

运用混沌理论制作长期灾害预报模型初探

卢志光* 白丽萍 卢丽

(中国农业大学资源与环境学院, 北京 100094)

摘要 为提供准确的农业灾害预报, 本研究运用混沌理论, 以北京历年重大旱灾预报为例, 构建了长期灾害混沌预报模型。该模型采用便于描绘混沌事件的三阶差分方程与多因子状态方程联立, 模拟出北京市 1955—2001 年的历次旱灾事件发生过程。按照该模型规定的法则做重大旱灾预测比用单纯统计预测的准确率有显著提高。灾害混沌预报模型可作为长期灾害预测的新途径。

关键词 混沌理论; 灾害; 长期预报模型

中图分类号 S165.25

A Study on Long-term Disaster Forecast Model by Using Chaos Theory

Lu Zhiguang Bai Liping Lu Li

(Institute of Resource and Environment, China Agricultural University, Beijing 100094)

Abstract Natural disasters are constant threat to Chinese agriculture. Therefore the accuracy of disaster forecast is of vital importance. In this paper, a chaos model for long-term disaster forecast was built based on chaos theory, to provide accurate prediction for agricultural disaster by using the data of main drought forecast in Beijing. This model successfully simulated all major drought occurrences happened in Beijing in the period of 1955 to 2001, by applying three-step difference equations jointly with multivariate state-space equations. The accuracy of proposed model is significantly improved comparing to current statistical methods in major drought forecast. The chaos disaster forecast model provides a new approach for long-term disaster forecast.

Key words chaos theory; disaster; long-term forecast model

全球气候变化由于温度升高、降水总量增加、二氧化碳浓度增高, 可使部分地区提高农业产量, 但同时会出现病虫害北移扩展、降水不均造成某些地区干旱洪涝加重等多种自然灾害的发生。仅 20 世纪 70~80 年代全球自然灾害已使 300 万人丧生, 8 亿多人生活遭受破坏, 经济损失达数千亿美元。我国建国以来, 当年损失在 50 亿元以上, 或死亡万人以上的重大灾害达 15 次之多, 中等灾害则数以百计^[1]。因此, 农业减灾研究已成为“全球气候变化对作物生产影响”研究领域中的一个重要课题, 而提供准确的灾害预报尤其是重大灾害的长期预报, 是减灾研究的关键一环。

目前灾害长期预报多以常规方法为主, 这些方法对于一般环境要素预报效果较好, 但对于发生频率较低、处于要素极端情况的灾害事件则预报效果较差。因此, 有人提出运用混沌理论方法研究灾害事件。比如, 罗哲贤等曾作过“大气运动混沌形态分析”; 严中伟等作过“旱涝变化的混沌性质分析”等。但直接构建混沌预测模型对灾害目标进行预测的例子在国内外文献尚未

收稿日期: 2001-12-21

* 卢志光, 教授, 博士生导师, 研究方向为农业危害预测。北京圆明园西路 2 号



见到。

因此,本研究为提高预报准确率,拟做一次运用混沌理论方法建立灾害预报模型的初步探讨。

1 混沌理论方法用于灾害预报的可能性

1.1 灾害预报的特点

灾害的发生常具有以下特点:偶发性——不是年年发生,不具有要素连续性;极端性——凡是构成灾害的气象要素值多是远离平均值而接近极端的值;累积性——有些灾害是较长时间累积的结果。在目前的灾害长期预报方法中,许多是基于数理统计原理的。即使是考虑动力过程或特征指示的模型,也往往难以完全摆脱统计方法的运用。但多数数理统计方法有“优惠均值”的效应,即:与数理统计有关的预测模型对于具有一定要素连续性的处在均值附近的个例报得较准,而对于不具有要素连续性的远离均值的个例容易报错。灾害事件是缺乏连续性的,且多是在要素值远离平均值时发生的。因此,使用常规预报方法提供准确的灾害预报是比较困难的。

1.2 灾害的混沌特性

混沌理论是气象学家洛伦兹(Lorenz)等首先提出的,这里“混沌”的含义主要指:并非随机却貌似随机并敏感地依赖于内部初始条件的一类事物^[2]。

混沌研究发展至今,已初步形成了鉴别混沌的核心与本质、描绘混沌的数学方法等一系列理论方法。该理论方法提出仅几十年,数学、物理、化学、生物等多种学科均运用该理论解决了众多一般理论难以解决的问题,并推出了科技界瞩目的成果。哲学界认为:“这是科学的第三次突破、科学的第三次革命^[3]。”

灾害事件具有典型的混沌特征。我们知道,“千变万化的大气现象是混沌事件,它的奇怪吸引子是气候^[2]。”而气象灾害是大气现象的特定表现形式,它有“并非随机却貌似随机”的特点;灾害的是否出现与相关要素场的初始状态关系密切。这些都表现了灾害的混沌特征。

1.3 混沌灾害预报的可行性

既然灾害属混沌事件,那么就可以用描绘混沌事件的差分方程(组)来描绘灾害过程。如果能找到适合的差分方程(组),再确定一个初值,使差分方程(组)表达在某些特征值时与灾害发生事件关联。那么就可以对该差分方程(组)的参数界定后,用于下一个时刻的描绘——即做出预报。特别是在一般预报方法难以报准灾害的情况下,试用混沌方法做灾害预报,不失为一种新的选择。

2 用混沌方法预报北京旱灾的尝试

2.1 北京旱灾指标的确定

北京旱灾指标主要从农业用水、工业用水和居民用水受到严重影响作为依据来考虑的。农业用水又分夏粮受旱而减产 20% 或以上(夏旱)和秋粮受旱而减产 20% 或以上(秋旱)2 种情况。上述用水除受当年降水量影响外,还与前 1~4 年的降水量有关。这是由于前期降水量可影响到水库的蓄水量和地下水水位,而夏粮、工业及居民用水主要依靠密云、官厅 2 大水库的蓄水和本地的地下水。可见旱灾有明显的累积性。参照对北京市农场局及水利局等单位的调查数据,确定北京旱灾指标如下:

当年汛期(5—9 月)降水量少于 260 mm;

此前连续 2 年汛期降水少于 490 mm;或连续 3 年偏少,其中前 2 年汛期少于 490 mm 且第 3 年少于 550 mm;

上述二者兼备。此时出现的旱灾为严重旱灾。

从 1955—2001 年期间,北京共出现了 5 次旱灾,即:1962 年、1972 年、1981—1984 年、1999 年、2001 年。其中 80 年代初的旱灾为连续 4 年。

2.2 混沌预报方法的应用

2.2.1 确定描绘混沌事件“旱灾”的差分方程 旱灾发生的直接动力依据显然是降水量。因此,我们可以把北京历年汛期降水量的序列作为动力依据,以此为基础产生描绘混沌事件“旱灾”的差分方程:

$$x_{n+1} = ax_n x_{n-1} - bx_{n-2} \quad (1)$$

用训练叠代法确定 a 、 b 值: $a = 0.01$, $b = 4$ 并用差分方程(1)代入历年汛期降水量,初始年为 1955 年,算得新序列,见附表。(说明:描绘混沌事件的差分方程有多种形式,可自选,此处选了较简单的三阶差分方程;混沌事件对初始状态敏感,故确定初始年时应根据具体条件确定,此处受到资料年限的限制,暂定为 1955 年。)

2.2.2 确定与差分方程联立的状态方程 混沌事件“旱灾”的直接依据是汛期降水量。而降水是大气动力过程表现出的一种状态(或结果)。虽然大气的物理状态可以用视为理想气体的状态方程表达^[4]:

$$p = \rho \frac{R}{M} t \quad (2)$$

式中: p —气压; t —气温; ρ —大气密度; R —摩尔气体常数; M —空气分子的相对质量。

但混沌事件“旱灾”的状态却难以用类似(2)式的纯物理机制的方程表达。因为从纯物理机制的因素如气压、气温,到形成“旱灾”,要经历十分复杂的非线性动力过程,目前尚难以准确地描绘出来。故考虑用能反映大范围、长时期表征综合要素状态的“大气环流”替代基本要素^[5]。如:构造一个类似(2)式结构的 2 个自变量(T, Q)相乘、相除后得到应变量的方程,再适当加上常数项:

$$x_{n+1} = b_0 + b_1 T + b_2 TQ - b_3 T / (2 - Q) \quad (3)$$

式中: T, Q 可适当选择环流指数。

用《多息长期预报系统》^[6]软件计算出(3)式的各项参数后得到: $b_0 = 312.75$ $b_1 = 253.42$ $b_2 = 448.46$ $b_3 = 486.44$ 代入(3)式:

$$x_{n+1} = 312.75 + 253.42T + 448.46TQ - 486.44T / (2 - Q) \quad (4)$$

式中: T 为前 1 年第 15 候亚洲 500 hPa 高空纬向环流指数(IZ); Q : 前 1 年第 7 候亚欧 500 hPa 高空经向环流指数(M)。将式(1)、(3)联立:

$$\begin{cases} x_{n+1} = ax_n x_{n-1} - bx_{n-2} \\ x_{n+1} = b_0 + b_1 T + b_2 TQ - b_3 T / (2 - Q) \end{cases} \quad (5)$$

则该方程组暂定为描绘“北京旱灾”的方程。

2.2.3 描述方程的界定 暂定的描述方程经界定后,所表达的结果如果与实际相符,则可作为预报模型,否则,应重新按混沌法则构造方程,直到符合要求。此处对上述方程组做如下界定:

- [1] 式(1)算出的数值小于“- 950”时,该年为旱灾。
- [2] 式(1)值连续 2 年之和小于“- 1 100”时为连续 2 年以上旱灾。
- [3] 式(1)值小于“- 700”,且式(3)值小于“405”时,该年为旱灾。
(“该年”指“当年”的下一年)

2.3 混沌预报模型的检验

该模型建立于1996年。1997—2001年为试报年。用上面的界定标准对北京1955—2001年进行判断,结论与实际基本相符(见附表)。故式(5)可以确定为混沌预报模型。

3 讨论

用混沌理论方法做灾害长期预报考虑了“灾害”事件的真实属性。与灾害形成的动力因素挂钩,比一般统计预报有一定长处。但选择差分方程仍缺乏固定方法,需要一定的经验及大量计算才能选择适当。因此,进一步研究描述混沌差分方程的分类结构,以适应多种灾害的构建模型是今后重要的工作。

另外,对于累积效果明显的混沌事件的预测,可以用二阶概率辅助预测,以进一步提高灾害长期预报的准确率。

参 考 文 献

- 1 “安全减灾学人写真”编委会 安全减灾学人写真 北京:科学出版社,2000 7~ 11
- 2 Lorenz E N. 混沌的本质 北京:气象出版社,1997 2~ 3,67~ 68
- 3 国家基金委,中国气象局,中国科学院,北京大学 现代大气科学前沿与展望 北京:气象出版社,1996 2~ 3
- 4 郭小岚 大气动力学 南京:江苏科技出版社,1987 14~ 15
- 5 卢志光,张学琴 农业气象预测系统 北京:气象出版社,1995 117
- 6 卢志光,陈永华,陈琳 多息长期预测系统 中国农业气象,2001,(1): 1~ 5

附表 模型预测与实况对照

年份	降水量	旱灾	x_{n+1}	式(3) 计算值	预测 旱灾	年份	降水量	旱灾	x_{n+1}	式(3) 计算值	预测 旱灾
1955	740			647		1979	535		784	482	
1956	884			643		1980	264		958	409	
1957	442			478		1981	357	旱灾	- 880	402	旱灾
1958	678		947	668		1982	523	旱灾	- 1 198	542	旱灾
1959	887		- 539	557		1983	301	旱灾	811	493	旱灾
1960	440		4 246	474		1984	389	旱灾	146	430	旱灾
1961	475		1 191	489		1985	540		- 921	414	
1962	396	旱灾	- 1 458	539	旱灾	1986	532		897	579	
1963	511		121	404		1987	503		1 317	555	
1964	600		124	615		1988	540		516	568	
1965	324		1 482	480		1989	415		588	460	
1966	533		- 100	621		1990	483		229	525	
1967	584		- 673	573		1991	569		- 156	511	
1968	374		1 817	447		1992		412	1 088	503	
1969	688		52	580		1993	365		412	437	
1970	465		237	463		1994	680		- 772	464	
1971	434		1 703	358		1995	517		834	407	
1972	374	旱灾	- 734	383		1996	619		2 056	520	
1973	652		- 237	625		1997	288		480		
1974	567		702	592		1998	515		- 285		
1975	346		2 201	486		1999	255	旱灾	- 993		旱灾
1976	559		- 646	674		2000	320	旱灾	161		旱灾
1977	527		- 334	440		2001		旱灾	- 1 244		旱灾
1978	573		1 562	668							