

降水概率预报

山东省气象局科研所科技情报室编印

1982年12月

前 言

山东省气象考察组，由省气象局付局长于从源同志率领，于1982年2月去日本先后参观访问了日本气象厅、山口县测候所、下关地方气象台，福岡管区气象台和长崎海洋气象台，考察了日本各级气象机构和气象业务（重点是天气预报和气象服务）的开展情况。现将这次考察收集的部分技术资料分为中长期预报、降水概率预报、地区气象观测系统和雷达资料在短期预报中的利用及数值预报资料在短期预报中的利用和日本气象业务概况四部份翻译汇编成册。其余部分，将继续组织翻译、付印，供业务参改。

~~山东省~~气象局科研所

一九八二年十二月

降水概率预报

立平良三

保科正男

1. 降水的发生概率

降水是指雨、雪、雹等的总称，日本降雨所占的比率很大。测定降水的仪器一般是雨量计，气象厅地区气象观测网(AMeDAS)使用的是每1毫米计数的翻斗型雨量计，气象厅的降水量观测大部分依靠 AMeDAS，所以成为业务预报对象的降水量是1毫米以上的降水。

骰子常被引用作为概率的例子。出现哪个点的影响因子是非常复杂而不能预测的，如果没有理由指出哪个点特别容易出现的话，则可认为1~6个点都以相同的概率出现。既一个点出现的概率可指定为 $\frac{1}{6}$ 。

下面看一下发生降水的概率。降水与骰子不同，其发生机制颇清楚，有可能预报较确切的降水随时间、地区变化的情况，这就是天气预报。

即使没有关于降水发生机制的情报资料，也可概括过去的降水记录推导出经验性的降水概率。这就是所谓气候降水概率。在说明降水概率预报之前，让我们先来看一下这种气候降水概率的实际情况。

讨论某一地点降水概率时，需要首先指定时间的长度。在被指定的时间内的某一地点的某一时刻，若有降水，则被看作“降水发生”。这段时间如果长达一年或一个月，则“降水发生”气候降水概率几乎是100%，这没有意义。

因此，就几天以下的时间长度，研究一下降水概率实际上

如何减少的情况。使用如下的降水资料：

(1) 时间：1975年4月—1979年9月（4年半）的每1小时降水量。

(2) 地点：东京都内的AMeDAS雨量观测点（10个地点）。

根据以上的资料能计算出有关各点的气候降水概率，图1是用图表示的整个东京的平均值。若时间缩短到1小时，则概率值减少到仅为6.2%，因为上下班所需时间为1小时，如果根据年平均来看，则这段时间的降水概率为6%。但是，季节变化相当大，变化幅度约为2%~10%。

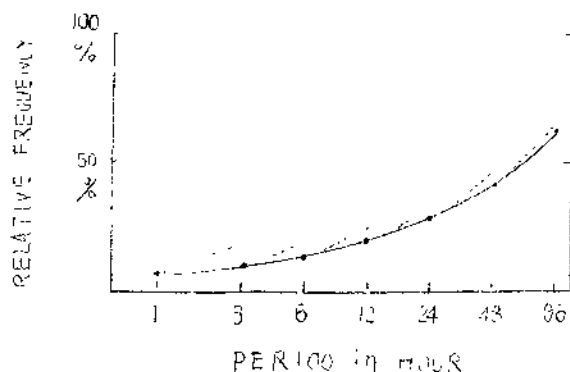


图1 都内雨量观测点和气候降水概率（10个地点的平均值）。虚线是假定持续时期内的降水发生相互独立时降水概率。

如下节所述，气象厅计划按每6小时间隔预报降水概率，这种情况的气候概率年均为13.5%，其季节变化如图2所示，变化幅度约为5%~20%。

虽然对于比1小时更短时期内的降水概率情况也有兴趣，但这必须分析自记纸记录，这里删掉了。

小
概
率
变

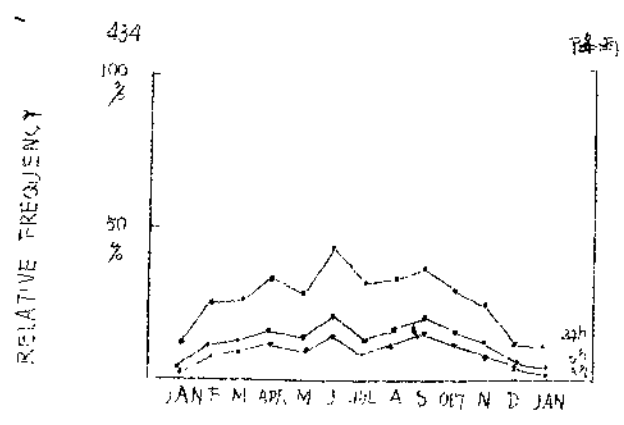


图2 都内气候降水概率的季节变化(10个地段的平均值)。
 以上线分别表示24小时, 6小时, 3小时内的
 降水概率。

2. 降水发生的时间相关

任一地段3小时内降水发生的概率 P_3 和其中每1小时内降水发生概率 P_1 之间的关系, 随降水特性而变化。

如果一旦降水发生, 长时间持续时, 亦既相关高时, 则:

$$P_3 \approx P_1 \quad (1)$$

反之, 如果某一小时内有无降水与连续1小时内降水发生无相关, 则根据概率定理有,

$$P_3 = 1 - (1 - P_1)^3 \quad (2)$$

另外, 如果降水特性为某1小时内有降水, 但又是暂时难以发生降水时, 既逆相关时, 则:

$$P_3 \approx 3P_1 \quad (P_1 \ll 1 \text{ 的情况}) \quad (3)$$

总之, 根据降水特性, P_3 应取 $P_3 \sim 3P_1$ 之间的特定值。在图1上, P_1 为6.2% (0.062), 所以

正相关时 $P_3 \approx 6.2\%$
 无相关时 $P_3 \approx 17.5\%$

逆相关时 $P_3 \approx 10.6\%$

实际的 P_3 为 9.9% ，所以实际的降水现象具有很大正相关。实际上考虑连续 1 小时内有无降水的相关，如果取相关系数 ρ ，则 ρ 值约为 0.6 （东京，暖季）。

对于 3 小时，6 小时或更长时的降水概率，也可同样地进行计算。取 3 小时和 6 小时的降水概率为例，则：

正相关 $P_6 \approx P_3 = 9.9\%$

无相关 $P_6 = 2P_3 - P_3^2 = 18.8\%$

逆相关 $P_6 \approx 2P_3 = 19.8\%$

实际的 P_6 如图 1 所示为 13.5% ，仍有相当大的正相关。48 小时和 96 小时内的实际降水概率非常接近于无相关的情况，尽管如此却仍有一度正相关（参照图 1）。

3. 降水概率的预报

前节处理的是降水发生的气候概率。在想要预报降水概率时，如果没有任何其他情报资料，就只有发布这种气候降水概率，但是实际上因为有各种天气图和数值预报等资料，能够根据各种情报修改气候降水概率。明显的低气压正在接近时，可预报近似 100% 的降水概率。反之，预计为冬季典型的气压场分布时，可预报南部周围的降水概率几乎为 0% 。

如前节所述，处理降水概率时，需要首先指定时间长度。气象厅的计划规定预报 6 小时间隔的降水概率，这是从实用观点来确定的。

用现在的短期预报技术预报 6 小时间隔的降水概率，理不能经常用近似 100% 的概率值作预报，尽管如此，但仍可达到平均值近于 50% 的水平。如果是这种程度，那么，从实用角度来看，似乎并不难以使用。若将分时间间隔例如假设时间间隔为 1 小时，从时间的角度来划分细了，即使是下雨时，也只能预报平均第 1-4

左右的概率值，这反而不便使用。

现在的预报技术能把气候降水概率提高2~3倍，因此，如图1所示，如果1小时间隔的气候降水概率只有6%，则降水概率预报也应控制为极小值。

概率预报不仅可以应用于有无降水，例如对有无大雨或有无雷雨，如果把大雨定义为“3小时内降水超过30mm”，那么，在东京（大手町）6小时内降大雨的气候概率即使是最夏季也仅是0.2%。若用预报技术来提高，则大雨概率充其量也不过是百分之几，很难使用。

气象厅扩大预报区域的处理是提高降水气候概率的实际方法，如图3所示，将日本分成7个区域，在每个区域内的某一地点经常发生大雨（30mm/3hr）的气候概率会达到15%，如果用预报技术将大雨的气候概率提高几倍，则可得出实际上容易使用的大雨概率预报。

概率预报

135

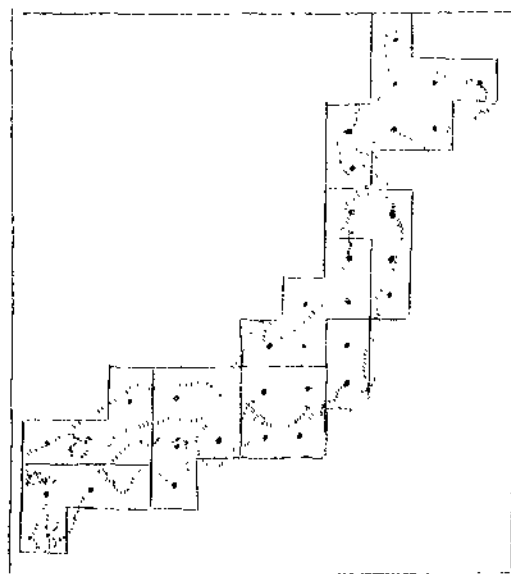


图3 预报大雨概率时的地区区分

1. 概率预报的优点

通常利用天气预报时，需要清楚知道其精确度，如果天气预报与自己的评分，东京都第二天的天气预报的实绩，与平均为80分。与战后的75分比较，虽稳步的提高了，但离达到一百分还有很远的距离，如果估计到目前的预报与实际不一致的可能性，而不使用天气预报，则反而会受到损害。

天气预报预报明天有降雨时，实际降雨率约为60%，既“第二天有雨”，这种预报实际是“第二天，降雨的概率为60%”，60%是平均概率，根据情况有时可以近似100%，像是确切预报“有雨”，也有近于各半可能的时候，因此，假设附加降水概率在每天的预报上，则很便利，这就是发布概率预报的报导思想。

利用天气预报的方法多种多样，估计预报的利用价值是不容易的，因此，常常是用简单模拟进行考察，根据这种调查结果表明，对几乎所有各种使用者来说，通常概率预报的利用价值比以前的绝对预报大，另外，根据适用于美国实际预报的调查，得出了如下结果：将以前的绝对预报变成概率预报后，利用价值增大了，概率预报和报对了的绝对预报，在利用价值上没什么差异。

这些调查都是分析降水的对策费（C）和因不采取对策而产生的损失（L）之比 C/L 指数，总之，根据 C/L 和降水概率预报价值间的关系来判断是否采取对策，可以得出最有效率的决定。和降水概率相同 C/L ，可考虑取 $0 \sim 1$ 间的值。

作为具体的例子，假设 C 为准备伞的费用（也包括携带的不方便）， L 是没有伞而遭雨淋的损失， L 对老幼和衣着考究的人来说相当大，对游手好闲的年轻人来说极小，既，

衣着考究 }
老 幼 } $\rightarrow L \text{ 大 } \rightarrow C/L \text{ 小}$

即使是降水概率小，也要带伞，

游手好闲 }
 青壮年 } $\rightarrow C \text{ 小 } \rightarrow C \text{ 大}$

仅在降水概率小时带雨伞。

这是个简单的例子，降水造成的损失可能有各种情况，所以所采取的对策也各种各样，但是，估计 C/L 按降水概率的大小来确定是否采取对策，则效果显著，不可能根据绝对预报定以详细地确定对策。

5. 概率预报的精确度

经常使用均方差 (Mean Square Error) 评价概率预报的精确度，若概率预报值为 P_{FCT} ，而实况为 P_{Obs} ，则有。

$$MSE(\text{Mean Square Error}) = \frac{(P_{FCT} - P_{Obs})^2}{2} \quad (4)$$

实况值只有有降水或没降水两种情况，所以 P_{Obs} 取 1.0 或 0.0。实际上降水概率预报是计划以府县为单位发布，因此，就府县内的各雨量观测点来说，可用 (4) 式计算出 MSE，经进一步平均便可得到精确度的评价，美国以提议者的名字命名，将概率预报的 MSE 叫做 Brier Score。

为了进一步直观地了解天气预报精确度的评价，可以把它与用相同方法对简单而基本的技术方法作出的预报的预报结果进行比较。在降水概率预报的情况下，多故是先预报按各季节的气候统计所得到的降水频数，也就是所谓气候预报的 MSE，然后根据误差减少百分之几来表现概率预报的精度，用这种评价方法，无论美国还是日本的概率预报都已取得约 30% 左右的改进（减少）。

图 4 为从 1978 年 10 月到 1979 年 9 月一年中东京都降水概率预报的平均情况。中央的粗线为降水概率预报 (P_{FCT}) 的 MSE。为了比较，用细线划出了气候预测 (Climate) 的情况。预报虽有变化，但就平

均而言, 概率预报比气候预报的误差小, 与平均改善率为

$$(0.110 - 0.067) / 0.110 = 0.39 \quad (4)$$

图4的POP实际是以MOS方式利用计算机计算出的, 实际上最后经过预报员的修改会使精确度再提高, 下一节介绍MOS方法。

根据东京都一年期间6小时雨量的统计结果, 东京都几乎整个区域(80%以上)降雨的次數只占全部的10%。相反, 在都内有些地方(30%以下)降雨的情况达到40%(参照图5)。例如在都内30%的范围要降雨时, 可以认为降水概率预报发布为10%最为适宜(最佳 optimum), 但是, 即使这种最佳预报, 误差也不是0%, 即对于发生降雨的30%的范围因预报为10%, 所以误差被评价为70%(0.7), 在没有降雨的70%范围误差为30%(0.3)。加上面积, 计算整个东京都的均方差, 则为

$$0.7^2 \times 0.3 + 0.3^2 \times 0.7 = 0.21 \quad (5)$$

用这种方法计算出最佳概率预报每月的均方差(MSE), 画成曲线就是第4图的实线。各月度均显著, 9月份最佳预报的均方差超过冷季的POP误差。

降水面积比率为50%时, 最佳预报的MSE最大(0.25), 降水面积为0%(无降水)和100%(全日降水)时, 最佳预报的MSE为0。图4上9月份最佳预报的MSE大说明东京都内多为部分地区降雨。

在最佳的MSE大的季节里, 即使假设做出了最合适的概率预报, 各地区居民也会有“预报相当不准”的总觉, 这是天气预报的苦衷之一。不仅限于东京都的预报。如果发布地区划分详细的预报, 则可以解决这个问题, 预报站虽不说几小时, 但对于12小时或24小时的预报, 这样作是很不合适的。看一下电视天气预报就可以知道, 不但不能详细划分府县, 而且东京、神奈川、崎

玉等的预报都往往很相似。

气象厅发布的注意报和警报主要撰写与警戒数小时内的剧烈气象现象的，由于最近装备了雷达、地区气象观测网、气象卫星等新观测网，所以有可能进行详细观测。但是，除去很短的预报和特殊情况外，目前不得不原则上以府县为单位发布预报，因此，即使是最好的预报也不能简单地排除被解释为“不准”的情况。

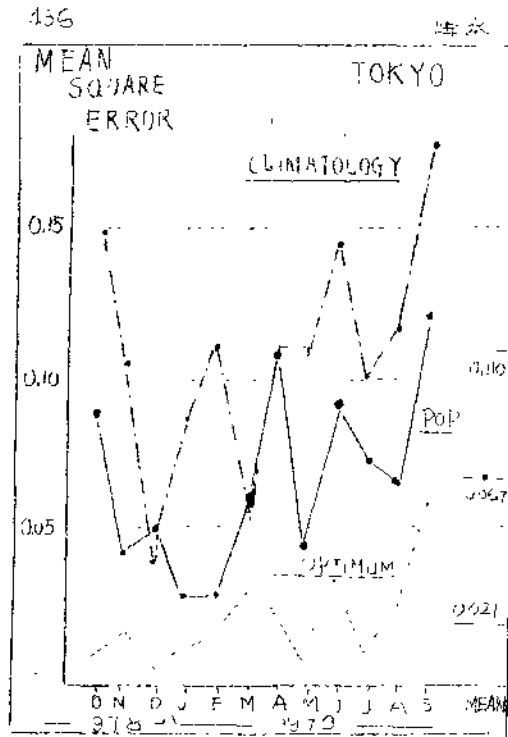
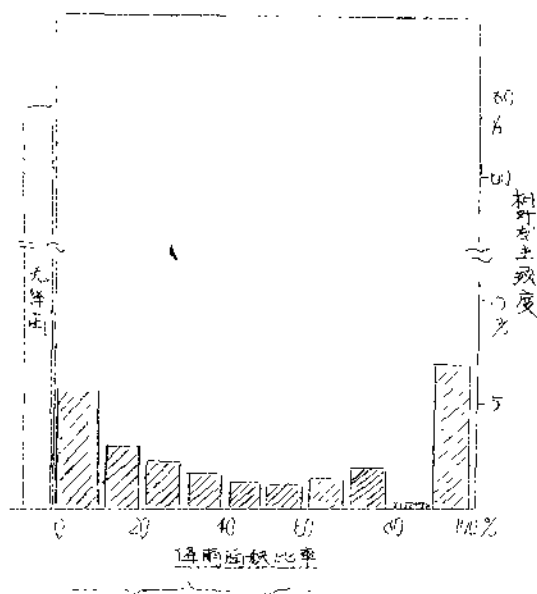


图4 东京都降水概率预测 (POP) 的成绩，所部内10个观测站的月平均的均方差表示，为了比较，也绘出气候预报和最佳预报的成绩。所谓气候预报是以暖季(4月~9月)及冷季(10月~3月)的气候降水概率作为每天预报。

图5 东京都内的
不同面积比率0小时降
雨量频率分布(1914年
11月~1978年4月)。

6. 降水概率的预测 方法

气象地自动地计算
出作为判断指导的概率
值,提交给预报人员,
最后由预报人员确定降
水概率的预报值。用叫
做 Model output statis-
tics (模式输出统计



简称为 MOS) 的方法计算出这种指导。MOS 方法首先在美国使用不
久,用作降水概率预报,也用来制作各种天气现象的预报。

现将 MOS 方法简单说明如下。

(1) 对网格点上的数值预报的统计结果(输出, output) 和网
格点周围对应的降水实况作统计处理, 导出根据 output (输出)
推定降水概率的公式。

(2) 日常业务数值预报统计结束后, 则马上将相应预报对应的
output 值代入公式, 统计出降水概率的预报值。

气象厅将 5 层原始方程模式的输出 (output) 作为可能的预
报因子 (Potential predictor), 用筛选方法导出统计降水概率
的最相关一次回归方程式, 用它来预测各网格点的降水概率。

在输出格距为 130 公里网格点上, 如图 6 所示, 用 27 个网格几
乎可覆盖整个日本, 降水与风和气温不同, 不是每天都有降水发生, 为

补充资料的不必不制作每个网格的 MOS 预报方程式,而推导如图 5 所示,分别适用于北日本、南日本、冲绳三个地区的预报方程式。

图 6 用 MOS
方法制作降水概率插
导 (pop) 的地区划分

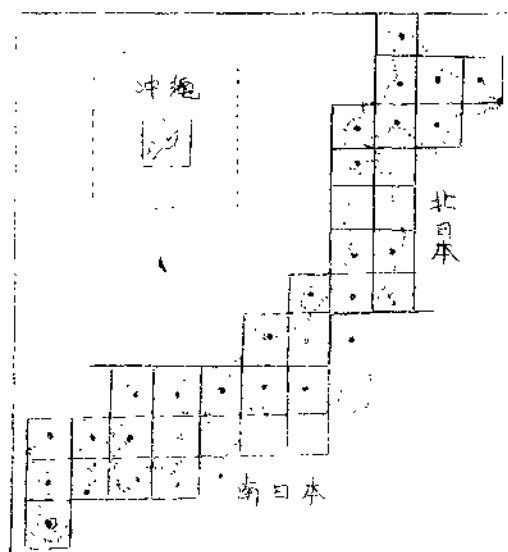


表 1 给出对南日本各网格的 MOS 预报方程式的预报因子 (Predictor), 判定对流性降水和层状降水的判断, 仍由 MOS 方程决定, 然后用各种不同的预报方程式计算降水概率值。从预报因子可以看出, 并非一丝不变地使用数值预报的输出, 而事前要做如下各种处理。

(1) 因为数值预报的输出含有微弱噪音, 所以取周围网格点的 1 度平均值作为预报因子 (标有 “—” 符号的因子)。

(2) 与降水概率非线性相关的预报因子, 方程中也包括其 2 次项 (标有 “*” 的因子)。

(3) 组合各种输出, 作为与发生降水直接有关的组合预报因子使用。例如 OGR 和 DWL。另外, 表 1 中没用的 BBM (盲区指数) 等也是这类组合因子。

表1 MOS 降水概率指导 (POP) 的预报因子 (全日本夏季)

降水类型	第1因子	第2因子	第3因子	第4因子	第5因子	相关系数
层状	$\overline{DWL}$ (20%)	$\overline{W}_{200}^*$ (23%)	$\overline{T}_{200}^*$ (19%)	$\overline{NE}_{200}$ (14%)	$\overline{U}_1$ (12%)	0.770
对流性	$\overline{DWL}$ (30%)	$\overline{W}_{200}^*$ (21%)	$\overline{OGR}$ (6%)	$\overline{VOR}_{200}$ (22%)	$\overline{T}_{200}^*$ (17%)	从属资料

因子符号的说明 (右下标表示等压面)

DWL: 相对湿度 85% 以上的湿润层厚度,

VOR: 涡度; OGR: 地转性降雨指数,

W: 上升气流, Q: 比湿, U: 风速,

T: 气温, NE: 风的东北分量;

$$QV = \sum x_i \times |V| \times \Delta p_i$$

气象厅的数值预报 (6 层原始方程模式) 一天三次, 以 07 时和 21 时作为初始时刻, 计算 24 小时预报。MOS 指导预报使用每 6 小时的预报结果, 计算 6 小时间隔的降水概率时以这段时间的起止时刻输出的平均作为预报因子, 输出下面预报指南的预测值。

初始时刻后 6~12 小时 ($T=6\sim12$)

初始时刻后 12~18 小时 ($T=12\sim18$)

初始时刻后 18~24 小时 ($T=18\sim24$)

图 7 是以 1979 年 9 月 27 日 21 时为初始时刻的 $T=18\sim24$ 小时的预报, 表示在 28 日的 18~21 时内发生降水的概率分布。预报人员据此来读取所预报府县的降水概率, 进行修改后发布。

从图 7 可知, 一个网格点代表的领域 (范围) 一般都比府县大。以它为母群而发布的降水概率预报充其量也是以府县为

单位的。但是，在地形影响占优势的特殊情况下，考虑所区内的地形，可以发布把府县详细划分的预报，但除了季风阵雪外，很少这样作。

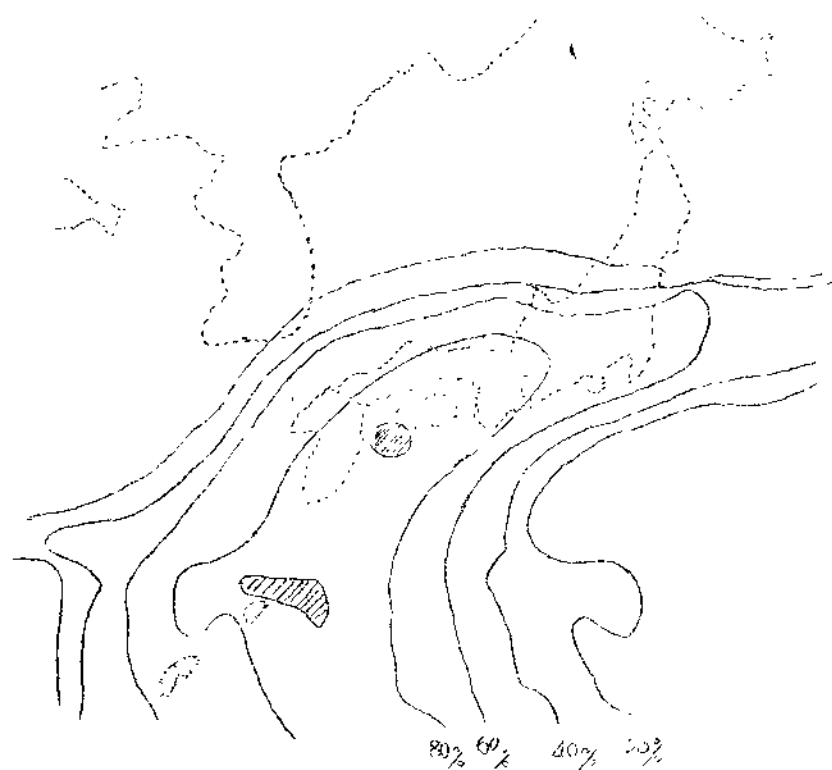


图 7 MOS 降水概率指导 (POP) 的例子，以 1979 年 9 月 27 日 21 时的预报 (28 日的 15—21 时内发生降水的概率)。+ 和 ⊙ 表示数值预报的网格点，也分别表示降水是层状或对流性的。

7. 后记

利用概率发布预报，无疑显著地增加了其利用价值。但是这是要以用户最终根据概率值，采用适当的决策为前提。一般

于以前绝对预报的用户，要熟练使用概率预报，还需要经过相当一段准备时期。但是，总之如果不发布概率预报，则就很难对其灵活运用进行具体的研究，所以气象厅决定从今年6月开始试验性地发布概率预报。

具体作法是在每天早晨发布东京地区的天气预报，后面加上“下午3时—9时之间降雨的概率为 $\frac{1}{2}$ ”，这是根据前一天晚上21时为初值的数值预报引出的 $t=18\sim24$ 的指数预报，经预报员的补正后发布的。准备一边考虑用户对这种试验的反映，一边考虑今后概率预报。

概率预报不只限于降水，也可应用于雾、风、气温等气象的预报。另外，既使处理降水也不仅是预报发生降水的概率，也可以预报超过按照需要所规定的降水量的降水概率。预报时间也不只限于明天、明后天的所谓短期预报，作为周预报和长期预报的发布也会很有效果。今后，随着对概率预报优劣的认识，各种预报将来会用概率表示。

楊宝珠 译

胡圣国 校

概率预报精度的评价

—— Brier评分的意义 ——

立平良三

1. 前言

为了充分利用天气预报，必须确切地掌握其预报的精度或误差；另外，为了提高预报技术，也必须用适当的方法连续评价预报精度。如果规定出适当的精度评价法，预报员在每天的预报中，只要努力争取高分数就可以了。总之，只要“一味争取分数”就行了。

约10年前曾批评过：如果对预报精度评分，预报员容易有意识地争取高分数，而不是详细考虑预报内容。这实际上是评分方法不合适的问题。预报精度的评价方法应是使直率地发表自己判断的预报员得到高分数。

概率预报也是一种天气预报。对此，理所当然应确定恰当的评价精度或误差的方法。概率预报与以前的绝对预报不同，所发布的百分数本身已经暗示“预报的误差”，因此，在概率预报的情况下，除了评价通常意义的精度或误差外，还必须根据长期的统计来验证“预报的误差”是否正确。也就是发布100次概率为50%的预报时，是否确实发生过50次天气现象。

2. Brier 评分的定义

作为概率预报精度的基准，1950年 G. W. Brier 建议下述的评分 (Score)。

$$\text{Brier 评分} = (E - P)^2 \quad (1)$$