

# 1992年6月の新潟五十嵐浜における栄養塩と 植物色素の分布

木暮陽一<sup>1)</sup>・佐藤善徳<sup>1)</sup>・奥村卓二<sup>1)</sup>・長沢トシ子<sup>1)</sup>

## Distribution of Nutrients and Phytoplankton Pigments at Igarashi Beach, Niigata in June 1992

Yoichi KOGURE, Yoshinori SATO, Takuji OKUMURA and Toshiko NAGASAWA

### Abstract

In order to understand the characteristics of the primary production in the nearshore waters of Igarashi Beach, Niigata, the distribution of nutrients and phytoplankton pigments were surveyed in June 1992. In the study area, discharge from the Shin River was one of the sources of nutrients, which were mainly detected in the low salinity surface water around the mouth of the river. Compared with dissolved inorganic nitrogen and silicate, phosphate was remarkably deficient throughout the study area and was likely to be a limiting factor for primary production. Concentration of chlorophyll-*a* was high in the riverine plume front near the river mouth. Furthermore, by analysis of relation between chlorophyll-*a* concentration and salinity, primary productivity at the surface was considered to be high in this area. It seems likely that Shin River contributes partly to the supply of organic matter at Igarashi Beach through the primary production enhanced by nutrients in its water.

**Key words**: primary production, Igarashi Beach, Shin River, phosphate, chlorophyll, limiting factor

### はじめに

調査対象域とした五十嵐浜沿岸水域は、新潟市南西部に位置し佐渡海峡に面した外海性砂浜で、新潟平野の水田地帯を貫流する新川が流入している。この海域は底魚類、甲殻類、棘皮類などをはじめとする多種多様な底生動物が生息しており、ヒラメやコタマガイなどの増殖場としても利用されるため、長年にわたりその生態調査が実施されてきた(例えば 興石ら 1982; 赤嶺ら 1991)。しかしながら、このような生物生産を支える栄養物質の供給過程についてはこれまでほとんど調査されておらず、この海域の栄養塩の動態や基礎生産に関する知見は不足している。新潟市付近の沿岸域の栄養塩環境については永原(1984)、檜山・永原(1987)、長田(1994)が信濃川・阿賀野川河口域で調査しているが、いずれも河口から数キロ以上沖合の海域を対象にしており、これら両河川の河口に近い浅海域での詳細な調査は実施されていない。

筆者らは1991年以降五十嵐浜、特にこれまで有用魚介類の生態調査が重点的に実施されてき

た新川南西海域における低次生物生産機構を解明するために調査研究を継続しているが、調査海域の栄養塩の分布状況をみるために、1991年5月から10月にかけて新川河口から沖合に向かって1測線をもうけて表面採水を中心とした予備調査を実施した。その結果、栄養塩濃度は主に新川河口近傍域で高く、河口から離れるにつれ急速に減少することがわかった(木暮)\*。しかしながら、河川水が生物生産に果たす役割を把握するためには、このような化学的要素と物理・生物的要素を組み合わせた総合的解析が不可欠である。

本研究では、五十嵐浜における生物生産を支える栄養物質の供給過程を明らかにするために、その補給源の1つとして考えられる流入河川水の水平・鉛直的拡散状況、栄養塩類と植物プランクトン現存量(植物色素)の分布について調査した。さらに、その結果から五十嵐浜沿岸水域での1次生産の特性について若干の検討を加えた。

報告に先立ち、調査にご協力いただいた介類増殖研究室長林育夫博士、同研究室梶原直人技官、また原稿のご校閲をいただいた飯倉敏弘資源増殖部長に厚くお礼申し上げる。

### 調査方法

調査は日本海区水産研究所所属の小型調査艇いそなみ(2.4t)により1992年6月16日に行った。この調査時期はヒラメをはじめとする多くの底魚類稚魚の主要餌料であるアマ類の個体数の急速な増加期に一致する(広田1990)。調査点は主に新川南西海域のヒラメ種苗放流場を網羅するように新川河口沖の1測線(測線A)とその西側の4測線(測線B~E)及び東側1測線(測線F)上の41点とした(Fig. 1)。調査点の位置はレーザー測距儀(クルップアトラスLARA90/210)を用いて決定した。

調査海域の河川水の拡散状況を調べるため、STD(アレック電子AST-1000S)を用いて全調査点の表層から海底までの水温、塩分を測定した。また栄養塩と植物プランクトン色素量の分布を調べるため、測線A, C, Eの各調査点で0, 1, 3, 5, 10, 15, 20, 25, 30m層の採水を実施した。

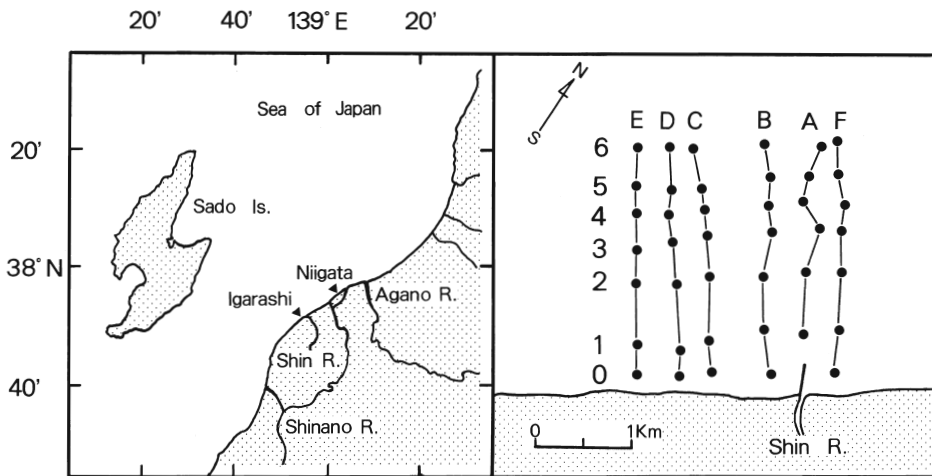


Fig. 1. Location of Igarashi Beach (left) and sampling stations (right).

\*未発表資料

栄養塩は亜硝酸態及び硝酸態窒素( $(\text{NO}_2 + \text{NO}_3)\text{-N}$ )、アンモニア態窒素( $\text{NH}_4\text{-N}$ )、リン酸塩( $\text{PO}_4\text{-P}$ )、ケイ酸塩( $\text{SiO}_2\text{-Si}$ )を分析した。 $\text{NH}_4\text{-N}$ の定量はSASAKI and SAWADA (1980)の方法により分光光度計(日立U-3210)を用いて行い、その他はオートアナライザー(テクニコン社II型)で分析した。 $(\text{NO}_2 + \text{NO}_3)\text{-N}$ と $\text{NH}_4\text{-N}$ を合計して溶存態無機窒素(DIN)とした。植物色素量の最大分布は前年度の予備調査では表面に観察されたので(木暮)\*、表面水について、試水0.5 lをガラス繊維ろ紙(ワットマンGF/F)でろ過後、そのろ紙を*N,N*-ジメチルホルムアミドに浸漬して色素を抽出し、分光蛍光光度計(日本分光FP-777)でクロロフィル*a* (Chl-*a*)、フェオ色素(Pheopigments)の分析を行った。

## 結 果

### 1 水 温 分 布

表面の水温分布をFig. 2-aに示す。表面水温は新川河口付近(Stn. F1)で最も高く(22°C)、そこから水温19°C以上の範囲が南西方向に舌状に延びていた。また、周囲に比べて±1°C程度の水温差のある表面水がパッチ状に散在して、表面水温は複雑な分布を示した。

測線Aの水温鉛直分布をFig. 2-bに示す。水温鉛直分布は、河口表層付近に高温水(20°C以上)が分布し、5m深付近に緩やかな温度躍層を示す成層構造を形成していた。測線C, Eにおいても高温水はごく表層域に限られたが、温度躍層は2m深付近に観察され、測線Aと比較してその深度は浅くなっていた。

### 2 塩 分 分 布

表面水の塩分分布をFig. 3-aに示す。低塩分水が新川河口から沖合に向かって西方向に広がり、これに対して塩分33以上の高塩分水が北方に分布しているのが認められた。低塩分水と沖合の高塩分水の間には明瞭な境界が形成されており、場所によっては100m程度の距離で塩分が2以上激変していた。

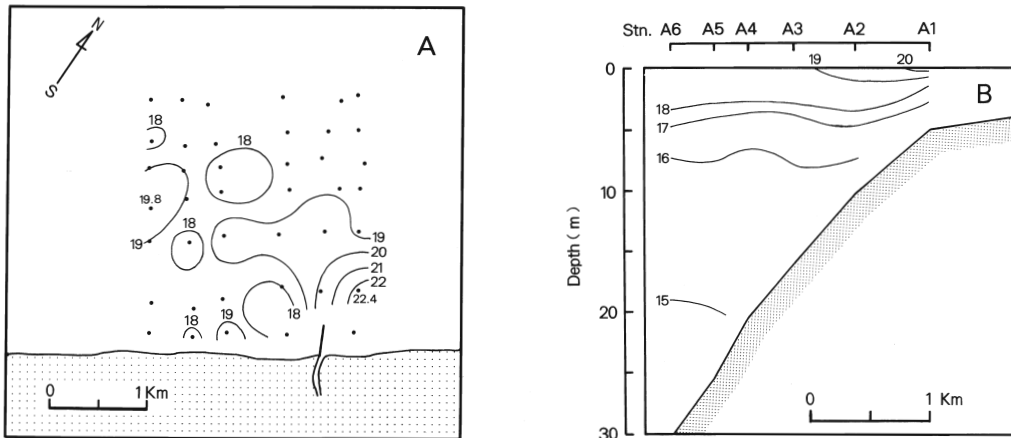


Fig. 2. Distribution of temperature. (a): Horizontal distribution of surface water, (b): Vertical distribution of line A.

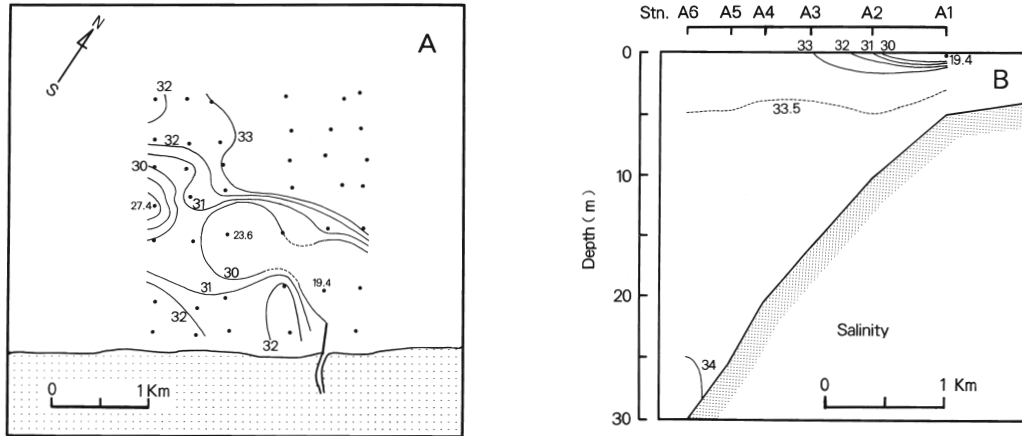


Fig. 3. Distribution of salinity. (a): Horizontal distribution of surface water, (b): Vertical distribution of line A.

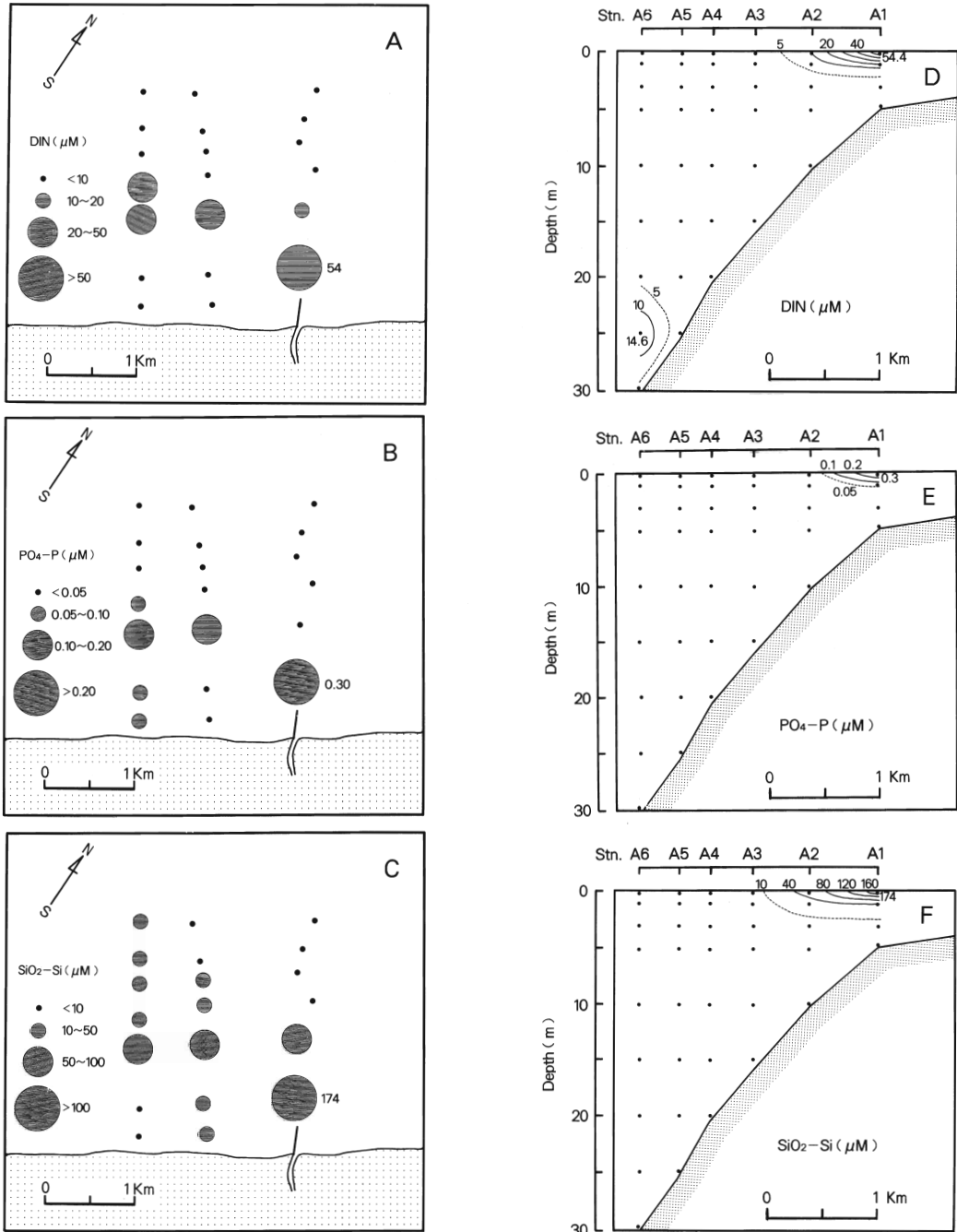
塩分31以下の表面低塩分水は河口から西方向に途切れることなく帯状に広がり、その範囲は最も西側の測線 E では距岸 2km に及んでいた。特に、このような帯状に延びた低塩分水域内には塩分30以下の孤立した低塩分水が存在したことが特徴的である。また、より岸寄りの Stn. B0, E0 付近には周囲に比べ塩分の比較的高い表面水（塩分32以上）が存在しており、河口近傍海域での塩分分布が複雑で入り組んでいることを示していた。

測線 A の塩分の鉛直分布を Fig. 3-b に示す。塩分は Stn. A1～A3 では約 1m 深を境界にそれ以浅では急激に減少するが、それ以深、また Stn. A4～A6 では表面から底層にかけてほぼ均一（塩分33～34）になっており、塩分躍層を境に低塩分水の影響は Stn. A1～A3 のごく表層に限られていた。測線 A, C, E の塩分の鉛直断面を比較してみると、塩分30以下の低塩分域は全測線で表層域にとどまったが、測線 A～E にかけて次第に岸から離れて分布する傾向を示した。

### 3 栄養塩分布

栄養塩の水平分布を Fig. 4-a, b, c に、測線 A の鉛直分布を Fig. 4-d, e, f に各々示す。DIN, SiO<sub>2</sub>-Si ともに低塩分水内では比較的高濃度 (DIN : 20 $\mu$ M 以上, SiO<sub>2</sub>-Si : 50 $\mu$ M 以上) に存在しており、特に新川河口域 (Stn. A1) では DIN は 54 $\mu$ M, SiO<sub>2</sub>-Si は 174 $\mu$ M と非常に高濃度であった (Fig. 4-a, c)。一方、塩分33以上を示す沖合水における濃度はいずれも数  $\mu$ M 程度できわめて低濃度であった。また、鉛直分布をみると、低塩分水域の 1m 深以浅の表層で DIN, SiO<sub>2</sub>-Si とも 10 $\mu$ M 以上検出されたが、中、下層では DIN で 1 $\mu$ M 前後, SiO<sub>2</sub>-Si で 2 $\mu$ M 程度と極端に低い値であり、その分布は低塩分水域内に局限されていた (Fig. 4-d, f)。測線 C, E においても DIN, SiO<sub>2</sub>-Si の高濃度分布域は表層低塩分水中に局限されており、塩分濃度とこれらの栄養塩濃度は負の相関を示した。ただし、測線 A の沖合底層については DIN 濃度が 10  $\mu$ M 以上であり、この層の塩分が 34 以上と周囲より高いことが特徴的であった。

一方、PO<sub>4</sub>-P も他の栄養塩同様、低塩分水中に検出されるが、その濃度はきわめて低く、河口近傍 (Stn. A1) においても 0.30 $\mu$ M であり、それ以外の多くの調査点では検出限界値 (0.05  $\mu$ M) 以下であった (Fig. 4-b)。測線 A の鉛直分布 (Fig. 4-e) をみると、PO<sub>4</sub>-P は表層低塩分水の一部に微量に存在するのみであり、測線 C, E においても同様な傾向を示した。また DIN と



**Fig. 4.** Distribution of nutrients. Horizontal distribution of (a) dissolved inorganic nitrogen, (b) phosphate and (c) silicate of surface water and vertical distribution of (d) dissolved inorganic nitrogen, (e) phosphate and (f) silicate of line A.

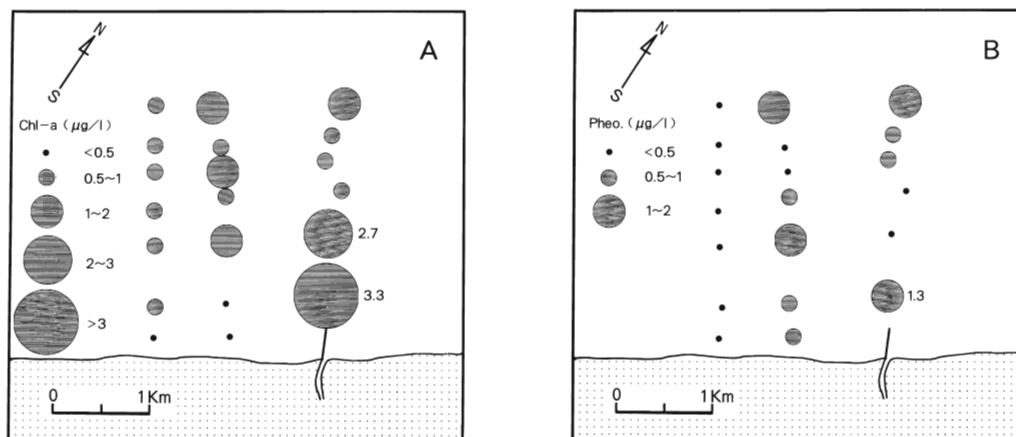


Fig. 5. Horizontal distribution of (a) chlorophyll-*a* and (b) pheopigments of surface water.

は対照的に測線 A の沖合底層水中でも検出限界値以下であった。

#### 4 植物色素の分布

表面水中の植物色素の水平分布を Fig. 5 に示す。Chl-*a* は河口に最も近い Stn. A1 および隣接する Stn. A2 で  $3\mu\text{g}/\ell$  前後の高い値を示したが、他の調査点ではほぼ  $1\mu\text{g}/\ell$  程度の低い値であった。Stn. A1 は新川河口から約 0.5km の距離に位置していること、また河川水と海水との混合が時間的にそれほど進行していない（塩分 19.4）と考えると、海産植物プランクトンが増殖したと言うよりはむしろ河川内で増殖した淡水・汽水産植物プランクトンが河川水とともに排出されたものと考えのが妥当である。フェオ色素は低塩分域の Stn. A1, C2 と沖合高塩分域の Stn. A6, C6 で  $1\mu\text{g}/\ell$  以上が検出されたが、これらの調査点では Chl-*a* についても  $1\mu\text{g}/\ell$  以上が検出された。一方、Stn. A2, C4 ではフェオ色素は検出されないが Chl-*a* 濃度は  $1\mu\text{g}/\ell$  以上の値を示し、フェオ色素と Chl-*a* の高濃度分布域は必ずしも一致していなかった。

総色素量に占める Chl-*a* の割合を Fig. 6 に示す。Stn. A1 の Chl-*a* の割合は総色素量の 71% であり、Stn. A6 (42%)、Stn. C6 (47%) よりも高い値を示していた。上述したように、Stn. A1 では河川水が流入後間もないため広塩分耐性を持つ植物プランクトンにとっては、Chl-*a* からフェオ色素への変質があまり進行していなかったためと考えられる。他方、Stn. A2, C4, E3, E4 はフェオ色素は検出されず Chl-*a* の割合が 100% を占め、特に Stn. A2 の Chl-*a* の絶対量は他に比べて大きく、Stn. A1 のそれに匹敵する値を示した。

#### 5 栄養塩と植物色素の挙動分析

河川から供給された物質が河川水の希釈混合過程でどのような挙動を示すかは、塩分を保存性成分とした Mixing Diagram を用いて分析することができる（才野 1985）。ここでは最も河口に近い調査点 Stn. A1 の表面水中の栄養塩、Chl-*a* が希釈混合を受けて最終的に塩分 33 以上の沖合表面水の濃度（塩分、栄養塩、Chl-*a* の値は Stn. A3~A6 の平均値）に達したと仮定し、栄養塩と Chl-*a* の濃度変化を対比した（Fig. 7）。

栄養塩類はいずれもほぼ希釈直線の周辺に位置しており（Fig. 7-a, b, c）、これは栄養塩の挙動が単純な物理的希釈混合過程に基づくことを示している。低塩分水域の中央（Stn. C2, E3）での若干の減少が生物化学的要因による栄養塩の除去過程の結果であるかどうかを検討するため

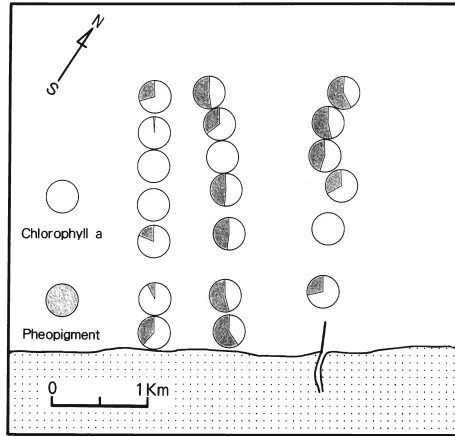


Fig. 6. Percentages of chlorophyll-*a* in total pigments (chlorophyll-*a*+pheopigments) of surface water.

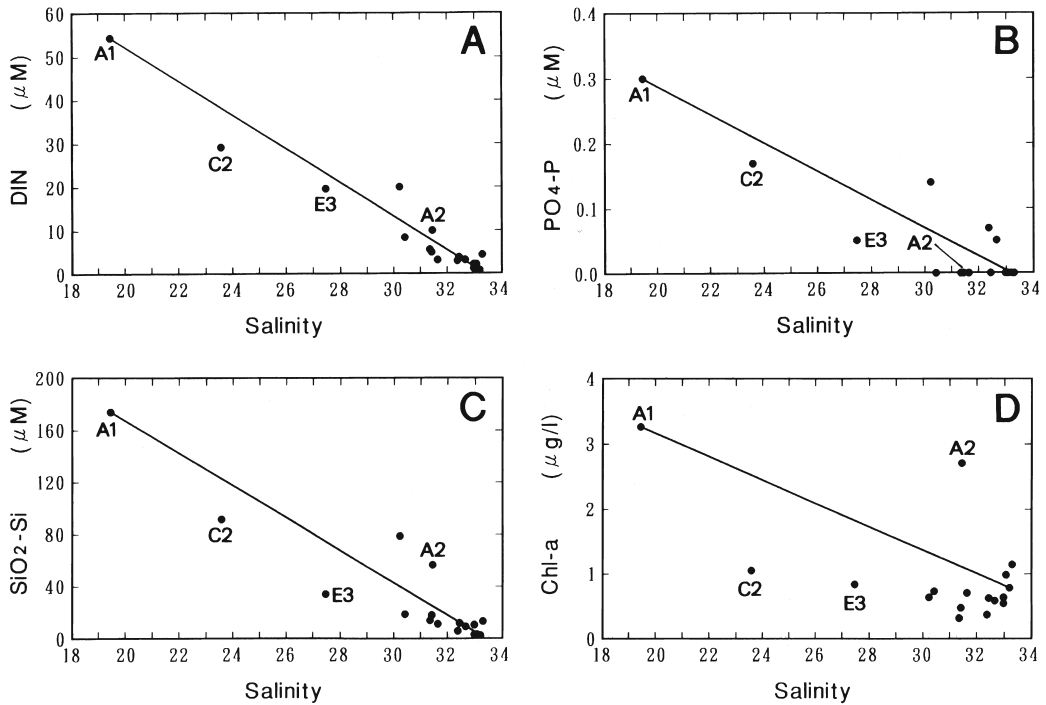


Fig. 7. Relationships between salinity and (a) dissolved inorganic nitrogen, (b) phosphate, (c) silicate and (d) chlorophyll-*a*. The solid lines show idealized pattern for conservative mixing.

には低塩分域のより詳細なデータの蓄積が必要である。

Chl-*a*の値はほとんどの調査点で希釈直線以下に分布し、低塩分域では特に減少が目立ったが、低塩分域と沖合水の境界域に位置するStn. A2のみは推算値を大きく上回った(Fig. 7-d)。Stn. A2ではDINは $10.0\mu\text{M}$ でほぼ希釈直線付近に位置するが $\text{PO}_4\text{-P}$ は検出されず(Fig. 7-a, b), また前述したように総色素量に占めるChl-*a*の割合が100%と周辺部に比べて高い値を

示していたのが特徴的である。

## 考 察

調査海域では高温、低塩分の表層水が新川河口部を中心として西方向へ広がっていたが、これは河川水が内陸水田地帯を貫流する際に徐々に昇温した後、海域へ流入して形成された河川水ブルームと考えられる。新川の北東 9km には信濃川の分水路(関屋分水路)が流入しており、分水路の北東 7km, さらに 5km には信濃川本流, 阿賀野川の河口が位置している。これらの大河川による淡水の供給は新潟市近傍海域の沿岸水の形成に大きく寄与していると考えられるが、佐渡海峡、特に新潟沖では北東方向への接岸流(接岸順流)の頻度が高い(川合・長田 1993)ことから、大河川河口域から南西 9km に位置する五十嵐浜沿岸水域への河川水供給には信濃川・阿賀野川よりも、調査海域へ直接流入する新川河川水の寄与が大きいと推測される。

一般に、沿岸域への栄養塩の補給源としては、陸水と沖合底層水による供給が考えられる。沖合底層水による栄養塩供給は躍層の上下動や気象擾乱による底層水のはい上がり現象、また河口域に特有な河口循環流(大谷 1991)により生じる。永原(1984)は新潟北部沿岸域の調査で 20~50m の水深帯に補給される栄養塩は主として深層系水のはい上がりによるが、成層期においては躍層の発達により海面付近までの補給は期待できないとしている。本調査でも Stn. A6 の水深 20m 以深に DIN が  $5\mu\text{M}$  以上の水塊の分布がみられたものの、調査当日の水温、塩分の鉛直分布からみた水塊構造によれば、底層水が栄養塩の供給源になっていたとは考えられない。調査海域の栄養塩分布は水平的にも鉛直的にも河川水ブルームの分布とよく一致しており、海域への栄養塩供給源の一つとして新川河川水が重要な役割をはたしているといえよう。

Mixing Diagram の結果から、境界域に位置する Stn. A2 では Chl-*a* 濃度(植物プランクトン現存量)が高かったのに対してフェオ色素が検出されないことから、植物プランクトンが流れにより物理的に集積されたと考えるより、むしろ周囲に比べ相対的に活発な 1 次生産が局所的に行われていたと思われる。しかしながらこのような境界域に位置する生産の場は海域全体からみれば小規模な範囲であり、河川流量や河川水の拡散方向の変化とともに移動する不安定な場であると考えられる。今回は河川水が西方へ拡散していたが、拡散方向が北から北東方向へ変化すれば、新川南西海域への栄養塩供給とそれに伴う 1 次生産はさらに減少すると推測される。また、調査海域では  $\text{PO}_4\text{-P}$  が極端に欠乏しており、このような状況は 1991 年 5 月~10 月にかけて毎月 1 度実施した予備調査でも認められた(木暮)\*。植物プランクトンの増殖に必要な  $\text{PO}_4\text{-P}$  濃度については、DARLEY(1982)は  $1\mu\text{M}$  以下で制限因子になる場合があるとしており、また ICHIMURA(1967)は一般的に  $0.3\mu\text{M}$  以下で海産ケイソウ類の成長は急激に鈍るとしている。五十嵐浜沿岸水域の  $\text{PO}_4\text{-P}$  濃度は大部分の調査点で検出限界値  $0.05\mu\text{M}$  以下のため、植物プランクトンの増殖の制限因子となっている可能性が強く、Mixing Diagram の結果と合わせて考えると、この海域の広い範囲での活発な 1 次生産は期待できない。

今後、海域への栄養塩供給と 1 次生産の関係について明らかにするため、河川流量の変動、それに伴う栄養塩供給量の変化を時系列的に把握するとともに、新川河川水から供給される栄養塩に起因する 1 次生産のみで調査海域全体の生物生産が支えられているかどうかについてさらに詳しく検討していく必要があろう。

\*未発表資料



## 文 献

- 赤嶺達郎・中西 孝・梅澤 敏・栗原 肇 (1991) 新潟市五十嵐浜におけるコタマガイの成長. 日水研報告, (41), 27-41.
- DARLEY, W. M. (1982) 藻類の生理生態学, (手塚泰彦・渡辺泰徳・渡辺真利代訳, 1987), 培風館, 東京, 199pp.
- 広田祐一 (1990) 新潟五十嵐浜におけるアミ類の季節変動とヒラメ稚魚に捕食されるサイズ. 日本海ブロック試験研究集録, (19), 73-88.
- 檜山義明・永原正信 (1987) 河川による栄養塩等物質負荷量. pp97-102, 海洋生物資源の生産能力と海洋環境に関する研究 (第II期) 成果報告書, 科学技術庁研究開発局.
- ICHIMURA, S. (1967) Environmental gradient and its relation to primary productivity in Tokyo Bay. *Rec. Oceanogr. Wks. Japan.*, **9**(1), 115-128.
- 川合英夫・長田 宏 (1993) 信濃川等の河川排水と海水との混合過程. 日水研報告, (43), 9-54.
- 輿石裕一・中西 孝・赤嶺達郎・田中邦三・長沼典子 (1982) ヒラメ増殖上の諸問題に関する基礎的研究. 日水研報告, (33), 67-80.
- 永原正信 (1984) 新潟北部沿岸域の栄養塩類とクロロフィル-*a*の季節変化. pp85-97, 海洋生物資源の生産能力と海洋環境に関する研究 北陸沿岸地域調査成果報告, 日本海区水産研究所.
- 長田 宏 (1994) 新潟沿岸域における河川水起源の栄養塩分布の季節変動. 水産海洋研究, **58**, 1-9.
- 大谷清隆 (1991) 海水循環と湧昇. 日本海ブロック試験研究集録, (20), 41-50.
- 才野敏郎 (1985) 河口・沿岸海域における栄養塩類の動態. 沿岸海洋研究ノート, **23**, 88-103.
- SASAKI, K. and SAWADA, Y. (1980) Determination of ammonia in estuary. *Bull. Japan. Soc. Sci. Fisher.*, **46**, 319-321.