

# 冲绳海槽千年来陆源物质输入历史与东亚季风变迁

陈金霞<sup>1,2</sup>, 李铁刚<sup>1</sup>, 南青云<sup>1,2</sup>

1. 中国科学院海洋地质与环境重点实验室, 山东青岛 266071

2. 中国科学院研究生院, 北京 100039

**摘要:** 为解决近1000年以来东海沿岸地区气候演化及其对南冲绳海槽陆源物质输入的影响, 对取自南冲绳海槽的 MD05-2908 孔上部(0~810 cm)共78份孢粉样品和199份有机碳同位素样品进行了分析。结果显示, 近1000年以来南冲绳海槽陆源物质输入存在着显著波动, 其中1100~1040 a BP、960~880 a BP 和 800~480 a BP 期间, 陆源物质输入比例增加; 1040~960 a BP 和 480~230 a BP 期间, 陆源物质输入比例减少。将陆源物质输入指标与陕西佛爷洞  $\delta^{13}\text{C}$  含量记录对比分析, 发现陆源物质输入比例变化与季风的变化密切相关。当夏季风减弱时, 导致降雨带长时间集中在南部地区, 增强的降雨量提高了风化剥蚀以及沉积物向海洋搬运的能力, 使得陆源物质供应量增加。

**关键词:** 孢粉; 有机碳同位素; 陆源物质输入; 降雨量; 季风。

中图分类号: X141

文章编号: 1000-2383(2009)05-0811-08

收稿日期: 2009-01-21

## Variations of Terrigenous Material Discharges in the South Okinawa Trough and Its Relation to the East Asian Summer Monsoon since the Last Millennium

CHEN Jin-xia<sup>1,2</sup>, LI Tie-gang<sup>1</sup>, NAN Qing-yun<sup>1,2</sup>

1. Key Laboratory of Marine Geology and Environment, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China

2. Graduated School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China

**Abstract:** The top part of a giant IM AGE core MD05-2908 taken from the South Okinawa Trough was investigated for the sake of understanding the climate evolution in Donghai seacoast areas since the last millennium. Sporopollen and organic carbon isotope records of bulk sediments were used as proxies to trace the climate variations and terrigenous materials discharges. Time series were demarcated by 4 AMS<sup>14</sup>C dating ages. Comprehensive data of sporopollen and carbon isotopic composition, together with the paleoenvironmental records show that in the South Okinawa Trough the terrigenous material discharges fluctuated obviously for the past 1000 years. Three relatively high terrigenous material discharge periods corresponding to 1100–1040 a BP, 960–880 a BP and 800–480 a BP respectively and two quite low terrigenous material discharge periods namely, 1040–960 a BP and 480–230 a BP, can be identified from our records. In comparison with the stalagmite  $\delta^{13}\text{C}$  records (which were used to trace the East Asian Summer Monsoon) from Buddha Cave, Shaanxi Province, we found that the variations of terrigenous material discharges might be related closely to variations of the East Asian Summer Monsoon (EASM). Weaker EASM resulted in a convergence rain belt and longer residence time in the South China regions, which increased the efficiency of weathering and denudation of the source area. Moreover, increased rainfall enhanced the land runoff and as a result more terrigenous materials were transported to the South Okinawa Trough.

**Key words:** sporopollen; organic carbon isotope; terrigenous material discharge; rainfall; monsoon.

冲绳海槽作为新生的弧后盆地, 即便在盛冰期时仍处在水下环境, 它是东海晚第四纪唯一保存有

连续海相沉积物的盆地, 由于接受长江、黄河等地陆源物质的影响, 冲绳海槽具有较高的沉积速率, 是研

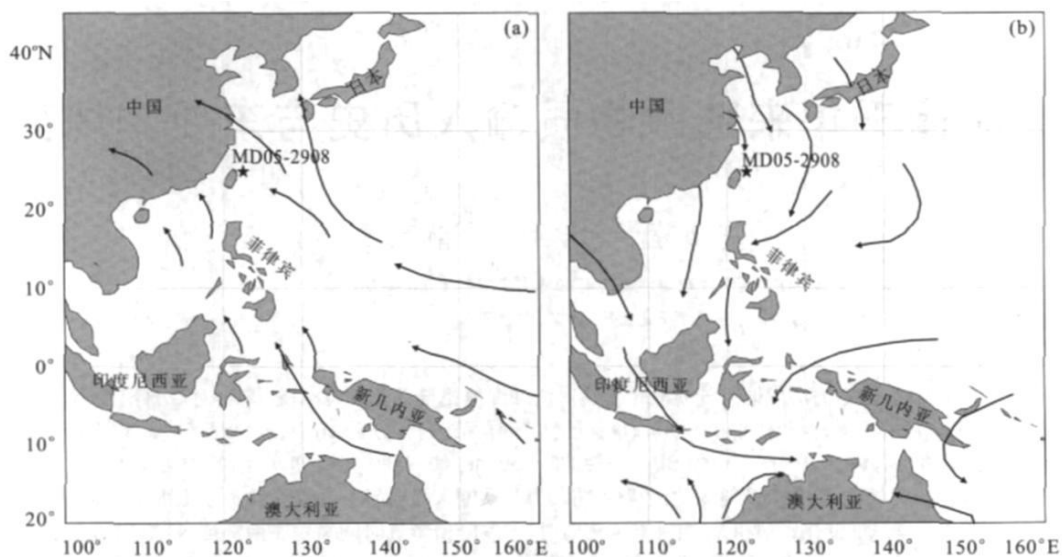


图 1 西北太平洋地区现代夏季(七月)季风模式(a)和冬季(一月)季风模式(b)

Fig. 1 Summer monsoon in the West Pacific Ocean during July (a) and winter monsoon in the West Pacific Ocean during January (b)

(a)箭头指示夏季风;(b)箭头指示冬季风;五角星指示 MD05-2908 孔取样位置

究高分辨率古气候变化及其对陆—海相互作用制约机制的理想场所。过去二十多年来,冲绳海槽过去环境研究有两个重点,其一是存在广泛争议的黑潮主流是否迁移出冲绳海槽(苍树溪和阎军,1992);其二是全球性的气候事件在冲绳海槽的记录(Li *et al.*, 2001)以及冲绳海槽的局域性事件在全球气候变化中的解释(Li *et al.*, 1997)。而对冲绳海槽(特别是南冲绳海槽)的陆源物质输入历史及其古气候意义研究重视不够,忽略了陆源物质通量在联系陆地—海洋气候变化关系中的纽带作用。

本文利用位于南冲绳海槽的 MD05-2908 孔记录,采用多代用指标手段,在对南冲绳海槽的陆源物质来源进行分析的基础上,进一步讨论近 1 000 年来南冲绳海槽陆源物质输入历史及其与气候变化之间的关系(图 1)。

## 1 区域背景

冲绳海槽位于东海陆架东南部,由于地处大陆边缘,其水文和环流系统相当复杂。黑潮是作用于该区的主要流系,黑潮主干沿台湾东侧进入东海后,由南向东北沿东海陆坡流动,将热量和大洋物质输送到冲绳海槽和临近的东海陆架;另一方面,相邻大陆丰富的河流注入使得巨量的淡水和陆源物质经冲绳海槽到达西太平洋。东海沿岸和远岸水在大陆架相遇

产生海洋学锋面,河流携带的陆源物质和外来大洋物质在锋面处相遇,水文特征的这一地理分布格局极大地影响着冲绳海槽沉积物的分布(南青云等,2008)。

## 2 材料和方法

MD05-2908 孔(24°48.04'N, 122°29.35'E, 水深 1 276 m)于 2005 年由 IMAGES XI 航次取自南冲绳海槽,柱长 3 416 cm,其中 0~979 cm 为黑灰色粘土,979~3 416 cm 为黑灰色砂质粘土;980、1 105、1 207、1 314~1 317、1 835、2 092~2 094、2 196~2 198、2 439~2 441、2 527~2 529、2 579~2 581、2 599~2 600、2 730、2 855、2 908、3 032、3 183、3 230、3 273、3 280 和 3 310 cm 为含砂层。本文针对岩芯上部 810 cm(1 100 a BP)沉积样品的孢粉和有机质碳同位素进行了分析。

### 2.1 年龄框架

本文年代采用 18~20 mg, > 150 μm 的浮游有孔虫 *Globigerinoides ruber* 和 *Globigerinoides saculifer* 完整壳体在美国 Woods Hole 海洋研究所 AMS 年代测试中心进行 AMS<sup>14</sup>C 年代测试,送测的 17 个年代数据均属正常事件序列,没有发现倒转现象。将原始数据利用 Calib5.0.2 程序(Stuiver *et al.*, 1998)校准到日历年龄,该海区 35 a 的大气和海水之间<sup>14</sup>C 年代差将由该程序自动减去,从而

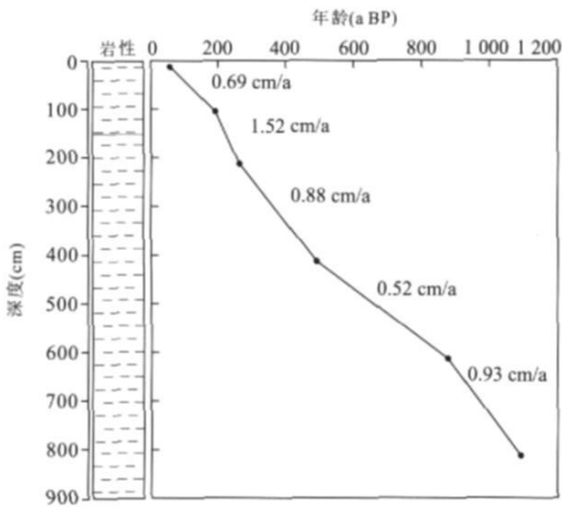


图 2 冲绳海槽南部 MD05-2908 孔岩性和年代模式

Fig. 2 Lithology and age model for the MD05-2908 core

建立起该孔的年代模式. 对年代控制点内的年代序列采用线性内插法, 控制点以外的采用线性外推法. 通过校正, MD05-2908 孔上部 810 cm 柱状记录的沉积年代为 1 090 a BP, 这是继 1992 年大洋钻探 ODP 第 146 航次在东太平洋圣巴巴拉海盆钻取的沉积速率达 160 cm/ka 的 ODP893 孔(Whatley and Boomer, 1995), 以及 2001 年大洋钻探计划 ODP195 航次在冲绳海槽南端钻取的平均速率高达 320 cm/ka 的 ODP1202D 孔(Wei, 2006)之后又一高分辨率深海沉积记录(图 2).

### 2.2 孢粉分析

本文共对 78 个层位的孢粉样品进行了分析, 采样平均分辨率为 14 a/cm. 孢粉分析流程依据 Moore *et al.* (1991) 的方法做了轻微改动得来. 取 5 cm<sup>3</sup> 样品, 烘干、称重, 加入一粒外来石松孢子药片; 加入 15% 盐酸除去样品中的钙质, 加入 40% 氢氟酸除去样品中的硅质; 再将样品放在超声波发生器中振荡, 用孔径 10 μm 尼龙筛过滤, 将处理干净的样品制成薄片, 在显微镜下鉴定. 孢粉鉴定时主要参考《中国植物花粉形态》(王伏雄等, 1997)和《台湾植

物花粉形态》(Huang, 1972).

### 2.3 有机碳同位素分析

本文共对 199 个层位的样品进行了有机碳同位素分析, 采样平均分辨率为 5 a/cm. 同位素的测定采用 IRMS 燃烧质谱法, 利用 UreaEA1110 元素分析仪与 GV-Isoprime 联用仪进行测试. 样品经 1 mol/L 盐酸酸化 48 h, 期间振荡 4 次以使盐酸与样品中的碳酸盐反应完全. 而后在 -48 °C 真空冷冻干燥机上冷冻干燥 48 h, 取出后再次研磨混合均匀. 样品经 EA 燃烧分离后送质谱分析, 与参考气体进行参比确定信号强度. 有机碳、总氮同位素测试数据利用标准物蛋白 OAS(B2155) 的测试结果校正到 PDB 以及大气氮标准. 重复测试显示 δ<sup>13</sup>C 分析精度优于 0.1 ‰(表 1).

## 3 结果

### 3.1 孢粉谱的变化

南冲绳海槽 MD05-2908 孔的孢粉含量较丰富, 每份样品统计的孢粉数目从 218 粒到 605 粒不等, 共鉴定 114 类不同孢粉类型. 除松属(*Pinus*)、罗汉松科(*Podocarpaceae*)、铁杉属(*Tsuga*)、栎属(*Quercus*)、胡桃属(*Juglans*)、榆科(*Ulmaceae*)、桦木属(*Betula*)、桤木属(*Alnus*)、莎草科(*Cyperaceae*)、禾本科(*Gramineae*)、蒿属(*Compositae*)、藜科(*Chenopodiaceae*) 花粉和蕨类孢子含量较高外, 其他每个类型的花粉数量均很少.

MD05-2908 孔孢粉组合中针叶类松属和罗汉松科花粉含量有从下部(1 100 ~ 1 040 a BP) 低含量到中部(1 040 ~ 480 a BP) 增加再向下减少的变化过程; 常绿阔叶类常绿栎属、栲属和山茶科等花粉含量最高值出现于 1 040 ~ 480 a BP 之间, 480 a BP 之后含量有向上减少的趋势; 落叶栎属花粉在下部(1 100 ~ 1 040 a BP) 含量较低, 之后含量虽时有波动, 但变化并不明显; 草本植物花粉以莎草科、禾本

表 1 MD05-2908 孔 AMS<sup>14</sup>C 年代数据

Table 1 AMS radiocarbon data of MD05-2908 core

实验室编号	测试深度(cm)	测试材料	AMS <sup>14</sup> C 年龄(a BP(1σ))	Calib 日历年(a BP)
MD05-2908-13	13	<i>G. rubber + saculifer</i>	470 ± 30	57
MD05-2908-105	105	<i>G. rubber + saculifer</i>	600 ± 45	191
MD05-2908-213	213	<i>G. rubber + saculifer</i>	650 ± 30	262
MD05-2908-413	413	<i>G. rubber + saculifer</i>	900 ± 25	489
MD05-2908-613	613	<i>G. rubber + saculifer</i>	1 370 ± 40	876
MD05-2908-813	813	<i>G. rubber + saculifer</i>	1 570 ± 25	1 092

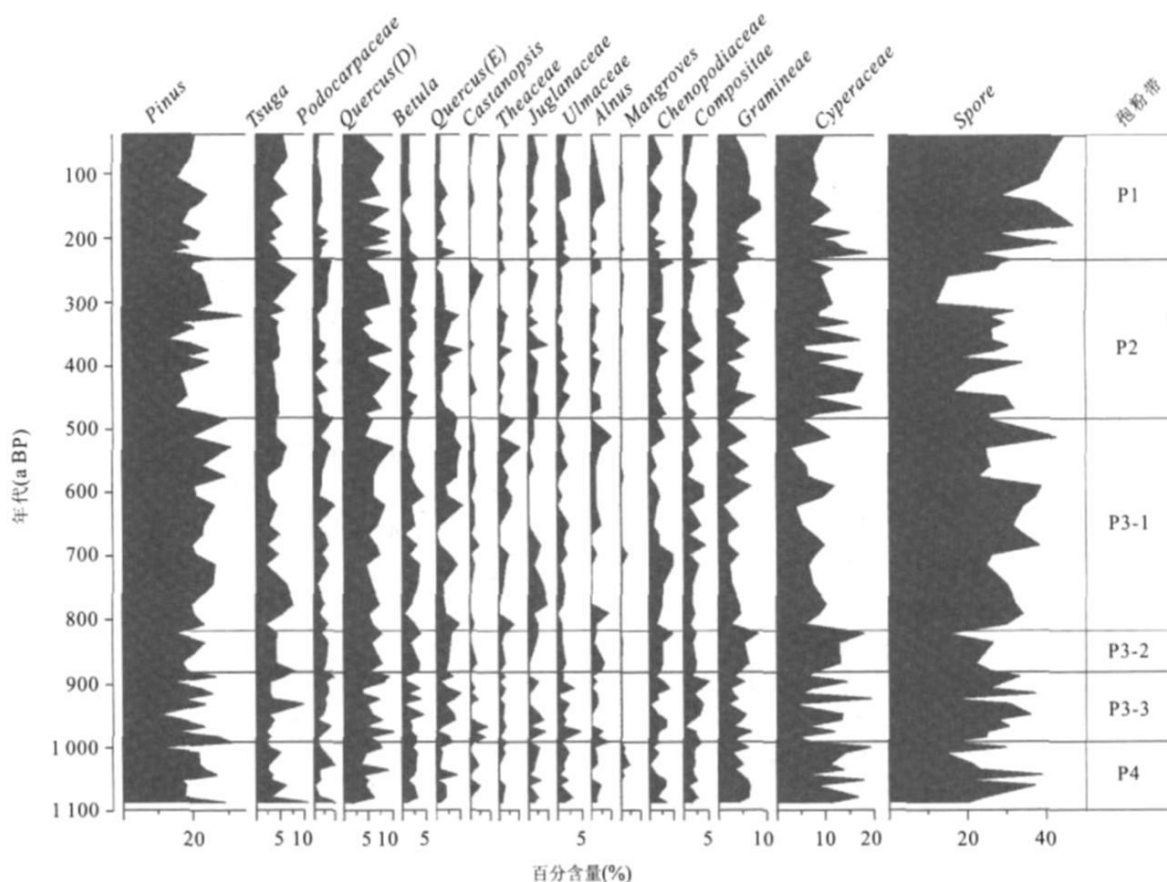


图 3 MD05-2908 孔主要孢粉类型百分比图谱

Fig. 3 Pollen-percentage diagram of MD05-2908 core

科为主, 莎草科花粉最低值出现于 800 ~ 480 a BP 间, 禾本科花粉含量呈现下部高含量到中部减少再向上升高的趋势; 蕨类孢子含量丰富(平均值为 35.1%)且波动频繁, 在 1 100 ~ 1 040 a BP、960 ~ 880 a BP、800 ~ 480 a BP 以及 230 ~ 至今为相对稳定高值区, 1 040 ~ 960 a BP、880 ~ 800 a BP 和 480 ~ 230 a BP 则为几个明显的低值区(图 3)。

### 3.2 有机碳( $\delta^{13}\text{C}$ )同位素

$\delta^{13}\text{C}$  主要反映了光合作用有机碳合成以及碳源的同位素组成. 不同类型光合作用固定的  $\delta^{13}\text{C}$  也不同. 陆地植物通过  $\text{C}_3$  途径把大气  $\text{CO}_2$  ( $\delta^{13}\text{C} \approx -7\text{‰}$ ) 合成有机质, 其  $\delta^{13}\text{C}$  约为  $-27\text{‰}$ , 而通过  $\text{C}_4$  途径合成的植物的  $\delta^{13}\text{C}$  则是  $-14\text{‰}$ . 一般来说, 由于气候湿润,  $\text{C}_3$  植物发育, 输向东海的陆源有机物主要应以  $\text{C}_3$  植物为主. 对于海洋藻类来说, 其有机碳的  $\delta^{13}\text{C}$  值通常是  $-19\text{‰} \sim -22\text{‰}$ . 故在陆源  $\text{C}_3$  植物与海洋藻类之间同位素差值大约为  $5\text{‰} \sim 7\text{‰}$ . 这是区分有机质来源的良好指标(Meyers, 1997).

南冲绳海槽 MD05-2908 孔有机碳同位素分布范

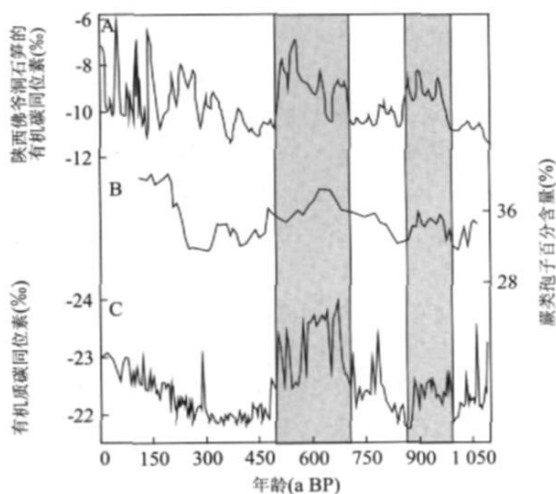


图 4 MD05-2908 孔千年来陆源物质输入与气候之间的关系

Fig. 4 Correlation between the evolution of history of terrigenous material input and climate

A. 陕西佛爷洞石笋  $\delta^{13}\text{C}$  同位素(Paulsen *et al.*, 2003); B. MD05-2908 孔蕨类孢子百分含量(5点滑动平均); C. MD05-2908 孔  $\delta^{13}\text{C}$  同位素

围多为  $-21.75\text{‰} \sim -23.97\text{‰}$  之间. 从图 4 上可以看

出, 1 100 ~ 1 040 a BP、960 ~ 880 a BP 和 800 ~ 480 a BP 期间, 同位素值较轻, 1 040 ~ 960 a BP、880 ~ 800 a BP 和 480 ~ 230 a BP 期间则为一系列高值区。

## 4 讨论

### 4.1 物源分析

沉积物的输入和堆积受诸多因素的影响, 如海洋初级生产力(Nair *et al.*, 1989)、季风引起的海洋环流模式规模(Honjo *et al.*, 1982)以及方向等的变化、河流输入量的变化(Ittekkot *et al.*, 1991)。南冲绳海槽地形地理及环流系统相当复杂, 影响其物质输入的因素很多, 总结起来有 3 种: (1)来自于河流的输入, 包括台湾东北部的兰阳河、台湾东南部的一些河流输入; (2)来自于东海陆架的输入, 这部分包括陆架上堆积物质的再悬浮以及大陆东部沿岸流的输入; (3)来自于海洋表层自生生产力的直接输入(Sheu *et al.*, 1999; Huh *et al.*, 2006; Jeng and Huh, 2006; Jeng, 2007)。关于海表自生生产力的输入已有共识, 然而关于陆源物质的输入却存在较大的争议。这其中包括东海陆架物质为主一说(Sheu *et al.*, 1999; Kao *et al.*, 2003; Jeng, 2007)以及台湾河流(特别是兰阳河)来源为主一说(Chung and Chang, 1995; Hsu *et al.*, 1998, 2004; Huh *et al.*, 2006)。

陆架沿岸流的物质输入量十分巨大, 光长江每年向东海输入的物质通量就达到 478 Mt 之多(Milliman, 1991), 其中大约有 60% 的物质被陆架沿岸流带到南部沉积(DeMaster *et al.*, 1985)。除长江之外, 东海沿岸的其他一些小型的河流(如钱塘江、闽江等)也会携带大量的物质供给陆架沿岸流。陆架沿岸流在往南移动的过程中, 在台湾海峡东北部由于受到高地形以及北上的台湾暖流的阻隔而发生偏转, 形成反时针的涡旋(Shaw and Chao, 1994; Shaw *et al.*, 1996), 陆架沿岸流所携带的悬浮颗粒在此反时针涡旋的作用下被带到台湾北部的陆架以及东海陆架上堆积。黑潮主干沿台湾东侧进入东海后, 由南向北东沿东海陆坡流动, 部分黑潮水体侵入陆架形成支流, 叫黑潮支流。由于陆架坡折的影响, 黑潮支流在台湾东北部海域形成直径 70 km 的反时针涡旋, 该涡旋可能将陆架来源的物质带入冲绳海槽南部。

由于很高的剥蚀速率和充足的降雨(Li, 1976), 兰阳河每年向东海输送约 191 Mt 的物质

(Milliman, 1991; Water-Resources-Planning-Commission, 1996), 这些陆源物质在河流径流量高的时期被很快地带入南冲绳海槽, 在径流量低的时期则暂时在沿岸陆架区沉积, 当下一次暴雨来临时, 陆架区的沉积物质会以雾状层的形式被带入冲绳海槽南部或中部(Hsu *et al.*, 2004)。此外, 台湾东部的河流每年约向大海输送 72 Mt 的物质, 黑潮在流经台湾东部沿岸的过程中, 将部分物质带到南冲绳海槽(Water-Resources-Bureau, 1999), 相对来说这部分物质的贡献较少, 但在台风暴雨爆发期间也占到很重要的比例。

南冲绳海槽的沉积物厚度达到了 1 ~ 3 km(Sibuet *et al.*, 1987), 在台湾北部的南冲绳海槽沉积速率更是达到了惊人的 0.18 ~ 0.87 cm/a(Chung and Chang, 1995)。这么巨量的沉积物显然用单一的兰阳河或者东海陆架的物质输入来解释是无法令人信服的。

Kao *et al.* (2003) 的表层沉积物同位素组成研究显示, 兰阳河口物质  $\delta^{13}\text{C}$  同位素组成为  $-26.0\text{‰} \sim -25.3\text{‰}$ , 东海内陆架物质大多为  $-22\text{‰} \sim -24\text{‰}$ , MD05-2908 孔的  $\delta^{13}\text{C}$  大约在  $-21.75\text{‰} \sim -23.97\text{‰}$  之间, 与 Kao *et al.* (2003) 的东海内陆架的同位素组成较为一致, 而与兰阳河的相差较大。但是, 需要指出的是, 在利用有机地球化学指标特别是同位素指标进行物质来源比例计算的时候, 我们首先要确立来源的端元值, 因为同位素组成为最终的端元值的混合。前文分析指出, 南冲绳海槽可能的物质输入包括东海陆架物质、台湾河流(特别是兰阳河)物质以及海表自生物质。海相物质与陆源  $\text{C}_3$  植物输入为主的有机碳同位素组成有着较大的差异, Sheu *et al.* (1999) 研究认为, 冲绳海槽海相自生有机质的  $\delta^{13}\text{C}$  组成为  $-19\text{‰} \sim -22\text{‰}$  之间, 平均约为  $-20\text{‰}$ , 以此为端元值与兰阳河输入物质进行混合会得到与东海陆架同位素组成类似的结果。因此, 通过同位素组成笔者不能很好区分两者之间的实际贡献比例。

在孢粉组合上, 虽然发现了生长于中国内陆干旱荒漠上的麻黄科花粉, 但是麻黄科花粉含量非常低, 而其他大部分类型花粉如松属、铁杉属、罗汉松科、冷杉属、栲属、桉木属、桦木属、莎草科和禾本科等在大陆和台湾都有分布, 既可能来自东海陆架, 亦可能来自台湾, 所以通过孢粉也不能很好区分两者之间的实际贡献比例。

据此认为, 目前情况下尚不能对南冲绳海槽物

质来源做定量的估算, 陆架沿岸流携带的长江以及华东沿岸物质输入以及台湾河流的输入都有重大贡献. 所以, 笔者认为 MD05-2908 孔孢粉和有机碳同位素指标恢复的是东海沿岸地区气候变化历史.

#### 4.2 陆源物质输入与气候之间的关系

陆源物质包含了丰富的陆地气候环境信息, 海洋沉积物中的陆源物质的输入与大气、海洋环流以及河流的输入演化密切相关 (Honjo *et al.*, 1982; Ittekkot *et al.*, 1991), 因而提取海洋沉积物中相关的陆源物质信息对重建过去的大气及海洋环流有着重要的作用. 本文将以  $\delta^{13}\text{C}$  同位素和孢粉记录来重建千年来南冲绳海槽陆源物质输入的历史并追溯其与气候环境演化之间的关系.

有机碳同位素作为古生物地球化学动力学过程和演化的有效指示被广泛地应用在中古海洋学研究中 (Altabet, 1996). 保存在海洋沉积物中的同位素特征是海表、上覆水体、沉积物成岩过程与更远层次而来的沉积组分如大陆和海床通过表层和次表层流以及水气交换的综合反映. 全岩样品因为其组成的不均一性而使其同位素信号受到很多参数的相互影响, 例如海、陆有机物源影响的控制、陆源的  $\text{C}_3$  或  $\text{C}_4$  生源影响以及  $\text{CO}_2$  和生产力对海源有机质影响 (Meyers, 1997). 由于生物进行光合作用时所利用的碳源的差异, 通常海相来源的有机质较陆源有机质具备更重的碳同位素值. Sheu *et al.* (1999) 及 Kao *et al.* (2003) 研究东海陆架及冲绳海槽悬浮物及表层沉积物有机碳同位素时指出, 长江河口以及兰阳河口输入物质的同位素组成相似, 均在  $26\text{‰} \pm 0.5\text{‰}$  范围以内, 显示  $\text{C}_3$  植物母源输入的特点, 海洋自生的有机碳同位素分布范围为  $-21.5\text{‰} \sim -19.0\text{‰}$ . 上文谈到 MD05-2908 物源的复杂性, 既然无法区分台湾河流以及大陆物质输入的贡献, 而且两种主要来源的端元值较为接近, 我们将两者当成混合体来看待, 以下的讨论中均不再讨论物质的具体来源, 而统一分为陆源与海相两类. 这里采用  $-26.5\text{‰}$  为陆相输入端元值, 越接近该端元值, 陆源输入比例越高; 采用  $-20\text{‰}$  为海相有机质输入端元值, 越接近则海相输入比例越高.

MD05-2908 孔中蕨类孢子含量丰富. 蕨类植物通常大量生长在潮湿温暖的环境下 (Sun *et al.*, 2003). 在亚热带地区蕨类植物含量与湿度关系密切, 通常是蕨类植物含量较高对应气候较湿润 (Liew and Hsieh, 2000). 在台湾东北部, Lin *et al.* (2004) 曾用蕨类孢子百分比的高低变化来指示降雨

的强弱. 在南海的 ODP1144 孔中, Sun *et al.* (2003) 更是用蕨类孢子百分比做为夏季风的代用指标. 因此, 本文将以蕨类孢子百分含量来指示湿度的变化, 蕨类孢子含量越高, 暗示着气候越湿润.

Paulsen *et al.* (2003) 通过对陕西佛爷洞的  $\delta^{13}\text{C}$  数据进行研究, 发现受东亚季风影响千年来降雨量存在着明显波动. 对比佛爷洞的  $\delta^{13}\text{C}$  含量变化以及 MD05-2908 孔的降雨量和陆源物质输入指标 (图 4), 考虑到不同材料年代测试的差异以及南冲绳海槽年代校正时所扣除的海水与大气年代差的不准确性, 不难看出, 两者之间存在着很好的对应性. 1100 ~ 1040 a BP、960 ~ 880 a BP 和 800 ~ 480 a BP 期间, 夏季风减弱时, 对应着东海沿岸地区降雨量增强, MD05-2908 孔陆源物质输入比例增加; 1040 ~ 960 a BP 和 480 ~ 230 a BP 期间, 夏季风增强时, 东海沿岸地区降雨量减少, MD05-2908 孔陆源物质输入比例减少. 对于这种现象该如何解释呢?

中国是典型的季风气候区, 气候变化主要受东亚季风影响. 东亚夏季风降水是由来自高纬度大陆的干冷气团与来自热带海洋的暖湿气团相互作用的锋面系统所决定的 (An, 2000), 因此中国不同区域的降水变化往往是不同的. 东亚夏季风增强或减弱并不能使季风区内所有地区的降水都增加或减少, 只有在锋面滞留时间延长的地区降水才增多, 反之降水减少 (刘晓东等, 1996; An, 2000; Wu and Liu, 2004). 热力差是造成季风变化的最根本原因 (Chen *et al.*, 2000; Webster *et al.*, 1998), 当太阳辐射率增大, 热力差加大, 夏季风偏强, 锋面系统北进, 雨锋在中国北方停留时间长, 南方停留时间短, 导致江淮地区降水偏少, 华北降雨偏多; 而当热力差减小时, 夏季风减弱, 锋面系统南撤, 导致南部大量降水, 降雨量的增加一方面加快了物源区的风化剥蚀, 另一方面增加了河流的净流量, 从而将更多的陆源物质输送到海洋中沉积下来.

因而, 笔者认为太阳辐射量的变化是导致降雨量和陆源物质输入变化的背景原因. 而 1100 a BP 期间降雨量和陆源物质输入的变化与季风的强弱变化密切相关. 这些互相联系的气候因素控制了东海沿岸地区降雨量和 MD05-2908 孔陆源物质输入的变化.

## 5 结论

千年来东海沿岸地区降雨量与南冲绳海槽陆源物质输入存在着波动, 1100 ~ 1040 a BP、960 ~

880 a BP和 800 ~ 480 a BP 期间, 气候较湿润时, 陆源物质输入比例增加; 1 040 ~ 960 a BP 和 480 ~ 230 a BP期间, 降雨量减少时, 陆源物质输入比例减少。这两者的变化与季风强弱变化有密切的关系。夏季季风减弱时, 导致降雨带长时间集中在南部地区, 增强的降雨量提高了风化剥蚀以及沉积物向海洋搬运的能力, 从而使得陆源物质供应量增加。

## References

- Altabet, M. A., 1996. Nitrogen and carbon isotopic tracers of the source and transformation of particles in the deep sea. In: Ittekkot, V., Schäfer, P., Honjo, S., et al., eds., Particle flux in the ocean. John Wiley, USA, 155—184.
- An, Z. S., 2000. The history and variability of the East Asian paleomonsoon climate. *Quaternary Science Reviews*, 19 (1—5): 171—187.
- Cang, S. X., Yan, J., 1992. The paleoceanography in specific region of the western Pacific. Ocean University of Qingdao Press Qingdao (in Chinese).
- Chen, W., Graf, H. F., Huang, R. H., 2000. The interannual variability of East Asian winter monsoon and its relation to the summer monsoon. *Advances in Atmospheric Sciences*, 17(1): 48—60.
- Chung, Y., Chang, W. C., 1995. Pb-210 fluxes and sedimentation rates on the lower continental slope between Taiwan and the South Okinawa Trough. *Continental Shelf Research*, 15(2—3): 149—164.
- DeMaster, D. J., McKee, B. A., Nittrouer, C. A., et al., 1985. Rates of sediment accumulation and particle reworking based on radiochemical measurements from continental shelf deposits in the East China Sea. *Continental Shelf Research*, 4(1—2): 143—158.
- Honjo, S., Spencer, D. W., Farrington, J. W., 1982. Deep advective transport of lithogenic particles in Panama basin. *Science* 216(4545): 516—518.
- Hsu, S. C., Lin, F. J., Jeng, W. L., et al., 1998. The effect of a cyclonic eddy on the distribution of lithogenic particles in the southern East China Sea. *Journal of Marine Research*, 56(4): 813—832.
- Hsu, S. C., Lin, F. J., Jeng, W. L., et al., 2004. Observed sediment fluxes in the southwesternmost Okinawa Trough enhanced by episodic events; Flood runoff from Taiwan rivers and large earthquakes. *Deep Sea Research (Part I)*, 51(7): 979—997.
- Huang T. C., 1972. Pollen flora of Taiwan. National Taiwan University Botany Department Press, Taipei.
- Huh, C. A., Su, C. C., Wang, C. H., et al., 2006. Sedimentation in the southern Okinawa Trough—Rates, turbidites and a sediment budget. *Marine Geology*, 231(1—4): 129—139.
- Ittekkot, V., Nair, R. R., Honjo, S., et al., 1991. Enhanced particle fluxes in Bay of Bengal induced by injection of fresh water. *Nature* 351(6325): 385—387.
- Jeng, W. L., 2007. Aliphatic hydrocarbon concentrations in short sediment cores from the southern Okinawa Trough; Implications for lipid deposition in a complex environment. *Continental Shelf Research*, 27 (15): 2066—2078.
- Jeng, W. L., Huh, C. A., 2006. A comparison of sedimentary aliphatic hydrocarbon distribution between the southern Okinawa Trough and a nearby river with high sediment discharge. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 66 (1—2): 217—224.
- Kao, S. J., Lin, F. J., Liu, K. K., 2003. Organic carbon and nitrogen contents and their isotopic compositions in surficial sediments from the East China Sea shelf and the southern Okinawa Trough. *Deep Sea Research Part II*, 50(6—7): 1203—1217.
- Li, B. H., Jian, Z. M., Wang, P. X., 1997. Pulleniatina oblique loculata as a paleoceanographic indicator in the southern Okinawa Trough during the last 20 000 years. *Marine Micropaleontology*, 32(1—2): 59—69.
- Li, T. G., Liu, Z. X., Michael, A. H., et al., 2001. Heinrich event imprints in the Okinawa Trough; Evidence from oxygen isotope and planktonic foraminifera. *Paleogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 176 (1—4): 133—146.
- Li, Y. H., 1976. Denudation of Taiwan island since the Pliocene epoch. *Geology*, 4: 105—107.
- Liew, P. M., Hsieh, M. L., 2000. Late Holocene (2 ka) sea level, river discharge and climate interrelationship in the Taiwan region. *Journal of Asian Earth Sciences*, 18 (4): 499—505.
- Lin, S. F., Liew, P. M., Lai, T. H., 2004. Late Holocene pollen sequence of the Llan plain, northeastern Taiwan, and its environmental and climatic implications. *TAQ* 15 (2): 221—237.
- Liu, X. D., An, Z. S., Li, X. Q., et al., 1996. The numerical simulation of Chinese Summer monsoon variations in the past 18 ka B. P. . In: Liu, D. S., An, Z. S., Wu, X. H., eds., Loess-Quaternary research-Global changes (IV). Science Press, Beijing, 142—150 (in Chinese).
- Meyers, P. A., 1997. Organic geochemical proxies of paleoceanographic, paleolimnologic, and paleoclimatic processes.

- ses. *Organic Geochemistry*, 27(5-6): 213-250.
- Milliman, J. D., 1991. Flux and fate of fluvial sediment and water in coastal seas. Ocean margin processes in global Change. Wiley, Chichester, England.
- Moore, P. D., Webb, J. A., Collinson, M. E., 1991. Pollen analysis. 2nd. Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- Nair, R. R., Ittekkot, V., Manganini, S. J., et al., 1989. Increased particle flux to the deep ocean related to monsoons. *Nature* 338(6218): 749-751.
- Nan, Q. Y., Li, T. G., Chen, J. X., et al., 2008. Paleoproductivity variations and its correlation with climate changes: An approach of long-chain alkenone. *Quaternary Sciences*, 28(3): 482-490 (in Chinese with English abstract).
- Paulsen, D. E., Li, H. C., Ku, T. L., 2003. Climate variability in central China over the last 1270 years revealed by high-resolution stalagmite records. *Quaternary Science Reviews*, 22(5-7): 691-701.
- Shaw, P. T., Chao, S. Y., 1994. Surface circulation in the South China Sea. *Deep Sea Research (Part I)*, 41(11-12): 1663-1683.
- Shaw, P. T., Chao, S. Y., Liu, K. K., et al., 1996. Winter upwelling off Luzon in the northeastern South China Sea. *Journal of Geophysical Research*, 101(C7): 16435-16448.
- Sheu, D. D., Jou, W. C., Chung, Y. C., et al., 1999. Geochemical and carbon isotopic characterization of particles collected in sediment traps from the East China Sea continental slope and the Okinawa Trough northeast of Taiwan. *Continental Shelf Research*, 19(2): 183-203.
- Sibuet, J. C., Letouzey, J., Barbier, F., et al., 1987. Back arc extension in the Okinawa Trough. *Journal of Geophysical Research*, 92(B13): 14041-14063.
- Stuiver, M., Reimer, P. J., Bard, E., et al., 1998. INTCAL98 radiocarbon age calibration 24000-0 cal BP. *Radiocarbon*, 40: 1041-1083.
- Sun, X. J., Luo, Y. L., Huang, F., et al., 2003. Deep-sea pollen from the South China Sea: Pleistocene indicators of East Asian monsoon. *Marine Geology*, 201(1-3): 97-118.
- Wang, F. X., Qian, N. F., Zhang, Y. L., et al., 1997. Pollen flora of China. Science Press, Beijing (in Chinese).
- Water-Resources-Bureau, 1999. Hydrological year book of Taiwan, Republic of China, 1998. Ministry of Economic Affairs Taipei, Taiwan, Republic of China.
- Water-Resources-Planning-Commission, 1996. Hydrological year book of Taiwan, Republic of China 1994. Ministry of Economic Affairs Taipei, Taiwan, Republic of China.
- Webster, P. J., Magana, V. O., Palmer, T. N., et al., 1998. Monsoons: Processes, predictability, and the prospects for prediction. *Journal of Geophysical Research*, 103(C7): 14451-14510.
- Wei, K. Y., 2006. Leg195 synthesis: Site 1202-Late Quaternary sedimentation and paleoceanography in the Southern Okinawa Trough. In: Shinohara, M., Salisbury, M. H., Richter, C., eds., *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*, 195(3): 1-31.
- Whitley, R., Boomer, I., 1995. Autochthonous and allochthonous Quaternary ostracoda from Site 893, Santa Barbara basin. In: Kennett, J. P., Baldauf, J. G., Lyle, M., eds., *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*, 146: 251-255.
- Wu, W. X., Liu, T. S., 2004. Possible role of the "Holocene Event 3" on the collapse of Neolithic cultures around the central plain of China. *Quaternary International*, 117: 153-166.

#### 附中文参考文献

- 苍树溪, 阎军, 1992. 西太平洋特定海域古海洋学. 青岛: 青岛海洋大学出版社.
- 刘晓东, 安芷生, 李小强, 等, 1996. 最近 18 ka 中国夏季气候变迁的数值模拟研究. 见: 刘东生, 安芷生, 吴锡浩. 黄土·第四纪地质·全球变化(第四集). 北京: 科学出版社, 142-150.
- 南青云, 李铁刚, 陈金霞, 等, 2008. 南冲绳海槽 7000 a BP 以来基于长链不饱和烯酮指标的古海洋生产力变化及其与气候的关系. *第四纪研究*, 28(3): 482-490.
- 王伏雄, 钱南芬, 张玉龙, 等, 1997. 中国植物花粉形态. 北京: 科学出版社.