

鹿児島湾喜入沖の水質環境

野呂忠秀, 三浦俊一, 柿本 亮

Water Quality off Kiire, Kagoshima Bay, Japan

Tadahide Noro*¹, Toshikazu Miura*², and Makoto Kakimoto*³

Keywords: Kagoshima Bay, water quality, nutrients

Abstract

Water quality in the central part of Kagoshima Bay (31° 24' N, 130° 30' E) during 1989–1990 was investigated. Physico-chemical parameters of the surface water showed seasonal variations as follows: water temperature 15.4–27.7 °C (average 20.5 °C), salinity 31.69–34.87‰ (33.75‰), pH 8.21–8.69 (8.45), DO 4.37–5.52 ml O₂/ℓ (5.02 ml O₂/ℓ, 95.8% DO), COD 0.94–3.00 mg/ℓ (1.86 mg/ℓ), total-P 0.24–7.52 μg at/ℓ (1.44 μg at/ℓ), PO₄-P 0.00–5.16 μg at/ℓ (0.92 μg at/ℓ), NO₂-N 0.00–0.40 μg at/ℓ (0.18 μg at/ℓ), NO₃-N 0.00–2.77 μg at/ℓ (1.27 μg at/ℓ), NH₄-N not detectable, SiO₄-Si 0.00–42.58 μg at/ℓ (12.35 μg at/ℓ), sediments 2.0–82.5 ml/m³ (20.5 ml/m³), and transparency 5.5–17.0 m (12.4 m).

The observations of vertical variations in temperature and salinity indicated that a conspicuous thermocline occurred around 100 m deep from spring to summer, and disappeared in winter because of the vertical mixing of seawater. The mixing also caused an upward movement of the deep water nutrients, such as total-P, NO₃-N, and SiO₄-Si. These upper nutrients decreased in spring with massive bloomings of phytoplankton.

鹿児島湾内の定期的な海洋観測は、鹿児島県水産試験場が鹿児島市沖の神瀬で1918年（大正7年）に海水温度と比重、透明度を調べたのが始まりである。この定点観測は、その後も20年間にわたって毎月一回行われ、その結果は鹿児島県水産試験場の事業報告として逐次公

*¹ 鹿児島大学水産学部海洋基礎生産学講座（Laboratory of Marine Botany and Environmental Science, Faculty of Fisheries, Kagoshima Univ., 50-20 Shimoarata 4, Kagoshima, 890 Japan）

*² 東和科学（株）出島技術研究所（Dejima Technical Institute, Towa Kagaku Co. Ltd., 10-37 Dejima 2, Minami-ku, Hiroshima, 734 Japan）

*³ 鹿児島大学水産学部練習船南星丸（Training ship Nansei-maru, Faculty of Fisheries, Kagoshima Univ.）

表されてきた¹⁾。また、同水試はその後1952年から1956年にかけて鹿児島港外の水温と比重を毎日測定し、その結果を報告している²⁾。一方1930年には、神戸海洋気象台観測船「春風丸」が鹿児島湾内76測点の水温や塩分、溶存酸素、透明度を測定している³⁾。

また近年に至っては、鹿児島大学の研究者⁴⁻⁶⁾や、鹿児島県水産試験場⁷⁾、鹿児島県環境管理課^{8,9)}が鹿児島湾の物理化学的な調査を行ってきた。しかし、これらの調査は、数カ月間隔で行われた調査であったり、赤潮発生時に限られた調査であり、また垂直的な採水も不十分なものであった。従って、鹿児島湾における栄養塩類の変動に関する詳細な観測結果については、今なお公表されていない。

そこで、鹿児島湾の中央に設けた一定点において、水質環境の季節変化と垂直変化を周年にわたって調査したので、その結果をここに報告する。

方 法

1989年4月から1990年3月にかけて毎月一回、鹿児島大学水産学部練習船南星丸(82t)により、鹿児島湾内、喜入沖(31°24'N, 130°30'E; 通称St.10B; Fig.1)の水深0, 10, 25, 50, 75, 100, 150, 200mから、ナンゼン式転倒採水器で海水を採取した。その際、海水温度は転倒温度計で測定した。また赤沼式比重計で測定した比重値を用いて、日本気象協会編海洋観測常用表から塩分濃度を求めた。さらに、pHはYSI社51型pH計で、溶存酸素はウインクラ法を用いて測定した。また、Whatman GF/Cグラスファイバー濾紙(0.45 μ m)で濾過した海水500mlに、18N H₂SO₄を0.5ml加えて実験室に持ち帰り、化学的酸素要求量(COD)、珪酸態珪素(SiO₄-Si)、亜硝酸態窒素(NO₂-N)、硝酸態窒素(NO₃-N)、アンモニア態窒素(NH₄-N)、磷酸態磷(PO₄-P)および全磷(Total-P)を常法に従って分析した。また透明度はゼッキ板、沈澱量はメッシュXX13、直径22.5cmの開放式北原プランクトンネット(離合社製)で表層(10m)を垂直曳きして得た試料を中性ホルマリンで固定し、沈澱管(離合社製)を用いてその体積を測定した。

なお1989年7月と9月には、悪天候のため南星丸が出航出来なかったため、観測地点に近い喜入沿岸の表層海水を防波堤の上から採水し、同様の方法で分析した。

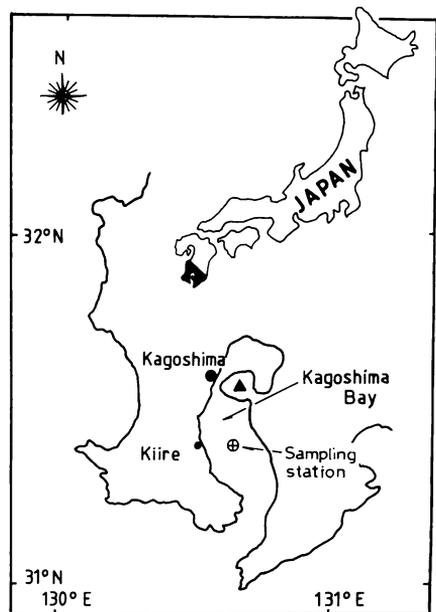


Fig. 1. Location of the sampling station in Kagoshima Bay, Japan.

結 果

1989年4月から翌年3月にかけて調査した鹿児島湾中央部喜入沖の水質分析結果を、以下項目毎に記述する。

水温: Fig. 2に水温の垂直変化と季節変化を示した。なお7月と9月の値は、前述のように沿岸付近の防波堤で採水した試料を測定したものであり、図においては*印で表した(以下の図においても同様)。それによれば1月の水温は全層を通して15~18°Cにあり、垂直的にほぼ均一な状態を示した。しかし表層水の温度は、春から夏にかけて上昇し、特に8月には27.7°Cに達し、その後は暫時低下して1月には15.4°Cとなった。しかしこのような水温の季節的変動は、100mよりも浅い水深に限られ、100mよりも深くなると季節に関係なく周年を通じて15~17°Cとほぼ一定の値を示した。つまり水深100m以浅では春から夏にかけて水温躍層が形成され、やがて秋から冬にかけてその水温躍層が消滅し、垂直的にほぼ均一の状態となった。0, 50, 100, 200m層の年間を通した平均水温は、各々 20.5 ± 4.1 , 19.2 ± 2.7 , 16.0 ± 1.0 , $15.8 \pm 0.5^\circ\text{C}$ であった(平均値±標準偏差値として表記したが、以下も同様)。

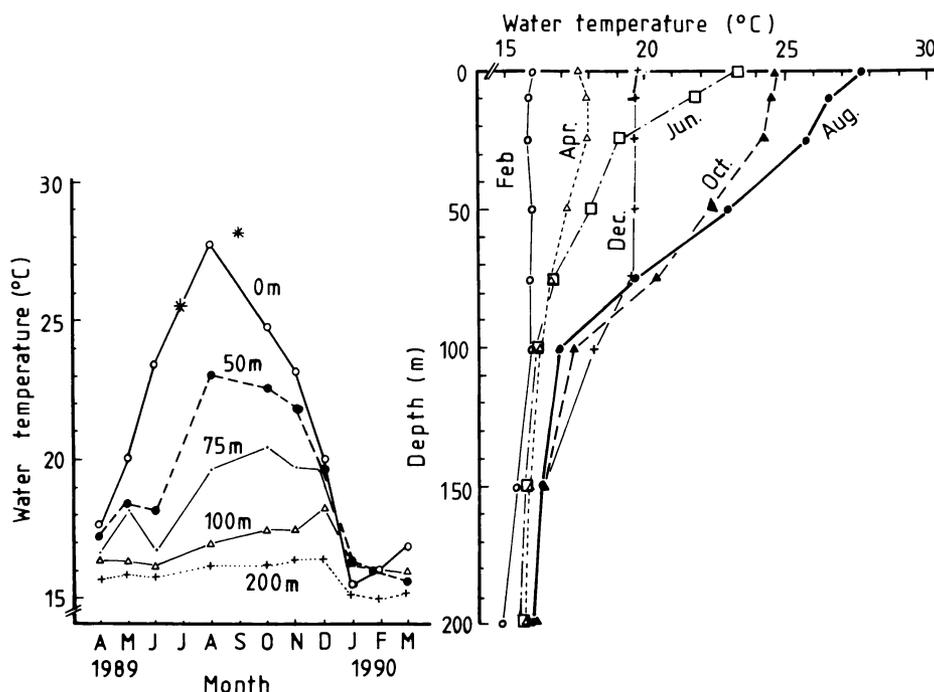


Fig. 2. Monthly changes of water temperature at the sampling station of Kagoshima Bay, during 1989-1990.

塩分： 塩分の垂直変化とその月別変化を Fig. 3 に示した。それによれば、本海域における塩分の垂直変化は、表層で最も低く、底層になるに従って高くなった。また表層における塩分の季節変化を見ると、4月に最高の34.87‰となり、その後徐々に低下して8月には年間の最低値31.69‰となった。これらは何れも湾中央部での測定値であるが、9月に喜入で観測されたように、沿岸付近では20‰以下にまで低下することもあった。このような塩分の季節的変動は、中層や底層においても見られたが、その幅は表層に比べると狭いものであった。0, 50, 100, 200m 層の年間を通した平均塩分は、各々 33.75 ± 1.01 , 34.31 ± 0.81 , 34.53 ± 0.52 , 34.47 ± 0.46 ‰であった。

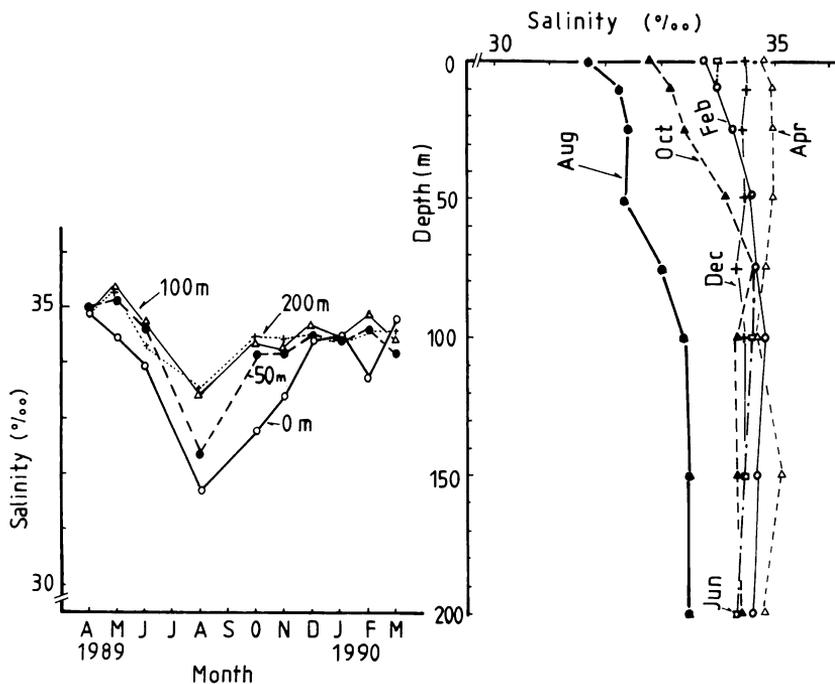


Fig. 3. Monthly changes of salinity at the sampling station of Kagoshima Bay, during 1989-1990.

水素イオン濃度 (pH)： Fig. 4 に pH の垂直変化と月別変化を示した。pH の値は周年を通して 8.1~8.6 の間にあったが、夏と冬にそれぞれピークを示した。特に8月には表層で 8.7 近くまで上昇することもあった。一般的に pH は、表層で高く、底層になるに従って低下したが、2月で見られたように中層で最大となることもあった。0, 50, 100, 200m 層の年間を通した平均 pH は、各々 8.4 ± 0.2 , 8.5 ± 0.1 , 8.4 ± 0.1 , 8.3 ± 0.2 であった。

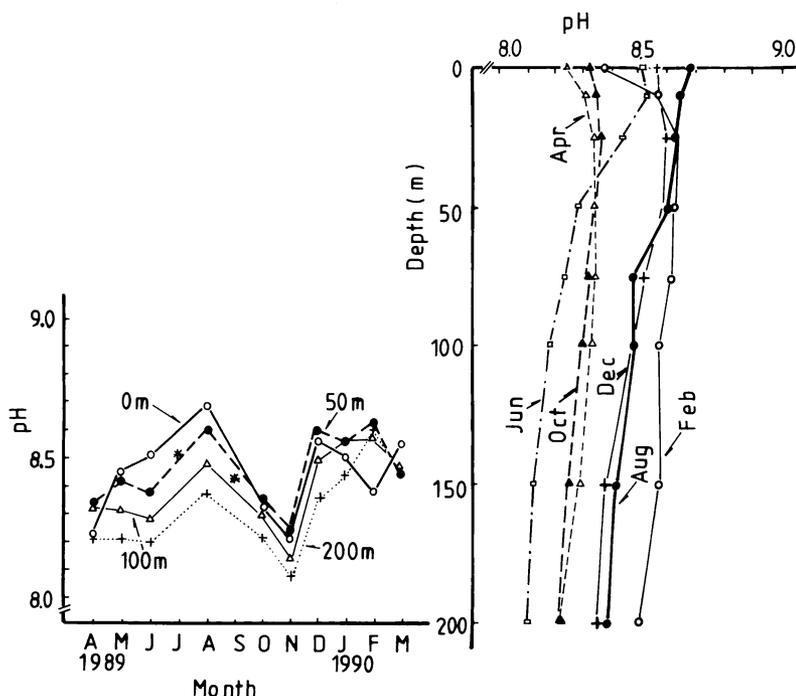


Fig. 4. Monthly changes of pH at the sampling station of Kagoshima Bay, during 1989-1990.

溶存酸素量 (DO): Fig. 5 に DO の垂直変化と月別変化を示した。それによれば表層の DO 値は、4 月から 6 月まで $5.5\text{ml O}_2/\text{l}$ 前後とほぼ過飽和状態となった。特に 5 月には水深 50m 層においてすら過飽和となった。以後夏になるとともに DO 値は減少し、10 月には $4.4\text{ml O}_2/\text{l}$ ($=50\% \text{ O}_2$) にまで低下した。垂直的に見ると、DO 値は水深の増加とともに減少する傾向を示したが、6 月や 12 月には表層よりも底層において DO の高くなる逆転現象も見られた。しかし一般的に DO 値は、冬から春にかけて高くなり、夏から秋にかけて再び低下した。0, 50, 100, 200m 層の年間を通した平均 DO は、各々 5.02 ± 0.45 , 4.37 ± 0.66 , 3.73 ± 0.54 , $3.16 \pm 0.46\text{ml O}_2/\text{l}$ であった。

化学的酸素要求量 (COD): Fig. 6 に示した通り、COD は全層を通して 4~6 月に高く、夏から秋にかけて低い値を示した。また、表層の COD は中層や底層に比べて高くなり、一時的にはあったが、1 月には $3\text{mg}/\text{l}$ と極めて高い値を記録したこともあった。0, 50, 100, 200m 層の年間を通した平均 COD は、各々 1.86 ± 0.79 , 1.27 ± 0.80 , 1.21 ± 1.82 , $1.19 \pm 0.80\text{mg}/\text{l}$ であった。

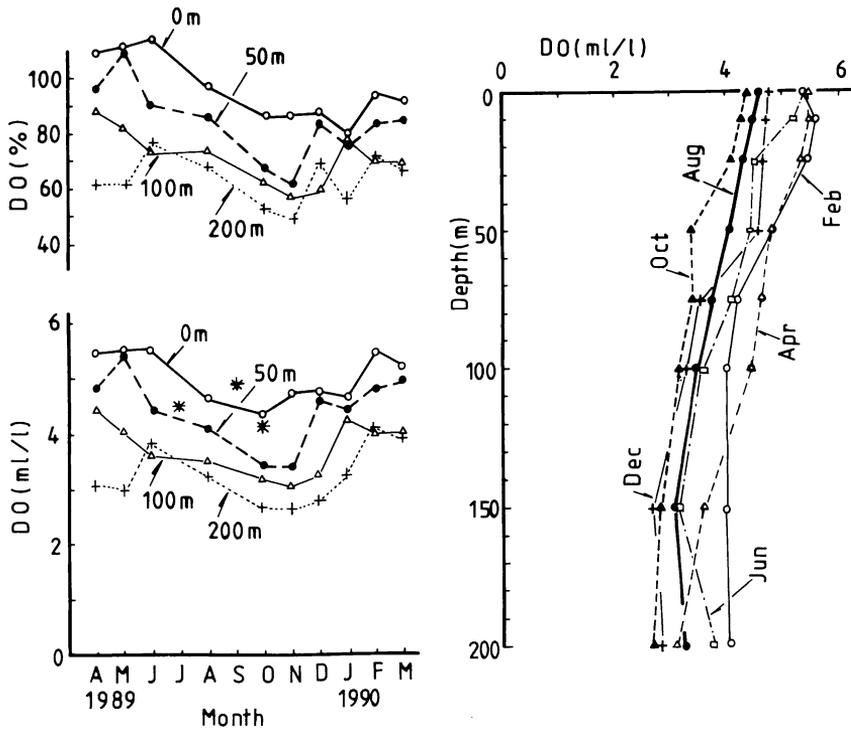


Fig. 5. Monthly changes of dissolved oxygen (DO) at the sampling station of Kagoshima Bay, during 1989-1990.

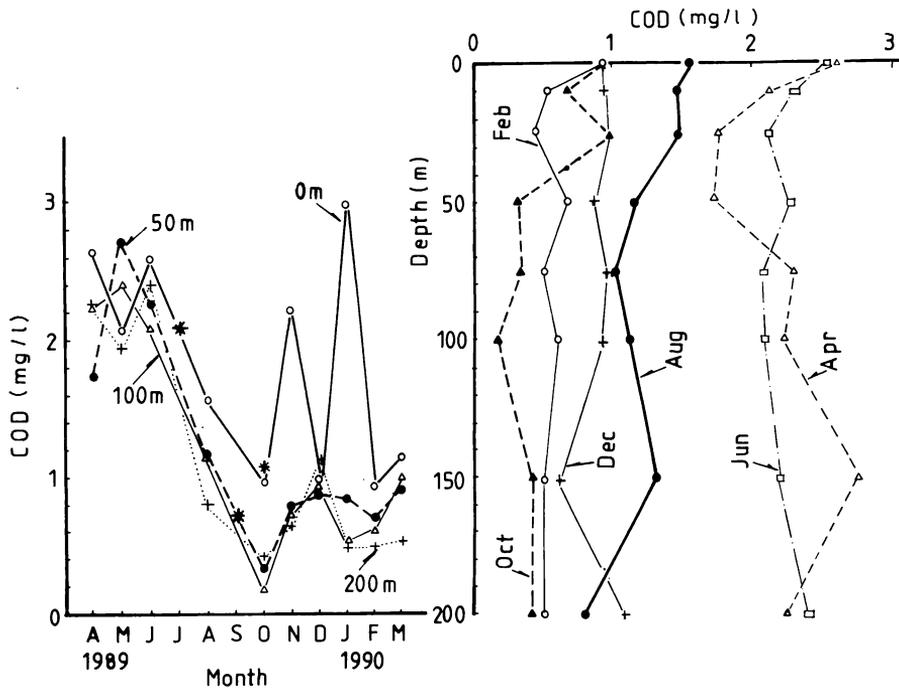


Fig. 6. Monthly changes of chemical oxygen demands (COD) at the sampling station of Kagoshima Bay, during 1989-1990.

珪酸態珪素 ($\text{SiO}_4\text{-Si}$): $\text{SiO}_4\text{-Si}$ の垂直変化と月別変化を Fig. 7 に示した。それによれば $\text{SiO}_4\text{-Si}$ は、表層で低く中層と底層で極めて高い値を示した。しかし2月には表層の $\text{SiO}_4\text{-Si}$ が多くなるとともに、低層においてはその値が減少した。0, 50, 100, 200m 層の年間を通した平均 $\text{SiO}_4\text{-Si}$ は、各々 12.4 ± 14.6 , 12.6 ± 11.7 , 32.9 ± 7.0 , $59.8 \pm 10.6 \mu\text{g at}/\ell$ であった。

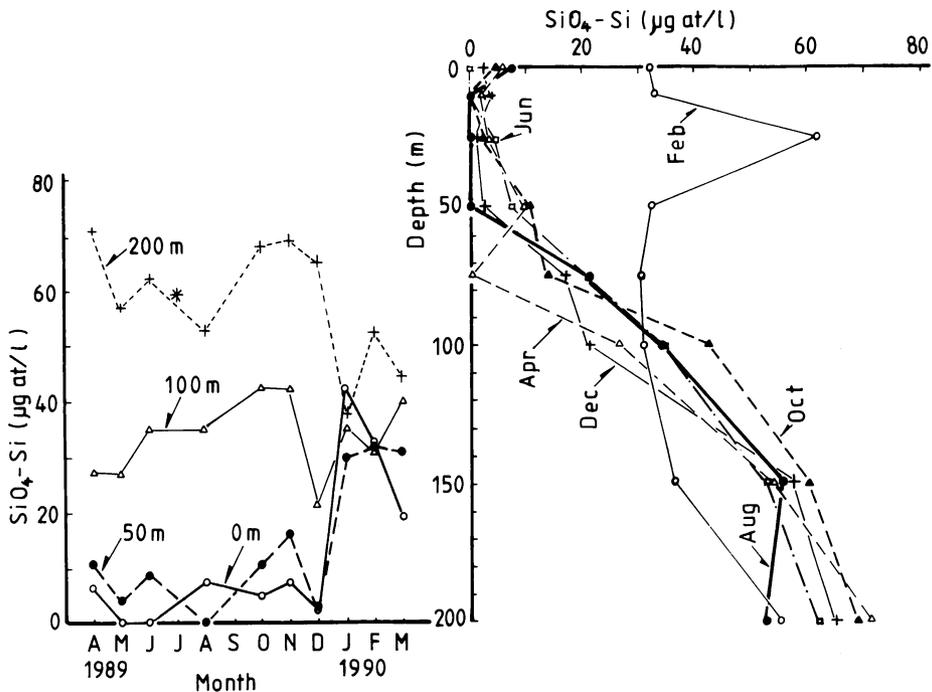


Fig. 7. Monthly changes of silicate ($\text{SiO}_4\text{-Si}$) at the sampling station of Kagoshima Bay, during 1989-1990.

リン酸態リン ($\text{PO}_4\text{-P}$): $\text{PO}_4\text{-P}$ の垂直的变化と月別変化を Fig. 8 に示した。それによれば $\text{PO}_4\text{-P}$ は表層で低く、深度を増すほどにその濃度が増加する傾向を示した。また4月には全部の層を通じて高い値が観測された。更に一時的ではあるが $5.16 \mu\text{g at}/\ell$ という極端に高い値が1月の表層で観測された。0, 50, 100, 200m 層の年間を通した平均 $\text{PO}_4\text{-P}$ は、各々 0.98 ± 1.65 , 0.71 ± 0.42 , 1.21 ± 0.36 , $1.76 \pm 0.58 \mu\text{g at}/\ell$ であった。

全燐 (Total-P): Total-P も $\text{PO}_4\text{-P}$ と同様の垂直変化と月別変化を示した (Fig. 9)。つまり海底付近ではその値が高く、表層で低い値を示した。また季節的には春に高い傾向を示した。調査期間中に $7.52 \mu\text{g at}/\ell$ もの極端な異常値が1月に表層で観測されたこともあるが、0, 50, 100, 200m 層の年間を通した平均 Total-P は、各々 1.44 ± 2.32 , 1.05 ± 0.47 ,

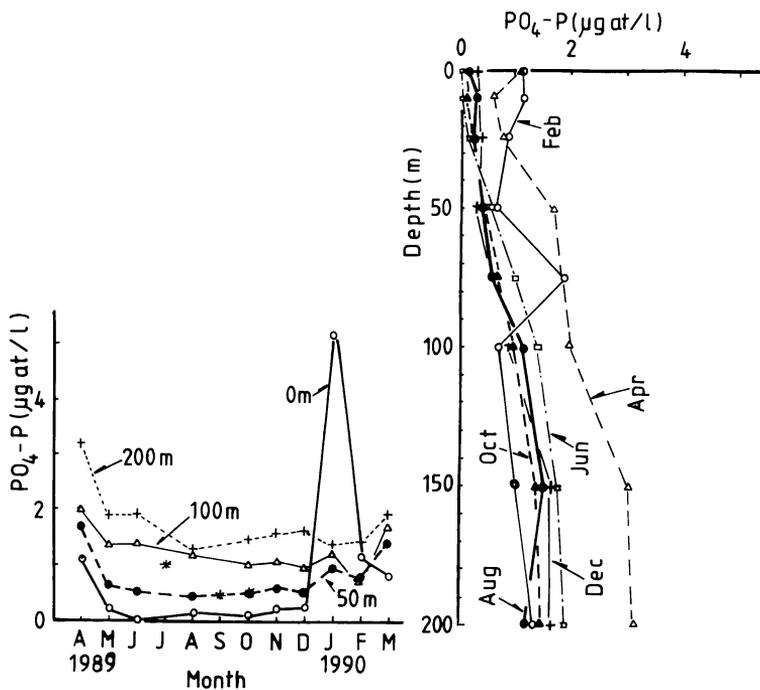


Fig. 8. Monthly changes of inorganic phosphate ($\text{PO}_4\text{-P}$) at the sampling station of Kagoshima Bay, during 1989-1990.

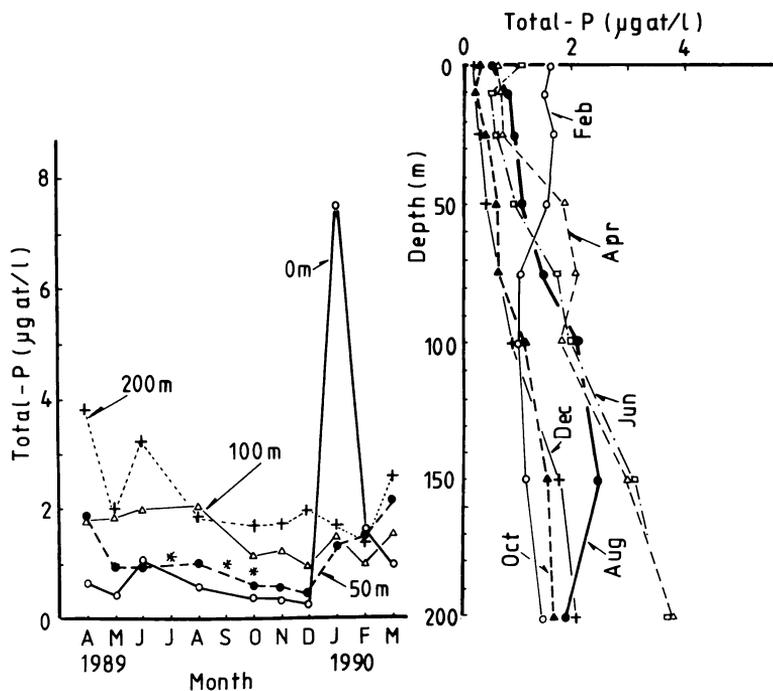


Fig. 9. Monthly changes of total phosphate (Total-P) at the sampling station of Kagoshima Bay, during 1989-1990.

1.51 ± 0.43 , $2.17 \pm 0.79 \mu\text{g at} / \ell$ であった。

亜硝酸態窒素 ($\text{NO}_2\text{-N}$): 8月と12月にそれぞれ水深50m層と水深0~50m層でわずかに見られた以外は、年間を通じて殆ど検出されなかった (Fig. 10)。従って, 0, 50, 100, 200m層の年間平均 $\text{NO}_2\text{-N}$ は, 各々 0.18 ± 0.41 , 0.76 ± 1.73 , 0.00 ± 0.00 , $0.00 \pm 0.00 \mu\text{g at} / \ell$ であった。

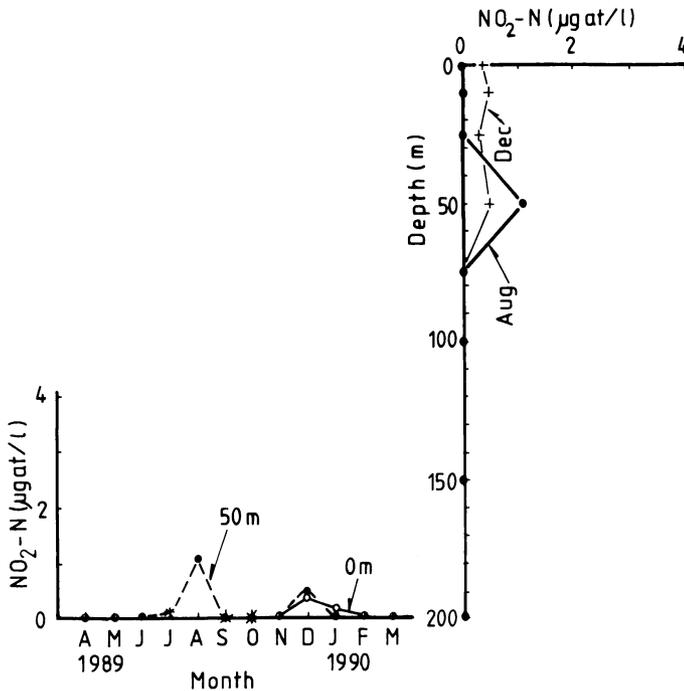


Fig. 10. Monthly changes of nitrite nitrogen ($\text{NO}_2\text{-N}$) at the sampling station of Kagoshima Bay, during 1989-1990.

硝酸態窒素 ($\text{NO}_3\text{-N}$): $\text{NO}_3\text{-N}$ 量の垂直的な変化と季節的な変動を Fig. 11 に示した。それによれば $\text{NO}_3\text{-N}$ は, 一年を通して底層で極めて高い値を示した。しかし, 10~50mでその値は最低となり, 表層で再び上昇して高い値となった。季節的には, 表層で春と秋に著しく減少する傾向が伺えた。0, 50, 100, 200m層の年間平均 $\text{NO}_3\text{-N}$ は, 各々 1.27 ± 1.07 , 2.24 ± 1.79 , 4.04 ± 2.92 , $4.37 \pm 2.17 \mu\text{g at} / \ell$ であった。

アンモニア態窒素 ($\text{NH}_4\text{-N}$): 本調査期間中, $\text{NH}_4\text{-N}$ は検出されなかった。

透明度と沈澱量: 本海域における透明度の最低値は6月の5.5m, 最高値は8月の17.5mであり, 年間を通じての平均は $12.4 \pm 4.2\text{m}$ であった。一般に透明度は春に低くなり, 夏から冬にかけて高くなった。逆に沈澱量は冬から春に増加し, 夏から冬にかけて減少する傾向を示したが, 両者間に有為な統計的相関関係は見られなかった。本調査期間中, 2月に沈澱量が極端に増加したが, これは夜光虫 (*Noctiluca*) の大発生によるものであった。

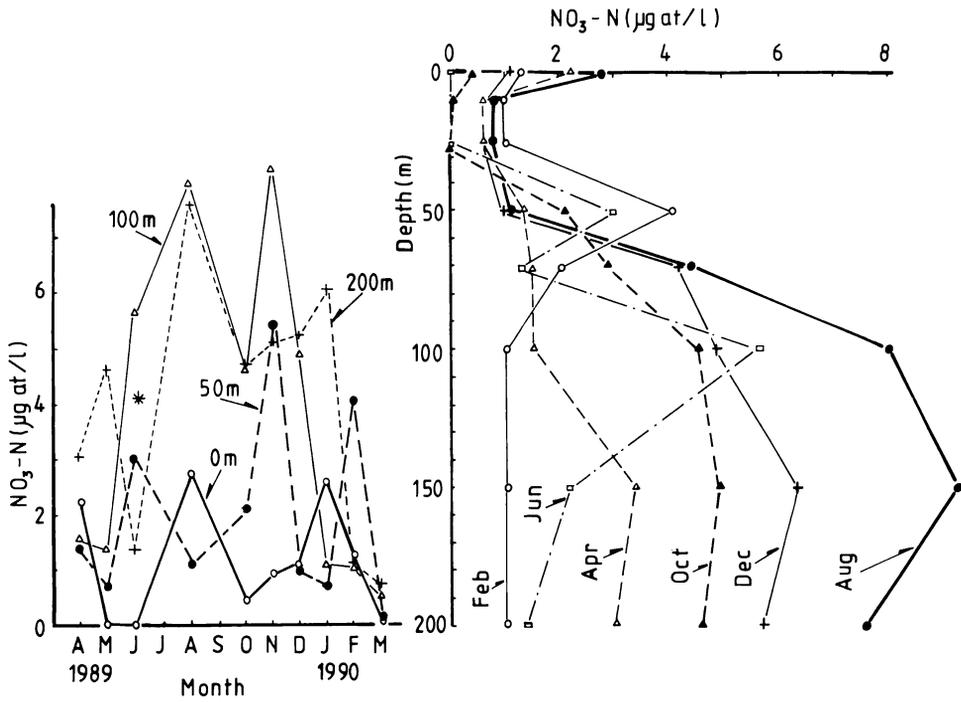


Fig. 11. Monthly changes of nitrate nitrogen ($\text{NO}_3\text{-N}$) at the sampling station of Kagoshima Bay, during 1989-1990.

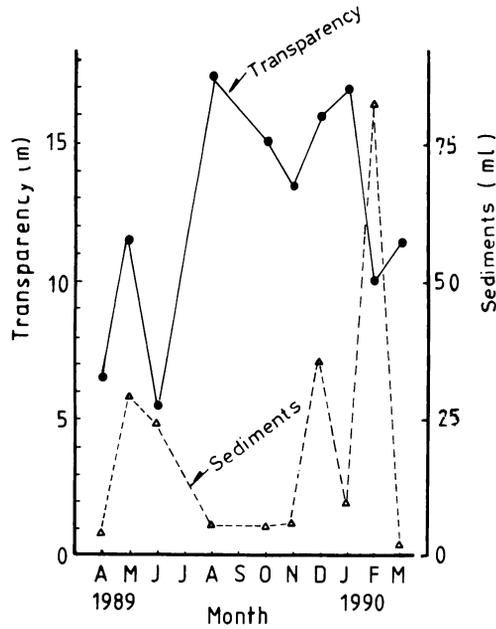


Fig. 12. Monthly changes of transparency and sediments of seawater at the sampling station of Kagoshima Bay, during 1989-1990.

考 察

今回の調査は、鹿児島湾内の一観測定点のみにおいて行われたものに過ぎない。しかしこの観測定点は、鹿児島湾で最も水深の深い、湾の中央部に設けられたものである。従って本調査海域で得られた値は、鹿児島湾における海況の垂直変化や季節変化を考える上での典型と考えられよう。

鹿児島湾の水温の垂直変化をみると、まず春から夏にかけて躍層が形成され、その後秋から冬にかけて躍層の消滅を見た。また栄養塩の季節変化を比較すると、夏の間、底層水に多かった $\text{PO}_4\text{-P}$ や Total-P , $\text{NO}_3\text{-N}$, さらには $\text{SiO}_4\text{-Si}$ は、やがて秋から冬にかけては中層水に多く見られた。このことは、夏に水温躍層の上下で安定状態を保っていた水塊が、表層水温の低下する冬に垂直混合を起し均一な状態になったことの証拠であり、鹿児島湾の海水の密度を調べた結果¹⁾とも一致した。

冬に起った水塊の垂直混合の結果、深層水に溶けていた高濃度の磷や窒素や珪素が表層に上昇していることも明らかになった。本調査では植物プランクトンの量を直接調べていない。しかし、4月から6月にかけて海水の透明度が低下し、沈澱量が増加したことや、表層でCODが急に増加したことは、この時期に植物プランクトンが大増殖したことを示唆するものである。つまり、冬の間海水が垂直的に混合し、底層に溶けていた栄養塩類を表層に持ち上げ、その結果春に植物プランクトンが増殖した。その後は、表層中の $\text{NO}_3\text{-N}$ や $\text{SiO}_4\text{-Si}$ の量が極めて低下したが、これは大増殖した植物プランクトンに吸収消費されたものと考えられる。

1977年以降鹿児島湾でハマチ養殖漁業に被害を与えている有毒赤潮、ラフィド藻 *Chattonella marina* Hara et Chihara は、7~8月に発生する⁷⁾。この赤潮は、珪藻等植物プランクトンの春季大増殖後に発生し、しかも海水の栄養塩濃度が低下する時期と一致する。このことは、今後赤潮プランクトンの発生機構を研究する上で興味ある現象と考えられる。

要 約

鹿児島湾中央部の喜入沖に設けた観測定点 ($31^\circ 24' \text{ N}$, $130^\circ 30' \text{ E}$) において、1989年から1990年にかけて毎月一回海洋観測を行った。それによれば本海域の表層では、次のような季節的変動が観測された: 水温 $15.4\sim 27.7^\circ\text{C}$ (平均 20.5°C), 塩分 $31.69\sim 34.87\%$ (平均 33.75%), pH $8.21\sim 8.69$ (平均 8.45), 溶存酸素量 $4.37\sim 5.52 \text{ ml O}_2/\ell$ (平均 $5.02 \text{ ml O}_2/\ell$; $95.8\% \text{ DO}$), 化学的酸素要求量 $0.94\sim 3.00 \text{ mg}/\ell$ (平均 $1.86 \text{ mg}/\ell$), 全リン $0.24\sim 7.52 \mu\text{g at}/\ell$ (平均 $1.44 \mu\text{g at}/\ell$), 無機リン $0.00\sim 5.16 \mu\text{g at}/\ell$ (平均 $0.92 \mu\text{g at}/\ell$), 亜硝酸態窒素 $0.00\sim 0.40 \mu\text{g at}/\ell$ (平均 $0.18 \mu\text{g at}/\ell$), 硝酸態窒素 $0.00\sim 2.77 \mu\text{g at}/\ell$ (平均 $1.27 \mu\text{g at}/\ell$), アンモニア態窒素検出せず, 珪酸態珪素 $0.00\sim 42.58 \mu\text{g at}/\ell$ (平均 $12.35 \mu\text{g at}/\ell$), 沈澱量 $2.0\sim 82.5 \text{ ml}/\text{m}^3$ (平均 $20.5 \text{ ml}/\text{m}^3$), 透明度 $5.5\sim 17.0 \text{ m}$ (平均 12.4 m)。また春から夏にかけて水深 100 m 付近に水温と塩分の躍層が生じたが、冬になると上層と低層の海水は上下に混合し垂直的に均一な状態となった。そのような垂直混合の影響は

他の栄養塩類にも見られ、春から夏季にかけて低層水に多く溶存していた全磷や、硝酸態窒素、珪酸態珪素も、冬季には垂直的な混合の結果、表層へと移動した。表層付近に上昇したこれら栄養塩類は、春になると著しく減少したが、それは植物プランクトンの春季大増殖により消費されたものと推察された。

文 献

- 1) 鹿児島県水産試験場 (1918-1938): 鹿児島湾内観測. 鹿児島県水産試験場事業報告.
- 2) 鹿児島県水産試験場 (1952-1956): 鹿児島湾外定点観測結果. 鹿児島県水産試験場事業報告.
- 3) 神戸海洋気象台 (1933): 鹿児島湾・池田湖観測報告. 海洋時報 6.
- 4) 茶園正明 (1978): 錦江湾の海洋環境. 「錦江湾 - 自然社会 - (岩切成郎編)」, 南日本新聞開発センター, p. 25-58.
- 5) 桜井仁人 (1988): 鹿児島湾Ⅱ. 物理. 「日本全国沿岸海洋誌 (日本海洋学会・沿岸海洋研究部会編)」, 東海大学出版会, p. 780-793.
- 6) 鎌田政明 (1988): 鹿児島湾Ⅲ. 化学. 「日本全国沿岸海洋誌 (日本海洋学会・沿岸海洋研究部会編)」, 東海大学出版会, p. 794-801.
- 7) 九万田一己等 (1977-1987): 鹿児島湾赤潮予察調査報告. 鹿児島県水産試験場事業報告 (生物部編).
- 8) 鹿児島県環境管理課 (1974-89): 公共水域水質測定結果. 鹿児島県.
- 9) 鹿児島県環境管理課 (1984): 鹿児島湾の磷に係る汚濁負荷量削減指針. 鹿児島県. 71 pp.
- 10) 日本海洋学会 (1978): 海洋観測指針. 427 pp.
- 11) 茶園正明 (1983): 鹿児島湾の海水循環と水塊の季節的変動. 沿岸海洋研究ノート, 21 (1), 11-18.