

张礼平, 张乐飞. 2013. 应用 MJO 制作长江流域月降水预测的试验研究. 气象, 39(9):1217-1220.

应用 MJO 制作长江流域月降水预测的试验研究^{*1}

张礼平¹ 张乐飞²

1 武汉区域气候中心, 武汉 430074

2 武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室, 武汉 430079

提 要: 用 MJO 指数 RMM1、RMM2、振幅 1—25 日平均代替月平均, 用上月月平均 RMM1 和 RMM2、振幅构造为右场, 下月长江流域降水场为左场, SVD 分析两场的关联, 借助最优化技术, 在降水场预测距平与实况距平同号总站数最大意义下确定系数, 建立估计公式, 由右场时间系数估计左场时间系数, 最后反演降水场。尽管多数的月第一模态相关并不显著, 但实际预测效果较好。

关键词: 气候学, MJO, 奇异值分解, 长江流域降水

中图分类号: P456

文献标志码: A

doi: 10.7519/j.issn.1000-0526.2013.09.019

Research on Forecasting Monthly Rainfall over the Yangtze River Valley Using Madden-Julian Oscillation

ZHANG Liping¹ ZHANG Lefei²

1 Wuhan Regional Climate Centre, Wuhan 430074

2 The State Key Laboratory of Information Engineering in Surveying, Mapping, and Remote Sensing, Wuhan University, Wuhan 430079

Abstract: RMM1, RMM2 and amplitude averaged from 1 to 25th are used to take the place of the average monthly. Right field consists of RMM1, RMM2 and amplitude of the preceding month, and left field consists of monthly rainfall over the Yangtze River Valley. The relationships between the two fields are studied by SVD. With optimization technique the time coefficients of the left field are estimated on the basis of the time coefficient of the right field according to the total number of stations which have the same sign between estimated anomaly and observed anomaly. Rainfall fields are retrieved by linear combination of the time coefficients and the vectors. Even though few of first models of SVD are above the significant level, the actual predictions achieve good results.

Key words: climatology, Madden-Julian oscillation, singular value decomposition, rainfall in the Yangtze River

引 言

热带低频振荡会影响中国的降水。在低频振荡强度高的年, 对流活跃中心位于热带印度洋(热带西太平洋)时, 中国南方降水偏多。而强度低的年, 各

位相的对流、降水以及其他要素的异常均不明显(冯俊阳等, 2012)。Chen 等(1991)指出 30°N 以南的季节内振荡西传明显, 常与副热带高压西移有关, 甚至可以影响四川旱涝。吴国雄等(1999)认为从南半球向北传播的季节内振荡和从西太平洋向西传播的频率 2~3 周的低频(TTO)在东亚季风区锁相时,

* 中国长江电力股份有限公司“长江流域中长期气象预报方法研究”、“关键期天气气候特征分析和预报方法研究”、中国气象局 2013 年小型基建项目“极端天气气候事件监测预测业务平台建设(二期)”、武汉区域气象中心科技发展基金项目

2012 年 12 月 14 日收稿; 2013 年 4 月 15 日收修定稿

第一作者: 张礼平, 主要从事短期气候预测及方法研究. Email: zhangliping_wh@yahoo.com.cn

亚洲季风阶段性爆发。热带大气季节内振荡 (the Madden-Julian oscillation, MJO) 是热带低频振荡的一种, 由 Madden 等 (1971) 在研究太平洋风场和气压场时最先发现, 周期一般在 30~60 d 之间, 普遍存在于热带大气中, 向东传播。而其他的热带低频振荡或季节内振荡, 也会向西、向北传播。MJO 对热带地区的天气气候有直接影响, 也可明显的调制副热带、中高纬度的天气气候 (Jones, 2000; Bond et al, 2003)。陈丽臻等 (1994) 分析了长江流域两个典型旱涝年的 MJO 特征, 发现涝年 MJO 明显, 而旱年 MJO 不明显。

目前应用 MJO 资料制作月降水预测研究不多, 业务应用更少。引进新的、有明确物理意义的因子, 是提高月降水预测准确率的一条重要途径。MJO 振荡周期一般在 30~60 d, 因而上月 MJO 有可能影响下月降水。MJO 相关资料现在可从网站下载, 为业务应用提供了可能, 研究应用 MJO 资料制作月降水预测, 显然有助于月降水预测准确率的提高。

1 资料与方法

实时多变量 MJO 指数取自 CAWCR (The Centre for Australian Weather and Climate Research), 可从网站 <http://cawcr.gov.au/staff/mwheeler/maproom/RMM/> 下载, 通过以下步骤得到: (1) 逐日 15°S~15°N 经向平均的向外长波辐射 (Outgoing Longwave Radiation, OLR), 850、200 hPa 纬向风资料去除年循环和年际变率, 使得与 MJO 相关的季节内时间尺度上有最大的变率。(2) 处理后的 OLR, 850 和 200 hPa 纬向风联合 EOF。(3) EOF 的前两个时间系数被称为 RMM1 和 RMM2, 分别解释总方差的 12.8% 和 12.2%, 非常接近, 因而 RMM1 和 RMM2 几乎同等重要。每日以 RMM1 和 RMM2 的值为横坐标和纵坐标确定点, 然后按日期先后逐点连接, 就可得到 MJO 的轨迹图。定义 $\sqrt{RMM1^2 + RMM2^2}$ 为 MJO 的振幅, 振幅小于 1 的为弱 MJO, 即 RMM1、O、RMM2 平面上以原点 O 为圆心, 1 为半径的圆内点为弱 MJO。圆内点移动相对随机, 无明显规律。而圆外的点多数绕原点逆时针转动, 表明了 MJO 系统性的向东传播。(4) 与 EOF 的第一、二空间函数对应, RMM1、O、RMM2 平面分为 8 个空间位相, 大致表征 MJO

对流所在的地理位置: 8 和 1 为西半球、非洲, 2 和 3 为印度洋, 4 和 5 为海洋大陆, 6 和 7 为西太平洋。

由于 OLR 缺测, 1978 年 3 月 17 日至 12 月 31 日无资料。

长江流域降水取自国家气候中心中国大陆 160 个代表站中 25°~34°N、100°E 以东范围内 59 个测站资料。

奇异值分解 (singular value decomposition, SVD) 是近年发展起来的分析场与场关系的方法, 被认为具有广泛的应用前景 (Bretherton et al, 1992; 张礼平等, 2004)。RMM1 和 RMM2 一起表征 MJO 所在的地理位置, 振幅表征 MJO 强度, RMM1、RMM2、振幅 3 个变量一起较全面地描述了 MJO。显然, MJO 不同的地理位置、强度, 其影响是不一样的。用上月平均 RMM1、RMM2 和振幅构造为右场 (3 个变量), 下月长江流域降水场为左场 (59 个变量), SVD 分析上月 MJO 与下月长江流域降水场的关联, 试验上月 MJO 预测下月长江流域降水的可能性。

2 MJO 资料处理

逐日的 RMM1、RMM2、振幅数据包含了高频的脉动, 不便于直接作为气候预测的预报因子。考虑到每月 25 日以前的 RMM1、RMM2、振幅月底可以得到, 在月底制作的下月预测具有实际意义, 1—25 日数据平均接近月平均, 将每月 1—25 日数据相加, 然后除以 25, 代替该月平均的 RMM1 和 RMM2、振幅。经处理后的数据既滤去了高频的脉动, 也使得尺度与月相当。

在 20 世纪 70 年代中期前后, 海洋和大气发生了显著年代际气候突变, 且 1979 年 1 月 1 日后才有连续 MJO 资料, 为了避开年代际气候突变, 同时也为计算方便, 统计样本均始于 1979 年 1 月。

计算每月 RMM1、RMM2、振幅×振幅 1979—2012 年平均值, 振幅×振幅 6—10 月均不超出 1.6, 最小值出现在 7 月 (1.36), 其他月均大于 1.6, 最大值出现在 3 月 (2.59), 其次为 1 和 5 月, 表明北半球的冬半年 MJO 较北半球的夏半年活跃, 最活跃在 3 月, 最不活跃在 7 月 (图 1 和图 2), 与北半球冬季亚澳季风区赤道附近 Hadley 环流上升气流明显强于北半球夏季对应。其季节循环与网站 <http://cawcr.gov.au/staff/mwheeler/maproom/RMM/> 给

出的 31 天滑动平均表征的季节循环基本一致,说明由 1—25 日数据相加平均代替月平均是可行的(参见图 1 和图 2)。

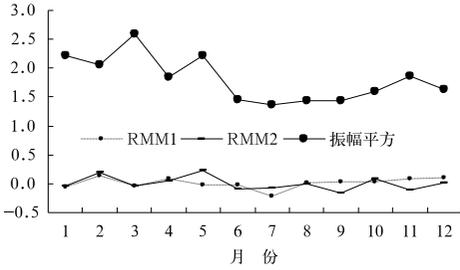


图 1 1979—2012 年 1—12 月 RMM1、RMM2、振幅×振幅的平均值
(纵坐标:RMM1、RMM2、振幅×振幅)
Fig. 1 The average monthly values of RMM1 and RMM2,

$\sqrt{RMM1^2 + RMM2^2}$ during 1979—2012
(longitudinal coordinates: RMM1 and RMM2, $\sqrt{RMM1^2 + RMM2^2}$)

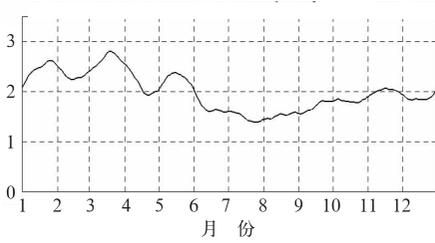


图 2 31 天滑动平均表征的 $RMM1^2 + RMM2^2$ 季节循环

(引自网站 <http://cawcr.gov.au/staff/mwheeler/maproom/RMM/>)

Fig. 2 $RMM1^2 + RMM2^2$ seasonal cycle marked by the 31-d running mean
(Quoted from <http://cawcr.gov.au/staff/mwheeler/maproom/RMM/>)

3 预测方案

上月 RMM1 和 RMM2、振幅应对下月有直接影响,因而有可能影响下月长江流域降水,设计用上月 RMM1、RMM2、振幅预测下月降水。SVD 得到的两场时间系数的协方差较大,因而可能存在某种关系。考虑到线性函数是最简单的函数形式,且右场(上月 RMM1 和 RMM2、振幅)仅有 3 个变量,前两模态的可预报性最大,构造时间系数估计公式为

(张礼平等,2005)

$$a_1 = c_{01} + c_{11}b_1 \tag{1}$$

$$a_2 = c_{02} + c_{12}b_2$$

式中, a_1 、 b_1 分别为左场(降水场)和右场(上月 RMM1、RMM2 和振幅)第一时间系数, a_2 、 b_2 分别为第二时间系数, c_{01} 、 c_{11} 、 c_{02} 和 c_{12} 为待定系数。借助最优化技术,在降水场距平与实况距平同号的总站数最大意义下确定合理的系数 c_{01} 、 c_{11} 、 c_{02} 和 c_{12} , 由此建立估计公式(1)。将 RMM1、RMM2、振幅 3 个变量 SVD 第一、二时间系数 b_1 、 b_2 代入式(1), 估计降水场第一、二时间系数 a_1 、 a_2 , 求得 a_1 、 a_2 后, a_1 、 a_2 与对应空间函数线性组合即可得到降水预报场。方案考虑的是 RMM1、RMM2、振幅综合对降水场的主要耦合关系,重点考虑可预报的大尺度信号,滤去不可预报的小扰动,尽可能使估计的降水场距平与实况距平同号率最大,从而提高技巧水平。

我们选用遗传算法(genetic algorithms, GA)。GA 明显优于传统的局部搜索算法(如梯度法、单纯形算法等),GA 取得高质量解的代价,在于大幅度增加的计算量和存储量。有幸的是,对于计算机技术高速发展的今天,这已不成为问题。

按照上述方案,我们对长江流域月降水场分别进行拟合和独立预测试验。用 1979—2010 年逐年 12 月 RMM1、RMM2、振幅拟合预测次年 1980—2011 年逐年 1 月降水,用 2011 年 12 月 RMM1、RMM2、振幅独立预测 2012 年 1 月降水。用 1979—2011 年逐年 1 月 RMM1、RMM2、振幅拟合预测 1979—2011 年逐年 2 月降水,用 2012 年 1 月 RMM1、RMM2、振幅独立预测 2012 年 2 月降水,余此类推,独立预测 2012 年 1—12 月降水,其中建模分析样本容量为 32、33 不等。

用蒙特卡罗法检验 SVD 结果的统计显著性。设置不重复的随机数种子初值,利用随机数发生器生成正态分布随机序列,构造与实例相同行和列的 2 个矩阵为左、右场,进行 100 次模拟 SVD 计算,结果为每次计算的第一模态可解释总协方差的部分(SCF_1)都小于 18%,按大小排序,第五位也一定小于 18%。本文的 12 实例中第一模态的 SCF_1 都在 38% 及以上,因而均超过 0.05 显著性水平检验(表 1)。

第一模态相关系数 12 实例中仅 9、12 月超过 0.05 显著性水平检验,表明多数上月 MJO 与下月长江流域降水场两场的线性相关并不密切,因而不便分析相关结构。

表 1 预测试验结果
Table 1 The results of tests

降水月份	1	2	3	4	5	6
SCF ₁	0.58	0.59	0.59	0.51	0.44	0.44
第一模态相关系数	0.30	0.05	0.09	0.20	0.31	0.19
32/33 年平均距平符号拟合率	0.87	0.62	0.65	0.72	0.64	0.68
2012 年独立预测距平符号与观测同号率	0.73	0.56	0.61	0.47	0.56	0.49
降水月份	7	8	9	10	11	12
SCF ₁	0.60	0.49	0.39	0.38	0.76	0.42
第一模态相关系数	0.26	0.29	0.44	0.21	0.25	0.40
32/33 年平均距平符号拟合率	0.82	0.57	0.63	0.57	0.85	0.57
2012 年独立预测距平符号与观测同号率	0.42	0.54	0.66	0.53	0.53	0.63

尽管多数的月第一模态的线性相关并不密切,但 1—12 月实例距平符号预测拟合率都在 0.57 或以上,其中有 4 个月在 0.70 以上,1、7 和 11 月都超过 0.80,表明存在较明显非线性关系,且其中部分非线性关系被本方案归纳。2012 年 1—12 月共 12 个独立预测中有 9 个预测距平符号与实况距平同号率大于 0.50(随机预报同号率),占总数 75%,表明具有一定的预测能力(表 1)。1 月预测距平符号拟合率和独立预测同号率均较高,可能与振幅大(MJO 对流活跃)有关。

4 结 语

用 RMM1 和 RMM2、振幅 1—25 日平均代替月平均,上月月平均 RMM1 和 RMM2、振幅构造为右场,下月长江流域降水场为左场,SVD 分析上月 MJO 与下月长江流域降水场的关联,借助最优化技术,在降水场距平与实况距平同号的站数最大意义下确定合理的系数,建立估计公式,由右场 SVD 时间系数估计左场时间系数,考虑 RMM1、RMM2、振幅综合对降水场的主要耦合关系,重点考虑可预报的大尺度信号,滤去不可预报的小扰动,尽可能使估计的降水场距平与实况距平同号率最大,从而提高技巧水平。

尽管多数的月 SVD 第一模态相关并不显著,但 1—12 月距平符号预测拟合率都在 0.57 或以上,其中有 4 个月在 0.70 以上。2012 年 1—12 月共 12 个独立预测中有 9 个月预测距平符号与实况距平同号率大于随机预报同号率,占总数 75%。证实虽然本方案估计公式形式上是线性的,但是非线性的遗传算法,使得本方案具有归纳非线性关系的能力,也

表明上月 MJO 有潜力预测下月长江流域降水,且上月 MJO 数据可在网上方便下载,为时实业务应用提供了可能。今后,随着分析样本的增多,预测能力还有望进一步提高。

参考文献

- 陈丽臻,张先恭,陈隆勋. 1994. 长江流域两个典型旱涝年大气 30—60 天低频波差异的初步分析. 应用气象学报,5(4):483-488.
- 冯俊阳,肖子牛. 2012. 热带低频振荡的强度和相位对中国南方冬季降水的影响. 气象,38(11):1355-1366.
- 吴国雄,张永生. 1999. 青藏高原的热力和机械强迫作用以及亚洲季风的爆发 II. 爆发时间. 大气科学,23(1):51-61.
- 张礼平,丁一汇,李清泉,等. 2005. 国家气候中心海气耦合模式汛期降水预报的一种订正方案及其试验. 气候与环境研究,10(2):209-219.
- 张礼平,柯怡明,王康康. 2004. SVD 方法在场的定量预测中的应用. 热带气象学报,20(4):383-390.
- Bond N A, Vecchi G A. 2003. The influence of the Madden-Julian oscillation on precipitation in Oregon and Washington. Wea Forecasting, 18:600-613.
- Bretherton C S, Catherine Smith, Wallace J M. 1992. An intercomparison of methods for finding coupled patterns in climate data. J Climate, 5(6):541-560.
- Chen Longxun, Shao Yongning. 1991. Variation of 30—60 day oscillation in atmosphere before and during 1982 El Nino. Acta Meteor Sin, 5(4):397-410.
- Jones C. 2000. Occurrence of extreme precipitation events in California and relationships with the Madden-Julian oscillation. J Climate, 13:3576-3587.
- Madden R A, Julian P R. 1971. Detection of a 40—50 day oscillation in the zonal wind in the tropical Pacific. J Atmos Sci, 28:702-708.
- Wheeler M, Hendon H H. 2004. An all-season real-time multi-variate MJO index: Development of an index for monitoring and Prediction. Mon Wea Rev, 132:1917-1932.