

D-3 衛星可視域データのグローバルマッピングによる広域環境変動に関する研究

(3) 衛星可視域データによる広域海洋環境の指標化に関する研究

研究代表者	国立環境研究所	原島省
環境庁 国立環境研究所		
地球環境研究グループ		秋元肇
	海洋研究チーム	原島省・功刀正行
地域環境研究グループ	海域保全研究チーム	木幡邦男
水圏環境部		渡辺正孝
(委託先)	近畿大学農学部水産学科	津田良平・田中祐志

平成2-4年度合計予算額 25,995千円

[要旨]

海洋環境パラメータのうちで、植物プランクトンバイオマス量は、クロロフィル等の光学的性質により、衛星観測や海域における連続計測といった土俵にのせることができるが、衛星によるクロロフィルデータを環境変動の評価に用いるためには、検証用の現場計測データが必要である。また、地球環境の変動の評価には、長期時系列をとることが重要であるが、衛星データには雲による欠測がある。さらに、衛星によるクロロフィル推定値と、現場海洋での環境要素の関連を明らかにするためにも、海洋を頻繁にかつ長期間継続してスキャンできるプラットフォームおよびセンシング技術が必要となる。

このような経緯で、民間定期航路の連続取水系（インテイク）を用いて生物地球化学パラメータをモニターする方策を検討した。1991年より、蛍光光度（植物プランクトンのクロロフィル量をほぼ代表する）、pH等の連続計測と、栄養塩の自動サンプリングを、地球環境研究センターの日韓フェリーモニタリング業務として実行に移した。本推進費では、さらに同インテイクを用いて、プランクトンバイオマス組成、サイズ組成計測を行い、レーザーセンシング手法の開発、溶存二酸化炭素分圧（ pCO_2 ）の計測等の計測の高度化、詳細化をはかった。

これらのデータにより、春と秋の2度、植物プランクトンブルーミング（大増殖）が起こることがわかった。ブルーミング経過とともに、栄養塩は植物プランクトンの吸収により減少する。特に、対馬海峡域の1992年のデータでは、ブルーミング後の窒素の枯渇が、ブルーミングを終了させる制限要因となっていた。比較的栄養塩レベルの高い瀬戸内海東部では、ブルーミング終了後も、ある程度の N_{O3-N} 、 P_{O4-P} 、クロロフィル濃度が保たれていた。このように、クロロフィル濃度は、海洋環境変動をよく反映し、しかも衛星、フェリー連続観測等のモニタリングに供するのでよい指標となるといえよう。初夏（ブルーミング終了時）の植物プランクトン種組成に関しては、瀬戸内海東部で渦鞭毛藻の割合が高く、対馬海峡域でピコプランクトンの割合が高かった。これらの差異は、海域の各栄養塩レベルの差異を反映している。ただし、このような差異が現れることも、ブルーミングのフェイズに依存しているため、やはりフェリーなどによってクロロフィルの時系列が確保されていることが必須となる。

[キーワード] 植物プランクトンブルーム、種組成、栄養、日韓フェリー、インテイクセンシング

1. 序

炭素、窒素、リンなどの親生物元素の循環は、人間活動の影響によって攪乱を受けており、これらの攪乱分は、最終的には海洋への負荷になっている。また、従来から、海洋が地球環境にはたす役割の重要性が指摘されているが、今日的に集約されるべき目標としては、次の2点があげられるだろう。1点は、生物化学過程を明らかにすることに資するデータ取得体制を確立することであり、もう1点は、Ocean Margin Processes、すなわち、広域海洋のうちでも、大陸棚など、大洋と陸域の相互作用が強く、生物化学的反応の強い海域での時空間変動を重点的に把握することである。

広域海洋においては、10年程度以上の時間スケールをもってあらわれる人為影響とともに、数日の時間スケールをもつ植物プランクトンブルーム、さらに様々な時間スケールをもつ自然由来の変動も顕著である。これらの変動は、それぞれの空間的ひろがりをもっている。したがって、海洋の生物化学量 (biogeochemical parameters) の時空間変動を把握する必要がある。

2. 研究の目的

生物化学量のうち、衛星データあるいは長期モニタリングといった土俵にのるパラメーターを指標として組織的に計測し、これに基づいて、海洋環境変動を評価する必要がある。生物化学量のなかで、植物プランクトンバイオマス量はクロロフィル等の光合成色素で代表され、栄養塩濃度、鉛直混合、湧昇等の環境要素を反映する。しかも、近年の海水色リモートセンシング技術の発展により、衛星によるマッピングが可能である。したがって、クロロフィル量を組織的、系統的に計測し、これを指標として、海洋環境変動を把握することが有効である。ただし、衛星のデータは、あくまでも海面から放射された電磁波強度からの推定値である。また、雲量が少ない時にのみ計測可能であるから、時系列としての連続性は期待できない。このようなことから、衛星以外のプラットフォームを確立する必要がある。そして、現場の海洋環境時空間変動と衛星取得クロロフィルとの関連を明らかにし、双方の結合によって海洋環境変動を推定する方法を整理する必要がある。

3. 方法

3-1 フェリーによるモニタリングシステムの概念設計

一般に船舶は、船底に機関冷却用の取水系 (インテイク) をもっている。表層海水にかぎれば、反復性、頻度、長期変動把握の点で、試験研究専用船にくらべてボランティア観測船 (VOS) が有利である。特に、植物プランクトンのブルームの時間スケールが数日であることを考えると、これ以上の頻度が必要となる。また、常時モニタリングデータが存在することにより、単発でおこなわれることの多いプロセス研究においても、取得データが季節変動のどのフェイズでの観測結果であるかの位置づけができる。しかも、任意の調査者が乗船して観測をするために、客船がベースであることが有利である。また、定期客船のほうが、貨物船、タンカーなどに比べ、喫水深度が安定している。

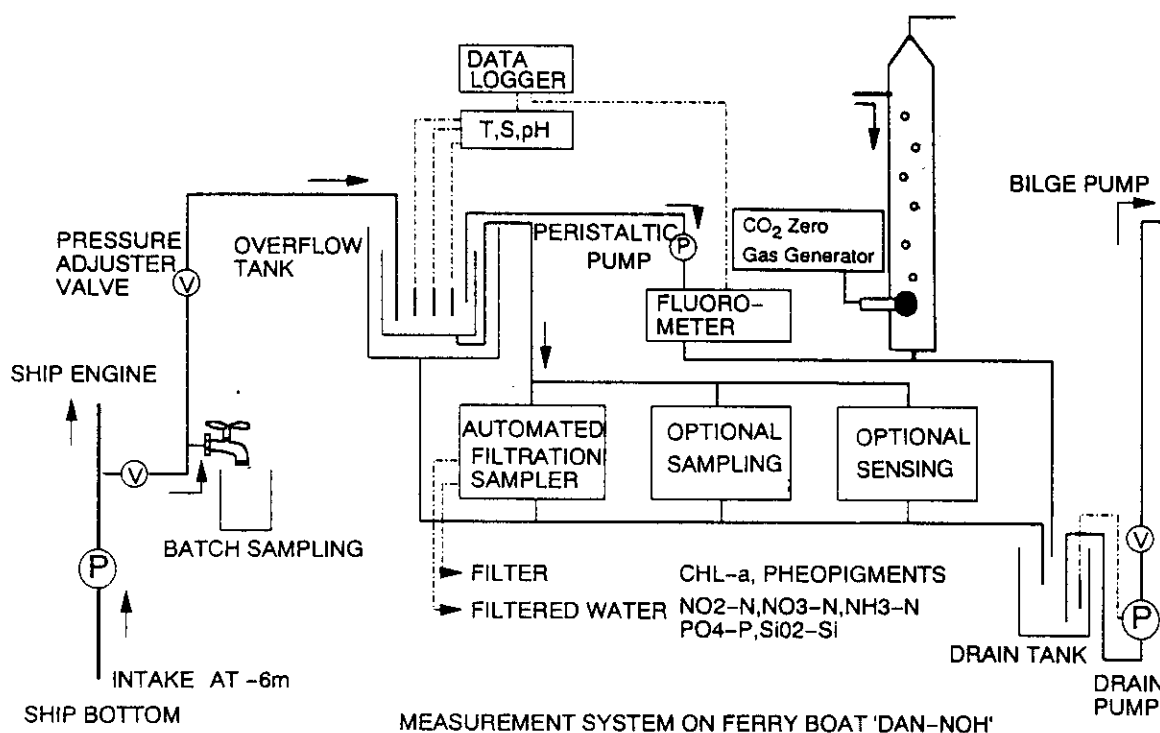
また、計測されるべきパラメータは、植物プランクトンバイオマスを代表する量として、クロロフィルがあげられ、さらに、植物プランクトンの増殖と相互相関のある溶存態栄養塩が必要である。これら

の生物地球化学量は、離散的でなく、水温、塩分、pHなどと同様に、可能なかぎり、センサーによる連続計測が好ましいし、最低限、無人サンプリングが必須である。クロロフィル量は、蛍光を発するので、蛍光光度計による連続計測が可能である。ただし、蛍光光度は、クロロフィル量と相関をもつものの、一意的な対応関係があるわけではいから、濾過により海水から分離した粒子状物質からの分析によるチェックが必要である。同時に濾過された海水から、溶存態の栄養塩 ($\text{PO}_4\text{-P}$, $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ および溶存態のSi) をサンプリングし、分析に供することが必要である^{1), 2), 3)}。

さらに、海水の生物地球化学量の計測手法に関しては、今後とも技術の高度化をはかる必要がある。このためには、無人常時計測とは別に、有人調査時の任意計測用のサンプリング口が有効である。

以上のような条件を考慮し、図1に示すような、計測システムの概念設計を行い、国立環境研究所地球環境研究センターのモニタリング事業として、平成3年度に機器開発を行った。システムの詳細は文献⁷⁾に示した。本推進費では、概念設計とともに、出力データの解析結果を述べる。

図1. フェリー搭載型モニタリングおよび任意計測、サンプリングシステムの概念設計 (文献⁷⁾から修正採録)



3-2 航路の選定

序にのべたように、ocean margin process に重点をおくという観点から、大阪国際フェリー(株)の協力により、日韓定期航路(釜山-神戸間)の「檀皇」にモニタリングシステムを平成4年3月に設置し、6月からモニタリングを実行した。この航路の選定は人為影響の強い瀬戸内海域と、外洋陸棚性である

対馬海峡域を同一のセンサーで計測できる。また、対馬海峡域には、漸次アジア域の人為影響が加わりつつあるという点も重要である。

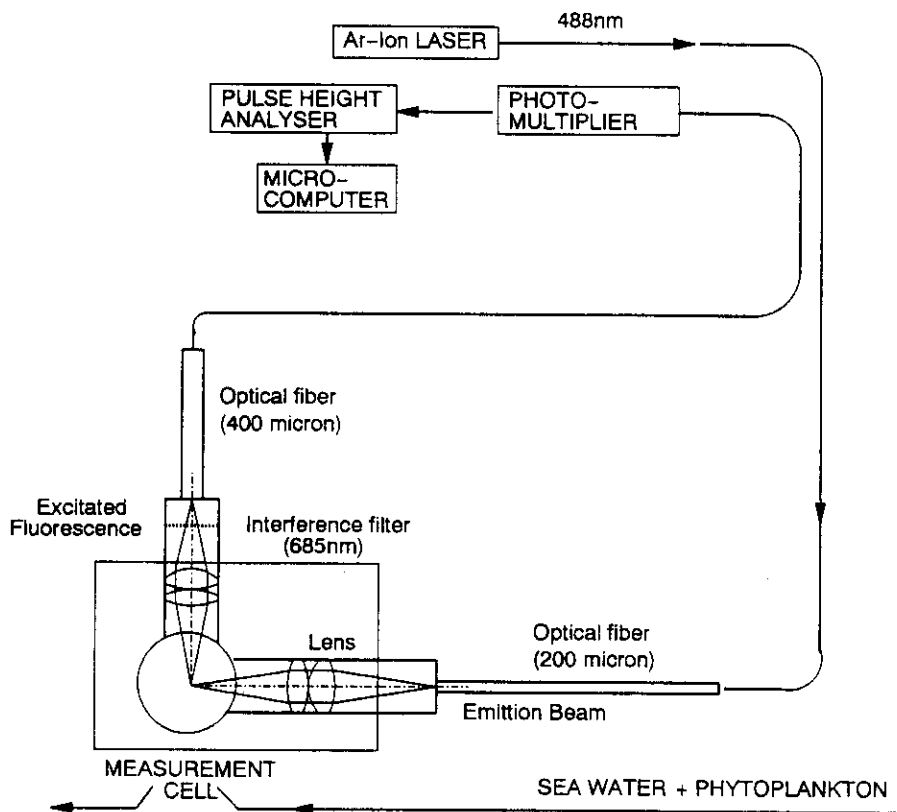
3-3 インテイク（連続取水）型センシングの高度化

環境変動の記述のためには、栄養塩量や、図1に示したターナー蛍光光度計による植物プランクトンバイオマス量の巨視的な量の他に、プランクトンの分類群別バイオマス量、プランクトンサイズ別バイオマス二酸化炭素分圧（ pCO_2 ）などの詳細なデータが必要である。そして、これらの量については、

フェリー等船舶のインテイクに適合したセンシング手法を開発確立する必要がある。

この一環として、レーザーを利用した植物プランクトン粒子サイズ組成分布の計測手法の開発を行った（近畿大学への委託研究）。図2に示すように、海水のバッチサンプルあるいは、連続通水をしている計測セルに、グラスファイバーを経由してアルゴンレーザーをあてる。レーザー

図2. レーザー利用の植物プランクトン粒子サイズ組成の計測装置の概念図 (Tsuda et al. (1991)¹⁸による)



ビームが個々の植物プランクトン粒子ににあたるごとに、粒子に含まれるクロロフィル量に応じた強さの蛍光が励起される。（非生物性の粒子からは、蛍光は発せられない）。この信号をフォトマルで受け、パルス強度を信号処理することにより、粒子サイズの組成が得られる。

本推進費では、平成3年度に、本計測手法によるサイズの限界値の検討を中心とした室内実験と、フェリー観測の際のバッチサンプルの計測実験を行った。平成4年度には、フェリーの取水系から連続通水したセルによる計測の試験を行った。さらに、平成5年度は、連続スペクトルを持つハロゲンランプを光源に使い、海水に含まれる植物プランクトンの含有光合成色素による吸光度スペクトルを計測するシステムを開発した^{13), 17), 18)}。

また、連続取水系に適合した海水溶存二酸化炭素分圧の計測手法開発を、海洋化学研究所（財）と共同で行った^{4), 15)}。従来、シャワー型の平衡器により、海水の二酸化炭素分圧に作業気体の二酸化炭素

分圧を平衡させ、この作業気体の赤外吸収をNDIRで計測する方法が一般的であった。ところが、内湾、陸棚海域等では、植物プランクトンのパッチネス（斑状分布）が顕著であるため、より応答の速い平衡器が必要になる。本研究では、シャワー型のかわりに、図1中に示すように連続通水カラムの中に作業気体を気泡にして入れ、これによって気液間の平衡を得るような型の装置を開発、試験計測を行った。

3-4 フェリー乗船調査

本研究においては、以上の考えに基づいて、日韓フェリーのインテイクを利用し、1991年から1993年にかけての6回の乗船観測（表1参照）をおこなった。この、2-3で述べた計測手法により、レーザーを用いた植物プランクトンサイズスペクトルの計測手法を検討した。また、海洋化学研究所（財）との共同により、インテイクに適したpCO₂計測手法を開発し、日韓フェリーにおいて計測の実験を行った^{13), 17), 18)}。また、慶応大学との共同により、ディメチル化合物を中心とした生物起源イオウの計測を行った¹⁴⁾。これら結果と、モニタリングデータを照合し、植物プランクトンバイオマス関連のパラメータがどのような形で海洋環境変動の指標となるかを調べた。

表1. フェリー乗船調査

1991年3月	モニタリングシステム稼働試験、 プランクトン種組成分析 プランクトン粒子レーザー計測
1991年6月	モニタリングシステム改良稼働試験 プランクトン種組成分析 プランクトン粒子レーザー計測 海水溶存ディメチル化合物計測
1991年12月	プランクトン種分析 プランクトン粒子レーザー計測 韓国海洋研究所との共同観測（栄養塩、HPLCによる光合成色素分析） 海水溶存ディメチル化合物計測
1992年3月	海水溶存CO ₂ 計測装置試験
1992年7月	プランクトン種分析 プランクトン粒子レーザー計測 海水溶存CO ₂ 計測 韓国海洋研究所との共同調査（栄養塩、HPLCによる光合成色素分析） 海水溶存ディメチル化合物計測 ¹⁴⁾
1993年2月	プランクトン種分析 ¹²⁾ プランクトン粒子レーザー計測 ^{13), 17), 18)} 海水溶存CO ₂ 計測 ^{4), 15)}

4. 結果および考察

4-1 分析クロロフィルとクロロフィル蛍光の比較

植物プランクトンクロロフィルaは、(a)衛星による海面可視光（海水色）、(b)ターナー蛍光光度計

出力 (*in vivo* fluorescence) および、(c)ろか物の有機溶媒抽出液の分析値の、3手法による表現がある。(a)と(b)は間接値であり、プランクトン種組成の差異、溶存有機物濃度、その時の入射光の状態などにも影響される。このうち、(b)が(c)をどのように表現しているかを、1992年のモニタリングデータをもとにして検討した。

(c)によるクロロフィルaの分析値、クロロフィルの分解生成物であるフェオフィチンの分析値ともに、それぞれ、通年で(b)と0.8程度の相関をもっていた。ただし、(c)は、1週間間隔でフルオレッセイン(蛍光色素)標準液による校正を行い、計測セル汚染によるセンサー出力ドリフトを補正した後にフルオレッセイン濃度換算の単位であらわしたものである。図3は、1992年5月27日の観測の(クロロフィルa+フェオフィチン)の(c)による分析値を横軸に、(b)による計測値を縦軸にとったものである。海水中の植物プランクトン濃度が比較

的高いと、植物プランクトンが蛍光を発する効果だけでなく、後ろに位置する植物プランクトンの蛍光を遮蔽する効果(self shading effect)がある。この効果を考慮し、簡単な理論式をたてると、計測される蛍光光度Fは、航路長 l 、植物プランクトン密度 n 、個々のプランクトン粒子の蛍光量 f 、植物プランクトン1個あたりの遮蔽による光減衰計数 μ により、 $F = \int_0^l \rho^l e^{-\mu x} f n dx = (f/\mu)[1 - e^{-\mu l}]$ であらわされ、あるに n 漸近する指数曲線であることが予測される。図3により、予測どおり、リニアな相関ではなく、指数曲線上の相関であることが確認できた。

この他にも、(b)と(c)が乖離することはあるが、プランクトン種組成の差異、溶存有機物濃度の他に、(c)があるパッチサンプルの平均値を表現しているのに対し、(b)は時空間変化に追随しているという要素も反映していることによると考えられる。したがって、パッチネスの存在のもとでは、離散的な分析値のみでは不十分であり、少々の不確定性はあっても、本目的のためには連続取水系において(b)の方法をとるのが最適である。

4-2 栄養塩と分析クロロフィルの季節変動

1992年の栄養塩と分析クロロフィルの季節変動を対馬海峡域(図4)と東部瀬戸内海(図5)について示した。基本的に瀬戸内海東部のほうが栄養塩濃度が高く、これを反映して植物プランクトンバイオ

図3. 有機溶媒抽出分析による(クロロフィルa+フェオフィチン、横軸)とターナー蛍光光度計出力(縦軸)との関連、曲線は簡単な理論式から導かれる指数曲線をデータにフィットさせたもの。
単位は $\mu\text{g/l}$

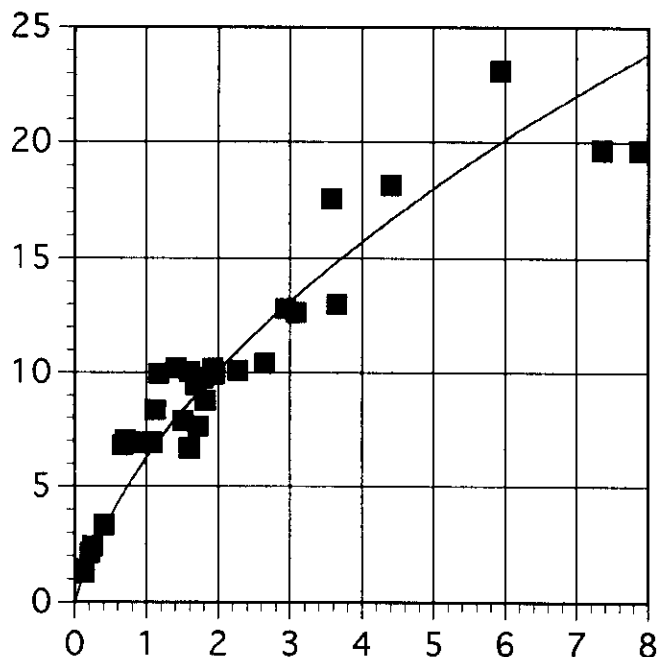


図4. 対馬海峡における1992年のクロロフィルa (左上)、NO₃-N (右上)、溶存Si (左下)、PO₄-P (右下)の季節変化、横軸は、1月1日からの積算日数を表す。深度は-6m (フェリー喫水深度)。

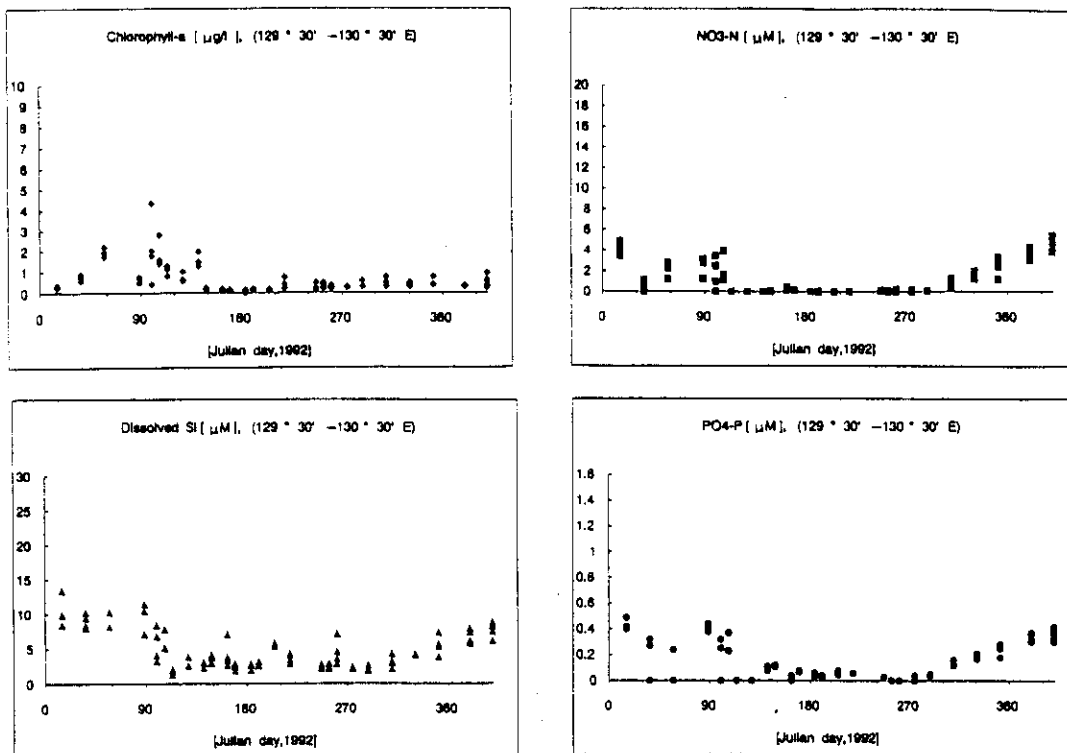
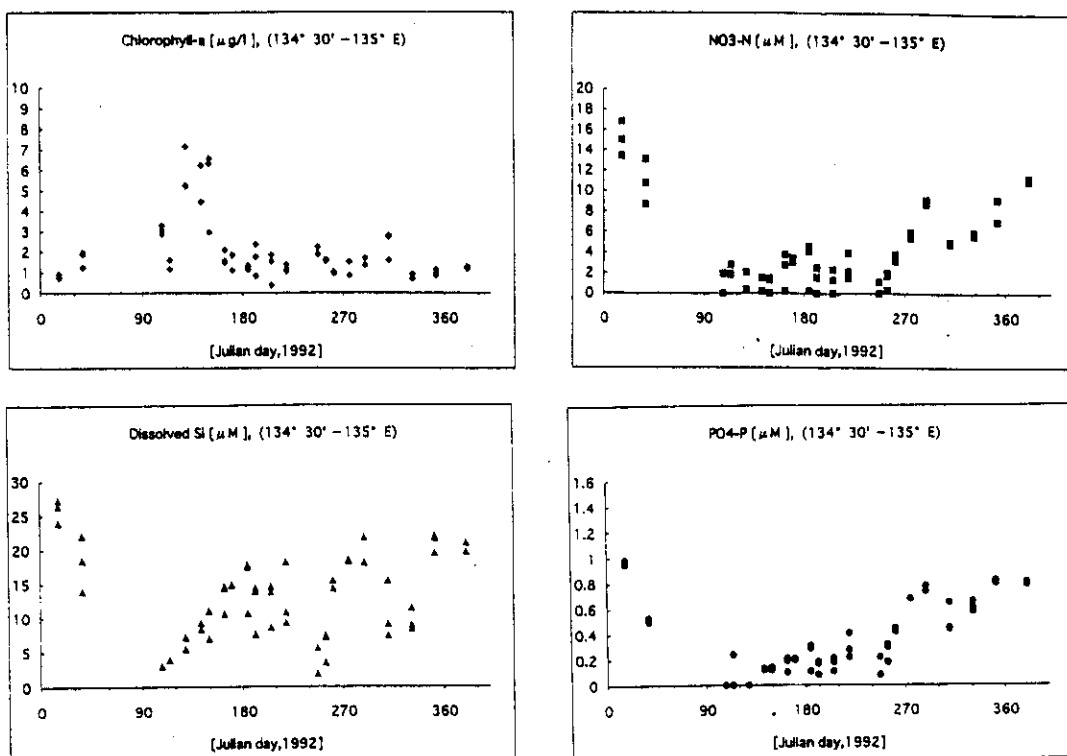


図5. 瀬戸内海東部におけるクロロフィル、栄養塩の季節変化



マス濃度（クロロフィル濃度）も高かった。ただし、春秋2度のブルーミング時に高くなり、盛夏では減少するなど、時間変動が顕著であった。

対馬海峡域では、5～10月に、NO₃-Nが枯渇していた。4月に顕著だった春季ブルーミングは、このN制限によって終了すると考えられる。溶存SiやPO₄-Pも減少するが、NO₃-Nほど原著な枯渇は示さなかった。東部瀬戸内海の比較的栄養塩の高い海域では、5月にクロロフィル量が極大を示し、春季ブルーミングに達し、それから落ち込むが、対馬海峡域と異なり、NO₃-NやPO₄-Pは増殖制限まで落ち込んではいなかった。クロロフィル量も盛夏に落ち込んだ時にも、1～2 μg/l程度の値が維持されていた。図4、5には、離散サンプリングによるクロロフィル（方法(c)）を示したが、クロロフィル蛍光（方法(b)）からは、より頻度の高い時系列の作成が可能である。

4-3. 植物プランクトンのサイズ別、分類群別組成

年次別報告書²⁰⁾中の図3に、1993年7月調査時における、植物プランクトンのサイズ別および分類群（属）別の、バイオマス組成を示した。これによれば栄養塩レベルの高い瀬戸内海東部で、渦鞭毛藻の割合が20%近くに達していた。他の海域においては、概ね珪藻類、微細鞭毛藻類が卓越していた。また、他の季節にも、概ね珪藻類が卓越していたことを考慮すると、ブルーミング終了期でSiが少なくなり、珪藻の増殖速度が落ちてきた時に、なおNやPが吸収可能であると渦鞭毛藻類が出現するという、Smetacek等(1991)の報告に合致する。Si流入が、自然の風化作用に起因するのに対し、NやPは、海底からの溶出や湧昇とともに人間活動による流入にも依存する。したがって、ブルーミング終了期の植物プランクトンの属組成が、海洋環境の評価を行う1つの指標になる。一方、対馬海峡域では、サイズが2 μm以下の藍藻類（シアノバクテリアあるいはピコプランクトン）が、バイオマスの大部分を占めることがわかった¹²⁾。このことは、対馬海峡域が、栄養塩レベルが比較的低いことを示していると考えられる。対馬海峡には、黒潮の分岐流と、東シナ海系の海水の双方が流入していると考えられているため、人為影響も長期にわたって顕在化すると考えられる。今後、分類群別組成を指標にして経年変化を把握してゆく必要がある。

4-4 海水溶存二酸化炭素と環境パラメータ

年次別報告書²⁰⁾中の図3に日韓フェリーの航路上における、海水溶存二酸化炭素分圧（pCO₂）、pH、およびクロロフィル濃度（蛍光光度からの推算）の分布を示した。これによれば、3月にはクロロフィル濃度が全体的に高く、しかも、クロロフィル濃度とpCO₂が逆相関を示した。また、pHとpCO₂も逆相関を示した。これは、3月がブルーミング開始時で、植物プランクトンの活性が高く、光合成によってCO₂を吸収するとともに、pHをさげていたと考えられる。一方、7月には、前述のように、ブルーミングが終了していたためバイオマス濃度が低く、クロロフィルとpCO₂の逆相関は顕著ではなかった。また、pCO₂も全体的に高かった。7月には、燧灘東部にpHが0.1以上低い海域があった。一般的に、海水にはバッファー作用があるため、pHがこれほど低くなることは少ない。このpHが低い海域では溶存pCO₂が高くなり、大気側のCO₂分圧を超えていた。この原因は、今後検討する必要があるが、海底に堆積した有機物が分解し、溶存無機炭素（DIC）濃度をあげ、この海水が潮汐混合で表層に上がり、pHをさげるとともにpCO₂濃度をあげているものと考えられる。

5. 本研究で得られた成果

1)フェリーの連続取水系（インテイク）を利用して生物化学量を、長期間、高空間分解能で計測し、衛星クロロフィルデータと結びつけて海洋変動を把握するシステムの概念設計を行い、地球環境研究センターの日韓フェリーモニタリング事業として実行に移した。平成2年度の機器開発、平成3、4年度の試験モニタリングの結果、ほぼ実行方法が確立し、国内外から理念のおよび技術的な方法論の提示を求められている。

2)インテイク利用の生物化学センシングの高度化をはかった。1つはBPC、すなわちレーザー利用のBio-Particle Counterであり、この装置により、現時点6 μm よりも大きな植物プランクトンについてのサイズ分画が可能なが確認された。この装置のフェリー搭載試験を行い、サイズの大きい粒子の割合は、栄養塩レベルの高い海域で大きいことがわかった。

3)フェリーの蛍光度連続計測データと有機溶媒抽出分析の（クロロフィルa + フェオフィチン）はほぼよい相関を示したが、濃度が大きくなると、自己遮蔽効果（self-shading effects）から予想されるように、リニアな相関からずれて指数曲線状になることがわかった。さらに、蛍光度の連続観測からは、離散的現場サンプリング分析では得られない、植物プランクトンのパッチネスの情報や衛星データではえられない雲の存在下での時系列データが得られ、衛星データをよく補完するものであることがわかった。

4)対馬海峡域では、5~10月に、N03-Nが枯渇する。4月に顕著だった春季ブルーミングは、このN制限によって終了すると考えられる。溶存SiやP04-Pも減少するが、N03-Nほど原著な枯渇は示さなかった。

5)東部瀬戸内海の比較的栄養塩の高い海域では、5月にクロロフィル量が極大を示し、春季ブルーミングに達し、それから落ち込むが、対馬海峡域と異なり、N03-NやP04-Pは夏期を通して枯渇状態になることはなかった。クロロフィル量も栄養塩量を反映し、落ち込んだ時にも、1~2 $\mu\text{g}/\text{l}$ 程度の値が維持されていた。

6)燧灘において、冬期以外の通年で、周囲の海域に比べてpHが0.1以上低い海域が見いだされた。

7)フェリー海水取水系に適合した海水溶存CO₂分圧の計測装置を開発し、早春および初夏に計測を行った。その結果、水温が低いほど、またクロロフィル量が多いほどpCO₂が低いことが確認された。これは、炭酸平衡および植物プランクトンの光合成による。上記の低pH海域では、夏期に特にpCO₂が高くなり、大気側のCO₂分圧を越えていた。これは、海底の有機物が分解し、DIC（溶存無機炭素）となってpHをさげるとともにpCO₂を高めたことによると考えられる。

8)初夏のブルーミング終了期において、植物プランクトンの分類群別組成、サイズ別組成をみると、ほとんどの海域でケイ藻が卓越していたが、東部瀬戸内海では渦鞭毛藻類が20%に達し、また、対馬海峡域では、サイズが2 μm 以下のピコプランクトンが卓越していた。この傾向は、栄養塩のレベルを反映しており、海洋環境の指標になると考えられる。ただし、ブルーミング開始時にはこの傾向は顕著ではなく、この傾向をみるにはクロロフィル量を時系列的にモニターする体制が必要である。

9)以上のように、海洋におけるクロロフィル値は、環境変動の指標として有効である。特に、フェリー等の定期航路船舶の連続取水系の利用が有効であることが示された。今後は、フェリーモニタリングを拡張して将来的なネットワーク化を検討することと、フェリーの喫水深度のみに限定したモニタリングがどのくらいの代表性をもつのかの検討が必要となる。

6. 国際共同研究等の状況

1991年度より、日韓科学技術協定に基づく研究として、KORDI（Korea Ocean Research &

Development Institute、韓国海洋研究所) と共同研究を行った (課題名 : 日韓フェリー船舶による海洋環境のモニタリングに関する研究) 。表 1 に示すように、対馬海峡を中心とした海域における共同海洋調査を実施した。

1993年2月に神戸-釜山間のフェリー運航が廃止となったため、国立環境所が瀬戸内海と太平洋 (大阪-沖縄航路) で新規のモニタリングを開始する。対馬海峡域については、KORDI が独自にフェリーモニタリングを担当する方向で、計画策定中である。

一方、日本側は直接関与はしていないが、アメリカが提唱したLMEs (Large Marine Ecosystems) 計画の一環として、韓国-中国間のフェリーを使った黄海のモニタリングが開始される予定である。1994年に青島でそのためのワークショップが開催される予定で、本研究代表者はexpertとして参加を要請されている。

7. 研究発表の状況

1) Harashima, A. (1993) Continuous marine biogeochemical monitoring by Japan-Korea ferry boat for the validation of ocean color remote sensing., Proc. Environment '93 Symposium on Remote Sensing in Environmental Research and Global Change, 91-104.

2) 原島省(1992) VOS (Volunteer Observation Ship) による海洋環境変動の研究、第2回地球環境研究者交流会議報告書, 130-134, 地球環境研究センター。

3) 原島省(1991)、日韓フェリーによる海洋環境モニタリング(1)、全体計画、日本海洋学会創立50周年記念大会講演要旨、123-124.

4) 紀本岳志、原島省 (1992)、溶存二酸化炭素連続測定法の開発、日本海洋学会1992年度秋季大会要旨、337-338.

5) 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、PIXEL, 1993年3月号, 74-76.

6) 原島省(1993)、海洋観測データとダイナミックスのCG表示、海洋科学, 1993年4月号, 198-204.

7) Harashima, A. (1993) High frequency marine biogeochemical monitoring from a Japan-Korea ferry, -1991 results-, Annual Report on Global Environmental Monitoring, 33-45, Center for Global Environmental Research, National Institute for Environmental Studies.

8) Harashima, A., & Kikuchi, Y. (1990): Biogeophysical remote sensing: A ground truth data base and graphics system for the northwestern Pacific Ocean. EOS, 71, 314-315.

9) Harashima, A. (1991) Remote sensing for modelling of variation in primary production field, Oceanography of Asian Marginal Seas, Elsevier Oceanography Ser., Vol. 58, 75-84.

10) 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.

11) 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.

12) 古沢一思、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.

13) 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.

14) 田中茂、檜山昭彦、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。

- 15) Kimoto, K. and Harashima, A. (1993) High resolution time/space monitoring of the surface seawater CO₂ partial pressure by ship-of-opportunity, Proceedings of 4th International CO₂ Conference World Meteorological Organization, Global Atmosphere Watch Vol. 89, 88-91.
- 16) Harashima, A. *et al.* (1993) A semi-continuous environmental monitoring and associated chemical and biological measurement using seawater intake of Japan-Korea ferry, Abstracts of the Second Annual Meeting of PICES(North Pacific Marine Science Organization), Seattle, 11-12.
- 17) Tanaka, Y., Tsuda, R., and Harashima, A. (1993) *In situ* monitoring and size spectra of phytoplankton via laser-induced fluorescence through an optical fiber on Japan- Korea ferry, Abstracts of the Second Annual Meeting of PICES(North Pacific Marine Science Organization), Seattle, pp. 38.
- 18) Tsuda, R., Kakui, Y. and Kumagai, M. (1991) Analysis of phytoplankton size using optical fiber cables with the laser technique, *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 24, 1088-1090.
- 19) 原島他(1993)衛星可視域データによる広域海洋環境の指標化に関する研究、平成3年度地球環境総合推進費研究成果報告書(II), 128-132.
- 20) 原島他(1993)同上、平成4年度地球環境総合推進費研究成果報告書(III), 133-138.