

东海颗粒碳的垂直转移过程*

郭志刚 杨作升

(青岛海洋大学海洋地球科学学院, 青岛 266003)

提要 在 1993 和 1994 年两个航次中, 利用震动式取样器从东海陆架取得 3 个柱状岩芯样品。对其进行了 POC, PIC, PON 含量和粒度分析, 并同其上覆水体的 POC, PIC 以及总颗粒物的垂直通量和悬浮体作了比较。结果表明, 东海海底表层沉积物中的总碳含量中陆架冷涡泥质区最高, 浙江近岸泥质区次之, 中陆架砂质区最低。PIC 含量均大于 POC。中陆架砂质区海底沉积物缺乏碳的保存条件, 在生物大量繁殖期(夏半季)许多颗粒碳可从水体转入海底沉积物, 在非生物繁殖期的冬半季, 可能主要表现为去碳作用, 年尺度上海底沉积物-海水间碳的收支处于动态平衡, 固碳作用有限。中陆架冷涡泥质区和浙江近岸泥质区海底沉积物具有良好的碳保存条件, 是东海海底固定碳的“汇”。近岸泥质区固定的碳量远高于中陆架冷涡泥质区。水体中生物作用生成颗粒碳的“汇”并非都与海底沉积物固定碳的“汇”相吻合。

关键词 颗粒碳 垂直转移过程 颗粒碳汇 东海

东海现代陆架含碳颗粒物质的探讨过去大多散见于海底沉积物和悬浮体研究报告中(郑铁民等, 1982; Zhou et al., 1983)。以东海碳的海洋生物地球化学循环为中心的多学科研究始于 90 年代初期, 其中一些学者开始探讨颗粒碳及相关物质的垂直通量过程, 如杨作升等(1992), Zhan(1994)。但将海洋水体中的沉降颗粒和海底沉积物作为一个整体来探讨现代陆架沉积动力环境下, 东海不同海域颗粒碳从海水体向海底沉积物的垂直转移过程及其效应研究极少见诸报导, 而这对东海陆架颗粒碳产生、转移和最后归宿的研究是不可或缺的内容。本文利用“东海陆架边缘海洋通量的研究”所获得的调查资料, 集中探讨颗粒碳从海水体向海底沉积物的垂直转移过程及其效应。

1 站位设置、取样和分析方法

1.1 站位设置及柱状岩芯取样

站位设置见图 1。重点研究 3 个柱状岩芯样品。其中 111 站位于 32°00' N, 126°00' E, 隶属于东海中陆架冷涡泥质区; 410 站位于 29°19' N, 125°00' E, 隶属于中陆架砂质区; 403 站位于 30°45' N, 122°45' E, 隶属于浙江近岸泥质区。样品用震动取芯管取得。其表层沉积物样未经混合干扰。

1.2 分析方法

粒度分析, 粒径间隔为 1 ϕ 。粒径大于 0.063mm 的采用筛析法, 小于 0.063mm 采用沉

*国家自然科学基金资助重点项目, 49636210号。郭志刚, 男, 出生于1963年8月, 讲师。

收稿日期: 1997年1月21日, 接受日期: 1997年7月20日。

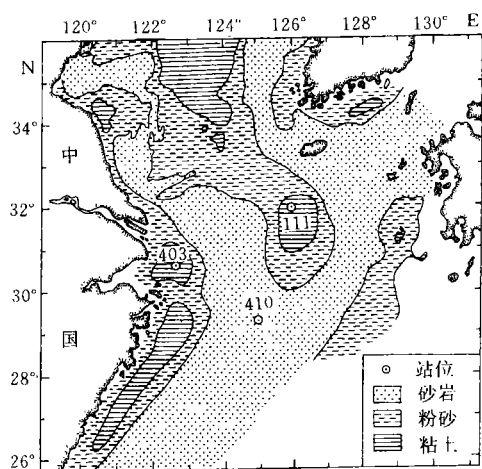


图1 研究海域及其站位(据Saito,1994)

Fig.1 Study area and locations of stations(Courtesy of Saito et al., 1994) in the East China Sea

POC / PON 的比值为 5.7, 陆源植物为 54—89, 该站表层沉积物中, 该比值为 3.64, 小于一般海洋浮游生物和陆源植物, 这表明海底表层沉积物中的 POC 以海洋生物颗粒沉降转入为主。该比值低于一般海洋生物可能与粘土颗粒对水体中溶解氮 (NH_4^+ 等) 的非有机作用吸附有关 (Milliman et al., 1984)。

表1 111站、410站、403站表层沉积物粒度参数和POC, PIC, PON含量

Tab.1 The grain-size and contents of POC, PIC and PON of the surface sediments at St. 111, St. 410 and St. 403 in the East China Sea

站 位	砂 (%)	粉砂 (%)	粘土 (%)	中值粒径 (ϕ)	分选系数	POC (%)	PIC (%)	PON (%)	POC/PON
111	1.54	36.16	62.30	9.12	2.51	0.51	1.91	0.14	3.64
410	83.19	12.51	4.30	3.07	0.63	0.16	0.38	0.03	5.33
403	0.72	60.89	38.39	6.87	1.91	0.67	1.19	未分析	

410 站表层沉积物为细砂, 砂含量占绝对优势, 分选良好。POC 和 PIC 含量很低, 总碳为 0.54%, 以 PIC 为主。POC / PON 比为 5.33, 表明该区的有机碳仍以海洋生物颗粒转入沉积物为主。

403 站表层沉积物为粘土质粉砂, 粘土和粉砂占据绝对优势, 分选性介于 111 站和 410 站之间。POC 和 PIC 含量均高, 总碳含量为 1.86%, 约是 410 站的 3.4 倍, 但少于 111 站。同样 PIC 含量占优势(表 1)。

海底表层沉积物 POC 和 PIC 含量与上覆水体颗粒物垂直通量的对比结果见表 2。由表 2 可以看出如下特征: (1) 砂质区的 410 站总悬浮颗粒物垂直通量 (F_{SPM})、颗粒有机碳和无机碳通量 ($F_{\text{POC}}, F_{\text{PIC}}$) 均大大高于中陆架冷涡泥质区的 111 站, 其中总碳通量 ($F_{\text{POC}} + F_{\text{PIC}}$) 在底层(410 站为 85m, 111 站为 75m) 410 站比 111 站要高出约 43.9 倍。而海底表层沉积物中的 POC 和 PIC 含量 111 站均高于 410 站, 总碳含量前者是后者的 4.5 倍。(2)

降法。柱状岩芯样品分析间隔为 10cm。颗粒有机碳 (POC) 和颗粒有机氮 (PON) 含量, 由 PE-240 元素分析仪测得。颗粒无机碳 (PIC) 含量, 按海洋调查规范海洋地质地球物理调查 (1992) 采用容量法测得全粒级碳酸盐含量。考虑到碳酸盐主体为 CaCO_3 , 按分子式换算为 PIC 含量。

2 结果与讨论

2.1 典型海域海底表层沉积物 POC, PIC 含量特征及其与上覆水体颗粒物垂直通量的对比

111 站表层沉积物为粉砂质粘土, 粘土含量占优势、分选性差。总碳含量为 2.42%, 以 PIC 占优势, 具有研究区最高的 PIC 含量。据 Bornhold (1978) 研究, 海洋浮游生物中

111 站和 410 站 POC 垂直通量均大于 PIC 的垂直通量,但在海底表层沉积物中 PIC 含量均高于 POC 含量。

表2 1994年4月111站、410站悬浮颗粒物、POC、PIC的垂直通量 $[mg/(m^2 \cdot d)]^{1)}$ 以及111站、410站和403站表层沉积物的POC、PIC含量(%)

Tab.2 Vertical fluxes of total suspended particulate matter, POC, PIC $[mg/(m^2 \cdot d)]$ at St. 111, St. 410 in April, 1994 and contents of POC and PIC of the surface sediments (%) at St. 111, St. 410 and St. 403 in the East China Sea

站 位	深度 (m)	F_{SPM}	F_{POC}	F_{PIC}
111站	15	96.9	14.3	0.23
	75	18.2	4.56	2.10
	海底表层沉积物		POC 0.51	PIC 1.91
410站	15	253.7	89.4	1.16
	85	6439.3	213.8	85.4
	海底表层沉积物		POC 0.16	PIC 0.38
403站	海底表层沉积物		POC 0.67	PIC 1.19

1)111站、410站悬浮颗粒物、POC、PIC的垂直通量资料据Zhan,1994。

2.2 东海现代陆架颗粒碳的垂直转移过程

2.2.1 颗粒无机碳的垂直转移过程

PIC 从水体向海底沉积物的转移并保存取决于水体中含碳颗粒物的垂直通量和海底的水动力条件。对对悬浮体的扫描电镜分析和海底表层沉积物矿物鉴定表明,东海 PIC 主要来源于陆源碳酸盐矿物、现代生物骨屑(包括浮游和底栖生物)、低海面时近岸形成生物残骸的再搬运沉积以及海洋环境中生成的无机碳酸盐如自生方解石。泥质区 111 站的底层水体悬浮体含量较高,1994 年 4 月 75m 水深层可达 $13.7mg / dm^3$,有丰富的陆源碳酸盐矿物和现代钙质生物骨屑,致使该区有较多的 PIC 从水体转入海底沉积物成为永久保存,因而有高的 PIC 含量达 1.91%。浙江近岸泥质区为长江扩散系统物质影响区(Demaster et al., 1985),PIC 可能主要来自钙质生物,因为台湾暖流以及长江带来了丰富的营养盐,致使生物大量繁殖,海底沉积物也具有较高的 PIC,含量达 1.19%。砂质区的 410 站 1994 年 4 月表层水体悬浮体含量可达 $3.3mg / dm^3$,50m 水深层为 $1.88mg / dm^3$,底层(85m)为 $1.7mg / dm^3$,其含量表层高于中下层水体,扫描电镜分析也显示表层水体生物组分占 90% 以上,而在底层水体矿物颗粒约占 60%,这都表明了生物在该区的强烈影响。钙质生物骨屑主要由颗石藻类和有孔虫的微颗粒组成,在潮流和风暴的去泥作用下即使能沉积下来也将被重新转入水体而搬运走(汪品先等,1988),因而虽然水体中有高的 PIC 垂直通量(Zhan,1994),但长期保存在沉积物中的 PIC 较少,含量仅 0.38%。

2.2.2 颗粒有机碳的垂直转移过程

POC 从水体向海底沉积物的转移并保存必须具备几个条件:(1)水体中有充足的 POC 向海底转移;(2)有一定的沉积速率;(3)适合于细颗粒沉积的弱水动力环境;(4)相对还原的海底环境。细砂区的 410 站春季 POC 向海底的沉积通量很大,当 POC 转入海底沉积物后,由于沉积速率很低,约 $0.1cm / a$ (Demaster et al., 1985),海底为弱氧化环境(金翔龙,1992),POC 在微生物和化学作用下易消耗溶解而重新转入水体,同时在潮流和风暴的长期作用下有机质更不易保存。在冬季尤其如此,因为冬

季生物生产量很小。扫描电镜分析表明,111站水体中有一定量的生物发育,该区沉积速率相对较高,可达 0.3cm/a (Demaster et al., 1985),水动力条件弱,是细颗粒沉积物的汇聚区(Hu, 1984, Saito et al., 1994),海底为较强还原环境(宋金明等, 1991),因而当水体中的POC被转入沉积物后相对埋藏较快,有机质演化消耗了沉积物孔隙水中的溶解氧,结果使环境变得更加还原,有利于POC的保存。浙江近岸泥质区的403站得到长江扩散系统大量物质供应,沉积速率高, ^{210}Pb 研究结果表明,最高可达 5.4cm/a (Demaster et al., 1985),生物生产量大,大量POC可从水体沉降转入海底沉积物并被保存下来。

2.2.3 总颗粒碳从海水向海底沉积物垂直转移的效应 以上分析表明,中陆架砂质区的410站虽有高的POC和PIC垂直沉积通量,但其沉积物类型不能很好地保存POC和PIC。该站柱状岩芯分析结果显示0—20cm层为分选性很好的细砂,超过20cm深度后粉砂和粘土含量增加,分选性降低,而PIC和POC含量增加,如在50cm处为粉砂质砂,总碳含量增加到1.63%。作者认为在末次冰期后的高海面初期,在潮流和波浪冲淘下,该区可能以去表层沉积物中的碳为主;在现代陆架环境下,在生物发育的繁茂期(夏半季),海底沉积物—海水界面可能表现为以颗粒碳从水体转入沉积物为主,而在生物发育低潮期(冬半季),该界面可能表现为以去碳作用为主,从年或年际尺度上来说,其效应是处于动态平衡,海底沉积物对现代碳的固定作用非常有限。

东海中陆架冷涡泥质区和浙江近岸泥质区具备了颗粒碳的物源供应和保存条件,有大量的颗粒碳可从水体转入海底沉积物中。柱状岩芯分析结果显示,111站从0—50cm为粉砂质粘土,有较稳定的总碳含量,其中在20cm处总碳含量为2.11%;403站从0—40cm为粘土质粉砂,总碳含量稳定,在40cm处为1.77%。表明该二泥质区在一段时期内,有大量颗粒碳可从水体转入沉积物并埋藏而永久保存,是吸收固定碳的“汇”。由于浙江近岸泥质区的沉积速率比中陆架冷涡泥质区要高10倍以上,因此吸收的碳量前者比后者也要大的多。

上升流区、不同水团混合区和河口区具有丰富的营养盐,是东海水体生物作用生成颗粒碳的“汇”。水体固定颗粒碳的“汇”是动态的,不同季节该“汇”的区域和量均有变化,并不都与海底沉积物固定碳的“汇”相吻合,如410站区在春季是水体固定颗粒碳的“汇”,但海底沉积物并不是固定碳的“汇”。在中陆架冷涡泥质区和浙江近岸泥质区两者达到了统一。

3 结语

首次得出了东海现代陆架海底表层沉积物的颗粒碳“汇”并非都与海水体中的颗粒碳“汇”相吻合这一结论,并通过沉积动力和生物地球化学过程的分析给出了解释。中陆架砂质区有高的POC和PIC垂直通量,但海底沉积物缺乏保存碳的条件,固碳作用有限。中陆架冷涡泥质区和近岸泥质区是固定碳的“汇”,固碳量后者远高于前者。上升流区、不同水团混合区和河口区的海水体具有丰富的营养盐,是东海生物作用生成颗粒碳的“汇”,这些“汇”是动态的,其影响区域和量随季节变化而变化。

本文仅是颗粒碳垂直转移过程的初步研究,许多生物地球化学机制和沉积动力过程尚需作深入的探讨。

参 考 文 献

- 海洋调查规范海洋地质地球物理调查, 1992, 国家技术监督局(北京), 11—13, 27—28。
- 汪品先、成鑫荣, 1988, 海洋学报, **10**(1): 76—84。
- 杨作升等, 1992, 海洋与湖沼, **23**(2): 217—227。
- 郑铁民、徐凤山, 1982, 黄东海地质, 科学出版社(北京), 198—207。
- 宋金明、李延, 1991, 海洋与湖沼, **22**(2): 155—161。
- 金翔龙主编, 1992, 东海地质, 海洋出版社(北京), 246—247。
- Bornhold, B., 1978, Scientific and Technical Notes in Current Research, Part C, Geological Survey of Canada, pp. 108—112.
- Demaster, D.J. et al., 1985, *Cont. Shelf. Res.*, **4**: 143—158.
- Hu Dunxin, 1984, *Chin. J. Oceanol. Limnol.*, **2**(1): 12—19.
- Milliman, J. et al., 1984, *Ameri. J. Sci.*, **284**: 824—834.
- Saito, Y. and Yang, Z., 1994, Proceedings of International Symposium on Global Fluxes of Carbon and its Related Substances in the Coastle—Ocean—Atmosphere System, Hokkaido University(Sapporo), pp. 7—12.
- Zhou Fugan et al., 1983, Proceedings of International Symposium on Sedimentation on the Continental Shelf with Special Reference to the East China Sea, China Ocean Press (Beijing), pp. 447—461.
- Zhan, B., 1994, Proceedings of International Symposium on Global Fluxes of Carbon and its Related Substances in the Coastal—Ocean—Atmosphere System, Hokkaido University (Sapporo), pp. 177—182.

VERTICAL TRANSFER PROCESSES FOR THE PARTICULATE
CARBON IN THE EAST CHINA SEA

Guo Zhigang, Yang Zuosheng

(College of Marine Geosciences, Ocean University of Qingdao, Qingdao 266003)

Abstract Three cores in three typical areas of the East China Sea, including St. 111 from the cold eddy mud area in the middle continental shelf, St. 410 from the middle continental shelf sand area, and St. 403 from the Zhejiang coastal mud area, were taken using a vibro-corer during the Chinese JGOFS Cruises supported by the Natural Science Foundation of China in 1993 and 1994 respectively. The contents of particulate organic carbon (POC), particulate inorganic carbon (PIC), particulate organic nitrogen (PON) and grain size from the three cores were analyzed. Their relation to the vertical fluxes of suspended particulate matter (SPM), POC and PIC, and the composition and concentrations of total suspended matter in the seawater at St. 111 and St. 410 were discussed. The results indicate that the content of PIC in the surface sediments are higher than those of POC. Although there is a considerable high vertical flux of particulate carbon (PC) in the bottom seawater at St. 410, the maintenance of PC in the surface sediments is almost impossible due to the low

depositional rate, relatively high energy dynamic condition, and oxidative environment of the sea-floor in that area. The PC may be transferred from the seawater to the surface sediments during the blooming season (i. e. the summer) of marine organisms, but part of them will be transferred back to the seawater again. Possibly, surface sediments dominate in the dis-carbon process during the winter. Therefore, the budget of PC on the sea-floor sediment-seawater interface is in dynamic equilibrium, making the contribution of carbon's catch very limited in the middle continental shelf sand area. The cold eddy mud area and Zhejiang coastal mud area are the PC sinks since the two areas have relatively high vertical fluxes of PC and the conditions for PC's maintenance on the surface sediments are satisfied. The catch amount of carbon in the Zhejiang coastal mud area is much more than that of the cold eddy mud area because the former has a much higher depositional rate. The PC sinks in the seawater controlled by the marine organism production and other carbon origins do not always coincide with the PC sinks of the sea-floor surface sediments in the East China Sea.

Key words Particulate carbon Vertical transfer processes Particulate carbon sink The East China Sea

本 刊 消 息

中国科学引文数据库公布了中国科技期刊引文频次前 500 名,其中《海洋与湖沼》学报 1994 年居第 45 位;1995 年居第 40 位,又前进 5 名。据此可以说,《海洋与湖沼》学报引文频次居本学科之首。

《海洋与湖沼》学报,1997 年荣获中国科协优秀科技期刊二等奖,中宣部、国家科委、新闻出版署优秀科技期刊三等奖。

本刊编辑部

1997-09