

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

(1) 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

研究代表者 国立環境研究所 地球環境研究グループ 海洋研究チーム 原島省

環境庁 国立環境研究所

地球環境研究グループ 統括研究官

安野正之

海洋研究チーム

原島省・功刀正行・原田茂樹

地域環境研究グループ 海域保全研究チーム

木幡邦男

(委託先)

近畿大学農学部水産学科

津田良平・田中裕志

平成5年度～7年度合計予算額 35,359千円

(平成7年度予算額 12,056千円)

〔要旨〕 環境への人為影響を解析するためには、現場海域における長期かつ高頻度の時系列が必要になる。このため、定期フェリー航路を利用したモニタリングから、栄養塩の年サイクル変動の解析を行った。さらに、同フェリーの有人計測により、植物プランクトン属性および関連した化学量の特殊項目の観測を行った。この結果、春季のブルーム（大增殖）で卓越するのは基本的には珪藻であるが、夏の栄養塩枯渇時に、海域ごとの出現種の違いが現れることが確認された。この違いは、N,P,Siのどの栄養塩が枯渇するかによる。対馬海峡などの大陸棚海域や富栄養化が進んでいない一般海域では、夏の栄養塩枯渇時に、N,Pが枯渇し、細胞サイズの小さいシアノバクテリアが卓越する。一方、大阪湾などでは、夏にSiが枯渇してNが残る傾向があり、このため卓越種がSiを必要としない微小鞭毛藻や渦鞭毛藻などの非珪藻種へシフトする傾向がある。また、備讃瀬戸など鉛直混合の盛んな領域では、夏季でもN,P,Siなどの栄養塩が完全には枯渇せず、このため、大型珪藻など、ある程度の植物プランクトンが夏を通じて維持されていた。この海域では夏季にpHが低下し、しかも溶存CO₂が高かった。この理由は、底層で有機物が分解し、溶存態栄養塩および無機炭素濃度を高めることによる。

以上のプランクトン種組成の変動は、Siが自然の風化作用で陸から海域に補給されるのに対し、N,Pの負荷は人口増大とともに増加する傾向があることと、珪藻がSiを必要とするのに対し、渦鞭毛藻などの非珪藻種はSiを必要としないことにある。したがって、海域における生物化学量の変動パターンにより、陸からの人為的なN,P負荷が評価できると考えられる（Si枯渇N,P過剰シナリオ）。ただし、珪藻と渦鞭毛藻のどちらが優位になるかは、成層の安定状態にも依存し、風応力等により鉛直混合がより顕著であると、低層からSiが補給され、さらに、鉛直遊泳できる渦鞭毛藻の優位性がくずれることも指摘される。さらに、このような生物化学量の変動は非常に動的なものである。このため、単発の観測では人為影響を評価するために不十分であり、通年・長期間の時系列観測が必要である。したがって、今後、フェリーの海水実測と衛星の相互補完による環境変動評価をより広域に展開してゆくことが重要である。

〔キーワード〕

フェリー、植物プランクトンブルーム、種組成、(N,P)過剰/Si枯渇、pHホール、人為影響

1. 研究の意義と背景

図1は、世界の肥料の生産量の推移の統計であり、人間活動の増大の一端を示している⁴¹⁾。このような長期的な負荷の変動により、地球規模のN、Pなどの物質循環が、本来の自然状態から攪乱を受けていると考えられる。陸域は非常に不均質な系だから、陸域のデータからこれらの攪乱を検知するのはむずかしい。したがって、これらの攪乱分は、最終的にそれらが流入する海洋の変動から評価してゆくことが妥当である。

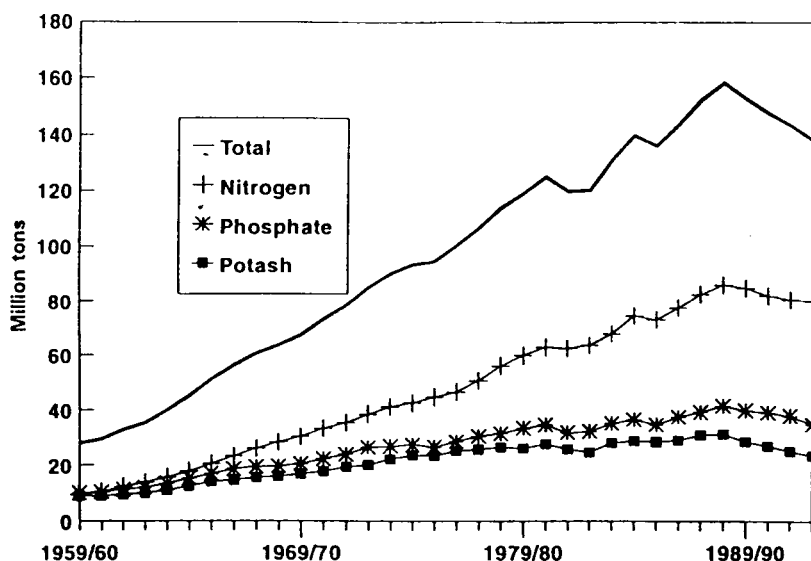


図1 世界の肥料の生産量の推移、FAO, World Fertilizer Yearbookより。

従来、ヨーロッパの沿海における長期モニタリング結果などから次のようなシナリオが提出されていた⁴⁴⁾。珪藻による春期ブルーミングによりSiが消費された後にN,Pが残っていると、夏に渦鞭毛藻による第2ブルーミングが起こる。珪藻と異なり渦鞭毛藻はSiを必要としないからである。海域へのSi負荷が自然の風化によるのに対し、N,P負荷は農業、生活排水、土地利用形態等によるものであり、近年増加の傾向にある。これが海洋生態の基盤に珪藻→非珪藻への長期トレンドをもたらしているという仮説である⁴⁵⁾。

このような生態系変動の極端なものが、従来議論されてきた赤潮現象であるが、現在問題になっているのは、大陸棚浅海域まで含めたより広域な海域で、緩やかに進行する生態系の変動あるいは変質を把握することである。海洋変動には様々な時間スケール、空間スケールをもった変動が重なり合わされているため、少数の離散的な観測や実験だけでは不十分であり、空間的なマッピングおよび長期時系列モニタリングによる環境評価を行う必要がある。

CZCSやOCTSの衛星データによるクロロフィル分布が推定できるようになったことは、以上の必要条件のうちの空間マッピングの条件に合い、この課題のサブテーマ(2)の主題となっている。ただし、N,P,Siなどの栄養塩、植物プランクトン種などの情報は、衛星では得られず、海域での実測をしかも時系列的にしかも空間をカバーして行う必要がある。

2. フェリー 計測手法の開発および発展

以上のような点を考慮すると、フェリーの連続取水系を利用して生物化学量の時系列計測を行うことがブレークスルーとなる¹⁵⁾。1991年3月より、国立環境研究所地球環境研究センターのモニタリング経費により、日韓フェリー（釜山－神戸間、週2往復）の航路を利用して、水温、塩分、植物プランクトン蛍光、栄養塩などの基本項目の計測が開始された^{1),2),3),21),22)}。その後、この航路が廃止になり、可能な限り時系列を延長するため、関西汽船のさんふらわあ2（別府－大阪間、毎2夜で往復）とフェリーくろしお（沖縄－大阪間、週1往復）（図2参照）で1994年からモニタリングが再開された⁵⁾。

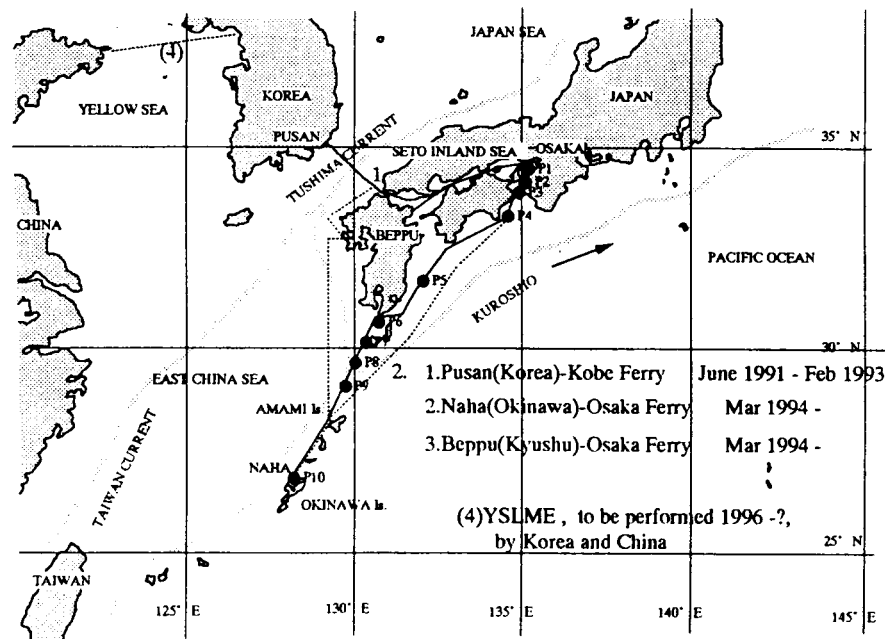


図2. 観測に用いたフェリーのルート図

本地球推進費では、それらの基本項目の画像処理、解析^{10),11),14)}を行うほか、有人乗船調査により、植物プランクトン属性（種組成、レーザー生物粒子カウンターによるサイズ組成）および、海水溶存CO₂分圧の計測、海水の紫外吸収スペクトルによる溶存有機物濃度の計測など、生物化学量の高度計測手法の検討を行った。有人調査航海の一覧を表1に示す。

すでに、国立環境研究所地球環境研究センターの栄養塩、クロロフィルの無人自動計測により、3～5月に春季ブルーム、10月に秋季ブルームが起き、春季ブルームで植物プランクトンによって吸収されるため夏季には栄養塩が枯渇することが確認されている^{2),3)}。本研究では、有人観測の際に、自動モニタリングと平行して、図3中の任意計測の部分に、レーザー生物粒子カウンター^{9),19),24),28)}（図4）、気泡平衡型CO₂分圧計測システム^{4),20),26)}（図5）を設置して、空間的に連続的な計測を行った。また、蛇口の部分から、植物プランクトン同定用のサンプリングを行った^{27),33),36)}。

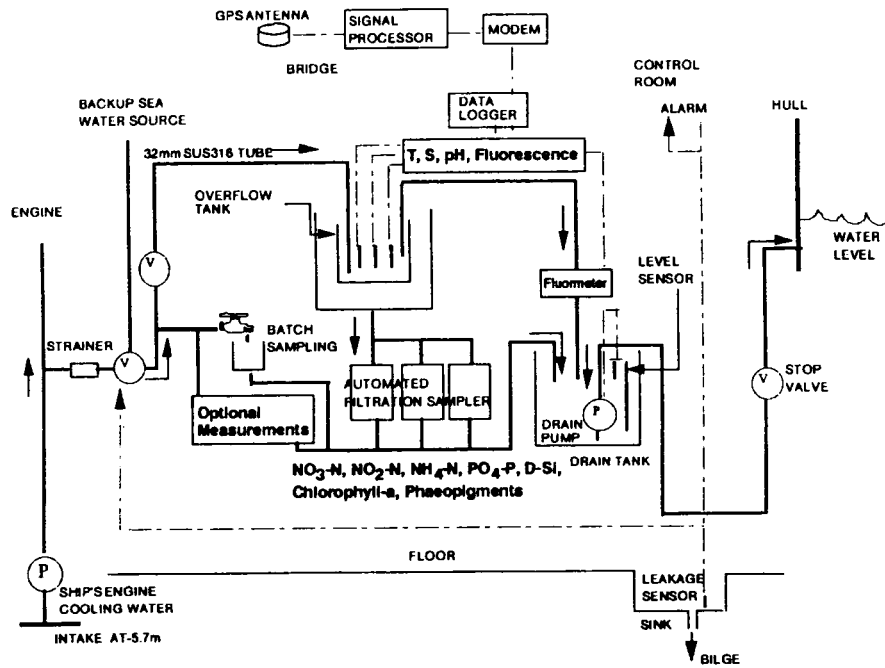


図3 さんふらわあ2（別府-大阪間、毎2夜で往復）に搭載した計測システムのフロー図

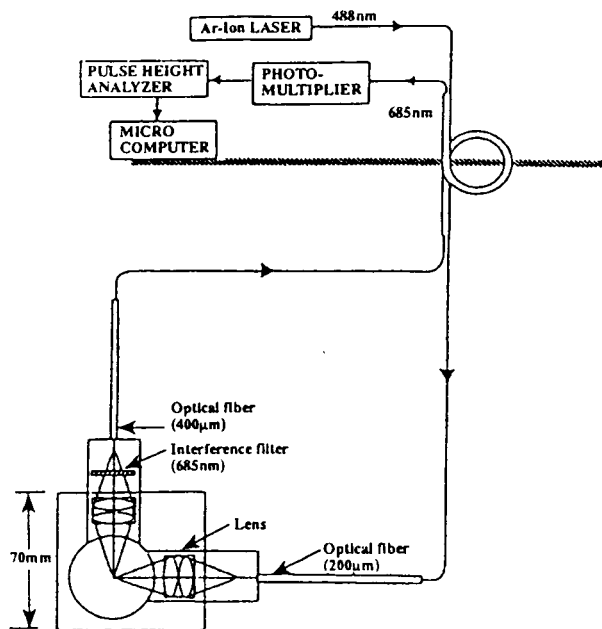


図4 レーザー励起蛍光による生物粒子カウンターの模式図（津田らによる）。

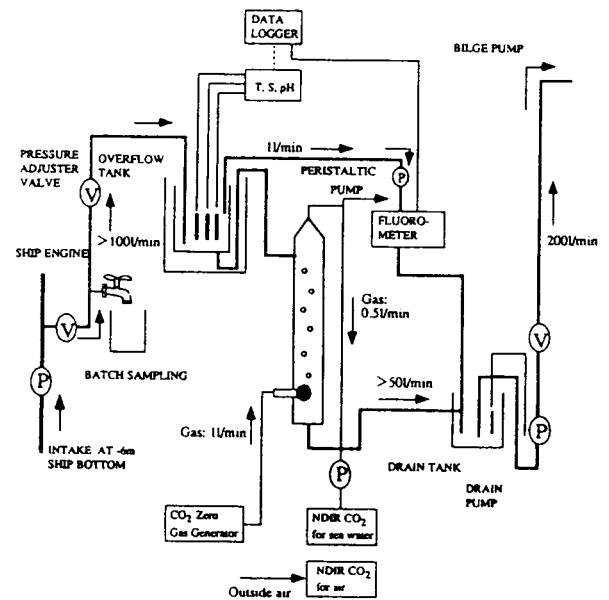


図5 檀皇（日韓航路）、さんふらわあ2（瀬戸内海航路）で用いられた気泡平衡型海水溶存CO2計測装置

Cruise ID	Period			Themes
SF94-1	Feb/01	↔	Feb/03	Initial Check of the System
SF94-2	Mar/01	↔	Mar/03	Phytoplankton taxonomy in spring bloom
				Laser Bio-particle Counter
				pCO ₂ ,DOM-measurement
SF94-3	Jul/08	↔	Jul/10	Phytoplankton time series after spring bloom
				Laser Bio-particle Counter
				pCO ₂ , DOM-measurement
SF95-1	Jun/03	↔	Jul/03	Phytoplankton time series in spring bloom initial phase
				Laser Bio-particle Counter
SF96-1	Mar/01	↔	Mar/31	Phytoplankton taxonomy after spring bloom
				Laser Bio-particle Counter
FK94-1	Mar/10	→	Mar/12	Initial Check of the System
				Phytoplankton taxonomy in spring bloom
FK94-2	Sep/22	↔	Oct/19	Biogeochemical changes due to typhoon passage(IHAS)
FK95-1	Mar/16	→	Mar/18	Phytoplankton taxonomy in spring bloom
				pCO ₂ , DOM-measurement
FK95-2	Nov/02	↔	Nov/07	Measurements of trace chemical compounds (D2)
FK96-1	Feb/29	→	Mar/02	Measurements of trace chemical compounds (D2)

表1 本予算項目による有人調査リスト。右欄は観測の主要目的を示す。また、本 D3予算項目以外の予算項目、地球推進費D2（代表：功刀正之）および、IHAS:名古屋大学大気水圏科学研究所予算（代表：太田啓一）も示す。

また、1996年以降の衛星可視域センサーSeaWiFS、OCTSには、1986年まで稼働したCZCSには存在しなかった短波長（412nm）のバンドが設けられる予定である。これは、溶存有機物（DOM）が短波長の光ほどよく吸収することを利用して、衛星からDOM濃度を推定するために設けられるものである。衛星から推定されるDOMの現場海域での検証の準備も兼ねて、海水の実測によるDOM相対量分布の推定を行うため、SF94-3の航海では、光学セル海水の紫外域吸収スペクトルを計測する試みを行った³¹⁾。

3.空間分布連続計測から見た植物プランクトン組成と化学量の相互作用

観測結果から、植物プランクトンの光合成が高い時には、海水のCO₂分圧と植物プランクトンクロロフィル濃度とは逆相関を示すことが確認された。さらに、光合成すなわち基礎生産のためには、栄養塩も必要であるから、N、P、Cと植物プランクトンバイオマスの間には密接な関係があることが予測される。1992年3月（DN92-1）^{4),20)}および1994年3月の調査（SF94-2）^{31),32),33)}では、植物プランクトンの春季ブルームが進行中であった。このため、植物プランクトンとしては、全般的に珪藻類が卓越していた。また、クロロフィルの高いところで海水のCO₂分圧が低く、pHが高かった。春季ブルームは、栄養塩のうちのどれか1種が枯渇することによって終了する。重要なことは、春季ブルーム進行中と終了後の生物化学量の分布形態が、

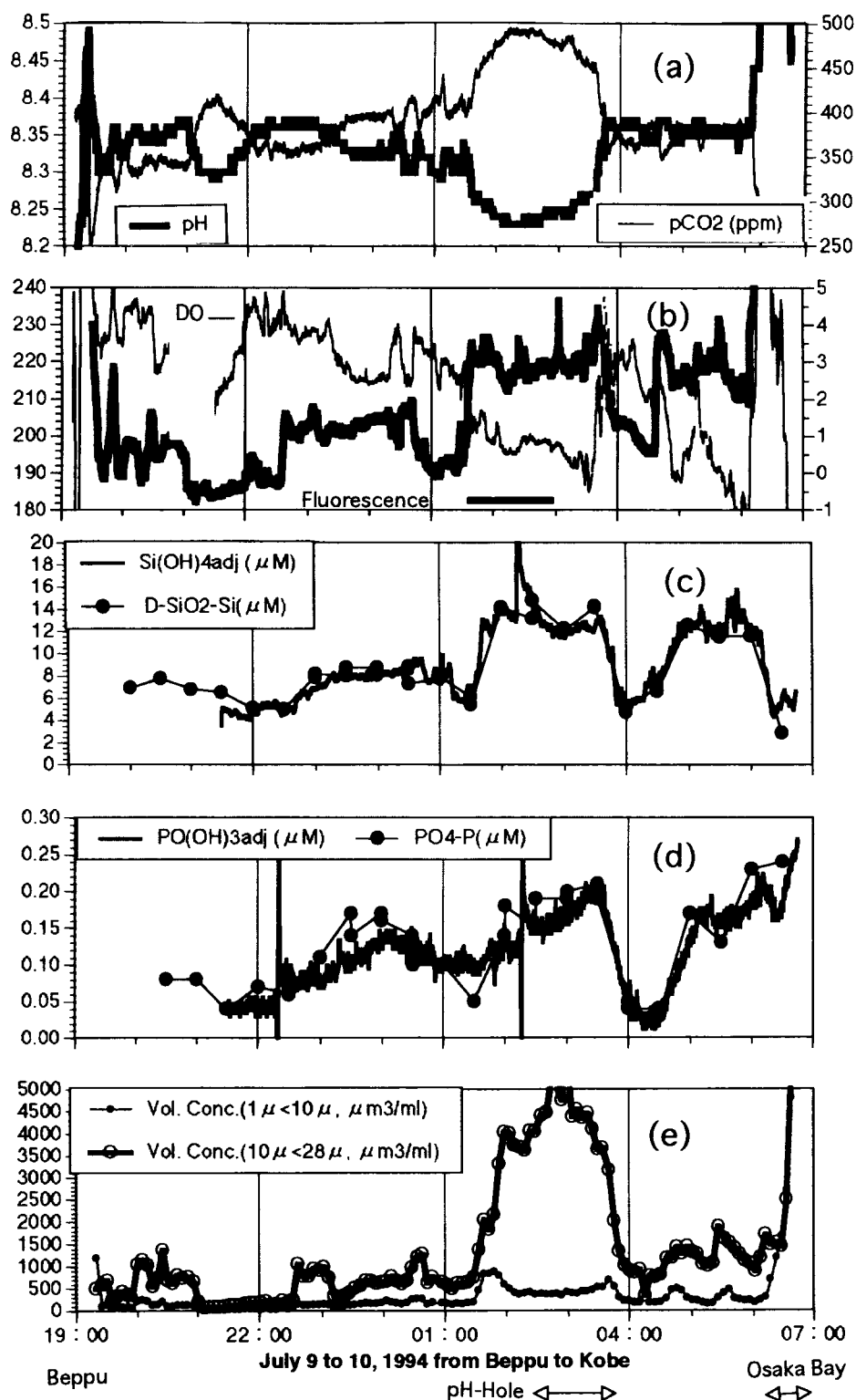


図6 海洋表層の生物化学量の水平分布（さんふらわあ2、1994年7月9-10日、別府→大阪の航海による）。上から順に(a)海水溶存CO2分圧（細線）およびpH（太線）；(b)溶存酸素濃度（細線）およびクロロフィル蛍光濃度（太線）；(c)溶存ケイ素分布；(d)溶存リン分布；(e)レーザー粒子カウンターによる生物粒子体積濃度分布（●は比較的小サイズ、○は中サイズの植物プランクトンを示す）

全く異なることである。

図6に、1994年7月、すなわち春季ブルームの終了後の観測結果を示す。(a)から見てとれるように、瀬戸内海の東からほぼ1/3の地点(備讃瀬戸付近)を中心にして、pHが周囲より0.2ほど低い海域がある。この現象は、冬期以外は毎年、同海域で、常時観測される。この海域では海水溶存のCO₂分圧が高い。また、図6(b)でわかるように、溶存酸素濃度は低くなっている。さらに、(c)、(d)で示されるように、溶存態のSi、Pがともに高くなっている。このことから考えて、この海域では、海底に堆積した有機物から分解によって無機態に回帰したN、P、Cが、浅海域で潮汐混合が強いことにより、下層から上層に補給され、この効果がpHを下げ同時にpCO₂を高めていると考えられる。この海域をpHホールと呼ぶことにする。

図6(b)からは、栄養塩濃度が比較的高いことを反映して、植物プランクトンクロロフィル濃度が、pHホールと大阪湾で高くなっているのがわかる。さらに、粒子サイズ別のプランクトン量をみると、重要な情報が得られる。

(e)は、図4で示したレーザー生物粒子カウンターによる粒子サイズ分画別の粒子数の分布である。比較的小さい植物プランクトン粒子はシアノバクテリア(*Synechococcus*)、中サイズの植物プランクトン粒子は珪藻と渦鞭毛藻、微小鞭毛藻類によっていることが、検鏡により確認されている³²⁾。(e)からいえることは、以下のものである。7月には、一般海域では栄養塩が枯渇してしまったために、中～大型の植物プランクトンからシアノバクテリアが卓越している。大阪湾では、比較的小さい植物プランクトン粒子数と、中規模の植物プランクトン粒子数の両方が多いのに対して、pHホール海域では、小サイズの植物プランクトンの割合はかえって少なくなっていることがわかる。

このような種出現の理由として、次のような解釈が成り立つだろう。pHホール海域では、P、Siともに高くなっているため、珪藻が増殖でき、中～大型のサイズ分画が卓越できた。ところが、大阪湾では、Pが高く、Siはかえって低いため、珪藻が増殖できず渦鞭毛藻や微小鞭毛藻が増殖したと解釈できる。

図7は、同じ観測データから、2種の栄養塩の相関と、これに依存した植物プランクトンの出現状況を明示するために、縦軸をPO₄-P濃度、横軸を溶存態Si濃度とし、その上に蛍光度から推定される植物プランクトンバイオマス量を円の大小で示した。ここでNとPは、互いに似たような挙動を示すと考えられるので、Pのみで議論を進める。左上に分布している部分が、大阪湾に対応している。すなわち、N、Pに対してSiの量が少ない。

また、図7中、S1、S2、S3と示したのは、春季ブルーム前にその場の海水が保持していたと推定されるSiとPの値である。春季ブルームの進行にしたがって、Si、Pともに植物プランクトンに吸収されて減少してゆく。大阪湾では、S1で示されるように、初期のP/Si比が大きいため、ブルーム終了後にP(およびN)が残る傾向がある。このためSiを必要としない非珪藻種の出現はこのためであると推定される。瀬戸内海の他の海域では、S1、S2で示されるように、(N、P)とSiがほぼレッドフィールド比に等しいか、むしろブルーム後にSiが残るような組成になっている。従って、夏期でも珪藻が出現するか、あるいはバイオマス量はすくないがシアノバクテリアが出現するといえるだろう。

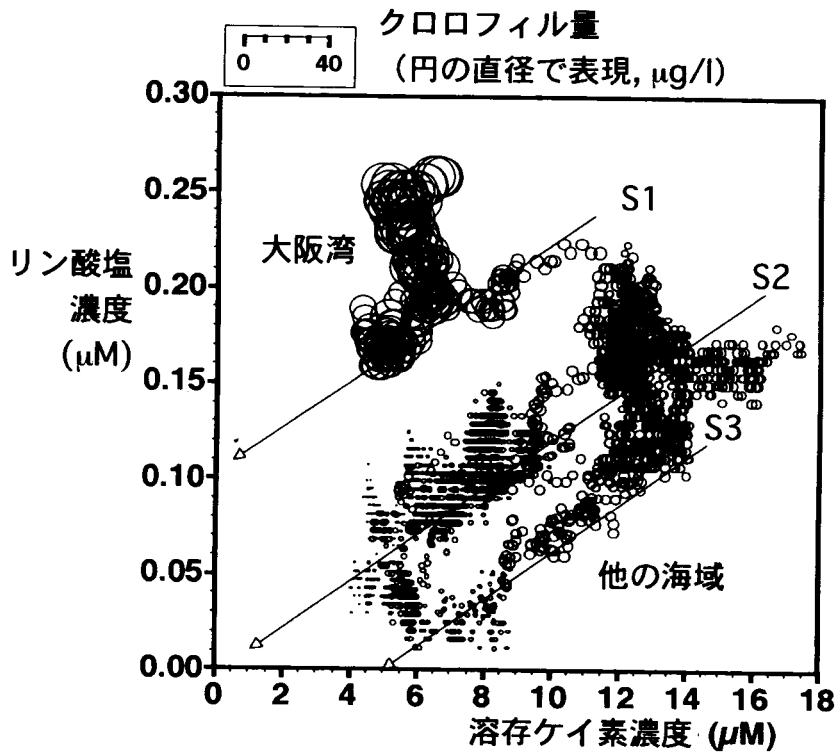


図7 溶存態ケイ素（横軸）溶存態リン（縦軸）上にプロットした植物プランクトンクロロフィル濃度

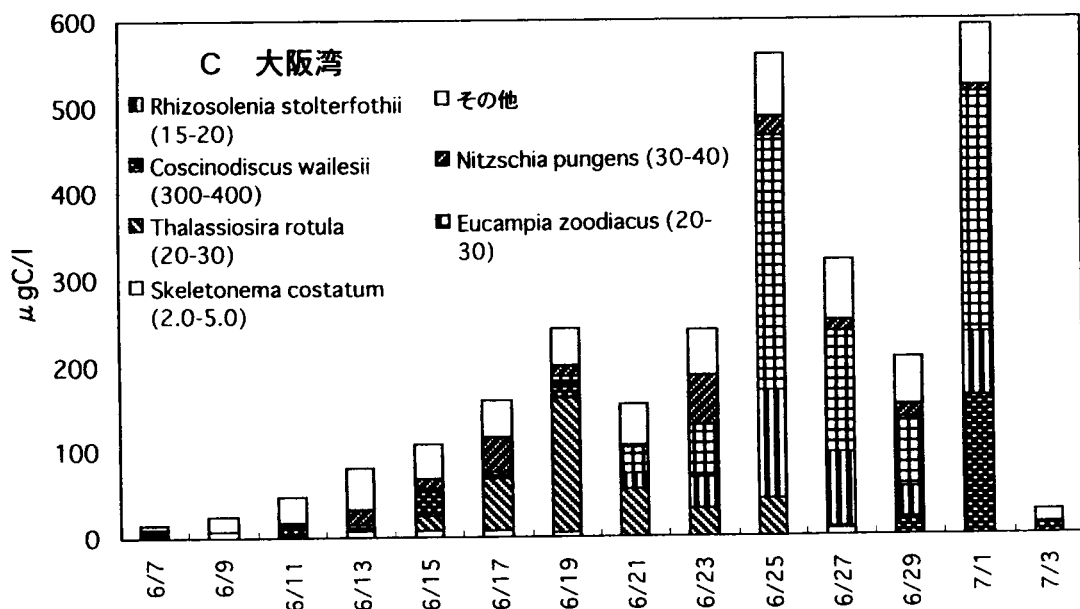


図8 1995年6月1ヶ月間の大阪湾における、種類別の植物プランクトン濃度の時系列。
(さんふらわあ2の連続乗船調査による。単位はStrathmanの換算式による炭素換算量。)

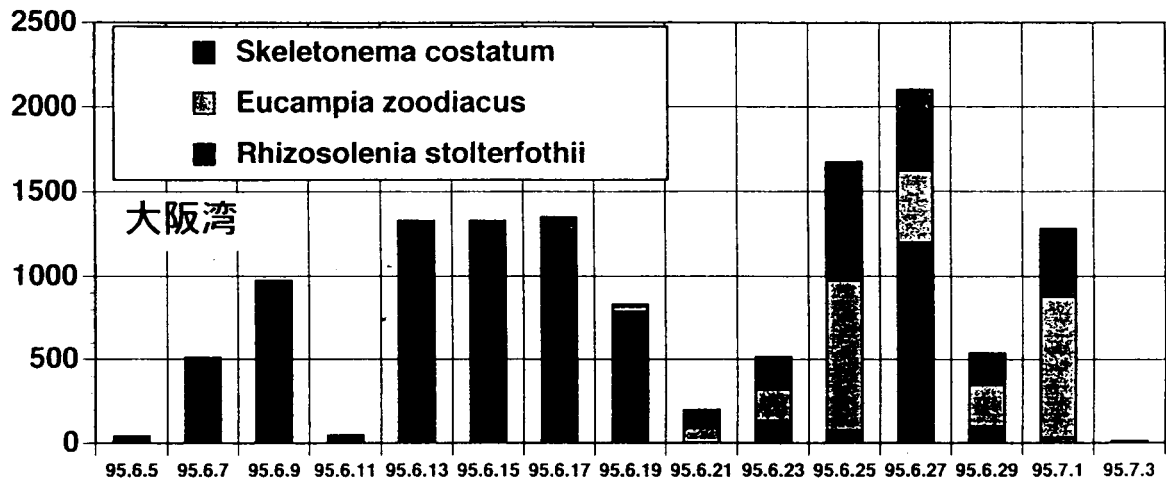


図9 同調査による、珪藻の代表種3種の細胞数変化(cells/ml)。

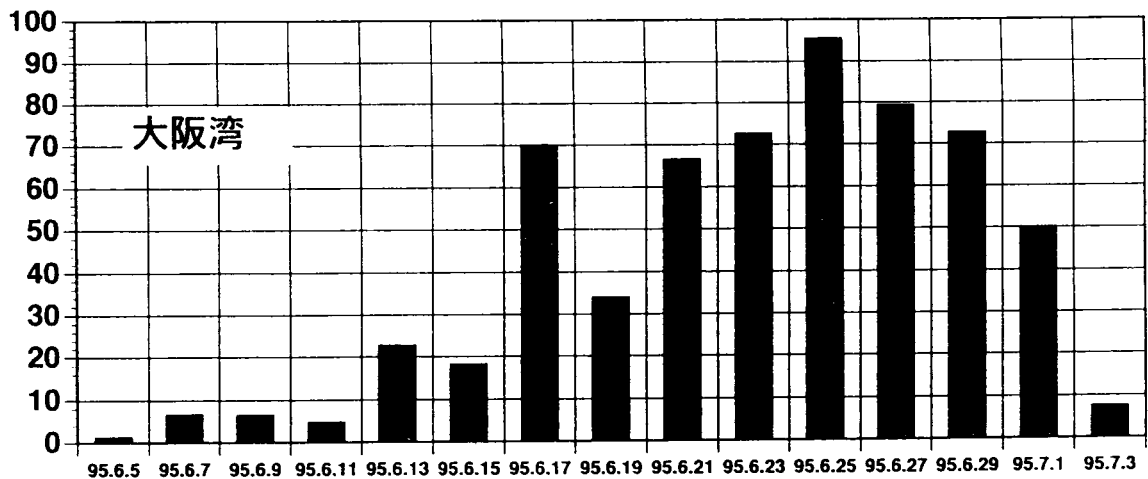


図10 同調査による、渦鞭毛藻の代表種3種の細胞数変化 (cells/ml)。

4.時系列変動からみた植物プランクトン種組成と環境要因の相互作用

前節では、空間分布から植物プランクトン種組成と環境要因の相互作用を明らかにしたが、ここではブルーミングの継続日数程度の時間スケールを対象とした時系列の特性から議論を進める。1995年6月に、さんふらわあ2の毎往復のうち、東行の航海(一日おき)を使って、1月間の時系列調査を行った³⁷⁾(表1中SF95-1)。大阪湾のほぼ同じ場所を通過する際にプランクトンサンプルを採取し、顕微鏡でその種類の判別を行うとともに、Strathmanの経験式を用いて、種類ごとの炭素量換算バイオマス量を計算した。

図8に、大阪湾における炭素換算バイオマス量の時間変化を示す。この時期は、大阪湾以外では、春季ブルームがすでに終了していた。特に燧灘では栄養塩は枯渇状態で、植物プランクトンも、貧栄養海域に多いシアノバクテリアが見られた。これに対し、大阪湾では、6月はじめから、珪藻を主体としたブルーミングが起こった。この増殖は、栄養塩の非制限下での対数増殖のパターンと類似している。従来、実験培養系では、植物プランクトンの対数増殖のデータが得られている。ところが、実際の海域（植物プランクトン種が複合しており、動物プランクトンによる捕食、沈降などの要素も存在する）で、このような増殖がとらえられたことは比較的少なく、このデータはフィールドにおける植物プランクトンの有効増殖速度の一例として、今後モデリングの検証等において重要なデータとなるだろう。

また、図9と図10は、それぞれ珪藻と渦鞭毛藻の上位3種各種の細胞数の変化を示している。珪藻各種と渦鞭毛藻各種の増殖を比較すると、珪藻の増殖に遅れて渦鞭毛藻の増殖が起こったことがわかる。すなわち、Siが存在すれば、珪藻のほうが増殖スピードが速く、卓越種となるが、Siが枯渇するにつれ渦鞭毛藻に置き換わるという推定に合致するデータとなっている。

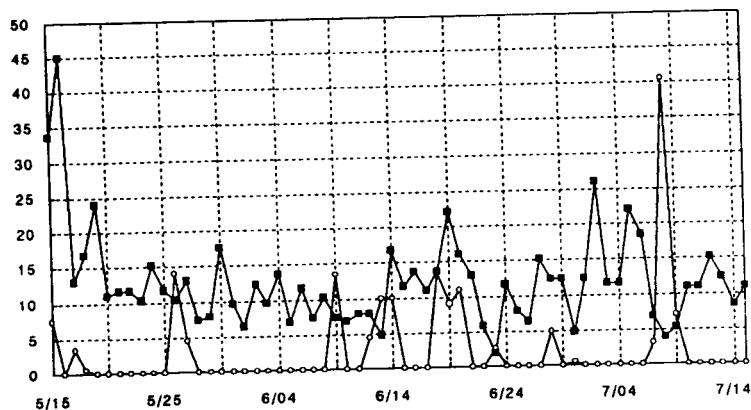


図11 1994年の大阪における海面風応力対応量（日平均風速の平方、単位は m^2/s^2 、記号■で表す）と降水量（単位は mm/day 、記号○で表す）の変化。

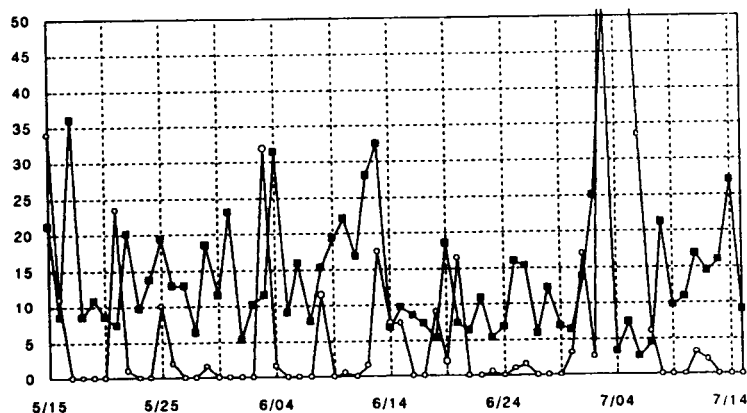


図12 同上1995年海面風応力対応量と降水量（記号○で表す）の変化。

ただし、初夏には、本来の珪藻主体の春季ブルームは終了していると考えるのが普通であり、事実前節で説明したように、1994年7月には大阪湾では、卓越種が珪藻から非珪藻種に変わっていた。したがって、1995年初夏に珪藻のブルームから始まったことには説明を要する。図11と図12は、それぞれ、1994年と1995年の、大阪における海面風応力対応量（風速の平方、記号■で表す）と降水量（記号○で表す）の変化を示した。1995年初夏の風速の二乗平均値は $10.9\text{m}^2\text{s}^{-2}$ 、1995年初夏の風速の二乗平均値は $14.9\text{m}^2\text{s}^{-2}$ である。すなわち応力は、1995年のほうが大きい。このため、1995年連続観測の直前に、鉛直混合がよくおこなわれており、下層からのSiの補給がよかったことが推定される。これに対し、1994年初夏は晴天の継続で安定成層ができていたため、下層からのSiの補給が少なかったと考えられる。したがって、1995年のほうが、珪藻に有利に働いたといえるだろう。

鉛直混合が珪藻に有利に働く要素はもう1つある。渦鞭毛藻は遊泳することが可能であり、安定成層ができて、夜間下層で栄養塩を吸収し、昼間上層で光合成をおこなうことができるからである。珪藻は遊泳しないため、有る程度の乱流および鉛直混合がないと、有効層にとどまりつつ混合で上がってきた栄養塩を利用できないのである。

このように、珪藻→渦鞭毛藻のシフトで人為影響を評価する場合、本来人為影響の強い海域でも、珪藻に有利な自然条件が整うことがあるので注意を要する。このことから、単発の観測でなく、時系列観測の継続が重要となる。

5. 本研究によって得られた成果

フェリーを観測プラットフォームとした海洋時系列観測により、海域の生物化学量から、地球規模のN,P,Si循環攪乱の診断をするための以下のような判断基準が得られた。

海洋の栄養塩増減と植物プランクトン出現の年サイクルについて、いくつかの類型が定義できた。これらは図13のように、縦軸に溶存態のリン、窒素濃度、横軸に溶存ケイ素の濃度を取り、年変化の軌跡と、各フェイズで出現する植物プランクトン種で、模式的に表すことができる。

a.は対馬海峡などの大陸棚や、伊予灘などの西部瀬戸内海など、人為影響が比較的顕著でない海域である。N,P,Siなどの栄養塩が春季ブルームの際に、ほぼレッドフィールド比に沿うような形で植物プランクトンに吸収されて減少してゆき、どれかの栄養塩成分が枯渇した段階でブルーミングが終了する。ブルームの継続中に卓越するのは固有の増殖スピードの速い珪藻である。a.の類型では、N,PがSiよりも先に枯渇し、その後、秋の鉛直混合がはじまるまではシアノバクテリアが卓越する。

b.は大阪湾等が該当する。珪藻の春季ブルームによって栄養塩が減少する際、Siが枯渇してNあるいはPが残る。この結果渦鞭毛藻などの藻類が卓越する。

c.は、やや瀬戸内海のうち浅海で、鉛直混合の盛んな海域に当てはまる。春季ブルームの後、海底からN,P,Siの栄養塩が補給され、夏でも大型の珪藻が出現する海域である。有機物が分解することにより、無機態の炭素も補給されるため、溶存二酸化炭素分圧が高くなり、pHは低くなる。

以上のように、人為影響評価の1つのポイントは、N,P過剰Si枯渇シナリオ、すなわちb.の類型がどの程度顕在化しているかである。現在、対馬海峡などは、a.の類型に入り、必ずしも

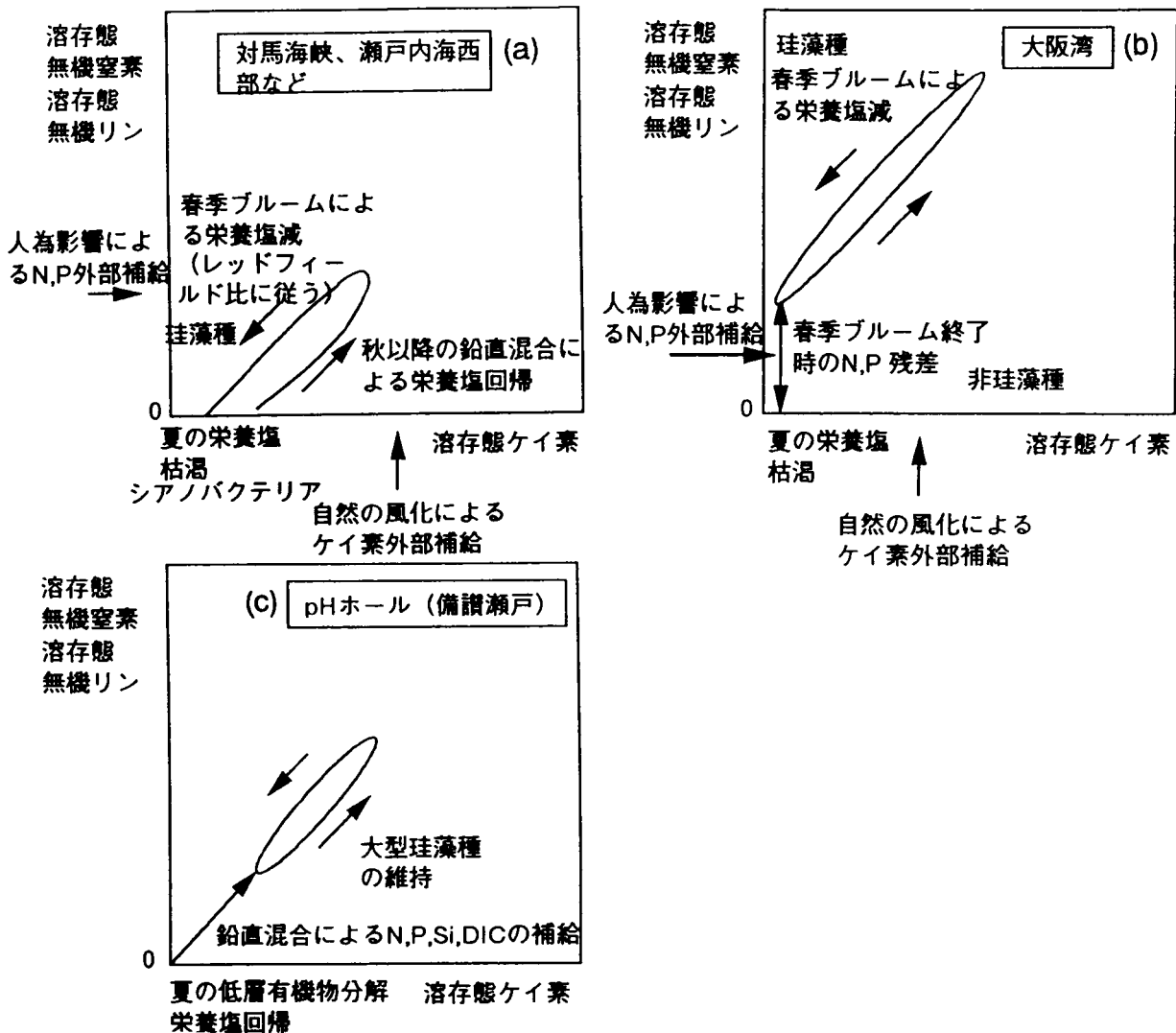


図13、(N,P)/Siと出現する植物プランクトン種の年サイクルの3つの類型、縦軸は溶存態のN、P濃度、横軸は溶存Siの濃度。

この類型の兆候は見られない。N,P過剰Si枯渇シナリオはヨーロッパの北海などで検討されてきたものであるが、モンスーンによる風化作用が顕著なアジア地域には、異なったシナリオがあてはまる可能性もある。

対馬海峡では、毎年夏に塩分の低下がみられ、揚子江などの陸起源の水の連行加入が推測されているから、今後中国大陸でダムの建設等によってSiの流下が減少し、しかもN,Pの負荷が強まると、b.の類型に近くなることも考えられる。今後海域にどのような変化が起きるかをモニターおよび評価する必要がある。

また、もう1つの人為影響の評価のポイントは、類型c.で表されるように、すでに海底に沈積している有機物の分解である。瀬戸内海で赤潮などの富栄養化現象が最も顕著だったのは、1970年代であり、現在は当時程の赤潮の被害はみられないが、海底に沈積した有機物の分解により、栄養塩が回帰し、さらに夏季の海水溶存CO₂分圧を上げていることがみられる。このような現象が解消してゆくのに必要な時間スケールの評価のためにも、フェリー利用による海

洋環境の時系列評価を行って行く必要がある。さらに、このようなシステムを、国際的なネットワークへと発展させ、広域的に人為影響を評価してゆくことが重要であると考えられる。

6. 国際共同研究等の状況

日韓環境保護協定による共同案件「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」により、KORDI (Korea Ocean Research & Development Institute) と共同研究を行っている。KORDIがフェリーによる黄海のモニタリングを立案中である。本案件と次期の地球推進費のテーマの打ち合わせのため、1996年3月に、韓国海洋研究所および中国国家海洋局と打ち合わせを行った。

7. 研究発表の状況

7-1. 誌上発表

- 1) Harashima, A. (1993) High frequency marine biogeochemical monitoring from a Japan-Korea ferry, -1991 results-, Annual Report on Global Environmental Monitoring -1993-, CGER-M003-'93.
- 2) Harashima, A. (1995) High temporal-spatial resolution marine biogeochemical monitoring from a Japan-Korea ferry, -1992 to 1993 results-, Monitoring Report on Global Environment -1995-, 13-50, CGER-M003-'94.
- 3) Harashima, A. (1995) Collected data of high temporal-spatial resolution marine biogeochemical monitoring by Japan-Korea ferry (CD-ROM and attached booklet), -June, 1991 to February, 1993 results-, CGER-D007(CD-ROM)-'95.
- 4) Kimoto, T., A. Harashima and H. Kimoto, A new rapid response continuous carbon dioxide monitor in ocean (to be submitted to Analytical Chemistry).
- 5) Harashima, A. (1996) High temporal-spatial resolution marine biogeochemical monitoring using ferries in the East Asian Marginal Seas, -New monitoring lines and improvement of systems for the revised monitoring program-, Monitoring Report on Global Environment -1995-
- 6) Kikukawa, H., Harashima, A., Hama, K. and Matsuzaki, K. (1996), A Numerical study of seasonal differences of the circulation process in a nearly closed coastal basin, To be published in Estuarine, Coastal and Shelf Science.
- 7) Harashima, A. *et al.* Ferry Sensing of Marine Biogeochemical Processes: Its Rationale and the First Time-Space Imageries of Fluorometric Chlorophyll and pH (to be submitted to Science).
- 8) Harashima, A. *et al.* Several types of phytoplankton bloomings revealed by ferry sensing, in Mati Kahlu (ed.) Monitoring of Natural and Anthropogenic Phytoplankton Blooming (to be published, Academic Press).
- 9) Tanaka. *et al.*, Size spectra and species characteristics of phytoplankton detected by a laser particle counter (to be submitted to Mar. Ecol., Prog. Ser.).
- 10) 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.
- 11) 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.
- 12) 原島省(1994)、地球環境ハンドブック (不和敬三編) 第7章「海洋汚染」286-335, 編著 朝

倉書店、634p.

- 13)原島省他(1995)、海洋モニタリングと海洋環境長期変動の研究、環境衛生1995-1, 16-19.
 - 14)原島省(1996)、データの画像化・画像のデータ化、月刊 ふんせき、1996-7, 246-252.
 - 15)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―、環境対策技術百科、工業調査会、110-115.
 - 16)原島省・功刀正行(1996)、海の役割と海洋汚染、豪華房ポピュラーサイエンスシリーズ(刊行予定).
- 7-2. 口頭発表
- 17)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, Hongkong, 91-104.
 - 18)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.
 - 19)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.
 - 20)Kimoto, T. and Harashima, A.(1993) High resolution time/space monitoring of the surface seawater CO₂ partial pressure by ship-of-opportunity, *Abstracts of the 4th International CO₂ Conference* (WMO Global Atmospheric Watch No.89), Carquairanne, 88-91.
 - 21)Harashima, A. *et al.* (1994) A semi-continuous environmental monitoring and associated chemical and biological measurement using seawater intake of Japan-Korea ferry, *Abstracts of the Third Annual Meeting of PICES*(North Pacific Marine Science Organization)-STA Workshop, Nemuro, 91-96.
 - 22)Harashima, A. *et al.* (1994) A high-resolution biogeochemical monitoring and assessing of environmental changes using ferry boat, *Proceedings of the LMEs*(Large Marine Ecosystems) Symposium, Qingdao.
 - 23)Harashima, A. (1995) Present state of monitoring of marine pollution and biogeochemical changes in the western North Pacific, *Proc. International Workshop on Monitoring and Data Management for Marine Environment in NOWPAP Region*, Tokyo, -1995-.
 - 24)Tanaka, Y., Tsuda, R., Kimoto, T. and Harashima, A. (1996) Phosphate-Silicate Balance and the Distribution of Phytoplankton Species and Size Spectra: a new Perspective via Continuous Ferry-Based Monitoring, *Abstracts of AGU Ocean Science Meeting*, San Diego, EOS.
 - 25)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.
 - 26)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.
 - 27)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

- 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.
- 28)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.
- 29)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.
- 30)原島省他(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.
- 31)紀本岳志・尾関・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.
- 32)田中祐志・津田良平・紀本岳志・原島(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.
- 33)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.
- 34)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.
- 35)原島省他(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.
- 36)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.
- 37)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、一フェリーによる1カ月連続観測一、日本海洋学会1996年度春季大会講演要旨集336.
- 38)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.
- 39)塚本英史、境田太樹、香西克俊、川村宏、柳哲雄、原島省(1995)日本海洋学会1995年度春季大会講演要旨集、244-245.
- 40)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.
- 7-3. その他の引用文献
- 41)Bump, B. L. (1995): World nitrogen supply and demand: An overview, in P. E. Bacon,(ed.) *Nitrogen Fertilization in the Environment*, Marcel Dekker, Inc. 1-40, New York, 609page.
- 42)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.
- 43)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.
- 44)Radack, G. 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, *Cont. Shelf Res.* 10, 305-328.
- 45)Conley, D. J., Schelske, C. L., Stoermer, E. F., (1993): Modification of the biogeochemical cycle of silica with eutrophication, *Mar. Ecol. Progr. Ser.*, 101, 179-192, 1993.