

东亚西风异常活动对热带西太平洋 西风爆发及 ENSO 发生的作用

傅云飞

黄荣辉

(中国科学技术大学地球与空间科学系, 合肥 230026)

(中国科学院大气物理研究所, 北京 100029)

摘 要 本文通过观测资料分析和数值模拟, 对 80 年代两次 ENSO 事件产生过程中, 东亚西风异常活动对热带西太平洋西风爆发及 ENSO 发生的作用进行了研究。资料分析结果表明, 热带西太平洋低层西风异常的发生, 与东亚低层西风异常向南向东传播有关。数值模拟结果表明, 东亚低层西风异常向南向东传播至赤道附近, 然后继续向东传播, 可以在赤道中、东太平洋产生 El Niño 现象。相关分析结果表明, 东亚西风异常向南传播过程中, 欧亚大陆有欧亚遥相关环流形势与之配合, 使得赤道西太平洋西风异常猛烈发展, 并且随着西风异常东传, 从而造成强的 El Niño 事件发生。

关键词 西风异常 遥相关 ENSO

1 引言

ENSO 现象的发生, 对全球气候异常有着重要的作用, 它一直是近年来研究的热点。世界各国的气象学家和海洋学家非常重视这一现象的发生规律和机理的研究, 以便能准确预测其发生, 减少气候异常引起的各种气象灾害给社会经济生活带来的损失。

McCreary^[1], McCreary 和 Anderson^[2], Anderson 和 McCreary^[3]较系统地研究了 ENSO 事件产生的物理机制, 他们提出 ENSO 事件产生必须有暖的 Kelvin 波从赤道太平洋向东太平洋传播。White 等^[4]从观测资料的分析指出, ENSO 事件发生前赤道西太平洋海水温度必须有较大正异常, 竹内^[5]从数值模式的模拟结果也得出同样结论。这些研究都表明, 西太平洋暖池(Warm pool)处于暖的状态是 ENSO 事件发生必不可少的条件, 只有在西太平洋暖池处于异常暖的状态, 然后才有可能发生 ENSO 事件。然而, 在 1973、1983、1989 年西太平洋暖池的温度也异常高, 但这些年的第二年并不发生 ENSO 事件。因此, 西太平洋暖池处于异常暖的状态只不过是 ENSO 事件发生的必要条件, 还应有合适的大气状态条件。已有的研究表明, 在所有 ENSO 发生年份, 赤道太平洋中部西风爆发频率异常偏高, 而在赤道西太平洋地区 ENSO 发生前的冬季和春季, 西风就已活动频繁了。所以人们将赤道西太平洋西风爆发和盛行, 作为 ENSO 发生前的一个重要征兆^[6]。已有的研究还表明, 赤道西太平洋西风爆发和盛行的原因, 是由于超大型云团自印度洋东北部移到西太平洋, 并强烈发展引起赤道西风频繁活动的结果。Lau^[7]、Nitta 和 Motoki^[8]认为, 热带大型云团的东移可使得热带信风减弱、西风爆发, 结果导致太平洋环流减弱,

1995-10-04 收到, 1996-10-06 收到修改稿

使得赤道东太平洋海水上翻也减弱,海温异常升高,出现 El Niño 现象;与此同时,热带超大型云团的这种移动和强烈发展,还将通过遥相关关系影响热带外地区。那么,赤道西太平洋地区西风异常活动是否还受到热带外特别是东亚西风活动的影响呢?

本文利用 ECMWF 的资料来分析 1982/83 和 1986/87 两次 ENSO 事件发生过程中,东亚西风异常活动对赤道西太平洋地区西风异常活动的作用,以及这种作用过程中北半球的环流形势。最后利用 IAP-OGCM 研究东亚西风异常活动对 ENSO 事件产生的作用。

2 东亚西风异常活动对热带西风异常的作用

一般认为,东亚区域冬季热带外大气系统通过寒潮活动可以强烈地作用于热带大气系统。李崇银^[9]研究表明,在 El Niño 发生前的冬半年,东亚地区常有频繁而强烈的寒潮活动,其结果使得能量持续地向东南方向频散到热带中、西太平洋地区,引起赤道中、西太平洋信风持续减弱,从而形成有利于 ENSO 发生的大气环流形势,并由此建立了东亚冬季风活动与 ENSO 发生的关系。黄荣辉等^[10]通过分析研究指出,ENSO 循环可能是由季风区域与 Hadley 环流区域之间的甚低频振荡向赤道太平洋传播所引起。这些研究都表明 ENSO 事件(或循环)与东亚低空气流活动有一定关系。此外,人们还通过 30~50 天大气低频振荡的研究,发现中高纬地区这种振荡在冬季特别强烈,为此试图从大气低频振荡活动来解释热带外大气对热带大气的作用及与 ENSO 发生的关系。这些观点在解释热带外大气活动与 ENSO 发生的关系时,非常强调两者之间相互作用的季节性。那么 ENSO 发生过程中,东亚西风异常活动对热带西风异常的作用究竟是否具有这种强烈的季节性呢?

图 1 分别是 1981~1983 年 850 hPa 纬向风距平沿 120~140°E 和 140~160°E 平均的经向时间演变。可以看到,赤道太平洋西风距平是由热带外太平洋地区(东亚和澳大利亚)西风距平向赤道地区传播的结果。如图 1a 所示,1981 年 7~8 月在东亚地区就有中心为 2.0 m/s 的西风距平向赤道太平洋地区传播,1982 年夏,从东亚和澳洲地区传播而来的西风距平在赤道太平洋地区辐合,使赤道太平洋地区形成了 2.0 m/s 以上的西风距平。

从图 1b 中可以更清楚的看到,1982/83 ENSO 发生前西风距平中心(2.5 m/s)先由 1981 年 4 月北半球 30°N 附近向南传播,7 月份到达 15°N 附近(3.5 m/s),尔后,在这年底到达赤道附近,在 1982 年里沿赤道发展,1982 年 7 月份西风距平可达到 5.0 m/s。由此可见,西风距平在从东亚向南传播过程中是不断加强的,并且中心位置呈一种波动移动。另外,当 El Niño 现象发生后,西风距平迅速在东亚和澳洲地区减弱或消失,取而代之的是东风距平活动,并且向赤道太平洋传播,它可能对西太平洋暖水的重建和 El Niño 的消亡有相当大的贡献。

同样的现象也发生在 1985~1987 年,只是西风距平南传路径偏东一些(见图 2)。1986/87 ENSO 发生过程中,西风距平是从 1985 年夏季后的东亚开始向南传播的。首先,西风距平在 1985 年夏季活动于北半球 35°N 以北,1986 年 2 月其中心(1.5 m/s)南移到 15°N 附近,同年 4 月到达赤道附近后发展,在 El Niño 发生前 2 个月位于 10°N 达到峰值(3.5 m/s)。El Niño 发生后,西风距平并不象 1982/83 ENSO 发生过程那样迅

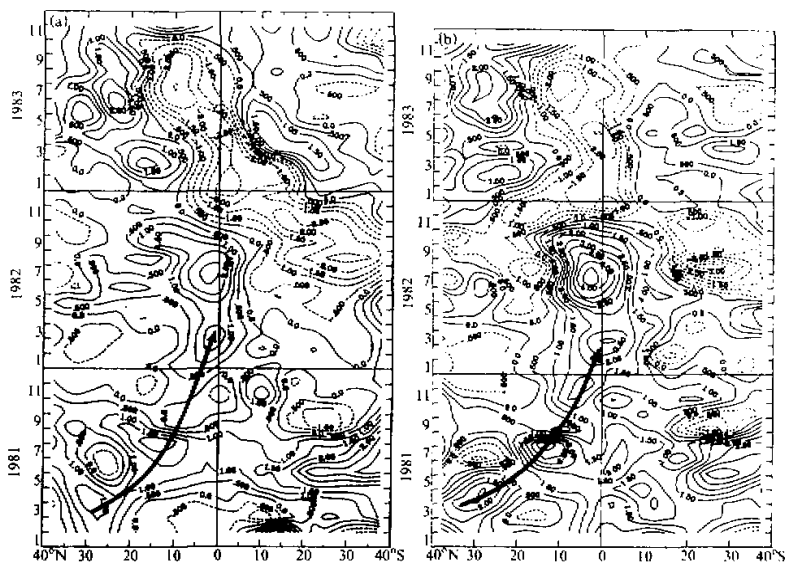


图 1 850 hPa 纬向风距平沿 120°~140°E (a) 和 140°~160°E (b) 平均的经向时间变化 (1981~1983)

速消失, 而是随时间缓慢减弱, 直到 1987 年夏季才消失。西风距平在 El Niño 发生后仍持续活动于热带西太平洋数月, 与这次 ENSO 过程特别长不无关系。另外, 从图 2 可以看到, 此次 ENSO 过程中南半球副热带地区的西风异常活动较弱, 这也许是 1986/87 ENSO 过程赤道太平洋地区西风异常远小于 1982/83 ENSO 过程的一个原因。

通过对 80 年代两次 ENSO 发生过程中, 日界线以西的西太平洋地区, 特别是东亚地区西风距平经向时间演变分析表明, 西风距平随时间的南北变化尽管在细节上有所不同, 但总的变化趋势是基本相同的。1982/83 ENSO 发生过程中, 西风距平从东亚地区南传到赤道附近, 并强烈发展, 大约经历 2 年时间。如果以西风距平中心移动来计算 (图 1b), 其南传速度约为 2 纬度/月。而 1986/87 ENSO 过程中, 西风距平南传到赤道附近的时间比 1982/83 ENSO 过程的短, 大约为 10 个月, 其西风距平中心南传速度 (图 2) 约为 2.5 纬度/月。不难看出, 1982/83 ENSO 发生前, 西风距平南传速度慢但振幅变化大。西风距平在 1986/87

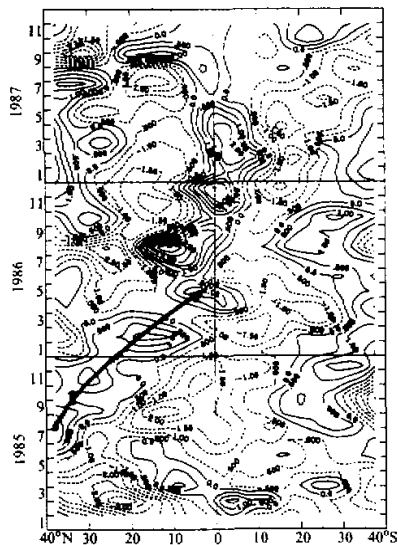


图 2 850 hPa 纬向风距平沿 140°E~160°E 平均的经向时间变化 (1985~1987)

ENSO 发生前的表现相反, 西风距平南传速度快, 振幅及其变化都小。以上分析还表明, El Niño 现象发生前, 西风距平从东亚地区向南传播并不限于冬半年, 并且很强的西风距平比弱西风距平向南传播慢。

3 东亚西风异常活动对热带西风作用的环流背景

热带地区被认为是大气运动能量的主要源地。从能量角度出发, 热带大气环流状态对全球气候有决定性作用, 但是热带外大气环流也不是完全消极被动的, 它可以通过一些途径来影响热带地区的大气运动状态。Yasunari^[11]认为冬季欧亚大陆下垫面状态异常, 如雪盖、土壤温度异常等, 将使得那里的大气环流异常, 进而产生线性驻波——Rossby 波, 该波将持续影响低纬的南亚季风活动和南方涛动。我们在前面的分析结果表明, 1982/83 和 1986/87 两次 ENSO 发生前, 东亚地区低层西风距平向南传播, 并且持续近一年或超过一年, 这种传播并不限于冬半年。那么东亚地区西风距平南传的环流背景是怎样的呢? 为此, 我们选取赤道西太平洋 850 hPa、5°S~5°N、140~160°E 范围内的平均西风距平, 分别对两次 ENSO 发生过程的北半球 500 hPa 高度场格点值求相关, 样本取 ENSO 发生前一年、发生当年和成熟年的逐月平均值, 即样本数为 36 个月。相关系数定义为

$$R(Z, u, \tau) = \frac{S_{Zu}}{\sqrt{S_{ZZ}} \sqrt{S_{uu}}},$$

式中

$$S_{Zu}(x, y) = \frac{1}{N - \tau} \sum_{n=n_1}^{n_2} [Z'(n)u'(n + \tau)],$$

$$S_{ZZ}(x, y) = \frac{1}{N - \tau} \sum_{n=n_1}^{n_2} [Z'_{x,y}(n)]^2,$$

$$S_{uu}(x, y) = \frac{1}{N - \tau} \sum_{n=n_1}^{n_2} [u'(n + \tau)]^2,$$

$N = 36, n_1 = 1, n_2 = N - \tau (\tau = 0, 1, 2, \dots)$, Z' 为扰动高度场距平值, u' 为西风距平值。

图 3 为 1982/83 ENSO 发生过程中, 西风距平滞后高度场 3 个月和 6 个月的相关场分布, 表明赤道西太平洋低层西风距平爆发前 6 个月, 北半球 500 hPa 相关场具有稳定的分布。图 3 中表明中高纬呈三波型, 在新西伯利亚群岛附近至东亚及副热带西太平洋有一负相关区, 乌拉尔附近有一正相关区, 在地中海、西欧一带有一片负相关区, 这种形势正好构成欧亚型遥相关分布。另外, 我国青藏高原东部也有一正相关区, 而整个太平洋副热带为一负相关区。与上述相关场对应的 500 hPa 高度场分布, 极有利于冷空气经东亚向南侵入西太平洋, 加上太平洋副热带高压异常弱, 相应信风也弱, 因此两者的共同效应, 就使得 1982/83 ENSO 发生前, 东亚西风距平活动强烈并不断向南传播, 使赤道西太平洋有持续而强烈的西风异常活动, 为 ENSO 的发生提供有利的大气环流条件。

1986/87 ENSO 发生过程中赤道西风距平滞后北半球 500 hPa 高度场相关场分布也呈现欧亚型遥相关分布, 但它比 1982/83 ENSO 发生过程对应的相关型弱, 因此, 冷空气自东亚向南侵袭弱, 事实上, 1986/87 ENSO 发生过程中西风距平比 1982/83 ENSO 发生过程中的弱得多, 并且出现的 El Niño 现象也比较弱。

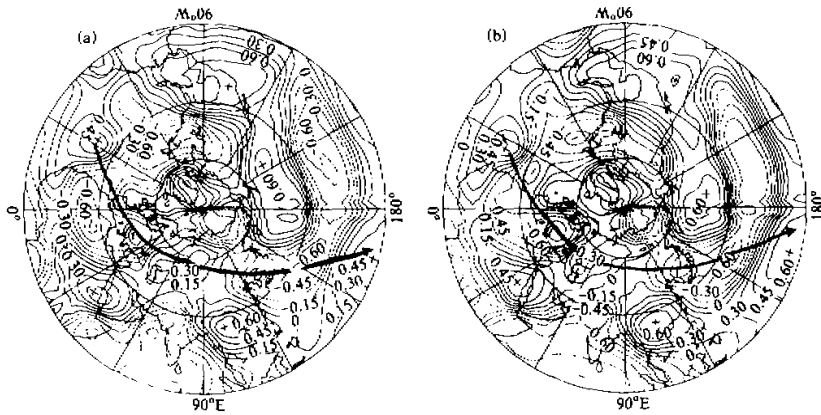


图3 赤道西太平洋西风距平(850 hPa, 5°S~5°N, 140°~160°E)滞后500 hPa高度场3个月(a)和6个月(b)相关场分布(1982/83 ENSO)

以上分析表明, 1982/83 和 1986/87 ENSO 发生过程中, 热带外大气环流可通过欧亚型遥相关作用于热带上空大气环流, 进而影响热带太平洋低层及海表附近的纬向风活动。

4 东亚西风异常活动对赤道海表温度变化作用的数值模拟

为了说明东亚季风区西风异常活动对 ENSO 事件产生的作用, 本文利用张荣华等^[12]设计的 IAP-POGCM, 进行了数值模拟试验。这个模式消除了刚盖近似, 因此, 该模式是一个自由面的太平洋环流模式。它的水平分辨率是 $5^\circ \times 4^\circ$, 垂直分层为 4 层, 即海表面、150 m 深、630 m 深、2000 m 深。并且在模式中采用了扣除海洋标准层结, 保持总有效能量守恒, 并引入了海表热量参数化方法, 计算过程中采用灵活性系数技术来加速收敛。一系列试验表明这个模式性能良好。

模式流场与温度场初值是由 IAP-POGAM 在年平均大气强迫场作用下, 积分 53 年所得到的太平洋平均环流和温度场^[13]给出的平均状态。另外, 如引言所述, 在 ENSO 事件发生之前, 西太平洋暖池有较大的温度异常, 为此我们在西太平洋暖池地区人为给定一个中心为 1.0°C 的理想正海温距平分布(如图 4a 所示)。Yasunari^[14]、Huang 和 Sun^[15]的研究指出, 西太平洋暖池的海温最大变化位于 150~200 m 深的次表层, Kurihara^[16]指出西太平洋暖池的海温年际变化方差可达到 6.5°C , 因此, 在暖池 150 m 深处给定一个中心为 3.0°C 的理想海温距平(如图 4b 所示)。文献[17]中已利用了三种不同方案的数值模拟结果, 说明了赤道上空西风异常对太平洋海表温度异常的作用。这里就东亚西风异常活动对太平洋海表温度异常的作用进行讨论。

由第 2 节的分析可知, 1982/83 和 1986/87 两次 ENSO 发生过程中, 东亚地区有西风距平向南传播, 文献[17]指出这个西风距平也是向东传播的, 因此, 东亚西风距平在向南传播过程中也是向东传播的。根据东亚西风距平活动的这种表现, 我们在试验东亚

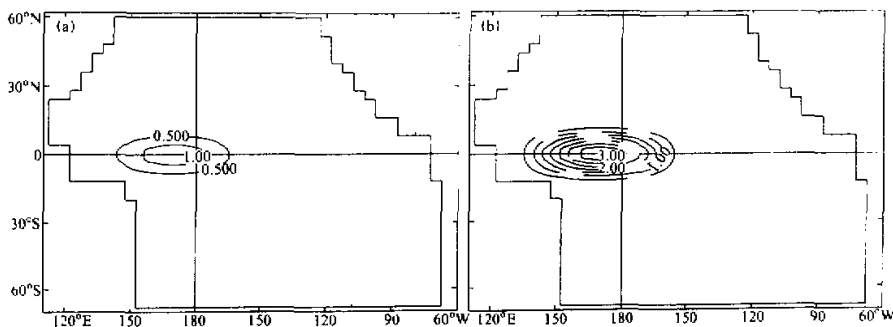


图4 理想正海温距平分布(a) 海表; (b) 150 m 深

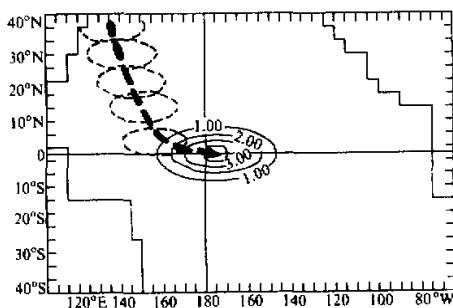


图5 理想海表西风异常强迫场 (前6个月)

西风异常对太平洋海温异常作用时, 给出的理想海表西风距平由北半球东亚地区向南($5^\circ/\text{月}$)、向东($5^\circ/\text{月}$)传播。图5所示为前6个月的理想海表西风异常中心随时间向南向东传播过程示意。西风异常在第5个月到达赤道附近, 然后东移($10^\circ/\text{月}$), 第15个月到达赤道东太平洋东岸。图6a、b、c分别为模式积分到第10、13、15个月所得到的西风异常作用下, 太平洋海表温度的异常变化。该试验结果表明, 在

西风异常达到赤道之前, 热带海表温度没发生变化, 随着西风异常的东传, 热带太平洋海表温度变化从赤道西太平洋向赤道中、东太平洋传播, 并且, 当西风异常传播到赤道东太平洋, 赤道东太平洋的海温异常迅速增大, 这可能与受到太平洋东岸反射有关。这种形式的增暖过程同80年代发生的ENSO事件增暖过程相近, 即增暖先发生在赤道中太平洋, 随着西风异常的东传, 赤道东太平洋也发生增暖。因此, 西风异常的东传在这类ENSO发生过程中起着很大的作用, 而东亚地区低层西风距平的向南向东传播只是对热带西太平洋西风异常的爆发和发展起了重要作用。

5 结论

本文通过观测资料分析和数值模拟, 对80年代两次ENSO事件产生过程中, 东亚地区西风异常活动及其对热带西太平洋西风异常的作用和赤道中东太平洋海表层海温作用进行了分析。结果表明热带西太平洋西风异常的发生, 与北半球东亚及南半球澳洲低层西风异常向赤道传播有关。东亚西风异常在向南传播过程中, 欧亚大陆有欧亚型遥相关环流与之配合。西风异常向热带西太平洋传播, 导致热带西太平洋有持续的西风异常活动, 随着西风异常的东传, 从而导致了El Niño的发生。为此, 在考虑赤道西太平洋西风异常活动的原因时, 不仅要分析热带内大气环流因素, 诸如超大型对流活动等, 而

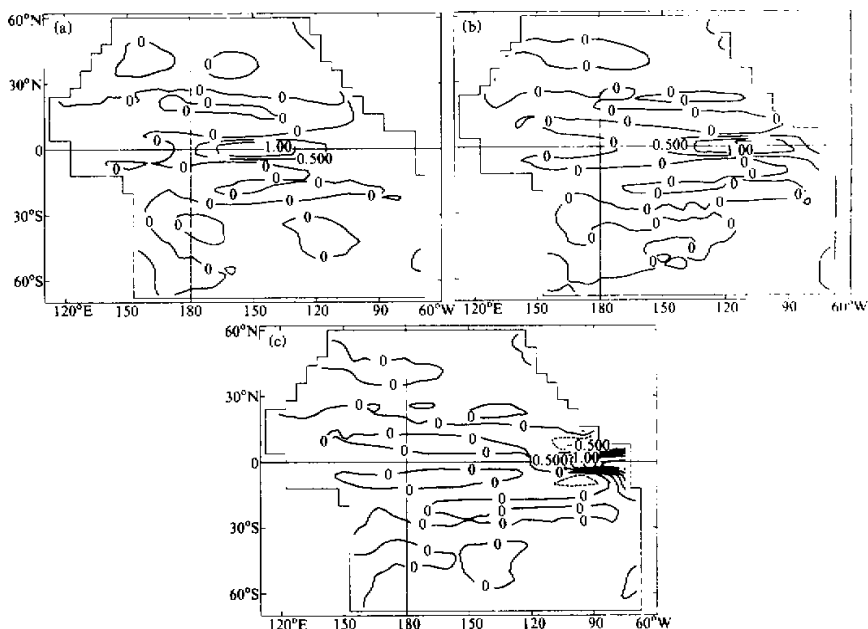


图 6 模式积分到第 10、13、15 个月太平洋海表温度异常变化
(a) 第 10 个月, (b) 第 13 个月, (c) 第 15 个月

且还要考虑热带外, 特别是东亚地区西风异常活动的影响。因此, 在 Lau、Nitta 等给出热带内外大气相互作用示意图的基础上, 必须指出存在热带外, 特别是东亚大气对热带及赤道西风的作用, 图 7 中虚线所示的欧亚遥相关型可能就是这种作用的途径之一。

本研究所用的模式水平差分格距较大, 它不能反映 Kelvin 波的作用, 因此, 本文不能讨论西风异常是通过海流的作用还是通过 Kelvin 波的作用, 使暖水东传。为此, 必须构造更细的模式, 来研究热带太平洋西风异常对暖水东传的动力作用。

致谢: 感谢李旭博士为本文数值模拟提供的大量帮助。

参 考 文 献

- 1 McCreary, J. P., 1983, A model of tropical ocean-atmosphere interaction, *Mon. Wea. Rev.*, **111**, 370~387.

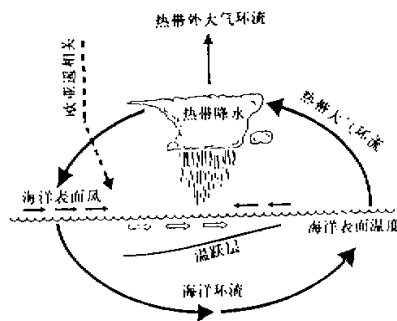


图 7 热带内外大气相互作用及对赤道西太平洋西风异常影响示意

- 2 McCreay, J. P and D. L. T. Anderson, 1984, A simple model of El Niño and the Southern Oscillation, *Mon. Wea. Rev.*, **112**, 934~946.
- 3 Anderson, D. L. T and J. P. McCreay, 1985, Slowly Propagating disturbances in a coupled ocean-atmosphere model, *J. Atmos. Sci.*, **42**, 615~628.
- 4 White, W. B., G. A. Meyes, J. R. Donguy and S. E. Pazan, 1985, Short-term climatic variability in the thermal structure of the Pacific ocean during 1979~1982, *J. Phys. Oceanogr.*, **15**, 917~935.
- 5 竹内謙介, 1987, FSUモデルに見られる El Niño / Southern Oscillation 前兆, 北海道大学地球物理学研究报告, **492**, 318~386.
- 6 Yamagata, T and Y. Masumoto, 1989, A Simple ocean-atmosphere coupled model for the origin of a warm El Niño Southern Oscillation event, *Phil. Trans. R. Soc. Lond.*, **A329**, 225~236.
- 7 Lau, K. M., 1987, Modeling of ENSO phenomena at GFDL, Meteor. Rea. Report, Japan-U. S. workshop on the El Niño-Southern Oscillation phenomenon, 3~7.
- 8 Nitta, Ts. and Motoki, 1987, Abrupt enhancement of convection activity and low-level westerly burst during the onset phase of the 1986~87 El Niño, *J. Meteor. Soc. Japan*, **65**, 497~506.
- 9 李崇银, 1988, 频繁的东亚大槽活动与El Niño的发生, 中国科学 (B), 667~674.
- 10 黄荣辉、吴仪芳, 1992, 关于ENSO循环动力学的研究, 海洋环流研讨会论文集, 北京: 海洋出版社, 41~51.
- 11 Yasunari and Seki, 1992, Role of the Asian Monsoon on the Interannual Variability of the Global Climate System, *J. Meteor. Soc. Japan*, **70**(1), 47~59.
- 12 张荣华、曾庆存、张学洪, 1991, 太平洋大尺度环流数值模拟, 海洋环流研讨会论文集, 北京: 海洋出版社, 82~114.
- 13 张荣华、曾庆存、张学洪, 1991, 太平洋大尺度环流数值模拟 II: 长期平均环流, 大气科学, **15**(5), 51~64.
- 14 Yasunari, T., 1990, Impact of Indian monsoon on the coupled atmosphere/ocean system in the tropical Pacific, *Meteor. Atmos. phys.*, **44**, 29~41.
- 15 Huang Ronghui and Sun Fengying, 1992, Impacts of the tropical Western Pacific on the East Asian summer monsoon, *J. Meteor. Soc. Japan*, **70**, 243~256.
- 16 Kurihara, K., 1989, A climatological study on the relationship between the Japanese summer weather and the subtropical high in western Northern Pacific, *Geophy. Mag.*, **43**, 45~104.
- 17 傅云飞、黄荣辉, 1996, 热带太平洋西风异常对ENSO事件发生的作用, 大气科学, **20**(6), 641~654.

Impacts of Westerly Anomalies over East Asia on Westerly Burst over the Western Tropical and the Occurrence of ENSO Events

Fu Yunfei

(Department of Earth and Space Sciences, University of Science and Technology of China, Hefei, 230026)

Huang Ronghui

(Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080)

Abstract The observation data over the period of 1980~1989 are examined to investigate effects of westerly anomalies over East Asia on westerly burst over the western tropical Pacific and the occurrence of ENSO events by the method of analysis and numerical simulation. The analyzed results show that the westerly anomalies over the western tropical Pacific are caused by the propagation of that from East Asia, which may be connected with teleconnection of EA pattern of the atmospheric circulation anomalies. The numerical simulation results illustrate that the El Niño event takes place when the westerly anomalies propagate from the western equatorial Pacific to the central and eastern equatorial Pacific.

Key words westerly anomalies teleconnection ENSO