

卡尔曼滤波方法在动力延伸 预报产品释用中的应用^①

穆海振 徐家良

(上海气候中心, 200030)

提 要

根据月时间尺度上的降水与大气环流之间的关系,利用国家气候中心 T63 模式动力延伸预报产品,应用卡尔曼滤波方法对月时间尺度上降水进行了预测试验。结果表明该种模式动力产品释用方案在短期气候预测中具有较好的应用前景。

关键词: 卡尔曼滤波 动力延伸预报 短期气候预测

引 言

近年来我国的月动力延伸预报的环流场产品在短期气候时间尺度上已具备了一定的预测能力,这使应用动力模式产品释用于预测气温、降水成为可能。动力延伸预报产品的释用是在月动力延伸预报模式输出产品的基础上结合本地区的天气气候特点,综合运用动力学、统计学等方法进行再分析、解释,将月平均环流形势的预报转化为本地区月平均要素的预报。这也是国家“九五”重中之重的科技项目“区域短期气候预测系统研究”的重要研究内容。以往对中短期数值预报产品的释用主要采用完全预报原理(PP)和模式输出法(MOS),但由于这两种方法的预报方程系数不能随样本的变化进行动态调整,从而使它们的应用受到一定的限制,而与此同时人们越来越重视卡尔曼滤波方法在动力产品释用领域中的应用^[1]。本文根据由月时间尺度上的大气动力学方程导出的大气环流与降水之间的关系,用卡尔曼滤波方法对 8 个位于长江三角洲地区的站点的月降水距平百分率进行了预测试验。用这种方法建立的动力

预报产品释用方案物理意义明确,并且其预测方程的系数能够根据前一时刻预测误差和样本的变化进行调整,从而适应气候背景及数值模式本身的变化,同时这也和气候变化本身是非线性过程的特点相一致。

1 月时间尺度上的大尺度环流与降水之间关系的推导

从月尺度的大气动力学出发,根据大气上升运动和降水之间存在的诊断关系,并利用单位大气柱的热平衡距平方程,略去方程中量级较小的项,且考虑到大尺度环流具有相当正压性的特点,经过一系列简化,得到月时间尺度上 500hPa 高度距平与降水距平之间的关系为^[2]

$$P' = A_0 + A_1 \nabla^2 \phi' + A_2 \phi'_x + A_3 \phi'_y + A_4 \phi' \quad (1)$$

上式说明一个地区的月降水量(P')的多少与该地上空大气环流的辐散辐合($\nabla^2 \phi'$)、经纬向切变(ϕ'_x 、 ϕ'_y)及月高度距平(ϕ')有关,这些项都有明确的物理意义。式中 $A_0 \sim A_4$ 分别为与大气各物理量有关的系数,若已知系数值 $A_0 \sim A_4$,我们就可用月动力延伸预

^① 本文由国家“九五”攻关项目 96-908-05-06 子专题资助

报产品中的 500hPa 高度场资料对月降水距平进行预测。

2 卡尔曼滤波方法简介

卡尔曼滤波方法是一种统计估算方法,它通过处理一系列带有误差的实际测量数据得到所需要的物理参数的最佳估算值。在短期气候预测中可将预测方程视为卡尔曼滤波中的量测方程,利用卡尔曼滤波方法组成递推系统,反复运算就可实现递推过程,并可在作预测的同时修正预测方程的系数。在动力模式产品释用过程中,将前面所得到的大尺度环流与降水之间的关系作为预测方程,确定卡尔曼滤波递推系统进行递推所需的初值后就可进行递推计算。卡尔曼滤波方法的优点在于其能够根据前一时刻的预测误差的大小及其它统计量的变化来调整预测方程的系数,它不仅利用了样本所提供的信息,同时也吸收了前一时刻预测方程的反馈信息,从而有利于提高预测精度。这种方法能够自动适应季节的变化及天气形势的演变,对数值模式也有较强的适应能力。为了验证卡尔曼滤波方法的实际预测效果,本文也用多元回归方法对动力模式产品进行了释用试验,并将两种方法的实际预测效果进行了比较。

3 试验结果

3.1 卡尔曼滤波方法

本文选取了长江三角洲地区 8 个站(上海的龙华、崇明、江苏的东山、南京、南通、东台、溧阳及浙江的杭州)进行了预测试验,所取资料为上述 8 站的旬降水量(1996~1998 年),动力产品取自国家气候中心发布的 T63 模式动力延伸预报的分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 的 500hPa 高度距平场资料(1996 年 34 组,1997 年 36 组,1998 年 35 组)。将降水资料进行处理使之和模式输出产品相对应,用 1996 年降水资料和模式输出产品确定了卡尔曼滤

波方法所需初值,确定初值的方法参考了陆如华的做法^[1]。确定初值后对上述 8 站的 1997 年 2 月到 1999 年 1 月共 24 个月的各站月降水距平百分率进行了预测。在差分计算过程中还涉及到网格距的选取问题,我们对上述 8 站各进行了 5 组预测试验(网格距从 2.5° 变到 12.5°),并选取了预测与实况最为接近时一组来代表该站的预测结果。

3.2 多元回归方法

在利用多元回归方法释用动力模式产品的试验中,我们首先利用各站 1996 年的 34 组资料确定了预测方程(1)的系数,为了便于比较,此时各站的网格距也取其在卡尔曼滤波预测方法中所选定的网格距,然后对各站 1997 年 2 月的降水距平百分率进行了预测试验,接着用前 35 组资料确定了各站下一个预测方程的系数,然后再对各站 1997 年 3 月的降水距平百分率进行了预测,依此类推,同样也得到了各站 24 个月的降水距平百分率预测值。这里预测方程系数的变化是由于样本的增多变化引起的,前时刻预测误差的大小对系数的变化没有影响。

3.3 结果分析

表 1 列出了卡尔曼滤波方法的实际预测效果,由表 1 可以看出,本文所建立的动力产

表 1 卡尔曼滤波方法的月降水距平预测
评估(1997 年 2 月~1999 年 1 月)

站名	相关系数	距平同率/%	预测评分	格距(度)
南京	0.42	70.8	87.0	2.5
东台	0.61	79.2	89.9	5.0
南通	0.25	54.2	70.7	7.5
溧阳	0.39	66.7	84.6	5.0
东山	0.33	41.7	62.6	7.5
崇明	0.30	54.2	78.1	7.5
龙华	0.37	50.0	69.1	7.5
杭州	0.13	54.2	82.3	7.5

品释用方案对长江三角洲地区的月时间尺度降水预测具有一定应用价值,8个站的平均距平相关系数达到了0.35,预测评分^[3]平均为78分,平均距平同号率为59%,其中对北部的东台的预测尤为成功,相关系数达到了0.61,预测评分接近90分。共有5个站相关系数通过了90%的信度检验,只有1个站的距平同号率低于50%,有6个站的预测评分高于70分,所得结果令人鼓舞。

图 1 分别从距平相关系数、距平同号率

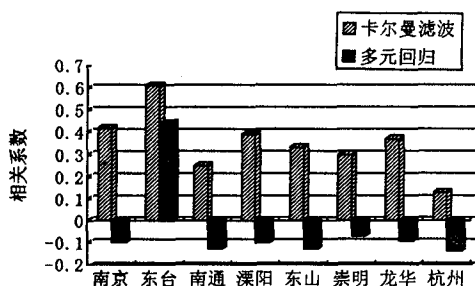


图 1 两种预测方法的预测值与实测值的相关系数比较

及预测评分三个评估参数将多元回归方法与卡尔曼滤波方法的实际预测效果进行了比较。由图 1 可以看出,卡尔曼滤波方法的预测效果普遍好于多元回归方法,这在相关系数的比较中表现得最为明显,回归方法的相关系数大部分都小于零,只有东台的预测值与实测值的相关系数大于零,而卡尔曼滤波方法的相关系数都大于零,对预测具有较大的参考价值。同样从距平同号率及预测评分来讲卡尔曼滤波方法也都普遍优于回归方法(图 2、3)。由上可见,卡尔曼滤波方法在模式动力产品释用中具有多元回归方法不能比拟的优点,它不仅适用于中短期预报中 MOS 方程的应用,在短期气候预测中也有较好的应用前景。

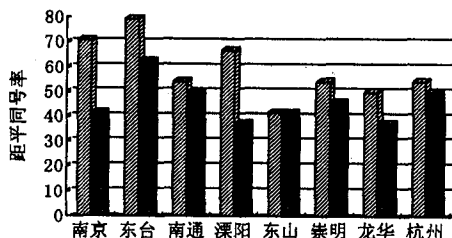


图 2 两种预测方法的预测值与实测值的距平同号率比较

图例同图 1

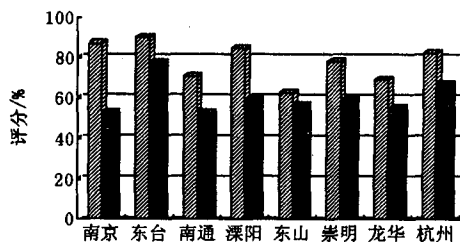


图 3 两种预测方法的预测评分比较

图例同图 1

4 结语

本文利用月时间尺度上大尺度环流与降水之间的关系,用卡尔曼滤波方法对国家气候中心发布的月动力延伸预报产品进行了释用研究。该方案物理意义明确,且预测方程的系数能够通过动态调整来自动适应数值模式及环流形势的变化,实际预测效果表明该动力产品释用方案在短期气候预测中具有较好的业务应用前景。

参考文献

- 1 陆如华,徐传玉,张玲等. 卡尔曼滤波的初值计算方法及其应用. 应用气象学报,1997,8(1):34~40.
- 2 李维京,陈丽娟. 动力延伸预报产品释用方法的研究. 气象学报,1999,57(3):338~345.
- 3 陈桂英,赵振国. 短期气候预测评估方法和业务初估. 应用气象学报,1998,9(2):178~185.

Application of Kalman Filter Method to Reexplanation and Reanalysis of Dynamical Extended Range Forecast Products

Mu Haizhen Xu Jialiang

(Shanghai Climate Center, Shanghai 200030)

Abstract

According to the relationship between monthly rainfall and monthly general circulation and making use of dynamical extended range forecast products of National Climate Center's T63 model, Kalman filter method was applied to attempt the monthly rainfall prediction. The result indicates that reexplanation and reanalysis of model dynamical products in this way have a good applied prospect in short-range climatic prediction.

Key Words: Kalman filter dynamical extended range forecast short-range climatic prediction