

東シナ海陸棚斜面における過去 18,000 年間の環境変化について

小栗一将^{*1+}・松本英二^{*1}・斎藤文紀^{*2}・本多牧生^{*3}・原田尚美^{*3}・日下部正志^{*3†}

^{*1} 名古屋大学大気水圏科学研究所 〒464-8601 名古屋市千種区不老町

+ 現所属：財団法人 日本海洋科学振興財団 〒035-0064 青森県むつ市湊町 4-24

^{*2} 工業技術院地質調査所 海洋地質部 〒305-8567 つくば市東 1-1-3

^{*3} 海洋科学技術センター 海洋観測研究部 〒237-0061 横須賀市夏島町 2-15

† 現所属：(株) マリン・ワーク・ジャパン 〒236-0031 横浜市金沢区六浦 1-1-7

はじめに

東シナ海は世界で最も広大な縁辺海である。この海域は水深150m以浅の広大な陸棚を擁し、その東部には急激に水深の変化する陸棚斜面と、沖縄トラフが存在する。この海域では、これまでに多くのコアが採取され（例えば Ujiié et al., 1997）、主として浮遊性有孔虫の群集組成による古環境解析が行われてきた（Ujiié et al., 1991）。これらの研究の結果、沖縄トラフでは最終氷期以降黒潮種が増加し、約8,000年前には現在の水温に達したことが明らかになった。一方で有機炭素同位体比 ($\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$) を用いた古環境解析の研究も行われたが（Wahyudi and Minagawa 1997）、堆積速度が小さいため、 $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ の顕著な環境変動は見いだされなかった。その後小栗ほか（1998）により、東シナ海陸棚斜面において、最終氷期末期に $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ の減少が報告された。その後陸棚斜面～トラフ域から得られたコアからも、前回のコアと同じ時期、同じ規模で $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ の減少が確認された。そこで本報告では、融氷期に $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ が減少した理由を考察する。なお、本研究は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（MASFLEX）の一環として行われた。

実験方法

試料採取地点

試料は海洋科学技術センターの調査船「かいよう」によるK94-05航海において、東シナ海の陸棚斜面下部～沖縄トラフの水深1,036m地点（P-4: 28° 11.57' N, 127° 14.05' E）にて採取された（Figure 1）。採取にはピストン式サンプラーを用いた。得られたコアの長さは510cmであった。コアのスケッチをFigure 2に示す。堆積相は均一なシルトであったが、深さ141～142cmに、約6,300年前に噴出したアカホヤ火山灰層（町田, 1991）が発見された。

浮遊性有孔虫殻の年代測定と堆積速度の算出

堆積速度を決定するため、浮遊性有孔虫殻の¹⁴C年代を測定した。測定のための前処理方法を以下に示す。試料は顕微鏡下で拾い出し、約10mg程集めたものを用いた。集められた有孔虫殻は超音波洗浄を行い、付着した泥などを十分に落とした。その後ごく薄い塩酸と過酸化水素水で洗浄を行った。これらの試料とリン酸をY字管にそれぞれ真空封管したのち、管内でリン酸分解を行った。次に真空ラインを用いて、発生した二酸化炭素を精製した。そして、Kitagawa et al. (1993)による水素還元法によりグラファイトを作成し、ターゲット

ホルダーにプレスした。また標準試料として、HoxII 蓆酸 (NIST SRM-4990C) からグラファイト作成した。 ^{14}C 年代測定は、名古屋大学年代測定総合研究センターの加速器質量分析計 (中村, 中井, 1988) を用いて行った (一部の試料は Lawrence Livermore National Laboratory にて測定)。得られた ^{14}C 年代 (yr BP) は、Stuiver et al. (1998)による校正曲線を用いて暦年代 (cal. yr BP) に変換した。実際の変換には Mac Calib 4.1.2 ソフトウェアを用いた。

有機炭素堆積速度

有機炭素堆積速度は、有機炭素含有量と堆積速度から求めた。有機炭素含有量は、バルクの粉末堆積物と、希塩酸によって脱炭酸塩処理を行った粉末堆積物の両方の炭素含有量から計算して求めた。測定には CARLO ELBA EA1108 元素分析計を使用した。

有機炭素の安定同位体比 ($\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$)

試料には塩酸処理により炭酸塩を取り除いた堆積物を使用した。測定のための二酸化炭素は、堆積物粉末を酸化銅と共に真空に封管したものを燃焼させ、真空ラインを用いて得られたガスを分離、精製して得た。測定には Finnigan MAT251 質量分析計を用いた。

結果と考察

^{14}C 年代測定によって得られた年代を Table 1 に、堆積速度 (mass accumulation rate: MAR) を Figure 3 に示す。これによると、堆積物は約 18,000 cal. yr BP 以来連続的に堆積していることが分かる。MAR は多少の変動はあるものの、最終氷期直後の 17,000 cal. yr BP 頃まで (約 41 g/cm²/kyr) と 13,400 ~ 13,000 cal. yr BP に最も高く (約 56 g/cm²/kyr)、その後減少傾向を示し、現在の速度 (約 8 g/cm²/kyr) まで減少した。有機炭素堆積速度も 13,400 ~ 13,000 cal. yr BP に最も高く約 730 mgC/cm²/kyr を示し、現在は約 82 mgC/cm²/kyr であったが、傾向は MAR とほぼ同様であった (Figure 4)。

一方、 $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ は 16,700 ~ 13,200 cal. yr BP の間に減少する傾向が見られた (Figure 5)。これは有機炭素堆積速度 (Org.C AR) とは独立した傾向である。海洋における $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ の減少は、陸上起源の $\delta^{13}\text{C}$ 値の低い有機炭素の供給によることが考えられる (Newman et al., 1973)。東シナ海の陸棚の大部分は水深 100m よりも浅いため、最終氷期 ~ 初期の融氷期における斜面 ~ トラフへの陸起源物質の寄与は現在よりも多かった可能性がある。しかし、Org.C AR を見る限り、18,000 ~ 17,000 cal. kyr BP 頃の速度は約 450 mgC/cm²/kyr と現在より数倍高く、またこの時期の $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ は現在とほぼ同様の高い値を示すため、 $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ の結果だけで陸起源有機炭素の寄与を知ることは難しい。恐らく当時の斜面 ~ トラフ域も、現在の東シナ海の陸棚環境のように (Kenicutt II et al., 1987)、陸起源有機炭素は現場で生産されたプランクトン起源の有機炭素に十分に希釈されていたと思われる。

融氷期の一時期に、 $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ を顕著に減少させるほどの陸起源有機炭素を斜面 ~ トラフに供給させる原因として考えられるものに、海水準の上昇に伴う陸棚の浸食がある。これは、東シナ海では海水準上昇に伴い海水が陸棚に侵入する時期に、潮汐力が大変強くなること (Uehara, 1998)、実際に当時の潮汐によって、陸棚上にサンドリッジが形成されたこと (斎藤, 1998) から推測される。そこで、Fairbanks (1989)による海水準上昇曲線と、10m 間

隔で0～120mまでの東シナ海陸棚斜面の面積から陸棚の沈水速度を求め、 $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ との関係を調べた (Figure 6). これによれば、陸棚に海水が侵入を開始した時期に $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ が減少したことが分かる。この16,700～13,200 cal. yr BPのわずか3500年の間に、海水準は-110～-70mまで上昇しており、現在の東シナ海陸棚面積 (約410,000 km²) の約40%にあたる約183,000 km²が沈水している。 $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ の減少は、このような陸棚への海水の侵入に伴う陸棚の浸食によって、陸起源有機炭素が一時的に斜面～トラフに供給されたことを示していると思われる。

まとめ

東シナ海陸棚斜面～トラフの堆積物に精密な年代を入れ、これまでにない高解像度な解析を行った結果、融氷期の陸棚に海水が侵入する時期に、陸上で生産された有機炭素が陸棚から外洋へ大量に輸送されたことが示唆された。

謝辞

本研究を行うにあたり、年代測定総合研究センターの中村俊夫教授ならびに池田晃子技官にはタンデトロンの使用に関して便宜を図っていただきました。ここに謝意を表します。

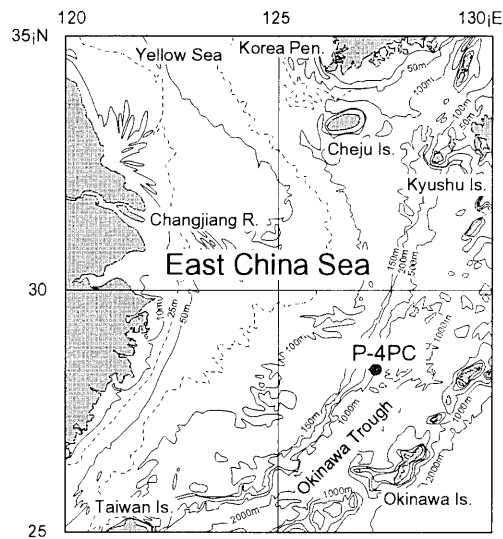


Figure 1. Sampling site of the P-4PC core.

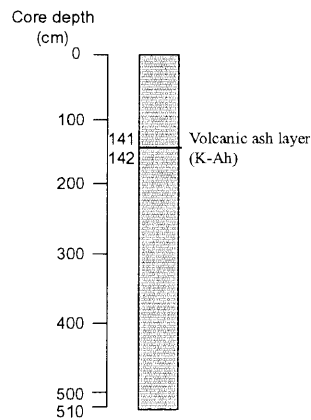


Figure 2. Illustration of the P-4PC core collected from the East China Sea. The core consists of homogenous silty clay. Volcanic ash layer are observed at the 141-142 depth.

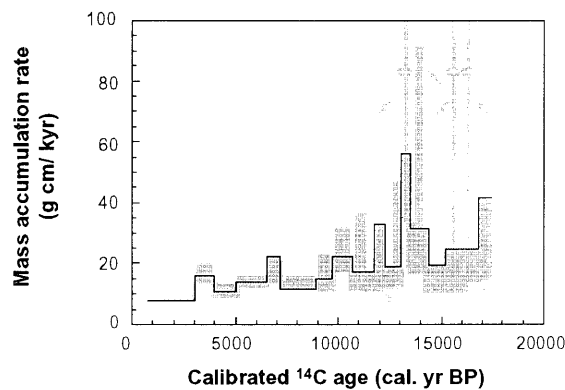


Figure 3. Mass accumulation rate of the P-4PC core. Black line represents mean accumulation rate and the hatched area represents the probable range of the rate calculated from the calibrated ^{14}C ages. Open arrows represent higher accumulation rates caused by close of the calibrated ^{14}C ages.

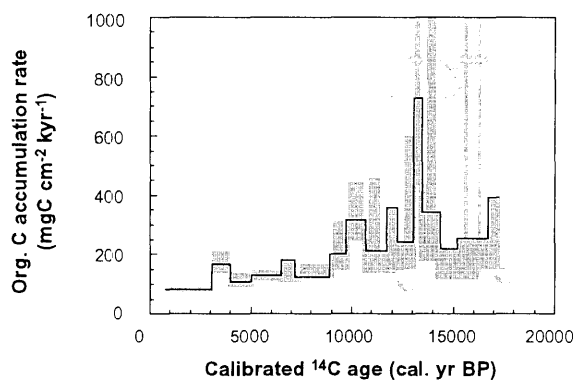


Figure 4. Org. C accumulation rate of the P-4PC core. Black line represents mean accumulation rate and the hatched area represents the probable range of the rate calculated from the calibrated ^{14}C ages. Open arrows represent higher accumulation rates caused by close of the calibrated ^{14}C ages.

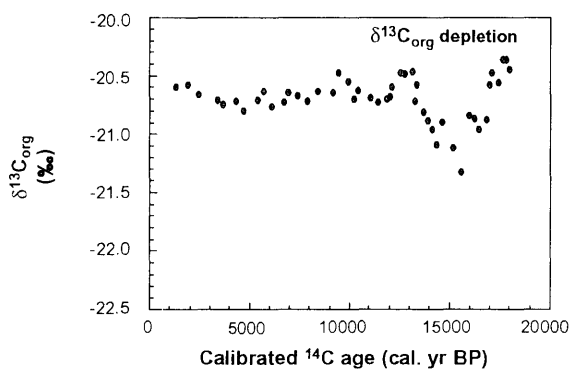


Figure 5. $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ of the P-4PC core. Apparent depletion in $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ is seen from 16,700 to 13,200 cal. yr BP.

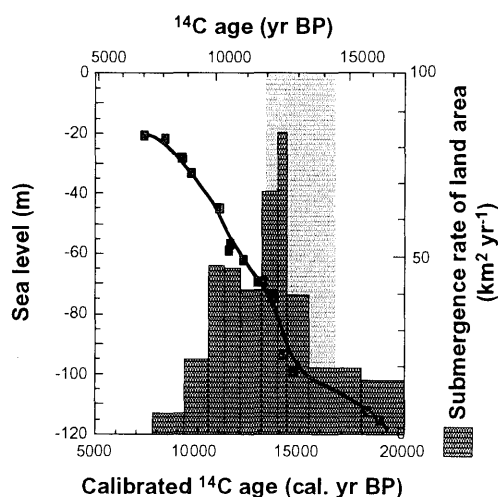


Figure 6. Submergence rates every 10 m bathymetric intervals from 120 to 20 m below the present sea level and sea level curve (Fairbanks, 1989). Hatched area from 16,700 to 13,200 cal. yr BP represents the period when $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ depleted.

Table 1. ^{14}C and calibrated ages of planktonic foraminifera collected in the P-4PC core. The samples coded NUTA are measured in the Nagoya University Center for Chronological Research, and CAMS are measured in the Lawrence Livermore National Laboratory, respectively.

K94-05, P-4PC					
Core depth (cm)	^{14}C age (yr BP)	Error (\pm)	Calibrated range 1σ (cal. yr BP)	Lab.	Core
23-25	1260	90	670-840	NUTA	5970
52-54	3290	60	2970-3140	CAMS	19270
72-74	4040	100	3890-4080	NUTA	5971
92-94	4830	50	4940-5130	CAMS	19271
122-124	6130	60	6420-6570	CAMS	19272
150-152	6920	120	7270-7470	NUTA	5972
174-176	8510	120	8780-9060	NUTA	1992
192-194	9180	50	9580-9850	CAMS	19273
			9910-9920		
224-226	10010	200	10340-10480	NUTA	5993
			10560-10860		
			10960-11090		
248-252	10670	200	10910-10920	NUTA	5994
			11340-12140		
			12230-12300		
270-274	10960	260	11740-11820	NUTA	1995
			11920-12660		
			12730-12820		
292-294	11650	50	12980-13170	CAMS	19274
324-326	12100	210	13190-13260	NUTA	5974
			13310-13700		
			13750-13820		
370-374	13090	510	14110-15570	NUTA	5997
400-404	13840	190	15660-16290	NUTA	5976
424-428	14470	240	16340-17050	NUTA	6200
450-454	14940	360	16780-17740	NUTA	6202
492-494	15760	60	17910-18460	CAMS	19275

引用文献

- Fairbanks, R. G. (1989): A 17,000-year glacio-eustatic sea level record: influence of glacial melting rates on the Younger Dryas event and deep-ocean circulation. *Nature*, 342, 7, 637-642.
- Kenicutt II, M. C., Barker, C., Brooks, J. M., DeFreitas, D. A. and Zhu, G. H. (1987): Selected organic matter source indicators in the Orinoco, Nile and Changjiang deltas, *Org. Geochem.*, 11, 41-51.
- 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.
- 町田 洋 (1991): テフラ層の C-14 年代値. *月刊地球*, 13, 254-258.
- 中村俊夫, 中井信之 (1988): 放射性炭素年代測定法の基礎—加速器質量分析法に重点を置いて—. *地質学論集*, 29, 83-106.
- Newman, J. W., Parker, P. L. and Behren, E. W. (1973): Organic carbon isotope ratios in Quaternary cores from the Gulf of Mexico, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 37, 225-238.
- 小栗一将, 松本英二, 斎藤文紀 (1998): 東シナ海陸棚斜面域における古環境変化. 名古屋大学加速器質量分析計業績報告書(IX), 55-63.
- 斎藤文紀 (1998): 東シナ海の堆積環境と堆積物収支. *沿岸海洋研究*, 36, 43-58.
- Stuiver, M., Reimer, P. J., Bard, E., Beck, J. W., Burr, G. S., Hughen, K. A., Kromer, B., McCormac, G., van der Plicht, J. and Spurk, M. (1998): Intcal98 radiocarbon age calibration, 24,000 cal BP, *Radiocarbon*, 40, 1041-1084.
- Uehara, K. (1999): Tidal changes in the Yellow/East China Sea caused by topographic changes in the last 20000 years, *Land-Sea Link in Asia*, Saito, Y., Ikehara, K. and Katayama, H., eds., JISTEC & GSJ, Tsukuba, Japan, P. 168-171.
- Ujiié, H., Tanaka, Y. and Ono, T. (1991): Late Quaternary paleocenographic record from the middle Ryukyu Trench slope, northwest Pacific. *Mar. Micropal.*, 18, 115-128.
- Ujiié, H., Ono, T. and Ujiié, Y., (1997): Catalogue of $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^{13}\text{C}$ measured piston cores collected from the Ryukyu Arc Region, during RN80 to RN96 cruises. *Bull. Coll. Sci. Univ. Ryukyus*, 63, 141-255.
- Wahyudi and Minagawa, M. (1997): Response of benthic foraminifera to organic carbon accumulation rates in the Okinawa Trough, *J. Oceanogr.*, 53, 411-420.

発表論文

- Oguri, K., Matsumoto, E., Saito, Y., Honda, M. C., Harada, N. and Kusakabe, M. (2000): Evidence for the offshore transport of terrestrial organic matter due to the rise of sea level: The case of the East China Sea continental shelf. *Geophys. Res. Lett.*, 27, 3893-3896.

Paleoceanographic changes in the East China Sea continental slope
during the last 18,000 years.

Kazumasa OGURI^{*1†}, Eiji MATSUMOTO^{*1}, Yoshiki SAITO^{*2},
Makio HONDA^{*3}, Naomi HARADA^{*3} and Masashi KUSAKABE^{*3†}

^{*1} Institute for Hydrospheric-Atmospheric Sciences, Nagoyua University.

[†] Now at Mutsu Mariine Laboratory, Japan Marine Science Foundation.

^{*2} Marine Geology Department, Geological Survey of Japan.

^{*3} Ocean Research Department, Japan Marine Science and Technology Center/

[†] Now at Marine Works Japan, LTD.

Abstract

Accelerator mass spectrometry ¹⁴C dating and analyses of the stable isotope ratio of organic carbon ($\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$) were carried out on the piston core obtained from the continental slope to the Okinawa Trough in the East China Sea. The cores covered the last ca. 18,000 cal. yr BP. Mass and organic carbon accumulation rates decreased gradually after the last deglaciation period. On the other hand, $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ showed distinct depletion from ca. 16,700 ~ 13,200 cal. yr BP. The depletion relates to the large supply of terrestrial org. C from the East China Sea continental shelf triggered by the sea's intrusion onto the shelf area because of the rise in sea level.