

沿岸－海溝系における物質輸送過程について

半田暢彦、杉本多津宏、伊藤雅彦、

名古屋大学水圏科学研究所

〒464-01 名古屋市千種区不老町

才野俊郎

東京大学海洋研究所

〒164 東京都中野区南台1-15-1

はじめに

内湾・沿岸域は、河川を通して陸域から輸送される化学物質の受け皿として大変重要な場所であるが、同時に負荷する栄養塩は内湾・沿岸域に富栄養化をもたらし、大量の有機物生産を促す。この様な化学物質の一部は、溶解、分解、堆積などの過程を通して、内湾・沿岸域において消滅、除去される。しかし、他の一部は大陸棚斜面を通して外洋中・深層水に輸送され、外洋の物質循環に大きな影響を与えている (Walsby et al., 1988; Courp and Monaco, 1990)。

内湾・沿岸域から外洋に向かって懸濁粒子が輸送される場合、表層流によって粒子が分散する場合とこの粒子が海底直上を移動する場合とある (Eisma, 1987)。後者では、特に海底直上に高濁度層が形成される事で知られている (Drake, 1974)。表層流の発生は、河川水（淡水）と海水の密度差に依存する。このため、離岸距離が大きくなるにつれて急速に消滅する。これに対して、潮汐、気象擾乱による内部波の発生、乱泥流の発生などによる底層高濁度流は、大陸棚および大陸棚斜面において頻発し、大陸棚斜面裾部から外洋底にまで達している事が示唆されている (Baker and Hickey, 1986)。しかし、その詳細は今のところ不明な点が多く、底層高濁度流の発生機構と沿岸－外洋系の物質輸送におけるその役割の評価に大きな関心が寄せられている。

本研究においては、 $\delta^{13}\text{C}$ および $\Delta^{14}\text{C}$ に注目し、東京湾－相模湾状海盆－海溝系を対象にして、内湾・沿岸域から外洋深層水への粒状有機物の輸送過程の特徴を理解する事を試みた。このため、東京湾口から外洋大陸棚域への有機物の輸送過程を解析するとともに、相模湾状海盆を通しての有機物輸送の特徴を把握した。これらの結果に付いて報告する。

材料と方法

本研究で取り扱った粒子試料は、懸濁粒子、沈降粒子および海底堆積物表層の粒子である。

懸濁粒子は海溝域でのセヂメントトラップ実験を実施した伊豆小笠原海溝最北端の

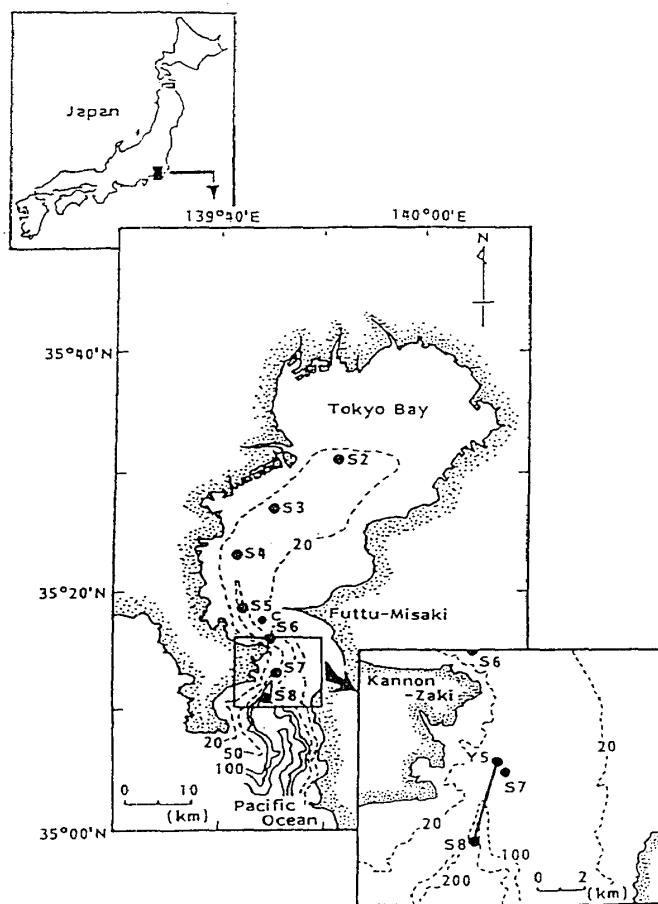


図5 東京湾口におけるセヂメントトラップサイト(S8)

三重点付近の200, 2200および4200m深の海水をガラスファイバーフィルターでろ過する事により採集した。

沈降粒子は、時系列型セヂメントトラップによって捕集した。このための実験は、東京湾口の海底谷先端部（水深 240m、図1）、伊豆小笠原海溝最北端の三重点付近（水深9200m、図2）および北西部北太平洋海盆（水深6000m）において、それぞれ1991年1月31日－2月6日、1990年3月25日－1991年2月25日および1987年11月27日－1988年4月9日に実施した。

堆積物粒子は相模湾湾央（水深1503m）において、ボックスコアラによって採集した。ここでは柱状試料の表面から1cm深までのものを堆積物粒子試料とした。また、採泥の際、堆積物直上の海水に再懸濁した粒子をガラスファイバーフィルターでろ過し、再懸濁粒子試料とした。

粒子試料は、何れも塩酸（2 Mol）で処理し、炭酸塩を除去した後、乾燥し、乾式酸化により有機物を二酸化炭素に変えた。二酸化炭素の一部を取り、炭素安定同位体比（ $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ）を測定し、また、残りを放射性炭素同位体比（ $^{14}\text{C}/^{13}\text{C}$ ）の測定に供した。炭素安定および放射性同位体比の測定は、それぞれ同位体測定用質量分析計および加

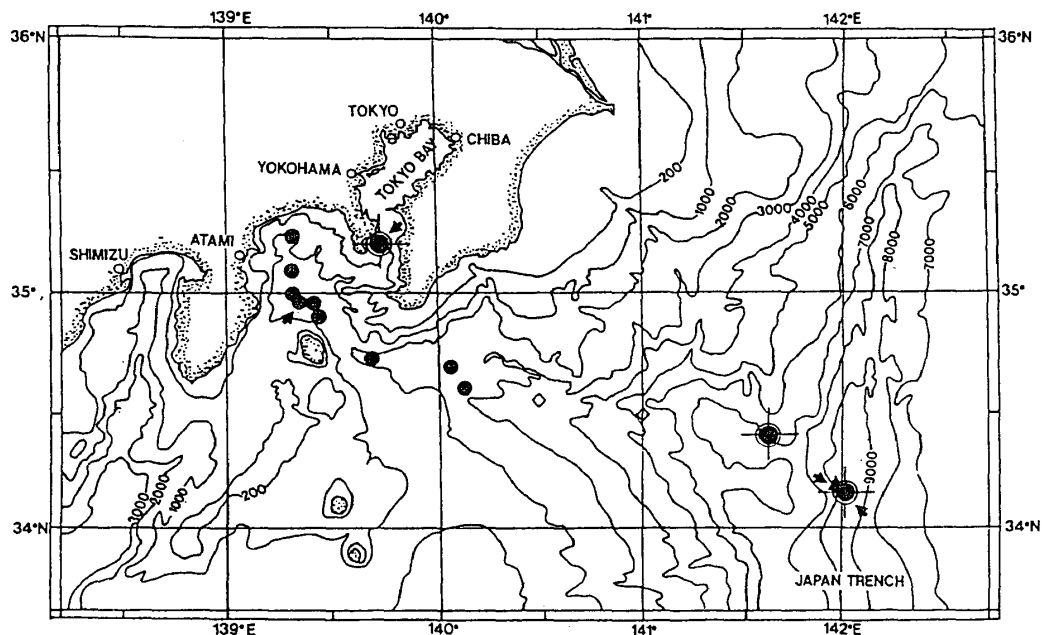


図2 相模湾状海盆における海底堆積物表面泥 (●)、懸濁粒子 (▲) および沈降粒子採集点 (⊗)

速器質量分析計によった。

アミノ酸の一種、アスパラギン酸の立体異性体 (D-およびL-異性体) の分離に関しては、このアミノ酸をN-ヘキサフルオロブチルアスパラギン酸イソブチルエステルに変え、キラシルバルを液層とした細管カラムにより、ガスクロマトグラフで分離定量した。

結果と考察

1) 東京湾口から外洋への物質輸送

東京湾における時系列型セヂメントトラップは図1におけるS8の85m深に設置した。また、その上方10mに流速計 (75m深) を置き、湾口域における潮汐にともなう海水流動を観測した。潮汐に時間変動と全質量フラックスの時間変動を図3に示す。この際、セヂメントトラップは6時間毎に沈降粒子試料を採集できるように設定した。その結果、全質量フラックスは下げ潮時に大きく、上げ潮時に小さい事を示した。また、実験期間中、外洋から東京湾に移行する全質量フラックス ($2146.8 \text{ mg乾量/m}^2 \cdot \text{h}$) に対して、東京湾から外洋に流出する全質量フラックス ($7235.4 \text{ mg乾量/m}^2 \cdot \text{h}$) は3.4倍と計算される。このことは、潮汐が内湾から外洋への物質輸送に重要な役割を演じている事を指摘したものとして重要である。

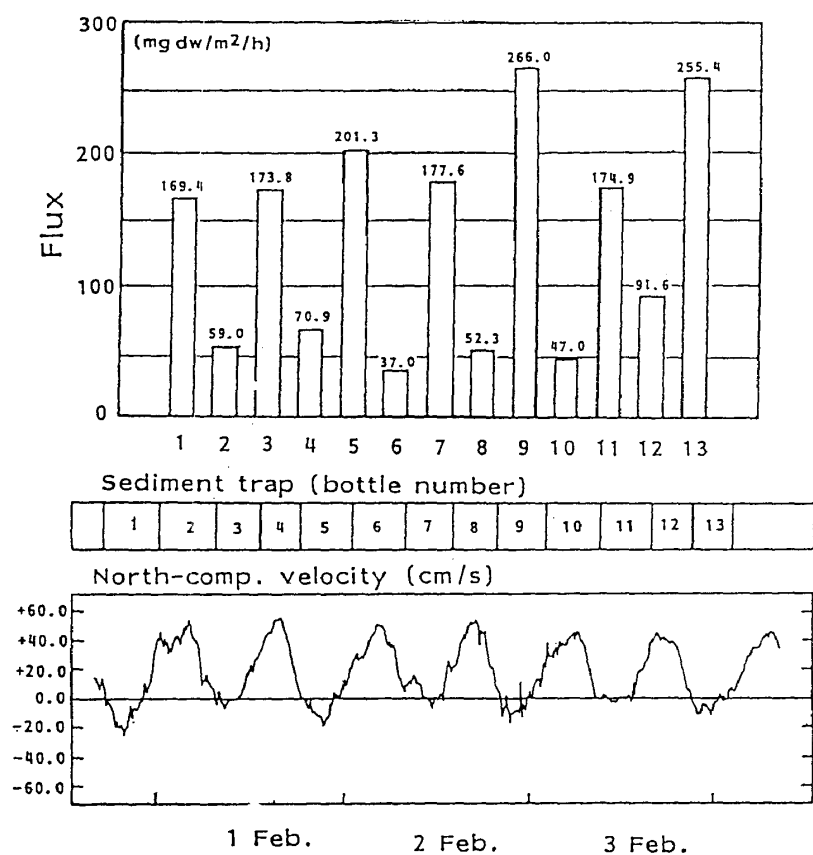


図3 東京湾口の時系列型セヂメントトラップによる沈降粒子束と海水流動の変動

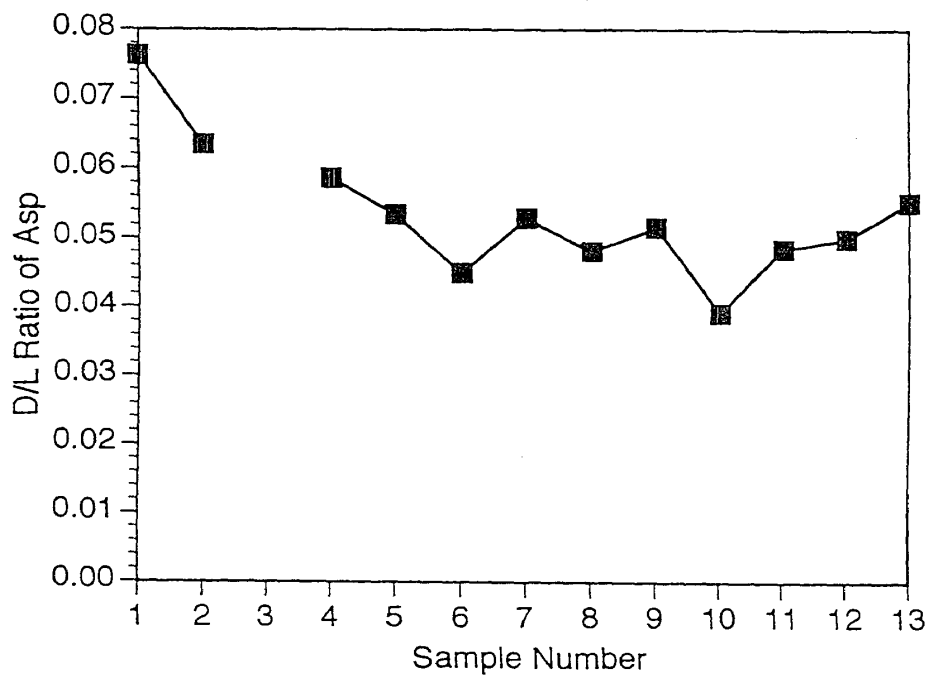


図4 東京湾口の時系列型セヂメントトラップ試料におけるアミノ酸D/L値の変動

この実験では、さらに鉛直方向に5層にわたりナウアー型（非時系列型）トラップを設置し、全質量フラックスの鉛直分布を観測した。その結果、下層ほど全質量フラックスが大きく、特に、最下層のトラップ（195m深に設置）で最大値を示した。この事実から、この海域の底層に高濁度層が存在し、これが内湾から外洋への物質輸送に重要な役割を演じているものと判断される。

生体のアスパラギン酸はL-異性体であるが、その死とともにD-異性体に変化する。変化量は時間と温度に依存する。ある期間の平均温度に変化がなければ、アスパラギン酸のD/L値は経過時間を示す。東京湾口の時系列型セヂメントトラップ試料に付いてアスパラギン酸のD/L値を測定した（図4）。その結果、上げ潮時（偶数のトラップ番号）のD/L値は小さく、下げ潮時（奇数のトラップ番号）のD/L値は大きい。この事は、下げ潮時には、海水が湾内から湾外に移行する際、再懸濁した海底堆積物表層で移動するため、沈降粒子のアスパラギン酸年令が古くなると理解される。下げ潮時には、湾外表層水の植物プランクトンを主体とする粒子が内湾に移動し、沈降粒子に移行するため、粒子のアスパラギン酸年令が新しいと判断される。

以上の結果から、潮汐による湾口域での物質輸送に関しては、下げ潮時における湾内から湾外への物質移動が重要で、この際海底堆積物など年令的に古い物質を内湾から外洋へ移動させるののと理解される。

2) 舟状海盆を通しての有機物の移動

内湾から流出してきた沈降粒子は、先ず大陸棚に移行し、大陸棚斜面をとうして外洋に分散していく。日本列島の太平洋側には、海溝域が存在するため、堆積盆として働き、内湾・沿岸域からの粒状物質のトラップに大きな役割を演じているものと考えられる。しかし、この堆積過程を詳細に検討した例は見当たらない。

この研究では、有機物質の $\delta^{13}\text{C}$ および $\Delta^{14}\text{C}$ に注目し、内湾・沿岸域から相模舟状海盆をとうして海溝域、さらに海溝を越えた大洋底への有機物の輸送過程を検討した。東京湾口、伊豆小笠原海溝三重点付近および北西部北太平洋海盆において捕集した沈降粒子、海溝域から採集した懸濁粒子および相模湾表面付近の堆積物試料の有機物に付いて $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ および $^{14}\text{C}/^{13}\text{C}$ を測定し、それぞれ $\delta^{13}\text{C}$ および $\Delta^{14}\text{C}$ を算出した。その結果、図5を得た。

海溝域から採集されたセヂメントトラップ試料、JT-06 Upper(4519m深), JT-06 Lower(8519m深)の $\Delta^{14}\text{C}$ は、それぞれ-66—-298および-122—-394‰で、東部北太平洋海域で報告されている沈降粒子有機物の $\Delta^{14}\text{C}$ (+65—+142‰, Williams and Druffel(1987)およびBauer et al., (1992)に比して著しく小さい。海洋表面付近の炭酸物質の $\Delta^{14}\text{C}$ (+150‰)である事を考え合わせれば、海溝域の沈降粒子には、形成後著しく時間が経過した有機物の存在が指摘される。この傾向は、海溝を越えて広がる北西部北太平洋海盆域の沈降粒子(SNWP-01)においても同様で、比較的小さい $\Delta^{14}\text{C}$ 値(-17—-214

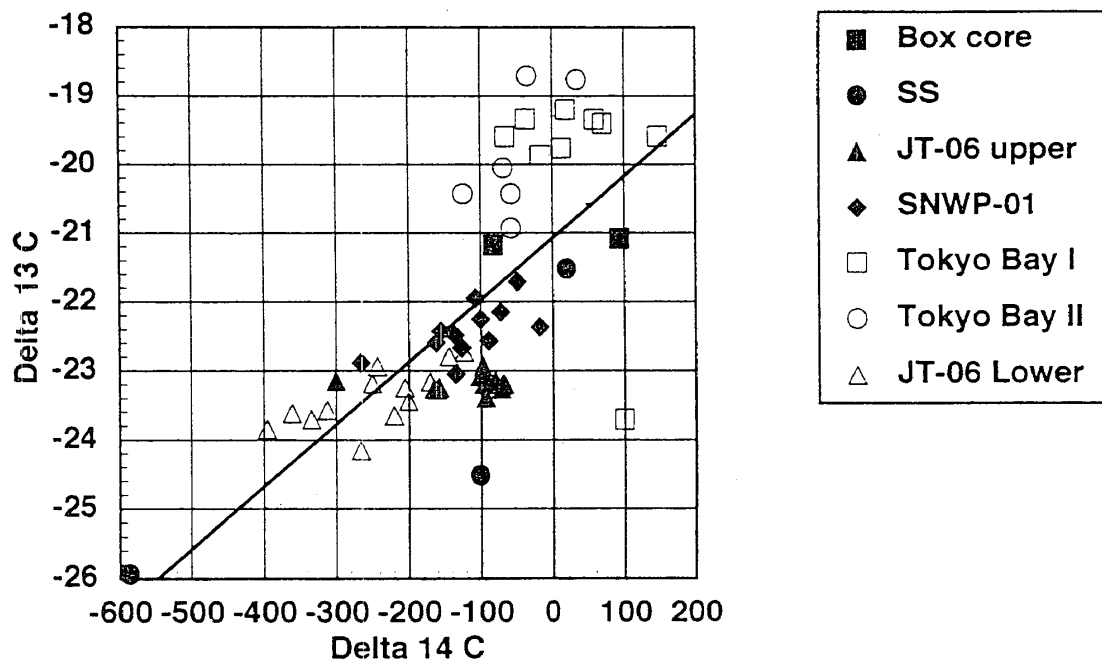


図5 相模舟状海盆における海底堆積物表面泥、懸濁粒子および沈降粒子有機物の $\delta^{13}\text{C}$ および $\Delta^{14}\text{C}$ の相関

o/oo)が測定されている。

次に、この古い有機物の起源について検討した。現在の海洋の溶存炭酸物質の $\Delta^{14}\text{C}$ は+150o/oo、これを使って形成される有機物の $\delta^{13}\text{C}$ は-20o/ooであると考えてよい。

図5に示す回帰式

$$\delta^{13}\text{C}(\text{o/oo}) = 8.76 \times 10^{-3} \Delta^{14}\text{C}(\text{o/oo}) - 21.17 \quad (1)$$

$$r^2 = 0.478, \quad n = 57$$

において、 $\Delta^{14}\text{C}=+150\text{o/oo}$ に相当する $\delta^{13}\text{C}$ は-19.98o/ooとなり、上の値とよく一致する。したがって、これを、二成分混合系、(1)式の現世側のエンドメンバー（現世植物プランクトン起源有機物）とすれば、もう一方のエンドメンバーは図5の回帰式上左下のどこかにあるはずである。三重点の4200m深からの懸濁粒子は、 $\delta^{13}\text{C}$ および $\Delta^{14}\text{C}$ がそれぞれ、-26および-585o/ooであった。この結果は、 ^{14}C 年令5-6000年の陸起源物質である事を示唆する。しかし、東京湾口から流出してくる粒状物質の有機物は陸起源物質ではなく、 $\delta^{13}\text{C}$ 値から判断する限り植物プランクトン起源の有機物と判断してよい。したがって、海溝域において堆積する有機物も、主として海洋生物起源の有機物と考えられる。Bishop et al., (1977)およびSackett et al. (1979)によれば、海洋表層で生産される植物プランクトン有機物も、粒子の沈降過程で分解され、その $\delta^{13}\text{C}$ 値が3-5o/oo小さくなると報告している。このことは、海溝域の沈降粒子有機物が海洋生物起源であって、その $\delta^{13}\text{C}$ 値の減少は、まさに有機物の微生物分解によっているものと判断される。

現在までのところ、海溝域の沈降粒子有機物の混合過程に置ける植物プランクトンにたいするエンドメンバーを特定する事は出来ないが、このエンドメンバーの特性は、有機物の $\delta^{13}\text{C}$ が -24‰ 以下、 $\Delta^{14}\text{C}$ が -400‰ 以下である事を示唆する。したがって、この有機物は大陸棚および海溝域斜面に堆積し、乱泥流などで海溝底に輸送される堆積物粒子を構成する物質であると判断される。この点に付いての検証のため、深海底堆積物表面泥と深層水の懸濁粒子の採集を、現在準備中である。

参考文献

- Baker, E. T. and B. M. Hickey (1986) Marine Geol., 71, 15-34
- Bauer, J. E., P. M. Williams and E. R. M. Druffel (1992) Nature, 357, 667-670
- Bishop, J. K., J. M. Edmond, D. R. Ketten, M. P. Bacon and W. B. Silker (1977) Deep-Sea Res., 24, 511-548
- Courp, T. and A. Monaco (1990) Continental Shelf Res., 10, 1063-1087
- Drake, D. E. (1974) Geological Soc. American Bull., 85, 3949-3968
- Eisma, D. (1987) Particle flux in the ocean, E. T. Degens, E. Izdar and S. Honjo, editors, SCOPE/UNEP Sonderband, 62, pp. 259-268
- Sackett, W. M., J. M. Brooks, B. B. Bernard, C. R. Schwab, H. M. Chung and P. L. Parker (1979) Earth Planet. Sci. Lett., 44, 73-81
- Walsh, J. J., P. E. Biscaye and G. T. Csanady (1988) Continental Shelf Res., 8, 435-456
- Williams, P. M. and E. R. M. Druffel (1987) Nature, 330, 246-248

Studies on horizontal transport of organic materials in the
continental shelf-trench system

Handa, N., T. Sugimoto, M. Itoh and

Water Research Institute, Nagoya University, Chikusa-ku, Nagoya 464-01
Japan

T. Saino

Ocean research Institute, Tokyo University, Nakano-ku, Tokyo 164,
Japan

Abstract

An aim of this work is to make clear the horizontal transport of organic materials in the continental shelf to the trench located in the extremely west margin of the Pacific plate along the Japan Islands. Thus, surface sediments, suspended particles and sinking particles were collected from the mouth of Tokyo Bay, Sagami Bay, Izu-Ogasawara Trench and Northwest basin of the North Pacific. $\delta^{13}\text{C}$ and $\Delta^{14}\text{C}$ of the organic matter of these particles were determined by mass spectrometry and accelerated mass spectrometry respectively. Following results were obtained.

Horizontal fluxes of total mass and organic carbon from Tokyo Bay to the adjacent continental shelf were governed by the rising and ebb tides. Higher horizontal mass flux of $7,235 \text{ mg dry weight m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ was observed in the ebb tide relative to that of the rising tide ($2,148 \text{ mg dry weight m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) at the mouth of Tokyo Bay. $\delta^{13}\text{C}$ and $\Delta^{14}\text{C}$ of organic carbon clearly indicated that the particulate organic materials were derived from the modern phytoplankton living in the surface of the waters.

Organic carbon of the surface sediments, suspended particles and sinking particles collected in the Sagami Trough were analyzed for $\delta^{13}\text{C}$ and $\Delta^{14}\text{C}$, of which values tended to decrease from the shallow coastal regions toward the deep trench environment. These data clearly indicated that organic particles once settled in the continental shelf and shelf slope were transported to the deep bottom of the trench with continuous repetition of the resuspension and sedimentation of the particles with decay of their organic matter to a great extent.