

# 末次冰期及全新世冲绳海槽东部 Z14-6 孔的 $^{10}\text{Be}$ 记录\*

杨永亮<sup>①</sup> 刘振夏<sup>②</sup> 沈承德<sup>③</sup> 李铁刚<sup>④</sup>  
石学法<sup>②</sup> 程振波<sup>②</sup> 熊应乾<sup>②</sup>

(<sup>①</sup>国家地质实验测试中心,北京 100037; <sup>②</sup>国家海洋局第一海洋研究所,青岛 266071;  
<sup>③</sup>中国科学院广州地球化学研究所,广州 510640; <sup>④</sup>中国科学院海洋研究所,青岛 266071)

**摘要** 文章讨论了末次冰期及全新世以来冲绳海槽中部偏东处的沉积物岩芯 Z14-6 中  $^{10}\text{Be}$  的历史记录,并与冲绳海槽北部钻孔 DGKS9603 的  $^{10}\text{Be}$  记录进行对比。重力柱状岩芯 Z14-6 取于冲绳海槽水下 739m (27°07'N, 127°27'E), 全长 8.96m。选取了晚更新世末次冰期和全新世的层段(2~175cm, 年代跨度为 0.37~29.3kaB. P.) 中 12 个层位, 利用加速器质谱法测定了  $^{10}\text{Be}$  的含量。Z14-6 孔  $^{10}\text{Be}$  的平均含量为  $6.10 \times 10^8$  atoms/g, 最高值 ( $8.71 \times 10^8$  atoms/g) 出现在 6.3kaB. P. 层位, 末次冰期  $^{10}\text{Be}$  含量总体上处于低值。与 DGKS9603 孔 (28°08.869'N, 127°16.238'E; 水深 1100m, 岩芯长 585cm) 的数据比较, Z14-6 孔中  $^{10}\text{Be}$  含量普遍较低。Z14-6 孔的  $^{10}\text{Be}$  沉积通量平均值为  $1.04 \times 10^9$  atoms/cm<sup>2</sup>·ka, 最高值 ( $1.36 \times 10^9$  atoms/cm<sup>2</sup>·ka) 出现在 6.3kaB. P. 层位, 最低值 ( $6.45 \times 10^8$  atoms/cm<sup>2</sup>·ka) 出现在 9.27kaB. P. 层位。Z14-6 孔所处水深较浅, 黑潮流在末次冰期时并未流经 Z14-6 孔海区, 所以其  $^{10}\text{Be}$  沉积通量只相当于  $^{10}\text{Be}$  的大气平均生产率 ( $1.21 \times 10^9$  atoms/cm<sup>2</sup>·ka)。Z14-6 孔中  $^{10}\text{Be}$  沉积通量降低可能与几个低温事件有关, Z14-6 孔在约 3kaB. P. 和 9kaB. P. 存在  $^{10}\text{Be}$  通量减弱现象, 因此推测黑潮产生较大变动。Z14-6 孔在全新世一些时段的  $^{10}\text{Be}$  沉积通量峰值显著高于末次冰期时的沉积通量峰值, 表明当时黑潮对该海域已发生影响。

**关键词** 铍-10 沉积物 黑潮 冲绳海槽 Younger Dryas 事件

**中图分类号** P736.4 **文献标识码** A

## 1 引言

$^{10}\text{Be}$  ( $T_{1/2} = 1.5\text{Ma}$ ) 是由大气中氧和氮原子在宇宙射线粒子轰击下所产生的宇宙射线成因核素, 主要通过干、湿沉降和陆地径流进入海洋。 $^{10}\text{Be}$  被广泛用于在深海沉积物如大洋深海岩芯和锰结核(壳)的定年<sup>[1-3]</sup> 以及作为海洋颗粒物通量及聚焦沉积作用的示踪剂等<sup>[4]</sup>。以往对  $^{10}\text{Be}$  的研究主要集中在  $^{10}\text{Be}$  在大洋水及深海沉积物, 对于大陆边缘  $^{10}\text{Be}$  分布的研究则仍然很少。最近 10 年来,  $^{10}\text{Be}$  的应用范围已不局限于上述领域。由于北极以及高原冰芯的成功获取,  $^{10}\text{Be}$  已被用于古气候研究中的水汽输送和地磁场的变化<sup>[5,6]</sup>。此外,  $^{10}\text{Be}$  还被用于大气气溶胶的示踪<sup>[7]</sup>。

冲绳海槽位于东海陆架边缘, 具有较厚的沉积层和较高的地层分辨率, 其中蕴藏着关于晚更新世、全新世古气候和古海洋的丰富信息。流经冲绳海槽的黑潮是西太平洋海区的重要暖流, 对中国大陆及

邻近海域气候调控起着重要的作用。笔者<sup>[8]</sup> 比较了东海陆架及冲绳海槽海水中的  $^{10}\text{Be}$  含量及沉积通量, 结果表明黑潮对东海的  $^{10}\text{Be}$  输入贡献几乎高出长江贡献的一个数量级。黑潮起着传送带的作用, 将  $^{10}\text{Be}$  从大洋带入到东海并与陆架水进行混合。因此, 可将  $^{10}\text{Be}$  作为黑潮的示踪剂。冲绳海槽沉积物柱状岩芯中的  $^{10}\text{Be}$  沉积过程记录应能反映出末次冰期古黑潮的演化。对冲绳海槽西部钻孔 DGKS9603 (简称 03 孔) 的  $^{10}\text{Be}$  记录的研究结果表明<sup>[9]</sup>, 末次冰期时 03 孔  $^{10}\text{Be}$  沉积通量高于全新世, 并且末次冰期时黑潮在千年尺度上仍流经冲绳海槽, 其流量仍然很大。03 孔全新世  $^{10}\text{Be}$  的沉积通量基本上等于  $^{10}\text{Be}$  的现代大气平均生产率<sup>[10]</sup>, 而在末次冰期时高于  $^{10}\text{Be}$  的现代大气平均生产率 3 倍以上。冰期时冲绳海槽北部  $^{10}\text{Be}$  的沉积通量远远高于太平洋大洋海区, 充分反映了黑潮的传送带作用和边缘海的聚焦沉积作用。冲绳海槽 03 孔的  $^{10}\text{Be}$  通量变化除了反映了地球磁场强度的变化以外, 还叠

第一作者简介: 杨永亮 男 56 岁 研究员 海洋与环境地球化学专业 E-mail: ylyang2003@yahoo.com.cn

\* 国家自然科学基金项目(批准号: 40173027, 40176018, 90411014 和 4042115001)资助

2011-12-02 收稿, 2012-03-21 收修改稿

加了气候因素的变化。03孔 $^{10}\text{Be}$ 含量和通量对短期变冷事件尤其是 Younger Dryas 事件有着明显的反应,反映了黑潮的强度和流经发生变化。

目前冲绳海槽时间跨度最长的岩芯之一是位于海槽中段东部陆坡的 Z14-6 孔(27°07'N, 127°27'E; 水深 739m, 岩芯长 896cm)。已有一些学者对 Z14-6 岩芯进行了浮游有孔虫、氧同位素、SST 等的详细研究<sup>[11-12]</sup>, 但对该岩芯 $^{10}\text{Be}$ 的研究还未见报道。末次冰期以来快速气候变化事件是目前全球变化研究的焦点之一, 本文根据 Z14-6 孔的年代学数据<sup>[12]</sup>, 选取了 Z14-6 孔在晚更新世末次冰期和全新世的层段(2~175cm, 年代跨度为 0.37~29.3kaB.P.) 中 12 个层位, 对替代性指标 $^{10}\text{Be}$ 及 $^9\text{Be}$ 含量进行测定, 通过 $^{10}\text{Be}$ 沉积通量的变化初步探讨在该钻孔处末次冰期及全新世时黑潮的行为与变迁, 并与冲绳海槽北部中段钻孔 DGKS9603(28°08.869'N, 127°16.238'E; 水深 1100m, 岩芯长 585cm, 底部层位年代为 46kaB.P.)<sup>[13]</sup>进行对比。

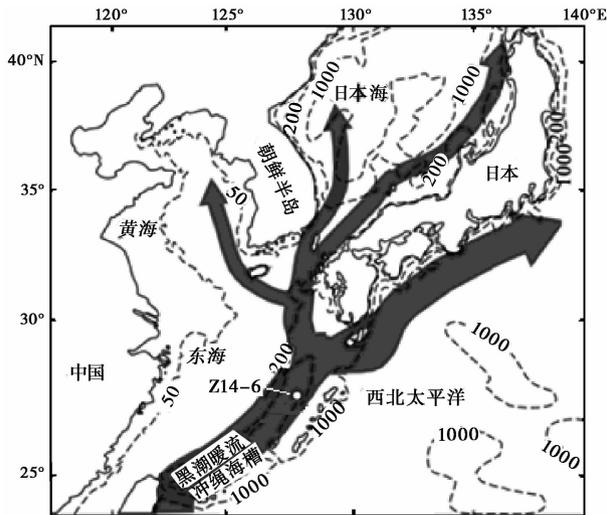


图1 冲绳海槽及 Z14-6 孔位置  
灰色箭头指示黑潮及其支流; 虚线为等深线  
Fig. 1 A map showing the locations  
of Okinawa Trough and Core Z14-6

## 2 材料与方法

重力柱状岩芯 Z14-6 孔是 1993 年中国科学院海洋研究所由“科学一号”海洋科学调查船获得。整个岩芯沉积物主要为粘土和粉砂质粘土, 含大量有孔虫以及数层有孔虫砂层, 无明显浊流沉积。阎军等<sup>[12]</sup>根据氧同位素年代以及物种 *Globigerinoides rubber pink* 的消失事件, 判定钻孔底部达到深海氧同位素曲线第 6 阶段 (MIS 6)。本文采用阎军

等<sup>[12]</sup>建立的时间标尺(表 1)。该钻孔 700cm 深处的层位年代为 128kaB.P., 在此层位之下物种 *Globigerinoides rubber pink* 消失<sup>[14]</sup>。

表 1 冲绳海槽北部沉积物岩芯 Z14-6 的铍同位素分析结果  
Table 1 Analytical results for Be isotopes in Core Z14-6

深度 /cm	年代 /aB. P.	$^9\text{Be}$ 含量 / $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$	$^{10}\text{Be}$ 含量 /atoms $\cdot\text{g}^{-1}$	$^{10}\text{Be}$ 沉积通量 /atoms $\cdot(\text{cm}^2\text{ka})^{-1}$
2cm	0.37	0.19	$4.68\times 10^8$	$7.32\times 10^8$
18cm	3.34	0.37	$8.61\times 10^8$	$1.35\times 10^9$
34cm	6.30	0.31	$8.71\times 10^8$	$1.36\times 10^9$
50cm	9.27	0.15	$3.44\times 10^8$	$6.45\times 10^8$
66cm	12.2	0.27	$6.74\times 10^8$	$1.06\times 10^9$
82cm	14.1	0.16	$4.97\times 10^8$	$8.96\times 10^8$
98cm	16.9	0.14	$5.63\times 10^8$	$1.02\times 10^9$
114cm	19.6	0.19	$6.02\times 10^8$	$1.09\times 10^9$
130cm	22.4	0.20	$4.88\times 10^8$	$8.81\times 10^8$
146cm	25.2	0.33	$6.67\times 10^8$	$1.20\times 10^9$
162cm	27.9	0.39	$6.33\times 10^8$	$1.14\times 10^9$
175cm	29.3	0.33	$6.49\times 10^8$	$1.17\times 10^9$
平均值		0.25	$6.10\times 10^8$	$1.04\times 10^9$

总共 12 个样品用于加速器质谱测定, $^{10}\text{Be}$ 的氧化铍靶的制备采用了 Shen 等<sup>[15]</sup>的方法并在中国科学院广州地球化学研究所进行。将 1g 样品用过氧化氢和 6N 盐酸浸取过夜。浸取液分出待测 $^{10}\text{Be}$ 和 $^9\text{Be}$ 组分后, 在 $^{10}\text{Be}$ 组分中加入铍载体 1.0mg, 用过碱萃取的方法将 Be 与 Al 分离。用氨水将 $^{10}\text{Be}$ 与氢氧化铁共沉淀。铍的氢氧化铁沉淀用盐酸溶解后通入阳离子交换树脂柱纯化, 然后经氢氧化铍沉淀, 最后灼烧至 1000°C 制备得到氧化铍。 $^{10}\text{Be}$ 的测定是在东京大学加速器质谱实验室 (Micro Analysis Laboratory, Tandem Accelerator, 简称 MALT) 进行, 采用美国 NEC 公司 (National Electrostatics Corporation) 5MeV 的 Tandem Pelletron 5UD 加速器质谱计。用于 AMS 的标准样品是从最初由 ICN Co. 提供的  $4.98\times 10^{-10}$  母液制备的, 该标准 $^{10}\text{Be}/^9\text{Be}$ 比值已被证明能产生与 NIST 标准非常一致的结果。几个标准样品的 $^{10}\text{Be}/^9\text{Be}$ 比值重复测量的重现性为 2%~4% ( $1\sigma$ )。 $^9\text{Be}$ 的测定采用电感耦合等离子体质谱法。

## 3 结果与讨论

### 3.1 $^{10}\text{Be}$ 含量和沉积通量的变化特征

Z14-6 孔的 $^{10}\text{Be}$ 和 $^9\text{Be}$ 含量及 $^{10}\text{Be}$ 沉积通量测定结果列于表 1。图 2 给出了 Z14-6 孔中 $^{10}\text{Be}$ 和 $^9\text{Be}$ 的含量随年代的变化曲线。 $^{10}\text{Be}$ 的平均含量为  $6.10\times 10^8$  atoms/g。最高值 ( $8.71\times 10^8$  atoms/g) 出现

在岩芯 34cm 处的 6.3kaB. P. 层位,最低值( $3.44 \times 10^8$  atoms/g)出现在沉积岩芯 50cm 处的 9.27kaB. P. 层位。全新世时分别在 18cm 和 34cm 层位出现 <sup>10</sup>Be 和 <sup>9</sup>Be 含量高值。与冲绳海槽北部的 DGKS9603 孔的数据<sup>[9]</sup>比较,Z14-6 孔中 <sup>10</sup>Be 含量普遍较低。

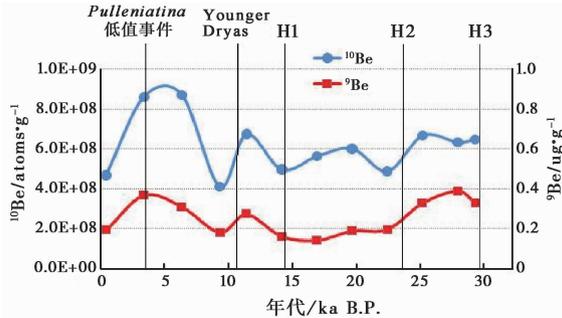


图 2 Z14-6 孔的 <sup>10</sup>Be 浓度和通量、

<sup>9</sup>Be 浓度 30000aB. P. 以来的变化曲线对比

垂直线分别标示 Younger Dryas 事件以及 Heinrich 事件 H1, H2 和 H3  
Fig. 2 Comparison of <sup>10</sup>Be flux and <sup>10</sup>Be, <sup>9</sup>Be contents versus age for Core Z14-6 since 30000aB. P. (The vertical lines denote Younger Dryas, Heinrich event H1, H2 and H3)

Z14-6 孔的 <sup>10</sup>Be 沉积通量平均值为  $1.04 \times 10^9$  atom/cm<sup>2</sup>·ka, 最高值 ( $1.36 \times 10^9$  atoms/cm<sup>2</sup>·ka) 也出现在 6.3kaB. P. 层位,最低值 ( $6.45 \times 10^8$  atom/cm<sup>2</sup>·ka) 出现在 9.27kaB. P. 层位。由图 3 可看出 Z14-6 孔全新世时和末次冰期时 <sup>10</sup>Be 的沉积通量平均值(分别为  $1.03 \times 10^9$  和  $1.06 \times 10^9$  atoms/cm<sup>2</sup>·ka)基本上等于 <sup>10</sup>Be 的现代大气平均生产率 ( $1.21 \pm 0.26$ )  $\times 10^9$  atoms/cm<sup>2</sup>·ka<sup>[10]</sup>。而位于冲绳海槽北部的 03 孔在末次冰期时平均为  $4.06 \times 10^9$  atoms/cm<sup>2</sup>·ka, 高于 <sup>10</sup>Be 的现代大气平均生产率 3 倍之多。

Z14-6 孔中 <sup>9</sup>Be 与 <sup>10</sup>Be 基本同步变化。在末次

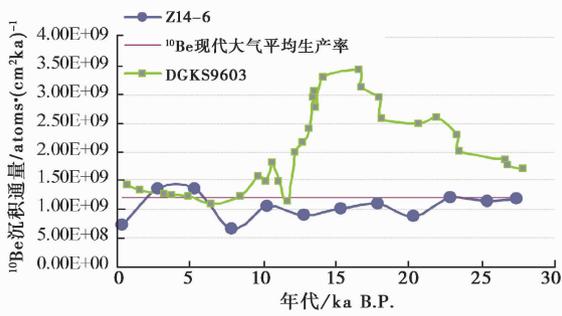


图 3 Z14-6 和 DGKS9603 孔 <sup>10</sup>Be 沉积通量<sup>[9]</sup>与 <sup>10</sup>Be 全球平均生产率<sup>[10]</sup>的比较

Fig. 3 Comparisons of <sup>10</sup>Be sedimentation fluxes in Z14-6, DGKS9603<sup>[9]</sup> and the global mean of production rate<sup>[10]</sup> of <sup>10</sup>Be

冰期时 <sup>9</sup>Be 的含量(平均  $0.25 \mu\text{g/g}$ )与全新世(平均  $0.26 \mu\text{g/g}$ )基本相同。但在 3.3kaB. P. 时与 <sup>10</sup>Be 一样,<sup>9</sup>Be 出现一个峰值。<sup>9</sup>Be 在土壤中的丰度一般在小于  $1 \sim 15 \mu\text{g/g}$ (平均  $1.6 \mu\text{g/g}$ )<sup>[16]</sup>,在泥质沉积物中一般为  $2 \sim 6 \mu\text{g/g}$ <sup>[17]</sup>。Z14-6 孔中较低的 <sup>9</sup>Be 含量意味着来自陆源的碎屑沉积物粒度较粗。铍在海水中呈现营养盐的性质,其在太平洋大洋水中停留时间约为  $600\text{a}$ <sup>[4]</sup>,因此大洋成为 <sup>9</sup>Be 的贮库。由此可以判定在末次冰期时 <sup>9</sup>Be 不是由黑潮从大洋带来的。据报道,在盛冰期和气候变冷事件(Heinrich 事件)期间,东亚冬季风的增强使更多的粉砂级物质进入冲绳海槽 03 孔,导致陆源物质通量增加<sup>[18,19]</sup>。Kim 和 Nam<sup>[20]</sup>报道了在日本海末次冰盛期间沉积物中 <sup>9</sup>Be 含量较低 ( $0.22 \sim 0.33 \mu\text{g/g}$ ),而在末次冰消期后,沉积物中 <sup>9</sup>Be 含量才开始增高 ( $0.41 \sim 0.48 \mu\text{g/g}$ )。

冲绳海槽北部岩芯 03 孔的 Younger Dryas 事件峰值在 11.4cal. kaB. P. (<sup>14</sup>C 年龄 9.90kaB. P.)<sup>[13]</sup>, Z14-6 孔在 9.27kaB. P. 时 <sup>10</sup>Be 含量降低,似乎比 03 孔的 Younger Dryas 事件响应滞后 200a。这种同一事件在冲绳海槽不同海区有所差异的现象已有一些报道。例如, Meng 等<sup>[21,22]</sup>在对 03 孔分析时发现,由  $U_{37}^k$  指示的从 LGM 向冰后期的转换在 03 孔不如在 Z14-6 孔清晰,被解释为 Z14-6 孔在海槽东部,而 03 孔在海槽西部,后者受到来自东海陆坡物质的影响远远大于前者<sup>[23]</sup>。

汪品先等<sup>[24]</sup>认为末次冰期鼎盛期的古黑潮流通过岛屿间的某些海峡进入冲绳海槽。蓝东兆等<sup>[25]</sup>认为末次冰期鼎盛期黑潮流沿着现今的 1000m 等深线内流过冲绳海槽,当时黑潮流的宽度应较窄( $<50\text{km}$ )。这两种观点都可以解释在 Z14-6 孔处 <sup>10</sup>Be 沉积通量低于 03 孔处。由于 Z14-6 孔所处水深较浅,黑潮流在末次冰期时并没有流经 Z14-6 站点,所以 <sup>10</sup>Be 沉积通量只相当于 <sup>10</sup>Be 的现代大气平均生产率,并且在冲绳海槽东部的 Z14-6 孔处并无 <sup>10</sup>Be 的沉积聚焦作用发生。若考虑到地磁场的变化,当时 <sup>10</sup>Be 的现代大气平均生产率其值很有可能与现代值不同。由此可见,仅从 Z14-6 孔 <sup>10</sup>Be 的沉积通量还无法判断末次冰盛期时黑潮是否流经冲绳海槽。然而 03 孔水深为 1100m,并且有充分证据在末次冰期时 03 所在海域至迟自约 16cal. kaB. P. 后开始受到黑潮影响<sup>[14]</sup>。值得注意的是,Z14-6 孔在全新世的 <sup>10</sup>Be 沉积通量的峰值显著高于末次冰期时的沉积通量峰值,达到  $1.36 \times 10^9$  atoms/cm<sup>2</sup>·ka, 高于

$^{10}\text{Be}$  现代大气平均生产率<sup>[10]</sup>。有证据表明<sup>[26]</sup>, 末次冰消期后地磁场强度开始增大, 对宇宙射线的屏蔽作用增强, 减少了  $^{10}\text{Be}$  现代大气平均生产率, 因此较高的  $^{10}\text{Be}$  沉积通量表明当时黑潮已流经 Z14-6 站点。

### 3.2 低温事件时的 $^{10}\text{Be}$ 记录

Z14-6 孔中  $^{10}\text{Be}$  含量降低与几个低温事件有所对应, 其中最显著的是 Younger Dryas (YD) 事件和 Heinrich 事件 H1。Younger Dryas (YD) 事件是末次冰期向全新世转暖过程中的一次快速变冷事件, 较为公认的 YD 事件的年代界于 11 ~ 10kaB. P. 之间<sup>[27]</sup>。Heinrich 事件以北大西洋发生大规模冰川漂移事件为标志, 代表大规模冰山涌进的气候效应而产生的快速变冷事件。从图 2 可看出 Z14-6 孔在 YD 事件和 Heinrich 事件 H1 时  $^{10}\text{Be}$  浓度及沉积通量相对偏低。

周厚云等<sup>[14]</sup>通过对冲绳海槽中部的研究认为在 15.5cal. kaB. P., 11.4cal. kaB. P. 和 2.8 ~ 5.3cal. kaB. P. 黑潮的强度减弱, 其中 15.5cal. kaB. P. 和 11.4cal. kaB. P. 的黑潮强度减弱分别对应于北大西洋的 H1 事件和 YD 冷事件。在 16kaB. P. 黑潮对冲绳海槽的影响开始加强, 之后随着海平面的上升, 对马暖流开始发育, 到 8.5kaB. P. 左右, 现代对马暖流正式形成, 期间黑潮暖流经历了 Heinrich 和 Younger Dryas 事件的两次减弱过程<sup>[28]</sup>。

在 4500aB. P. 至 3000aB. P. 期间冲绳海槽发生了被认为是黑潮的特征属 *Pulleniatina* 的最小值事件<sup>[29]</sup>, 该事件在冲绳海槽的 10 个岩芯和北琉球海沟的 1 个岩芯中被辨认出<sup>[30]</sup>。Ujiié 等<sup>[30]</sup>提出了黑潮进入冲绳海槽区域的逐步入流的证据。李铁刚等<sup>[28]</sup>对位于黑潮主流轴附近的 DGKS9603 孔、现代对马暖流边缘的 CSH1 孔和与黄海暖流相伴生的冷水体下面的泥质沉积区 YSDP102 孔的古海洋记录进行综合分析研究, 结果表明, 在 *Pulleniatina* 低值事件时伴随着黑潮变弱过程, 导致对马暖流主流轴在 3kaB. P. 左右发生了一次向太平洋方向的偏转事件, 低温、高营养物质含量的陆架冷水团对冲绳海槽北部影响加强。

蓝东兆等<sup>[25]</sup>提出全新世黑潮分别在大约 7 ~ 8kaB. P. 和 1 ~ 4kaB. P. 出现过两次黑潮流宽度变窄, 强度变弱的游移。我们的结果表明 Z14-6 孔在约 3kaB. P. 和 9kaB. P. 确实存在  $^{10}\text{Be}$  通量减弱的现象, 可作为支持在 Younger Dryas 事件后黑潮流径发生了两次重要变化的辅证。

低温事件对  $^{10}\text{Be}$  的影响可以从黑潮对冲绳海槽沉积物中  $^{10}\text{Be}$  的贡献加以考虑。对东海陆架及冲绳海槽海水中的  $^{10}\text{Be}$  含量及沉积通量的研究结果表明黑潮对输入到东海的  $^{10}\text{Be}$  输入的贡献几乎高出长江贡献的一个数量级<sup>[8]</sup>。黑潮起着—个传送带的作用, 将  $^{10}\text{Be}$  从大洋带入到东海并与陆架水进行混合。 $^{10}\text{Be}$  通过大气沉降进入海洋。由于黑潮来自太平洋, 其接受大气沉降的面积远远高于陆架边缘海的面积, 且由于陆架水中颗粒物较多, 易通过沉降方式从海水中除去  $^{10}\text{Be}$ , 因此陆架水对冲绳海槽沉积物中  $^{10}\text{Be}$  的贡献较小。在低值事件时伴随着黑潮变弱过程, 陆架水团对冲绳海槽的影响加强, 因而造成冲绳海槽中  $^{10}\text{Be}$  沉积通量的降低。 $^{10}\text{Be}$  在 Younger Dryas 事件时的低值事件在冰芯、湖相沉积物均有报道<sup>[5,31]</sup>, 是一个全球性的事件。冲绳海槽北部沉积物中的  $^{10}\text{Be}$  在 Younger Dryas 事件时的低值事件与极地地区冰芯的情况相比其变化要复杂得多。该低值事件与地球磁场短期漂移和气候突变造成黑潮流量减少似乎都有关, 反映在陆源物质在沉积物中所占比例剧增。Z14-6 孔在 Younger Dryas 事件时  $^{10}\text{Be}$  通量甚至低于  $^{10}\text{Be}$  的现代大气平均生产率。由此可以推测在 Younger Dryas 事件时黑潮有可能发生了较大变动。

## 4 结论

本文讨论了末次冰期及全新世以来冲绳海槽东部柱状岩芯 Z14-6 中  $^{10}\text{Be}$  及  $^9\text{Be}$  含量的历史记录, 初步得出以下结论:

(1) Z14-6 孔在全新世一些时段  $^{10}\text{Be}$  和  $^9\text{Be}$  含量高于末次冰期。Z14-6 孔全新世时和末次冰期时  $^{10}\text{Be}$  的沉积通量平均值基本上等于  $^{10}\text{Be}$  的现代大气平均生产率。由于 Z14-6 孔所处水深较浅, 黑潮流在末次冰期时并没有流经 Z14-6 站点, 所以  $^{10}\text{Be}$  沉积通量只相当于  $^{10}\text{Be}$  的大气平均生产率。此外, 在冲绳海槽东部的 Z14-6 孔处并无  $^{10}\text{Be}$  的沉积聚焦作用发生。

(2) 在几个低温事件期间 Z14-6 孔中  $^{10}\text{Be}$  沉积通量有降低的趋势, 其中最显著的是 Younger Dryas (YD) 事件和 Heinrich 事件 H1。Z14-6 孔在约 3kaB. P. 和 9kaB. P. 存在  $^{10}\text{Be}$  通量减弱的现象, 可作为支持在 Younger Dryas 事件后黑潮流径发生了两次重要变化的辅证。在 Younger Dryas 事件时, 黑潮的变动较大。 $^{10}\text{Be}$  的通量在 Younger Dryas 时降到整个岩芯所跨时期的最低点, 甚至低于  $^{10}\text{Be}$  的现代大

气平均生产率。

(3) 本文结果给出了古黑潮变动与<sup>10</sup>Be沉积通量之间的关系初步轮廓,表明<sup>10</sup>Be在大洋边缘海古海洋学及古气候学研究中可以有效地起着地球化学示踪剂的作用,但由于数据有限,要对古黑潮变动与<sup>10</sup>Be沉积通量之间的关系得出清晰和准确的结论,还有待于进一步开展对冲绳海槽沉积岩芯高分辨率层位<sup>10</sup>Be的研究。

**致谢** 在此对日本东京大学加速器质谱实验室(MALT)H. Matsuzaki 博士协助<sup>10</sup>Be测定表示感谢;感谢审稿专家对文章的修改意见。

## 参考文献 (References)

- Christl M, Strobl C, Mangini A. Beryllium-10 in deep-sea sediments: A tracer for the Earth's magnetic field intensity during the last 200000 years. *Quaternary Science Reviews*, 2003, **22**(5~7): 725 ~ 739
- 程振波,石学法,吴永华等. 西、中太平洋铁锰结壳生长年龄-超微化石与<sup>10</sup>Be测年的对比. 科学通报, 2006, **51**(22): 2685 ~ 2689  
Cheng Zhenbo, Shi Xuefa, Wu Yonghua *et al.* Growth ages of ferromanganese crusts from the western and Central Pacific: Comparison between nannofossil analysis and <sup>10</sup>Be dating. *Chinese Science Bulletin*, 2006, **51**(24): 3035 ~ 304
- von Blanckenburg F, O'Nions R K, Belshaw N S *et al.* Global distribution of beryllium isotopes in deep ocean water as derived from Fe-Mn crusts. *Earth and Planetary Science Letters*, 1996, **141**(1~4): 213 ~ 226
- Lao Y, Anderson R F, Broecker W S *et al.* Transport and burial rates of <sup>10</sup>Be and <sup>231</sup>Pa in the Pacific Ocean during the Holocene period. *Earth and Planetary Science Letters*, 1992, **113**(1~2): 173 ~ 189
- Muscheler R, Beer J, Wagner G *et al.* Changes in deep-water formation during the Younger Dryas event inferred from <sup>10</sup>Be and <sup>14</sup>C records. *Nature*, 2000, **408**: 567 ~ 570
- 王宇宁,姚檀栋,秦大河等. ~37ka BP 大气中宇宙成因同位素含量增加的古里雅冰芯证据. 科学通报, 1999, **44**(7): 765 ~ 769  
Wang Ninglian, Yao Tandong, Qing Dahe *et al.* Evidence from Guliya ice core on the increase of contents of cosmogenic isotopes in atmosphere at ~37ka BP. *Chinese Science Bulletin*, 1999, **44**(7): 765 ~ 769
- 黄杰,康世昌,沈承德等. 西藏拉萨市大气气溶胶<sup>10</sup>Be及其季节变化. 科学通报, 2010, **55**(13): 1274 ~ 1280  
Huang Jie, Kang Shichang, Shen Chengde *et al.* Concentration and seasonal variation of <sup>10</sup>Be in surface aerosols of Lhasa, Tibet. *Chinese Science Bulletin*, 2010, **55**(13): 1274 ~ 1280
- Yang Yongliang, Kusakabe M, Southon J. <sup>10</sup>Be profiles in the East China Sea and the Okinawa Trough. *Deep-Sea Research (Part II)*, 2003, **50**: 339 ~ 351.
- 杨永亮,刘振夏,沈承德等. 南黄海、东海陆架及冲绳海槽北部沉积物的<sup>10</sup>Be和<sup>9</sup>Be记录. 第四纪研究, 2007, **27**(4): 529 ~ 538  
Yang Yongliang, Liu Zhenxia, Shen Chengde *et al.* Be isotopes in surface sediments from the southern Yellow Sea, the East China Sea continental shelf and in a sediment core from the Okinawa Trough. *Quaternary Sciences*, 2007, **27**(4): 529 ~ 538
- Monaghan M C, Krishnaswami S, Turekian K K. The global-average production rate of <sup>10</sup>Be. *Earth and Planetary Science Letters*, 1985, **76**(3~4): 279 ~ 287
- 苍树溪,阎军. 西太平洋特定海域古海洋学. 青岛: 青岛海洋大学出版社, 1992. 1 ~ 172  
Cang Shuxi, Yan Jun. *Paleoceanography of Special Areas in Western Pacific Ocean*. Qingdao: Qingdao Ocean University Press, 1992. 1 ~ 172
- 阎军,苍树溪. 冲绳海槽 Z14-6 孔氧同位素地层学研究. 海洋与湖沼, 1990, **21**(5): 442 ~ 448  
Yan Jun, Cang Shuxi. Study on oxygen isotope stratigraphy in core Z14-6 from Okinawa Trough. *Oceanologia et Liminologia Sinica*, 1990, **21**(5): 442 ~ 448
- 刘振夏,李培英,李铁刚等. 冲绳海槽 5 万年以来的古气候事件. 科学通报, 2000, **45**(16): 883 ~ 887  
Liu Zhenxia, Li Peiying, Li Tiegang *et al.* Paleoclimate events in Okinawa Trough since 50,000aB.P. *Chinese Science Bulletin*, 2000, **45**(16): 883 ~ 887
- 周厚云,李铁刚,贾国东等. 应用长链不饱和烯酮重建末次间冰期以来冲绳海槽中部 SST 变化. 海洋与湖沼, 2007, **38**(5): 1 ~ 8  
Zhou Houyun, Li Tiegang, Jia Guodong *et al.* Sea surface temperature reconstruction with long-chain unsaturated alkenones for the middle Okinawa Trough during the last glacial-interglacial cycle. *Oceanologia et Liminologia Sinica*, 2007, **38**(5): 1 ~ 8
- Shen C D, Beer J, Kubik P W *et al.* Grain size distribution, <sup>10</sup>Be content and magnetic susceptibility of micrometer-nanometer loess materials. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B*, 2004, **223** ~ **224**: 613 ~ 617
- Frank R, Stonefield K I, Soda P. Metals in agricultural soils of Ontario. II. *Canadian Journal of Soil Sciences*. 1979, **59**(2): 99 ~ 103
- Barg D, Lal E, Pavich M J *et al.* Beryllium geochemistry in soils: Evaluation of <sup>10</sup>Be/<sup>9</sup>Be ratios in authigenic minerals as a basis for age models. *Chemical Geology*, 1997, **140**(3~4): 237 ~ 258
- 熊应乾,刘振夏. 冲绳海槽 DGKS9603 孔细粒沉积物元素组合特征及其意义. 海洋学报, 2004, **26**(2): 61 ~ 71  
Xiong Yingqian, Liu Zhenxia. Variations in sediment provenance and its implications of Core DGKS9603 since the Late Quaternary. *Acta Oceanologica Sinica*, 2004, **26**(2): 61 ~ 71
- 窦衍光,杨守业,唐珉等. 冲绳海槽中部 28ka 以来陆源物质输入和古环境演化的生源组分记录. 第四纪研究, 2011, **31**(2): 236 ~ 243  
Dou Yanguang, Yang Shouye, Tang Min *et al.* Using biogenic components to decipher the terrigenous input and paleoenvironmental changes over the last 28ka in the middle Okinawa Trough. *Quaternary Sciences*, **31**(2): 236 ~ 243
- Kim K J A, Nam S I. Climatic signals from the <sup>10</sup>Be records of the Korean marine sediments. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B*, 2010, **268**(7~8): 1248 ~ 1252
- Meng Xianwei, Du Dewen, Liu Yanguang *et al.* Molecular biomarker record of paleoceanographic environment in the East China Sea during the last 35000 years. *Science in China (Series D)*, 2002, **45**(2): 184 ~ 192
- Meng Xianwei, Liu Yanguang, Liu Zhenxia *et al.* Reconstructing sea surface temperature, sea surface salinity and partial pressure of carbon dioxide in atmosphere in the Okinawa Trough during the

- Holocene and their paleoclimatic implications. *Chinese Science Bulletin*, 2003, **48**( Suppl. ): 88 ~ 92
- 23 Li Tiegang, Liu Zhenxia, Hall M A *et al.* Heinrich event imprints in the Okinawa Trough: Evidence from oxygen isotope and planktonic foraminifera. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2001, **176**( 1 ~ 4 ): 133 ~ 146
- 24 Wang Pinxian. The ice-age China-Sea research results and problems. In: Wang Pinxian, Lao Qiuyuan, He Qixiang eds. Proceeding 1st International Conference on Asian Marine Geology. Beijing: China Ocean Press, 1990. 181 ~ 197
- 25 蓝东兆, 陈承惠, 李超. 冲绳海槽末次冰期以来黑潮流游移在沉积硅藻中的记录. *古生物学报*, 2003, **42**( 3 ): 466 ~ 472
- Lan Dongzhao, Chen Chenghai, Li Chao. Sedimentary diatom records on excursion of Kuroshio Current in Okinawa Trough since last glaciation. *Acta Palaeontologica Sinica*, 2003, **42**( 3 ): 466 ~ 472
- 26 Masarik J, Frank M, Schafer J M *et al.* Correction of *in situ* cosmogenic nuclide production rates for geomagnetic field intensity variations during the past 800,000 years. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2001, **65**( 17 ): 2995 ~ 3003
- 27 Broekge W S, Andrge M, Wolfli W *et al.* The chronology of the last deglaciation: Implication to the cause of the Younger Dryas Event. *Paleoceanography*, 1988, **3**( 1 ): 1 ~ 19
- 28 李铁刚, 江波, 孙荣涛等. 末次冰消期以来东黄海暖流系统的演化. *第四纪研究*, 2007, **27**( 6 ): 945 ~ 954
- Li Tiegang, Jiang Bo, Sun Rongtao *et al.* Evolution pattern of warm current system of the East China Sea and the Yellow Sea since the last deglaciation. *Quaternary Sciences*, 2007, **27**( 6 ): 945 ~ 954
- 29 Jian Z M, Wang P X, Saito Y *et al.* Holocene variability of the Kuroshio Current in the Ocean. *Earth and Planetary Science Letters*, 2000, **184**( 1 ): 305 ~ 319
- 30 Ujiie H, Ujiie Y. Late Quaternary course changes of the Kuroshio Current in the Ryukyu Arc region, north western Pacific Ocean. *Marine Micropaleontology*, 1999, **37**( 1 ): 23 ~ 40
- 31 Feng S H, Kaufman D, Yoneji S *et al.* Cyclic variation and solar forcing of Holocene climate in the Alaskan Subarctic. *Science*, 2003, **301**: 1890 ~ 1893

## <sup>10</sup>BE ISOTOPE RECORDS IN SEDIMENT CORE Z14-6 FROM THE EASTERN OKINAWA TROUGH DURING THE LAST DEGLACIATION AND HOLOCENE

Yang Yongliang<sup>①</sup> Liu Zhenxia<sup>②</sup> Shen Chengde<sup>③</sup> Li Tiegang<sup>④</sup>  
Shi Xuefa<sup>②</sup> Cheng Zhenbo<sup>②</sup> Xiong Yingqian<sup>②</sup>

(<sup>①</sup>National Research Center of Geoanalysis, Beijing 100037; <sup>②</sup>First Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Qingdao 266061;

<sup>③</sup>Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640;

<sup>④</sup>Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071)

### Abstract

The <sup>10</sup>Be records in sediment Core Z14-6 from the eastern side of the middle Okinawa Trough (27°07'N, 127°27'E; water depth: 739m; core length: 8.96m) during the last glacial period and the Holocene are discussed and compared with the <sup>10</sup>Be records in sediment Core DGKS9603 (28°08.869'N, 127°16.238'E; water depth: 1100m, core length: 585cm) from the North Okinawa Trough. <sup>10</sup>Be concentrations in 12 layers in the core section of 2 ~ 175cm which covers the chronologic range of 0.37 ~ 29.3kaB. P. were determined using Accelerating Mass-Spectrometry (AMS). The average <sup>10</sup>Be concentration was 6.10 × 10<sup>8</sup> atoms/g, with the maximum 8.71 × 10<sup>8</sup> atoms/g occurring at 6.3kaB. P. The <sup>10</sup>Be concentrations in the last glacial were generally low and also lower than those in DGKS9603. The average sedimentation rate of <sup>10</sup>Be in Z14-6 was 1.04 × 10<sup>9</sup> atoms/cm<sup>2</sup> · ka, with the maximum 1.36 × 10<sup>9</sup> atoms/cm<sup>2</sup> · ka occurred at 6.3kaB. P. and minimum 6.45 × 10<sup>8</sup> atoms/cm<sup>2</sup> · ka at 9.27kaB. P. layers, respectively. Due to the shallow water depth, the Kuroshio did not flow through Z14-6 during the last glacial, therefore the average sedimentation rate of <sup>10</sup>Be in Z14-6 was at the level of the global mean <sup>10</sup>Be atmospheric production rate (1.21 × 10<sup>9</sup> atoms/cm<sup>2</sup> · ka). The decreases of sedimentation rate of <sup>10</sup>Be may be related to the low temperature events, among which are Younger Dryas (YD) and Heinrich event H1. <sup>10</sup>Be sedimentation rate of Z14-6 significantly decreased at about 3kaB. P. and 9kaB. P., suggesting large variations of the Kuroshio Current. The peak values of <sup>10</sup>Be sedimentation rate of Z14-6 in the Holocene were considerably higher than those during the last glacial period, indicating that the influence of the Kuroshio Current on Z14-6 site had occurred.

**Key words** Beryllium-10, sediment core, Kuroshio, Okinawa Trough, Younger Dryas