

D-3 アジア大陸隣接海域帯の生態系変動の検知と陸域影響抽出に関する研究

(1) 海洋生態系の時系列変動の検知と大陸からの人為影響抽出に関する研究

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 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・中村泰男

平成8年度～10年度合計予算額 49,560 千円

(平成9年度予算額 19,953 千円)

[要旨] 人間活動による窒素(N)およびリン(P)負荷の増大やケイ素(Si)供給の減少は、海洋の珪藻類から非珪藻類への遷移など、植物出現形態に影響を与えていると考えられる。これらはわが国の閉鎖性海域で有害性をもつ渦鞭毛藻類等に関して顕在化しているが、今後東アジア広域の沿岸海域や南シナ海など閉鎖性縁辺海域においてもその兆候を検知・評価する必要がある。そのためには、広域時系列データ取得のためのプラットフォームを確立し組織的な計測の基礎をつくる必要がある。その一つの軸として、東アジア海域を定期航行するコンテナ船により、海洋上層の栄養塩、植物プランクトン種組成、植物プランクトン色素組成等の海洋環境項目の反復計測を開始した。この結果、コンテナ航路上の本邦沿岸域部分や香港近傍部分で、時期によりN/Si比が増大することと、渦鞭毛藻など非珪藻類が卓越することがみてとれ、人為影響の存在が推定される。縁辺海域、すなわち東シナ海部分・南シナ海部分は、栄養塩濃度と植物プランクトンバイオマス絶対濃度は低かったが、前者でシアノバクテリア、後者で渦鞭毛などの非珪藻種の組成比が大きくなっていた。これらが人為影響によるものかは不確実性が伴うものの、基本的に鞭毛藻類などの非珪藻類が出現しやすい要素があるといえよう。また、南シナ海の流動に関する数値モデルにより、その流動がモンスーンによる風応力に支配された季節変動を示すことが示され、しかも、流動構造と出現プランクトン特性が符合する場合も確認できた。これらの手法を展開するため、関連各国の研究者を招聘した会合を開催し、今後の協力体制を議論した。以上、これらの手法の有効性と人為影響に関する仮説段階の知見を得たが、さらにその不確実性を減じてゆくためには、今後これらの手法を、持続的に発展させてゆく必要がある。

[キーワード] アジア大陸隣接海域帯、定期航路、プランクトン種組成、南シナ海モデル

1. 序

アジア大陸に隣接する海域帯では、沿岸国の急速な経済発展、人口増加、消費水準の上昇などのため海域に負荷される汚染質が増加し、結果として海洋生態系が変質することが懸念されている。陸域起源物質のうち窒素(N)、リン(P)については肥料使用の増加などにより、流入負荷は増加すると考えられる。それに対し、ケイ素(Si)は本来自然の風化作用によって岩石から

River	Period	Si (μM)	N (μM)	P (μM)	Si : N	Si : P
Pristine/Near pristine						
Amazon	Before 1972	187	3.2	0.4	58.4	468
	May–June 1976	111–121	7–11	0.3–0.75	12.9	221
Mackenzie	1981–83	143	7.14	0.19	20.0	752
Yukon	1978–85	275	8.35	0.35	32.9	786
Zaire	Nov. 1976	161	7.3	0.72	22.1	224
	May 1978	171	5.9	0.89	29.0	192
Industrialized						
Mississippi	1981–87	108	114	7.7	1.0	14
Po	1981–84	120	147	4.6	0.7	26
Rhine	1976–78	130	310	14	0.4	9
Seine	1976–82	120	372	20	0.3	6
Chinese Rivers						
Yangtze	June 1980	100–105	65	0.5–0.9	1.6	146
Yellow	August 1986	128	64	1.1	2.0	116

表1 世界の大河川におけるNP, Siの濃度 (Vörösmarty, C. J. *et al.*⁵⁾による)。

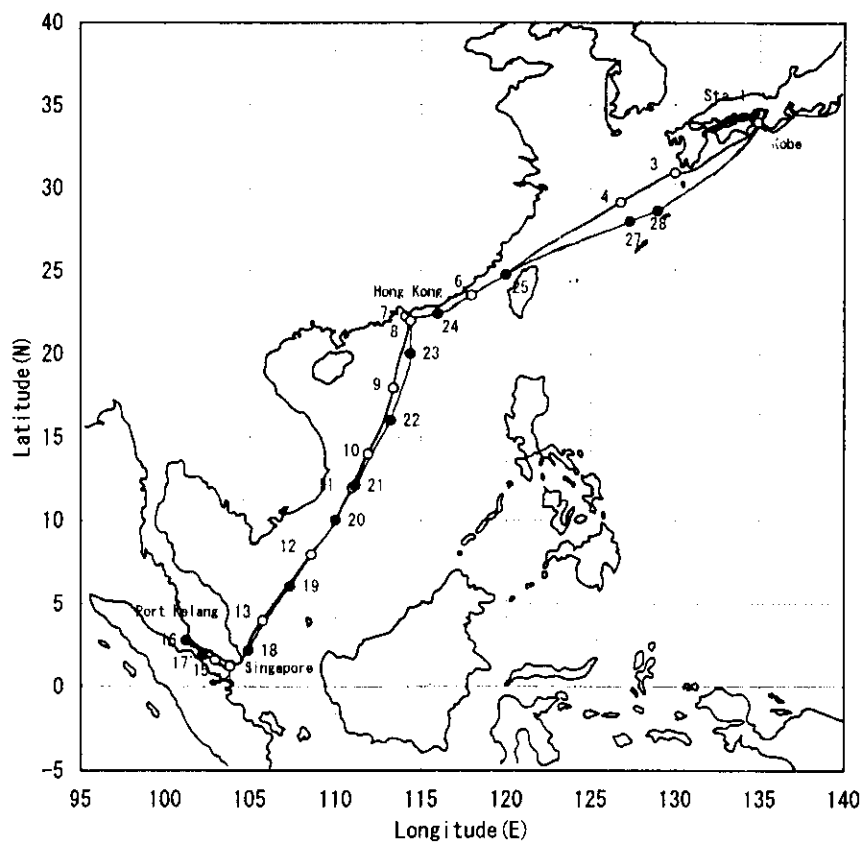


図1 モニタリングに使用した航路と試験調査 (1997年10月)の際の測点

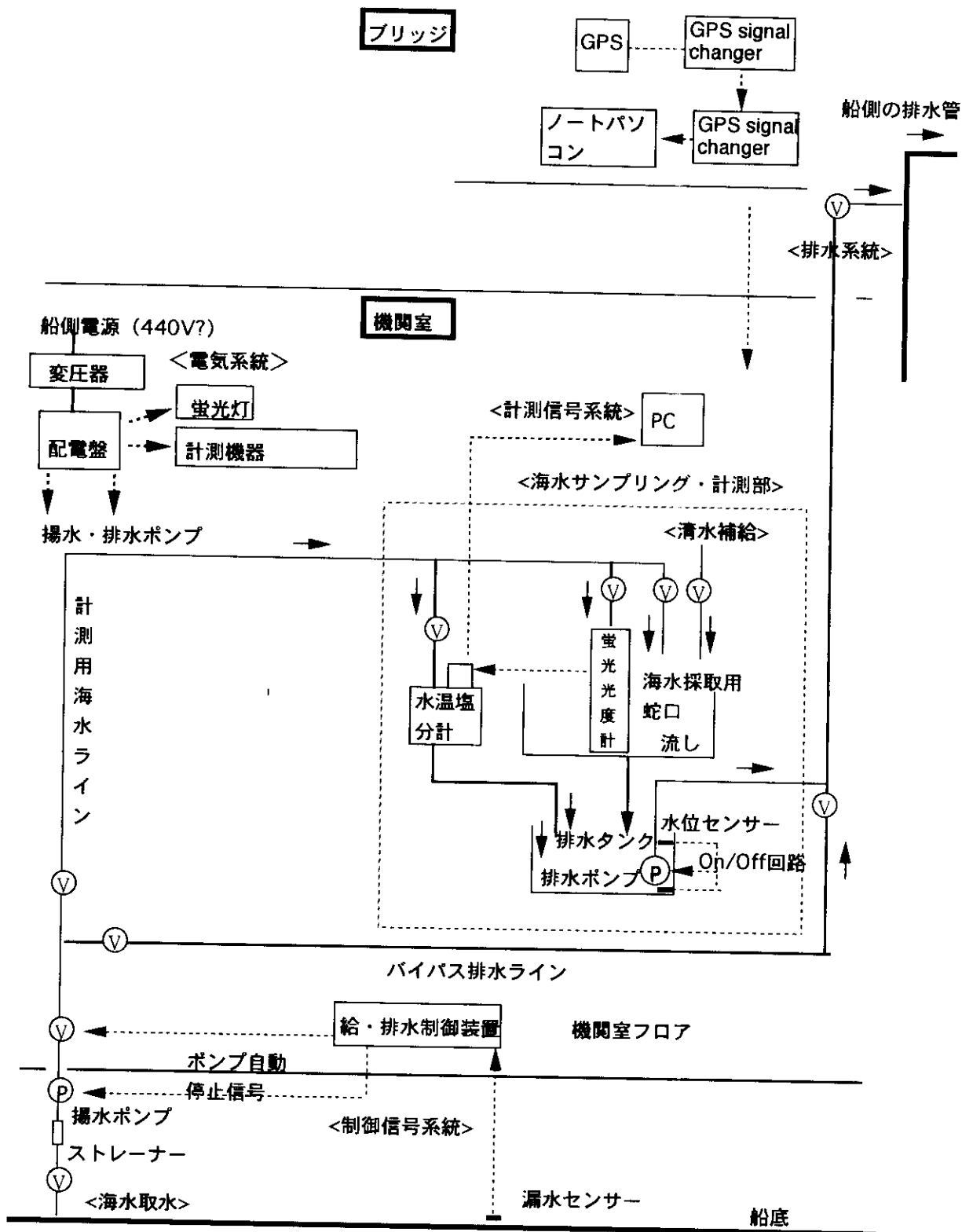


図2 コンテナ船アリゲータホープに設置した計測システム

溶出してくるものなので、人為影響では増えず、むしろ水利用形態の変化によって減少する可能性がある。表1は、世界の大河川におけるN、P、Siの濃度比を示したものである¹⁾⁵⁾。これによれば、第一のグループ、すなわち流域が未開発である河川においては、N、Pに対するSiの相対比が高いが、第二のグループ、すなわちヨーロッパのように開発が進んだ領域においては、小さくなり、1以下になっている場合もある。東アジアの2大河川においても、第二グループほどではないが、この比が低くなっている。

植物プランクトンは、増殖のためにほぼレッドフィールド比(C:N:P=106:16:1)に従って各無機栄養塩を摂取する。通常の春季ブルームでは、増殖率が高い珪藻類が卓越する。このブルームは有害性は少なく、健康な海洋生態系の基礎となっている。珪藻はNと同程度のSiを必須とするため、ブルームでSiが枯渇してN、Pが残留すると非珪藻種に有利に働く。このように人為影響は、長期的に珪藻卓越から、潜在的に有害性を持つ渦鞭毛藻類など非珪藻卓越にシフトさせる可能性がある。この仮説はヨーロッパ近傍の北海大陸棚等いくつかの沿岸海域で支持されている¹⁾。

アジア大陸海域のうち沿岸海域については、すでに各地で有害藻類の発生が報告されている。また、陸棚性の縁辺海域についても潜在的な環境変質が進んでいる可能性がある。わが国も物資輸送や水産資源輸入等で大きく依存している南シナ海(面積:約 $3.5 \times 10^6 \text{ km}^2$ 、平均深度 1200 m^3)は特に閉鎖性が強い。主な海峡を経由して出入りする海水の量は、 $3.0 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ S}^{-1}$ 内外であり、この数値から海水の平均滞留時間を単純に見積もると1万年のオーダーになる。さらに、最も深いバシー海峡でも、そのしきい深度が450mしかないことを考えると、深層部分の交換はさらに悪いと考えられる。さらに、この沿岸帯においてはマングローブ帯から養殖池への転換が進んでいるなどの問題があり、また、これまでの歴史的経緯⁴⁾から海洋の調査・研究が遅れているため、今後、同海域を含む領域の環境変化を検知・評価してゆくことが必要である。

2. 目的

前節でのべたような長期的変質は、栄養塩環境とその結果である植物プランクトンの出現状況により検知・評価する必要がある。このためには、沿岸海域・縁辺海域にまたがる空間をカバーしつつ時系列データを取得できる観測プラットフォームを確立する必要がある。国立環境研究所では、1991年以来、地球環境研究センターのモニタリング事業として、フェリーなどのボランタリー観測船(VOSあるいは、ship of opportunity)を用いた生物化学量のモニタリングを行ってきた。この方法論をさらに広域の海域帯に適用することを考え、大阪商船三井(株)所属のコンテナ船「アリゲーターホープ」の協力を得て、1996~97年度に海水取水・排水系、電気系統の艦装工事を行った。1997年10月、日本~マラッカ海峡の航路(図1参照)で試験計測を行った。1998年度から同船が香港-日本-北米航路に編入されたため、以後は神戸-香港の短縮航路で、1998年4月、5月、11月、1999年1~2月の4回調査を行った(1999年度後半分については地球環境研究センターのモニタリング経費によった)。

なお、これらの生物化学量のモニタリングデータは、流動状況などの海域の物理的要因を把握してはじめて、環境評価に使えるものである。南シナ海においては、このような知見が最も欠落している海域でもあり、このため南シナ海の流動に関する3次元の数値モデルのシミュレーションにより流動分布を求めた。



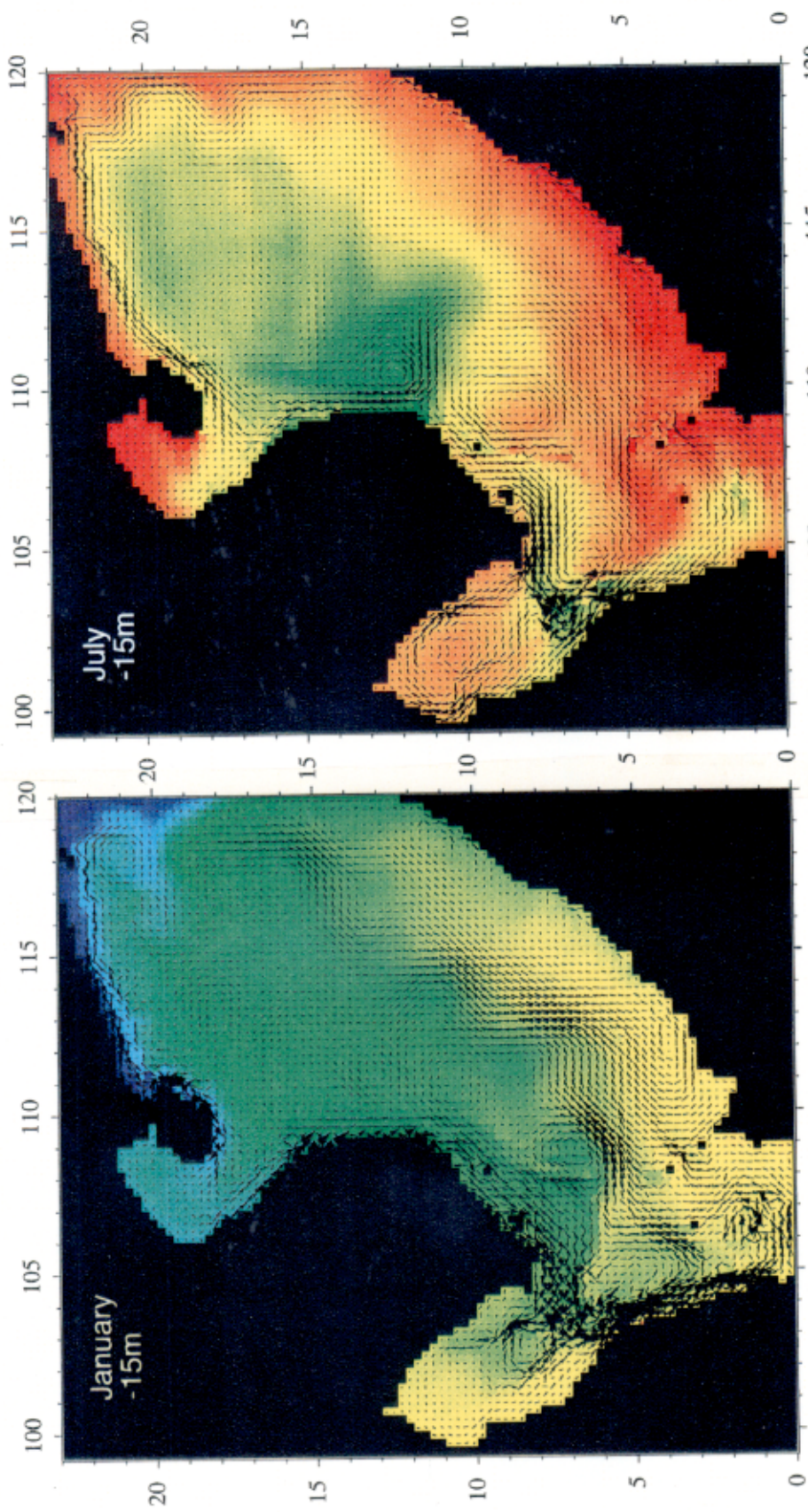


図3 数値モデルによって得られた南シナ海における1月(左)と7月(右)の水深15mの水温および流速ベクトルの分布。

水温(°C)
 カラースケール 18 20 22 24 26 28 30

コンテナ船モニタリングの頻度は、年数回であるが、個々のブルームの時間スケールが10日程度のオーダーであるため、そのデータの解釈・考察の一助として、本邦沿岸域のフェリーによる高頻度モニタリング時系列を参考として用いた。

3. 方法

3-1. 数値モデルによる南シナ海の流動のシミュレーション

北緯0-23度、東経99.75-120度と中国大陸、インドシナ半島、マレー半島、ボルネオ島などに囲まれた領域を考え、各海峡は閉じていると仮定して3次元の流動モデルを作成した。格子サイズは、緯度・経度方向とも0.25度とし、鉛直に7つのレベルを定義する。運動方程式は風の応力と水温・塩分差による圧力勾配を駆動力とする。表面境界条件として、Hellerman *et al.* (1967) の風応力の気候値、NODC の水温・塩分気候値と Esbensen *et al.* (1981) から得た鉛直の熱・淡水フラックスを用いた。

静止状態から10年間分の助走計算の後、11年目の1年間分の計算を用いる。厳密には、10年間では、深層部分はまだ定常に達していないが、海洋面の境界条件への応答が顕著な上層については、ほぼ11年目の計算結果が実際の年サイクルを代表していると考えられる。

3-2 定期航路による海洋表層の生物化学量の反復計測

コンテナ船アリゲータホープに設置した取水系(図2)のサンプリング蛇口から、分析用海水を1000~2000ml採水し、GF/Fフィルターで濾過した。濾過海水を250mlを塩分と栄養塩分析用のボトルに移し、冷蔵保存した。また、フィルターは植物プランクトン色素の分析のため、アルミ箔に包んで-20℃で冷凍保存した。その後、HPLCにより、クロロフィルa, b, c, フェオフィチンa, 補助色素数種の濃度を分析した。

植物プランクトン種組成分析用には、蛍光顕微鏡分析用に1000ml、光学顕微鏡分析用に4000~5000mlを採取した。前者は、グルタルアルデヒドで固定、24時間以上冷蔵保存ののち、船内でDAPI, FITCで二重染色した。さらに、孔径0.2 μ , 1 μ , および3 μ のヌクレオポアフィルター上に残す方式でサイズ分画および濃縮操作を行い、凍結保存した。後者は、ヘキサミン中和のホルマリンで固定し、常温で24時間以上保存した後、5 μ ナイロンメッシュで上澄み部分から弱引圧で濾過濃縮した。これらのサンプルを検鏡の際、[<2 μ], [2 μ <<5 μ], [5 μ <<10 μ], ..., [35 μ <<50 μ], [50 μ <<60 μ], [60 μ <<75 μ], [75 μ <<100 μ], [100 μ <<120 μ], ...のサイズカテゴリーに分けて計数した。これらの集計結果から、Strathmann(1967)の式により、細胞形状別に炭素バイオマス量に換算した。そして、プランクトン種毎の細胞数を乗じ、6つのプランクトン分類群ごとの炭素換算バイオマス量を求めた。6つの分類群はそれぞれ、(a)渦鞭毛藻植物門、(b)珪藻植物門、(c)ハプト植物門、(d)微小鞭毛藻類(クリプト藻植物門、プラシノ藻植物門、黄金色藻植物門を中心とする)、(e)シアノバクテリア門糸状シアノバクテリア綱(主にトリコデスミウム)、(f)シアノバクテリア門球状シアノバクテリア綱(主にシネココッカス類)である。なお、珪藻類と渦鞭毛藻類については、種のレベルまで同定できたものがある。

4. 結果

4-1. 数値モデルによる南シナ海の流動のシミュレーション

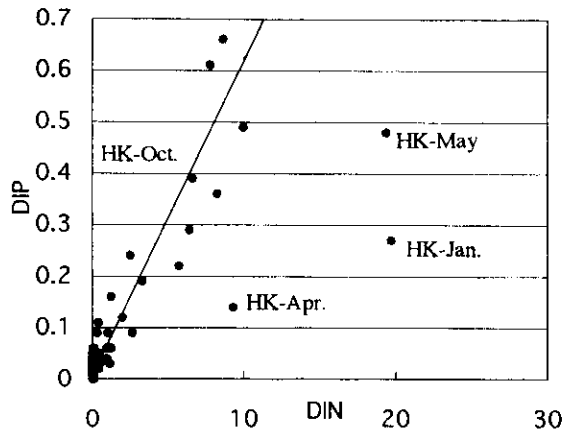


図4 1997-99年の計測によるDIN対DIP散布図

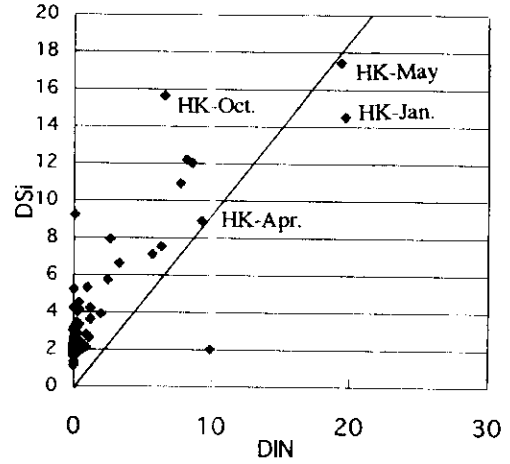


図5 同DIN対DSi散布図。

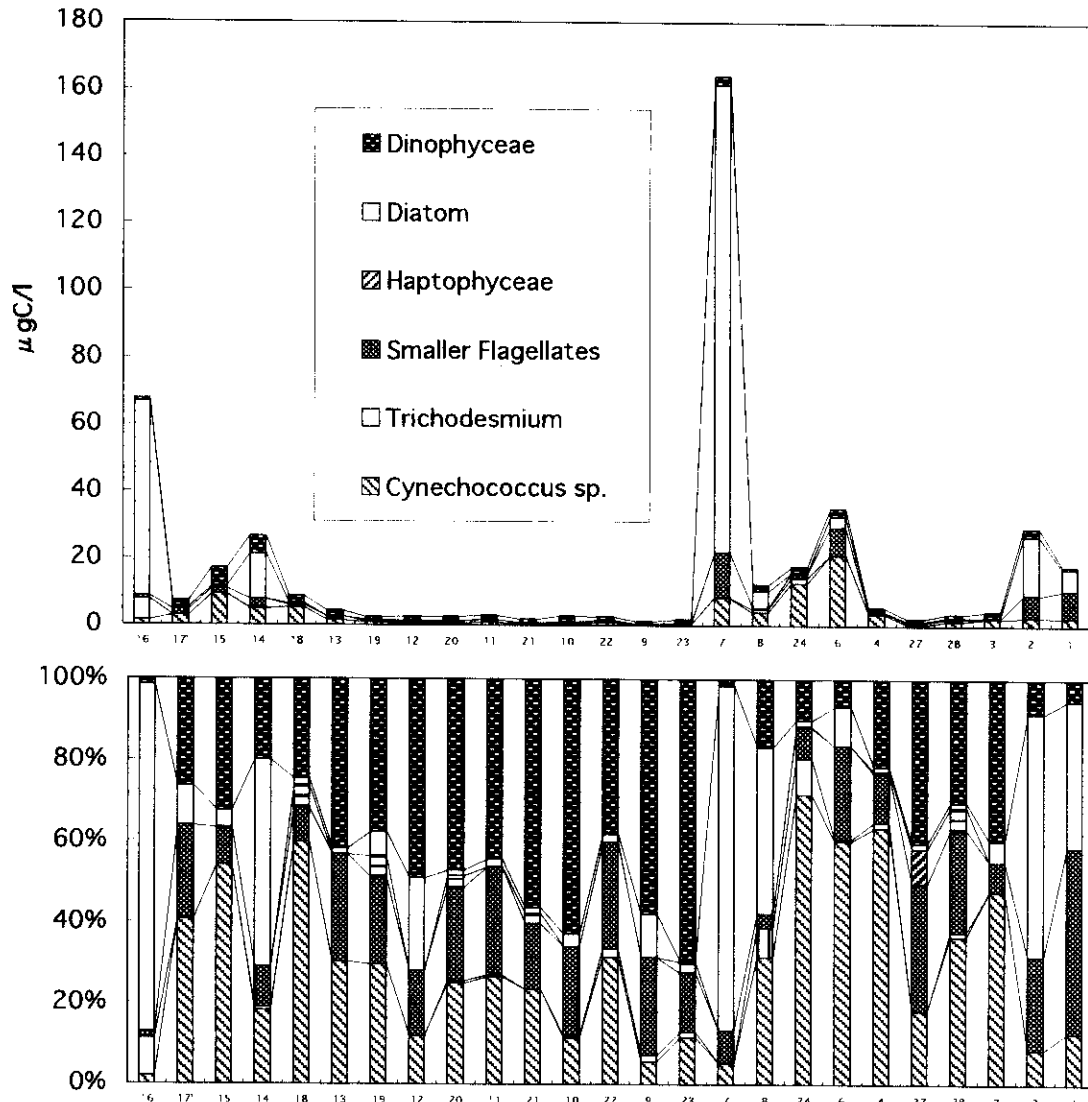


図6 1997年10月試験計測時の各分類群別の炭素換算バイオマス量(上)とその構成比率(下)

計算された流動場では、風によって駆動される循環の要素が支配的だった。すなわち、風応力の回転成分により子午線方向の質量輸送が起こり、これを補うように西側の沿岸域で反対向きの比較的幅の狭い流れが起こる。このパターンが季節により変化した。

冬季には、南シナ海全体で反時計廻りの水平循環が現れる(図3左)。また、中国大陸に沿って北から海水が流入してくることが見て取れる。モデルにおいては台湾海峡を閉じてあるので、この北からの流れが現実をどの程度シミュレートしたものかは議論を要するが、衛星によるクロロフィル分布画像とはよく符合しているようである。

夏季には南西からのモンスーンにより、南半分では時計廻りの循環となる(図3右)。この時、ベトナム沿岸では、南西→北東向きの流れとともに沿岸湧昇が顕著になる。湧昇によって下層から栄養塩が補給されるが、これは生物環境にも影響を与えていると考えられる。また、夏季でも、南シナ海沿岸域の北半では北東からの流れが維持されている。

モデルの風応力は気候値(永年の月別平均値)によったので、平年の流動の季節変動が表現されているのであるが、もし実際にモンスーンの年ごとの変動までを考慮すれば、シミュレーション結果にも年ごとの差異が現れると考えられる。具体的には、エルニーニョなどの変動も南シナ海の流動、ひいては生物化学的要素に影響を与えることが推定される。

4.2 コンテナ船観測による栄養塩、植物プランクトン分類群組成、色素

全測点から得られた栄養塩の値から、溶存態無機窒素 $DIN (= NO_3 + NO_2 + NH_4)$ 対 溶存態無機リン $DIP (= PO_4)$ の相関および $DIN (= NO_3 + NO_2 + NH_4)$ 対 溶存態ケイ素 $DSi (= Si(OH)_4)$ の相関を、それぞれ図4および図5の散布図に示す。斜線はレッドフィールド比を示し、香港近傍部分のデータ点のみHKの記号と観測月を付記した。沿岸域を除く南シナ海部分および東シナ海部分では、基本的には栄養塩濃度が低かった。これらの部分では、3種栄養塩はほぼレッドフィールド比に近い比を保ち、しかもDSi軸に正の切片を示していた。すなわち、Siが制限要因になることは少ない。香港近傍の4点では、レッドフィールド比からはずれて、DINがDIPやDSiに対して相対的に大きいことが多かった。

図6に、1997年秋の計測で得られた植物プランクトンの各分類群の炭素バイオマス換算量とその組成率を示す。沿岸部を除き、植物プランクトン濃度は基本的には低かったがこれは低い栄養塩濃度状態を反映していると考えられる。低いバイオマスのうちの卓越種は、東シナ海部分ではシアノバクテリア類である。そのうちでは球形で $1\mu m$ と微小であるシネココッカスが多かったが、地点によってはトリコデスミウムの寄与も見られた。なお、トリコデスミウムは、(リンさえあれば)窒素が枯渇状態でも、不活性の N_2 を固定して利用するための酵素を有している。したがって海水の窒素枯渇の指標であるといえよう。

南シナ海部分では、シネココッカスと並んで渦鞭毛藻類と微小鞭毛藻類がほぼ等分の組成を占め、トリコデスミウムも見られた。すなわち、珪藻が卓越してしまう温帯～亜寒海域に比べ、南シナ海部分では、植物プランクトンの門・綱のレベルの多様性が高いといえよう。

香港近傍部分では、上記の高い栄養塩を反映してプランクトンバイオマス濃度が高かった。季節により卓越種が交代し、図4、5中のHK-Apr.では渦鞭毛藻類、HK-Mayでは珪藻類、微小鞭毛藻類、渦鞭毛藻類、シアノバクテリア類の順、HK-Oct.では珪藻類、微小鞭毛藻類の順、HK-Jan.では微小鞭毛藻類、珪藻類、渦鞭毛藻類の順に組成を占めていた。マラッカ海峡部分に

関しては1回のみでの計測であるが、珪藻類が卓越していた。南シナ海においても、ベトナム沖測点では珪藻類の寄与がみられ、数値モデルによる湧昇と、推定される栄養塩供給と符合している。

HPLC分析により、植物プランクトン主要色素（クロロフィルa、b、c、フェオフィチン）補助色素（ペリディニン、フコキサンチン、ルテイン、ゼアキサンチン、ディアディノキサンチン他）を分析した。得られたクロロフィルa濃度[$\mu\text{g/l}$]と顕微鏡計数による炭素換算バイオマス濃度[$\mu\text{g/l}$]との比はほぼ1:50程度であった。また、ペリディニンは渦鞭毛藻類の指標となる。測点のうち、大阪湾、香港近傍部分、マラッカ海峡部分で、定量限界値以上のペリディニンの分析値が得られた。ただし、渦鞭毛藻類の炭素換算バイオマスとペリディニン分析値の相関はあまりよくなかった。

5. 考察

5-1 日本近海におけるN, P, Siの高頻度計測・元素比からの考察

コンテナ船データは、まだ開始したばかりで、長期高頻度の時系列としては十分とはいえない。この補完のため、1991~1998年の間実行されている瀬戸内海のフェリーモニタリングのデータを用いる。瀬戸内海の3つの経度範囲 (1)伊予灘 (2)備讃瀬戸 (3)大阪湾を選択し、それぞれのDIN, DIP, DSiの時系列を図7、8、9に示す。また、全期間に得られた3成分のデータをそれぞれx軸, y軸, z軸にわりふって3次元散布図として表したものをそれぞれの図の右側に示す。斜線はレッドフィールド比 (DIN, DIP, DSi=16; 1; 15) を示している。

中緯度では偏西風が卓越しているため、平均的には外洋水が西側の豊後水道から瀬戸内海に流入して、ゆっくり東進してゆくと考えられ、流速実測で確認はされていないが、塩分の希釈に関するデータはこの推論を支持している。したがって、東にゆくにつれて、淡水の寄与率と人為影響が積算されていると推定される。したがって、本来10~20年の時系列が必要な長期変質を空間的差異で代替的に推論を行うことが可能かもしれない。

図7の伊予灘では、栄養塩濃度が比較的小さく、植物プランクトンのスプリングブルームで栄養塩が減り、秋以降の鉛直混合で再び回復するという季節変化が規則正しく現れる。また、夏にはDINが枯渇し、DSiが残っている。右側の散布図からは、この季節変動による栄養塩の消長が、ほぼレッドフィールド比に従うサイクルにDSiの正の切片を加えたものと解釈できる。

これに対して、図9の大阪湾では、各栄養塩濃度が高いのみならず、規則的な季節変化がみられない。しかも夏にDSiが枯渇してDINが残留する。3次元散布図でも、DINの過剰が顕著である。赤潮に代表される夏季の非珪藻類のブルームが瀬戸内海の他の海域に比べて大阪湾で起こりやすいことはよく報告されている。ただし、夏季においても、珪藻種のブルームが起こることがある。これは、人為影響はN, Pの負荷を増大させるが、同時に河川はSiの供給源でもあることによる。このため、海洋の健康度を評価するには、単一の調査では不十分で時系列データによりが必要であることが再認識される。

図8の備讃瀬戸付近では、各栄養塩濃度が東西の中間的な値になっている。さらに特徴的なことは、栄養塩の枯渇からの回復が夏から起こっていることである。これは、備讃瀬戸が浅海域で潮汐混合が盛んなため、夏季に下層で分解・回帰した栄養塩が鉛直混合あるいは湧昇で表層に上がってきやすいことによると考えられる。なお、この海水の、DIN:

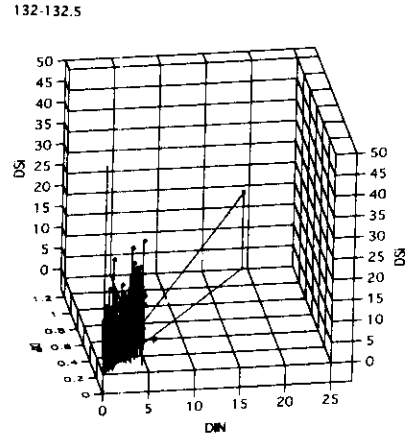
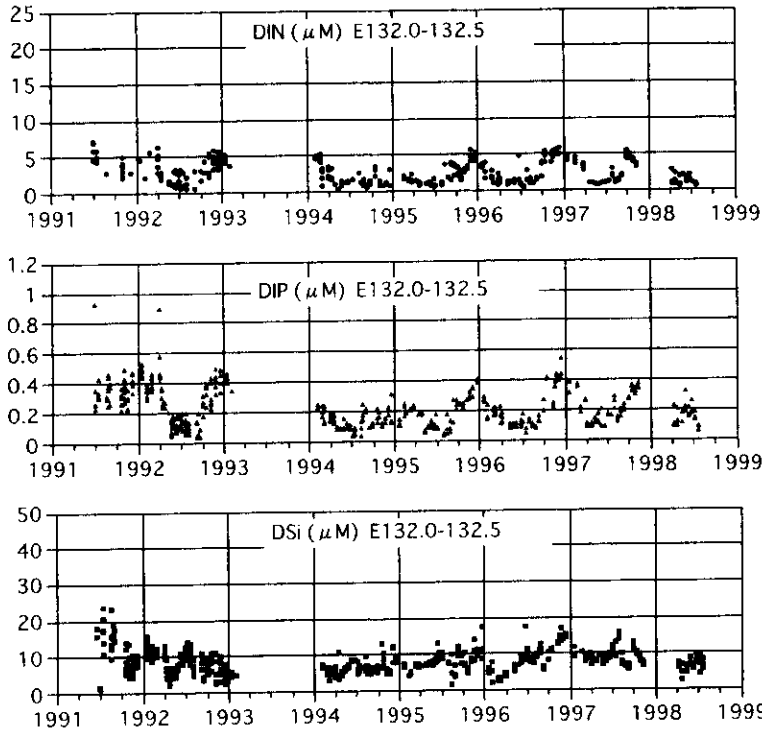


図7 瀬戸内西部（伊予灘）におけるDIN(左上),DIP(左中) およびDSi(左下)の時系列、右は全データの3次元散布図（単位は μM ）。（論文発表⑦およびデータベース①、②、④より）。

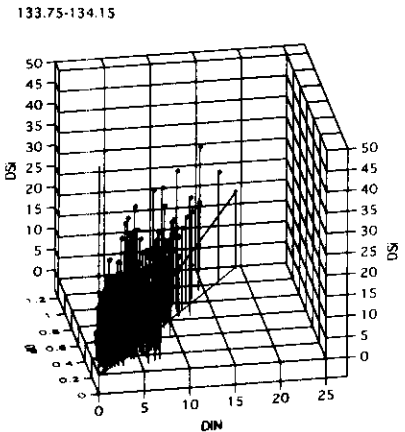
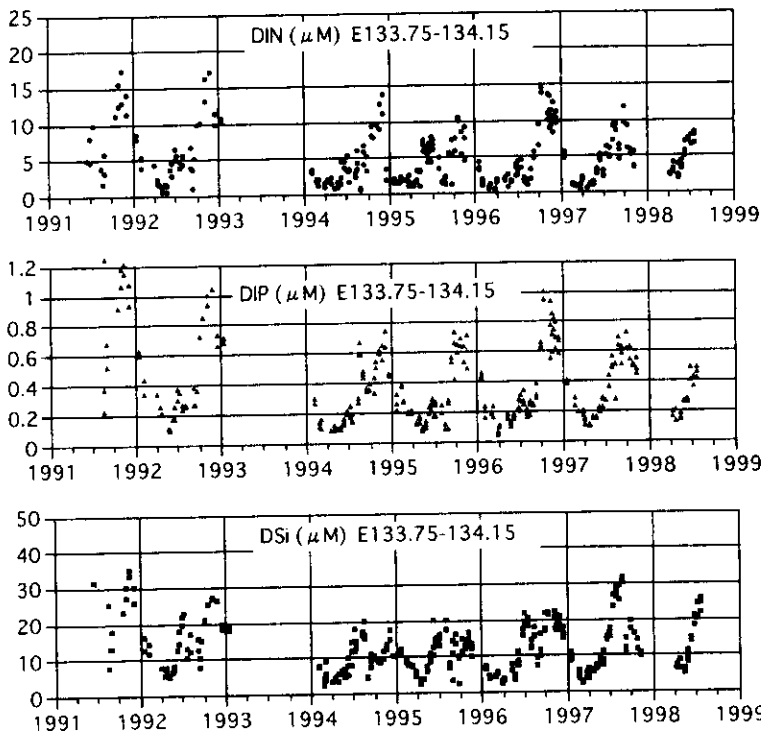


図8 瀬戸内中央部（備讃瀬戸）についての同上図

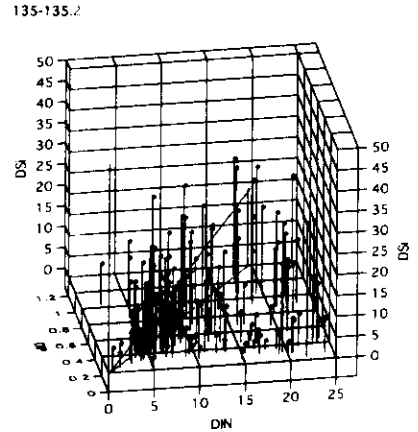
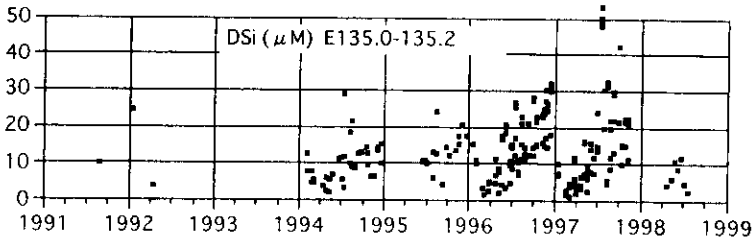
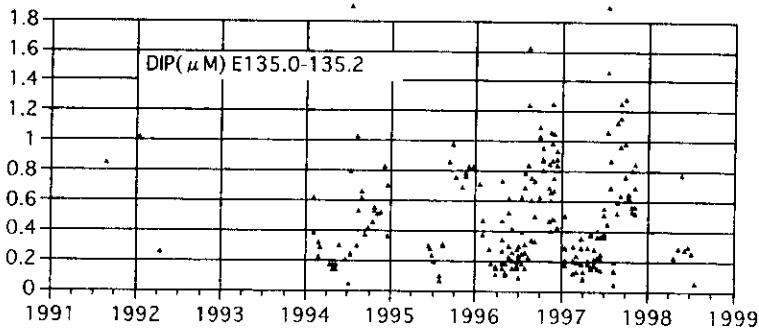
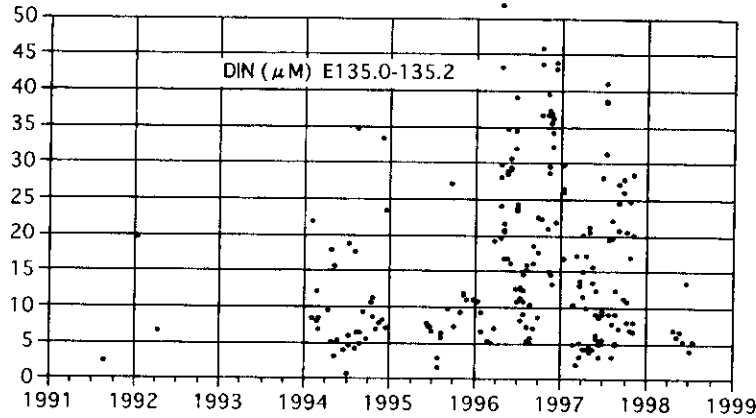


図9 瀬戸内東部（大阪湾）における同前図

新生産（栄養塩上乘せ分大）

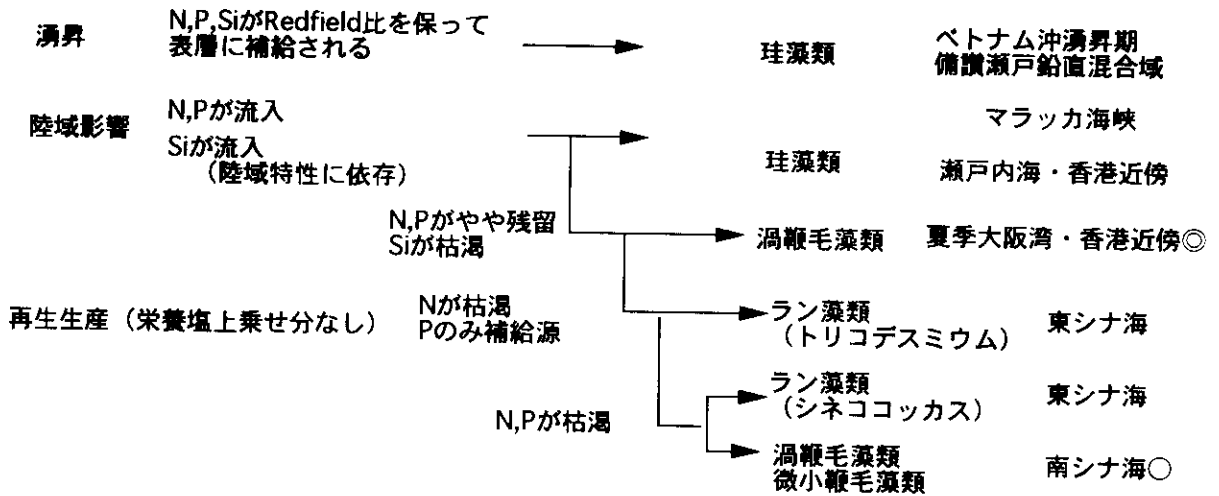


図10 卓越プランクトン分類群に関する推論。

DIP: DSi のバランスはとれており、フェリーの観測では、この状況を反映したとみられる珪藻類の出現が顕著だった。

5.2 プランクトン出現種と栄養塩環境、人為影響に関する考察

以上のフィールド計測のデータは、まだ十分とはいえないが、得られた知見からは、各プランクトン分類群の出現・卓越と、それらを成立させる人為影響的要素、自然起源要素を、1つのスペキュレーションとして図10のフローにまとめられる。

まず、十分な栄養塩がありさえすれば、増殖の速い珪藻類が卓越してしまう。栄養塩の源泉は、鉛直混合（温帯～亜寒帯海域、備讃瀬戸湧昇などの潮汐混合域）や湧昇（ベトナム沖等）であってもよいし、陸域起源（大阪湾、香港近傍部分）であってもよい。これらの場合、N、P、Si がセットで補給されるし、河川は通常人為起源のN、Pと帯同してSiも供給しているからである。ブルームが終了する時期、すなわち栄養塩が乏しくなって珪藻が増殖できなくなった時点で、少量のN、Pのもとで、渦鞭毛藻や微小鞭毛藻が出現する。「(N, P) / Si 比が人為影響で増大し、このため珪藻類に比べて渦鞭毛藻類の増殖に有利に働く」というシナリオは大阪湾や香港近傍に基本的に合致するといつてよいだろう。この場合、栄養塩利用の形態としては「新生産」ということになる。

また、南シナ海では、N、P 枯渇のもとで、少量の植物バイオマスの組成を渦鞭毛藻類、微小鞭毛藻類、シアノバクテリアなどが分け合っている。珪藻の独占がおこらず、多様な植物プランクトンが少量ずつ等分に生息できるといった解釈も成立するだろう。温帯域以北の海域では、冬季の鉛直混合で海水の更新があり、この時に下層の窒素、リン、ケイ素がほぼレッドフィールド比を保って上層に補給される。これに対し、南シナ海の場合年間を通じて成層が維持されるため、沿岸域を除いてはN、Pが補給される機会が少ない。したがって、渦鞭毛藻類の出現も、珪藻類が出現しにくいことの結果、すなわち海洋構造あるいは自然起源による可能性がある。この場合、栄養塩利用の形態としては「再生生産」ということになる。

また一方で、南シナ海の閉鎖性海域が強く、すでにマングローブ帯から養殖池への転換等でN、P流入が増加していることも考慮すると、人為起源で渦鞭毛藻類の組成が増加している可能性も否定できない。自然起源にしろ人為起源にしろ、南シナ海は全体として、渦鞭毛藻類が出現しやすい構造になっているといえる。したがって、今後さらにN、Pの負荷が加われば、温帯以北や湧昇域に基本的に有害藻類が出現しやすい生態系であるといえよう。

6. 国際共同研究計画等の状況

1998年1月に、中国、韓国、マレーシア、シンガポールの専門家を招聘して、Meeting towards a Cooperative Marine Environmental Monitoring in the Asian Marginal Seas (CoMEMAMS) の会合を開催した。(本報告書付録⁶参照)。この会合を基礎にして、各国研究者の協議を行うためのCoMEMAMS-Panel (仮称) を形成することを計画中である。

韓国海洋研究所(KORDI)と、日韓環境保護協定により、フェリーモニタリングに関する技術面での協力を行っていたが、KORDIが、1998年9月に、仁川～済州島間のフェリーを利用したモニタリングを開始した(航路は図2参照)。

また、19993月にソウルで開かれた4th Session of IOC-WESTPAC (第4回政府間海洋学委員

会-西部太平洋地域会議)において、アジア縁辺海におけるコンテナ船によるモニタリングを GOOS-HOTO (Health of the Ocean) モジュールの一環として行うことを提案中である。

7. 本研究により得られた成果

- 1)コンテナ船、フェリー等の定期航路船舶により広域海洋の生物化学量を反復的に計測する手法が確立された。
- 2)同コンテナ船航路のうち、東シナ海部分、南シナ海部分は栄養塩濃度が小さかったが、各地の沿岸部分で栄養塩濃度が高く、おおむね珪藻を主体とする植物プランクトンバイオマス量が高くなっていた。香港近傍部分など沿岸海域では、季節依存的に、N/Si 比が高くなり、また渦鞭毛藻類が大きな組成を占めることがわかった。
- 3)南シナ海部分では、貧栄養、貧バイオマスではあるが、渦鞭毛藻や微小鞭毛藻類が主要な組成を占めることが見られた。これが、すでに増加したN, Pによる人為影響的起源によるものか、海洋構造→表層貧栄養→珪藻類の増殖不能→他の藻類の出現、という自然起源によるものか、現時点では科学的不確実性が残っており、今後とも継続的なデータの蓄積とメカニズム説明が必要である。
- 4)今後、この手法を関連各国の協力のもとに遂行ため、各国研究者を招聘して会合を開いた。総合討論で、今後各国の協議のもとに海洋モニタリング遂行と継続的な環境評価を行ってゆく方向性が見いだされた。

8. 参考文献

- 1)Smetacek, V., Bathmann, U. and Scharek, R. in Ocean Margin Processes in Global Change , R.F.C. Mantoura, *et al.* (eds.) 251-280, "Coastal Eutrophication: Causes and Consequences" (1991)
- 2)Justic, D. *et al.*, Stoichiometric Nutrient Balance and Origin of Coastal Eutrophication, Marine Pollution Bulletin, 41-46 (1995).
- 3) Wuying Han *et al.* Marine Chemistry of the Nansha Islands and South China Sea, Guanzhou, China (1995).
- 4) Valencia, M. J., *et al.* Sharing the Resources of the South China Sea, Martinus Nijhoff Publishers, Kluwer Law International 280pages, (1997).
- 5)Vörösmarty, C. J. *et al.* (ed.) Drainage basins, river systems, and anthropogenic change: the Chinese example, in Galloway, J. N. *et al.* (eds.), Asian Change in the Context of Global Climate Change (1998).
- 6) Harashima, A. (ed.) Abstracts of the 1st CoMEMAMS Meeting, 7-8 January 1998, NIES-CGER (1998).

9. 研究成果の発表状況

(1)口頭発表

- ①Takano, K., Harashima, A. and Namba, T. 9th PAMS & JECSS WORKSHOP, (1997) "A numerical simulation of the circulation in the South China Sea - Preliminary results -"
- ②Tanaka, Y., Tsuda, R., Kimoto, T., and Harashima, A.: The PICES VI Annual Meeting (1997)

"Nutrient balance and spatial distribution of phytoplankton species plus size spectra revealed via ferry monitoring"

- ③原島省 関西水圏研究機構公開シンポジウム講演要旨 30-53(1996) 「水域生態系変化のモニタリングデザイン」
- ④紀本岳志、田中祐志、津田良平、古沢一思、原島省 日本海洋学会 1996 年度春季大会講演要旨集、337(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」
- ⑤虎谷充浩、福島甫、原島省 日本海洋学会 1997 年度春季大会講演要旨 P216(1997) 「CZCS データから得られた北西太平洋の海色 composite 画像の CD-ROM 化」
- ⑥原島省他 日本海洋学会 1997 年度春季大会講演要旨 189(1997) 「瀬戸内海に現れる pH ホール」
- ⑦原島省、高野健三、南場隆矢 日本海洋学会 1998 年度春季大会講演要旨 233(1998) 「南シナ海の流動に関する数値シミュレーション(1)」
- ⑧原島省、高野健三、南場隆矢 日本海洋学会 1998 年度春季大会講演要旨 234(1998) 「日本-マレーシア定期航路による海洋環境モニタリング(1)」
- ⑨若林孝、原島省 平成 10 年度日環協・環境セミナー全国大会要旨集、34-37、(1998) 「フェリーによる海洋モニタリングの現状」

(2)論文発表

- ①Melack, J. M., Gastil, M., Azuma, Y., Harashima, A. and Tsuda, R.: The Japanese Journal of Limnology, 57, 367-375 (1996) "Remote Sensing of Chlorophyll, Suspended Solids and Transparency in Lake Biwa, Japan"
- ②Kikukawa, H., Harashima, A., Hama, K. and Matsuzaki, K.: Estuarine, Coastal and Shelf Science, 44, 1-11 (1997) "A Numerical study of seasonal differences of the circulation process in a nearly closed coastal basin"
- ③Harashima, A., Tsuda, R., Tanaka, Y., Kimoto, T., Tatsuta, H. and Furusawa, K.: in Mati Kahru et al. (eds.) Monitoring Algal Blooms -New Technique for Detecting Large Environmental Change-, Springer, 85-11 (1997) "Monitoring algal blooms and biogeochemical changes in the adjacent seas of Japan with a flow-through system deployed on ferries in the adjacent seas of Japan"
- ④Takano, K., Harashima, A. and Namba, T.: "A numerical simulation of the circulation in the South China Sea - Preliminary results -", Acta Oceanographica Taiwanica (1998)
- ⑤Harashima, A., Tsuda, R., Tanaka, Y., Kimoto, and Hagiwara, T.: in Sherman, K. and Tang, Q.-S. (eds.) Large Marine Ecosystems of the Pacific Rim, Blackwell Science, Inc. (1998, in print) "High-resolution biogeochemical monitoring for assessing environmental and ecological changes in the marginal seas using ferry boats"
- ⑥Harashima, A., Takano, K. and Namba, T.: Research Activities in Atmospheric and Oceanic Modelling, WMO/TD-No.792, 8.29-30 (1997) "A numerical simulation of the circulation in the South China Sea - Preliminary results -"
- ⑦Harashima, A.: in Fang, M. and Kester, D.(eds.) Proc. of the Symposium on Real-Time, In Situ and Remote Sensing Measurements of Coastal Water Quality (1999, in print) "High-resolution

biogeochemical monitoring for assessing environmental and ecological changes in the marginal seas using ferry boats"

- ⑧原島省 環境対策技術百科、工業調査会、110-115 (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－」
- ⑨原島省 月刊海洋, 29(2) (1997) 101-107, 「フェリープラットフォームの特性と展開」
- ⑩原島省 クリーンエネルギー 1997-10, 57-60, (1997) 「人間活動による海洋環境変動-持続可能な海の利用をめざして」.
- ⑪原島省 月刊海洋 29, 101-108(1997) 「フェリープラットフォームの特性と展開」
- ⑫原島省・功刀正行「海の働きと海洋汚染」 裳華房ポピュラーサイエンスシリーズ、181 頁 (1997)

(2) 関連データベース (地球環境研究センターより公表)

- ①Harashima, A.: CGER-D005(CD-ROM)-'95 (1995) "Collected data of high temporal-spatial resolution marine biogeochemical monitoring by Japan-Korea Ferry, June 1991 to February 1993".
- ②Harashima, A.: CGER-D012(CD-ROM)-'97 (1997) "Collected data of high temporal-spatial resolution marine biogeochemical monitoring from ferries in the East Asian marginal seas – April, 1994 to December 1995".
- ③Fukushima, H., Toratani, M., Matsumura, S., and Harashima, A.: CGER-D015(CD-ROM)-'97 (1997) "Time series of phytoplankton biomass distribution over the Northwestern Pacific area by monthly composite images from Nimbus7-CZCS data".
- ④Harashima, A.: CGER-D021(CD-ROM)-'99 (1999) "Collected data of high temporal-spatial resolution marine biogeochemical monitoring from ferry tracks: Seto Inland Sea (Jan. 1996 – Nov. 1997) and Osaka-Okinawa (Jan. 1996 - Mar. 1998) ".

(3) 出願特許、受賞等 無し