

基于物元分析的登陆台风次数预报

冯利华

(浙江师范大学地理系 金华 321004)

提要 利用前期的预报因子进行计算,使物元分析具有了预报功能.通过反复调整各因子的等级分界值(经典域和节域),可以使登陆台风次数计算等级和实际等级的历史拟合率达到最大,其结果是比较好的,这对沿海地区的防台减灾具有重要的现实意义.

关键词 登陆台风次数,物元分析,经典域,节域,关联函数

中国是世界上遭受台风袭击最严重的国家之一。自1949年以来,中国每年因台风所造成的直接经济损失在10~100亿元,死亡人数约在100~1000人。在中国,台风主要分布在东南沿海地区,但7503号台风则深入河南内地,形成了接近世界记录的特大暴雨,以致板桥和石漫滩两座大型水库垮坝,造成了极其严重的经济损失和人员伤亡。近年来,随着社会经济的快速增长,登陆台风所造成的社会损失还呈现出明显上升的趋势^[1],因此登陆台风的预报研究尤为重要。事实上,登陆台风受到多个因子的影响,但这些因子都是互不相容的。由于新近出现的物元分析^[2]是一门研究不相容问题的科学,为此,拟根据物元分析的原理和方法,对登陆台风次数作一预报研究,以供商榷。

1 物元分析

在物元分析中,把事物 N 及其特征 c 和量值 x 的三元有序组合 $R = (N, c, x)$ 称为物元。如果事物 N 需要用 n 个特征 c_1, c_2, \dots, c_n 和对应量值 x_1, x_2, \dots, x_n 来描述,那么称为 n 维物元,并用矩阵表示为

$$R = (N, c_i, x_i) = \begin{bmatrix} N & c_1 & x_1 \\ & c_2 & x_2 \\ & \cdot & \cdot \\ & \cdot & \cdot \\ & c_n & x_n \end{bmatrix} \quad (1)$$

物元分析的具体步骤如下:

1.1 确定经典域

$$R_{0j} = (N_{0j}, c_i, x_{0ij}) = \begin{bmatrix} N_{0j} & c_1 & x_{01j} \\ & c_2 & x_{02j} \\ & \cdot & \cdot \\ & \cdot & \cdot \\ & c_n & x_{0nj} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N_{0j} & c_1 & \langle a_{01j} & b_{01j} \rangle \\ & c_2 & \langle a_{02j} & b_{02j} \rangle \\ & \cdot & \cdot & \cdot \\ & \cdot & \cdot & \cdot \\ & c_n & \langle a_{0nj} & b_{0nj} \rangle \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中 N_{0j} 为事物的第 j 个等级 ($j = 1, 2, \dots, m$); c_i 为事物第 j 个等级的第 i 个特征; x_{0ij} 为 N_{0j} 关于 c_i 的量值范围,即各等级关于对应特征的经典域 $\langle a_{0ij}, b_{0ij} \rangle$ 。

作者:冯利华,出生于1955年,教授,主要从事灾害地理学的研究工作。电话:0579-2306806

1.2 确定节域

$$R_P = (P, c_i, x_{pi}) = \begin{bmatrix} P & c_1 & x_{p1} \\ & c_2 & x_{p2} \\ & \cdot & \cdot \\ & \cdot & \cdot \\ & c_n & x_{pn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P & c_1 & \langle a_{p1} & b_{p1} \rangle \\ & c_2 & \langle a_{p2} & b_{p2} \rangle \\ & \cdot & \cdot & \cdot \\ & \cdot & \cdot & \cdot \\ & c_n & \langle a_{pn} & b_{pn} \rangle \end{bmatrix} \quad (3)$$

式中 P 为事物等级的全体; x_{pi} 为 P 关于 c_i 的量值范围——节域 $\langle a_{pi}, b_{pi} \rangle$ 。这里要求 $x_{0ij} \in x_{pi}$ 。

1.3 列出待评物元

对于待评事物,用物元表示为

$$R_k = (P_k, c_i, x_i) = \begin{bmatrix} P_k & c_1 & x_1 \\ & c_2 & x_2 \\ & \cdot & \cdot \\ & \cdot & \cdot \\ & c_n & x_n \end{bmatrix} \quad (4)$$

式中 P_k 为待评事物 ($k=1, 2, \dots, l$); x_i 为 P_k 关于 c_i 的量值,即各特征的实际数据。

1.4 计算权系数

这里利用成对比较法来确定权数集,即根据专家咨询意见,对 n 个指标中任意两个指标之间的重要性进行两两比较,给出比值 d_{ij} (可以取专家赋值的均值) ($i, j=1, 2, \dots, n$), 得到判断矩阵 D 。对矩阵 D 的每一行元素先相乘,再求 n 次方根,得一向量 $\beta = (\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n)^T$, 其中 $\beta_i = (\prod_{j=1}^n d_{ij})^{1/n}$ ($i=1, 2, \dots, n$)。作归一化处理,即令 $a_i = \beta_i / \sum_{i=1}^n \beta_i$, 从而得到权数集 $A = (a_1, a_2, \dots, a_n)^T$, 并且满足 $\sum_{i=1}^n a_i = 1$ 。

1.5 确定关联函数

$$\text{令 } Y_j(x_i) = \frac{\rho(x_i, x_{0ij})}{\rho(x_i, x_{pi}) - \rho(x_i, x_{0ij})} \quad (5)$$

$$\text{式中: } \rho(x_i, x_{0ij}) = |x_i - (a_{0ij} + b_{0ij})/2| - (b_{0ij} - a_{0ij})/2 \quad (6)$$

$$\rho(x_i, x_{pi}) = |x_i - (a_{pi} + b_{pi})/2| - (b_{pi} - a_{pi})/2 \quad (7)$$

那么待评事物 P_k 关于第 j 个等级的关联函数:

$$Y_j(P_k) = \sum_{i=1}^n a_i Y_j(x_i) \quad (8)$$

1.6 评定事物等级

根据最大隶属原则,在 $Y_j(P_k)$ 中寻求最大的关联函数值:

$$Y_j(P_k) = \max[Y_1(P_k), Y_2(P_k), \dots, Y_m(P_k)] \quad (9)$$

那么待评事物 P_k 应归属于第 j' 个等级。

2 基于物元分析的登陆台风次数预报实例

登陆台风次数的影响因素较多。现有研究表明,厄尔尼诺事件和副高位置是两个主要的影响因素^[3]。

厄尔尼诺事件是赤道东太平洋上层海水异常增暖的现象。在厄尔尼诺事件期间,低纬地区的瓦克环流减弱,相应低层东风也减弱。原来在西太平洋上的强对流活动区移至中太平洋地区,以致热带辐合带活动减弱、位置偏南,从而使我国登陆台风次数明显减少。副高位置的进退变化与台风活动的关系十分密切。当副高位置偏南时,西太平洋热带东风带环流南退,进而制约了台风活动,以致我国登陆台风次数减少。为此,选用厄尔尼诺事件和副高位置,利用物元分析方法对我国登陆台风次数进行预报。

表 1 列出了我国 1980~1997 年的登陆台风次数和前期预报因子。这里待评事物为登陆台风次数 ($k=1, 2, \dots, 18$)。特征为预示登陆台风次数的 2 个前期预报因子: c_1 为 1 月 *Nino* 3 区海表温度距平; c_2 为 4~5 月副高脊线的平均位置 ($i=1, 2$)。根据预报要求,将登陆台风次数 y 分为 2 个等级: (1) 少台风年 $y < 8$ 次; (2) 多台风年 ($y \geq 8$ 次), 前期预报因子也分为 2 个等级 ($j=1, 2$)。根据登陆台风次数的计算等级与实际等级的历史拟合率达到最大的原则,在计算过程中,反复调整各因子的等级分界值,最后得到历史拟合率最大时各因子的等级分界值(表 2)。

表1 我国历年登陆台风次数和前期预报因子

Tab.1 Number of landing typhoon and previous forecast factors over the years in China

年份	台风次数	c_1	c_2	年份	台风次数	c_1	c_2
1980	11	0.45	15.0	1989	13	-1.43	13.0
1981	12	-0.56	15.0	1990	12	-0.27	13.5
1982	4	0.26	14.5	1991	7	0.04	16.0
1983	6	3.29	15.0	1992	9	1.39	13.0
1984	9	-0.82	14.5	1993	8	-0.05	15.0
1985	13	-1.10	12.0	1994	13	0.09	15.5
1986	9	-0.87	15.5	1995	11	0.73	15.5
1987	6	1.07	15.0	1996	7	-0.65	15.0
1988	10	0.51	14.5	1997	5	-0.91	15.0

表2 历史拟合率最大时前期预报因子的等级分界值

Tab.2 Grade limit value of previous forecast factors with maximizing historical conform ratio

因子	1	2	x_{P_i}
c_1	1.9~4.0	-0.8~1.9	-3.0~4.1
c_2	13.1~17.5	17.0~24.5	9.1~25.0

2.1 确定经典域

根据登陆台风次数的多少,确定出前期预报因子2个等级的经典域,如第1等级的经典域为

$$R_{01} = (N_{01}, c_i, x_{01}) = \left[\begin{array}{l} N_{01} \quad c_1 < 1.9 \quad 4.0 > \\ c_2 < 13.1 \quad 17.5 > \end{array} \right]$$

其它等级的经典域见表2。

2.2 确定节域

根据 $x_{0j} \in x_{P_i}$ 的要求,确定出前期预报因子的节域为(表2):

$$R_p = (P, c_i, x_{P_i}) = \left[\begin{array}{l} P \quad c_1 < -3.0 \quad 4.1 > \\ c_2 < 9.1 \quad 25.0 > \end{array} \right]$$

2.3 列出待评物元

根据表1所列数据,把1980年登陆台风的2个因子用物元表示为(其余类似)

$$R_1 = (P_1, c_i, x_i) = \left[\begin{array}{l} P_1 \quad c_1 \quad 0.45 \\ c_2 \quad 15.0 \end{array} \right]$$

2.4 计算权系数

根据专家咨询意见,得到2个因子的权系数 $A = [0.552(c_1), 0.448(c_2)]$ 。

2.5 计算关联函数值

利用式(5)~(7),计算得到1980年登陆台风次数各等级的 $Y_j(x_i)$: $Y_1(x_1) = -0.2959$, $Y_2(x_1) = 0.5682$,其余的 $Y_j(x_i)$ 见表3。

表3 1980年登陆台风次数各等级的 $Y_j(x_i)$

Tab.3 $Y_j(x_i)$ of every grade of number of landing typhoon in 1980

因子	1	2
c_1	-0.2959	0.5682
c_2	0.4750	-0.2532

再利用式(8),计算得到1980年登陆台风次数各等级的关联函数值 $Y_j(P_1)$:

$$Y_1(P_1) = \sum_{i=1}^2 a_i Y_1(x_i) = a_1 Y_1(x_1) + a_2 Y_1(x_2) = 0.552 \times (-0.2959) + 0.448 \times 0.4750 = 0.05$$

$$Y_2(P_1) = 0.20$$

其它年份登陆台风次数各等级的关联函数值见表4。

2.6 评定登陆台风次数等级

根据最大隶属原则,在 $Y_j(P_k)$ 中寻求最大的关联函数值 $Y_{j'}(P_k)$,那么历年登陆台风次数应归属于第 j' 个等级。就1980年登陆台风次数各等级的关联函数值而言:

$$Y_j(P_1) = \max [0.05, 0.20] = 0.20$$

由于 $j' = 2$,那么1980年的登陆台风次数属于第2等级,即属于多台风年($y \geq 8$ 次)。1980年实际出现的登陆台风次数为11次,属于多台风年,与实际情况相符。从表4可知,在1980~1997年的18年中,除了1982、1991年的登陆台风次数不符合以外,其余16年的计算等级和实际等级都符合,可见计算结果是比较好的。

由于相似的前期预报因子组合通常会出现相似的登陆台风次数,因此,为了预报1998~2000年的登陆台风次数,可以加入它们的前期预报因子:(1)1998年: $c_1 = 3.32$, $c_2 = 14.5$; (2)1999年: $c_1 = -1.21$, $c_2 = 16.5$; (3)2000年: $c_1 = -1.73$, $c_2 = 13.5$,再次进行物元分析,最后得到1998~2000年登陆台风次数各等级的预报情况(表5),可见计算等级和实际等级都符合,因此预报正确。

表 4 历年登陆台风次数各等级的关联函数值、计算等级和符合情况

Tab.4 Related function value, calculated grade and conform condition of every grade of number of landing typhoon over the years

年份	1	2	j'	实际情况	符合情况	年份	1	2	j'	实际情况	符合情况
1980	0.05	0.20	2	2	✓	1989	-0.39	-0.38	2	2	✓
1981	-0.06	-0.05	2	2	✓	1990	-0.20	-0.07	2	2	✓
1982	-0.03	0.12	2	1	不符合	1991	-0.09	0.15	2	1	不符合
1983	4.13	-0.46	1	1	✓	1992	-0.11	-0.10	2	2	✓
1984	-0.16	-0.15	2	2	✓	1993	-0.01	0.07	2	2	✓
1985	-0.46	-0.36	2	2	✓	1994	0.00	0.14	2	2	✓
1986	-0.11	-0.10	2	2	✓	1995	0.06	0.21	2	2	✓
1987	0.10	0.09	1	1	✓	1996	-0.07	-0.08	1	1	✓
1988	0.00	0.19	2	2	✓	1997	-0.10	-0.14	1	1	✓

表 5 1998~2000 年登陆台风次数各等级的预报情况

Tab.5 Forecast condition of every grade of number of landing typhoon in 1998~2000

年份	1	2	j'	实际情况	符合情况
1998	3.91	-0.50	1	1	✓
1999	-0.28	-0.13	2	2	✓
2000	-0.36	-0.43	1	1	✓

史拟合率达到最大,其结果是比较好的。因此,在登陆台风的物理成因尚难认识的今天,利用物元分析来进行登陆台风次数预报,并与其它方法配合使用^[4],无疑是一条比较有效的途径,这对沿海地区的防台减灾具有重要的现实意义。

参考文献

- 1 冯利华.利用 R/S 分析试作登陆浙江台风重灾年的预测,海洋学报,2000,22(5):133~136
- 2 蔡文.物元模型及其应用.北京:科学技术文献出版社,1994.267~275
- 3 陈兴芳、赵振国.中国汛期降水预测研究及应用.北京:气象出版社,2000.172~177
- 4 冯利华.中国登陆台风的时间分维特征,海洋科学,2000,24(1):49~50

3 结语

物元分析是新近出现的一种数学方法,由于它能够解决客观世界中大量不相容的实际问题,因而在许多领域都得到了推广应用。

从上可知,本文利用前期的预报因子进行计算,使物元分析具有了预报功能。同时在计算过程中,通过反复调整各因子的等级分界值(经典域和节域),可以使登陆台风次数计算等级和实际等级的历

FORECAST OF NUMBER OF LANDING TYPHOON BASED ON MATTER ELEMENT ANALYSIS

FENG Li-hua

(Department of Geography, Zhejiang Normal University, Jinhua, 321004)

Received: Apr., 19, 2001

Key Words: Number of landing typhoon, Matter element analysis, Classical domain, Joint domain, Related function

Abstract

Calculation by means of previous forecast factors makes matter element analysis possess forecast function. Readjusting repeatedly the grade limit value (classical domain and joint domain) of every factor can maximize historical conform ratio of calculated and actual grade of number of landing typhoon, whose result is relatively ideal. This is of actual significance for the disaster reduction along the coast area.

(本文编辑:张培新)