

汛期预测的集合预告模拟研究*

袁重光 杨芳林 李 旭 曾庆存

(中国科学院大气物理研究所, 北京 100080)

摘 要 本文介绍一个跨季度汛期降水预测的集合预测模拟试验, 以1987年为例, 用2月1日~26日每隔5天的观测资料作初值进行了6个积分, 取其平均作为集合预测, 共有7个预测结果, 计算了7个预测与观测场的同号率, 计算了6个预测的标准差, 结果表明: 集合预测比个别试验更为合理, 这6个试验的结果在大尺度分布上是相近的, 其差别也是不大的。集合预测值得继续进行试验。文中也讨论了一些由于大气运动固有的动力学特性, 其集合预测与经典的数学考虑有所区别, 对集合预测提出了一些新的看法, 许多问题还需要继续深入探讨, 以期能对该方法作出恰当的评价。

关键词 短期气候距平预测 降水距平百分率 标准差 集合预测

1 引言

气候数值预测须有一定的初始场, 但实测场存在着各种误差, 如, 观测误差, 不同地区采用不同观测设备的差异, 资料传输中发生的错误, 分析误差, 为协调非定时观测资料而进行同化产生的误差, 观测资料稀少地区替代以模式输出资料发生的误差……这种含有多种性质误差的初始场在积分过程中必然使模式的结果逐渐偏离真解, 因而产生了集合预告的想法。第一种做法主要是从数学上考虑, 认为有足够多的含有不同随机误差初始场的积分结果的综合, 其结果应更接近真解, 随之而发生的问题是如何设置随机误差; 需要多少个积分? 第二种做法是气象学家们采用的, 例如欧洲中心、美国的NMC就是按照这一设想在中期、短期预告中进行了试验, 他们采用了预告时刻前每隔3或6小时的数据作若干个预告, 将积分结果进行综合作为预告。

我们在1989年开始进行第一例短期气候距平的预测试验^[1], 取得了初步成功, 其后我们对短期气候距平产生的成因作了一些探讨^[2], 并对东亚季风及其降水作出了成功模拟^[3], 为短期气候距平的预测提供了初步的物理基础。1991~1995年又连续进行了5年的实际预测, 虽然预测是基本成功的, 但效果仍应进一步改进, 为此也开展了集合预测的研究, 并按第二种方法进行了模拟研究。目的是通过模拟研究探索一些集合预测中的概念、方法和问题, 以1987年夏季作预测对象的模拟试验结果为例, 进行讨论。

2 试验方案及结果

我们对1987年的个例进行了较为细致的试验及统计, 试验取1987年2月1日、6

1995-04-25收到

* 本研究得到国家攀登计划“气候动力学及气候预测理论的研究”、气候与环境预测研究中心、LASG及中国科学院KY85-10项目的支持

日、11日、16日、21日、26日6个初始场（下称试验1、……、试验6），均积分至8月31日，为避免海表水温预测误差的混淆，取海表水温为当年逐月观测值，试验均用IAP发展的跨季度气候距平数值预测系统（PSSCA）进行。取6个试验的平均称集合预测。这里先列出试验中的几个有关的统计数字如下。

2.1 同号率

同号率 N_0 的定义为

$$N_0 = \frac{N_1 + N_2 + N_3}{N} \times 100,$$

N_1 为观测正距平预测也为正距平的点数； N_2 为观测负距平预测也为负距平的点数； N_3 为观测或预测距平为0的点数， N = 区域内总点数。

表1、表2列出了两个不同地区的预测和实况降雨距平同号率，同号率的统计范围主要是中国区域。表1是100°E以东的中国大陆区域；表2范围包括大陆西部及部分南海区域；从表1和表2可以看到总的平均同号率略高于50%，同号率意味观测距平区有2/3的面积能被预测出来；二表所列数字也是很接近的，对我们的预测对象夏季降水来说表1数字略高于表2，这就是说对中国东部夏季降水的预测效果稍好一些。从表2看，逐月的预测同号率最高的是74.2%，最低的是24%，夏季最高58%，最低47.2%，对这样长时间尺度的降水预测来说效果是相当好的。

表1 100~140°E, 20~50°N 地区观测与预测降水距平同号率

试验序号	3月	4月	5月	6月	7月	8月	3~5月	6~8月
1	52.9	56.7	54.5	62.6	24.9	55.9	60.3	58.0
2	40.9	51.7	54.3	30.3	24.0	42.3	50.5	47.2
3	56.1	47.7	66.6	61.3	58.6	56.8	50.6	56.5
4	54.0	47.7	51.3	29.3	47.5	51.8	64.2	48.9
5	47.6	49.5	58.7	52.1	64.2	49.0	51.8	48.5
6	51.5	44.7	74.2	56.3	30.1	51.5	60.7	50.1
集合	48.1	45.4	56.3	52.5	31.2	49.2	63.9	55.3

表2 70~140°E, 10~50°N 地区观测与预测降水距平同号率

试验序号	3月	4月	5月	6月	7月	8月	3~5月	6~8月
1	51.2	58.6	52.2	58.4	29.7	59.6	66.2	58.4
2	46.0	54.7	52.4	26.7	27.4	40.8	50.6	44.1
3	56.9	54.0	56.0	58.4	58.1	63.9	49.0	56.9
4	51.8	49.2	50.5	30.2	47.3	53.6	56.3	49.0
5	45.5	45.2	62.0	48.4	59.1	45.2	47.6	52.8
6	53.6	53.7	61.1	49.8	36.6	47.1	61.4	47.2
集合	49.5	52.1	55.7	45.5	35.5	52.0	65.3	51.0

2.2 降水距平分布的预测

图1是夏季（6~8月）的降水距平百分率的分布，图1a为观测，b为集合预测，c~h分别为试验1~6的结果；大陆东部降水的主要特色是：20~26°N间大部分地区偏少，26~38°N大部分地区偏多，有中心东西各一，38°N以北东多西少。除图1外，几个试验的预测情况还可简述如表3，表中同时列出它们按表1所得同号率大小排列次序。

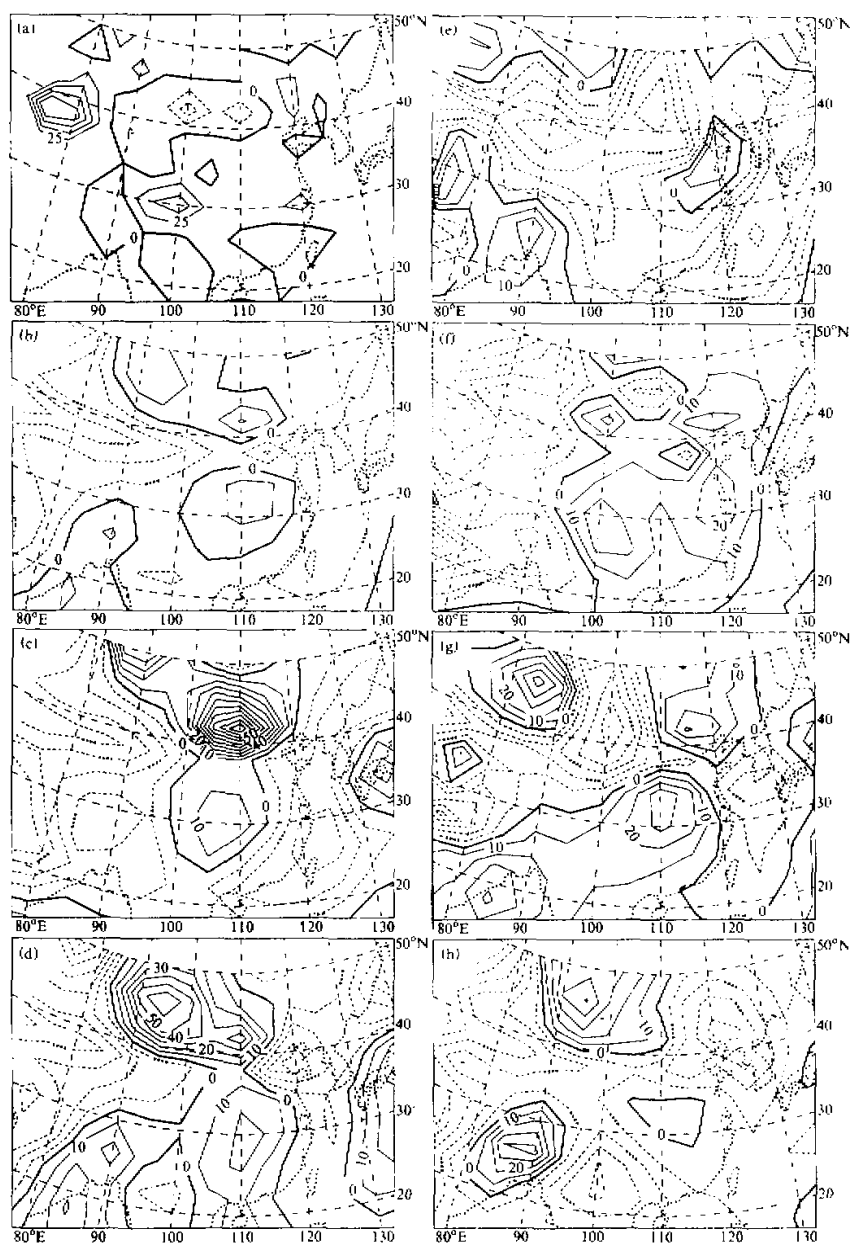


图 1 1987 年 6~8 月降水距平百分率

(a) 观测, (b) 集合预测, (c) 试验 1, (d) 试验 2, (e) 试验 3, (f) 试验 4, (g) 试验 5, (h) 试验 6

表 3 各试验的预测效果一览 (100~140°E, 20~50°N 地区)

主要距平区	集合	试验 1	试验 2	试验 3	试验 4	试验 5	试验 6
20~26°N	可	可	不好	可	不好	不好	可
26~38°N	好	可	可	不好	好	可	不好
38°N 以上	不好	不好	不好	尚可	不好	可	不好
同号率顺序	3	1	7	2	5	6	4

由表 3 可见, 3 个雨带中以中部雨带预测为最好, 北方雨带次之, 南方雨带预测效果最差; 就某一雨带来说, 预测效果较好的整个大陆东部统计的同号率并不是最高的; 以中部雨带来说, 预测效果以试验 4 及集合预测为佳, 尤以试验 4 预测出了东西两个位置相当的降水距平中心, 但试验 4 的同号率排名只是第 5。

为考察各个试验间的差异, 对试验中的几个预测物理量场计算了它们的标准差, 标准差的计算公式为

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}},$$

n 为试验个数, 本试验 $n = 6$, $\bar{x}$ 为平均值, 由下式计算,

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i.$$

计算在每个网格上进行, 最后可得到各要素 σ 的水平分布。标准差大的地区, 表示预测的可信度小, 小值区表示可信程度较好。但这并不一定是预测的准确度的度量 (预测准确度还决定于模式精度本身)。

本试验中计算了降水距平百分率、降水距平、500 hPa 位势高度、海平面气压及海平面气温等要素的标准差, 分述如下。

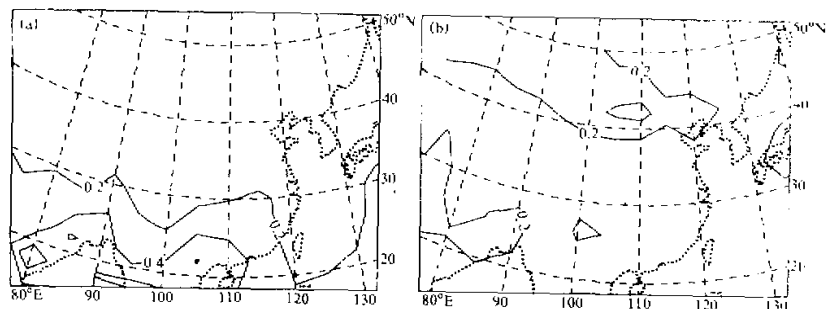
(1) 降水距平百分率

降水距平 ΔP 的计算公式为 $\Delta P = P - \bar{P}$; 降水距平百分率 A 为 $A = \frac{\Delta P}{\bar{P}} \times 100$, 其中 P 为预测降水总量, $\bar{P}$ 为气候平均量。

图 2 给出的是中国大陆 3~5 月及 6~8 月总降水距平百分率 A 的标准差分布, 春季大值中心在 20°N 以南, 夏季大值中心出现在 40°N 之北; 逐月的分布也基本如此, 3 月、4 月份都稳定在 20°N 以南, 5 月份接近 20°N, 6 月份越过 20°N, 7 月份迅速移至 40°N; 春夏季, 在大陆地区, 大部分均小于 0.2, 仅大值中心小范围内达 0.4; 大值中心的移动与雨带的移动和跳跃是相连系的。

(2) 降水距平

与降水距平百分率标准差的分布有类似之处, 降水距平 ΔP 的标准差, 春季 (3、4、5 月) 大值中心集中于 0°E~140°W 的赤道地区, 6 月开始有分散趋势, 7、8 月中高纬地区也出现多个中心, 3~6 月大值中心都在 4 mm/d 附近, 7、8 月中心数值稍有减小, 在我国大陆上其数值大都在 1 mm/d 以下, 特别是春季, 我国大陆是极小值所在。

图2 降水距平百分率的标准差 $\times 100$

(a) 3~5月; (b) 6~8月

(3) 500 hPa 位势高度

500 hPa 位势高度场的标准差分布有几个特点: 标准差大值中心都在高纬度 (60°N 或更北), 有二主要大值中心, 一在欧亚大陆北部, 一在北美北部, 有时在阿拉斯加也出现一个较弱的大值中心, 所在区域春夏变动很少, 春季中心略强于夏季, 在整个春夏期间我国大陆地区的标准差均小于 2 位势十米, 夏季则大都在 1 位势十米左右。

(4) 海平面气压

海平面气压的标准差, 其分布特点与 500 hPa 位势的标准差分布十分一致, 在我国大陆地区其数值大都小于 1 hPa。

中、高纬大气内部的非线性相互作用在运动变化中所占的重要性也是相当大的, 热带海洋的控制作用在低纬度大气中是首要的, 对中、高纬大气则非线性相互作用与海洋的控制作用具有同等的重要, 初始环流的差异产生的影响会大一些, 因此 500 hPa 高度场及海平面气压场标准差的大值出现在高纬是可以理解的。

3 问题及讨论

从上面给出的结果及统计数字来看, 6 个试验中有 2 个较差, 有 4 个还好, 集合预测的效果则较好, 比 6 个试验中的大部分试验有提高, 从同号率的次序以及大尺度降水距平分布来看都是如此。几个要素场的标准差分析也说明了各个试验之间的差别在我国大陆地区范围内是不大的。

从引言中说到的第一种方法的观点来说, 加在初始场的随机误差, 其量级应与初始场上存在的观测误差等的量级相同, 进行集合的试验个数也应足够多; 当我们采用第二种方法进行时也将出现几个问题, 选择几个试验进行集合才是足够的? 相邻两个试验的时间间隔以多长为佳? 如何进行集合?

大气运动有其本身的动力学特性, 故误差或离差的增长不是一个简单的纯数学问题。在初始场上加上一些随机误差, 它会表现为各个要素场之间的不协调, 大气运动的本身具有趋向适应、协调的动力学特性, 即经过不长时间的积分, 它们会趋于协调, 不再具有随机误差的特性, 而表现为略为改变了环流的动力结构。也许由于我们取了作为

边界条件之一的海表温度是给定的, 大气状态的演变在相当大程度上受制于它, 故不同的初值不会使以后的演变有很大的差异, 海表温度异常等外强迫异常的影响同时也以某种形式存在于大气中, 即使海面温度恢复正常, 其影响也能持续一段时间。这也许是集合预测所以有一定效果的原因。不过, 并非边界条件决定了一切而初值不重要, 事实上集合预测有一定的离差就说明了初值仍然是重要的。标准差的分析可以使我们在判断预测降水距平分布的相对可信程度上有一个定量的参考, 对预测产品的使用是有益的。

大尺度降水距平分布的预测效果以江淮至中原地区为佳, 南方较差, 这一点也和我们自 1989 年以来准业务的统计分析结果一致。且集合预测的标准差在那里也是小值区, 预测可信程度也是较好的。这些很可能由模式误差决定。因而引入订正是必要的, 为此我们同时研制了订正方法^[4], 将提供今后实践中使用。

集合预测的试验工作量大, 所需计算机时费用多, 希望能通过本文的讨论为集合预测提供一些参考, 以减少一些工作量。大量的试验、统计只能在今后的预测中逐步积累, 以期对此方法作出合理的肯定。许多观点也应深入讨论, 什么样的对象能预测到什么程度? 也需要逐步澄清, 以期对预测的产品能作出恰如其分的评价。

参 考 文 献

- 1 曾庆存、袁重光、王万秋、张荣华, 1990, 跨季度气候距平预测试验, 大气科学, 14, No.1, 10~25.
- 2 Yang Fanglin and Yuan Chongguang, 1993, Numerical simulation of regional short-range climate anomalies, *Advances in Atmospheric Sciences*, 10, No.3, 335~344.
- 3 袁重光, 1990, 夏季风及其降水的数值模拟, 大气科学, 14, No.1, 46~52.
- 4 Zeng Qingcun, Zhang Banlin, Yuan Chongguang, Lu Peisong, Yang Fanglin, Li Xu and Wang Huijun, 1994, A note on some methods suitable for verifying and correcting the prediction of climate anomaly, *Advances in Atmospheric Sciences*, 11, No.2, 121~127.

A Modelling of Ensemble Prediction for Summer Precipitation

Yuan Chongguang, Yang Fanglin, Li Xu and Zeng Qingcun

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

Abstract An experiment in ensemble prediction of the summer precipitation over East China is described in this paper. Six predictions start from February 1, 6, 11, 21 and 26, 1987. Taking the average of the six cases as the ensemble mean, thus we have seven predictions. The rate of the same signs between simulated rainfall anomaly and observed one are calculated. We also calculate the standard deviation of simulated rainfall for the six experiments. The results show that the difference between the six experiments are small in the distributions of rainfall on a large scale, the ensemble mean is more reasonable. The features of atmospheric dynamics are also discussed in this paper. It shows that the ensemble prediction of short range climate differs from the short time and medium range numerical forecasting by physical base.

Key words short range climate anomaly rainfall anomaly percentage standard deviation ensemble precipitation