

- 5 Cheng S, Chang S Y, Respass R. Long PCR. *Nature*, 1994, 369: 684
- 6 Uemori T, Ishhino Y, Yoh H, et al. Organization and nucleotide sequence of the DNA polymerase gene from the archaeon *Pyrococcus furiosus*. *Nucl Aci Res*, 1993, 21: 259
- 7 Foord O S, Rose E A. Long-distance PCR. *PCR Methods Appl*, 1994, 3: 145
- 8 Gustafson C E, Alm R A, Trust T J. Effect of heat deaturation of target DNA on the PCR amplification. *Gene*, 1993, 123: 214
- 9 Cheng S, Fockler C, Barnes W M, et al. Effective amplification of long target from cloned inserts and human genomic DNA. *Proc Natl Acad Sci USA*, 1994, 91: 5 695
- 10 Cheng S, Higuchi R, Stoneking M. Complete mitochondrial genome amplification. *Nat Genet*, 1994, 7: 350

(1997-07-11 收稿, 1997-10-30 收修改稿)

## 黑潮主流轴近两万年来位移

翦知湣 Saito Yoshiki 汪品先 李保华 陈荣华

( 同济大学海洋地质开放实验室, 上海 200092; Marine Geology Department, Geological Survey of Japan, Higashi 1-1-3, Tsukuba, Ibaraki 305, Japan; 中国科学院南京地质古生物研究所, 南京 210008; 国家海洋局第二海洋研究所, 杭州 310012)

**摘要** 根据冲绳海槽南部 255 柱状样的沉积速率、粒度、有孔虫黑潮标志种等的高分辨率记录, 追踪近两万年来黑潮主流轴的位移。研究表明, 末次盛冰期黑潮主流轴曾东移出冲绳海槽。至全新世距今约 6 500 a 前黑潮才经台湾东部海域再次进入冲绳海槽, 使得该柱状样的沉积速率突然增大, 粒度明显变粗, 有孔虫黑潮标志种含量也显著增多。但距今约 4 000 ~ 3 000 a 前黑潮标志种 *Pulleniatina obliquiloculata* 的含量又急剧降低, 反映黑潮主流轴又曾短暂东移或减弱。

**关键词** 黑潮 古海洋学 AMS<sup>14</sup>C 测年 有孔虫 冲绳海槽

黑潮源于北赤道流, 携带高温、高盐水经台湾东部和冲绳海槽北上。其主流轴是西北太平洋海气热量交换最强的海区, 对东亚气候和该区海洋沉积物的分布以及表层生产力影响极大。黑潮随冬、夏季风影响而有位置偏移, 冬季风影响下主流轴偏东, 夏季风盛行时偏西<sup>[1]</sup>。其位置和途径的异常会严重影响我国现代的气候与农业收成。冰期旋回中, 黑潮主流轴的变化和影响必然更强。

对于黑潮在晚第四纪特别是末次冰期以来的变化, 中国和日本学者都做了大量工作<sup>[2~9]</sup>。研究表明, 末次盛冰期黑潮已不在冲绳海槽, 而是东移出琉球群岛以外的一定距离处<sup>[7]</sup>。至全新世约 7 500 ~ 6 000 a 前, 黑潮又进入冲绳海槽<sup>[3,8]</sup>。此后, 黑潮主流轴还曾有数次位移<sup>[2,3,6]</sup>。特别是其中晚全新世约 4 000 ~ 2 000 a 前, 黑潮标志种浮游有孔虫 *Pulleniatina obliquiloculata* 的丰度显著减少所反映的变冷事件, 可能指示当时黑潮曾显著减弱或向太平洋方向位移<sup>[10]</sup>。但有关冰期旋回中黑潮主流轴的变化, 尚存在许多争论<sup>[9]</sup>, 尤其缺乏具有详尽测年资料的高分辨率沉积记录。

为此, 我们选择冲绳海槽南部具特殊高沉积速率的 255 柱状样, 尝试从详尽的 AMS<sup>14</sup>C 测年、粒度分析和浮游及底栖有孔虫的分布着手了解近两万年来黑潮主流轴的位移。重力柱状样 255 (123°07' E, 25°12' N, 水深 1 575 m) 现位于冲绳海槽南部陆坡、黑潮主流轴之下, 邻近

台湾省东北海域的黑潮转向区(图1). 柱状样长度为655 cm, 沉积物为深灰色粘土和粉砂质粘土, 无明显浊流沉积证据.

该柱状样的浮游和底栖有孔虫及其壳体氧、碳同位素分析结果参见翦知潘等人<sup>[10,11]</sup>. 本次研究按10~20 cm间距取样34个进行粒度分析; 从28个样品中分别挑出约20 mg的浮游有孔虫的 *Neogloboquadrina dutertrei* 壳体 (> 154 μm), 送美国迈阿密 CAMS 实验室进行 AMS <sup>14</sup>C 测年. 测年结果(已扣除400 a的海洋与大气间年代差)见图2. 井深460 cm以下的8个测年数据非常相近(为距今约18 000 a), 甚至随井深增大, 测年值变小(图2). 这表明末次盛冰期低海平面时期, 该站位在一定程度上受到了浊流或顺坡搬运的再沉积物影响. 实际上, 井深460 cm以下发现有少数浅水介形虫和淡水硅藻的出现<sup>1)</sup>, 亦说明了这一点. 因此, 本文着重讨论井深460 cm以上的沉积和古生物特征的变化.

从图2可以看出, 255柱状样的沉积速率在井深355 cm处(约6 500 a前)发生了巨变, 从约9.8 cm/ka突然增大为70.7 cm/ka. 特别是粒度分析结果显示, 井深355 cm以下沉积物的主要组分是粘土, 而其上粉砂含量超过50%(图2), 表明沉积物粒度明显变粗. 根据冲绳海槽南部台湾东北海域表层沉积物的粒度分布<sup>[5]</sup>, 黑潮主流轴不仅是255柱状样的沉积物来源之一, 也是该柱状样中沉积物粒度分布的重要影响因素. 因此, 推断约6 500 a前黑潮主流轴又进入冲绳海槽(见图1), 经台湾省东北浅水区带来大量粗颗粒物, 从而使255柱状样的沉积物明显变粗、沉积速率大增.

东海特别是台湾省东北海域黑潮转向区的表层沉积中, 浮游有孔虫热带种 *P. obliquiloculata*, *Globigerinoides ruber* 和 *Globigerinoides sacculifer* 在黑潮主流轴区含量甚丰(均超过浮游有孔虫群的10%)<sup>[4,12]</sup>, 因而早就被认为是黑潮的标志种<sup>[6,8]</sup>. 而浮游有孔虫 *Neogloboquadrina dutertrei* 和 *Neogloboquadrina pachyderma* 则被广泛用来指示低温、低盐的次表层水, 在黑潮主流轴区一般含量较少<sup>[4,6,12]</sup>. 255柱状样在井深355 cm以下(约6500 a前), *G. ruber*和 *G. sacculifer* 的含量之和明显减少, 特别是 *P. obliquiloculata* 的丰度极低, 而

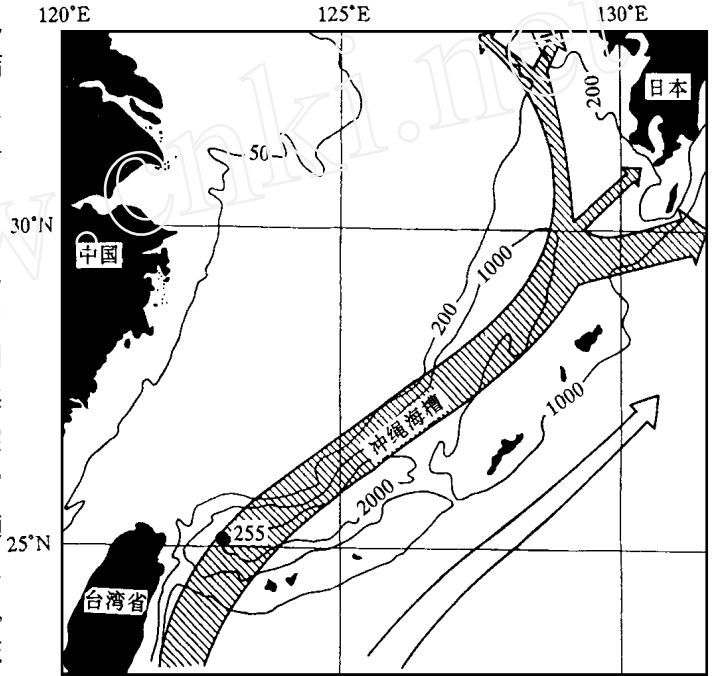


图1 本次研究的255柱状样所在位置  
阴影箭头示距今约6 500 a以来的黑潮主流轴, 白色箭头示推测的距今约6 500 a以前黑潮主流轴的位置

1) 国家海洋局第二海洋研究所等. 钓鱼岛附近海域沉积学调查研究(1991~1995). 1996

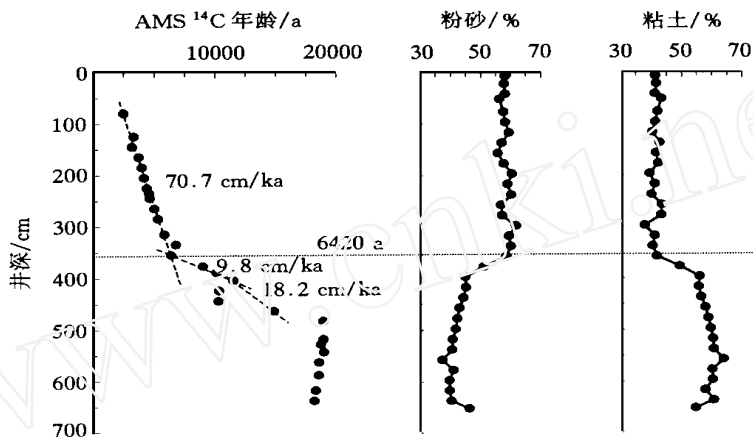


图2 255柱状样的AMS<sup>14</sup>C测年和粒度分析结果

*N. dutertrei* 和 *N. pachyderma* 的含量之和却急剧增加(图3),说明当时沿岸水影响增强,已不能指示冲绳海槽有高温、高盐的黑潮主流轴,可能已东移出琉球群岛以外<sup>[7]</sup>. 经过末次冰消期的快速海平面上升之后,在距今约6500 a前,黑潮标志种 *P. obliquiloculata* 以及 *G. ruber* 和 *G. sacculifer* 的丰度急剧增加,而低温、低盐种 *Neogloboquadrina spp.* 丰度锐减(图3). 这一巨变标志着当时黑潮经台湾省东北部海域再次进入冲绳海槽,从而导致黑潮影响急剧增强、沿岸水影响减弱.

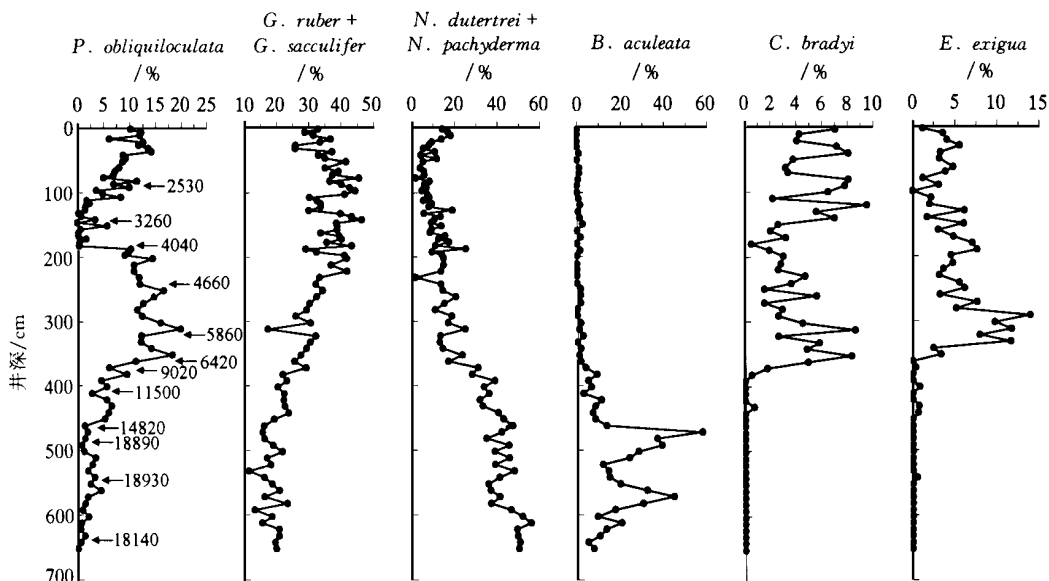


图3 255柱状样中指示黑潮变化的浮游及底栖有孔虫标志  
带箭头的数值为重要的AMS<sup>14</sup>C年龄数据

黑潮暖流除高温、高盐的特征外,其主流轴区的表层生产力也相对较低,该区的表层沉积物中硅藻含量一般很低,较两侧明显的少<sup>[2]</sup>. 现位于黑潮主流轴之下的255柱状样,在井深

355 cm(距今约 6 500 a 前),硅藻含量突然急剧下降<sup>1)</sup>,不仅说明古生产力降低,也揭示从这一时期起黑潮主流轴可能经过 255 柱状样所在位置.实际上,黑潮主流轴区的低生产力也反映在底栖有孔虫群的变化上<sup>[11]</sup>.图 3 中底栖有孔虫指示高生产力的种 *Bulimina aculeata* 在井深 355 cm 以上显著减少,而指示低生产力的属种 *Cibicides bradyi*, *Epistominella exigua* 等却明显增多,显然与距今约 6 500 a 以来黑潮主流轴又经过该海域有关.

有意义的是,255 柱状样中黑潮典型标志种 *P. obliquiloculata* 的相对丰度在井深 185 ~ 105 cm 处约 4 000 ~ 3 000 a 前又急剧降低,其值接近于零,而与末次盛冰期的值相当(图 3).这一 *P. obliquiloculata* 最小值带反映了表层海水温度降低,对应于西太平洋晚全新世变冷事件<sup>[10]</sup>.其实,在这一时期内黑潮其他标志种如 *G. ruber* 和 *G. sacculifer* 的丰度也有相应的短暂下降,而低温、低盐属种 *Neogloboquadrina spp.* 却略有增多(图 3).谢英宗等人<sup>[3]</sup>根据台湾省东部两个柱状样中浮游有孔虫的氧同位素变化,推断约 4 000 a 前黑潮主流轴曾发生向东位移.那么,255 柱状样中黑潮标志种 *P. obliquiloculata* 的晚全新世最小值带,可能也指示了当时黑潮主流轴曾短暂向东位移,从而浮游有孔虫反映出这一时期该海区的黑潮暖流影响减弱、沿岸水的影响增强.

总之,由 255 柱状样的沉积速率、粒度分布和有孔虫黑潮标志种百分含量等的高分辨率记录,推断末次盛冰期时黑潮主流轴曾移出冲绳海槽.至全新世距今约 6 500 a 前黑潮才改变途径,经台湾省东北海域再次进入冲绳海槽南部.但距今约 4 000 ~ 3 000 a 前黑潮主流轴又曾发生短暂的向太平洋方向位移,不过由于缺乏正面的证据指示当时黑潮的位置,目前还不能排除黑潮减弱的可能.

致谢 同济大学卞云华、房殿勇协助实验工作.本工作为国家教委博士点基金和国家自然科学基金(批准号:49406067)资助项目.

## 参 考 文 献

- 1 李克让. 中国近海及西北太平洋气候. 北京:海洋出版社, 1993. 1 ~ 640
- 2 徐之平,陈民本. 冲绳海槽南部晚更新统沉积物中之硅藻. 台湾大学海洋研究所研究报告, 1984, 15: 71 ~ 129
- 3 谢英宗, 陈民本. 1989年6月横过台湾省东南外海黑潮海域 200公尺内浮游有孔虫族群. 台湾省海洋学刊, 1990, 25: 87 ~ 98
- 4 谢英宗, 陈民本, 汪中和. 台湾省东南外海晚第四纪岩芯 OR102-3P 碳氧同位素所显示之古海洋. 台湾海洋学刊, 1992, 29: 72 ~ 83
- 5 Chen M P, Lo S C, Lin K L. Composition and texture of surface sediment indicating the depositional environments off north-east Taiwan. TAO, 1992, 3(3): 395 ~ 418
- 6 Oda M, Takemoto A. Planktonic foraminifera and paleoceanography in the Domain of the Kuroshio current around Japan during the last 20,000 years (in Japanese, with English abstract). The Quaternary Research (Tokyo), 1992, 31(5): 341 ~ 357
- 7 Ahagon N, Tanaka Y, Uji é H. *Florisphaera profunda*, a possible nannoplankton indicator of late Quaternary changes in seawater turbidity at the northwestern margin of the Pacific. Mar Micropaleontol, 1993, 22: 255 ~ 273
- 8 Shieh Y T, Chen M P. The ancient Kuroshio current in the Okinawa trough during the Holocene. Acta Oceanographica Taiwanica, 1995, 34(4): 73 ~ 80

1) 同 533 页脚注

- 9 Xu X, Oda M. Surface water changes in the Ryukyu trench slope region, western margin of the North Pacific during the last 320,000 years. *Trans Proc Palaeont Soc Japan*, 1995, 178: 105 ~ 121
- 10 翦知湣, 李保华, Uwe Pflaumann, 等. 西太平洋晚全新世变冷事件. *中国科学, D辑*, 1996, 26(5): 461 ~ 466
- 11 翦知湣, 陈荣华, 李保华. 冲绳海槽南部 20 ka 来深水底栖有孔虫的古海洋学记录. *中国科学, D辑*, 1996, 26(5): 466 ~ 473
- 12 汪品先, 章纪军, 赵泉鸿, 等. 东海底质中的有孔虫和介形虫. 北京: 海洋出版社, 1988. 1 ~ 438

(1997-05-12 收稿)

# 链状硅酸盐中 $\text{Fe}^{2+}$ 离子四极分裂和八面体畸变之间的关系

李哲 徐文东 赫伟

(中国科学院地质研究所, 北京 100029)

**摘要** 在已往对链状硅酸盐穆斯堡尔效应和晶体结构测试的基础上, 确定了四极分裂与链状硅酸盐中八面体畸变程度之间的关系. 结果发现, 四极分裂在开始时随着表示八面体畸变的角度方差和平方伸长度的增加而迅速增加, 在达到极大值之后缓慢下降, 根据配位场模型对这一关系做出了定性解释.

**关键词** 四极分裂 多面体畸变 链状硅酸盐 穆斯堡尔效应

四极分裂是重要的穆斯堡尔参数之一. Bancroft 等人<sup>[1]</sup>的研究表明, 在链状硅酸盐中, 四极分裂与八面体的畸变存在着负相关关系. Ingalls<sup>[2]</sup>进行了晶体场的计算, 发现  $\text{Fe}^{2+}$  离子四极分裂在开始时随八面体畸变的增加而迅速增加, 在达到极大值之后随八面体畸变程度的增加而缓慢减少. 本文给出的链状硅酸盐中四极分裂和八面体畸变之间的关系, 表明  $\text{Fe}^{2+}$  四极分裂随八面体变化的趋势与 Ingalls<sup>[2]</sup>所得结果一致, 并且根据配位场的模型给出了解释.

## 1 数据的选择和畸变参数

辉石类和闪石类矿物是最重要的两类硅酸盐, 它们结构的共同特点是包含有交替的四面体链和八面体层. 在辉石中, 每一个四面体与另外二个四面体相连形成单链. 八面体位置被标为 M1 和 M2. 在闪石中, 四面体相互连接形成双链, 八面体位置被标为 M1, M2, M3 和 M4.

迄今为止, 已经发表了大量链状硅酸盐矿物的穆斯堡尔数据, 因此, 为了确定链状硅酸盐四极分裂与八面体畸变之间的关系, 在众多的文献中选择链状硅酸盐的穆斯堡尔参数时, 尽量使样品的成分接近于可以在文献上得到的晶体结构参数的矿物样品成分, 这样, 由晶体结构参数计算而得到的畸变参数, 才能尽可能接近穆斯堡尔参数在本文中被引用的矿物样品的畸变参数. 此外, 在某种程度上, 优先考虑那些有名望的穆斯堡尔小组最新发表的穆斯堡尔参数. 本文中所有的穆斯堡尔参数都是根据上述原则选择的<sup>[1, 3~10]</sup>.

应该指出的是, 在大多数情况下对辉石和闪石的穆斯堡尔谱给出了一致的解释, 然而, 由于闪石成分的复杂性, 对某些闪石的穆斯堡尔谱的解释存在着不一致的地方. Goldman<sup>[6]</sup>总结了钙性和钠性闪石以及介于钙性和钠性成分中间的闪石的穆斯堡尔吸收峰指派, 我们的研