东亚冬季风活动异常与热带太平洋海温异常

布和朝鲁 纪立人

(中国科学院大气物理研究所, 北京 100029)

摘要 利用中国科学院大气物理研究所全球海-气耦合(IAP CGCM1)模式40 a的积分结果以及10 a的观测结果,探讨了东亚冬季风活动异常与热带太平洋海表水温(SST)异常之间的密切关系. 强东亚冬季风年的热带SSTA场在中西太平洋为正距平,东太平洋为负距平,在弱东亚冬季风年的情况基本相反,西太平洋为负距平,中东太平洋则为正距平. 强东亚冬季风活动在中西太平洋正SSTA区以西以东产生西风距平和东风距平,从而加强这一地区的辐合对流活动,这有利于这一地区SSTA型的维持与发展;另一方面,与强东亚冬季风活动匹配的热带太平洋SSTA型有利于东亚冬季风活动的加强. 与强东亚冬季风活动相联系的热带太平洋SSTA和La Niña事件的SST异常有显著的区别.

关键词 东亚冬季风 海-气耦合模式 热带太平洋 SST 异常 SVD 分析 合成分析

东亚冬季风(East asian winter monsoon, EAWM)环流是北半球热带外环流的主要组成部分. 我国学者较早认识到热带SST异常对东亚冬季风活动的影响. 李崇银^[1]指出,在El Niño年赤道东太平洋的暖SST距平加强中纬度西风气流,西太平洋冷SST距平则在东亚北

-
- 50 Zhang T, Zhou H M, Liu Y X. Expression of plasminogen activator and inhibitor, urokinase receptor and inhibin subunits in rhesus monkey testis. *Mol Human Reprod*, 1997, 3: 223~ 231
- 51 Huarte J, Belin D, Bosco D, et al. Plasminogen activator and mouse spermatozoa: urokinase synthesis in the male genital tract and binding of the enzyme to the sperm cell surface. *J Cell Biol*, 1987, 104: 1 281~ 1 289
- 52 Liu K, Liu Y X, Du Q, et al. Preliminary studies on the role of plasminogen activator in seminal plasma of human and rhesus monkey. *Mol Human Reprod*, 1996, 2: 101~ 106
- 53 Eddy E M. The spermatozoon. In: Knobil E, Neill J D eds. *Physiology of Reproduction*, Vol 1. New York: Raven Press, 1994, 27~ 68
- 54 Zhang T, Guo C X, Hu Z Y, et al. Localization of plasminogen activator and inhibitor, LH and androgen receptors and inhibin subunits in monkey epididymis. *Mol Human Reproduction*, 1997, 3: 945~ 952
- 55 周红明, 张彤, 刘以训. 纤溶酶原激活因子和抑制因子在大鼠附睾中的表达和激素调节. *科学通报*, 1997, 42(7): 757~ 760
- 56 周红明, 张彤, 刘以训. 促黄体生成素受体(LHR)在大鼠附睾中的定位. *科学通报*, 1996, 41(17): 1 608~ 1 610
- 57 Chen G A, Feng Q, Zhang L Z, et al. Plasminogen activators and plasminogen activator inhibitor type_1 in human endometrium. *Chinese J Physiol Sci*, 1992, 8: 150~ 157
- 58 Estelles A, Gilabert J, Keeton M, et al. Altered expression of plasminogen activator inhibitor type_1 in placentas from pregnant women with preeclampsia and / or intrauterine fetal growth retardation. *Blood*, 1994, 84: 143~ 150
- 59 刘以训, 胡召元, 邹如金, 等. 人和恒河猴胎盘分泌tPA-PAI-1部位的鉴定. *科学通报*, 1997, 42(12): 1 324~ 1 326
- 60 Liu Y X, Hu Z Y, Liu K, et al. Localization and distribution of tissue type and urokinase type plasminogen activators and their inhibitors type_1 and 2 in human and rhesus monkey fetal membranes. *Placenta*, 1998, 19: 171~ 180

(1998-05-29 收稿, 1998-08-26 收修改稿)

侧产生极锋(polar front),从而不利于冷涌(或寒潮)的往南爆发. 陈受钧^[2]通过数值试验证明,El Niño年冬季东亚地区偏暖. Ji Liren等人^[3]提出,赤道西太平洋地区的暖SST距平以及东太平洋冷SST距平引起的热带外异常流型有利于东亚冬季风活动的加强. 有关研究¹⁾通过聚类方法确定了3种海-气耦合流型域,其中的第3个流型域以强东亚冬季风活动和东冷西暖的热带太平洋SST异常为主要特征. 然而,这种东冷西暖的热带SST异常与La Niña事件的SST异常有显著的区别. 已往的研究注重厄尔尼诺/南方涛动(ENSO)事件的冷暖位相对东亚冬季风活动的影响,但一直没有确定与东亚冬季风活动异常相联系的海温异常型. 本文利用中国科学院大气物理研究所全球海-气耦合模式(IAP CGCM1)40 a的积分结果以及10 a的观测分析结果探讨东亚冬季风活动异常与热带太平洋SST异常之间的关系.

1 模式简介

IAP CGCM1是在本所2层大气环流模式IAP AGCM(ML2)和4层大洋环流模式IAP OGCM(ML4)的基础上建立起来的^[4]. IAP CGCM1模式的耦合方案大体上如下:在海-气界面上采取了通量距平耦合方案,大气和海洋相互交换相对于各自未耦合模式的热量和动量距平. 这样做可以消除海洋模式与大气模式之间的不协调,有利于抑制气候漂移. 耦合的积分步长取为1个月,这样可以滤掉大气中的Rossby波对洋流的影响,但这又可能导致大气模式和海洋模式时间上的不协调. 为此采取了预估校正的办法,即首先海洋模式在前1个月大气模式的距平作用下先积分1个月得到一个中间态,大气模式在此基础上积分1个月得到一个新的状态,最后海洋模式在当前月大气模式的距平作用下得到最终结果. IAP CGCM1模式已积分了40 a,其基本气候状态是合理的,没有明显的气候漂移,且有显著的年际变率. 该模式较好地模拟出ENSO现象、北太平洋涛动以及5个典型气候区域(包括干旱沙漠带、季风区和平原区)降水和气温的季节变化特征. 此外,该模式较好地重现了东亚区域的年平均气温和降水的空间分布型.

2 合成分析

首先定义一个描述东亚冬季风活动异常的具体标准,即东亚冬季风指数. 能够反映东亚冬季风活动的气象要素相当多,因而气象学家们定义了多种东亚冬季风指数. 例如,中国大陆地面温度、海陆气压差、高空环流经向度以及关键区的经向风等都可以当作描述冬季风活动的标准. 一方面,这说明了东亚冬季风系统极其丰富的内容以及产生影响或相互作用领域的多元性;另一方面,对统一的东亚冬季风指数的确定带来了一定的困难. 一些研究表明,各种有关冬季风的指数对同一个冬季,甚至对同一次寒潮的反映不尽相同,有时区别显著. 可见,确定一个反映东亚冬季风活动各个方面的影响范围、程度以及有关相互作用过程的统一东亚冬季风指数并非易事. 我国气象学家们在长期的研究和预报实践中发现,针对与东亚冬季风活动有关的研究问题确定一个反映直接而主要影响的冬季风指数,并参考其他有关气象要素场的情况不失为有效的研究方法. 文中使用冬季(DJF)东亚沿岸地区(110~125°E, 10~30°N)区域平均的经向风(V)当作东亚冬季风指数. 根据这一指数(标准化)绝对值大于其标准差的标准,从耦合模式40 a积分结果中选出了8个强冬季风年(第6, 9, 11, 14, 18, 22, 27, 33)和9

1) 布和朝鲁. 海-气耦合流型域与东亚冬季风活动异常. 中国科学院大气物理研究所博士论文, 1997

个弱冬季风年(第8, 12, 16, 20, 24, 26, 30, 35, 39). 下面的讨论将在这些异常年的合成分析基础上进行.

强和弱东亚冬季风年热带太平洋海温异常(DJF)的合成以及两者之差在图1中给出. 从图1(a)和图1(c)可看出, 强东亚冬季风年, 热带中西太平洋 SSTA 场为正距平, 热带东太平洋则为负距平. 东、西太平洋的正负 SST 距平强度基本接近, 西太平洋地区略强. 在弱冬季风年(图1(b))的情况则显出类似于 El Niño 年的 SSTA 特征, 即中东太平洋为正海温距平, 西太平洋为负距平.

图1 冬季热带太平洋 SST 的合成异常
(a) 强 EAWM 年; (b) 弱 EAWM 年; (c) 图(a)和(b)之差 (单位: $^{\circ}\text{C}$)

图2和图3给出了东亚冬季风异常年的海平面风场异常(DJF)和海平面散度场异常(DJF)合成结果. 在强EAWM合成中, 最明显的特征为东亚沿岸Hadley环流的增强和赤道太平洋Walker环流的加强以及赤道西太平洋地区额外的气旋辐合. 弱EAWM合成的情况则截然不同(与强EAWM合成相比), 大部分区域显出强EAWM合成的反位相. 强东亚冬季风

活动在赤道中西太平洋正 SSTA 区以西和以东产生西风距平和东风距平,使得正 SSTA 区的辐合对流增强,故而有利于这一地区正 SSTA 型的维持与发展. 这同图 1 的结果是一致的.

图2 冬季海平面风场的合成异常

(a) 强 EAWM 年; (b) 弱 EAWM 年; (c) 图(a)和(b)之差(单位: m/s)

图4是强弱 EAWM 年 500hPa 高度场异常(DJF)的合成及两者之差. 在强 EAWM 合成中,东亚大槽区及其南部出现负距平,表明东亚大槽的加强和南移. 乌拉尔地区及北美西岸为正距平,意味着这2个地区脊的发展. 这种高空环流异常则正代表了强东亚冬季风活动的典型特征. Ji Liren 等人^[4]认为,中西太平洋正 SSTA 区的辐合对流的加强,作为热力强迫,作用

1) 见 253 页脚注

图3 冬季海平面散度场的合成异常.

(a) 强 EAWM 年; (b) 弱 EAWM 年; (c) 图(a) 和(b) 之差(单位: m/s)

于热带外地区的特殊流型,从而加强东亚冬季风活动. 有关研究¹⁾通过数值试验证明,图 1(c) 的 SSTa 作为热力强迫,有利于东亚冬季风活动的加强并导致如图 4(c) 的高度场异常型;另一方面,东亚冬季风活动的加强也同样强迫出如图 1(c) 的 SSTa 型. 这种双向相互作用将导致正反馈过程,进入自我维持流型域(self-sustained regime)^[4]. 因此,有理由认为,图 1(a) (或图 1(c)) 的热带太平洋海温异常与强东亚冬季风活动有着密切的匹配关系.

关于中国大陆地面大气温度场异常(DJF)的合成在图 5 中显出. 强冬季风年,中国大陆大部分地区有明显的降温,东亚冬季风活动异常的影响在华中、华南地区也非常显著. 这同图 1 和图 4 一起表明,所确定的东亚冬季风指数是具有代表性的.

图4 冬季500hPa高度场的合成异常

(a) 强EAWM年; (b) 弱EAWM年; (c) 图(a)和(b)之差(单位: 位势什米)

3 观测分析

3.1 资料及其处理

这里利用1980~1989年冬半年(11月~4月)500hPa候平均高度场以及热带月平均SST场。前者来自ECMWF分析资料并覆盖北半球热带外地区(20°~70°N, 0°~360°E), 而后者来自COADS资料并覆盖热带太平洋地区(30°~30°S, 121°~95°W)。为减少计算负担, 把500hPa高度场转换到 $10^{\circ} \times 5^{\circ}$ 的新网格, 把SST场转换到 $8^{\circ} \times 4^{\circ}$ 的网格上。

图5 冬季中国大陆地面温度场的强和弱EAWM合成之差(单位: $^{\circ}\text{C}$)

3.2 SVD 分析方法

首先,通过奇异值分解(SVD)方法确认热带太平洋 SST 场与北半球热带外大气 500hPa 高度场之间的显著耦合模态. 每一个 SVD 模态由一对空间型(可称为“型偶”)来描述,其中每一个型代表本场格点值与另一个场展开系数之间的相关场. 这一对型偶称之为异性相关图. 每一个 SVD 模态反映的耦合强度由 2 个参数来测度,即解释协方差平方分数(SCF)和 2 个展开系数之间的相关数(R). 这里进行 SVD 分析之前做了以下有关资料处理:()从 ECMWF 分析资料和 COADS 资料中按时间序列顺序得出了 30 个 2 个月平均的 500 hPa 高度场和 SST 场;()在 2 个场中,去掉了冬半年的气候趋势,保留了年际变化以及双月际变化;()对 2 个场进行标准化处理.

图 6 给出第 1 个 SVD 模态的异性相关图,其协方差平方分数(SCF)为 32%,2 个展开系数之间的相关数(R)为 0.76. 500hPa 高度场的型(图 6(a))与 Wallace 等人^[5]确认的 PNA 型很相似. 与此对应的热带太平洋 SSTA 型(图 6(b))与 El Niño 或 La Niña 事件的海温异常型相似. 这一对型偶与 Lau 等人^[6]得出的优势 SVD 模态基本一致. 本模态具有显著性,其区域平均的方差分数(VARF)分别为 17% (500hPa 高度场)和 18.8% (SST 场),主要特征是 ENSO episodes (El Niño 或 La Niña 事件)的 SSTA 型及其伴随的太平洋/北美地区的特殊流型,即正负位相的 PNA 型.

第 2 个 SVD 模态的异性相关图由图 7 给出. 这一模态的 SCF 和 R 分别为 18% 和 0.86, 仍具有显著性. 首先讨论 500hPa 高度场的型及其特征(图 7(a)),其展开系数为正的情况下,乌拉尔区和北美西岸的正距平同极区正距平相联接. 同时在东亚大槽区及其南部出现显著的负距平. 特别是,这种南北向偶极子结构及“高压打通”式结构很像东亚寒潮爆发时的高空环流特征. 对应的 SSTA 型(图 7(b))在中西太平洋为正距平,东太平洋则为负距平. 如前所述,型偶的等值线能够表征 2 个场之间的区域性相关. 对比图 6(b)和图 7(b),尽管 2 个 SSTA

图 6 第 1 个 SVD 模的异性相关图

(a) 北半球热带外 500hPa 高度场; (b) 热带太平洋 SST 场

图 7 第 2 个 SVD 模的异性相关图

(a) 北半球热带外 500hPa 高度场; (b) 热带太平洋 SST 场

型在热带太平洋区均为西正东负(或西负东正),但正、负异常的位置和强度不同.与此对应的大气型也很不一样,对应图 6(a)的最大相关区在东北太平洋~北美,而对应图 7(a)的最大相关区在亚洲大陆和西北太平洋.值得注意的是,本模态中 SST 场的展开系数能够解释 11.5% 的 500hPa 高度场方差,这比第 1 个模态的情况要大.由此,有理由认为东亚冬季风的活动异常与这种 SSTA 型有密切的关系.这就从观测分析的角度上支持了耦合模式的资料分析结果.

4 讨论与小结

以往的研究证明,La Niña 年的东亚冬季风活动偏强,但是最强的 La Niña 年不一定是东亚冬季风活动最强的年.例如,1988/1989(强 La Nina 年)的情况就是这样.本文利用 IAP CGCM1 模式 40 a 的积分结果以及 10 a 的观测结果,探讨了东亚冬季风活动异常与热带太平洋 SST 异常之间的密切关系.强东亚冬季风年的热带太平洋 SSTA 与 La Niña 年海温异常有显著的区别. La Niña SSTA 以东太平洋关键区(如 Nino 3 区)冷距平为主要特征,东太平洋负 SSTA 强且范围大,西太平洋区正 SSTA 范围小,强度也弱.而在强东亚冬季风年,东太平洋负 SSTA 范围小,强度也弱,中西太平洋正 SSTA 区范围大,相对于局地方差其强度也是显著的.对北半球热带外大气而言,不仅海温异常的正负区的分布是重要的,其强弱的配置也是重要的¹⁾.

本文主要结果如下:强东亚冬季风年的热带 SSTA 场在中西太平洋为正距平,东太平洋为负距平,在弱东亚冬季风年的情况基本相反,西太平洋为负距平,中东太平洋则为正距平.强东亚冬季风活动在中西太平正 SSTA 区以西以东产生西风距平和东风距平,从而加强这一地区的辐合对流活动,这有利于这一地区 SSTA 型的维持与发展;另一方面,与强东亚冬季风活动匹配的热带太平洋 SSTA 型有利于东亚冬季风活动的加强.与强东亚冬季风活动相联系的热带太平洋 SSTA 和 La Niña 事件的 SST 异常有显著的区别.

致谢 本工作为国家自然科学基金(批准号:49775261)和中国科学院大气物理研究所所长择优基金共同资助项目.

参 考 文 献

- 1 李崇银. 频繁的强东亚大槽活动与 El Niño 的发生. 中国科学, B 辑, 1988 (6): 667~ 674
- 2 Zhang X_H, Bao N, Yu R_C, et al. Coupling Scheme experiments based on an atmospheric and oceanic GCM. Chinese J Atmos Sci, 1992, 16(2): 129~ 144
- 3 陈受钧. 厄尔尼诺与东亚暖冬的数值模拟. 气象学报, 1995, 53 (3): 380~ 384
- 4 Ji Liren, Sun Shuqing, Klaus Arpe, et al. Model study of the interannual variability of Asian winter monsoon and its influences. Advances in Atmospheric Science, 1977, 14(1): 1~ 22
- 5 Wallace J M, Gutzler D S. Teleconnections in the geopotential height field during the northern hemisphere winter. Mon Wea Rev, 1981, 109: 784~ 812
- 6 Lau N_C, Nath M J. A general circulation model study of the atmospheric response to equatorial SST anomalies observed in 1950_79. J Climate, 1990(9): 965~ 989

(1998-02-25 收稿, 1998-06-10 收修改稿)

1) 见 253 页脚注