

目前短期气候预测可预报性的研究概况

范晓青 李维京 张培群

(国家气候中心,北京 100081)

提 要

气候的可预报性研究是气候变化研究的一个重要方面,作者首先介绍了短期气候预测之所以可行的两个主要原因,以及短期气候预测可预报性问题的实质;然后,较详细地介绍了目前研究月、季尺度时间平均可预报性的方差分析方法,包括了对实际大气和模式大气可预报性的研究;最后,对时间平均可预报性的研究结论进行了总结。

关键词: 短期气候预测 可预报性 方差分析

引 言

在逐日天气预报中,由于小尺度现象的不确定性,进行数值积分所用到的初始场不可避免地与实际大气状态之间存在微小的误差,而大气内部的动力不稳定与非线性相互作用将这种初始误差随时间的延长而放大,最终使整个大气运动变得不确定。这种现象导致了在用初始场对动力模式进行积分的过程中,确定论的逐日天气预报存在一个可预报的限度,这就是逐日天气预报的可预报性,逐日天气预报的时效就是由这种可预报性所决定的。一般认为逐日天气预报的时效最大为两周左右^[1]。

虽然逐日天气预报存在一个可预报的时间上限,但是这并不意味着月、季尺度的短期气候预测无法进行。根据李崇银^[2]的观点,在月、季尺度的短期气候变化中,对实际大气环流演变的影响主要有两个方面的原因:一是由大气内部的动力不稳定及其非线性相互作用所产生的影响,即引起上述逐日天气预报失效的大气内部动力原因的影响,它在一定意义上也可归结为初始场的影响;二是由气候系统的其它子系统所产生的影响,如海

温、海冰分布、积雪分布、土壤湿度等异常下边界条件的强迫作用,即热流入量的影响。运动初期初始场的影响远大于热流入量的影响,随大气运动的演变,前者的影响逐渐减小,而后者的影响逐渐增加,两者达到大小相当的时间决定了利用初始场积分进行预报的时间限度,即可预报性的大小。这种可预报性是指确定论的,强调预报时效的可预报性,是实际大气运动可预报的最大限度,对于应用动力模式积分进行的短期气候预测而言,由于目前人们对大气中复杂物理现象认识的不足和动力模式的不完善,其预报能力与这一可预报的最大限度之间还有很大差距。研究发现,不同空间尺度的大气运动具有不同的可预报性,超长波的可预报性远比其它空间尺度大气运动的可预报性大^[1]。短期气候预测制作平均环流预报,其主要预报对象是可预报性较大的超长波,这使得短期气候预测成为可能;另一方面,下边界条件是缓变的,具有持续性的特征,其变化的时间尺度远小于纯粹由上述动力原因引起大气变化的时间尺度。因此,进行月、季尺度的短期气候预测是可行的。

短期气候预测的可预报性不同于逐日天气预报的可预报性,后者是一种时间概念,强调的是确定论的可预报期限,而短期气候预测的时间平均的可预报性则更大程度地表示较长时间尺度里大气可预报的程度,即可预报的气候信号超出不可预报的气候噪音的程度。短期预报是时效问题,长期预报是准确率问题^[1]。对于月、季尺度时间平均的可预报性,有许多学者进行了研究,下文将对其研究方法进行较详细的说明。

1 可预报性研究方法

研究时间平均的可预报性通常是应用方差分析方法。针对上述影响短期气候变化的两个因素,方差分析方法相应地将大气变化总的变率分为由上述大气内部动力原因引起的自然变率和由外强迫的变化引起的年际变

$$\sigma_E^2 = \left[\sum_{j=1}^J \frac{\left(\sum_{i=1}^N \phi_{i,j} \right)^2}{N} - \frac{\left(\sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^N \phi_{i,j} \right)^2}{N \times J} \right] / (J - 1) \quad (1)$$

为由外强迫变化引起的年际变率

$$\sigma_I^2 = \left[\sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^N \phi_{i,j}^2 - \sum_{j=1}^J \frac{\left(\sum_{i=1}^N \phi_{i,j} \right)^2}{N} \right] / [J \times (N/T_0 - 1)] \quad (2)$$

为大气内部动力原因引起的自然变率。其中, J 表示所取资料的年数, N 为所要研究可预报性的某个月的天数。

在式(2)中, T_0 为样本的特征时间^[6], $T_0 = 1 + \sum_{\tau=1}^T 2 \left(1 - \frac{\tau}{T} \right) r(\tau)$, 其中, $r(\tau)$ 为时间序列的观测资料落后 τ 天自相关系数的多年平均值, $\tau = 1, 2, \dots, T$ (在对时间序列的样本进行分析的过程中, 认为样本周期大于 T 的部分为低频白色噪音过程, T 可视为气候信号的变化周期, 不同的研究对于 T 的取值有所不同, 例如 Shukla^[3] 取为 30 天, Madden^[7] 取为 96 天)。 T_0 表示了观测资料的持续性, 用以确定观测资料中独立样本的数目, 计算方差分析的自由度。为了得到 $r(\tau)$ 更为合理的值, 用该月前后共三个月的逐日观测资料对 $r(\tau)$ 进行计算。

率两部分,前者作为气候噪音,是不可预报的,而后者由缓变的、具有持续性的外强迫引起,为可预报的气候信号。方差分析方法就是在假定月、季时间尺度内无外强迫变化的情况下,对上述年际变率与自然变率的比值进行方差检验,若此比值超出某一信度下的临界值,则认为外强迫的变化对大气环流演变的影响是显著的,进一步认为存在可预报性。

1.1 实际大气的可预报性分析

应用观测资料分析实际大气月平均可预报性方面的工作较多,如 Shukla^[3]、Trenberth^[4]、Madden^[5]等,假定 $\phi_{i,j}$ 是去掉年循环后的第 i 天、第 j 年的某一气象要素的观测值,分别定义:

在无外强迫变化的假设下,计算 $F = \sigma_E^2 / \sigma_I^2$, 即外部方差与内部方差的比值,并在某一显著性水平 α 下对其进行 F - 检验,若 F 值超过临界值 F_α , 则拒绝原假设,认为外强迫的变化对大气总的变化的影响是显著的,存在较强的气候信号,即存在可预报性。然而在分析过程中,每一网格点上进行 F - 检验时的自由度不同,不可能在每一格点上都取不同的 F_α 值进行方差分析,为此,采用所有网格点中最大的 F_α 值作为统一的标准对所有格点进行方差分析,由此得到所分析区域的可预报性。

1.2 模式大气的可预报性分析

应用模式资料研究模式大气时间平均的可预报性,同样是应用方差分析方法。然而对实际大气的模拟或预报可以用不同的初值对动力模式进行积分,得到实际大气的多个

可能状态,这一点不同于用观测资料描述实际大气,在误差允许的范围内,观测资料只是实际大气状态的真实反映,只有一种状态,所以在具体分析可预报性时,用观测资料与用模式资料的分析方法有所不同。Shukla^[7]、kumar^[8]、赵彦等^[9]对模式大气的可预报性进行了一些研究。

在某一格点上,假定 $\phi_{i,j}$ 是某一气象要素第 i 个积分、第 j 年的月平均值,分别计算样本总体平均值 $\bar{\phi} = \frac{1}{MN} \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^M \phi_{i,j}$, 以及第 j 年的集合平均值 $\langle \phi \rangle_j = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \phi_{ij}$, 其中, $\langle \phi \rangle_j$ 随年份不同而变化。定义

$$\sigma_{ME}^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{j=1}^N (\langle \phi \rangle_j - \bar{\phi})^2 \quad (3)$$

为外部方差,即由海温异常等外强迫变化引起的年际变率;

$$\sigma_{MI}^2 = \frac{1}{M(N-1)} \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^M (\phi_{ij} - \langle \phi \rangle_j)^2 \quad (4)$$

为内部方差,即由大气内部动力原因引起的自然变率,它反映了单个积分成员之间的离散度。在(3)、(4)两式中, M 为初始场的个数, N 为积分的年数。

在这里,由不同的初始场得到的积分即表示独立的样本,不同于在对观测资料的分析中,需要根据样本的自相关特征计算每一格点上独立样本的数目,因此,在对模式资料的分析过程中,所分析区域的每一格点上外部方差和内部方差具有相同的自由度,分别为 $N-1$ 与 $M \times (N-1)$, 在一定的信度 α 下,各点的 F_α 值是相等的。进行方差分析时,同样是计算外部方差与内部方差的比值,然后用统一的 F_α 检验在某一信度 α 下,各点是否具有可预报性。

2 研究结论与讨论

近年来,随着人们对月、季时间尺度短期气候预测不断重视,随着对短期气候预测理论研究的深入,国内外涌现出许多有关短期

气候预测可预报性方面的研究,对此我们很难进行一一列举,这里只是参考了其中一部分的研究工作。我们发现,不论是对实际大气的研究还是对模式大气的研究,针对月、季时间尺度短期气候预测的时间平均的可预报性,有以下主要研究结果。

(1)热带地区的可预报性较大,尤其是在热带太平洋、印度洋等地区,可预报性最大,热带外地区的可预报明显减小,可预报性呈带状分布。除了具有上述空间分布特征外,可预报性在时间上也有一定的变化特征。许多研究表明,冬、春季节的可预报性普遍较其它季节大。但是对于模式大气而言,这一结论与所用的动力模式有关,具有一定的模式依赖性。另外,不同空间尺度的大气运动表现出不同的可预报性,超长波的可预报性明显较其它空间尺度大气运动的可预报性大。正是由于这一原因,使得以预报平均环流为主的月、季尺度的短期气候预测成为可能。

(2)ENSO对短期气候预测可预报性的影响较大,在强ENSO年,不论是热带地区或是热带外地区,可预报性均明显比弱ENSO年大。

(3)对比模式大气的可预报性与实际大气的可预报性,发现前者明显小于后者,这表明用动力模式描述实际大气的能力还不高,还需要不断的完善。

(4)用方差分析方法计算的时间平均的可预报性是完全由外强迫的变化而引起的可预报性,其物理基础是缓变的外强迫对大气环流的演变具有非常重要的作用^[10]。这种可预报性受外强迫变化的影响较大,上述可预报性的特征多数可解释为由外强迫异常,尤其是海表面温度(SST)异常所造成的影响。例如结论(1),在热带地区,大气主要由热力驱动,由海温异常等外强迫产生的影响较大,大气变化反映出较强的年际变率,因而热带地区的可预报性较大;然而在热带外地区,外强迫的变化对大气环流演变的影响相对减小,大气内部动力原因产生的影响明显

增大,大气变化的自然变率也相应增大,可预报性明显比热带地区小。

(5)除了这种外强迫的变化对可预报性造成的直接影响,外强迫也通过其它方式对可预报性产生间接影响。例如与 SST 异常有关的 ENSO 过程可引起北半球热带外地区驻波等现象的发生,进而引起相应地区气象要素的可预报性增大。另外,大气中一些准周期性的活动,如对流层的准两年振荡(QBO),可以影响所在的层并通过该层与其它层的相互作用影响其它层气象要素的可预报性,研究发现^[10],与 QBO 有关的纬向平均风场可预报性的增大与初始场在模式积分过程中的记忆性有关。

总之,大气中各种复杂的物理现象以及整个气候系统中的其它子系统综合影响着整个大气环流的演变,而人们对这些现象的认识还远远不够明确,需要不断地研究、探索,提高各种时间尺度天气预报的能力,尤其须要提高短期气候预测的水平,增强短期气候预测的可预报性。

参考文献

- 1 王绍武,林本达.气候预测与模拟研究.北京:气象出版社,1993:4~7,27.
- 2 李崇银.气候动力学引论(第二版).北京:气象出版社.2000:431.
- 3 J. Shukla and D. S. Gutzler. Interannual Variability and Predictability of 500mb Geopotential Heights over the Northern Hemisphere. *Mon. Wea. Rev.* 111, 1983: 1273—1279.
- 4 Kevin E. Trenberth. Potential Predictability of Geopotential Heights over the Southern Hemisphere. *Mon. Wea. Rev.* 113,1984:54—64.
- 5 R. A. Madden. Estimates of the Natural Variability of Time - Averaged Sea-Level Pressure. *Mon. Wea. Rev.* 104, 1976:942—952.
- 6 Leith, C. E., The standard error of time-average estimates of climatic means. *J. Appl. Meteor.* 12, 1973: 1066—1069.
- 7 J. Shukla. Dynamical Predictability of Monthly Means. *J. Atmos Sci*, 1981, 38(12):2547—2572.
- 8 A. Kumar and M. P. Hoerling, Prospects and Limitations of Seasonal Atmospheric GCM Predictions. *Bulletin of the American Meteorological Society.* 76, 335—345.
- 9 赵彦、郭裕福等.短期气候数值预测可预报性问题. *应用气象学报*, 2000, 11:64~71.
- 10 C. Brankovic, T. N. Palmer and L. Ferranti, Predictability of Seasonal Atmospheric Variations. *J. Climate*, 7, 1994:217—237.

Survey of Study on Predictability of Short-term Climate Prediction at Present

Fan Xiaoqing Li Weijing Zhang Peiqun

(National Climate Center, Beijing 100081)

Abstract

The study on the climate predictability is a very important aspect of the climate change research. Firstly, the two key reasons for which the short-term climate prediction is feasible, as well as the substance of the short-term climate predictability are introduced. Secondly, the Analysis of Variance (ANOVA) technique, which is used to study the monthly or seasonal predictability, including the predictability of both the real atmosphere and the model atmosphere are explained. Finally, the research conclusions about short-term climate predictability at present are reviewed.

Key Words: short-term climate prediction predictability analysis of variance (ANOVA)