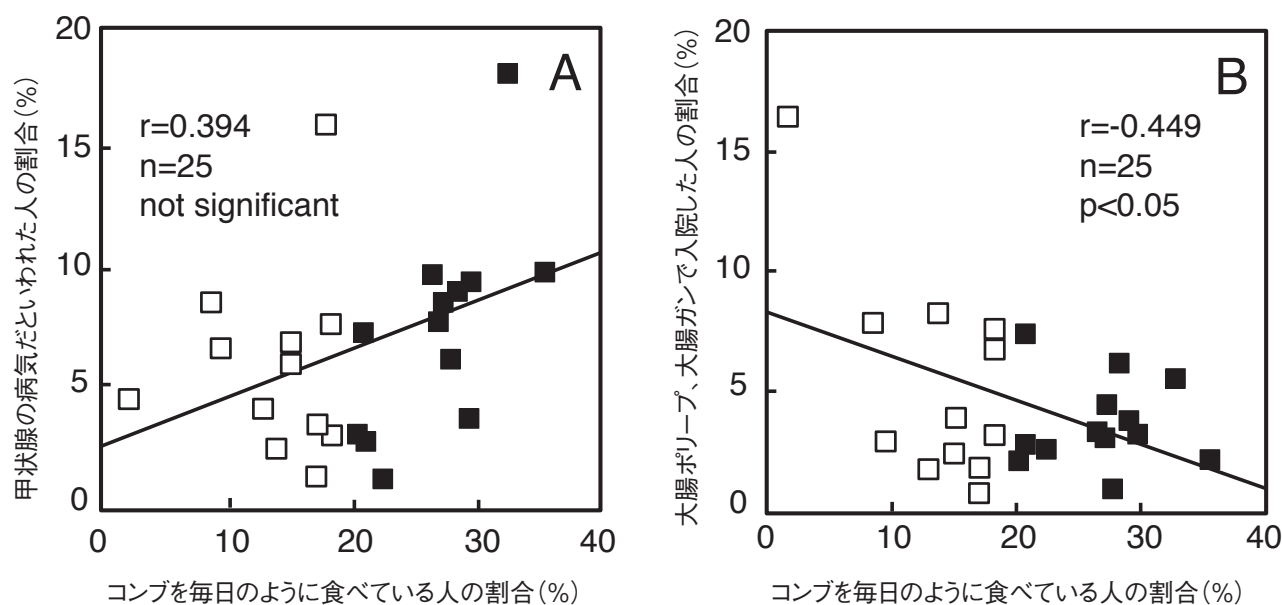


図5. A: コンブ食と甲状腺疾患の相関関係（女性の場合）。B: コンブ食と大腸系疾患の相関関係（女性の場合）。コンブ多食地域（■）とコンブ少食地域（□）の市町村。

6. 甲状腺ホルモンとヨードと海藻

さて、甲状腺疾患がなぜ問題になるのだろうか。甲状腺はチロキシンとトリヨードチロニンという2種類の甲状腺ホルモンを合成・分泌する器官である。これらの甲状腺ホルモンは元気の源になるもので、栄養素の代謝を促進し、成長や生殖に重要なはたらきをしているが、その合成にはヨードが不可欠なのである。

甲状腺ホルモンの分泌が多くなりすぎる病気がバセドウ病であり、甲状腺機能亢進症ともいわれ、元気に興奮しすぎて、かえって疲れてしまう症状が出る。逆に、甲状腺ホルモンが不足して元気がなくなり、顔にむくみが出てくるのが甲状腺機能低下症である。甲状腺低下症になる原因の一つに橋本病が知られているが、橋本病はバセドウ病と同様に自己免疫疾患の範疇に入る。

コンブの食べ過ぎ、その結果としてのヨードの過剰摂取が、橋本病以外に甲状腺機能低下症の要因になることが今回明らかになったわけである。

しかし、海から遠く離れた大陸内部や山岳地帯では、ヨード不足によって甲状腺ホルモンが十分に作られないことがある。胎児期にホルモンが不足すると知能障害がおこり、また、幼児期に不足すると発育不全になるおそれがある。全世界の人口の47%がヨード量不足に要注意であるといわれている。このように、適切なヨードの摂取によって正常な甲状腺機能を維持することは、とくに子供にとっては非常に大切である(木村 1996)。

ヨードは人間の健康を維持するために微量ではあるが必須の元素である。成人一日当たりのヨードの必要量は0.2 mgであるが、それを野菜や肉類から得ようとすると毎日2 kgを食べなければならない。海産魚介類でも10~50 gを毎日食べる必要がある。それがコンブ類だと乾物でわずか60 mg、2 mm四方のかけら一片を食べれば済む。

海藻類は海水中のヨードを500~80,000倍も生物濃縮して体に取り込む。海水中のヨードの濃度は0.06 mg/L (0.06 ppm=0.000006%) と非常に希薄であるが、海藻類の中でもとくにコンブ類は、成長や成熟のためにヨードを必要とするために、ヨードを積極的に海水中から吸収し、濃縮している。葉を伸ばして大きく成長したコンブ類では、乾燥重量当たり3,000~6,000 ppm (0.3~0.6%) ものヨードを含有する。このデータは、成葉可食部についてであるけれども、コンブ藻体に取り

込まれた栄養塩は分裂組織に転流することが知られている。オートラジオグラフィの実験によれば、最初に藻体の各部分に取り込まれた放射性ヨードは葉部と茎部の間にある分裂組織へ転流し、さらに茎部から付着器に移動して蓄積する (Amat and Srivastava 1985)。となると、栄養価が高いということで人気がある「根コンブ」には、高濃度のヨードが蓄積しており、その含有量は葉部よりも28~5.6倍多いと見積もられる。

とはいえ、乾燥したコンブを調理するとき、20分間水戻しただけで90%のヨードが溶出してしまい、その結果コンブ内のヨード濃度は1/10になる (西澤 1993a)。従って、根コンブからコンブ水を作るときは、素干しの根コンブを一度多量の水に20~30分間漬し、溶出したヨード水を捨てた後、改めて水を加えて作ることが大切であると親切に指示されている。しかし、そのような指示は必ずしも守られるとは限らないので、ヨードの過剰摂取は繰り返される。これは食べる側の各人の責任ではあるが、やはり、食品に提供される各種のコンブ類について正確なヨード含有量と適切な調理法を表示し、さらには、ヨード含有量の少ないコンブの品種改良が必要になってくるかも知れない。ただし、コンブ食の重要性は、単なるヨードの供給源としてではなく、水溶性食物繊維つまり硫酸を含んだファイココロイドのもつ薬理作用なのである。

7. コンブパワーの本質は何か？

今回のアンケート調査結果に戻るが、コンブ食が多いと大腸疾患が少ないということが統計的に明らかになったことが重要である (図 5 B)。これを逆にいうと、コンブを食べる人が少ないと大腸疾患が多いということになる。実際に表 2 のコンブ少食地域のHa町のように、コンブを毎日食べる人が3名 (1.7%) しかいないところで大腸疾患者は58名 (33.0%) いた。Yu町では毎日コンブ食の人が20名 (8.6%) に対して36名 (15.5%) が大腸疾患者であり、Sh町は毎日コンブ食の38名 (13.8%) に対して45名 (16.3%) の大腸疾患者がいた。ただし、Ki町やAb町などのようにコンブ摂取量と大腸疾患との関連性が定かでないところもあったが、コンブを多く食べることが胃腸消化器系の疾患の抑制に有効であることが示され、女性に限ればそのことがいっそう明確となる結果が得られた。

ここで明らかになったコンブ食効果の本質は何であ

ろうか。それは他の食べ物には含まれていないものに違いない。

結論から先に述べると、コンブの乾燥品を水に戻した時に出てくるドロドロ、ネバネバこそがコンブパワーなのである。ドロドロ、ネバネバは、コンブの細胞壁の成分となっているフコイタンとアルギン酸が溶け出したものであり、これを食品として分類すると水溶性食物繊維の範疇に入る。水溶性食物繊維というと、他の多くの野菜、果物、豆類、コンニャク、穀物類に含まれるペクチン質やコンニャクマンナン、穀物ガム、粘質物もネバネバであるが、コンブのネバネバはこれらとは異なるものである。とくに、フコイタンは他の水溶性食物繊維にはない硫黄を含んでいる。

8. コンブ食と便秘、ウンチは腸からの便（たより）

大腸ポリープを患った時は便秘になって血便が出たが、私はコンブ食によって便秘を解消した。便秘にならないためには健康なウンチが作られなければならないため、そのためにコンブの水溶性食物繊維が役に立つと考えた。私が毎日3～5 g（乾重量）のコンブを食べようと決めたのはそれなりの理由があった。

乾燥コンブの50%は繊維分であり、そのうち10%は不溶性食物繊維のセルロース、40%が水溶性食物繊維である。毎日食べる5 g分の乾燥コンブには2 gの水溶性食物繊維が含まれると仮定した。一方、成人は毎日150～200 gのウンチを排泄するとし、その中に1%の水溶性食物繊維が含まれていれば、半ゲル状態となったしっかりと成形された健康なウンチが作られると考えた。ウンチ200 gの1%は2 gの水溶性食物繊維であるから、5 gのコンブを食べればよいとなるわけである。

コンブの水溶性繊維のうち、フコイタンは含有量がかなり少なく（乾燥マコンブ5 g当たり75 mg）、また、コンブを水で洗ったり、調理している間に流失しやすい。後述するが、アルギン酸は野菜や果物のペクチン質と同様に腸内細菌の餌になり、排泄される前にほとんど消失する。それに対してフコイタンは少量でも腸内細菌の餌にはならず、むしろ腸内細菌の生育を抑制・阻害する場合がある。

コンブ食が多いと大腸疾患が少ないことは明らかになったが、コンブ食が便秘の解消に有効かどうかは統計上有意な結果は出なかった。医学的に「3日排便しない場合は便秘である」と考えるそうだが、3日間以

上排便しなくても平気という人は案外多いらしい。しかし、便秘は病気であり、疫学的調査では、肥満とガン、とくに大腸ガンや乳ガンになりやすいという（稲垣 1985、倉田 1995）。さらには、心筋梗塞の引き金になるともいわれている。とにかく、よい健康なウンチ作りとスムーズな排便が肝要である。便は腸からの重要な便（たより）であることを忘れてはならない。

9. 他の海藻食の効果は？

アンケートの最後に、コンブ以外の海藻をよく食べていますか、という質問をしたところ、全体の84.4%の人がよく食べていると回答した。また、調査した胆振、日高、釧路、網走の4地域でそれぞれ異なる海藻を食に取り入れていることが伝わってきた。

よく食べられている海藻の種類は多い順に、ワカメ（92%）、アマノリ（75%）、フノリ（64%）、ヒジキ（41%）、マツモ（29%）、ギンナンソウ（9%）、その他（6%）であった。ワカメは全地域で圧倒的な人気食品となっている。しかし、4調査地域でワカメが自生して採取できるのは室蘭以西の胆振地方だけであり、ヒジキはどの地域にも生育していない。従って、ワカメとヒジキは各地域の前浜で採取されたものではなく、市販品が食べられている。アマノリ、フノリ、マツモ、ギンナンソウは各地域に自生しているので、地域住民が前浜で自家用に採取し、利用していると思われる。その点で印象的だったのは、日高地域では、アマノリよりもフノリを、ヒジキよりもマツモを、そしてギンナンソウを多く食べており、自給自足というべきか、地産地消というべきか、自分たちの地域の前浜で生えている海藻類をより多く利用していることがよく分かる。

前出の釧路地域のHa町はコンブをあまり食べない町であったが、コンブ以外の他の海藻類もワカメを除いてほとんど食べないという注目される結果であった。この町に大腸疾患患者数が多いことと結びつけ、地域における海藻食の生活と健康についての今後の研究の進展が望まれる。

このアンケート調査を行った当時は、コンブの効力に大きな関心があり、他の海藻類については、水溶性食物繊維の点で陸上の植物と同列の認識でしかなかった。しかし、ワカメ、ヒジキ、マツモは褐藻類であり、コンブと同じ細胞壁成分をもつ。紅藻類では、アマノリはポルフィラン、テングサ類は寒天、フノリ類

はフノラン、ギンナンソウ類やツノマタ類はカラゲナンをもつ。アオサ藻のヒトエグサやアオノリはラムナン硫酸とアラビナン硫酸をもつ。これらはそれぞれ特有の薬理活性の高い水溶性食物繊維であり、硫黄を含む海藻の細胞壁成分という共通の括りに全部がまとまるという重要性に、この時まで気づいていなかった。

10. 沖縄のコンブ食と長寿、海藻食と健康

1992年度の総務庁（現総務省）統計局の家計調査年報（平成4年）¹によると、全国でコンブ消費量が最も多いのは沖縄県だった。沖縄郷土料理のクレーブリチなど代表されるように、ナガコンブを煮たり炒めたりし、総菜としてコンブ全体を使った食べ方をしている。県民一世帯当たりで年間1,080 g、一世帯3人家族とすると一人1年で360 gとなり、平均すると一人が毎日1 gずつ食べている計算になる。消費量2位は東北地方の910 g/世帯/年で、すきコンブ食とよばれる若いコンブ全体を使った食べ方である。3位は北陸地方の772 g/世帯/年で、こちらはとろろ、おぼろコンブなどの加工品を食する食べ方である。北陸では富山市が別格で、コンブの購入量と消費量が突出して多いことが知られていたが、これは昆布巻や蒲鉾などの高級昆布加工食品の普及によるものである。富山市全体のコンブ消費量は沖縄県全域の消費量とほぼ同じ1,012 g/世帯/年であるが、富山市と沖縄県の人口はそれぞれ32万人と126万人であるので、富山市民は沖縄県民よりも4倍近い量のコンブを食べていることになる。

厚生労働省発表の全国都道府県別の平均寿命は、その頃まではごく当たり前のように沖縄県が男女ともに第1位であった（宮城・安次高 1993）。当時の沖縄県副知事で元琉球大学教授、料理研究家でもある尚弘子先生に、沖縄県民の健康と長寿の秘訣について伺ったことがあった。尚先生は、「温暖な気候や年長者を大切に作る社会環境でストレスがたまらないこと、芋、野菜そして海藻（コンブ、オキナワモズク、クビレツタ、イバラノリ、アオサなど）の繊維分の多い食品を摂り、タンパク質源として豚肉と豆腐をよく食べるバランスの取れた食生活をしていること」を挙げ

られておられた。沖縄はオキナワモズクとクビレツタ（ウミブドウ）の養殖に成功し、いち早く産業化した地域である。

しかし、沖縄のコンブ消費量（家計調査表、総務庁統計局（平成8—12年））はそれ以後徐々に減り始め、1995年では全国4位に、2000年には11位にまで順位を落としてしまった（2008年は9位に回復）。コンブ消費量の減少とともに、平均寿命も順位を下げ、2013年2月に厚生労働省が発表した2010年度の全国都道府県別の平均寿命によれば、沖縄県は女性が全国で3位（87.02歳）、男性が30位（79.40歳）になった（北海道新聞、3月1日）。その原因は、1970年代以降に、煮込みに時間のかかるコンブ料理を含む伝統的な郷土食を食べる人口割合が減り、揚げ物やファストフードなどの肉食が普及して脂肪の過剰摂取になったことが指摘されている（北海道新聞、2009年5月9日）。

11. 長野県民の健康、長寿の源はキノコと寒天？

ここ10数年来、長野県が長寿県として注目されている。厚生労働省発表の全国都道府県別平均寿命²によると、2002年度以降の長野県の男性はずっと1位を保ち、女性は4位を保ち続けていたが、2010年度にはついに長野県が男女ともに全国1位になった（男性80.88歳、女性87.18歳）（北海道新聞、2013年3月1日）。

私がコンブ食と海藻食の調査で1998年に長野県を訪れたとき、当時の県衛生部長が書かれた小冊子に長野県が長寿である理由が述べられていた（畑山 1998）。それは、県を挙げて健康増進運動に取り組んでいるとのこと。具体的には「健康長寿の里、長野県」という一文の中で、多くの県民が積極的に健康診断を受けて保健・予防対策に熱心であり、大自然に囲まれた生活環境でストレスが少ない生活ができることを挙げている。また、長野県は全国最低額の医療費を誇り、もし長野県のように日本中が健康対策を実行すれば、老人医療費だけでも1兆7千億円の削減は可能であろうという国民健康保険中央会のレポートを紹介し、長野県の健康増進運動を他県でも行った方がよいと提案されていた。

その折に出会った様々な職業や階層の長野県民の方々に聞き取り調査を行ったところ、食生活の特徴と

¹ 都道府県庁所在都市別1世帯当たり年間品目別（コンブ）支出金額、購入数量（全世帯）。家計調査年報、総務庁統計局。平成4年（p. 313）、平成7年（p. 320）、平成12年（p. 322）、平成20年（p. 370）。

² 厚生労働省（編）、2013年。昭和65年以降、国勢調査などを基にして実施し、今回（2013年）の発表は10回目当たる。

して多数の人が粉食を第一番目に挙げた。つまり、米作の少ない地方にあっては、昔から粉食のそば、うどんが中心であったとのこと。県一番の長寿村といわれている中条村では、野沢菜、茸、山菜などを具（あんこ）にしたお焼きなどを常食としている例が挙げられた。

そこで私が注目したのは、長野県はキノコ栽培が盛んであることであった。あらゆる種類のキノコが安価で季節を問わずに食べることができるようになったのも、長寿になった大きな要因の一つではないかと考えた。

そしてもう一つの要因として考えたのは、長野県は天然寒天の一大産地であり、地産地消の精神が旺盛な県民性として、寒天の食文化が根強く育っているのではないかということであった。

1660年代に京都の山城に始まった寒天製造は、大阪、岐阜地方を経て、冬期に雨が少なく昼夜の寒暖差が著しい気象条件をもった長野県茅野地方で定着した。化学的および工業的に製造される寒天が主流となった現在もなお、天然寒天は350年以上にわたり、自然にこだわり続けて海から遠く離れた長野の地で製造が続けられている。一部の工業寒天も天然寒天の伝統と豊富な日本アルプスの湧き水を求めて長野で製造されている。さらに、寒天の絞りかすを利用してキノコ栽培にも成功しているという。

そこで、長野県全般とはいわないが、少なくとも寒天を製造している伊那地方や茅野地方での寒天消費量は高いはずだと思い、かんてんばばの伊那食品工業の当時の開発部長にそれを尋ねてみたが、長野県がとくに寒天消費量が多いというデータはないとのこと。それでもう一つ、茅野市の天然寒天の某製造所に問い合わせたところ、製品の棒寒天の売れ行きがとくに県内で多いかどうかは分からないが、全製品の数%になる、製造過程で折れたり欠けたりした特価品を出すと、アッという間に売り切れてしまい、常に完売状態という由。このことはやはり寒天の常食・利用者はかなり多いことを示唆しており、寒天食は粉食とキノコ食とともに長野県民の健康の源になっているのではないかと推察された。

寒天はほぼ純粋な水溶性食物繊維の塊である。また、ファイココロイド（海藻類に含まれる水溶性食物繊維の総称）としての保水性と粘着性を維持し、胆汁酸やコレステロールなどの有害物質の吸着にも優れており、寒天1 gで水ようかんなみに200~300 gのウンチ

をまとめて成形してくれる力を持ち合わせている優れたものである。

12. 菌食論との出会い、そして海藻食論の始まり

何とかコンプをはじめ各種の海藻を、単なる嗜好品的なものから健康食品として常食されるまでに普及したいと思い、集めた資料を整理していたところ、菌類学の権威で日本菌類学会会長も務められた今関六也先生が「菌食論=Mycophagism」を提唱されていることを知った。小学館の日本百科全書にご本人が「菌食論」としてその概略を書かれた文章を見つけたからである（今関 1986）。是非とも原論文を読みたいと思ってあちこちを探していたら、京都大学の小川教授が今関先生のお弟子さんの一人であることを知り、問い合わせしてみた。小川教授から、「菌食論」として一つのまとまった論文はないが、「菌食論」の内容を掲載したいろいろな雑誌や書籍があるので、その中から、1988年に冬樹社から発行された「森の生命学〜つねに菌と共にあり」という小冊子（今関 1988）を送っていただいた。

さてこの、今関先生が提唱する「菌食」とは、「シイタケ、シメジ、ナメコといった担子菌類のキノコ類のことだけではなく、カビ、酵母、細菌類などの微生物の酵素作用を利用した発酵食品を含めていうもので、味噌、醤油、糟みそ漬け、たくわん、納豆、チーズ、ヨーグルトなどの発酵食品の他に、日本酒、ビール、ワインのような醸造酒や酢までも含む。これら全ての菌類質の食品を飲食することをいう」、と定義されている。先生がこの食物論を提唱した理由は、いわゆる日本の伝統的な発酵食品の菌食が各家庭から次第に少なくなってきた状況にあり、そのために日本人のガン体質化という重大な問題要因が生じると考えたからだという。

1960年代までの栄養学は、炭水化物、脂肪、タンパク質を栄養の3要素、これらにビタミン、ミネラル（無機質）を加えて5大栄養素を基本とし、化学的バランスを強調するものであった。なぜなら、第二次世界大戦前の日本人の食生活は一升めしを食べるといった炭水化物偏重の欠陥があったからである。炭水化物中心の食生活は戦後しばらくしてから大いに改善され、脂肪やタンパク質を摂る量が増えて青少年の体格が著しく向上した。結核は激減したが、しかしその反

面でガンが増え、心筋梗塞や糖尿病などの欧米型疾患者が増加し、しかも若年層からの患者が増え、日本人の体質が明らかに変化してきた。「菌食論」によれば、このような体質変化の最大の原因は、食生活が変わり、とくに味噌汁、糟みそ漬などの菌類質発酵食品の摂取量が著しく減ったことによる。近年、各種のキノコ、カビ、細菌類から制ガン性物質が発見され、味噌汁の制ガン性が医学的に認められるなどのことから「菌食論」の妥当性が裏付けられるという。「菌食論」が本来ある自然生態系の理に適った食生活であるという考え方について、今関先生の記述を引き続いて引用する。

「生物の栄養の摂り方は、独立栄養と従属栄養とに分けられる。皆さんよくご存じのように独立栄養は無機物から有機物を合成する栄養の摂り方で、主として、葉緑素をもつ植物が太陽の光エネルギーを取り込んで有機物を合成する営みをいう。他方、従属栄養はそのような自立力はなく植物の作った有機物及び他生物の作った有機物を栄養源とする生き方で、動物と多くの菌類の栄養生活である。この意味から動物や菌類は植物と共存しなければ生きていけない。一方、植物は独立栄養生物だから他の助けを借りることなく単独で生きられるはずだが、あくまでも三者共存なのである。植物は自分で合成した有機物をそのまま吸収して利用はできない。動物によって食べられ、分解され、排泄されたものを、菌類がさらに分解し、元の炭酸ガスと水に、さらには、窒素、リン、その他の無機物に還元したものを利用する。つまり、動物や菌類は植物のいないところでは生活できないが、植物もまた動物と菌類、とくに菌類不在の世界では生活できないのである。この事実は生態学からみると、植物（生産者）、動物（消費者）、菌類（分解・還元者）と3つの生物群になる。これら3つの生物群の共同生活によって、無機物→有機物→無機物という物質の循環利用が成り立ち、有限の物質を無限に活用することができるようになり、このサイクルによって生物の永遠の生命が保証されてきた訳である」。

このような生物の基本的な生活が人間活動による生態環境の著しい劣化によって崩壊しつつある。その明らかな一例は、農業における施肥のアンバランスによる耕作地の荒廃である。窒素、リン、カリウムは化学肥料の3要素であるが、植物の栄養源としては不完全である。農作物の増産のために化学肥料に頼りすぎた結果、世界の多くの農地が塩類化、砂漠化、土壌浸食

によって荒廃への道を進んでいる。かつては、地球全体の植物の栄養を供給してきたものは生物3群の死体であり、動物の排泄物であった。これらを菌類が栄養として腐敗し、発酵・分解して無機物に還元し、化学肥料3要素の窒素、リン、カリウムだけではなく、さまざまな無機物が土壌中に溶けて肥料となり、植物の健全な栄養として根から吸収されているのである。

陸上植物の根には、外生および内生菌根が存在し、それぞれが植物と共生的な関係を保つ。これは丁度、消化管をもつ全ての動物の腸内に数多くの微生物が生存し、宿主動物と共同生活をしているのと同じであり、文字通り、植物も動物も「つねに菌と共にあり」である。

以上述べてきたとおり、これが今関先生の「菌食論」の趣旨であるが、自然生態系で互いに共存し合っている生物3群の栄養摂取のありかたを基本におき、私たち人間も動物の一員として、動植物だけでなく菌類もバランスよく食生活に取り入れようと提起している。

生物学および生態学的観点からまとめられた「菌食論」は説得力があり、またある意味、私にとって我が意を得たりの思いであった。なぜなら私は当時、大腸ポリープを克服した自らの体験から、コンブは野菜や芋類などとは違った特別な治癒力ないしは健康増進力をもつことを実感し、そのコンブパワーのすばらしさをアピールして海藻食を普及させる活動をしていたからである。そこで、食品として海藻がもつ有効性と他のものにはない特異性を明らかにし、それに基づき、日常生活の重要な食の対象として海藻を明確に位置づけた新しい食物論または栄養論を打ち出せないものかと考え始めた（1994年）。

13. 海藻も世界的に海藻菜（Sea vegetable）として認められた

もう45年も前のことになるが、1966年に汎太平洋学術会議が東京で開催されたときに、会場の一角に海藻食品が展示され、ある有名店の乾海苔や味付け海苔の試供品が諸外国の研究者らに提供された。それらを口にした欧米人のほとんどが「ブラック・ペーパーか？」と叫んで、一様に顔をしかめて吐き出す人も多かった。それから30年後には、日本食、とくに寿司食ブームが起り、カリフォルニア巻きなどが健康食として歓迎され、ごく当たり前に乾海苔が食べられるよ

うになった。

それまでは、海藻は英語でSeaweed（海の雑草）としか呼ばれていなかったのに、いつの間にか、Seavegetable（海の野菜）という言葉もあてられ、ビタミン、ミネラル豊富なノン・カロリー食品としての海藻への関心が高まってきたのは確かである。

海藻は海に生育し、肉眼で見ることができるよう大きく発達する藻類全体を総称する用語であり、アオサ藻類（緑色）と褐藻類（茶色）、それに紅藻類（紅色）の3つのグループがある（千原 1999）。有用海藻として食用、家畜飼料、医薬品、工業用に利用されているのは世界で約390種類にのぼる（徳田ほか 1987）。そのうち直接食用に供されている海藻を数えたところ、アオサ藻類で33種、褐藻類で65種、紅藻類で115種あり、合計で213種類の海藻が食べられていることになる。

昔から海藻をよく食べることで知られている日本では、約50種類の海藻を食している。なかには、ごく限られた地域や特定の季節にだけ利用される種類もあるし、また、食べるというよりは‘刺身のつま’のように料理のアクセントや飾り程度に使われる種類もある。全国的に市販され、または大量に養殖されているために入手しやすく、常食されているのは、紅藻類ではアマノリ類（海苔）とフノリ類（味噌汁の具）、ところてんやゼリーにする寒天（原料となるテングサ、オゴノリ、エゴノリ類の煮汁を固めて乾燥したもの）、それにカラゲナンの原料となるツノマタ類がある。褐藻類では、コンブ、ワカメ、ヒジキ、モズク類が常食され、地域的にはマツモやハバノリ、カヤモノリ、アラメ、アントクメ、ホンダワラ類も食べられている。アオサ藻類のヒトエグサは、養殖されて海苔の佃煮として加工されており、アオノリ類のスジアオノリも養殖されて粉末のふりかけ製品にし、全国的にお好み焼きや煎餅などに使われている。同様にアオサ藻類に入る沖縄のクビレヅタ（うみぶどう）は独特の食感が好まれて養殖されるようになった。これらの中で横綱級海藻食としては、東はコンブ類、西は100%の養殖が確立しているアマノリ類となろうか。

このように日本では、海藻食は特別なものではなく日常に溶け込んでいる。すでに広く受け入れられている食文化があるということは、海藻食をさらに進める上で都合がよい。つまり、積極的にもっと海藻類を摂る理由と動機がありさえすればよい。問題は、海藻食の有効性を説明・強調した新しい食物論を打ち出すた

めに、そもそも、そこで取り上げるべき海藻それ自身をどのように位置づけるかということだった。

単に海藻といっても、アオサ藻類、褐藻、紅藻の海藻類3グループはそれぞれ起源も進化の過程もまったく違う。異質集団である海藻を一つにまとめられる共通性は一体何だろうか？・・・それは補助栄養生物ではないだろうか。そこで、菌食論を参考にし、独立栄養生物としての植物、従属栄養生物としての動物（消費者）と菌類（分解・還元者）、これらに補助栄養生物としての海藻を加えて独立させ、植物、動物、菌類、海藻からなる生物4界を考えた。

海藻を補助栄養生物と考えた理由は、私が長年取り組んできた海藻の栄養要求性の研究に根拠があった。

紅藻類の多くの種は、ビタミン類、とくにビタミンB₁₂がないと全く成長しない（Tatewaki and Provasoli 1964）。しかし、ビタミンを供給すると、それを体内に多量に蓄積する。だから海苔はビタミンを豊富に含んでいる。褐藻類は成長にヨードを要求し、体内に多量のヨードを蓄積する。アオサ藻類のアオサのなかまは、無機合成培地にジベレリンやキネチンなどの植物ホルモンの混合液を与えると正常に生育する。前述したマキヒトエやシワヒトエグサもアオサ藻類であるが、これらの場合は、無機合成培地で無菌培養すると、細胞がバラバラになって単細胞化し、正常な葉の組織に発達しない（図2）。バラバラになっている細胞に、他の褐藻類や紅藻類の抽出液を与えると、回復して正常に葉の組織を形成する。また、バラバラの細胞と他の海藻を一緒にして無菌2藻培養すると、互いが成長に有効な微量物質を分泌し合い、正常な体づくりがなされる（Tatewaki *et al.* 1983）。このような研究結果は、海藻は成長のために様々な特殊な微量成分を要求するとともに、これら特殊成分を体内に蓄積することを示している。そして、そのような微量成分は食品として人の健康にも有効であると考え、海藻を補助栄養生物として位置づけたわけである。

14. 海藻は硫黄栄養生物（Sulfurtroph）である

栄養面で海藻を補助栄養生物として独立させ、生物4界としてみたが、どうもしっくりこない。植物も海藻も光合成をする独立栄養生物であることには違いがなく、海藻が補助栄養というだけで植物と区別するのは、いまひとつ説得力が足りない。海藻と植物、海藻

と陸上植物・・・そうだ！海藻は海で生きている。それに対して植物はもっぱら陸にいないか。海藻は無機物を海水から取り入れ、植物は土壌から無機物を吸収する。しかも、海は陸より多くの硫黄分を含み、海藻はその硫黄を大量に体内に取り込んでいる。

そうひらめくと、今まで頭の中を漂っていたもやが一瞬にして雲散霧消した。寄せ集めの異質集団であった海藻3グループが、海という環境に育つことで陸上の植物から抜け出し、さらに、体を作る重要な成分として共通に硫黄を取り込むことで陸上植物とは明確に一線を画し、ついに海藻が「硫黄栄養生物」として一つの独立したまとまりをもって浮かび上がったのである（図6）。

海藻は多細胞の体をもち、隣り合うそれぞれの細胞が密に連結し合って組織を構成し、体全体を形作っている。それら細胞同士をつなげるのが細胞壁であり、海藻にあっては、その細胞壁に海水から吸収した多量の硫黄が含まれる。硫黄を含むのは酸性多糖類であり、セルロースやキシランなどの骨格成分を取り囲

んで細胞壁全体を保護し、補強する役割を果たしている。

海藻3グループはそれぞれ異なる種類の酸性多糖類をもっている。アオサ藻類はラムラン硫酸とアラビナン硫酸をもち、紅藻類にはカラゲナン、フノラン、寒天、ポルフィランがあり、これら全てが硫黄を含む。褐藻類では、硫黄を含むフコイダンと硫黄を含まないアルギン酸がある。これらの酸性多糖類は食物論においては水溶性食物繊維の範疇に入り、これこそが海藻ならではの重要な栄養成分ということになる。なぜなら、海藻がもつこのような硫黄を含む水溶性食物繊維は、植物と菌類がもつ他の水溶性食物繊維とは薬理効果の面でかなり異なった特異性を示すからである。詳細は後述するが、海藻の水溶性食物繊維は、抗腫瘍性やアポトーシス誘導作用効果を発揮すること、抗酸化作用と抗凝血作用（ヘパリノイド効果）が著しいこと、そしてさらに、人の腸内細菌との関わりが他の食物繊維とは異なっているらしいことなどが明らかになってきたのである。

海藻を硫黄栄養生物として菌食論のいうところの生態系に位置づけてみた（図6）。海藻は植物と同様に生産者の役割を果たすが、植物が土壌から無機物を吸収するのに対し、海藻は海から無機物を取り入れ、とくに多量の硫黄を体内に取り込むことが特徴となる。私たち人間は、植物（菜食）と動物（肉食）、菌類（菌食）、それに海藻（海藻食）をバランスよく摂ることが、生態系で生きる生物として自然であるし、健康の維持と増進にもつながる。私は、硫黄栄養生物としての海藻の重要性を指摘し、私たちの食生活に海藻食を積極的に取り入れた「海藻食論」をここに提示する。

15. 海藻とはどのような生物か？

これまでは「海藻食論」に至るいわば導入部分であった。「海藻食論」を展開するにあたり、まずは海藻がどのような生物であるかを、特に陸上の植物と対比して理解する必要がある。

陸上にはコケ植物、シダ植物、種子植物がいるが、なかには水草のように水中で育つ種類もある。そのうち、海で生育し、花が咲く種子植物は「海草」と呼び、「海藻」には入らない。浅い砂浜海岸で群をなして生えるアマモやスガモ、ウミヒルモなどの「海草」は、名前に「モ」がついているので、「海藻」と間違

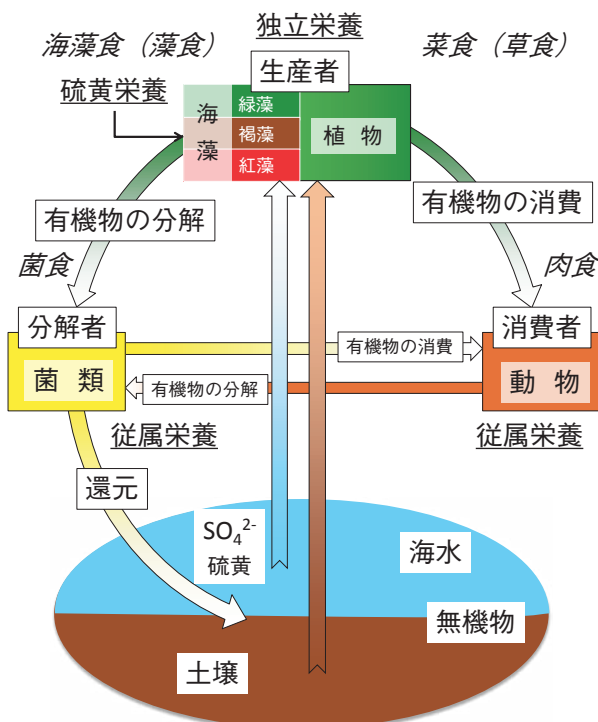


図6. 海藻食論からみた生物4界の生態系と物質の循環。海に生育し、海水から硫黄を細胞壁に取り込む海藻を硫黄栄養生物として独立させ、植物、動物、菌類、海藻の4界からなる生態系とした。菜食、肉食、菌食、海藻食をバランス良く組合せ、4界の生物を摂取することが大切である。今関（1988）の菌食論の生物3界を参考に改変・作図した。

えられやすいが、これらは種子植物であってあくまでも陸上植物のなかまでである。

海藻は海で生育し、磯の岩や石、コンクリートやロープ、さらに他の生物の体に固着して成長する。単細胞の植物プランクトンも藻類のなかまでであるが、海藻は多細胞の体に発達し、しばしば大型化する。前述したように、海藻は緑色のアオサ藻類、紅色の紅藻類、茶色の褐藻類の3グループを含む。海藻3グループはお互いに祖先と進化してきた道筋が異なるので(図7)、系統分類学的には、それぞれ緑色植物門アオサ藻綱、紅色植物門紅藻綱、不等毛植物門褐藻綱という分類群に所属する藻類を指す。従って、海藻とは、生まれも育ちも違うが、共通に海で育つ多細胞の藻類を丸ごとひっくるめた名称なのである。そしてもっとも重要なのは、多細胞化に必要な細胞壁を作るために、海藻が多量の硫酸イオンを海水中から取り込んでいる事実である。

とはいえ、硫黄は全ての生物にとって絶対的に不可欠な必須元素である。海藻だけではなく、植物、動物、菌類もタンパク質を合成する必須アミノ酸として

硫黄を含んだメチオニンやシスチン、システインがなくてはならない。また、チアミンやビオチンなどのビタミン類の合成や生体内の様々な酵素反応にも硫黄は不可欠な元素である。地球上で生物が利用できる硫黄は陸と大気と海の間で循環しているが、そのうちもっとも大量の硫黄が貯えられているのが海である(1.3×10^9 g)。土壌や海水に溶けている硫酸イオンは植物や藻類に吸収され、アミノ酸などの有機態硫黄になって利用される。生物が死ぬと、有機態硫黄は分解されて土壌や海に戻る。硫黄細菌や硫黄還元菌などの微生物も生態系の中で硫黄循環に貢献し、一方で、火山活動、土壌鉱物の風化といった物理的現象や化石燃料の燃焼などの人為的活動によって新たに硫黄源が供給される(図8)。

硫黄の利用において、海藻が他の生物と決定的に違うのは、細胞壁に硫黄を使うことである。植物と菌類も細胞壁をもつが、その細胞壁には硫黄は含まれない。つまり、海藻だけが細胞壁成分として硫黄を含む酸性多糖類を合成する特性をもっているのである。

16. 海藻と硫黄～海水成分と陸地土壌成分

現在の地球上の陸地土壌と海水中には、天然に存在する92種類の全ての元素が含まれているという(日本林業技術協会 1990)。しかし、両者の元素組成と化学成分はかなり異なっている(表3、4)。

陸地土壌は主に土や砂などの固形物からなるが、土壌に含まれる多量元素の1位が酸素(O)、2位がケイ素(Si)である(木村 1996)。これらは結合して様々なケイ酸塩になって土や砂を構成する鉱物の元になる。酸素とケイ素の後に、水素(H)、アルミニウム(Al)、鉄(Fe)、炭素(C)、カリウム(K)、カルシウム(Ca)が続く。これに対して海水では、その成分のほとんどが水であり、96.5%がOとHからなり、残りの3.5%は水に溶けている塩類である(表3)。その3.5%の3%分を塩素イオン(Cl⁻)とナトリウムイオン(Na⁺)が占めているので、その他は0.5%となる。ここで注目したいのは、ナトリウムイオンの次に多いのが硫黄(S)を溶かしている硫酸イオン(SO₄²⁻)であることである。すなわち、海水中の硫黄(S)の含有量の順位は陸地土壌よりもずっと上位にある(表4)。硫黄に続いてマグネシウム(Mg)、窒素(N)、カルシウム(Ca)がくる(東京大学海洋研究所



図7. 硫黄栄養生物として海藻界を独立させた生物4界の系統関係。菌食論における菌類界は破線で囲まれた系統群を含む。Whittaker (1969) の生物5界の系統図および今関 (1988) の菌食論の生物3界を参考にした。

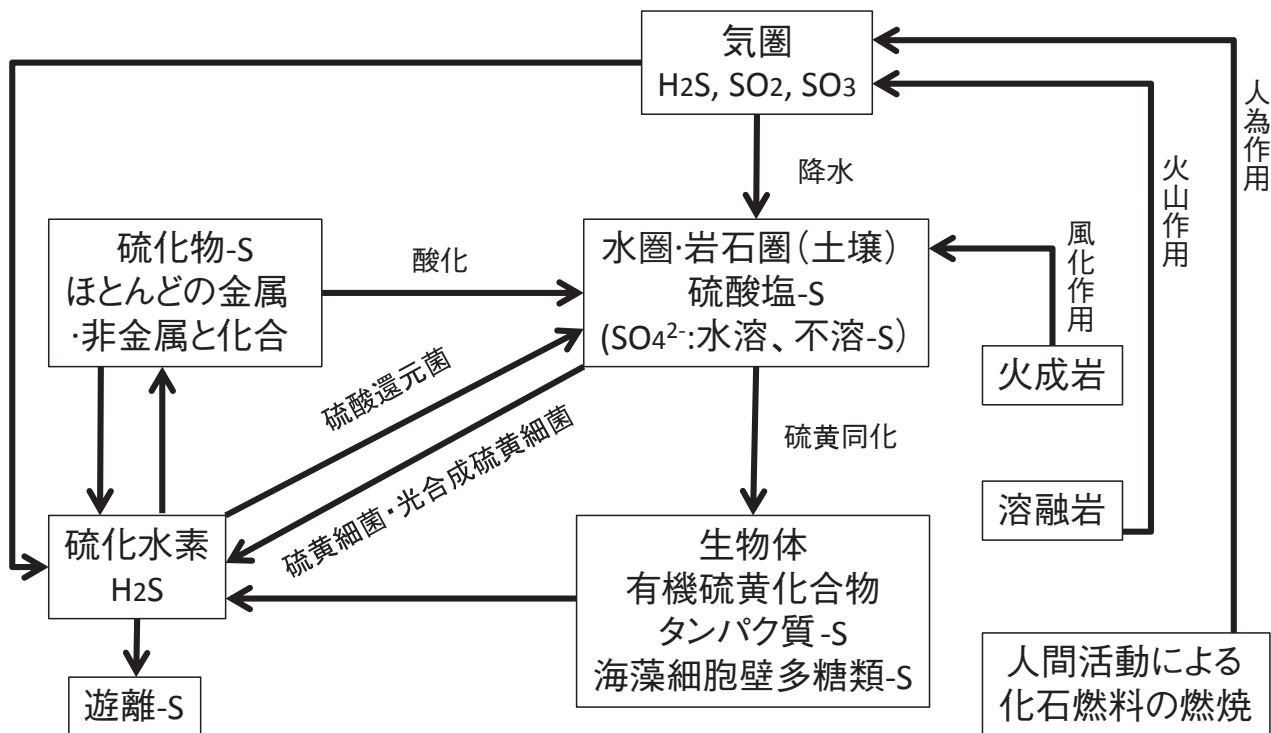


図 8. 地球上の硫黄の循環。

表 3 表層土壌、海水および人体の主要元素

	存在量の順位										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
土壌	O	Si	H	Al	Fe	C	K	Ca	Na	H	Mg=Ti
海水	O	H	Cl	Na	S	Mg	N	Ca	K	C	Br
人体	O	H	C	N	Na	Ca	P	S	K	Cl	Mg

表 4 海水中の主要元素の濃度とそれに対応する土壌中の元素の含有量との比較

順位	海水中の主要元素			土壌中の元素 含有量 (g/kg)
	元素	イオン種	濃度 (g/kg)	
1	塩素	Cl^-	19.354	0.1
2	ナトリウム	Na^+	10.770	6.3
3	硫黄	SO_4^{2-}	2.712	0.7
4	マグネシウム	Mg^{2+}	1.290	5.0
5	窒素	NH_4^+ , NO_3^-	0.500	1.0
6	カルシウム	Ca^{2+}	0.412	14.0
7	カリウム	K^+	0.399	14.0
8	炭素 (重炭酸)	HCO_3^-	0.142	20.0
9	臭素	Br^-	0.067	0.005
10	ホウ素	H_3BO_3	0.026	0.03
11	ストロンチウム	Sr^{2+}	0.008	0.3
*	酸素	H_2O	856.00	490
*	水素	H_2O	107.80	-

* 酸素と水素の量は H_2O から換算 (96.5%)

1997)。総じていえば、陸地土壌と海水の元素組成を比べてもっとも大きな違いがみられるのは、それぞれにおけるケイ素と硫黄の含有量の差であろうか。

イネ科植物やトクサ科植物は陸地土壌からケイ酸を多量に吸収して体内に蓄積するので、ケイ酸植物と呼ばれる（高橋 1987）。ケイ酸は、ケイ酸植物の成長を促進し、体を丈夫にすることが知られているが、以下で述べるように、植物の必須元素には入っていない。脊椎動物においても、体を支える骨にカルシウムを沈着させるために、ケイ素がなくてはならない。一方、海でもケイ素を絶対的に必要としている藻類がいる。それは単細胞性の珪藻類で、堅い珪酸質の細胞壁をもっている。細胞分裂した娘細胞は新たに細胞壁を作るが、その時にケイ素の供給がなければ、細胞壁ができず、娘細胞は死んでしまうのである（高橋 1987）。このようにみえてみると、ケイ素は生物の体を強くする構造に使われることがあるように思える。

陸上植物の必須多量元素はC、H、O、N、P、K、Ca、Mg、Sの9種類であり、これらにFe、Mn、Cu、Zn、Mo、B、Clの7種類の微量元素を加え、計16元素が揃っておれば、植物は正常に成長するという（木村 1996）。これは主として水耕栽培法によって明らかにされてきた。他方、海藻が正常に成長するための必須元素を明らかにする研究もなされてきた。

1950～1960年代に米国ハスキンス研究所のプロバソーリィ博士を中心に、様々な藻類の栄養要求性に関する研究が行われていた。冒頭で述べたように、そこに留学した私もその研究に携わっていた。プロバソーリィ研究室では、藻類が育つために必要な成分をすべて揃えた培養液（培地）を人工的に作製するのが目標であった。そのために、培地に加えるのは水と純粋な無機塩類やビタミン類などの既知の成分のみであり、その培地で育てる藻類は無菌化され、バクテリアフリーの条件で培養された。というのは、バクテリアが混入すると、微量とはいえ、そのバクテリアの遺骸や代謝産物などに含まれる不明な化学物質（阻害物質あるいは活性物質）が藻類の成長に影響を及ぼすおそれがあるからである。さらに、天然海水はそれこそどのような微量成分が含まれているか分からない。

このような栄養要求性の研究から、海藻類の必須多量元素は陸上植物の9元素にNaとClを加えた11種類であり、さらに海藻類に必要な微量元素は、陸上植物の7種類のうちClは多量元素に移して、それらにI、Br、Sr、Co、V、Li、Rbを加えた13元素となり、計24

種類の元素が海藻類の成長に要求されることが明らかになった。これらにビタミン類などを加えた数々の人工合成海水培地が開発・発表され、ASP（Artificial Seawater of Provasoli）培地として世界で広く使用されている（Provasoli *et al.* 1957）。ASP培地は単細胞の藻類には良好であったが、我々の実験では、いくつかの海藻で正常な成長が維持されない場合があった（未発表）。しかし、この状況で一つの快挙ともいえる海水培地が開発された。

プロバソーリィ研究室では、藻類の培養は原則として合成培地を使用し、天然海水を含む培地は、無菌化できたかどうかを調べる海産バクテリアを検出するための培地以外には、使用しないという決まりがあった。無菌化するとバラバラになって正常な葉を作らなくなるアオサ藻のマキヒトエを培養するために、私は先生に内緒で天然海水を用い、ES（Enriched Seawater）培地と名付けて使っていた。これがプロバソーリィ先生にばれて叱られてしまった。私は、バラバラに単細胞化するこの奇妙なアオサ藻の培養保存には天然海水をベースにした培地を開発することも重要な意義があると先生に説明し、ようやく納得してもらった。しかしそれから、先生もすっかりこの現象に興味をもち、あれこれと培地の改良を指示して下さり、できあがったのが万能の海藻用栄養強化海水培地、ESPとESPIの誕生であった。Enriched Seawater of Provasoli = ESPと勝手に名付けたのであるが、当初与えた培地名としてのこのESPは長きにわたり海藻研究者に普及した。後日、私の友人の米国スクリップス海洋研究所のレーウィン（R.A. Lewin）教授が室蘭の研究施設に来訪したとき、ESPは心理学用語のExtra-Sensory Perception = 超感覚的知覚、つまり千里眼を意味する用語であると彼から指摘されたので、PES（Provasoli's Enriched Seawater）に変更した。なお、褐藻類はビタミン類を要求せず、ヨードを必要とするので、その培地をビタミン類の代わりにヨードを加えたESPIと名付けていたが、これもPESIとした。PESとPESIという長期間の保存がきき、安価で作製容易な海水培地が世に出たことで、基礎的な培養研究が進展し、結果としてアマノリの養殖やコンブやワカメの養殖に結びついたが（三浦 1992）、マキヒトエという奇妙な発生をするアオサ藻を培養しなければ、これらの培地は開発されなかったと思う。まさに怪我の功名という思いがある。

17. 海藻の特徴、光合成の相違点と共通点

海藻は体色のもとになる光合成色素で分類される。緑色、紅色、褐色の海藻3グループはどれも、陸上植物が利用できない緑色光も光合成に利用するという共通点をもつという。横浜康継先生（元筑波大学教授で元下田臨海実験センター長）は、美しいカラフルな海藻の色に魅せられて海藻の光合成の謎を次々と解き明かされてこられた。その横浜先生によれば、海藻と陸上植物との違いは生育場所の太陽光線の組成からもたらされる（横浜 1985, 2001）。

陸上と海水面上では、太陽からふりそそぐ可視光線には、赤、橙、黄、緑、青、藍、紫の全ての波長の光が含まれる。しかし、長波長の光はすぐに水に吸収されてしまうので、水深5 mでは可視光線から赤色と橙色の光がなくなってしまう（図9）。従って、水深5～100 mまでは黄、緑、青、藍、紫の光が届き、水中は黄緑色から緑色の世界になる。

陸上植物はすべての波長の光を含む可視光線が当たる陸上に生育するが、光合成に緑色の光を利用しない。緑色の光を利用しなくとも、他の光がふんだんにあるからだろう。水中の浅いところに生育する水草や浅所性と呼ばれるアオサ藻類（アナアオサ、スジアオノリなど）も陸上植物と同様である。しかし、それよりも深いところで生育する深所性と呼ばれるアオサ藻類、それに紅藻類と褐藻類は、光合成に緑色の光を利用することができる（横浜 1985, 2001）。緑色の光を利用するということは、緑色光を吸収する光合成色素をもち、吸収した光のエネルギーを集めて光合成反応中心に伝達するしくみを備えているということである。緑色光を吸収するのは、深所性アオサ藻類では、シフォナキサンチンとシフォネインというキサントフィル系色素であり、紅藻類はフィコシアニンとフィコエリスリンというタンパク質色素、褐藻類はフコキサンチンというキサントフィル系色素をもつ。陸上植物はこのような緑色光を吸収する光合成色素をもたない。このように、緑色の色を光合成のために有効に利用

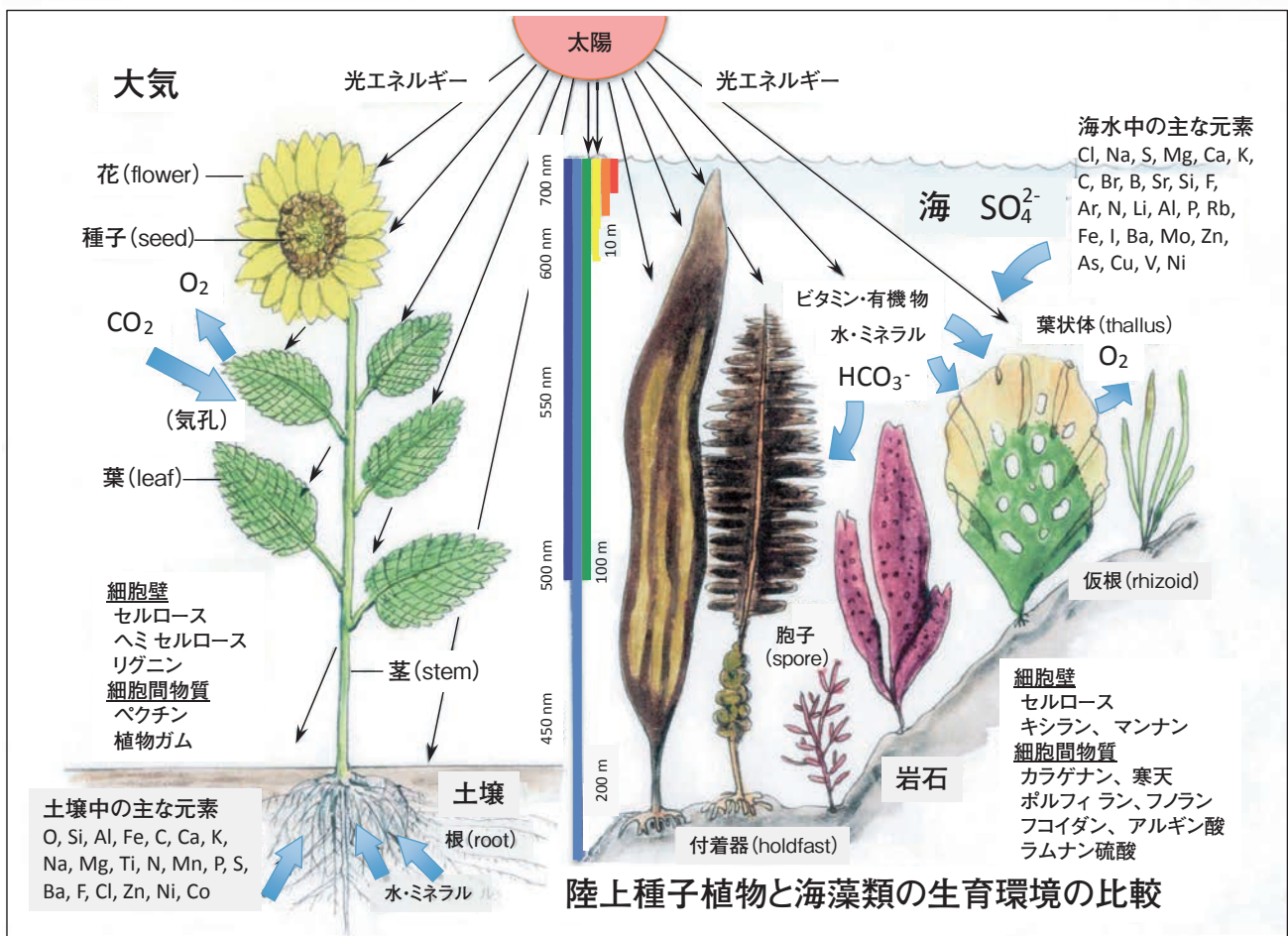


図9. 陸上種子植物と海藻類の生育環境の比較。（註）光の色を示す水深レベルは図中の海藻類の生育水深を表しているのではない。

し、生育水深の光環境に適応していることが海藻の重要な特徴であり、その点で陸上植物と大きく異なっているのである。

水深約200 mまでは光が届く有光層というが、一般的にこれよりも深いところでは、光合成生物は生育できない。有光層の限界付近では、ほぼ青色一色の世界となるが、その光エネルギーは海水面の光エネルギーの0.0005% (0.015~0.0025 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$) 程度の微光となる。そのような深海でも生育している海藻が数多く記録されている。最深記録は大西洋ハバナ諸島海域の水深189~263 mで、そこに生育する紅藻類の殻状石灰藻が採取されている (Lobban & Harrison 1994)。また、日本における最深度記録はツルアラメの199 mである (瀬川 1956)。

18. 潮間帯という特殊な生態環境に生きる

海藻が生育する環境の一つに潮間帯がある。潮汐は月と太陽の引力によって引き起こされ、一般に海水面が毎日2回ずつ周期的に上下する。新月と満月の頃は、満潮の海水面の高さ (高潮線) と干潮の海水面の高さ (低潮線) との差が大きくなり、大潮と呼ばれる。大潮の満潮時に水に浸かり、干潮時に干上がる磯や海岸地帯を潮間帯という。日本の太平洋沿岸域の潮位差は平均して約2 mと大きいですが、日本海沿岸域では約40 cmと小さい。日本で最大の潮位差がみられるのは有明海で、6 mに達するという (千原 1999)。カナダのファンディ湾は15 mもの潮位差があり、世界最大である (東京大学海洋研究所 1997)。

潮間帯に生育する海藻の種類と生産量は意外に多い (西澤 1989)。潮間帯では、特定の水位に特定の海藻が带状に連なって生育分布する (带状分布 = zonation)。潮間帯上部から中部、下部へ水位に沿ってそれぞれ違う種類の海藻が生育することを垂直分布という。垂直分布はそれぞれの海藻が干出時の乾燥に対してどれほどの耐性をもつかで決まる。海水に浸かっている状態から大気中に露出・乾燥する状態になることは、生理学的に著しい環境変化であると考えられる。潮間帯の海藻は、春から夏の大潮の時には、場所によっては5時間以上干上がり、強い日差しと風に曝され、体がバリバリになる程の乾燥に耐える。北国の大潮では、逆に、夜間に氷点下の厳しい寒気に曝され、体が凍結してしまうという過酷な状態の中でも生

存する。潮の満ち干、乾燥と凍結は突然襲ってくるものではなく、ゆっくり徐々に周期的に繰り返されているため、海藻にとっては極端なストレスにならずに、うまく順応できるしくみができているらしい。

干出による順応のしくみについて、外界の塩分濃度の変化や温度変化に対する細胞内の生理学的反応、酵素反応、各種イオンの挙動等に関する様々な研究がなされてきた (Lobban & Harrison 1994)。潮間帯の海藻が干出して水分が蒸発してくると、体組織に残留する水の塩分濃度が増大し、それによって細胞内からの水の喪失が最小限に食い止められるらしい。一方、氷点下で干出する場合は、もし細胞内の自由水が氷の結晶を作ってしまうなら、凍結死が起こるけれども、潮間帯の海藻は細胞・組織を部分的に脱水・乾燥させることで、氷点下の低温にも耐えられるという。いずれも細胞壁を構成する酸性多糖類 = ファイココロイドの水分調節が関わっている。海藻に共通に存在する様々な硫酸塩の結晶水が、脱水を防ぐアニオン水をもつことが知られているので、このようなしくみが細胞の浸透圧の調整や保水性の維持に効果的な役割を果たしていることが考えられる。実際、褐藻ヒバマタ類では、浅いところに生育して日に曝される頻度の多い個体は、比較的深い所や日陰に生育する個体よりもファイココロイドの一種のフコイダンの量が多い。もっとも、ファイココロイドの機能だけで潮間帯の環境を生き抜く海藻の能力のすべてを説明することはできない。

19. 海藻の根は付着器官であって「根」とはいわない

海藻と陸上植物の間にみられる他の大きな違いは、体の形態とその機能との関係である。陸上植物は、根、茎、葉に分化し、それぞれの器官の役割と働きぶりが明確に区別できるのに対し、海藻の多くはそれらの区別が明らかでない (新崎・新崎 1978)。ホンダワラ目やコンブ目に属する褐藻類の体は、形態的に根、茎、葉からなっているように見えるけれども、機能的にはそれらに大きな違いはない。海藻全般をみて陸上植物と形態的に似ているのに、機能的に異なっているところは、いわゆる根の部分である。

陸上植物の根 (root) は土中に深く広く伸び、体を定着させて支えるとともに、水分と栄養塩を吸収し、維管束を通じてそれらを茎や葉の部分に送る役割を果たしている (図9)。このような根の機能は、小さな

草花でも大きな樹木でも同じであり、体の大きさに応じて必要とする主根と側根やひげ根を伸ばし、根毛を発達させる。よく出されるライ麦の例では、種子を播いた後4ヶ月で草丈が1 mほどになるが、土中の水分と栄養塩を求めて伸びるひげ根は、総延長では500 mに達し、総拡張面積では200 m²になるという（日本林業技術協会 1990）。これは、土中で水と栄養塩を巡って個体間で凄まじい生存競争が繰り広げられていることを示す。

海藻の根に相当する部分は、陸上植物の根のような水分と栄養塩を吸収するための器官ではない。海藻は体全体から水と栄養塩を吸収する（図9）。海藻の基部は体を岩や石に固着させる役割を果たすことに特化しているのので、「根」とはわず、付着器（holdfast）または仮根（rhizoid）という。付着器は種類によって繊維状、ひげ状、吸盤の付いた繊維状、盤状などの様々な形態を呈する（広瀬 1959）。

ジャイアント・ケルプと呼ばれる褐藻コンブ目のマクロキスチス・ピリフェラは、主に北米および南米西岸に生育する世界最大の海藻である。この海藻は体長30~50 mに及ぶが、水深10~30 mの岩盤上に着生している。主枝はまず二股に分岐し、その後さらに2~3回枝分かれして茎状部となる。これら複数本の茎状部は海中で互いに絡み合いながら長く伸長し、それらの上部に多数の葉をつけた大きな葉状部が発達する。個々の葉の基部には気嚢があるので、それで葉状部全体が、それも1個体から出てきた複数の葉状部全体が海の表面に浮いた状態で広がっている。このような巨大な藻体を支える付着器は、二股に多数分岐した繊維状部分とその先端が吸盤状になった部分からなり、全体が円錐状に盛り上がった形態に発達するが、その直径は1 m程度である（Setchell & Gardner 1925）。

わが国沿岸で最大最長の海藻はナガコンブである。帯状に伸長する体の長さは7~8 mになり（図10A）、歯舞諸島では20 mに達するものが記録されている（川嶋 1989）。ナガコンブをつなぎ止める付着器は水深5~6 mにあり、ジャイアント・ケルプと同様に繊維状と吸盤状部分からなる円錐形態をなし、直径は5~8 cm（図10B）、最大でも10 cm程度である。ナガコンブはそのような小さな付着器で北海の荒波に揉まれながら流失を防いでいる。このように海藻の付着器は、とくに大型海藻では、驚異的な固着強度をもっている。

海藻の中には、他の特定の海藻に着生し、その組織内に仮根を侵入させる種類もいるが、着生された宿主

の体組織から栄養を吸収することはない。海藻の成長や成熟に必要な栄養はすべて海水に溶けており、海藻はそれらを体の表面から吸収し、また、体の表層組織で光合成をする。体内の栄養塩類と光合成産物は浸透と拡散によって細胞間を移動する。ただし、ジャイアント・ケルプのような大型海藻は、海表面で浮かぶ葉状部で光合成が行われ、その光合成産物は篩管を通過して下位の茎状部および付着器に輸送される（Lobban & Harrison 1994）。

ところで、海藻類の生殖細胞（孢子や受精卵）は基物に付着することで、はじめて発芽し、細胞分裂を始める。海水中で浮遊している状態では発生しない（Tatewaki *et al.* 1989）。陸上植物の種子は、生殖細胞ではないが、発芽の条件が満たされると発芽し、基物に付着することが必ずしも発芽の前提条件にはならない。海藻にとって、生殖細胞とそれから発生してくる体が岩などの基物に付着するということは、生存のために非常に重要な意味をもつのかも知れない。

以上、海藻の特徴を陸上植物と対比して述べてきた。海藻は硫黄生物として海水中から硫黄を取り込んで細胞壁を作り、多細胞の体に発達する。さらに海藻は、海中の光環境に適応した光合成のしくみを持ち、また、乾燥と凍結に耐え、付着器で岩礁にしっかりと固着して生育している。海藻と陸上植物のからだの構

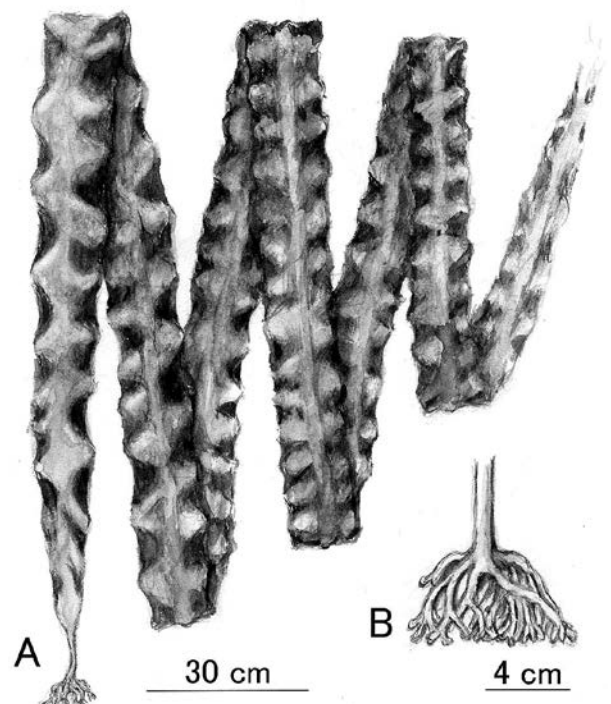


図10. 日本沿岸域の海藻類で最大最長に成長する褐藻ナガコンブの全形（A）とその付着器（B）。

造および生育環境を比較してまとめた模式図を図9に示す。

20. 第6の栄養素といわれる食物繊維とはどのようなもの

炭水化物、タンパク質、脂質、ビタミン類、ミネラル類を5大栄養素という。従来、食物繊維は栄養にならないものと一般的に考えられてきたので、それは血にも肉にも骨にもならないし、活動のエネルギー源にもならない邪魔者で、食物の中にある役に立たない「カス」という扱いであった。しかし、今や食物繊維は第6の栄養素と認知されるに至っている。そのことは20世紀の栄養学におけるビタミンの発見に匹敵するほどの大きなインパクトを与えたという（土井・辻1997）。

食物繊維の重要性を最初に注目したのは、デニス・バーキット博士とヒュー・トローウェル博士らのイギリスの医療宣教師たちであった。彼らは、アフリカでの25年間の医療活動を通じ、食物繊維分の多い穀物や野菜を主食にしている住民は便秘が少なく、西洋人と比較して心臓病や大腸ガンの発生率が非常に小さいという調査研究結果を1972年に発表した（印南1990）。そして、トローウェル博士は、この食物繊維を「ヒトの消化酵素によって分解・消化されない植物の細胞壁に由来する多糖類およびリグニン」と定義した。それ以後、多くの研究者によって様々な定義されてきているが、わが国では、桐山（1980）が食物繊維とは「ヒトの消化酵素では分解・消化できない難消化物の総体」と定めている（土井・辻1997）。

食物繊維の重要性が報告されてから40年余り経た今日、食物繊維には不溶性と水溶性があり、それぞれの生理的役割と作用機作が異なるということがようやく理解され、一般的な知識として定着してきたように思われる。食物繊維には、トローウェル博士が最初に定義した植物由来のものだけでなく、動物と菌類由来のキチンやキトサンも含まれ、さらには化学修飾多糖類や化学合成多糖類をも含めて食物繊維全体を考えるようになってきた（表5）。

食物繊維について、様々な定義づけや種類の分類をしてもあまり意味がない。食べ物は口から入って食道を通り、胃、小腸を通過する過程で数多くの消化酵素の洗礼を受け、分解された栄養分が腸壁から吸収されるが、残りの未消化物は小腸に送られる（倉田

1995）。ここで重要となるのは、食物繊維が大腸内でのように腸内微生物と関わり、どのように発酵・分解されるのか、そしてその結果、よいウンチを作り、最終的にスムーズに排泄されることが私たちの健康維持に如何に役に立っているかということを知ることであろう。ただ、食物繊維と腸内細菌との関わり合いについては、まだ十分に解明されていない部分がある。

食物繊維と健康についての分かりやすい説明として、リンゴを食べるという例がよく取り上げられる。昔からイギリスには、「an apple a day」という諺があり、「毎日リンゴを1個食べると、健康が維持され、お医者さんは要らない」という意味だとか。この場合のリンゴの役割はビタミンやミネラルの補給やタンパク質の補給ではない。主役は炭水化物のうちの繊維分である。つまり、不溶性食物繊維のセルロースと水溶性食物繊維のペクチン質（図11）をバランスよく含むリンゴは、食物繊維の供給源として優れた健康食品になるということである。このような食物繊維が消化管を通過する間にどのように変化し、どのような役割を果たすのか、その概略は以下の通りである。

食物繊維はヒトの消化酵素で消化・分解されないまま胃と小腸を通るが、この未消化・未分解の食物繊維が小腸を通過することで、まず高血圧症や高脂血症、糖尿病、肥満などを防ぐはたらきがある。次に、小腸から大腸に送られた食物繊維は、そこで待ち構えている100種類以上の100兆個もいるといわれている腸内細菌類により、細菌類の餌になる食物繊維と餌にならない食物繊維とに仕分けされる。餌になる食物繊維は異

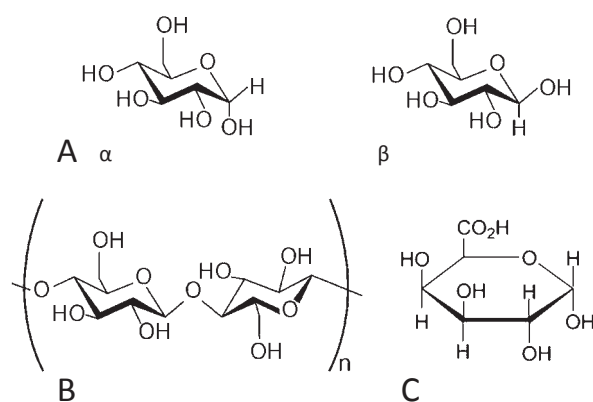


図11. 細胞壁構成主要糖と多糖類。基本糖D-グルコースの α 型と β 型（A）。細胞壁の骨格となり、不溶性食物繊維の主要成分であるセルロースの構造（B）。陸上植物の水溶性食物繊維の1つであるペクチンを構成するD-ガラクトツロン酸（C）。

表5 食物繊維の分類

所在		食物繊維成分	主な構成単位
植 物	海藻 紅藻	セルロース	グルコース
		マンナン	マンノース
		キシラン	キシロース
		寒天	ガラクトース、アンヒドロガラクトース、硫酸基
		カラゲナン	ガラクトース、アンヒドロガラクトース、硫酸基
		フノラン	ガラクトース、アンヒドロガラクトース、硫酸基
		ポルフィラン	ガラクトース、アンヒドロガラクトース、硫酸基
	褐藻	セルロース	グルコース
		アルギン酸	マンヌロン酸、グルロン酸
		フコイダン	フコース、ガラクトース、グルクロン酸、硫酸基
		ラミナラン	グルコース
	アオサ藻	セルロース	グルコース
		マンナン	マンノース
		キシラン	キシロース
		ラムナン	ラムノース、硫酸基
		アラビナン	アラビノース、硫酸基
	陸上植物	セルロース	グルコース
		キシラン	キシロース、アラビノース、グルクロン酸
		マンナン	マンノース、グルコース、ガラクトース
		ペクチン	ガラクトン酸、ラムノース、アラビノース、キシロース、ガラクトース、フコース
		グルコマンナン (コンニャクマンナン)	マンノース、グルコース
	植 物 ガ ム (粘質物)	アラビアゴム	ガラクトース、アラビノース、グルクロン酸、ラムノース
		トラガントガム	ガラクトン酸、キシロース、フコース
		グアーガム	マンノース、ガラクトース
		ローカストビーンガム	マンノース、ガラクトース
	非 糖 類	リグニン	(フェノール類) フェニルプロパン
菌 類		キチン	アセチルグルコサミン、グルコサミン
動 物	節足・軟体動物	キチン	アセチルグルコサミン、グルコサミン
食品添加物	化学修飾多糖類	カルボキシメチルセルロース、カルボキシメチルグルコース	
	化学合成多糖類	ポリデキストロース、グルコース、ソルビトール	

なる細菌種によって順次低分子化され、高分子多糖類からオリゴ糖、単糖にまで発酵・分解が進む。分解された単糖は、最後に乳酸菌の一種であるビフィズス菌などの善玉菌によって発酵・分解され、酢酸、プロピオン酸、酪酸などの短鎖脂肪酸になる。低分子化される過程で、食物繊維は腸内に滞留している余分な塩分を回収し、有害・発ガン物質や胆汁酸、コレステロールを吸着し、それらを腸から取り去って排泄する役割を果たす。短鎖脂肪酸は腸内のpHを下げて外来有害菌の増殖を抑え、最終的には腸壁から吸収され、腸の蠕動運動やその他のエネルギー源として再利用される。一方、腸内細菌類の餌にならず、最後まで発酵・

分解されない食物繊維（主として不溶性繊維）は、増殖した腸内細菌の一部を巻き込んで道連れにしながら、水分やガスなどと共にウンチに固められて肛門から排泄される。このように、食物繊維を摂取することで、65～70%の水分量を含んだ程よい量（200 g程度）の健康なウンチが毎日作られて排泄され、便秘にもならず、様々な生活習慣病の予防にもつながる（光岡1978、坂田1989）。

21. 食物繊維の効果

主な生活習慣病に対する様々な食物繊維の生理学

的効果に関する研究結果を以下にまとめた（土井・辻 1997）。

（1）高血圧症を予防する

塩分（食塩＝塩化ナトリウム）の摂りすぎが主な原因といわれている高血圧症に対し、ペクチン質やアルギン酸などの水溶性食物繊維は血圧降下作用があるという。ペクチン質は果物や野菜、アルギン酸はコンブやワカメに含まれているが、これらはカリウムやカルシウムイオンと結合した状態で存在する。果物やコンブを食べると、ペクチン質とアルギン酸は胃の中の胃酸の作用で結合していたカリウムイオンを放出する。その後、小腸に入ると、小腸液がアルカリ性であるため、ペクチン質とアルギン酸は再び陽イオンと結合できる状態になる。この時、一旦放出されたカリウムイオンは素早く腸壁から吸収されてなくなってしまうので、ペクチン質とアルギン酸はカリウムイオンの代わりに周りにある過剰量のナトリウムイオンと結合する。その結果、小腸内で遊離しているナトリウムイオンの濃度が低下し、腸壁から体内へ吸収される食塩の量が抑制される。このように、水溶性食物繊維を摂取することで、食塩の摂りすぎが原因となって起こる高血圧症が予防できることが実証されている。なお、他の水溶性食物繊維であるコンニャクマンナンや紅藻のカラゲナンなども高血圧症の予防に有効であるとされている。しかし、セルロースなどの不溶性食物繊維による予防効果は明確でない。

（2）高脂血症と動脈硬化を予防する

現代の食品は一般に脂肪分が多く、そのために何かとコレステロールが目の敵にされている。コレステロールは脂質の一種で、ヒトの細胞膜を作る成分でもあり、様々なホルモンや胆汁酸を合成するための材料として不可欠である。しかし、コレステロールを摂りすぎると、血液中の低密度リポタンパク質（LDL）が増え、それが血管壁に付着して血流を悪くする。これがアテローム硬化であり、動脈硬化症の原因になるという。

コレステロールから合成される胆汁酸の量的変化に注目してみる。不溶性食物繊維のリグニンは胆汁酸を吸着する作用がある。さらに、水溶性食物繊維のペクチン質、コンニャクマンナン、アルギン酸も非イオン結合することで、胆汁酸を吸着する。これらの食物繊維に吸着した胆汁酸はウンチに包埋され、排泄される。しかし人体には、胆汁酸を一定量に保つしくみがあるので、肝臓は血中にあるコレステロール（とく

にLDL）を使い、排泄されて減少した胆汁酸を合成して補う。それにより、血中のコレステロールの濃度が低下し、その結果、高脂血症や動脈硬化症を予防するという。また、血中コレステロールの減少はコレステロール性の胆石形成も抑制・予防できると考えられている。

（3）糖尿病を予防する

糖尿病の予防には不溶性食物繊維と水溶性食物繊維の両方が有効である。繊維分の少ない食品を食べると、その内容物は胃や小腸を速やかに移動し、短時間で通過してしまう。そのせいで、小腸では糖分が急速に吸収されて血糖値が急上昇する。膵臓は血糖値を下げるためにインスリンを一時的に大量に分泌する必要があるため、オーバーワークとなる。このような食生活を続けると、高血糖と膵臓のオーバーワークが繰り返され、糖尿病の引き金になる。これに対し、繊維分の多い高繊維食品、とくに水溶性食物繊維を多く含む食品を食べると、その内容物はネバネバドロドロが強まって小腸での移動速度が遅くなり、糖分がゆっくりと吸収される。そのおかげで、血糖値もゆるやかに上がり、インスリンの供給が小出しにできるので、膵臓はオーバーワークにならずに済み、結果として糖尿病の予防になる。

高繊維食品は、たくさん食べても摂取するカロリーは低く、また、満腹感を得られ易いため、高カロリー食品の食べ過ぎを防止し、糖尿病の遠因となる肥満の防止にもなる。高繊維食品を食べることで、よく噛む習慣が身につく、それによって唾液の分泌が盛んになるので、虫歯や歯周病の予防にも効果がある。さらに、咀嚼によって脳の働きが活発になるため、認知症の予防にもなるといわれ、本当によいことづくめである。よく噛む食品としては、根菜類、豆や穀物、コンブやヒジキなどが挙げられる。

（4）大腸ガンを予防できるか？

食物繊維が生活習慣病を含む様々な疾患の予防に関わっているという多くの研究報告があるが、そのうち大腸ガンとその他の腫瘍に対して食物繊維が予防または治療効果をもつかどうかについて、私はもっとも関心があった。陸上植物由来の食物繊維が、大腸ガンを発症させる危険性を防止する作用機作について、従来から次の諸点が指摘されてきた。また、これらは単独ではたらくのではなく、互いに関連性を保ち合っているという（土井・辻 1997）。

a. 大腸内容物の腸内滞留時間を短縮することで、発

ガン物質の生成抑制と作用時間を短縮。

- b. 発ガン物質の吸着とウンチ量の増大に伴う発ガン因子濃度の低下。
- c. 腸内細菌による食物繊維の発酵と短鎖脂肪酸生成による大腸内のpHの低下、アンモニア濃度の低下、および遊離胆汁酸や脂肪酸作用の低下。
- d. 腸内細菌由来の酵素活性の変動。
- e. 胆汁酸代謝の変動。

上記はどれも同じことを意味しているが、まとめていうとその1つは、大腸に送られてきた未消化物＝ウンチの原料はその繊維分が多いほど次々に先へ押し送られるので、悪玉腸内細菌が作る発ガン物質や有害物質と大腸壁粘膜との接触時間を縮め、ガン発症のリスクを減少させること。もう1つは、食物繊維を多く摂取するとウンチの量が増加し、発ガン物質の含有量が相対的に減る、つまりウンチで発ガン物質が薄められるので、ガン発症リスクが減少すること。さらに、ウンチの量が多いことで、排便が促進され、発ガン物質と大腸壁粘膜との接触の機会が減少することである。これが食物繊維のもつ大腸ガン予防の効果の基本とされている（土井・辻 1997）。

大腸の部位別到大腸ガンの発症率を見てみると、盲腸・上行結腸では15%、横行結腸で6%、下行結腸で4%である（女子栄養大学出版部 1993）。これらの部位ではウンチの原料が比較的速く通過し、滞留時間が短い。これに対し、ウンチの脱水と形成の場であるS状結腸では、ウンチの滞留時間は12～24時間でガン発症率は25%となり、ウンチができあがって排便待ちの直腸の部位では、ウンチは24～72時間滞留し、ガン発症率は50%にまで上昇する。これはウンチの滞留時間を短縮することで大腸ガンの発症率が小さくなる可能性を唆しており、便秘をせずに毎日スムーズに排便をすることが如何に健康を守ることにつながるかを物語っている。

（5）食物繊維は大腸ガンの予防には関与しない？

食物繊維が大腸ガンの発症を抑制・予防するという説に対し、それに完全に水を差す内容の報告がある。2005年に厚生労働省の研究班が発表した「野菜をたくさん食べても食べなくても、大腸ガンになるリスクは全く変わらない」という疫学調査結果である（北海道新聞、2005年5月9日）。

秋田、長野、沖縄など全国9地域で、40～69歳の男女9万人を対象に7～10年間に渡って追跡調査がなされた。野菜・果物の摂取量により、1）最も少ない、

2）やや少ない、3）かなり多い、4）最も多い、という4グループ（同人数）に分けてそれぞれの大腸ガンの発症率を比較した。全体で705人が大腸ガンになったが、4グループの間で大腸ガンになるリスクはほとんど差異が認められなかったという結果であった。

これは食物繊維の効果について否定的な結果であるが、この報告には、食物繊維の量とウンチの量との関係を示すデータは示されておらず、また、食物繊維と腸内細菌との関連についても述べられていない。食物繊維については、あくまでもウンチのかさ上げと早出し、腸壁保護や発ガン物質の吸着と排泄などという消極的な役割を述べているだけであり、食物繊維を食べる量やその種類についてもかなりアバウトな調査結果であると思われる。

22. 全ての食物繊維は腸内細菌の餌になり得るか？

口から摂り入れた食べ物は、唾液、胃液、そして十二指腸で分泌される種々の消化酵素によって順次分解され、低分子化される。デンプンなどの炭水化物はブドウ糖などの単糖へ、タンパク質はアミノ酸へ、脂質は脂肪酸に変えられて小腸壁から吸収される。しかし、炭水化物であっても食物繊維だけは人間のどのような消化酵素でも分解されず、小腸で吸収もされずにドロドロの液状状態のまま、回腸弁と盲腸を経て大腸へ送られる。大腸はくびれと膨らみを繰り返す直径5 cmほどの太い管で、大人なら約1.5 mの長さを持ち、肛門につながっている。ドロドロの未消化物は、大腸を移動しながら、液状（上行結腸）から粥状（横行結腸）、半粥状（下行結腸）へと徐々に水分が吸収され、S状結腸でさらに脱水されてウンチに成形され、直腸に溜められる。食べ物は口から入った後、24～48時間で、人によっては3日ばかりで肛門から排泄される（図12A）。

ドロドロの未消化物が大腸に入ると、それに100種類、100兆個もの腸内微生物が群がり、自分の餌になるものを見つけて順次発酵・分解を行う（光岡 1978）。後述するが、未消化物に含まれる高分子の食物繊維を最初に発酵・分解するのは多数派の常在菌である。一部の常在菌はそのはたらきで食物繊維を低分子化してから、いわゆる善玉菌の乳酸菌やビフィズス菌にバトンタッチするらしい。未消化物には、まだ消

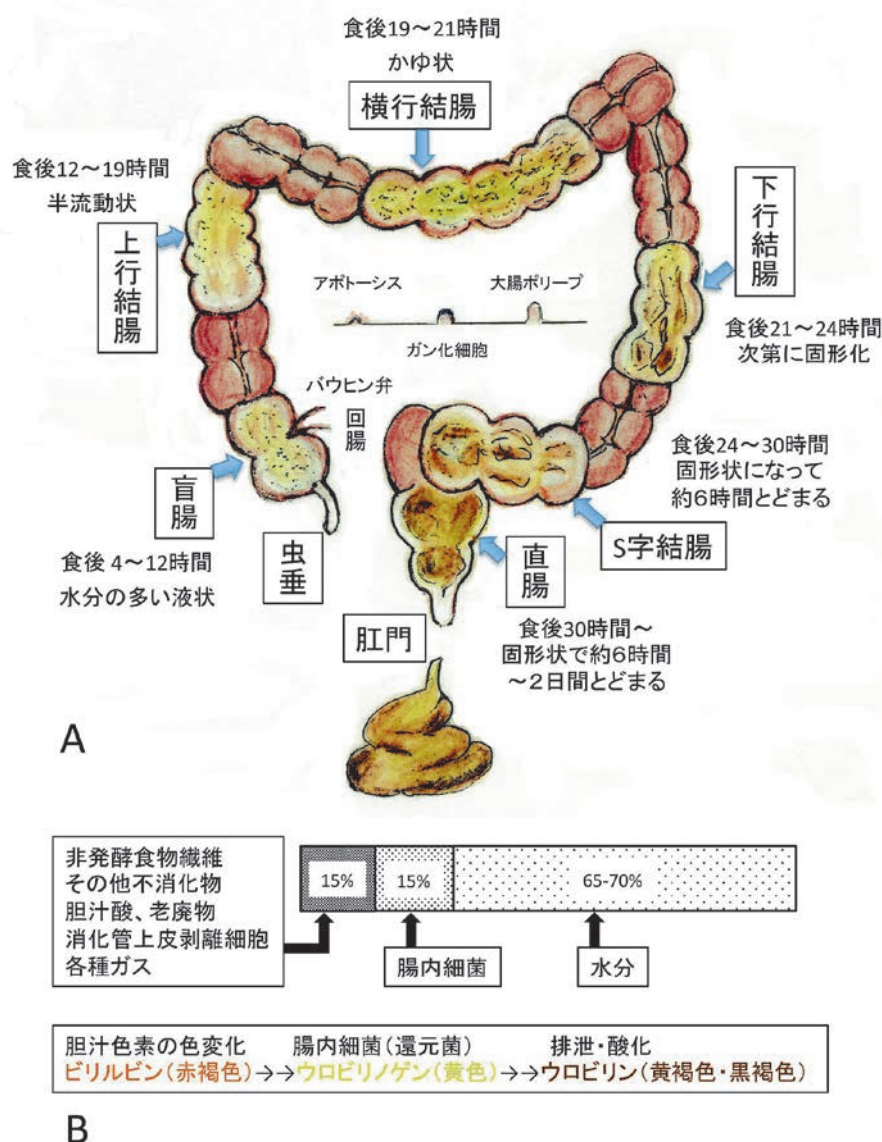


図12. 大腸の構造とウンチの形成から排泄までの過程 (A) とウンチの内容 (B)。

化し切れていないタンパク質や脂質の残渣が含まれているので、これらを分解する少数派の細菌類も存在する (図13)。

不溶性食物繊維のセルロース (奥田・峯 1997) とリグニンは、ヒトの腸内細菌では発酵・分解されずに、単に水分をたっぷり吸ってウンチをかさ上げし、量を増やす役割だけを担うと考えられてきた。リグニンのような芳香族ポリマー類はたしかに全く発酵せず、エネルギー生成は認められない。しかしセルロースについては、個人差や人種、性別、食習慣、食べ合わせなどによって発酵・分解の有無と菌量の増減が認められている。たとえば、セルロースを細かく砕いて食べると、ヒトの腸内細菌でも100%近く分解するが、

それにペクチンを加えて一緒に食べると、腸内細菌はペクチンを分解し、セルロースには見向きもせず、分解もしなくなるという報告がある (坂田 1989)。

ウンチは、皮を剥いだバナナ1本の大きさで重さ100gのもの2～3個分の200～300gを毎日排泄するのが一般的に健康的といわれている。そのウンチ1g中に1000億個以上の細菌が存在している。正常便の水分は65～70%であるので、残りは固形分である (図12B)。細菌数から重さを算出すると、固形分の半分を腸内細菌が占め、もう半分が腸内細菌でも発酵・分解されなかった不溶性食物繊維や不消化物、脱落した腸管上皮、生成ガスなどとなる (坂田 1989, 倉田 1995)。

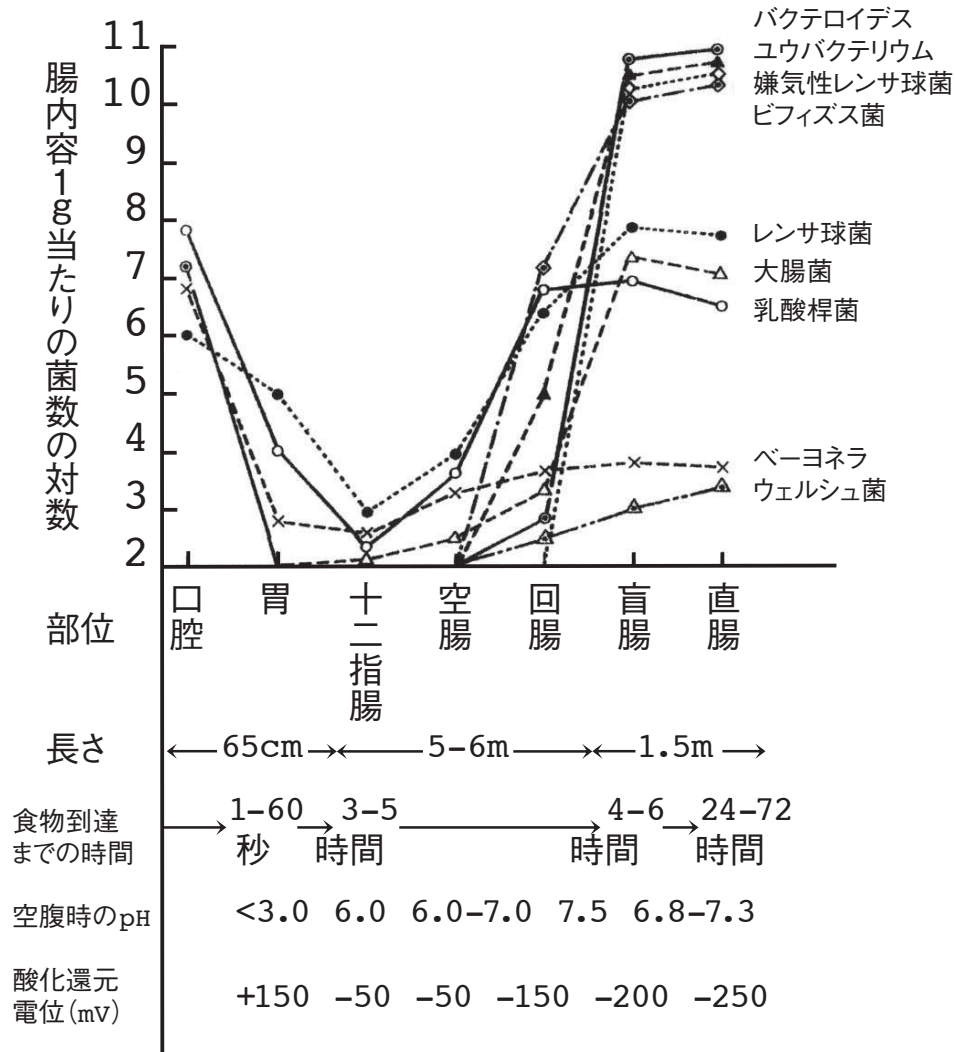


図13. 消化管各部位の菌叢。光岡（1978）より改変。

ウンチにその固形分の半分にも及ぶ大量の細菌類が含まれることは、それらの細菌類が大腸内で多くの餌に恵まれて増殖できたことを示す。その腸内細菌のうち、バクテロイデス、ユウバクテリウム、嫌気性連鎖球菌、クロストリジウム、ビフィズス菌はウンチ1g中に 10^{9-11} 個おり、最も多量に存在する定住優勢菌のグループである（図13）。次いで多いのがウンチ1g中に 10^{5-9} 個いる大腸菌、乳酸桿菌、連鎖球菌からなるグループである。これらの2つのグループは、ビタミンの合成や感染防御、免疫刺激、消化吸収の促進などの有用な効果を示し、宿主となっているヒトの健康維持に役立っているという（光岡 1978）。なお、定住の大腸菌は有用性が高い反面、餌によっては腸内腐敗や細菌毒素の産生などの有害性を示すことがあると指摘されている。その場合、消化管を通して侵入した日和

見菌と呼ばれる外来の大腸菌が原因となっている可能性が高い。腸内細菌の第3のグループはウンチ1g中に $0-10^4$ 個いる少数派で、ウェルシュ菌、ベーヨネラ菌、ブドウ球菌、プロテウス菌などが含まれる。これらはいわゆる悪玉病原菌のなかまであり、消化し切れていないコラーゲンやタンパク質、脂質を餌にしているが、宿主が健康であれば、病原性はないと考えられている。しかし、宿主がストレスを蓄積したときや、風邪や暴飲暴食などによって体調を崩し、抵抗力を失った場合には、少数派の細菌であっても急激に増殖する可能性はある。腸内細菌は、その細菌叢（細菌の種類数やそれぞれの個体数と特性などを含む細菌集団全体の特徴）を宿主の食生活に従って変化させつつ、それぞれの勢力を維持しながら常在している（光岡 1978）。

以上のように、常に多数存在する種類の常在菌は宿主にとって有害性がなく、かつ必要な菌であり、それだけ大腸内に餌となる残渣が多いことを示している。善玉菌の代表として取り扱われるビフィズス菌といえども、高分子の食物繊維を処理するときは、他の常在多数派の細菌叢の協力がなければ、発酵・分解の仕事ができないことが明らかになってきた。腸内細菌の存在意義を考えると、単純に善玉菌とか悪玉菌とかに分類することはナンセンスであると思う。

23. 海藻類の食物繊維と腸内細菌との関係

平成10年度の日本水産学会奨励賞を受賞された久田孝博士の論文（久田 1999）をベースにして考察を加えると、腸内細菌との関係において、海藻の食物繊維は陸上植物その他の食物繊維とはかなり相違していることが明確になる。腸内細菌叢の作用と褐藻多糖ラミナランおよび低分子化したアルギン酸ナトリウムの宿主への影響として同論文で示された図に、他の海藻の硫酸多糖類を組み入れ、一部改変してまとめた（図14）。

褐藻は細胞壁に含まれるアルギン酸（図15A）と光合成で作られるラミナラン（図15B）という炭水化物をもつ。両者はともに分子構造に硫黄を含まない水

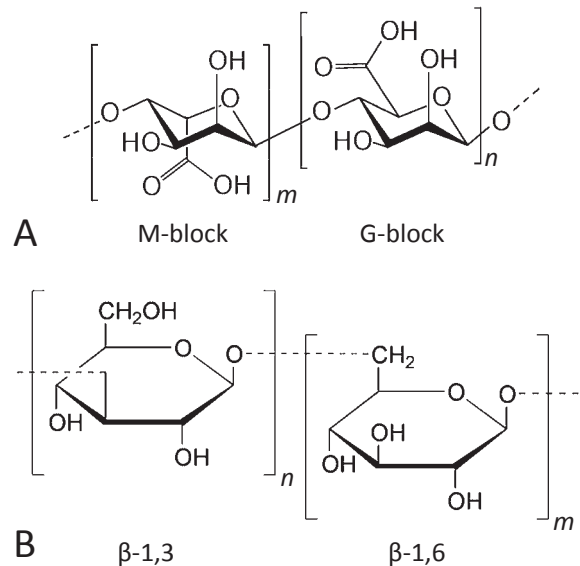


図15. 褐藻類の硫黄を含まない水溶性食物繊維の構造。D-マンヌロン酸（M-block）とD-グルロン酸（G-block）からなるアルギン酸（A）。光合成貯蔵多糖ラミナラン（B）。

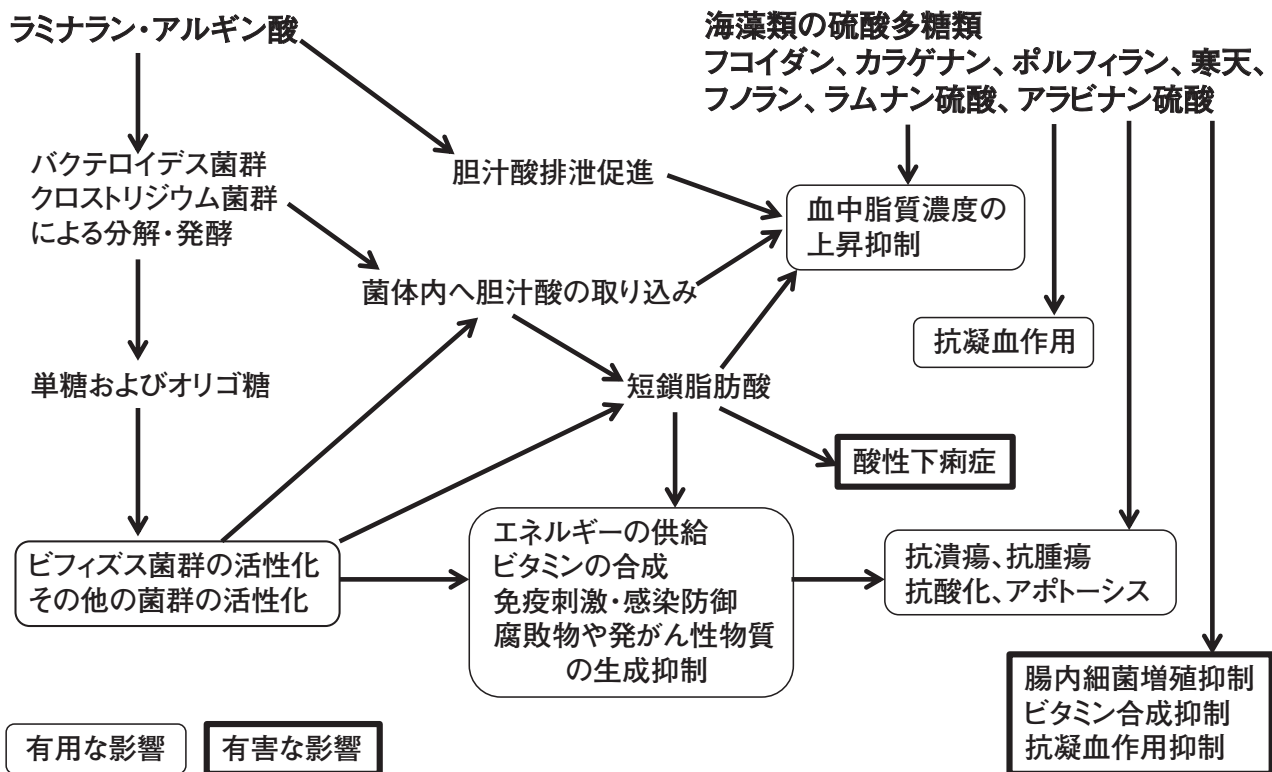


図14. 腸内細菌叢の作用機作。褐藻多糖ラミナランとアルギン酸、および他の硫酸多糖類（含硫水溶性食物繊維）と身体との関わり合いを示す。久田（1999）より改変。

溶性繊維であるという点で陸上植物やその他の水溶性食物繊維と似ている。アルギン酸とラミナランはヒトの消化酵素では全く消化されずにドロドロの状態で大腸へ送られる。特にアルギン酸はそれまでに胆汁酸と結合してそれを排泄する作用を果たしている。大腸では、アルギン酸もラミナランも、前述の通り、まずバクテロイデスやクロストリジウムなどの定住優勢菌によって低分子化され、オリゴ糖と単糖になる（図14）。次いで、ビフィズス菌がこれらを発酵・分解し、人体に有用な種々の効果をもたらす。久田（1999）によれば、食物中にアルギン酸またはラミナランが2%程度含有すれば、ビフィズス菌が有意に増加して有用な影響を示し、また、0.4%の低含有量であっても水溶性食物繊維としての機能は十分に果たし得る。

しかし、フコイダンなどの海藻の水溶性食物繊維は、ヒトの腸内細菌によってほとんど発酵されず、菌の増殖には結びつかないという報告がなされてきている。これは、陸上植物のペクチン質やガガーガム、コンニャクマンナンなどの水溶性食物繊維がヒトの腸内細菌によってほぼ100%発酵・分解されるのと対照的である。久田博士の研究でも、フコイダンは腸内細菌によって発酵されず、逆に菌の増殖を阻害することが示されている。また、紅藻の含硫水溶性食物繊維であるカラゲナンと寒天、アオサ藻のヒトエグサとアオノリの粉末を用いた実験でも、腸内細菌の増殖は認められなかったという（久田 1999）。アオサ藻はラムナン硫酸とアラビナン硫酸という含硫水溶性食物繊維を含んでいる。

アルギン酸とラミナランのような硫酸基を含まない水溶性食物繊維を除き、海藻はフコイダンや寒天などの硫酸基をもつ水溶性食物繊維をもつことで共通する。これらの硫酸基をもつ水溶性食物繊維は腸内細菌によってほとんど発酵されないの、完全なノン・カロリー食品であり、後述するように、それら自体が抗腫瘍活性や抗菌作用、抗酸化作用などを示すのである（図14）。

24. 海藻類の水溶性食物繊維の抗腫瘍性～硫酸多糖類の積極性

今までに制ガン作用があると最も多く報告されてきた食べ物には海藻類の水溶性食物繊維（ファイココロイド）である（表5）。ファイココロイドの制ガン作用を確かめる実験のために、様々な腫瘍細胞が用いられ

ている（大野 1996）。マウスの移植腫瘍のサルコーマ180固型、エールリッヒ・ガン腹水型と固型、L-1210白血病腹水型およびMeth-A腹水型と固型が用いられ、ファイココロイドによるガン細胞の増殖阻止率や延命効果などについての多数の報告がある。また、実験動物のラットを用い、化学的に誘発した腸ガンと乳ガンに対しての発ガン抑制実験が行われているだけでなく、様々な海藻の種類の粉末や抽出物をラットに腹腔内投与または経口投与してガンに対する抑制効果を明らかにした実験も多い。

明らかに発ガン抑制と延命効果があると報告されているのは、褐藻類のマコンブ、ミツイシコンブ、アラメ、ホンダワラなどの粉末、透析内液、熱水抽出液および精製フコイダンであり、紅藻類ではアサクサノリのポルフィラン、スサビノリの粉末とポルフィラン、マフノリのメタノール画分とフノラン、イバラノリやトチャカなどの水抽出物とカラゲナンであり、さらにアオサ藻類では、ヒトエグサやスジアオノリ、ミルなどの熱水抽出物、透析内液および粉末である。ここで強調したいのは、フコイダンやポルフィラン、寒天などの硫酸基をもつ海藻の水溶性食物繊維のアガロオリゴ糖は、ガン細胞に対してアポトーシスを誘導するという積極的な制ガン作用を有していることである（加藤・佐川 1999）。

アポトーシスは「細胞自殺」とも呼ばれている（山田・大山 1994）。ガン細胞だけを狙い撃ちにしてアポトーシスが起る過程は様々であるが、一般的にアポトーシスが起るとき、細胞膜や細胞小器官などの形態的変化がないにもかかわらず、核内のクロマチンが凝集し、その後、細胞全体が萎縮して断片化が起こり、細胞はいわゆるアポトーシス小体となる。アポトーシス小体は速やかにマクロファージに貪食されて除去されるか、または隣接の細胞に取り込まれて消滅する。硫黄を含んだ海藻の水溶性食物繊維がこのようなガン細胞のアポトーシスを誘導し、他の正常細胞には全く影響を与えないという作用がある事実は朗報である。

25. 褐藻類の細胞壁の構成成分と構造

褐藻の細胞壁はセルロースを骨格成分とし、それをフコイダン（フコース、ガラクトースおよびキシロースからなる多糖類の硫酸エステル、図16）とアルギン酸（マンヌロン酸からなるM-blockというグループと

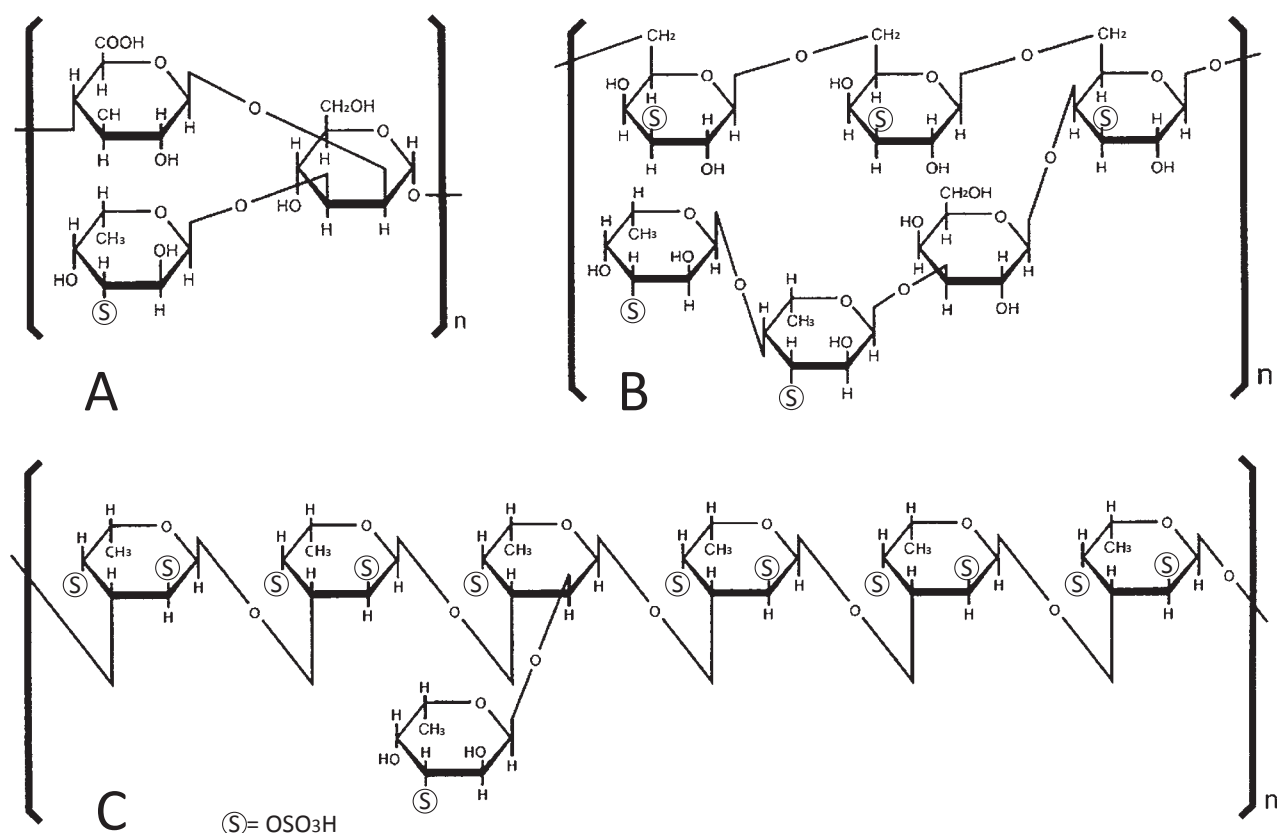


図16. 褐藻ガゴメ由来のフコイダンの構造。U-フコイタン (A)、G-フコイタン (B) およびF-フコイタン (C)。タカラバイオ株式会社のウェブサイト (<http://agribio.takara-bio.co.jp/technology/fucoidan/>) から改変。

グルロン酸からなるG-blockのグループが重合した多糖類、図15A) の2種類のファイココロイドが取り囲んでいる。フコイダンの分子構造とアルギン酸におけるM-blockとG-blockの比率は、褐藻の種類やからだの部位、カルシウムイオンやその他のイオンとの結合状態によって著しく変化する。

電子顕微鏡および組織化学的な研究から、褐藻の細胞壁は4層（若い細胞では3層）構造をなし、最外層から順に、CW I、CW II、CW III、CW IVの各層が沈着し、CW IVは原形質膜と接している (Tamura *et al.* 1996)。CW I とCW IIは無定形または非結晶化層で、染色による観察によれば、CW Iはフコイタンが多いのに対し、CW IIはアルギン酸が多い。セルロースはセルロース合成酵素複合体というタンパク質顆粒構造によって原形質膜上で合成・結晶化され (奥田 1999)、CW IIIに沈着する。CW IVは原形質膜および細胞質内から分泌される多糖類やその他の物質が混在する。フコイタンとアルギン酸は細胞質内のゴルジ体や小胞で合成され、エキソサイトシスによって原形質膜外へ分泌されると考えられている。しかし、アル

ギン酸はセルロースのように原形質膜で直接合成されるという報告もある。コンブなどを水洗いしたときや煮たときに真っ先に流出するのがフコイタンであるので、フコイタンが細胞壁最外層に多いことは納得できるが、アルギン酸は水に対してほとんど流出しないとのデータもあり、細胞壁構造とその成分の存在様式の複雑さが伺える。

フコイタン (fucoidan) は、1913年にスウェーデンのH. Kylinが褐藻のコンブやヒバマタから分離した水溶性酸性多糖で、フコースを多量に含むことからフコジンと命名したことに由来する。後にフコジンは国際糖質規約によってフコイタンとされた。アルギン酸 (alginic acid) は、それよりも前の1881年にスコットランドのC.C.Stanfordによって同様に褐藻のコンブやアスコファイラムから見いだされ、アルジー (algae=海藻) の酸と名付けられたことに由来する。また、前出のラミナランは、ドイツの生化学者J.E.O.Schmiedebergがコンブ属 (= *Laminaria*) から分離した光合成により産生される貯蔵性多糖で、「ラミラリアの糖」としてラミナリンと命名したが、国際規

約でラミナランとなった。ラミナランに硫酸基を人工的に結合させると、生理活性の高いラミナラン硫酸となる。

これらのうち、アルギン酸は海藻の酸性多糖または食物繊維の代表として従来から最もよく知られてきているが、硫黄を含んでいないため、この海藻食論においては、他の含硫水溶性食物繊維にその代表の座をゆずることになる。しかし、アルギン酸は食品、工業、医療分野で利用度が高く、乳化剤や安定剤、粘結剤、軟化剤として多用されている。たとえば、染め物や織物の防水・塗料や製紙のサイジングにも使われ、ゴムの配合剤、電気絶縁体、ゼラチンフィルム、X線撮影の造影剤、止血剤などの製造にも欠かせない（徳田ほか 1987）。その他に、紙や布の製造も可能なので、手術用の糸やガーゼに使われ、また、音響効果に優れていることから、炭素繊維と混ぜ合わせてスピーカークーン紙にも使われ、アルギン酸の用途は無限にあるといわれている（大野 1996）。

アルギン酸を生成する能力は褐藻だけではなく、系統学的に褐藻よりもっと古くに進化した原核生物にもある。土壌や水中に広く分布し、窒素固定菌として知られる *Azotobacter vinelandii* や病原性の緑膿菌 *Pseudomonas aeruginosa* はアルギン酸を生成する。また、褐藻と同じ不等毛植物門に属する黄緑藻で嚢状単細胞性のフウセンモとフシナシドロおよび単列糸状性のトリボネマの細胞壁、さらには黄金色藻の近縁種の細胞壁にもアルギン酸が含まれていることが明らかにされている（Chi *et al.* 1999）。これらの藻類がもつアルギン酸は基質成分として細胞壁を充填して柔軟にする役割を果たすが、細胞壁同士を接着させる作用はみられず、組織の多細胞化および体の大型化には関わっていないと考えられる。アルギン酸は褐藻の細胞壁の構成成分として重要であるけれども、私は褐藻の多細胞体制を支え、構築する主役は、硫黄を含んだフコイダンであろうと推測している。

26. 褐藻ガゴメのフコイダンによるアポトーシス作用

1996～99年に宝酒造KKバイオ研究所の研究スタッフは、コンブ科のガゴメから分離したフコイダンがガン細胞に対してアポトーシス誘導作用をもつことを初めて発見した（加藤・佐川 1999）。分離されたフコイダンは、U, F, Gの3種類あり（図16）、それらのうち

U-フコイダンはガン細胞に対して特異的にかつ直接的にアポトーシスを誘導する作用があることが確認された。U-フコイダンがガン細胞のアポトーシス開始のスイッチを押すことで、細胞に備わっている自殺装置はたらき、核などが断片化して細胞が自ら死んでいくという（図17）。

フコイダンはヒトの免疫機能を高め、その結果としてガン細胞を抑制するという作用があることも報告されている（山田 2006）。ガン細胞を見つけたマクロファージ（リンパ球）は、それを免疫組織に知らせるためにインターフェロン-ガンマ（IFN- γ ）を産生する。免疫組織はIFN- γ を受けてナチュラルキラー（NK）細胞にガン細胞を攻撃せよとの指令を出し、その指令を受けたNK細胞がガン細胞を破壊する。フコイダンはIFN- γ の産生を促進するはたらきがあるという。それにより、ガン細胞に対するNK細胞の攻撃力を増強するのである。因みに、F-フコイダンは、病気で傷ついた細胞・組織を再生させるHGFという因子の産生を促進する作用をもつ。

フコイダンの抗腫瘍活性は、フコイダンがもつ硫酸

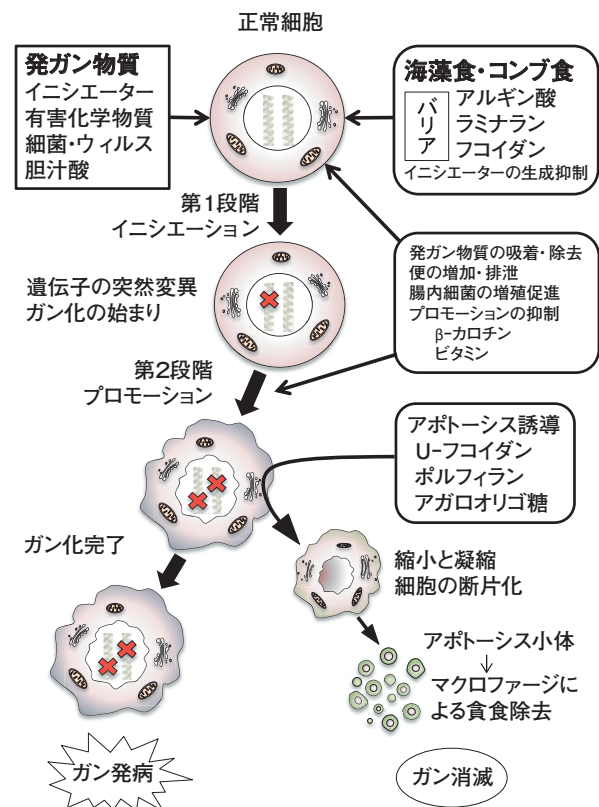


図17. 発ガンの2段階説と海藻食によるガンの予防と抑制（想像図）。館脇・星澤（1999）、柿原（1994）および山田・大山（1994）を参考にしてまとめた。

基の量が大きな役割を果たしている可能性がある。フコイダンを加硫化するすると、加硫化していないフコイダンよりも抗腫瘍活性が高まる。また、ガゴメから抽出したフコイダンはオキナワモズク由来のフコイダンよりも抗腫瘍効果が大きく、硫酸基の数が多い。ところが、ガゴメの3種のフコイダンの硫酸基の数を比べると、アポトーシス誘導作用が最も高いU-フコイダンは3糖あたり1硫酸基であるのに対し、F-フコイダンとG-フコイダンは7糖あたり5硫酸基であるので、硫酸基の多さがアポトーシス誘導作用の強さに関係するようにはみえない。フコイダンは腸内細菌叢で発酵・分解されず、オリゴ糖にも単糖にもならない。フコイダンはガン細胞にアポトーシスを誘導するだけでなく、免疫機能の活性化や組織の再生促進等の複数の効果をもつが、高分子のままでそのような効果をもたらす作用メカニズムの詳細はまだ明らかにされていない。

27. 原始紅藻類アマノリ属のファイココロイド～ポルフィランによるアポトーシス誘導

海苔は原始紅藻類アマノリ属に属する海藻が原料である。かつて乾海苔というアサキサノリが代表種であったが、現在、養殖されているアマノリ類の種はスサビノリで、ナラワスサビノリという栽培品種が主流になっている（三浦 1992）。アマノリ類のからだは一層の細胞層からなる薄い葉状の形をしており、その細胞壁にはセルロースは含まれない。細胞壁は3層からなり、最外層はスライム状のタンパク質の薄膜、その内側にある非繊維質のマナン（ β -1,4-マナン）の薄い層、そして繊維質のキシラン（ β -1,3-キシラン）の厚い層がある。このキシラン層を充填・補強しているのがポルフィランである。ポルフィランは含硫水溶性食物繊維で、 β -D-ガラクトース、3,6-アンヒドロ- α -L-ガラクトース、 β -D-ガラクトースおよび α -L-ガラクトースの硫酸エステル4種類の糖が、その順に繰り返し重合した直鎖のガラクトタンである（図18）。このポルフィランがガン細胞に対してアポトーシス作用をもつことが宝酒造KKバイオ研究所の研究スタッフによって実証された（加藤 1998）。ポルフィランのアポトーシス誘導作用は後述のテングサ類のアガロオリゴ糖の作用とほぼ同様であるという。因みに、ポルフィランはアマノリ属の学名である *Porphyra*（ポルフィラ）から由来する。

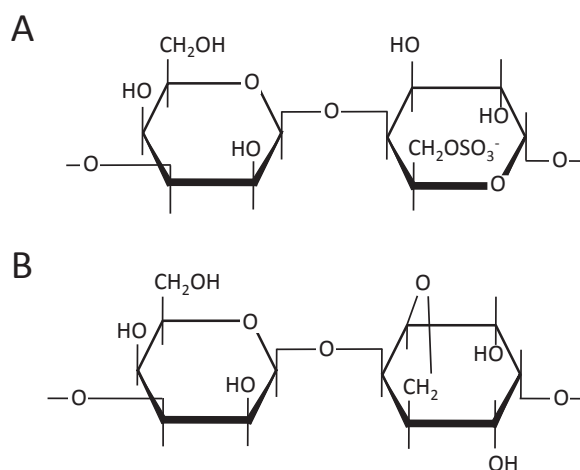


図18. ポルフィランの主要構造。硫酸基を含む単位 (A) と硫酸基を含まない単位 (B)。

アマノリ類は海藻としては珍しく高タンパク質で必須アミノ酸の含有率も高く、また、消化されやすい食品と考えられていた。しかし実際には、硫酸基を含む他のファイココロイドと同じように、アマノリ類の水溶性食物繊維は腸内細菌によってほとんど発酵・分解されないらしい。そのため、最後まで消化されず、腸管を移動する間にアポトーシスを誘導するガン細胞を探索し、有害物質を吸着し、高い保水性を維持し、よいウンチ作りをして排泄される。

毎日乾海苔大判1枚（3g）は食べてほしいと思う。おにぎりや手巻き寿司、サンドウィッチ、湿ったものでも各種スープの具に利用できる優良健康食品である。

28. 紅藻テングサ類の煮凝り「ところてん（心太）」から発明された寒天～アポトーシス作用によるガン細胞の消滅

わが国では、古くからテングサ類の煮凝りを「ところてん」にして食べる習慣があった。その「ところてん」から「寒天」が作られるようになったのは、日本人がその製法を発明した1659年以降であり、1941年に第二次世界大戦が始まるまで日本が寒天製造を独占してきた。

京都伏見で旅籠の主人をしていた美濃屋太郎右衛門は、冬のある日に宿泊客の供応に出した「ところてん」の残りを屋外に捨ておいた。それは夜の寒さで凍り、昼間の暖気で溶け、いわゆる凍結乾燥を繰り返し

ていた。数日後、右衛門はそれが白い心太の干物になっていることを発見した。万福寺の開祖で帰化僧の隠元和尚がこの干物を冬の寒空（空→天）からの贈り物であると賞賛し、これを寒天と命名したという。万治元年（1659年）のことであった。この逸話には薩摩藩の殿様が参勤交代の折にその旅籠に宿泊された時だったと記されているが、島津家に縁のある尚古集成館に問い合わせたところ、薩摩藩には全くそのような記録は残っていないとのこと。

寒天は英語でagar（アガー）といい、いまや国際語となっているが、もともとはマレー語のアガー・アガーに由来する。アガー・アガーは紅藻の*Eucheuma*というキリンサイの一種から得られたゼリー様物質で、化学的にはカラゲナンの部類である。日本人がアガーと呼ばずに寒天という言葉を使うのは、日本人による寒天の発見と命名から来る誇りと愛着、こだわりであろうか。

寒天は、テングサ目やイギス目、スギノリ目オゴノリ科に属する約30種の紅藻類を寒天原藻（Agarophyte）として製造される。テングサ目の種類を寒天原藻とし、自然の気象条件を利用して凍結乾燥を繰り返して作られる天然寒天は、長野県茅野市周辺のみで生産される棒寒天と岐阜県および関西で生産さ

れる糸寒天だけになった。現在では、工場で人工的・機械的に凍結乾燥を行って生産されるフレーク状・粉末状の工業寒天と、オゴノリ類などの硫酸成分の多い原藻をアルカリ処理し、圧搾脱水法を用いて生産される粉末状の化学寒天が主流となっている。いずれの製品も100 g中に80 gの水溶性寒天繊維を含んでいる。

寒天の化学成分は、アガロース（70%）とアガロペクチン（30%）の混合物であると考えられている（図19）。アガロースは、D-ガラクトースと3,6-アンヒドロ-L-ガラクトース残基が β -(1→4)結合と α -(1→3)結合で交互に反復結合した直鎖構造を持つ多糖であり、アガロペクチンはアガロースの基本骨格に、硫酸基、メトキシ基、ピルビン酸残基およびD-グルクロン酸を、種々の割合で含む酸性多糖の混合物である。

寒天は2～3種類の細菌以外のほとんどの微生物によって発酵・分解されない。つまり、餌にはならないために、寒天は菌類や動物、植物細胞の培養基として広く利用されてきている。しかし、アガロースを分解する菌として、腸内細菌ではないが、*Pseudomonas kyotoensis*が知られており、その菌の酵素でアガロースはアガロオリゴ糖であるL-D-ガラクトースとネオアガロースに分解される。*Pseudomonas atlanticus*はアガロペクチンを分解し、ネオアガロース（2糖）やテトラ

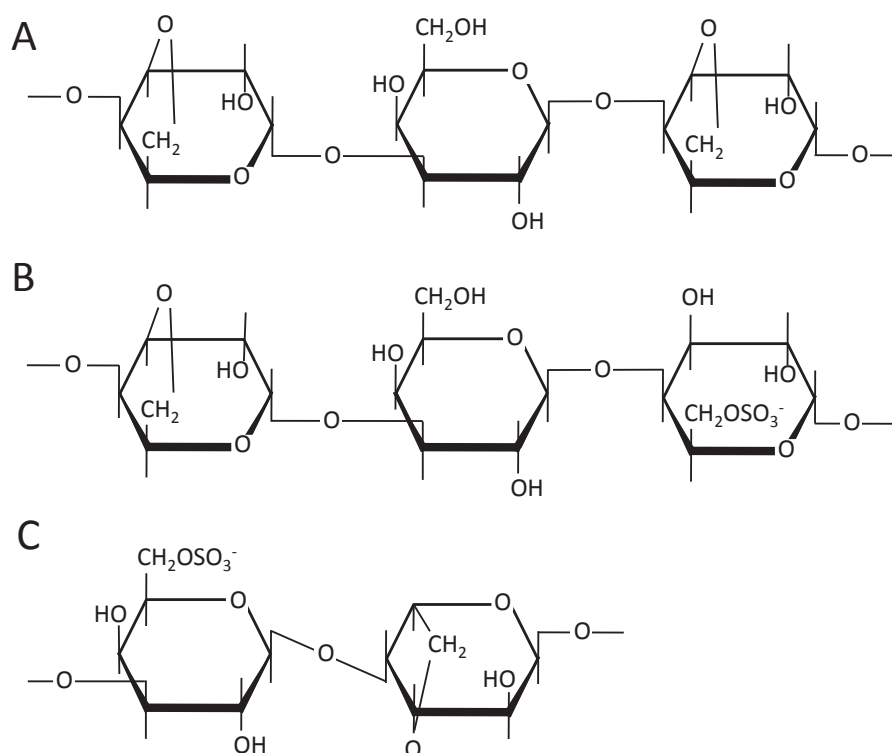


図19. 寒天アガロース（A）、アガロペクチン（B）、ハナフノリ由来の考えられるフノランの構造の一部（C）。

オース（4糖）などのオリゴ糖を生成する。アガロースを希塩酸に浸けて37℃でインキュベートすると、アガロースが加水分解してアガロオリゴ糖が生成する。このことから、私たちが食べた寒天は胃液で一部分解されてアガロオリゴ糖ができるといわれている（加藤 1998）。

ヒトの大腸ガンおよび胃ガンの細胞株を、アガロオリゴ糖を含まない培地と160 mg/Lの濃度でアガロオリゴ糖を加えた培地で培養し、アガロオリゴ糖のガン抑制作用を示した実験がある。アガロオリゴ糖無添加の培地で両方のガン細胞は増殖し続けたのに対し、アガロオリゴ糖を加えた培地では、大腸ガン細胞は24時間で、胃ガン細胞は48時間でアポトーシスによって死滅した。正常細胞はアガロオリゴ糖を含む培地でもまったく影響なかった。また、HCT116というヒトの大腸ガン細胞株を移植して固型ガンを作ったヌードマウスに、3%のアガロオリゴ糖を4週間経口投与すると、腫瘍重量が投与前に比べて平均で約40%減少し、約20%のマウスでは腫瘍が消えたという実験報告がある。これはガン細胞のアポトーシスが*in vivo*（生体内）で起こったことを示唆している（加藤 1998）。

日本人の年間寒天消費量は一人あたり20 g程度であるが、できれば1日平均0.5～1 gは食べ、今の10～30倍は消費してほしい食物繊維である。最近、ダイエット食品として様々な具材（かに、しゃけ、ほたて貝、野沢菜、梅干しなど）を加えた1食当たり32～38キロカロリーの寒天入り雑炊が売られているし、自分でも簡単に作れるので、試してみる価値がある。ダイエットのためだけでなく、ガン細胞のアポトーシス誘導食品として、また、よいウチ作り食品として寒天を有効に利用してほしいと思う。

29. 古来より馴染みの深いマイルドな作用のフノラン

フノラン（funoran）は紅藻カクレイト目フノリ科に属するフクロフノリやマフノリ、ハナフノリなどに含まれるファイココロイドとして知られ、セルロース骨格の周りを充填して細胞壁を補強している。フノランの化学構造は、硫酸基をもつD-ガラクトースと3,6-アンヒドロ-L-ガラクトースが交互に結合した一種のアガロース硫酸と考えられている（Takano *et al.* 1995）（図19C）。

フクロフノリはわが国では全国に広く分布し、潮間

帶上部や飛沫帯にまで生育するため、乾燥に強く、耐凍性にも富んでいる（瀬川 1956）。また、養殖も行われ、食品として味噌汁やサラダの具材に用いられたり、便秘や大腸ガン、胆石の予防としても食される。フノランはザルコーマ180固形ガンなどに対して抗腫瘍活性が高く、マクロファージを増加させて活性化させることも知られている（Takano *et al.* 1995、大野 1996）、ガン細胞のアポトーシス誘導に関する研究はまだ積極的には行われていない。フノランが毒性をもつという報告は全くないので、今後は利用度がさらに高まる有望なファイココロイドになると予想される。

布糊、布海苔、布苔という文字が示すように、フノリ類はわが国では古くから糊の原料、とくに絹布の仕上げ糊としての需要があった。セメントがない時代には、フノリ類は漆喰に混ぜて利用し、土木・建築の重要な資材でもあった（徳田ほか 1987）。なお、フノランはフノリの和名から由来する。

30. 硫酸含有量の異なる様々なタイプのカラゲナン

紅藻類にはカラゲナン（carrageenan）の原藻となる多くの種類が知られ、これらをカラゲノファイト（Carrageenophyte）と呼んでいる。カラゲノファイトになるのはスギノリ目に属する種類が多いが、カクレイト目の種類もある。カラゲナンは粘性の高い酸性多糖類であり、セルロース骨格の周りを取り囲んで細胞壁を補強しており、乾燥重量では藻体全体に含まれるカラゲナンの割合は20～25%になる。

カラゲナンの基本構造はD-ガラクトースと3,6-アンヒドロガラクトースの2糖単位が反復配列した鎖状の高分子多糖類である（図20）。この2糖単位の中で特定の水酸基が硫酸とエステル結合するので、硫酸基の部位と数が異なるいくつかのタイプのカラゲナン分子が存在し、それぞれ性状も異なる。2糖単位中に硫酸基を1個もつカラゲナンはカッパー（ κ ）型、2個もつのはイオタ（ ι ）型とクサイ（ ξ ）型とミュー（ μ ）型、3個もつのはラムダ（ λ ）型とニュー（ ν ）型である。 κ 型カラゲナンはカリウムイオンの存在でゲル化するのに対し、 ι 型カラゲナンはカルシウムイオンでゲル化する。また、同じ紅藻の種類でも世代交代によってカラゲナンの型が変化する場合があり、配偶体（単相の有性世代）は κ 型をもつが、四分孢子体（複相の無性世代）は λ 型のカラゲナンをもつ（西澤

1989、大野 1996、土井・辻 1997)。

カラゲナンの原藻は養殖によって大量に生産されるようになったので、比較的高価な寒天に代わり、食品や化粧品、薬品などに広く利用されている。食品分野では、ゼリー菓子やチョコレート、アイスクリーム、ハム・ソーセージ、ヨーグルト、チーズなどの安定化剤、乳化剤、増粘剤、分離防止剤として用いられている(大野 1996)。しかし、これらの食品にカラゲナンは0.1~0.5%しか含まれないので、食物繊維として有効な摂取量には及ばない。 κ 型と ι 型、 λ 型のカラゲナンは粉末で市販されているので、寒天と同様に家庭でも利用できる。なお、カラゲナンを含むクロバギンナンソウ(エゾツノマタ)やアカバギンナンソウ、タオヤギソウ、ダルスなどは海藻として直接食されるが、地方の郷土料理や季節的な嗜好品に利用されることが多く、一般には広く常食されていない。

κ 型と λ 型のカラゲナンは、経口投与でエールリッヒ固型ガン腫に対して抗腫瘍効果があり、また、Meth-A固型線維肉腫に対しては腹腔内投与で効果があると報告されている(大野 1996)。しかし一方で、カラゲナンの毒性も認められている。ラットを使った動物実験では、カラゲナンは大腸で発酵・分解されて

酪酸を生成し、大腸上皮細胞の増殖を促進させるが、同時に発ガンのリスクも高まるという報告がある(土井・辻 1997)。ラットを使った他の実験では、大腸におけるカラゲナンの発酵・分解は10%以下であるとする報告や、97~98%のカラゲナンは発酵されることなく、ウンチとして排泄されるという報告もある(土井・辻 1997、久田 1999)。マウスやラットの動物実験の結果から全般的にいえることは、カラゲナンの量によっては腫瘍を生じさせるという可能性は否定できない。FAO(国連食糧農業機関)は、ヒトの体重1 kg当たり1日のカラゲナンの摂取限量を75 mgとするという勧告をしている(西澤 1989)。60 kgの体重ならば、カラゲナンの限量は45 gに相当するが、一般の食品に添加されている通常のカラゲナン量ではほとんど問題にならない。

いままでにカラゲナンの抗菌、抗酸化、抗凝血作用については多くの研究報告がある(西澤 1989、大野 1996)。カラゲナンは海藻がもつ他の食物繊維と同様に硫酸基をもつファイココロイドであり、硫酸基の数と配置によって特性が異なる多くの型がある。カラゲナンのもつ硫黄効果を含め、ガン細胞に対するアポトーシス誘導作用に関する研究も今後もっと積極的に

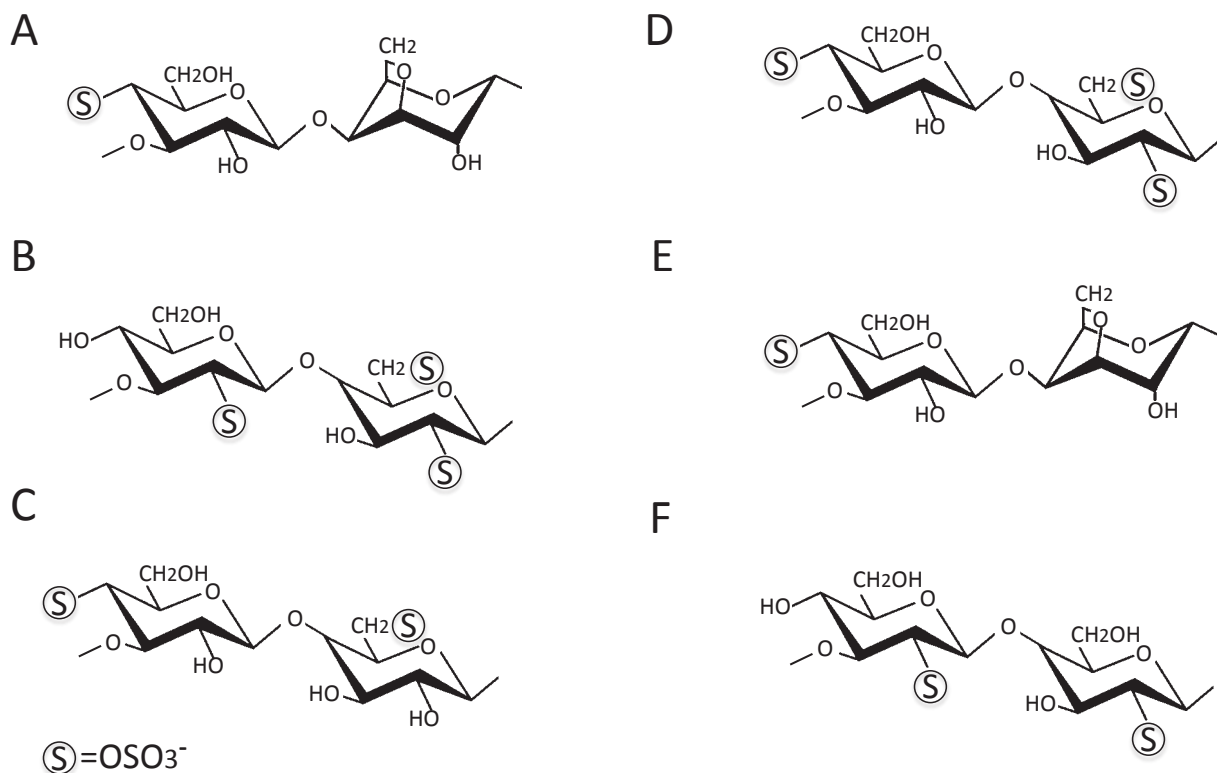


図20. カラゲナンの種類と反復単位の構造。 κ (A)、 λ (B)、 μ (C)、 ν (D)、 ι (E) および ξ (F) 型のカラゲナン。國崎・佐野 (2001) から改変。

進めてほしいと思う。

カラゲナンの名称はアイルランドの漁村のカラギー（Carragheen）に由来し、そこは19世紀末にカラゲナンの原藻となるアイリッシュ・モス（*Chondrus crispus*、ツノマタの種類）の集積地であった。

31. アオサ藻類の硫酸多糖

陸上植物は緑藻類と同じ先祖をもち、陸上に進出・進化したグループであるのに対し、アオサ藻類は緑藻類として海にとどまり、多細胞化したグループである。互いに先祖がつながっているため、アオサ藻と陸上植物はともに光合成色素としてクロロフィル a とクロロフィル b をもち、光合成産物も共通してデンプンである（横浜 1985）。

アオサ藻類は食品として広く用いられている。まずアオサ目に分類される種類でみると、アオサ類はサラダやスープの具に使われ、青海苔の原料にもなる。アオノリ類では、とくにスジアオノリは香がよいので、青海苔の主原料となり、粉末にしてお好み焼きやたこ焼き、煎餅などに供されており、汽水域でさかんに養殖されるようになった。海苔の佃煮の原料になるヒトエグサとヒロハノヒトエグサはすべて養殖によって生産されている。ヒトエグサ類は特有の風味と豊富な植物繊維をもつので、他の海藻にはないアオサ藻を代表する食品となっているが、かつては高価なアマノリ類の佃煮の代用品であった。

ミル目に分類される種類では、ミルとイワツタのなかまが食品に利用されている。ミル類は独特の色の美しさから古代から染め色の表現や観賞用および飾り物として珍重されてきたが、九州天草地方では、酢の物や汁の具材として食される。沖縄県特産の海ぶどう、グリーンキャビアと呼んでいるのはイワツタ類のクビレツタである。海藻サラダとして独特の食感が好まれ、さかんに養殖されている。

アオサ目の種類の細胞壁はセルロースの骨格とそれらの周りを充填するラムナン硫酸からなる（Harada and Maeda 1998、Lee *et al.* 1998）。それに対してミル目のミル類とイワツタ類では、細胞壁の骨格成分はマンナンで、それをアラビナン硫酸が取り巻いていることが知られている（Uehara *et al.* 1992）。これらの化学構造は完全には確定されてはいないが、現在までに考えられているヒトエグサ由来のラムナン硫酸の構造とミル由来のアラビナン硫酸の構造を図21に示す。マンナンはセルロースと同様に不溶性食物繊維であるが、ラムナン硫酸とアラビナン硫酸は水溶性食物繊維である。なお、ハネモ類はミル目に分類されているが、キシランを細胞壁骨格成分とする配偶体（単相世代）とマンナンを細胞壁骨格成分とする孢子体（複相世代）が世代交代する生活史をもつ。これらの骨格成分を取り巻いているガラクトタンは硫酸基を含まない水溶性食物繊維である。

ヒトエグサやスジアオノリにはS-180腫瘍の増殖を阻止する効果があり、また、ミルにもエールリッヒ・

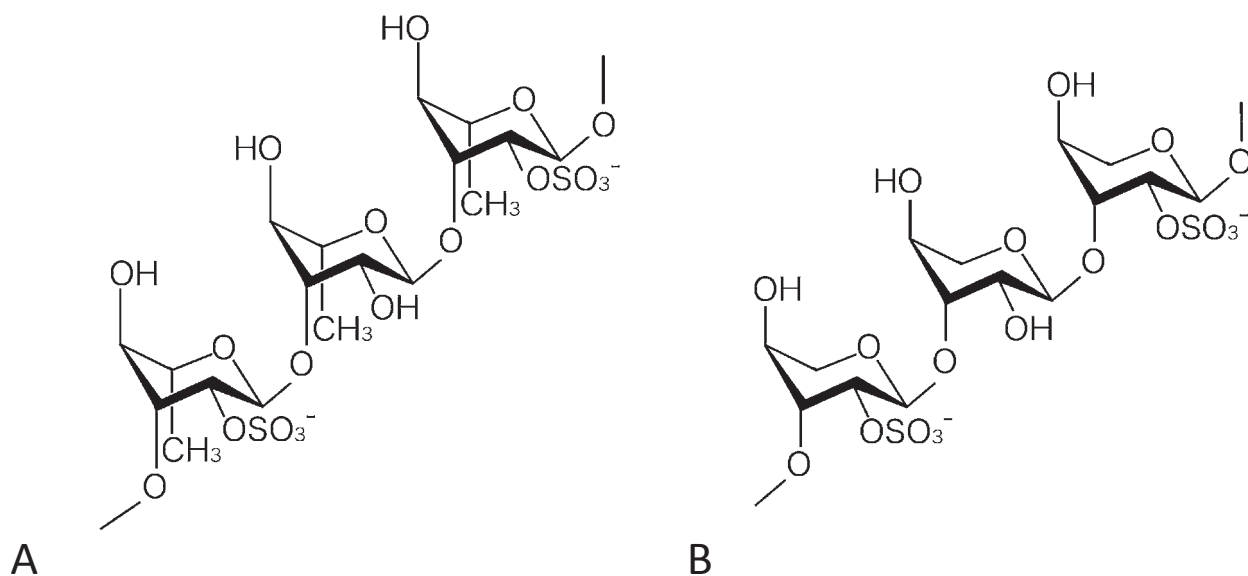


図21. アオサ藻の水溶性食物繊維。A, ラムナン硫酸（ヒトエグサ由来の考えられる構造の一部）。B, アラビナン硫酸（ミル由来の考えられる構造の一部）。

ガンの増殖を阻止して延命効果があると報告されている（大野 1996）。しかし、アオサ藻類にガン細胞のアポトーシスを誘導する作用があるかどうかを確認した研究報告はいままでにない。ヒトエグサ、アオノリ、アオサは腸内細菌の増殖を抑制し、これらから抽出されたラムナン硫酸が抗菌、抗ウイルス作用をもち、また、後述するように抗凝血活性を示すという報告がある。アオサ藻類の含硫ファイココロイドには、今後の研究の進展により、様々な薬理作用が見つかることが期待される。また、養殖が盛んなスジアオノリとヒトエグサはこのようなファイココロイドの供給源として益々有望になるだろう。

32. 海藻類の含硫多糖類～水溶性食物繊維の抗凝血作用

硫黄を含む海藻類の水溶性食物繊維がもつ共通性の1つにヘパリノイド活性がある。ヘパリノイド活性とは、ヒトの体内に含まれるヘパリンと同様に血液を凝固させずにサラサラ状態を維持するはたらきのことである。

血管内を循環している血液は流動的であるが、血管が傷ついて破れると、外部に出た血液は流動性を失って固まり、出血が止まる。このような血液凝固による止血作用は生命を維持するための重要な生理機構である。血液凝固の反応系は複雑であるが、最終段階では、血漿中に溶けているフィブリノーゲンが繊維状のフィブリンに変化して血液がゲル化・凝固し、それが血餅となって傷口を塞ぎ、出血が止まる。しかし、血液凝固が血管内で起こると、血栓となり、血管がつまってしまう。血栓ができた血管の先には血液が流れなくなるので、その細胞組織や器官の一部が壊死し、ひいては死に至る危険性がある。脳卒中や心筋梗塞の発症である。

もともとヒトには血液をサラサラにし、血栓ができにくくするしくみが備わっている。血液凝固を抑制する作用をもつのがヘパリンであり、肝臓に多く含まれているが、腸、肺、皮膚にも存在する硫酸ヘテロ多糖である（図22）。ヘパリンは血漿中のアンチトロンビンⅢというタンパク質と特異的に結合し、抗凝血作用を示すと考えられている。

海藻類の水溶性食物繊維の中で、フコイダンとカラゲナンの各型およびラムナン硫酸はどれも硫酸基をもっており、これらはヘパリンと似た抗凝血作用があ

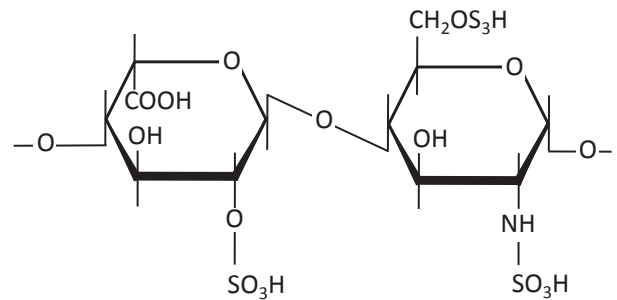


図22. ヘパリンの部分構造。

るので、ヘパリノイドと呼ばれる。褐藻類のフコイダンは種類によって硫酸含有率が異なるが、硫酸含有率25%でフコイダンのヘパリノイドとしての活性はヘパリンの2倍の力価を示すという（西澤 1993b、山田 2006）。ちなみに、褐藻には硫酸を含まない食物繊維であるアルギン酸があるが、アルギン酸はフコイダンと逆に血液凝固作用をもち、傷口を止血する効果が高いことで知られている。

アオサ藻類では、ヒトエグサ類のラムナン硫酸はヘパリノイドとしてヘパリンの3.3倍の力価をもつという（Uehara *et al.* 1992）。アオサ、アオノリ、イワツタ、ミル類などの食用種では、ラムナン硫酸とアラビナン硫酸の硫酸含有率は数%～25%の幅がある。硫酸含有率25%前後でヘパリノイドとしての活性はヘパリンの2倍になるという。

紅藻類のカラゲナンはフコイダンとラムナン硫酸よりも硫酸含有率が高く、25%前後の含有率をもつカラゲナンは高いヘパリノイド活性を示す。しかし、カラゲナンの静脈注射によって急性中毒を引き起こした動物実験の例があり（西澤 1993b）、ヘパリノイドとしてのカラゲナンの利用は進んでいない。より厳密な実験と詳しい原因の究明が必要である。

はっきりしているのは、硫酸を含まない食物繊維にはヘパリノイドとしての効果は全くないこと、そして硫酸含有率の小さい寒天などはヘパリノイドの効力が弱いことである。

33. 不飽和脂肪酸の抗凝血作用

もう1つのヘパリノイド活性を示すものに、エイコサペンタエン酸（EPA）とドコサヘキサエン酸（DHA）という多価不飽和脂肪酸が知られている。

グリーンランドのエスキモー（イヌイット）の人々は出血しやすい体質をもつことが従来から知られてい

た。1970年代に行われた疫学的研究調査によって、イヌイットの人々には脳梗塞や心筋梗塞などの血栓症が極めて少なく、動脈硬化にもなりにくいことが明らかにされた。これは、サケ・マスの魚類とアザラシなどの海獣の生肉を食べるイヌイットの人々の食習慣からもたらされ、これらの食物に含まれるEPAやDHAの多量摂取による結果であると考えられている。EPAとDHAは、プロスタグランジンI₃やトロンボキサンA₃の生成を促して血小板の凝集を抑制し、血液をサラサラにする作用がある。

海藻では、EPAは紅藻類、とくにアマノリ類に含まれ、乾海苔1枚(3g)中に約50mg含有する(西澤1993b)。毎日乾海苔を3枚常食すれば、イヌイットの人々と同様に血液サラサラで血栓ができにくい体質になるかも知れない。

34. 終わりに (エピローグ)

この世に不老不死の薬などあるはずもなく、また、これさえ食べていれば絶対に健康を維持できるという食べ物もない。

今関六也先生が「菌食論」で述べられているように、私たち人間は、この地球という1つの生態系の中で健全かつ健康に生存するために、植物と動物と菌類の3界の生物を必要な分だけバランスよく食べることが大切である。肉食に偏って大腸ポリープになった私の例を見るとよくわかる。また同時に、人為的に加工し、過度に精製し、さらに化学的に栄養を添加した食品に偏りがちな現代の食生活も見直した方がよい。ヒトは動物の一員として他の生物を食べ、自然の物質循環の中で生きているのだから。

コンブを食べて大腸ポリープを克服した実体験は、私にそのコンブパワーの正体を見つけさせようとする強い動機となった。それはコンブと健康についてのアンケート調査という実践活動に結びつき、コンブ多食地域では実際に大腸疾患が少ないことがわかった。コンブ多食地域といえば沖縄、沖縄といえば長寿。でも、実際の長寿県は長野、長野県は寒天製造とキノコ栽培が盛ん。そして、菌食論に遭遇した。

コンブパワーの1つは健康なウランチ作りであり、そのためにコンブの食物繊維が有効にはたらいっている。しかし、食物繊維はコンブ以外の陸上植物にも含まれているけれども、現実には野菜や豆などは私の大腸ポリープには効かなかった。自らが長年従事してきた藻

類の栄養要求性に関する研究成果を絡め、その理由と根拠を追い求め、思いを巡らし続けた。ふと、コンブは海に育っている、そしてコンブの食物繊維は硫黄を含んでいる、さらに考えてみれば、コンブは言うに及ばず、海藻のなかまはみんな、食物繊維は硫黄を含んでいるのではないかと気がついた。海藻は硫黄を含む水溶性食物繊維をもっているがゆえに、健康食品として高い有効性と特有の薬理効果を示す。これで多くの人々になるほどと理解してもらうための整合性がつく。海藻を硫黄栄養生物として特徴付け、生態系の中に配置し、生物4界とする論理を展開した。この生態系生物4界説を基礎として、植物と動物と菌類、それに海藻を加えた4界の生物をバランスよく毎日の食生活に摂り入れようとする新しい食物論が、「私の海藻食論」の本質なのである。

菌食論の中で今関先生が最も気に掛けておられたのは、ヒトはなぜガンという悪性新生物に冒されるのかという問いと、キノコやカビのみならず発酵食品によるガンに対しての挑戦であったが、その答えや糸口を掴むことはなかなか困難であった。そこで硫黄栄養生物である海藻が登場する。硫黄を含む水溶性食物繊維は、海で育つ海藻類だけが合成し、海藻類の細胞壁にファイココロイドとして蓄積される。海藻のフコイダンや寒天、ポルフィランなどの硫黄を含むファイココロイドはガン細胞に対してアポトーシスを誘導する活性をもつ。これは食べ物から初めて見つかった抗ガン性の薬理効果であり、海藻類がその有望な食べ物になることを示している。

水溶性食物繊維の役割を考えると、腸内細菌のはたらきと腸内細菌相互の関係を理解することが重要である。野菜や果物などの陸上植物の水溶性食物繊維と、海藻由来であってもアルギン酸とラミナランのような硫酸を含まないファイココロイドは、100種類以上の腸内常在菌の餌になって発酵・分解され、結局は腸壁から吸収され、ヒトのエネルギー源となる。発酵・分解の最終段階は善玉菌と呼ばれるビフィズス菌が受け持つが、大腸に送り込まれてくる多種多様な高分子の未消化物を処理するために、他の多くの常在菌が個々に仕分けをして低分子化に協力・対応してくれなければ、ビフィズス菌はその役目を果たせない。一般に悪玉菌と呼ばれる腸内細菌でも、高分子の1次的～2次、3次的な発酵を分担するだけではなく、それらの存在自体が外部から侵入した有害な病原菌の増殖を阻止し、宿主の免疫力を高めている。つまり、健康

なヒトの腸内には細菌同士が共存し合う生態系（菌叢）が維持されているので、傍若無人で無為徒食の常在菌はいない。

しかし、硫黄を含むファイココロイドを発酵・分解する腸内細菌はヒトには存在しないように思える。含硫ファイココロイドは、胆汁酸などの有害物質や過剰な塩分などを吸着し、さらには、もし発生したガン細胞があればこれを抑制し、最後に良いウンチ作りをして排便を促進し、ほとんど発酵・分解しないまま高分子の形で排泄される。フコイダンは腸内細菌の餌にならないというよりも、むしろ腸内細菌の成長・増殖を抑制するらしく、腸内細菌にとっては一種の毒物とみなせる。「常に菌と共にあるべき」自分の腸内細菌叢に悪影響を及ぼすおそれがある。とはいえ、海藻類を毎日どんぶり一杯食べるというのは現実的ではない。普段、やや多めに食べる場合は、太巻きの昆布巻き1、2本か、海藻サラダの小鉢一杯程度であろう。「毒（フコイダン）をもって毒（ガン細胞）を制す」という見方からいうと、海藻は、腹を満たす食べ物というよりは「薬」として捉え、適量を日々摂取するスタンスが望ましいと思う。酒は百薬の長といえども飲み過ぎは健康を損ねるように、良いことづくめの含硫ファイココロイドも過ぎたるは及ばざるが如く、海藻の種類に応じて適正な食べ方が大前提になるのである。

私の場合、40代後半から大腸ポリープによる便秘と血便に悩まされた10年間であったが、その後25年間欠かさずコンブ食を続けることで毎日スムーズな排便となり、それ以後ずっと便秘と血便から解放され、さらに大腸ポリープもガン化しないまま過ごしてきており、おかげで傘寿にまで達した。しかし、さすがに寄る年波には勝てず、狭心症になってカテーテルによるステント治療、さらに腹部大動脈瘤の大手術まで受けた。狭心症の治療のために、医師の処方による血栓予防薬を服用し始めたが、抜歯後に止血しにくくなり、軽い打撲でも内出血を起こしやすい体質になった。これは血栓予防薬とコンブ食のフコイダンによるヘパリノイドとの相乗作用によるのではないかと考え、ちょっとした怪我で出血したときに血栓予防薬とコンブ食の両方を控えると、速やかに止血することがわかった。コンブの薬理作用、侮るまじ。私にとって、コンブ食・海藻食は沖縄の方言で言うところの「ぬちぐすい＝命の薬」であることは間違いない。

ヒトは海から生まれて進化してきた生物の一員であ

る。その母なる海で育まれてきた海藻は、それゆえ、文明生活によって歪んだヒトの体の状況を本来あるべき自然な健康に回復してくれる、掛け替えのない素晴らしい海からの贈り物である。その贈り物の効用を調べる研究者と生産者が常に協力し合い、海藻を安全な健康食品に育て上げ、できるだけ多くの人々にその恵みを楽しんでほしい。ヨードの過剰摂取の問題のように、10～15年ごとに蒸し返すような研究に実りはない。普段の食生活に積極的に海藻食を取り入れ、腸をきれいにしながら成人病を防ぎ、健康なウンチ作りでスムーズな排泄。これはコンブ食・海藻食を25年間続けてきた経験者としてのお願いである。

謝辞

この「私の海藻食論」を論文にまとめるに当たり、多くの方々のご協力とご援助をいただきました。まずは、私の老化した頭で書き綴った珍説・珍文に興味を示され、分かりやすい明快な文章にまとめて論文として出版に尽力いただいた高知大学大学院黒潮圏総合科学専攻の奥田一雄教授に心から感謝の意を表します。また、「黒潮圏科学」への出版に同意された同大学院編集委員の方々にお礼申し上げます。

さて、山育ちの私に海藻研究の面白さを教え、ご指導下さった恩師故山田幸男先生と、海藻培養と栄養要求性の実験を厳しくご指導下さった恩師故ルイジ・プロバソーリィ先生に深謝し、この論文を霊前に捧げたいと思いますが、お二人とも、「発表はきちんと実験を繰り返した結果でなければ駄目ですよ。きみー」と、多分お叱りになられると思います。続いて、順を追ってお礼申し上げるのは、50年前に米国留学した時にウッズホール海洋研究所の近郊の海岸でこの研究のきっかけとなった研究材料のアオサ藻マキヒトエの採集に協力いただいた大森信先生（東京水産大学名誉教授）、その形態形成活性物質の抽出精製実験にご迷惑をお掛けした故金子光先生（元北海道大学薬学部教授）と鈴木稔先生（元北海道大学大学院環境科学研究科）です。鈴木先生には含硫多糖類の分子構造についても総合的なご指導をいただきました。また、PESとPESI培地の開発後にその普及に尽力下さった故長谷川由雄先生（元北海道区水産研究所長）、コンブ食と健康についてのアンケート調査の折は、用紙の漁協組合員への配布集計に協力いただいた当時の北海道ぎょれん会長の北島哲夫さんとスタッフの方々、統計分析

をしていただいた富樫辰也さん（当時北海道大学理学部大学院生）にお礼申し上げます。また、沖縄の長寿とコンブ・海藻食について貴重なお話を伺った当時の沖縄県副知事の尚弘子先生（元琉球大学教授）、海藻類の光合成のしくみについてご教示いただいた横浜康継先生（元筑波大学教授・下田臨海実験センター長）、寒天分子構造などの資料を提供していただいた大野正夫先生（高知大学名誉教授）、伊那食品工業株式会社常務取締役の埋橋祐二さん、ラムナン硫酸およびアラビナン硫酸の構造についてご教示いただいた元三共株式会社バイオメディカル研究所の佐藤藹也さん、様々な情報収集に尽力いただいた高知大学大学院黒潮圏総合科学専攻の峯一朗准教授の皆さん方に厚くお礼申し上げます。最後に、肉料理大好き人間の私をいつの間にか魚と野菜、海藻食好きに変えてしまい、傘寿になるまで生き伸ばしてくれた我がワイフに感謝します。

引用文献

- Amat, M.A. and Srivastava, L.M. 1985. Translocation of iodine in *Laminaria saccharina* (Phaeophyta). J. Phycol., 21: 330-333.
- 新崎盛敏・新崎輝子. 1978. 「海藻のはなし」, 東海大学出版会, 東京.
- Chi, E.-S., Henry, E.C., Kawai, H. and Okuda, K. 1999. Immunogold-labeling analysis of alginate distributions in the cell walls of chromophyte algae. Phycol. Res., 47: 53-60.
- 千原光雄（編）. 1999. 「藻類の多様性と系統」, 裳華房, 東京.
- 土井邦雄・辻啓介（編）. 1997. 「食物繊維」, 朝倉書店, 東京.
- Harada, N. and Maeda, M. 1998. Chemical structure of antithrombin-active rhamnan sulfate from *Monostroma nitidum*. Biosci. Biotechnol. Biochem., 62: 1647-1652.
- 畑山善行. 1998. 健康長寿の里～長野県, 松本. 信州の旅, 104: 9-11.
- 広瀬弘幸. 1959. 「藻類学総説」, 内田老鶴圃, 東京.
- 稲垣長典（監訳）. 1985. 「実用ビタミン栄養学」, 小学館, 東京.
- 今関六也. 1986. 菌食論. 相賀徹夫（編）「日本大百科全書 7」, 小学館, 東京, p. 246.
- 今関六也. 1988. 「森の生命学－つねに菌とともにあり」, 冬樹社, 東京.
- 印南敏（監修）. 1990. 「食物繊維は凄い」, 主婦の友社, 東京.
- 女子栄養大学出版部（編）. 1993. 「食事で食物繊維をとる－成人病を防ぐために」, 女子栄養大学出版部, 東京.
- 加藤郁之進. 1998. 寒天とアガロオリゴ糖の機能性. 食品と開発, 33: 44-46.
- 加藤郁之進, 佐川裕章. 1999. 海藻食物繊維による癌リスクの軽減. 日本藻類学会, マリンバイオテクノロジー学会, 日本海藻学会（主催）1999年度秋季藻類シンポジウム「藻類の安全性と健康への効用」講演集, pp. 13-20.
- 川嶋昭二（編著）. 1989. 「日本産コンブ類図鑑」, 北日本海洋センター, 札幌.
- 木村優. 1996. 「微量元素の世界」, 裳華房, 東京.
- 桐山修八. 1980. 食物センイの栄養学的効果. 化学と生物, 18: 95-105.
- Konno, N., Makita, H., Yuri, K., Iizuka, N. and Kawasaki, K. 1994. Association between dietary iodine intake and prevalence of subclinical hypothyroidism in coastal regions of Japan. J. Clin. Endocrinol. Metab., 78: 393-397.
- 久田孝. 1999. 腸内細菌相に及ぼす海藻食物繊維の影響に関する研究. 日本水産学会誌, 65: 626-629.
- 國崎直道・佐野征男. 2001. 「食品多糖類－乳化・増粘・ゲル化の知識」, 幸書房, 東京.
- 倉田正. 1995. 「ウンコの話はじまりはじまり」, 労働旬報社, 東京.
- Lee, J.-B., Yamagaki, T., Maeda, M. and Nakanishi, H. 1998. Rhamnan sulfate from cell walls of *Monostroma latissimum*. Phytochem., 48: 921-925.
- Lobban, C.S. and Harrison, P.J. 1994. "Seaweed ecology and physiology", Cambridge Univ. Press, New York.
- Matsuo, Y., Imagawa, H. and Nishizawa, M. 2005. Isolation of an algal morphogenesis inducer from a marine bacterium. Science, 307: 1598.
- 光岡知足. 1978. 「腸内細菌の話」, 岩波書店, 東京.
- 三浦昭雄（編）. 1992. 「食用藻類の栽培」, 恒星社厚生閣, 東京.
- 宮城重二・安次高順子. 1993. 「日本一の長寿県沖縄に学ぶ－健康長寿食」, 女子栄養大学出版部, 東京.

- 日本林業技術協会. 1990. 「土の100不思議」, 東京書籍, 東京.
- 西澤一俊. 1989. 「海藻学入門」, 講談社, 東京.
- 西澤一俊. 1993a. 「海藻を食べる健康法」, 朝日出版社, 東京.
- 西澤一俊. 1993b. 「海藻と成人病予防」, 研成社, 東京.
- 大野正夫 (編著). 1996. 「21世紀の海藻資源」, 緑書房, 東京.
- 奥田一雄・峯一朗. 1997. 藻類セルロースの生合成. *Cell. Commun.*, 4: 101-107.
- 奥田一雄. 1999. 藻類のセルロース合成. 電子顕微鏡, 34: 81-86.
- Provasoli, L., Mclaughlin, J.J.A. and Droop, M.R. 1957. The development of artificial media for marine algae. *Archiv. für Microbiol.*, 25: 392-428.
- Provasoli, L. 1958. Effect of plant hormones on *Ulva*. *Biol. Bull.*, 114: 375-384.
- 榊原宣. 1994. 「胃がんと大腸がん」, 岩波新書, 東京.
- 坂田隆. 1989. 「大腸内幕物語」, 講談社ブルーバックス B-768, 講談社, 東京.
- 瀬川宗吉. 1956. 「原色日本海藻図鑑」, 保育社, 東京.
- Setchell, W.A. and Gardner, N.L. 1925. The marine algae of the Pacific coast of North America. Part 3. Melanophyceae. *Univ. Calif. Pub. Bot.*, 8: 382-898 (with plates 1-8).
- 高橋英一. 1987. 「ケイ酸植物と石灰植物」, 農山村文化協会, 東京.
- Takano, R., Hayashi, K., Hara, S. and Hirase, S. 1995. Funoran from the red seaweed *Gloiopeltis complanata*: polysaccharides with sulphated agarose structure and their precursor structure. *Carbohydrate Polymers*, 27: 305-311.
- Tamura, H., Mine, I. and Okuda, K. 1996. Cellulose-synthesizing terminal complexes and microfibril structure in the brown alga *Sphacelaria rigidura* (Sphacelariales, Phaeophyceae). *Phycol. Res.*, 44: 63-68.
- Tatewaki, M. and Provasoli, L. 1964. Vitamin requirement of three species of *Antithamnion*. *Bot. Mar.*, 6: 193-203.
- Tatewaki, M., Provasoli, L. and Pintner, I.J. 1983. Morphogenesis of *Monostroma oxyspermum* (Kütz.) Doty Chlorophyceae in axenic culture, especially in bialgal culture. *J. Phycol.*, 19: 409-416.
- Tatewaki, M., Wang, X.-Y. and Wakana, I. 1989. A simple method of red seaweed axenic culture by spore-washing. *Jpn. J. Phycol.*, 37: 150-152.
- 館脇正和・星澤幸子. 1999. 「食べてわかった昆布パワー」, 北日本海洋センター, 札幌.
- 徳田広・大野正夫・小河久朗. 1987. 「海藻資源養殖学」, 緑書房, 東京.
- 東京大学海洋研究所. 1997. 「海洋のしくみ」, 日本実業出版社, 東京.
- Uehara, T., Takesita, M. and Maeda, M. 1992. Studies on anticoagulant-active arabinan sulfates from the green alga, *Codium latum*. *Carbohydr. Res.*, 235: 309-311.
- Whittaker, R.H. 1969. New concepts of kingdoms of organisms. *Science*, 163: 150-160.
- 山田信夫. 2006. 「海藻フコイダンの科学」, 成山堂書店, 東京.
- 山田武・大山ハルミ. 1994. 「アポトーシスの科学」, 講談社ブルーバックス B-1006, 講談社, 東京.
- 横浜康継. 1985. 「海の中の森の生態」, 講談社ブルーバックス B-600, 講談社, 東京.
- 横浜康継. 2001. 「海の森の物語」, 新潮社, 東京.

My Sea-vegetarianism

Masakazu Tatewaki

Asahigaoka 47-13, Ebetsu, Hokkaido 069-0826, Japan

Abstract

‘My Sea-vegetarianism’ is a study in dietetics based on my own experience eating *kombu*, the seaweed species belonging to the genus *Laminaria*, over 25 years in order to eliminate polyps in my large intestine. Seaweeds are algae living in coastal areas that uptake sulfur from the sea to incorporate into their cell walls; in this way they may have evolved into multi-cellular, macroscopic organisms. These seaweeds include species classified into the Rhodophyceae, the Phaeophyceae and the Ulvophyceae, each of which synthesizes sulfated polysaccharides as matrix components in the cell walls in common. I have newly defined the seaweeds as sulfurtroph in addition to autotroph and heterotroph. Sulfated polysaccharides the seaweeds produce are not

digested but serve as food fiber, one of the most important nutrients for us, providing moist bulk that keeps everything moving through our intestines. Sulfated polysaccharides also have several pharmacological effects such as induction of apoptosis against cancer, antibacterial actions and anti-coagulant activities. The seaweeds containing sulfated polysaccharides are non-caloric foods without fermentation by coliform bacteria and promote evacuation after having absorbed and removed harmful substances from our intestines. I propose that we should eat a small amount of the seaweeds every day to improve our diet for health.

Key word:

seaweeds diet, sulfurtroph, sulfated water-soluble food fiber, pharmacological activity of sulfur, promotion of evacuation