

海藻の不思議

木村 修一

東北大学名誉教授

はじめに:

われわれ日本人にとっては、日常何気なく摂取しているノリ、ヒジキ、ワカメ、コンブなどの海藻も、欧米人にとってみれば、「なんとも変なものを食べている」ということになる。最近でこそ日本食が注目されているので、海藻も健康食品との認識は少しは広がっているようであるが、ノリを食べておいしいという欧米人は少ないであろう。日本で弥生時代に海藻をたべていたことは万葉集にも歌われていることから分かる。

「これやこの 名に負う鳴門の渦潮に 玉藻刈るとふあまおとめども」

701年に大宝律令が制定されたが、租税のなかに海藻が含まれている。平安時代に用いられていたと考えられている海藻を(表1)に示した。

海藻が有史以前から中国の太平洋沿岸の一部で食べられていたことが分かっているが、外国では肥料や飼料に使われていたことが多く、フランスではナポレオンの時代に爆薬を作る材料(硝石)の原料として用いられており、1811年には、その研究をしていた **Barnard Courtois** は海藻から硝酸カリウムを作っている過程で紫色の蒸気としてヨウ素を発見している。

海藻の成分の研究から、これまでの栄養素だけでなく、機能性の面から興味をもたれる成分が数多く発見されており、近年食品材料として注目されている。また生育の速さから、バイオマス原料としても期待されている。

ここでは海藻の生物学的位置づけ、栄養学的機能、に焦点を合わせて、解説したい。

表1 平安時代に用いられた海藻の学名と和漢字

緑藻	ミル	<i>Codium</i>	海松、海松布(みるめ)
	アオノリ	<i>Enteromorpha</i>	青乃里、青海苔、青苔
褐藻	アラメ	<i>Eisenia</i>	滑海藻、荒布
	ヒジキ	<i>Hizikia</i>	鹿尾菜(ひづきも、ひじきも)
	ホンダワラ	<i>Sargassum</i>	神馬藻、莫鳴菜(なのりそ)
	コンブ	<i>Laminaria</i>	昆布、広布(ひろめ)、夷布(えびすめ)
	モズク	<i>Nemacystis</i>	水雲、海雲(もずく)
紅藻	ワカメ	<i>Undaria</i>	海藻(にぎめ)、和布、稚海藻(わかめ)、和海藻
	アマノリ	<i>Porphyra</i>	神仙菜(あまのり)、紫菜(むらさきのり)、海苔、黒海苔(くろのり)
	フノリ	<i>Gloiopeltis</i>	鹿角菜、布乃利
	ツノマタ	<i>Chondrus</i>	鹿角菜、角俣菜
	イギス	<i>Ceramium</i>	海髪
	オゴノリ	<i>Gracilaria</i>	於期菜、竜髪菜、頭髮菜
	テングサ	<i>Gelidium</i>	凝海菜(こるもは)、大凝菜(おおこるもは)、石花菜
トサカノリ	<i>Meristotheca</i>	鶏冠菜、鳳尾菜(とりさかのり)、鳥坂苔	

(注)活字がないので省略したものがある。

(1) 海藻の生物学

一般的に海藻といっている呼び名は俗称であり、特定の一つの分類群に与えられたものではない。海で固着生活をいとむ肉眼的な藻類に対する総称となっている。したがって、古く万葉の時代にモシオグサ(藻汐草;アマモ)が「海藻とり」の情景の歌として詠まれていた植物も海藻になっている。しかし厳密に言えば、この植物は種子植物(顕花植物ともいい、花を咲かせて維管束をもつ植物)であり、コンブ、ワカメなどのように、花を持たず、したがって種子もできず、維管束もなく、根、茎、葉の区別のない藻類とは異なるはずである。海に生育する種子植物は「海草」と呼ばれるべきもので、分類上藻類に属するコンブ、ワカメなどについては正真正銘の「海藻」と呼ばれるべきであろう。

地球上での生命の起源が、原始海圏で起こったことは多くの学者の一致した意見である。海に誕生した原始生物は単純な単細胞生物から進化したことは容易に想像できる。海藻もこのような進化の中で単細胞から進化したと考えられる。しかし藻類の分類については、不明の点や疑問が多く、さまざまな分類が提唱されてきたが、繁殖のしかたにに関連する生殖細胞の鞭毛の状態、光合成のメカニズムと関係する光合成関連色素、生産物質たとえば細胞壁の構成成分や貯蔵物質などが系統によって異なるといったことが次第にあきらかになり、さらには、ゲノム解析からも進化の道筋がある程度わかるようになってきた。今後その進展が期待される。

ここでは単純な千原の分類表をあげる。(表2)

1-1 鞭毛による系統差

藻類の中で、緑藻類、褐藻類などでは、それらの生殖細胞には鞭毛が備わっていることが一般的である。水中で繁茂するにはより有利な適応である。紅藻類、藍藻類は鞭毛を持たない。進化の面では藍藻類が最も早く地球上に姿を現し、ついで紅藻類が生まれ、褐藻類と緑藻類は最も後に出現したものと思われる。緑色植物でも、コケ類やシダ植物には依然として生殖細胞に鞭毛がみられ、種子植物になると鞭毛が見られなくなるのは、陸上では水中と異なり、鞭毛が繁殖にはほとんど役立つことがなくなり、進化の過程で退化したものと考えられる。

表2 藻の分類(千原)

1. 緑色植物	種子植物 シダ植物 コケ植物 車軸藻類 緑藻類
2. 有色植物 (黄色植物)	褐藻類 珪藻類 不等毛類 ヒカリモ類
3. ミドリムシ植物	
4. 渦鞭毛植物	
5. クリプト植物	
6. 紅色植物	
7. 藍色植物	

なお、この分類では藻類の中に単細胞藻類で植物性プランクトンなどといわれるマイクロ藻すなわち、ミドリムシ植物、渦鞭毛植物、クリプト植物、紅色植物、藍色植物も含まれている。海の中にある膨大な植物性プランクトンも海藻なのである。

1-2 光合成色素の系統差

光エネルギーを化学エネルギーに変換する過程を光合成というが、これには光量子が光合成色素に吸収されて化学エネルギーに変えられるいわゆる明反応と、生成した高エネルギー化合物から放出されるエネルギーをもとに炭素固定による糖合成を行う暗反応の一連の過程がある。クロロフィル a はこの明反応に関与する光合成色素である。さて、この光合成色素にはクロロフィル a 以外にも補助的な色素が種々あげられる。すなわちクロロフィル b、c、d やカロチノイド、フィコビルンなどで、クロロフィル a の働きを助ける補助色素といわれるべき性質をもっている。そしてこの含有色素の構成パターンには、系統による差がみられる。光合成に必須の色素であるクロロフィル a は、緑色植物に共通して存在していて、高等植物である種子植物の場合はクロロフィル a、b が組み合わさっている。また光合成で生産され貯蔵される物質もそれぞれ系により異なる。種子植物の場合はデンプンである。緑藻類は種子植物と同様クロロフィル a および

bを持ち、貯蔵物質も同じくデンプンであるが、褐藻類はクロロフィル a 以外に褐色のフコキサンチンと呼ばれる補助光合成色素を持ち、生産されるのはデンプンではなくラミナランと呼ばれる炭水化物である。紅藻類の場合はクロロフィル a 以外の補助色素としてフィコエリトリンを含んでおり、合成される炭水化物は紅藻デンプンである。

(2) 海藻成分の栄養

2-1 日本食品標準成分表にみる海藻の栄養成分組成(表3)

海藻の特徴として見られるのは、まずミネラルが多いということである。そして緑黄野菜と同様にβ-カロチンなどカロチノイドが多いことである。このほかに食物繊維が多いということで見ると、現代人の不足している栄養素の

補給にはもってこいの食品である。しかし注目したいのはたんぱく質である。たんぱく質含量は穀類並みであり、たんぱく質の栄養価を判定する必須アミノ酸の含量も高く、バランスもよい(表4)。「アミノ酸スコア」(たんぱく質の判定に用いるインデックス)をあげてみよう。海藻のたんぱく質の栄養価が極めて優秀であることが分かる。すなわち、コメ:68、コムギ:44、ダイズ:86、ホウレンソウ:50、ニンジン:55、鶏卵:100 であるのに対し、アマノリ:91、コンブ:82、ヒジキ:62、ワカメ:100 という評点である。なお、海藻にはグルタミン酸、アスパラギン酸などのうまみ成分や甘味をもつグリシン、アラニン、プロリンなどが多く含まれているため、いわゆる「だし」として使われている。世界で始めてコンブからうまみ調味料が作りだしたのは日本である。

表3 穀類・野菜・海藻の成分の比較

可食部(100g中)

成分	穀類・野菜				海 藻						卵類	
	コメ	コムギ	ダイズ	ホウレンソウ	アオノリ*	マコンブ*	ホソメ* コンブ	ワカメ*	ヒジキ**	アマノリ**	鶏卵(生)	
水分(g)	15.5	13.5	12.5	90.4	7.3	9.5	10.3	13.0	13.6	11.1	74.7	
一般成分(g)	たん白質	6.8	10.5	35.3	3.3	18.1	8.2	7.5	15.0	10.6	38.8	12.3
	脂質	1.3	3.0	19.0	0.2	0.3	1.2	0.4	3.2	1.3	1.9	11.2
	糖質	75.5	69.3	23.7	3.6	53.9	58.2	51.4	35.3	47.0	39.5	0.9
	繊維	0.3	2.1	4.5	0.8	6.3	3.3	8.3	2.7	9.2	1.8	0.0
	灰分	0.6	1.6	5.0	1.7	4.1	19.6	22.1	30.8	18.3	6.9	0.9
ミネラル(mg)	カルシウム	6.0	24.0	240.0	55.0	840.0	710.0	760.0	960.0	1,400.0	390.0	55.0
	マグネシウム	22.0	147.0	140.0	57.0	2,215.0	1,000.0	960.0	1,130.0	630.0	380.0	10.0
	リン	140.0	350.0	580.0	60.0	740.0	200.0	160.0	400.0	100.0	580.0	200.0
	鉄	0.5	3.1	9.4	3.7	32.0	40.0	2.0	7.0	55.0	12.0	1.8
	ナトリウム	2.0	2.0	1.0	21.0	530.0	2,800.0	2,900.0	6,100.0	1,400.0	120.0	130.0
	カリウム	110.0	460.0	1,900.0	740.0	3,100.0	6,100.0	6,100.0	5,500.0	4,400.0	2,100.0	120.0
	ヨウ素	0.039		79.0		2.0	130.0	44.6	7.8	3.7	6.1	0.03
主なビタミン(mg)	カロチン(A効果IU)	0	0	12.0	3.1	22.0	1.0	1.8	3.3	0.55	25.0	15.0
	B ₁	0.12	0.4	0.83	0.13	0.56	0.48	0.40	0.30	0.01	1.15	0.08
	B ₂	0.03	0.1	0.30	0.23	1.9	0.37	0.38	1.15	0.14	3.4	0.48
	ナイアシン	1.4	4.5	2.2	0.6	6.0	1.4	1.2	8.0	1.8	9.8	0.1
	B ₁₂	—	—	—	—	0.01	0.003	—	—	—	0.03	—
	C	0	0	痕跡	65.0	40.0	25.0	25.0	15.0	0	100.0	0
					1,700.0	12,000.0	560.0	1,000.0	1,800.0	310.0	14,000.0	640.0

〔食品成分表(科学技術庁資源調査会編)
糸川嘉則、鈴木信男らより〕

* 素干し
** 干ひじき、干のり

表4 食品可食部の全窒素1g当たりのアミノ酸組成

(mg/g 窒素)

四訂食品番号	食品類	イソロイシン	ロイシン	リジン	含硫アミノ酸			芳香族アミノ酸			スレオニン	トリプトファン	バリン	ヒスチジン	アルギニン	アラニン	アスパラギン酸	グルタミン酸	グリシン	プロリン	セリン	アミノ酸価
					メチオニン	システチン	合計	フェアラニン	チロシン	合計												
15 3	藻類 あまのり ほしのり	250	440	310	140	100	240	230	200	430	290	77	380	87	340	670	550	680	360	250	240	91
15 15	こんぶ まこんぶ、煮干し	220	390	280	100	140	240	240	120	360	270	72	300	110	200	440	770	1,300	310	320	240	82
15 28	ひじき ほしひじき	280	470	210	150	110	260	290	140	430	280	70	340	95	250	370	590	700	310	250	250	62
15 36 a	わかめ 湯通し 塩蔵わかめ	310	530	360	150	75	230	330	150	480	280	90	390	120	320	430	600	670	360	260	240	100
1 41 a	穀類 こめ(水稲)玄米	240	490	230	150	140	290	310	240	550	220	82	370	170	490	340	580	1,100	290	270	290	68
1 6 b	おおむぎ 押し麦	230	460	210	98	150	250	360	190	550	220	79	310	140	240	220	330	1,800	240	910	260	62
1 10	こむぎ 薄力粉	220	430	150	100	160	260	300	170	470	160	66	250	140	220	180	260	2,000	220	800	300	44
7 1 a	豆類 あずき 全粒、乾	270	480	450	98	99	200	350	160	510	210	64	320	200	410	260	660	950	240	260	290	84
7 15	だいず 全粒、乾	290	470	390	90	90	190	330	210	540	230	79	300	170	460	260	710	1,100	260	330	290	86
12 94 a	野菜類 にんじん 根、生	180	240	220	62	70	130	180	110	290	170	54	240	100	380	300	710	1,300	160	150	190	55
12 117 a	ほうれんそう 葉、生	180	320	230	55	50	110	240	160	400	170	100	230	100	280	210	450	570	210	170	170	50
10 5 a	卵類 鶏卵 全卵、生	340	550	450	210	160	370	320	260	580	290	94	420	160	400	360	640	800	210	240	430	100
11 1	乳類 生乳	340	620	520	170	57	230	300	240	540	260	83	410	180	210	210	500	1,200	120	610	300	100
11 29	人乳	300	580	380	88	140	230	250	230	480	250	85	330	150	180	210	500	990	130	530	240	100
8 4 a	魚介類 あじ 生	290	500	580	190	67	260	260	220	480	290	70	320	260	370	380	650	900	290	230	250	100
8 8 a	あなご 生	290	490	560	190	75	270	240	200	440	260	65	310	190	380	370	620	860	350	220	230	100

(表中の太数字はアミノ酸価での制限アミノ酸を示している)

2-2 海藻の脂質

先にあげた成分表に見るように、海藻中の脂質含量は低く、カロリー源としての意味はあまりない。表5に海藻類の脂肪酸組成を示したが、紅藻、褐藻、緑藻とではそれぞれ特徴的なパターンを示す。注目すべき点は $\omega-3$ の高度不飽和脂肪酸、たとえばEPA(エイコサペンタエン酸)を多く含んでいながら、 $\omega-6$ の高度不飽和脂肪酸(たとえばアラキドン酸)も持っているということである。脂肪酸の代謝からみると実に面白い現象である。動物はリノール酸($\omega-6$)からアラキドン酸を合成できるがEPAを合成することができない。一方、植物はEPAを合成できるがアラキドン酸を合成することができない。これが両方できる生物が藻類で、藻類には動物と植物の両方の性質を持つものがある。20億年以前の地球上で

植物の起源と進化に深く関わっていたと考えられている。アメリカでこの研究を進めていた研究室に私も在籍していたことがあり、懐かしい課題であるので、少し触れてみることにする。「ミドリムシは動物か？それとも植物か？」という問題の議論である。(注： $\omega-3$ は $n-3$ と同じ)

2-3 海藻のミネラル

海藻は海水中で生育するので、海水中のミネラルを取り込み、生体成分として含むことは当然考えられるが、海藻にとって有用なものだけでなく蓄積してしまっているものもあろう。海洋生物による元素の濃縮係数のデータをみると、鉛(Pb)、セレン(Se)、アルミニウム(Al)などが高い値を示している。すなわちセレンなどは10,000倍から16,000倍という濃縮率を示している。もちろん海水中

表5 海草類の脂肪酸組成

脂肪酸	(紅 藻)		(褐 藻)		(緑 藻)	
	ノギリヒバ	イギス	コンブ	アイヌワカメ	アオリ	アオサ
14:0	3.0	2.9	4.0	4.8	0.8	0.4
16:0	26.6	23.3	10.2	10.1	12.5	17.9
16:3 ω 3	0.1	0.4	0.1	0.1	15.5	17.2
18:1 ω 9	4.7	10.4	8.1	6.5	9.4	9.3
18:2 ω 6	2.0	3.0	3.9	4.2	5.6	1.6
18:3 ω 6	0.5	0.5	0.6	0.9	0.6	0.4
18:3 ω 3	2.7	3.3	9.9	10.6	20.8	16.7
18:4 ω 3	3.0	3.7	20.3	27.9	16.9	24.2
20:4 ω 6	9.0	8.3	9.2	11.9	1.4	0.5
20:5 ω 3	42.5	25.6	28.4	18.4	2.3	2.1

(JAMIESON らより)

表6 ホソメコンブにおける金属元素の含量 (鈴木信男 1989)

Element	Average	Range		RSD ^a (%)	n ^b
Na (%)	4.13	2.86	— 5.41	14.1	(43)
Mg (%)	1.07	0.879	— 1.28	8.20	(43)
Cl (%)	12.6	2.65	— 20.4	59.8	(43)
Ca (%)	1.07	0.851	— 1.44	13.4	(43)
As (ppm)	60.9	45.2	— 72.7	23.5	(43)
Br (ppm)	861	418	— 1,420	27.7	(43)
Rb (ppm)	42.0	18.9	— 59.7	24.0	(43)
Sr (ppm)	626	360	— 843	15.9	(43)
I (ppm)	3,345	883	— 7,610	46.2	(43)
V (ppm)	1.68	0.445	— 3.20	39.5	(27)
Mn (ppm)	4.10	1.98	— 6.53	33.4	(27)
Fe (ppm)	23.8	9.54	— 64.3	49.5	(26)
Co (ppb)	51.0	11.2	— 196	91.3	(26)
Cu (ppm)	0.54	0.27	— 1.1	36.8	(26)
Zn (ppm)	14.9	7.01	— 41.1	51.1	(26)

*Hosome Konbu, Based on dry weight of sample. ^a Relative standard deviation ^b Number of sample

の濃度が低いので、ただちに中毒を心配することはないが、海藻の持つ濃縮率の大きさには注目すべきものがある。(これについては後で述べる)。東北地方各地で採取したホソメコンブの代表的な元素組成の分析値を(表6)に示したが、陸上の植物と比べるとハロゲンの含量が多いことが分かる。ヒ素(As)は高い値を示しているがほとんどが毒性の弱い有機ヒ素であることが分かっている。新鮮重量あたりのホソメコンブの含有量と海水中

の含有量を比較すると(図1)、ナトリウム(Na)、臭素(Br)などは濃縮されていないが、ヨウ素(I)、ヒ素(As)、マンガン(Mn)、鉄(Fe)は数千倍濃縮されていることが分かる。同じ海水生物でも、魚類などの動物ではリン(P)、鉄(Fe)、亜鉛(Zn)などに高い濃縮率が見られており、海藻の場合と異なることが分かる。いずれにしても海藻はミネラルを多く含み、ヨウ素、鉄、マンガン、亜鉛、コバルトなどを高いレベルで含んでいる。特に褐藻の場

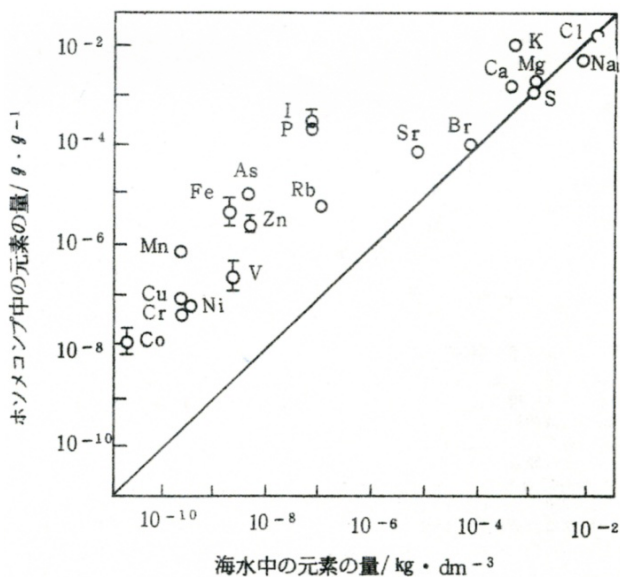


図1 ホソメコンブの元素量と海水中元素量との比較
(湿重量あたり) (鈴木信男 1989)

合はカルシウム(Ca)、カリウム(K)が多く、また緑藻ではマグネシウム(Mg)、鉄(Fe)が多く、健康維持にふさわしい食品になる性質をもっている。

興味あることは海藻中のこれら元素が有機態である場合が多く、吸収がマイルドで、毒性も含めて生理活性の発現も緩やかである理由となっている。これらミネラルの生理活性についても若干述べることにしたい。

おわりに:

海藻をよく食べる日本人の腸内には、ノリやテングサなどの紅藻類を消化できる細菌がいることが、フランス・パリ大学の研究でわかった。もともと人間が持たない海藻分解酵素を日本人の腸内細菌が獲得したものとみられ、研究グループは、伝統的な食生活が遺伝子を「ヒッチハイク」させる可能性を指摘している。この研究グループは、紅藻類を餌にする海中の細菌から、紅藻類の食物繊維を分解する酵素を作り出す遺伝子を特定。その遺伝子が人体に存在するか調べたところ、日本人13人のうち5人の腸内細菌からほぼ同じ遺伝子を発見できた。一方で、この遺伝子はヨーロッパ人の腸内細菌からは見つからなかったという。

海藻中から見出された生理活性物質は数多くあり、抗潰瘍作用物質、抗腫瘍物質、その他多くの生理活性物質が見出されている。

海藻のもつ性質を知るにつけ、研究者にとってきわめて魅力のある対象であることを感じる。いま東日本大震災で深刻な放射能汚染の問題に直面しているが、海藻のもつ機能が役立つ可能性を考えている。時間があれば論じたい。

参考論文

- (1) 木村修一、鈴木信男:海藻、海藻に関する研究班報告書、81-312(1990)
- (2) 木村修一、古川勇次:ヒ素、化学の領域増刊「環境汚染物質と毒性」126号、137-146(1980)
- (3) 木村修一、左右田健次:「微量元素と生体」(秀潤社)(1987)
- (4) 木村修一:微量元素の代謝と栄養的修飾, 醜海ABC シンポジウム「微量元素—その生体とのかかわり」1-11(1985)
- (5) 千原光雄監修「学研生物図鑑・海藻」 学習研究社(1988)
- (6) 安部文敏、榎本秀一:よくわかるミネラルの基礎知識(オーム社)(1996)
- (7) 新崎盛敏、新崎輝子:「海藻のはなし」東海大出版(1978)
- (8) 不破敬一郎、松本和子:重金属の分布 25p, 不破敬一郎編「生体と重金属」 講談社(1981)
- (9) Iwata, Y., Imura, H. and Suzuku, N.: Anal. Chim. Acta., 219, 97(1989)
- (10) Jamieson, G.R. and Reid, E.H.: J. Biochem., 61, 497(1967)

講演者略歴

国立大学法人東北大学名誉教授。1956年東北大学農学部卒業。1961年東北大学大学院農学研究科修了(農学博士)。1964~1965年ニューヨーク州立大学医学部リサーチ・アソシエート。1966年東北大学農学部助教授。1971年東北大学農学部教授。1988年東北大学農学部長。東北大学遺伝子実験施設長。1992年東北大学退官、東北大学名誉教授、昭和女子大学大学院教授。2011年昭和女子大学退職。昭和女子大学名誉教授、独立行政法人理化学研究所客員主管研究員。1929年生まれ。