

# 西太平洋边缘海的“新仙女木”事件\*

汪品先 卞云华

(上海同济大学海洋地质开放实验室, 上海 200092)

李保华

黄奇瑜

(中国科学院南京地质古生物研究所, 南京 210008)

(台湾大学地质学系)

**摘要** 根据 15 个沉积柱状样, 对“新仙女木”期气候突变事件(YD)的分布和性质进行探讨。在所有这些经高分辨率地层分析的柱状样中, 均发现有“新仙女木”事件, 说明在西太平洋边缘海广泛出现。从同位素与微体古生物分析的结果看,  $^{14}\text{C}$  测年约 11 ~ 10 kaBP 的新仙女木期, 是在 12 kaBP 淡水注入海洋高峰之后, 一次冬季表层水降温的短暂事件。在长江三角洲和日本海都记录了新仙女木期“视海退”现象, 符合新仙女木期是两次海面快速回升期之间一次滞缓期的解释。新仙女木期的冬季表层水降温和盐度增高, 均表明冬季风而不是夏季风加强。边缘海的这一次重大气候事件应当对相邻陆地有深刻影响。

**关键词** 新仙女木期 西太平洋 边缘海 冰消期 古海洋学

新仙女木期(Younger Dryas, 以下简称 YD), 是冰期向全新世过渡中发生的一次最重要的气候回返事件, 近年来的研究取得了重大进展。格陵兰的冰芯表明, YD 持续了 1150 ~ 1300 a, 然后在大约 10 a 内突然结束<sup>[1]</sup>。YD 最常见的  $^{14}\text{C}$  测年值为 11 ~ 10 kaBP, 但近年来发现在 10 kaBP 前后曾有放射性碳年龄的长期停顿, 因此上述年龄并不确切(Hajdas, 1994)。除测年中存在分歧外, 还有两个长期争论的问题: (1) YD 究竟是局限于北大西洋区的事件, 还是全球性现象? (2) 是什么机制导致了这次事件的发生?

西太平洋边缘海由于沉积速度高, 冰期/间冰期的气候反差强, 为研究 YD 事件提供了良好条件。这些海区广泛开展的古海洋学研究, 已在不少站位取得较高分辨率的地层记录, 足以辨识 YD 事件。本文的目的在于汇总已发表的文献资料和我们分析的新资料, 以期探讨 YD 事件在西太平洋区的性质。

## 1 新仙女木事件在本区的出现

迄今为止, 西太平洋边缘海至少有 15 个站位取得了高分辨率沉积记录, 全部发现有 YD

1996-02-05 收稿, 1996-03-01 收修改稿

\* 国家自然科学基金重大资助项目

事件(表1,图1)。其中不少柱状样是根据浮游有孔虫浅水种壳体的  $\delta^{18}\text{O}$  辨识出 YD 的,另一些柱状样则是依靠浮游有孔虫组合或据此求出的转换函数古温度测算值发现 YD 事件的。

表1 西太平洋边缘海记录新仙女木事件的沉积柱状样

海区	柱状样	纬度	经度	水深	资料来源
日本海 东 海	KH-79-3	37°4'N	134°42'E	935 m	Gba 等, 1991
	755	25°12'N	123°6'E	1575 m	Li 等, 印刷中
	253	25°34'N	123°6'E	839 m	Li 等, 印刷中
	170	26°38'N	125°48'E	1470 m	Li 等, 印刷中
南海	V36-3	19°1'N	116°6'E	2809 m	Wang 和 Wang, 1994
	17940	20°7'N	117°23'E	1727 m	本文
	SCS 90-36	17°59'N	111°29'E	2050 m	Huang 等, 印刷中
	SO 50-31KL	18°45'N	115°52'E	3360 m	Huang 等, MS
苏 禄 海	17962	7°11'N	112°5'E	1969 m	本文
	ODP769A	8°47'N	121°18'E	3643 m	Linsley 和 Thunell, 1990
	SO58-69KL	8°49'N	121°36'E	4696 m	Kudrass 等, 1991
日本 岸外 太平洋	SO50-31KL	8°10'N	121°38'E	4911 m	Kudrass 等, 1991
	CH84-14	41°44'N	142°33'E	978 m	Kallet 等, 1988
	C-1	36°16'N	141°32'E	1545 m	Chinzei 等, 1987
	C-6	34°43'N	140°33'E	2020 m	Chinzei 等, 1987

在日本海,末次盛冰期时发育了薄纹层状的粘土层,反映冰期低海面时日本海几乎封闭,表层海水的淡化使底层水流停滞。然而,在 KH-79-3 柱状样(37°4'N, 134°41'E, 水深 935 m, 见图 1)中又出现了一层薄纹层状粘土,放射性碳测年得 10.8 kaBP,说明又回到底层水停滞的环境。向上又出现了浮游有孔虫氧同位素值 0.87‰ 的正偏移(图 2)<sup>[2]</sup>。此次事件可以与 YD 相对比,并归因于冰后期海面上升过程中的一次停顿或者回返,日本沿岸区曾报道过这次事件<sup>[3]</sup>。日本太平洋岸外沉积柱状样的同位素与微体古生物分析,也发现 11~10 kaBP 间有过一次短暂的变凉事件(CH84-14, Kallet 等, 1988; C-1 及 C-6 柱状样,见表 1 与图 1),其作者相信这是 YD 时极锋南移、亲潮冷水再度推进的结果<sup>[4]</sup>。

冲绳海槽是东海从冰期到全新世有连续沉积记录的唯一海区。冲绳海槽南部的 255 号柱状样(25°12'N, 123°6'E, 水深 1575 m)提供了无浊流干扰的高分辨率沉积剖面。无论从 *Pulleniatina obliquiloculata* 这种浮游有孔虫暖水种的百分含量(图 3(d))或者从 *Globigerinoides ruber* 的氧同位素曲线(图 3(a))上,都可以明显地看出 YD 事件,但不见于底栖有孔虫同位素曲线(图 3(b))。海槽的南部(253 号柱状样)和中部(170 号柱状样;站位见表 1 与图 1)也可以看到 *P. obliquiloculata* 百分含量垂向变化的类似情况<sup>1)</sup>。

在南海,分析研究过的沉积柱状样多得多,虽然对南海有无 YD 期曾有过疑问。Broecker 等<sup>[5]</sup>研究了南海南部的 V35-5 柱状样(7°12'N, 112°5'E, 水深 1953 m, 见图 1),分析了大量 AMS <sup>14</sup>C 测年样,发现那里末次冰期是突然结束的,并据此推论太平洋区并无 YD。然而他们

1) Li B H, Jian Z M, Wang P X. *Pulleniatina obliquiloculata* as paleoceanographic indicator in the southern Okinawa Trough during the last 20 000 years. *Marine Micropaleontology*, in press

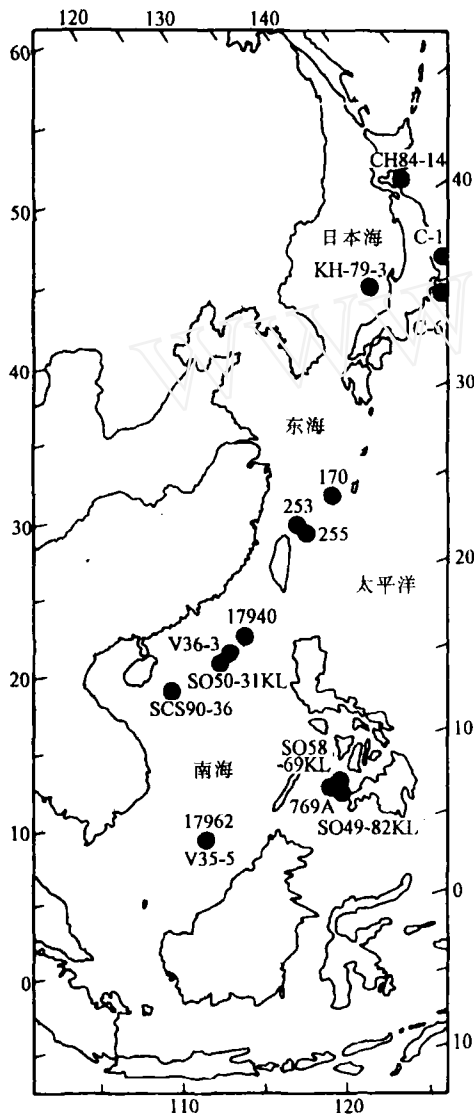


图 1 西太平洋边缘海有新仙女事件记录的  
15 个沉积柱状样位置图  
其中有 3 个位于日本东岸外, 已超出边缘海范围  
孔虫的重新出现(图 5)<sup>[9]</sup>.

所用的两种浮游有孔虫 *G. sacculifer* 和 *P. obliquiloculata* 丰度只是称重所得并未统计个体数, 但即便如此从冰期到全新世也不呈直线状过渡(图 4). 在南海中德联合古海洋考察航次时<sup>[5,6]</sup>, 我们特地从此站再次取样, 所得 17 692 柱状样(7°11'N, 112°5'E, 水深 1 969 m, 图 1)显示的地层剖面相同. 我们初步的微体古生物分析表明, 暖水种的丰度呈现出 YD 时的下降事件, 与其他柱状样所见可以对比, 只是下降的幅度较小而已(图 4).

在南海北部陆坡, 柱状样 V36-3(19°1'N, 116°6'E, 水深 2 809 m)在 *G. sacculifer* 氧同位素和暖水种 *P. obliquiloculata* 的丰度曲线上都显示有明确的回返事件, 相当于 YD<sup>[7,8]</sup>. 南海北部陆坡其他柱状样的同位素与微体古生物分析也揭示了 YD 事件(图 1, 表 1), 包括中德联合航次所取的 17 940 柱状样(20°7'N, 111°23'E, 水深 1 727 m)<sup>[6]</sup>, 还有 SCS90-36(17°59'N, 111°29'E, 水深 2 050 m)<sup>1)</sup>以及 SO50-31 KL 柱状样(18°45'N, 115°52'E, 水深 3 360 m), 其中的 YD 测年得 11 390 ~ 10 310 aBP<sup>2)</sup>.

在苏禄海至少有 3 个柱状样报道了高分辨率地层学, 记录有 YD 事件(图 1, 表 1): ODP 769A 的顶部(8°47'N, 121°18'E, 水深 3 643 m)<sup>[9]</sup>, SO58-49KL(8°49'N, 121°36'E, 水深 4 696 m)及 SO49-82 KL 柱状样(8°10'N, 121°38'E, 水深 4 911 m)<sup>[10]</sup>. YD 事件清晰地呈现为 *Globigerinoides ruber*  $\delta^{18}\text{O}$  的升值和凉水浮游有孔虫的重新出现(图 5)<sup>[9]</sup>.

1) Huang C Y, Wu S F, Zhao M X et al. Surface ocean and monsoon climate variability in the South China Sea: surface circulation and carbonate cycles. Marine Micropaleontology, in press

2) Huang C Y, Liew P W, Zhao M X et al. Marine and lake sediment records of East Asian monsoon in the last 25 kyr. MS

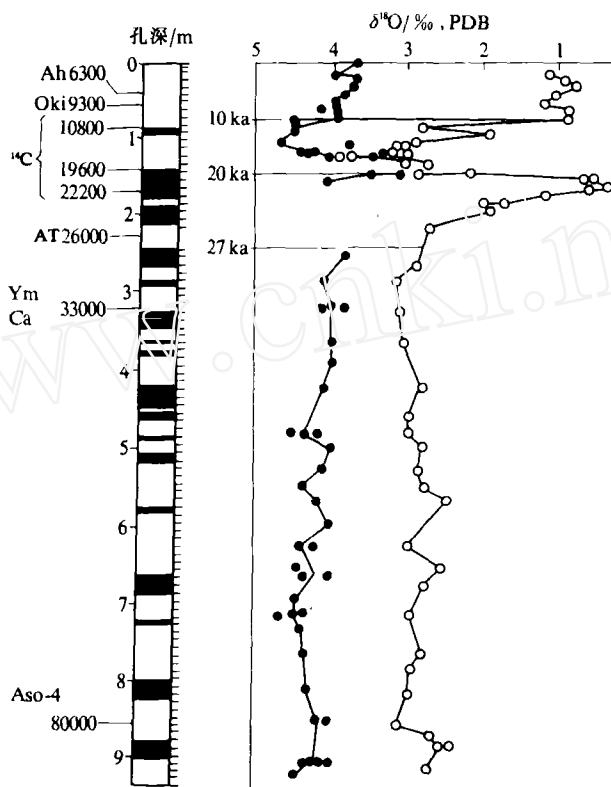


图 2 日本海 KH-79-3 柱状样的氧同位素变化

左侧柱子中黑色层表示薄纹层粘土, 右侧图中黑圈示底栖有孔虫、白圈示浮游有孔虫。左侧所示为火山灰年龄 (Ah, Oki, AT, Ym 及 Aso), 或为放射性碳测年。站位见图 1。据文献[2] 重绘

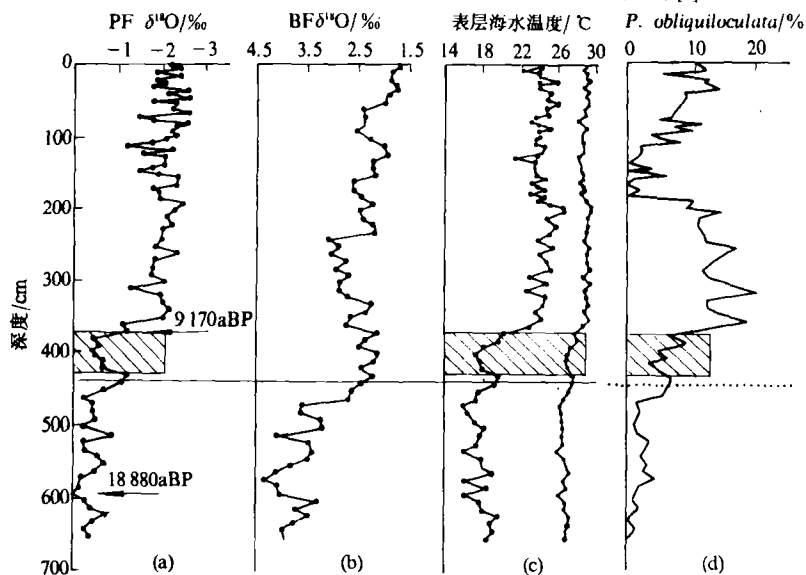


图 3 冲绳海槽 255 号柱状样的同位素微体古生物分析结果

据 Li 等(印刷中), 站位见图 1。(a) 浮游有孔虫 *G. sacculifer* 的氧同位素曲线; (b) 底栖有孔虫 *Cibicides wuellerstorfi* 的氧同位素曲线; (c) 根据转换函数 FP-12F 求得的古温度曲线 (左示冬季, 右示夏季); (d) *P. obliquiloculata* 在浮游有孔虫群中的百分含量, 指示冬季水温

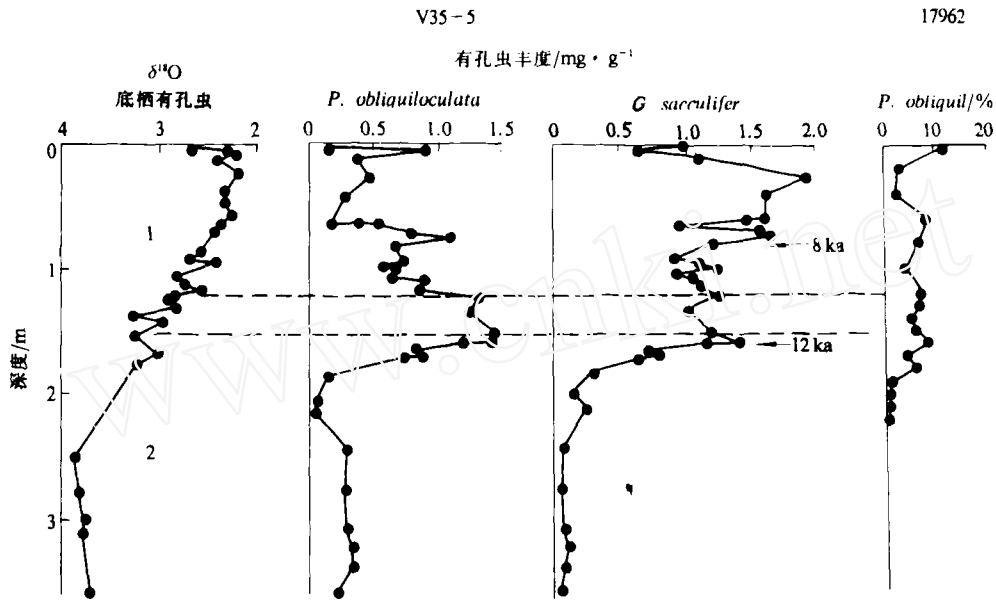


图 4 采自南海南部同一地点的两个沉积柱状样 V35-5 与 17962 中, 暖水浮游有孔虫丰度的垂向变化(站位见图 1)

两条虚线指示新仙女木事件的范围, 其降温信号不如南海北部明显. 柱状样 V35-5 中的有孔虫丰度按称重求得<sup>[9]</sup>(指每克沉积中该种有孔虫重量的毫克数), 而 17962 柱状样中 *P. obliquiloculata* 的百分含量系根据有孔虫个数求出

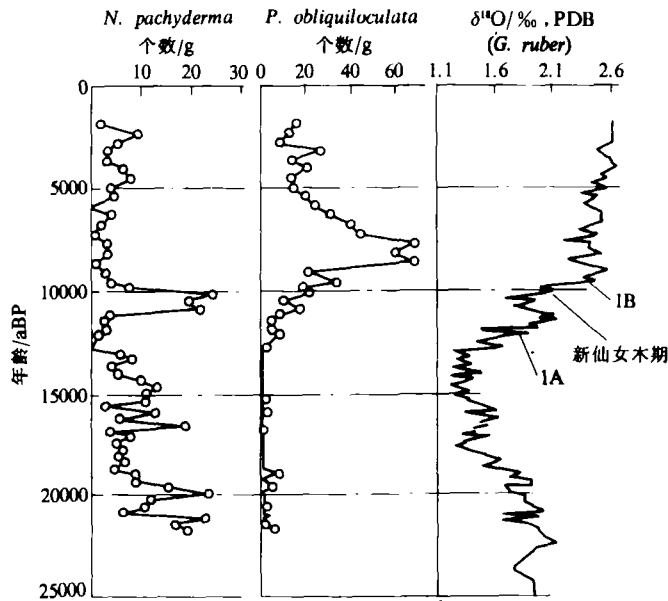


图 5 苏禄海 ODP 769A 孔岩芯的同位素和微体古生物分析结果

1A 与 1B 示新仙女木事件前后海平面快速上升事件. 注意 *N. pachyderma* (右旋) 种在新仙女木期的绝对丰度高, 可与末次冰消期相比, 而新仙女木期时的相对丰度较低, 因为像 *P. obliquiloculata* 之类的暖水种在新仙女木期时比末次盛冰期的丰度高得多. 站位见图 1. 据文献[9]重绘

## 2 新仙女木期的特征

在北大西洋, YD 是一次重大的降温事件和极锋南移, 将冰消期的转暖过程分为两期(终止期 1A 与 1A)。那么在西太平洋边缘海, YD 期的特征又是什么? 15 个柱状样(图 1, 表 1)的化石群与同位素分析, 可以从表层海水温度和盐度、海平面变化等 3 个方面来加以探讨。

### 2.1 表层水温

表层海水降温是 YD 的基本标志, 在上列各站均有发现, 还不清楚的是降温的幅度。有些作者认为只有过微不足道的波动<sup>[11]</sup>, 而有的却认为 YD 时海水表层返回到“可与盛冰期比拟”的条件<sup>[12]</sup>。近来本区广泛的古海洋学研究, 提供了仔细探讨 YD 期表层水温度条件的机会。

西太平洋区的大部分表层水的古温度, 是根据浮游有孔虫用转换函数 FP12-E(Thompson, 1981) 求得。中国海沉积柱状样的研究表明, 冰期和冰后期的表层水温反差主要在于冬季, 而夏季表层水温差别甚微。例如, 冲绳海槽中部和南部从冰期到全新世的表层水温度上升冬季为 6.8~9.9℃, 夏季为 2.0~3.5℃<sup>1)</sup>; 南海北部的 V36-3 站, 冬季反差 5.7℃, 夏季反差 2.1℃<sup>[8]</sup>。可见, 冰期表层海水降温主要在于冬季温度, 而夏季温度则变化不大, 其差值几乎在转换函数 FP12-E 测算古温度的误差范围以内。

YD 的降温同样如此, 主要见于冬季表层温度曲线。从东海以及南海北部的 5 个柱状样看来(表 2), YD 事件表现为冰消期转暖的中期冬季表层水温下降 1.5~3.3℃, 但水温并未回到盛冰期的状况。YD 期的冬季表层水温最低值仍比末次盛冰期高出 1.5℃到 3.5℃。应当指出, 转换函数测温法已经受到其他古温度测算法的挑战, 在热带海区尤为突出<sup>[13]</sup>。例如藻类生产的长链不饱和酮(<sup>37</sup>U<sub>k</sub>)就是另一种表层古海洋温度测算法。表 2 所列, 是两个沉积柱状样用 <sup>37</sup>U<sub>k</sub> 求取表层水温的结果, 其中 YD 期的表层水温下降仅 0.5℃, 而 YD 期与末次盛冰期的冬季温差仅 1~1.3℃, 远远小于转换函数法的估算值。两种方法的矛盾, 至少部分原因在于 <sup>37</sup>U<sub>k</sub> 法估算古温度并不区分冬季和夏季温度值。

表 2 西太平洋边缘海末次盛冰期, 新仙女木期与全新世最适期的表层水温变化

海区	地点 柱状样	表层水温		资料来源
		新仙女木期 新仙女木期回返 <sup>a)</sup>	新仙女木期 末次盛冰期温差	
据转换函数 FP-12E 求出的冬季水温				
日本	C-1	-2	2~4	见正文
岸外	C-2	-2	2~4	见正文
东	255	2.5	1.5	Li 等, 印刷中
	170	2	1.5	Li 等, 印刷中
海	253	3.3	3.5	Li 等, 印刷中
南	V36-3	2.7	3	王律江等, 1994
	17 962	1.5	3	新资料
SST 据 <sup>37</sup> U <sub>k</sub>				
南	SCS90-36	0.5	1	Huang 等, 印刷中
海	SO50-31KL	0.6	1.3	Huang 等, MS

a) “新仙女木期回返”指新仙女木期最低值与其前的终止期 1A 暖期值之间的差值

1) 见 453 页脚注

日本海迄未见有高分辨率古水温记录报道,本文采用了日本东海岸外两个柱状样的材料以展示西太平洋北部边缘的表层水温变化(表 2)。假如我们采用该区现代表层水温与浮游生物群属种组成之间的线状关系<sup>[4]</sup>,则 C-1 与 C-6 柱状样的 YD 期表层水降温只有大约 2℃,而 YD 最低值与全新世最高值之间的表层水温相差约 4℃。由于该区冰期与全新世表层水温的差别高达 6~8℃(Moore 等,1980),YD 期的表层水温应高于末次盛冰期 2~4℃(表 2)。Kallel 等(1988)和 Chinzei 等<sup>[4]</sup>在研究日本东岸外的柱状样时,将 YD 降温归因于极锋南移。

总之,西太平洋区的 YD 事件表现为冬季表层水温下降,但并未回到盛冰期的条件。浮游有孔虫冬季种 *P. obliquilaciniata* 对 YD 事件反应最为灵敏(见图 3,4),正是表示冬季水温下降。

## 2.2 海平面

另一个问题是 YD 降温是否伴有海平面变化的信号。Fairbanks(1989)用巴巴多斯放射碳测年的沉溺珊瑚礁,表明冰消期的海平面并非简单的上升,而有<sup>14</sup>C 年龄为 12 kaBP 和 9.5 kaBP 前后(或 13 070 aBP 和 10 445 aBP 日历年前后)两个快速上升期,及两者之间海面上升减缓的 YD 期<sup>[4]</sup>。因此,YD 期的降温与冰期不同,并无冰盖增长及其相应的氧同位素信号相伴。如果比较浮游有孔虫和底栖有孔虫的氧同位素曲线,YD 的位移只见于浮游有孔虫而不见于底栖有孔虫曲线(如南海 SCS90-36;日本海 KH-79-3,见图 2)。唯有的例外是苏禄海的 SO58-69KL 柱状样(表 1),在 *Bulimina* sp. 氧同位素曲线上也有反应<sup>[10]</sup>。虽然这一发现要求进一步研究取得解释,YD 事件并未引起全球冰盖增长是可以相信的。

可是,长江三角洲却发现了 YD 期海平面下降的信号。具体说,是在三角洲东端海岸钻孔中发现有一个含有孔虫的薄层,AMS<sup>14</sup>C 测年得 11 kaBP。在这海岸相沉积层之上的是海相的粉砂沉积,直到全新世海侵沉积开始为止;但这个含有孔虫薄层向陆地数公里后便行消失。相信长江三角洲这个海侵/海退历史,是全球海平面上升和沉积物堆积速率之间动态平衡的结果。YD 之前的短暂海侵相当于 Fairbanks<sup>[4]</sup>所说的第一海面快速上升期,而 YD 期的短暂“视海退”现象其实是沉积物堆积速率超过海平面上升速率所致,因为 YD 时海面回升减慢。由于全新世海侵到达中国东部的沿海平原为时较晚,YD 的信号只见于局部地点。

另一个海平面的信号见于日本海。末次盛冰期时日本海沉积薄纹层粘土,因为冰期低海面时日本海几近封闭;但这种薄纹层粘土在 10 800 aBP 时卷土重来,见于柱状样 KH-79-3<sup>[2]</sup>(图 2)。这可能又是意味着 YD 时全球海平面回升中断引起“视海退”,使日本海重返某种封闭环境,正如日本沿岸研究所见那样<sup>[4]</sup>。

## 2.3 盐度

西太平洋边缘海在 YD 降温期,表层海水的盐度有无变化?这是又一个有趣而有争议的问题。边缘海由于毗邻陆地,对盐度变化最为敏感,但是从同位素数据中如何提取古盐度信息到今仍然困难,从而为争议与猜测留下了余地。Fairbanks<sup>[4]</sup>根据巴巴多斯资料发现全球冰盖与海面变化产生的全新世与末次盛冰期间氧同位素差  $\Delta\delta^{18}\text{O}$  为 1.3‰;假如只考虑冰盖体积的效应,YD 发生时大洋海水的  $\delta^{18}\text{O}$  应较今重 0.6‰。任何偏离全球信号的差值,就应当是地方性或者区域性因素引起,如表层海水温度或者盐度。例如 Kurdrass 等<sup>[10]</sup>把 SO49-82KL 柱状样中 YD 时的  $\delta^{18}\text{O}$  差值(指当地值与全球值之间的差别)0.9‰ 全部归因于表层水温,估算

出苏禄海表层降温 3℃。然而,同样是苏禄海的另一个站位 ODP769A 井中 YD 期发生  $\delta^{18}\text{O}$  0.4‰ 的偏移,却被 Linsley 和 Thunell 归因于盐度信号,认为表层海水在 YD 前盐度低 1‰<sup>[9]</sup>。这种看法十分符合 12 ka 与 9.5 ka 前有两次融冰脉冲的冰消期模式<sup>[14]</sup>,使得 YD 事件前后各有一个海面迅速上升期。

南海也应当发生过类似的盐度变化,至少在南海进行过高分辨率研究的北部海区。柱状样 SCS90-36 便是一例,YD 时  $\delta^{18}\text{O}$  发生 0.5‰ 的回返,但只见于表层水种 *G. sacculifer*,却不见于较深水的浮游种 *Globorotalia menardii*,更不见于底栖种。这是盐度变化的可信证据:大约 12 kaBP 前的强烈淡水注入使南海北部氧同位素值大为变轻,YD 事件时淡水注入减少使得表层海水盐度上升并使氧同位素值变重。可是所有这种种变化都发生在表层水中,只有浅层水种能够记录,而不反映在次表层水中生活的较深水种身上。

前述日本海在末次盛冰期和 YD 时沉积的薄纹层粘土,也与盐度变化相关。这种粘土是当日本海几乎封闭时表层海水淡化、水体分层明显,在海底强烈缺氧的条件下堆积起来的<sup>[2]</sup>。如果此说不谬,日本海 YD 期时的表层海水应当盐度偏低。另外一种盐度效应是 Keigwin 和 Gorbarenko 在研究联通日本海与太平洋的津轻海峡一个站位时提出来的<sup>[11]</sup>,该柱状样 CH84-14 中 YD 期  $\delta^{18}\text{O}$  的偏移(又是只见于浮游有孔虫而不见于底栖有孔虫曲线)被 Kallel 等(1988)解释为表层海水温度的下降,但 Keigwin 和 Gorbarenko 却认为 YD 之前的  $\delta^{18}\text{O}$  较轻值是 12 kaBP 前海面突然上升,表层冰淡水从日本海泄入太平洋所致<sup>[11]</sup>。

总之,西太平洋边缘海的 YD 降温同时伴有表层水的盐度变化发生,但是要求作大量工作才可能分辨出  $\delta^{18}\text{O}$  信号中的表层水温与盐度信息。

### 3 新仙女木事件的起因

关于 YD 事件的起因已经海有许多文章加以讨论,现在西太平洋边缘海的记录有助于对其起因取得进一步的认识。看来对 YD 的解释有两种相反的观点最为重要。按照 Broecker 等<sup>[13]</sup>的看法,YD 是由北大西洋融冰排出所触发,向类似于冰期环境回返的短暂事件,是局限于北大西洋的区域性事件。相反,Fairbanks<sup>[14]</sup>把 YD 看成是两大融冰事件之间的一个海面回升减慢期。上述西太平洋的 YD 证据和盐度、海平面信号,都清楚地支持 Fairbanks 的假说。

另一个问题是与 YD 相关的大气环流的可能变化。由于东亚季风系统是本区最显著的气候特征,查明 YD 期季风环流的变化至关重要。An 等提出 YD 期中国夏季风增强,使黄土高原的成壤作用加剧<sup>[12]</sup>。为了解释这种看法,他们认为西太平洋在 YD 时的海洋条件“与盛冰期可以比拟”,海洋的降温使夏季风加强从而增加携往内陆的水份。可惜西太平洋边缘海的海洋记录未能支持此项假设。如上所述,YD 时海水冬季表层温度较末次盛冰期高出 1.5 ~ 3.5℃,而夏季表层水温在 YD 时的变化十分微弱。因此,难以想像有夏季海水的降温足以使夏季风强化。相反,有证据表明本区 YD 时夏季风减弱、冬季风加强,比如注入边缘海的淡水减少,和冬季而非夏季水温的明显下降。

### 4 结论

(1)日本海、东海、南海和苏禄海等海区至少已有 15 个沉积柱状样记录了新仙女木事件,说明是西太平洋边缘海的共有现象。



(2) 根据上述柱状样的分析结果看, 西太平洋边缘海的新仙女木期降温主要涉及冬季表层水温下降  $1.5 \sim 3.3^{\circ}\text{C}$ , 而夏季水温在新仙女木期时变化微弱。冬季水温虽已下降, 仍较末次盛冰期高出大约  $1.5 \sim 3.5^{\circ}\text{C}$ 。

(3) 长江口和日本海新仙女木期“视海退”的记录, 支持了将新仙女木期解释为两大融冰事件引起两次海面快速上升之间一个减缓期的观点。

(4) 本区记录的  $\delta^{18}\text{O}$  值在新仙女木期的位移含有盐度信息。 $\delta^{18}\text{O}$  位移只见于浮游有孔虫浅层种, 说明新仙女木期表层水盐度较其前的时期为高。

(5) 西太平洋边缘海在新仙女木期的表层水温度下降和盐度上升, 有力地表明是冬季风而不是夏季风加强。

### 参 考 文 献

- 1 Mayewski P A. The Younger Dryas as viewed through the Summit Greenland ice cores. *PAGES*, 1995, 3(1): 5 ~ 6
- 2 Oba T, Kato M, Kitazato H *et al.* Paleoenvironmental changes in the Japan Sea during the last 85 000 years. *paleoceanography*, 1991, 6: 499 ~ 518
- 3 Kaizuka S, Naruse Y, Matsuda I. Recent Formations and their basal. topography in and around Tokyo Bay, central Japan. *Quaternary Research*, 1977, 8: 32 ~ 50
- 4 Chinzei K, Fujioka K, Kitazato H *et al.* Postglacial environmental change of the Pacific Ocean off the coasts of central Japan. *Marine Micropaleontology*, 1987, 11: 273 ~ 291
- 5 Broecker W S, Andree M, Klas M *et al.* New evidence from the South China Sea for an abrupt termination of the last glacial period. *Nature*, 1988, 333: 156 ~ 158
- 6 Sarinthein M, Pflaumann U, Wang P X *et al.* Preliminary Report on SONNE-95 Cruise "Monitor Monsoon" to the South China Sea. Kiel: Reports, Geol-Palaoni Inst Univ Kiel, 1994, 68: 1 ~ 24
- 7 王津江, 卞云华, 汪品先. 南海北部末次冰消期及快速气候回返事件. *第四纪研究*, 1994, (1): 1 ~ 12
- 8 Wang P X, Wang L J, Bian Y H *et al.* Late Quaternary paleoceanography of the South China Sea: surface circulation and carbonate cycles. *Marine Geology*, 1995, 127: 145 ~ 165
- 9 Linsley B K, Thunell R C. The record of deglaciation in the Sulu Sea: evidence for the Younger Dryas event in the tropical Western Pacific. *Paleoceanography*, 1990, 5: 1 025 ~ 1 039
- 10 Kudrass H R, Erlenkeuser H, Vollbrecht R *et al.* Global nature of the Younger Dryas cooling event inferred from oxygen isotope data from Sulu Sea cores. *Nature*, 1991, 349: 406 ~ 408
- 11 Keigwin L D, Gorbarenko S A. Sea level, surface salinity of the Japan Sea, and the Younger Dryas event in the northwestern Pacific Ocean. *Quaternary Research*, 1992, 37: 346 ~ 360
- 12 An Z S, Porter S, Zhou W J *et al.* Episode of strengthened summer monsoon climate of Younger Dryas age on the Loess Plateau of Central China. *Quaternary Research*, 1993, 39: 45 ~ 54
- 13 Anderson D M, Webb R S. Ice-age tropics revisited. *Nature*, 1994, 367: 23 ~ 24
- 14 Fairbanks R G. A 17 000-year glacio-eustatic sea level record: Influence of glacial melting rates on the Younger Dryas event and deep-ocean circulation. *Nature*, 1989, 342: 637 ~ 642
- 15 Broecker W S, Andree M, Wolfli W *et al.* The chronology of the last deglaciation: implications to the cause of the Younger Dryas event. *Paleoceanography*, 1988, 3: 1 ~ 19