

利用单一的和集合的方法 预告区域预报技巧

LANCE M·LESLIE GREG J·HOLLAND

(澳大利亚墨尔本气象研究中心局)

提要 本文利用平均海平面气压的模式预报误差(MFE)的3个预告因子研究了预告澳大利亚有限区域模式36小时预报技巧的可能。两个预告因子使用单一预报,其中1个以对于初始分析和预报的MFE的统计回归为基础;另1个因子利用了预报的持续性程度。第3个因子应用了与其它NWP中心的预报集合偏差。

根据5个月的逐日36小时预报,发现了上述预告因子与MFE的相关系数分别是0.58、0.18和0.40。用最佳线性方法把上述3个因子组合后与MFE的相关系数增加到0.71。用两个月的独立资料集进一步对组合因子进行试验,得出的相关系数是0.67。因此,把这种方法应用于独立的和非独立的资料中,可以解释MFE方差的近50%。这证明了这种方法对于在总体上鉴别模式预报好坏有业务应用价值。澳大利亚东南部的实例研究,进一步证明了这些预告因子在整个预报区域中可以相当好地鉴别预报技巧。

一、引言

数值天气预报(NWP)传统上一贯是着重减小模式预报误差(MFE)。NWP发展20多年来,在减小MFE方面取得了很大的成功,这些成功是来自多方面的,包括模式计算方法、动力学及描述物理过程的发展;计算能力的迅速提高使全球模式的建立及分辨率的提高成为可能;遥感和通讯业务的发展增加了资料信息量;以及分析和同化方法的改进等。

同时,人们一直认识到:这些确定性预报模式的可预报性,有其固有限度。可预报性的限度是受大气系统的浑沌性质的影响,其意义是未来的天气状态对大气初始状态中的微小误差是敏感的。Lorenz(1969)的早期工作提出,显式全球天气预报的可预报性限度约为2周左右,这仍然是一般所接受的值,尽管最近的工作(如, Murphy, 1990)指出,概率预报的潜在技巧达到一个月左右。人们还认识到,区域预报技巧对一系列因素都是敏感的,例如地理纬度、季节、气流状态、尺度、南北半球、其它天气系统的

相对位置以及侧边界条件的影响等(Anthes, 1983)。

直到80年代,大多数预报中心的预报限于48小时或更少,这远在可预报性的限度以内。另外,对初始状态知道的很不完全,并且相当多的改进是通过分析和模式的改善而得到的。统计方法,如模式输出统计(MOS)(Glahn和Lowry, 1972)和统计动力方法(Neumann和Pelissier, 1981),也被提了出来,以改进对特定参数和系统的预报。因此,尽管20多年来一直公认可预报性限度的存在,但是直到最近几年才进行了适当数量的研究。

目前,预报可发布到10天或更长的时间,并且正在接近于所认可的可预报性限度。当前预报失败是中期和延伸期模式预报的主要问题。即使在短期预报中,预报技巧也有较大的逐日变化。这种变化可以在图1中用澳大利亚区域资料同化和预报系统(R-ASP; Leslie等, 1985)的36小时均方根(rms)误差时间序列显示出来。大多数预报部门还接收一些数值天气预报中心的模式预报,从而发现,这些不同模式的预报之间,尽管

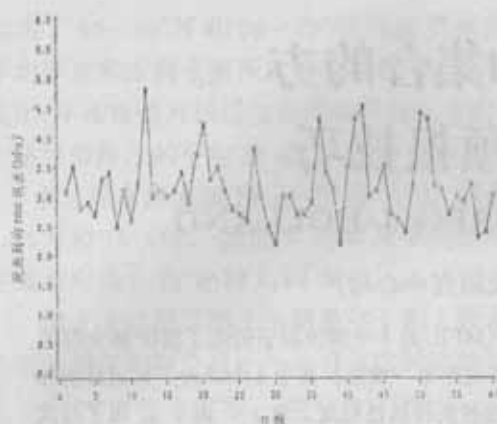


图 1 1989 年 12 月—1990 年 1 月
两个月期间澳大利亚地区平均海平
面气压 36 小时独立预报所观测到
的 rms 误差(hPa)的时间序列

有时接近一致,但有时是有差异的。

因为预报员手中缺乏当前天气形势实际可预报性的定量信息,他们只能被迫在相抵触的指导预报中间进行选择。推动本研究工作的是一种认识,即对预报技巧的事先估计对于直接预报是必要的补充。这也同样地推动了其它方面的研究。以集合预报途径为基础的方法已由 Leith(1974)、Hoffman 和 Kalnay(1983)及 Kalnay 和 Dalcher(1987)提了出来。关于这项工作的详细归纳可以在 Murphy(1990)的文章中找到。另外一些人曾使用过单一预报模式(Leslie 等, 1989; Chen, 1989)。总的来看,这些研究的结果是令人鼓舞的,并指出了进一步研究预告预报技巧的方法将会是有益的。

在本文中,着重对 RASP 的 36 小时预报进行研究,并且无论是单一的还是多项预报模式的途径都是用来推导预告这些模式预报技巧的方法。这是通过把 MFE 与 3 个预告因子相关联得以实现的。3 个预告因子中的两个是单独根据澳大利亚区域模式预报得出来的,包括由 Bennett 和 Leslie(1981)制作而后又由 Glowacki(1988)加以改进的统计回归方案,及由 Chen(1989)提出的一个持续预告因子。第 3 个预告因子是由与其它数值预报中心预报的偏差产生的。

使用的资料和方法在下面几节中描述。然后对于无论是单一的还是与 Kalnay 和 Ham (1989) 提出的相类似的最佳组合例子,给出并讨论推导出来的预告因子与 MFE 之间的关系。最后用一个独立资料集检验这些预告因子预告预报技巧的性能。这项检验工作是在整个澳大利亚地区的 NWP 范围内用两个实例及中心位于澳大利亚东南部的亚区域中进行的。

二、资 料

本文研究所用的资料有澳大利亚国家气象中心(NMC)存档的分析资料和预报结果, NMC 每天接收的欧洲中期天气预报中心(ECMWF)、英国气象局(UK)和美国国家气象中心(US)的模式中的有关澳大利亚区域的次网格存档资料。虽然在存档中有许多层次的资料可以利用,但本文只限于讨论平均海平面气压(MSLP)的预报。所取资料时间为 5 个月,从 1989 年 7 月至 11 月。1989 年 12 月至 1990 年 1 月的资料留作独立检验。

三、方 法

MFE 定义为模式预报与其验证的分析之间的区域均方根差 E ,

$$E^2 = \overline{(F' - A')^2} \quad (1)$$

式中上部横线表示取澳大利亚 NWP 模式范围的某一区域平均值(Leslie 等, 1985), F' 和 A' 分别是预报时间 t 的预报和验证分析场。

本文的基本方法是把 MFE 与以下各节定义的预告因子相关联起来,以达到对预报技巧的预告。基本的预报是澳大利亚地区 RASP 的 36 小时形势预报。模式范围和用来说明独立资料集(1989 年 12 月至 1990 年 1 月)的方差的空间分布如图 2 所示。由图可见经向梯度是明显的,热带的变化幅度较高纬度为小,并有明显的纬向分布趋势,在区域模式和全球模式的交界处,其上游和大

(34%)，来自不同预报中心的预报模式偏差因子减少值次之(16%)，模式预报的持续因子只有边缘影响，减少值不足3%。改用2个月的独立资料集，所得结果是相似的(见表1第2列)。

表1 单独使用3个预告因子及使用其最佳组合所解释的模式误差方差百分率(在括号中)，以及其与模式预报误差的相关系数

方 法	资 料 集	
	非 独 立	独 立
统计回归(S)	0.58(34)	0.56(31)
偏差(D)	0.40(16)	0.42(17)
持续性(P)	0.18(03)	0.23(05)
组合(S+D+P)	0.71(51)	0.67(48)

不论在独立的还是在非独立的预报中，用最佳线性方式把3个预告因子组合起来，解释了预报误差方差的大约50%。这是用这样一个简单方法取得的一个显著高质量结果，并且暗示，在发布预报时可以提供关于预报产品质量的、有重要价值的业务信息。

用最佳组合预告因子的方法，所解释的模式误差总方差大于任何单个因子所解释的，这种情况是必然的(如 Fraedrich 和 Leslie, 1987; Leslie 和 Fraedrich, 1990)。然而，用组合的预告因子所解释的模式预报误差方差显著增加的事实说明，各个单个预告因子之间有相当大的独立性，而且每个预告因子是对误差方差的不同部分有所贡献。这从把3个因子相关联起来并发现相关系数在0.19—0.23之间变化而得到确信。这一发现还得到以下根据每个预告因子所采用的不同方法的启发性论证所支持。

统计回归方案消除了空间变化着的模式偏差。例如，图3示出澳大利亚地区非独立的(图3a)和独立的(图3b)预报的平均预报误差。虽然两者之间有不同之处(主要由于冬、夏季节不同所致)，但是可以看出基本形势是一致的。区域西南部有大的负预报误差，

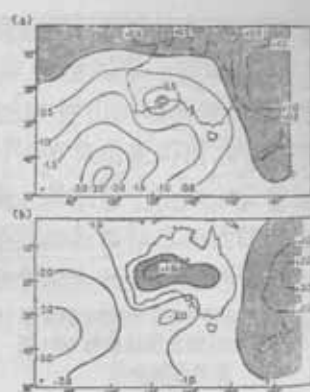


图3 平均预报误差(10^{-1} hPa)的空间分布。(a)非独立预报，(b)独立预报

而东北部有较小的正预报误差。整个区域上的变化与把 RASP 嵌套到比其晚12小时而且分辨率低的全球模式预报的问题有关；在夏季预报大陆热低压偏浅时，大陆热通量物理参数化的缺点也是明显的(图3b)。统计回归方法把这一偏差形势的主要部分有效地预告了出来。这对该方法对误差方差的解释有大的贡献。

这样，偏差和持续性预告因子都是以相似的物理过程为基础的，可以期望它们部分地相关。但是观测到的相当低的相关系数表明，大气对初始状态的敏感性有剧烈的逐日变化。这与图1表示的模式预报误差迅速变化是一致的，并着重表明在逐日的预报误差特征中持续的情形很少。

可以预期影响偏差因子的瞬变现象，对平均统计回归方法会很少影响，反之也是如此。因此可以预期，统计因子和敏感性因子之间互相具有较大的独立性，正如这些因子之间的微弱相关所证实的。

五、空间可预告性的变化

虽然区域平均的结果是令人鼓舞的，但是误差的空间特征对做特定地区预报的预报员来说更为关注。因此，下面用时间平均图和个例研究去检验误差预告值的空间变率。这些变率是直接将从区域研究的结果应用到

各个网格点上而得出的。

偏差预告因子对于逐个例子的研究是最重要的。

a. 时间平均的空间变率

独立和非独立时段内平均预告技术的空间变化如图 4 所示。图中包括(由组合预告因子)所解释的非独立(冬季, 图 4a)和独立(夏季, 图 4b)预报集的平均误差百分率分析。

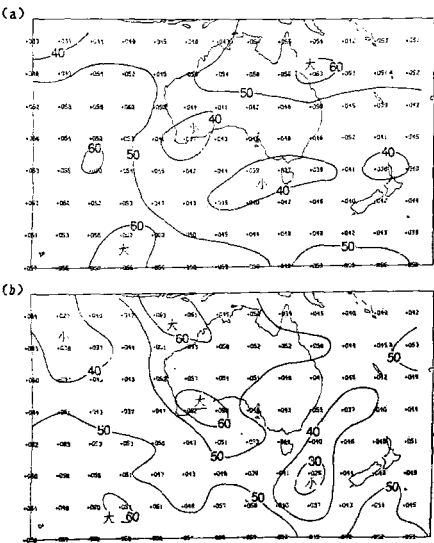


图 4 由组合因子解释的预报误差百分率的空间分布。(a)非独立预报, (b)独立预报

由图可见, 夏季在大陆的西南部, 全年在热带地区均有很强的预告能力。但是在模式区域的东南部, 预告能力显著偏弱, 尤其是对于独立预报集。

夏季在模式区域的西南角和大陆上由组合因子解释的独立预报误差百分率大的地方, 统计回归因子的作用是明显的(比较图3和图 4)。在大陆的东南部预报技巧相当低的原因是由于对时间的瞬变作用。例如, 冬季整个塔斯马尼亚(Tasmania)地区的预报技巧低似乎与这一区域的锋面系统的发展有联系。在第六节中我们将回来讨论这一区域的预告能力问题。

这样, 统计回归方法对预报的形势场提供了一个总体的校正。因为在时间上和空间上的局地变化在相当大程度上是由于瞬变引起, 所以, 如下面两个实例研究所证明的,

b. 个例研究 1: 预告一个好的预报

澳大利亚东部沿海最难预报的形势之一是热带气旋向极地移动和演变成中纬度低压。图 5 给出 1990 年 1 月强热带气旋 Nancy 的例子。在 1 月 24 日 0000 UTC (图 5a) Nancy 是一个强热带气旋, 位于 22°S 、 162°E 附近。在以后 36 小时内, Nancy 移近澳大

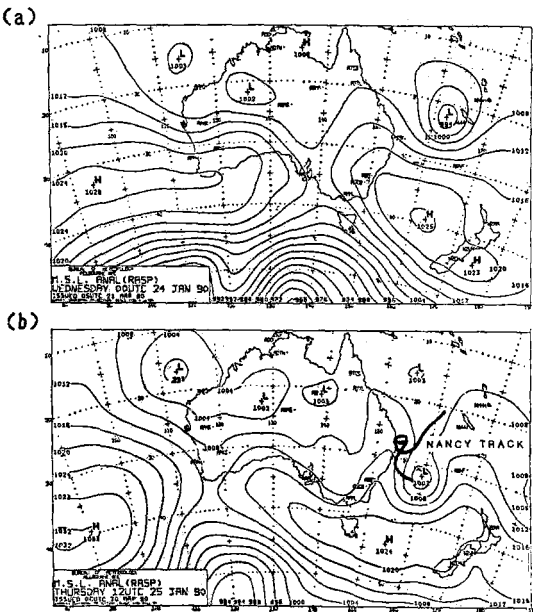


图 5 澳大利亚地区平均海平面气压(hPa)分析场。(a)1990年1年24日0000UTC, (b)1990年1月25日1200UTC及热带气旋Nancy的36小时路径

利亚海岸, 演变成为一个东海岸气旋(Holland等, 1987), 然后又移回海上, 如图 5b 中的路径所示。1 月 25 日 1200 UTC 的天气形势如图 5b 所示, 此时变性的 Nancy 位于 32°S 、 160°E 附近。另外一些值得注意的特征是: 在 140°E 附近有一个中纬度锋面系统向东南方向移动并移出模式区域, 在 120°E 附近还有一个锋面系统发展, 在澳大利亚东南部的偏东气流里还有一个低压槽发展。

如图 6 所示, 澳大利亚 NMC 接收的 4 个大尺度模式的 48 小时预报是相当一致的。所有模式尽管有移动太慢的倾向, 但都把由

热带气旋Nancy变成的温带气旋位置报出来了。而且每个模式都准确地报出了前段中所注意到的天气学特征。用RASP模式也做出一个与上面同样一致的预报,如图7a所示。使用组合预告因子预告的区域平均rms误差是2.5 hPa,这是一个相当低的值(见图1),与实际预报误差2.7 hPa是十分一致的。

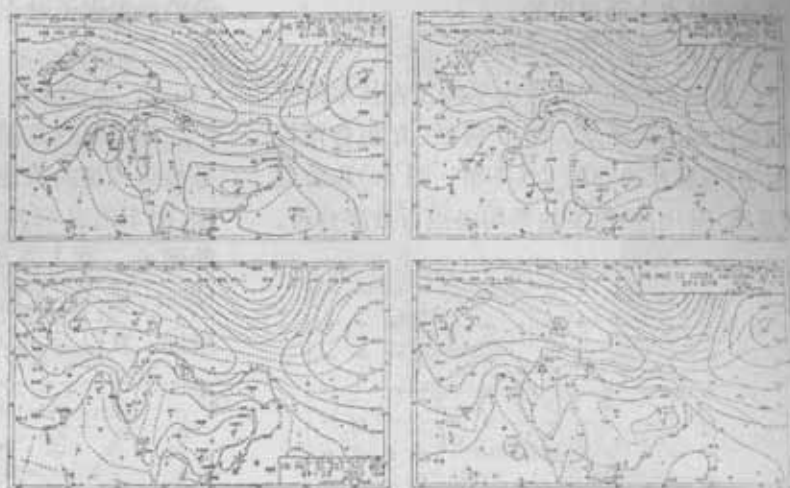


图6 ECMWF、UK、华盛顿HNC、HASP模式对1990年1月25日1200 UTC的48小时预报

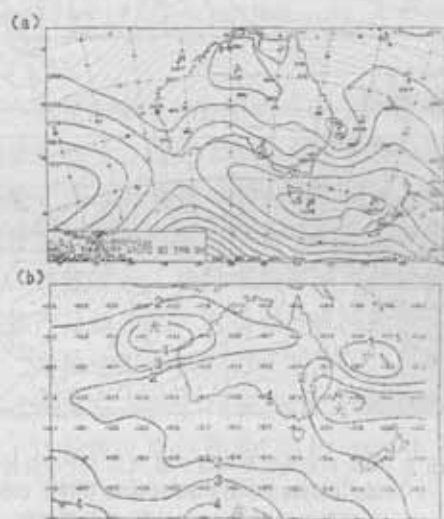


图7 (a)RASP对1990年1月25日1200 UTC的36小时平均海平面气压预报,(b)在这次预报中所预告的rms误差的空间分布

预告因子区分各地区预报质量相对好坏的能力是相当引人注意的。如图7b所示,预告的最大预报误差是在系统发展并迅速移动的澳大利亚西部沿海和南部120°E附近地区,以及热带气旋Nancy所在地区。然而注意,对图5a中140°E附近迅速移动和减弱的锋面系统的预报预告得非常准确。把RASP预报(图7a)和检验的分析场(图5b)进行比较,表明这个预告确实出现了。

c. 个例研究2: 预告一个差的预报

为了指出组合预告因子预告失败的NWP预报技巧的能力,图8给出1989年8月6日和7日的天气形势。在8月6日0000 UTC(图8a),一个强的锋面系统正向澳大利亚西部逼近,一个大的气旋正从澳大利亚东海岸移走。在以后36小时内(图8b),在锋面系统的一个波动上有一个小的切断低压形成。东海岸气旋已经向东南方移出、减弱,并由澳大利亚沿海新发展的气旋所取代。

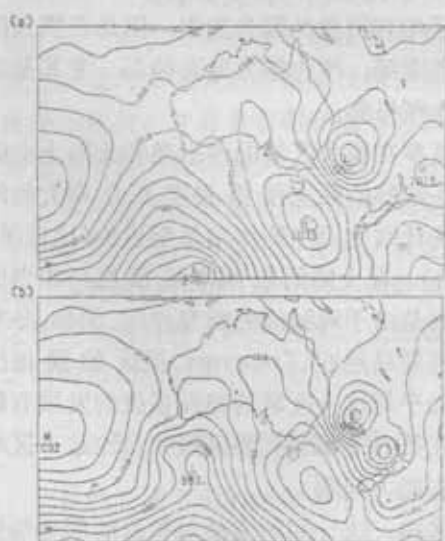


图8 澳大利亚地区平均海平面气压(hPa)分析。
(a)1989年8月6日0000 UTC,
(b)1989年8月7日1200 UTC

每一个大尺度模式(图略)对两个系统的发展都提供了不一致的预报。其结果,组合预告是对于一个很差的预报有 4.6 hPa 的区域平均 rms 误差。图 9a 所示的空间分布进一步指出,在澳大利亚西部沿海、大陆中部以及跨过整个塔斯马尼亚的高压带附近,预报是最优的。在西澳大利亚以南的锋面系统和东海岸气旋附近预告为很差的预报。

图 9b 所示的 RASP 36 小时预报的质量,与这些预告十分一致。区域平均 rms 误差是 4.9 hPa, 并且模式未报出东海岸气旋的重新发展和锋面系统上波动的发展。

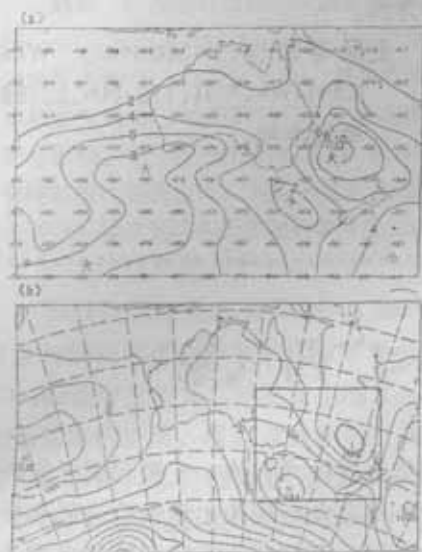


图 9 (a)预告的模式预报误差的空间分布,(b) RASP 对 1989 年 8 月 7 日 1200 UTC 的 36 小时预报。图(b)中在澳大利亚东南部和新西兰地区的方框表示用于检验我们预告有限区域模式技巧能力的区域

六、预报技巧的区域预告

在 5b 和 5c 中的个例研究指出,预告方程既能预告出区域平均的模式技巧,又能指出区域中的哪些部分将会预报得很差。

对这种区域预告能力用下面的方法进行了检验。首先,选择图 9b 所示的澳大利亚东南部和新西兰一带为检验地区。这一地区覆盖了大洋洲的主要居民区,也是由预告方程所解释的方差最小的地区(见图 4 a、b),

因而提供对系统严格的检验。其次用非独立资料集根据区域 rms 误差把预报分为高、中、低三个类别(高 $MFE < 2.5$ hPa, 中 $2.5 \text{ hPa} < MFE < 3.5$ hPa, 低 $MFE > 3.5$ hPa)。第三,对独立样本中每个预报类别进行预告,结果见表 2。

表 2 夏季澳大利亚东南部高、中、低预报信度的分类列联表

实测的 预报技巧	预告的预报信度			
	高	中	低	合计
高	11	9	2	22
中	8	13	6	27
低	1	2	8	11
合计	20	24	16	60

根据 Panofsky 和 Brier(1958)的工作,这些预报的总体技巧可用下式估计:

$$S = \frac{C - X}{T - X}$$

$$X = \frac{1}{T} \sum_{i,j} O_i P_j$$

式中 C 是正确预报个数, $T=60$ 是个例总数, O_i 、 P_j 分别是测得的行 i 和预告的列 j 。这里 X 是对随机预报报对数目的估计,当 $S=0$ 时为预报没有技巧, $S=1$ 为完全正确的预报。将表 2 中有关数字代入方程(4),得出分等级预告的 $S=0.28$, 可认为是好的技巧水平(Panofsky 和 Brier, 1958)。

因此,表 2 中的结果是非常令人鼓舞的。对预告类别的检验比任何其它达到高技巧评分的类别更多。也许更重要的是,跨两个类别的预告误差是很少的。例如,预告的 20 个高质量预报中,有 11 个被证实,只有一个失败。反过来,实测的 22 个高质量预报中,只有 2 个被预告在低预报信度的类别内。

七、结 论

对预告逐日区域 NWP 模式预报技巧的能力进行了检验。对三个预告方法做了试用:(1)统计回归法,这种方法能消除掉模式预

报中的全部空间偏差；(2)持续性参数法，它可以度量澳大利亚区域模式预报的时间一致性；(3)偏差参数法，它可以根据澳大利亚NMC所接收的2个澳大利亚和3个国际NWP预报的一致性度量其对初始条件的敏感性。

无论使用非独立的还是独立的预报集，统计回归法解释区域平均预报误差方差的百分率最高，约为30%—35%；偏差参数法其次，约为15%—20%；持续性参数法只能勉强应用，解释的方差不足5%。把3个方法结合起来，解释的区域平均误差方差百分率增加到50%左右。就目前所知，这是这类方法报道中最高的技巧。

通过使用两个个例研究和一系列有限区域的分类预告，已经证实了在单个预报中预告系统表示技巧的空间变率的能力。在成功

和失败的一对数值预报个例的研究中，这一系统不仅精确地预告了区域平均的预报技巧，而且指出了成功和失败预报的具体地区。在澳大利亚东南部，对于独立预报组，一系列高、中、低预报技巧的分类预告证实了个例研究中的发现。根据60个取样预报，列联表技巧得分是0.28，并且跨两个类别的重大预告误差是很少的。

这些令人鼓舞的结果表明，这里所采用的方法，有可能直接应用于业务。使用澳大利亚地区的预报技巧分析和对特定地区的分类预告相结合的业务实验，在不久的将来将进行介绍。

史凤苓译自，«Monthly Weather Review», Vol. 119, No. 2, 1991
牟惟丰校