第1卷第2期　气象科学研究院院刊　Vol. 1, No.2
JOURNAL OF ACADEMY OF METEOROLOGICAL SCIENCE, S. M. A., CHINA
1986年10月　Oct., 1986

逐步综合决策的天气预报模式*

章文茜　陈明萱

（气象科学研究院天气气候研究所）

一、前　　言

自1980年以来，各种模糊综合决策数学模型相继提出，并在环境保护、地震、农业气候、天气预报等方面都得到了广泛的应用，且取得了明显的效果。

模糊综合决策的数学模型在天气预报方面应用也较广，它不仅适用于多因子的综合天气预报，而且也适用于不同时段的逐步订正预报，以及各种预报方法的综合决策。

本文在上述工作的基础上，模拟了预报员的思维方法和过程，提出了一个非模糊的逐步综合决策天气预报模式，并使用了大片海流区的18个海温因子，应用这个模式制作了1981—1984年四年的天津汛期（6—9月）降水量的逐步综合决策预报，从模式的历史拟合以及预报检验来看，结果都是令人满意的。

二、预 报 模 式

设预报对象矩阵为

$$Y=(y_j)_{1\times m}$$

m为预报等级数，y_j为第j个等级的预报量值。

预报因子矩阵为

$$X=(x_i)_{1\times n}$$

n为因子个数，x_i为第i个预报因子的值。

又设单因子决策矩阵为

$$R=(r_{i,j})_{n\times m}$$

其中$r_{i,j}$为第i个因子对第j个预报等级的单因子预报值。

因子权数矩阵为

$$A=(a_i)_{1\times n}$$

a_i表示第i个因子在综合决策中相对于其它因子的重要性。

于是综合决策的天气预报模式为

$$Y=A\cdot R \tag{1}$$

* 本文于1985年11月5日收到，1986年2月7日收到修改稿。

对两个不同时段的综合决策来说，由(1)式分别得

$$Y_1 = A_1 \cdot R_1,$$
$$Y_2 = A_2 \cdot R_2。$$

下一步的综合决策天气预报模式为

$$Y = A \cdot \begin{pmatrix} Y_1 \\ Y_2 \end{pmatrix} \tag{2}$$

若令 $\begin{pmatrix} Y_1 \\ Y_2 \end{pmatrix} = R$，则(2)式与(1)式的形式相同，(1)式即是逐步综合决策的天气预报模式。这个方法，同样可以推广到多个时段的情形。

三、预 报 步 骤

(1) 将预报对象进行分级；

(2) 选定预报因子，确定 R、A值；

(3) 用(1)式做预报级别的决策；

(4) 用(1)式做预报量的决策（式中的 R 简化为它的预报级别列的一个列矩阵）；

(5) 重复(2)、(3)、(4)步，做下一时段的综合决策预报；

(6) 用(2)式做最后的多个时段的综合决策预报。

四、预 报 实 例

众所周知，海温是影响长期天气演变的一个重要因素。本文考虑了主要海流区的月平均海温距平，在分析了30年间海温与天津汛期降水量相关的基础上，选取了18个相关较好区域的平均海温距平因子(信度在0.05以上)，用逐步综合决策天气预报模式，制作1970—1980年天津汛期降水量的历史回报，以及1981—1984年四年天津汛期降水量的长期预报。预报因子的有关资料如表 1。

表 1

预　报　因　子	相关系数	1984年因子值
x_1：头年 7 月中太平洋热带海区的海温距平	0.413	－4
x_2：头年 7 月黑潮区海温距平	0.412	－7
x_3：头年 7 月南赤道海流区海温距平	0.483	0
x_4：头年 7 月弱洋流区海温距平	－0.522	－2
x_5：头年 7 月赤道涌升区海温距平	0.481	4

续表

预报因子	相关系数	1984年因子值
x_6：头年8月弱洋流区海温距平	−0.449	−3
x_7：头年10月赤道涌升区海温距平	0.443	−2
x_8：头年10月中太平洋热带海区海温距平	0.484	−3
x_9：头年11月南赤道海流区海温距平距平差	0.436	−1
x_{10}：当年1月黑潮区和亲潮区海温距平差	0.588	−3
x_{11}：当年1月弱洋流区海温距平	0.416	−1
x_{12}：当年1月赤道涌升区海温距平	0.431	−3
x_{13}：当年1月西太平洋热带海区海温距平	0.620	4
x_{14}：当年1月中太平洋热带海区海温距平	0.484	4
x_{15}：当年2月黑潮区海温距平	0.384	−2
x_{16}：当年2月东太平洋热带海区海温距平	0.422	−1
x_{17}：当年3月弱洋流区海温距平	0.554	−2
x_{18}：当年3月黑潮区和亲潮区海温距平差	0.534	−6

按照上述预报因子出现的时间，我们将其划分为前后两个时段，第一时段（头年7月—12月）包括有x_1—x_9；第二时段（当年1月—3月）包括有x_{10}—x_{18}。天津汛期降水量的两步综合决策预报方法如下：

1．预报对象分级

将天津汛期降水量y划分为三级（旱、正常、涝）。其划分标准为：

$y<300$毫米时为旱，用y_1表示；

$300\leqslant y\leqslant 600$毫米时为正常，用$y_2$表示；

$y>600$毫米时为涝，用y_3表示。

2．确定R、A值

首先分别用每个预报因子的当前值在历史样本中找相近值，其最相近值所在年份的预报值即是单因子预报值。而最相近的年份常常不止出现一年，其所对应的预报值y^K则常为多值，K为所对应的预报值个数，$K=1$，2，3，…；同时，为了抓好极值预报，我们采用了下述方法确定单因子决策矩阵$R=(r_{i,j})$。对x_i因子来说，

当y^K为旱时，用y_1^K表示，则

$$r_{i,1}=\min_{K}\{y_1^K\} \tag{3}$$

当y^K为正常时，用y_2^K表示，则

$$r_{i.2}=\bar{y}_2^K \tag{4}$$

“—”表示平均。

当y^K为涝时，用y_3^K表示，则

$$r_{i.3}=\max_K\{y_3^K\} \tag{5}$$

举1984年$x_{17}=-2$为例，其历史上出现$x_{17}=-2$的年份有五年，其所对应的汛期降水量为467毫米（1956年）、385毫米（1962年）、179毫米（1968年）、206毫米（1972年）和263毫米（1982年）。按照(3)、(4)、(5)式计算得

$r_{17.1}=\min\{179,\ 206,\ 263\}=179$,

$r_{17.2}=(467+385)/2=426$,

$r_{17.3}=\max\{\Phi\}=0$，Φ表示“空”。

同样地，可以计算出R的其它元素值。

其次，设$f_{i.j}$为提供了第j级预报信息的第i个因子和预报量之间相关系数的绝对值。

仍举上述例子，由上讨论可以看出：它提供了第1级和第2级汛期降水量的信息，即y_1^K和y_2^K均不为“空”，于是$f_{17.1}=f_{17.2}=0.554$(相关系数的绝对值)；因为没有提供第3级汛期降水量的信息，即y_3^K为“空”，所以$f_{17,3}=0$。

又令

$$\sum_i f_{i.j}=F_j,$$

F_j表示各个因子对第j级预报量所提供的总信息量，它是级别预报的主要依据。

下面分别按级别预报和量值预报两种情形对R、A的确定予以讨论。

3．做预报级别的决策

在做级别预报时，我们令

$$R=\begin{bmatrix}F_1 & 0 & 0\\ 0 & F_2 & 0\\ 0 & 0 & F_3\end{bmatrix},$$

为级别决策阵，令

$$A=(1\quad b\quad 1),$$

为因数矩阵，其中$0<b<1$，在本文中由统计试验得$b=0.620$，代入(1)式得

$$Y=(1\quad 0.620\quad 1)\cdot\begin{pmatrix}F_1 & 0 & 0\\ 0 & F_2 & 0\\ 0 & 0 & F_3\end{pmatrix} \tag{6}$$

(6)式即是级别预报方程。由(6)式计算出Y的最大元素所在的“列”值j^*即是预报级别值。例如，若Y的最大元素位于第一列，$j^*=1$，则预报为1级，即报“旱”。

4．做预报量的决策

在做预报量的预报时，我们令

$$a_i = f_{i,j^*}/F_{j^*},$$
$$A = (a_i)_{1\times n}。$$

R只取它的第j^*列矩阵，得

$$R = \begin{pmatrix} r_{1,j^*} \\ r_{2,j^*} \\ \vdots \\ r_{n,j^*} \end{pmatrix}$$

代入(1)式得

$$Y = (f_{1,j^*}/F_{j^*}, f_{2,j^*}/F_{j^*}, \cdots, f_{n,j^*}/F_{j^*}) \cdot \begin{pmatrix} r_{1,j^*} \\ r_{2,j^*} \\ \vdots \\ r_{n,j^*} \end{pmatrix} \tag{7}$$

(7)式即是预报量的决策方程。

下面举1984年预报为例。

首先，在1983年底，用x_1—x_9做第一时段的综合决策预报，先用(6)式计算得

$$Y_1 = (1 \quad 0.620 \quad 1) \cdot \begin{pmatrix} 0.443 & 0 & 0 \\ 0 & 3.711 & 0 \\ 0 & 0 & 1.860 \end{pmatrix}$$
$$= (0.443 \quad 2.301 \quad 1.860)$$

Y_1中最大元素为2.301，它位于第 2 列，$j^* = 2$，即第一时段预报1984年的汛期降水量为 2 级，属于正常。

当预报级别确定之后，再用(7)式计算得出第一时段的预报量为533毫米，结果如表 2 。

表 2

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	F_2
$f_{i,2}$	0.413	0	0.483	0.522	0.481	0.449	0.443	0.484	0.436	3.711
a_i	0.111	0	0.130	0.141	0.130	0.121	0. 0.119	0.130	0.117	Y_1
$r_{i,2}$	374	0	373	455	536	570	399	570	501	533

然后，用同样的方法做第二时段的综合决策预报。用x_{10}—x_{19}，由(6)式计算得

$$Y_2 = (1 \quad 0.620 \quad 1) \cdot \begin{pmatrix} 1.974 & 0 & 0 \\ 0 & 4.049 & 0 \\ 0 & 0 & 0.906 \end{pmatrix} = (1.974 \quad 2.510 \quad 0.906)$$

Y_2中最大元素为2.510，它也位于第 2 列，$j^* = 2$，即第二个时段汛期降水量的预报为 2 级，亦属正常。

最终，两个时段的综合决策预报为 2 级（正常）。

第二时段的预报量由(7)式计算得433毫米，其结果如表 3 。

表 3

	x_{10}	x_{11}	x_{12}	x_{13}	x_{14}	x_{15}	x_{16}	x_{17}	x_{18}	F_2
$f_{i,2}$	0.588	0.416	0.431	0.620	0.484	0	0.422	0.554	0.534	4.049
a_i	0.145	0.103	0.106	0.153	0.120	0	0.104	0.137	0.132	Y_2
$r_{i,2}$	389	394	570	433	501	0	432	426	348	433

最后，用(2)式做两个时段预报量的综合决策，其结果为

$$Y=(3.711/(3.711+4.049)\quad 4.049/(3.711+4.049))\cdot\begin{pmatrix}533\\433\end{pmatrix}$$

$$=481$$

从而得出：1984年天津汛期降水量的综合决策预报值为481毫米，而实况值为492毫米。

此外，我们还制作了1981—1983年的天津汛期降水量预报，以及1970—1980年的历史回报，其结果如表 4。

表 4

年	第一时段预报		第二时段预报		最终预报		实况	
	级	量（毫米）	级	量（毫米）	级	量（毫米）	级	量（毫米）
1970	2	450	2	437	2	443	2	433
1971	3	662	2	448	2	429	2	401
1972	1(2)	237(484)	2	409	2	429	1	206
1973	3	678	3	633	3	657	3	639
1974	2	448	2	421	2	435	2	418
1975	2	427	3(2)	653(450)	2	439	2	570
1976	1(2)	200(413)	2	436	2	426	2	415
1977	3	647	3	668	3	656	3	796
1978	3	681	3	642	3	663	3	626
1979	2	415	3(2)	681(476)	2	435	2	422
1980	2	470	2	475	2	472	2	318
1981	2	449	1(2)	240(447)	2	448	2	501
1982	1	225	1	200	1	212	1	266
1983	3(2)	708(445)	2	406	2	424	2	314
1984	2	533	2	433	2	481	2	492

注：括号中的数值是修正值。

当第一时段的预报级别与第二时段的预报级别不同时，我们将预报级别均修正为2级，预报量则按2级进行计算后得修正值。

从该模式的最终预报结果来看，级别预报的历史拟合率为90.9%，级别预报的准确率为100%；而对量值预报来说，预报值和实测值的绝对误差平均为71毫米（历史回报）和57毫米(预报)。总之，该模式无论从历史拟合和预报检验来看，都是令人满意的。

五、几 点 体 会

1. 此模式是一种多因子综合决策的天气预报模式，它体现了预报员常用的思维方法，即先对单因子找相似，再对其结果进行多因子的综合决策。

2. 此模式的预报反映出预报员的思维过程，即由级到量，由粗到细的过程，同时也使模式的计算大大简化。

3. 此模式是一种逐步订正的天气预报模式，它随着信息量的不断增多，可以使预报结果得到不断的修正。由上述实例中可以看出：预报准确率在逐步地得到提高。

4. 此模式突出了极值的作用，有利于做好极值预报。由上述实例中可以看出，极值预报的准确率已达到了100%。

参 考 文 献

[1] 汪培庄，模糊集合论及其应用，上海科学技术出版社，1983年。
[2] 陈永义、刘云丰、汪培庄，综合评判的数学模型，模糊数学，1，1983年。
[3] 陈永义、章文茜，综合决策与天气预报，数学的实践与认识，4，1985年。