

# CCM3 大气环流模式月—季尺度预报初步试验\*

余建锐 董敏

(国家气候中心, 北京 100081)

## 提 要

以 1991 和 1994 年 NCEP 再分析格点资料作初始场, 用 NCAR 气候模式 CCM3 进行了 48 次月、季预报, 针对 500 hPa 高度和中国降水资料对其预测能力进行了检验. 结果表明, CCM3 对月尺度的高度场的预报有一定的能力. 对中国 160 站的降水距平进行月尺度和季节预报, 其准确程度可以和目前经验预报的水平相当. 比较使用实际海温和用外推法预测的海温两种下边界条件所作的预报结果发现, 两者的效果差异不大.

关键词: CCM3 模式 月季预测 检验

## 引 言

随着人类社会生产和科学技术的发展, 气候变化越来越成为人们关注焦点. 月-季尺度的异常气候变化的预测对于制定相关的发展计划及减灾防灾措施具有重要的指导意义. 长期预测多采用的是统计预报或天气学方法, 在过去的几十年里它起了很大的作用, 但它存在着物理基础不明确, 受预报员主观因素影响等缺点, 其预报准确率也不够稳定. 随着近年来各种气候模式的建立和不断完善, 多种模式预报方法的采用为预测工作带来了新的前景, 模式可预报性的研究也相应提到日程上来. 1997 年作者开始用 CCM3 全球大气环流模式进行预报的尝试性试验, 预测了我国汛期降水的主要分布和 500 hPa 环流形势. 此次预报预测出了长江流域夏季降水偏少的趋势, 为长江三峡工程的工程实施计划提供了较好的气象服务, 取得了一定的经济和社会效益. 1998 年用 CCM3 模式进行了汛期预报, 成功地报出了长江流域和我国东北降水偏多的趋势<sup>[1]</sup>. 为了进一步提高模式预报技巧以便将模式预报转向业务化, 我们选取了近期我国具有代表意义的涝年 1991 和旱年 1994 年进行了滚动的历史回报试验, 以此检验 CCM3 模式月及季尺度预报水平, 为进一步完善模式和发展预报方法提供一些有用的信息.

## 1 模式介绍

CCM3 模式是美国国家大气研究中心(NCAR)研制的全球大气环流谱模式, 它从 1970

\* 中国气象局“九五”重中之重课题“并行计算技术在数值预报中的应用”第 2 课题第 2 专题和国家高性能计算机基金(批准号为 981008)资助.

1999-05-17 收到, 2000-01-18 收到修改稿.

年代的 CCM 0A 版本发展至今几经修改、完善和更新。它是一个全球谱模式,采用三角形谱截断,水平分辨率为 T42,纬向为均匀分布的 128 个格点,经向有 64 个高斯格点,垂直方向采用的是混合  $\eta$  坐标,从上到下共分 18 层。其时间积分采用半隐式方案,时间步长为 20 min。

CCM3 模式中包括辐射(长、短波辐射传输)、云、对流、陆面(植被、冰雪、土壤水分)及边界层(垂直扩散、重力波拖曳)等各种物理过程。模式在计算水汽输送时采用半拉格朗日方法。有关模式动力和物理过程的详细情况可参考 Acker 等的文章<sup>[2]</sup>。

CCM3 模式提供了 3 种运行方式:以多年月平均海面温度(或其他给定的海温)作为边界场驱动模式大气运行,称大气单独运行方式,简称 STD(standard)方式;与混合层海洋模式耦合运行,称混合层海洋耦合方式,简称 SOM(slab ocean model)方式;与多层海洋模式耦合运行,称海洋大气耦合方式,简称 CSM(climate system model)方式。3 种运行方式均包括陆面过程。这样就构成了一个由海、陆、气组成的完整的地气系统的物理模型。在此基础上 CCM3 在给定的初始场和边界场的情况下,通过时间积分来预报下一时刻的大气状态和相关物理因子的变化响应情况。

## 2 试验方法

首先对 CCM3 在 STD 方式下以气候平均的 12 个月的海温(SST)作下边界条件将模式积分了 10 年,得到了一个 10 年平均的模式结果。由于这 10 年积分的初始场是 NCAR 对该模式进行了“启动运行”(spin up)3 年后所得的结果,因此,这 10 年积分的结果(实际上是 13 年积分的后 10 年)可以近似代表模式的气候状况。将这 10 年积分所得的高度场、风场、温度场等取平均并与多年平均的观测场相比较可以发现两者很接近。为节省机时我们就用它来代表模式的气候状况。在此基础上,选用 STD 方式进行模式预报试验,一方面可以检验该运行方式的预报能力,另一方面可以通过求预报值与模式平均值的距平来剔除模式固有的预报偏差。采用 NCEP 的再分析资料作为模式的初始场,选取对我国具有代表意义的涝年 1991 年和旱年 1994 年,以每月最后一天的 00:00UTC 的资料为初始场,将模式积分 3 个月,进行月及季尺度预报。预报是滚动进行的,每个月作一次,两年共作 24 次。由于下边界的海温场分别由距平持续预报和实际海温两种方式给出,因此实际预报了 48 次。

## 3 资料前处理

(1) 初始场 将 NCEP 高空多层的 144(纬向) $\times$  73(经向)的标准网格点资料进行垂直插值和谱转换, NCEP 地面 196(纬向) $\times$  92(经向)的高斯格点资料也进行谱转换,均转化成 CCM3 的 T42 分辨率的高斯格点资料,即 128(纬向) $\times$  64(经向),以此作为初始场。

(2) 边界场 在 STD 运行方式下,海温由外部文件读入,海温每天更换一次。模式将每月的平均海温作为月中(15 日或 16 日)的值。当模式运行到上半月的某一天时,该天的海温由上月的平均海温和当月的平均海温用线性内插得到,而当模式运行到下半月的某

一天时, 该天的海温由下月的平均海温和当月的平均海温用线性内插得到. 因此积分 3 个月必须给出从预报起始月之前一个月到预报中止月下一月的 5 个月的海温. 每次预报试验的海温场分别采用两种方法给出, 即: (1) 距平持续预报的方法, 将被预报月前的一个月的实际月平均海温与 CCM3 模式提供的多年平均态的该月平均海温做距平, 并假定该海温距平持续不变, 以此预报出被预报月及其后几个月的海温. (2) 用被预报月(季)的实际海温代替原来模式提供的气候平均态的海温驱动模式运行. 目的主要是检验海温对于预报结果的影响.

#### 4 模式预报结果的检验方法

CCM3 模式运行结果给出高斯格点上的大尺度降水率和对流降水率, 求和后得到格点的总降水率, 由此可以做出降水预报; 另外通过模式输出的地面气压、地表位势、温度及湿度可以计算出各模式层的位势高度, 垂直插值后即可得到各等压面上的位势高度, 进行高度场预报.

对于高度场和降水场的距平预报结果的检验根据研究的需要采用了不同的方法:

(1) 高度场 将 NCEP 1991 年和 1994 年的全球月平均高度场通过谱转换获得分辨率为 T42 的 CCM3 的高斯格点上的高度值, 减去相应的 NCEP 的气候平均高度即可得到预报月的实际高度距平. 再用 CCM3 模式预报的高度值与 CCM3 多年平均的高度值作差即可得到预报的高度距平, 再用下式作相关分析,

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^N (\Delta R_x - \overline{\Delta R_x})(\Delta R_y - \overline{\Delta R_y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (\Delta R_x - \overline{\Delta R_x})^2 \sum_{i=1}^N (\Delta R_y - \overline{\Delta R_y})^2}} \quad (1)$$

其中  $\Delta R_x$  为距平,  $\overline{\Delta R_x}$  为距平的空间平均. 下标  $x$  和  $y$  分别表示观测和预报.  $N$  为相关场的样本点数, 本试验中  $N = 128 \times 64$ . 按式(1)计算了 1991 年各月 500 hPa 高度距平预报值与实际值的相关(表 1).

(2) 降水场 用我国 160 站的 1951 年到 1997 年降水做多年月平均, 将 1991 年和 1994 年逐月的降水同多年月平均降水相减, 即可得到这两年 160 个台站的实际降水距平. 将 CCM3 模式预报的中国区域的降水插值到上述 16 站点并减去相应的 CCM3 模式降水的气候平均值, 即可得到预报的 160 个台站的降水距平. 对于降水距平预报能力的评价, 我们给出了两种指标. 一种是给出距平符号一致的百分率, 它是将实际降水距平和模式预报的距平的符号作比较, 凡距平符号相同或距平均为零的则认为预报准确, 距平符号不同则认为报错, 这样便可对模式预报能力有一个清晰的认识. 另一种是按照国家气候中心预测室制定的评分标准<sup>[3]</sup>对预报进行评分, 该标准从实际预报工作要求出发, 在 WMO 提出的预报准确百分率的基础上加上了异常级加权得分而构成, 它表示在预报区域内预报准确率的百分率. 它较上述距平符号一致的百分率宽松, 当预报的和实际的距平百分率的绝对值均在 15% 以内时就视为预报准确. 另外对重大异常降水的预报通过加权评分给予鼓励. 具体计算公式为:

$$P_c = \frac{N_0 + f_1 \times n_1 + f_2 \times n_2}{N + f_1 \times n_1 + f_2 \times n_2} \times 100 \quad (2)$$

式中  $N_0$  为距平符号报对的站数和正常级(指测站降水距平百分率绝对值  $\leq 15\%$ )报对的站数和; 正常级报对的含义是指预报和实况虽距平符号不同, 但都属正常级的情况.  $N$  为参加评分的总站数, 全国范围使用 160 个代表站.  $n_1, f_1$  为一级异常(指测站降水距平百分率  $\geq 50\%$ )报对的站数和权重系数,  $n_2, f_2$  为二级异常(指测站降水距平百分率  $\geq 20\%$ )报对的站数和权重系数. 对月降水预报来说  $f_1$  和  $f_2$  分别取为 2.19 和 1.30. 对季降水预报来说  $f_1$  和  $f_2$  则分别取为 4.39 和 1.60.

按上述标准, 我们分别对 1991 年、1994 年不同海温边界场强迫下获得的月尺度降水预报和季尺度降水预报进行了评分.

## 5 结果分析

分析 1991 年 72 次月预报的 500 hPa 高度距平与观测的高度距平的相关系数(表 1), 可以看出: 高度场距平相关总体来说, 预报第 1 个月的相关关系最好, 相关系数平均值为 0.344, 已超过 5% 信度值, 且全部是正相关. 而第 2 个和第 3 个月的相关系数则明显下降. 用实际海温作预报其效果比用距平持续外推的海温作预报要略好些, 尤其是在预报第 3 个月比较明显. 1994 年的预报则比 1991 年要差. 用外推的海温为下边界条件所做的 12 次预报的 500 hPa 高度距平与观测的高度距平的相关系数第 1 个月平均为 0.034, 第 2 个月平均为 -0.045, 第 3 个月平均为 -0.118. 而采用实际海温为下边界条件时这 3 个月预报的 500 hPa 高度距平与观测的高度距平的平均相关系数分别为 0.079, -0.099 和 0.024. 限于篇幅这里就不列出每次预报的结果. 显然, 无论用实际海温还是用外推的海温为下边界条件预报的结果都不好. 因此, 1991 年和 1994 年两年的试验结果表明 CCM3 对 500 hPa 高度距平的预报效果是不稳定的.

表 1 1991 年回报试验高度距平预报与观测值之间的相关系数

预报起始月份	第 1 个月相关系数		第 2 个月相关系数		第 3 个月相关系数	
	预报海温	实际海温	预报海温	实际海温	预报海温	实际海温
1	0.538	0.473	-0.073	-0.229	-0.340	-0.002
2	0.284	0.162	-0.224	-0.374	-0.068	-0.276
3	0.410	0.269	0.027	-0.041	0.056	0.204
4	0.045	0.079	0.372	-0.087	0.516	0.612
5	0.440	0.444	0.519	0.656	0.186	0.165
6	0.585	0.636	0.300	0.072	0.180	0.362
7	0.319	0.311	0.240	0.145	-0.256	0.350
8	0.572	0.577	-0.081	0.165	0.167	0.131
9	0.121	0.123	0.193	0.150	0.168	0.428
10	0.060	0.352	-0.345	0.581	-0.572	0.065
11	0.595	0.621	-0.104	-0.157	0.417	0.159
12	0.158	0.081	0.252	0.370	0.348	0.335
平均	0.344	0.344	0.090	0.104	0.067	0.211

表 2 给出 1991 年降水距平预报的检验情况. 对月预报, 表中既给出按公式(2)计算的评分, 同时也给出预报的距平符号与观测的降水距平符号相同的百分率(准确率). 对季预报, 则只给出按公式(2)计算的评分. 1994 年的情况与 1991 年相似, 但平均的月和季的降水距平预报准确率和评分比 1991 年略好. 限于篇幅, 这里略去 1994 年的有关表格, 仅在图 1 中给出 1991 和 1994 年季预报的评分情况.

表 2 1991 年回报试验(采用距平外推海温和采用实际海温)

获得的降水月、季尺度预报评分及准确率

%

预报起始月份	预报第 1 个月		预报第 2 个月		预报第 3 个月		季预报评分	
	评分	准确率	评分	准确率	评分	准确率		
1	(预报海温)	57.230	47.500	59.924	46.875	52.425	33.125	55.009
	(实际海温)	56.047	43.125	64.735	52.500	54.393	35.000	53.726
2	(预报海温)	58.084	46.875	54.745	31.875	64.395	40.000	50.308
	(实际海温)	55.970	44.375	51.568	35.625	71.911	46.250	65.291
3	(预报海温)	50.677	30.625	61.947	39.375	72.014	50.000	50.844
	(实际海温)	54.427	33.125	65.101	40.000	73.642	49.375	64.995
4	(预报海温)	68.609	45.625	61.666	43.125	69.873	45.000	67.441
	(实际海温)	70.072	45.625	67.162	44.375	61.494	37.500	71.113
5	(预报海温)	70.276	46.250	57.801	35.000	65.717	42.500	67.071
	(实际海温)	70.958	48.750	67.965	42.500	67.435	42.500	74.918
6	(预报海温)	62.186	35.000	60.624	36.875	62.911	38.750	60.847
	(实际海温)	62.063	35.000	61.480	40.000	47.382	33.125	62.635
7	(预报海温)	76.660	51.250	53.176	33.750	58.817	37.500	64.840
	(实际海温)	79.660	55.000	61.883	40.625	47.593	27.500	67.644
8	(预报海温)	56.117	37.500	47.552	32.500	79.206	65.625	39.116
	(实际海温)	57.184	37.500	50.431	31.875	53.997	37.500	38.568
9	(预报海温)	60.505	40.000	77.498	54.375	52.326	41.875	63.756
	(实际海温)	64.040	43.125	67.432	50.625	50.967	40.625	61.789
10	(预报海温)	71.947	51.875	50.894	39.375	80.901	71.250	78.571
	(实际海温)	75.311	52.500	52.098	40.625	76.389	63.125	79.984
11	(预报海温)	63.641	44.375	79.112	66.250	87.933	80.625	82.988
	(实际海温)	66.807	47.500	84.038	73.125	65.918	53.125	82.558
12	(预报海温)	80.200	66.875	89.725	80.000	75.604	61.875	88.522
	(实际海温)	84.045	71.875	63.990	53.750	52.725	43.125	86.465
平均	(预报海温)	64.678	45.313	62.889	44.948	68.510	50.677	64.109
	(实际海温)	66.382	46.458	63.157	45.469	60.321	42.396	67.474

平均而言, 月预报的降水距平符号与观测的降水距平符号相同的百分率基本上在 45% 左右, 月预报评分与预报起始月之间没有明显的关系, 但是可以看出, 用 5~7 月初始场作 6~8 月的月预报时, 评分基本上都高于业务预报的平均分(60.59, 1971~1995 年平均). 而用 4 月和 5 月的初始场预报 5~7 月和 6~8 月的季预报评分都在 66 分以上, 有一定的预报技巧. 由 1991、1994 年月尺度降水评分分数段统计表(表略)可以看出, 月尺度降水评分主要落在 50~80 分之间, 其中, 1994 年的预报评分落在 60~80 分之间, 而 1991 年的预报评分主要落在 50~70 分之间; 另外由平均值也可以看出 1994 年月尺度预报效果好于 1991 年. 比较实际海温预报和海温距平外推预报的效果可以发现: 1994 年几乎没有差别, 1991 年的前两个月的预报也差别不大, 但第 3 个月的差别比较明显. 值得注意的是 1991 年 5 月 ENSO 开始发生, 5 月为起始月的第 3 个月的预报, 实际海温和海温距平外推的预报效果基本一致, 但 5 月以后的 6~12 月为起始月的第 3 个月的预报, 无一例外地表现为实际海温的预报水平明显低于海温距平外推的预报水平. 对季度预报分数和分数段分布的统计结果(表略)表明, 1991、1994 年季尺度降水评分主要落在 60~80 分之

间,且 1994 年季尺度预报效果好于 1991 年(见图 1),这说明模式在 ENSO 年的表现不太好. ENSO 年导致我国降水异常发生,除海温异常变化是直接因素外,还和其它与 ENSO 有关的间接因素有着同期或不同期的关系,而模式对于这方面的描述能力较低,因此预报水平低于正常年的预报. 由于我们比较关注我国汛期降水,比较几次试验,由图 1 可以发现:以 5 月为起始月的季尺度预报水平均高于全年季尺度预报的平均值,说明汛期降水预报的效果比较好. 而以 8 月为起始月的季预报评分最低,这不利于秋季降水的预报. 此外,以 10~12 月为起始月的季尺度预报水平也较高.

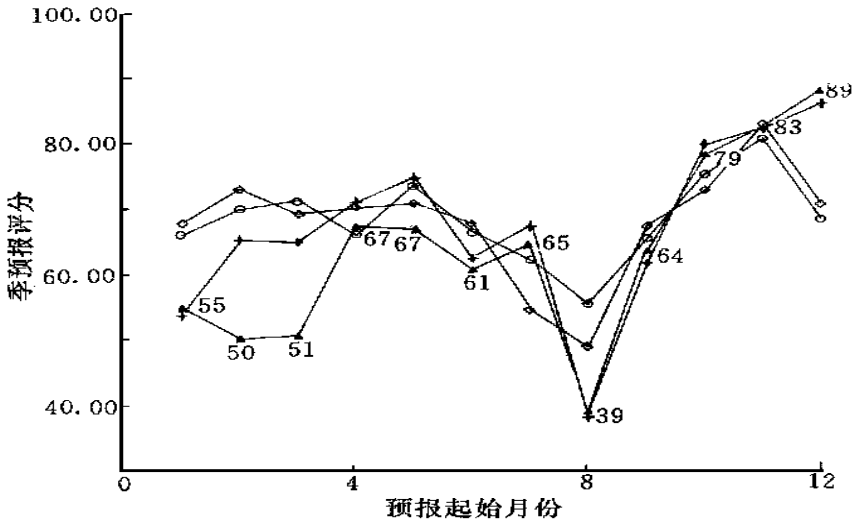


图 1 1991、1994 年季尺度预报评分 (实心三角: 1991 年海温距平外推的季尺度预报评分, 十字形: 1991 年实际海温的季尺度预报评分, 空心圆: 1994 年海温距平外推的季尺度预报评分, 空心菱形: 1994 年实际海温的季尺度预报评分)

对照业务月尺度降水预报评分可以看出: 模式月尺度预报 1991 年和 1994 年的评分 (分别为 64.678 和 70.882) 均高于当年业务预报水平, 而且也高于分数为 60.59 的业务预报平均水平. 和业务季尺度降水预报评分相比也可以看出: 模式季尺度汛期 6~8 月预报, 1991 年评分高于业务预报为 67.071, 1994 年评分低于业务预报为 73.685, 但两者均接近或高于业务预报的平均分 67.93.

## 6 结论和讨论

(1) 根据 1991 年和 1994 年两年的客观的回报结果可以看出, CCM3 模式的月、季降水预报水平是不高的, 月降水距平预报的准确率还不到 50%. 因此, 模式本身及使用模式的方法均需要改进. 应该指出, 目前业务预报中使用的物理统计和天气学方法的准确率同样也很低, 用同样的评分标准将这两年 48 次月(或季)的降水预报与业务预报结果的评分相比较, 模式预报的评分不低于目前业务上经验方法的预报. 1971~1995 年月降水预报的平均分为 60.59, 而 1991 年和 1994 年用 SST 外推方法所做的预报评分则分别为 64.7

和 70.9。虽然我们所做的个例还不多,但这一结果是令人鼓舞的。

(2) 这两年的 500 hPa 高度距平预报的结果表明模式的性能还不够稳定。1991 年第 1 个月的预报达到了较高的相关,而 1994 年则不够理想。无论 1991 年还是 1994 年两个月以后的预报均不可用。

(3) 从 1991 年和 1994 年试验的结果来看,采用实际海温驱动模式预报结果与外推预测海温后再驱动模式所得的结果相差不大。做高度场预测时,实际海温略好一点,而作降水预报时则外推的海温好一些。因此在实际使用中,可以用外推预测海温来做预报。

### 参 考 文 献

- 1 余建锐,董敏. CCM3 模式 1998 年汛期预报. 气候预测评论, 1998, 80~ 81.
- 2 Acker T L, Buja E, Rosinski J M, Trusdal J E. Users's Guide to NCAR CCM3. NCAR Technical Note NCAR/TM - 421+ 1A. Boulder, Colorado, 1996, 210 pp.
- 3 陈桂英,赵振国. 短期气候预测评估方法和近二十多年来短期气候预测业务初估. 气候通讯, 1996, 3.

## THE MONTHLY- AND SEASONAL-SCALE FORECAST EXPERIMENT USING NCAR CCM3 CLIMATE MODEL

Yu Jianrui Dong Min

(National Climate Center, Beijing 100081)

### Abstract

Using the NCAR CCM3 climate model, twenty-eight monthly and seasonal forecasts have been made for 1991 and 1994 with the NCEP reanalysis data as initial conditions. The prediction capacity of the model for the 500 hPa height and precipitation in China are examined. The result shows that the model has certain capability in predicting the height field in monthly scale. The ability of CCM3 in forecasting the monthly or seasonal rainfall in 160 stations of China is similar to the synoptic and experimental methods. Comparison of the forecasts from extrapolated and observed SSTA shows that there is no much difference.

**Key words** CCM3 model Monthly-Seasonal forecast Validation