

東シナ海における粒状懸濁物の分布と輸送過程*

井関 和夫**†・岡村 和麿**・清本 容子**

Particle Distributions and Transport Processes in the East China Sea

Kazuo Iseki, Kazumaro Okamura and Yoko Kiyomoto

MASFLEX プロジェクトの一環として、東シナ海の PN 線を中心とした陸棚、陸棚斜面、沖縄舟状海盆、及び隣接外洋域において粒状懸濁物、濁度の分布を調べると共に、セディメントトラップ、濁度計、流速計の短期・長期係留実験を実施した。

その結果、クロロフィル、生物起源粒状珪素等の分布から陸棚における植物プランクトンの春季増殖、及び長江沖の高生産力域が明瞭に示された。一方、陸起源粒状珪素、濁度等の分布から、夏季・秋季の陸棚における海底高濁度層の顕著な発達と冬季鉛直混合による内部陸棚域での活発な再懸濁過程が明らかとなった。

沖縄舟状海盆の中・深層における粒子フラックスは、陸棚上の季節風変動パターン、台風等との関連が示唆され、陸棚斜面域における粒子フラックスは内部潮汐の影響を大きく受けていることが示された。これらのことから、沖縄舟状海盆の中・深層における粒子フラックスは、海盆表層からの鉛直輸送よりは主に陸棚からの水平輸送によるものと推察された。また、陸棚域における粒子フラックスと基礎生産量との比較から、基礎生産量の5~20%程度が沈降粒子として有光層下に運ばれていることが明らかとなった。

We have conducted a long- and short-term particulate flux studies using sediment traps together with turbidity and current meters on the shelf, slope, Okinawa Trough in the East China Sea and the adjacent Pacific Ocean. Temporal and spatial variations of suspended matter and turbidity were also studied.

The distribution of chlorophyll *a* and particulate biogenic silica (BSiO₂) showed a phytoplankton spring bloom on the shelf and a high productive area off Changjiang River. On the other hand, the distribution of particulate lithogenic silica (LSiO₂) and turbidity revealed a well-developed bottom turbid layer on the shelf in summer and autumn, and resuspended bottom sediments of the entire water column on the inner shelf, particularly in winter mixing period.

The variability of particle fluxes at the deep waters of the Okinawa Trough was seasonally coupled to local climate and oceanographic events such as monsoon wind and typhoon. The variability of particle fluxes on the slope was also influenced by the short-term events such as internal tide.

The observation showed that resuspension and near-bottom transport of the sedimented particles from the shelf to the Okinawa Trough may be key processes of cross-shelf transport of biogenic and lithogenic particles. Further, 5-20% of annual primary production was transported into deep layers, indicating that the most of primary production is utilized within the euphotic zone.

キーワード：物質輸送、陸棚縁部、長・短期変動、内部潮汐、海底高濁度層

1. はじめに

陸棚は陸と外洋の間に横たわり、栄養塩、溶存・懸濁態有機物及び無機物等の陸源物質が河川等により供給され生物生産性が高く、様々な変質過程を経て外洋へと輸送される場所である。この海域は海洋の10%以下の面積

を占めているに過ぎないが、炭素等の親生物元素のグローバルな生物地球化学的循環にとって重要な役割を果たしているものと考えられる (Walsh *et al.*, 1981¹⁾; Biscaye *et al.*, 1988²⁾; Monaco *et al.*, 1990³⁾; SCOR, 1994⁴⁾).

東シナ海は広大な陸棚と黄河・長江の2大河川を有する生物生産性の高い代表的な縁辺海であり、且つ陸棚縁の沖合には沖縄舟状海盆に沿って黒潮の北上と隣接外洋域(西部北太平洋)への流出が見られる。従って、東シナ海の陸棚及び陸棚斜面において炭素、窒素等の親生物元素の循環を解明することは、東シナ海だけでなく西部北太平洋及び地球規模の物質循環の理解にとっても重要

* 1998年1月5日受領, 1998年4月30日受理

** 水産庁西海区水産研究所

† 現所属: 水産庁中央水産研究所

連絡先: 井関和夫, 中央水産研究所

〒236-8648 横浜市金沢区福浦2-12-4

E-mail: kiseki@nrifs.affrc.go.jp

である (Iseki, 1994⁵⁾; Iseki, 1996⁶⁾; Liu *et al.*, in press⁷⁾).

本研究は, 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) プログラムの一環として行われ, 長江・黄河等により運ばれてきた陸起源粒子と海洋内で生産された生物起源粒子の東シナ海における輸送過程の解明を行うことを目的とする. このため, MASFLEX の1期 (1992~1994) では, 長江沖から沖永良部島にいたる PN 線を中心とした物質輸送関連の調査 (主に, 粒状懸濁物, 濁度, 粒子フラックス) を実施し, 2期 (1995~1996) では陸棚縁部を中心とした調査を行った. 粒子フラックスの実測は, 内部陸棚域 (PN12, PN12'), 陸棚中央部 (PN8), 陸棚縁 (PN5, PN4'1) において簡易セディメントトラップの短期係留 (1~2日間), 沖縄舟状海盆 (SST1, SST2) と隣接外洋域 (SST3, SST4) で時間分画式セディメントトラップの長期係留 (4~10ヶ月間毎) に及び陸棚斜面で両トラップの短期係留 (9, 25日間) により行い, 航海中に粒状懸濁物と濁度の調査を併せて行った (Fig. 1, 2). これらの調査結果を基に, 東シナ海における物質輸送過程について報告する.

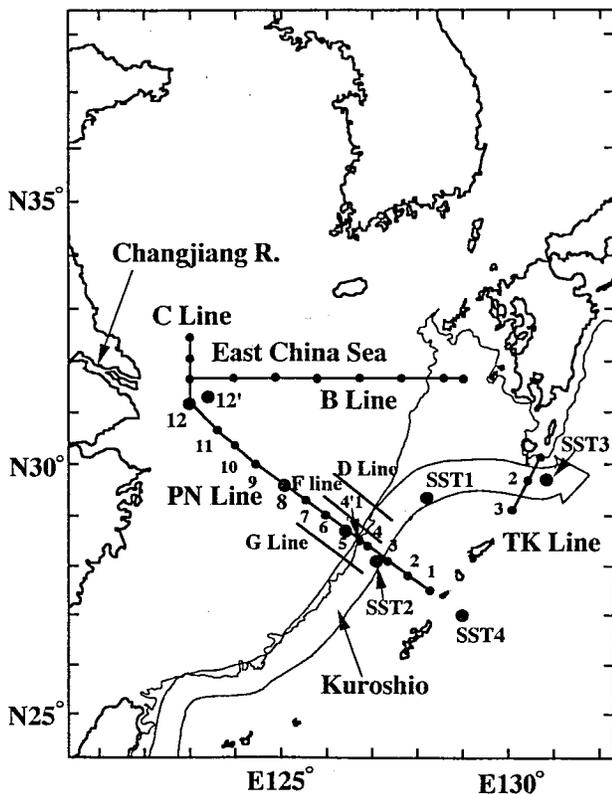


Fig. 1 MASFLEX sampling lines and stations.

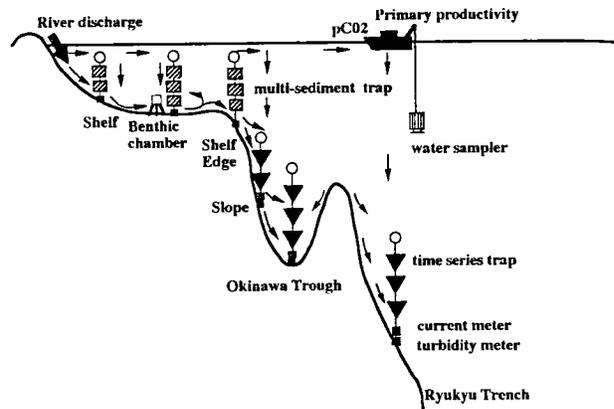


Fig. 2 MASFLEX mooring strategy of sediment trap, turbidity meter and current meter in the East China Sea and adjacent Pacific Ocean (from Iseki, 1994⁵⁾).

2. 粒状懸濁物の分布

2.1 生物起源・陸起源粒状珪素の季節変動

Fig. 3 に PN 線における生物起源粒状珪素 (BSiO_2) と陸起源粒状珪素 (LSiO_2) の季節毎の鉛直分布を示す (Kiyomoto *et al.*, 1997⁸⁾). 冬季の鉛直混合期では, 陸棚域における粒状懸濁物濃度の等量線は鉛直的であるが, 海底付近に高濃度の値が認められた. 特に内部陸棚域で LSiO_2 濃度は高く (230-2,400 $\mu\text{g}/\ell$), 全粒状物の

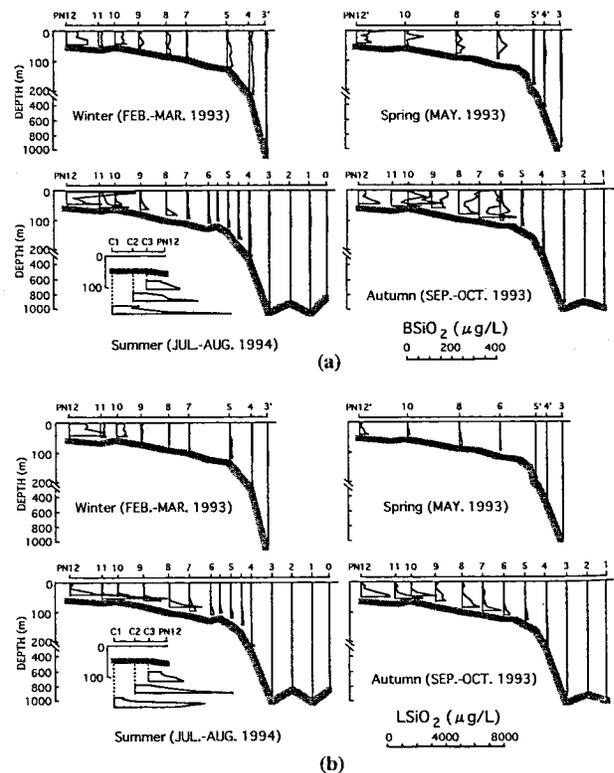


Fig. 3 Seasonal variations of BSiO_2 and LSiO_2 distributions along the PN and C lines (Kiyomoto *et al.*, 1997⁸⁾).

40%以上を占めていた。沖合いに向かって $LSiO_2$ は急減し陸棚縁で $100 \mu\text{g}/\text{l}$ 程度、沖縄舟状海盆の黒潮域では $0.2\sim 10 \mu\text{g}/\text{l}$ 程度の値で、全粒状物に対する割合もほぼ10%以下であった。一方、内部陸棚における懸濁物中の $BSiO_2$ 含量は小さく ($2.0\sim 3.5\%$ $BSiO_2$)、海底直上の懸濁粒子の値 (1.75% $BSiO_2$) に近似していた。これらのことから、冬季における陸棚 (特に内部陸棚の全層) 上の粒状懸濁物は無機成分を多く含んだ海底からの再懸濁粒子が主体であることが明らかとなった。

春季の内部陸棚域における $LSiO_2$ 濃度は冬季の数分の1以下まで減少したが、逆に $BSiO_2$ は PN12' の表層、PN10 の中層において増加し、 $BSiO_2$ 含量は全粒状物中の10%以上を占めていた。さらに、冬季のクロロフィル濃度は $0.5 \mu\text{g}/\text{l}$ 程度と低い値であったが、春季にはクロロフィル濃度は陸棚のほぼ全域に渡って高く、最大 $10 \mu\text{g}/\text{l}$ 近い値が PN11 の表層で観測された (本稿では図は省略)。また春季の $BSiO_2$ 極大層はクロロフィル ($1\sim 9 \mu\text{g}/\text{l}$)、POC ($100\sim 490 \mu\text{g}/\text{l}$) 極大層とも良く一致していた。これら観測結果は、東シナ海の陸棚上に発達した植物プランクトン (特に珪藻) の春季増殖を示している。

夏季及び秋季には、 $LSiO_2$ は陸棚全域の底層で高濃度に存在していた。一方、 $BSiO_2$ は夏季では内部陸棚域で、秋季には陸棚全域で表・底層共に高く、中層に極小が認められた。表層における高濃度の $BSiO_2$ は基礎生産生成物に由来するが、密度躍層下の $BSiO_2$ は海底からの再懸濁粒子に起因すると考えられる。

沖縄舟状海盆内の黒潮域では年間を通じて粒状懸濁物は低濃度で顕著な季節変動は見られなかった。また、 $BSiO_2/LSiO_2$ 比は陸棚より顕著に高く、黒潮域では生物起源粒子が主体であることが明らかとなった。

2.2 陸棚縁辺部における広域観測

1995年10~11月の陸棚縁辺部の3測線 (D, F, 及び

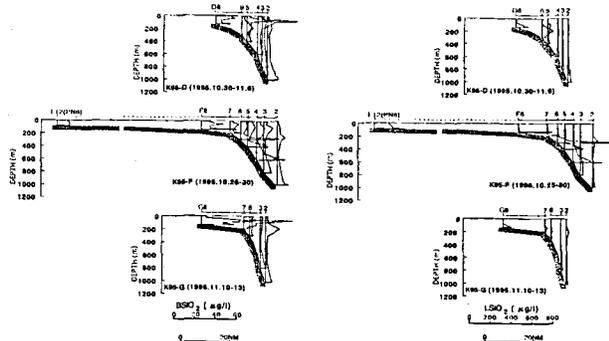


Fig. 4 Distribution of $BSiO_2$ and $LSiO_2$ concentrations at the shelf edge zone.

G線) における観測では、D, G線と比べてF線の陸棚斜面底層において海底高濁度層の発達が顕著であった。 $BSiO_2$ 濃度極大 ($> 10 \mu\text{g}/\text{l}$) と $LSiO_2$ 濃度極大 ($> 100 \mu\text{g}/\text{l}$) が共に海底高濁度層内に認められ、陸棚縁辺部における粒状懸濁物の空間変動が大きいことが明らかとなった (Fig. 4)。また、陸棚斜面域の水深 $200\sim 250\text{m}$ 付近で $LSiO_2$ 濃度及び含量 ($30\sim 35\%$) の増加傾向が認められ (1996年9月の観測でも同様)、陸棚縁の海底付近から再懸濁した微細粒子が中層を通過して沖縄トラフ方向へ輸送されていることが示唆された。

3. 陸棚縁辺部における濁度の広域分布

1995年5月 (陽光丸航海) の Leg 1 における陸棚縁辺部の調査結果では (岡村ほか, 1997)⁹⁾、PN線およびその周辺 (測線 E, F, P) の濁度は、その北・南部域より顕著に高かったが、約1週間後の Leg 2 の調査では、PN線およびその周辺で明瞭な濁度の減少が認められた (Fig. 5)。T-S ダイアグラム、人工衛星の水温画像から、

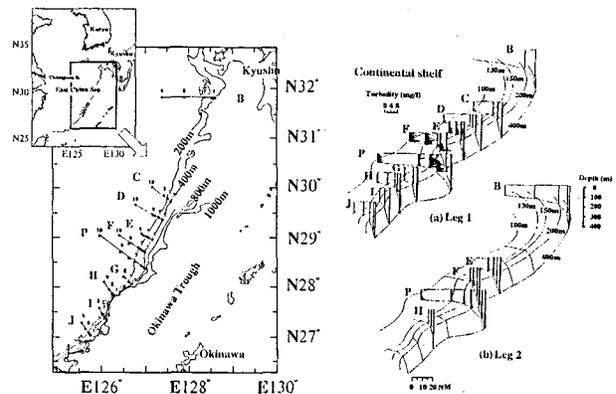


Fig. 5 Turbidity distributions on the shelf edge zone during Leg 1(a) and Leg 2(b) in the spring survey of 1995 (岡村ほか, 1997)⁹⁾.

Leg 1 では沿岸水の張り出しが PN 線の陸棚縁辺部まで達していたのに対し、Leg 2 ではその影響は消失していた。また、1996年6月の調査からも PN 線およびその周辺では海底高濁度層の発達が認められた。これらのことから、PN 線付近は陸棚から沖合への粒子輸送にとって重要な海域である可能性が示唆されると共に、陸棚縁辺部における物質輸送過程は大きな時空間変動を有することが明らかとなった。

4. 粒子フラックスの時空間変動

4-1. 陸棚における季節変動

PN 線上の観測点 PN12, PN8 及び PN5 において、マルチトラップ (口径 16.0 cm のシリンダー: 12 または 4 本) 及びポンゴトラップ (口径 14.6 cm のシリンダー: 2

本)からなる簡易型セディメントトラップの短期(1~2日)係留実験を季節毎に行い沈降粒子を捕集した。

陸棚における有機炭素フラックスの季節変動と沈降粒子中の有機炭素含量を Figs. 6, 7 に示した。冬季の長江沖 (PN12) における鉛直フラックスは海底上20~30m以深で急増すると共に、有光層直下のフラックス (540~630 mgC/m²/d) は基礎生産量 (~70 mgC/m²/d) より5倍程度高かった (Iseki *et al.*, 1995)¹⁰。また、沈降粒子中の有機炭素含量は表層堆積物の値 (1%程度) に近似していた。このことから、トラップに捕集された粒子は、主に海底からの再懸濁粒子であると推察された。有光層直下における鉛直フラックスは、長江沖から陸棚縁 (PN5) に向かって急激な減少を示し (PN8: ~100 mgC/m²/d, PN5: ~60 mgC/m²/d), 両測点の基礎生産量に対する割合は20%程度であった。一方、海底直上 5

mにおける鉛直フラックスはPN12からPN8にかけて一旦減少するが、PN5で再び増加した。このことは、陸棚縁の海底近くの粒子が沖縄舟状海盆方向へ輸送される可能性を示唆する。

春季の長江沖と陸棚縁における粒子フラックスは冬季同様に海底近くで急増したが、フラックスの値自体は冬季と比べて顕著な減少を示した (長江沖のPN12'で1/2~1/3, 陸棚縁のPN4'1で1/3~1/20)。

夏季における長江沖のデータは係留系の回収トラブルのため得られなかった。陸棚中央部 (PN8) では水深45, 55mにおいて各々120, 66 mgC/m²/dの粒子フラックスの値が観測されたが、フラックスはこれ以深では水深の増加と共に急激に増加し、海底上5mでは4,100 mgC/m²/dに達した。同様に、陸棚縁においても水深の増加に伴うフラックスの増加は観測されたが、増加パターンはPN8ほど顕著ではなく、海底上5~10mで観測されたフラックス (430~440 mgC/m²/d) は冬季の半分以下であった。

秋季では水深の増加に伴うフラックスの急激な増加は全観測点で見られ、長江沖と陸棚縁の海底上5mでの各観測値 (PN12: 3,300 mgC/m²/d, PN5: 1,620 mgC/m²/d) は各々四季の中で最大であった。ここでも、海底付近における沈降粒子中の有機炭素含量は1~2%で表層堆積物の値に近く、従って沈降粒子の主体は海底からの再懸濁粒子であると推察された。

4-2. 沖縄舟状海盆における周年変動 (長期係留実験)

沖縄舟状海盆 (観測点 SST1, SST2) 及び隣接外洋域 (観測点 SST3, SST4) において、時間分画系セディメントトラップ (ポリエチレン製、口径50cmのtwin型、開口部: 2×6cmバツフル) の係留実験を繰り返し行い、周年に渡る粒子フラックスのデータを取得した。

Table 1, Fig. 8 に示したように、沖縄舟状海盆の観測点 SST1 と SST2 における有機炭素、無機炭素、生物源珪素のフラックスは水深の増加に伴い急激な増加を示した (Iseki *et al.*, 1995)¹⁰。主成分に相当する有機物、炭酸カルシウム、オパール含量は、逆に水深の増加に伴い減少し、この減少傾向は有機物が最も顕著であった (Table 1)。これら3成分以外の残渣 (主に陸起源の粘土鉱物と考えられる) は粒子フラックスの42~65%を占め (Table 1)、陸棚縁の海底近くで得られた沈降粒子中の値に近似していた。

また、粒子フラックスは明瞭な季節変動を示し、秋から初春にかけて大きく夏季に少なかったが、沈降粒子中に占める有機物成分は冬季より夏季の方が大きい傾向にあった (Fig. 9)。一方、沖縄舟状海盆における基礎生産

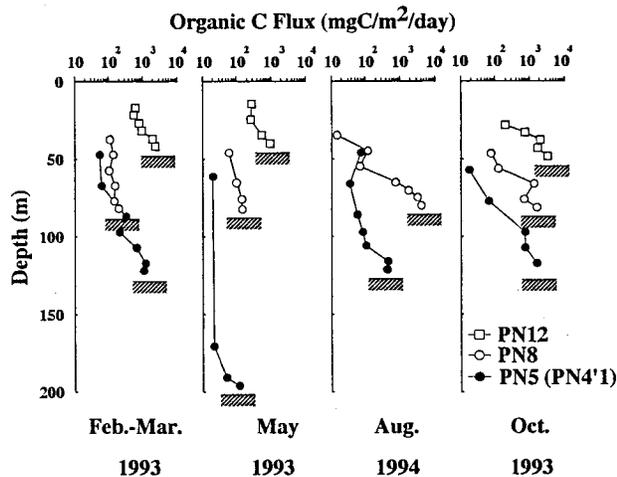


Fig. 6 Seasonal variations of organic carbon flux on the shelf.

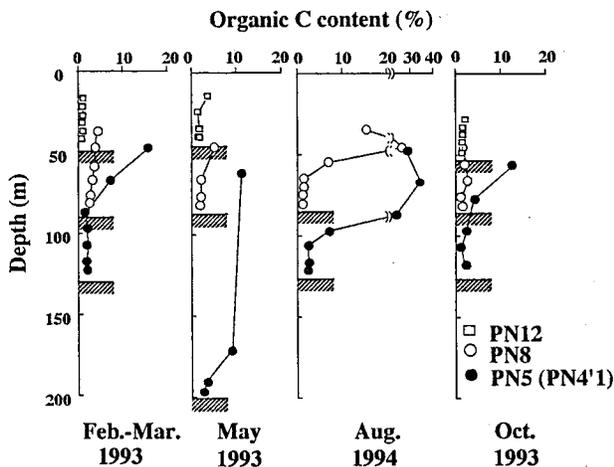


Fig. 7 Seasonal variations of organic carbon content (%) of settling particles on the shelf.

Table 1 Particulate fluxes and composition of major biogenic constituents at Stn. SST1 and SST2.

Station	Depth(m)	Flux(mg/m ² /d)					Composition(%)				
		Dry weight	Org. C	Inorg. C	Org. N	Bio. Si	Org. M.	CaCO ₃	Opal	Bio. M.	Litho. M.
SST1	630	26.1	1.31	1.01	0.19	0.98	13.4	35.7	8.8	57.9	42.1
	840	96.2	3.82	2.63	0.53	4.01	11.0	22.6	9.1	42.7	57.3
	1,040	348.0	7.93	6.59	1.10	11.97	7.4	19.9	8.0	35.3	64.7
SST2	610	23.0	1.10	0.77	0.16	0.75	13.3	29.4	8.5	51.3	48.7
	810	115.1	3.83	2.73	0.52	4.09	9.3	20.7	8.2	38.1	61.9
	1,020	271.6	7.24	6.18	0.96	8.78	7.2	20.9	7.5	35.5	64.5

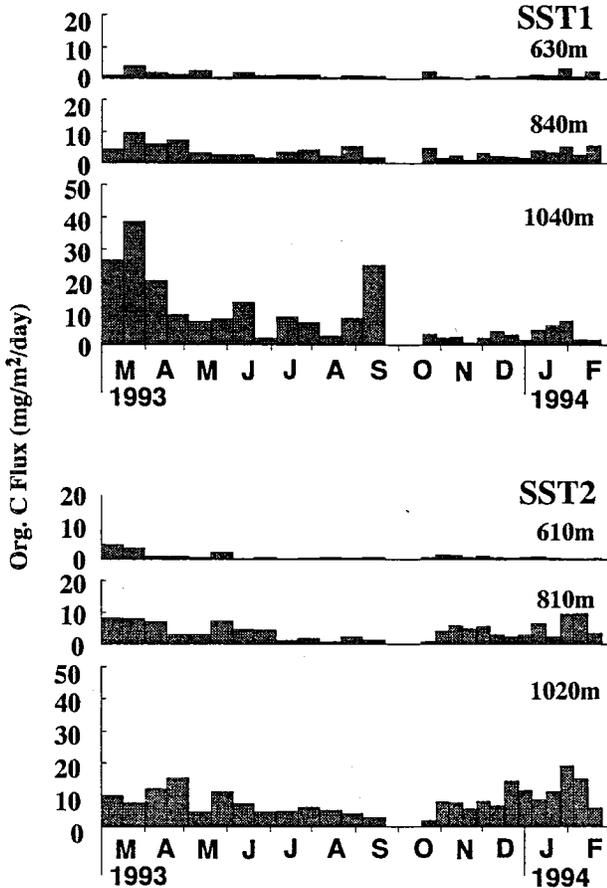


Fig.8 Seasonal variations of organic carbon flux at Stn. SST1 and SST2 on the Okinawa Trough (modified from Iseki *et al.*, 1995)¹⁰⁾.

量は、黒潮の影響を受け周年を通じてその値と変動幅も小さく (280±54 mgC/m²/d), 夏季の基礎生産量はむしろ秋季・冬季より1.5倍高い値が得られている (Hama *et al.*, 1997)¹¹⁾.

以上のことから、沖縄舟状海盆の深層における粒子輸送は、海盆の表層、即ち黒潮流軸からの鉛直輸送によるのではなく、むしろ陸棚からの水平輸送が主体であると推察された。

4-3. 陸棚斜面の2測線における周年変動 (長期係留実験)

MASFLEX 2期においては、陸棚縁辺部のD線およびF線の各々3観測点 (D6, F6: 300 m; D4, F4: 600 m; D2, F2: 1,000 m) に時間分画式セディメントトラップを1995年10—11月から1996年8月まで係留して、粒子フラックスの長期間の時空間変動を調べた。F線における観測点 F6 (300m) と F4 (600m) の係留系の回収に失敗したため、これらの点ではデータは得られなかった。

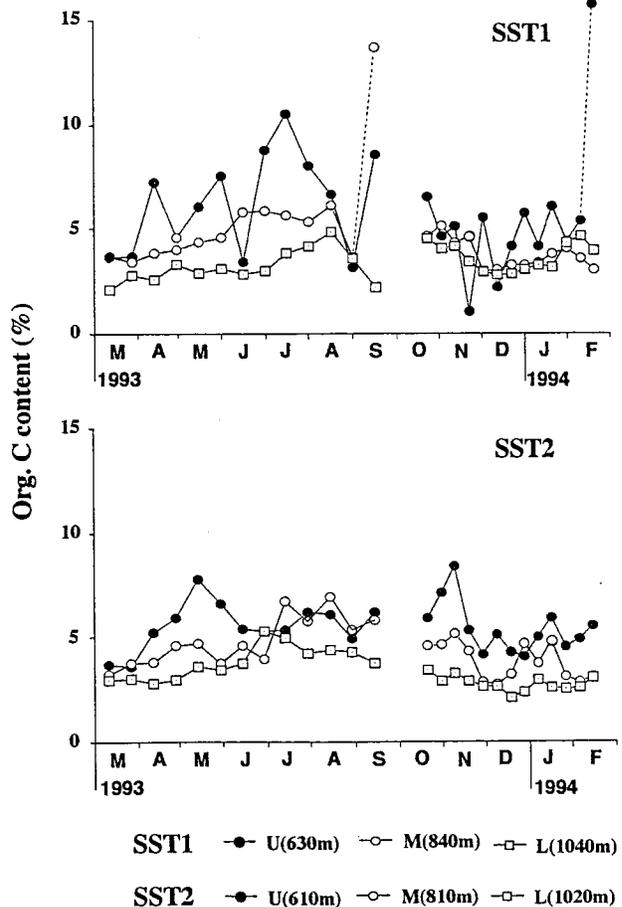


Fig.9 Seasonal variations of organic carbon content of settling particles at Stn. SST1 and SST2 on the Okinawa Trough (modified from Iseki *et al.*, 1995)¹⁰⁾.

しかし、粒子フラックスはこれ以外の全観測点において、冬から初春にかけて大きく夏に少なく、1期の期間中に沖縄トラフで得られた季節変動パターンに類似していた。また、D2における粒子フラックスはF2より数倍以上の大きな値を示し、陸棚縁辺部において粒子フラックスは大きな海域変動を有することが明らかとなった。

4-4. 陸棚縁および陸棚斜面における短期変動（短期係留実験）

陸棚縁辺部のF線の3観測点（F8：130 m，F6：300 m，F4：600 m）で簡易型および時間分画式セディメントトラップの係留実験を1995年10月26日から11月4日までの9日間と1996年8月27日から9月21日までの25日間に行い、粒子フラックスの短期間の時空間変動を調べた。

本稿では1例として、1995年の観測結果をFig. 10, 11に示す（Iseki *et al.*, 1997）¹²⁾。粒子フラックスは、3観測点ともに海底近くで急激に増加し（Fig. 10）、海底上12 mにおける有機炭素フラックスは（130～360 mgC/m²/d）、同海域の基礎生産量（Hama *et al.*, 1997）¹¹⁾の50～100%に相当する高い値で、かつ有機炭素含量は2%程度と低かった。このことから、海底からの再懸濁粒子の影響が示唆された。

時間分画式セディメントトラップを用いて得られた測

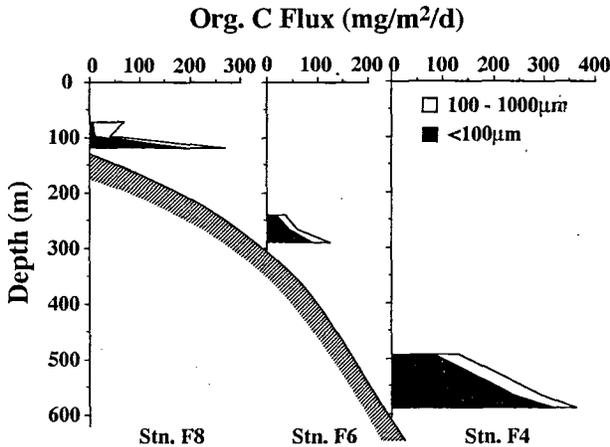


Fig. 10 Organic carbon flux at Stn. F4, F6 and F8 on the shelf edge to the mid-slope (Iseki *et al.*, 1995)¹²⁾.

点F4の海底上30m, 102mの粒子フラックスは、似かよった時空間変動パターンを示し、10月29～30日の間に、両水深においてフラックスの最大値が観測された（Fig. 11）。一方、その1～2日前（27～28日）には、顕著な半日周期の濁度変動とこの周期に一致した大きな流速変動（最大50 cm/s）および水温変動が観測された。また、南東方向（陸棚から沖方向）の大きな流速成分が観測される時に濁度ピークが認められ、逆に北西方向への流れが

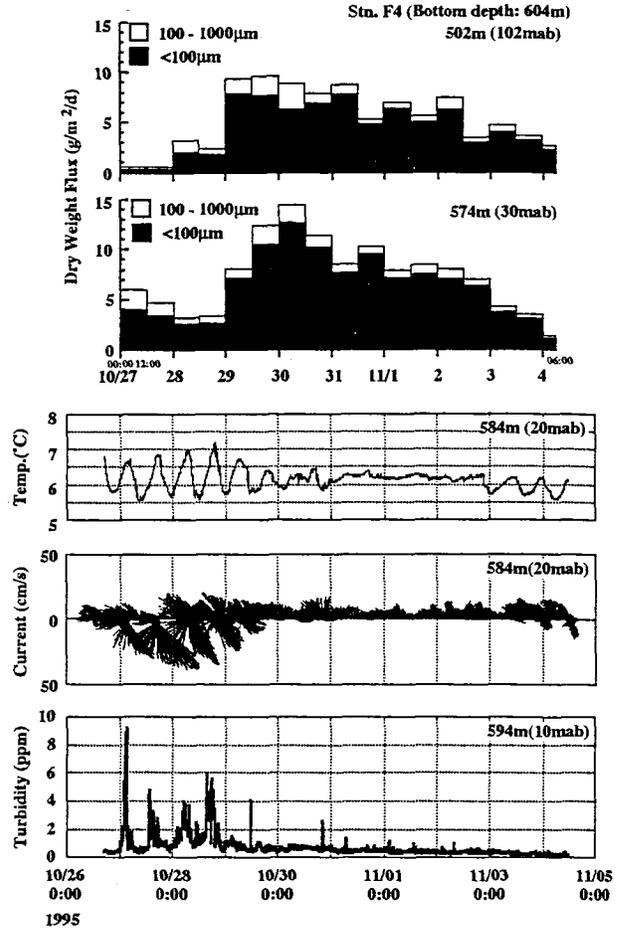


Fig. 11 Temporal variations of particulate flux, turbidity and current velocity on the shelf edge to the mid-slope (modified from Iseki *et al.*, 1995)¹²⁾.

ある時は濁度は低くなっていた。これらの観測事実より、内部潮汐が粒子の輸送過程において重要な役割を果たしていることが明らかとなった。

5. 考察及び研究の展望

5.1 陸棚における粒子輸送過程

Fig. 3に示したように陸棚の生物起源及び陸起源粒状珪素は明瞭な季節変動を示し、その分布パターンは各季節に特有の海洋構造（冬季の鉛直混合期，春季の成層形成初期，夏季・秋季の成層期，長江河川フロントの強弱）と密接な関連があった。また、粒状懸濁物及び濁度の分布から海底高濁度層が陸棚全域に発達していることが明らかとなったが、海底高濁度層の発達にも明瞭な季節変動がみられ、夏季から秋季にかけて特に顕著で春季が最も弱かった（Hoshika *et al.*, 1995）¹³⁾。冬の鉛直混合期には再懸濁粒子が内部陸棚域の全層に渡って高濃度に存在するが、夏の成層形成期には密度躍層の発達により再懸濁粒子は表層近くまで輸送されず、躍層下のみ高濃

度に分布すると考えられる。さらに、長江の流量は夏季に最大となることから、長江起源の粒状物が夏季に陸棚底層に輸送されて海底高濁度層の形成を助長しているものと考えられる。

本調査で得られた粒状懸濁物、沈降粒子中のC:N比の値は一般に5~7の範囲に入るため有機物中に占める陸起源物質の割合は極めて少ないと判断される。また炭素・窒素の安定同位体比でも、海洋起源物質が懸濁態及び沈降粒子中有機物の主体であることが示されている (Minagawa and Kadota, 1995)¹⁴⁾。このことは、長江から東シナ海に供給される陸起源有機物の大部分が河口域で堆積または分解されるか、PN線以外の海域へ輸送されるか、或いは海洋中で生産された光合成由来の有機物粒子が陸起源の有機粒子より量的に優先していることを示唆する。

陸棚域の基礎生産量は黒潮域の値に比べてほぼ3倍の生産量を有し、また栄養塩に富んだ長江河川水のブルームの影響下では、基礎生産量は際立った増加を示すことが報告されている (Hama *et al.*, 1997)¹¹⁾。さらに、硝化速度と同化速度の相関から、有光層における硝酸態窒素の同化過程と中・底層における再生過程 (有機物の分解による) の緊密なカップリングが示唆され、河川水から供給された栄養塩類は表層で速やかに同化後、粒状有機物として沈降し底層に運ばれ再び急速に分解されていることが明らかとなっている (神田, 未発表)。このことから、生産、沈降、再懸濁、分解 (一部再生産) のプロセスを繰り返しながら、内部陸棚から沖合へ生物起源粒子が輸送されるものと推察される。

5.2 沖縄舟状海盆における粒子輸送過程

沖縄舟状海盆の中・深層と陸棚縁底層における粒子フラックスの季節変動パターン及び沈降粒子中の主成分組成の相互比較、沖縄舟状海盆における基礎生産の季節変動パターン等から、沖縄舟状海盆の中・深層における粒子輸送は、海盆表層からの鉛直輸送よりは主に陸棚及び陸棚斜面底層に沿った水平輸送によるものと推察された。この陸棚から沖合方向への物質輸送の駆動力として、底層流の重要性が挙げられる。

東シナ海では秋季・冬季に北西季節風が卓越し、エクマン輸送によってPN線上の陸棚では表層に大陸方向への流動、底層に沖向きの流動が形成されると考えられる (Hu, 1995)¹⁵⁾。また、夏季においては南西季節風により、陸棚底層に逆向きの流動が発生する。従って、夏季に比べて冬季に陸棚から沖縄舟状海盆へより大量の粒子が輸送されると推察される。Yanagi *et al.* (1996)¹⁶⁾ は風力・風向、密度分布、濁度分布を用いて数値計算を行

い同様の結果を得ている。以上のことから、沖縄舟状海盆における粒子輸送は、陸棚の季節的イベントと密接な関連があることが明らかとなった。今後、東シナ海における気象・海況 (底層流、卓越風、低気圧・台風、黒潮の離接岸等) と季節毎の広域濁度分布を調べ、海底高濁度層の形成及び物質輸送プロセスとの関連をより詳しく検討する必要がある。

5.3 陸棚縁から陸棚斜面域における粒子輸送過程

陸棚縁辺部の物質輸送にとって、内部潮汐の重要性が明らかとなったが、内部潮汐が特に形成されやすい海域、発生頻度、発生要因、季節変動等を今後明らかにすることが必要である。また、陸棚斜面域における濁度、懸濁物の分布から、陸棚縁の海底付近から再懸濁した微細粒子が中層を通過して沖合へ輸送されることが示唆された。これは、陸棚水の黒潮への貫入 (Matsuno *et al.*, 1994¹⁷⁾; 1997¹⁸⁾) に伴う陸棚から黒潮内への物質輸送の可能性を示し、今後の詳細な調査が期待される。さらに濁度、粒状懸濁物の広域分布パターンから、粒子輸送過程は時空間変動が極めて大きいことが確認され、3次元の時系列観測の必要性が示唆される (Biscaye and Anderson, 1994)¹⁹⁾。

5.4 東シナ海における炭素循環像

炭素循環の解明のためには個別研究で得られたデータの統合が必要である。そこで、天候、航海日数の制限等により、季節毎の観測値は充分得られていないが、1期にPN線上で得られた基礎生産、粒子フラックス、海底における有機物分解速度、堆積速度のデータを統合して炭素収支計算を行い、東シナ海における炭素循環像を求めた (Iseki, 1996⁹⁾, Fig. 12)。

その結果、陸棚域では基礎生産量の5~20%が有光層下に沈降し、大部分の基礎生産物質は表層の有光層内で動物プランクトン、バクテリア等に利用され、表層内で循環していることが明らかとなった。この鉛直フラックスの60~80%は海底における分解と堆積物への移行で、残り20~40%が陸棚から沖縄舟状海盆への流出と海底高濁度層での分解と推定された。従って、陸棚縁から海盆への粒子フラックスは陸棚域における基礎生産量の10%以下と考えられる。この推定値は米国東海岸の附棚縁辺部プロジェクト (SEEP-I, II) で得られた値と近似していた (Biscaye and Anderson, 1994)¹⁹⁾。しかし、前述したように、本収支計算はデータ不足の状況下で行われ、また長江からPN線に運ばれてくる粒状有機炭素量は考慮せずに、PN線の観測値のみを使用し、かつ粒状有機炭素についてのみ取り扱っている。従って、炭素循環像

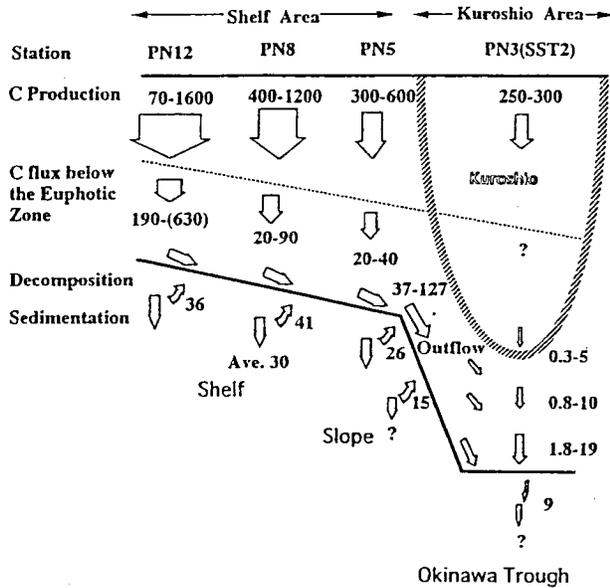


Fig. 12 Summary of carbon dynamics in the East China Sea (Iseki, 1996)⁹⁾.

の概略は把握できたが、今後の新たな観測値をもとに本図は改訂される予定である。

謝 辞

本研究は科学技術振興調整費「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」によって行われた。海洋科学技術センター研究船「かいよう」、西海区水産研究所調査船「陽光丸」の船長、乗組員の方々及び共同研究者の皆様には船上作業で多大な協力を頂き深く感謝いたします。

参 考 文 献

- Walsh, J. J., G. T. Rowe, R. L. Iverson and C. R. McRoy (1981): Biological export of shelf carbon is a sink of the global CO₂ cycle. *Nature*, **291**, 196-201.
- Biscaye, P. E., R. Anderson and B. L. Deck (1988): Fluxes of particles and constituents to the eastern U. S. continental slope and rise. *Cont. Shelf Res.*, **8**, 888-904.
- Monaco, A., P. E. Biscaye, J. Soyer, R. Pocklington and S. Heussner (1990): Particle fluxes and ecosystem response on a continental margin: the 1985-1988 Mediterranean ECOMARGE experiment. *Con. Shelf Res.*, **10**, 809-839.
- SCOR (1994): Land-Ocean Interactions in the Coastal Zone. Report of the JGOFS/LOICZ Task Team on Continental Margin Studies. JGOFS Report No. **15**, 20pp.
- Iseki, K. (1994): Role of continental margins in the global biogeochemical cycle: MASFLEX East China Sea Project, Kousuiken Note "Sora to Umi", No. **14**, 99-103.
- Iseki, K. (1996): Particulate flux studies at continental shelf margin using sediment traps. *Bull. Planton Soc. Japan*, **43**, 142-144.
- Liu, K.-K., K. Iseki and S.-Y. Chao (in press). Contin-

tal margin carbon fluxes. In, *The Changing Ocean Carbon Cycle*, ed. by H. Ducklow *et al.*, Cambridge Univ. Press.

- Y. Kiyomoto, K. Iseki and K. Okamura (1997): Seasonal variation of biogenic and lithogenic silica and the composition of particulate matter in the East China Sea. *Proc. of the Creams'97 International Symp.*, Fukuoka, pp. 263-265.
- 岡村和磨・井関和夫・清本容子・星加章・谷本照巳 (1997): 春季の東シナ海陸棚縁辺部における広域濁度分布, *海の研究*, **6**, 361-369.
- Iseki, K., K. Okamura and Y. Tsuchiya (1995): Seasonal variability in particle distributions and fluxes in the East China Sea. In, *Global Fluxes of Carbon and Its Related Substances in the Coastal Sea-Ocean-Atmosphere System*, ed. by S. Tsunogai *et al.*, M & J International, pp. 74-79.
- T. Hama, K. H. Shin and N. Handa (1997): Spatial variability of the primary productivity in the East China Sea and its adjacent area. *J. Oceanogr.*, **53**, 41-51.
- K. Iseki, K. Okamura and Y. Kiyomoto (1997): Temporal variability of particulate fluxes at the continental margin in the East China Sea during the MASFLEX experiment. *Proc. of the Creams'97 International Symp.*, Fukuoka, pp. 255-257.
- Hoshika, A., T. Tanimoto, Y. Mishima, K. Iseki and K. Okamura (1995): Bottom turbid layer in the East China Sea. In, *Global Fluxes of Carbon and Its Related Substances in the Coastal Sea-Ocean-Atmosphere System*, ed. by S. Tsunogai *et al.*, M & J International, pp. 171-176.
- Minagawa, M. and Y. Kadota (1995): Biogeochemistry of carbon and nitrogen in the East China Sea studied by natural ¹³C and ¹⁵N analyses of particulate matter and sediments. In, *Global Fluxes of Carbon and Its Related Substances in the Coastal Sea-Ocean-Atmosphere System*, ed. by S. Tsunogai *et al.*, M & J International, p. 108-206.
- Hu, D (1995): Possible mechanisms of material flux in the Yellow Sea and the East China Sea from hydrographic viewpoint. In, *Global Fluxes of Carbon and Its Related Substances in the Coastal Sea-Ocean-Atmosphere System*, ed. by S. Tsunogai *et al.*, M & J International p. 38.
- Yanagi, T., S. Takahashi, A. Hoshika and T. Tanimoto (1996): Seasonal variation in the transport of suspended matter in the East China Sea. *J. Oceanogr.*, **52**: 539-552.
- Matsuno, T., S. Kanari, C. Kobayashi and T. Hibiya (1994): Vertical mixing in the bottom mixed layer near the continental shelf break in the East China Sea. *J. Oceanogr.*, **50**, 437-448.
- Matsuno, T., S. Yanao and S. Ohsaki (1997): Intrusion of the shelf water into the Kuroshio in the East China Sea. *Proc. of the Creams'97 International Symp.*, Fukuoka, pp. 137-140.
- Biscaye, P. E. and R. Anderson (1994): Fluxes of particulate matter on the slope of the southern Middle Atlantic Bight: SEEP-II. *Deep-Sea Res.*, **41**, 459-510.

質 疑 応 答

問：セディメントトラップのサンプルを見て、上層のト

ラップサンプルの方が下層のトラップサンプルよりサイズが小さいという傾向はあるか？ (福田 雅明)

答：陸棚斜面の短期変動のデータ (Fig. 10) は $<100 \mu\text{m}$ と $100\sim 1,000 \mu\text{m}$ のサイズ分画で示しているが、この2つの分画ではハッキリした傾向は見られていない。ただし、粒子量の主体である $100 \mu\text{m}$ 以下のものを更にサイズ分けした場合は傾向が見られるかもしれない。

問：黒潮横断面内ではなくて黒潮に沿う方向での輸送過程は？ (鹿大・水産, 市川 洋)

答：短期変動の流速データが示すように、内部潮汐の発達する時期以外には黒潮に沿った北東方向の流れである。従って、陸棚斜面の底層に沿って陸棚縁から沖繩トラフ方向へ輸送されると共に、黒潮の流れに沿って北上している。

問：陸棚で生産された粒子は、陸棚斜面、沖繩トラフにどの程度のタイムスケールで輸送されているのですか？ (北大地球環境：申 晃典)

答：沖繩トラフの粒子フラックスの季節変動と陸棚上の季節風の風向に関連性が見られること、台風のイベン

トと見られるフラックスピークが1～2週間内で観測されていること、また数値計算 (Yanaki *et al.*, 1996) による秋季・冬季の底層流は冲向きに数 cm/sec 程度あることから、数週間から数カ月程度と考えられる。

問：短期変動の濁度のピークはどの位の厚さで見られるのか？ (九大・応力研, 柳 哲雄)

答：海底から100m上に設置した濁度の値は、海底10m上の値の半分近くであるが濁度ピークは観測されている。従って、少なくとも海底から100m程度の厚みを持っている。

問：トラップに捕まる粒子は流れの速いために落ちてこないという根拠はあるか？

(九大・応力研, 柳 哲雄)

答：流れが速い時は係留系の傾きが大きくなりトラップの捕集効率に影響を与えている可能性がある。また、大きな流速を持った内部潮汐により乱流場が底層に形成され、海底にいったん堆積したものが懸濁する可能性がある。ただし、どの程度影響があるかは分からない。