

概率天气预报的兴起及其 社会经济意义

史国宁

(中国气象科学研究院, 北京 100081)

提 要

作者试图从辩证法观点分析概率天气预报之所以兴起的认识论动机和社会经济动机,指出了概率天气预报的产生既是对天气气候变化同时具有确定性和随机性的认识不断深化的结果,也是社会经济发展到一定阶段、经济决策日益定量化和精细化的客观需要;阐述了气象-经济决策这一跨学科领域与概率天气预报之间的相互关系,并用一个简单的气象-经济决策模式从理论上和实例计算结果证明了概率天气预报比传统的天气预报有更高的经济价值。

关键词: 概率天气预报 随机性 气象-经济决策

前 言

简言之,用统计学方法或统计-动力方法预报某一天气现象有无可能发生并同时定量地给出其发生的可能性,这样的预报称为概率天气预报。或者用专业化一些的语言来说,概率预报可以看作是预报量在其可能取值范围上的一种离散的或连续的概率分布。概率天气预报的兴起是对自然界一切运动(当然也包括大气运动)同时具有确定性和随机性的两重性本质的认识逐渐深化的结果,也是社会经济高度发展,人类活动的决策方式日益客观化、定量化和精细化的需要。

概率天气预报把传统的“非有即无”式的确定性预报改变成了“亦有亦无”式的不确定性预报,这不仅仅是气象部门的一次技术上的变革,而且是对气象人员和广大用户的“非白即黑”的传统思维习惯的一次撞击,其意义和影响已经远远超出气象领域之外,而涉及到辩证唯物主义的认识论和方法论范畴以及社会经济活动的各个方面。

国外大量研究表明,概率天气预报的经济价值明显高于传统的分类预报(categorical forecast)^[1,2,3]。概率形式的预报更适合于现代经济生产决策的日益客观化、定量化和精细化的需要,它们能大大提高天气预报的使用效益,这已成为气象-经济决策研究领域的一些知名学者(如 Murphy, Hughes, Thompson 等人)的定论,并为生产实践所证明。但是对于一般公众和广大专业用户来说,概率预报在使用方法上要比传统的分类预报难得多。因为优化、合理地使用概率预报需要具备天气预报和决策理论两个领域的专门知识。这属于气象-经济决策的研究范围^[2,3,4]。可以说气象-经济决策这一跨学科分支是随着概率预报的兴起而兴起的。实际上气象-经济决策研究属于大气科学与决策理论两个领域的交叉学科研究。作者认为,随着概率预报的逐步推行,气象-经济决策理论知识和方法不管对于气象专业人员还是广大用户来说,都会越来越显示出它的重要性。

1 概率天气预报的产生是由于人对天气气候变化随机性规律的认识逐渐深化的结果

必然性和偶然性的辩证统一关系属于马克思主义唯物辩证法的基本范畴。自然界一切事物的运动发展,从宏观世界到微观世界,都遵循着这种关系。天气和气候当然也不例外。天气和气候变化既包含着属于必然性范畴的物理过程,也包含着属于偶然性范畴的随机过程。这两类不同的过程需要用不同的方法去研究。但是这两类过程又是相互联系、相互转化的,把它们有机地结合在一起才构成了我们对天气气候变化本质的全面认识。

天气气候变化的必然性表现在天气气候变化要受到确定的物理关系的支配,因此可以用数学物理方程来进行描述。按照数学物理方程,对于一定空间内的某一物理状态,只要边界条件给定,则以后任何时刻的状态唯一地决定于初始时刻的状态。这就是目前大气科学中所谓的“决定论”(deterministic)观点。但是人们发现,决定论的数学物理方程远不足以描述无边无界的天气气候的千变万化,特别是长时期的变化。天气气候变化还具有偶然性的一面,它表现为天气气候变化中还包含着随机过程。这就是目前大气科学中所谓的“随机论”(stochastic)观点。这两种观点都有各自的片面性,只有两者统一起来才有可能得出对大气运动的完整认识。

随机-动力模式本身有一个逐步完善的过程。统计-数值方法就是随机模式与动力模式的一种简单结合。例如 MOS 方法,先用数值模式计算,然后再将数值模式的计算结果输入到统计模式中去,可以算作一种初级的随机-动力模式。但是这种结合方式是生硬的、机械的、人为的,尚不足以反映大气变化的真实状态。只有当随机性与确定性有机地统一在一个模式中,就像必然性与偶然性达

到辩证统一那样,才有可能逼真地描写大气状态的变化。尽管随机-动力模式目前全面付诸应用尚有困难,但是,可以预言,它是今后 10—20 年内大气科学的一个生长点,随着计算机技术的发展和随机-动力模式的不断完善,它将成为天气气候预测的一个强有力的工具,将会在概率天气预报方面得到广泛的应用。

概率天气预报就是沿着人们对天气气候确定性和随机性认识的这种不断深化的历程而发生和发展的。从概率天气预报方法的发展历史可以看出,在初期使用的是列表法、散布图或图解回归方法这类简单而直观的工具,它们只是给出天气变化中某些纯统计的关系。从 70 年代开始才逐步通过完全预报方法和 MOS 方法将统计关系与物理机制逐渐结合起来。但如上所述,这种结合只是机械的结合。

70 年代以后,其他领域的新的科学思想、理论和方法不断被引用于大气科学,如突变理论、灰色系统、非平衡态理论、混沌、吸引子、分数维数理论等,都有助于对天气气候变化的随机性本质的揭示和数学描述。

概率天气预报与传统的天气预报的区别在于,概率天气预报只给出天气事件发生的可能性即概率的大小,而不作出绝对肯定或绝对否定的判断。这是符合辩证唯物主义的认识论原则的。实际上,传统的“有无”天气预报只是概率预报的两个特定情况,即概率 $p=1$ 和 $p=0$ 的概率预报。而概率预报则包含了 p 介于 1 和 0 之间的无穷多个情况。因此概率预报所包含的信息价值比传统的分类预报大得多。

1 与 0 是两个相对立的数。无论是从哲学、逻辑还是数学的观点看,1 与 0 都有着绝对的含义^[5,6]。1 代表着绝对的“有”,绝对的“肯定”,绝对的“完整”;0 代表着绝对的

“无”，绝对的“否定”，绝对的“纯净”。它们在自然界和人类社会中的原型只是一种近似。因为在现实世界中很难找到绝对完整或绝对纯净的事物，所以现实常常是用1与0之间的某个数来反映的。0与1之间的数可以与整个数轴上的数相对应。由上观之，以0与1之间的无穷多个数来反映天气事件出现可能性大小的概率天气预报是有着丰富的哲学内涵的。概率天气预报的出现，标示着人的主观认识已向客观世界接近了一大步。

2 概率天气预报的产生是由于社会经济发展到一定历史阶段，经济生产决策方式日益科学化、定量化和精细化的客观需要

概率天气预报较之传统的天气预报可以从多方面提高用户决策的科学性。主要有以下三个方面。

(1)传统的天气预报是使用“有时”“可能”“偶而”等修饰语来表达天气事件发生的可能性的，公众很难用适当的方式或一致的方式来解释这种不确定性的语言，各人对这些用语的理解差别很大，而且在口头传递中会严重走样失真，结果常易使用户的决策产生失误。在国外有关天气预报术语的研究中以及行为心理学者所作的实验室试验中都提到了这个问题。与不确定性的语言表达不同的是，概率可以对天气预报的不确定性作精确的描述^[3]。

(2)在传统的天气预报中，预报员根据自己的经验，把本来不确定性预测，主观变成确定性预测，简单地作出“非有即无”式的断定，人为地增大了预报误差，降低了用户决策的客观性。而概率预报则是把预报员对天气变化的把握程度以概率的形式告诉公众，这既符合天气变化具有随机性的客观规律，又便于公众在决策中作定量的考虑。

(3)更为重要的一个方面是，概率天气预

报比传统的天气预报能使用户的决策更为精细化，且更便于使用。先简要说明一下气象-经济决策的基本思路和方法，从而可以比较出概率天气预报与传统的天气预报在决策应用中的优劣。

用数学方法研究具体的经济生产部门怎样使用天气预报才能取得最大的效益称为气象-经济决策。每个用户都有自己的决策方式，一般用户多采用主观定性的决策方式，即通常所说的拍脑袋决策方式，这显然不适应现代经济生产活动的需要。气象-经济决策要考虑各种要素：措施、天气事件、天气预报的准确程度（或概率）、后果和效益，要把这些要素全部纳入数学模式中去。现在以一个最简单的情况——费用/损失比情况为例。费用/损失比通常写为 C/L ，Thompson 称之为业务风险比。 C 是某一生产部门对某一不利天气采取预防措施所花的费用， L 为不预防遭受的气象损失（指可避免损失）。显然 C 应小于 L ，否则决策就无意义了。 C/L 属于经济参数，不同用户有不同的 C/L 值。为了决定在什么情况下防什么情况下不防，还需要有气象参数，即衡量天气预报质量（准确率）的参数。通过数学模式根据经济参数与气象参数之间的相互关系来决定防与不防。例如就降雨有无的概率预报来说，很容易得出如下决策判据

$$\begin{array}{rcl} & > & \text{防} \\ p = C/L & & \text{两可} \\ & < & \text{不防} \end{array}$$

其中 p 为降雨的概率预报。

例如有一砖厂要决定晚上是否给砖坯防雨。首先估计不采取防雨措施会有多大损失 (L)，采取防雨措施有多大花费 (C)，然后计算 C/L 值。假设计算得的 C/L 值为 0.2。又从降雨概率预报得知有雨概率，若大于 0.2，则防，若小于 0.2，则不防。

从理论上说只要 $p > C/L$, 采取预防措施就是一个合理的(从统计意义上或者从期望效益来说)决策。但在实际应用中, 还需要考虑其他一些因素, 特别是在 p 值与 C/L 值比较接近的时候。例如上例中如果预报降雨概率为 0.3, 尽管大于 C/L 的值 0.2, 但根据具体情况也未必就要采取预防措施。

由上面简单的例子可见用概率预报进行决策是十分方便的, 如用传统的降雨预报就要麻烦多了, 且容易造成决策上的偏差。因为传统的降雨预报只告诉用户有没有雨, 这时用户必需根据预报的准确率或用户对预报的信任程度来进行决策。预报的准确率只能根据预报和实况的历史记录统计得出, 不仅要花去大量时间, 且往往由于样本过小, 统计出的预报准确率误差很大, 使决策失去了应有的意义, 甚至会导致错误决策。

从国外气象-经济决策研究的历史可以看出, 气象-经济决策研究实际上是随着概率天气预报的兴起而兴起的。一方面, 概率天气预报的应用需要气象-经济决策的专门知识, 未受过专门训练的用户和预报人员是不知道如何合理地使用概率预报的; 另一方面, 气象-经济决策又需要有概率形式的天气预报作为决策依据。二者相依相成, 交叉递进。

3 概率天气预报比传统的天气预报有更高的经济价值

关于概率天气预报的经济价值, 国外有大量的研究。较早期的有美国 Murphy 等学者的工作, 以后又有日本的立平良三等学者进行的探讨, 得出了比较一致的结论。

3.1 国外的一般结论

美国 Murphy 等人通过决策分析, 比较了在费用/损失比(C/L)情况下气候预报、分类预报(即传统的天气预报)和概率预报的经济价值, 以及它们与 C/L 值的关系。根据他们的研究结果, 可以归纳出以下几点结

论^[2,7,8]。

(1) 当概率预报完全可靠时, 可以证明: 对所有的 C/L 值, 概率预报的价值均高于相应的气候预报和分类预报。

(2) 当概率预报不可靠时, 对于 C/L 的高值和低值范围(即 C/L 值接近于 1 和 0 的狭窄范围), 概率预报的价值略低于气候预报, 对于 C/L 值的宽广的中间范围, 也就是说在多数的 C/L 值下, 概率预报的价值仍高于气候预报和分类预报。

(3) 对美国国家天气局所作的降水概率预报进行效益分析表明, 当一些预报的概率值很不可信时, 对于多数的 C/L 值, 概率预报的价值仍比气候预报和分类预报高得多。仅在 C/L 高值和低值(即 C/L 值接近于 1 和 0)的两个狭窄范围内概率预报的价值略低于气候预报和分类预报。

(4) 对美国国家天气局为新墨西哥果园所作的 1973—1975 年 3 年春季最低气温概率预报的效益评估表明, 除了 C/L 值在 0.65 附近外, 对所有的 C/L 值, 应用概率预报所获得的效益均大于应用气候预报和分类预报所获得的效益。因为果园采取防霜冻措施的实际 C/L 值在 0.05 左右, 所以可认为在此例中概率预报的价值恒大于气候预报和分类预报。

值得注意的是, 以上这些结论大多是对早期的概率预报进行效益评估得出的, 其中有些概率预报的可靠性较低。现在概率预报水平又有了很大提高, 其经济价值当会更高。

3.2 概率天气预报效益评估

如果取预报概率的某一值作为有无坏天气的分界线, 即当预报概率大于该值时报“有”, 小于该值时报“无”, 则概率天气预报就转换成了传统的两分类天气预报。分类预报可以看成是一种“不完全的”概率天气预报。因此, 概率预报所包含的信息的价值自然要

比分类预报大。但是要进行定量的评估却不容易,要根据不同的情况设计不同的模式。这里还是就 C/L 的情况给出一个评估概率天气预报效益的简单数学模式,并通过用这模式对实际的概率预报进行评价的结果来证明概率天气预报的价值高于传统的分类预报。

3.2.1 立平良三的一个简单的评估模式

如前所述, C/L 的值应在 0—1 之间。 C/L 不能大于 1, 否则预防费大于灾害损失费, 决策就没有意义了。设预报概率为 $P/100$ 的概率预报共发布了 100 次, 用户每次都按预报采取决策, 则期望效益 G (即按预报采取预防措施所避免的灾害损失) 为

$$G = L \times P - C \times 100 \quad (1)$$

所谓 $P/100$ 的概率预报可以理解当这种预报发布 100 次时, 可以期望其中只有 P 次实际出现了坏天气。灾害的避免仅限于当出现坏天气时, 所以上式中以 $L \times P$ 表示。由式(1), 效益 G 为正的条件是

$$C/L < (P/100) \quad (2)$$

由式(2)可知, 当预报概率大于 C/L 比值时, 如果采取预防措施, 则可以期望得益。

实际预报概率 p 的值是在 0—1 之间的。因此对于具有某一 C/L 值的用户来说, 一次概率预报的平均效益为

$$G_{\text{概率}} = \frac{1}{N} \int_{C/L}^1 (p' - C/L) n(p) dp \quad (3)$$

式中 N 为预报总次数, $n(p)$ 是预报概率为 p 的次数, p' 是预报为 p 时出现降水的相对频率。在式(3)中, $G_{\text{概率}}$ 是以 L 为单位的。

然后再求分类预报的价值, 以便与概率预报进行比较。先将概率预报转换成分类预报, 这时只要把预报概率的某个值, 例如 0.5, 作为有无坏天气的分界线即可。若这种分类预报报“有”, 用户就采取措施, 报“无”, 用户就不采取措施, 则一次预报的期望效益为

$$G_{\text{分类}} = \frac{1}{N} (p'_1 - C/L) \int_{0.5}^1 n(p) dp \quad (4)$$

式中 p'_1 是分类预报报有坏天气而实况也出现坏天气的相对频率。 p'_1 与式(3)中的 p' 的区别在于 p'_1 不依赖于 p , 故可移出积分号外, 而 p' 与 p 有关, 故不能移出积分号。 $G_{\text{分类}}$ 也是以 L 为单位的。

再来计算理想预报 (即准确率达到 100% 的预报) 的效益。很容易推得一次理想预报的期望效益为

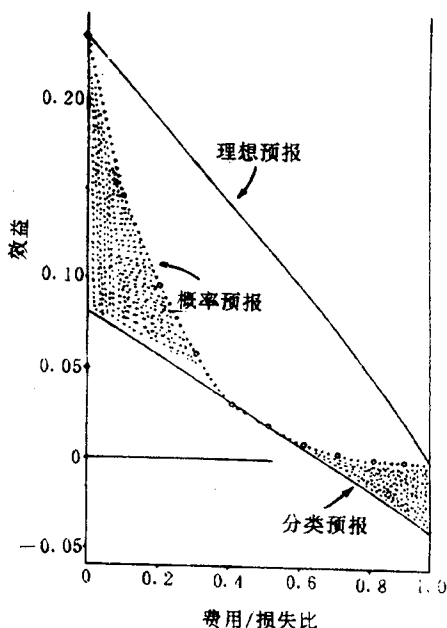
$$G_{\text{理想}} = (1 - C/L) p'_c \quad (5)$$

式中 p'_c 为总的预报次数中出现坏天气的次数。 $G_{\text{理想}}$ 也是以 L 为单位的。

根据式(3)、(4)、(5)就能比较概率预报、分类预报和理想预报的价值大小了^[1]。

3.2.2 实例计算及结论

日本立平良三等人选择了 1980 年 4—9 月关东南部地区降水概率预报, 用以上模式作了计算^[1]。计算结果如附图所示。图中纵坐



附图 3 类预报费用/损失比与效益的关系

标代表效益,以气象损失值 L 作为单位;横坐标表示 C/L 值。图中上、下两条直线(实线)分别表示按理想预报和分类预报采取决策所获得的效益与 C/L 的关系,中间一条曲线(虚线)表示按概率预报采取决策所获得的效益与 C/L 的关系。由图可以得出以下结论:

(1)使用概率预报几乎对于所有的 C/L 都比使用分类预报有更大的效益。特别是在 C/L 接近 0 和 1 时,效益差别迅速增大。

(2)当用户的 C/L 值超过 0.6 时,使用分类预报反而会招致损失。这时不管预报如何均以不采取任何措施为宜。

(3)若把传统的分类预报转换成概率预报,从经济效益的角度看,等于是向理想预报靠近了 30% (图中的阴影部分)。改善的程度随不同的 C/L 值而不同,30% 只是就平均情况而言。

(4)采用概率预报获得最大效益的是 C/L 值较小(在 0.1—0.2 左右)的那些用户。

这些结论一致表明:在任何情况下概率预报的经济价值均高于传统的天气预报。

值得注意的是,上面关于概率预报价值超过分类预报价值的这些结论的研究,通常

是假设预报用户按照合理的、最佳的方式处理信息和作出决策的。这一假设可能并不符合大多数公众甚至许多专业用户所使用的信息加工和决策方法。但是,有些学者(如 krzysztofowicz)对最优用户和非最优用户比较了概率预报和分类预报的价值,得到的一致结论是:这两种预报之间的价值差别非最优用户要比最优用户大。这一结果进一步证明在公众天气预报中应该使用概率。

参考文献

- 1 立平良三,保科正男. 概率预报. 气象研究/一卜,1984年8月:113—133.
- 2 A. H. Murphy. Weather Forecasting and Weather Forecasts: Models, Systems and Users. 1976:579—598.
- 3 A. H. Murphy 等. 大气科学中的概率、统计和决策. 北京:气象出版社,1991:167—183.
- 4 E. E. Жуковский. Метеорологическая Информация и Экономические Решения. Гидрометеиздат, 1991: 119—159.
- 5 史国宁. 自然数“1”. 北京晚报“科学长廊”,1986. 8. 20.
- 6 史国宁. “0”的遐想. 北京晚报“文学与社会”,1995. 6. 9.
- 7 A. H. Murphy. Comparative evaluation of Categorical and probabilistic forecasts. MWR, 1986, No. 1:245—249.
- 8 Nyomura Yho. Potential forecast's economic gain, Journal of Meteorological Research. 1980, No. 11/12: 315—320.

The Cognitive and Socioeconomic Motivations for Probabilistic Weather Forecasting

Shi Guoning

(Chinese Academy of Meteorological Science, Beijing 100081)

Abstract

It is pointed out that two principal motivations exist for formulating and expressing weather forecasts in probabilistic terms, that is, the human's deepening cognition of the stochastic nature inherent in weather and climate change, and the increasing need for quantitative and precise decision-making in socioeconomic activities. The relation between probabilistic forecasting and meteorological economic decision-making is briefly discussed. Finally, a decision-making model is given to demonstrate that the economic value of probabilistic forecasts generally exceeds that of categorical forecasts.

Key Words: probabilistic weather forecasting stochastic nature meteorological-economic decision-making