

模糊数学在数值预报产品 统计解释中的应用及其进展*

席林华

(江苏苏州市气象局)

提 要

模糊数学是研究与处理客观世界中存在模糊性现象的一门科学。1980年我们开始试验在预报中应用,1982年起试验将模糊集方法应用到数值预报产品统计释用中,经几年来的工作取得了较理想的效果,本文扼要介绍和评述这方面的工作。

一、引 言

模糊集(Fuzzy sets)理论的研究和应用近20年来发展颇为迅速。1965年扎德教授(A. L. Zadeh)提出的模糊集合论^[1]则宣告模糊数学学科的开始。我国是最早把模糊数学方法应用到气象科学的国家^[2],中国学者1979年首次将模糊数学引入气象科学^[3],这一工作在中国气象界及国际模糊数学界受到了重视。A. L. Zadeh曾专门叙述了模糊集在气象中应用实例^[4]。模糊数学开始引入数值预报产品统计释用领域则在80年代初,这是我国近年来模糊数学在气象中应用的新发展。

二、模糊集理论在数值预报产品

释用中的数学方法及其应用

模糊集理论在数值预报产品释用中的数学方法^[5]常用的有隶属函数的合成运算及综合判别、模糊聚类分析、综合评判模型、应用最大隶属原则和择近原则的模糊判别模型、模糊相似分析、模糊关系方程及模糊优先比方法等。

(一) 模糊隶属函数的合成运算及综合判别

隶属函数的合成运算及综合判别是近年来在气象中应用最为广泛的模糊数学方法,并取得了较显著的效果。在模糊隶属函数的构造及设计思想中,便于将预报员实践及专家经验溶化在隶属函数中,从而体现在MOS

方程中,有利于我们吸取长期积累的预报员经验,提高业务预报水平。

模糊隶属函数的综合判别式,一般可写成以下形式,

$$\mu(y) = [\mu_A(x_1) \wedge \dots \wedge \mu_A(x_m)] \vee [\mu_B(x_1) \wedge \dots \wedge \mu_B(x_n)] \vee \dots \vee [\mu_C(x_1) \wedge \dots \wedge \mu_C(x_r)] \quad (1)$$

其中A、B、C表示论域U中的集合,∨、∧分别表示并运算及交运算。

模糊判别法预报步骤一般分以下三步:

1. 构造与设计隶属函数 $\mu(x_i)$, i为因子数;
2. 针对实际问题,确定模糊综合判别式 $\mu(y)$;
3. 给定临界值,进行判别预报。

应用模糊综合判别法作中期MOS预报^①(96小时降水和气温距平预报),经1984—1985年业务使用,96小时气温预报准确率为65%,降水的模糊判别预报CSI值为57分,高于1981—1983年72小时业务预报平均CSI值47.9分;1984年春季中期128次预报,按中央气象局统一评分,准确率如表1^②。

降水评分除192小时外,其余时次均高

* 据作者在“国际模糊系统与知识工程学术讨论会”(1987,广州)同名正式论文写成。

① 席林华,应用模糊判别法作中期MOS预报,苏州地方MOS试验研究报告(一)。

② 陈克,用Fuzzy集理论作春季中期晴雨预报,苏州地方MOS试验研究报告(四)。

表 1

预报时效	96	120	144	168	192
晴雨准确率	0.77	0.65	0.65	0.68	0.60
降水CSI值	0.57	0.56	0.61	0.58	0.44

于前三年 72 小时业务预报平均准确率,既延长了时效又提高了预报准确率。由此可见应用数值产品,采用模糊数学方法制作 MOS 预报是一种行之有效的方法,而且从实测长样本中建立的模糊判别方程,随着数值预报输出的归档资料的延长,其预报质量将会得到不断地提高和改进。

(二) 模糊聚类分析在数值预报场(图)相似预报中应用

这是近年来聚类分析方法的新进展。

1980 年我们将模糊聚类分析应用于春季候平均图的分型及预报中。经试验表明,模糊聚类客观分型结果与经验分型基本吻合,特别在大样本分型中效果更佳。这样的分型具有客观和定量的特点,不因人而异,比经验主观分型有它独到之处。在数值模式使用多年后,随着输出归档资料增多,模糊聚类分型之下建 MOS 方程效果要比不分型有明显提高。1984—1985 年使用分梅雨型、弱副高型及副高控制型建 MOS 方程,效果比不分型时降水准确率提高 7%。陕西课题组利用模糊聚类分析方法对本省不同季节的逐日降水量进行分片分析,发现不同季节逐日降水相似区是不大相同的。为了比较按行政区分片和模糊聚类分片建立统计解释的效果差别,他们以初夏干季关中东部分降水有无为对象进行了对比试验。初夏干季关中东部分渭南、临潼等 10 站日降水情况较相似,而和关中其他站、区不很相似,因此这 10 站单独建立判别方程比笼统建一个关中地区方程来预报,CSI 要高 0.091。

吉林省课题组^③用三组大风 MOS 方程对比(见表 2)。

表 2 大风 MOS 方程对比表

分组	项目	拟合率	报对次数	漏报次数	空报次数	错报次数	CSI
纯 MOS		70.0%	36	13	39	52	40.9%
天气 MOS		85.0%	36	13	14	27	57.1%
分类天气 MOS		93.0%	46	3	9	12	78.0%

由表 2 清楚地看出分类天气 MOS 方程的效果最好,CSI 比纯 MOS 提高了近 38%,漏报次数比纯 MOS 少 3/4。经 χ^2 检验, $\chi^2 = 19.66$, 而 $\chi_{0.001} = 16.27$, 所以这三组方程存在明显差异。分类建方程不仅大风对比试验结果较好,建立晴雨及大暴雨地方 MOS 方程时,分类或分型比不分型分别提高 27% 及 30% 左右;广东省 MOS 工作也有如此结果。通过几年对比试验及业务应用都证明在建立地方 MOS 方程时,从当地天气气候特点出发,运用最新资料,采用分类和模糊聚类分型建地方 MOS 方程,应用预报员经验可以大幅度提高预报质量,这些是国家 MOS 所不具备的。

模糊聚类分析在气象中应用较多^{[6][7]},大多用于预报图分型、天气过程的模糊划分及气候区划上,即对因变量分类上,其实对因子分类中也可应用,以集中和突出类内的局部特征,然后分类用不同方程预报也是较好的一种方法。

另外,最新应用的动态聚类法效果较理想,它是以数据迭代为基础的,首先把输出样本粗略分一下类(初始划分),然后按某种优化原则进行调整,调整分类数和个例所在类,迭代到分得比较合理为止。因此也称逐步聚类法^[8],国外即为 Fuzzy ISODATA 算法,亦称为迭代自组织数据分析技术。

邹浩等^④用以上算法对 1959—1978 年

^③ 丁士晟,地方模式输出统计预报的试验,数值预报应用情报交流会文集(预印本)1983,11,西安。

^④ 邹浩等,上海地区连阴雨中期预报,上海市气象学会文集,1982。

3月16日至5月15日上海连阴雨天气进行计算(样本数 $n=28$, 因子数 $s=10$, $\varepsilon=0.001$, $m=2$)聚类, 对1979和1980年3月16日至5月15日试报和使用预报连阴雨的准确率分别为80%和88%, 其中两段连阴雨均在48小时前提前报出, 从逐日评分来看是相当满意的。

(三) 模糊优先比方法及其在地方MOS预报中的应用

模糊优先比方法^[9], 其主要思路是相似预报, 是一种非线性预报方法, 比较直观而简便, 而且有利于对照历史样本考虑极值预报。在实际应用时往往优先比方法与模糊性度量的各种形式同时应用, 故称为模糊优先比方法。

试用模糊优先比方法作中期地方MOS预报和候平均场的相似预报的工作, 我们均从绝对值距离出发建立相似优先比构造Fuzzy优先比矩阵, 然后应用 λ -截矩阵概念进行相似预报, 都取得了较好的结果。

另外, 利用模糊优先比预报梅雨年型等工作均属此范畴, 在基层业务部门将由于它的直观性和又具有考虑极值预报的可能性而被重视。

(四) 模糊关系方程的求解及其预报试验

模糊关系方程是法国的桑杰斯(E. Sanchez)在1976年根据医疗诊断的需要提出来的。这个问题相当于已知综合评判结果(即输出 y)和模糊关系 R , 而求输入 X 的问题。这是综合评判的逆问题。综合评判模型本身应用较广^[11], 1985年我们应用多级综合评判模型, 利用数值预报输出产品作天气预报的决策有较好的结果。而综合评判逆问题的求解, 在实践中更具有实践意义; 所谓经验, 实际上是专家与专门技术人员对面临的问题预先在头脑中有一优秀的权重分配方案, 这是很难言传的, 而这些经验又是极其宝贵的, 最好能用计算机模拟下来, 让它

来替代专家和技术人员工作, 这就是人工智能中的“专家咨询系统”。随着第五代电子计算机技术的发展, 这个问题的实用价值将越来越高, 受到了不少学者的研究和重视^[12]。但模糊关系方程的求解是困难的, 因此探索模糊关系方程近似求解方法具有很大实际价值。

我们利用模糊关系方程求解思想, 试图在对早春降温过程波谱分析的基础上, 提炼影响南方地区早春降温的波参数, 然后利用数值预报输出产品(高度场进行谱分析求出所需波参数, 从而作降温预报^⑤, 经1973—1975年试报, 总准确率为 $\frac{140}{155}=90.3\%$, 1986年实际预报准确率为87.1%, 3月两次降温过程均提前报出。试用模糊关系方程作6—8月降雨量及秋季雨量长期预报^⑥等都有理想的效果, 但如何求出适合实际问题的最优解是个尚需深入研究的课题。

(五) 模糊相似分析及其在预报中的应用

近年来, 相似分析的一个重要进展是引进了模糊集概念。多维相似分析是业务部门经常采用的多元分析方法, 预报效果也不错, 但由于许多天气预报问题如环流型、天气过程、冷与热、旱与涝其界限是不分明的, 因此模糊集概念的引入, 将有利于进一步深化人们对大气运动及状态的认识。我们简单介绍三种方法:

1. 多维模糊相似分析法: 此法在多维相似分析上发展起来的, 将隶属度的概念引入相似分析中。

在 m 维多维空间中, 设 $X=(x_1, x_2, \dots, x_m)$, 则两状态相似必然是样本的多个变元间的相似:

^⑤ 席林华, 试用Fuzzy关系方程求解思想作早春降温预报的试验, 江苏省自动化学会年会交流材料(无锡, 1986)。

^⑥ 商兆堂, 用微机解Fuzzy方程建立预报模式作响水秋季长期预报, 全国Fuzzy数学及其学术成果交流会议论文材料, 1985, 10, 贵阳。

$$X_t \sim X_s$$

$$[X = X(x_1, x_2, \dots, x_m)^T] \quad (2)$$

其中 X_t 为预报时样本向量, X_s 为历史序列中某样本向量。用隶属度表征的相似系数来进行梅雨较大降水相似预报效果较好。

2. 最大隶属原则法: 梅雨期暴雨预报十分重要, 关键在于识别及预报降水类型, 未来是大一暴雨, 还是小雨, 对指导防汛抗旱和公众服务非常需要。为此, 我们利用最大隶属原则法来识别和预报, 经多年使用, 效果较理想, 大一暴雨 3—5 天预报准确率在 70% 左右, 比较稳定。使用以下直接识别模型:

$$\mu_{A_i}(x_0) = \max[\mu_{A_1}(x_0), \mu_{A_2}(x_0), \dots, \mu_{A_n}(x_0)] \quad (3)$$

其中 A_i 为论域 U 中的几个模糊子集 ($i = \overline{1, n}$), 若上式成立则认为 x_0 隶属于 A_i 。此时 x_0 是确定的识别对象, 而考虑的模型 A_i 是模糊集, 故称模型的直接识别法。

3. 择近原则法: 在给定的论域 U 上的 n 个模糊子集 A_1, A_2, \dots, A_n 及另一个模糊子集 B , 对 $1 \leq i \leq n$ 若有贴程度

$$(B, A_i) = \max(B, A_j) \quad 1 \leq j \leq n \quad (4)$$

则称 B 与 A_i 最贴近。这时识别对象和考虑模型均为模糊子集, 故称为模型的间接识别法。

虽然模糊相似分析近几年来发展较快, 应用较广^{[13]—[15]}, 但还有待于深入研究及应用。

(六) 含模糊输入的多层递阶方法及其试验应用

多层递阶方法是运用现代控制论中系统辨识观点提出的一种新的动态系统预报方法^[16], 由于它充分考虑了系统的时变特征, 在时变参数预报的基础上进行系统状态(或输出)的预报, 所以克服了一般预报方法因参数固定造成的较大误差的缺陷, 可以提高预报精度。实际上, 系统的输入有不少是定性形式的, 且存在模糊性, 为此提出了在气象中模糊输入的定量描述问题。我们试验运用

隶属函数表示法、专家综合评分法及模糊概率表示法等进行表征及定量描述, 试验表明专家综合评分法较优。依据梅雨期大一暴雨小概率事件试验, 采用以下输入—输出模型:

$$y^{(k)} = f[y^{(k-1)}, u^{(k)}, \theta^{(k)}, k] + e^{(k)} \quad (5)$$

其中 $y^{(k)}$ 为系统输出, $u^{(k)}$ 为模糊输入, $y^{(k-1)} = \{y^{(0)}, y^{(1)}, \dots, y^{(k-1)}\}$, $u^{(k)} = \{u^{(0)}, u^{(1)}, \dots, u^{(k)}\}$, $\theta^{(k)}$ 为时变参数向量, $e^{(k)}$ 为随机噪声。

此方法的试验应用刚开始, 相信不久将来含 Fuzzy 输入的多层递阶方法会在国民经济的应用领域发挥出更大的作用。

三、结语与展望

模糊数学理论研究及试验应用已有近 20 年历史, 但引入数值预报释用领域的时间还不长; 经过近几年来试验和探索应用, 数学方法及应用范围在不断地扩大, 成绩是可观的。但我们认为还需朝以下方面去努力提高:

1. 近年来在模糊集方法和经典数值分析方法结合上做了不少探索性工作, 各种模糊多元分析正在兴起, 并且初步显示出它在气象应用中的独特之处, 在数值产品释用领域展现了广阔的前景。今后将不再满足于模糊数学方法的直接应用, 而是要将模糊数学理论内在地与数值预报方法紧密地联系在一起, 将模糊数学的最新成果应用到大尺度数值预报结果的统计解释中和地方 MOS 预报中, 使其成为一个新的分支和一支数学新军。

2. 近年来应用模糊数学工作发展也较快, 涉及和应用面也很广, 几乎遍及国民经济各领域, 但深度还是不够的, 特别是由于目前还缺乏构造隶属函数的严密理论和方法, 现在所采用的构造方法多少带有主观性及非合理性, 有时会影响应用效果的发挥, 这是应用工作者深感棘手的事。有人提出了“Fuzzy 理论的统计处理方法”^[17], 试图尽可能应用先验知识得到更合理更好的隶属函

数,人们期待这一理论及方法上突破;另外 Fuzzy 知识表示研究的深入,将更加有利于 Fuzzy 数学应用向更深的深度及广度进军,使应用领域出现一个飞速发展的崭新局面。

3. 模糊信息处理是当前信息革命及新一代计算机发展的核心问题^⑦。扎德认为专家系统必须以模糊逻辑作为理论基础。目前气象上初级专家系统正在不断地涌现,气象专家系统也应以模糊逻辑和模糊推理为理论基础^⑧,相信不久将来气象专家系统将会朝更加完善更高水平上发展。

总之,模糊数学在数值产品释用领域的应用,随着模糊集理论的深入及应用技术和计算机技术的发展,将会在深度与广度上取得新的发展,它的前景将是一片光明,并将现代化的建设事业中发挥更大的作用。

参考文献

- [1] Zadeh, L. A., Fuzzy sets, Information and Control, 8 (1965) 338—353.
- [2] “首届Fuzzy系统国际学术会议在西班牙举行”的报道,气象科技动态,1985,10(总196期)。
- [3] 陈国范,模范数学与天气预报,气象,1979,6。
- [4] A. L. Zadeh, Making Computers think

like people, IEEE Spectrum August 1984, 26—32.

- [5] 曹鸿兴,数值产品统计释用原理及其数学方法,气象科技,1985,6。
- [6] 曹鸿兴、陈国范,天气过程的Fuzzy划分,科学通报,25,1980,457—460。
- [7] 陈国范、曹鸿兴,Fuzzy数学在天气预报中的应用,全国概率统计天气预报会议文集,农业出版社。
- [8] 曹鸿兴,局地天气预报的数据分析方法,气象出版社,1983。
- [9] 贺仲雄,模糊数学及其应用,天津出版社,1983。
- [10] 吕玉芳,应用模糊优先比预报梅雨年型,大气科学,1986,3。
- [11] 陈永义等,综合评判的数学模型,模糊数学,1983,2, P61—63。
- [12] 李洪兴等,综合评判的逆问题,模糊数学,1985,1。
- [13] 李光耀,用Fuzzy相似法作台风登陆区的预报,热带气象创刊号,1984,90—98。
- [14] 周学群,数值预报产品结合天气概念模式做南海风力中期预报,气象,1987,5。
- [15] 昌玮等,Fuzzy识别在长期天气预报中的应用,模糊数学,1987,2,59—64。
- [16] 韩志刚,多层递阶方法及其应用,自然杂志,1985,1。
- [17] 沙基昌,Fuzzy理论的统计处理方法,第二届多元分析会议文集,1979。

^⑦ 汪培庄,模糊数学的应用,全国Fuzzy数学及其学术成果交流会论文材料,1985,10,贵阳。

^⑧ 朱盛明,中期地方模式输出试验研究工作的技术思路,苏州地方MOS试验研究工作汇报,1985,11。

The application and development of fuzzy mathematics in the statistical interpretation of the NWP products

Xi Linhua

(Suzhou Meteorological Bureau)

Abstract

We began to put fuzzy mathematics into use in forecasting since 1982, and then the statistical forecasting was made by using the NWP products with the theory and method of fuzzy sets. In this paper, we describe the information on this aspect.