

诊断在天气预报中的作用

C.A.Doswell III, R.A.Maddox

提要(校者加) 本文指出,在天气预报日趋量化和客观化的今天,预报工作者要避免把客观模式看成“黑盒子”。在相当长的一段时间里,仅使用定量模式可能还不足以满足天气预报的需要,必须继续运用关于大气过程的定性信息。在这当中,诊断分析是关键的步骤。

一、引言

简单地说,把当前的天气状况和趋势结合起来,就可以认为是天气预报(参看 Doswell, 1986 a, b, 简写作 D 86, a, b, 以下同)。在 D 86, a, b 中已经讨论了预报过程的各组成部分,但是诊断这个题目以及它和科学预报的关系值得特别注意。

如同在 D 86, a 中讨论过的,诊断气象学与人在预报中的作用是紧密相连的。的确,天气预报是气象学这门学科的一部分。但是最近气象学的状况给人一种错觉,好象诊断气象学和人的作用是没有关系的。本文试图说明我们所想象的诊断气象学应该如何进行。在这个进程中,我们将提出一些根据,说明为什么预报员和研究工作者之间只不过存在想象力的差距。接着,还将给出我们的看法:预报员应该相信,诊断气象学并不是一种负担,而应是进行科学预报必不可少的组成部分。

二、分析与诊断

我们使用术语“诊断”而不是“分析”,这大概是某些读者所不熟悉的。在美国的大辞典(American Heritage Dictionary, 1982)里,“分析”是这么定义的:“1. 为了个别研究,把知识的或物质的总体区分成它的各个组成部分……”。当这个定义用于气象科学的某一部分时,它所表达的效果与这同一辞典里“诊断”的定义很不相同。该辞典中诊断被定义为“……2. a. 某些性质的精确分析,

b. 利用上述分析取得结论。”实际上,我们认为诊断是通过对所有这些组成部分的分析对相关整体的再创造,也就是综合。

A. 画等值线

气象诊断过程的一部分是分析各种等值线,这可以粗浅地看作是以机械的方法描述气象要素场。然而,诊断的全过程是包括所谓的“客观分析”及绘制等值线。

人们能够研制客观分析方法,这些分析方法与变量的特性无关。这样的方法能够用以描写任何一类变量场,可以是气象变量或其它变量,所以被认为是“单变量”(“univariate”)方法。其它阐明气象变量间关系(例如地转风法则、流体静力学方程)的方法叫作“多变量”(“multivariate”)方法。形容词“客观”指的是,从给定的一组输入资料(如使用计算机处理时)得到的是一个而且仅有一个结果。

在某种意义上说,作哪一种处理(绘等值线,或在网格点上说明)较为客观,其重要性不如看我们是否采用了诊断的科学原则。通常,单变量方法不考虑气象学方面原理,所以或多或少确实是机械地进行。按照定义,多变量方法主要根据性质的不同使用已知资料。在进行主观分析时,考虑所有变量间的相互关系是可能的(不幸的是并不一定如此)。为此做到这点人们必须弄清变量间的关系。

B. 大气过程

在业务预报情况下,我们观测许多气象变量(例如湿度、云高、等效黑体温度、微波反

射率等),更不用说供研究用的观测变量,那就更多了。这些变量随大气过程而变化(如果它们不变化,我们仅需要对它们进行一次观测!)。大气过程的例子包括雷暴、温带气旋、重力波等。每一过程都能进行分析——也就是说,能够把它分成许多组成部分——在这样做中,我们发现它包括一批次级过程。顺序地如此进行,我们能够再细分出一批更次一级的过程等等,以至可以说是无限地(或多或少)分下去。由于这些过程影响我们所观测的变量,实际的观测就代表了全部过程的总和。

有些对观测有影响的过程和大气并不相关,例如电子测量系统的电路噪声。各种各样的误差源都存在,但是依据气象的观点,最大的问题是“气象噪音”——亦即取样不当而产生的影响(取样的理论超出本文的范围,这里不讨论)。可是我们经常认为,资料所无法描述的那些尺度过程的影响都作为干扰噪声对待。对纯粹的客观方法而言,这种看法是有根据的。然而,主观分析能够从有限的样本推论出很多东西,我们希望借此去说明问题。

C. 科学的过程模型

尽管本文不能详细地叙述科学的历史和基本原理,但人们是如何通过科学的方法增进对大气过程的了解的,这一问题是值得考虑的。为了这个目的,我们采用 D 86, a, b 的“科学”定义:科学是用公式表示,进行试验,以及对自然界模型的修正,以便使我们能够了解那个领域。虽然在缺少任何观测资料的情况下也有可能建立自然界的模型,但为了检验这个模型,需要我们借助观测去估价模型的含义。然后,在试验的基础上,人们可以断定要不要以某种方式去修改模型,以取得与观测资料的更好吻合。

因此,如果要对某些过程进行科学的阐述,就必须有可靠的观测资料用于检验这一阐述是否正确。对大气中的许多过程而言,用于证实关于这些过程科学假说的资料,在日常业务中往往不可能得到。例如,大气边

界层的理论已相当完善,但用于检验和估价这些理论的资料主要还是来自专门的试验观测计划(参看 Doswell 等人的文章,1986)。事实上,人们在业务预报中得不到这样稠密和频繁的观测,但这一事实并不妨碍人们使用通过研究而研制出来的过程模型。

三、模型和资料的结合

现有的科学模型必须具体说明大气过程是如何影响到观测的。这些说明可以是定量的,也可以是定性的。定量阐述的例子如:没有水汽凝结过程的上升气块,每升高一千米温度降低 9.8°C 。另一方面,人们估计到上升运动会出现在温带气旋的前方,而下沉运动在其后方,这就是特定模型的定性预报。尽管事实上人们可能无法用资料去定量地评价某一模型,但仍有可能决定这个模型是否可以应用到已有的实际观测。恰恰正是这种决定构成了气象诊断的基础。因此,当预报员不熟悉所使用的科学模型时,也就没有了把科学方法用于现有资料的基础。因而在进行预报时必然缺少客观工具,他们所使用的方法,要么是“经验方法”(如在 D 86, a, b 中讨论过的),要么是神秘化(mycticism)的办法。不管预报会是多么成功(例如用灯蛾毛虫预报冬天的严寒),但这后一种方法是完全不科学的。

对预报员进行训练和教育的目的,是提供预报的科学基础。如果我们对科学教育很感兴趣,那么在受教育和训练期间,至少可以学会一些专门术语并熟悉科学预报的一些基本工具。因此,把预报置于科学的基础上是可能的。但是如果对模型化的气象过程的科学性缺乏了解,上述目的就仅仅是幻想了。由于缺少这种了解,观测事实就或多或少变成不可理解的,而且不可能有系统的预报方法。

当预报员具有科学的认识,预报才真正变成科学的。人们通过这些知识的应用,去解释资料和客观指导(预报)。如果资料和

特定的模型不一致,将使人们力图去了解为什么它们不一致,而且努力去修改模型以适合现有的观测事实。当这是可能时(显然不会总是这样的,因为我们的认识是不完全和有缺陷的),这时往往可能会出现脱离客观指导和脱离经验法则,这种脱离具有一定把握会成功。当预报建立在科学方法的基础上时,人们的预报经验将使科学的理解不断深化。

这并不意味着预报员必须具有科学家的全部表面上的特征;在科学杂志上发表文章,参加学术会议等。这些活动的真正目的是为了增进科学家之间的交流,这对个人有实际好处,而不排除有纯粹装样子的情况。然而联想到我们上面的定义,这些活动对于科学家来说并不绝对必要。如果在气象台的日常工作中,预报员能用公式进行描述、检验和修正大气过程模型,就足以使预报建立在科学的基础上。诚然,我们认为向别人交流模型是一种理想的方法,有助于相互学习和共同了解大气过程。但是,在当今的世界上,业务预报的要求并不鼓励这种交流,这是一个对我们情况悲观的评论。

四、天气预报过程

虽然在 D 86, b 中已经讨论了预报过程的某些细节,但在这里我还想简单扼要地叙述一下。在客观预报中,不管是运用数值预报模式或者统计预报模式(或其他方法)来做预报,显然诊断步骤和预报步骤是不同的。诊断步骤是对资料作一些客观分析,为的是配备资料供做预报用。这意味着在这两个步骤之间几乎没有或根本没有反馈。换言之,人们从处理资料到获得最后结果差不多是一次完成的,整个过程可以看作是一个“黑盒子”(“black box”),而关于黑盒子,人们可以认为实际上什么也不知道。

客观预报的另一个特点是不能利用定性输入的资料。如果有可能以客观的方法把有些不大确切的资料处理成能辨认的型式,这

个定性过程就被定量地模拟了。然而,现有的这种客观处理能力成本很高又是很初步的,对客观方法的这个限制使定性资料难以进入客观方案。当我们处理拙劣取样(poorly-sampled)过程时,这个限制的影响最大。这个过程对观测值有影响,但从客观意义上说,它又不能用数据来明确表示。目前,我们已确定这种过程的尺度要比“天气”尺度小(即小于 1000 公里)。从事数值预报模式的科学家认为,对这些过程的罔然无知是进一步发展数值预报的主要障碍。所以,在过去几年里,他们已经非常关心“中尺度”过程。

这并不意味着不存在有关中尺度过程的科学信息,查阅 Doswell 的文章(1982)和他所引证的参考文献,可看到中尺度气象学还是取得了某种程度的进展。但是,客观预报的性质使现在(和在不久的将来)无法把中尺度气象学的信息输入模式,因为这门学科仍然是很定性的。

一个人能够使用科学的工具做预报,但还未能做出科学的预报!了解这种状况是很重要的。如同在 D86, a, b 中讨论过的,把客观预报指导模型看作“黑盒子”的预报员就有落入这种陷阱的危险。要跟上客观指导模型的各种变化,如果不是不可能的话,那也是很困难的。这些客观指导模型对于科学地做好预报的价值,完全取决于人们对如何从资料分析中得到指导模型的了解程度。

通过钻研诊断(如同我们已经定义的),我们可以形成一个应用客观指导模型的思路,它使我们能把握住科学的概貌,而暂时不去考虑这些模型的细节。这些思路在 D86, a, b 中讨论过,它的基本想法包括两个概念。首先,我们能够应用指导模型作为预报的独立意见。也就是说,在做诊断中,我们形成了当前大气演变状态的思路,再把这种判断与客观指导模型进行比较,使用客观工具去确认(或怀疑)对大气演变的估计;其次,很显然,客观指导模型比较适合于预报的某些部分(例如大尺度方面),而几乎不适用于其他

部分(预报的中尺度方面)。即使我们还不知道指导模型怎么出来的,但忽视这些已经证明过的客观指导模型的价值是不明智的。当然,如果相信人们可以一点不了解大尺度模式,也能够理解中尺度模式,并用它来预报中尺度天气的细节,这种想法未免太天真了(请记住,我们所用的模式不局限于数值预报模式)。

五、例子

为了明确地说明我们所设计的诊断过程是什么样的,我们将举出一些例子。诊断最基本的组成部分是运用资料来推导出大气中在指定瞬间进行的过程图象。我们已有了一些大气过程模型,也知道这些模型应该用哪些资料去说明。在资料与这些模型相一致的地方,存在着有关大气未来状态的明确的推断关系。当资料不适合模型时,应考虑如何修正模式(或者增加其它过程模型的影响)以考虑这些差别。若修正后的模型与资料相符,那末我们就有了预报的新推断。而且,我们必须不断把资料的演变与模型加以比较。这就是说,新的资料可以改变人们对于不断发展的过程的认识,所以诊断决不是静止的。

A. 夜间低空急流(风最大)

已经有了夜间低空急流过程的模型。即使我们提出的模型非常简单,但还是能说明某些观测事实。如图1所示,摩擦对风的影响能够粗略地表示成一种与风向相反的力。所谓的“摩擦风”(V)是表示水平气压梯度力(P)、柯氏力(C)和摩擦力(F)之间平衡的气流(参看 Schaefer 和 Doswell, 1980)。我们的这个过程模型包含摩擦恰好正比于(干)对流混合的总效果这种概念(参看 Doswell, 1985),因此在夜晚,随着近地面出现夜间逆温,摩擦就“消失”了。这样,气流不再处于平衡状态,如图2所示。气压梯度力不再为柯氏力平衡,不平衡的那部分气压梯度力与风同方向,结果是风速增加,也增加了柯氏力。由于柯氏力总是和风相垂直,这意味着

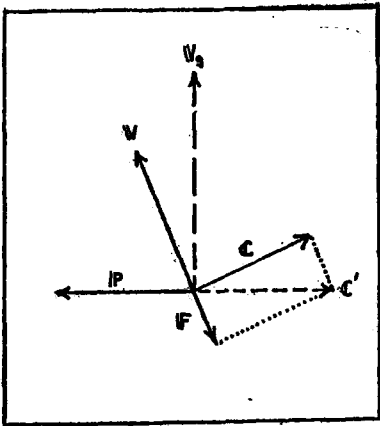


图1 夜间低空急流形成过程简化模型, V_s 为地转风

风必须作顺时针旋转(在北半球)。这个十分简单的模型指出,夜间低层(夜晚逆温层以上)的风速增加,而且风向右边偏移。这通常与观测事实是定性一致的。

假定一些特殊情况的数据与这个模型不

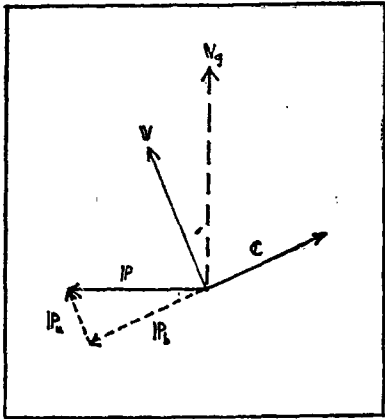


图2 同图1, 但摩擦力消失, 气压力出现一个不平衡分量 P_u 。

符,则要求预报员去解释这种不一致。一个重要的原因可能是气压梯度力(或相应的“地转风”)。当气压梯度弱时,各种有关的力也都弱,而且风的变化也可能不象模型预报的那样。另一个问题是夜间地面逆温的强度,如果存在着一些低云,白天的摩擦(对流混合)就将减小,并削弱了夜间逆温的强度。风速和风向的日变化可能就明显地受到抑制,因

此,必须依照具体情况修正由简单模型得出的预报结论。

B. 挪威气旋模型

谁不熟悉挪威气旋模型的天气? 这是温带气旋如何影响天气的标准看法(模型)。美国国家气象中心(NMC)把这种天气分布输入机器制作“人机结合”的地面预报。通常听到冷锋过境的预报是晴天和有些降温,而实际的天气是有比较明显的锋后云系及与降温同时产生的降水。这是因为盲目地把模型照搬到实际情况,而不考虑有价值的经验已启发我们这样做会有很大的冒险性。

在天气预报中我们可以引用挪威气旋模型,但是必须修改它,使它包括一些与已经模型化的北欧天气不同的过程。例如,在高原上有许多降水过程与低层的爬坡气流有关,冷锋过后的爬坡风也很常见。所以,在高原上锋后的天气并不经常是晴朗的。当然必须时时完善这个修正过的模型。若爬坡风非常干燥,在冷锋通过高原以后,天气可以变得非常晴好,与传统的模型非常一致。而且人们发现,冷空气中实际爬坡风分量是很微弱的,

减少了产生云和降水的机会。

显然,我们不能盲目地使用任一模型,不论是传统模型或某些特定修改过的传统模型还是非传统模型(例如,关于特殊的局地过程模型)。诊断方法的确是重要的,因为它能使预报员决定是否可把一个模型应用于给定的形势。

C. 中尺度对流系统

最后的例子是中尺度对流系统。处理中尺度过程是预报员或诊断工作者所面临的十分复杂的任务。如同 D 86, a, b 所述,关于中尺度过程细节的观测资料实在太少,而这正是各种类型天气预报的重要部分。例如,是微量降水,还是出现毁灭性的暴涨洪水,常常是取决于中尺度过程的细节。如果研究工作还没有提供这种系统的模型,实际上也就不可能科学地完成其预报任务。正是为了使预报员能熟悉某些有关的模型,Doswell(1982, 1985)写了技术备忘录系列。

如果我们以为 Fujita(1955)所举例说明过的就是中尺度对流系统模型的话,我们会发现通过专门面向研究的观测网所得到的许

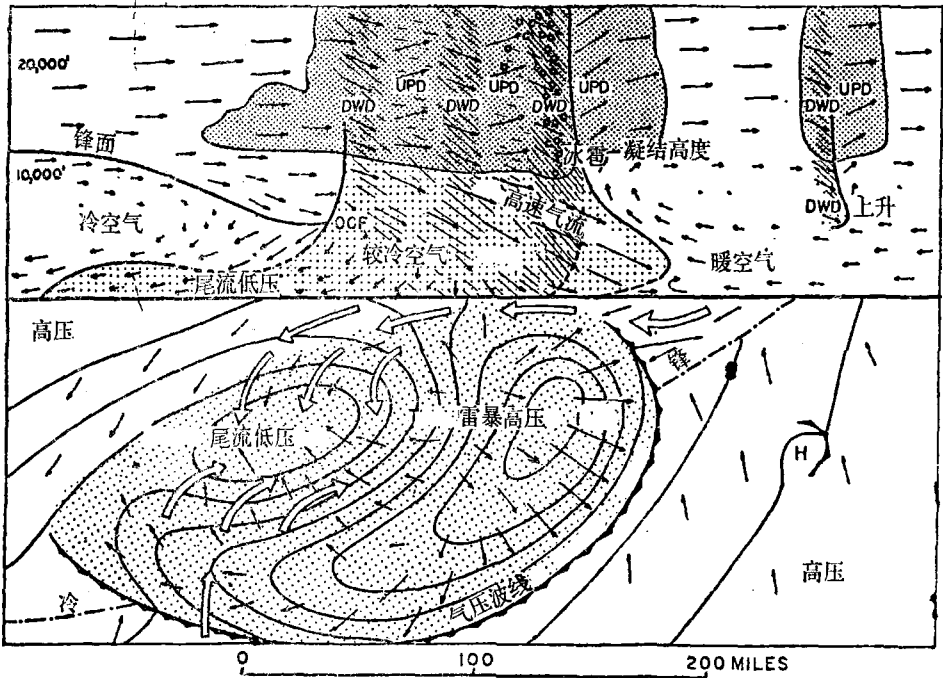


图 3 中尺度对流系统模型(引自Fujita,1955)

多图象,在常规观测资料中几乎无法看到。图3给出Fujita 中尺度系统模型,但是若我们想在普通业务地面网中看到这样的系统,很可能在任一观测时间里仅有一个站(或一些少量的站)受到这个系统的影响。自然,在一段时间里,将有更多的测站最终会受到它的影响(图4)。在中尺度对流系统整个生命史中,预报员所得到的全部观测资料,可能足以描绘出这个系统的定性图象。然而,如果在思想上还没有形成模型,则很难做到这点。当模型与观测不一致时,不能把模型硬套在分析资料上,我们不能生硬拟合,生搬硬套显然是反科学的。相反,我们应该使用模型去尽量理解资料所反映的正在演变着的大气过程,以及去预料将要发生的变化。

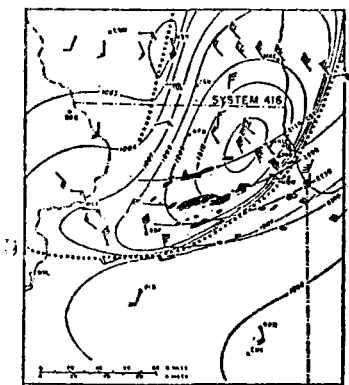


图4 中尺度对流系统影响区图(出处同图3)

无疑地,对那些观测不足的现象必须慎重考虑。当资料不能拟合我们预先想好的概念时,我们很容易对它产生怀疑甚至把它舍弃。明确地说,因为资料不足,确实无法进行这个尺度的“客观分析”,这就只好承受因主观诊断,对资料进行了错误解释的惩罚,这在D 86, a, b 中已有叙述。一般地说,如果我们拥有大量大气过程模型的案例,就有可能避免解释上的错误。

六、结论

运用科学研究所得到的概念作科学的预报时,其核心部分不仅需要定量也要“客观”。在适当的情况下,定量的知识是有很大的价

值。然而,有相当多的科学知识并不符合客观实际的资料所得到的图象,而概念模型的定性信息对预报是十分有价值的。在可以预见到的将来,仅仅定量模式还不足以满足天气预报的需要,所以我们作为气象工作者和预报员还必须继续使用大气过程的定性信息。如果没有诊断这个关键步骤,我们将无力做到这一点。

许多新技术的提倡者(他们不是气象工作者和预报员)并不理解诊断是进行一系列科学推理的重要一环。许多人把诊断看作是自动化作准备、烦人的重复过程。这可能如D 86, a 所述,是气象科学的悲剧。可是,认为新技术在诊断中似乎没有什么价值,也将是一个错误。事实上,我们认为它对于提高实时诊断的质量有极大的潜力,需要把工具提供给预报员,这将会真正提高他们应用科学原理进行工作的能力。

本文没有充分叙述如何充分地发挥新技术的潜力,然而应该陈述我们的一些想法。考虑一个真正的交互作用系统,预报员靠它使用光笔进行分析;然后计算机判断各分析量(例如运动场、准地转强迫作用等)在定量上的内在相互影响,并显示分析结果。这一步骤可能要重复进行,直到预报员修正分析到满足了定量关系为止。上述系统的优点是运用了预报员的定性知识,把预报员错误地利用模型的可能性减至最小。

还有许多其它应该讨论的,新近的技术革新,它们对诊断气象学具有潜在的影响。希望我们上述提法是正确的,即人在诊断中应该完成什么,以及科学方法对于预报有极高的价值。承认人的贡献,进行技术革新,研究工作和实际业务都能从这些革新中取得最大收益。

温市耕译自“11th Conference Weather forecasting and analysis” preprints, pp. 177—180

谢安校