HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	1996年春季噴火湾周辺海域における親潮系水中の栄養塩組成：春季ブルームに対する影響
Author(s)	簗田, 満; 志賀, 直信; 田中, 仁詞 他
Citation	北海道大學水産學部研究彙報, 50(2), 123-138
Issue Date	1999-08
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/24190
Type	departmental bulletin paper
File Information	50(2)_P123-138.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

北大水産彙報
50(2), 123-138, 1999.

1996年春季噴火湾周辺海域における親潮系水中の栄養塩組成：春季ブルームに対する影響

簗田　満[1)]・志賀　直信[2)]・田中　仁詞[1)]・品田　晃良[2)]

The Composition of Nutrients in the Oyashio Water in Adjacent Regions of Funka Bay in Spring of 1996: Its influence on spring bloom

Mitsuru YANADA[1)], Naonobu SHIGA[2)], Hitoshi TANAKA[1)] and Akiyoshi SHINADA[2)]

Abstract

In order to clarify an influence of the nutrients environment in the "Oyashio Water" on the occurrence and the magnitude of phytoplankton spring bloom, the concentrations of nutrients and chlorophyll *a* were measured at the inside and the outside of Funka Bay from March 5 to March 12 in 1996.

In early March of 1996, the upper water column at all our stations was already overlaid with the "Oyashio Water" which has low temperature (<2°C) and low salinity (<32.8 psu). The mean concentration of nutrients in the "Oyashio Water" were SiO_2: 24±2 μM, NO_3: 13±2 μM and PO_4: 1.4±0.1 μM. The Si : N : P ratio was estimated to be 17 : 9 : 1.

The nutrient concentration and the composition in the "Oyashio Water" satisfied the necessary nutrient requirement for maintaining the spring bloom. However, the spatial distribution of chlorophyll *a* implied that the spatial differences among respective stations existed in the occurrence and the magnitude of spring bloom, in spite of the same hydrographic and nutrient conditions in the upper water column.

Key words: Nutrients, Si : N : P ratio, Chlorophyll *a*, Spring bloom, Oyashio Water, Funka Bay

緒　　言

海洋の物質循環あるいは食物連鎖において，その出発点である基礎生産過程を調べることは，基本的で，かつ極めて重要である。特に，亜寒帯海域においては，一年の総基礎生産量の1/2以上が生産される植物プランクトンの春季ブルーム期がとりわけ重要である（例えば，Maita and Odate, 1988)。

北海道南西部に位置する噴火湾では，春季に低温・低塩分の親潮系水が湾内に侵入することが知られている（大谷，1971；大谷ら，1971；大谷・木戸，1980)。この親潮系水の侵入と大型珪藻類による春季ブルームとが時期的にほぼ一致することから，親潮系水の侵入による水塊構造の変

[1)] 北海道大学水産学部化学海洋学講座
(*Laboratory of Chemical Oceanography, Faculty of Fisheries, Hokkaido University, Hakodate 041-8611, Japan*)

[2)] 北海道大学水産学部生物海洋学講座
(*Laboratory of Biological Oceanography, Faculty of Fisheries, Hokkaido University, Hakodate 041-8611, Japan*)

動と春季ブルームの発生あるいはその規模との関係が注目されている (田中, 1984; 米田・簗田, 1985; 今井ら, 1998; Iinuma et al., 1998; Shinada et al., 1999)。それらの多くの報告は, 親潮系水の侵入が春季ブルームの発生時期に大きな影響を与えるとしている。しかし, 過去において湾内への親潮系水の侵入以前にも春季ブルームの発生が認められている (米田・簗田, 1985)。

春季ブルームの発生と規模は, 一般に, 物理的環境 (光環境, 水柱安定度など), 化学的環境 (栄養塩など), 生物的環境 (植物プランクトンの種類およびサイズなど) の複合的要因によって大きく左右される (例えば, Lalli and Parsons, 1993)。春季噴火湾において, 親潮系水の侵入はこれらの環境要因に大きな変化をもたらすものと予想される。特に, 植物プランクトン生産にとって必要不可欠な栄養塩の面からみると, 親潮系水が運んでくる各栄養塩の濃度とその組成は春季ブルームを維持するために極めて重要であると考えられる。換言すれば, 親潮系水の侵入によってもたらされる栄養塩が春季ブルームを決定するかもしれない。

そこで, 本研究では, 親潮系水の侵入期の3月上旬の噴火湾内および噴火湾外における水塊構造, クロロフィル *a* 濃度および栄養塩濃度の空間分布から, 親潮系水がもたらす栄養塩の春季ブルームの発生および規模に対する影響を明らかにすることを目的とした。

試料および方法

調査は, 1996年3月5日から12日にかけて噴火湾内の1定点 (St. 30) および噴火湾周辺海域の16地点の計17地点において北海道大学水産学部練習船「おしょろ丸」により行われた (Fig. 1)。海水試料は, 地点によって採水深度は異なるが, 表層から最大400 mまでの7～12層からCTD (Niel Brown Mark IIIB) に装着されたニスキン採水器を用いて採取された。なお, 表面水はバケツを用いて採取された。海水試料 (1 L) は, 採取後直ちにWhatman GF/Fフィルター (予め450°Cで3時間強熱処理したもの) を用いて吸引ろ過された。このフィルターは, クロロフィル *a* (Chl *a*) の分析に供するまで−30°Cで凍結保存され, また, ろ液は各栄養塩 (硝酸態窒素, リン酸態リン, ケイ酸態ケイ素) の分析用に−30°Cで凍結保存された。

Chl *a* の定量は, Parsons et al. (1984) に従い, 90%アセトンによって抽出した後, 分光蛍光光度計 (島津RF-540) によって行われた。各栄養塩はTechnicon Auto Analyzer IIを用いて測定された。また, 水温, 塩分および密度はCTDを用いて測定され, 日中の観測時には透明度も測定

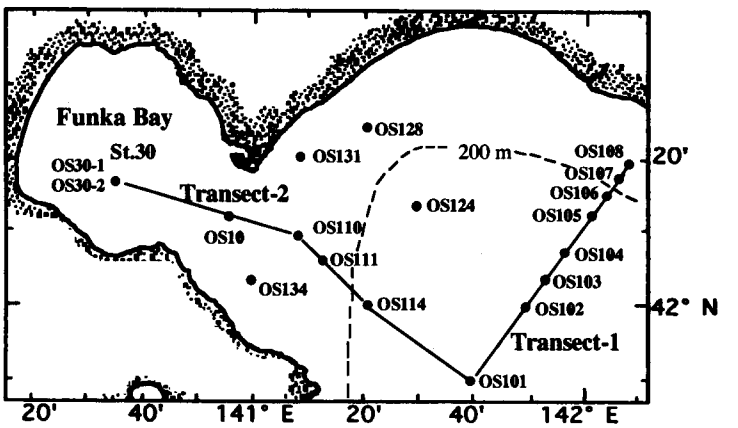

Fig. 1. Location of sampling stations in Funka Bay (St. 30) and off Funka Bay.

された。これらの全てのデータは Appendix に記載してある。

結　　果

水理環境

噴火湾外の岸寄り—沖合い方向に切った Transect-1 (OS101～OS108) において，岸寄り地点 (OS105-OS108) における水温は 60 m 以浅で 2°C 以下であった (Fig. 2)。2°C の等温線は，沖合い

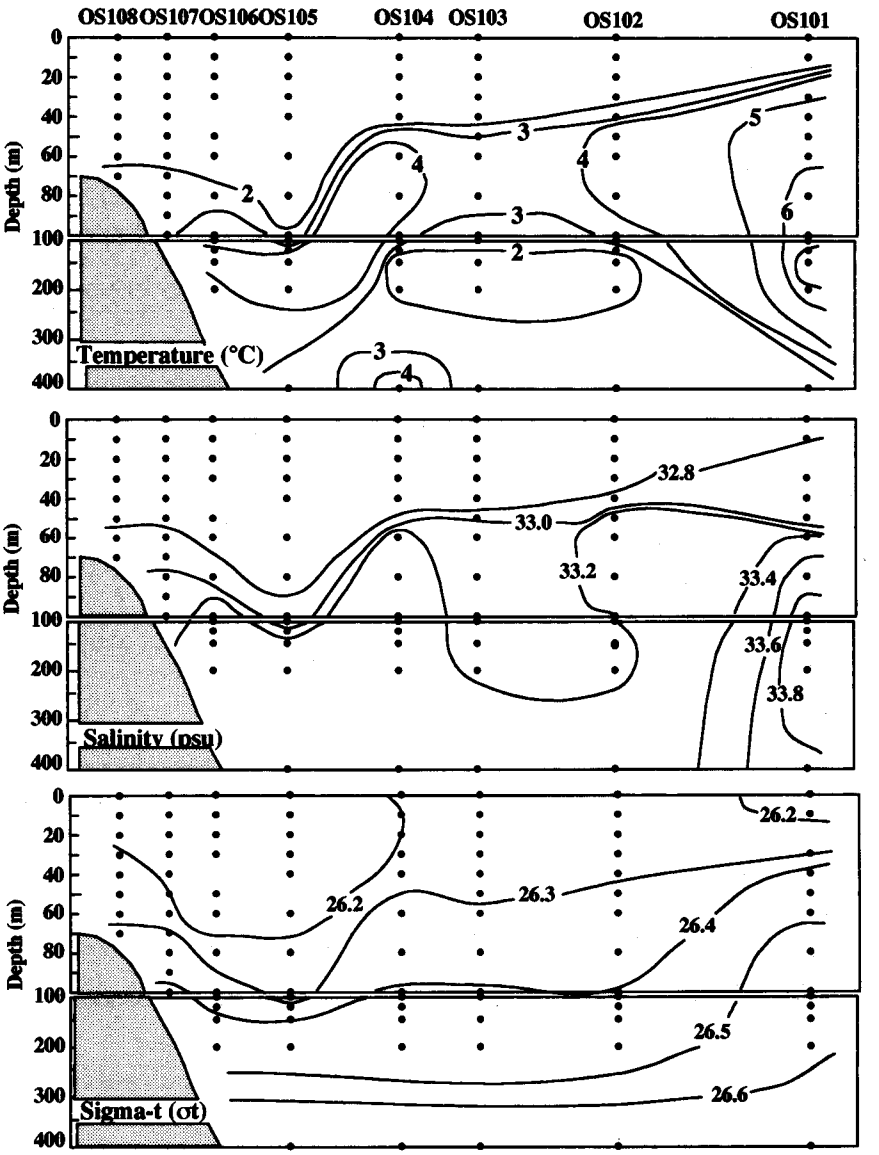

Fig. 2. Vertical distributions of temperature, salinity and sigma-t along the transect-1.

で浅くなり，最南端地点 (OS101) では 20 m まで上昇していた。6°C 以上の高い水温は最南端地点の 70-200 m 層に認められた。一方，32.8 psu 以下の低い塩分は岸寄り地点の 50 m 以浅で認められた。32.8 psu の等塩分線は，沖合いで浅くなり，最南端地点では 20 m に達した。また，最南端地点の 70 m 以深では，33.6 psu 以上の高い塩分が認められた。50 m 以浅における密度は，最南端地点を除くと，鉛直的にほぼ均一な分布を示していた。

噴火湾内から湾外へとほぼ東西に切った Transect-2 (OS30-1～OS101) において，噴火湾内 (OS30-1) における水温は，30 m 以浅で 2°C 以下であり，深度とともに増加し，60 m 以深で 3°C 以

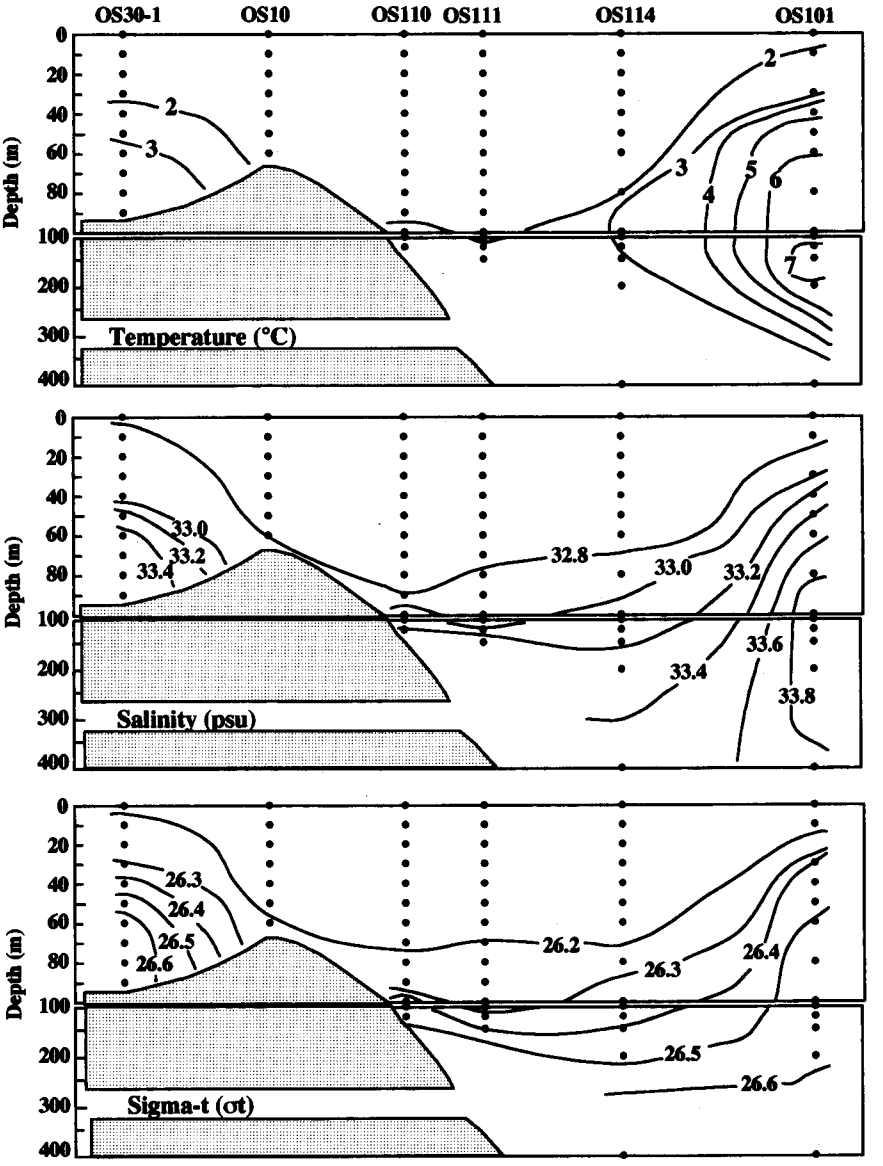

Fig. 3. Vertical distributions of temperature, salinity and sigma-t along the transect-2.

上であった (Fig. 3)。それに対して，噴火湾外では，2°C の等温線は，100 m 近くに達し，最も東側地点である OS101 では 20 m に上昇した。一方，噴火湾内 (OS30-1) における塩分は，表層で 32.8 psu 以下であり，深度とともに増加し，60 m 以深で 33.4 psu 以上であった。噴火湾外では，32.8 psu の等塩分線は，OS105 では 80 m 近くに達したが，最も東側地点では 20 m までに上昇した。噴火湾内 (OS30-1) において，密度は表層の 26.2 から 90 m 層の 26.7 まで増加し，密度躍層が 30～40 m 付近に形成されていた。それに対して，噴火湾外では，密度は，OS101 を除いて，表層から 70 m 層までほぼ均一な分布を示していた。噴火湾内 1 定点における最初の調査 (OS30-1) から 2 日後 (OS30-2) の水温は，30 m 以浅でやや低下し，それ以深でやや上昇した (Fig. 4)。また，塩分は，30 m 以浅でやや増加し，それ以深でやや減少した。

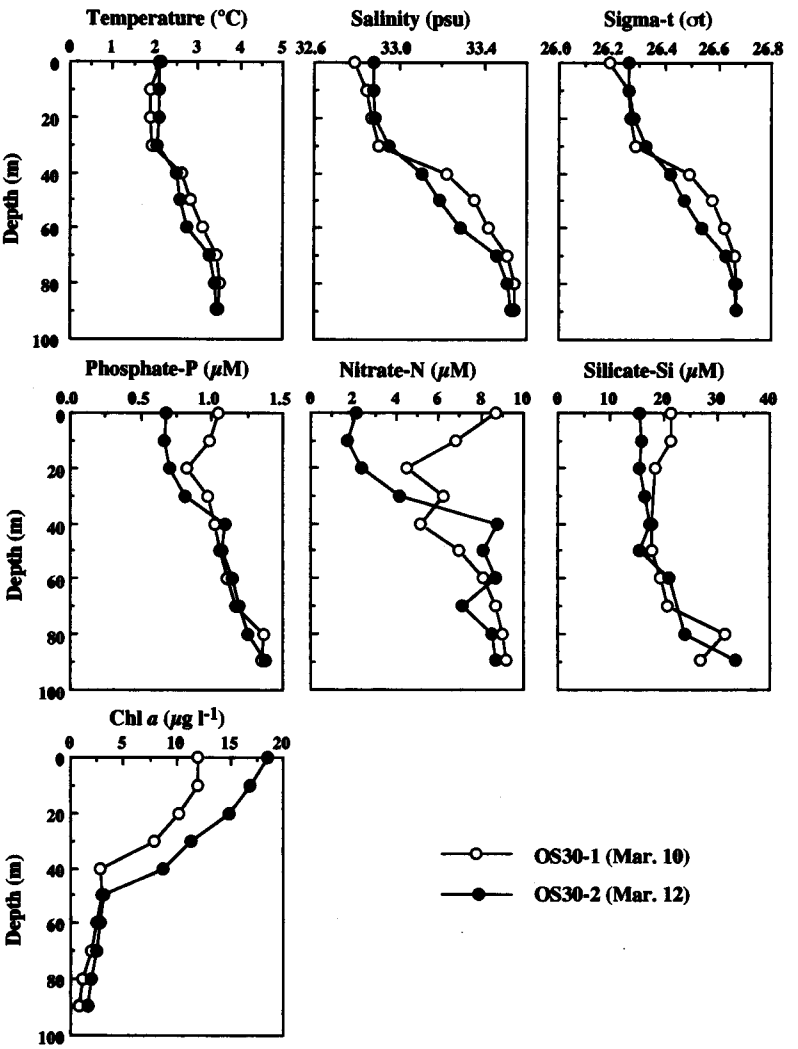

Fig. 4. Vertical profiles of respective parameters at OS30-1 (Mar. 10) and OS30-2 (Mar. 12) in Funka Bay.

我々が調査した1996年3月上旬の噴火湾周辺海域には，大谷 (1971) の水塊区分に従うと，親潮系水，津軽暖流系水および冬季噴火湾固有水の3水塊が存在していた。低温 (<2°C)・低塩分 (<32.8 psu) の親潮系水は全調査海域の20 m以浅に認められ，特にその勢力はTransect-1の岸寄りおよびTransect-2の中央部で80 mまで達していた。高温 (>6°C)・高塩分 (>33.6 psu) の津軽暖流系水は，最南端地点 (OS101) の70–200 m層に認められた。一方，噴火湾内 (St. 30) では，親潮系水が20 m以浅に認められたが，それ以深には冬季噴火湾固有水が残留していた。

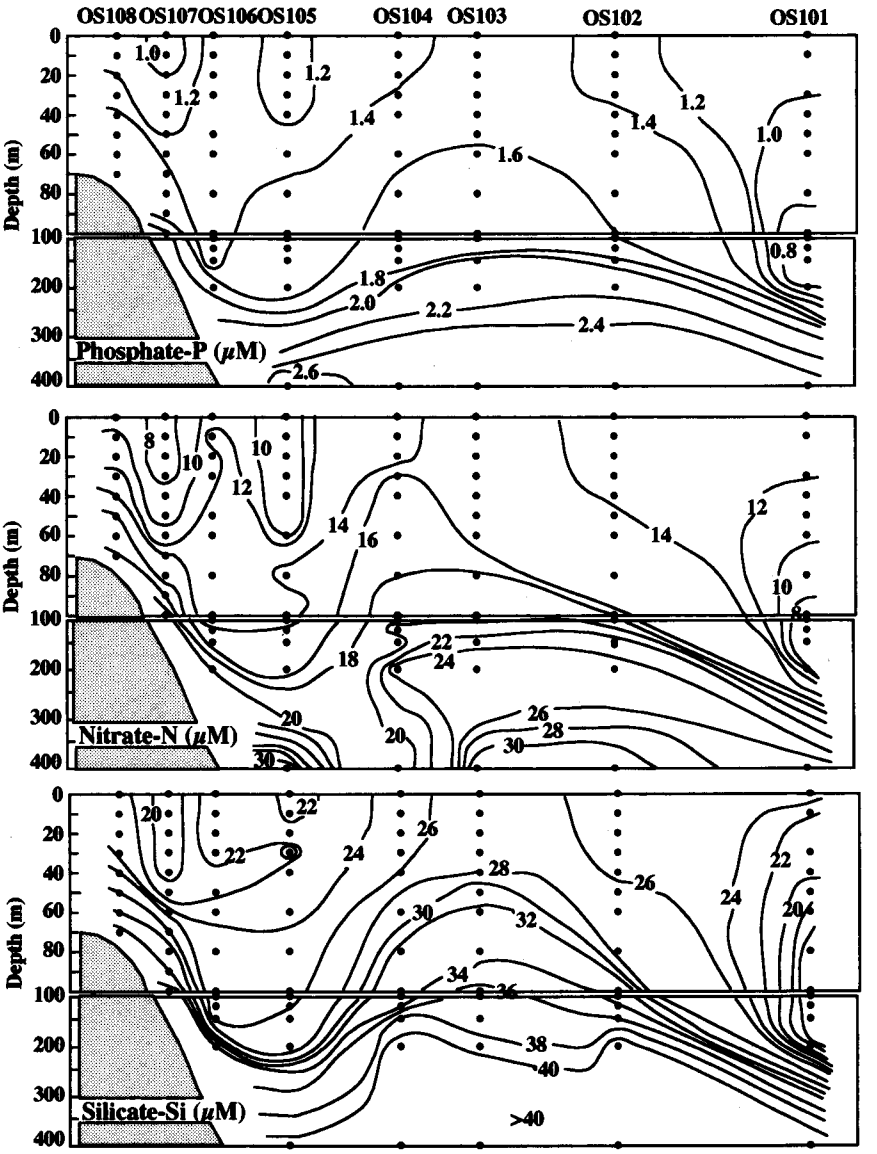

Fig. 5. Vertical distributions of phosphate, nitrate and silicate along the transect-1.

栄養塩濃度

Transect-1 の全地点 (8 地点) における 50 m 以浅のリン酸態リン，硝酸態窒素およびケイ酸態ケイ素の濃度は，それぞれ，0.9～1.6 μM, 6～16 μM および 17～32 μM の範囲内にあった (Fig. 5)。この岸寄りに位置する OS107 および OS105 の 50 m 以浅のリン酸態リン，硝酸態窒素およびケイ酸態ケイ素の濃度は，それぞれ，1.2 μM 以下，10 μM 以下および 20 μM 以下であり，周辺の他の地点よりもやや低い値を示した。また，最南端地点 (OS101) において，50-200 m 層のリン酸態リ

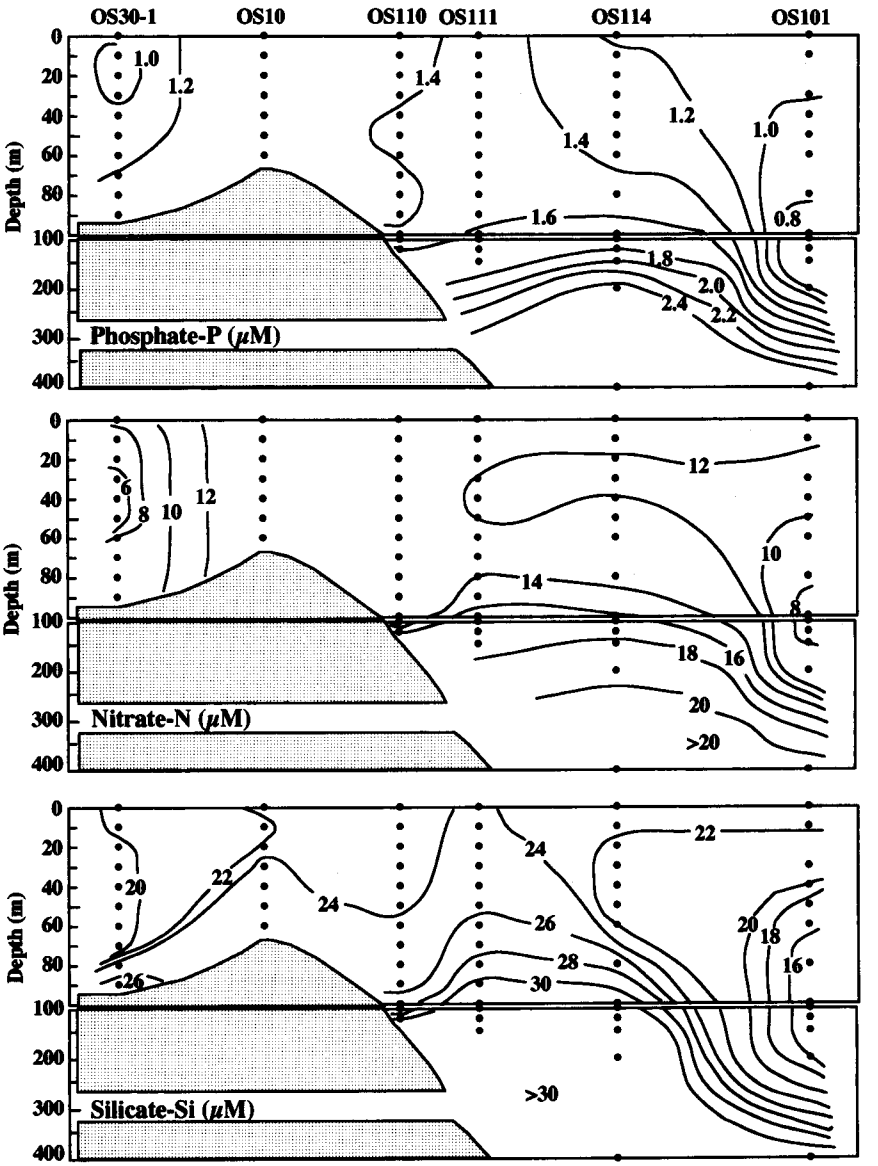

Fig. 6. Vertical distributions of phosphate, nitrate and silicate along the transect-2.

ン，硝酸態窒素およびケイ酸態ケイ素の濃度は，それぞれ，1.0 μM 以下，10 μM 以下および 20 μM 以下の低い値であり，50 m 以浅の値よりも低かった。

Transect-2 において，噴火湾内 (OS30-1) では 50 m 以浅のリン酸態リン，硝酸態窒素およびケイ酸態ケイ素の濃度は，それぞれ，1.0 μM 以下，7 μM 以下および 22 μM 以下であり，リン酸態リンおよび硝酸態窒素の濃度は噴火湾外の地点よりもやや低かった (Fig. 6)。それに対して，この Transect の中間地点 (OS10～OS111) では，50 m 以浅の各栄養塩の濃度は他の周辺地点と比べてやや高かった。また，噴火湾内 1 定点では，2 日後 (OS30-2) の各栄養塩の濃度はいずれも 40 m 以浅で減少し，特に，硝酸態窒素濃度は 20 m 以浅で 2 μM 程度まで著しく低下した (Fig. 4)。

クロロフィル *a* 濃度

Transect-1 において，4 $\mu g \cdot l^{-1}$ 以上の高いクロロフィル *a* 濃度は岸寄り地点の OS108, OS107 および OS105 の 50 m 以浅で認められた (Fig. 7)。特に，OS107 の 40 m 以浅では，8 $\mu g \cdot l^{-1}$ 以上の非常に高いクロロフィル *a* 濃度が認められた。それに対して，沖合い地点 (OS101～OS104) のクロロフィル *a* 濃度は 50 m 以浅で 2～4 $\mu g \cdot l^{-1}$ 程度であった。

Transect-2 において，噴火湾内 1 定点 (OS30-1) のクロロフィル *a* 濃度は 20 m 以浅で 10 $\mu g \cdot l^{-1}$ を超え，さらに 2 日後 (OS30-2) のクロロフィル *a* 濃度は，40 m 以浅で増加し，表面で 18.5 $\mu g \cdot l^{-1}$ の最高値を記録した (Fig. 4)。一方，噴火湾外の地点におけるクロロフィル *a* 濃度は，最

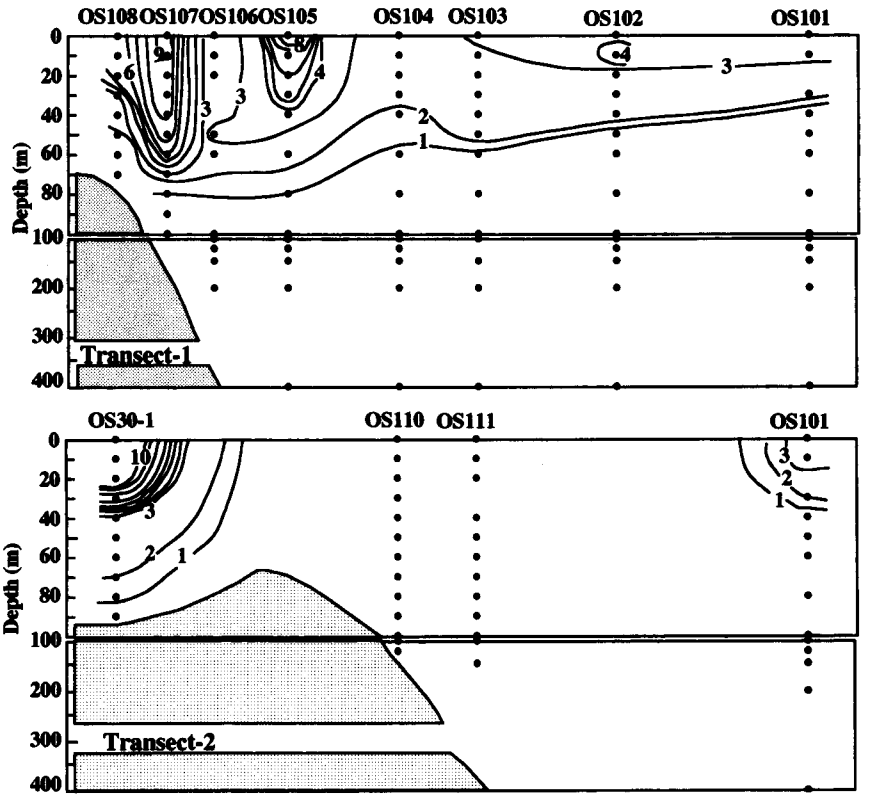

Fig. 7. Vertical distribution of chlorophyll *a* concentration along the transect-1 and the transect-2.

も東側地点 (OS101) を除いて，1 $\mu g \cdot l^{-1}$ 以下の低い値であった (Fig. 7)。

考　　察

クロロフィル *a* 濃度は噴火湾内 (OS30-1, OS30-2) および湾外の4地点 (OS105, OS107, OS108, OS124) で高く，これらの地点は，クロロフィル *a* 濃度から判断するとすでに春季ブルームの最盛期に近い状態にあった。噴火湾内の2日後のクロロフィル *a* 濃度が 40 m 以浅でさらに増加した事実は，湾内で植物プランクトン生産が活発に行われていたことを証拠づける。一方，Transect-2 の中央部の2地点 (OS110, OS111) におけるクロロフィル *a* 濃度は低く，これらの地点はブルーム開始直前の状態にあった。それに対して，噴火湾外の他の地点は春季ブルーム開始直後の状態にあった。このように，約一週間の調査で全域の上層がすでに親潮系水で占められていたにもかかわらずブルームの進行度合が局所的に異なっていたことから，春季ブルームは小さなスケールで時空間的にかなり変動することが示唆された。

春季ブルームの発生あるいは規模を決定する要因の一つとして，有光層内の各栄養塩濃度 (ケイ酸態窒素，硝酸態窒素，リン酸態リン) および栄養塩組成 (Si : N : P) が極めて重要であり，親潮系水の侵入はその栄養塩環境に変化を引き起こすであろう。今回の調査で，親潮系水によって占められていた上層の各栄養塩濃度に地点間の差異が認められた。クロロフィル *a* 量が高かった地点 (OS108, OS107, OS105, OS124, OS30-1, OS30-2) における各栄養塩濃度は，クロロフィル *a* 量が低かった他の地点よりも低い傾向にあった。このことは，各栄養塩濃度における海域的差異が，春季ブルームの進行に対応した植物プランクトン生産による各栄養塩の消費によるものであったことを意味している。それゆえ，春季ブルームによる栄養塩消費以前の親潮系水中の各栄養塩濃度は，春季ブルームの発生に対しては必要十分条件を満たしていたと推察される。

そこで，調査海域で識別された3水塊 (親潮系水，冬季噴火湾固有水および津軽暖流系水) における各栄養塩の平均濃度とその存在比を求めた (Table 1)。親潮系水の各栄養塩濃度は，活発なブルームが起っていた地点 (OS108, OS107, OS105, OS124, OS30-1, OS30-2) を除くと，ケイ酸態ケイ素：24±2 μM，硝酸態窒素：13±2 μM およびリン酸態リン：1.4±0.1 μM であり，それらの存在比は Si : N : P = 17 : 9 : 1 と見積られた。一方，冬季噴火湾固有水の栄養塩濃度は，親潮系水の影響を受けていない噴火湾内の下層の栄養塩濃度と見なすと，ケイ酸態ケイ素：27±5 μM，硝酸態窒素：9±1 μM およびリン酸態リン：1.3±0.1 μM であり，それらの存在比は Si : N : P = 21 :

Table 1. The mean concentrations ($x \pm$s.d.) of the respective parameters in the three water masses

Parameters	Oyashio Water	Funka Winter Water	Tsugaru Warm Water
Temperature (°C)	1.42±0.19 (n=69)	3.46±0.05 (n=5)	7.12±1.32 (n=5)
Salinity (psu)	32.71±0.05 (n=69)	33.53±0.02 (n=5)	33.83±0.06 (n=5)
Sigma-t (σt)	26.18±0.03 (n=69)	26.67±0.01 (n=5)	26.56±0.02 (n=5)
Chl a ($\mu g\ l^{-1}$)	2.1±1.1 (n=54)	1.5±0.5 (n=5)	0.4±0.1 (n=5)
PO_4 (μM)	1.4±0.1 (n=68)	1.3±0.1 (n=5)	0.8±0.1 (n=5)
NO_3 (μM)	13±2 (n=68)	9±1 (n=5)	9±1 (n=5)
SiO_2 (μM)	24±2 (n=68)	27±5 (n=5)	14±1 (n=5)
SiO_2/PO_4	17±2 (n=68)	21±3 (n=5)	19±1 (n=5)
NO_3/PO_4	9.4±0.6 (n=68)	6.8±0.4 (n=5)	10.9±0.9 (n=5)
SiO_2/NO_3	1.9±0.3 (n=68)	3.1±0.6 (n=5)	1.7±0.2 (n=5)

7:1と見積られた。そして，津軽暖流系水の栄養塩濃度は，ケイ酸態ケイ素：14±1 μM，硝酸態窒素：9±1 μMおよびリン酸態リン：0.8±0.1 μMであり，それらの存在比はSi:N:P=19:11:1と見積られた。親潮系水の各栄養塩濃度は，冬季噴火湾固有水と比較すると，ケイ酸態ケイ素およびリン酸態リンについてはほぼ等しいが，硝酸態窒素濃度については比較的高い。また，親潮系水の各栄養塩濃度は津軽暖流系水のそれらよりも高い。噴火湾において，もし親潮系水中で春季ブルームが行われるとしたら，親潮系水が独自にもつこの各栄養塩濃度および栄養塩組成が春季ブルームの持続あるいは規模に対して大きな影響力を持つと予想されるし，また，もし親潮系水流入前に春季ブルームが行われるとしたら，冬季噴火湾固有水が独自にもつその各栄養塩濃度および栄養塩組成が春季ブルームに大きく関与すると予想される。

噴火湾において，春季ブルーム期に優占する珪藻類は，外囲の各栄養塩をSi:N:P=25:16:1の量的関係で消費ことが知られている（簗田，1977)。実際に，噴火湾内で植物プランクトンが活発に生産された最初の調査（OS30-1）から2日後（OS30-2）にかけて，その間の各栄養塩の減少量は，クロロフィル *a* 濃度が増加する0-40 m水柱で計算すると，ケイ酸態ケイ素：3.6 μM，硝酸態窒素：2.4 μMおよびリン酸態リン：0.18 μMであり，その量的関係はSi:N:P=20:13:1と見積られた（Fig. 4)。もし珪藻類がこれらの量的割合で各栄養塩を消費すると仮定すると，親潮系水下ではケイ素あるいは窒素がリンよりも早く枯渇することになる。このことは，噴火湾における春季ブルームの制限因子が親潮系水下では窒素あるいはケイ素であることを示唆している。それに対して，冬季噴火湾固有水下では，窒素がケイ素あるいはリンよりも早く枯渇することになり，窒素が春季ブルームの制限因子となる。すなわち，噴火湾における珪藻類を主体とした春季ブルームの終了時期およびその規模は，植食性動物プランクトンによる捕食や植物プランクトンの沈降などの生物過程を除けば，親潮系水あるいは冬季噴火湾固有水のもつ窒素濃度によって主に決定されると考えてもよさそうである。

つまり，噴火湾において，もし親潮系水の栄養塩環境下で春季ブルームが進行するとしたら，その高い窒素濃度（約13 μM）で春季ブルームが比較的長く維持され，一方，冬季噴火湾固有水の栄養塩環境下では，その窒素濃度（約9 μM）が親潮系水に比べて低いため，春季ブルームの維持期間が短かくなると考えられる。しかも，親潮系水が春季に断続的/連続的に湾内に流入すること（三宅ら，1997）を考え併せると，親潮系水下の春季ブルームの規模は冬季噴火湾固有水中よりも格段に大きくなると考えられる。従って，Shinada et al. (1999) によって報告されているように，噴火湾における春季ブルームの規模の大きな年変動は，高い栄養塩濃度をもった親潮系水の流入量によって左右されているのであろう。

謝　　辞

本稿を取りまとめるに際し，一部の貴重なデータを分析いただいた北海道大学水産学部工藤勲博士に謹んで感謝の意を表わします。また，現場調査の際に協力いただいた北海道大学水産学部練習船「おしょろ丸」の船長，士官ならびに部員の方々に心より感謝いたします。

文　　献

Iinuma, T., Imai, K., Odate, T. and Maita, Y. (1998). Fluctuations of nutrients and primary production structure during winter and spring in Funka Bay. *Mem. Fac. Fish. Hokkaido Univ.*, **45**, 30-35.

今井圭理・小達恒夫・簗田　満・米田義昭 (1998). 夏季噴火湾における物理・化学環境の変化に対す

る植物プランクトン群集の応答．水産海洋研究，**62**, 89-96.
Lalli, C.M. and Parsons, T.R. (1993). *Biological Oceanography : An introduction*. Pergamon Press, New York, 301 pp.
Maita, Y. and Odate, T. (1988). Seasonal changes in size-fractionated primary production and nutrient concentrations in the temperate neritic waters of Funka Bay, Japan. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **44**, 268-279.
米田義昭・簗田　満 (1985). 噴火湾 (III 化学). p. 113-125, 日本海洋学会沿岸海洋研究部会編．日本全国沿岸海洋誌．東海大学出版会，東京．
三宅秀男・川北論正・柴沼成一郎・斉藤誠一 (1997). 親潮流入時における噴火湾口部の海洋構造と流れについて．水産海洋研究，**61**, 123-133.
大谷清隆 (1971). 噴火湾の海況変動の研究 II. 噴火湾に流入・滞留する水の特性．北大水産彙報，**22**, 58-66.
大谷清隆・秋葉芳雄・吉田賢二・大槻智寛 (1971). 噴火湾の海況変動の研究 III. 親潮系水の流入，滞留期の海況．北大水産彙報，**22**, 129-142.
大谷清隆・木戸和男 (1980). 噴火湾の海洋構造．北大水産彙報，**31**, 84-114.
Parsons, T.R., Maita, Y. and Lalli, C.M. (1984). *A manual of chemical and biological methods for seawater analysis*. Pergamon Press, Oxford, 173 pp.
Shinada, A., Shiga, N. and Ban, S. (1999). Structure and magnitude of diatom spring bloom in Funka Bay, southwestern Hokkaido, Japan, as influenced by the intrusion of Coastal Oyashio Water. *Plankton Biol. Ecol.*, **46**, 24-29.
田中伊織 (1984). 噴火湾周辺海域に形成される海洋前線域におけるクロロフィル *a* の分布．水産海洋研究会報，**46**, 9-17.
簗田　満 (1977). 噴火湾における栄養成分の挙動に関する研究．博士論文．pp. 159，北海道大学．

Appendix

Station	Position	Date	Depth (m)	Temperature (°C)	Salinity (psu)	Sigma-t (σt)	Chl a ($\mu g \cdot l^{-1}$)	Phosphate (μM)	Nitrate (μM)	Silicate (μM)
OS101	41-50.1N	Mar. 5, 1996	0	1.23	32.69	26.17	3.75	1.29	12.7	23.8
	141-39.9E		10	1.23	32.69	26.17	3.18	1.30	12.3	24.0
			30	2.72	33.00	26.31	2.55	1.28	12.7	21.5
	Tr=11.5 m		40	4.35	33.34	26.43	0.83	1.10	11.6	20.1
			50	5.26	32.82	25.92	0.72	0.98	10.5	16.9
			60	5.29	33.54	26.48	0.50	0.93	10.1	17.0
			80	6.19	33.74	26.54	0.63	0.83	9.2	14.4
			100	6.61	33.84	26.56	0.33	0.75	8.1	14.3
			125	6.92	33.90	26.56	0.34	0.72	6.9	13.5
			150	9.49	33.84	26.57	0.31	0.79	9.0	14.1
			200	6.39	33.85	26.59	0.30	0.80	9.6	15.7
			400	2.73	33.66	26.84	<0.01	2.45	26.6	73.3
OS102	41-59.9N	Mar. 5, 1996	0	1.58	32.76	26.21	2.78	1.37	12.6	23.0
	141-49.8E		10	1.57	32.76	26.21	4.23	1.40	13.2	23.6
			20	1.56	32.76	26.21	2.70	1.34	12.0	24.8
			30	1.79	32.79	26.22	2.70	1.43	13.4	23.0
			40	2.23	32.86	26.24	2.99	1.40	13.2	25.5
			50	4.03	33.25	26.39	0.59	1.52	15.0	26.9
			60	4.71	33.33	26.38	0.19	1.42	15.0	26.1
			80	4.24	33.27	26.39	0.12	1.41	15.1	26.3
			100	3.87	33.24	26.40	0.10	1.45	15.7	25.8
			125	2.61	33.12	26.42	0.09	1.68	18.3	34.2
			150	1.92	33.07	26.43	0.09	1.99	22.7	40.1
			200	1.84	33.11	26.47	0.04	2.13	25.2	46.7
			400	2.44	33.48	26.72	0.01	2.58	34.4	67.9
OS103	42-04.0N	Mar. 5, 1996	0	1.28	32.74	26.21	3.01	—	—	26.1
	141-54.1E		10	1.29	32.75	26.22	2.96	1.44	14.0	27.1
			20	1.30	32.75	26.22	2.55	1.45	14.2	26.8
			30	1.34	32.75	26.22	2.70	1.45	14.3	24.7
			40	1.30	32.75	26.22	2.75	1.43	14.5	26.7
			50	1.74	32.81	26.24	2.42	1.50	15.4	28.4
			60	2.65	33.08	26.38	0.07	1.64	15.7	32.8
			80	3.36	33.17	26.39	0.07	1.63	18.2	30.3
			100	2.26	33.06	26.40	0.07	1.75	19.6	36.2
			150	1.75	33.04	26.42	0.05	2.00	23.1	38.9
			200	1.79	33.09	26.46	0.03	2.13	24.4	45.2
			400	2.35	33.44	26.69	0.01	2.55	32.0	65.1
OS104	47-07.0N	Mar. 5, 1996	0	1.41	32.75	26.21	2.31	1.39	14.0	25.8
	141-57.0E		10	1.44	32.74	26.20	2.31	1.38	13.5	24.8
			20	1.43	32.74	26.20	2.33	1.35	12.5	25.7

Station	Position	Date	Depth (m)	Temperature (°C)	Salinity (psu)	Sigma-t (σt)	Chl a ($\mu g \cdot l^{-1}$)	Phosphate (μM)	Nitrate (μM)	Silicate (μM)
			30	1.49	32.75	26.21	2.49	1.40	13.7	25.8
			40	1.56	32.78	26.23	1.87	1.46	14.8	24.8
			60	4.31	33.28	26.39	0.20	1.59	17.6	28.5
			80	4.37	33.30	26.39	0.11	1.60	18.0	31.2
			100	3.66	33.23	26.41	0.10	1.67	18.6	33.2
			125	2.51	33.12	26.43	0.09	1.78	20.3	36.5
			150	1.80	33.08	26.44	0.11	1.61	18.0	31.7
			200	1.84	33.13	26.48	0.04	2.13	25.2	47.5
			400	4.67	33.70	26.68	0.19	1.30	15.0	27.0
OS105	42-12.8N	Mar. 5, 1996	0	1.26	32.67	26.15	8.12	1.02	8.7	20.7
	142-02.8E		10	1.28	32.68	26.16	5.16	1.11	8.6	21.7
			20	1.25	32.68	26.16	6.02	1.16	9.8	23.1
			30	1.25	32.68	26.16	5.16	1.12	8.7	19.7
			40	1.24	32.68	26.16	5.90	1.10	9.1	20.6
			60	1.38	32.71	26.18	3.97	1.21	9.4	22.7
			80	1.45	32.78	26.23	0.98	1.54	16.6	27.5
			100	2.05	32.88	26.27	0.85	1.54	16.9	27.6
			125	5.21	33.41	26.39	0.41	1.20	12.4	20.8
			150	5.34	33.45	26.41	0.15	1.24	14.3	24.0
			200	4.61	33.45	26.49	0.37	1.32	15.3	26.7
			400	2.73	33.54	26.74	0.06	2.61	34.6	63.4
OS106	42-15.0N	Mar. 6, 1996	0	1.14	32.75	26.23	2.95	1.34	12.0	24.3
	142-06.2E		10	1.22	32.67	26.17	2.14	1.35	12.3	23.7
			20	1.22	32.68	26.17	2.64	1.34	11.4	23.7
			30	1.23	32.68	26.17	—	1.31	11.7	23.5
			50	1.23	32.68	26.17	2.79	1.35	12.3	21.9
			60	1.24	32.68	26.16	3.46	1.32	12.1	23.8
			80	2.46	32.93	26.28	—	1.37	13.3	25.7
			100	4.52	33.26	26.35	0.32	1.28	14.4	—
			125	5.64	33.48	26.39	0.11	1.24	13.8	23.4
			150	5.19	33.44	26.42	0.11	1.36	15.5	24.4
			200	3.42	33.27	26.47	0.07	1.78	19.3	38.0
OS107	42-18.2N	Mar. 6, 1996	0	1.08	32.64	26.14	9.93	0.94	6.4	18.7
	142-08.1E		10	1.09	32.63	26.13	9.74	0.98	7.0	18.5
			20	1.12	32.63	26.13	9.93	0.97	6.9	19.0
			30	1.15	32.64	26.14	8.63	1.01	7.3	18.8
			40	1.18	32.67	26.16	9.55	1.08	8.4	17.9
			50	1.28	32.70	26.18	7.66	1.13	9.5	21.8
			60	1.77	32.81	26.23	6.13	1.30	11.7	22.7
			70	2.69	32.98	26.30	3.01	1.46	14.8	24.0
			80	2.81	33.03	26.33	1.07	1.56	17.1	29.3

Station	Position	Date	Depth (m)	Temperature (°C)	Salinity (psu)	Sigma-t (σt)	Chl a ($\mu g \cdot l^{-1}$)	Phosphate (μM)	Nitrate (μM)	Silicate (μM)
			90	2.70	33.09	26.39	0.68	1.78	20.6	37.3
			100	2.91	33.14	26.41	0.70	1.82	20.6	37.2
OS108	42-19.0N	Mar. 6, 1996	0	1.24	32.70	26.18	5.79	1.18	9.9	23.7
	142-09.0E		10	1.26	32.69	26.17	5.85	1.17	10.1	23.4
			20	1.28	32.70	26.17	5.28	1.20	10.5	22.3
			30	1.22	32.73	26.21	2.68	1.43	13.8	28.4
			40	1.19	32.73	26.21	2.27	1.49	14.8	29.0
			50	1.24	32.76	26.23	0.68	1.69	16.0	32.4
			60	1.86	32.89	26.29	1.33	1.57	16.6	31.9
			70	2.19	32.98	26.34	1.18	1.71	18.5	32.1
OS110	42-11.2N	Mar. 6, 1996	0	1.25	32.68	26.16	0.94	1.38	12.8	22.5
	141-10.2E		10	1.27	32.67	26.16	0.85	1.35	12.7	22.7
			20	1.28	32.67	26.16	1.09	1.36	13.2	22.6
	Tr=17.1 m		30	1.29	32.67	26.16	0.98	1.38	12.8	25.1
			40	1.31	32.67	26.16	1.07	1.38	13.4	23.6
			50	1.32	32.68	26.16	0.94	1.06	7.4	22.7
			60	1.42	32.70	26.17	0.85	1.43	14.0	26.1
			70	1.52	32.72	26.18	0.72	1.44	12.4	24.2
			80	1.71	32.78	26.22	0.63	1.46	14.7	24.4
			90	1.91	32.85	26.25	0.55	1.37	12.7	25.7
			100	2.56	33.12	26.42	1.05	1.39	13.9	27.2
			110	2.67	33.21	26.49	1.13	1.53	15.9	33.0
			115	2.71	33.23	26.50	0.45	1.90	21.7	41.8
OS111	42-08.8N	Mar. 6, 1996	0	1.24	32.66	26.15	0.48	1.48	14.5	25.6
	141-12.9E		10	1.22	32.63	26.13	0.54	1.47	14.2	24.8
			20	1.20	32.63	26.13	0.50	1.44	14.0	25.1
	Tr=17.8 m		30	1.24	32.64	26.13	—	1.34	10.9	25.1
			40	1.29	32.65	26.14	0.61	1.42	12.9	24.8
			50	1.37	32.67	26.14	0.76	1.43	13.8	25.4
			60	1.53	32.71	26.17	0.89	1.42	14.0	25.7
			70	1.72	32.77	26.21	0.49	1.57	16.2	29.1
			80	1.84	32.83	26.24	0.81	1.49	11.8	30.6
			90	1.94	32.86	26.27	1.16	1.56	15.6	29.3
			100	1.88	32.87	26.28	0.96	1.61	17.1	32.6
			125	2.24	33.00	26.35	—	1.56	14.5	30.2
			145	2.54	33.23	26.51	3.86	1.13	8.6	22.4
OS114	42-02.0N	Mar. 6, 1996	0	1.26	32.61	26.11	—	1.19	8.5	22.8
	141-20.0E		10	1.25	32.63	26.12	—	1.34	13.1	23.2
			20	1.23	32.63	26.13	—	1.30	12.0	20.2
			30	1.17	32.63	26.13	—	1.21	10.5	22.2

Station	Position	Date	Depth (m)	Temperature (°C)	Salinity (psu)	Sigma-t (σt)	Chl a ($\mu g \cdot l^{-1}$)	Phosphate (μM)	Nitrate (μM)	Silicate (μM)
			40	1.17	32.63	26.13	—	1.36	13.3	22.7
			50	1.23	32.65	26.14	—	1.36	13.4	22.4
			60	1.62	32.74	26.19	—	1.37	13.4	20.8
			80	1.94	32.88	26.28	—	1.44	13.4	27.2
			100	3.26	33.11	26.35	—	1.62	17.3	30.3
			125	2.43	33.07	26.39	—	1.85	21.5	36.4
			150	2.41	33.13	26.44	—	1.96	23.4	42.1
			200	2.88	33.31	26.55	—	2.08	24.3	46.1
			325	2.66	33.53	26.74	—	2.63	33.2	67.8
OS124	42-15.0N	Mar. 7, 1996	0	0.84	32.68	26.19	5.45	1.21	9.2	20.3
	141-29.0E		10	0.88	32.64	26.16	5.73	1.24	10.1	22.1
			20	0.90	32.65	26.16	6.19	1.22	10.5	18.8
			30	1.91	32.82	26.23	6.53	1.22	10.8	18.7
			40	2.28	32.89	26.26	4.65	1.30	12.6	20.6
			50	2.94	33.02	26.31	2.89	1.31	12.4	22.6
			60	3.80	33.19	26.37	1.22	1.32	13.6	21.4
			80	4.67	33.37	26.42	0.49	1.31	13.6	23.8
			100	4.83	33.43	26.45	0.27	1.26	12.8	24.1
			125	4.38	33.42	26.49	0.02	1.23	13.8	22.9
			150	4.41	33.47	26.53	0.19	1.43	16.7	28.5
			200	4.61	33.62	26.63	0.19	1.15	12.9	19.4
			300	4.72	33.77	26.73	0.04	2.41	31.0	57.2
OS128	42-24.7N	Mar. 8, 1996	0	1.53	32.73	26.19	3.29	1.27	11.2	22.0
	141-20.0E		10	1.53	32.73	26.19	2.95	1.27	11.4	20.2
			20	1.53	32.73	26.19	3.12	1.30	11.7	23.0
	Tr = 13.4 m		30	1.53	32.74	26.19	3.75	1.30	11.6	22.4
			40	1.54	32.74	26.19	3.41	1.15	8.6	21.6
			50	1.70	32.77	26.20	3.80	1.28	11.8	21.9
			60	1.87	32.87	26.28	2.25	1.50	15.1	24.8
			70	1.96	32.91	26.30	1.68	1.63	18.6	29.3
			80	2.28	33.01	26.35	1.07	1.72	16.3	33.2
OS131	42-19.0N	Mar. 8, 1996	0	1.48	32.72	26.18	2.09	1.28	11.3	24.2
	141-10.1E		10	1.49	32.71	26.17	1.87	1.37	13.5	21.2
			20	1.49	32.71	26.18	1.85	1.38	13.8	23.5
			30	1.63	32.77	26.21	2.53	1.42	14.5	23.1
			40	2.00	32.85	26.25	5.56	1.36	11.9	—
			50	2.23	32.95	26.31	1.16	1.64	18.3	27.9
			60	2.25	33.02	26.36	0.80	1.78	20.2	—
			70	2.26	33.02	26.37	0.44	1.78	19.3	32.9

Station	Position	Date	Depth (m)	Temperature (°C)	Salinity (psu)	Sigma-t (σt)	Chl a ($\mu g \cdot l^{-1}$)	Phosphate (μM)	Nitrate (μM)	Silicate (μM)
OS134	42-05.0N	Mar. 9, 1996	0	1.73	32.75	26.19	1.87	1.24	11.5	22.4
	140-59.9E		10	1.71	32.74	26.18	2.27	1.31	12.5	23.8
			20	1.56	32.74	26.19	2.18	1.23	11.1	—
	Tr=16.3 m		30	1.55	32.74	26.19	2.31	1.29	12.7	22.0
			40	1.63	32.75	26.20	2.35	1.26	11.8	21.1
			50	1.85	32.81	26.23	2.27	1.30	12.5	22.2
			60	1.93	32.84	26.25	2.31	1.36	13.5	23.6
			70	2.09	32.92	26.30	1.61	1.52	15.7	26.2
			80	2.72	33.16	26.44	0.39	1.72	19.2	34.1
OS10	42-12.0N	Mar. 8, 1996	0	1.30	32.68	26.16	—	1.39	12.1	24.9
	140-56.1E		10	1.34	32.65	26.14	—	1.39	13.0	21.9
			20	1.34	32.65	26.14	—	1.38	13.2	23.8
			30	1.34	32.66	26.14	—	1.38	13.2	24.5
			40	1.37	32.69	26.16	—	1.38	12.9	24.3
			50	1.55	32.74	26.19	—	1.42	13.8	24.9
			60	1.82	32.81	26.23	—	1.38	13.3	24.3
OS30-1	42-15.9N	Mar. 10, 1996	0	2.15	32.79	26.19	11.99	1.05	8.7	21.2
	140-36.3E		10	1.89	32.85	26.26	11.99	0.98	6.8	21.2
			20	1.87	32.87	26.27	10.11	0.82	4.5	18.4
	Tr=4.1 m		30	1.93	32.90	26.29	7.89	0.97	6.2	—
			40	2.64	33.22	26.49	2.79	1.02	5.2	17.8
			50	2.84	33.35	26.58	2.88	1.06	7.0	17.8
			60	3.10	33.42	26.62	2.49	1.11	8.1	19.5
			70	3.44	33.51	26.66	1.92	1.17	8.7	20.6
			80	3.51	33.54	26.67	1.07	1.36	9.0	31.5
			89	3.50	33.54	26.67	0.83	1.35	9.2	26.8
OS30-2	42-15.8N	Mar. 12, 1996	0	2.09	32.88	26.26	18.54	0.68	2.1	15.5
	140-36.7E		10	2.07	32.88	26.26	16.86	0.66	1.7	15.6
			20	2.09	32.89	26.28	14.98	0.70	2.4	15.3
	Tr=4.7 m		30	2.05	32.95	26.33	11.24	0.81	4.2	16.3
			40	2.50	33.11	26.42	8.63	1.10	8.8	17.4
			50	2.60	33.19	26.47	3.18	1.07	8.1	15.5
			60	2.73	33.29	26.54	2.77	1.14	8.7	21.0
			70	3.29	33.46	26.63	2.49	1.19	7.1	—
			80	3.39	33.51	26.66	1.98	1.26	8.5	23.9
			88	3.46	33.53	26.67	1.64	1.38	8.7	33.4