フェリー利用による海洋環境モニタリングおよび関連研究
－経緯と結果の総合的とりまとめ－

原島省*・功刀正行*

*国立環境研究所

要旨：

人間活動の影響による海洋環境の変動を、その空間分布を把握しながら高頻度かつ長期的な時系列に基づいて検知するために、定期フェリー船舶の連続取水系を利用して 1991 年よりモニタリングを継続した。また、これを軸として同フェリーを利用して海洋環境変動の研究を行った。中心的な目標は以下の３点である。

i)定期航路船舶利用により特化される海洋観測技術の開発および運用手法の確立、

ii)人間起源および自然起源の生物地球化学的海洋変動の把握・抽出・評価、

iii)人為起源の有害化学物質の検知。

対象とした海域は、人間活動増大の影響が最も顕在化しやすいと考えられる、アジア地域への展開を視野にいれた、沿岸海域～縁辺海域である。この間、日韓航路（神戸～釜山、1991～1993）、瀬戸内海航路（大阪～別府、1994～2000）、沖縄航路（大阪～那覇、1994～1998）の３航路、計４隻のフェリーに協力をいただいた。さらに、日本～マレーシア間の長距離コンテナ船の協力によりアジア縁辺海域帯への展開をはかりつつある。

本報告書には本報文を含めて 15 の報文を掲載したが、以下では本報告を報文 1 とした報文 15 までの略号で引用する。目標の i)に関する研究内容は概ね報文 2～報文 6、ii)は報文 7～報文 11、iii)は報文 12～報文 13 で記述されている。得られた成果は以下のようにまとめられる。

1)定期航路船舶利用により特化される手法の創出

フェリーを観測プラットフォームとして利用することにより、数百 km 範囲空間的分布を把握しながら、数日程度の時間スパンを持つ植物プランクトンのブルーム（大増殖）から、季節変動、10 年程度の時間スケールを持つ中長期変動までの時間スペクトルをカバーすることができる。特に連続無人計測を行うことが有効であるが、このためのシステム設計と継続的なメンテナンスには従来の海洋手法とは異なる技術の蓄積を必要とした（報文 2)。取水される計測用海水の深度代表性については、縮尺船体模型実験により、取水孔が船底にあっても海洋表層の海水がとりこまれていることが確認された（報文 3)。計測範囲は航路線上に限られるが、その雲の存在下でも無欠測という特性と、面をカバーする衛星観測と相互補完することが有効である（報文 4)。また、双方向の衛星通信により、船上の計測データをオンライン取得したり、逆にコマンドを送信する等「リモートアクセスステーション」としての利用が可能になる（報文 5)。また、フロースルー型であれば任意の海水センシングあるいはサンプリングが可能であることを生かし、高速応答性の海水溶存 pCO_2 計測手法（報文 6）や低濃度の溶存化学物質の検出手法（報文 12）が開発された。

2)生物地球化学量の変動の把握・抽出・評価

時系列計測の結果、３種の栄養塩、すなわち溶存態窒素（DIN)、同リン（DIP)、同ケイ素

（DSi）の季節サイクルパターンが明らかになった。基調としては、春季ブルーム時に、植物プランクトンの吸収によって減少し、夏季にはほぼ枯渇し、秋以降に回復するが、各栄養塩の存在比、特に夏季にどれが枯渇してどれが残留するかにより、A（通常の成層海域）、B（備讃瀬戸などの鉛直混合海域）、C（大阪湾など人為影響の強い河川の流入域）、D（人為影響の弱い河川の流入域）の４つの類型があることがわかった。このうち、C 類型では、DIN に対して DSi の相対比が小さく「シリカ欠損」の傾向がみられた。これは「(N,P)/Si 仮説」、すなわち、「人為影響により N と P の海域負荷が増大するのに対し、自然の風化によるシリカの溶出・供給が減少するため、海洋生態系の基盤が Si を必要とするケイ藻類から必要としない非ケイ藻類にシフトする」ことが発現していると考えられ、新規の地球環境問題として重要である。

このような環境変動を、出現植物プランクトンの面から評価するため、その分類群別の炭素換算バイオマス量（報文 8)、および、生物粒子カウンターによるサイズ別の粒子数（報文 9）の計測を行った。夏季には、瀬戸内海の通常海域（A 類型）では植物プランクトンバイオマス量が小さくなりピコシアノバクテリアが中心になるのに対し、備讃瀬戸（B 類型）では、下層から DSi を含む栄養塩の補給があるためケイ藻類が出現する。また、大阪湾（C 類型）では、ケイ藻の他に渦鞭毛藻類、微小鞭毛藻類などが出現し、ケイ素の相対比の小さいことが藻類の出現に影響をおよぼしていることが推定される。

また、DMS に代表される硫黄化合物の計測により、これらの物質が海域の植物プランクトンの活性と関係を持つことが確認された（報文 10)。

さらに、台風の通過の前後に大阪～沖縄航路への乗船調査を行い、台風通過後の数日間に、風応力→鉛直混合→上層への栄養塩供給→ケイ藻の増殖→溶存気体成分の変化が起こることがわかった（報文 11)。また、初夏の大阪湾において１ヶ月間連続して植物プランクトンのサンプリングを行い、分類群ごとの炭素バイオマスに換算したところ、個々のブルームの時間スケールが数日～半月であること、Si を含む栄養塩が存在すればケイ藻類が他の微細藻類よりも速く、また指数関数的に増殖することが確認できた（報文 15)。栄養塩などの環境要素もブルームによって大きく変化することを考慮すると、海洋環境の変動は、このように短い時間スパンの変動が集積して季節変動サイクルを形成しているともいえる。

3)有害化学物質の検出

現場濃縮サンプリングによる低濃度溶存化学物質の分析手法により、我国では使用中止になっている農薬種や船底塗料などの難分解性汚染物質（POPs）を検出した。さらにそれらの時空間変動が顕著なことがわかり、大気経由の長距離輸送や底泥巻き上げなどの過程が影響を与えていることが推定される。

最近、外洋から下層を通じての擾乱伝播により瀬戸内海内部に栄養塩供給があること、これが瀬戸内海の良好な基礎生産を支えてきたという考えが提出されている。一方で、近年の地球規模の海洋のレジームシフトで、このような外洋からの良好な擾乱伝播が減りつつあることも認識されている。愛媛大学沿岸海洋環境科学研究センター（CMES）では、このような観点から瀬戸内海の西の入り口に固定点のモニタリングステーションを構築した。フェリーによる瀬戸内海内部との結合により、地球規模の海洋レジームシフトを沿岸海域の変動の面から監視することが可能になるだろうと考えられる（報文 15)。

さらに、大阪湾の数理生態系モデルを土台にした短期変動予測モデルの可能性を検討した。フェリーからオンライン転送される常時監視データと、このような短期予測モデルを組み合わせれば、有効な環境管理手法が構築されるだろうと考えられる（報文 15)。

また、対外情勢においては、 SCOPE がシリカ欠損問題をとりあげ、1999 年にスウェーデン、2000 年にベトナムで順次、シリカの循環の変質に関するワークショップを開催し、アジア海域の海洋環境施策の軸にすることを推進しはじめた。また、EU 各国が 2000 年を目処に"European Ferry Box Program"として、各国沿岸領域のフェリーによるモニタリング体制を立案中である。我々の進めてきたモニタリング事業に関してのキーワード、すなわち「フェリー利用」、「東アジア」、「シリカ欠損」等は、このように地球規模の枠組みからも普遍性をもっていたと総括される。

1．序

近年、海洋環境に対する人間活動の影響、すなわち有害物質の負荷や物質循環の人為撹乱などの海洋に対する影響を検知・監視（モニター）することが重要な課題となっている。このような人間活動から生ずる問題は世界共通であり、また、全海洋が連結していることから、海洋汚染問題は温暖化や酸性雨、オゾン層減少などと並ぶ地球環境問題として認識されている。このような影響は、まず陸と海の間の帯域である縁辺海域帯あるいは沿岸海域帯で顕在化すると考えられる。したがって、海洋環境のモニタリングもまずこの帯域に重点をおくのが得策である。

1991 年に刊行された"Ocean Margin Process in Global Change (Mantoula *et al.*, 1991[1])"や, "Global Coastal Ocean (1), (2)（Brink and Robinson, 1998[2], Robinson and Brink, 1998[3]）"という書名は、このことを端的に表している。またこの他にも、IGBP-LOICZ（International Geosphere-Biosphere Program - Land-Ocean Interaction in the Costal Zone）が発足しており、沿岸海域といっても決して地域の問題でなく、全地球における陸域と海域の普遍的な問題として認識されはじめている。

環境モニタリングは、個々の研究以上に事業としての性格を持っている。そのため、その必要経費、人的資源、実効性を勘案しつつ実行され、結果については基本的に公開されて環境管理施策に反映されるべき性格をもつ。また、それだけの代価を払うからには、モニタリングが対象とする海域の価値、あるいはその海域が果たしている役割の価値を評価すべきである。

このような評価に資するものとして、最近、様々な生態系がはたしている役割を具体的に価値勘定の形で提示する試みがなされている。Costanza *et al.*(1997) [4]は、「生態系のサービスと自然資本の価値」という題名の論文で、各生態系がはたしている仕事を 1 ヘクタールあたり年間何ドルにあたるかを提示した。それによれば、陸域平均のサービスが 804 ドル/ha/年、全海域平均のそれが 577 ドル/ha/年と勘定されており、海域の中でも沿岸海域は 4,025 ドル/ha/年と非常に高い値がつけられているのが特記される。さらにその内訳では、河口域 22,832、海草／海藻帯 19,004、サンゴ礁 6,075、大陸棚 1,610（単位はすべてドル/ha/年）となっている。このような価値勘定によって、モニタリング事業に支払う代価に、生態系サービスを維持するための必要経費としての意味が与えられるだろう。

このように、海洋環境モニタリングも物理・化学量のみならず、生態系の変動の検知を視野に入れることが必要になっている。これを反映して、"Autonomous Bio-Optical Ocean Observing Systems" [5]が開かれ、また、"Ecological Time Series" (Powell and Steele, 1995[6]), "Evaluating and Monitoring the Health of Large-Scale Ecosystems" (Rapport *et al.*, 1995[7]) , Monitoring Algal Blooms: New Techniques for Detecting Large-Scale Environmental Change" (Kahru and Brown, 1997[8]), "Large Marine Ecosystems of the Pacific Rim" (Sherman and Tang, 1999[9])などの生態系モニタリングに関す

る成書が出版されている。

モニタリングの２つの要素として、ハワイマウナロアの CO_2 計測にみられるような、「長期時系列・トレンド把握」と、NASA の Nimbus7 衛星データのオゾンホールの検知にみられるような「広域マッピング型」がある。基本的には、この２つを念頭におき、海域における計測対象あるいは過程、計測プラットフォーム、計測手法を定めることになる。ただし、海洋では、大気に比べてはるかに克服すべき問題点が多く、計測プラットフォームの選択やその運用方法によって、成果が大きくことなってくる。

海洋、特に沿岸海域での環境問題は多様であるが、プライオリティの高い過程として、(1)親生物元素の循環への人為介入とその結果起こる生態系の変質、(2)人為起源の有害化学物質の流入、(3)沿岸海域は CO_2 のシンクかソースかの判定、(4)一般の海洋構造やその動態などの解明のための時空間変動把握、があげられる。

(1)の具体的な例は、人為影響で窒素やリンなどの流入が増加し、富栄養化や赤潮現象が起こることである。しかし、赤潮としての発現に至らなくても、栄養塩・有機汚濁物質や生態系構成要素などが変質しつつあることなど、一見潜在的に見える現象を検知することも重要である。また、窒素、リンの増加だけでなく、ダム建設などの人間活動で自然風化によるシリカの補給が減少してしまい、このため海洋生態系の基礎が、ケイ藻類から非ケイ藻類へとシフトする可能性も指摘されている（Radach *et al.*, 1990[10], Smetacek *et al.*, 1991[11]）。

２．なぜフェリーか？

前項で述べたような変質は、単純な右肩上がりの曲線として発現するのではなく、気象要素、河川流入の変化や藻類のブルーム（大増殖）など短期の現象に重ね合わされて起こる。あるいは短期の現象の起こり方が長期的に変わる、という形で現れているかもしれない。さらに、生態系の変動はモデル化によって量的に理解されるが、モデルの検証のためにもスナップショット的な空間分布だけでなく時系列的データが必要になる。

一方、水塊の並列、海洋前線、ラングミュア循環と呼ばれる並列渦構造、パッチネスなどの空間構造も考慮する必要がある。特に、海洋前線の存在を見ると、海洋が基本的には混合しにくく、空間的に不均質（heterogeneous）な系であることがわかる。このことは大気が混合しやすい系であり、このためマウナロア１点でのモニタリングが同じ緯度帯の大気特性を代表できるのと対照的である。

このような条件を勘案すると、モニタリングプラットフォームとしては、時空間変動を同時に把握認識できるような時間分解能、継続年数、空間分解能、広域性が必要条件になる。

時空間変動の概念図として Fig.1 をあげた。x 軸は変動の時間周期を表し、y 軸は空間規模を表す。原図（Haury *et al.*, 1978[12]; Dickson, 1995[13]）は動物プランクトン量の時空間変動スペクトルを模式的に示したものであるが、植物プランクトン量も類似したスペクトルを示すとみてよいだろう。この図では、日周変化、ブルーム、湧昇現象などによるスペクトルのピークあるいはモードが示されている。目的とするモードが、モニタリングの計測間隔から継続期間、空間分解能から空間的拡がりで定義される矩形に収まることが必要条件になる。

一方、(2)は、難分解性有機汚染物質（POPs: Persistent Organic Pollutants）と総称され、内分泌撹乱物質あるいは「環境ホルモン」として特に関心を集めるようになっている。このような物質については、短期変動が無視できるような印象があるが、報文 12 のように、大気による越境移動や海水の間欠的な動きなども関わってくるので、やはり時空間変動を把握する必要が

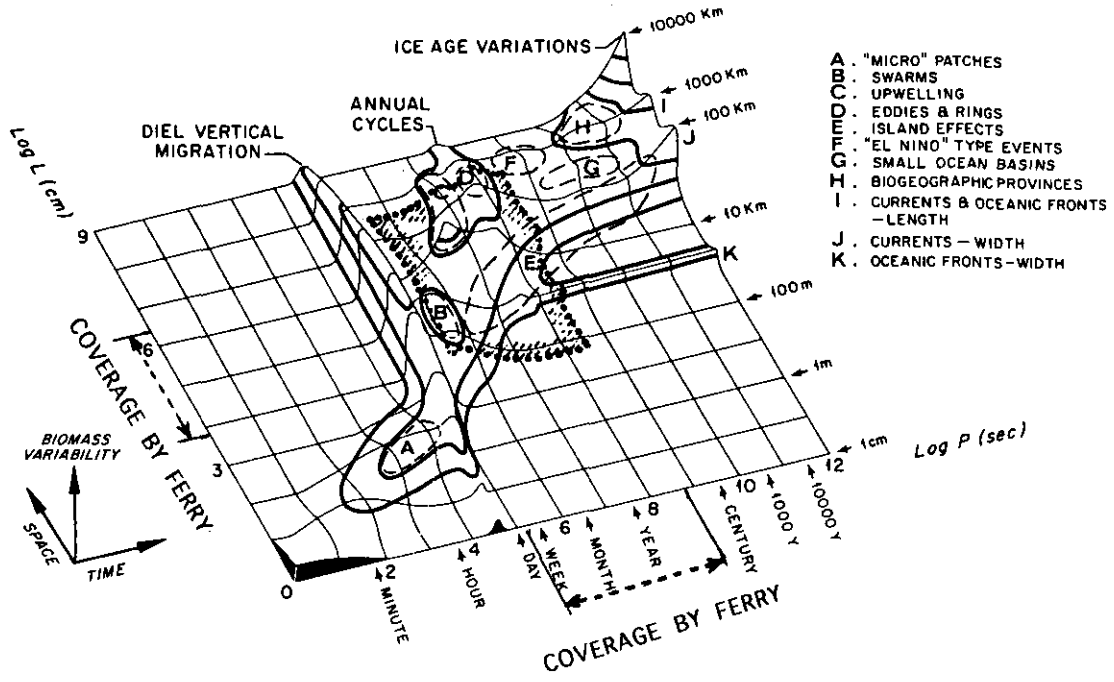


Fig.1 Schematic diagram of the temporal/spatial spectrum of the variation of plankton biomass (modified from the original figure in Haury *et al.* (1978)[12] and Dickson (1995)[13]. The shaded part represents the time/space span covered by the monitoring using ferry.

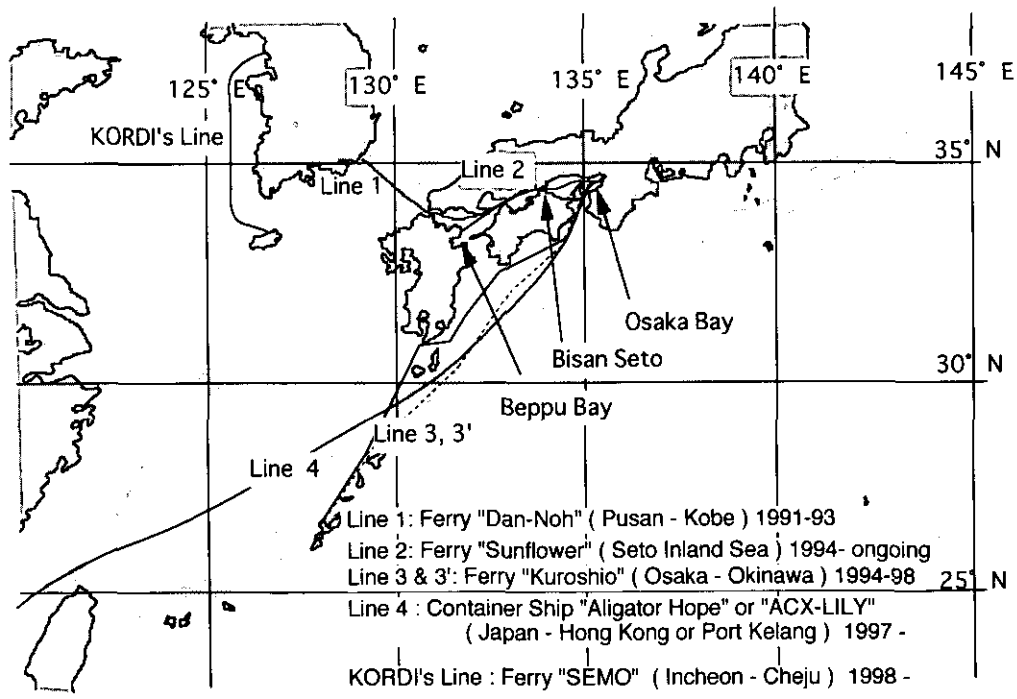


Fig.2 Map of the track of the ferry used for marine environmental monitoring.

ある。 (3)については、海水の二酸化炭素分圧（pCO_2）が水温、塩分に依存し、また炭素（C）、窒素（N）、リン（P）の挙動がレッドフィールド比を通じて相互関連をもっているため、(1)や(4)とも関連する。したがって、(2)や(3)についても、時空間変動を考慮し、しかも、複数項目を同期させて計測することが好ましい。

以上のことから、観測プラットフォームに対する要件は以下のように整理されるだろう。

(a)現象の時間スケールにあわせた計測の反復性あるいは頻度，(b)計測の長期継続性および広域性，(c)生物化学量が、直接的にかつ同期的に計測できること，(d)計測システムのメンテナンス、補修、拡張のためのアクセス、電力供給など実現しやすいこと，(e)プラットフォームの維持のためのコストが低く済むこと。

観測のプラットフォームとして、研究調査船、固定点連続計測、衛星があげられるが、近年民間船会社の協力によるボランティア観測船（VOS: Voluntary Observing Ship あるいは SOOP: Ship Of Opportunity）の利用が注目されている（日本海難防止協会, 1994[14]，日本深海技術協会, 1995[15]）。研究調査船は詳細な観測や現場実験に適しているが、(b)や(e)に適合しない。また、固定点連続計測は、時間分解能の高い時系列に有効であるが、空間構造を考慮したデータ評価には適していない。衛星は、空間的なマッピングに最適であり、近年の海水色センサーからは生物過程の推定も可能になっている（Barale and Schlittenhardt, 1993[16]）。また、画像の時系列を作成することも可能である（Fukushima *et al.*, 1997[17]）。ただし、雲にも影響を受けるので、晴天時のみの時系列をとっていることになる。さらに、赤外放射による水温計測を例にとれば、データに反映されるのが海洋表面の薄いスキンレイヤーの温度のみで、実質的な海洋の上層の水温とは異なるため、やはり実測データは必要である。さらに、衛星の稼働不良に見られるようなリスクも考慮にいれなければならない。

これに対し、VOS は先述の「トレンド把握」と「マッピング」の要素を兼ね備える。また (a), (b), (c), (d), (e)などの要件を基本的に満足する。VOS の中でも特にフェリーは頻度が高く、航路・運航時間も安定しているため、モニタリングの主旨に合致する（原島, 1998[18]）。中・長距離のフェリーによって毎日１航海で数年間継続した場合、把握できる時空間スパンは Fig.1 の影をつけた領域で示される。さらに短距離のフェリーでは、毎日数回の頻度を達成することも可能である。

フェリーの利用は、吉岡（1988）[19]などによる海洋前線の記述において実績を示してきた。さらに、水温・塩分のみならずフロースルー型の計測やサンプリングができさえすれば、栄養塩や海水溶存の CO_2 分圧など任意の計測に使うことができる。また、元来が客船なので、通常の無人計測の他に、例えば春季ブルームなどのように、特定の現象を対象として乗船調査を実行することもできる。

VOS による計測対象が比較的上層に限定されるという問題はあるが、これは衛星計測にも共通することである。人為影響が顕在化しやすいのは上層であるため、環境評価の対象としては上層を選択することが有効であろうと考えられる。成層期の海洋の栄養塩については、一般的につぎのようなことがいえる。植物プランクトンの光合成にとって上層は光が十分にあるが栄養塩が制限要因であり、下層はこの逆で栄養塩は十分あることが多い。したがって、人為影響によって栄養塩のバランスがくずれることは、本来的に栄養塩の少ない上層で検知されやすい。この意味で、VOS にしても衛星にしても上層に限って反復計測を行うことは理にかなっている。また、下層も含めた３次元的な計測のためには、様々なプラットフォームから得られるデータを統合して的確な知見を生み出すことが解決となるだろう。

以下の各項では、フェリーによるモニタリングについて、国立環境研究所（NIES）による実行例、韓国海洋研究所（KORDI）による実行例、諸外国の実行例、フェリー利用による特記的な成果を紹介するとともに、今後の発展の可能性や問題点について述べる。

3．国立環境研究所によるフェリーモニタリング

3-1 航路選択

前述のような目的を考慮し、1991 年より、以下のような定期航路船舶の協力により海洋モニタリングを継続してきた。航路の選択基準として、沿岸海域～縁辺海域～外洋域の分布勾配を横切りながら高頻度・長期のモニタリングを行うことを念頭においた。この間、航路、協力船舶名、会社名、継続期間は以下のような経緯をたどっている（Fig.2, Fig.3）。

(A) 釜山～神戸航路（週 2 往復），「檀皇」，大阪国際フェリー株式会社, 1991-1993,
（Line-1, 以降は日韓フェリーと略称する），

(B) 別府～大阪航路（2 夜で 1 往復），「さんふらわあ 2」，関西汽船株式会社, 1994-1997,
(Line-2, 以降は瀬戸内海フェリーと略称する),

(B)'同上，「さんふらわああいぼり」，同上、1998-現在, (Line-2'),

(C) 那覇～大阪航路（週 1 往復)、「フェリーくろしお」、同上、1994-1998、
（Line-3, 以降は沖縄フェリーと略称する），

また、東シナ海、南シナ海、マラッカ海峡などのような大陸側近海・近傍に重点を通過する長距離航路として、以下の 2 隻のコンテナ船の協力を得た。

(D) 日本～香港～シンガポール～ポートケラン（5 週 1 往復），コンテナ船「アリゲータホープ」，大阪商船三井株式会社, 1997 年 1 回, (Line-4),
同上短縮航路（日本～香港）, 1998-1999 年 8 回,

(D)'日本～香港～シンガポール～ジャカルタ～ポートケラン、コンテナ船「ACX-LILY」、
東京船舶株式会社, 2000-, (Line-4').

3-2 方法

モニタリングの機器設定や実行方法は、 (A) から(D)'の各船舶の条件により、また年次とともに改良を加えられて順次変化してきたが（Fig.3 の写真参照)、最終形として 2000 年初頭に(B)'に設置されているシステムのフロー図を Fig.4 に示す。基本的に、センサー計測のみであれば配管を閉鎖系にすることができるが、計測・サンプリング項目を広げるため、Fig.4 のように開水面を含む解放系とした。海水は、船底部のシーチェストから取水ポンプで、センサー槽、自動ろ過サンプリング装置、およびマニュアルサンプリング用の流しに送られる。排水は一度排水タンクにため、タンク内の水位センサーにより排水ポンプを断続的に作動させて船側の排水管に送る。なお、生物付着防止用の塩素注入（MGPS）の計測への影響を避けるため、(B)' および(C)では塩素フリーのラインを使い、(B)および(D)'では、サンプリング時に船員に MGPS の停止を依頼した。また、(C)、(D)、(D)'では、自動ろ過サンプリング装置を含まない簡略化した構成になっている。

センサー計測では、毎晩、片道の航路で 10 秒に 1 回（空間的には約 100m 間隔相当)、水温、塩分、pH、DO（以上はハイドロラボ社製 H20 水質計）およびクロロフィル蛍光（ターナー蛍光光度計)、の信号を GPS 信号ともにデータロガーにとりこむ。1 週間に一度、大阪南港において、センサーの校正とデータの回収を行う。ほぼ 2 週間に 1 度、自動ろ過サンプリング装置により、30 分に一回（約 18km 間隔)、ろ紙とろ液サンプルを作成し、冷蔵保存して回収する。



Fig.3(a) Dan-Noh (1991-1993).



Fig.3(b) Monitoring system on (a).



Fig.3(c) Sunflower-2 (1994-1997).

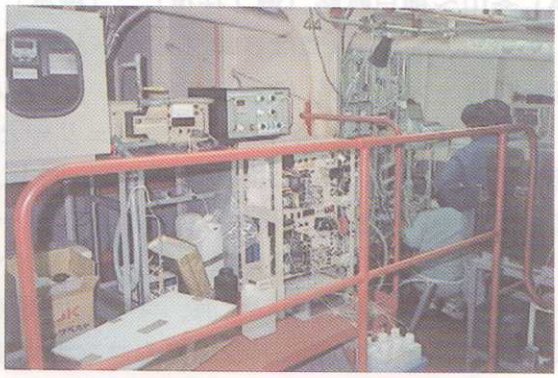


Fig.3(d) Monitoring system on (c).



Fig.3(e) Ferry-Kuroshio (1994-1998).

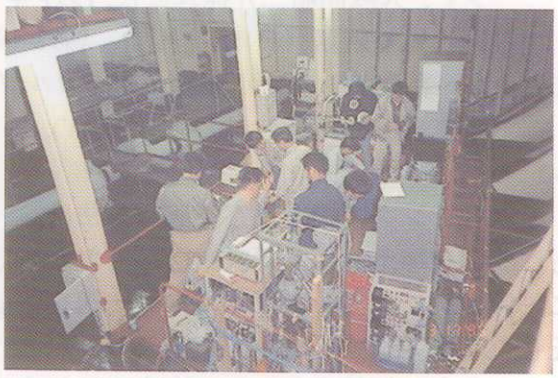


Fig.3(f) Monitoring system on (e).



Fig.3(g) Sunflower-Ivory (1998-).



Fig.3(h) Container Ship, ACX-LILY (2000-).

ろ紙は植物プランクトン色素の分析に、ろ過海水はオートアナライザーによる硝酸態、亜硝酸態、アンモニア態の各窒素、リン酸態リン、溶存ケイ素の分析に使用する。

これらの分析方法、システムの設計、およびその管理手法については、報告書（原島, 1993[20]）に示した。また、モニタリングの継続とともに、運用上のノウハウが試行錯誤的に蓄積され、それらは他機関で同様のモニタリングを行う時に役に立つと思われるので、報文3に詳述した。

以上の通常計測項目の他に、特殊項目あるいは新規の計測手法の開発試験として、i)植物プランクトン分類群別炭素量換算バイオマス量の計測、ii)生物粒子サイズスペクトルの計測、iii)有害化学物質の計測、iv)海水溶存 pCO_2 などを計測した。これらについては、次項で述べる。

通常モニタリング項目の数値データは、2年ごとにまとめてCDROMに格納し、国立環境研究所の地球環境研究センター（NIES-CGER）から刊行されるデータベース[21),22),23)]として内外に公開されている。この中には、観測のインベントリー（航海番号、航海日時、ファイル名、計測項目、付帯情報）が航海ごとに記述されている。ここでは、簡単に、各航路ごとの通常計測項目の概要のみを示す。

Line-1 センサー計測: 週4回 (通算計測回数: 東行航海193回, 西行航海193回),
自動ろ過サンプリング: 東行航海時のみ年24回 (通算36航海), 1航海36サンプル

Line-2 センサー計測: 毎夜 (通算計測回数: 東行610回, 西行610回),
自動ろ過サンプリング: 東行航海時のみ年24回（通算: 87回), 1航海24サンプル

Line-2' センサー計測: 毎夜 (H12年度末までの計測回数見込み: 東行 510回, 西行510回),
自動ろ過サンプリング: 東行航海時のみ年24回（通算見込み: 72回), 1航海24サンプル
備考：Line-2では、植物プランクトン色素として蛍光法によるクロロフィル、フェオフィチンを分析していたが、Line-2'では、HPLC法により補助色素（フコキサンチン、ペリディニン等）を含む色素量を求めた。

Line-3 センサー計測: 週2回 (通算計測回数: 北行190回, 南行196回)

Line-4 調査員便乗によるサンプリング、通算8回、1航海あたり26または12サンプル。
栄養塩分析、HPLCによる色素分析、検鏡による植物プランクトン分類群別およびサイズ別炭素換算バイオマス濃度の分析。

Line-4' 船員依頼によるサンプリング、年6回、1航海あたり6サンプル。
栄養塩分析、検鏡による植物プランクトン分類群別およびサイズ別炭素換算バイオマス濃度の分析。

以上については、モノグラフ（Harashima *et al.*, 1993[24)]）、および一般向け解説書（原島・功刀, 1997[25)]）にも記述した。また、以下の2つの節では、1999年度以降に行った、フェリー利用のさらなる有効化に関する事項を紹介する。

3-3 オンラインデータ転送

"Real time, On demand"というキーワードがGOOSに盛り込まれているように、データの迅速な転送と公開により、「常時監視」という特性がよりはっきりし、実利用の幅も拡がってくるだろう。このような考えに基づき、2000年初頭から、データのオンライン転送を試みた。

Fig.4に示すように、差分型衛星測位システム（DGPS）による位置信号、サーモサリノグラフ水温塩分計測の信号、同装置付属のリモート水温センサーによる取水口水温信号、アクアトラッカ蛍光光度計によるクロロフィル蛍光の信号を、データロギング用のパソコンに送る。毎航海後の停泊時（翌朝）にファイルを閉じて、イーサネット結合されている船上通信サーバー（パソコン）を経由して、モデム、船舶電話、屋上アンテナ、N-STAR 通信衛星回線、陸上受

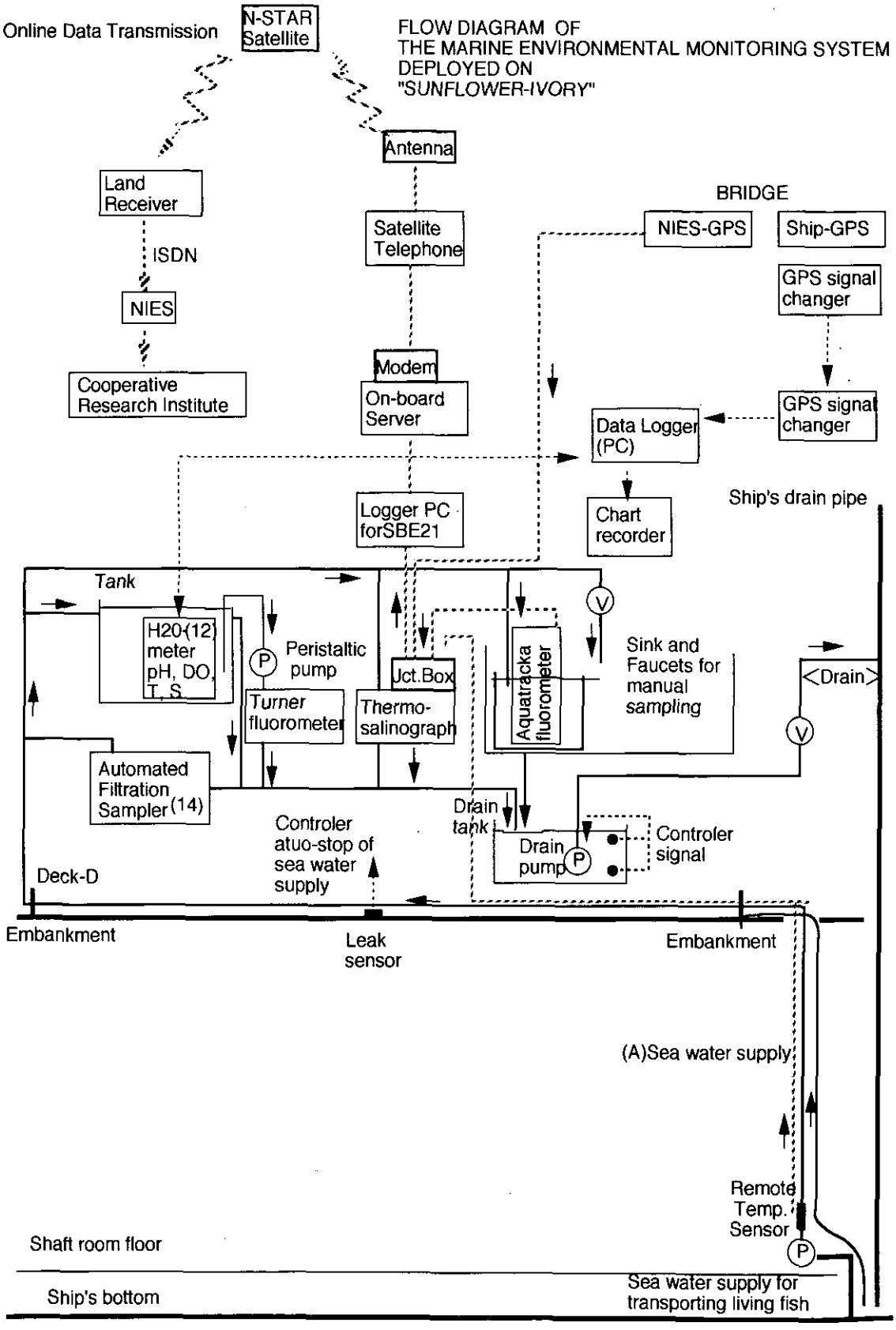


Fig.4 Schematic flow diagram of the monitoringy system deployed on the ferry Sunflower-Ivory.

信局、ISDN 回線を通じて、国立環境研究所の陸上通信サーバーに取り込む。

この、ネットワークソフトウェア（PC-ANYWHERE）により、各パソコンの画面を参照しつつデータを取得できるようにした。すなわち、画面上でドラッグ・ドロップ操作を行うと、船上通信サーバー、データが取り込まれる設定になっている。また、計測機器を追加するためには、それぞれのロギング・制御コンピュータをクライアントとして船上サーバーへイーサネット結合すればよい。

さらに、国立環境研究所では、オンライン取得したデータに基づいて、報文 7 中の Fig.1, 2 にあたるグラフを作成し、これを毎日ホームページに掲載する試みを行っている。このデータは、校正を経ていないため、数値の絶対精度については保証されないが、海洋が日々の外的条件に応答してどのような変動を示しているかなど、迅速な情報が得られる利点は大きい。また，オンラインモードの他に、陸上で分析されるデータもディレイモードとして数日の遅れで公開することも可能になる。

報文 8 に示されるように、植物プランクトンの種組成も環境の指標として有効である。この知見に基づき、船上に設置した顕微鏡およびレーザー利用のプランクトン粒子画像取得装置から、画像をオンライン転送するシステムの作成が電総研によって試みられている（報文 5)。また、逆側に陸から船へコマンドを発することにより、双方向の情報通信を達成し、モニタリングに即応性をもたせて「リモートアクセスステーション」とすることも有効になるだろう（飯高ほか, 2000[26])。

3-4 フェリーにおける連続取得海水の深度代表性

フェリーでは、一般に船底（より詳細には船腹下部のシーチェスト）から海水を採取している。この海水がどのような深度を代表しているかは基本的な問題でありながら、航走中の船での確認がむずかしいため、その実証例が少ない。技術面での基礎固めのため、運輸省船舶技術研究所で実験用水路において、模型実験から航走時の取水深度を推定する試みを行った（報文 3)。この結果、非成層時の静水状態では、ほぼ海面下数十センチメートル近辺の海水が最も多く取り込まれることがわかった。すなわち、取水位置の重心が、船底深度よりも浅い位置であるが表層よりやや下にあることが推定される。同研究所では、今後、波や成層が存在する場合などについて実験を重ねる他に、CFD（数値モデルによる流体力学実験）も計画されており、一般化された結果が得られると期待される。

海洋表層では一般に、数メートル～数十メートルの厚さの混合層が形成されており、この層では水温、塩分、生物量、化学量が鉛直的に均一に近い。したがって、水面下数十センチメートルの連続取水は、比較的安定して表層混合層を代表しており、船体の動揺によっても大きな影響は受けないと推定される。ただし、瀬戸内海などでは、静穏な状態が続いた時に日照や淡水流入があると、5m 以浅に成層が形成されることがある（武岡、私信)。このような場合には、データの解釈に注意を要することがある。

4．フェリー利用による特記的な計測結果

4-1 栄養塩の長期時系列とシリカ欠損問題

序で述べたように、人為影響により N と P の海域への負荷が増え、自然の風化作用による Si の補給が減り、これが海洋生態系に影響を与えることが新規の地球環境問題として注目されている。シリカの補給に関しては、鉛直混合による下層からの補給や、流入河川を函養している陸域の地質的特性の影響も強い。このため、瀬戸内海の中においても空間的不均質性が高い。

本モニタリング結果では、フェリー航路のうち、大阪湾区画でほぼ季節を通じて DIN（溶存態無機窒素）に対する DSi（溶存態ケイ素あるいはシリカ）の相対比が小さいことが判明した。（報文 7 参照)。これは、大阪湾に流入する淀川の上流に琵琶湖が位置し、そこで人為的負荷による N, P が増大するとともに Si が除去されることが主因と考えられる。

シリカ欠損の現象は、懸念はされてきたものの、前述の文献 (Radach *et al.*, 1990[10], Smetacek *et al.*, 1991[11])や黒海での観測例の他には、海域でのデータによって実証された事例が少ない。我が国でも、水産庁によって行われている浅海定線調査のモニタリング項目に DSi が含まれていないこと、計測回数が年４回と少ないことのため、事実上検知することが不可能であった。

一方、DIN, DIP, DSi の長期的傾向については、マウナロアの CO_2 と異なり、右肩上がりあるいは右肩下がりの長期トレンドは読みとれなかった。この理由は、例えば 1994 年夏が高温・小雨であったように年次間の相違が大きいことや、我が国の農業・鉱工業活動が安定期にはいっていることによると思われる。また、行政面からの COD, リン等の削減指導の結果も影響しているといえるだろう。もう１つの理由は、いわゆるリービッヒの原理により、N, P, Si のうちのどれかの元素の供給が増えれば、基礎生産の増加という形の調整が行われ、ふたたびどれかの元素が枯渇するまで吸収が進む。すなわち原理的に N, P, Si の３者がすべて増加傾向になることはないと考えられる。このことから考えると、DIN, DIP, DSi の相対比あるいは、ブルーム終了時にどれが枯渇してどれが残っているかが重要であり、比較的短期の変動を対象として計測頻度の高いモニタリングを継続する必要がある。

4-2　有害化学物質の検出

近年、内分泌撹乱物質あるいは環境ホルモンとして、有機ハロゲン物質を主体とする難分解性汚染物質（POPs）の有害性が指摘されるようになった。本フェリー観測関連では、沖縄航路（Fig.2 中の Line-3 および 3'）と瀬戸内海航路（Line-2）において、残留農薬（報文 12）および有機スズ化合物（報文 13）を中心とした有害化学物質の計測を行った。方法および結果の詳細は、両報文や関連文献（Kunugi *et al.*, 1998[32]）に記述されているが、重要なことは 従来、比較的静的な分布をしていると考えられていた化学物質が、非常に顕著な時間変動を示すことがわかったことである。これは、我が国ではすでに使用禁止となっている農薬が、大気運動により輸送されてくる（grasshopper effect）ことや、底泥中に残留しているものが間欠的な巻きあげにより海洋上層に浮上してくることによると考えられる。このような動態を示していることから、時空間変動を考慮したモニタリングが必要になり、この点でもフェリー他の定期航路船舶をプラットフォームとして計測することが妥当であるといえよう。

4-3　*x-t* ダイアグラムによる表現

はじめに、モニタリング領域の基本的な物理場と栄養塩の時空間変動を概観するために、蛍光度センサー計測による植物プランクトンのクロロフィル蛍光あるいは *in vivo* fluorescence を *x-t* ダイアグラムの形式で示す（Fig.5)。この図は、フェリーによるモニタリング開始時の日韓航路によるものであり、横軸は釜山（左端）から神戸（右端）までの経度を示し、縦軸は 1991 年 6 月（上端）から 1993 年 2 月（下端）までの通算日数を示す。また、値が小さいほど寒色に、大きいほど暖色に対応するものとする。

クロロフィル蛍光は植物プランクトンバイオマス量そのものではないが、相関がある。そして、クロロフィル蛍光が存在するところは、栄養塩がある程度存在して植物プランクトンの存続が可能であることの指標となる。また、クロロフィル蛍光が経時的に強くなってゆくことは、植物プランクトンがブルーミング（大増殖）を起こしていることを示す。

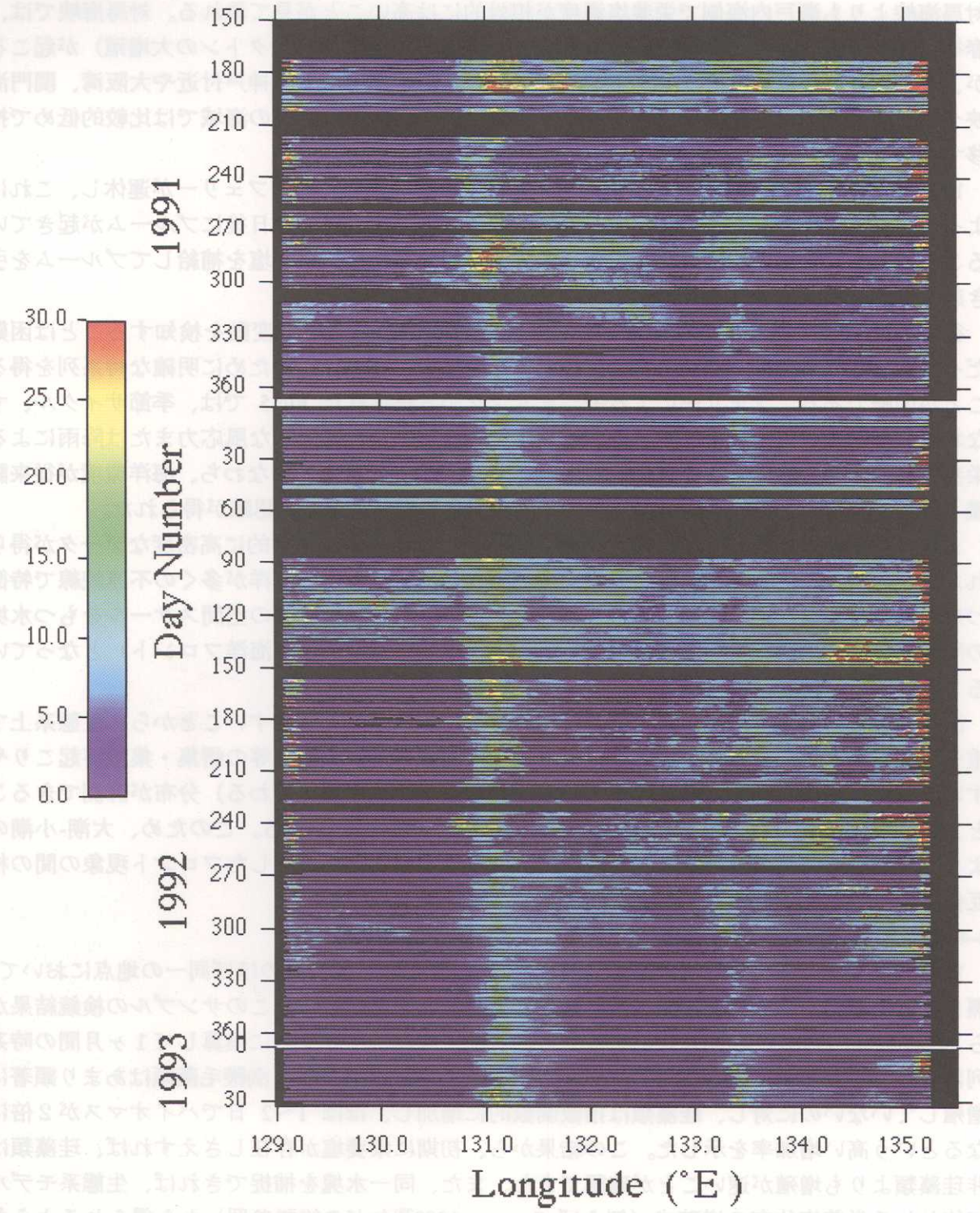


Fig.5 Temporal/spatial variation (*x-t* diagram) of *in vivo* fluorescence, the horizontal and the vertical coordinates show the longitude and Julian date, respectively. Each stripe shows the data value of each cruise. The balck stripe shows the void of data becuase of the cancel of the cruise or the insufficient data quality. Several kinds of phytoplankton blooms are seen.

Fig.5 からは、画面右側 2/3 を占める瀬戸内海部分で、相対的に植物プランクトン濃度が高く、対馬海峡よりも瀬戸内海側で栄養塩濃度が相対的には高いことが見て取れる。対馬海峡では、春季（90～120 日）と秋季（300～330 日）にブルーム（植物プランクトンの大増殖）が起こるが、それ以外の季節ではプランクトン濃度は低い。瀬戸内海でも、神戸付近や大阪湾、関門海峡～周防灘付近では常に植物プランクトン濃度は高いが、それ以外の海域では比較的低めで推移する。

1991 年の 255 日および 270 日付近の黒い帯は、台風通過のためにフェリーが運休し、これによってデータが欠測したことを示す。興味深いのは、この台風の数日後にブルームが起きていることであり、台風が鉛直混合を引き起こし、下層から上層に栄養塩を補給してブルームを引き起こすことが推定される。

従来の観測船による個々の観測では、Fig.1 で予想されるような変動を検知することは困難だった。また衛星では、空間分布は把握できるものの、雲の存在のために明確な時系列を得ることが困難である。フェリーによるモニタリングから得られた Fig.5 では、季節サイクル、すなわち春季ブルームや秋季ブルームが確実に得られたほか、間欠的な風応力または降雨による栄養塩流入で間欠的に起こるブルーム（報文 15）が検知された。すなわち、海洋環境が従来認識されていたよりも短い時間スケールで動的に変化しているという認識が得られた。

また、空間分布に関しては、報文 7 中の Fig.1 に示すように水平的に高密度なデータが得られた。この結果、海域での諸量の分布が連続的な勾配を示さず、海洋が多くの不連続線で特徴づけられた不均質な系であることが示された。特に、数十キロほどの空間スケールをもつ水塊の間の境界は、はっきりした水温のジャンプ、すなわち海洋前線（海洋フロント）となっていることが明示された。

海洋前線は、異なる水塊が接することや、海水の収束が起こりやすいことから、生態系上で重要な空間となる。具体的には、プランクトンや魚類、その卵稚子等の蝟集・集積が起こりやすい。フェリーの利点は、前線のような不連続な（空間的に急に変わる）分布が計測できること、および、その分布が単発でなく時系列的に得られることである。このため、大潮-小潮のような周期をもった潮汐現象と、海面冷却・加熱の季節変化に依存したフロント現象の間の相互作用の研究に有効であると考えられる。

4-4 高頻度時系列による植物プランクトンブルームの記述

1995 年 6 月の 1 ヶ月間、連続乗船調査を行い、この際に、大阪湾のほぼ同一の地点において、隔日ごとに植物プランクトンの時系列的なサンプリングを行った。このサンプルの検鏡結果から Strathmann (1967)[28]の換算式により、分類群別に炭素バイオマスに換算して 1 ヶ月間の時系列にした（報文 8 および報文 15 の Fig.6 参照）。 この結果では、渦鞭毛藻類はあまり顕著に増殖していないのに対し、珪藻類は指数関数的に増加し、ほぼ 1～2 日でバイオマスが 2 倍になるという高い増加率を示した。この結果から、初期に栄養塩が存在しさえすれば、珪藻類は非珪藻類よりも増殖が速いことが確認できた。また、同一水塊を捕捉できれば、生態系モデルで使われる栄養塩依存の増殖式（例えば Sommer,1989[29]などの総説参照）から得られるような対数増殖に近い曲線が得られることも確認できた。

このように、比較的短い時間スパン（10 日? 半月程度）で高頻度に（最低 2～3 日に 1 回）計測を行うことにより、従来の観測船による壮観的な観測では可視化できなかった植物プランクトンとそれに関係する栄養塩などの環境要素のダイナミックスが見えてくると考えられる。

4-5 海水の CO_2 関連変量の計測

海洋におけるN, Pの循環は炭素（C）の循環と緊密に結びついており、沿岸海域がCO_2のシンクかソースかという問題がIGBP-LOICZの重要なテーマになっている。このような問題に答えるため、海水に溶存している二酸化炭素分圧（pCO_2）の計測手法を開発した。沿岸海域では空間的な分布の特性スケールが小さく、また変動幅も大きい。このため、時間的に早く応答でき、急激な水温変動にも対応できることを目的として、気泡型の平衡器が考案された。1992年の春季と夏季にLine-1で（Kimoto and Harashima, 1993[30]）、1994年の春季と夏季にLine-2で（報文6）、計測を行った。この結果、予想されたように、海水中のpCO_2の空間分布や時間変化が顕著で、応答の速いセンサーを利用して高頻度に計測する必要があること、およびフェリーの利用が適していることが確認された。

4-6　レーザー計測によるプランクトン粒子組成

海洋環境の指標としては、溶存態の物質のみならず、粒子態、特に植物プランクトンの属性が重要である。報文8で述べたような検鏡による分析は確実ではあるが時間がかかるため、フローサイトメトリーのように粒子ごとの計測を行う装置が有効になる。ただし、現行の装置をそのままフィールドで用いることにはやや難しく、後述のサイトブイのように簡便化する必要がある。

また、我が国でも、これ以前に同様の目的でレーザー粒子カウンター（Tsuda *et al.*, 1991[31]）が電総研・近畿大学で開発・試験されていた。この装置をフェリーに搭載して空間的に準連続的な計測を行った（報文9）。この結果、生態系の動力学に関して重要な知見が得られ、生物現象についても、新規計測手法とフェリーというプラットフォームの組み合わせが有効であることが確認できた。

5．外国機関のフェリーを利用したモニタリング計画

5-1 韓国海洋研究所によるモニタリング

韓国海洋研究所では、1998年秋より、仁川（Incheon）～済州（Cheju）間を週間3往復するフェリー"SEMO"で、韓国沿岸海域～黄海東部（Fig.2）の海洋環境モニタリングを実施している（Kahng and Oh, 1999[34]）。同研究所と国立環境研究所は、日韓環境保護協定に基づく共同研究として、技術情報の交換を行ってきた。計測内容は以下のようである。

センサー計測により、水温、塩分、クロロフィル蛍光、pH、DO、濁度およびDMS（ディメチルサルファイド）などイオウ関連物質などを計測する。また、自動サンプリングによる栄養塩の分析や、植物プランクトンおよび動物プランクトンのサンプリング・分析を行う。さらにブリッジ屋上に設置した自動大気ステーション（AWS: Automated Weather Station）で大気の計測（気象項目、陽イオン、陰イオン、DMS）などが行われている。

また、植物プランクトンの粒子毎の蛍光信号を記録するため、フローサイトメーターを小型化したサイトブイ（Dubelaar *et al.*, 2000[35]）という装置の稼働が試みられている。

このように、研究およびモニタリングの両方にわたり、我が国と平行・共通するところが多く、今後、緊密な情報交換によって得るものが大きいと考えられる。また、他のアジアの各国との連携によってモニタリングのネットワークを形成してゆくことも重要になるだろう。

5-2 欧州各国による実行例および計画例

フィンランド海洋科学研究所は、Algaline計画として、バルト海を往復するフェリー（キール～ヘルシンキ～サンクトペテルブルグ間）を利用して、1994年から3年間、栄養塩、クロロフィル、プランクトン種組成などのモニタリングを継続していた（Kononen and Leppanen,

1997[36])。現在は休止しているが、前週の結果がホームページ公開されていた点が特記される。

一方、連合王国の SAHFOS(アリスターハーディ卿財団)は、CPR（Continuous Plankton Recorder）を曳航することにより、プランクトンのサンプリング、分析を継続してきた（Jickells, 1998[37])。さらに近年は上下に昇降させつつ曳航し、鉛直面の分布を得る UOR（Undulating Oceanographic Recorder）という装置が開発されている。

また、ヨーロッパの各国すなわちドイツ（Schroeder and Petersen, 2000[38], Knauth, 1999[39], Swertz *et al.* (1999)[40])、オランダ（Ridderinkhof *et al.* (1999)[41])、UK（Holley and Hydes (2001)[42])、フィンランド、イタリア、ギリシャ等では「フェリーボックス計画」というプログラムの開始が予定されている。これは、各国研究機関がコンソーシアムを組み、それぞれ環境の面での重要海域（ホットスポット）を通過するフェリーで、栄養塩、植物プランクトンなどのモニタリングをおこなう。ちなみに、主なホットスポットとしてあげられているのは、バルト海、北海南部（エルベ河口～UK 間)、ワッデン海、ベニスラグーンを含むアドリア海などの沿岸海域である。

ドイツの担当により 2000 年に開始される部分では、多波長の蛍光計測による藻類分類群の判別、紫外線吸収スペクトルによる硝酸態窒素濃度の定量、光学的計測による pH 計測など、新規の計測手法の使用も予定されている。このように、フェリーを使った海洋モニタリングの有効性が、洋の東西をとわず認識され、実行されはじめていることがわかる。

6．まとめと今後の課題

フェリーを観測プラットフォームとして利用することにより、判明したことは以下のようにまとめられる。

i) 1 ～ 2 週間の計測間隔により、栄養塩・植物プランクトンバイオマス量などの季節変動が的確に把握できる。

ii) 1 ～ 2 日の計測間隔により、個々のブルームイベントについての植物プランクトンバイオマス量の増殖や環境量の変化が把握できる。

iii)空間的な連続計測から、海洋前線や水塊並列構造、およびそれらの、潮汐要素や季節的要素による変動が把握できる。

iv)1991～1998 年の長期データ蓄積からは、DIN, DIP の増大トレンドは顕著ではなかったが、海域によって DSi（シリカ）の欠損あるいは DIN の過剰が起こっていることがわかり、人間活動による地球環境へのインパクトの一面が判定できる。

v)通常のモニタリング項目の他にも、フロースルー型であれば、海水溶存の pCO_2、プランクトンの粒子サイズスペクトル、低濃度の海洋汚染物質など、多様な計測手法が適用できる

vi)データのオンライン転送により、海域の常時監視という実用面での効果が得られる。

また、これらの知見を基礎にして、今後以下のような発展を期することが重要であるだろう。

vii)欧州のフェリーボックス計画のように、複数の団体がコンソーシアムを組み、複数のフェリー航路によって広域な領域をより的確に把握する。

viii)オンライン的に得られたデータをモデルの初期条件として、短期の環境変動予測を行う主旨の研究をすすめる。

ix)連続取水海水の深度代表性を明らかにするなどのように、フェリーによる計測技術の足許を固める努力を行う。

現在のように財政難が論議される状況下では、研究調査船への削減圧は強まることが予想される。このため、SOOP の利用は、一つの選択枝という以上に真剣に考える必要がある。一方、

近年の航空機利用の一般化や架橋のために、フェリー航路の選択の範囲は狭くなりつつある。また、商船の運航が各国の経済状況の変化により変更や合理化を余儀なくさせられる場合があるし、日本人船員の割合が減って行く問題も大きい。また、個別の研究以上に、予算や人的資源のロジスティックスを必要とする事業であるから、納税者側の理解を得ることが必要となる。そのためには、モニタリングの成果が、海洋が果たしている生態系サービスの維持・保全に寄与することを一般にアピールする必要がある。このような努力は、船会社、船員の方々の協力にむくいるためにも不可欠であるだろう。

謝辞

本論で紹介したモニタリングプログラムに協力していただいた、大阪国際フェリー株式会社、関西汽船株式会社、大阪商船三井株式会社、M.O.シップマネッジメント株式会社、東京船舶株式会社、日本海難防止協会に深謝する。また、本プログラムは、日韓環境保護協定に基づいて本モニタリング事業に関して協力いただいた韓国海洋研究所（研究代表者：Jae-Ryoung Oh）をはじめ、多くの研究者および団体の協力にもよっても支えられてきた。通常項目のモニタリングは、主に国立環境研究所地球環境モニタリング経費によって遂行した。また特殊項目の計測や関連研究は環境庁地球環境研究総合推進費 D-3 や各研究者の独自の研究予算により行った。関連の方々に、併せて感謝する次第である。

引用文献

1) Mantoura, R. F. C., Martin, J.-M. and Wollast, R. (eds.) (1991): Ocean Margin Processes in Global Change, Wiley, 459pp.
2) Brink, K. H. and Robinson, A. R. (eds.) (1998): The Sea, Vol.10, The Global Coastal Ocean: Processes and Methods, Wiley, New York, 604pp.
3) Robinson, A. R. and Brink, K. H. (eds.) (1998): The Sea Vol.11: The Global Coastal Ocean: Regional Studies and Syntheses, Wiley, New York, 1062pp.
4) Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R. V., Paruelo, J., Ranskin, R. J., Sutton, P. and van den Belt, M. (1997): The value of the world's ecosystem services and natural capital, Nature, 387, 253-260.
5) Brewer, P. G. and Clark, D. K. (eds.) (1992): Abstract of ABOOS(Autonomous Bio-Optical Ocean Observing Systems) Scientific Symposium, Monterey.
6) Powell, T. M. and Steele. J. (eds.) (1995): Ecological Time Series, Chapman & Hall, New York, 491pp.
7) Rapport, D. J., Gaudet. C. L. and Calow. P. (1995): Evaluating and Monitoring the Health of Large -Scale Ecosystems, Springer, Berlin, 454pp.
8) Kahru, M. and Brown, C. W. (eds.) (1997): Monitoring Algal Blooms: New Techniques for Detecting Large-Scale Environmental Change, Springer, Berlin, 178pp.
9) Sherman, K. and Tang, Q.-S. (eds.) (1999): Large Marine Ecosystems of the Pacific Rim, Blackwell, 465pp.
10) Radach, G., Berg, J. and Hagmeier, E. (1990): Long-term changes of the annual cycles of meteorological, hydrographic, nutrient and phytoplankton time series at Helgoland and at LV ELBE 1 in the German Bight, Continental Shelf Research, 10, 305-328.

11) Smetacek, V., Bathmann, U. and Scharek, R. (1991): Coastal Eutrophication: Causes and Consequences, In, Mantoura, R. F. C., Martin, J.-M. and Wollast, R. (eds.), Ocean Margin Processes in Global Change, pp.251-280, Wiley.
12) Haury, L. R., McGowan, J. A. and Wiebe, P. H. (1978): Patterns and Processes in the Time-Space Scales of Plankton Distributions, In, Steele. J. H. (ed.), Spatial Pattern in Plankton Communities, pp.277-327, Plenum Press.
13) Dickson, R. R. (1995): The natural history of time series, In, Powell. T. M. and Steele, J. H. (eds.), Ecological Time Series, pp.70-98, Chapman & Hall.
14) 日本海難防止協会 (1994): 平成 5 年度海洋データの収集等地球環境貢献施策に関する調査研究事業報告書.
15) 日本深海技術協会 (1995): 一般船舶を利用した海洋観測に関する調査報告書 (平成 6 年度科学技術庁委託事業).
16) Barale, V. and Schlittenhardt, P. M. (1993): Ocean Colour: Theory and Applications in a Decade of CZCS Experience, Kluwer Academic Publishers, 367pp.
17) Fukushima, H., Toratani, M., Matsumura, S. and Harashima, A. (1997): Time series of phytoplankton biomass distribution over the Northwestern Pacific area by monthly composite images from Nimbus7 -CZCS data (CDROM), CGER-D015(CD) '97, Center for Global Environmental Research, NIES.
18) 原島省 (1998): 航走連続モニタリングシステム, 平野敏行(編) 「沿岸の環境圏」, pp.1446 -1452,フジテクノシステム.
19) 吉岡洋 (1988) : 冬季紀伊水道に発生する沿岸フロント, 海と空, 64, 79-111.
20) Harashima, A. (1993): High Temporal-Spatial Resolution Marine Biogeochmical Monitoring from a Japan - Korea Ferry -1992 to 1993 Results, Monitoring Report on Global Environment, CGER-M004-'93, 13-50, Center for Global Environmental Research, NIES.
21) Harashima, A. (ed.) (1995) : Collected data of high temporal-spatial resolution marine biogeochmical monitoring from a Japan - Korea Ferry (June1991 - February 1993) (CDROM), CGER-D007(CD)-'95, Center for Global Environmental Research, NIES.
22) Harashima, A. (ed.) (1997): Collected data of high temporal-spatial resolution marine biogeochmical monitoring from ferries in the east Asian marginal seas (April 1994 - December 1995) (CDROM), CGER-D012(CD)-'97, Center for Global Environmental Research, NIES.
23) Harashima, A. (ed.) (1999): Collected data of high temporal-spatial resolution marine biogeochmical monitoring from ferry tracks: Seto Inland Sea (Jan. 1996 - Nov. 1997) and Osaka-Okinawa (Jan. 1996 - Mar. 1998) (CDROM), CGER-D021(CD)-'99, Center for Global Environmental Research, NIES.
24) Harashima, A., Tsuda, R., Tanaka, Y., Kimoto, T., Tatsuta, H. and Furusawa, K. (1997): Monitoring algal blooms and related biogeochemical changes with a flow through system deployed on ferries in the adjacent seas of Japan, In, Kahru, M. and Brown, C. W. (eds.), Monitoring Algal Blooms - New Techniques for Detecting Large-Scale Environmental Change, pp.85-112, Springer.
25) 原島省, 功刀正行 (1997): 海の働きと海洋汚染, 裳華房ポピュラーサイエンス, 181pp.
26) 飯高弘, 土井卓也, 中野洋, 斎藤俊幸, 佐藤宗純, 西山勝男, 藤縄幸雄 (2000): 地球環境計測のための海洋リモートアクセスステーションの研究開発, 環境技術研究総合推進会議第 4 回研究発表会講演要旨集, 37-38.

27) 柳哲雄 (1997): 潮目の科学, 厚生社厚生閣, 169 pp.
28) Strathmann, R. R. (1967): Estimating the organic carbon content of phytoplankton from cell volume or plasma volume, Limnology and Oceanography, 12, 411-418.
29) Sommer, U. (1989): The role of competition for resources in phytoplankton succession, In, Sommer, U. (ed.), Plankton Ecology, pp.57-106, Springer, Berlin.
30) Kimoto, T. and Harashima, A. (1993): High-resolution time/space monitoring of the surface sea water CO_2 partial pressure by ship-of-opportunity, WMO Global Atmospheric Watch (Proceedings of the 4th International CO_2 Conference, Calquerane), 89, 88-91.
31) Tsuda, R., Kakui, Y. and Kumagai, M. (1991): Analysis of phytoplankton size using optical cables with the laser technique, Verh. Internat. Verein Limnol., 24, 1088-1090.
32) Kunugi, M., Harashima, A., Fujimori, K. and Nakano, T. (1998): Observation of time-space variation of hazardous chemicals in sea water using a ferry, Proceedings of CoMEMAMS Meeting, 18-21.
33) 田尾博明・Ragendran, R. B., 長縄竜一, 中里哲也, 宮崎章, 功刀正行, 原島省 (1999): 瀬戸内海における有機スズ化合物の分布と起源, 環境化学, 9, 661-671.
34) Kahng, S. -H. and Oh, J.-R. (1999): Status and prospects of marine environmental monitoring in Korea, Proceedings of International Workshop on Marine Environmental Monitoring, pp.1-7, KORDI.
35) Dubelaar, G. B. J., Gerritzen, P. L., Beeker, A. E. R., Jonker, R. R. and Tangen, K. (2000): Design and first results of Cytobuoy: an autonomous flow cytometer with wireless data transfer for in situ analysis of marine and fresh waters, Cytometry, (in press).
36) Kononen, K. and Leppanen, J.-M. (1997): Patchiness, scales and controlling mechanisms of cyanobacterial blooms in the Baltic Sea: Application of a multiscale research strategy, In Monitoring Algal Blooms - New Techniques for Detecting Large-Scale Environmental Change, Kahru, M. and Brown, C. W. (Ed.), pp.63-83, Springer.
37) Jickells, T. D. (1998): Nutrient Biogeochemistry of the Coastal Zone, Science, 281, 217-222.
38) Schroeder, F. and Petersen, W. (2000): The Ferry-Box as a Monitoring Tool for Marine Waters - Consepts and Technical Solutions of European Systems -, Proceedings of Techno-Ocean 2000 International Symposium, Vol. 1, 109-112.
39) Knauth, H. D. (1999): Adaptation of the MERMAID-system to ship of opportunity, Proceedings of International Workshop on Marine Environmental Monitoring, 9-56, KORDI.
40) Swertz, O. C., Colijn, F., Hostraat, H. W. and Blasius, B. A. (1999): Temperature, salinity and fluorescence in Southern North Sea: High-resolution data sampled form a ferry, Environmentel Management 23, 527-538.
41) Ridderinkhof, H., van Haren, H., Eijgenraam, F. and Hillebrand, T. (1999): Ferry observations on temperature, salinity and currents in the Marsdiep tidal inlet between the North Sea and Wadden Sea. in: Second EUROGOOS Conference, Rome, 1999, Elsevier.
42) Holley, S. E. and Hydes, D. J. (2001): "Ferry-Boxes" and data stations for improved monitoring and resolution of eutrophication related processes: Application in Southampton Water UK, a temperate latitude hypernutrified estuary, Hydrologia (in press).

付録-I　研究発表一覧

A.印刷発表

p1) Harashima, A., Tsuda, R., Tanaka, Y., Kimoto, T., Tatsuta, H. and Furusawa, K. (1997): Monitoring algal blooms and related biogeochemical changes with a flow-through system deployed on ferries in the adjacent seas of Japan, In Kahl, M. and Brown, C. W. (eds.) Monitoring Algal Blooms: New Techniques for Detecting Large-Scale Environmental Change, pp. 85-112, Springer.

p2) Harashima, A., Tsuda, R., Tanaka, Y., Kimoto, T. and Hagiwara, T. (1999): High-Resolution Biogeochemical Monitoring for Assessing Environmental and Ecological Changes in the Marginal Seas Using Ferry Boats, in Sherman, K. and Tang, Q.-S. (eds.), Large Marine Ecosystems of the Pacific Rim, Blackwell, 363-373.

p3) 原島省 (1991): フェリーで海を計る, 関文威・小池勲夫(編), 海に何がおこっているか, 岩波ジュニア新書 195、pp. 12-16.

p4) 原島省 (1993): 海洋観測データのコンピュータグラフィックス表示、PIXEL、pp. 74-76 図形処理情報センター.

p5) 原島省 (1995): 海洋環境の撹乱, 小泉明・兜真徳(編)人間科学全書テキストブック, シリーズ 6, 地球規模の健康問題 －地球環境保健学序説－, pp.193-207, てらぺいあ.

p6) 原島省 (1996): 海洋環境対策技術－広域海洋環境モニタリングを中心として－, 工業調査会編「環境対策技術百科」, pp.110-115.

p7) 原島省 (1997): フェリープラットフォームの特性と展開, 月刊海洋, 29(2), 101-108.

p8) 原島省, 功刀正行 (1997): 海洋環境の変動をモニターする, 裳華房ポピュラーサイエンスシリーズ「海の働きと海洋汚染」, pp.104-136.

p9) 原島省 (1998): 航走連続モニタリングシステム, 平野敏行編「沿岸の環境圏」, pp.1446-1452, フジテクノシステム.

p10) 原島省, 武岡秀隆 (2001): シンポジウム 「沿岸、内湾域における長期モニタリングの方向性」とりまとめ, 沿岸海洋研究, 38(2), (日本海洋学会沿岸海洋研究部会, 印刷中).

p11) 原島省, Oh, J.-R., Kahn, S.-H. (2001): フェリーによる海洋環境モニタリングの現状と課題 岸海洋研究 (日本海洋学会沿岸海洋研究部会, 印刷中).

p12) 原島省 (2001): アジア沿岸海域の環境モニタリングと(N, P)/Si 問題, 地球環境研究, (国際地球環境研究協会, 印刷中).

p13) 功刀正行, 原島省, 藤森一男, 中野武 (1996): 定期フェリーを用いた海水中有害化学物質の高密度観測, 日本分析化学会第 45 年会展望とトピックス, 2.

p14) 功刀正行, 原島省, 藤森一男, 中野武 (1998): 有機ハロゲン化合物を中心とする時空間変動機構に関する研究, 環境庁地球環境研究総合推進費終了報告書, 6-21.

p15) 功刀正行 (2001): 海洋環境計測, 計測制御学会編「計測工学ハンドブック」, 朝倉書店 (印刷中).

p16) 田尾博明, Rajendran, R. B., 長縄竜一, 中里哲也, 宮崎章, 功刀正行, 原島省 (1999): 瀬戸内海における有機スズ化合物の分布と起源, 環境化学, 9, 661-671.

p17) 塚本秀史, 柳哲雄, 境田太樹, 川村宏, 原島省 (1997): NOAA/AVHRR による瀬戸内海の海面水温の季節変動, 海の研究, 6, 279-292.

p18) 塚本秀史, 柳哲雄 (1998): 瀬戸内海の水温・塩分・ pH ・栄養塩とクロロフィル a の時間・空間変動, 海の研究, 7(1), 11-20.

B. 口頭発表

o1) Harashima, A. (1992): Autonomous biogeochemical monitoring system using intake of sea water on Japan-Korea Ferry boat, ABOOS (Autonomous Bio-optical Ocean Observing System) Symposium, Monterey (poster presentation).

o2) Harashima, A. (1993): Continuous marine biogeochemical monitoring by Japan-Korea Ferry boat for the validation of ocean color remote sensing, In Fang, M. and Liu, A. (eds.) Proc. of Symposium on Remote Sensing for Marine environment, Hong Kong, 92-104, Commercial Press (invited).

o3) Harashima, A., Tsuda, T., Tanaka, Y., Kimoto, T., Tanaka, S., Furusawa, K., Kurokawa, O., Takeuchi, Y. and Oh, J.-R. (1993): A semi-continuous environmental monitoring and associated measurement of using seawater intake of Japan-Korea Ferry, Second Annual Meeting of PICES, Seattle.

o4) Harashima, A., Tsuda, R., Tanaka, Y., Kimoto, T., Tatsuta, H. and Hagiwara, T. (1994): Ferry-based Biogeochemical Monitoring from the Marginal Seas to the Subtropical Gyre, PICES-STA Workshop on Monitoring Subarctic Pacific Ocean, Nemuro.

o5) Harashima, A., Tsuda, R., Tanaka, Y., Kimoto, T. and Hagiwara, T. (1994): A High-resolution biogeochemical monitoring and assessing of environmental changes using ferry boats, Abstracts of International Symposium on "The Large Marine Ecosystems (LMEs) of the Pacific Ocean", Qingdao, (invited).

o6) Harashima, A. (1998): Ongoing marine environmental monitoring by NIES and proposed extention to a cooperative programme for the Asian Marginal Seas, Abstracts of CoMEMAMS Meeting January 1998, pp.1-8.

o7) Harashima, A. (1999): Bigeochemical monitoring of the coastal and marginal seas using ships of opportunity, International Workshop on the In-Situ, Real-Time and Remote Sensing Measurement of Coastal Water Quality, Hong Kong, (Invited).

o8) Harashima, A. (1999): Possibility of development of marine environmental monitoring by the ship of opportunity based on the international cooperation, International Workshop on Marine Environmental Monitoring, 69-92, Incheon, (Invited).

o9) Harashima, A. (1999): Cooperation of the Monitoring Programme with NEAR-GOOS, IOC-WESTPAC NEAR-GOOS Meeting, Tokyo, (Invited).

o10) Harashima, A., Kimoto, T., Wakabayashi, T. and Tanaka, Y. (1999): Changes of N, P, Si and algal parameters in an aquatic continuum based on monitoring data from ferrybosts SCOPE & IGBP-LOICZ Workshop on Changing Silica Cycle, Linköping, Sweden.

o11) Harashima, A. (2000): The (N, P)/Si issue in Japanese coastal water, SCOPE & IOC-WESTPAC Workshop on Changing Silica Cycle, Nha Ttran, Vietnam (invited).

o12) Harashima, A. (2000): Marine environmental monitoring system using ships of opportunity, Proceedings of Techno-Ocean 2000 International Symposium, Vol. 1, 101-104.

o13) Ichikawa, A., Inoue, G., Sasano, Y., Yasuoka, Y. and Harashima, A. (1992): Measuring global environmental change －Its monitoring programs and sensing systems－, Extended Abstracts of International Symposium on Sensors in teh 21st Century.

o14) Iitaka, H., Doi, T., Saito, T., Nakano, H., Sato, S., Fujinawa, Y., Harashima, A., Saitou, K., and Kusaka, Y. (2000): Research and Development of Ocean Remote Access Station, Proceedings of Techno-Ocean 2000 International Symposium, Vol. 3, 669-672.

o15) Kimoto, T. and Harashima, A. (1993): High-resolution time/space monitoring of the surface seawater CO_2 partial pressure by ship-of-opportunity, Abstracts of the 4th International CO_2 Conference, 88-91 Calqueranne, WMO.

o16) Saito, T., Iitaka, H., Nakano, H., Doi, T., Sato, S., Fujinawa, Y., Harashima, A., Saitou, K., and Kusaka, Y. (2000): Development of a flow type laser fluorescence microscope system for hi-speed and continuous measuring of phytoplankton images, Proceedings of Techno-Ocean 2000 International Symposium, Vol. 3, 799-804.

o17) Kunugi M., Harashima A., Fujimori K. and Nakano T.(1997): Observasion of time-space variation of hazardous chemicals in sea water using ferry, Abstract of CoMEMAMS Meeting, Tokyo, 3-1 - 3-4.

o18) Tanaka, Y., Tsuda, R. and Harashima, A. (1993): In situ monitoring of chlorophyll-a and size spectra of phytoplankton via laser-induced fluoresce through an optical fiber on Japan-Korea ferry, Second Annual Meeting of PICES, Seattle.

o19) Tanaka, Y., Tsuda, R., Kimoto, T. and Harashima, A. (1997): Nutrient balance and spatial distribution of phytoplankton species plus size spectra revealed via ferry monitoring, The PICES VI Annual Meeting.

o20) 藤森一男, 中野武, 高石豊, 功刀正行 (1996): 東アジア海域の海水中有機塩素化合物のGC/MS 微量分析, 第 30 回日本水環境学会年会, 同講演要旨集.

o21) 藤森一男, 松村千里, 中野武, 功刀正行 (1997): 海域における有機塩素系化学物質の調査, 第 6 回環境化学討論会, 同講演要旨集.

o22) 藤森一男, 松村千里, 中野武, 功刀正行 (1999): 環境試料中の有機塩素化学物質の濃度, 第 8 回環境化学討論会, 同講演要旨集.

o23) 古澤一思, 黒川治, 亭島博彦, 原島省 (1993): 瀬戸内海・対馬海峡における植物プランクトンのサイズ別および分類群別生物量, 日本海洋学会 1993 年度春季大会講演要旨集, 337-338.

o24) 古澤一思, 今尾和正, 原島省 (1995): フェリーによる植物プランクトン群集構造の解析, 日本海洋学会 1995 年度春季大会講演要旨集, 325-326.

o25) 古澤一思, 津田良平, 田中祐志, 原島省 (1996): 植物プランクトン群集構造における短期空間変動の把握, 日本海洋学会 1996 年度春季大会講演要旨集, 334-335.

o26) 原井光一郎, 速水祐一, 武岡英隆, 原島省 (2000): 瀬戸内海における潮汐フロントの季節変化, 日本海洋学会 2000 年度秋季大会講演要旨, 264.

o27) 原島省, 若林孝, 坂本重次, 竹内義治 (1993): 日韓フェリーによる海洋環境モニタリング (3), クロロフィル蛍光の時空間変動, 日本海洋学会 1993 年度春季大会講演要旨集, 334-335.

o28) 原島省, 津田良平, 田中祐志, 紀本岳志, 萩原富司 (1994): 日韓フェリーによる海洋モニタリング (4) 栄養塩の時空間変動, 日本海洋学会 1994 年度春季大会講演要旨, 409-410.

o29) 原島省 (1995): フェリーによる生物化学量の計測, 東京大学海洋研究所シンポジウム.

o30) 原島省, 辰田裕, 若林孝, 利安忠夫, 坂本重次, 萩原富司 (1996): 日韓・瀬戸内海フェリーによる 1991-1995 年の栄養塩時系列, 日本海洋学会 1996 年度春季大会講演要旨, 332-333.

o31) 原島省 (1996): フェリー時系列による海洋生態系変動の研究, 国立環境研究所所外研究発表会講演要旨, 12-16.
o32) 原島省 (1996): 定期航路連続観測と衛星データによる海洋環境指標の時空間変動に関する研究, 関西水圏研究機構公開シンポジウム「水域生態系変化のモニタリングデザイン」講演要旨, 30-53.
o33) 原島省, 紀本岳志, 若林孝, 利安忠夫, 坂本重次, 津田良平, 田中祐志, 古沢一思 (1997): 瀬戸内海に現れる pH ホール, 日本海洋学会 1997 年度春季大会講演要旨, 326.
o34) 原島省, 古澤一思, 鵜澤聡 (1998): 日本ーマレーシア定期航路による海洋環境モニタリング (1), 日本海洋学会 1998 年度春季大会講演要旨, 234.
o35) 原島省, 紀本岳志, 田中祐志, 若林孝, 古澤一思, 杉岡伸一 (2000): 瀬戸内海のシリカ欠損, 日本海洋学会 2000 年度春季大会講演要旨, 157.
o36) 原島省 (2000): フェリーによるモニタリングの現状と課題, 沿岸海洋シンポジウム「沿岸内湾域における長期モニタリングの方向性」, 日本海洋学会 2000 年度春季大会講演要旨, 333.
o37) 飯高弘, 中野洋, 土井卓也, 斎藤俊幸, 佐藤宗純, 藤縄幸雄 (1999): 海洋リモートアクセスステーションの研究開発, 海洋理工学会平成 11 年度春季大会講演要旨集, 71-72.
o38) 飯高弘, 土井卓也, 中野洋, 斎藤俊幸, 佐藤宗純, 西山勝男, 藤縄幸雄 (2000): 地球環境計測のための海洋リモートアクセスステーションの研究開発, 環境技術研究総合推進会議第 4 回研究発表会講演要旨集, 37-38.
o39) 飯高弘, 土井卓也, 中野洋, 斎藤俊幸, 佐藤宗純, 西山勝男, 藤縄幸雄, 日下祐三, 原島省, 齊藤幸賢 (2000): 海洋リモートアクセスステーションの研究開発(その 2), 海洋理工学会平成 12 年度春季大会講演要旨集, 41-42.
o40) 紀本岳志, 原島省 (1993): 日韓フェリーによる海水溶存二酸化炭素の高密度連続観測, 日本海洋学会 1993 年度春季大会講演要旨集, 336.
o41) 紀本岳志, 尾関徹, 原島省 (1995): フェリーによる溶存有機物質の観測と炭素循環, 日本海洋学会 1995 年度春季大会講演要旨集, 323.
o42) 紀本岳志, 田中祐志, 津田良平, 古沢一思, 原島省 (1996): フェリーによる連続観測結果とプランクトンサイズモデル, 日本海洋学会 1996 年度春季大会講演要旨集, 337.
o43) 功刀正行、原島省、藤森一男、中野武 (1996): 定期フェリーを用いた海水中有害化学物質の高密度観測、日本分析化学会第 45 年会、同講演要旨集, 129
o44) 功刀正行, 原島省, 藤森一男, 中野武 (1997): フェリーによる有害化学物質の高密度観測, 日本海洋学会 1997 年度春季大会講演要旨, P134.
o45) 功刀正行 (1997): 海の働きと海洋汚染, 日本学術会議第５回「環境と化学」講演会.
o46) 功刀正行, 原島省, 藤森一男, 中野武 (1998): ボランタリー観測船を用いた海水中有害化学物質の高密度観測(III), 日本化学会第 74 春季年会, 同講演予稿集.
o47) 功刀正行, 原島省, 藤森一男, 中野武 (1998): 定期フェリーを用いた海水中有害化学物質の高密度観測(IV), 第 59 会分析化学討論会, 同講演要旨集.
o48) 功刀正行 (1998): 複雑系としての地球環境問題, 第 7 回湘南ハイテクセミナーー研究開発と分析技術ー.
o49) 功刀正行, 原島省, 藤森一男, 中野武 (1998): 定期フェリーを用いた海水中有害化学物質の高密度観測(V), 日本分析化学会第 47 年会, 岐阜, 同講演要旨集.

o50) 功刀正行, 原島省, 藤森一男, 中野武 (1999): 定期フェリーを用いた海水中有害化学物質の高密度観測(VI), 日本分析化学会第 48 年会, 同講演要旨集.

o51) 功刀正行 (2000): 海の働きと海洋汚染, 第 5 回環境テクノス研究会.

o52) 功刀正行, 原島省, 藤森一男, 中野武 (2000): 定期フェリーを用いた海水中有害化学物質の高密度観測(VII), 日本分析化学会第 49 年会, 同講演要旨集.

o53) 中野洋, 斎藤俊幸, 土井卓也, 飯高弘, 西山勝男, 佐藤宗純, 藤縄幸雄, 原島省, 齊藤幸賢 (2000): 定期航路船舶を用いた植物プランクトン顕微鏡画像撮像システムの研究開発, 海洋理工学会平成 12 年度春季大会講演要旨集, 37-38.

o54) 斎藤俊幸, 飯高弘, 中野洋, 土井卓也, 佐藤宗純, 藤縄幸雄, 原島省, 齊藤幸賢 (2000): フロー型レーザ蛍光顕微鏡による植物プランクトンの連続計測法の開発, 海洋理工学会平成 12 年度春季大会講演要旨集, 39-40.

o55) 田中茂, 樫山昭彦, 原島省 (1993): 日韓フェリー航路における生物起源イオウ(DMS)の濃度分布, 日本海洋学会 1993 年度春季大会講演要旨集, 340-341.

o56) 田中祐志, 津田良平, 原島省 (1993): レーザー光ファイバーセンシングによる植物プランクトンサイズスペクトルの空間分布, 日本海洋学会 1993 年度春季大会講演要旨集, 339.

o57) 田中祐志, 津田良平, 紀本岳志, 原島省 (1995): フェリーによる植物プランクトンのサイズスペクトルと環境諸要因の観測, 日本海洋学会 1995 年度春季大会講演要旨集, 324.

o58) 塚本英史, 境田太樹, 香西克俊, 川村宏, 柳哲雄, 原島省 (1995): 衛星画像を用いた沿岸海域モニタリング(1) 瀬戸内海の水温分布の季節変動, 1995 年度日本海洋学会春季大会, 244-245.

o59) 塚本英史, 柳哲雄, 原島省 (1996): フェリー連続観測による瀬戸内海の水質の分布と季節変動(1), 日本海洋学会 1996 年度春季大会講演要旨集, 330-331.

o60) 若林孝, 原島省 (1998): フェリーによる海洋モニタリングの現状, 平成 10 年度日環協・環境セミナー全国大会要旨集, 34-37.

o61) 山本雅一, 津田良平, 今尾和正, 紀本岳志, 原島省 (1996): 瀬戸内海における植物プランクトンのサイズスペクトル, ーフェリーによる 1 カ月連続観測ー, 日本海洋学会 1996 年度春季大会講演要旨集, 336.

C. データベース

(1991-1997 年分のデータは CDROM に格納し、CGER データベースとして内外に公開した。)

d1) Harashima, A. (ed.) (1995): Collected data of high temporal-spatial resolution marine biogeochmical monitoring from a Japan - Korea Ferry (June1991-February 1993) (CDROM), CGER-D007(CD)-'95, NIES-CGER.

d2) Harashima, A. (ed.) (1997): Collected data of high temporal-spatial resolution marine biogeochmical monitoring from ferries in the east Asian marginal seas (April 1994 - December 1995) (CDROM), CGER-D012(CD)-'97, NIES-CGER.

d3) Harashima, A. (ed.) (1999): Collected data of high temporal-spatial resolution marine biogeochmical monitoring from ferry tracks: Seto Inland Sea (Jan. 1996 - Nov. 1997) and Osaka-Okinawa (Jan.1996 - Mar. 1998) (CDROM), CGER-D021(CD)-'99, NIES-CGER.

D. 報告書

r1) Harashima, A. (1993): High frequency marine biogeochemical monitoring from a Japan-Korea Ferry, -1991 Results-, Reports on Global Environmental Monitoring, 1993, pp.20-30, NIES-CGER.

r2) Harashima, A. (1995): High temporal/spatial resolution marine biogeochemical monitoring from a Japan-Korea Ferry, -1992 to 1993 Results-, Monitoring Report on Global Environment, 1994, pp.13-50, NIES-CGER..

r3) Harashima, A. (ed.) (1998): Proceedings of the Meeting toward the Cooperative Marine Environmental Monitoring in the Asian Marginal Seas (CoMEMAMS Meeting), January 1998, Tokyo, NIES-CGER.

r4) Harashima, A. (ed.) (2000): Proceedings of the 2nd CoMEMAMS Meeting, November 2000, Tokyo, NIES.

Marine environmental monitoring and related studies using ferry boats
- History and synthesis of the products -

Akira HARASHIMA* and Masayuki KUNUGI*

*National Institute for Environmental Studies

Abstract: Since 1991, we have been carrying out a marine monitoring program in the coastal or marginal seas by deploying flow-through measurement systems to the continuous seawater intake system the ships of opportunity such as ferry boats to get the temporal/spatial variation of marine environmental variables with high resolution. Main purposes are the detection and the evaluation of the effects of the anthropogenic impacts, the development of monitoring methods. The tracks and the monitoring periods of the ferries were,

Line-1: Kobe (Japan) - Seto Inland Sea - Tsushima Strait - Pusan (Korea), 1991 - 1993,

Line-2: Osaka (Japan) - Seto Inland Sea - Beppu (Japan), 1994 - 2000,

Line-3: Osaka (Japan) - Okinawa (Japan), 1994 - 1998.

As the extension of this program to the Asian waters, we also used container ships, whose route was Line-4. Japan – Hong Kong – Singapore – Port Kelang (Malaysia).

Main monitoring variables were shown as follows. The seawater was taken with the automated filtration samplers for analyzing dissolved inorganic nutrients and phytoplankton pigments in the laboratory (Lines-1 and 2) and the water temperature, salinity, pH and *in vivo* fluorescence were measured by *in situ* electrical sensors (Lines-1, 2, 3). On Line-4, seawater was sampled manually for analyzing dissolved inorganic nutrients and carbon biomass with respect to the taxonomic groups and size fractions of phytoplankton by the investigator or the crews of the ships. Several other observations were tried using the advantages of using ferries.

This report contains 15 papers, which are hereafter referred to as Paper-1 (this paper), and so on.

Paper-1. Marine Environmental Monitoring and Related Studies Using Ferry Boats
- Description of the decade experience and synthesis of the products -

Paper-2. Technical points in designing and maintaining the unattended marine environmental monitoring system deployed on ferryboats

Paper-3. A model ship experiment on the original depth of the sea water taken for the monitoring system deployed on ferryboats

Paper-4. Inter-comparison between the ocean color from satellite mapping and the *in vivo* fluorescence from ferry monitoring

Paper-5. Advancement in the online evaluation of the health of the sea and the detection of plankton using ship of opportunity

Paper-6. Development of a flow-through measurement of pCO_2 with high time response and its application to the observation on the ferry

Paper-7. Temporal/spatial variation of nutrients and silica deficit revealed by the monitoring on ferry

boats

Paper-8. Method of phytoplankton analysis using ferries for evaluation of marine environmental quality

Paper-9. Measurement of size spectra of phytoplankton by a bio-particle counter

Paper-10. Measurement of Biogenic Sulfur Compounds in the Marine Environment

Paper-11. Observation of the marine environmental change before and after the passage of a typhoon

Paper-12. Observation of marine pollution with hazardous chemicals using ferries

Paper-13. Monitoring of organotin species in seawater of the Seto Inland Sea, Japan by using a ferry Boat

Paper-14. Comprehensive monitoring of the Seto Inland Sea to detect the global change

Paper-15. Possibility of a short-term prediction model using biogeochemical data obtained by ferry monitoring

Results are summarized and synthesized as follows.

i) From the time series of nutrients, the deficit of silica (DSi: dissolved silicate) relative to dissolved inorganic nitrogen (DIN) was revealed in Osaka Bay (Paper-7). This tendency is presumed to favor the non-diatom species than the diatom species and affect the basis of marine ecosystem.

ii) Owing to the newly developed sampling method, the endocrine disrupters such as the pesticides (Paper-12) or organotins (Paper-13) were detected and their temporal variation was remarkable possibly because of the sporadic transport by the atmospheric movements from the remote area.

iii) Developments of new sensing methods combined with the use of ferry are promising. The measurement system of pCO_2 of seawater with new type of equilibrator revealed its conspicuous distribution, whose spatial scale is smaller than those obtained hitherto (Paper-6).

iv) Based on the model experiments, the depth of the origin of the seawater taken continuously by the ferry was relatively shallow (within 1 meter from the surface) even if the intake is at 5 to 6 meters from the sea surface (Paper-3).

v) To send *in situ* data to laboratory via satellite data transmission system proved to be promising in the context of online monitoring and short-term prediction of marine environmental change in the future (Papers-5, 15).

vi) The biological parameters such as the composition of taxonomic groups or size fractions of phytoplankton are useful for the evaluation of marine environment (Paper-8). Particularly, the new method such as the equipment of bio-particle counter to the ferry platform will be effective (Paper-9) when it is introduced onto the ferry. Also, the measurements of chemical compounds such as the biogenic sulfur compounds will be efficient on the ferry because it depends on the phase of blooms (Paper-10).

vii) Another advantage of using ferry is that the attended investigation of particular short-term phenomena can be carried out adjusting the advance of the phenomena such as the occurrence of blooms (Paper-15) or the passage of the typhoon (Paper-11) as well as the wide time/space spectra of the phenomena can be identified by processing *x-t* diagram of the parameters from unattended sensor measurements (Paper-1).

viii) The techniques of investigations based on the ferries are accumulated in the experience for these 10 years (Papers-1, 2) and will be useful for the other organizations to initiate marine environmental

monitoring program. Nowadays, similar monitoring program based on ferries has been started, e.g., by Korea Ocean Research & Development Institute (1998 - ongoing) or planned, e.g., by the EU countries as "European Ferry Box Program" and recognized as an appropriate method universally. Use of the ferry will be more effective if it is combined with the other platforms such as the satellite (Paper-4) or the fixed monitoring stations (Paper-14).