

TOGA-COARE IOP 时期大尺度流场的分析*

丁汇

(国家气候中心, 北京, 100081)

摘 要

根据 TOGA-COARE IOP 时期(1992 年 11 月—1993 年 2 月)包含加密观测的四维同化的高空格点资料, 分析了这一时期热带太平洋风场的大尺度特征, 发现 500 hPa 以下, 在中东太平洋频繁出现大范围稳定的强西风, 高层出现明显的东风; 低层强西风高频出现区或爆发区逐月向东传播, 在观测结束时, 西风到达了中东太平洋地区; 相应的正常冬季东亚-西太平洋局地哈得莱环流被破坏, 热带太平洋的沃克(Walker)环流明显地向东太平洋地区移动。所有这些环流的异常特征表明, TOGA-COARE IOP 时期正处于一次 El Niño 事件的发展时期。

关键词: 热带海洋全球大气-耦合海洋大气响应试验, 西风爆发, 沃克环流。

1 引 言

1992 年 11 月—1993 年 2 月是 TOGA-COARE(热带海洋全球大气/耦合海洋大气响应试验)的加强观测期(IOP)。COARE 的观测区位于热带中西太平洋, 即 10 S—10 N, 140 E—180 区域。从海洋学的观点看, 这个地区全年都位于暖池区; 从大气环流场看, COARE 试验区一般位于太平洋偏东信风盛行区^[1], 但是比较稳定的偏东信风经常在这个地区为西风的侵入或西风爆发所中断。Nakazawa 等人的研究指出^[2,3], 西风爆发是随超级云团的东移而出现的, 它与 El Niño 事件的触发密切相关。根据最近 Ding 和 Sumi 的研究^[4], TOGA-COARE IOP 期间的大尺度大气条件十分类似于赤道太平洋暖事件的发展过程, 例如在中西太平洋经常出现低层西风或西风爆发; 一般位于海洋大陆的对流中心和大气热源中心向东移动, 接近日界线; 30~60 d 低频振荡连续地从印度洋向东传播到中东太平洋。丁一汇和李清泉^[5]进一步指出, 在这一次 El Niño 事件发生之前和期间(1992 年 11 月—1993 年 10 月)中西太平洋共经历了 7 次强西风爆发和 6 次强对流活动, 5 次低频振荡, 其频数明显地多于前后非增温期。本文是文献[4]工作的一个延伸, 试图从风场的平均状态和统计方面说明大尺度风场对这次赤道东太平洋增暖事件发展的响应。过去, 不少研究者曾从统计方面研究了热带西太平洋西风的出现频率^[6,7], 并且指出了它们与 El Niño 事件发生的可能联系, 因而后面的分析将进一步有助于人们更好的了解西

* 初稿时间: 1996 年 8 月 2 日; 修改稿时间: 1997 年 4 月 23 日。

风爆发的作用及在此背景下 El Niño 事件的形成过程。

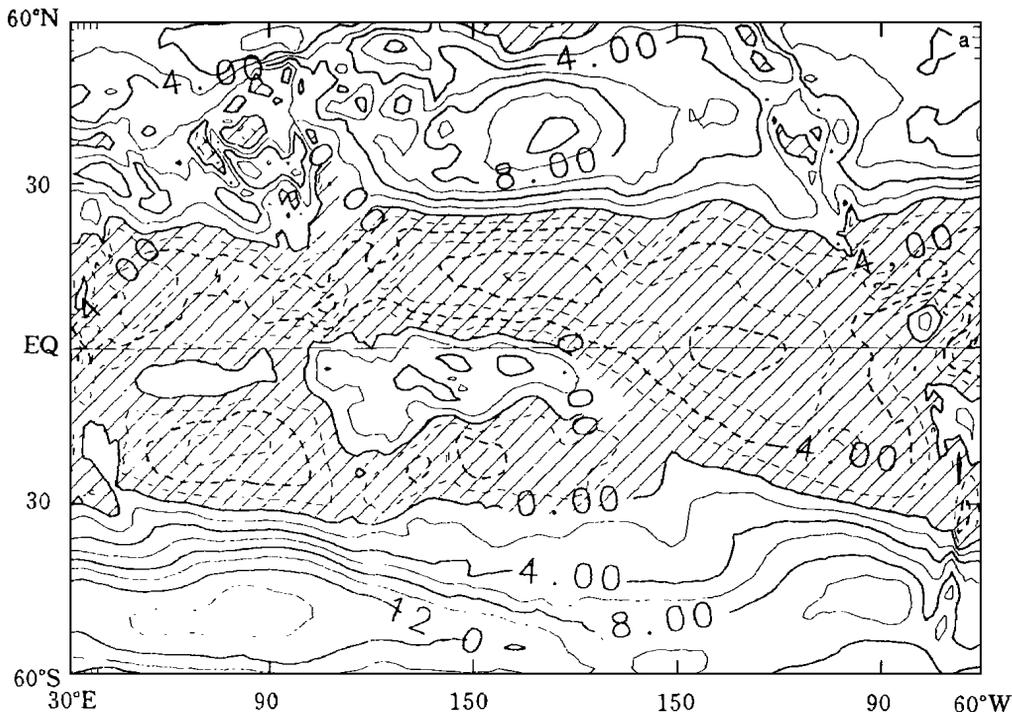
2 资料

研究所用的资料是日本气象厅一天两次(00 和 12GMT) 的客观分析格点资料(GANAL/JMA), 水平分辨率是 1.875 经度/纬度, 该资料集同化了 TOGA-COARE IOP 时期特别的观测资料, 例如加密的探空资料(如 Manus(94044) 和 Kavieng(94076) 站) 和 5 条研究船的探空观测资料(中国向阳红 5 号, 实验 3 号, 科学 1 号, 日本的 Kaifu 和 Hakuho 海洋研究船)。这些观测点的位置在 10°S — 10°N , 140°E 区域, 因而大大提高了中西热带太平洋高空分析的精度。

垂直速度($\omega = dp/dt$) 的计算是采用 O'Brien 的订正方案^[8]。

3 平均流场分析

图 1a 是 IOP 时期 850 hPa 平均纬向风分量分布图, 一个明显的特征是在 30°N 到 30°S 大范围东风区中在中西热带太平洋地区出现相当范围的西风^[4], 较强的西风区主要位于赤道以南。在赤道印度洋地区也有弱西风出现, 西风向东一直扩展到日界线以东地区。以前的研究表明(图略), 低层风场的这种特征常常出现在 El Niño 事件之前和期间。850 hPa 经向风分量图 1b 表明, 在热带中西太平洋地区盛行北风, TOGA-COARE 试验区基本上为北风控制, 北风风速的最大值位于南海地区, 这与冬季东亚的冷涌发展密切相关。另一北风大值中心位于菲律宾以东洋面, 这也与东亚冷涌的侵入有关。再向东, 北风分量



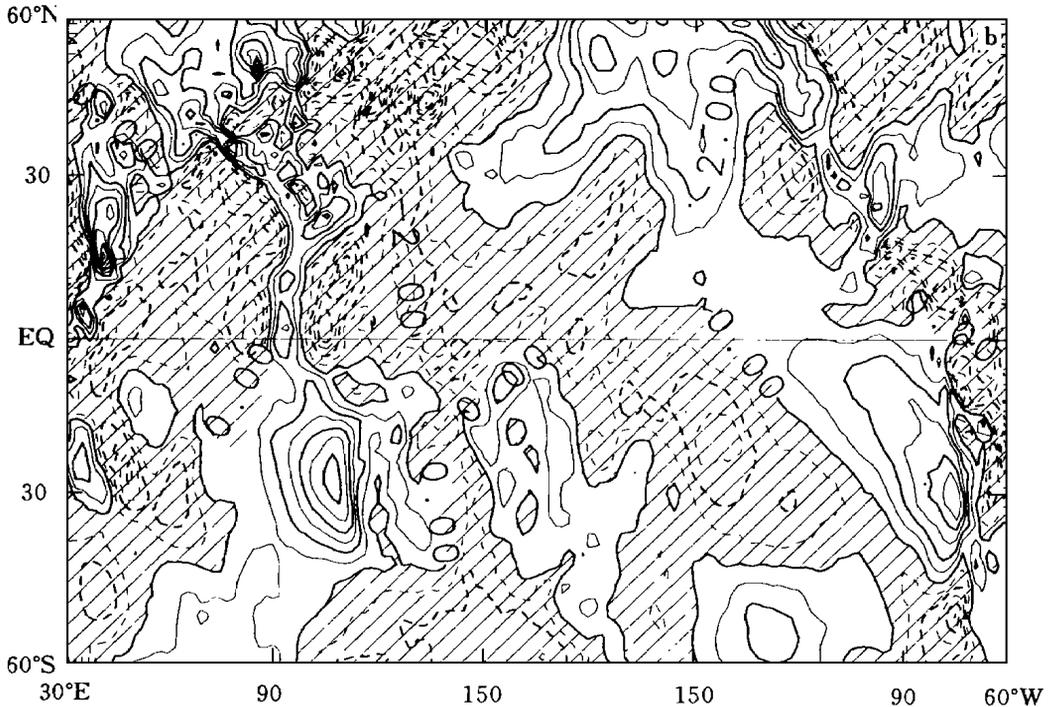


图1 TOGA-COARE IOP 时期 850 hPa 平均纬向风和经向风分布
(a. 纬向风; b. 经向风。实线: 西风或南风; 虚线: 东风或北风; 等值线间隔: 2 m/s)

主要由北太平洋信风造成。大范围的北风越过赤道, 在近赤道地区与南半球南风辐合, 这个辐合位置相当于南半球的辐合带 (SPCZ) 所在。它的位置十分接近赤道, 这也常常是 El Niño 出现前的一个征兆 (即 SPCZ 移近赤道)。200 hPa 高空纬向风的分布有一个明显的特点 (图 2a), 即从赤道印度洋到中太平洋出现明显的东风^[4]。在正常情况下, 中西赤道太平洋 200 hPa 上空盛行西风, 这种异常的条件出现与低层大范围西风的的存在表明, 在 TOGA-COARE IOP 时期, 大气风场偏离了正常条件, 正向 El Niño 事件的环流特征发展。在东太平洋 200 hPa 为西风, 因而, 从纬向风场看, 在 155°W 附近存在着高空风场的辐散。从图 1 可知, 这里也是太平洋低层偏东信风与西风的纬向辐合区, 因而可以推断, 在赤道 155°W 附近存在着明显的上升运动, 这使 Walker 环流的上升支移到了这里, 明显偏离了其在西太平洋印尼地区的正常位置。Walker 环流上升支的东移是 El Niño 形成期间的一个显著现象, 不少研究揭示出, 在 El Niño 发展和形成期赤道太平洋地区的 Walker 环流反向, 甚至形成反 Walker 环流。这点在后面将专门讨论。

200 hPa 经向风分量图 2b 表明, 在热带中西太平洋对流层上部盛行南风, 这与低层的北风正好相反。其中, 在南海北部到东亚沿岸地区, 有很强的南风区, 这对应于冬季东亚—西太平洋的局地哈得莱环流的高空回流支, 但其位置明显偏北 (参看图 7a)。

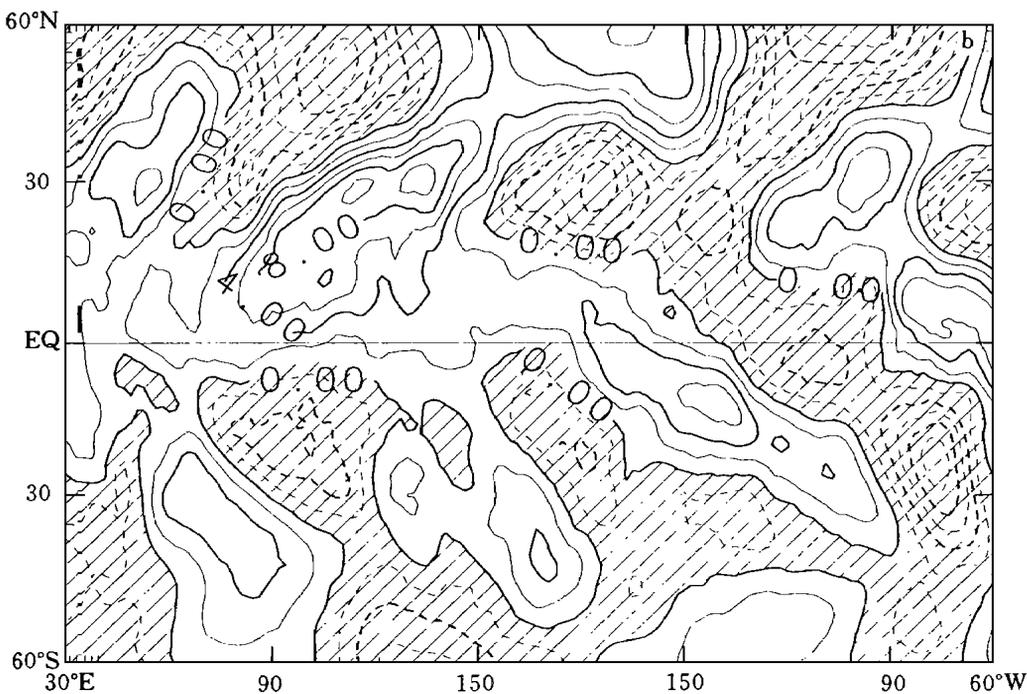
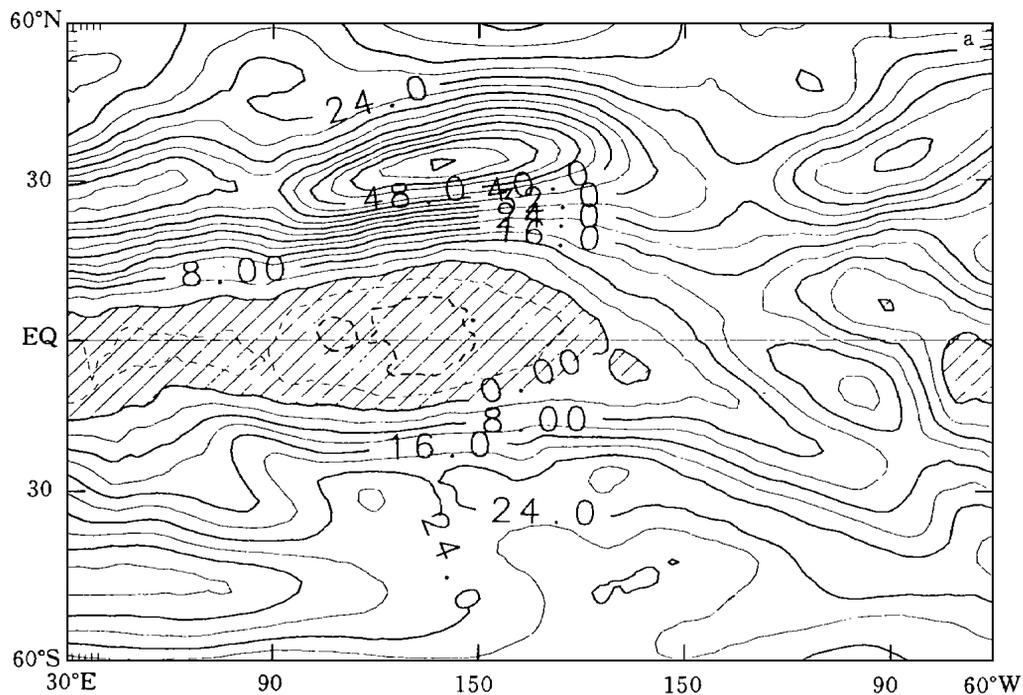


图2 TOGA-COARE IOP 时期 200 hPa 平均纬向风和经向风分布
(a. 纬向风; b. 经向风。实线: 西风或南风; 虚线: 东风或北风; 等值线间隔: 4 m/s)

4 西风出现的频率分布

上一节已清楚地指出, 热带中西太平洋低层西风和高层东风的出现是 TOGA-COARE IOP 时期的基本风场特征, 这不但改变了该地区基本流场的结构^[1], 而且也改变了 Walker 环流的状态(见下节)。本节将重点对低层西风出现的频率进行统计分析。

图 3 是整个 TOGA-COARE IOP 时期 850 hPa 西风出现频率的分布。可以看到, 西风经常出现的地区是从印尼的苏门答腊向东一直延伸到 165°W (40% 的频率线包围地区), 这不同于北半球冬季正常的情况, 即西风主要出现在 140°E 以西的西太平洋地区。西风最经常出现的地区(见图 3 中 60% 以上地区)是位于 105°~170°E 地区, 且主要偏于南半球, 西风向南可以到达 15°S 左右(见 40% 频率等值线)。如前所述, 赤道中西太平洋明显的低层西风的出现是赤道东太平洋暖事件发生的一个征兆。图 4(a-d) 给出了月平均西风大于 4 m/s 出现频率的统计分布。可以看到, 随着时间的推移, 高频的强西风出现区也不断向东扩展, 以 40% 频率线为准, 1992 年 11 月东端扩展到 160°E 附近, 到 12 月迅速地扩展到 175°E, 向西也从 130°E 扩展到 120°E, 并且强西风区的主体由北半球移到南半球。1993 年 1 月份, 虽然高频的强西风发生区范围有所缩小, 但西风仍在中东太平洋经常出现, 值得注意的是, 30% 频率线的范围向东一直可扩展到 165°W。到 1993 年 2 月份, 强西风出现的频率又迅速增加, 40% 频率等值线向东扩展到 155°W, 并且在西太平洋大部分地区出现 80% 以上的西风频率。在 TOGA-COARE IOP 的观测区, 强西风的出现频率也

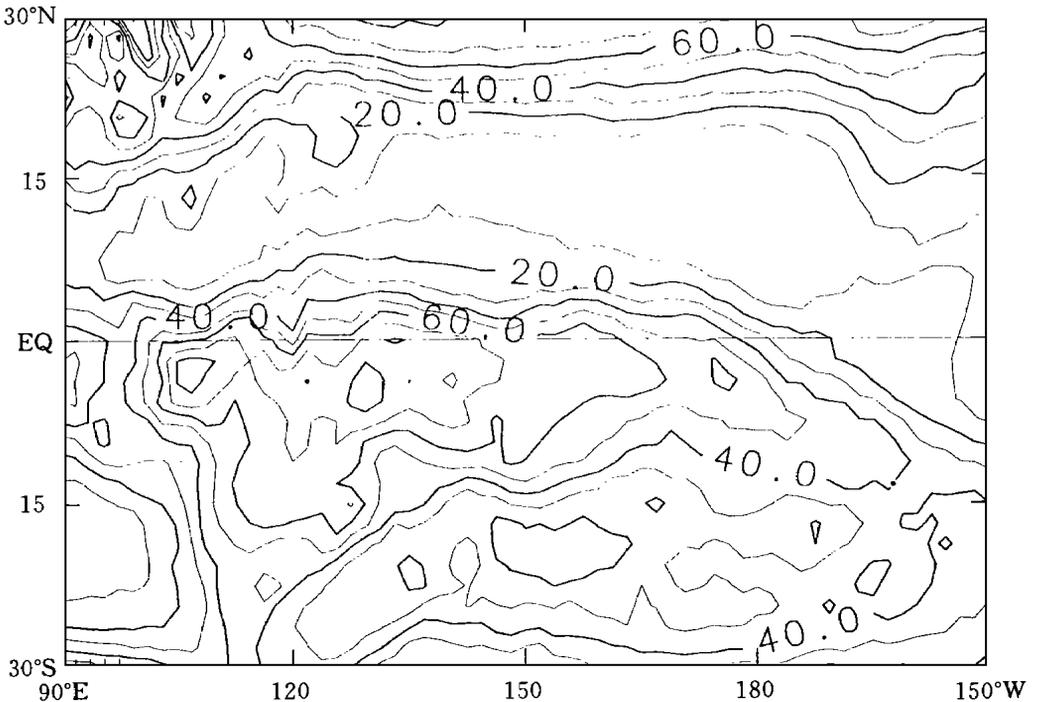
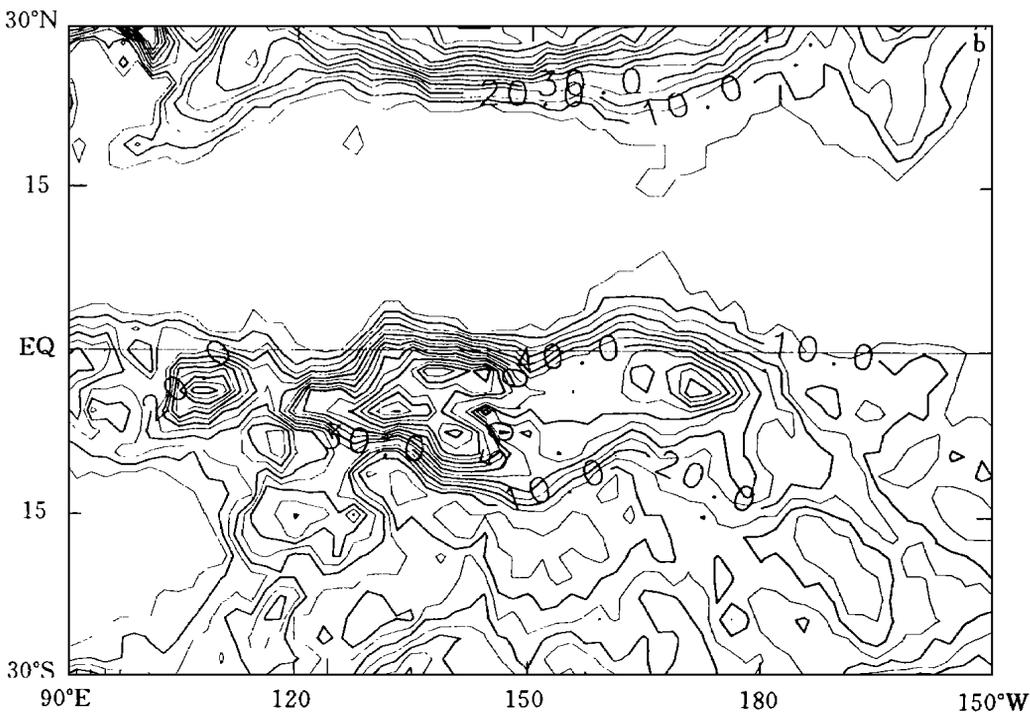
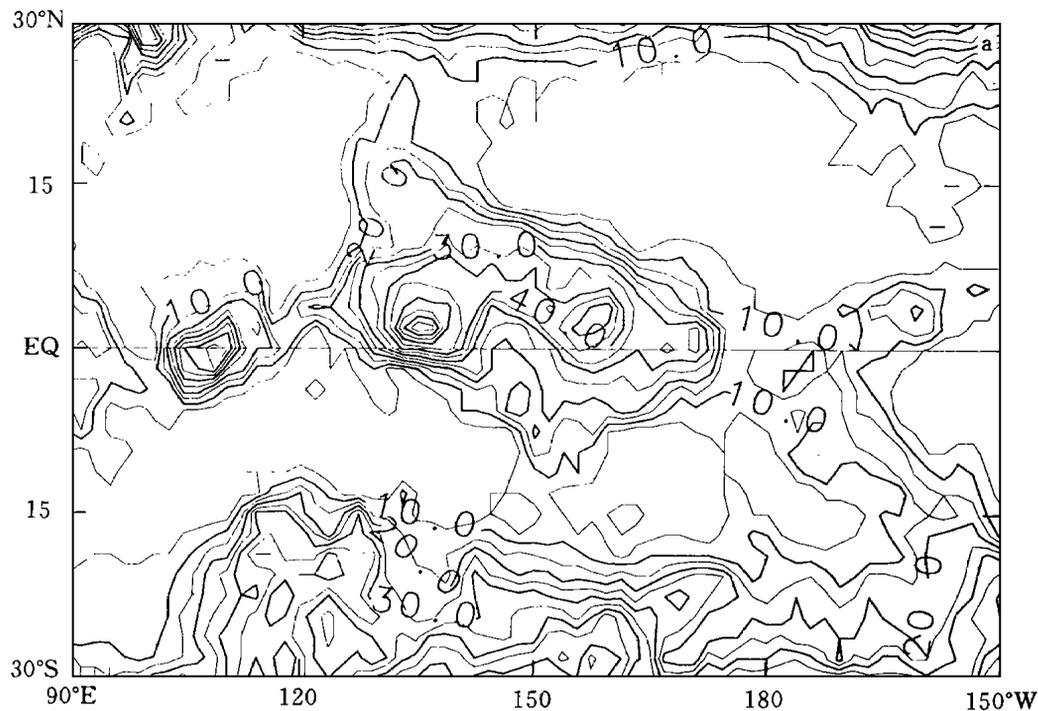


图 3 TOGA-COARE IOP 时期 850 hPa 西风频率(%)分布图
(等值线间隔 10%)

十分高。这表明: 整个西太平洋低层盛行相当稳定的强西风, 这对于触发和维持 El Niño 事件起着十分重要的作用。到 3 月份, 日本的气候监测公报正式发布出现了一次较弱的 El Niño 事件(1993 年 5 月 SST 最大增温达 1), 这次 El Niño 事件延续到了 1993 年春、



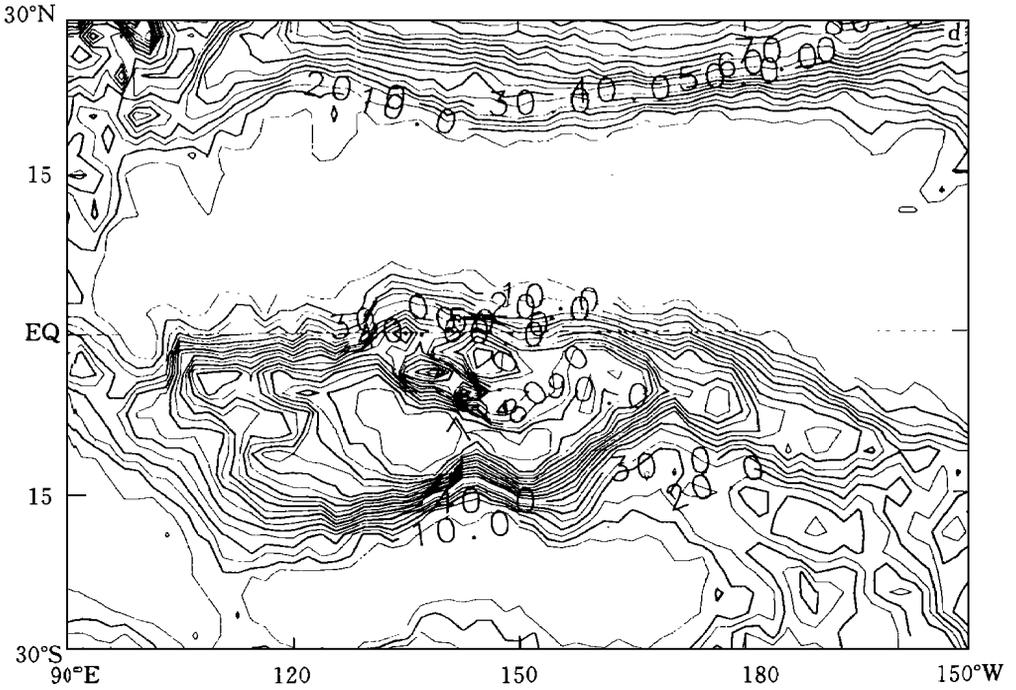
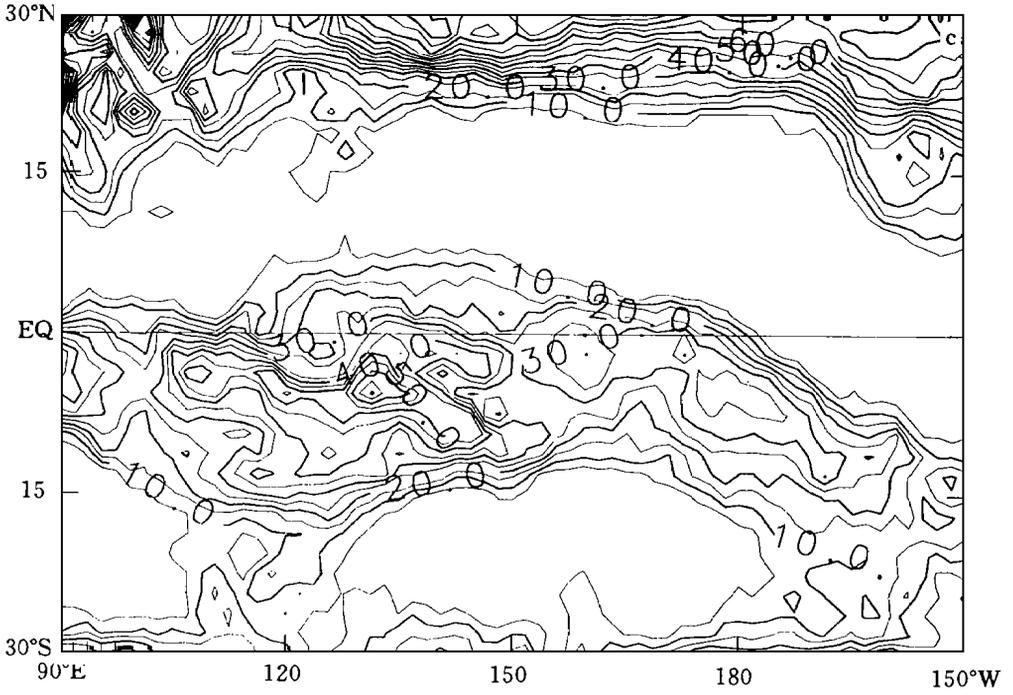


图4 TOGA-COARE IOP时期逐月大于 4 m/s 西风出现频率(%)分布图
(a. 1992年11月; b. 1992年12月; c. 1993年1月; d. 1993年2月。等值线间隔5%)

夏两季,到秋季逐步减弱。

图 5 是 1993 年 2 月 850 hPa 月平均流场图,作为一个例子,说明该月平均的低层流场状况。从图中可以看到:赤道以南,西风至少从 120°E 向东扩展到 150°W(图中阴影区),在赤道中西太平洋,有很强的偏西风;在南半球 15°S 附近有两个明显的平均气旋性涡旋,这反映了澳大利亚台风季节时期东北侧 ITCZ 中热带气旋或低压的活动情况,它的发生对于近赤道西风区的出现和维持起着十分重要的作用。Gao, Wang 和 Ding^[9]曾指出,南北半球近赤道热带气旋的发生是赤道西风出现或爆发的一个重要原因。根据他们的统计,至少 60% 的 El Niño 事件发生前,都观测到近赤道地区热带气旋的频繁出现。

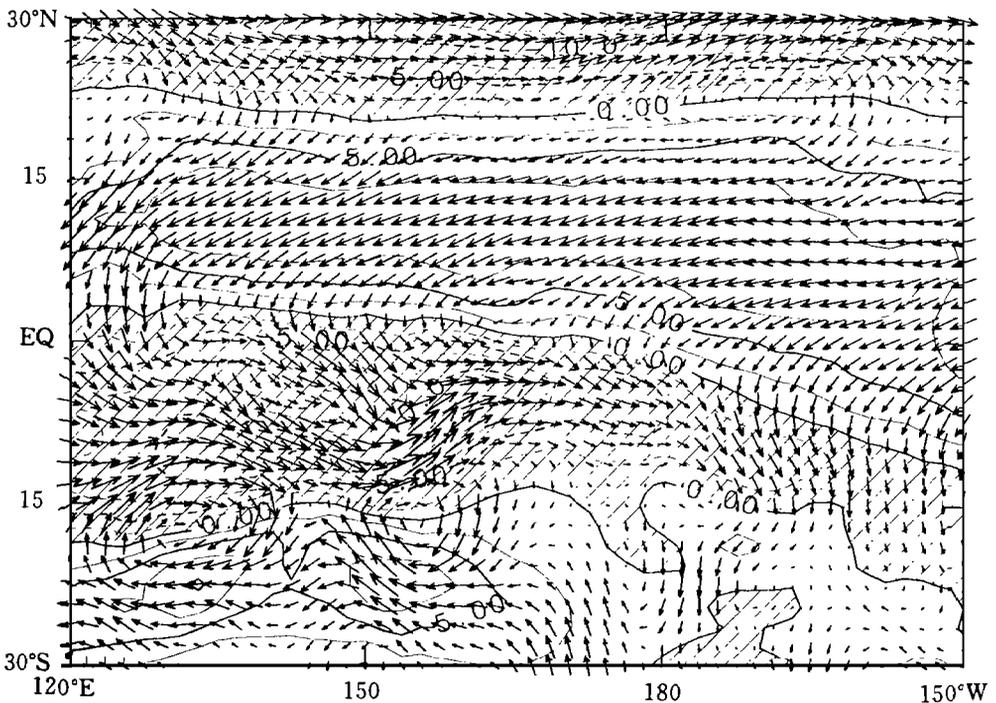


图 5 1993 年 850 hPa 平均流场。

(虚线为西风,实线为东风,等风速线间隔: 2.5 m/s,阴影区为西风区)

图 6 是 TOGA-COARE IOP 时期平均的通过 120°E 和试验区(140°E—180°平均)的纬向风经向剖面图,我们希望以此图说明近赤道西风的垂直伸展情况。在 120°E 经度(图 6a),西风的高度到达 500 hPa,它是嵌在深厚的热带东风带之中,在近地面,西风带经向有 30 个纬度的宽度,主要偏于南半球。北半球冬季中纬度西风急流很明显,中心最大风速在 52 m/s 以上。到 TOGA-COARE IOP 试验区,基本情况与 120°E 的条件相似,但近赤道西风区的经向范围变窄(15 纬度宽),并且西风向上仍伸展到 500 hPa 高度,与南半球高空西风相汇合。由上面分析可见,在这次 El Niño 事件的发展期,在近赤道中西太平洋有一支较深厚的稳定西风出现,这种风场的异常条件是 El Niño 事件发生的一个前提。目前,这支较深厚近赤道西风的来源还不十分清楚。

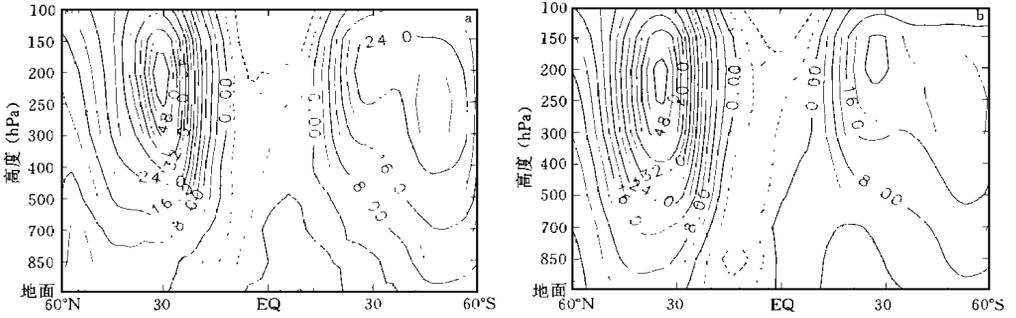
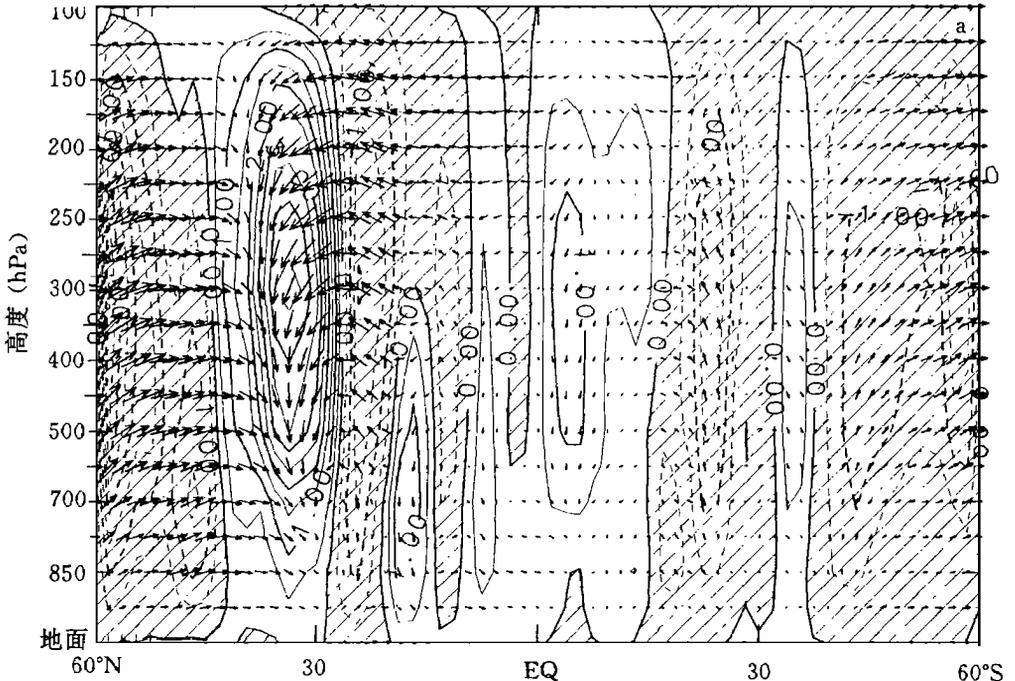


图 6 TOGA-COARE IOP 时期平均的纬向风径向剖面图
 (a. 沿 120 E; b. 140 E—180 经度区平均。实线代表西风,
 虚线代表东风, 等风速线间隔为 4 m/s, 阴影区代表东风区)

5 哈得莱(Hadley)环流和沃克(Walker)环流的变异

图 7a 是沿 120 E 的 Hadley 环流。一般在这个经度上冬季经常出现正常的局地 Hadley 环流圈, 即气流由海洋大陆地区上升, 流向北, 到 30 N 附近下沉, 以后再转变成北风(相应于冷涌)流向赤道地区^[10]。但在 TOGA-COARE IOP 时期, 上述正常的 Hadley 环流似乎被破坏, 在近赤道地区盛行弱的下沉气流, 而在 15~30 N (或 15~30 S) 盛行上升气流, 这与北半球冬季一般位于海洋大陆地区的上升运动和活跃对流区明显东移到中太平洋地区密切相关, 代之, 现在这个地区是下沉气流区。因而 Hadley 环流似乎与正常情



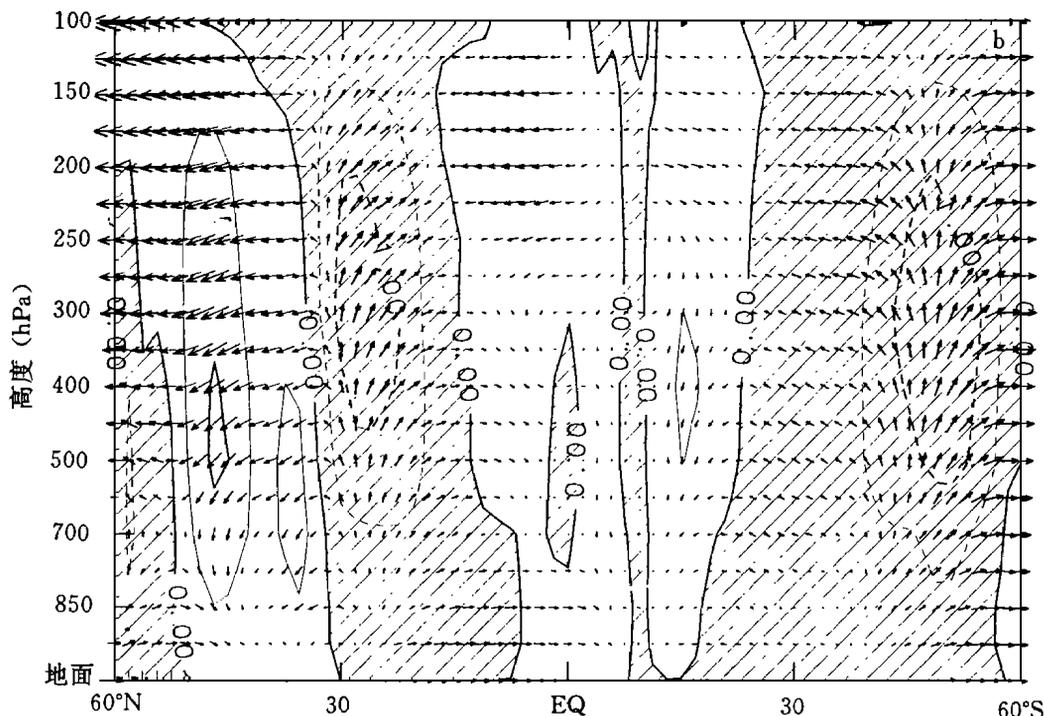


图 7 TOGA-COARE IOP 时期平均的 Hadley 环流圈

(a. 沿 120°E; b. 140°E—180° 平均。风矢量由 v 和 ω 合成, 比例尺见图右方。虚线为上升运动等值线, 实线为下沉运动等值线, 阴影区为上升运动区, ω 单位为 0.5 hPa/s)

况反向。由图 7a, 也可以认为 Hadley 型的环流圈向北移动了 20 个纬度。在试验区 ($140^\circ\text{E}—180^\circ$) (图 7b) 情况比较复杂, 近赤道区虽然出现狭窄的上升运动, 但北半球主要上升运动区位于 $10^\circ\text{N}—30^\circ\text{N}$, 而在试验区的大部分地区为下沉运动。根据 OLR 和 T_{BB} 场的分析 (图略), 这个时期对流活动的主要中心已移到 $180^\circ—150^\circ\text{W}$ 地区, 并不在试验区范围内。

十分有意思的是 Walker 环流的明显东移 (图 8), 可以看到上升支主要位于 $180^\circ—140^\circ\text{W}$ 地区, 下沉区位于印度洋到西太平洋的大范围地区, 这种状况与正常的 Walker 环流有明显区别, 在上升支气流以东, 高空气流流向东, 到达 90°W 附近, 然后下沉, 形成另一支纬向环流圈。Walker 环流的这种异常纬向移动完全代表了 El Niño 事件时期的特征。陈烈庭过去曾用简单的计算方法, 得到了类似结果^[11], 后来丁一汇和 Reiter 进一步计算和讨论了这种 Walker 环流圈沿赤道区的纬向变化^[12]。

6 结 论

根据 TOGA-COARE IOP 时期大尺度风场的分析, 得到以下主要结果:

(1) 在中西热带太平洋低层出现明显的西风, 西风从印尼向东一直可以扩展到日界线以东, 在高空则出现明显的东风, 这种风场的分布表明, 在 IOP 时期, 热带太平洋出现了大范围的风场异常, 具有 El Niño 事件时期的风场分布。

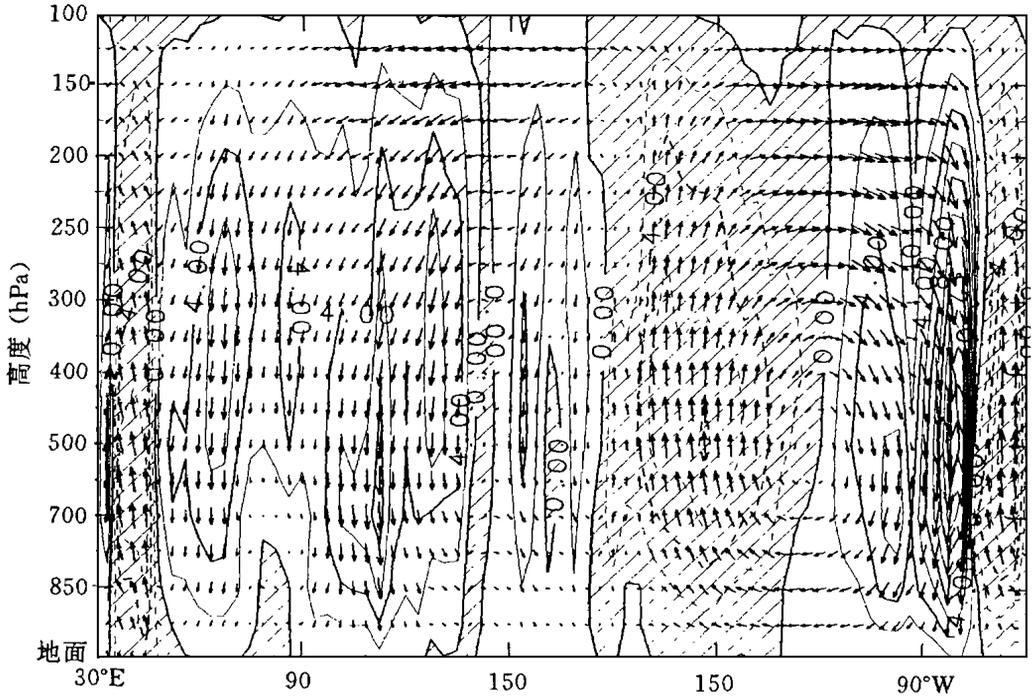


图8 TOGA-COARE IOP 时期平均的 Walker 环流圈

(ω 的等值线间隔为 2 hPa/s)

(2) 低层西风出现频率的统计表明,从苏门答腊到 165°W 的近赤道地区是一条高频的西风发生或爆发区,从 1992 年 11 月开始强西风频繁地出现在 160°E 以西地区,以后其东界逐月向东扩展,到 1993 年 2 月,西风扩展到 155°W 附近,即在中东太平洋也出现了西风,这种大范围稳定的近赤道强西风的出现是 El Niño 事件发生和维持的一个基本条件。高频西风区主要偏于南半球,在一定程度上这与澳大利亚东北海域经常出现的热带气旋或热带低压有关。

(3) 近赤道西风向上伸展到 500~400 hPa 之间,是对流层中低层的现象,其经向范围向东逐渐缩小,在 120°E,可达 30 纬距,到 TOGA-COARE 试验区缩小为 15 个纬距。

(4) 由于热带基本风场出现了异常,导致 Hadley 环流和 Walker 环流出现了相应的异常,东亚到西太平洋冬季正常类型的局地哈得莱环流几乎反向,副热带地区为上升区,而海洋大陆为下沉区,这与强上升运动和对流中心的明显东移密切相关。正常的 Walker 环流也发生了明显的东移,范围缩小,上升运动中心位于 160~150°W 经度,而在西太平洋到印度洋地区以及中美洲到加勒比海地区出现下沉运动。

上述各种风场的异常特征都表明,一次 El Niño 事件在 TOGA-COARE IOP 时期正处于明显的发展时期,直到 1993 年 4~5 月达到盛时,本研究清楚地显示出强西风大范围的连续出现或爆发是 El Niño 事件发生的关键前提条件,至于强西风出现与爆发的原因目前正在研究中。

参考文献

- 1 Barnett T P. Interaction of the monsoon and Pacific trade system at interannual time scale, part 1: the equatorial zone. *Mon Wea Rev*, 1983, 111: 281 ~ 292
- 2 Nakazawa T. Tropical super cloud clusters with in intraseasonal variations over the western Pacific. *J Meteor Soc Japan*, 1988, 66: 823 ~ 839
- 3 Lau K-M, Peng L, Sui C H and Nakazawa T. Dynamics of super cloud clusters, westerly wind bursts, 30 ~ 60 oscillations and ENSO: An unified view. *J Meteor Soc Japan*, 1989, 67: 205 ~ 219
- 4 Ding Yihui and Sumi A. Large-scale atmospheric circulation features during TOGA-COARE IOP. *J Meteor Soc Japan*, 1995, 73: 379 ~ 351
- 5 李清泉, 丁一汇. 1990 ~ 1995 年 El Niño 事件的特征及其对中国天气气候异常的影响. *气候与环境研究*, 1997, 2: 163 ~ 177
- 6 Chu P S. Extratropical forcing and the burst of equatorial westerlies in the Western Pacific: A synoptic study. *J Meteor Soc Japan*, 1988, 66: 549 ~ 564
- 7 Delcroix T G, Eldin, Mphaden M and Morliere A. Effects of westerly wind bursts upon the western equatorial Pacific Ocean, *J Geophys Res*, 1993, 98: 16379 ~ 16385
- 8 O'Brien J J. Alternative solution to the classical vertical velocity problem. *J Appl Meteor*, 1970, 9: 197 ~ 203
- 9 Gao Shiyang, Wang Jinshu and Ding Yihui. The triggering effect of near-equatorial cyclones on El Niño. *Adv Atmos Sci*, 1988, 5: 87 ~ 95
- 10 Chang C P and Lau K M. Northeasterly cold surges and near-equatorial disturbances over the winter MONEX area during December 1974, part 1: planetary-scale aspects. *Mon Wea Rev*, 1980, 108: 295 ~ 312
- 11 陈烈庭. 中国雨季赤道东太平洋海表温度异常对热带环流和降水的影响. *大气科学*, 1977, 1: 1 ~ 12
- 12 Ding Yihui and Reiter E R. Some conditions influencing the variability of typhoon formation over the West Pacific Ocean. *Arch Met Geoph Biokl*, 1981, Ser A, 30: 327 ~ 342

ANALYSIS OF LARGE-SCALE FLOW PATTERN DURING TOGA-COARE IOP

Ding Yihui

(National Climate Center, Beijing, 100081)

Abstract

Based on reanalysis data sets (GANAL/JMA) for TOGA-COARE IOP (from November 1992 to February 1993) which incorporated special upper-air observations, the large-scale flow pattern over the tropical Pacific for this period has been analysed. It has been found that frequent occurrence of stable and strong westerly wind or westerly wind bursting below 500 hPa and significant easterly wind at upper level over the central and western Pacific was observed; by the end of IOP, the westerlies shifted eastward to the eastern Pacific; the normal type East Asia-West Pacific Hadley cell and the Walker circulation were destroyed, with a significant inverse circulation sense observed. All the above anomalous circulation features lend supportive evidences for a developing El Niño event during TOGA-COARE IOP.

Key words: TOGA-COARE IOP, Westerly bursting, Walker circulation.