海洋バイオテクノロジーの現状と将来

協和醸酵工業(株)研究開発本部 農学博士 今 田 克

Marine biotechnology
—Today and Tomorrow—

Osamu Imada

Research & Development Division, KYOWA HAKKO KOGYO CO., LTD.

協和醸酵工業(株)の今田でございます。今日は「海洋バイオテクノロジーの現状と将来」ということで話をさせて頂き、光栄に存じております。

海洋バイオテクノロジーという言葉は目新しい言葉ですが、海洋生物学とニューバイオテクノロジーの結合といった意味でありまして、今迄陸上の動植物、微生物に限られていたニューバイオテクノロジーを海洋生物に援用したらどのような新しい展開がはかれるだろうかというコンセプトに基いた研究の方向を示すものと御理解いただきたいと存じます。

表1に示したのはバイオテクノロジーの流れでありまして、第一世代は過去の、そして第二世代は現在進行中のバイオテクノロジー技法と、それによって得ら

れた成果を示しました。そして更に、これから近未来に現れるであろう新しい技術手法と、期待される成果を第三世代のバイオテクノロジーとして示しました。この中で蛋白工学やバイオエレクトロニクスは、既往の技術を更に前進せしめ、新しい産業への応用を開くものであるのに比して、海洋バイオは植物工学、動物工学と似た技術体系で、既往の技術を新しい生物種に適用するところに特徴があると考えられます。すなわち前者が縦方向の進展だとすると、後者は横への拡がりであるといえましょう。特に、海洋生物を対象とするのは海洋生物の拡がりや陸上の動植物よりも広いと考えられるので、興味ある対象となりうるでありましょう。

表1 バイオテクノロジーの流れ

	手段の特長	成 果 (期待) 例
第一世代	無菌培養法 通気攪拌培養法 代謝制御発酵	醸造食品(清酒, 味噌, 醤油) エタノール, クエン酸, 酵素 抗生物質, パン酵母 アミノ酸, 核酸関連物質
第二世代	バイオリアクター 遺伝子組換え 細胞融合 細胞培養	異性化糖, アミノ酸, エタノール ヒト(インシュリン・成長ホルモン・TPA), 魚(成長ホルモン) バイオワイン, モノクローナル抗体, 植物新品種 植物細胞(カルス→人工種子, 成長点培養), 動物細胞
第三世代	蛋白工学 植物工学 動物工学 バイオエレクトロニクス 海洋バイオ	改造蛋白質 新品種(耐病, 耐農薬性付与) トランスジュニクアニマル バイオ素子, バイオコンピューター 新規化学物質・新規海洋生物機能

さて、若干脱線するかもしれませんが、何故今バイオなのかという事を少し考えてみたいと存じます。第一に我が国の現状は世界第一の経済大国という事で貿易収支も、大幅な黒字を計上していますし、円高はあつという間に120円台になって定着してしまっておりす。しかもなお貿易は黒字というのですから、これは大へんな実力になったと言わざるを得ません。しかし一方で、この円高が日本の第一次産業に与えた影響というものは非常なものでありまして、おそらく日本の農林業で海外のそれと対等で競争できるものはや無いに等しい状況だろうと思われます。

例えば、今日は紙パルプ技術協会の会でして、多くの参加会社が山林をお持ちだと存じますが、山林経営は今や危機的状态だというのは、よく言われる所であります。先日、日田杉で著名な日田市で講演をした時に組合長が言われた言葉は「日田市は70~80%が山林なのに山林専門者は僅か300人、人口4万人の1%に満たないのだ」ということと、高齢化が顕著で後継者の居ないという問題でありました。

農業においても減反、牛肉、オレンジ問題とすべて負のベクトルの話ばかりであります。このような状況の下で、我々生物にかかわる技術者が何の役に立つか、何を考えるべきかが折々話題となつてまいります。

これに対してバイオテクノロジーは一つの新しい方向を与えてくれるのではないかというのが私の考えであります。例えば、写真1、2はテッポウユリのウイルスに罹病したものと、正常なものを示しています。罹病球根は外見上何も異常はありませんが、開花する事も少なく、また甚しい時は写真の様に葉までちぢれてしまいます。私共はこのテッポウユリ球根の主産地である鹿児島県沖永良部島から救いを求められて、7

年前から組織培養による生長点培養球根（これはウイルスフリーになっているのですが）の増殖を手がけ、これに成功し、今日ではこの島は600万球の球根を海外に輸出するまでに回復しております。一時は4,000万球を輸出していた島ですから、まだ十分とは言えませんが、しかし完全に輸出停止をさせられた時期から考えれば大へんな復活ぶりと言うべきでしょう。図1に示したのは、ウイルスフリー球根をどう採取し、増殖するかを示したスキームです。

ウイルスフリー化した苗や球根の生産は既にぶどう、イチゴややまいも、こんにゃくなど根菜、果菜類でも組織培養による生長点増殖を中心に日本各地で実行されています。しかし、ここで問題なのはこのコストです。女子労働費は我が国の場合、最低でも1日当たり8,000円前後ですが、クリーンベンチの前でこの作業をさせると6時間/日が限度でして、1球当りの人件費が50円位になってしまう事がままあるわけです。これは球根や苗の値段にも匹敵するので、組織培養は技術的には必須ではありますが、採算的には苦しいのが現状でありまして、私共はこれを無人化、ロボット化することに今工夫を凝らしているわけです。明後年の花と緑の博覧会にはこのロボットを展示する予定であります。また例えば、日本産の小麦は製パン性においてカナダ産に劣るとされてきましたが日本産小麦粉の改質もフォスフォリパーゼという酵素で処理した磷脂質を与えることで起泡性を改善できることが分かってまいりまして冷凍ドウ（パン種を仕込んだ小麦粉ペーストの状態）等の技術と合せて、製パン界の合理化も果せるであろうと思われます。正にバイオテクノロジーを活用することで可能なのであります。

即ち、日本の農林業は円高基調の中で目下苦戦を強

写真1 (正常)

写真2 (病症)

図 1 液体振とう培養法を用いたエリの急速増殖技術
(Takayama and Misawa, 1983 より)

いられていますが、バイテクという武器をうまく使って、ロボットなどの新素材、新技術を援用することによって、国際競争力をつけ得るものと考えています。この事は印旛沼干拓入植者組合の理事長兼坂 祐氏などの考えている大型農業（中公新書 わが農業革命参照）ということに通じるといえますし二毛作の復活を可能とする技術背景でもあります。

第二に我が国の高齢化はたいへん急ピッチで進んでおり、既に欧米先進諸国を追い抜いて女性は、82才が平均寿命といわれるまでになってきました。しかし筑波大の鈴木教授の言われるごとく、健康な長寿こそ希求さるべきもので、寝たきりの長寿は決して喜ぶべきものではないにもかかわらず、現実には自立できない高齢者が5年余りの年月を過ごしているのです。当然のことではありますが、我々はその直前まで健全で活動できる五体を持ちたいと考えるわけであります。

ところで、最近、新栄養学を提唱する方々がありまして、日経バイオインテリジェンスには、共立女子大の高宮教授や阪大の田中教授が“最先端の栄養学とは不老長寿の栄養学だ”と論じております。即ち、従来の栄養学は蛋白質、脂肪、炭水化物、ビタミン、ミネラルを栄養素とし、これらの栄養素のバランスと全カロリーを算出して栄養価を決めておりましたが、飽食の時代の栄養学は、むしろ蛋白質なり脂肪なりを構成しているアミノ酸や脂肪酸の配列までを掘下げて、考えるようになってきているわけであります。

例えば、グルタチオンはL-γ-グルタミル-L-システイニルグリシンというアミノ酸3基の低分子ペプチド

ですが、生体内では強い環境調節因子として、酸化反応によって生ずる過酸化物を無害物質に置換しています。このものは二日酔に有効だと肝機能を強化できるなど、巷間でささやかれています。私共はこれを魚の肝臓薬として開発いたしました。即ち、出荷一週間前から、この薬剤を餌にまぜてハマチに食べさせると、生きのいいハマチになるのだそうで、市場でのセリ値段が割高となり、生産者は充分薬品代を回収できるのだそうでありますが、正にアミノ酸ではなく、その配列によって出来たペプチドが有効なのであります。

この様に新栄養学にしたがって、蛋白質や脂肪の中身を吟味し、その優劣を検討してまいりますと、魚介類は牛豚肉よりも多くの面で成人病の起因果素の少ないすぐれた栄養物であることが分かります。例えば、蛋白質では表2に示すように、筋基質蛋白質が顕著に少なく、消化性の良い筋形質（水溶性）蛋白質や筋原繊維蛋白質が多いことが分かっていますし、脂肪については高度不飽和脂肪酸であるエイコサペンタエン酸（EPA, C_{20:5}）ドコサヘキサエン酸（DHC, C_{22:6}）などが魚介類に存することが分かっています。エイコサペンタエン酸はプロスタグランジンHの前駆体として、血小板凝集阻止に作用すると言われ、血栓等の発生予防に有効だそうですし、血圧降下機能があるといわれます。ドコサヘキサエン酸は脳内へ蓄積して、知能中枢に作用し、学習や記憶に関与するといわれています。東北大学の藤本教授らが経口投与実験をしておられますが、図2はネズミにドコサヘキサエン酸を食べさせた時の学習力の消長をみたもので、明らか

表 2 海洋生物固有の蛋白質

	所 在	蛋白質の性質				
魚 肉 蛋 白 質	魚類筋肉	%	筋形質蛋白質	筋原繊維蛋白質	アルカリ可溶区	筋基質蛋白質
		ウサギ	28	52	4	16
		タラ	21	70	6	3
		サバ	38	60	1	1
不凍性糖蛋白質 (Antifreeze glycoprotein)	アイナメ	NH ₂ -(Ala-Ala-Thr) _n -Ala-Ala-COOH D-Gal-(β,1,3)-N-Acetyl-Gal-NH ₂ 分子量 32,000～2,640				
発 光 性 蛋 白 質	オワンクラゲ	<p>エクオリン</p> <p>光</p> <p>Ca²⁺</p> <p>Ca²⁺</p> <p>アポエクオリン</p> <p>セレンテラミド</p> <p>遊離</p> <p>セレンテラジン</p> <p>分子量約20,000</p>

図 2 ラットの Y-迷路明暗弁別餌とり行動学習成績

にドコサヘキサエン酸を摂食した区のネズミは記憶力がすぐれております。

これらの報告は我々に健全な長寿とは、すぐれた栄養物によって与えられるのではないかという事を推測させます。多くの学者が老化ということを議論しておりますが、老化とは、細胞が時々刻々再生されてゆく時に完全に再生できずに何等かの不利が蓄積してゆくことに起因すると言われております。またその不利は

多くは酸素に起因するものと言われていて、上述のグルタチオンなどは正にその調節因子として重要なものだろうと言われております。

このように私どもはバイオテクノロジーを駆使することによって、長寿についてあるいは、健康について種々の情報を取得することができつつあるわけで、その中から魚介類の高齢者に対する有用性が栄養学的にも認められてきたわけです。以上の二つ即ち国際化と高齢化が今何故バイオかの問いに対する回答であります。

このような背景の下に海洋バイオを考えてみたいと存じます。ご承知のように我が国は世界最大の水産物消費国であり、年間の漁獲高は約1,200万t、全世界漁獲量の13.7%を占めております。しかし、我が国の水産は200海里専管問題から日ソ、日米の漁業交渉、あるいは捕鯨禁止といった世界の大勢に圧倒されて、漁業可能域は削減される一方です。今はソ連もアメリカも自国で漁獲し日本に売っていますが、いずれは、彼らも魚の栄養価値を認め、自国消費に回すことは必至でありましょう。例えば、NIHが出したアメリカの標準食品摂取表では牛肉を減じて鶏や魚肉を摂取することを推奨しています。これが皮肉にも牛肉問題の発端だとも言われますが、アメリカにおける日本食ブーム特に Sushi restaurant の流行や、ソ連のイワシ加工船

表 3 世界各国の国土面積と経済水域面積

国 名	国 土		200カイリ経済水域			大陸棚の 面積(km ²)
	面積(km ²)	順 位	面積(km ²)	順 位	国土面積 との比率(%)	
ソ 連	22,403,500	1	4,491,600	6	20	1,700,000
中 国	9,594,400	2	963,830	22	10	2,500
カ ナ ダ	9,221,020	3	4,699,100	5	51	935,000
ア メ リ カ	9,202,580	4	7,621,460	1	83	1,700,000
ブ ラ ジ ル	8,510,240	5	3,169,300	8	37	610,000
オーストラリア	7,686,880	6	7,008,500	2	91	2,000,000
イ ン ド	3,053,600	7	2,015,470	12	66	414,868
アルゼンチン	2,807,870	8	1,164,500	18	41	1,030,000
ス ー ダ ン	2,505,830	9	91,600	87	4	9,800
サウジアラビア	2,400,930	10	186,250	66	8	123,000
インドネシア	1,490,420	17	5,410,140	3	363	1,382,000
ニュージーランド	268,680	63	4,834,600	4	1,799	212,000
日 本	369,760	53	3,862,200	7	1,045	233,000
メ キ シ コ	1,973,360	13	2,852,050	9	145	388,000
チ リ	740,740	37	2,288,840	10	309	185,000

(資料)Neptune, 1975.

(資料) 海洋産業研究会資料(1975年)

図 3 日本の 200 カイリ経済水域想定図

の寄港などは、彼らが遠からず魚肉常食に転ずるであろうことを予告するものでありましょう。

また東南アジア諸国ではエビの養殖が爆発的に伸びております。これは従来食用にしていた魚介類を輸出品に変えた事を意味しますが、代替の魚介類はおそらく外洋に求められ、ここでも我が国はしめ出される結果となりましょう。ところで表 3 に示すように、各国の国土と経済水域、大陸棚面積は大差があって、我が国は地球上の 0.3% の国土しか有しませんが実に国土

の 10.45 倍の経済水域を図 3 で分かる通り南北に長い水域として持っております。この海域は比較的深い海域で養殖には不適な海域であります放流増殖対象域であり、この活用は当然考えねばなりません。

我が国のサケの放流増殖事業は世界的にも著名で、シロザケを、昭和 60 年代には、毎年稚魚 20 億尾を放流し、4,000 万尾(14t)の親魚の回遊を得るようになっており、量的にも回遊魚の 70~80% が放流魚と推定されています。しかし、シロザケという魚は残念ながら商品としての利用域が狭く、これ以上の漁獲は市場がないと思われます。一方でサクラマスは河川滞留が 1.5 年もあるが、降海後 1 年で回帰するので、回帰率が高く、肉質もすぐれているので市場価値の高い魚であります。そこで、何とか河川滞留を 6 ヶ月位に短縮できないかが研究者の念願であります。私共が北里大学と共同

写真 3 sGH 大腸菌内の顆粒

写真 4

図 4 ニジマスに成長ホルモンを投与した時の魚体の成長度合

で開発した大腸菌を用いた遺伝子組替法によるサケの成長ホルモン生産は、このような要求に適する資材でありまして、海洋バイオ研究の嚆矢となったわけでありまして（写真3）。

写真4は7週間にわたる、サケ成長ホルモン投与の成果を示すもので、魚種はニジマスですが、魚の脳下垂体より抽出した成長ホルモン投与区をn-sGH、大腸菌で得た成長ホルモン投与区をr-sGH区とし、対照区は海水を注射しております。図4はこの時の増重、増体長を対比数で示していますが明瞭な有意差が認められます。

サクラマスについての結果も、ぼつぼつ得られておりまして、高水温飼育と成長ホルモンの組合せがかなり良さそうです。サクラマスは、ほぼ我が国の200海

図 5 海洋生物の系統樹

（化学増刊 111（1987・8）海洋天然物化学より）

里内で生長するのでこの点でも面白いですし、日本海側の各河川で放流すれば新しい産業も生まれるであります。

以上は海洋バイオの1例として魚への応用を示したわけでありまして。しかし、海洋生物は実に多種多様でありまして、陸上の動植物に比べて10倍以上の30門50万種の生存量を誇っているものでありまして図5はハワイ大学のP. J. Scheuerが作った系統図を訳したのですが、この中で、我々はごく一部の魚介類を主として食用に供しているに過ぎないのであります。

例えば、エビやカニの殻の主成分であるキチンはグルコサミンの高重合体であります、生理的に安定で、しかも哺乳動物の組織に入れても拒絶反応を生じないので、医用材料として注目されております。表4はキチンの構造とその生体反応性を示しましたが、CM-キチンはかなり物性的には改良されていて、しかもマクロファージの生長抑制が少ないので注目されましょう。

海藻類の多糖類は表5に示したように、各種のものがあありますが、構成糖や結合様式が陸上の生物とはかなり異なり、したがって物性も非常に異なっております。例えば、寒天はD-ガラクトースと3・6アンヒドロ

表 4 キチン キトサンの構造と生体反応性

キチン繊維紙の性能	破砕率 (KPam ² /g)	耐折度 (回)	伸度 (%)	マイロファージ活性化能	
				%細胞障害	%生長抑制
キチン	1.10~0.65	3~13(500g)	1.1~1.3	2.5±3.0	58.2±1.3
CM-キチン(低置換度)	1.36~0.87	6~32(500g)	1.1~2.7	53.0±4.0	58.3±2.0
コントロール				1.0±5.6	38.9±3.9

(戸倉清一: キチンキトサン利用現状と展望)

表 5 海藻多糖類の化学構造

ガラクトースの β -1,4結合したアガロピオース単位と、これとD-ガラクトースが α -1,3結合するネオアガロピオース単位とが交互に結合してアガロースを作り、一方これらに硫酸等の酸基が結合してアガロペクチンを作っているといわれます。アガロースとアガロペクチンは構成のちがいによって物性を異にするのですが、従来は分別が困難でありました。しかし液体クロマトグラフなどでこれを分画することにより、それぞれの特徴が分りアガロースは電気泳動ゲルとして多用されるようになりました。この例などは正に海藻多糖類の新しい活用でありまして、同種のことはカラゲナンの各異性体、アルギン酸のM・G各ブロック等でも工夫すれば未知の性能を得ることができるものと思われます。表には一般的な用途を併記しておきました。

海洋生物はさまざまな体色を有しており、その色素源は多種多様であると思われます。表6にはカロチノイド色素についてのみ示しましたが、代表例として β -カロチンの構造を示し、他は異なっている所のみを図示しました。しかし未同定の色素や蛋白と結合した複合色素も沢山あるので、今後、沢山の色素材が見つかるであろうと推測されます。

蛋白質では表2に2, 3の面白そうな蛋白質を例示しました。例えば発光性蛋白質ではオワンクラゲのエリオリンを示しましたが、 Ca^{++} の出入りによって発光するので分析系にも使えるだろうと思われます。また不凍性蛋白は凍傷防止や魚肉の冷凍保存に使えないかという意見がきかれます。

このように、海洋生物の構成成分には、従来、工業的利用を考えなかったために放置されているものが少なくないと考えられます。フグ毒や、貝毒などの研究からは多くの新しい化学骨格物質が見つっていますし、海洋微生物は特殊環境下でも生存し、特異な生理をもっております。フランスの深海艇ノチル号が見つけた鉄バクテリアや貝類など御記憶の方も多かろうと思います。

このような多種多様な海洋生物のもつ有用物質を工業的に利用する道はないだろうか、ニューバイオテクノロジーの技術を用いて何とか工業的生産へつなげられないだろうか…という期待をかけて、新しい研究所が今生まれようとしております。これは通産省が新たに組織を作りました「新エネルギー産業技術総合開発機構」(新 NEDO)が実施する研究基盤整備事業の一つ

表 6 海洋生物の色素 (カロテノイド)

代表例
β -カロテン			
動物名	分類項目		
海綿動物	種により異なる
腔腸動物	イソギンチャク	種により異なる(アクチノエリスリン
	サンゴ類	アスタキサンチン	
環形動物	多毛類	アスタキサンチン	
棘皮動物	ヒトデ類	アスタキサンチン	
	ウニ	エキネノン
軟体動物	貝類	季節変化 ミチロキサンチン
節足動物	甲殻類	アスタキサンチン	
魚類	(赤色魚)	アスタキサンチン	
	(黄色魚)	ツナキサンチン
		ルテイン

表 10 研究分野(例)

研 究 分 野	項 目
1) 海洋微生物の採取・保存技術の開発	1 a) 海洋微生物保存技術の開発 1 b) 深海微生物採取技術の開発 1 c) 海洋微生物コレクションの確立
2) 海洋生物の新規有用物質の探索	2 a) 海洋生物の新規有用物質の探索 2 b) 海洋有用物質の特性評価 2 c) 海洋有用物質の開発評価
3) 海洋微生物の育種・改良技術の開発	3 a) 既存育種・改良技術の海洋微生物への応用研究 3 b) 有用物質の高効率生産を目的とした海洋微生物の育種・改良技術の開発 3 c) 海洋微生物の新規有用機能の高発現を目的とした育種・改良技術の実用化研究
4) 海洋生物の細胞培養技術の開発	4 a) 海洋生物の細胞培養の基礎技術の確立 4 b) 海洋生物の優良培養細胞株の育成・保存技術の確立 4 c) 海洋生物の小規模スケールでの安定培養技術の確立
5) 海洋天然物化学	5 a) 海洋生物のケモタキソノミー 5 b) 海洋生物の生理活性物質等有用物質の化学構造研究 5 c) 海洋生物の生理活性物質等有用物質の化学合成または化学修飾
6) 海洋生物成分の分離精製技術の開発	6 a) 海洋生理活性物質の分離精製技術の開発 6 b) 海洋新素材物質の分離精製技術の開発 6 c) 海洋生理活性物質・新素材物質の中規模分離精製技術の開発
7) 海洋生物の新規有用機能の探索	7 a) 海洋微生物の新規有用機能の探索 7 b) 特殊環境海洋微生物の新規有用機能の探索 7 c) 海洋無脊椎動物の新規有用機能の探索
8) 海洋生物の機能の解明とその応用技術の開発	8 a) 海洋微生物の新規有用機能の再現技術の確立 8 b) 海洋微生物の新規有用機能の機構の解明とその応用研究 8 c) 特殊環境海洋生物の新規有用機能の再現技術の確立
9) 海洋バイオ研究支援ハードウェア等の開発	9 a) 海洋生物の細胞培養支援システム 9 b) 海洋微生物の新規有用機能の再現支援システム 9 c) 特殊環境海洋生物の新規有用機能の再現支援システム
10) 資源生物の未利用部分の活用技術の開発	10 a) 新規生理活性物質の探索 10 b) 新素材の探索 10 c) 新規生理活性物質・新素材の中規模分離精製技術の開発
11) コンピューター支援システムの研究開発	11 a) 有用物質・有用機能データベースの構築 11 b) 分子構造シミュレーションシステムの構築 11 c) 物質循環シミュレーションシステムの構築

に比してはるかに多様性に富んだ生物資源が膨大に存在している。その生命システムを解明して、工業化を図ることで、現在のバイオテクノロジーのフロンティアを大きく切り拓き、人類に新しい技術分野と産業基盤を提供する”というものであります。また要素技術別概要では有用物質の生産技術の研究開発、有用生体機能の利用技術とその支援システムの三つに分かれており、いずれも海洋生物資源の活用をうたったものであります。更にその詳細は表 10 の研究分野にまとめ項目別に分類されておりますが、やり方としては表 11 の研究プロセス例でみて頂ければよろしいかと考えます。即ち、採取保存から始まって、分離精製にいたる有用物質の探索研究と、利用システム化まで展開している有用機能の利用とに大別されております。

この研究所は解放型の研究所であって世界に広く人材を求め、設備を貸与することになっております。今日、お集まりの各社の中からも海洋生物に目を向けて共同でやろうじゃないかといわれる方々の出ることを

希望する次第です。

最後に海についても一度振り返ってみたいと思います。

表 12 に海の深さ、面積、容積を示しました。海は廣大無辺であると申しますが、確かに広いにはちがいありませんが、無辺ではなく限られた空間を占めている水塊でありまして、地上最大の存在でありましょう。しかも、そこには食塩をはじめとして非常に多種の元素を含有しておりまして、表 13 に示した元素を全部集めると生物体に必須な元素は全部含まれているのだそうでありまして、この意味からも海は生命の母といえるのであります。

ところで、最近ではアマゾンの開発によって植物の炭素同化作用量が減退し、地球の大気がおかしくなるのではないかという危険がさやかれています。しかし、表 14 に示したような試算をしてみますと、海さえ健全であれば、アマゾンの炭素同化作用が 0 になったとしても安定した環境を維持できる、そんな力を海は持って

表 11 研究プロセス (例)

いることが分かります。海は地球を、そして我々を守ってくれてくれる母なるものなのであります。どうか海を大切に、そして有効に利用してゆくようお互いに力を合せてゆきたいと願っておりますし、バイオテクノロジーもそのような扱い方をすべきだろうと思っています。御静聴を感謝いたします。

表 12 海の深さ・面積・容積

	面積 (10^6km^2)	容積 (10^6km^3)	平均水深 (m)
日本海	1.008	1.361	1,350
ベーリング海	2.268	3.259	1,437
オホーツク海	1.528	1.279	838
東シナ海	1.249	0.235	188
太平洋 (縁海を含む)	179.679	723.699	4,028
大西洋 (縁海を含む)	106.463	354.679	3,332
インド洋 (縁海を含む)	74.917	291.945	3,897
全海洋 (対地球%)	361.0 (71%)	1,370.0	3,795

(宇田道隆「海」より)

表 13 海水中の塩類・元素

A. 海水中の主要塩類	組成(g/l)	百分率(%)
NaCl	27.21	77.74
MgCl ₂	3.81	10.89
MgSO ₄	1.66	4.74
CaSO ₄	1.26	3.60
K ₂ SO ₄	0.86	2.46
CaCO ₃	0.12	0.34
MgBr ₂	0.08	0.23
全塩分	35.00	100.00

B. 微量成分元素

Si, F, N, Al, Rb, Li, P, Ba, I, As, Fe, Mn, Cu, Zn, Pb, Se, Cs, U, Mo, Th, Ce, Ag, Va, La, Y, Ni, Sc, Hg, Au, Ra, Cd, Cr, Co, Sn, etc.

(宇田道隆「海」より再録)

表 14 海洋の全生産量とアマゾンの比較

	面積 (km^2)	[%]	全生産量 $\text{gC}/\text{m}^2/\text{年}$	年間生産量 (10^9tc)
大 洋	3.26×10^8	[90]	50	16.3
沿 岸 域	3.6×10^7	[9.9]	100	3.6
湧 昇 域	3.6×10^5	[0.1]	300	0.1
海洋合計	3.624×10^8	[100.0]	—	20.0
アマゾン 地域	1.56×10^6		40	6.2

「海の微生物」長谷川武次外大日本図書
(ファインサイエンスブック)
「森」赤井滝夫外共立出版(共立科学ブック)
より再計算作表