

広島湾の海況特性 ——1989～1993年の変動と平均像——

橋本 俊也・松田 治
山本 民次・米井 好美*

広島大学生物生産学部, 東広島市 724

1994年4月25日 受付

要 旨 広島湾の海況の時空間変動と平均像に関する解析を, 1989年から1993年の5年間の観測結果を用いて行った。広島湾は湾奥から湾口にかけての南北の環境傾斜が大きく, 広島湾の海況特性は蔽島と西能美島の間的那沙美瀬戸を境に北部海域と南部海域に二分されていた。北部海域は海況の季節変動が大きく, 夏季には密度成層が発達していた。また, 北部海域は太田川河口从那沙美瀬戸にかけて南北方向の環境傾斜が顕著であり, 閉鎖性の強い典型的な富栄養海域であることが明らかになった。一方, 南部海域は海況の季節変動が小さく, 一年を通して鉛直混合が卓越していた。また, この海域のクロロフィル *a* 濃度分布には密度分布にみられた東西方向の勾配がみられなかったことは, 湾奥部からの直接の栄養塩供給の影響が小さく, 西部の河川水による栄養塩負荷量がそれほど大きくないのに対して, 柱島水道を通しての海水交換により, 湾外水, 特に安芸灘の水塊の影響を強く受けているためと考えられる。

キーワード: 海水交換, 環境傾斜, 富栄養化, 広島湾

はじめに

広島湾は湾口部を屋代島と倉橋島に囲まれ瀬戸内海の中でも特に閉鎖性が強い湾のうへ, 湾内にはいくつかの島々が存在しており, その地形は複雑で海水の交換は悪い。また, 陸域からの栄養物質の流入により富栄養化している。ここではカキ養殖をはじめとする水産業が盛んであり, 富栄養化にともなう赤潮の発生は深刻な問題である。こうした問題に対処し, 適切な水産資源を維持するためには, 広島湾の海況変動の特性を把握することが重要である。上嶋・早川(1982)は夏季の海面水温・塩分の分布と水理実験により水塊の混合形態を解析し, 広島湾を5つの海域に区分している。また, 湯浅ら(1984)は1979年の1年間の水質汚濁資料を解析し, 広島湾の水質変動特性を明らかにしている。内湾における富栄養化の状況を把握するためには, 物質輸送を支配する物理過程に加え光合成による有機物生産に関連した生物過程について, 長期にわたる解析を行うことが必要である。このような観点から, 本報告では1989年から1993年の5年間に行われた広島湾における観測結果を測点, 季節別に整理・解析し, その海況変動特性を明らかにし, 富栄養化にともなう赤潮による水産被害の防止のための基礎資料を作成することを目的とした。

観測および解析

広島大学生物生産学部附属練習船「豊潮丸」を用いて, 1989年春季から1993年夏季まで, 季節別に年4回の合計18回, Fig. 1 に示した14測点において観測を行った。ここで, 春季は3～5月, 夏季は6～8月, 秋季は9～11月, 冬季は12～2月とした。なお, 1993年秋季と冬季の観測については測点数が異なっていたため, 今回の解析には含めていない。全測点において透明度, CTD (SBE-9/11, Sea-Bird Electronics Inc.) による水温・塩分・密度, および海中蛍光強度 (Sea-Tech Fluorometer, Sea Tech Inc.) の鉛直分布を測定した。また, 海中蛍光強度はアセトン抽出法 (STRICKLAND and PARSONS, 1972) による表層クロロフィル *a* (chl.*a*) 濃度から chl.*a* 濃度に換算した。さらに太田川河口から柱島水道に設定された

*現勤務先: 日本ミクニヤ株式会社, 東京都港区虎ノ門1-1-20

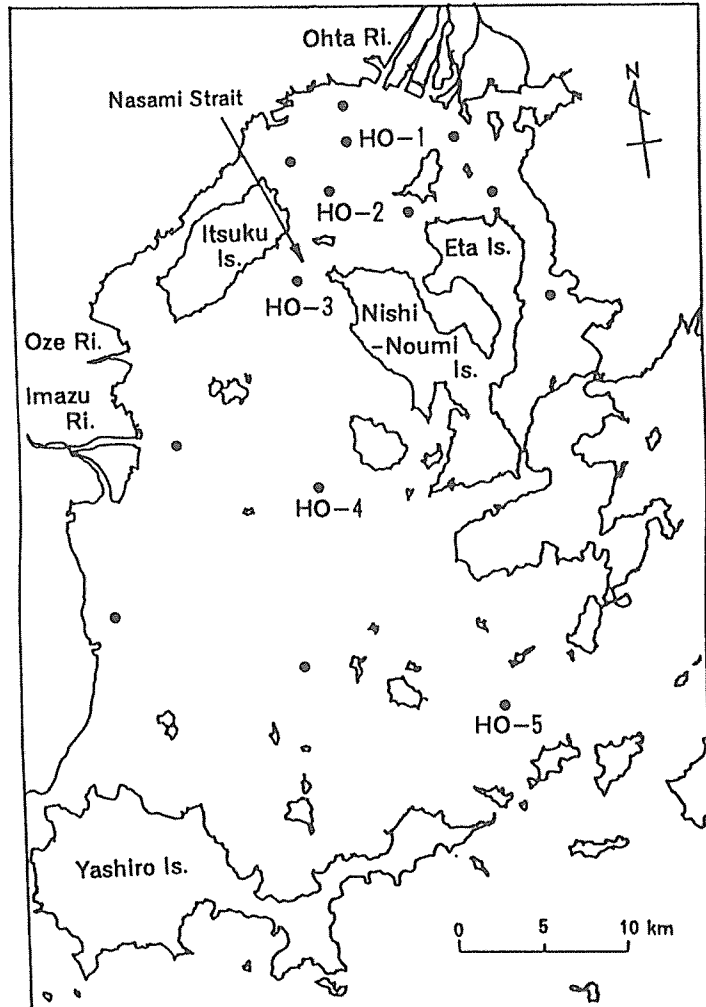


Fig. 1. Location of sampling stations in Hiroshima Bay.

HO-1~HO-5 (Fig. 1) の5測点においては各層採水を行って溶存酸素濃度を測定した。

以上の観測結果のうち、HO-1~HO-5の5測点における水温、塩分、密度、表層 chl.a 濃度、透明度、溶存酸素濃度（飽和度）の経年変化を、表層 chl.a 濃度、表層溶存酸素濃度については季節変化の平均像を示した。また、広島湾全域の季節別海況変動を明らかにするために、全14測点における表層の水温、塩分、密度、chl.a 濃度の5年間の観測結果を季節別に平均し、それぞれの項目の水平分布を示した。

結果と考察

測点 HO-1~HO-5 における海況の季節変動 水温は、全測点 (HO-1~HO-5) で春季から上昇し、秋季に最高値に達していた (Fig. 2a)。HO-1, HO-2 では、夏季に水温による成層がみられたが、HO-5 では一年を通して表層と底層の温度差はほとんど見られなかった。1990年夏季は、表層と底層の水温差が HO-1 で5.7°C、HO-2 で4.5°Cと他の年より大きく、HO-4 においても温度による成層がみられた。塩分は湾奥部の表層で変動の幅が大きく (HO-1 では1989年秋季に最小22.8、1992年秋季に最大32.0、変動幅は9.2)、一方、湾口部の表層塩分の変動幅は小さかった (HO-5 では1990年夏季に最小31.9、1993年春季に最大33.3、変動幅は1.4) (Fig. 2b)。1989年秋季における HO-1 の表層塩分の急激な低下は、降雨による太田川からの大量の淡水流入に起因していると思われる。密度 (σ_t) は HO-1, HO-2 では塩分の影響を強く受けている

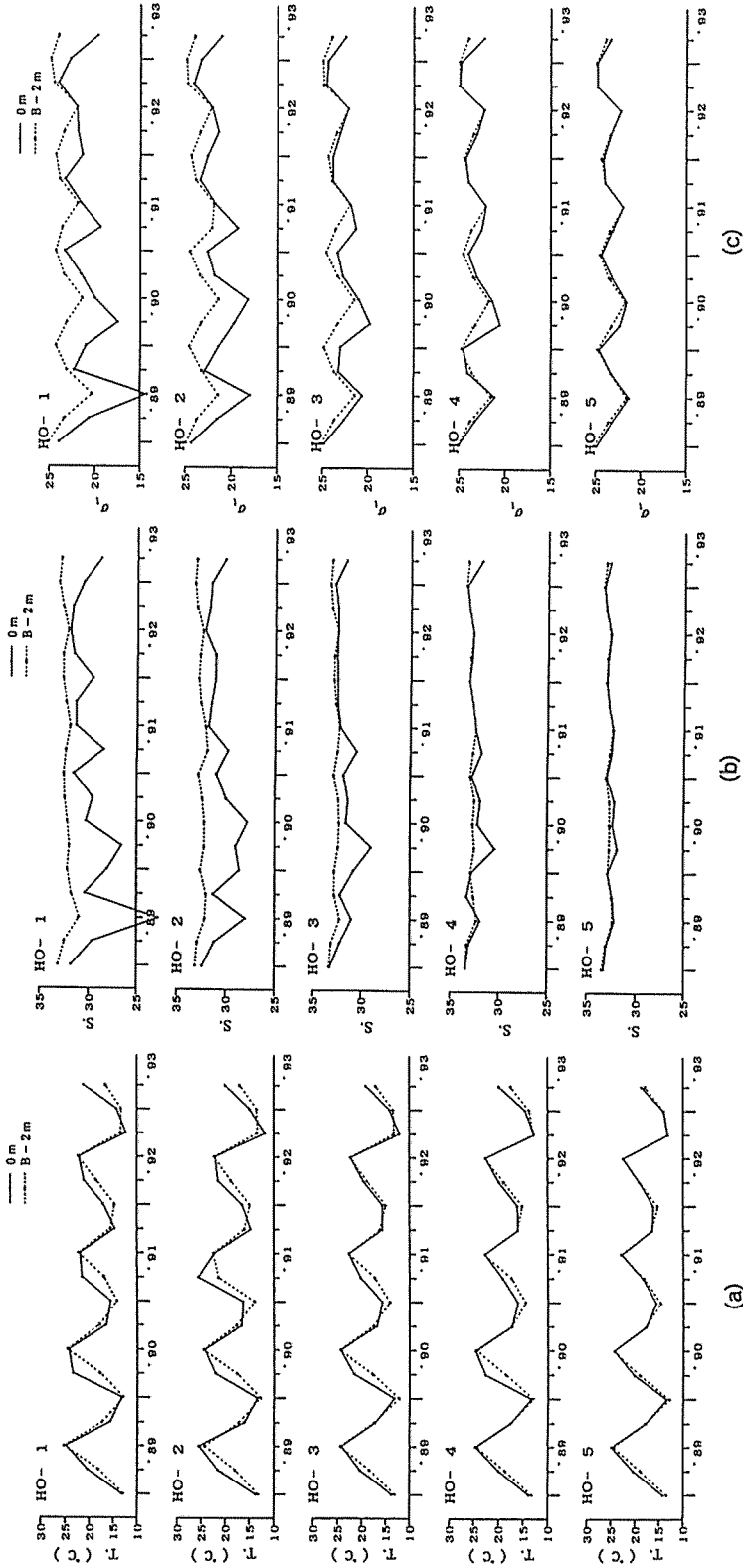
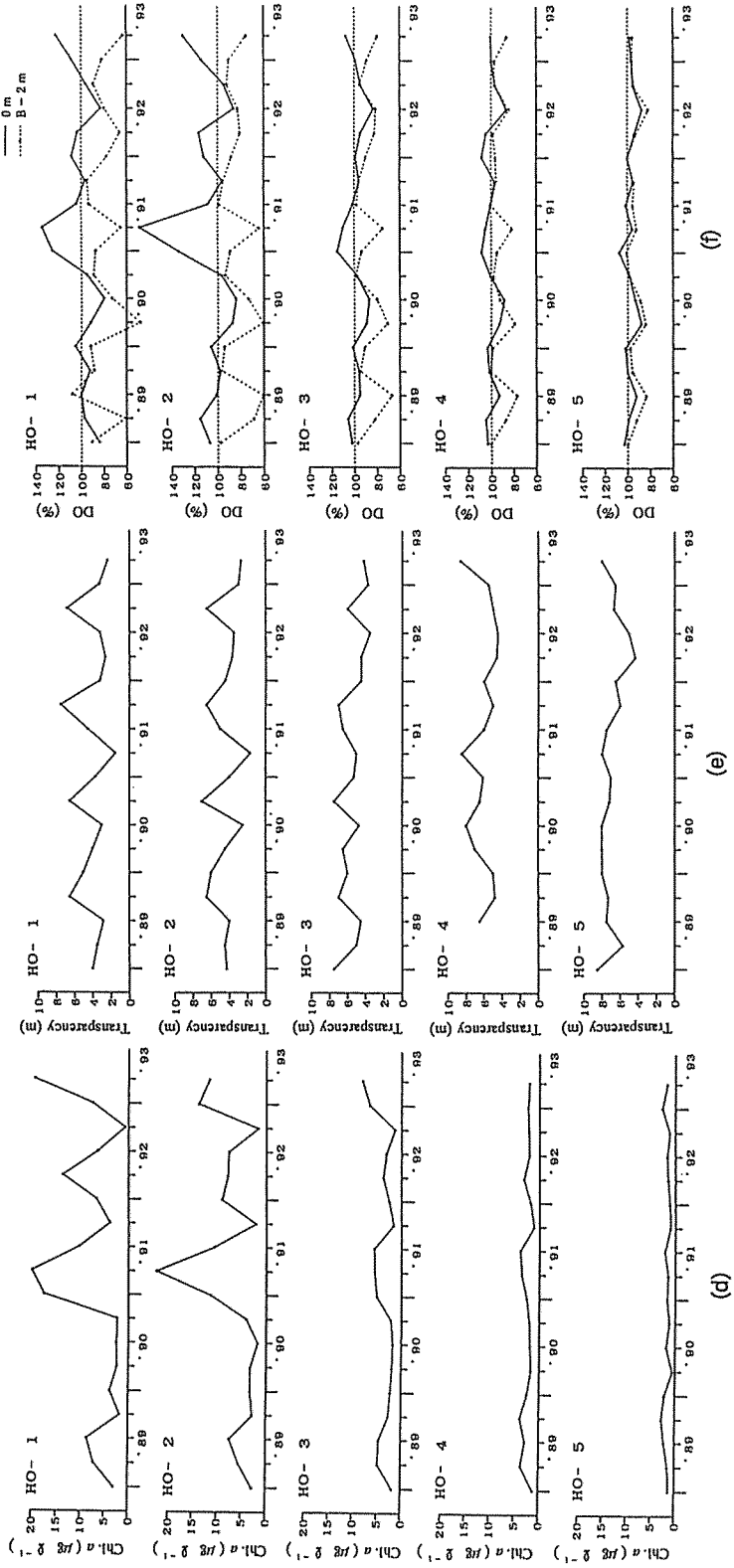


Fig. 2. Year to year variations of (a) temperature, (b) salinity, (c) density (σ_t), (d) chl.a, (e) transparency and (f) dissolved oxygen (degree of saturation, %) at Stns. HO-1~HO-5 from spring 1989 to summer 1993. Solid line for the surface layer, dotted line for bottom layer (bottom-2m).



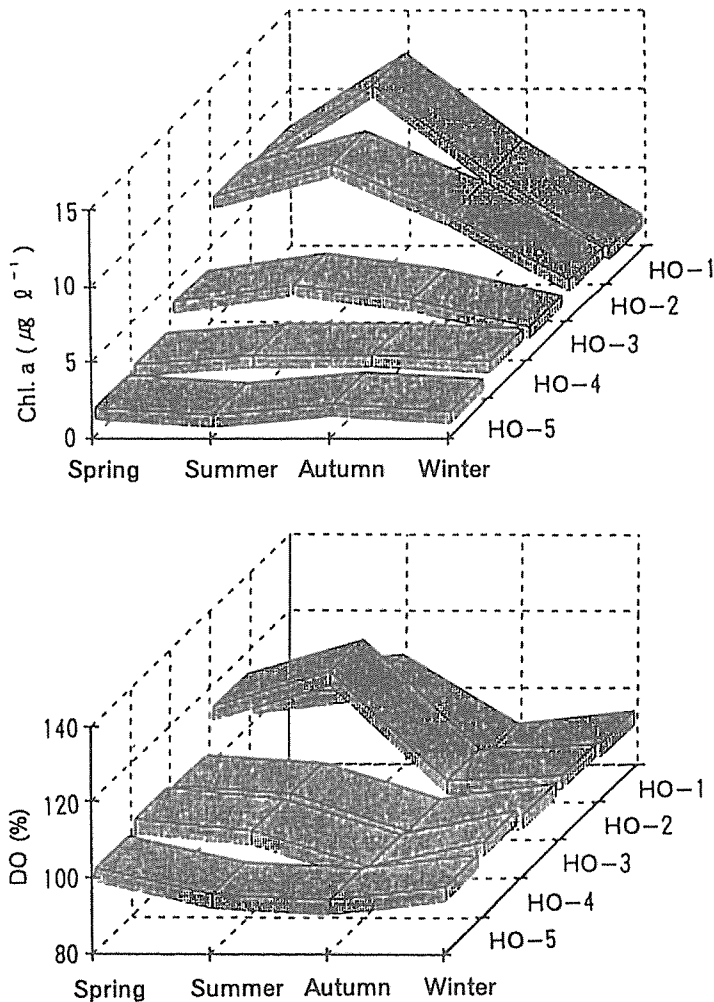
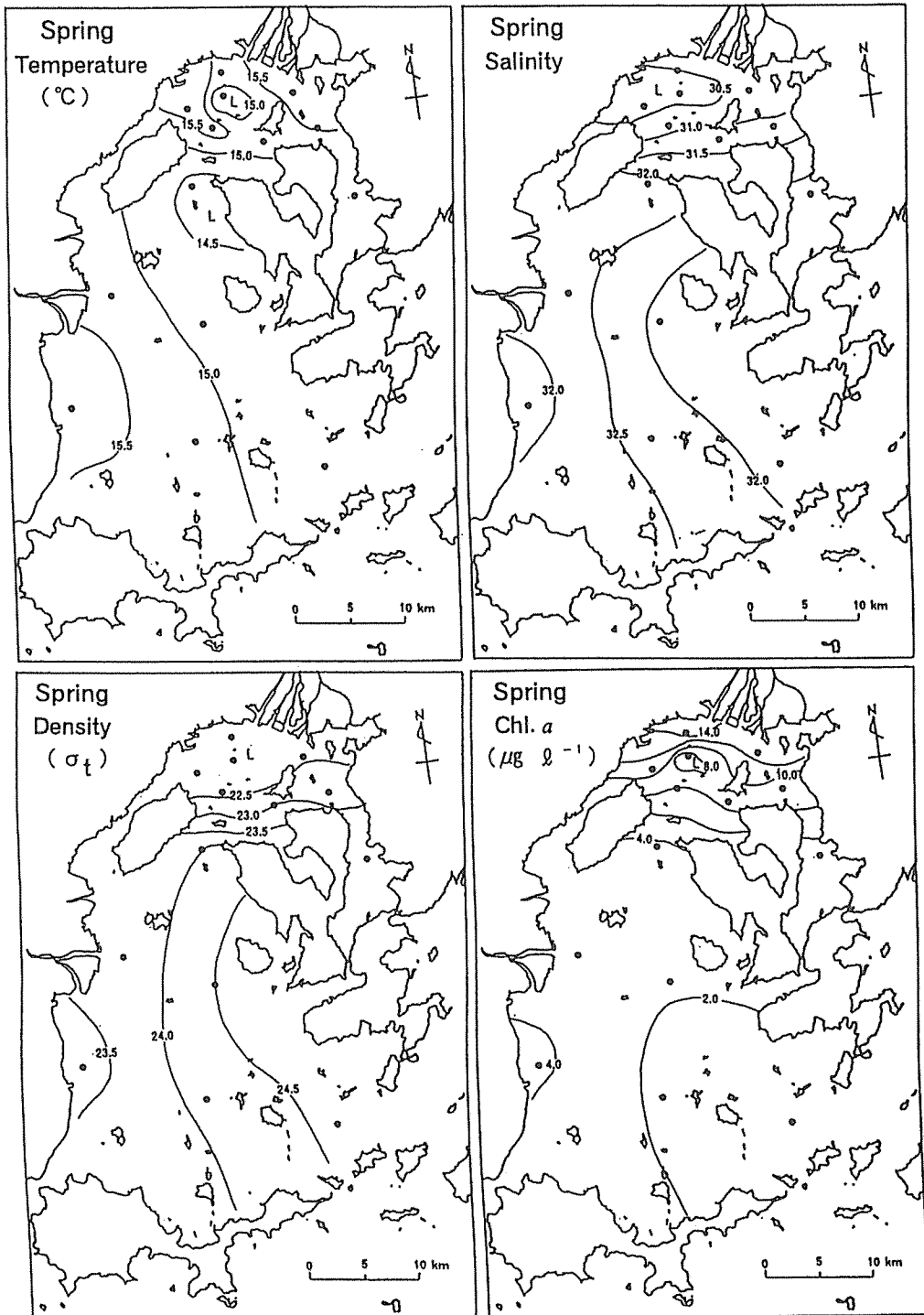


Fig. 3. Seasonal variations of surface chl.a (upper) and surface dissolved oxygen (lower) at Stns. HO-1~HO-5, which were averaged from 1989 to 1993.

が、HO-3~HO-5 では水温に依存している様子がうかがえた (Fig. 2c)。表層の密度の変動幅は HO-1 で 9.7 (最小14.2, 最大23.9) と大きく、HO-5 で3.3 (最小21.6, 最大24.9) と小さかった。一般に沿岸海域の成層は表面加熱と淡水負荷という浮力フラックスにより生成されるが、HO-1 では一年を通して表層塩分が低く (平均21.1)、太田川からの淡水負荷が密度成層の主な成因となっていると考えられる。一方、HO-3~HO-5 では一年を通して上層と底層の密度差が小さく、鉛直混合が卓越していると考えられる。

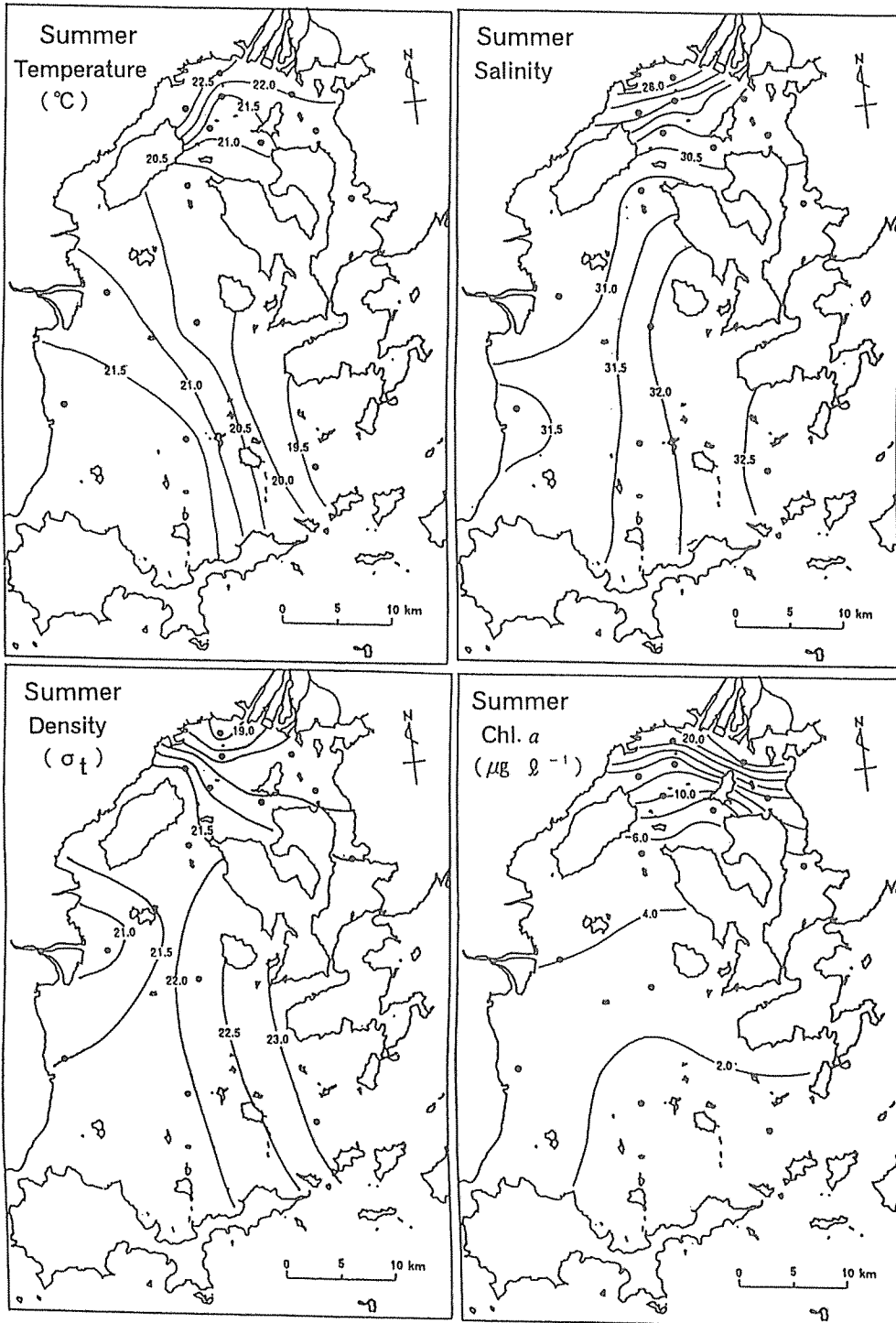
表層 chl.a 濃度は HO-1, HO-2 で変動幅が非常に大きかった (Fig. 2d)。1991年夏季には表層 chl.a 濃度が HO-1, HO-2 で 20.0, 22.4 $\mu\text{g l}^{-1}$ と最も高い値を示していた。これはちょうど *Gymnodinium nagasakiense* の赤潮に遭遇したためである。一方、HO-3~HO-5 では表層 chl.a 濃度は低く、最大値は1993年夏季の HO-3 の 8.1 $\mu\text{g l}^{-1}$ であった。

透明度の5年間の平均値は HO-1 で最も小さく 4.3 m であり、HO-5 で最も大きく 6.9 m であった (Fig. 2e)。透明度は HO-1, HO-2 では表層 chl.a 濃度が高くなると小さくなり、表層 chl.a 濃度が低くなると大きくなる傾向が見られた。特に、表層 chl.a 濃度が最も高くなった1991年夏季には透明度も最も小さくなり、HO-1, HO-2 でそれぞれ 1.5 m, 1.7 m であった。

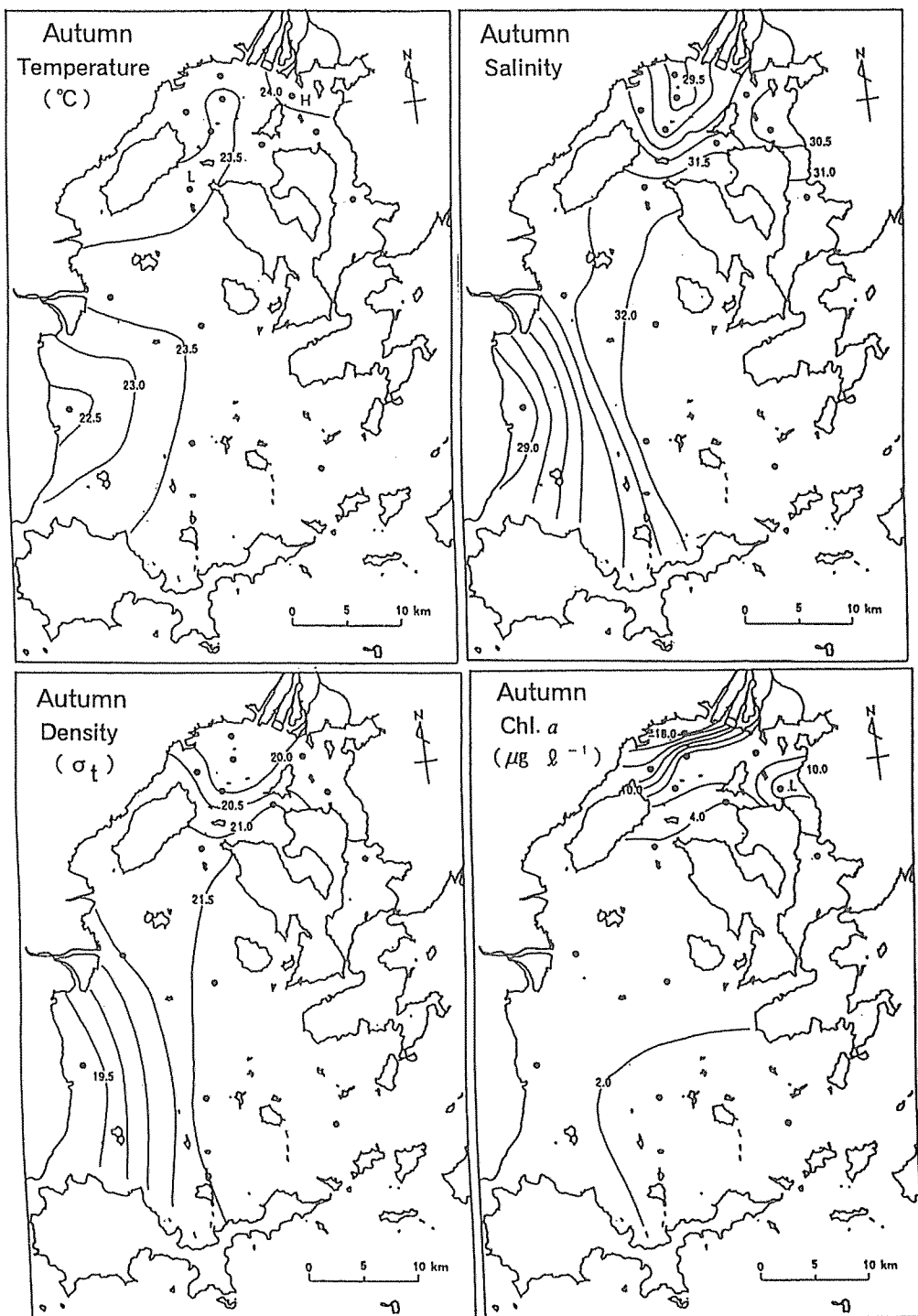


(a)

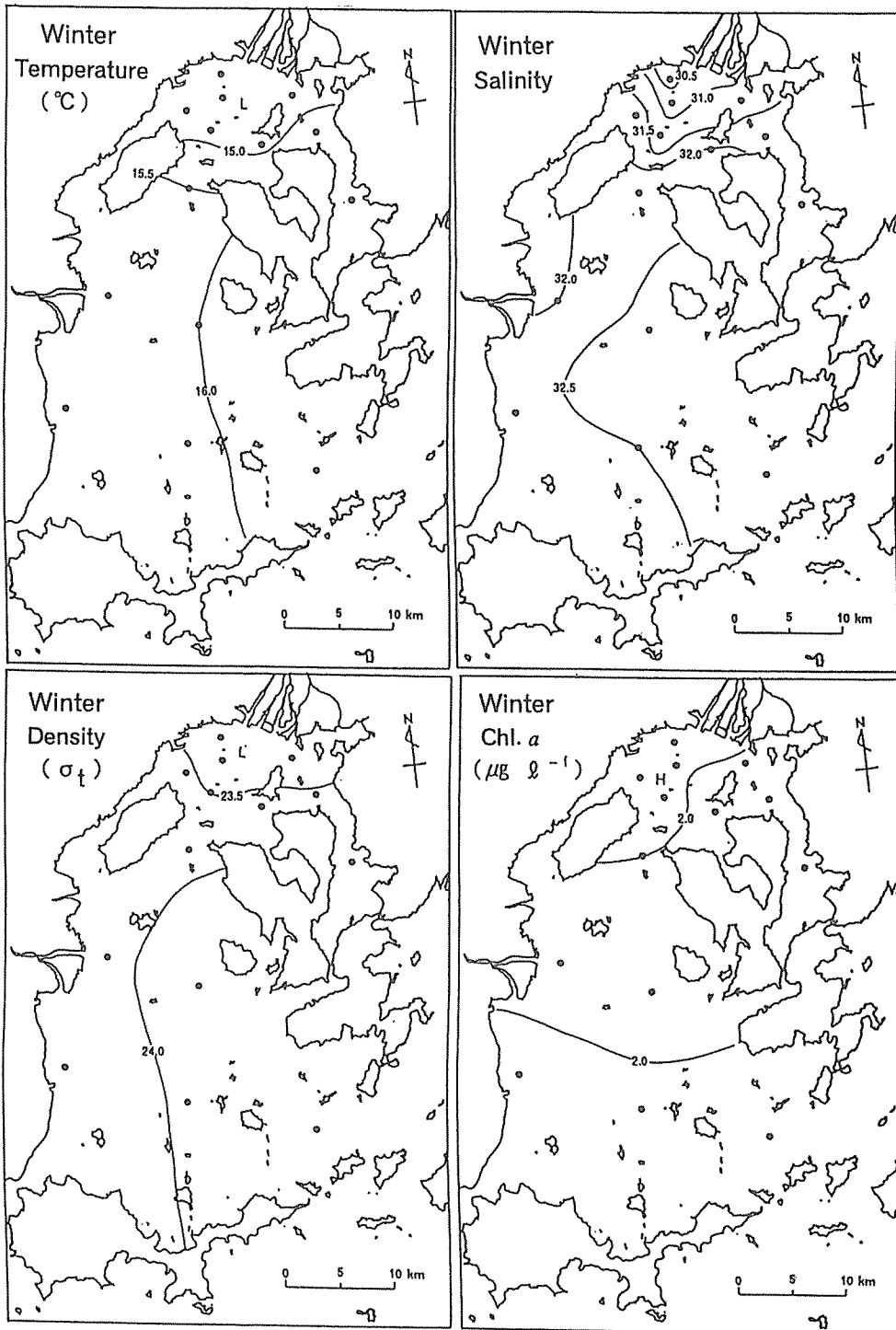
Fig. 4. Horizontal distributions of surface temperature, salinity, density and chl. a, which were averaged from 1989 to 1993. (a) Spring, (b) summer, (c) autumn and (d) winter.



(b)



(c)



(d)

溶存酸素は表層 chl.a 濃度が增大すると過飽和状態になる傾向が HO-1, HO-2 で顕著であり (Fig. 2f), 植物プランクトンの活発な光合成活動がうかがえた。特に表層 chl.a 濃度が最も高くなった1991年夏季では過飽和状態が顕著であり, HO-1, HO-2 の表層溶存酸素飽和度はそれぞれ134%, 169%であった。また, 先に述べたように湾奥部では成層が発達することで鉛直混合が弱くなり, さらに底層における有機物の分解が水温の上昇によって盛んになることから, 夏季に底層の貧酸素化が進むと考えられる。HO-1, HO-2 では夏季の底層の酸素飽和度は他の季節に比べ低下していたが, 最低値は HO-1 の1990年夏季の48%であり, 湯浅ら (1984) が報告している30%以下になるような貧酸素状態は今回観測した5年間ではみられなかった。

表層 chl.a 濃度と表層溶存酸素飽和度の5年平均の季節変化から (Fig. 3), HO-1, HO-2 では夏季に表層 chl.a 濃度が大きくなり, 表層溶存酸素が過飽和になる季節変動が顕著であるが, HO-3~HO-5 では表層 chl.a 濃度, 表層溶存酸素飽和度ともに季節変動はほとんどみられないことがわかる。湾奥部と那沙美瀬戸以南の海域との海水交換は主に岐島と西能美島間の那沙美瀬戸で行われるが, この瀬戸の幅は約3 km しかなく, 太田川からの栄養塩負荷に対し海水交換能力は小さいと考えられる。このために, 閉鎖性の強い湾奥部 (HO-1, HO-2) は典型的な富栄養化海域と考えられる。一方, 那沙美瀬戸以南 (HO-3~HO-5) では陸域からの栄養塩負荷の影響が小さく, 季節変動の小さい湾外水との海水交換が盛んであると考えられる。このように広島湾は湾奥から湾口にかけての南北の環境傾斜が大きく, 那沙美瀬戸を境に北部海域と南部海域で大きく海況特性が異なっている。

海況の季節別水平分布 春季には, 湾奥部に30.5以下の低塩分水が存在する以外は水温, 塩分ともにほぼ一様の分布を示していた (Fig. 4a)。また, 那沙美瀬戸以北に低塩分水の影響による低密度水が見られたが (σ_t : 22.0以下), それ以南では東西方向にわずかな勾配がみられるもの, ほぼ一様であった (σ_t : 23.5~24.5)。chl.a 濃度は太田川河口で $14.0 \mu\text{g}\ell^{-1}$ 以上と最も高く, 南下するにつれて小さくなる勾配がみられた。しかし密度の分布と同様に那沙美瀬戸以南ではほぼ一様であった ($1.6\sim 4.2 \mu\text{g}\ell^{-1}$)。

夏季には太田川河口に高温低塩分 (水温 22.5°C 以上, 塩分28以下) の低密度水 (σ_t : 20 以下) がみられ, 那沙美瀬戸までは南北方向の密度勾配が顕著であった (Fig. 4b)。那沙美瀬戸以南では岩国沖に低密度水があり, 柱島水道にかけて次第に上昇する東西方向の密度勾配がみられた。chl.a 濃度は春季と同様に太田川河口で最も高く ($20.0 \mu\text{g}\ell^{-1}$ 以上) 湾奥部で南北方向の濃度勾配が顕著になっていた。しかし, chl.a 濃度分布には密度分布にみられた那沙美瀬戸以南の東西方向の勾配はみられなかった。

秋季における密度は夏季同様に那沙美瀬戸以北で南北方向の, 以南で東西方向の勾配が顕著であった (Fig. 4c)。chl.a 濃度は春季・夏季と同様に太田川河口で最も高く ($18.0 \mu\text{g}\ell^{-1}$ 以上) 湾奥部で南北方向の濃度勾配が顕著であった。那沙美瀬戸以南はほぼ一様であった ($1.7\sim 3.8 \mu\text{g}\ell^{-1}$)。

冬季には湾奥部に30.5以下の低塩分水がみられた点を除いて, すべての項目でほぼ一様の分布を示していた。すなわち水温 $15.5\sim 16.5^\circ\text{C}$, 塩分 $32.0\sim 32.6$, 密度 $23.7\sim 24.2$, chl.a 濃度 $1.9\sim 2.1 \mu\text{g}\ell^{-1}$ であった。

広島湾では冬季を除き那沙美瀬戸以北で南北方向の, 以南で東西方向の密度勾配が顕著であった。また, 那沙美瀬戸以北では南北方向の chl.a 濃度勾配も顕著であった。このような湾奥部の南北方向の環境傾斜は, 太田川からの負荷に対して那沙美瀬戸の海水交換が小さいために生じているものと考えられ, この海域が閉鎖性の強いことを示している。那沙美瀬戸以南の東西方向の密度勾配の成因は, 湾西部に位置する小瀬川, 今津川などの河川の影響と湾中央部で生じている反時計回りの潮汐残差流 (上嶋・早川, 1982) によると考えられる。また, 那沙美瀬戸以南の chl.a 濃度分布には密度分布にみられた東西方向の勾配がみられなかったことは, 湾奥部からの直接の栄養塩供給の影響が小さく, 西部の河川水による栄養塩負荷量がそれほど大きくないのに対して, 柱島水道を通しての海水交換により, 湾外水, 特に安芸灘の水塊の影響を強く受けているためと考えられる。

おわりに

本報告では広島湾における5年間の観測結果の解析, 特に時空間変動と平均像に関する解析を行った。今回の基礎解析をふまえ, 今後は親生物元素の定期的な観測を行い, 広島湾の物質循環に関する動的な解析を行っていくことが重要である。

最後に, 観測に御協力頂いた郷秋雄船長をはじめとする豊潮丸乗組員の方々と水産環境学研究室の皆様

深く感謝する。

引用文献

- STRICKLAND, J. D. H. and PARSONS, T. R., 1972, A Practical Handbook of Seawater Analysis, 2nd ed. *Fish. Res. Bd, Canada*, 167 : 311 pp.
- 上嶋英機・早川典生, 1982, 瀬戸内海の物質拡散, 分散特性. 沿岸海洋研究ノート, 20 : 1-11.
- 湯浅一郎・上嶋英機・宝田盛康・橋本英資, 1984, 広島湾・呉湾における水質変動特性. 中国工業試験場報告, 22 : 47-66.

Oceanographic Characteristics of Hiroshima Bay —Seasonal and Spatial Variations from 1989 to 1993—

Toshiya HASHIMOTO, Osamu MATSUDA,
Tamiji YAMAMOTO and Yoshimi YONEI

Faculty of Applied Biological Science, Hiroshima University
Higashi-Hiroshima 724, Japan

Seasonal and spatial variations of the oceanographic conditions in Hiroshima Bay were characterized using the results of the field observations from 1989 to 1993. In Hiroshima Bay, the north-south environmental gradients from the head to the entrance of the bay were observed. From the gradients, the bay is classified into two major regions, the northern and southern regions, by Nasami Strait where is located between Itsuku Is. and Nishi-Noumi Is. In the northern region, the seasonal variations in the oceanographic factors were remarkable and the density stratification developed in summer. In this region, the north-south environmental gradients from the estuary of the Ohta River to Nasami-Strait were especially remarkable. This result indicated that this region is very stagnant and highly eutrophic. While, in the southern region, there was the west-east density gradient of surface sea water in the horizontal distribution. On the other hand, the horizontal distribution of chlorophyll *a* was roughly homogeneous, which shows relatively small influence of the nutrient loads from both the west and the north. Therefore, it is suggested that the southern region would be strongly influenced by the outside waters, in particular, the water of Aki-Nada adjacent to Hiroshima Bay.

Key Word : environmental gradients, eutrophication, Hiroshima Bay, water exchange