

秋季シンポジウム (2001.11.16)

「藻類由来の機能性成分の研究と利用の展望」要旨

竹中裕行：微細藻類の生理機能とその応用

微細藻類は、生物起源において大変重要な二つの役割を演じてきた。私たち人間を含め、地球上の多くの生物は酸素なしでは生存することができない。酸素こそ、この地球を3000万種以上もの生物があふれる「生命の惑星」に育て上げた物質といっても過言ではない。そして、この酸素生産の立役者が、藍藻をはじめとする微細藻類であることは周知の通りである。微細藻類は35億年前から地球環境の変化と生命の進化に「酸素生産」という営みを介し、一つ目の役割を演じてきた。20世紀末から、温暖化をはじめとする地球環境悪化の修復に、微細藻類を応用しようとする研究が盛んに行われてきたのは、こういった事実によるものである。

微細藻類の二つ目の役割は、他の生物の餌になってきたということである。生物にとって太陽の光はもっとも大切なエネルギー源であるが、微細藻類はその太陽エネルギーを他の生物が利用できる形にして貯蔵する。太陽エネルギーと二酸化炭素から、タンパク質、糖、脂質、ビタミン、カロテノイドなど、生命を維持してゆく上で大切な栄養素を合成・蓄積するのである。微細藻類は、食物連鎖の先端に位置してきたことにより多くの生命を育ててきた。

ところで、現在、国の医療費は高騰し、約30兆円にも達しており、医療費削減が緊急要件となっている。この対応の一環として、国民の健康づくり対策が奨励されている。これまでの健康施策は、疾病の早期発見、早期治療（二次予防）に重点が置かれてきた。しかし、特に生活習慣病に対しては、生活習慣の改善および健康増進、危険因子の低軽減・除去に取り組むことが重要であるとされている。また、高齢化社会の到来にともない、生活習慣病を予防し、健康な毎日を過ごすことは、誰もが願うところである。

35億年に亘り、微細藻類が務めてきた二つ目の役割「微細藻類が餌となることによって他の生物たちを育ててきた」ことに注目し、私たちが健やかな日々を送るために、微細藻類を利用する（食する）ことは、理に適ったことであると考え

られる。そして、この考え方は「藻食論」として提唱されるに至っている。

日本人の食文化では、古来より海藻（大型藻類）を食してきた。近年の疫学調査や研究により、海藻の摂取と健康とに相関関係のあることが明らかとなってきた。これらをふまえ、館脇（1997）により「藻食論」が提唱された。藻食論は、従来の栄養学によるタンパク質、脂質、糖質といった化学的バランスでものを食べるのではなく、動物食、植物食、菌類食、海藻食の4つの生物学的バランスがとれた食生活を提言している。そして、この藻食論をさらに発展させ、海藻食ではなく、微細藻類を含めた藻類食として、新しい「藻食論」が三浦（私信）により提唱された。

しかし、現在のところ、微細藻類の生産量は少なく、そのために生産コストが高いことより、海藻のように毎日の食卓に出るような食材とまでは至っていないのが実状である。現在は、微細藻類の生理機能を解明し、それを利用した付加価値の高い食品が開発されている。

微細藻類の生理機能についての研究が本格的に始まったのは1980年代に入ってからである。Borowitzka (1994) がまとめた微細藻類由来の生理活性物質の可能性を一部改変して表1に示した。これらの多くは研究室レベルでの研究であり、微細藻類の大量培養を含めその実用化までには至っていない。今後の実用化が期待される場所である。

付加価値の高い食品の代表が健康補助食品（健康食品）である。アメリカにおける Dietary Supplement は栄養補助食品と直訳されている。しかし、日本では栄養と栄養素の概念が混乱していて、これらの用語は混同して使用されている。ビタミンやミネラルといった栄養素の食品であれば、栄養補助食品と呼称することは適当と思われる。しかし、栄養素の単なる補給だけではなく、健康の保持・増進、あるいはより優れた健康状態を求めるといふ広義の意味を持つものとして考えた場合、積極的に健康を補助する意味で「健康補助食品」という名称が用いられるようになった。

表 1 Selected products from microalgae and their alternative, non-algal sources

Product		Source	Alternative Sources
Carotenoids	β -carotene	<i>Dunaliella</i>	synthetic, palm oil
	astaxanthin	<i>Haematococcus</i> , <i>Euglena</i>	synthetic, phaffia
	canthaxanthin	some Chlorophytes	synthetic
Other Pigments	phycocyanin	<i>Spirulina</i> , <i>Synechococcus</i> , blue-green algae	none
	phycoerythrin	<i>Porphyra</i> , <i>Porphyridium</i>	none
Fatty Acids	eicosapentaenoic acid	Diatoms, <i>Porphyridium</i>	fish oil
	docosahexaenoic acid	Prymnesiophytes, <i>Isochrysis</i>	fish oil
Polysaccharides	many polysaccharides	mainly blue-green algae	vegetable gums
Sterols	many sterols	many species	plants
Vitamins	tocopherol	brown algae	soy beans, peanuts
	vitamin B12	various algae, <i>Pleurochrysis</i>	bacteria
Bioactive Compounds	anti-fungal, anti-bacterial, antiviral,		
	anti-neoplastic, pharmacologically active compounds	many species	potential synthetic
Biomass	aquaculture feed	many species	
	animal feed	many species	
	health food	<i>Chlorella</i> , <i>Spirulina</i> , <i>Dunaliella</i> , <i>Pleurochrysis</i> , <i>Nostoc</i>	

現在、商業ベースで培養・生産されている微細藻類について、これらの代表的な生理機能とその応用について言及する。

クロレラ (*Chlorella pyrenoidosa*, *C. vulgaris*)

クロレラが健康食品市場に登場したのは、今から30年以上も前のことである。現在では、健康食品の中でもっとも市場規模が大きく、一説によれば約600億円とも言われている。

1985年に厚生大臣の許可を得て設立された(財)日本健康・栄養食品協会(日健協)は、消費者が健康食品を安心して利用できるために、食品衛生法・栄養改善法等を遵守し、協会設定の規格基準等厳正な審査をパスした健康食品にJHFA (Japan Health Food Authorization) マークの表示を許可している。JHFA マーク表示クロレラ食品は110品目以上にもおよび。

クロレラ藻体および熱水抽出物について、多くの生理機能が明らかにされている(表2)。これらのいくつかを紹介する。

クロレラ藻体の生理機能

1. ダイオキシン吸収抑制(排泄促進効果)

ダイオキシン(Polychlorinated dibenzo-p-dioxins, PCDD)は、これに汚染された食品等から摂取され、脂溶性の化合物であるため吸収が良く、一般健常者の母乳、肝臓、脂肪組織に長期に

亘って残留する人体汚染物質である。森田ら(1997)はラットにおけるPCDDの糞中排泄(吸収抑制)作用に対するクロレラの影響について検討した。すでに排泄促進作用の認められている米ぬか繊維に比して、クロレラは高いPCDD糞中排泄効果が認められた。この作用は、クロレラに含まれるクロロフィルと食物繊維によるものと考察されている。

2. コレステロール低下作用

近年の食生活の西欧化にともなうコレステロール摂取の増大は、血液中コレステロール値を上昇させるとともに種々疾病の引き金となっている。クロレラの血清コレステロール低下作用は、ラットやウサギなどの動物実験により認められている。

藤原ら(1990)は、高脂血症と診断され、他に合併症がなく、しかも高脂血症の薬剤を投与されていない9名に対し、12ヶ月間クロレラを投与し、その効果を検討した。血清コレステロールおよびLDL-コレステロール値に、投与開始時に比べ有意な低下が認められた。

クロレラ熱水抽出物の生理機能

1. ニトロソ化合物(発がん物質)合成阻害

発がん物質の1つとして注目されているニトロソ化合物は、実験動物の種々の臓器に発がん性を示すが、われわれが日常摂取する食品、食品添加

表2 クロレラ藻体および熱水抽出物の生理機能

	生理機能	文献
クロレラ藻体	ダイオキシン吸収抑制 (排泄促進効果)	森田ら 1997
	コレステロール低下作用	藤原ら 1990
クロレラ熱水抽出物	生体防御調節	
	抗腫瘍活性	Konishi <i>et al.</i> 1985
	細菌感染抵抗性	Tanaka <i>et al.</i> 1986
	抗ウイルス活性	Ibusuki & Minamishima 1990
	ニトロソ化合物 (発がん物質) 合成阻害	堀ら 1993
	紫外線防御作用	篠原・竹中 1993

物, 医薬品などと亜硝酸との反応によって容易に生成するという特徴を有している。したがって, この様に生成したニトロソ化合物が, ヒトのがんの原因となっている可能性が非常に高い。

食品に含まれているスベルミジン (二級アミン) と唾液中に含まれる亜硝酸から, マウス胃内で変異活性のあるニトロソスベルミジンが生成されることが報告されている。著者らは, スベルミジンと亜硝酸との反応によるニトロソスベルミジン生成に対するクロレラ熱水抽出物の影響を検討した (堀ら 1993)。その結果, 抽出物の濃度に依存して, ニトロソスベルミジンの生成量は阻害された。クロレラ抽出物が亜硝酸を分解することにより, ニトロソスベルミジンの生成を阻害したことが明らかとなった。

2. 紫外線防御

紫外線の中で, 特にUV-B (280nm ~ 320nm) は, ひどい日焼けを起し, 皮膚の炎症や皮膚がんを引き起こす原因となることは知られている。著者らはUV-Bに不安定な β -カロテンの安定性を指標としてクロレラ熱水抽出物の紫外線防御作用について検討した (篠原・竹中 1993)。熱水抽出物の濃度に依存して β -カロテンの安定性が向上した。熱水抽出物の紫外線防御作用は, 単に紫外線をカットするだけでなく, 紫外線照射に伴って発生するラジカルを消去することによるものと考えられる。

表3 スピルリナの生理機能

生理機能	文献
がんの予防	Mathew <i>et al.</i> 1995
免疫賦活	Hayashi <i>et al.</i> 1994
アナフィラキシー反応抑制	Yang <i>et al.</i> 1997
ダイオキシン吸収抑制 (排泄促進効果)	森田ら 1997
抗ウイルス活性	Hayashi & Hayashi 1996
ヒアルロニダーゼ阻害活性	Fujitani <i>et al.</i> 2001

スピルリナ (*Spirulina platensis*, *S. maxima*)

周知の通り, スピルリナは食経験のもっとも古い微細藻である。JHFA マーク表示スピルリナ食品は約 40 品目ある。

スピルリナはアミノ酸バランスのよいタンパク質 (プロテインスコア:83) を 50% 以上含有することが大きな特徴である。スピルリナについても多くの生理機能が明らかになっている (表3)。

1. 抗ウイルス活性

Hayashiら (1996) は, スピルリナ熱水抽出物より含硫多糖のカルシウム・スピルラン (Ca-SP) を単離し, これが単純ヘルペスウイルス, インフルエンザウイルス, ヒトサイトメガロウイルス, 麻疹ウイルス, エイズウイルス等の増殖を抑制することを報告した。含硫多糖類には抗ウイルス活性が報告されており, イオウ (S) が外れると抗ウイルス活性が認められなくなる。Ca-SPもその例外ではないが, 興味深いことに, 含硫であってもカルシウムが外れると, 抗ウイルス活性を示さない。さらには, スピルリナの種によっては, Ca-SPが存在しないこともわかっている。

2. ダイオキシン吸収抑制 (排泄促進効果)

スピルリナにもクロレラ同様, ダイオキシン (PCDD) 糞中排泄効果が認められた (森田ら 1997)。スピルリナに含まれるクロロフィルと食物繊維によるものと考察されている。

3. ヒアルロニダーゼ阻害活性 (抗アレルギー作用)

ヒアルロニダーゼはI型アレルギーに深く関わっており, アレルギー反応と炎症作用を引き起こすと考えられている。著者らは, スピルリナ熱水抽出物のヒアルロニダーゼ阻害活性を検討した (Fujitani *et al.* 2001)。熱水抽出物の濃度に依存してヒアルロニダーゼ阻害活性を示した。さらに, 熱水抽出物のエタノール不溶性画分に強いヒアルロニダーゼ阻害活性を認め, 活性物質が多糖類で

あろうと推察した。なお、この活性は、抗アレルギー薬として使用されているクロモグリク酸ナトリウム (DSCG) に匹敵する活性であった。

デュナリエラ (*Dunaliella salina*, *D. bardawil*)

デュナリエラ関連商品が市場に出始めたのは1980年半ばで、クロレラやスピリリナに比べて歴史は浅い。日健協においても、デュナリエラ食品としての規格基準は設けられていない。日健協における藻類応用食品の規格基準は、クロレラとスピリリナの2つしかない。しかし、デュナリエラの特徴は、大量に β -カロテンを生産・蓄積することであり、 β -カロテン食品としての規格基準があり、JHFA マーク表示 β -カロテン食品の多くはデュナリエラ由来の β -カロテンを利用している。

デュナリエラ由来の β -カロテンは、合成 β -カロテン (オールトランス型) と異なり、幾何異性体の9-シス型 β -カロテンが約50%含まれる。この存在により、デュナリエラ由来 β -カロテンは合成 β -カロテンに比べて油に溶けやすく、生体内利用性が高いと考えられた。

デュナリエラの生理機能の研究は、デュナリエラ由来の β -カロテンについて検討したものがほとんどである (表4)。

1. 抗腫瘍活性

β -カロテンは、ビタミンA前駆体 (プロビタミンA) としての役割以外に、カロテンとして抗酸化能を示すことが明らかとなり、両者の相互作用による抗腫瘍活性が大きく期待された。デュナリエラ抽出 β -カロテンによる抗腫瘍活性が報告された (Shklar & Schwartz 1988)。その後、Nagasawa *et al.* (1991) は、デュナリエラ藻体を餌に混ぜて動物に与え、乳がんが抑制されることを報告した。著者らは、化学発がん物質によるラット腎腫瘍ならびに膀胱腫瘍に対し、デュナリエラ藻体投与による影響を検討した (竹中1993)。デュナリエラ藻体を1%餌に混ぜて自由摂取させたとき、腎腫瘍ならびに膀胱腫瘍の発生が抑制された。デュナリエラ由来のカロテンの働きによるものと考察される。

2. ヒアルロニダーゼ阻害活性

デュナリエラ熱水抽出物のエタノール不溶性画分に、スピリリナと同様、強いヒアルロニダーゼ阻害活性を認めた (Fujitani *et al.* 2001)。この

表4 デュナリエラの生理機能

生理機能	文献
抗腫瘍活性	Nagasawa <i>et al.</i> 1991
紫外線障害予防	Lee <i>et al.</i> 2000
血管拡張	Yamaguchi <i>et al.</i> 1988
ストレス性潰瘍予防	Takenaka <i>et al.</i> 1993
ヒアルロニダーゼ阻害活性	Fujitani <i>et al.</i> 2001

活性は、DSCG に匹敵する活性であった。

3. 紫外線障害予防作用

Lee *et al.* (2000) は、22名のボランティアに24週間デュナリエラカロテンを投与し、紫外線障害に対する影響を調べた。カロテンの量は8週間ごとに30, 60, 90mg/日と増加させ、6段階の強さの紫外線を同時に1分間臀部に照射し、24時間後、紅斑が認められる最小紫外線量 (MED) を求めた。デュナリエラカロテノイドを摂取することにより、MEDが有意に上昇した。この結果より、デュナリエラカロテンの摂取が、皮膚表面での紫外線障害を予防することが示唆された。

4. ストレス性潰瘍予防

疫学調査により、緑黄色野菜 (β -カロテン) の摂取とストレスとの間に負の相関関係が認められている。また、 β -カロテンには細胞粘膜保護作用のあることが知られている。そこで、著者らは、ストレス性の潰瘍にデュナリエラが有効ではないかと考え、ラット水浸拘束ストレス性胃潰瘍におよぼすデュナリエラ摂取の影響について検討した (Takenaka *et al.* 1993)。デュナリエラを予め2週間自由摂取させたとき、水浸拘束ストレスによる胃潰瘍は有意に抑制された。一方、合成 β -カロテンの投与では抑制されなかった。肝臓中にカロテンが蓄積されており、デュナリエラカロテンは、胃粘膜保護のみならず、ストレスにより生ずるラジカルを消去することにより、潰瘍の発生を防いだものと思われる。

ところで、 β -カロテンの抗腫瘍活性が続々と報告され、また多くの疫学調査により β -カロテンの摂取とがんリスクとの間に負の相関関係が認められたことより、 β -カロテンのがん予防に関する介入試験がフィンランドやアメリカで実施された。しかし、喫煙者やアスベスト従事者の肺がんリスクを逆に高めてしまうという結果が報告され、期待を大きく裏切ることとなった。その後、これら介入試験の試験デザインの不備などが指摘

されるとともに、 β -カロテンのみを大量に摂取することの危険性が強調されるようになった。Umegaki *et al.* (1994) は、ラットに β -カロテンを大量に投与すると、体内のビタミンEが減少することを報告している。 β -カロテンは自ら酸化することによって抗酸化作用を示す。酸化されたオキシカロテンをビタミンEが修復することもわかっている。したがって、 β -カロテンを摂取するときには併せてビタミンEを摂取することが大切である。蛇足であるが、ビタミンEも同様にビタミンCによって修復される。10年程前に医薬品メーカーがACE処方なる商品を競って発売した。これは、カロテン（プロビタミンA）、ビタミンC、ビタミンEの混合商品を意味した。

円石藻 (*Pleurochrysis carterae*)

円石藻（ハプト藻）は、ココリスと呼ばれる炭酸カルシウムの殻を細胞表面に纏うことから、この炭酸カルシウムを利用したカルシウム補助食品が開発されている。円石藻の人工消化率は約97%と極めて消化されやすく、カルシウム供給源として有効であると考えられる。JHFA マーク表示カルシウム食品の中に、円石藻を利用した健康食品が2品目ある。

円石藻は、これまで食経験がまったくなく、ヒトにとっては初めて口にするものである。そこで、変異原性、急性毒性試験、亜急性毒性試験が実施され、食品としての安全性が確認されている（竹中ら 1995, Takenaka *et al.* 1996, Takenaka *et al.* 1996）。

円石藻の生理機能については、残念ながらほとんど研究はなされていない。

1. カルシウム供給源

著者らはヒトにおいて円石藻がカルシウムの供給源となりうるかを検討した。円石藻を用いた食品を作製し、ボランティア10名に数ヶ月間自由に摂取させ、骨伝導音測定により骨の状態を調べた。個人差はあるもののいずれも骨伝導音値が上昇した。これは、円石藻のカルシウムが吸収され、骨形成に使われたものと考えられ、円石藻がカルシウムの供給源となることを確認した。

近年、カルシウムの吸収にはマグネシウムとのバランスが注目されている。しかし、これら以外のミネラルも含めて、ミネラルバランスを重視しなくてはならないと考える。体内ミネラルバラ

ンスを考えると、海のミネラルバランスをそのまま摂取することが望ましい。海水で培養・生産する円石藻は、ミネラルバランスの良いカルシウム供給源であると思われる。

2. ビタミンB₁₂供給源

円石藻を培養する際、培養液中にシアノコバラミン（ビタミンB₁₂）を添加する。ビタミンB₁₂は、ヒト体内では補酵素型ビタミンB₁₂（アデノシルコバラミンとメチルコバラミン）に変換されて機能する。円石藻に蓄積されるビタミンB₁₂は補酵素型ビタミンB₁₂が70%で、極めて有効なビタミンB₁₂供給源であると考えられる（竹中 1999）。

著者らは、ビタミンB₁₂欠乏ラットを用いて、円石藻に含まれるビタミンB₁₂の栄養学的有効性を検討した（Miyamoto *et al.* 2001）。円石藻添加飼料を投与することでビタミンB₁₂欠乏ラットのメチルマロン酸尿症は完全に回復し、肝臓中には補酵素型ビタミンB₁₂が顕著に蓄積された。以上の結果、円石藻に含まれるビタミンB₁₂が栄養学的に有効であることが示唆された。

蛇足ではあるが、スピリリナに含まれるビタミンB₁₂はシュード（pseudo）ビタミンB₁₂でヒトにおいてはほとんど利用できないものである（Watanabe *et al.* 1999）。

ノストック (*Nostoc*)

ノストックの中で、古くから食されてきたものは、イシクラゲ（*N. commune*）、髪菜（*N. flagelliforme*）、葛仙米（*N. sphaericum*）である。中国では、いずれのノストックも販売されているが、特に、髪菜は「発財」とかけて、縁起物として重用されている。

髪菜については、食経験があるが、急性毒性試験、亜急性毒性試験、さらにはマイクロシチンの分析を実施し、食用としての安全性を確認した後、健康食品として開発されている（Takenaka *et al.* 1998, 竹中ら 2000）。残念ながら日健協においては該当する食品項目がないため、JHFA マークの表示までには至っていない。

ノストックの生理機能については、抗菌作用と抗腫瘍活性が多く報告されている（de Cano *et al.* 1990, de Mule *et al.* 1991, Patterson *et al.* 1991, Trimurtulu *et al.* 1994, Falch *et al.* 1995, Jaki *et al.* 2000）。

1. コレステロール低下

イシクラゲを高コレステロール食摂取ラットに投与したところ、血清中コレステロールが有意に低下した (Hori *et al.* 1994)。ノストックは細胞外に多糖類をたくさん蓄積する。イシクラゲの多糖類が食物繊維として働いたと考察されている。また、髪菜投与によってもラットの血清コレステロールが低下することがわかっている。

2. 抗ウイルス活性

葛仙米から単純ヘルペスウイルスに対する抗ウイルス活性物質が、*N. elliposporum*からエイズウイルスに対する抗ウイルス活性物質が単離されている (Knubel *et al.* 1990, Boyd *et al.* 1997)。

また、イシクラゲと髪菜の熱水抽出物についても抗ウイルス活性が認められている。イシクラゲは生息場所によって、抗ウイルス活性が認められないこともあるという。髪菜については、作用機作等の検討が行われているが、これまで抗ウイルス活性が報告されている含硫多糖類ではないことが明らかになっている。

3. 免疫能増強

多糖類には免疫増強能が認められる。著者らは、担腫瘍マウスを用いて髪菜熱水抽出物のマクロファージ活性を検討した (竹中ら 1997)。抽出物の投与により、マクロファージ活性が有意に増強された。

化学発がん物質によるラット大腸腫瘍および腎腫瘍に対して、髪菜の投与がそれぞれの腫瘍の発生口数を減少させ、あるいは増殖を抑制することが明らかとなった (竹中・陳 1998)。これは、コレステロール低下作用とマクロファージ活性が関与しているものと考察される。

ヘマトコッカス (*Haematococcus*)

近年、カロテノイドの一種であるアスタキサンチンを生産・蓄積することで注目を集めている。アスタキサンチンの抗酸化能は、 β -カロテンのそれよりも高いことが分かっており、今後ヘマトコッカス由来アスタキサンチンの健康食品がかなり出てくるものと思われる。別稿で詳述されるので省略する。

アスタキサンチンがヒトにとって非常に有用な栄養素であることは間違いない。だからこそ、 β -カロテン大量投与のような「ばかげたブーム」の二の舞にならないようにと願っている。

アフアニゾメノン (*Aphanizomenon flos-aqua*)

アフアニゾメノンはアメリカオレゴン州クラマス湖に自生したものを採取し、ハードカプセルや錠剤として、アメリカで販売されていた。著者らは日本への輸入を検討したが、スピルリナとの生理機能での差別化ができずに断念した。ところが、1999年マイクロシスチンの問題が発表され、現在は販売されていない。その後の研究で、アフアニゾメノンがマイクロシスチンを蓄積しているのではなく、クラマス湖に生息するマイクロシスチンを持つマイクロシスチス (*Microcystis aeruginosa*) を同時に採取したためであることがわかった (Gilroy *et al.* 2000)。

基礎化粧品

アトピー性皮膚炎等、皮膚に何らかのトラブルを持つ人が多くなってきた。その多くは、身体自体の不健康が皮膚の障害という形で表れてきたものである。しかし、皮膚表面における炎症やバクテリア (黄色ブドウ球菌等) の繁殖には、直接的な対処を必要とする。すでに、微細藻類の抗炎症作用 (ヒアルロニダーゼ阻害活性) については上述したが、その生理機能を利用した基礎化粧品が開発されている。

基礎化粧品に利用されている微細藻類は、クロレラ、デュナリエラ、円石藻、ポルフィリディウム (*Porphyridium purpureum*) である。

クロレラは、保湿成分として以前から化粧品に利用されてきた。デュナリエラと円石藻、ポルフィリディウムは、抗炎症作用の他に黄色ブドウ球菌に対する抗菌活性が認められている。

化粧品については、全成分表示が義務付けられ、表示名称の世界統一化が実施されている。日本においては、まず米国化粧品工業会 (CTFA) が発行している ICID (International Cosmetic Ingredient Dictionary and Handbook) に INCI (International Nomenclature Cosmetic Ingredient) 名として登録され、その後、日本化粧品工業連合会にて審査され、成分名称が決定する。微細藻類の INCI 名を表5に示した。

「病は気から」と言う言葉がある。積極的あるいは楽観的な考え方が免疫能を高め、消極的・否定的な考え方が免疫能を低下させることはよく知られている。特に女性においては、精神的な安定のために毎日喜んで鏡を見られるようにするこ

とも、健康への大切なステップであると考え。健康な素肌が健康な身体を作ってゆく。微細藻類の生理機能を利用した基礎化粧品が健康作りの一役を担ってほしいと願っている。

まとめ

微細藻類の生理機能については多くの研究がなされており、本稿ではその一部を紹介した。そして、これらの生理機能を応用した健康補助食品と基礎化粧品について概説した。

2400年前のギリシャの医者・ヒポクラテスが食べ物と健康の関係について記している。中国では、「上薬・中薬・下薬」という区別があり、最も良い「上薬」は、普段の食べ物であるとしている。洋の東西に関らず、古くから、食べ物に注意することが病気の治療や予防に効果があるとしてきた。「医食同源」である。

微細藻類を毎日の食事の一品として各家庭で食されることが、藻食論の実行であり、医食同源の実施である。そのためにも、微細藻類を低コストで培養・生産してゆくための努力をしてゆかなければならない。これは、微細藻類に関する者としての使命であると考えている。

ところで、石油科学文明と称された20世紀は、環境破壊など負の遺産を残した。そして、その反省から21世紀は植物科学文明にならなければならない。すなわち、化石エネルギーの利用から太陽エネルギーの利用へと移行することである。その意味で、微細藻類は植物科学文明の基盤を築くためのキーワードであると考えている。微細藻類の多岐にわたる研究・開発が今後ますます活発になされ、これらの成果が地球全体に反映されることを切に願っている。

最後に、仏教詩人・坂村真民先生の詩「マイクロアルジェ（生命誕生）」を紹介する。

この大宇宙には いろいろの惑星がある

でも生命の存在する惑星は 今のところ
この地球だけである その地球に 初めて生命を持つものが誕生した それはマイクロアルジェという海藻であり 今もなお生きているのでその研究を続けている所が沖縄の宮古島にありそこに「大宇宙大和楽」の碑が建った
地球に命が生まれた何億年前のものと同じものを造りだそうという 発願を知り わたしは感動した ああ今や人間たちが この聖なる地球を 破壊しようとしている時 海に囲まれた日本よ マイクロアルジェという藻（も）にこもる 宇宙生命の誕生を知ろう

微細藻類について種々ご指導賜ったイリノイ大学・陳学潜先生、藻食論についてご教示賜った三浦昭雄先生に深謝いたします。また、微細藻類の生理機能の研究でご指導賜った山形大学・原慶明先生、高知工科大学・向畑恭男先生、富山医科薬科大学・林利光先生、高知女子大学・渡辺文雄先生、藤田保健衛生大学短期大学・日比野勤先生に感謝申し上げます。

参考文献

- Borowitzka, M.A. 1994. Products from alga. p.5-15. In: Phang, S.M. (ed.) Algal Biotechnology in the Asia-Pacific Region. University of Malaya.
- Boyd, M.R., Gustafson, K.R., McMahon, J.B., Shoemaker, R.H., Okeefe, B.R., Mori, T., Gulaknowski, R.J., Wu, L., Rivera, M.I., Laurencot, C.M., Currens, M.J., Cardellina, J.H., Buckheit, R.W., Nara, P.L., Pannell, L.K., Sowder, R.C. & Henderson, L.E. 1997. Discovery of cyanovirin-N, a novel human immunodeficiency virus-inactivating protein that binds viral surface envelope glycoprotein gp120: potential applications to microbicide development. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy* 41: 1521-1530.
- de Cano, M.M.S., de Mule, M.C.Z., de Caire, G.Z. & de Halperin, D.R. 1990. Inhibition of *Candida albicans* and

表5 微細藻類のINCI名

Microalga	Trade name	Assigned INCI name
<i>Dunaliella salina</i>	Dunaliella and Pleurochrysis	Dunaliella Salina Extract
<i>Pleurochrysis carterae</i>	Extract Powder	Pleurochrysis Carterae Extract
<i>Porphyridium purpureum</i>	Porphyridium Extract Porphyridium Extract Powder	Porphyridium Purpureum Extract
<i>Chlorella vulgaris</i>	Chlorella Extract	Chlorella Vulgaris Extract
<i>Spirulina platensis</i>	Plankton Extract	Spirulina Platensis Extract
<i>Spirulina maxima</i>		Spirulina Maxima Extract

- Staphylococcus aureus by phenolic compounds from the terrestrial cyanobacterium *Nostoc muscorum*. J. Appl. Phycol. 2: 79-81.
- de Mule, M.C.Z., de Caire, G.Z., de Cano, M.M.S. & de Halperin, D.R. 1991. Bioactive compounds from *Nostoc muscorum* (Cyanobacteria). Cytobios 66: 169-172.
- Falch, B.S., Konig, G.M., Wright, A.D., Angerhofer, C.K., Pezzuto, J.M. & Bachmann, H. 1995. Biological activities of cyanobacteria: evaluation of extracts and pure compounds. Planta Med. 61: 321-328.
- Fujitani, N., Sakaki, S., Yamaguchi, Y. & Takenaka, H. 2001. Inhibitory effects of microalgae on the activation of hyaluronidase. J. Appl. Phycol. in press.
- 藤原洋子・平川敬二・新保國弘 1990. 高脂血症患者に及ぼすクロレラ長期投与の影響. 日本栄養・食糧学会誌 43: 167-173.
- Gilroy, D.J., Kauffman, K.W., Hall, R.A., Huang, X. & Chu, F.S. 2000. Assessing potential health risks from microcystin toxins in blue-green algae dietary supplements. Environ. Health Perspect. 108: 435-439.
- Hayashi, T. & Hayashi, K. 1996. Calcium spirulan, an inhibitor of enveloped virus replication, from a blue-green alga *Spirulina platensis*. J. Nat. Prod. 59: 83-87.
- Hayashi, O., Katoh, T. & Okuwaki, Y. 1994. Enhancement of antibody production in mice by dietary *Spirulina platensis*. J. Nutr. Sci. Vitaminol. 40: 431-441.
- Hori, K., Ishibashi, G. & Okita, T. 1994. Hypocholesterolemic effect of blue-green alga, ishikurage (*Nostoc commune*) in rats fed atherogenic diet. Plant Foods for Human Nutr. 45: 63-70.
- 堀昌子・篠原由芽子・竹中裕行 1993. クロレラ熱水抽出物のニトロソアミン生成の阻害. 医学と生物学 126: 179-182.
- Ibusuki, K. & Minamishima, Y. 1990. Effect of *Chlorella vulgaris* extract on murine cytomegalovirus infections. Natural Immunity and Cell Growth Regulation 9: 121-128.
- Jaki, B., Heilmann, J. & Sticher, O. 2000. New antibacterial metabolites from the cyanobacterium *Nostoc commune* (EAWAG 122b). J. Nat. Prod. 63: 1283-1285.
- Knubel, G., Larsen, L.K., Moore, R.E., Levine, I.A. & Patterson, M.L. 1990. Cytotoxic, antiviral indolocarbazoles from a blue-green alga belonging to the Nostocaceae. J. Antibiotics 1236-1239.
- Konishi, F., Tanaka, K., Himeno, K., Taniguti, K. & Nomoto, K. 1985. Antitumor effect induced by a hot water extract of *Chlorella vulgaris* (CE): Resistance to meth-A tumor growth mediated by CE-induced polymorphonuclear leukocytes. Cancer Immunol. Immunother. 19: 73-78.
- Lee, J., Jiang, S., Levine, N. & Watson, R.R. 2000. Carotenoid supplementation reduces erythema in human skin after simulated solar radiation exposure. Proc. Soc. Exp. Biol. Med. 223: 170-174.
- Mathew, B., Snkaranarayanan, R., Nair, P.P., Varghese, C., Somanathan, T., Amma, B.P., Amma, N.S. & Nair, M.K. 1995. Evaluation of chemoprevention of oral cancer with *Spirulina fusiformis*. Nutr. Cancer 24: 197-202.
- Miyamoto, E., Watanabe, F., Ebara, S., Takenaka, S., Takenaka, H., Yamaguchi, Y., Tanaka, N., Inui, H. & Nakano, Y. 2001. Characterization of a vitamin B12 compound from unicellular coccolithophorid alga (*Pleurochrysis carterae*). J. Agric. Food Chem. 49: 3486-3489.
- 森田邦正・松枝国正・飯田隆雄 1997. ラットにおける Polychlorinated Dibenzo-P-dioxins の糞中排泄量に対するクロレラ, スピルリナ及びクロロフィリンの効果. 衛生化学 43: 43-48.
- Nagasawa, H., Sawaki, K., Fujii, Y., Kobayashi, M., Segawa, T., Suzuki, R. & Inatomi, H. 1991. Suppression by beta-carotene-rich algae *Dunaliella bardawil* of the progression, but not the development, of spontaneous mammary tumours in SHN virgin mice. Anticancer Res. 11: 713-717.
- Patterson, G.M.L., Baldwin, C.L., Bolis, C.M., Caplan, F.R., Karuso, H., Larsen, L.K., Levine, I.A., Moore, R.E., Nelson, C.S., Tschappat, K.D., Tuang, G.D., Furusawa, E., Furusawa, S., Norton, T.R. & Raybourne, R.B. 1991. Antineoplastic activity of cultured blue-green algae (Cyanophyta). J. Phycol. 27: 530-536.
- 篠原由芽子・竹中裕行 1993. クロレラ熱水抽出物の紫外線防御作用. 医学と生物学 127: 213-215.
- Shklar, G. & Schwartz, J. 1988. Tumor necrosis factor in experimental cancer regression with alphatocopherol, beta-carotene, canthaxanthin and algae extract. Eur. J. Cancer Oncol. 24: 839-850.
- 竹中裕行 1993. 動物発がんに対するデュナリエラ天然カロテンの効果. カロテン効果研究会誌 10-11.
- 竹中裕行 1999. ビタミンB12およびカルシウム供給源としての円石藻. ビタミン 73: 615-616.
- 竹中裕行 2000. 髮菜(*Nostoc flagelliforme*)のマイクロシステン分析. 医学と生物学 141: 155-157.
- 竹中裕行・陳学潜 1998. 陸生藻髮菜 *Nostoc flagelliforme* (藍藻) の生育観察と食用としての機能性. 藻類 46: 37-40.
- 竹中裕行・樋渡武彦・山口裕司 1995. 円石藻 (*Pleurochrysis carterae*) の食用化に関する研究. 医学と生物学 130: 49-52.
- 竹中裕行・隅谷利光・伊藤均 1997. 髮菜(*Nostoc flagelliforme*)熱水抽出物の担腫瘍マウスのマクロファージ活性. 医学と生物学 135: 231-234.
- Takenaka, H., Takahashi, H., Hayashi, K. & Ben-Amotz, A. 1993. Protective effect of *Dunaliella bardawil* on water-

- immersion-induced stress in rats. *Planta Med.* 59: 421-424.
- Takenaka, H., Yamaguchi, Y., Sakaki, S., Watarai, K., Tanaka, N., Hori, M., Seki, Tsuchida, M., Yamada, A., H., Nishimori, T. & Morinaga, T. 1998. Safety evaluation of *Nostoc flagelliforme* (Nostocales, Cyanophyceae) as a potential food. *Food and Chemical Toxicol.* 36: 1073-1077.
- Takenaka, H., Yamaguchi, Y., Teramoto, S., Tanaka, N., Hori, M., Seki, H. & Hiwatari, T. 1996. Evaluation of the mutagenic properties of the coccolithophore *Pleurochrysis carterae* (Haptophyceae) as a potential human food supplement. *J. Appl. Phycol.* 8: 1-3.
- Takenaka, H., Yamaguchi, Y., Teramoto, S., Tanaka, N., Hori, M., Seki, H., Nishimori, T. & Morinaga, T. 1996. Safety evaluation of *Pleurochrysis carterae* as a potential food supplement. *J. Mar. Biotechnol.* 3: 274-277.
- 田村行弘・西垣進・真木俊夫・嶋村保洋・直井家寿太 1978. 光過敏症皮膚炎を起こしたクロレラ錠に対する生物. 化学試験について. *食品衛生研究* 28: 753-759.
- Tanaka, K., Koga, T., Konishi, F., Nakamura, M., Mitsuyama, M., Himeno, K. & Nomoto, K. 1986. Augmentation of host defense by unicellular green alga, *Chlorella vulgaris*, to *Escherichia coli* infection. *Infection and Immunity* 53: 267-271.
- 館脇正和 1997. 海からの健康“藻食論”. *海苔と海藻* 53: 1-11.
- Trimurtulu, G., Ohtani, I., Patterson, G.M.L., Moore, R.E., Corbett, T.H., Valeriote, F.A. & Demchik, L. 1994. Total structures of cryptophycins, potent antitumor depsipeptides from the blue-green alga *Nostoc* sp. strain GSV 224. *J. Am. Chem. Soc.* 116: 4729-4737.
- Umegaki, K., Takeuchi, N., Ikegami, S. & Ichikawa, T. 1994. Effect of beta-carotene on spontaneous and X-ray-induced chromosomal damage in bone marrow cells of mice. *Nutr. Cancer* 22: 277-284.
- Watanabe, F., Katsura, H., Takenaka, S., Fujita, T., Abe, K., Tamura, Y., Nakatsuka, T. & Nakano, Y. 1999. Pseudovitamin B₁₂ is the predominant cobamide of an algal health food, *Spirulina tablets*. *J. Agric. Food Chem.* 47: 4736-4741.
- Yamaguchi, K., Kawamata, M., Murakami, M., Konosu, S. & Ben-Amotz, A. 1988. Extractive nitrogenous components of the halotolerant alga *Dunaliella bardawil*. *Nippon Suisan Gakkaishi* 54: 239-234.
- Yang, H.N., Lee, E.H. & Kim, H.M. 1997. *Spirulina platensis* inhibits anaphylactic reaction. *Life Sci.* 61: 1237-1244.

(MAC 総合研究所)