

D-061 流下栄養塩組成の人為的变化による東アジア縁辺海域の生態系変質の評価研究
 (3) 年代間データ比較に基づいたN、P、S i組成比の海洋低次生態系への影響評価

広島大学大学院生物圏科学研究科

井関和夫

<研究協力者> 独立行政法人 水産総合研究センター
 西海区水産研究所 東シナ海海洋環境部 清本容子

平成18~20年度合計予算額	11,960千円
(うち、平成20年度予算額)	3,900千円)
※上記の合計予算額には、間接経費	2,760千円を含む

[要旨] 海域への流入栄養塩量・組成の変化が、海洋生態系の変質を招き、植物プランクトンの組成や沈降フラックスを変化させている可能性を、既存文献のレビューとセディメントトラップの捕集沈降粒子の解析から行った。特に、1990年代前半のMASFLEXプロジェクト（東シナ海陸棚、陸棚斜面および沖縄舟状海盆）と1998年の長江河口域における沈降粒子の化学成分と植物プランクトン組成の解析、また2007年の陸棚における底層水中の植物プランクトンの解析、および既存資料を調べた。その結果、世界の代表的な海域において、沈降粒子の化学・生物学的分析から浮遊生態系の変化や河川流量・栄養塩負荷量の変動が把握できることを確認した。沖縄トラフにおけるケイ藻類の沈降フラックスは、粒子の主要化学成分フラックスとよく相関があり、大深度ほど大きく、中・底層の沈降粒子の一部に内部陸棚域に卓越する底生性ケイ藻の*Paralia sulcata*が出現していた。また、1995年春季の陸棚底層では、全ケイ藻および*P. sulcata*の沈降フラックスは内部陸棚から縁辺部にゆくほど顕著に減少し、全ケイ藻中に占める*P. sulcata*の割合は緩やかな減少を示した。一方、渦鞭毛藻のフラックスは内部陸棚と陸棚中央部でほぼ同量で、陸棚中央部では*Prorocentrum minimum*が全渦鞭毛藻の半分近くを占めていた。なお、内部陸棚と陸棚中央部の渦鞭毛藻フラックスは、ケイ藻フラックスの各々1%以下、11%程度であり、陸棚縁辺部では皆無であった。1998年5月における長江河口域では、渦鞭毛藻の*P. donghaiense*が優占していた。また、2007年6月の底層水中では、内部陸棚から陸棚縁辺部にかけて、全ケイ藻は1/5程度に減少したが、*P. sulcata*には顕著な減少は見られず、ケイ藻中では*P. sulcata*が優占していた。また、内部陸棚で*P. donghaiense*が優占する海域があった。以上のことから、内部陸棚から海底に沿って陸棚斜面へと流出する輸送機構の存在が明らかとなり、また、1990年代後半から、陸棚において、植物プランクトンの種組成に変化（生態系の変質）が生じている可能性が示唆された。

[キーワード] 栄養塩組成、植物プランクトン組成、粒子フラックス、東シナ海、物質輸送

1. はじめに

外洋域では、植物プランクトンの光合成生産は主に垂表層水の湧昇や鉛直混合により供給される栄養塩に依存するが、沿岸域では、大部分は河川由来の栄養塩の量・組成に影響される。このため、巨大ダム建設によるダム湖でのケイ酸塩トラップと下流域における人間活動によるN・P負荷

の増大との相乗効果として流下栄養塩比が大きく変わり、沿岸生態系の変質を招くことが懸念されている^{1,2,3,4)}。東シナ海は広大な大陸棚を有し、長江から供給される大量の栄養塩類により生物生産性が高いが⁵⁾、その一方で、三峡ダムやその他の支流のダムにより流下栄養塩量と組成比が大きく変わり、沿岸生態系へ影響を及ぼしつつあることが指摘されている^{3,4,6,7,8)}。加えて、東シナ海でのイベントは、沖縄トラフ（舟状海盆）を北上し太平洋へと流出する黒潮と、日本海に流入する対馬暖流により我国へのインパクトが大きいことが、エチゼンクラゲや漂着ごみの調査からも明らかとなっている。

1990年代半ばに実施されたMASFLEX（縁辺海における物質循環機構の解明に関する国際共同研究）プロジェクトを通して、東シナ海の海水中における粒状懸濁物濃度や、基礎生産量、沈降粒子量などの測定から、陸棚の基礎生産物質は有光層下に沈降し、陸棚や陸棚斜面の海底付近に沿って沖縄トラフへと輸送されている可能性が示唆されている⁹⁾。このことは、長江由来の流下栄養塩量・組成の変化が、内部陸棚において海洋生態系の変質を招くと、そのイベントが東シナ海全体の物質輸送システムを通して、陸棚縁辺部に留まらず、隣接外洋域にまで影響を及ぼすポテンシャルがあることを意味している。従って、外部陸棚から陸棚斜面域や沖縄トラフにおける粒状懸濁物や粒子フラックスの時系列観測により、上流側に位置する長江河口・内部陸棚における生態系変質などのイベントを把握できる可能性をも示唆していることになる。下流側に位置する我国にとっては、東シナ海の陸棚縁辺部において、長江河口を含む内部陸棚で起きる様々な現象を把握し、その実態を明らかにすることは、科学的な意義に留まらず、適切な環境政策の立案と対策を実施する上で必須課題である。

2. 研究目的

アジア縁辺海域へ陸から流入する栄養塩量やN:P:Si組成比の人為的变化と海洋生態系変質との因果関係を検証するため、東シナ海を主な対象として、ケイ藻・渦鞭毛藻・円石藻などから構成される浮遊生態系の組成が時空間的にどのように変化するかについての科学論文・データのレビューを行い既存知見の整理と科学的不確実性の所在を整理する。また、「拡大シリカ欠損仮説」は生物粒子の沈降の評価が不可欠であり、方法論としてはセディメントトラップによる沈降粒子束の評価が本質的である。このため、先ずセディメントトラップ実験のレビューを行い、沈降粒子と浮遊生態系との関連性を評価することを行った。次に、本仮説を、1990年代前半のMASFLEXプロジェクトの際の陸棚から陸棚斜面域や沖縄トラフに至る海域で実施したセディメントトラップ実験で捕集された沈降粒子サンプルや、MASFLEX後の調査航海で得られた沈降粒子や底層水中の懸濁物の分析および、これらのデータの比較解析により評価し、さらにこれらの結果を他の課題のモデル解析に反映させることを目的とした。

3. 研究方法

(1)

東シナ海の残存サンプルと最新サンプルを用いた粒子組成の分析と関連データを用いた解析

図1に示す観測点で得られた沈降粒子および粒状懸濁物の化学成分や植物プランクトン組成の分析・データ解析を行った。MASFLEX プロジェクトで得られた、1993年3月－94年2月（1年間）の沖縄トラフ(SST 2)における沈降粒子の化学分析に関する既存データ⁹⁾と保存沈降粒子試料中の

植物プランクトンの計数結果を併せて解析した。また、1995年5月の陸棚上3点（内部陸棚のPN12、陸棚中央部のPN8、および陸棚縁のPN5）と陸棚縁の3点（F8、F6、およびF4）における沈降粒子中の植物プランクトン組成等を調べた。MASFLEXプロジェクト後については、1998年5月に長江河口域（St. E1：海底水深20m）の水深5mと15mで得られた沈降粒子（西海区水研・岡村和麿氏からの提供¹⁰⁾）中の植物プランクトン計数結果の解析、また2007年の東シナ海航海における底層水中（St. S1～S9の海底直上5m）の植物プランクトンの計数結果の解析を行った。これらの関連データを用いて、植物プランクトンを含む粒状懸濁物の空間的差異や、物質輸送システム、および生態系変質に関する年代間比較に関する解析を行った。

なお、トラップ試料中の植物プランクトンの定量は、試料を分割してプレパラートを作成し、光学顕微鏡を用いて同定・計数が行なわれた。試料は光学顕微鏡で、対物レンズ10倍、20倍、40倍を用いて同定をしながら計数を行った。観察頻度が高い細胞や小型で注意深い観察を必要とする種類については1/2から1/10相当量を観察し、観察頻度が低く大型の種類については1/1相当量を観察した。また、*Paralia sulcata*など注目種や細胞が連なり群体を形成する種類については1/1相当量を観察した。

MASFLEX 残存サンプルの解析においては、植物プランクトンのフラックスとして、ケイ藻、円石藻、渦鞭毛藻、黄金色藻の生細胞および死細胞の合計を示し、動物プランクトンの糞粒および糞粒の分解により生じると考えられる細胞断片等はフラックスの計算から除外した。ただし、未分解の植物プランクトン細胞として糞粒から放出されたものは、計数に含まれている。

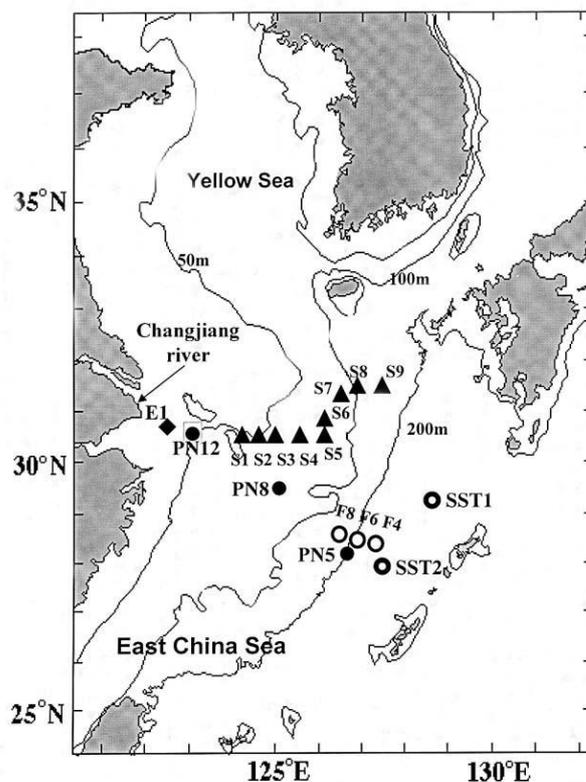


図1. 採水およびセディメントトラップ実験の観測点

(2) 浮遊生態系と沈降粒子組成の変遷に関する既存データの整理・評価

セディメントトラップ実験の既存資料、報告書等から、浮遊生態系の構造（植物プランクトン組成（ケイ藻—非珪藻）や、動物プランクトンの種・サイズ組成など）と沈降粒子中の化学組成や植物プランクトン組成、動物プランクトンの糞粒組成および沈降速度等との関連性について、特に河川の影響・シリカ欠損の視点で評価を行なった。

4. 結果・考察

(1) 粒子組成の分析と関連データの解析による物質輸送と生態系変質に関する解析

MASFLEXプロジェクトで得られた沖縄トラフにおける1993-94年の1年間の粒子フラックス（乾重量、有機・無機炭素、生物起源ケイ素）は、水深の増加に伴い急増し水深1020m（海底上50m）のフラックスは610mより数倍から一桁程度以上大きかった（図2）⁹⁾。また、粒子フラックスは秋から春にかけて高く、夏に低いという明瞭な季節変動を示していた。

沈降粒子中の植物プランクトンはケイ藻が優先し、ケイ藻フラックスは、全体的には粒子の主要化学成分フラックスとよく相関があり、大深度ほど大きかった（図3）。また、水深610mと1020mの各26本のサンプル中それぞれ1本と8本に内部陸棚域に卓越する底生性ケイ藻プランクトンの *Paralia sulcata*^{11,12)}の出現が認められ、ケイ藻中に占める *Paralia sulcata* の割合の最大値として、18%の値が水深1020mのサンプルで春に得られた。

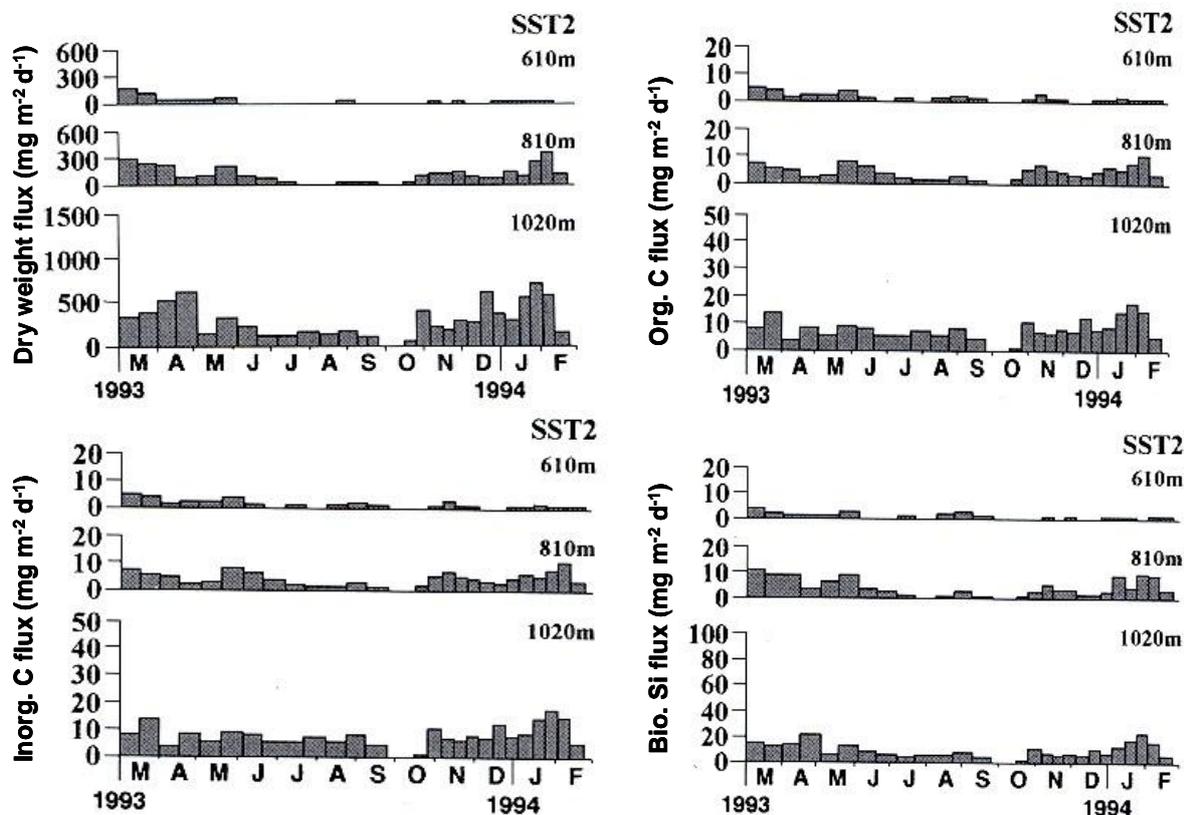


図2. 沖縄トラフの観測点SST2における粒子フラックス（乾燥重量、有機炭素、無機炭素、生物起源ケイ素）の季節変動。Iseki et al. (2003)⁹⁾を改変。

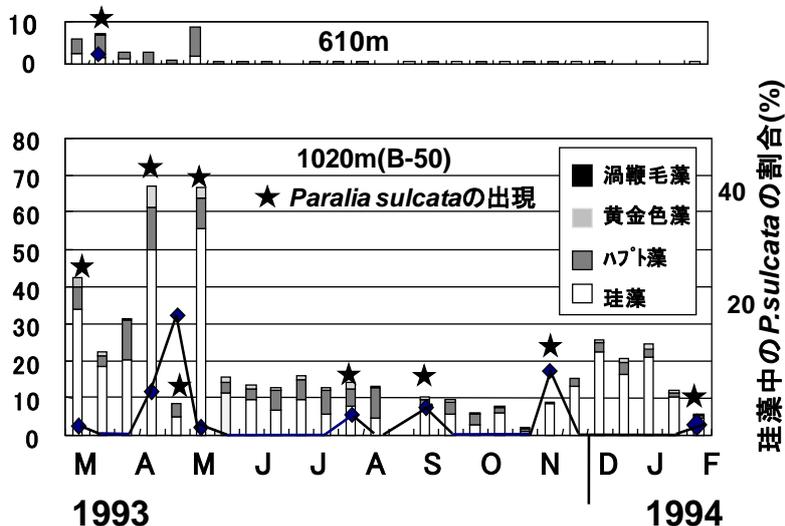


図3. 沖縄トラフの観測点SST2の水深610mと1020m（海底上50m）における植物プランクトンのフラックスの季節変動と珥藻中に占める*P. sulcata*の割合。*P. sulcata*の出現時を★で示した。93年3-9月は1mm以下、93年10月-94年2月は100um以下の沈降粒子。縦軸は植物プランクトンフラックス（単位は $\times 10^5 \text{ cells m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ）

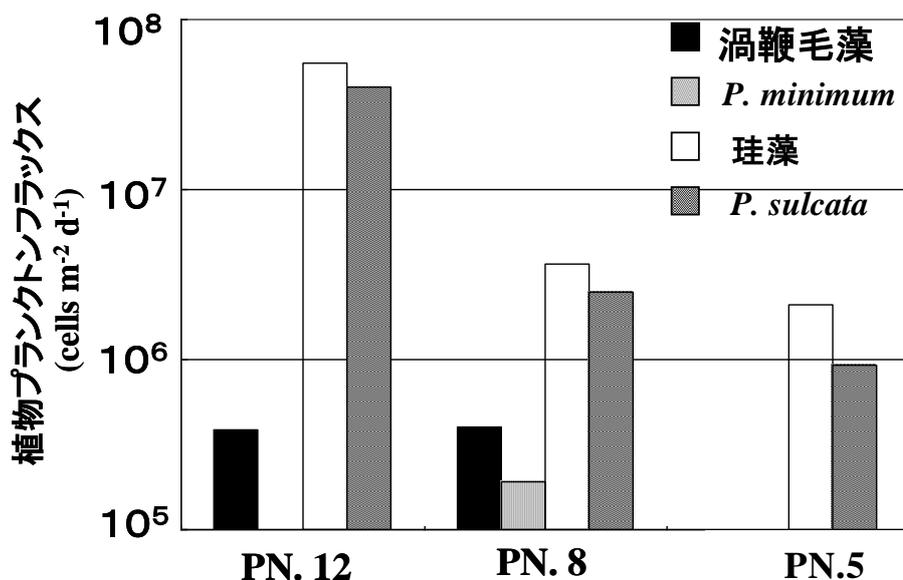


図4. 1995年5月の東シナ海陸棚の海底上5m（底層水中）における植物プランクトンの沈降フラックス（ $\text{cells m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ）。全渦鞭毛藻と*Prorocentrum minimum*および全ケイ藻と*Paralia sulcata*のフラックス。

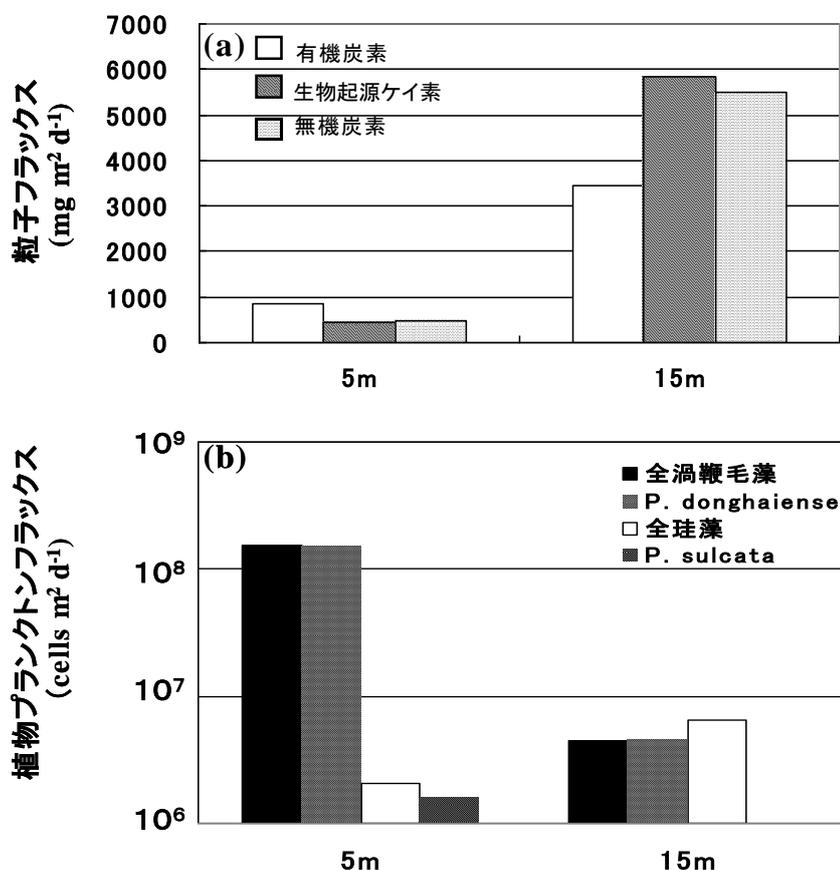


図5. 1998年5月22-23日に長江河口域 (St.E1) におけるセディメントトラップ実験で得られた粒子フラックス($\text{mg m}^{-2} \text{d}^{-1}$)と植物プランクトンの沈降フラックス($\text{cells m}^{-2} \text{d}^{-1}$). 植物プランクトンフラックスは対数で示す。

また、図4に示すように、1995年5月における陸棚底層（海底上5m）の沈降粒子では、ケイ藻フラックスは長江沖で最も高かったが、陸棚中央部では内部陸棚の7%まで急減し、さらに陸棚縁では4%に減少していた。*Paralia sulcata*もほぼ同様の減少傾向にあった（陸棚中央部で6%、縁辺部で2%）。ケイ藻類に占める*Paralia sulcata*の割合は、内部陸棚（72%）から陸棚中央部（68%）をへて陸棚縁辺部（44%）へと徐々に減少していた。一方、渦鞭毛藻のフラックスは内部陸棚と陸棚中央部でほぼ同量で、陸棚中央部では*Prorocentrum minimum*が渦鞭毛藻の半分近くを占めていた。なお、内部陸棚と陸棚中央部の渦鞭毛藻フラックスは、ケイ藻フラックスの各々1%以下、11%程度で、陸棚縁辺部では皆無であり、陸棚全体を通じて珪藻が優占していた。

陸棚縁から陸棚斜面域のセディメントトラップの短期係留観測では、夏季(1996年8-9月)に陸棚縁ではSt.F-8(水深132m)の底層（海底上12m)にのみ*Paralia sulcata*が出現し、珪藻中に占める*Paralia sulcata*の割合は12%であったが、海底上35mと60mには皆無であった。また、秋季にはSt.F-8および

陸棚斜面域のSt.F-6(水深301m)では全く出現せず、最も沖合のSt.F-4(水深604m)の海底上110mと35mに出現が確認され、珪藻中の*Paralia sulcata*の割合はそれぞれ8%と4%であったが、海底上12mでは出現は見られなかった。

MASFLEX後の1998年5月22-23日における長江河口域でのセディメントトラップ実験(図5)では、水深5mの粒子フラックスより水深15m(海底上5m)の方が、4倍(有機炭素)から14倍(生物起源ケイ素)と大きく、少なくとも海底上5mまでは海底からの再懸濁の影響が大きいと考えられた¹⁰⁾。一方、植物プランクトンのフラックスでは、ケイ藻のフラックスは水深5mから15mにかけて1.6倍増加するのに対して、渦鞭毛藻のフラックスは逆に5mから15mで68分の1に減少していた。また、水深5mの植物プランクトンでは、渦鞭毛藻が優占し中でも*P. donghaiense*(日本や韓国に出現する形態的に*P. dentatum*類似種¹³⁾)が最優占種であった。この時期、本観測点の周辺域では*P. donghaiense*の増殖が起きていたことと¹⁴⁾一致する結果である。1995年以来、長江河口域や沿岸域では*P. donghaiense*の春季大増殖が出現しだしたとの報告もある¹³⁾。

図6に示すように、2007年6月における底層水中の植物プランクトンでは、ケイ藻は全体として内部陸棚から陸棚縁辺部にかけて、1/5程度に減少したが、*P. sulcata*には顕著な減少は見られず、ケイ藻中では*P. sulcata*が優占種(ケイ藻中の31-91%)であったが、表層および中層では*Paralia sulcata*はほぼ皆無であった。また、内部陸棚の2観測点(S3とS4)で渦鞭毛藻がケイ藻より卓越し、*P. donghaiense*が優占種(渦鞭毛藻の92%以上)であった。

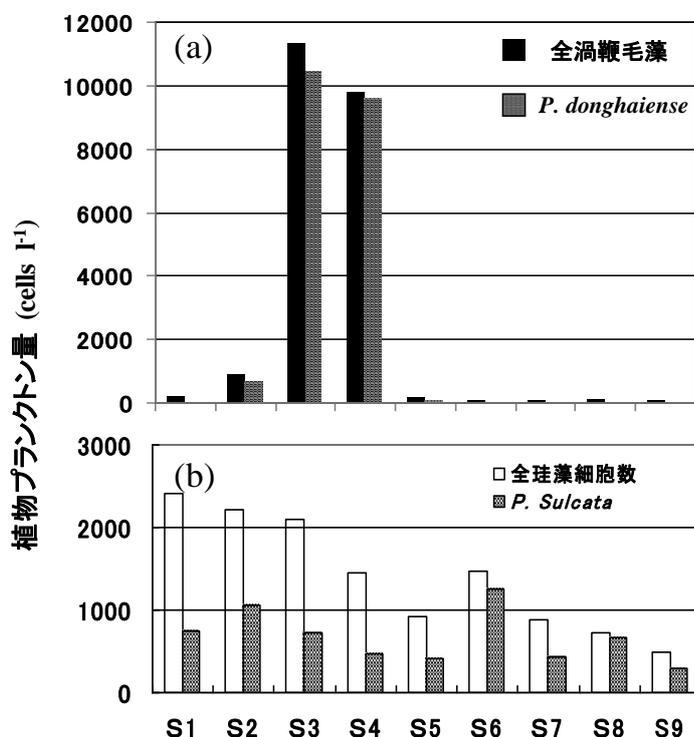


図6. 2007年6月の東シナ海陸棚の海底上5m(底層水中)における植物プランクトン量(cells l⁻¹). a) 全渦鞭毛藻と*Prorocentrum donghaiense* (*P. dentatum*類似種¹³⁾)、b) 全ケイ藻と*Paralia sulcata*。

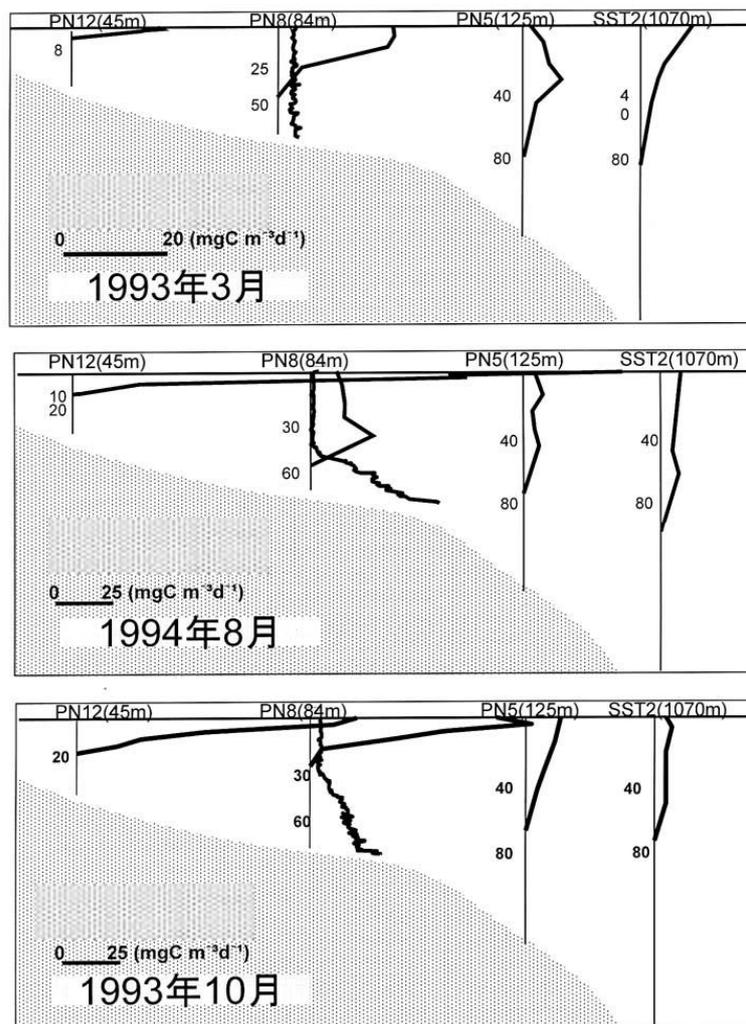


図7. 1993年3月, 1994年8月, 及び1993年10月の東シナ海陸棚と沖縄トラフにおける基礎生産量の鉛直分布($\text{mgC m}^{-3} \text{d}^{-1}$). Hama et al.(1997)⁵⁾を改変図中の数字は深度.

朝岡(1975)¹⁵⁾による1960年～1963年の黄海から東シナ海の陸棚調査において、夏季に黄海中央部から陸棚縁(PN5周辺)の底層に*Paralia sulcata*の出現があり、特に長江河口域では少なく、黄海中央部および陸棚中央部に多く分布していた。また上野(1993)¹⁶⁾は、1985年秋季と1986年夏季に、東シナ海陸棚中央部から沖縄トラフ北部にかけて植物プランクトンの調査を行い、陸棚中央部から陸棚縁の底層(水深70m～120m付近)に*Paralia sulcata*の出現を報告している。これらの結果は、MASFLEXの沈降粒子サンプルおよび2007年度航海の海水サンプルの結果とも一致している。

冬季の観測では、*Paralia sulcata*は内部陸棚(観測点PN12)の全水柱を通して卓越していること(ケイ藻中の90%以上)が報告され¹¹⁾、その他の観測点の底層では出現が見られていない。この

ことから冬季には、内部陸棚の*Paralia sulcata*は鉛直混合により有光層内にも分布し、光合成生産・増殖が行われていると考えられる。

一方、前述したように夏季と秋季には*Paralia sulcata*の濃密分布域は海底上5m付近に見られるが、光合成能を有しているかどうかは不明である。そこで、各観測点の海底水深と補償深度を比較してみると(図7)、夏季には*Paralia sulcata*の主要分布域は補償深度よりも十分に深く、陸棚の底層付近では*Paralia sulcata*は増殖困難であり、秋季には、陸棚中央部から外部縁辺部にかけて補償深度はより浅くなるため、秋季の陸棚底層では*Paralia sulcata*は光合成生産が不可能と考えられる。以上のことから、沖縄トラフでセディメントトラップに捕集された*Paralia sulcata*は、内部陸棚域(PN12)で生産された可能性が高いと推察される。また、前述したように、陸棚斜面域の秋季のセディメントトラップ実験では、陸棚縁から上部陸棚斜面域の海底上12m以浅では*Paralia sulcata*は出現せず、斜面中央部付近では、海底上35mと110mに出現し、海底上12mで皆無であった。このことは、陸棚縁から上部陸棚斜面域では、海底上12m以深の底層近くに分布しているため観測で補足されなかったこと、また陸棚中央部付近になると黒潮との相互作用や内部潮汐等の影響を受けて、海底から離れて沖合に輸送されていることが考えられるが、そのメカニズムの詳細は不明である。

これらのことから、内部陸棚から海底に沿って陸棚斜面へと流出する輸送機構の存在が明らかとなり、またMASFLEX後の1990年代後半から、内部陸棚と陸棚中央部に至る海域において、植物プランクトンの種組成に変化(生態系の変質)が生じている可能性が示唆された。

(2) 浮遊生態系構造と沈降粒子フラックスの関連性に関する既存データの評価

深層におけるPOCフラックスは、一般に海洋表層における植物プランクトンの種組成に影響され、ケイ藻/渦鞭毛藻比の大きいほど有機炭素フラックスが大きくなることが、北東大西洋におけるセディメントトラップ実験とモデル(サイズ別基礎生産—食物網フラックス結合)解析などで確認されている¹⁷⁾。また、北太平洋のハワイ沖と亜寒帯域における比較では、植物・動物プランクトンのサイズが大きい亜寒帯域の粒子フラックスは、ハワイ沖より数倍程度大きくなっている¹⁸⁾。大河川の影響を受ける世界の代表的な海域におけるセディメントトラップ実験の結果では、例えば、ガンジス、ブラマプトラ川が流入する北部ベンガル湾では、水深800-1000mにおける粒子フラックスおよび有機炭素/無機炭素と無機炭素/オパールの組成比は河川流量の季節変動と良く同調し変動し、河川流量が最大となる南西モンスーン期には、前者は最大値を、後者は最小値を示していた¹⁹⁾。さらに、1950年代から90年代にかけて栄養塩のSi:N比が3から1にまで減少しているミシシッピー河川水が流入する陸棚では、Si:N比が1以下に減少すると動物プランクトン中に占めるコペポダの割合が75%以上から30%以下に減少し、動物プランクトンによる捕食圧が低下するため沈降粒子中に占める動物プランクトンの糞粒が急減することが観測され、結果として渦鞭毛藻などの有毒赤潮プランクトンが増殖しやすくなる可能性が指摘されている²⁰⁾。これらの観測事実は、渦鞭毛藻や円石藻などのサイズの小さな植物プランクトンは、相対的にサイズの大きな珪藻類より沈降速度が小さく、有機炭素の沈降輸送の担い手としては珪藻より劣ることを示している。また、栄養塩の流入量や組成は、植物プランクトン組成を変化させ、その変化は沈降粒子から把握可能であることを示唆している。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

長江沖から陸棚縁までの陸棚域と沖縄トラフを含めた粒子フラックス（化学成分と植物プランクトンの）と海水中の植物プランクトンの広域観測結果から、東シナ海の陸棚内部から底層を經由して陸棚斜面（沖縄トラフ）に下降してゆく輸送システム（Continental shelf pump²¹⁾の一部）が確認された。このことは、陸棚縁から斜面域でのセディメントトラップ実験によって陸棚内部の生態系の変化がモニターできる可能性を示唆している。さらに本研究は、単一の観測結果だけでなく、広く世界各海域のセディメントトラップ実験の結果のレビューに基づいた比較により全般的傾向をサーベイをしたところにも意義がある。また、年代間比較により、1990年代後半から、東シナ海の陸棚において植物プランクトン組成が変化してきている可能性が示唆された。

(2) 地球環境政策への貢献

本サブテーマ代表者のセディメントトラップ実験に関する論文が、SCOPEシリーズ "Silicon Cycle¹⁾"のChap.)に引用され、長江および東シナ海に関する科学的成果として環境政策に貢献している。また、本サブテーマではMASFLEXプロジェクトの残存サンプルを分析することによってフォローアップ的・発展的な貢献を期している。中国沿岸域におけるイベントを、東シナ海の陸棚縁辺部においてモニターできることを示し、同海域の環境監視システムの構築と適切な環境政策の立案と対策に貢献が期待される。

6. 引用文献

- 1) Ittekkot, V. *et al.* (Eds.) (2006): The Silicon Cycle, Island Press, 275pages.
- 2) Humborg, C. *et al.* (1997): Effect of Danube River dam on Black Sea biogeochemistry and ecosystem structure, *Nature* 386, 385-388.
- 3) Harashima, A. *et al.* (2006): Verification of the silica deficiency hypothesis based on biogeochemical trends in the aquatic continuum of Lake Biwa-Yodo River-Seto Inland Sea, Japan, *Ambio* 35, 36-42.
- 4) 原島省、井関和夫、樽谷賢治 (2007): 流入栄養塩比の変化による内湾・大陸棚域の生態系変質の可能性、*海と空* 82、11-21.
- 5) Hama, T., Shin, H. and Handa, N. (1997): Spatial variability in the primary productivity in the East China Sea and its adjacent waters, *J. Oceanogr.* 53, 41-51.
- 6) Wang, B. (2006): Cultural eutrophication in the Changjiang (Yangtze River) plume: History and perspective, *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 71, 3-12.
- 7) Gong, G. *et al.* (2006): Reduction of primary production and changing of nutrient ratio in the East China Sea: Effects of the Three Gorges Dam?, *Geophys. Res. Lett.* 33, L07610.
- 8) Zhang, J. *et al.* (2006): Dissolved silica in the Changjiang (Yangtze River) and adjacent coastal waters of the East China Sea, in Ittekkot *et al.*(eds) *The Silicon Cycle*, pp.71-80.
- 9) Iseki, K., Okamura, K., and Kiyomoto, Y. (2003): Seasonality and composition of downward particulate fluxes at the continental shelf and Okinawa Trough in the East China Sea and its adjacent waters, *Deep-Sea Res. II* 50, 457-473.
- 10) Okamura, K. and Kiyomoto, Y. (2000): Preliminary data on flux and decomposition rate of sinking particles in the Changjiang estuary. *Proceedings of the Japan-China Joint Workshop on the*

- Cooperative Study of the Marine Environment. Environmental Capacity and Effects of Pollutants on Marine Ecosystem in the East China Sea. Research Report from the National Institute for Environmental Studies, Japan, No.151, 141-149. (国立環境研究所研究報告書)
- 11) Furuya, K., Kurita, K. and Odate, T. (1996): Distribution of phytoplankton in the East China Sea, *J. Oceanogr.* 52, 323-333.
- 12) Furuya, K., Hayashi, M., Yabushita, Y. and Ishikawa, A. (2003): Phytoplankton dynamics in the East China Sea in spring and summer as revealed by HPLC-derived pigment signature, *Deep-Sea Res. II* 50, 367-387.
- 13) Lu, D. et al. (1995): *Prorocentrum donghaiense* - a high biomass bloom-forming species in the East China Sea. *Harmful Algae News*, 23, 1-5.
- 14) Kosikawa, H., K-Q. Xu, S. Murakami, K. Kohata and M. Watanabe (2000): Effect of phosphorous enrichment of phytoplankton blooms and the role of grazers in marine mesocosms in the Changjiang estuary. Proceedings of the Japan-China Joint Workshop on the Cooperative Study of the Marine Environment.-Environmental Capacity and Effects of Pollutants on Marine Ecosystem in the East China Sea.-Research Report from the National Institute for Environmental Studies, Japan, No.151, 37-50. (国立環境研究所研究報告書)
- 15) 朝岡治(1975) : 東シナ海の植物プランクトン分布と海況. *海洋科学*, 7, 38-45.
- 16) 上野俊士郎(1993) : 東シナ海黒潮前線域における水型と植物プランクトン群集の分布. *The Journal of Shimonoseki University of Fisheries*, 41, 251-256.
- 17) Boyd, P. and P. Newton (1995): Evidence of the potential influence of planktonic community structure on the interannual variability of particulate organic carbon flux. *Deep-Sea Research*, 42, 619-639.
- 18) Buesseler et al. (2007): Revisiting carbon flux through the ocean's twilight zone. *Science*, 316, 567-569.
- 19) Turner, R.E., N. Qureshi, N.N. Rabalais, Q. Dortch, D. Justic, F. Richard and J. Cope (1998). Fluctuating silicate: nitrate ratios and coastal plankton food webs. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 95, 13048-13051.
- 20) Ittekkot, V. *et al.* (1991): Enhanced particle fluxes in Bay of Bengal induced by injection of fresh water, *Nature* 351, 385-387.
- 21) Tsunogai, S., S. Watanabe and T. Sato (1999): Is there a "continental shelf pump" for the absorption of atmospheric CO₂. *Tellus, Ser. B*51, 701-712.

7. 国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない。

8. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文(査読あり)>

- 1) 原島省、井関和夫、樽谷賢治: *海洋気象学会誌「海と空」*, 82, 61-71 (2007) 「流入栄養塩比

の変化による内湾・陸棚域の生態系変質の可能性」

<その他誌上発表（査読なし）>

- 1) 中島さやか、井関和夫：広島大学大学院生物圏科学研究科紀要，45，21-29（2006）「沿岸域における生物起源ケイ素の分析手法の検討と春季周防灘における分布」
- (2) 口頭発表（学会）
 - 1) 井関和夫・高橋香菜・大村寿明・原田晃・新村陽子：海洋深層水利用研究全国大会（2006）「夏季相模湾における粒子フラックスの短期変動：肥沃化実験前のバックグラウンドデータの把握」
 - 2) 井関和夫：水産海洋学会・日本海洋学会西南支部・海洋気象学会九州沖縄地域研究集会（2006）「東シナ海における物質循環機構と長江河川水による海洋生態系の変質の可能性」
 - 3) 井関和夫：第36回南海・瀬戸内海海洋調査技術連絡会、海上自衛隊呉地方総監部（2006）「山国川・中津干潟・周防灘を含む統合型の物質循環研究」
 - 4) 井関和夫・清本容子・岡村和麿・原島省：日本海洋学会秋季大会（2007）「沖縄舟状海盆における植物プランクトンのフラックスの周年変動と物質輸送機構の推定」
 - 5) 原島省・井関和夫・高橋理・石原靖文：日本海洋学会春季大会（2008）「沿岸・縁辺海域におけるミネラルバラスト効果のモデル解析」
 - 6) 井関和夫・清本容子・岡村和麿・原島省：日本海洋学会秋季大会（2009）「東シナ海における植物プランクトンの沈降フラックスと分布による物質輸送機構の推定」
- (3) 出願特許
なし
- (4) シンポジウム、セミナーの開催（主催のもの）
井関和夫：広島大学大学院4研究科共同セミナー（2007）
「セディメントトラップで探る浮遊生態系の変化と物質輸送機構」
- (5) マスコミ等への公表・報道等
なし
- (6) その他
なし