近百年西太平洋副热带高压变化的模拟研究

慕巧珍 王绍武* 蔡静宁 谢志辉 朱锦红

(北京大学物理学院大气科学系, 北京 100871. * 联系人, E-mail: swwang@pku.edu.cn)

摘要 用气候海温强迫 CCM3.6 模式模拟了 30 年的副热带高压强度指数, 用实测海温强迫 CCM3.6 模式模拟了 1900～2000 年期间的副高强度指数. 模拟结果与利用统计方法重建的 1880～1950 年的副高强度指数以及国家气候中心 1951～1999 年的副高强度指数有很高的相关. 两者都显示西太平洋副高具有 80 年和 40 年的年代际变率, 季节间变率表明副高具有"秋季障碍", 可能与海温的"春季障碍"有关. 近百年的副高强度有上升的趋势, 可能与全球气候变暖有关.

关键词 西太平洋副高 模拟 80 年周期 40 年周期 秋季障碍

西太平洋副热带高压(以下简称副高)与我国的天气气候变化有极其密切的关系. 在作汛期预报时, 如果能够正确地把握住未来副高变化趋势, 就可以在相当大程度上预测未来雨带的位置及其活动的主要特征[1]. 国家气候中心定义了 5 个副高指数: 强度、西界、北界、平均脊线位置及面积指数来定量地表示副高活动的特征[2]. 其中, 副高强度有特别重要的意义, 而且与 ENSO(厄尔尼诺-南方涛动)关系最密切[3]. 但是, 由于 500 hPa 月平均高度观测资料仅开始于 1951 年, 因此不可能充分认识副高的长期变化, 特别是年代际变化. 如果能够了解 20 世纪前半甚至 19 世纪末期副高的活动特征, 则对认识自然气候变率及人类活动的影响有重要的意义. 热带、副热带地区是大气环流模式对海表温度(SST)异常反映敏感的地区, 因此有可能通过模拟研究建立更长的副高指数序列, 本文介绍用 CCM3.6 对 1900～2000 年副高强度变化模拟的结果.

1 模式及模拟方案

公共气候模式(CCM3)是 NCAR(美国国家大气研究中心)开发的一个稳定、高效的大气环流模式[4～7]. CCM3.6 采用 η 混合垂直坐标, 水平分辨率为 T42 谱截断(全球共 128×64 个格点, 经纬度间隔相当于 $2.8° \times 2.8°$ 左右). 模式包括了完整的物理过程参数化方案, 考虑了云与辐射、垂直扩散与边界层、陆面过程、重力波拖曳、瑞利摩擦和对流等. CCM3.6 有两种运行方式, 一种是独立运行方式, 另一种是耦合模式. 我们采用独立运行模式, 海洋部分作为强迫向大气提供海洋 SST.

本文做了 3 组试验. 采用 9 月 1 日大气初始场 SEP1.T42.0198.nc, 这是利用 CCM 和 LSM(陆地表面模式)的独立运行方式积分 5 年得到的结果. LSM 是从随机的初始场开始运行的, 地球轨道参数设为 1950 年的值, 太阳常数取为 1367 W/m^2. (1) 在气候海温强迫下, 从第 0 年 9 月开始, 积分到第 30 年 12 月, 保留第 1 年 1 月到第 30 年 12 月的结果. (2) 在观测海温(1950-01～2000-12)强迫下, 从 1950 年 9 月积分到 2000 年 8 月, 保留 1951-09～2000-08 共 49 年的数据进行分析. (3) 在观测海温(1899-01～1951-09)强迫下, 从 1899 年 9 月积分到 1951 年 8 月, 保留 1900-01～1951-08 共 51 年的数据进行分析.

1899-09～1951-08 期间强迫 CCM3.6 所用的全球海温是 GISST2.3b[8,9]. 1950-01～2000-08 期间用的是 NCEP 利用经验正交函数分解(EOF)进行重建的结果[10～13].

通过比较利用观测海温强迫 CCM3.6 模拟的 500 hPa 高度场、气候海温强迫 CCM3.6 模拟的 500 hPa 高度场及 NCEP 的 500 hPa 高度场资料可以看出, 无论加气候海温强迫还是观测海温强迫, CCM3.6 都能够比较好地模拟出 1～12 月份 500 hPa 高度场多年平均纬圈平均值, 特别是热带和副热带地区的纬圈平均值; 加了观测海温以后, CCM3.6 能够更好地模拟出 1～12 月份热带和副热带地区 500 hPa 高度场的年际变化, 说明可以利用观测海温强迫 CCM3.6 来模拟西太平洋副热带高压的变化 [1)].

2 模拟的副高指数

国家气候中心的副高强度是根据 588 位势什米

1) 慕巧珍. 近百年来西太平洋副高的变化及其与 ENSO 和降水的关系. 北京大学博士学位论文, 2001

线内格点高度来定义的. 模拟序列的 500 hPa 高度平均值与观测序列有系统误差, 格点分布也不同. 所以不能直接用原定义方法确定模拟的副高强度指数. 我们同时也模拟了其他副高指数. 有关夏季副热带高压模拟结果的分析见文献[14,15], 本文讨论对近百年全年副高强度指数模拟的结果(图 1).

将 1961 ~ 1990 年期间 1 ~ 12 月国家气候中心的副高指数与观测海温强迫 CCM3.6 模拟的同期各个月 500 hPa 高度场分别求相关. 根据相关图, 选取其中相关系数比较大而且有明确物理意义的格点, 将标准化后的格点高度值加权平均, 得到利用模式模拟的 1900 ~ 2000 年期间各月的副高指数. 将各个月的副高指数分别合成季、年. 计算 1951 ~ 1999 年期间模拟的副高指数与国家气候中心副高指数的相关系数, 年平均(49 年)相关达到 0.88, 季平均(49 × 4 季)与月平均(49 × 12 月)相关分别为 0.72 及 0.58, 说明时间尺度越大模拟的效果越好. 单独统计 1900 ~ 1950 年期间, 用统计方法恢复高度场得到的指数与模拟的指数的相关系数也达到 0.51. 这从另一个角度说明了模拟结果的可靠性.

3 副热带高压变化的“秋季障碍”

王绍武等人[17]指出, 陈兴芳根据 1951 ~ 1975 年的副高面积资料作相邻月副高面积指数的相关系数, 具有明显的持续性, 但是在 9 ~ 10 月间的相关系数却是负值, 说明副高持续性的破坏多在秋季. 根据 1951 ~ 1975 年副高月面积指数资料统计, 这种转折出现在秋季 3 个月(9, 10, 11 月)的概率占转折总数的一半. 由于副高强度的持续性容易在秋季被破坏, 所以可以称为“秋季障碍”. 这里利用模拟的结果来研究“秋季障碍”问题. 从图 2 可以看出, 气候海温强迫模拟的副高强度几乎没有什么持续性. 因此, 也就看不出明显的“秋季障碍”. 但是, 用观测海温强迫模拟的副高强度的持续性与国家气候中心的副高强度的持续性基本一致, 前后两段时间的模拟也基本一致, 持续性在 9 ~ 10 月份最低, 即有明显的“秋季障碍”, 这说明副高异常的持续性可能与 SST 异常有关, “秋季障碍”可能也与 SST 异常的强迫有关.

4 副热带高压与 ENSO

过去不少作者指出西太平洋副高与 ENSO 有密切关系, 根据臧恒范等人[3]的计算, 副高强度与赤道

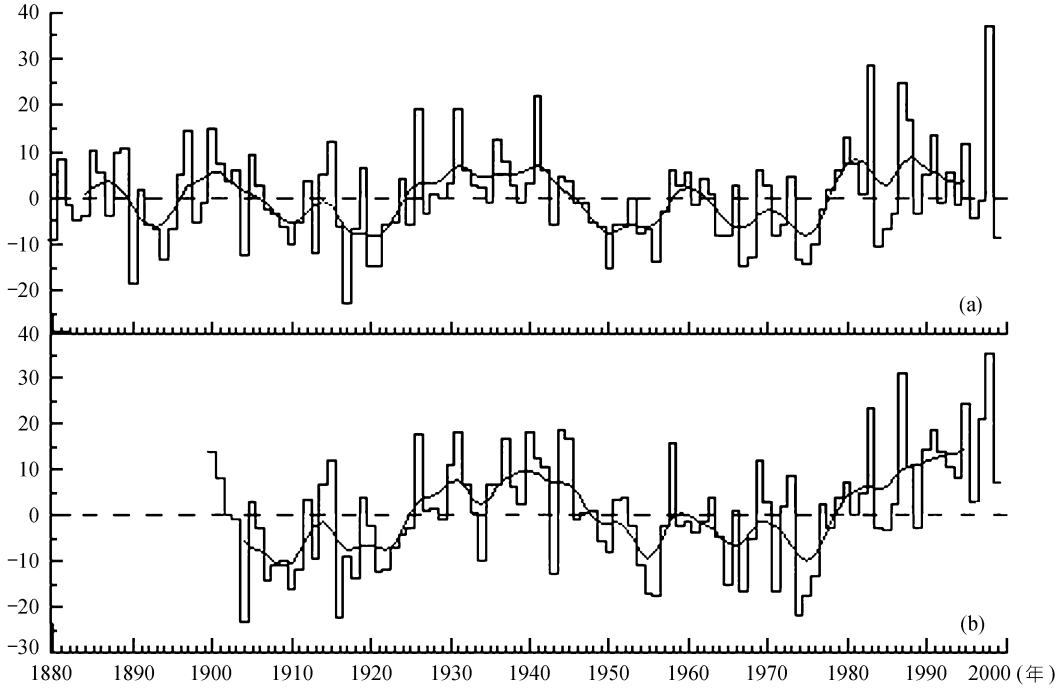

图 1 副高强度的年平均距平值

(a) 1880 ~ 1951 年利用统计方法重建的副高指数[14,16]及 1951 ~ 2000 年国家气候中心的副高指数; (b) 模式模拟的 1900 ~ 2000 年的副高指数

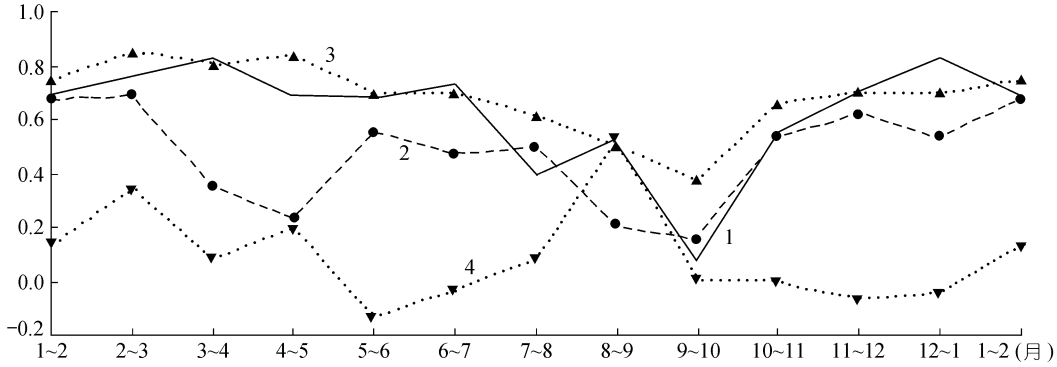

图 2 相邻月副高强度的持续相关

1. 国家气候中心的副高强度 1951 ~ 1999 年; 2. 用观测海温强迫 CCM3.6 模拟的 1951 ~ 1999 年; 3. 用观测海温强迫 CCM3.6 模拟的 1900 ~ 1950 年; 4. 用气候海温强迫 CCM3.6 积分 30 年

东太平洋 SST 相关最高(0.47), 副高变化比 SST 落后 4 ~ 5 个月. 利用模式模拟的副高指数序列检查了西太平洋副高与 ENSO 的关系.

1900 ~ 1950 年的副高强度指数与 Angell 区(180° ~ 90° W, 10° ~ 0° S)海温的交叉落后相关. 从图 3 可见国家气候中心 1951 ~ 1999 年期间副高强度落后海温 2 个季相关最大, 共 49 × 4 个季的相关系数达到 0.52; 模拟的 1951 ~ 1999 年期间副高强度落后 1 个季相关最大, 共 49 × 4 个季的相关系数达到 0.58; 模拟的 1900 ~ 1950 年期间副高强度落后海温 1 个季相关最大, 共 51 × 4 个季的相关系数达到 0.40. 当然, 在模拟中使用了 SST 做强迫, 因此模拟的副高指数与 SST 不是独立的, 这一点应该注意. 但是, 无论如何, 模拟的关系与观测结果大体一致, 这再次说明模拟的副高指数有一定的可信度.

许多作者曾研究了赤道东太平洋 SST 的“春季障碍”[18]. 以上分析表明, 副高异常落后 1 个季相关较高, 落后 2 个季仍有较大的正相关, 这启示我们副高

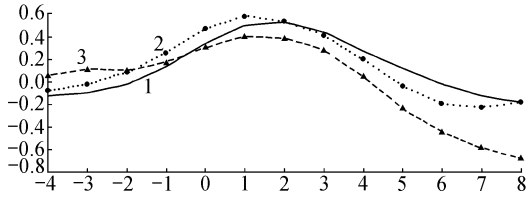

图 3 副高强度与 Angell 区海温的交叉落后相关

1. 国家气候中心的副高强度 1951 ~ 1999 年; 2. 用观测海温强迫 CCM 3.6 模拟的 1951 ~ 1999 年; 3. 用观测海温强迫 CCM3.6 模拟的 1900 ~ 1950 年

的持续性的“秋季障碍”是否可能与海温的“春季障碍”有关. 在观测海温强迫下, CCM3.6 能够比较好地模拟出副高与海温的关系, 而且也能模拟出副高指数的“秋季障碍”, 说明海温的异常对副高的异常有重大影响.

5 副高指数的年代际变化

对模拟的 1900 ~ 2000 年共 400 个季副高指数作功率谱及小波分析(图略), 发现显著年代际变化, 80 年和 40 年的周期都超过 95%的信度检验. 对利用统计方法重建的 1880 ~ 1999 年共 480 个季的副高指数作功率谱及小波分析也发现 80 年和 40 年的年代际振荡. 模式模拟的结果同利用统计方法重建的副高指数的年代际变化一致, 这也相互证明了模式模拟的副高指数及统计方法重建的副高指数的可信度. 只利用 1951 年以后的副高指数则很难确认 80 年及 40 年周期, 其中 40 年左右的周期与长江下游降水的周期一致. 王绍武[19]曾用来成功地预测了上海降水量的变化, 80 年周期可能与朱锦红等人[20]研究的夏季风的 80 年周期活动有直接关系. 这也说明中国降水的年代际变率与副高的年代际变率有密切的关系.

6 副热带高压与全球气候变暖

由于副高受海温影响很大, 而且从图 1 可以发现, 近百年来的副高强度有上升的趋势. 因此将模拟的副高指数分别与近百年来的全球、北半球及中国平均温度求相关. 相关系数分别为 0.67, 0.65 及 0.51. 可见随着全球气候变暖, 西太平洋副热带高压增强. 当然也可以说随副高增强中国气温上升, 因为这只是同时的关系, 应该是互为因果的. 不过副高与全球

平均温度相关最高说明西太平洋副热带高压虽然是一个地区性环流系统, 但是其成因可能是全球性的.

本文的主旨是通过模拟建立近百年的副高指数序列, 并与用统计方法建立的序列比较, 进而研究副高的长期变化. 1871 ~ 1899 年的模拟正在进行中, 集合模拟也在进行中. 目前只是近百年副高强度模拟的初步结果.

致谢 德国的 P. P. Smolka 为本研究提供 CCM3.6 微机版本, D. E. Paker 提供了 1950 年以前的全球 SST 资料, 1950 年以后的 SST 取自 NCEP, 一并致以深切谢意. 本工作受国家重点基础研究发展规划项目(G1998640900)资助.

参 考 文 献

1 赵振国, 陈国珍, 王永光, 等. 影响中国汛期旱涝的主要物理因素的综合分析. 气候预测评论, 1999, 91 ~ 98
2 中国气象局国家气候中心. 月气候监测公报. 1999. 8. Vol 10, No 8, Serial 107
3 臧恒范, 王绍武. 赤道东太平洋水温对低纬大气环流的影响. 海洋学报, 1984, 6(1): 16 ~ 24
4 Acker T L, Buja L E, Rosinski J M, et al. User's Guide to NCAR CCM3, NCAR Technical Note/TN-421+IA, Boulder, Colorado. 1996
5 Bath L M, Rosinski J, Olson J. User's Guide to NCAR CCM2, NCAR Technical Note/TN-379+IA, Boulder, Colorado. 1992
6 Hack J J, Boville B A, Briegleb B P, et al. Description of the NCAR Community Climate Model (CCM2). 1993
7 Kiehl J T, Hack J, Bonan G, et al. Description of the NCAR Community Climate Model (CCM3), NCAR Technical Note NCAR/TN-420+STR, Boulder, Colorado. 1996
8 Parker D E, Folland C K, Bevan A, et al. Marine surface data for analysis of climatic flucutations on internannual to century timescales. National Research Council, 1995. In: Martinson D G, Bryan K, Ghil M, et al, eds. Natural Climate Variability on Decade-to-Century Time Scales. Washington: National Academy Press, 241 ~ 250 + colour figs on 222 ~ 228
9 Rayner N A, Horton E B, Parker D E, et al. Version 2.2 of the Global Sea-Ice and Sea Surface Temperature Data Set, 1903 ~ 1994. Climate Research Technical Note CRTN74, September, 1996
10 Reynolds R W, Smith T M. Improved global sea surface temperature analysis using optimum interpolation. J Climate, 1994, 7: 929 ~ 948
11 Reynolds R W, Smith T M. A high resolution global sea surface temperature climatology. J Climate, 1995, 8: 1571 ~ 1583
12 Smith T M, Reynolds R W, Ropelewski C F. Optimal averaging of seasonal sea surface temperatures and associated confidence intervals (1860 ~ 1989). J Climate, 1994, 7: 949 ~ 964
13 Smith T M, Reynolds R W, Livezey R E, et al. Reconstruction of historical sea surface temperatures using empirical orthogonal functions. J Climate, 1996, 9: 1403 ~ 1420
14 王绍武, 慕巧珍, 朱锦红, 等. 西太平洋副热带高压与中国夏季降水关系的诊断研究. 见: 陈兴芳编. 汛期旱涝预测方法研究. 北京: 气象出版社, 2000. 60 ~ 70
15 慕巧珍, 王绍武, 朱锦红, 等. 近百年夏季西太平洋副热带高压的变化. 大气科学, 2001, 25: 787 ~ 797
16 龚道溢, 王绍武. 恢复近百年北半球 500 hPa 高度场的试验. 热带气象学报, 2000, 16: 148 ~ 154
17 王绍武, 赵宗慈. 长期天气预报基础. 上海: 上海科学技术出版社, 1987
18 陈兴芳, 晁淑懿. 海温慢变及其对副热带高压和我国气候的影响. 见: 国家海洋局科学技术司编. 海洋对气候变化调节与控制作用学术研讨会论文集. 北京: 海洋出版社, 1992. 148 ~ 158
19 王绍武. 上海气候振动的分析. 气象学报, 1962, 32(4): 322 ~ 336
20 Zhu Jinhong, Wang Shaowu. 80 a oscillation of summer rainfall over the east part of China and East-Asian summer monsoon. Adv Atmo Sci, 2001, 18: 1043 ~ 1051

(2001-12-05 收稿)