

## 広島湾における風による鉛直循環流と 底泥プランクトンシスト分布

高杉由夫<sup>\*1</sup>・埜口英昭<sup>\*1</sup>・安田秀一<sup>\*2</sup>

### Wind Induced Vertical Circulation and Distribution of Resting Cysts of the Toxic Plankton in Sediments in Hiroshima Bay

Yoshio TAKASUGI<sup>\*1</sup>, Hideaki NOGUCHI<sup>\*1</sup> and Hidekazu YASUDA<sup>\*2</sup>

#### Abstract

In order to clarify the relation between the current and the distribution of toxic plankton cysts of *Alexandrium* spp., which cause paralytic shellfish poisonings, in Hiroshima Bay in the Seto Inland Sea of Japan, the current and water quality was monitored and distribution of resting cysts of *Alexandrium* spp. in the sediments was investigated. Cysts of *Alexandrium* spp. were found at all stations examined. Higher cyst densities were observed in coastal areas off Hiroshima and Kure cities which corresponded well to the area of  $M_2$  tidal current amplitude less than  $5\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$ . Moreover, the vertical circulation was generated by the prevailing wind of north-south direction in Hiroshima Bay. It was found that this vertical circulation may play an important role for increasing cyst abundance and dispersal of the toxic plankton cysts in the sediments of the bay.

#### 1. まえがき

近年、有毒プランクトンによる貝類の毒化が世界的規模で広がっており、我が国でも麻痺性および下痢性貝毒の発生による水産被害が各地で報告されている(佐藤ほか, 1994). 瀬戸内海西部にある広島湾では、1992年春に突如としてカキ、アサリ、ムラサキイガイに*Alexandrium tamarense*を原因種とする麻痺性貝毒が発生し、総額約18億円の被害を与えた(広島県水産試験場, 1995). それ以降、毎年、4、5月になるとカキやアサリなどに毒化が起こり、水産業に深刻な影響を及ぼしている。

麻痺性貝毒は渦鞭毛藻の*Alexandrium*属のもつ毒が食物連鎖を通じて貝に移行することにより生じる(左

子ほか, 1992). これらの有毒プランクトンは生活史のある時期に休眠シストを形成して海底に沈降し、不適な環境下を底泥中で過ごす。したがって、底泥中に存在するシストの分布とその形成の機構・過程の解明は、海域における有毒プランクトン出現の履歴や未だ貝毒発生が見られていない海域での潜在的な毒化の可能性を知るうえで必要なだけでなく、貝毒の発生機構を解明し、その発生の予知および予防対策を進めていくうえで極めて重要な課題である。広島湾における底泥中の*Alexandrium*属シストに関して、その現存量は年々増大する傾向にある(山口ほか, 1995). このため、今後の貝毒発生域の拡大が懸念される。

シストの分布形成には海域の流れが大きな要因となっていると考えられる。しかしながら、閉鎖性が強い広島湾では潮流が弱く、潮流成分だけでは湾内のシストの分布形成を説明することは困難である。それには強い風によって生じる流れが関係しているのではないかと考えられる。そこで、広島湾における風に対する流動・水質等の海洋構造の変化を見るための観測と底泥中の*Alexandrium*属シストの分布調査を行った。本稿

1997年12月1日 受付, 1998年4月6日受理

<sup>\*1</sup> 中国工業技術研究所

Chugoku National Industrial Research Institute  
Hirosehiro 2-2-2, Kure, Hiroshima 737-0197, Japan

<sup>\*2</sup> 水産大学校

National Fisheries University in Shimonoseki  
Nagatahonmachi 2-7-1, Shimonoseki 759-6533, Japan

では、これらの観測結果、および観測から明らかになった風による鉛直循環流とそれが当海域における *Alexandrium* 属シストの分布形成に果たす役割について述べる。

## 2. 観測海域及び方法

広島湾は、瀬戸内海の西部中央寄りに位置しており、南北に50km、東西に30kmの楕円形をした湾である。湾の南には屋代島、東には倉橋島等、多くの島に囲まれており、湾口が狭いため、閉鎖性の強い内湾となっている。湾内は、宮島-奈佐美、両瀬戸を境に湾奥部

(湾北部)と湾中央部に分けられる。湾奥部は、東側の呉湾とつながった水深20m以浅の浅い水域であり、ここには、一級河川の太田川が流入している。観測は、呉湾を含むこの広島湾奥部海域 (Fig. 1) を対象として1996年9月4日～10月8日の間に行った。風などによる非定常的変動を捉えるための長期流動水質モニタリング観測と海域全体の水質空間分布観測、および底泥中のプランクトンシスト (*Alexandrium* 属) の採取を行った。

長期流動水質モニタリングの観測は、湾奥の太田川河口に近いStn. A (平均水深15m) と沖合いの奈佐美

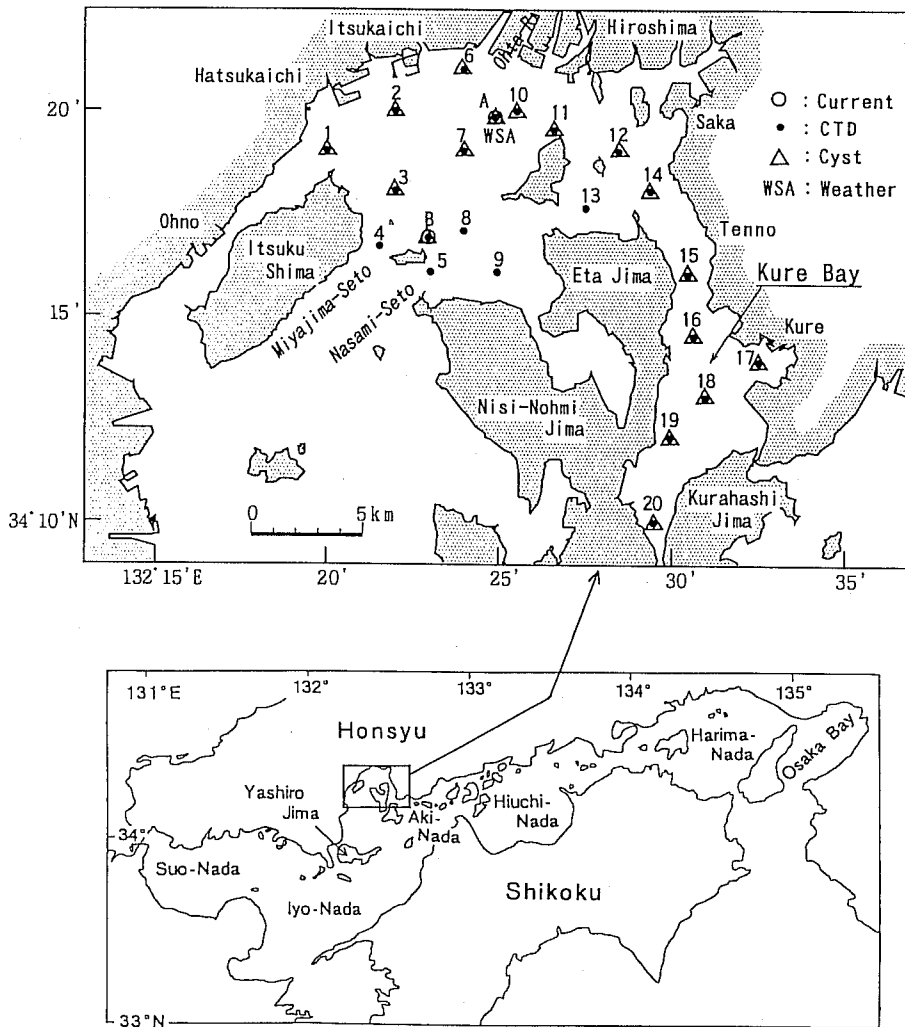


Fig. 1. Location of Hiroshima Bay and the observational stations.

○: current observation, ●: water quality observation,  
△: plankton cysts sampling, WSA: weather observation.

島近くのStn. B (平均水深25m) の2測点において34日間にわたり行った。これら定点観測は湾内のカキ筏周辺に設置されている灯浮標筏を利用した。Stn. Aでは、筏の上に気象観測装置 (AANDERAA社製) を設置し、海面上4mの気象要素 (風向、風速、気温、湿度、日射量) を測定した。流速は、海底に設置した底層流測定用のシア流速計 (アレック電子社製) と電磁流速計 (アレック電子社製, ACM-8M) を用いて海底近傍および海面下3mと7m層を測流した。底層流を測定したシア流速計は、電磁流速センサーと赤外後方散乱方式の濁度センサーを50cm間隔で取り付けたもの (YASUDA *et al.*, 1997) で、海底上0.5, 1, 1.5, 2mの流速と濁度が測定された。また、内蔵記録式DO計 (アレック電子社製, ADO-8M) により海底上1mの溶存酸素量 (DO) を、内蔵記録式の濁度計およびクロロテック計 (いずれもアレック電子社製) により海面下5mの濁度およびクロロフィル $a$ を測定した。一方、Stn. Bでは、3台の電磁流速計により海面下5, 10, 22mの流速を測定したほか、海面下5mの濁度および海面下21mのDOを測定した。しかし、Stn. BのデータはStn. Aの結果と類似した傾向を示していたことから、本稿では参考にとどめ、Stn. Aのデータを中心に解析した。これら各測器のデータサンプリングは、30分間隔で測定した内蔵記録式DO計以外はすべて10分間隔とした。なお、観測期間中は1週間毎に見回り、測器の確認やセンサー部等の洗浄、点検を行い、観測機器の流失や生物付着等による測器精度の低下防止に努めた。

水質空間分布は22測点 (Fig. 1) において、1週間毎に計6回実施した。クロロテック計 (アレック電子社製) とDOメーター (YSI社製) による水温、塩分、クロロフィル $a$ 、濁度、DOの鉛直分布を測定し、同時にバンドーン採水器を用いてクロロフィル $a$ 、濁度、DOの検定用および栄養塩測定用の採水を実施した。採水層は0, 2, 5, 10, B+1m (海底上1m) であった。クロロテック計とDOメーターにより測定されたクロロフィル $a$ 、濁度およびDOの出力値は採水測定値との相関曲線を基に絶対量に換算した。

底泥中のプランクトンシストの調査は17地点 (Fig. 1) で行った。スミスマッキンタイヤー採泥器により底泥を採取し、表層から5mmまでの泥を分取した試料を計数までの期間、4°Cで冷蔵保存した。プランクトンシストの計数は、I群 (*Alexandrium tamarense* および *A. catenella* のシストの合計) とII群

(*A. affine*, A群以外の*Alexandrium*属のシストの合計) の2つに分け、赤潮生物研究指針 (福代・松岡, 1987) にしたがって行った。

なお、観測期間中の気象条件を見ると、9月22日と9月27日～10月1日には、 $5\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上の強い北風が観測された。前者は台風17号の四国の南海上の通過、後者は台風21号の日本の南海上で停滞による秋雨前線の活発化、いずれも台風に関連したものであった。また、降雨量は観測前半の9月9日に70mmを越えたが、それ以外は少なく、台風接近時の降雨量を含めても、観測期間中の全雨量はほぼ年並みであった。

### 3. 風、流れおよび水質の時系列変動

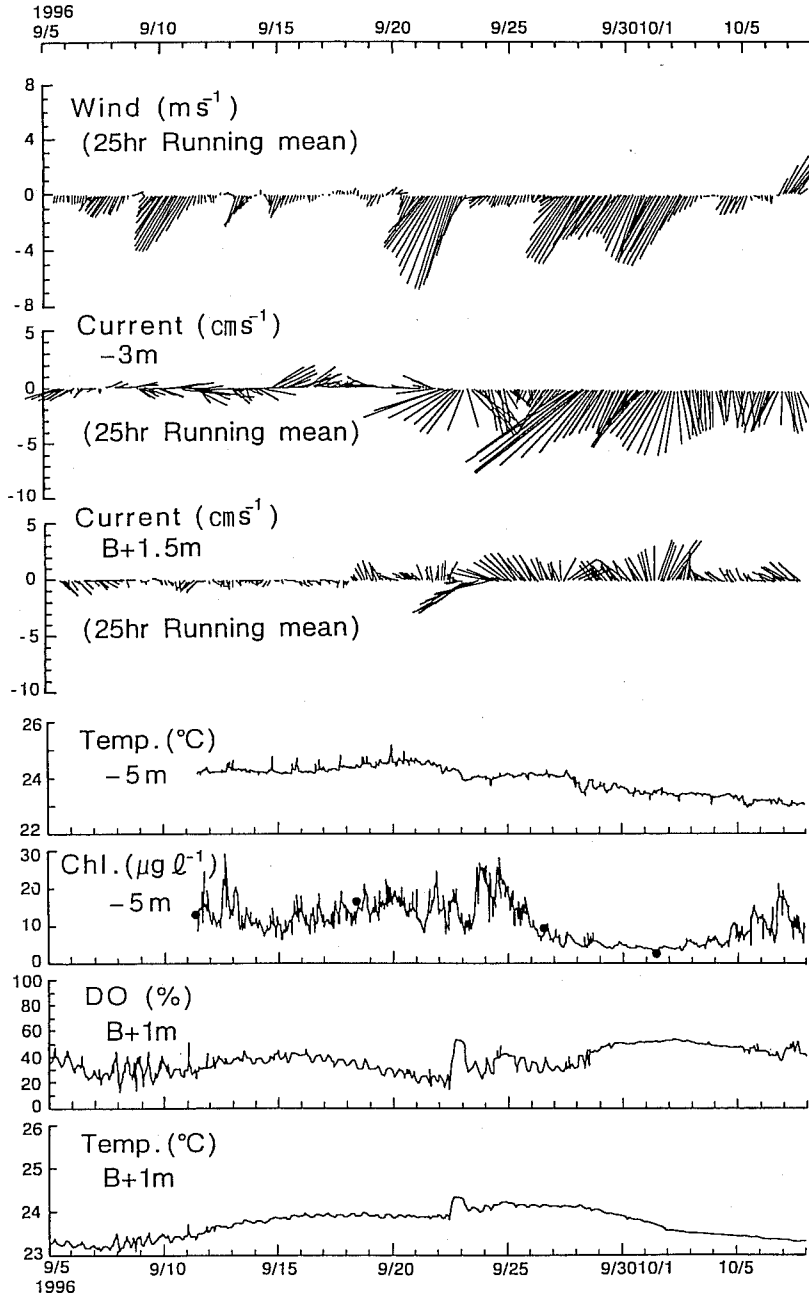
Stn. Aにおける風、流れおよび水質の時系列変動をFig. 2に示す。観測前半の風と流れ、水質変動には特に関連性は認められない。しかし、台風の接近で強い北風 (陸から沖向き) が吹いた9月22日から10月2日までの変動は、表層の流れは $5\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$ を越える強さで風と同じ方向に流れているのに対して、海底上1.5mでは表層に比べて強さは弱くなってはいるが、その方向は風とは逆向きの流れとなっている。また、この間、表層のクロロフィル $a$ の変動を見ると、9月26日以降は、それまでの $15 \sim 20\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ から $10\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 以下へと急激に減少しており、さらに、同期間の底層のDOでは濃度が上昇している。このように、強い風が吹いていた期間においては風と流れ・水質の間に強い関連性が認められる。

次に、観測期間中のStn. Aにおける水質の鉛直分布の時間変化をFig. 3に示す。9月18日までは弱いながらも温度成層を形成しているが、9月26日には鉛直的に一様、10月1日以降は表層で冷却されており、9月26日を境に水温の鉛直構造に変化が生じている。塩分では、測点が河口に近いことから海面近くで低塩分となっている。特に、9月11日には9月9日の降雨の影響と考えられる表層での厚い低塩分層が見られる。DOは、毎測定時とも海底近くでも $4\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 以上であり、貧酸素化はしていない。また、濁度は、海底付近に高濁度の層が見られるが、特に、10月1日には海底高濁度層が厚く、海面近くの濁度も他の測定時に比べて極めて高い値を示している。さらに、クロロフィル $a$ の分布では、8m以浅では高い値であるが、9月26日以降は鉛直的な変化は小さく、特に、10月1日は0.5m以深の値は非常に小さいものとなっている。これらの分布から、9月26日頃を境に海洋構造が成層期から循環期へ変化

していることがわかるが、その中で10月1日の特異な鉛直構造は、9月27日～10月1日の間に吹いた強い北風の影響を受けた結果と考えられる。風に対応したこ

のような水質の変化は、Stn. A 以外の他の測点および栄養塩などの分布においても見ることができる。

以上、風に対応した流れや水質の変化は、陸から沖



**Fig. 2.** Time series of wind velocity, current velocity and water quality at Stn. A. One hour mean values were plotted for the water quality. '-5m' and 'B+1.5m' denote the 5m depth and the 1.5m above the bottom, respectively. Temp.: temperature, Chl.: chlorophyll-a, DO: dissolved oxygen.

広島県における風による鉛直循環流と底泥プランクトンシスト分布

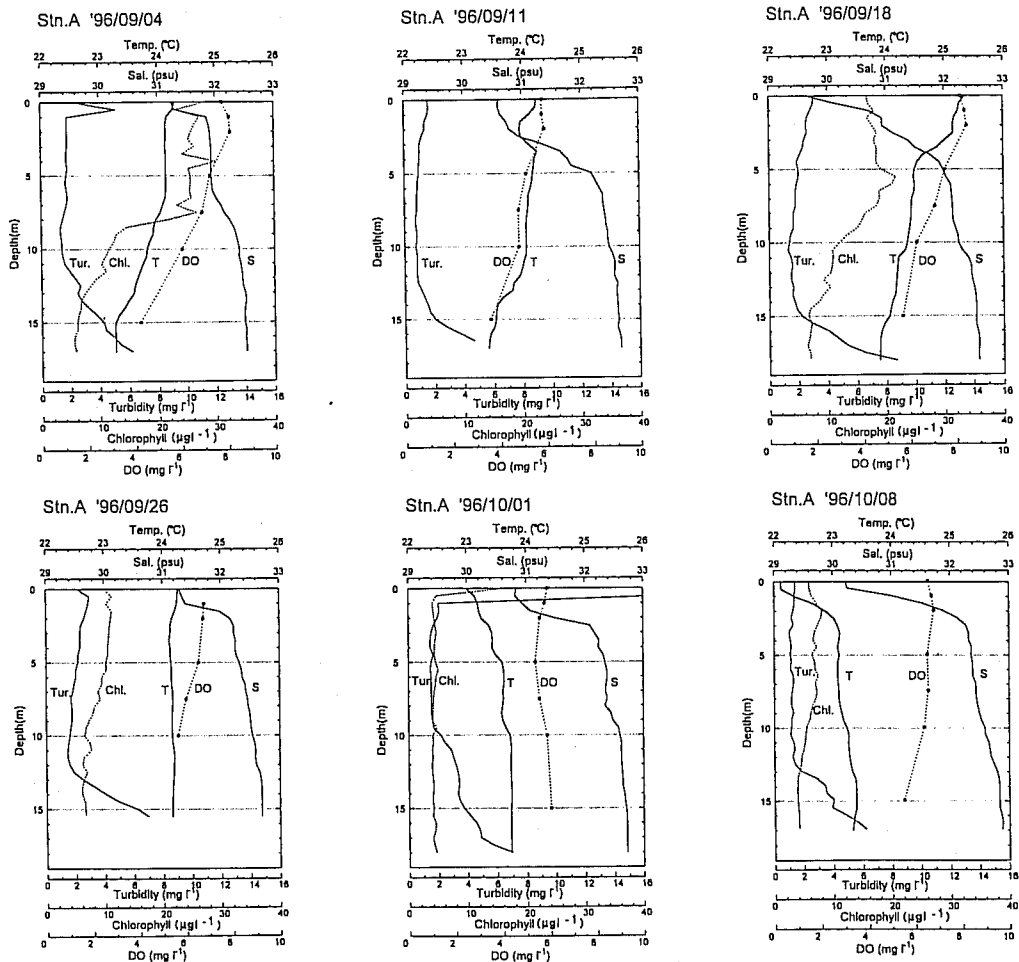


Fig. 3. Weekly change of the water quality in vertical profile at Stn. A.  
T: temperature, S: salinity, Chl.: chlorophyll-a, Tur: turbidity, DO: dissolved oxygen.

合いに向かって吹く風により表層海水が湾奥から湾央へ吹送され、補流として底層海水が表層へという、鉛直循環流の発生によって起こったものと推察される。

#### 4. *Alexandrium*属シストの分布

広島湾における麻痺性貝毒の原因種となる *Alexandrium* 属シストの密度を Table 1 に示す。呉沖の測点においてⅡ群が認められるもののⅠ群に比べてその比率は低く、全体としては *Alexandrium* 属シストのほとんどがⅠ群の *Alexandrium tamarense* と *A. caccinella* の2種より成っていると言える。また、Ⅰ群とⅡ群を合計した *Alexandrium* 属シストの分布を Fig. 4 に示す。調査した17地点のうち、8地点で1000 cysts・cm<sup>-3</sup>以上であり、太田川河口から五日市にか

けての広島市沿岸域と呉湾において高い傾向が見られる。特に、呉湾の4地点では、3200 cysts・cm<sup>-3</sup>以上と高く、Stn. 17では、9600 cysts・cm<sup>-3</sup>と最も高い値を示している。このような局所的な高密度の分布は、広島湾で過去に実施された同様の *Alexandrium* 属シストの分布調査（水産庁，1988；山口ほか，1995）においても認められる。

1987年9月（水産庁，1988）と1993年5月（山口ほか，1995）における広島湾の底泥中の *Alexandrium* 属シストの分布をFig. 5に示す。1987年では全体的に現存量が少なく、水平的な分布密度の違いは明瞭ではない。しかし、1993年では広島市の沿岸部や呉湾で高く、今回の調査と似通った結果となっており、シスト分布の局所性が恒常的に存在することを示している。宮島一

Table 1. Cyst densities (cysts·cm<sup>-3</sup>) of *Alexandrium* spp. in the sediments in September 1996

| Stn. | Cyst Group |     | total |
|------|------------|-----|-------|
|      | I          | II  |       |
| 1    | 750        | 0   | 750   |
| 2    | 1,050      | 25  | 1,075 |
| 3    | 50         | 0   | 50    |
| 6    | 1,350      | 0   | 1,350 |
| 7    | 450        | 0   | 450   |
| 10   | 100        | 0   | 100   |
| 11   | 1,050      | 0   | 1,050 |
| 12   | 500        | 0   | 500   |
| 14   | 75         | 0   | 75    |
| 15   | 1,150      | 50  | 1,200 |
| 16   | 3,700      | 50  | 3,750 |
| 17   | 9,525      | 75  | 9,600 |
| 18   | 5,675      | 225 | 5,900 |
| 19   | 3,150      | 100 | 3,250 |
| 20   | 350        | 25  | 375   |
| A    | 375        | 0   | 375   |
| B    | 300        | 0   | 300   |

\*group I : *Alexandrium tamarense* + *A. catenella*

group II : *A. affine* + *Alexandrium* spp.

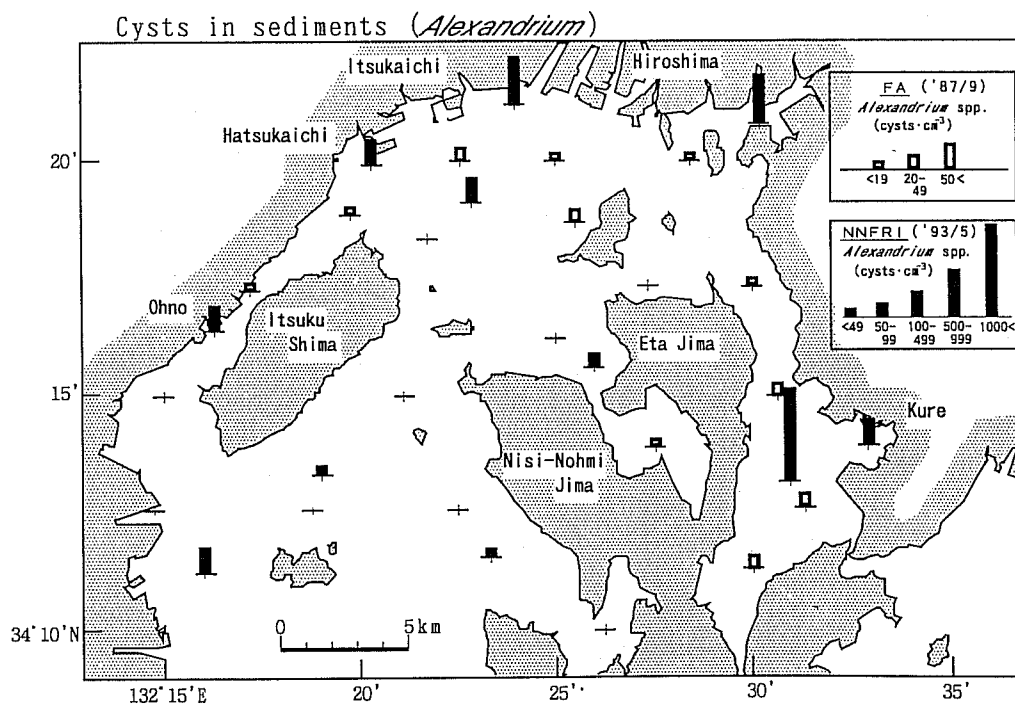
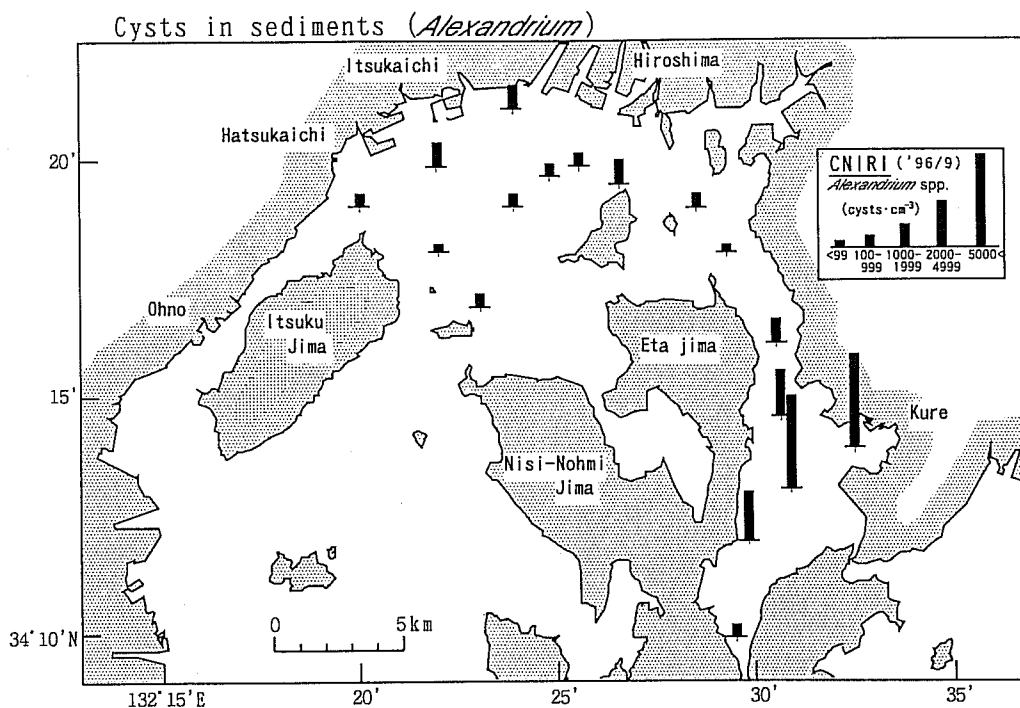
奈佐美瀬戸付近および両瀬戸より南側の広島湾中部では、1987年の時点ではシストは確認されていない。しかしながら、1993年および今回の調査では、これらの海域すべてにおいてシストが検出されており、シストの分布域が拡大していることがわかる。さらに、シストの現存量を見ると、1987年9月が平均8.6 cysts·cm<sup>-3</sup>、1993年5月が平均278 cysts·cm<sup>-3</sup>あり、今回の調査では平均1774 cysts·cm<sup>-3</sup>であった。底泥中の*Alexandrium*属シストの現存量は季節的に変化すること、あるいは、採泥方法の違いなどから直接的な比較はできないが、大雑把な目安として判断すると、6年間で約30倍、そして過去10年間で約200倍以上の増加をしていることになる。これは単に計数法の違いだけからは説明できず、明らかに*Alexandrium*属シストの密度が年々増大していることを意味している。このことは山口ほか(1995)も指摘している。

## 5. 考察

### 5.1 風による鉛直循環流

広島湾奥部の観測結果から北風が海域の水質分布に影響を及ぼしていることが認められた。そこで、ここでは沖向きの風が吹いた場合の鉛直断面内の流れの分布について調べる。

Fig. 6のように座標軸を沖向きに $x$ 、鉛直下方に $z$ にとった反無限大の海域において、岸から一定の領域 $l$ に風が吹き続いた場合を考える。また、対象としている海域では密度成層は弱く、沿岸の狭い領域であることから、単層で、コリオリの力は無視して考える。このような設定の下で流れが圧力勾配、水平混合および鉛直混合とでバランスし、海底で流速に比例する摩擦があるとした時の鉛直2次元の定常解をSAITO and TAKASUGI(1972)が求めている。それによれば、水深を $h$ 、密度を $\rho$ 、海面での風の応力を $\tau_s$ 、海底の摩擦係数を $f$ 、水平渦動粘性係数を $\nu_h$ 、鉛直渦動粘性係数を $\nu_v$ とすると、領域 $0 < x < l$ における鉛直断面内の



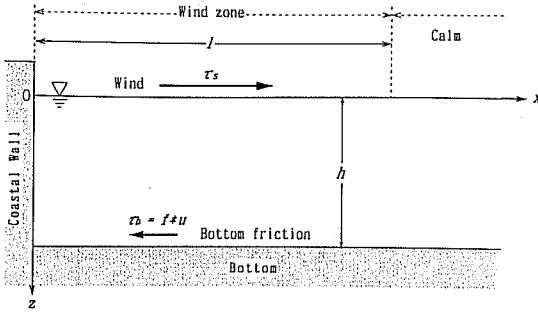


Fig. 6. Two-dimensional model for the wind-driven vertical circulation.

水平流速  $u$  は次式で与えられる.

$$u = -\left[\frac{\tau_s h}{\rho \nu_z}\right] \left\{ \sum_{n=1}^{\infty} [A_n \{ \beta_n \cot \beta_n (1 - z') \right. \\ + \beta_n \sin \beta_n (1 - z') - 1 \} \times \{ \exp(-\beta_n (\frac{l}{ph}) x') \\ + \exp(-\beta_n (\frac{l}{ph})) \sinh \beta_n (\frac{l}{ph}) x' \}] \\ - \left\{ \frac{3(K+2)}{4(K+3)} z'^2 - \frac{3(K+2)}{2(K+3)} z' \right. \\ \left. \left. + \frac{3K+4}{4(K+3)} \right\} \right\} \quad (1)$$

また、鉛直流速  $w$  は連続の式から(1)式を積分して

$$w = -\left[\frac{\tau_s h}{\rho \nu_z}\right] \left[\frac{1}{p}\right] \left\{ \sum_{n=1}^{\infty} [A_n \{ \beta_n \cos \beta_n (1 - z') \right. \\ - \cot \beta_n \sin \beta_n (1 - z') - z' \} \\ \times \{ \exp(-\beta_n (\frac{l}{ph}) x') - \exp(-\beta_n (\frac{l}{ph})) \} \\ \times \cosh \beta_n (\frac{l}{ph}) x' \} \} \quad (2)$$

で与えられる.

ここで,

$$x' = \frac{x}{l}, \quad z' = \frac{z}{h}, \quad p = \left(\frac{\nu_x}{\nu_z}\right)^{1/2}, \quad K = \frac{fh}{p\nu_z},$$

$$\tan \beta_n = \frac{K\beta_n}{K + \beta_n^2},$$

$$A_n = \frac{2\{\beta_n \tan \beta_n + K(\sec \beta_n - 1)\}}{\beta_n^3 \{\beta_n + (K+2)\tan \beta_n\}}$$

(1), (2)式に基づき、観測海域を想定して吹送範囲  $l$  を10km, 水深  $h$  を15mとした海域に、沖向きの風が吹いた場合の  $u$  および  $w$  を求めた. その鉛直断面内の流れ分布をFig. 7に示す. 表層で沖向き、底層で岸向きの鉛直循環流が生じており、その流れは風域の中央部で強く、両端部で弱い. 広島湾の観測点Aでの鉛直分布を見ると、流速は表層で大きく、海底に向かって急

## Local Wind-Driven Current

$l=10\text{km}, h=15\text{m}$

$\nu_z=10^6\text{cm}^2\text{s}^{-1}, \nu_x=10^1\text{cm}^2\text{s}^{-1}, \tau_s=2\times 10^{-1}\text{dyne cm}^{-2}, f=10^{-5}\text{dyne cm}^{-3}\text{s}^{-1}$

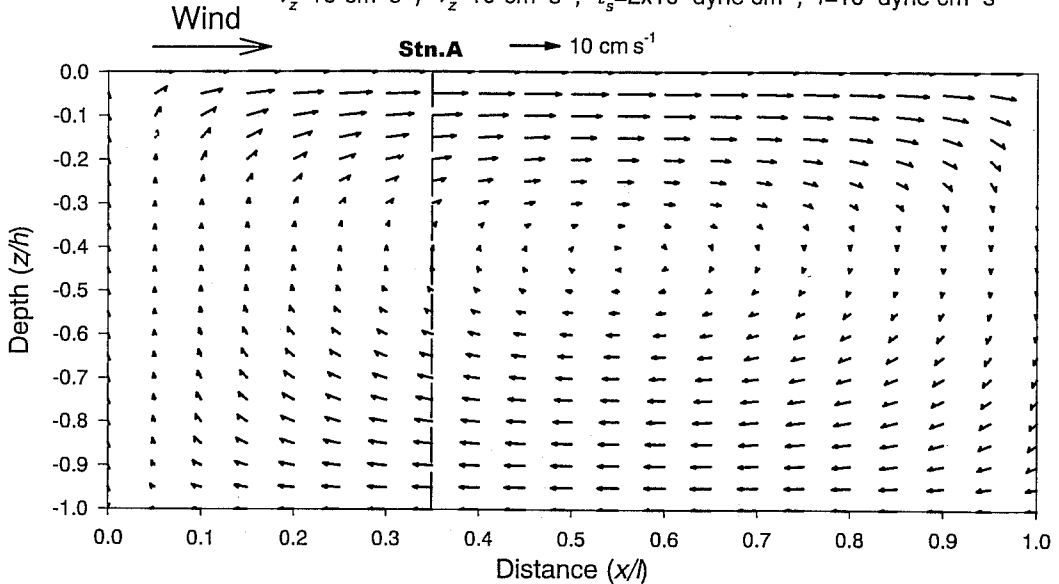


Fig. 7. Velocity distribution of the vertical section in the two-dimensional model. The magnitude of the vertical velocity is exaggerated with 500 times larger than that of the horizontal velocity.

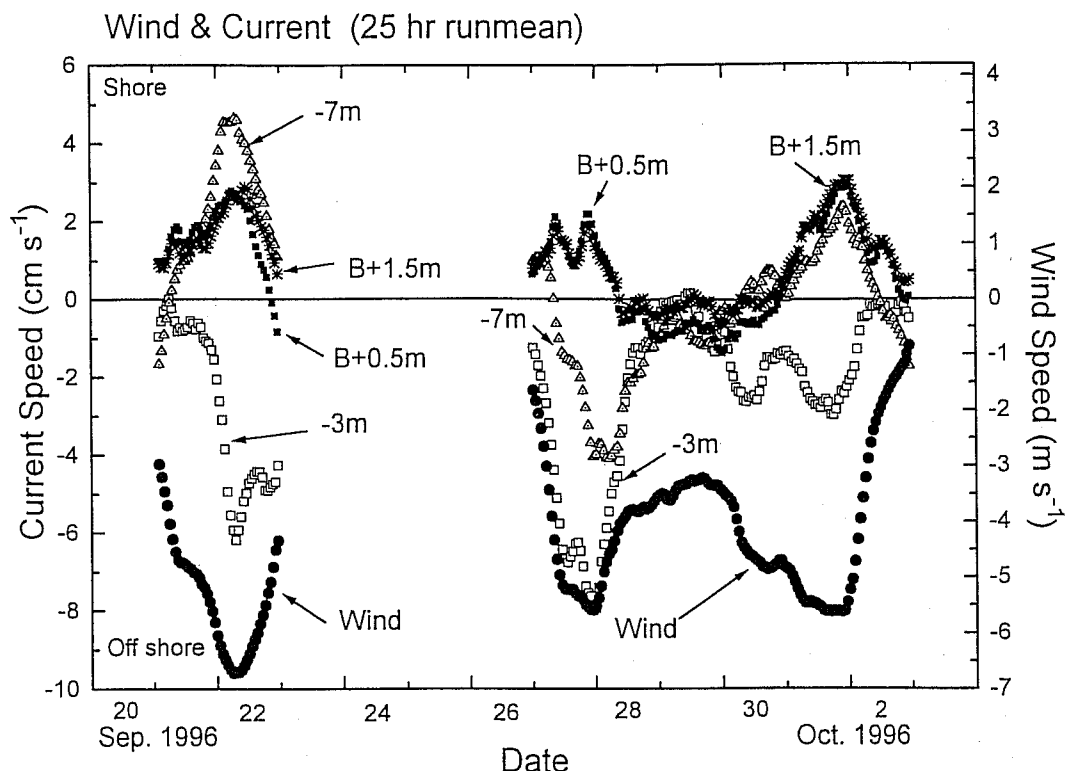


Fig. 8. Variation of the wind and of the currents at the different depth.

速に減少し、海面から0.35から0.4のところで流れの方向が逆転する。中層より下層では方向は表層とは反対の流れとなり、海底でも表層の4割程度の流速がある。

この風と流れとの関係について、もう少し詳細に広島湾の観測結果を調べて見る。Fig. 8は、9月21日～10月3日までの風が強かったときの、卓越方向（北北西）成分の風と流れの変動を示したものである。表層（3m）の流れは風とよく対応して沖合に流れており、また、海底近くの0.5mと1.5mでは、いずれも表層と

反対の岸向きに流れていることがわかる。一方、中層の海面下7mでは、表層と同じ方向の場合と逆の場合とがある。これは、この深度が流向反転の位置近くにあり（Fig. 7）、潮位の変化にともなう水深の違いなどに依存して生じたものと考えられる。

広島湾で観測された風と流れの関係について模式的にFig. 9に示す。陸岸から沖合いに向かって風が吹いたとき、上層では風と同方向の沖向き、底層では逆の岸向きの鉛直循環流が生じる。ただし、沖向きの層がどのくらいの厚さとなるのかは空間スケール、粘性、摩擦などにより異なり、中層では沖向きと岸向きの両方の場合が生じることになる。このように、ある程度の強さで、一定期間（1日）以上にわたり吹き続く北風により鉛直循環流が生じ、その影響が海底近くまで及ぶことがわかった。

本研究は夏から秋にかけての1観測の結果である。しかし、呉湾も含めて広島湾では南北方向の風が卓越し易い地形となっており（Fig. 1）、特に、冬季には北西の季節風の卓越が見られるなど、この地域では年間を通して鉛直循環流の発生頻度は高いと推察される。

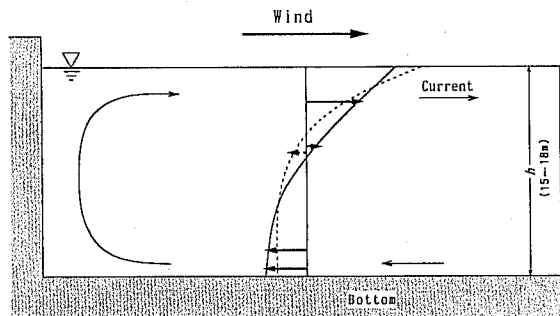


Fig. 9. Schematic view of the motion in the vertical section in Hiroshima Bay.

実際に、呉湾においても、冬季の北風により表層で南流、底層で北流する流れが観測されている（運輸省第三港湾建設局，1986）。このことから、顕著な潮汐残差流や密度流の存在が報告されていない広島湾の恒流系の中では、この風が起す流れが重要な位置を占めていると考えられる。

## 5.2 プランクトンシストの分布と流れ

*Alexandrium* 属シストは、海中に浮遊する栄養細胞が殻状の皮膜をつくって海底に沈降し、休眠している状態であるが、水温などの環境条件が整ったときに成熟したシストが発芽し、再び栄養細胞となる。これらのシストや栄養細胞は運動性をもたないか、あるいは、もっていてもわずかであるため、他の微粒子の輸送・堆積過程と同様に流れの影響を受ける。広島湾では風による鉛直循環流が発生するが、一方で、沿岸域の流れがそうであるように、流れ場としては基本的には半日周期の潮流が卓越しており、これら二つの流れが相互に作用してシストの分布を形成すると考えられる。

底質分布が潮流の強さと深く関わっていることは一般によく知られている。広島湾における水平的なシストの分布密度は底質環境よりも、寧ろ、潮流の強さに関係していると思われる。Fig. 10は、広島湾奥部に

おける半日周期 ( $M_2$ ) の潮流楕円の分布である。湾奥部全体としては振幅  $10\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$  程度であるが、広島市沿岸域や呉湾では  $5\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$  以下の振幅であり、潮流が極度に微弱であることを示している。*Alexandrium* 属シストの高密度域はこの  $M_2$  振幅が  $5\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$  以下の領域とよく対応していることがわかる。これは、流れの弱いところほどものが溜まりやすいということに関係したものであり、停滞性のある水域や異水塊との収束域などに高密度域が形成されると言われている (WHITE and LEWIS, 1982; TURGEON *et al.*, 1990) ことも符合している。これらの結果は、シストの局所的な高密度の分布が潮流に強く依存することを示している。なお、高密度のシスト分布をもつ潮流微弱水域のなかでも、特に、呉湾のシスト密度は高くなっていたが、これは、呉湾が周辺域に比べて水深が深く、非常に閉じた地形であることから、一度湾内に入り込んだ物質は容易に他水域へ出ることができず、この場所の海底に蓄積されるためであり、呉湾は *Alexandrium* 属シストの集積場となっていると考えることができる。

一方、底泥中のシスト密度が増大し、分布域が拡大するにはシストの供給が必要であるが、これはシストの発芽とその後の栄養細胞の増殖によってなされる。したがって、栄養細胞の多い場所においてシスト密度

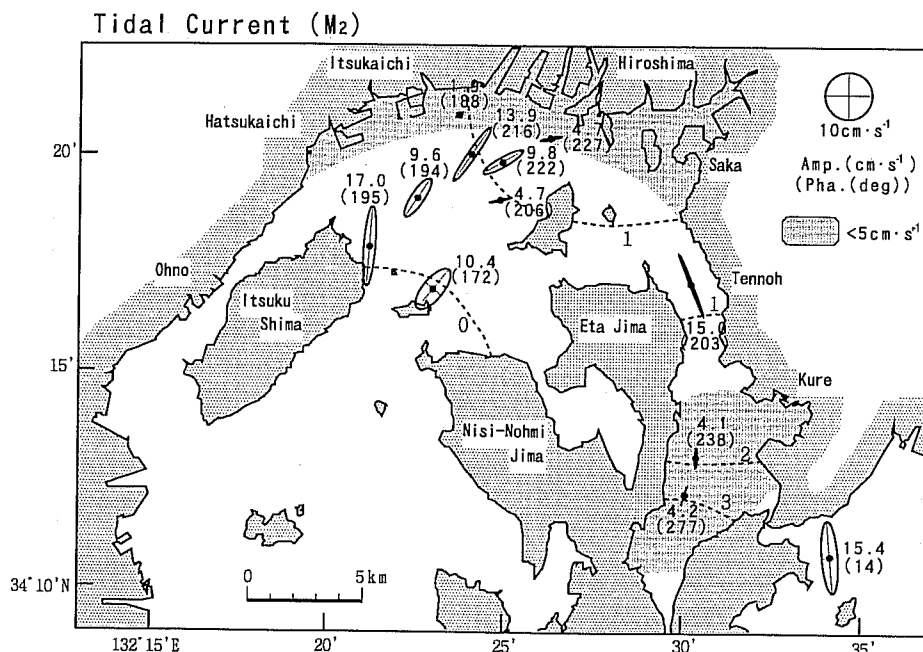


Fig. 10. Amplitude and phase distribution of the  $M_2$  tidal current in Hiroshima Bay. The shaded area and dashed line denote the area less than amplitude of  $5\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$  and the cotidal line, respectively.

も高くなることが予想されるが、広島湾におけるシストの高密度域と栄養細胞の分布は極めてよく一致している(山口ほか, 1995). このことからシストの高密度域が供給源となり、シストや栄養細胞が他水域へ輸送されることによってシストの増大と分布域の拡大が生じたものと考えられる. しかしながら、潮流は往復流であり、海中の物質はほとんど元の位置へ戻るため、他水域への輸送を果たすことはできない. これを果たしているのが風による鉛直循環と考えられる. この循環流は表層と底層で流れの向きが逆であり、栄養細胞やシストをより広く、風域の両端に向けて輸送・拡散させることになる. 広島湾全域を対象とした山口ほか(1995)の*Alexandrium*属シストの調査では、分布密度が湾奥部と屋代島の北側の湾最南部で高く、中央部は低いという結果が得られている. これは、南北方向に卓越する風による鉛直循環流が風域の両端(湾奥部と最南部)で強く、中央部では強いということと符合しており、栄養細胞やシストがこの鉛直循環流に輸送・拡散された結果、このような分布となったものと考えることができる.

なお、シストの増大に関してはその発芽が重要となるが、*Alexandrium tamarense*が成熟したシストに成長するのに必要な期間は約5ヶ月と言われている(ANDERSON *et al.*, 1987). 一方、呉湾における堆積速度が $11\text{mm}\cdot\text{year}^{-1}$ 程度である(星加・塩沢, 1982)ことを考えると、形成された一次シストが成熟するころには底泥中に埋没している可能性が高い. 底泥中にあるシストは決して発芽することはない(石丸・福代, 1996). したがって、シストが発芽するためには底泥の表面上あるいは海中に存在していることが重要となり、それには何らかの底泥攪乱などによって底泥中のシストが海中へ再懸濁される必要があると考えられる.

以上のことから、台風や冬季の強い季節風などにより海底が攪乱され、底泥のシストが海水中に再懸濁した場合、シストや発芽後の栄養細胞は、風が引き起こす鉛直循環流によりその一部は底層を風向きとは逆方向に、表層にあるものは風と同方向に、他の水域へと輸送・拡散される. そして、輸送あるいは栄養細胞から形成されたシストは潮流(流れ)の微弱な領域で再び沈降、堆積することになる. このような過程のもとでシストの増大および分布域の拡大が生じたものと考えられる.

## 6. 摘要

広島湾において麻痺性貝毒発生の原因種である有毒プランクトンシストの底泥中の分布とその形成機構・過程を明らかにするため、約1ヶ月間の流動・水質観測および底泥中の*Alexandrium*属シストの調査を行った. その結果、広島湾における底泥中の*Alexandrium*属シストの密度は広島市の沿岸域および呉湾で極めて高く、その高密度域は $5\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$ 以下の潮流振幅域とよく一致すること、さらに、湾内には南北方向に卓越する風により鉛直循環流が生じており、この循環流が広島湾で麻痺性貝毒を引き起こす有毒プランクトンシストの増大と分布域の拡大に果たす役割の重要性を明らかにした. しかしながら、本稿は、あくまで海域の流動による物質の輸送という物理的側面から見たものであり、しかも定性的な議論の域を出ていない. 広島湾では*Alexandrium tamarense*のシストは晩春に形成されることからシスト分布の決定にはこの時期の気象や海況が重要な要因となることが予想されるが、今回は秋口の観測に基づいたものであり、この点に関しての議論には至らなかった. また、底泥中のシストの再懸濁過程についても明らかではない. 再懸濁を引き起こす要因としては、人為的要素を除けば、夏季、秋季の台風や冬季の季節風などの強い風による海底の攪乱が挙げられるが、その実態についての情報はほとんどない. 今後は、シスト高密度域の形成要因を明らかにするためにシスト形成時期の観測と、イベント時の観測などを併せて再懸濁過程を明らかにし、また、シスト分布形成の定量的な評価手法の確立を進める必要がある.

最後に、この研究をはじめのきっかけを与えて下さるとともに、有益な助言をいただいた広島県水産試験場の大内 晟次長および高山晴義資源環境部長に心よりお礼申し上げる.

## 引用文献

- ANDERSON, D. M., C. D. TAYLOR and E. V. ARMBRUST (1987) The effects of darkness and anaerobiosis on dinoflagellate cyst germination. *Limnol. Oceanogr.*, **32**, 340-351.
- 福代康夫・松岡数充(1987) 赤潮生物の研究手法, 赤潮生物研究指針, 日本水産資源保護協会(編), 85-101.
- 広島県水産試験場(1995) 平成4年度広島県水産試験場事業報告. 99pp.
- 星加 章・塩沢孝之(1982) 堆積物からみた呉湾の汚染の歴

- 史. 中国工業技術試験所報告, 18, 9-18.
- 石丸 隆・福代康夫(1996) 生活史と増殖. 海洋植物プランクトン—その生理・生態—, 月刊海洋, 号外10, 96-102.
- SAITO, Y. and Y. TAKASUGI(1972) On the vertical circulation of wind-driven current in the coastal region. J. Tokyo Univ. Fisheries, 58, 27-40.
- 左子芳彦・金 昌勲・石田祐三郎(1992) 麻痺性貝毒の起源—海産渦鞭毛藻*Alexandrium*属—. 化学と生物, 30, 720-734.
- 佐藤 繁・坂本節子・諸方武比古・植田至範・児玉正昭(1994) 貝類毒化モニタリングの現状と問題点. 沿岸海洋研究ノート, 32, 69-79.
- 水産庁(1988) 昭和62年度内湾海域シスト調査報告書. 日本水産資源保護協会, 53-61.
- TURGEON, J., A. D. CEMBELLA, J. C. THERRIault and P. BELAND(1990) Spatial distribution of resting cysts of *Alexandrium* spp. in sediments of the lower St. Lawrence estuary and the Gaspé coast (eastern Canada). In. "Toxic Marine Phytoplankton", eds. GRANELI, B. SUNDSTROM, L. EDLER and D.M. ANDERSON, Elsevier, New York, 238-243.
- 運輸省第三港湾建設局広島港工事事務所(1986) 呉港流況及び浮泥流動調査報告書. 運輸省第三港湾建設局, 35pp.
- 山口峰生・板倉 茂・今井一郎(1995) 広島湾海底泥における有毒鞭毛藻 *Alexandrium tamarense* および *Alexandrium catenella* シストの現存量と水平鉛直分布. 日水誌, 61, 700-706.
- YASUDA, H., Y. TAKASUGI and T. HIGO (1997) Generation of high turbidity layers in the Seto Inland Sea. J. Coastal Res., SI(25), 31-40.
- WHITE, A. W. and C. M. LEWIS(1982) Resting cysts of the toxic, red tide dinoflagellate *Gonyaulax excavata* in Bay of Fundy sediments. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 39, 1185-1194.