

境下で微妙なバランスを保っている。地表面植生の破壊のような外的擾乱で、融解が促進されることがある。極地カナダの北極海沿岸や、シベリアの北極海沿岸では、海岸に露出している地下水が大規模に融解し、海岸線の後退が進んでいる。極地カナダ (Banks 島) での観測によれば、年間 10m 以上海岸線が後退しているが、その原因は地下水の融解であると報告されている。(Lewkowitz, 1987)。東シベリアのコリマ川デルタ地域でも、地下水が融解し、大量の細粒物質が沿岸海洋へ拡散している。ヤクト語でこうした永久凍土の融解をエドマ (Edoma) と呼んでいる。こうした永久凍土の融解で、海岸線の後退、あるいは沿岸低地の海面下への沈水が生じようとしている。いつごろから、どの程度の融解が進行しているのか、まだ十分に調査されていないので不明な点が多い。

永久凍土は外的な環境と微妙なバランスを保っているので、気候環境の変動へはいち早く応答する。その意味で、地球規模の気候変動を察知する鋭敏なセンサーの役割をもっている。今後の研究の成果に期待したい。

引用文献

- Ager, T.A., 1982: Vegetation history of western Alaska during the Wisconsin glacial interval and the Holocene. *Palaeoecology of Berigia*, ed. D. Hopkins, Academic Press, New York, 75-93.
- Climap Project Memers, 1976: Surface of the Ice-Age Earth, *Science*, 191, 1131-1137.
- 福田正己, 1980: 永久凍土圏, 月刊地球, 2, 221-227.
- _____, 1989: ビンゴー永久凍土地域の生きている地形一, 科学, 59, 145-152.
- Lewkowitz, A.G., 1987: Nature and importance of thermokarst processes, sand hills moraine, Banks Island. Canada, *Geografiska Annaler*, 69A, 321-327.
- Mackay, J.R., 1971: The origin of massive icy bed in permafrost, western arctic coast, Canada *J. Earth Sci.*, 8, 397-422.
- 阪口 豊, 1984: 寒冷地域の気象変化, 寒冷地域の自然環境, 福田・野上・小崎 編, 北海道大学図書刊行会, 183-212.

306 (プランクトン; エルニーニョ; 赤潮)

4. 海洋プランクトン*

寺 崎 誠**

1. はじめに

海洋は全地球表面の約70%を占めるが、この世界には無数の生物がひしめいている。これらの海洋生物は生態学的に大きくプランクトン (Plankton), ネクトン (Nekton), ベントス (Benthos), 海洋細菌 (Bacteria) に区分することができる。そもそもプランクトンという名称はギリシャ語の放浪者という語から由来したもので、1887年にドイツの Hensen が初めて提唱したものである (Hensen, 1887)。

プランクトンは水中に浮遊して生活する独特の生物群で、動植物の両者を含み、その形態は比較的小さく、運動能力はすこぶる弱いか、または全く運動能力を欠き、移動は水の流動に支配される。また、ベントスやネクトンの中にも幼生期をプランクトンとして過ごすものも極

めて多い。近年、プランクトンネットで採集される小型魚類や遊泳性エビ類はマイクロネクトンと呼ばれるようになった。プランクトンの大きさも小は数 μm の単細胞生物から大は直径 1 m 以上もあるクラゲ類までさまざまであるが、顕微鏡的な大きさのものが種類数においても、量のうえからも多い。プランクトンの大きさは第1表に示すように超微小プランクトン、微小プランクトン、小型プランクトン、中型プランクトン、大型プランクトン、巨大プランクトンの6つに区分される (Cushing *et al.*, 1958; Dussart, 1965)。超微小プランクトン、微小プランクトンの大部分は海洋細菌か植物プランクトンであり、中型プランクトン以上はすべて動物プランクトンである。

2. 海洋の基礎生産量

海洋の生産量とは、一定面積の海面下で一定時間に生

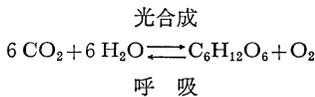
* Marine Planktons.

** Makoto Terazaki, 東大・海洋研究所.

第1表 プランクトンの大きさの区分

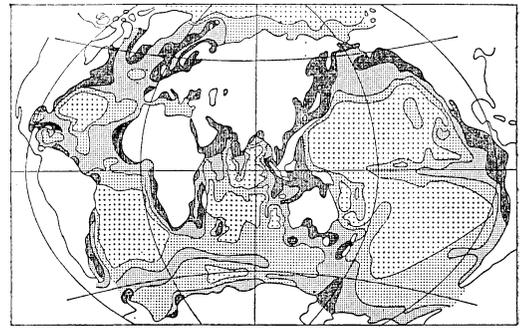
大きさの区分	おおよその大きさ	
	Cushing ら (1958)	Dussart (1965)
超微小プランクトン (Ultraplankton)	5 μm 以下	2 μm 以下
微小プランクトン (Nanoplankton)	5 ~ 60 μm	2 ~ 20 μm
小型プランクトン (Microplankton)	60 ~ 500 μm	20 ~ 200 μm
中型プランクトン (Mesoplankton)	500 μm ~ 1 mm	200 μm ~ 2 mm
大型プランクトン (Macroplankton)	1 ~ 10 mm	—
巨大プランクトン (Megaloplankton)	10 mm 以上	2 mm 以上

産される有機物の量のことである。海洋における有機物の生産は、大部分植物プランクトンの光合成によって行われる。食物連鎖においてこれより高次の段階にある動物プランクトン、魚類、ベントスなどは直接あるいは間接に、栄養塩を植物プランクトンに依存している。このため植物プランクトンによって行われる生産量を、基礎生産量 (Primary production) と呼ぶ。光合成の反応式は



で示されるので、基礎生産量の測定には大別すると、還元される CO_2 を定量する方法、放出される O_2 を定量する方法および光合成産物の定量による方法がある。現在よく使われるのは溶存酸素法 (ウィンクラー法) と放射性同位元素 ^{14}C を用いた方法 (Steeman Nielsen, 1952) であるが、最近日本では野外での放射性同位元素の使用が難しいので ^{14}C に代わり安定同位体 ^{13}C が使われるようになった。

Koblentz-Mishke *et al.*, (1970) は、過去の数多くの資料にもとづいて、世界の海洋における基礎生産量を図式化した (第1図)。これらの結果から、太平洋と大西洋のかなりの海域では、基礎生産は低い、一般に陸近くの沿岸部で高い生産力が見られる。また東部太平洋の赤道海域のように湧昇の起きている場所では下から植物プランクトンの増殖に必要な窒素、リンなどの栄養塩が供給されているので、外洋にもかかわらず比較的高生産量を示している。従来、基礎生産量は観測船等を使い現場で測定されていたので、膨大な手間と時間がかかったが、1978年に人工衛星 Nimbus-7 に4チャンネル (443 nm, 520 nm, 550 nm, 670 nm) の波長を計測できる走査型分光放射計が装備され日単位で世界の海洋の表面ク

1次生産 (mg C/m²/日) : <100 $100\sim150$ $150\sim250$ >250 第1図 世界の海洋の基礎生産。
Koblentz-Mishke *et al.*, (1970) より

ロプロフィール濃度が分かるようになった (写真3. p. 737)。クロロフィル濃度と基礎生産量の間には極めて良い正の相関があるので、間接的に基礎生産量を知ることが可能である (半田, 1988)。この手法にはまだ検討の余地があるが、地球規模の生産量の変動を把握するには将来、不可欠である。

アメリカの Ryther (1969) は世界の海洋を大きく外洋域、沿岸域、湧昇域に区分しそれぞれの海域の基礎生産量から魚の生産量を試算している。外洋域、沿岸域、湧昇域の年間生産量は有機炭素量としてそれぞれ 16.3×10^9 トン、 3.6×10^9 トン、 0.1×10^9 トンである。食物連鎖の栄養段階 (植物プランクトンを第1段階、その捕食者の動物プランクトン等を第2段階とした時、最高で第5段階までのピラミッドが考えられる) を5, 3, 1.5, 転換効率を10%, 15%, 20%とした魚類生産は外洋域で 16×10^5 トン、沿岸域で 12×10^7 トン、湧昇域で 12×10^5 トンとなり海洋全体では 24×10^7 トンとなった (第2表)。

第2表 世界の海洋における基礎生産量と魚類生産の推定値, Ryther (1969) より

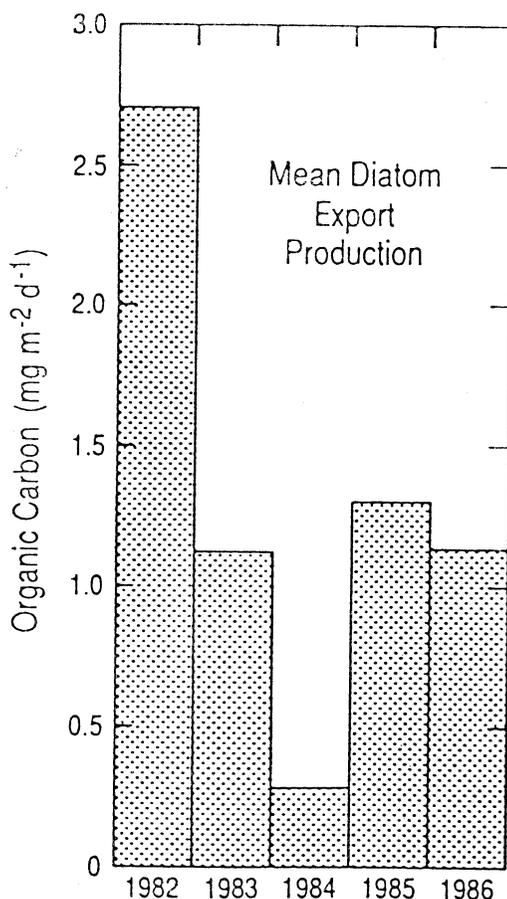
	面積		平均生産力 ($gC/m^2/年$)	全生産量 ($10^8 ton C/年$)	栄養段階の数	効率 (%)	魚類生産 (生産) (トン)
	(km^2)	(%)					
外洋	326×10^6	90	50	16.3	5	10	16×10^5
沿岸	36×10^6	9.9	100	3.6	3	15	12×10^7
湧昇域	3.6×10^5	0.1	300	0.1	1.5	20	12×10^7
合計				20.0			24×10^7

これからも全海洋面積の0.1%しかない湧昇域の重要性が分かる。

3. 気候変動とプランクトン

南米ペルー沖の湧昇域は世界有数の漁場で1970年代には年間漁獲量が1,000万トンを越えた年もあったが、エル・ニーニョの年は漁獲量が300万トン以下に落ち込んでしまう。エル・ニーニョが起きると通常より3~5°C高い暖水が沿岸全域の100m以浅を覆うため湧昇が弱まり、植物プランクトンの増殖に必要な栄養塩が深層から十分に表層(0~200m)に補給されないで、例年に比べて基礎生産量は極端に低くなる(Barber and Chavez, 1986)。この海域の漁獲物の90%以上は植物プランクトンに依存する草食性のカタクチイワシなので、エル・ニーニョの年は餌不足のため生残率は悪くなる。湧昇域は効率の良い生産の場所であるが、そこに生息するプランクトンの種類数は少ないので、沿岸域とは異なり水温、塩分、栄養塩等の環境要因の急激な変化に適応できず食物連鎖のピラミッドが簡単に崩れる恐れがある。地球規模の気温の上昇に起因する気候変動が世界の海流系に異常をもたらし、その結果、湧昇域が減少すれば前述のごとく必然的に世界の魚類の生産量も下降する。

エル・ニーニョ現象は世界の気候に大きな影響を与えていることはよく知られているが、最近、アメリカの研究者によって北太平洋のアラスカ湾のプランクトン生産もエル・ニーニョの影響を強く受けていることが明らかにされた。Woods Hole 海洋研究所のグループは1982年以來、亜寒帯海域のアラスカ湾の気象観測地点(P点: $50^{\circ}N, 145^{\circ}W$: 水深4,200m)の1,000mおよび3,800mの深さにセディメント・トラップとよばれる時系列式の海中沈降粒子(マリンスノー)捕捉採集器を設置し、この点の生物生産の長期変動を研究した(Honjou and Doherty, 1988)。亜寒帯海域では水温躍層、塩分躍層が発達する夏季を除き上下の鉛直混合がよく行われ栄



第2図 アラスカ湾のP点($50^{\circ}N, 145^{\circ}W$)における植物プランクトン、珪藻類の平均日間生産量($mg C/m^2/日$)の年変動, Takahashi *et al.*, (1989) より

養塩も下層から供給されるため外洋でも高い基礎生産量を示す。しかし1983年後半から1984年は1982~1983年のエル・ニーニョの影響で100m層に顕著な水温躍

層が存在し、上下鉛直混合がなかったため例年にくらべて基礎生産量は低く、かつ1984年の植物プランクトンの組成は他の年と異なっていた (Takahashi, 1987). セディメント・トラップに採集された植物プランクトンの代表的なグループ、珪藻類の沈降遺骸の量から推測された珪藻類の平均日間生産量は 1 m^2 当り 0.5 mg 以下で他の年の $1/3$ 以下であった (第2図: Takahashi *et al*, 1989).

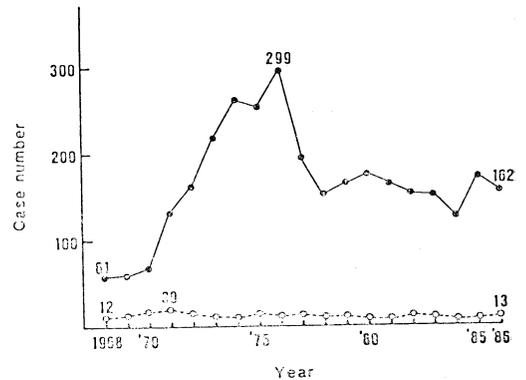
4. 赤 潮

赤潮ということばの定義は必ずしも明確でないが、一般には「海水中で浮遊している微小生物 (おもに植物プランクトン) が、突然、異常に繁殖してこのため海水の色が変わる現象」を赤潮と呼んでいる。赤潮として出現するプランクトンは珪藻、渦鞭毛藻、その他の鞭毛藻類、藍藻類および原生動物に大別することができる (岩崎, 1976). 鞭毛藻による赤潮は、しばしば魚介類などの死を招き、水産業に大きな被害を与える。また渦鞭毛藻の中には、有毒物質を生成する種類もあり、これらを餌生物としている貝類を毒化させる。

赤潮は、普通、内湾や沿岸部に多く発生するが、外洋でもみられる。赤潮は世界的な現象で日本の太平洋岸、ニュージーランド沿岸、オーストラリア東南部沿岸、カルフォルニア沿岸、ペルー・チリ沿岸、メキシコ湾、ブラジル沿岸、ポルトガル沿岸、北海、ノルウェー沿岸のフィヨルド、アフリカ西部のアンゴラ沿岸、インド～アラビア沿岸、紅海、地中海などで発生しており、高緯度の記録は北緯70度のノルウェー沿岸である (岩崎, 1976; Anderson, 1989). 国内では瀬戸内海、伊勢湾、東京湾、博多湾、浜名湖などで古くから赤潮が報告されている。

最近では赤潮の発生地域は年々、拡大し日本海沿岸や北海道にも及んでいる。

赤潮生物も自然界ではさまざまな環境要因の制約を受けながら生活している。環境要因としては光条件、水温、塩分、PH、栄養塩、促進物質などが挙げられる。光は赤潮の発生に必須な条件だが、光量が限定的に作用することは少ない。赤潮生物の最適水温は $18\sim 27^\circ\text{C}$ で渦鞭毛藻では $24\sim 26^\circ\text{C}$ 、夜光虫では $14\sim 18^\circ\text{C}$ で赤潮の発生がよく見られる。赤潮生物には広範囲の塩分濃度に耐えることのできる広塩性の種類が多く、海水よりむしろ汽水域に生息するものが多い。最適水素イオン濃度 (PH) は $7.5\sim 8.5$ である。赤潮生物は、窒素源として硝酸、アンモニア、尿素などを利用しているが、ある濃度範囲



第3図 瀬戸内海における赤潮の発生状況. 黒丸は発生件数, 白丸は魚類の大量死を伴った赤潮の発生件数. Okaichi (1989) より.

内では、一般に窒素の量に応じて増殖がよくなる。燐も窒素とならび重要な栄養塩であるが燐酸塩は窒素化合物に比べると必要量は少なく、 $1/7$ 程度でよい。その他、赤潮生物の増殖促進物質としてビタミン類、植物ホルモン、微量の鉄・マンガン、蛋白質分解物などが知られている (岩崎, 1976).

瀬戸内海や東京湾などの閉鎖的の海域では戦後周辺の河川から生活廃水、産業廃水、農業廃水などが流入したため急速に水質の汚染がすすみ、富栄養化 (窒素、燐などの水中濃度が高い状態) のため赤潮が頻繁に発生するようになった。瀬戸内海では1968年に赤潮発生件数は61だったが1976年には約5倍の299に達している (Okaichi, 1989). 以後は行政措置で産業廃水が規制されたり、無燐の洗剤が使用されるようになり発生件数は減少しているが、まだ1960年代の状態には戻ってはいない (第3図).

最近、地球の温暖化が問題にされているが、もし水温がこれに伴い上昇するようなことになれば、赤潮発生海域はより拡大する可能性がある。産業廃水などに対する規制は日本などごく僅かな国でしかされていないので世界の沿岸および隣接する外洋はますます富栄養化が進み大規模赤潮の発生を助長している。最近では1988年5月、スカンジナビア半島に面した北海で、長さ100キロ、幅数10キロにわたる大規模赤潮が発生し、サケの養殖場などに甚大な被害をもたらした。

参考文献

- Anderson, D.M., 1989: Toxic algal blooms and Red tides; A global perspective. *Red Tides*, ed.

- by D.M. Anderson *et al.*, Elsevier, New York, 11-16.
- Barber, R.T. and F.P. Chavez, 1986 : Ocean variability in relation to living resources during the 1982-83 El Niño, *Nature*, 319, 279-285.
- Cushing, D.H., G.F. Humphrey, K. Banse and T. Laevasto, 1958 : Report of the committee on terms and equivalents. Rapp. P.v. Renu. Cons. Permint. Explor. Mer., 144, 15-16.
- Dussart B.M., 1965 : Les différentes catégories de plancton. *Hydrobiologia*, 26, 72-74.
- 半田暢彦, 1988 : 物質の輪廻—巨大な科学反応場としての海洋, 学術月報, 41, 29-34.
- Hensen, V., 1887 : Ueber die Bestimmung des plankton order des im Meere treibenden Materials an Pflanzen und Thieren. *Ber.* 5, *Komm. Wissen. unters. deuts. Meere*, 1-109.
- Honjoo, S. and K.W. Doherty, 1988 : Large aperture time series oceanic sediment traps; design objectives, construction, and application. *Deep Sea Res.*, 35, 133-149.
- 岩崎英雄, 1976 : 赤潮—その発生に関する諸問題一, イルカぶっくす, 海洋出版, 東京, 126頁.
- Koblentz-Mishke, O. J., V.V. Volkovinsky and J.G. Kavanova, 1970 : Plankton primary production of the world ocean. *Scientific Exploration of the South Pacific*, Nat. Acad. Sci. Wash., 183-193.
- Okaichi, T., 1989 : Red tide problems in the Seto Inland Sea. Japan, *Red Tides*, ed. by D.M. Anderson, Elsevier, New York, 137-142.
- Ryther, J.H., 1969 : Photosynthesis and fish production in the sea. The production of organic matter and its conversion to higher forms of life vary throughout the world ocean. *Science*, 166, 72-76.
- Stemann Nielsen, E., 1952 : The use of radioactive carbon (C¹⁴) for measuring organic production in the sea. *J. Cons. Int. Explor., Mer.* 18, 117-140.
- Takahashi, K., 1987 : Response of subarctic Pacific diatom fluxes to the 1982-1983 El Niño disturbance. *J. Geophysical Res.*, 92, 14387-14392.
- _____, S. Honjo and S. Tabata, 1989 : Siliceous phytoplankton flux: Internnual variability and response to hydrographic changes in the northeastern Pacific. *Aspect of Climate Variability in the Pacific and Western Americas*. Ed. by D.H. Peterson, *Geophysical monograph*, 55, Amer. Geophy. Union, 151-160.

気象学会パソコン通信 (MSJ BBS) 本格運用開始のお知らせ

日本気象学会では、かねて簡易システムによるパソコン通信のテスト運用を行ってきましたが、この度バージョンアップしたシステムによる本格運用を開始しましたので、お知らせします。このシステムは、気象学会と学会内外の利用者、また利用者相互の情報交換の促進を目的としたものです。

ホスト局の電話は 03-813-7844 (24時間運営, 年中無休)

通信パラメータは 通信速度 300/1200 bps
 ビット長 8 ビット
 パリティなし
 ストップビット 1 ビット
 全二重
 XON/XOFF 制御あり
 SI/SO 制御なし

文字コードは カナ, シフト JIS 漢字, ANSI
 モード

回線が接続されましたら, "Welcome to MSJ BBS" のメッセージに続いて, オープニングメッセージおよび

UID (ゲストは GUESTUSE), パスワード (ゲストは不要) の入力要求がでできます。当システムにおけるメニューの一覧は以下の通りです。

- [A] 自動ダウンロード
- [B] 電子掲示板
- [C] Sysop とのチャット
- [D] データベース
- [E] 終了
- [H] システム案内板
- [L] ユーザー登録申し込み
- [M] メールの送信・受信
- [N] 新アーティクル探索
- [P] プログラムコーナー
- [Q] 尋ね事, 質問コーナー
- [T] 電報機能
- [U] 端末環境変更機能
- [W] アクセス状況通知機能
- [X] 全シグ探索
- [Z] 息抜きコーナー