HOKKAIDO UNIVERSITY

| | |
|---|---|
| Title | 植物プランクトン組成を決定する第1因子としての溶存ケイ素 |
| Author(s) | 角皆, 静男 |
| Citation | 北海道大學水産學部研究彙報, 30(4), 314-322 |
| Issue Date | 1979-11 |
| Doc URL | http://hdl.handle.net/2115/23701 |
| Type | bulletin (article) |
| File Information | 30(4)_P314-322.pdf |

Instructions for use

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

北大水産彙報
30(4). 314–322. 1979.

# 植物プランクトン組成を決定する第1因子としての溶存ケイ素

角　皆　静　男*

# Dissolved Silica as the Primary Factor Determining the Composition of Phytoplankton Classes in the Ocean

Shizuo TSUNOGAI*

## Abstract

A hypothesis concerning the primary factor determining the composition of phytoplankton community is proposed and examined. The hypothesis comprises the following two parts. 1) Diatom is a predominant class among phytoplankton in the ocean. However, 2) it can not propagate itself in seawater containing dissolved silica less than 5 to 10 $\mu$g at/l which is a threshold value. There is much evidence to support this hypothesis. The P/Si ratio of diatom of 1/152 is much less than that of deep water and thus with an increase in diatom dissolved silica first disappears in preference to nitrate and phosphate. This fact has been observed in the Antarctic Ocean. In the Subantarctic Ocean where diatom is not a dominant species, the concentration of dissolved silica of 5 to 10 $\mu$g at/l does not change with the location from south to north while that of nitrate or phosphate decreases. Nearly the same fact has been found in Funka Bay, Hokkaido. Accoring to the hypothesis a cause of growth of the poisonous *Gonyaulax* in Funka Bay is considered to be that the surpluses of nitrate and phosphate by human activity induce an increase in dinoflagellata after the bloom of diatom which ends with the consumption of dissolved silica.

## 緒　　言

海洋生物学においては，沿岸や高緯度地帯の栄養塩濃度の高い海水中で，ケイ藻類がよく繁殖することが知られている。これを高野[1]はさらに詳しく次のように記述している。1) 寒海ではケイ藻の繁殖が著しいが，熱帯の外洋では渦鞭毛藻が多数出現する。2) 温帯の沿岸では，渦鞭毛藻は，ケイ藻の繁殖が盛りを過ぎたころ，すなわち春の終りごろから夏にかけて活発な増殖をみせる。3) 日本近海の外洋では，低温低塩分の親潮系水はケイ藻に富み，水温塩分の高い黒潮水ではケイ藻が少なく，夏季に藍藻の出現が著しい。また両者の混合域では渦鞭毛藻が多くみられる。

上記の植物プランクトン組成（分類学上は綱の組成）を決定する第1因子は何であろうか。これについては，赤潮発生原因でもあり，水温，塩分，酸素含量，日照，海水の安定性，食物連鎖などとの関連はよく論じられている[2]。栄養塩については，窒素化合物やリン酸塩の基礎生産や富栄養化における重要性などはよく考えられているが，植物プランクトン組成との関連についてはあまり触れられてはいない。わずかに Menzel ら[3]によって，貧栄養の海水に各種の化学物質を加えて培養実験を行ったところ，ケイ酸を加えたとき，ケイ藻類が著しく繁殖したことが報告されている。

* 北海道大学水産学部分析化学講座
(*Laboratory of Analytical Chemistry, Faculty of Fisheries, Hokkaido University*)

著者は，この植物プランクトン組成を決定する第1因子として，栄養塩のバランス，特に溶存ケイ酸の役割に注目して次にのべる仮説を立てた。この仮説の根拠をのべ，その検証を海洋における観測結果から試みる。そして，この考えを応用して，最近問題になっている北海道，噴火湾などにおける有毒プランクトン（渦鞭毛藻類の *Gonyaulax*）の発生原因とその駆除の方法についても考えてみる。

## 植物プランクトン組成を決定する第1因子に関する仮説

海洋において，プランクトンの生産に必要な物質がすべて水中に含まれていれば，ケイ藻類が最優勢種である。しかし，溶存ケイ酸塩濃度について5～10 μg at/l の閾値があって，これ以下では他の栄養塩類や条件が揃っていてもケイ藻類は生育できない。すなわち，下層より栄養塩に富む水が補給された場合，まずケイ藻類が繁植するが，その補給が続かない限り，たちまち溶存ケイ酸は消費しつくされて別の種類のプラクトンが繁殖するということである。

## 仮説の根拠と検証

### ケイ藻類の化学組成

ベーリング海において採取したケイ藻類（*Denticula seminae*, *Thalassiosira* spp. など）の $SiO_2$ 含量と有機質量（焼却損失）を測定したところ（植松・未発表），それぞれ 64.1% および 32.2% であった。この有機物組成が Redfield ら[4] によるプラントンの平均組成と等しいとすれば，このケイ藻類の元素組成（原子比）は次のようになる。

$$P:N:C:Si = 1:16:106:152$$

一方，太平洋深層水（水深，2 km）の溶存栄養塩組成比はほぼ次のようであることが知られている[5]。

$$P:N:C:Si = 1:15\sim16:\sim1000:40\sim60$$

なお，Si の 40 という値は南極海に近い南太平洋，60 は北部北太平洋での値である。また，高い生産性を持つベーリン海の深層水では

$$P:N:C:Si = 1:12.5:700:64$$

程度である[6]。

したがって，湧昇した深層水中でケイ藻類が繁殖すれば，窒素やリンを残して，先にケイ素がなくなってしまうわけである。またケイ酸塩殻をつくってしまったケイ素の再生は窒素やリンより遅い（深層に運ばれてから分解再生する割合が大きい）とされているので，表層水中から，ケイ素はますます早くなくなってしまうことが考えられる。

さらに，南部南太平洋（南極海）では，北部北太平洋水に比べ，もともと溶存ケイ酸のリンや窒素に対する割合が小さいので，下層水の補給率が同じなら，早くケイ素がなくなってしまうはずである。

### 南極海における栄養塩

ニュージランド南方の南極海においては，図1の温度および図2の塩分の断面図が示すように，南緯60度付近に南極収束線（Antarctic Convergence）および南緯44度付近に亜熱帯収束線（Subtropical Convergence）がある。そして南極収束線以南を南極海，南極収束線と亜熱帯収束線の間を亜南極海とよんでいる。

この同じ断面における溶存する硝酸塩とケイ酸塩の断面図を図3と4に示す。これらのデータは東京大学・海洋研究所・白鳳丸による KH-68-4 次航海において得られたものである[7]。これらの図より，

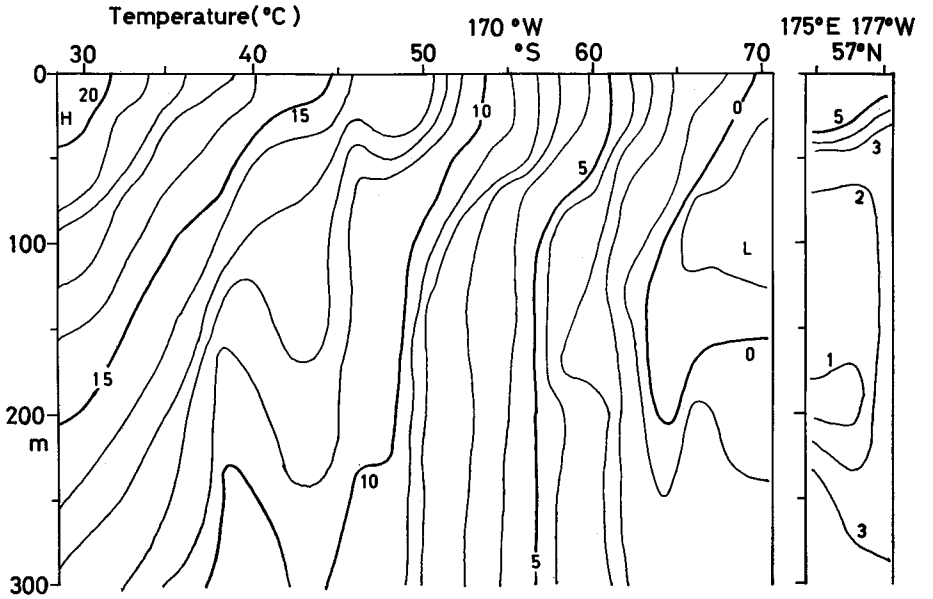


Fig. 1. Vertical sections of water temperature of the surface water in the South Pacific along 170°W observed during the Hakuho Maru cruise, KH-68-4 and in the Bering Sea along 57°N observed during the cruise, KH-75-4.

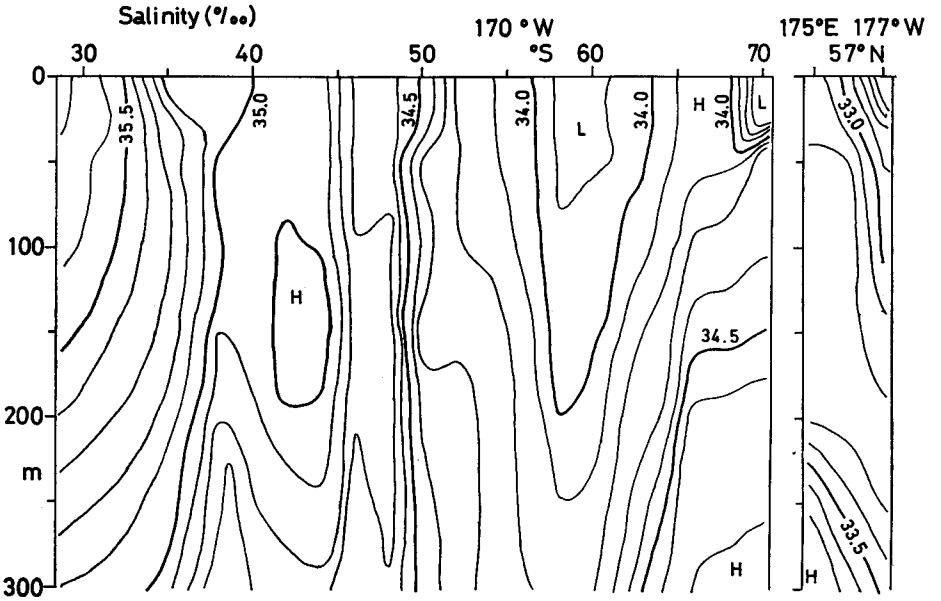


Fig. 2. Vertical sections of salinity for the same water described in Fig. 1.

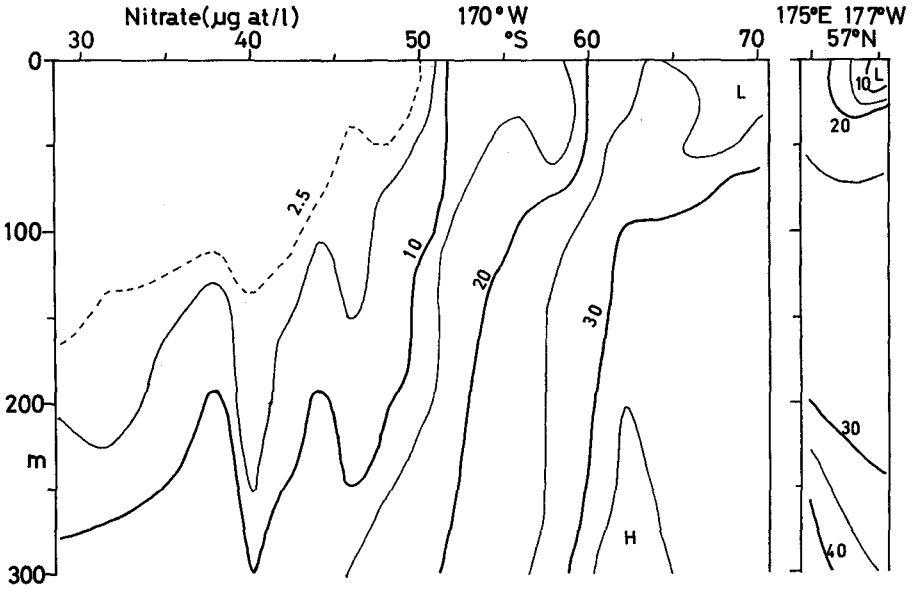


Fig. 3. Vertical sections of nitrate for the same water described in Fig. 1.

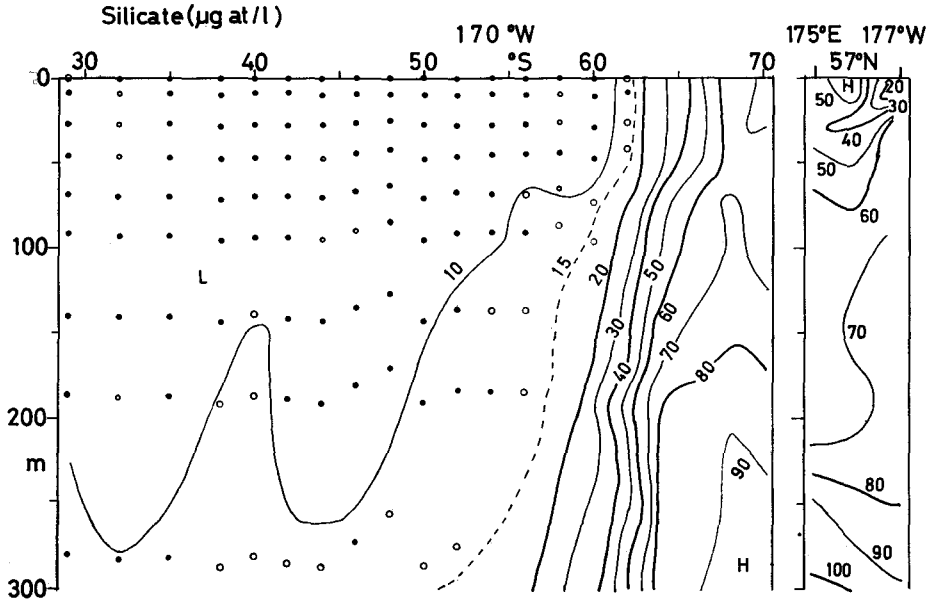


Fig. 4. Vertical sections of silicate for the same water described in Fig. 1. The smaller open circles, solid circles and larger open circles refer to the concentration ranges, respectively, 4–5, 6–10 and 11–15 $\mu$g at/l of silicate.

表層水中で硝酸塩濃度は南より北へゆるやかに減少しているが，ケイ酸塩濃度は急速に減少して亜南極海では全域が 5～10 μg at/l の小さな値になってしまっていることがわかる。

栄養塩相互の関係をみるために，図5に南極海および亜南極海における硝酸とリン酸の濃度を示す。この図から，南から北へ，あるいは深層から表層へ，栄養塩濃度が減るときには，ほぼ P/N=1/16 の一定の割合で変化していることがわかる。これは，生物による摂取と分解が海水中での存在比とほぼ同じ割合で起っていることを示すものである。

さらに，南極海から南緯44度までの表層水には硝酸塩やリン酸塩は存在し，これらが基礎生産の制限因子にはなっていないことが推定される。

次に図6に硝酸塩とケイ酸塩の関係を示す。図中には，かなり奇妙な曲線が画かれている。すなわち，表層 0 m を結んだ曲線は，南緯70度から62度までの南極海においてケイ酸塩のみ減少し，硝酸塩はむしろふえ気味である。そして，南緯60度以北では，硝酸塩のみ減少してケイ酸塩はほとんど一定の 5～10 μg at/l の値を示す。一方，深層水では，水深 500～1000 m まではケイ酸塩と硝酸塩はともに増加し，それぞれの大きく異なった表層の点から一点（硝酸塩について 34 μg at/l，ケイ酸塩について 83 μg at/l）に集まっている。その後は，すべての点でケイ酸塩のみが増加するように同じ直線上を移動する。

この事実は次のように解釈することができる。南極海表層における南から北への変化は，水温分布から類推して，春が来てからの時系列的変化と同様なものと推定される。すなわち，深層水を融氷水

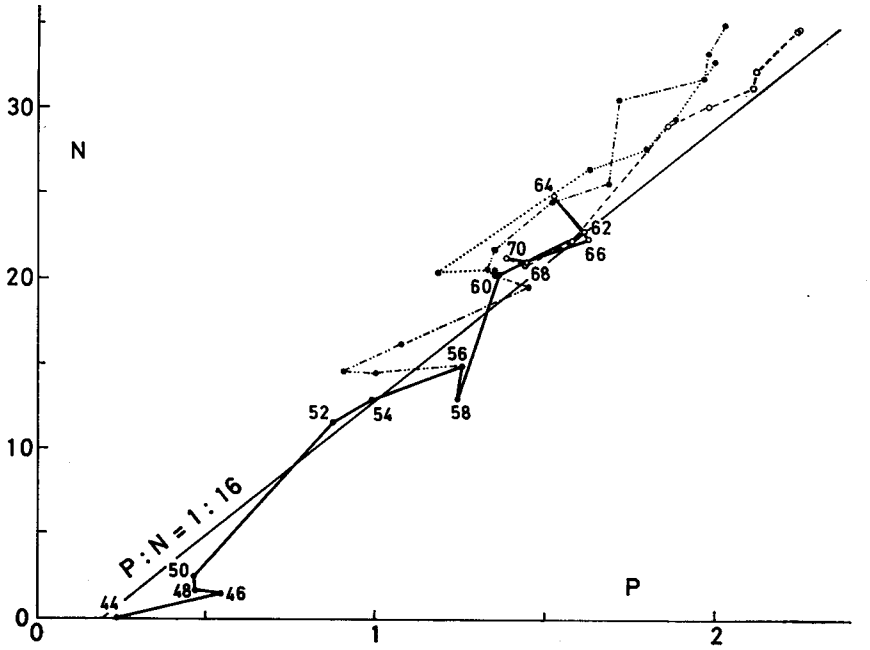


Fig. 5. Relation between nitrate (N, in μg at/l) and phosphate (P, in μg at/l) in the South Pacific observed during the cruise, KH–68–4. A straight line indicates the Redfield ratio, P/N=1/16. Numerical figures refer to the degrees of the south latitude where the surface water was collected. The points obtained for the surface water are connected with thicker solid lines and those for the subsurface water are connected with fine lines.

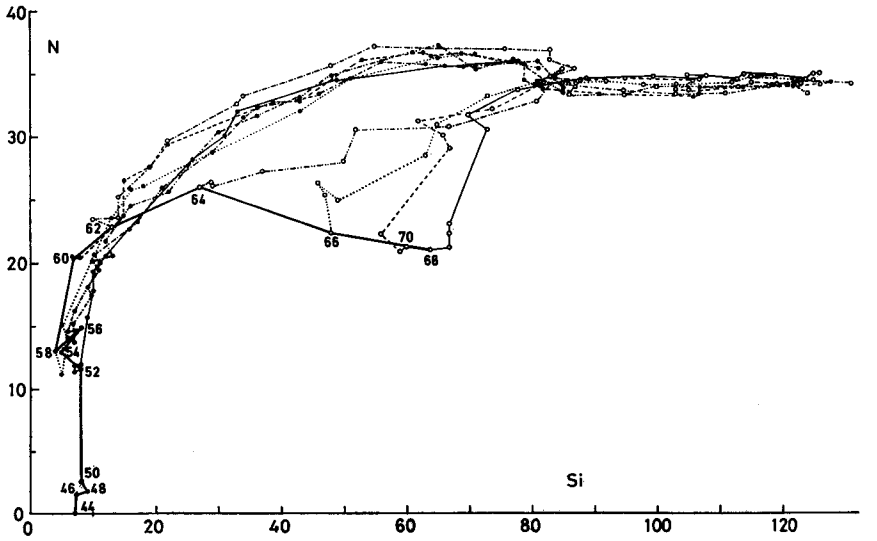


Fig. 6. Relation between nitrate (N, in $\mu$g at/l) and silicate (Si, in $\mu$g at/l) for the same samples as those in Fig. 5, where other notes are described.

で希釈しただけの南緯70度付近の表層水からケイ藻類の繁殖が始まる。生物に摂取されるときのN/Si比は16/152程度で海水の21/62よりずっと小さいので，ケイ酸塩濃度の方が急速に減少して，時間とともに南緯62度付近の組成に変化していく。なお，この間，深層水との混合によって栄養塩は補給されるが，そのケイ酸塩をも消費する。しかし，硝酸塩の方は補給量の方が多くなって，いくらかその濃度が増加する。そして南極収束線を越えると，ケイ酸塩濃度は10 $\mu$g at/l以下になってしまい，もはやケイ藻類は繁殖できなくなる。亜南極海においてケイ酸塩濃度が10 $\mu$g at/l程度からほとんど変化しなくなるのは，この値がケイ藻類増殖の閾値となっているためであろう。そして亜南極海ではケイ酸塩を必要としない渦鞭毛藻類の繁殖が始まる。そして硝酸塩やリン酸塩をほとんど消費し尽した亜熱帯収束線以北は，基礎生産量が大きく低下した貧栄養の海である。なお，深層水中でケイ酸塩のみ増加するのは，生物のケイ酸塩殻からケイ酸が溶け出す効果の方が，有機物が酸素により分解して硝酸塩が再生する速度よりずっと大きいためである。

この南極海においてケイ藻プランクトンが大繁殖し，南極収束線以北では急速に減少している事実は，同時に乗船したKawamura and Kureha[8]によるプランクトン観測結果から裏づけることができる。

**噴火湾における栄養塩**

噴火湾においては先に述べたように，春先にケイ藻類の繁殖が起こるが，4月には終ってしまう。そして8月末から9月頃2回目の増殖があるといわれている。

噴火湾における冬期の良い観測値がないので，夏期4月から9月までの栄養塩の変化を，ケイ酸塩については図7，全窒素化合物については図8に示す。これらは，北海道大学水産学部分析化学研究室によって1974年に観測された値である。

図7から，春4月には，もうケイ酸塩はほとんどなくなっており，ケイ藻類の繁殖が終っている事実と符合する。そして，夏季噴火湾水が滞留している間に底層水には再生したケイ酸塩が徐々に蓄積し，ゆっくり上昇する。8月には，10 $\mu$g at/lの等濃度線が表層近くまで達し，ケイ藻類の第2の繁殖

期を迎えるが，このときのケイ酸塩濃度がそれほど大きくないのと，ケイ酸塩濃度の低い黒潮系水が流入するため，このときの生産量はそれほど大きくはない[9]。一方，硝酸塩濃度も夏期にはほとんどなくなっているが，沿岸付近に多いアンモニアを加えた全窒素化合物濃度をみると，生物生産を停止させるほど低濃度にはなっていない（図8）。すなわち，ケイ藻類以外の植物プランクトンなら十分繁殖が可能である。

## まとめと噴火湾有毒プランクトン対策

植物プランクトンの類（綱）組成を決定するうえでのケイ酸塩の重要性とケイ藻類の卓越性に関する仮説を提出し，その検証を試みた。プランクトンの地理的，季節的分布と栄養塩類の分布からは，この仮説に特に矛盾する事実はみつからない。

この仮説をさらに敷衍することも可能である。例えば，Koblentz-Mishke ら[10] や Taguchi[11] によれば，南極海域より北方海域，特にベーリング海の方が基礎生産量が多いようである。この事実は，ベーリング海における高いケイ酸塩濃度[6] と亜南極海での閾値以下のケイ酸塩濃度に起因しているものと考えられる。ベーリング海においてケイ酸塩濃度が高いのは，深層水の Si/N 比が大きいこと，浅い大陸棚を控え，底で再生したケイ酸塩が加わること，周辺の河川からの流入などによるものであろう。

さらに，近年の噴火湾で養殖されたホタテ貝が渦鞭毛藻類の *Gonyaulax* によって有害となっている問題やこのタイプの赤潮に対しても一つの対策を提案することができる。この仮説から導かれた発

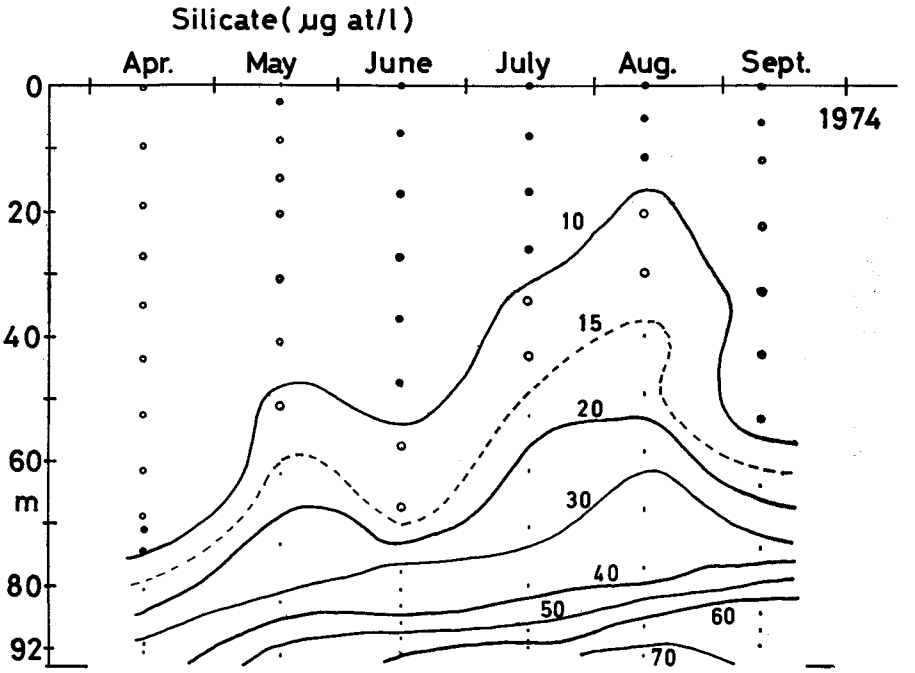


Fig. 7. Monthly observed silicate concentration in summer, 1974, at a station (42°16′N, 140°36′E; water depth, 92 m) in Funka Bay. Smaller open circles, solid circles and larger open circles refer to the concentration ranges of silicate, respectively, 3–5, 6–10 and II–15 μg at/l.

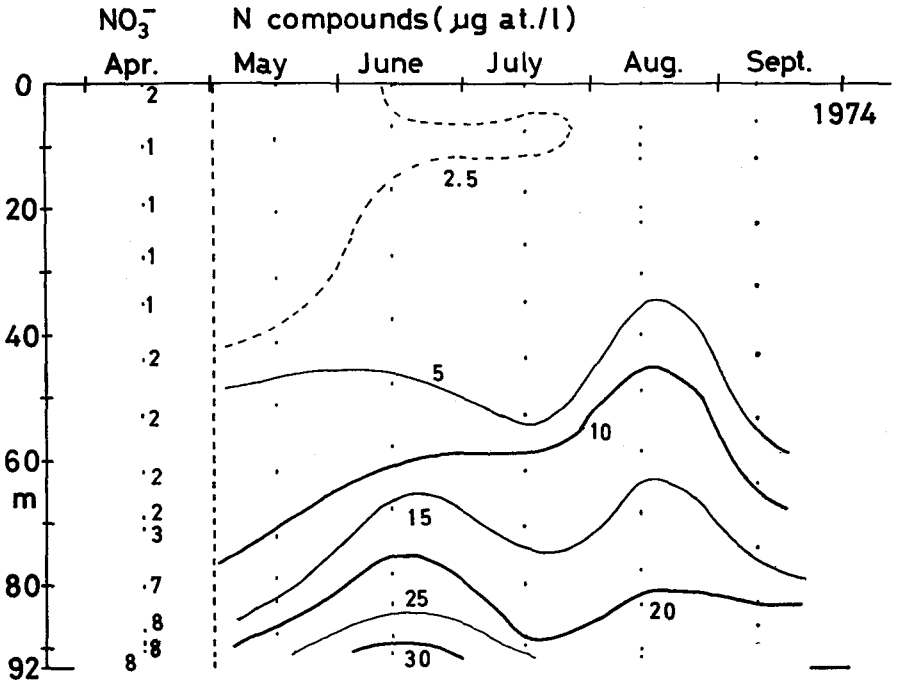


Fig. 8. Monthly observed total nitrate compounds at the same station shown in Fig. 7. Values observed in April include only nitrate.

生原因は，近年の人類活動によってあるいは養殖ホタテの排泄物としてリン酸塩や窒素化合物が付加されたため，春先のケイ藻類の繁殖後もかなりの量のリン酸塩や窒素化合物が残り，渦鞭毛藻の増殖を招いた結果と考えられる。したがって，もしリン酸塩や窒素化合物の放出を防ぐことができなければ，海水のケイ酸塩濃度をふやして春先のケイ藻類の繁殖期を引きのばし，ケイ藻類にリン酸塩や窒素化合物を消費させてしまえばよいであろう。具体的には，河底（海底ではない）をかき混ぜたり，水ガラス ($Na_2SiO_3$) を添加することが考えられるが，その影響は多方面におよぶことが考えられるので，十分な検討をした後でなければ実行に移すことは危険であろう。

## 文　　献


1) 高野秀昭 (1970), 海洋植物プランクトン. 海洋科学. **2**, 377–381.
2) Parsons, T.R., Takahashi, M. and Hargrave, B. (1977). *Biological Oceanographic Processes*. 2nd. ed. 332p. Pergamon Press, Oxford.
3) Mezel, D.W., Hulburt, E.M. and Ryther, J.H. (1963). The effects of enriching Sargasso Sea water on the production and species composition of the phytoplankton. *Deep-Sea Res.* **10**, 209–219.
4) Redfield, A.C., Ketchum, B.H. and Richards, F.A. (1963). The influence of organisms on the composition of sea water. p. 26–77. In Hill, M.N. (ed.), *The Sea*, Vol. 2. 895 p. Interscience Publishers, New York.
5) Tsunogai, S. (1972). An estimate of the rate of decomposition of organic matter in the deep water of the Pacific Ocean. p. 517–533. In Takenouti, A.Y. (ed. in chief), *Biological Oceanography of the Northern North Pacific Ocean*. 626p. Idemitsu Shoten, Tokyo.

6) Tsunogai, S., Kusakabe, M., Iizumi, H., Koike, I. and Hattori, A. (1979). Hydrographic features of the deep water of the Bering Sea-The Sea of Silica. *Deep-Sea Res.*, **26**, 641–659.
7) Horibe, Y. (ed.) (1970). Oceanographic data of KH–68–4 (Southern Cross Cruise) of the Hakuhō Maru. 67p. Ocean Research Institute, University of Tokyo, Tokyo.
8) Kawamura, A. and Kureha, K. (1970). Plankton sampling and observation of theDSL. p. 142–169. In Horibe, Y. (ed.), *Preliminary Report of the Hakuhō Maru Cruise KH–68–4*. 170p. Ocean Research Institute, University of Tokyo, Tokyo.
9) Maita, Y. and Yanada, M. (1978). Particulate protein in coastal waters with special reference to seasonal variation. *Mar. Biol.*, **44**, 329–336.
10) Koblentz-Mishke, O.J., Volkovinsky, V.V. and Kabanova, J.G. (1970). Plankton primary production of the world ocean. p. 183–193. In *Scientific Exploration of the South Pacific*, Standard Book No. 309–01755–6, Nat. Acad. Sci. Washington D.C..
11) Taguchi, S. (1972). Mathematical analysis of primary production in the Bering Sea in summer. p. 253–262. In Takenouti, A.Y. (ed. in chief), *Biological Oceanography of the Northern North Pacific Ocean*. 626p. Idemitsu Shoten, Tokyo.