

原 著

函館湾への栄養塩負荷量並びに湾内におけるその分布*

松永勝彦**, 米田義昭**, 戸屋健治**, 上戸慶一**, 築田 満**

1. 緒 言

近年, 沿岸海域でプランクトンの異常発生——般には赤潮と呼ばれている——が沿岸漁業に多大の被害を与えている。これらの海域では経験的に栄養塩濃度が高く, ビタミン B₁₂, 鉄, マンガンなどが関与していると言われている¹⁾。これらの元素あるいは化合物以外の要因があるかもしれないが, 赤潮が発生するためには栄養塩が必要成分であり, その起源は人類活動の排泄を含めた河川水と言えよう。これらの栄養塩の負荷は生産力を増大させる効果をもたらす一方, 水温上昇の伴う夏季には赤潮を引き起こし負の要因にもなる。

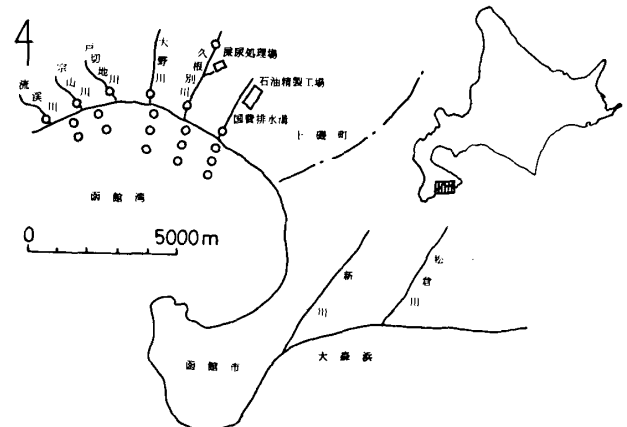
函館湾においても, 近年赤潮が発生している反面, 漁獲高は年々増加し, 1974年度はおよそ40億円の水揚げがあった。実際, 湾内は貝類の生産力が増大していることは事実であると同時に, 年々海域が汚染されていることも事実である。

著者らは今後も汚染が進行すると考えられる函館湾の現状を把握するため, 湾内における栄養塩並びに河川から供給される栄養塩負荷量について検討した。

2. 調査方法

1. 調査方法

函館市内の主な河川は大森浜に流入し, 湾内に流入している河川の多くは上磯町にあり, その周辺は水田地帯である。久根川別には屎尿処理場があり, 国費排水溝には石油精製工場がある(第1図)。また, これまでに赤潮の発生した海域も上磯町沿岸域である。それゆえ, 上磯町を中心とした



第1図 採水地点(○印は採水地点を示す)

海域並びに河川水について調査を行った。

海域については, 1973年9月, 1974年3, 6, 7, 9月の計5回, 表面, 水深1m, 底層の3層について採取分析を行った。

河川については, 1974年5~9月の春季から秋季に至る期間に晴雨に関係なしに16回の採取分析を行った。

2. 分析法

硝酸, 亜硝酸, ケイ酸, リン酸, 酸素は STRICKLAND and PARSONS²⁾ に, アンモニアは MATSUNAGA and NISHIMURA³⁾ に, 流速は表面浮子法⁴⁾に従った。

3. 結果および考察

1. 河川水からの栄養塩負荷量

16回の調査結果で得られた流水量, 各種栄養塩濃度の対数正規確率紙による検定結果の一例を第2図に示す。その分布型は対数正規をしているとみなされる。それゆえ, 各河川の栄養塩濃度並びに総量の幾何平均値と信頼度95%におけるその信頼限界を第1表と第2表に示す。また, 全河川水量に

* 1975年5月14日受理

** 北海道大学水産学部

函館湾への栄養塩負荷量並びに湾内におけるその分布

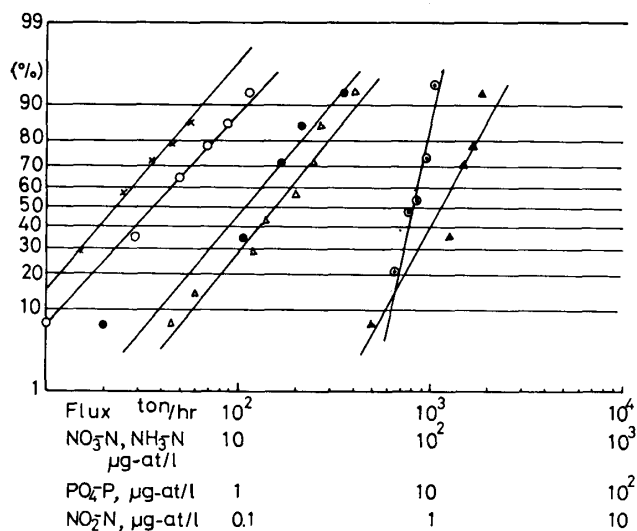
第1表 各河川の栄養塩濃度の幾何平均値とその範囲 (信頼度 95 %)

河 川	NO ₃ -N	NO ₂ -N	NH ₃ -N ($\mu\text{g-at/l}$)	PO ₄ -P	SiO ₂ -Si
国費排水溝	38.2 27.4~53.2	2.67 1.85~3.85	51.7 37.3~71.5	3.02 1.10~8.26	164 129~210
久根別川上流	14.4 9.1~22.8	0.57 0.42~0.76	8.0 5.2~12.5	1.00 0.65~1.57	212 192~303
久根別川下流	29.8 18.0~49.2	2.05 1.39~3.02	30.3 21.0~43.9	1.71 0.96~3.04	211 166~270
大野川	22.3 20.6~28.5	0.37 0.30~0.46	4.9 2.7~8.8	0.62 0.41~0.93	183 189~308
戸切地川	15.0 10.2~22.1	0.17 0.12~0.24	2.5 1.4~4.3	0.60 0.40~0.90	143 119~170
宗山川*	3.8	0.18	4.1	3.3	54
流溪川*	33.5	0.49	18.7	0.38	60

* 1974年5月18日一度の分析結果

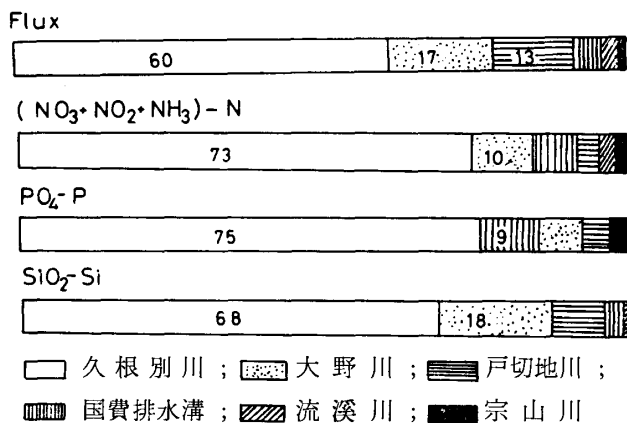
第2表 各河川の水量と栄養塩総量の幾何平均値とその範囲 (信頼度 95 %)

河 川	流 量 (ton/h)	NO ₃ -N (kg/h)	NO ₂ -N (kg/h)	NH ₃ -N (kg/h)	PO ₄ -P (kg/h)	SiO ₂ -Si (kg/h)
国費排水溝	3000 2600~3500	1.6 1.6~2.1	0.11 0.09~0.16	2.1 1.6~2.9	0.28 0.11~0.71	14 11~17
久根別川上流	35000 24000~51000	7.4 5.0~11	0.29 0.23~0.36	4.3 2.8~6.4	1.3 0.79~2.2	216 144~326
久根別川下流	41000 31000~56000	18 9.5~34	1.2 0.82~1.9	18 13~27	2.2 1.1~4.3	247 161~381
大野川	12000 11000~14000	3.8 2.5~6.0	0.06 0.05~0.08	0.9 0.5~1.6	0.21 0.14~0.31	67 50~88
戸切地川	9000 8000~11000	1.5 1.0~2.3	0.03 0.02~0.05	0.3 0.2~0.5	0.13 0.09~0.18	32 25~41
宗山川	700	0.04	0.00	0.04	0.08	1
流溪川	2000	1.6	0.1	0.5	0.02	3



第2図 対数正規確率紙による分布型の検定 (戸切地川)

×: NH₃, ○: PO₄, ●: NO₂, △: NO₃,
 ⊙: Flux, ▲: SiO₂



第3図 各河川の水量、栄養塩の全河川に占める割合 (%)

対して各河川が占める割合並びに全河川の各種栄養塩総量に対して各河川が占める割合を第3図に示す。なお、流溪川、宗山川については栄養塩濃

度並びに水量がともに小さく, 他の河川に比べて無視されると思われたので, 初回の測定しか行っていない。

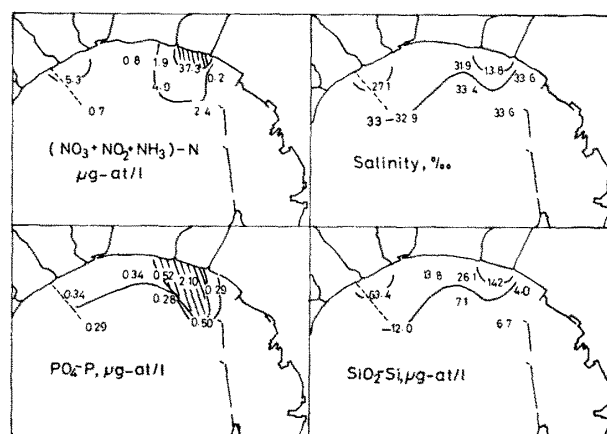
栄養塩濃度において, 窒素, リンは国費排水溝が最も高い。人家, 水田, 工場からの排水の流入が濃度を高めると考えられるが, 排水溝付近には人家はほとんど存在していないこと, また河川の栄養塩が水田からの寄与と考えられる久根別川上流, 大野川と比べると数倍高い。これらのことから判断すると, 工場排水に起因していると考えられる。

栄養塩総量について, 第3図から明らかなように, 久根別川が水量に比例し7割以上を占めていることがわかる。第2表の久根別川の上流と下流とを比較してみると, 水量は15%の増加でしかないのに, ケイ酸を除く各種栄養塩量はおよそ2~4倍に増加している。上流と下流の間に1時間当たり6,000トンの水が流入し, その各種栄養塩濃度は $75 \mu\text{g-at NO}_3\text{-N/l}$, $150 \mu\text{g-at NH}_3\text{-N/l}$, $5 \mu\text{g-at PO}_4\text{-P/l}$ と見積もられる。この地域においては人家はまばらであり, また前述のように水田からの負荷とは考えられない。ケイ酸については, 水量の増加分15%に近い増加を示す。これらの結果から判断すると, 久根別川下流の栄養塩増加分は屎尿処理場からの負荷と考えざるを得ない。

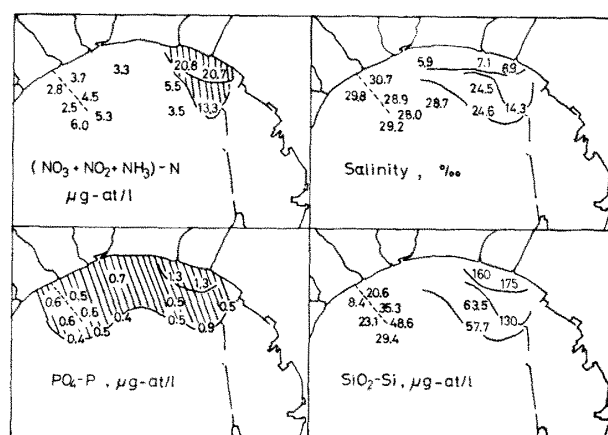
以上河川の分析結果から, 海域においても久根別川河口域を中心とした影響があらわれるものと推定される。

2. 海 域

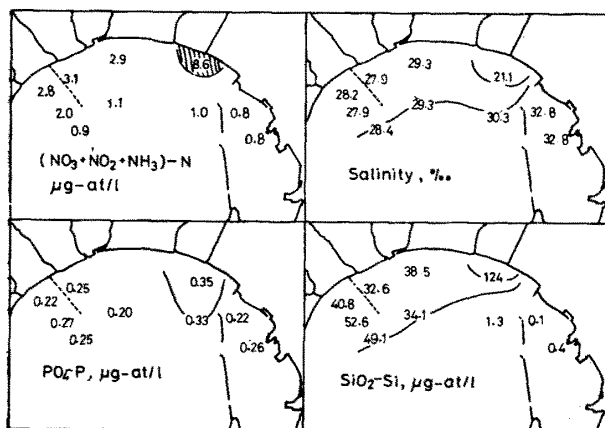
1973年9月から1974年9月に至る表面水の塩分, 無機態窒素, リン酸, ケイ酸の分布を第4図~第8図に示す。流入した河川水は海面に広く希釈混合し, 表面水の塩分および各栄養塩は1m以



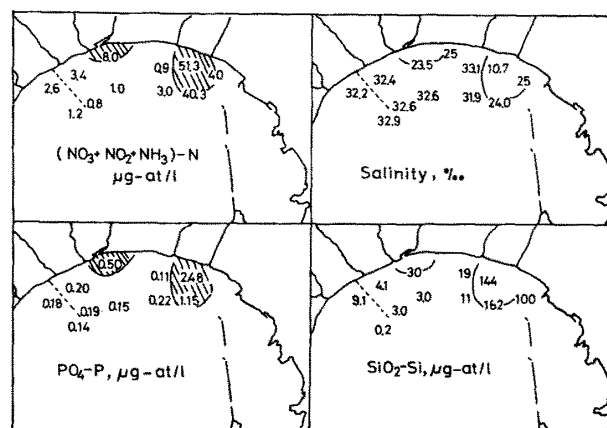
第5図 1974年3月の表面水における各成分の分布



第6図 1974年6月の表面水における各成分の分布



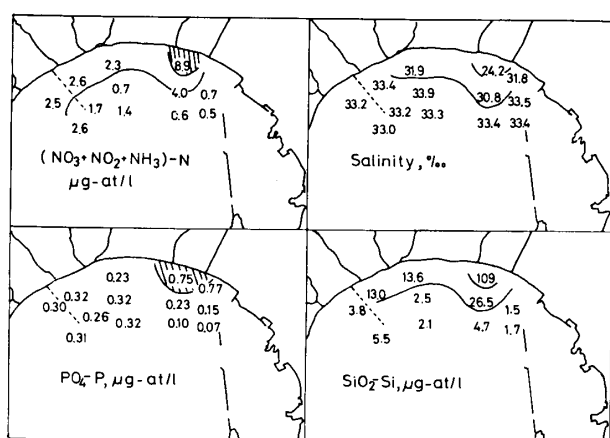
第4図 1973年9月の表面水における各成分の分布



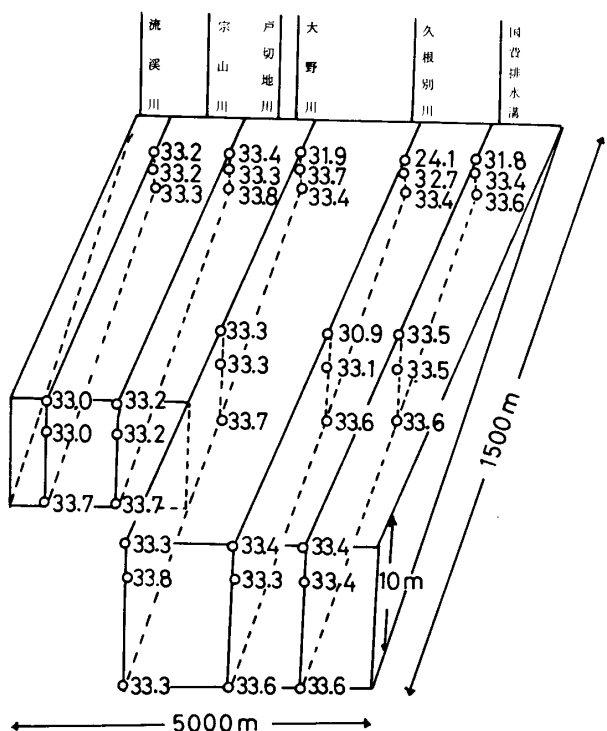
第7図 1974年7月の表面水における各成分の分布

函館湾への栄養塩負荷量並びに湾内におけるその分布

深のそれらとは著しく異なっている。その1例として、6月の表面、1m、底層についての塩分、各栄養塩濃度、6、7月の溶存酸素飽和度を第9図～第13図に示す。底層の有機物の分解による酸素の消費、それに伴う栄養塩濃度の増大の傾向はみられない。すなわち、湾への懸濁有機物による負荷の影響は少なく、イオンとして溶存した高濃度の栄養塩の負荷が大きいものと推定される。この裏付けの一つとして、河川水の全リンの測定も同時に行ったが、無機リンと同濃度か、多くて



第8図 1974年9月の表面水における各成分の分布

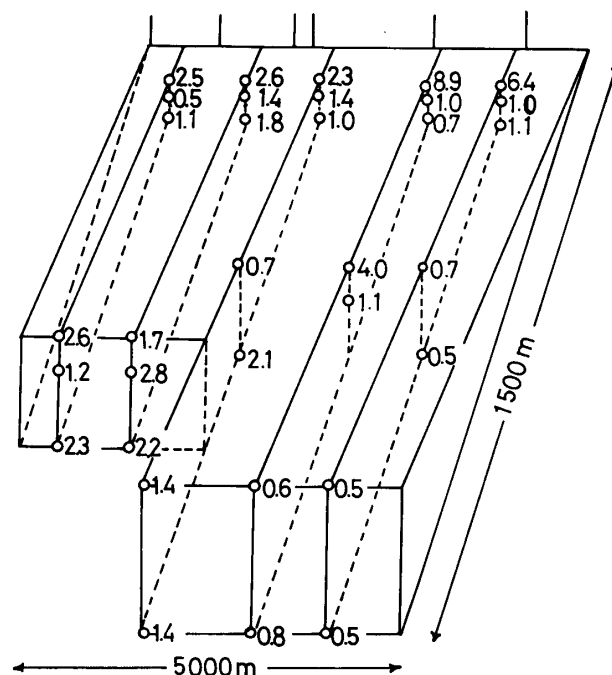
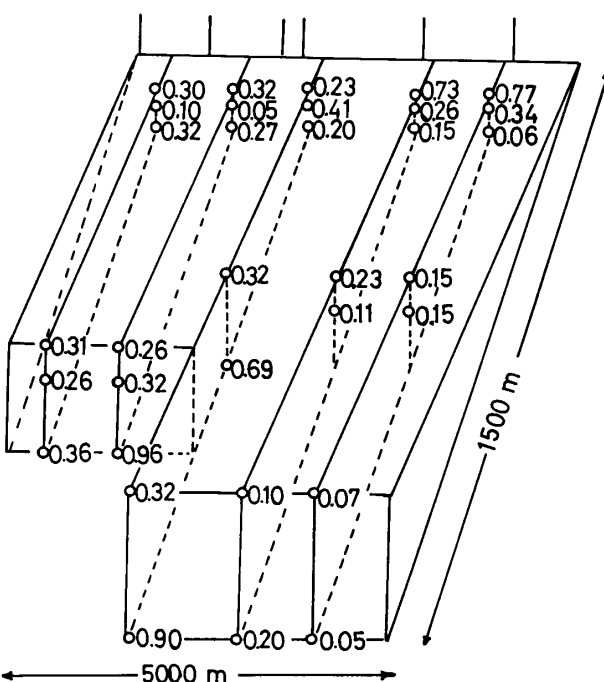


第9図 1974年6月の塩分(%)の水平、垂直分布

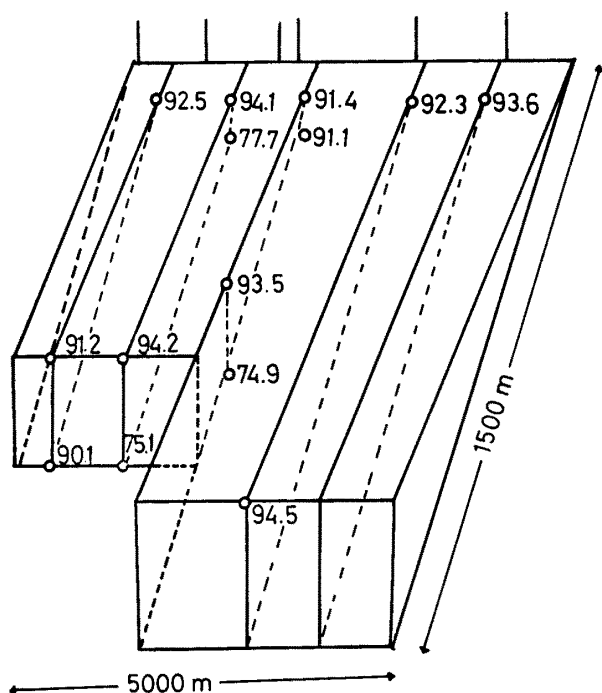
10%増でしかなかった。

表面水のケイ酸について、塩分濃度との関係を第14図に示す。一部大野川の影響を受け直線からずれる地点もみられるが、久根別川の水量からみてもその影響が大きいものと推測される。

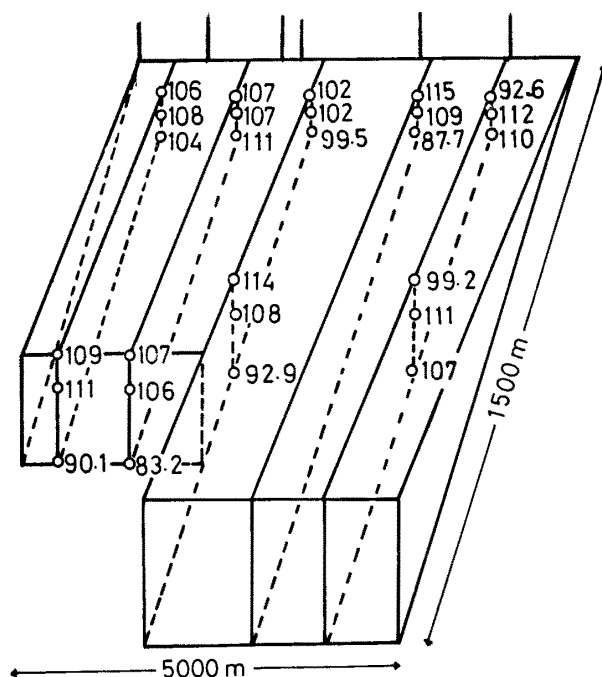
暖流系の内湾、内海域では長期にわたる赤潮の


第10図 1974年6月の無機態窒素濃度 ($\mu\text{g-at/l}$)

第11図 1974年6月のリン酸態リン濃度 ($\mu\text{g-at/l}$)

松永勝彦, 米田義昭, 戸屋健治, 上戸慶一, 築田 満

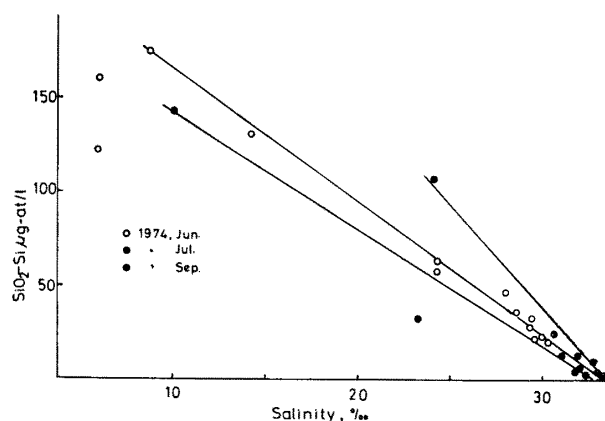


第12図 1974年6月の溶存酸素飽和度(%)



第13図 1974年7月の溶存酸素飽和度(%)

発生を避けるためには、無機態窒素で $7 \mu\text{g-at/l}$, リン酸態リンで $0.45 \mu\text{g-at/l}$ 以下とされている⁵⁾. 第4図～第8図の斜線で示したように、その基準を超える海域が実際にみられる。水温について、6月の表面水は久根別川河口の 16.7°C から外域の



第14図 塩分とケイ酸との関係

13.5°C , 底層は河口の 13.2°C から外域の 12.4°C である。7月の表面水は河口の 23.8°C から外域の 21.7°C , 底層は $19\sim 21^\circ\text{C}$ の範囲である。9月の表面水は $20.5\sim 21.8^\circ\text{C}$, 底層も $21.0\sim 20.5^\circ\text{C}$ と大きな変動はみられない。

沿岸域においては、採水日あるいは採水時間の海況（潮流、天候）変化に応じて栄養塩濃度も変化するが、函館は夏季に無風状態が何日間も続くときがあり、実際このようなときに赤潮が発生している。栄養塩に関する本調査結果からもそれを満たす条件を備えていると思われる。

以上のごとく、函館湾は大規模な工場などからの栄養塩負荷は少なく、地域住民の尿尿処理場からの負荷が大きい。ひいてはそれが沿岸域を富栄養化しているものと考えられる。

参 考 文 献

- 1) 尾形英二 (1973): 浅海増養殖における富栄養化の問題. 日本水産学会編, 水産学シリーズ 1, 恒星社厚生閣, pp. 68.
- 2) STRICKLAND, J.D.H. and T.R. PARSONS (1968): A practical handbook of sea water analysis. Bull. 167, Fish. Res. Bd. Canada.
- 3) MATSUNAGA, K. and M. NISHIMURA (1974): A rapid and sensitive method for determination of submicrogram amounts of ammonia in fresh and sea waters. Anal. Chim. Acta, **73**, 204-208.
- 4) 本間 仁, 安芸皎一 (1962): 物部水理学. 岩波書店, pp. 331.
- 5) 日本水産資源保護協会 (1972): 水産環境基準. p. 7.