

深海における粒状有機物の起源と輸送

中塚 武、半田 暢彦

名古屋大学大気水圏科学研究所 / 〒464-01 名古屋市千種区不老町

はじめに

近年、大気中での人類活動起源の炭酸ガス濃度の増加とその行方をめぐって、海洋での炭素循環のあり方が注目されてきている。従来、海洋特に外洋域での、表層水から深層水への有機態炭素の輸送形式については、植物プランクトンの凝集物や動物プランクトンの糞粒などの形での、粒子状有機物の鉛直沈降が主とされてきたが、最近の研究で、溶存態有機物の鉛直拡散や沿岸域から外洋深層水への粒状有機物の水平輸送の重要性が指摘されてきた。有機物の水平輸送フラックスについては、しかし、その測定が難しく、堆積物中の鉛等の放射性同位体やリグニン等の陸起源バイオマーカーを用いた粒子の水平輸送量の推定が行われてきたが、それらは有機態炭素全体に対応する指標ではないという点で、限界を持っている。我々の研究グループでは、そこで、ここ数年、沈降粒子有機物の有機態炭素の放射性同位体比を、その安定同位体比とともに測定し、ダブルトレーサーとして、その起源を考察する研究を進めてきた。炭素放射性同位体比は、有機物の生成条件や分解過程に規定される安定同位体比と異なり、堆積物からの再懸濁粒子と表層水からの直接の沈降粒子の分別等に有効であると考えられる。本研究では、新たに測定した、海溝域から遠洋域にいたる懸濁態有機炭素や堆積物有機炭素の放射性・安定同位体比のデータを示し、深海における粒状有機物の起源と輸送について考察する。

試料と方法

分析に用いた懸濁粒子試料は、図1に示す各点から、現場大量濾過器 (Deep Pump) による採取法 (JT-房総沖日本海溝の3重会合点上-水深約9000m) および、ニスキン採水器によって採水後、船上で濾過する方法 (DE-2, DE-7-それぞれ、遠洋の比較的平らな大洋底上-水深約6000m) で、それぞれ、グラスファイバーフィルター (GF/C) 上に捕集した。堆積物試料は、JT siteの陸側斜面にあたる、相模湾および相模トラフの水深1392m および2556m 地点から、ボックスコアラー採泥器によって採取し、表層の0-1cmをサンプルとした。試料は、懸濁粒子試料の場合、デシケーターの中で、塩酸蒸気にさらし、炭酸塩態炭素を除去した後、真空乾燥。堆積物試料の場合、1N塩酸で炭酸塩を溶解させた後、蒸留水で洗浄し、GF/C上に濾過回収後、同様に真空乾燥させた。乾燥試料は、さらに、Minagawa et al.(1984)の方法で、石英管

Sample Site (Suspended POC)

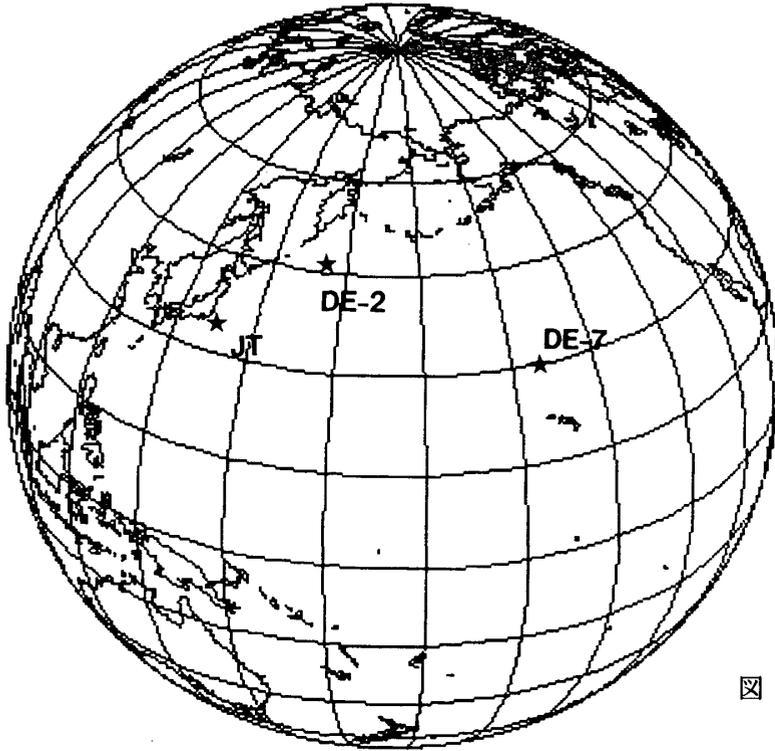


図 1. 懸濁粒子試料の採取地点

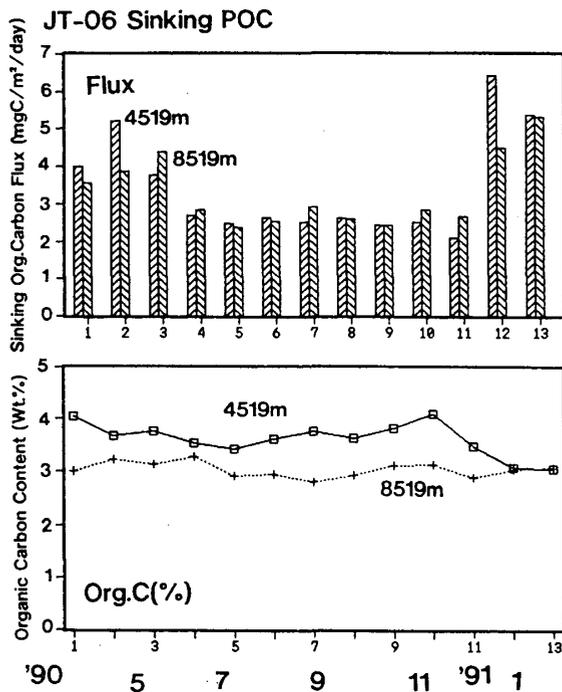


図 2. JT site における沈降粒子有機炭素の鉛直フラックス (上) とその濃度 (下) (Vertical flux of sinking particulate organic carbon and its concentration at JT)

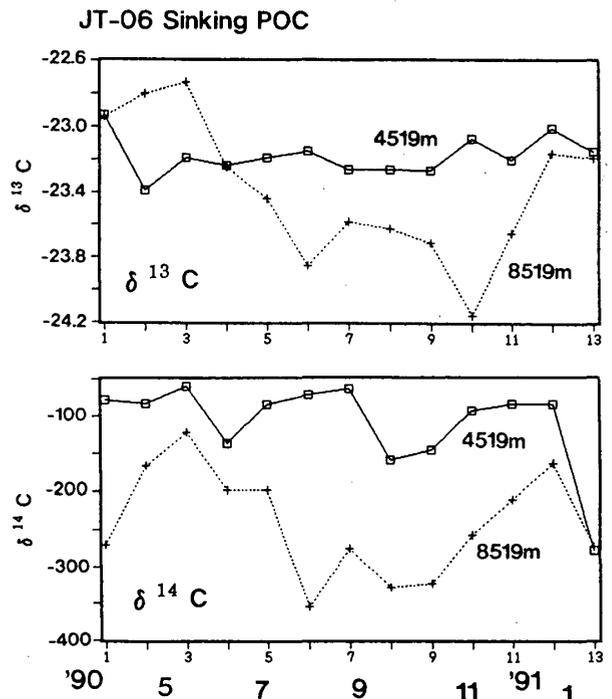


図 3. JT site における沈降粒子有機炭素の炭素安定 (上)・放射性 (下) 同位体比 (^{13}C and ^{14}C compositions in sinking particulate organic carbon at JT)

の中に、酸化銅 1g と共に、真空封管し、850°C で 2時間燃焼させ、生じた炭酸ガスを真空ライン中で冷媒により、生成成分取した。得られた炭酸ガス試料は、マンメーターで容量を測定後、 ^{13}C 用及び ^{14}C 用に、分割し、 ^{13}C 用試料は、そのまま、ガス同位体質量分析計 MAT251 にて、安定同位体比 ($\delta^{13}\text{C}$) の測定を行った。 ^{14}C 用試料は、水素還元法 (Kitagawa et al., 1993) により、あらかじめ水素で還元しておいた純鉄粉 1~2mg の入った石英管に、試料の還元に必要な十分量の水素ガスと共に封入、封管し、650°C で約 4時間還元、得られた結晶性炭素をターゲットホルダーに詰め、名古屋大学年代測定試料研究センターの加速器質量分析計により、 $^{14}\text{C}/^{13}\text{C}$ 比を測定した。 $\delta^{14}\text{C}$ 値の導出に当たっては、ターゲットとした炭素を再び、酸化銅と共に燃焼させて、炭酸ガス化し、その $\delta^{13}\text{C}$ 値を測定して、計算に用いた。尚、後で示す、JT site での沈降粒子試料の結果 (すでに報告済み、半田等, 1993) も同様の方法で、炭素同位体比の測定が行われている。

結果と考察

今回の懸濁粒子試料及び、堆積物試料による結果を示す前に、我々のグループでこれまで測定を行ってきた JT site におけるセジメントトラップ (沈降粒子捕獲器) 実験によって得られた、沈降粒子試料の炭素同位体比のデータを示し、問題点のおさらいをしたい。図 2, 図 3 に JT site で 1990年 3月から翌 1991年 3月まで行われた実験の結果を示す。季節的に沈降粒子有機炭素フラックスおよびその同位体比とも大きく変動するが、ここで特徴的なことは、水深 4519m から水深 8519m に至る過程で、有機炭素の鉛直フラックスはほとんど変化せず、季節変化もきわめてよく対応するにも関わらず、その「中身」である同位体比 ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{14}\text{C}$) は、大きく異なっていることである。つまり、沈降粒子が、4519m から 8519m まで沈降する過程で、 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{14}\text{C}$ 値の相対的に高い有機物が分解 (もしくは溶解) し、逆にそれらの低い有機物が付加されている、ということが明らかとなった。フラックスの季節変化パターンが上下層で、きわめてよく対応することから考えて、この付加される有機物の起源としては、短期的に変動する海底乱泥流のようなものよりも、比較的安定したソース、例えば、深層水中にいつも安定して漂っている懸濁粒子のようなものが考えられ、「表層水から来た沈降粒子 (プランクトン群集のそれを反映して、 $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{14}\text{C}$ 共に高い - それぞれ、-20%, +150% 程度) が、沈降の途中で分解してゆく一方で、深層水中に存在する懸濁粒子 ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{14}\text{C}$ 共に低い) を巻き込んで (スキャベンジングして) ゆく」というストーリーが描ける。

さて、ここまで推定された段階において、次の 3つの問題が生じる。

- 1) 本当に、JT site では、懸濁粒子有機物の $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{14}\text{C}$ 値は、低いのか?
- 2) (本当に低かったとしても) それは空間的にどのくらいの広がりを持つのか? これは、Druffel and Williams (1990) 等でも示されている外洋域でのデータ (深層水中でも、沈降粒子・懸濁粒子共に、その $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{14}\text{C}$ は高く、基本的に、表層の

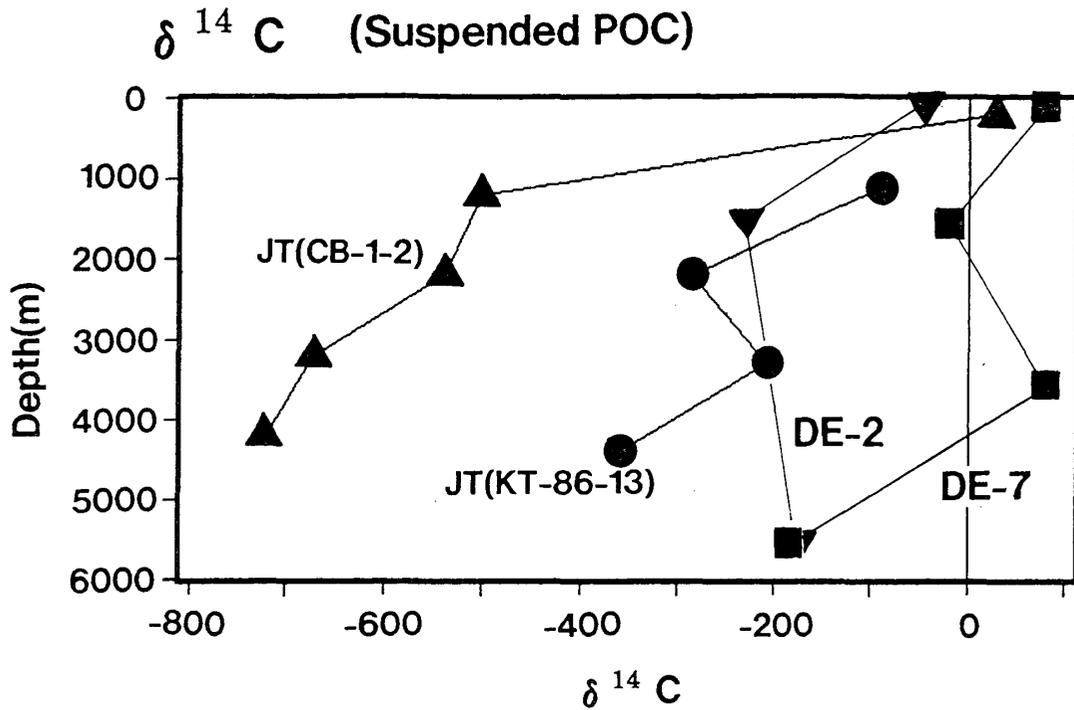


図 4. 懸濁粒子有機炭素の放射性炭素同位体比の鉛直分布
(Vertical profiles of ^{14}C composition in suspended particulate organic carbon)

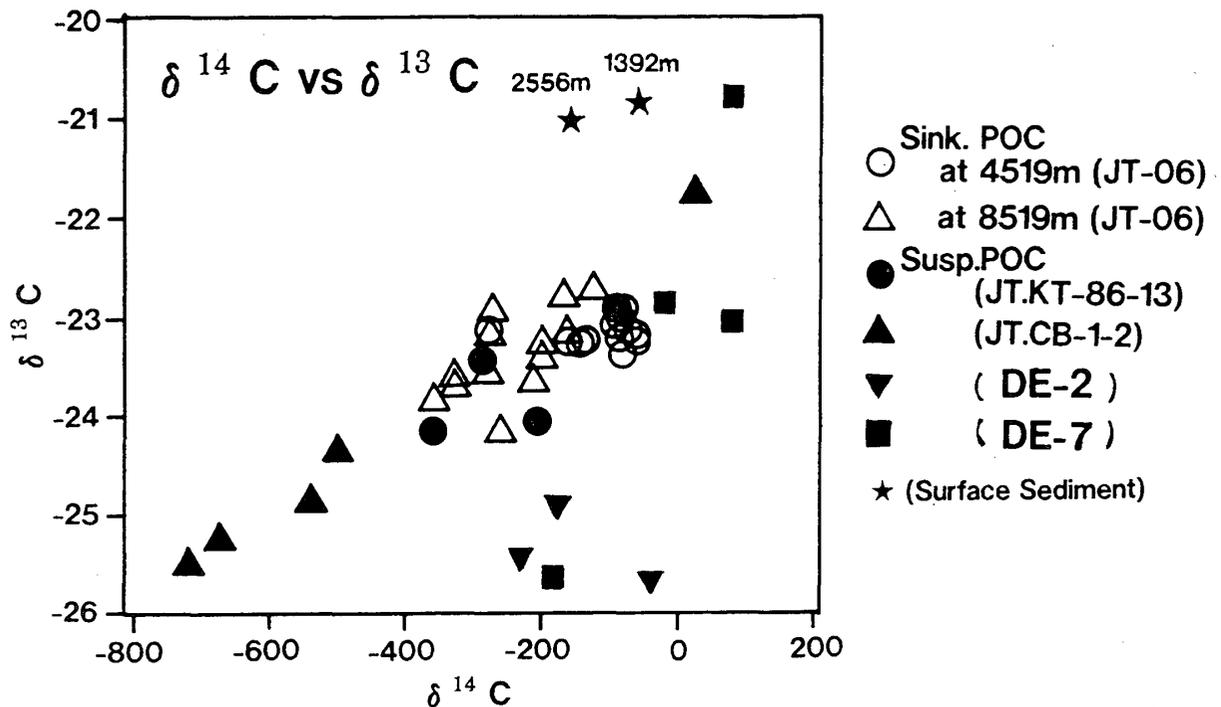


図 5. 懸濁・沈降粒子有機炭素の放射性 (X 軸)・安定 (Y 軸) 同位体比
(Relationship between ^{13}C and ^{14}C compositions in suspended and sinking particulate organic carbon)

プランクトンの値に近い)とのつながりがどうなるのかという点でも、また、沿岸の大陸斜面域から外洋域への有機物フラックスがどうなっているかについての洞察を得るためにも重要である。そして、そもそも、

3) この $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{14}\text{C}$ 値共に低い有機物の元々の起源は、何か? (本当に、堆積有機物の再懸濁なのか?)

これらの疑問に答えるため、本研究は行われた。

図4に、図1各点から得られた懸濁粒子有機炭素の、 $\delta^{14}\text{C}$ 値の鉛直分布を示す。大陸斜面に近いJTから、DE-2そして、DE-7の順番に、値は増大し、また、鉛直的には、底層付近でもっとも低くなる分布を示した。また、同じJT siteでも、サンプリングの時期(CB-1-2は1987年6月、KT-86-13は1988年11月)によって、大きく値が異なった。図5には、それらの値を、 $\delta^{13}\text{C}$ 値と共に、 $\delta^{13}\text{C}$ vs $\delta^{14}\text{C}$ グラフにプロットした結果を示す。先に示したJT siteの沈降粒子の結果は、このグラフ上で、当地点の懸濁粒子有機物のそれがつくるラインの上にきわめて、うまくプロットされ、これは当地点での沈降粒子の中の「 $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{14}\text{C}$ 値の低い有機物」の直接の起源が、深層の懸濁粒子であることを示している。図4の結果はまた、 $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{14}\text{C}$ 値の低い懸濁粒子有機物の元々の起源が、大陸斜面および遠洋底にあること、つまり堆積物からの再懸濁であることを強く示している。

さて、それでは本当に、堆積物表層の有機物の $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{14}\text{C}$ 値は、これほど(JT, CB-1-2の結果に示すほど)低いのであろうか。図5に、沈降粒子・懸濁粒子の結果と併せて、相模湾、相模トラフで得られた堆積物表層0-1cmのデータを示した。期待に反して、 $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{14}\text{C}$ 値共に、堆積物表層のそれは、プランクトン群集のそれに近く、高い値を示した。これについては、次のような解釈が可能である。

1 > 深層の $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{14}\text{C}$ 値の低い懸濁態有機物の起源は、堆積物ではなく溶存態有機物などの他のものである。これについては、しかし、図4に示した $\delta^{14}\text{C}$ 値の空間分布を説明できるものではない。

2 > 再懸濁が頻繁に生じている海底面は、そもそも、今回堆積物を採取できた地点とは異なり、古い($\delta^{14}\text{C}$ 値の低い)有機物が常時露出している。これについては、JT siteの沈降粒子の中に、沿岸性の絶滅微化石種が混入しているという事実(岡田、私信)と照らし合わせてみても、納得できる話である。しかし、 $\delta^{13}\text{C}$ 値については必ずしもこれだけでは説明できず、分解に伴う有機物の $\delta^{13}\text{C}$ 値の低下もしくは地質学的タイムスケールでの環境の変動にともなう、当該大陸斜面域へ供給される有機物の $\delta^{13}\text{C}$ 値の変化(陸起源有機物の混入等を含む)等を考えなければならなくなる。どの程度、これらが妥当であるか等について、今後、さらに有機炭素全体だけではなく、その分子レベルでの炭素同位体比の測定まで含めて、検討してゆきたい。

謝辞

本研究を行うに当たり、名古屋大学年代測定資料研究センターの中村俊夫助教授に

は、加速器質量分析計による放射性炭素同位体比の測定をご指導いただき、多くの便宜を図っていただいた。また、名古屋大学大気水圏科学研究所の松本英二教授には、ガス同位体比質量分析計を使用させていただいた。サンプルの採取に当たっては、東京大学海洋研究所の野崎義行教授をはじめ、白鳳丸、淡青丸の船員、研究者の方々に多くのご援助をいただいた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- Druffel, E. R. M. and Williams, P. M. (1990) Identification of a deep marine source of particulate organic carbon using bomb ^{14}C . *Nature*, 347, 172-174
- 半田暢彦、杉本多津宏、伊藤雅彦、才野俊郎 (1993) 沿岸－海溝系における物質輸送過程について 名古屋大学加速器質量分析計業績報告書 (IV) 53-59
- Kitagawa, H., Masuzawa, T., Nakamura, T. and Matsumoto, E. (1993) A batch preparation method of graphite targets with low background for AMS ^{14}C measurements. *Radiocarbon*, 35, 295-300
- Minagawa, M., Winter, D. A. and Kaplan, I. R. (1984) Comparison of Kjeldahl and combustion methods for measurement of nitrogen isotopes in organic matter. *Anal. Chem.*, 56, 1859-1861

Origin and transport of particulate organic matter in deep water column of ocean

Takeshi Nakatsuka and Nobuhiko Handa

Institute of Hydrospheric-Atmospheric Sciences (IHAS),
Nagoya University

Stable and radioactive isotopic ratios of carbon ($\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{14}\text{C}$) were measured in suspended particulate organic matter (POM) collected in deep water of North Pacific Ocean. In our previous studies in Japan Trench off Boso peninsula, south-east Japan, $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{14}\text{C}$ values of sinking POM were found to decrease largely from 4519m to 8519m although fluxes of the sinking organic carbon and pattern of seasonal variation of them did not change vertically, and this suggested that during sinking of particle in deep water column, "low $\delta^{13}\text{C}$ and low $\delta^{14}\text{C}$ " organic carbon are added to it, while "high $\delta^{13}\text{C}$ and high $\delta^{14}\text{C}$ " organic carbon in the sinking particle are decomposed and/or dissolved. The $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{14}\text{C}$ values of suspended POM in deep water column of Japan Trench measured in this study were very low and the $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{14}\text{C}$ values of suspended POM showed a good positive linear correlation including those of sinking POM, and this relationship proved that the direct source of "low $\delta^{13}\text{C}$ and low $\delta^{14}\text{C}$ " organic carbon added into sinking particle in deep water column are the suspended POM there. The vertical and horizontal distribution of $\delta^{14}\text{C}$ and $\delta^{13}\text{C}$ values in suspended POM further suggested that the origin of "low $\delta^{13}\text{C}$ and low $\delta^{14}\text{C}$ " fraction of suspended POM in deep water are resuspension of sedimentary organic matter from continental slope and ocean floor.