

## 1991年夏季に平塚沖で観測された水質の経時変化

斎藤和久\*・渡部 勲\*\*・岩田静夫\*\*\*

### Temporal Variations of Water Properties at off Hiratsuka in Sagami Bay, Summer 1991

Kazuhisa SAITOU\*, Isao WATABE\*\* and Shizuo IWATA\*\*\*

#### Abstract

Oceanographic observation of water temperature, salinity, chlorophyll-a and nutrient concentrations were conducted every two hours in surface, 2.5, 5 m depth and 19 m depth at off Hiratsuka, in Sagami Bay, on August 13-14, 1991. During this observation, the water temperature and salinity varied in a semidiurnal period, and a clear tendency that variation of nutrient concentrations and chlorophyll-a corresponds to that of water temperature and salinity was found. The variation of observed parameters should be considered to cause by the semidiurnal internal tide.

#### 1. はじめに

太平洋に面した開放型の湾である相模湾は、東京湾のような閉鎖型と比べ良好な水質が維持されているが、近年、一部沿岸域では水質の悪化や赤潮が発生するなど富栄養化の現象も見られている(中田, 1985; 斎藤, 1992; 山田・岩田, 1992)。特に江の島付近の水質は悪く、夏季にはCODのほとんどが懸濁態のCODによって占められ、冬季に比べ懸濁態の割合が高いことから、基礎生産活動が活発であることが示唆された(斎藤, 1992)。1980年から相模湾沿岸域で起こったCODの上昇は、基礎生産力の増大による可能性を指摘している(山田・岩田, 1992)。

沿岸海域中の有機物には、主に河川を通して陸域から供給されるものと、海域の基礎生産活動で供給され

るものとの二つがある(愛知県環境部, 1981)。このうち基礎生産活動に伴う有機汚濁の実態を把握するためには、基礎生産を支配する一つの要因である栄養塩の挙動を明らかにする必要がある。海域の栄養塩は、基礎生産活動の他に陸域からの供給、湧昇や内部潮汐による下層からの栄養塩の供給等物理的な現象により影響を受けることがある(ATKINSON *et al.*, 1987; KAMATANI *et al.*, 1981; TAKAHASHI *et al.*, 1980; TAKAHASHI and KISHI 1984; 柳, 1989)。

相模湾における栄養塩について、KAMATANI *et al.* (1981)は相模湾の定点で、3カ年間栄養塩及びクロロフィル-aの測定をしたが、両者の関連性を特定できなかった。この理由として、植物プランクトンの増殖速度とそこに補給される栄養塩濃度の時空間的相似性、植物プランクトンと動物プランクトンのかかわり合い、これらの生物群集の形成や分散に及ぼす物理的要因などをあげている。TAKAHASHI *et al.* (1980)は相模湾で低水温、高塩分及び高栄養塩の局地的な湧昇現象を観測した。この現象は、成層期における相模湾の基礎生産活動に深くかかわっていると考えているが、基礎生産活動及び湧昇現象、内部潮汐等の物理的現象に伴う栄養塩の変動を把握したとはいえない。

本論は相模湾沿岸域で観測される湧昇現象、内部潮

1995年4月20日受理

\* 神奈川県環境科学センター Kanagawa Environmental Research Center, 842, Nakahara-shimojuku, Hiratsuka-city, Kanagawa 254, Japan

\*\* 防災科学技術研究所 National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, 3-1, Tennoudai, Tsukuba-city, Ibaragi 305 Japan

\*\*\* 神奈川県水産試験場 Kanagawa Prefectural Fisheries Experimental Station, Jyogashima, Misaki-machi, Miura-city, Kanagawa 238-02, Japan

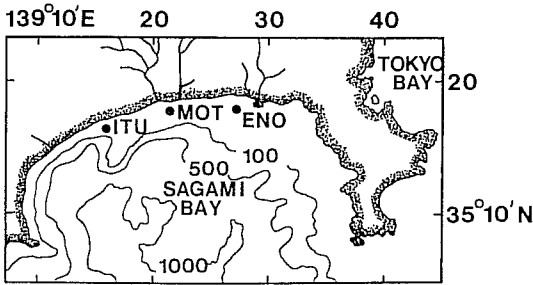


Fig. 1. Map of Sagami Bay showing the location of the study sites.

Numerals on bottom contours show depth in meters.

MOT: Marine observation tower.

ENO: Station off Enoshima.

ITU: Station off Itsutsuura.

汐等の物理的現象と栄養塩との関係を明らかにすることを目的に、基礎生産活動の活発な夏季に、平塚沖の観測塔（科学技術庁防災科学技術研究所）で昼夜観測を行った。その結果、観測期間中の栄養塩は、約半日周期の内部潮汐の影響を受けて変化することがわかった。

## 2. 方法

観測塔 (Fig.1 の MOT) は、平塚沖約 1km の水深 20m に設置されている。1991 年 8 月 13 日の 12 時から 8 月 14 日 10 時にかけて 2 時間ごとに水温、塩分、栄養塩、クロロフィル-a を観測した。測定水深は、0m, 2.5m, 5m 及び 19m である。0m, 2.5m 深及び 5m 深の採水はバンドーン採水器で、19m 深の採水は送液ポンプで行った。クロロフィル-a 用の試水を採水後直ちにワットマン GF/C で 1L、水質分析用のろ過海水を 450°C で 1 時間以上熱処理したワットマン GF/C でそれぞれろ過した。クロロフィル-a 用のろ紙とろ過海水を冷蔵保存し、分析に供した。

水温は棒状水銀温度計 (1/10 目盛り)、塩分はサリノメータ (AUTOLAB, Model601, MKIV) で測定した。溶存リン酸態リン (DIP) はろ過海水をモリブデン青 (アスコルビン酸) 法、亜硝酸態窒素 (NO<sub>2</sub>-N) はろ過海水をナフチルエチレンジアミン法、硝酸態窒素 (NO<sub>3</sub>-N) はろ過海水を銅・カドミウムカラム還元-ナフチルエチレンジアミン法、アンモニア態窒素 (NH<sub>4</sub>-N) はろ過海水をインドフェノール青法、溶存無機態窒素 (DIN) は NO<sub>2</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N 及び NH<sub>4</sub>-N の合算、クロロフィル-a はアセトン抽出吸光度法

で分析した。また、8 月 13 日の 12, 14, 16, 18 時と 14 日の 6, 8, 10 時に、アレック電子㈱の ADS-2 型で水温及び塩分の鉛直観測を行った。本調査と同時期に Fig. 1 の測点 ENO の 30m 深と測点 ITU の 50m 深で、離合社の RMT (記録内蔵型水温計) により 20 分間隔で水温を測定した。

## 3. 結果

### 3・1 水温、塩分及び密度の鉛直構造の経時変化

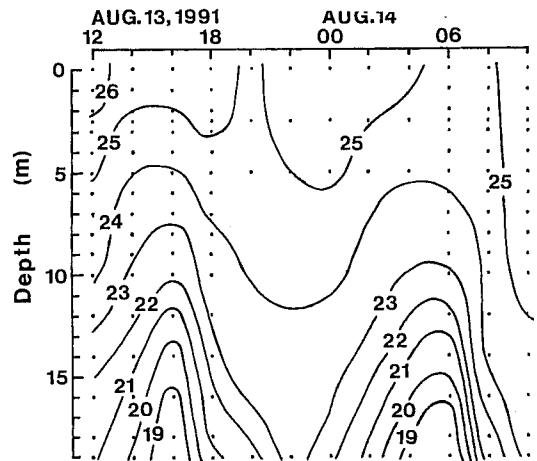


Fig. 2. Temporal variations vertical distributions of water temperature during 12:00 on 13 August 1991 to 10:00 on 14 August at MOT.

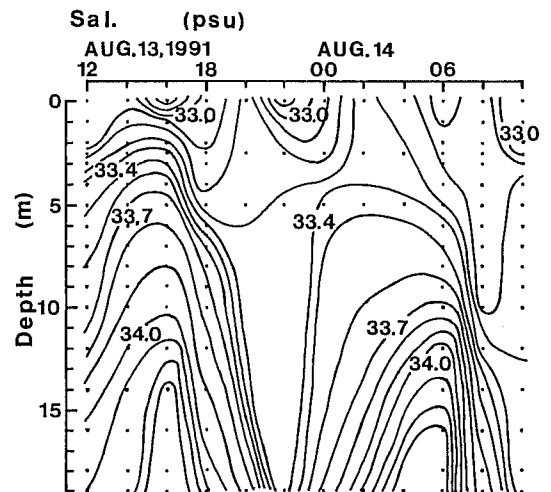


Fig. 3. Temporal variations vertical distributions of salinity during 12:00 on 13 August 1991 to 10:00 on 14 August at MOT.

水温及び塩分の鉛直断面の経時変化を Fig. 2 と 3 に示す。水温及び塩分の鉛直分布のパターンは酷似し、13日16時と14日4時から6時を中心として下層から5m深にかけて24℃以下、33.4 psu 以上の低温・高塩分水がドーム状に分布していることがわかる。ドーム状の構造は、前者の方が後者に比べて表層近くまで及んでいる。この低温・高塩分水が分布している時の密度は、 $\sigma_t$  22.5~24.5である。13日22時と14日8時から10時を中心として23℃以上、33.4 psu 以下の高温・低塩分水が表層から下層まで分布している。この時の  $\sigma_t$  は23.0以下で、ドーム状構造の水に比べて密度は小さい。

水温及び塩分の鉛直分布からみて、低温・高塩分水のドーム状の構造は下層水が湧昇し、下層まで分布した高温・低塩分水は表層水が沈降したことを示している。また、観測が2時間毎とやや粗いが、下層水の湧昇と表層水の沈降にそれぞれ約半日の潮汐周期の変化がみられる。この潮汐周期の変化により、水深が深くなるにしたがって水温及び塩分の経時変化は大きくなり、水深19mでは、観測期間中の最高値と最低値の差は水温で 4.6℃、塩分で約 1 psu に達している。

また、13日16時、22時及び14日10時に25℃台、33.0 psu 以下、 $\sigma_t$  22.0以下の高温・低塩分・低密度水の相模川または金目川から流入したと考えられる河川系水が表層にみられる。

### 3・2 栄養塩断面の経時変化

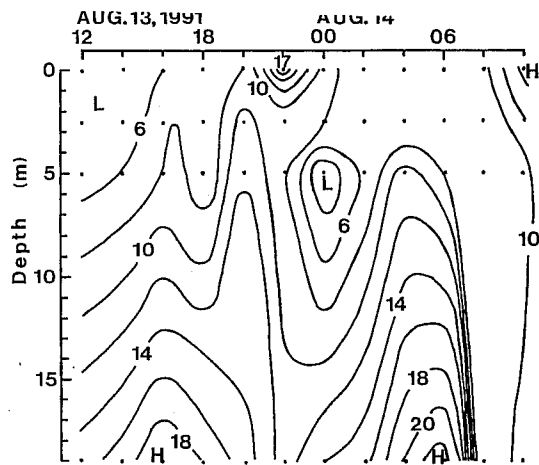


Fig. 4. Temporal variations vertical distributions of Dissolved inorganic phosphorus (DIP) during 12:00 on 13 August 1991 to 10:00 on 14 August at MOT.

DIP 及び DIN の鉛直断面の経時変化を Fig. 4 と 5 に示す。DIP と DIN とともに水温及び塩分の鉛直分布のパターンと同様の傾向を示しており、13日16時と14日4時から6時をピークにドーム状の構造がみられる。

DIP でみると (Fig. 4), 13日16時には下層から5m深までは10~18  $\mu\text{g/l}$ , 20時は10~14  $\mu\text{g/l}$ , 14日4時から6時にかけては10~22  $\mu\text{g/l}$  の高濃度の下層水が分布している。13日22時と14日10時の表層で14~17  $\mu\text{g/l}$  の高い値は河川系水で、それ以深での12  $\mu\text{g/l}$  以下の低い値は表層水と考えられる。また、14日0時から2時にかけて、5m深付近に4  $\mu\text{g/l}$  以下の低濃度の値がパッチ状にみられるが、これは塩分及び水温の鉛直分布から表層水の沈降によるものと考えている。

DIN の場合は、ドーム状の変化がみられる13日16時には下層から5m深までは40~100  $\mu\text{g/l}$ , 14日6時は40~110  $\mu\text{g/l}$  の高濃度の下層水が分布している。河川系水が観測された13日22時と14日10時に表層付近では、80~120  $\mu\text{g/l}$  の高い値がみられ、それ以深では70  $\mu\text{g/l}$  以下の表層水が分布している。また、DIP と同様に14日0時から2時にかけて、5m深付近にパッチ状に10  $\mu\text{g/l}$  以下の低い値がみられる。

これら栄養塩の鉛直分布の変化は、下層水の湧昇と表層水の沈降に対応して起こっている。すなわち、下層水が湧昇したときには、0~5m深にかけては栄養塩濃度の低い表層水が、それ以深では栄養塩濃度の高い下層水が分布している。表層水が沈降したときには、

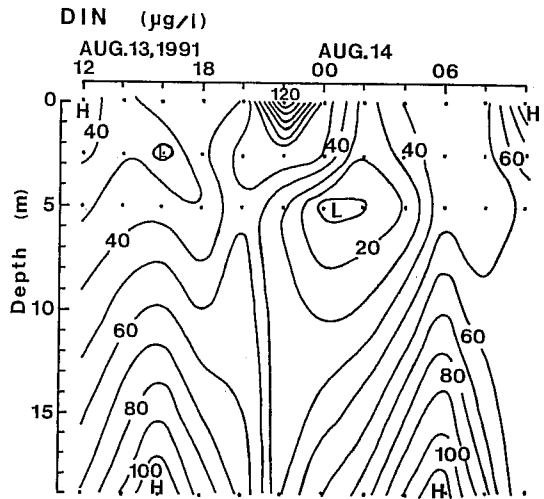


Fig. 5. Temporal variations vertical distributions of Dissolved inorganic nitrogen (DIN) during 12:00 on 13 August 1991 to 10:00 on 14 August at MOT.

全層で栄養塩濃度が低くなっている。

DIP 及び DIN とともに、水温及び塩分と同様に約半日の潮汐周期の変化がみられる。また、水深が深くなるにしたがって経時変化は大きく、19m深における観測期間中の最高値と最低値の差は DIP で約  $20 \mu\text{g/l}$ 、DIN で  $65 \mu\text{g/l}$  の大きな値が観測された。

### 3.3 クロロフィル-a 断面の経時変化

クロロフィル-a断面の経時変化をFig. 6 に示す。クロロフィル-aの分布は、水温、塩分及び栄養塩の鉛直分布のパターンによく対応している。下層水が湧昇した13日16時と14日2時から4時をピークにドーム状の構造がみられる。13日16時には、下層から5m深までは  $1 \mu\text{g/l}$  以下、14日2時から4時には  $3 \mu\text{g/l}$  以下の低濃度の下層水がみられる。ドーム状の構造は、14日2時から4時に比べて13日16時の方が表層まで達している。13日22時と14日10時には、全層で  $3 \mu\text{g/l}$  以上の表層水が分布している。

クロロフィル-aの挙動は、下層水の湧昇と表層水の沈降に対応し、下層水が湧昇したときには、表層水が分布する0~5m深のクロロフィル-a濃度は高く、それ以深の湧昇域では低くなっている。一方、表層水が沈降したときには、全層でクロロフィル-a濃度が高い。13日14時、22時、14日4時及び10時の表層に  $4 \mu\text{g/l}$  以上の高い値がみられる。13日22時と14日10時の場合、栄養塩濃度は高く、高温・低塩分水であることから河

川系水であり、13日14時と14日4時の場合、栄養塩濃度は低く、高温・低塩分水であることから表層水であるといえる。

クロロフィル-aも水温、塩分及び栄養塩と同様に、約半日の潮汐周期の変化がみられる。また、水深が深くなるにしたがって観測期間中の変化は大きく、19m深では最高値と最低値の差が約  $3 \mu\text{g/l}$  に達している。

### 4. 考察

水質の鉛直分布にみられた約半日周期の変化は、下層水の湧昇と表層水の沈降によって起こることが明らかになった。水質の変化は表層で小さく、水深が深くなるにしたがって下層で大きいことがわかった。

相模湾では、成層構造の発達する夏季から秋季にみられる半日あるいは1日周期の水温変動は、内部潮汐によるものとし(松山・岩田, 1985; 松山, 1987; 松山ほか, 1988), 相模湾における内部潮汐は1日周期より半日周期が卓越するとしている(OHWAKI *et al.*, 1991)。特に、松山ほか(1988)は、1986年夏に相模湾奥部で多層水温計を用いて20~40m深の水温構造の時間変化を観測した結果、半日周期の内部潮汐による  $4\sim 5^\circ\text{C}$  (振幅  $2.0\sim 2.5^\circ\text{C}$ ) に達する水温変化がみられたが、同時期の表面水温の変化は  $1.0\sim 1.5^\circ\text{C}$  の変化しがなく、20~40m深でみられた変化は表面まで及ばなかったとしている。今回得られた結果は表層の水温変化は小さく、19m深では大きく、松山ほか(1988)の結果と一致する。

同時期に MOT の東側の ENO の 30m 深と西側の ITU の 50m 深で得られた水温と、MOT の 19m 深の水温の経時変化をみると (Fig. 7), 3 測点の水温変化は酷似し、約半日周期で変化し、相模湾沿岸域の広範囲で起こったことを示唆している。MOT で観測された約半日周期の水温変化は、表層で小さく下層で大きいこと、また MOT の東西海域の海面下 30m 深と 50m 深の水温変化も同様に起こっていることなどから、MOT で観測された約半日周期の水温変化は、内部潮汐によるものといえる。

これまで栄養塩の経時変化に注目して行われた調査によれば、1972年の夏季に三河湾奥の三谷沖では、DIN が表層で夜間に極大値に達した後、翌朝日の出とともに急激に減少した。これらの事実は、植物プランクトンの光合成活性や呼吸によって極めて迅速に溶解態から懸濁態へ、懸濁態から溶解態へ変化していることを示している(半田, 1984)。このような変化は、

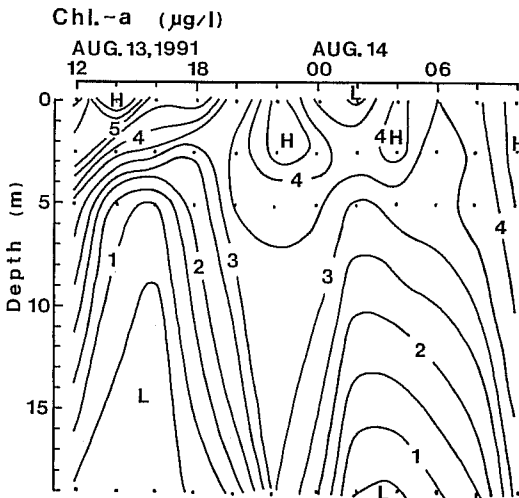


Fig. 6. Temporal variations vertical distributions of Chlorophyll-a during 12:00 on 13 August 1991 to 10:00 on 14 August at MOT.

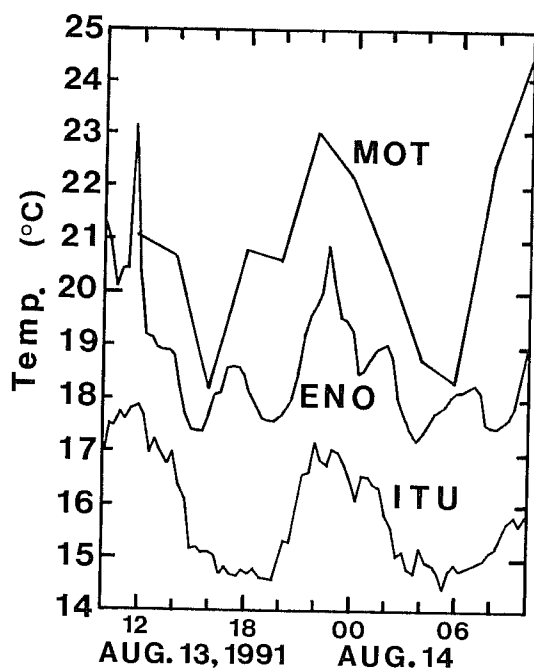


Fig. 7. Water temperature variations at 19 m depth MOT, at 30 m depth ENO, at 50 m depth ITU.

植物プランクトンによる光合成活性や呼吸により栄養塩が日周期で変化したと考えている。三河湾と同じ閉鎖型の大村湾表層での調査では、昼にCODは高く、夜に低くなる傾向を示し、生産と消費が起こっていることを示している(平山, 1990)。これら閉鎖型の湾で起こる日周期の水質変化は、基礎生産活動に関連して起こったといえよう。

一方、平塚沖の水質の変化は、三河湾でみられたような植物プランクトンの光合成活性や呼吸による栄養塩の日周変化を示さず、約半日周期の内部潮汐による下層水の湧昇と表層水の沈降に伴って起こっていることがわかった。

## 5. 謝辞

本研究を遂行するに当たり、観測塔の使用について便宜をおはかりいただいた防災科学技術研究所に深く感謝いたします。観測、分析等について、御協力いただいた神奈川県環境科学センター職員の方々に心から

お礼申し上げます。また、本論文の作成に当たり、文献等の御教示をいただいた東京水産大学鎌谷明善教授に感謝の意を表します。

## 参考文献

- 愛知県環境部(1981) 伊勢湾における二次汚濁に関する調査結果. 153pp.
- ATKINSON, L. P., J. O. BLANTON, C. McCLAIN, M. TAKAHASHI, T. ISHIMARU and J. ISHIZAKA (1987) Observations of Upwelling around the Izu Peninsula, Japan: May 1982. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **43**, 89-103.
- 半田暢彦(1984) 懸濁態有機物の動態. p. 1-29, 内湾の環境科学, 三河湾・伊勢湾の研究を中心として, 西條八束編, 下巻, 培風館.
- 平山文俊(1990) 閉鎖性水域大村湾の水質汚濁. *全国公害研究会誌*, **37**, 157-162.
- KAMATANI, A., N. OGURA, N. NAKAMOTO, M. FUNAKOSHI and S. IWATA (1981) Distribution of nutrients in Sagami Bay during 1971-1973. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **47**, 1493-1498.
- 松山優治(1987) 駿河湾・相模湾周辺の内部潮汐. *月刊海洋科学*, **19**, 470-477.
- 松山優治・岩田静夫(1985) 相模湾城ヶ島沖の陸棚上で観測された半日周期の内部波. *東京水産大学研究報告*, **72**, 43-49.
- 松山優治・平元泰輔・岩田静夫(1988) 1986年夏季に相模湾奥部で観測された鉛直水温構造の時間変化. *日本水産学会誌*, **54**, 1589-1593.
- 中田尚宏(1985) 生物. p. 417-427, *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.
- OHWAKI, A., M. MATSUYAMA and S. IWATA (1991) Evidence for predominance of internal tidal currents in Sagami and Suruga Bays. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **47**, 194-206.
- 斎藤和久(1992) 相模湾沿岸域・河口域の水質変化. *水産海洋研究*, **56**, 328-334.
- TAKAHASHI, M., I. KOIKE, T. ISHIMARU, T. SAINO, K. FURUYA, Y. FUJITA, A. HATTORI and S. ICHIMURA (1980) Upwelling Plumes in Sagami Bay and Adjacent Water around the Izu Islands, Japan. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **36**, 209-216.
- TAKAHASHI, M. and M. J. KISHI (1984) Phytoplankton growth response to wind induced regional upwelling occurring around the Izu Islands off Japan. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **40**, 221-229.
- 山田佳昭・岩田静夫(1992) 相模湾の最近の海洋環境の変化傾向. *水産海洋研究*, **56**, 323-327.
- 柳 哲雄(1989) 沿岸海洋学—海の中でものはどう動くか—. 恒星社厚生閣, 154pp.