

冲绳海槽北部表层沉积物中的钙质超微化石 及其环境特征*

曹奇原 苍树溪 李铁刚 祝优华[†]

(中国科学院海洋研究所 青岛 266071)

[†](中国科学院南京地质古生物研究所 南京 210008)

提要 为探讨冲绳海槽表层沉积物中钙质超微化石的分布规律及其影响因素, 对海槽北部槽坡区(29°58.33'—31°31.23'N, 127°39.55'—128°59.61'E) 34 个表层样品进行了分析和研究。共发现 35 种钙质超微化石, 其中优势种为 *Gephyrocapsa oceanica*、*Emiliania huxleyi* 和 *Florisphaera profunda*; *G. oceanica*、*E. huxleyi* 等的百分含量变化和特征属种 *U. tenuis* 的出现, 表明该区钙质超微化石组合面貌与东海外陆架相似, 和东海及南海都属于北太平洋中央水团组合。*G. oceanica* 的含量与海水营养盐存在一定的关系, 但两者之间并不存在明显的正相关性; 暖水分子 *U. irregularis*、*U. sibogae* 和 *O. fragilis* 的较高含量和冷水分子 *G. caribbeana* 和 *Calcidiscus leptoporus* 的较低含量, 进一步反映该区钙质超微化石的分布受到黑潮及对马暖流的影响, 其中温度、盐度和表层海水结构性质, 如海水透明度等因素可能为主要控制因素。

关键词 钙质超微化石, 表层沉积, 冲绳海槽北部

中图分类号 P736.22

颗石藻类是现代大洋中重要的初级生产力代表, 它分泌的钙质盘片-颗石粒(coccoliths)称作钙质超微化石。随着深海钻探(DSDP)和大洋钻探(ODP)项目的实施, 钙质超微化石除了在生物地层学中发挥着重要的作用, 在古海洋和古环境分析和研究中也日益受到重视。各种生物化石的利用很大程度上是以相关现生类群及其生态分布特征方面的资料 and 认识为基础的, 因此研究表层沉积中保存的生物残骸是开展古生态及相关研究的依据。上世纪 70 年代以来表层沉积中的微体化石在中国边缘海海区得到了较为广泛的研究, 其中南海海域已取得了一系列重要的成果和数据(Chen *et al*, 1982; Zhong *et al*, 1991; 成鑫荣, 1991; Cheng *et al*, 1997)。与此相比, 东海海域特别是在钙质超微化石方面的研究显得匮乏(Wang *et al*, 1983; Wang *et al*, 1985; Zhang *et al*, 1986), 涉及冲绳海槽区域的研究资料更少。具有第四纪连续海相沉积的冲绳海槽是进一步研究中国陆架海及其环境、气候演化的最佳场所(Li *et al*, 2001)。本次研究选取了位于冲绳海槽北部槽坡区的 34 个表层沉积物样品, 就其中保存的钙质超微化石进行了鉴定和统计, 初步分析了该区表层沉积物中钙质超微化石的分布规律, 探讨了影响化石分布的主要控制因素。

* 国家自然科学基金资助项目, 497436210 号、40176019 号和国家重点基础研究发展规划资助项目, G20000467 号。

曹奇原, 男, 出生于 1970 年 4 月, 助理研究员, E-mail: Caoqy2002@sina.com

收稿日期: 2001-12-16, 收修改稿日期: 2002-08-13

1 材料与方法

表层沉积物样品取自冲绳海槽, 由海洋科学考察船“科学一号”1999年5月系统采集。样品主要来自海槽北部深度大于200m受对马暖流影响的槽坡区, 采样站位如图1所示。

共分析样品34个, 对其中钙质超微化石保存较好的26个样品进行了化石统计。处理方法采用传统涂片法(smear slides), 所有玻片均在偏光显微镜下放大1000倍进行观察和鉴定; 随机选取10个视域进行钙质超微化石属种定量统计, 化石统计个数在300粒以上; 并观察和鉴定了超过30个视域出现的化石类型。为确保化石分类鉴定的统一性和准确性, 选择部分样品进行了扫描电子显微镜(SEM)观察。

2 钙质超微化石的分布

样品分布在海槽北部 $127^{\circ}39.55' - 128^{\circ}59.61' E$ 、 $29^{\circ}58.33' - 31^{\circ}31.23' N$ 的范围内(图1)。其中8个样品因颗粒较粗化石保存不好, 其余26个样品中钙质超微化石都有较高的丰度。共观察到35个类型的钙质超微化石(包括钙质沟鞭藻 *Thoracosphaera heimi*)。其中再沉积化石 *Retiaulofenestra* sp.、*Pseudoemiliana lacunosa*、*Discoaster* sp.、*D. brouweri*、*D. quinqueramus*、*D. variabilis* 和 *Sphenolithus* sp. 在一些样品中也有出现(表1), 但含量很低(定量统计的视域中罕见), 与郝诒纯等人(1988)的结果有出入。属种组成上与整个东海区域发现的化石类型基本一致

(Wang et al., 1983; Wang et al., 1985; Zhang et al., 1986)。

研究区中最常见的钙质超微化石种类为 *Emiliana huxleyi*、*Gephyrocapsa oceanica* 和 *Florisphaera profunda*(主要为 *F. profunda* var. *profunda*)。在所有样品中均有发现。三者含量合计最高可达94.74%, 最低为87.62%, 平均为91.7%。研究区内平均含量超过1%的钙质超微化石种类还有 *Umbilicosphaera sibogae*、*Gephyrocapsa caribbeanica*、*Gephyrocapsa* spp. 和 *Helicosphaera* spp.。所发现化石种类的平均含量和出现频率详见表1。

其中 *G. oceanica* 是现代海洋颗石藻的一个重要种类, 其钙质生物残骸—颗石及颗石球在现代海洋表层沉积物中广泛分布, 是东海、南海等西太平洋边缘海超微化石组合的主要分子之一(Cheng et al., 1997), 研究区内相对含量为12.74%—43.13%, 平均为25.88%。*E. huxleyi* 是现代大洋分布最广的一种颗石藻类, 在寒带到热带、16‰—45‰的盐度范围内均有发现, 为一广温、广盐和广养性种。其化石是陆缘海区常见的超微化石属种, 在西太平洋诸边缘海中均有发现(Okada, 1983; Cheng et al., 1997)。研究区内该种为优势种之一, 相对含量为24.46%—55.73%, 平均为40.52%。

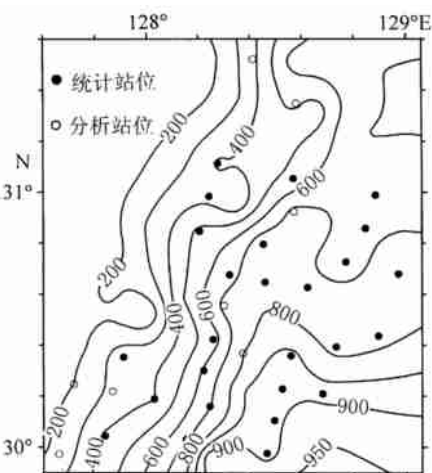


图1 冲绳海槽北部表层沉积样品的位置
Fig.1 Location of surfacial sediment samples in the northern Okinawa Trough

表 1 冲绳海槽北部表层沉积物中钙质超微化石的相对丰度平均值和出现频率

Tab. 1 Average relative abundances and frequencies of nannofossils in surface sediments of the northern Okinawa Trough

属 种 名	相对丰度	出现频率
	平均值 (%)	(%)
<i>Calcidiscus leptoporus</i> (Murray and Blackman) Loeblich and Tappan	0.94	88.5
<i>Discosphaera tubifer</i> (Murray and Blackman) Ostenfeld	0.31	3.9
<i>Emiliania huxleyi</i> (Lohmann) Hay and Mohler	40.52	100.0
<i>Florisphaera profunda</i> var. <i>profunda</i> (Okada and Honjo) Okada and McIntyre	23.88	100.0
<i>Florisphaera profunda</i> var. <i>elongata</i> (Okada and Honjo) Okada and McIntyre	1.50	92.3
<i>Gephyrocapsa caribbeanica</i> Boudreaux and Hay	1.23	100.0
<i>Gephyrocapsa oceanica</i> Kamptner	25.88	100.0
<i>Gephyrocapsa</i> spp.	1.20	65.4
<i>Heliosphaera carteri</i> var. <i>carteri</i> (Wallich) Kamptner	0.84	80.8
<i>Heliosphaera carteri</i> var. <i>wallichii</i> (Lohmann) Theodoridis	0.34	50.0
<i>Heliosphaera carteri</i> var. <i>hyalina</i> (Gaarder) Jodan and Young	0.30	19.2
<i>Heliosphaera pavimentum</i> Okada and McIntyre	0.48	19.2
<i>Neosphaera coccolithomorpha</i> Lecal-Schlauder	0.31	3.9
<i>Oolithotus fragilis</i> (Lohmann) Okada and McIntyre	0.55	80.8
<i>Pontosphaera</i> spp.	0.32	7.7
<i>Rhadosphaera daniger</i> Murray and Blackman	0.43	19.2
<i>Syracosphaera lamina</i> Lecal-Schlauder	0.31	11.5
<i>Syracosphaera</i> spp.	0.53	53.9
<i>Umbellosphaera irregularis</i> Paasche	0.63	46.2
<i>Umbellosphaera tenuis</i> (Kamptner) Paasche	0.44	34.6
<i>Umbilicosphaera hultziana</i> Gaarder	0.47	7.7
<i>Umbilicosphaera sibogae</i> var. <i>Sibogae</i> (Weber-van Bosse) Gaarder	2.08	100.0
<i>Umbilicosphaera sibogae</i> var. <i>Foliosa</i> (Kamptner) Okada and McIntyre	0.64	92.3
<i>Umbilicosphaera</i> sp.	1.83	3.9
<i>Acanthoica</i> sp.		7.7
<i>Braarudosphaera bigelowii</i> (Gran and Braarud) Deflandre		15.4
<i>Ceratolithus cristatus</i> Kamptner		38.5
<i>Coccolithus pelagicus</i> (Wallich) Schiller		11.5
<i>Discoaster</i> sp.		3.9
<i>Pseudoemiliania lacunosa</i> (Kamptner) Gartner		3.9
<i>Reticulofenestra</i> sp.		7.7
<i>Sphenolithus</i> sp.		7.7
<i>Thoracosphaera heimii</i> (Lohmann) Kamptner		38.5

自 Okada 等 1973 年发现 *F. profunda* 以来, 该种越来越受到研究者的重视, 因该种生活在透光带下部, 通常分布在水温 10—28℃、水深 100m 以下的水体中, 含量在 150m 深处达到最高; 其化石分布含量随水深、离岸距离增加而增高, 因此被不少研究者作为一种深水标志种, 并用来指示海水上层垂向结构的变化(Molino *et al.*, 1990; 成鑫荣等, 1998)。研究区该种的相对含量为 13.65%—38.61%, 平均为 25.33%。

G. oceanica 的溶蚀类型(桥-bridge 完全缺失)所占的比例为 12.2%—47.41%, 不少 *E. huxleyi* 的中央栅格构造(grills)缺失, 反映本区超微化石的保存状况一般; 在扫描电子显微镜(SEM)下观察的结果证实了这一点。16 个样品中发现 *G. oceanica* 的颗石球(coccosphere), 不少样品中还可见到 *E. huxleyi*、*C. leptoporus* 和 *U. sibogae* 的颗石球; 这是颗石藻被捕食后以粪球(fecal pellets)形式沉降产生的结果。没有发现明显畸形(malformation)的化石类型, 与汪品先(1983)等人在东海的研究结果一致。

北太平洋钙质超微化石生物地理分区的研究表明(Roth *et al.*, 1982; Okada, 1983), 化石组合的分布与代表不同温度的表层水团有关, 其中 *G. caribbeanica*、*U. tenuis* 和 *C. pelagicus* 是最重要的表层水团识别标志, 根据它们以及其他属种的分布特征和含量变化至少分出 4 个不同的钙质超微化石组合, 分别对应于北太平洋亚北极、过渡、中央和赤道 4 个主要水团。其中对应于北太平洋中央水团的组合以 *E. huxleyi* 和 *G. oceanica* 占优势, *U. tenuis* 含量不高但仅限于中央水团, 是北太平洋中央水团的标志种。与北太平洋水团的化石组合相比较, 可以看出冲绳海槽与东海、南海相似, 和北太平洋中央水团组合最接近(图 2, 表 2), 其钙质超微浮游生物的生物地理分区应属于北太平洋中央水团区。与东海大陆架的分析结果相对比, 本区的超微化石面貌与外陆架组合带相似, 化石分异度、*G. oceanica* 和 *E. huxleyi* 的比例也都相仿, 可以进一步归属于该组合(Zhang *et al.*, 1986)。

3 环境控制因素初探

作为初级生产力的浮游藻类, 生活在海水透光带的颗石藻主要受温度、盐度和营养物质的供应等因素的控制, 其生物遗骸-颗石粒或颗石球, 在沉降过程中又受到沉积因素的影响。全球各个边缘海的研究结果表明钙质超微化石的分布受到多种因素的影响: 1) 陆架区主要受陆上河流和沿岸流的影响, 大量的营养物质和碎屑物质一方面造成喜营养种类(如 *G. oceanica*)

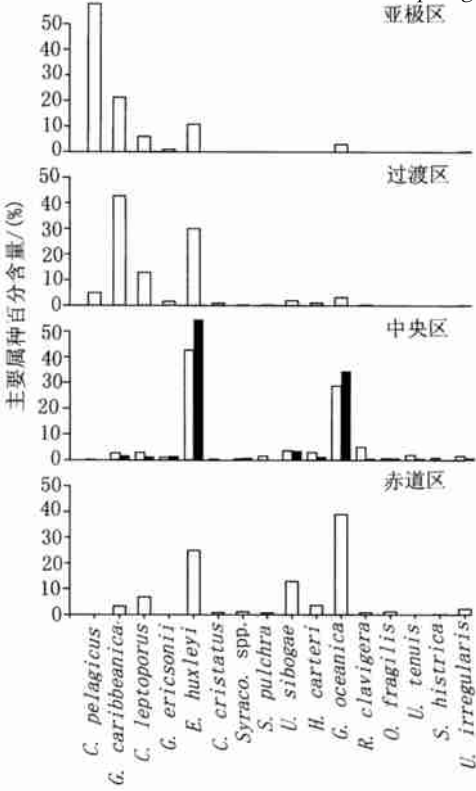


图 2 研究区钙质超微化石平均含量(黑柱)与北太平洋主要组合(白柱)的对比(按比例绘制)
Fig. 2 Comparison of the northern Okinawa Trough average nannofossil assemblage (black bars) with the major average nannofossil assemblage of the North Pacific (white bars, after Roth and Coulbourn, 1982, table III) (Drawn to scale)

表 2 中国边缘海不同区域表层沉积中钙质超微化石主要成分对比

Tab. 2 Comparison of main nannofossil components in surface sediments from different marginal seas around China (average percentage without *F. profunda*)

不同海区	位置	<i>E. huxleyi</i> (%)	<i>G. oceanica</i> (%)	参考文献
南海	中、北部	61.8	27.0	Cheng <i>et al</i> (1997)
	南部	18.8	64.2	Chen <i>et al</i> (1982)
东海	陆架 海槽	57.1	36.5	Wang <i>et al</i> (1983)
	(平均值)			
	内陆架	15	78	Zhang <i>et al</i> (1986)
	陆架中部	32	57	
	外陆架	53	31	
冲绳海槽	北部	54.5	34.4	本次研究

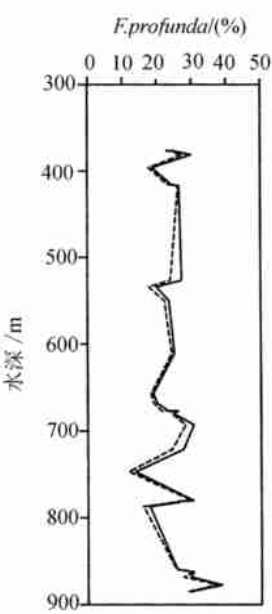


图 3 *Florisphaera profunda* 含量随水深变化趋势 (实线: 包括 *F. profunda* var. *dongata*; 虚线: 不包括 *F. profunda* var. *elongata*)

Fig. 3 Relationship between the relative abundance of *Florisphaera profunda* and the water depth (solid line-with *F. profunda* var. *elongata*; dashed line-with out *F. profunda* var. *elongata*)

在海水中的高生产率, 另一方面碎屑物稀释作用会使钙质超微化石在沉积物中的堆积速率相对降低。陆架 150m 以浅的外海区域 *G. oceanica* 含量超过 *E. huxleyi*, 与陆源物带来丰富的养料有关。200m 以深, 3500m 以浅的陆坡区上部是钙质超微化石丰度最高的区域, 化石的分异度也相对最高; *E. huxleyi* 的含量通常超过 *G. oceanica*, 表现出大洋水体的特征; 2) 而在深海陆坡下部和海盆区, 由于受碳酸盐溶解作用的影响, 作为钙质颗粒的超微化石含量会明显降低; 深海碳酸盐补偿深度 CCD 以下钙质超微化石几乎全部溶解而难以保存。因此深海区钙质超微化石的保存与 CCD 的深浅密切相关; 3) 深水种 *F. profunda* 的含量还与海水透光性和营养跃层深度有关。该种在表层沉积中的相对含量除了与水深关系密切, 还受到海水营养盐和光的控制; 随着海水透明度增加和营养跃层变深其含量明显增加 (Molfin *et al*, 1990; Ahagon *et al*, 1993; 成鑫荣等, 1998)。

本研究区水深范围为 376—885m, 因而可以排除深水碳酸盐溶解作用的影响; 从 *F. profunda* 与水深的关系图可以看出, 该种在研究区的水深范围内与水深变化的关系并不明显 (图 3), 因此水深不是控制本区钙质超微化石分布的主要因素。研究区处于东海陆架水、沿岸水和黑潮水相互作用的海域, 东部站位更是在对马暖流的控制区内; 钙质超微浮游生物主要生活在上透光带内, 因此主要受制于黑潮流域表层水团和次表层水团的影响。黑潮表层水团的显著特征是高温、高盐、高水色、高透明度; 次表层水团最突出的特点是高盐。作为黑潮流的延续 对马暖流与黑潮相比, 温度有所降低、盐度几乎不变。东海缺少 *F. profunda* 的统计数据; 与南海相比, 本区该种的平均含量偏高 (Cheng *et al*,

1997), 与水体较高的透明度相对应。研究区中喜暖种 *U. irregularis*、*U. sibogae* 和 *O. fragilis* 的平均含量高于东海和南海(Wang *et al*, 1985; Cheng *et al*, 1997), 其中 *U. sibogae* 的暖水类型(*U. sibogae* var. *sibogae*) 含量远高于冷水代表 *U. sibogae* var. *foliosa*; 而冷水种 *C. pelagicus* 仅在 3 个样品中出现。根据 Roth 和 Coulbourn(1982) 对北太平洋 386 个表层样品的研究结果, *G. caribbeanica* 是桥石属的冷水代表, *Calcidiscus leptoporus* 则是表层沉积中最抗溶和耐寒的类型。本区两者的含量也都比北太平洋中央水团区的平均值低, 这些证据表明暖流水使本区钙质超微化石喜暖分子增加, 而冷水分子减少。另外研究区内 *B. bigelowii* 的含量也极低, 仅偶尔发现于统计视域之外, 该种在低盐度的水域中较为繁盛, 这也与黑潮及对马暖流较高的盐度相吻合。从 *G. oceanica* 和 *E. huxleyi* 的比例可以看出(图 4), *G. oceanica* 的含量在中央偏东部 600m 以深的区域较高, 和水深的关系与东海及南海的整体变化趋势相反。区内营养盐 $PO_4 - P$ 浓度可达 $0.1 - 0.3 mg \cdot at / L$ (陆赛英, 1992) 和红海的数据相近(Reiss *et al*, 1984), 受黑潮水系影响的东部和东南部 $PO_4 + P$ 浓度最低; 但 *G. oceanica* 和 *E. huxleyi* 的比值与营养盐之间却没有表现出 Winter(1982) 在亚丁湾-红海-亚喀巴湾发现的正相关关系。研究区东北邻近日本九州, 冲淡水及陆源碎屑物质对钙质超微化石分布的影响是不能排除的, 但现有的现代水文数据还不足以证明这一点。以上分析表明, 冲绳海槽北部海区超微化石组合与东海基本相似, 都属于北太平洋中央水团控制区, 但还受到对马暖流水的影响, 与温度、盐度、海水透光度等方面的环境因素密切相关。

4 结论

通过对冲绳海槽北部槽坡区表层沉积中钙质超微化石的分析研究, 可以发现:

- 4.1 研究区表层沉积中钙质超微化石的优势种为 *Gephyrocapsa oceanica*、*Florisphaera profunda* 和 *Emiliania huxleyi*;
- 4.2 本区钙质超微化石组合面貌与东海、南海相似, 都属于北太平洋中央水团区, 进一步可归属于东海外陆架组合;
- 4.3 本区钙质超微化石面貌还受到黑潮暖流及对马暖流的影响, 表现为暖水分子 *U. irregularis*、*U. sibogae* 和 *O. fragilis* 增多, 深水种 *F. profunda* 也较丰富, 而 *B. bigelowii* 极少, 反映影响该区钙质超微化石分布的主要因素为温度和海水透明度等。

致谢 样品鉴定和分析过程中得到了中国科学院南京地质古生物研究所钟石兰老师的指导和帮助; 论文在写作过程中向 荣、蒋富清博士等提出宝贵意见, 谨致谢忱。

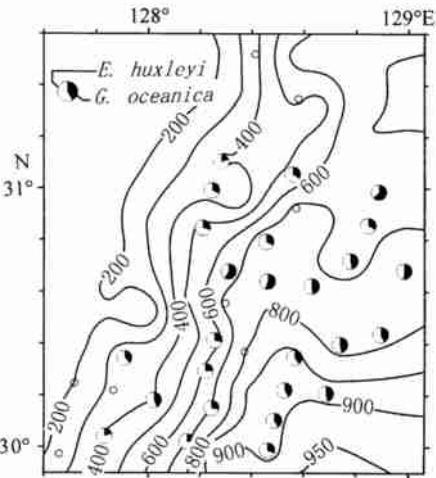


图 4 冲绳海槽北部表层沉积物中 *Gephyrocapsa oceanica* 和 *Emiliania huxleyi* 的比例
Fig. 4 Ratio of *Gephyrocapsa oceanica* to *Emiliania huxleyi* in surficial sediments of the northern Okinawa Trough

参考文献

- 成鑫荣, 1991. 南海中、北部表层沉积中钙质超微化石的分布. 海洋与湖沼, 22(4): 377—383
- 成鑫荣, 汪品先, 1998. 运用超微化石探索晚第四纪冲绳海槽上层海水垂向结构的变化. 中国科学(D), 28(2): 138—141
- 陆赛英, 1992. 东海黑潮峰区营养盐的横向输送. 黑潮调查研究论文选(四), 134—141
- 郝治纯, 1988. 冲绳海槽第四纪微体生物群及其地质意义. 北京: 地质出版社, 85—118
- Ahagon N, Tanaka Y, Ujiie H, 1993. *Florisphaera profunda*, a possible nannoplankton indicator of late quaternary changes in seawater turbidity at the northwestern margin of the Pacific. Marine Micropaleontology, 22: 255—273
- Chen M P, Shieh K S, 1982. Recent nannofossil assemblages in sediments from Sunda Shelf to Abyssal Plain, South China Sea. Proc Nat Sci Council Taiwan China, Part A, 6: 250—285
- Cheng Xinrong, Wang Pinxian, 1997. Controlling factors of coccolith distribution in surface sediments of the China seas: marginal sea nannofossil assemblages revisited. Marine Micropaleontology, 32: 155—172
- Li Tiegang, 2001. Henrich event imprints in the Okinawa Trough: Evidence from oxygen isotope and planktonic foraminifera. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 176: 133—146
- Molfinio B, McIntyre A, 1990. Precessional forcing of nutricline dynamics in the Equatorial Atlantic. Science, 249: 766—769
- Okada H, 1983. Modern nannofossil assemblages in sediments of coastal and marginal seas along the western Pacific Ocean. Utrecht Micropaleontological Bulletins, 30: 171—187
- Reiss Z, Hittinger L, 1984. The Gulf of Aqaba. Ecological Micropaleontology. Springer, Berlin, 354
- Roth P H, Coulbourn W T, 1982. Floral and solution patterns of coccoliths in surface sediments of the North Pacific. Marine Micropaleontology, 7: 1—52
- Wang Pinxian, Cheng Xinrong, 1985. Distribution of calcareous nannoplankton in the East China Sea. In: Wang Pinxian ed. Marine Micropaleontology of China, China Ocean Press and Springer-Verlag, 218—228
- Wang Pinxian, Santeleben C, 1983. Calcareous nannoplankton in surface sediments of surface sediments of the East China Sea. Marine Micropaleontology, 8: 249—259
- Winter A, 1982. Paleoenvironmental interpretation of Quaternary coccolith assemblages from the Gulf of Aqaba (Elat), Red Sea. Rev Esp Micropaleontol, 14: 291—314
- Zhang Jijun, William G Siesser, 1986. Calcareous nannoplankton in continental shelf sediments, East China Sea. Micropaleontology, 32(3): 271—281
- Zhong Shilan, Lu Jun, 1991. Quaternary calcareous nannoplankton from the Nansha Sea area in the South China Sea. Quaternary Biological Groups of the Nansha Islands and the Neighbouring Waters. Zhongshan University Publishing House, Guangzhou, China, 199—238

DISTRIBUTION OF CALCAREOUS NANNOFOSSILS IN SURFACE SEDIMENT OF THE NORTHERN OKINAWA TROUGH AND THEIR ENVIRONMENTAL CHARACTERISTICS

CAO Qi-Yuan, CANG Shu-Xi, LI Tie-Gang, ZHU Yong-Hua

(Institute of Oceanology, The Chinese Academy of Sciences, Qingdao, 266071)

*(Nanjing Institute of Geology and Palaeontology, The Chinese Academy of Sciences, Nanjing, 210008)

Abstract Calcareous nannofossils analysis has been carried out for 34 surface sediment samples taken from the northern Okinawa Trough to investigate distribution patterns of nannofossils and related environmental characteristics. A total of 35 taxa were identified with dominant species *G. oceanica*, *E. huxleyi* and *F. profunda*. The relative abundance of *G. oceanica*, *E. huxleyi* and other subordinate species along with the presentation of *U. tenuis* show the nannofossil assemblage of this area is similar to that of the outer-shelf of the East China Sea. So this area belongs to the central zone of the North Pacific in biogeographic zonations of nanoplankton as the East China Sea and the South China Sea. A relatively higher abundance of *G. oceanica* does not show positive correlation with high nutrient concentration. Rather abundant warm-water species *U. irregularis*, *U. sibogae* and *O. fragilis* and less abundance of *G. caribbeanica* and *C. leptoporus* favoring cold water again reflect the area under the control of warm Kuroshio and its extension.

Key words Nannofossil; Surface sediments; The northern Okinawa Trough