

# 统计降尺度法在数值预报产品释用中的应用

李江萍 王式功

(兰州大学 大气科学学院, 730000)

**提 要:** 目前数值模式输出的空间分辨率较低, 缺少区域信息, 很难对区域气候做精确的预测。降尺度方法通过把大尺度、低分辨率的数值模式输出信息转化为区域尺度的地面气候变化信息(如气温、降水), 从而达到弥补数值模式预测区域未来气候变化不足的目的。这种做法的基础在于区域气候变化是以大尺度(如大陆尺度甚至行星尺度)气候为条件的。统计降尺度法以大尺度数值预报产品为预报因子, 利用历史资料建立区域预报量与大尺度预报因子之间的统计模型, 实现对数值预报产品的释用。在系统论述统计降尺度法的基本原理、一般步骤的基础上, 初步探讨统计降尺度法在中期天气预报方面的应用。

**关键词:** 统计降尺度法 数值预报 产品释用

## Application of Statistical Downscaling Method to Numerical Weather Forecast

Li Jiangping Wang Shigong

(College of Atmospheric Sciences, Lanzhou University, 730000)

**Abstract:** Numerical forecast models are widely used as an important tool of projecting global climate change. However, their resolution is too coarse to provide the regional scale information. Therefore, downscaling methods for extracting regional scale information from output of numerical forecast models are developed. Statistical downscaling techniques can be used to predict regional scale climate by using statistical relationship between the large-scale climate and the regional scale climate. On the basis of introducing the theory and approach of statistical downscaling, application of statistical downscaling to the medium term weather forecast was simply discussed.

**Key Words:** statistical downscaling method numerical forecast product application

基金项目: 干旱气象科学研究基金(IAM200704)、国家自然科学基金项目(40675077)和国家科技支撑计划项目(2007BAC29B03)共同资助。

收稿日期: 2008年1月4日; 修定稿日期: 2008年1月30日

## 引 言

对于预测未来全球大尺度气候变化,数值预报模式是目前最重要也是最可行的方法。数值模式能相当好地模拟出大尺度最重要的平均特征,特别是能较好地模拟高层大气场、近地面温度和大气环流。但是由于目前数值模式输出的空间分辨率较低,缺少区域信息,很难对区域气候做精确的预测。Cubasch 等<sup>[1]</sup>对几个低分辨率 AOGCM 模式预测地中海盆地区域情景做了较为详细的比较,结果表明尽管这些 AOGCM 模式模拟的近地面温度比降水要好得多,但是模拟的温度和降水都有很大的误差。这些事实表明 AOGCM 模式能较好地模拟大尺度气候变化,但是在模拟区域尺度方面很不理想。目前有两种方法可以弥补数值模式预测区域未来气候变化的不足,一是发展更高分辨率的数值模式;二是降尺度法。由于提高数值模式的空间分辨率需要的计算量很大,降尺度法是更为可选的方法。

降尺度法是基于这样一种观点:区域气候变化是以大尺度(如大陆尺度甚至行星尺度)气候为条件的,它就是把大尺度、低分辨率的数值预报产品转化为区域尺度的地面气候变化信息(如气温、降水),从而弥补数值模式对区域气候预测的局限。降尺度法主要有两种:一种是动力降尺度法;一种是统计降尺度法。Wilby 等<sup>[2-4]</sup>对此方法的应用做了较为详细的介绍。这两种降尺度法的共同点就是都需要数值模式提供大尺度数值预报产品。

动力降尺度法的应用和研究在国内已经很多,利用统计降尺度法预估未来区域气候情景在国内的研究较少。范丽军<sup>[5]</sup>采用统计降尺度方法对华北地区 49 个气象观测站的未来月平均温度变化情景进行预估,结果表明统计降尺度方法模拟的温度与观测的温度有很好的-致性,并且在未来气候情景的预

估方面表明大多数的站点都存在温度的明显上升趋势。何慧<sup>[6]</sup>的对比试验结果表明利用同期综合因子建立的 BP 神经网络降尺度预报模型的拟合精度优于利用前期综合因子建立的预报模型,但预报效果依赖于月动力延伸集合预报产品。陈丽娟<sup>[7]</sup>着重介绍月动力延伸数值预报模拟技巧较高的大气环流在局域降水方面的降尺度应用。T63/NCC 月动力延伸形势场集合预报进行中国降水的降尺度应用亦取得了较好的结果。

以往的研究主要集中在统计降尺度法对未来区域气候情景变化的预估,而对统计降尺度法在未来区域天气变化研究中的应用探讨很少。在系统阐述统计降尺度法的基础上,展开统计降尺度法在未来区域天气变化尤其是中期预报研究中对数值预报产品释用的讨论。

## 1 统计降尺度法

### 1.1 统计降尺度法的基本原理

统计降尺度法是利用多年的观测资料建立大尺度气候状况(主要是大气环流)和区域气候要素之间的统计关系,并用独立的观测资料检验这种关系,最后再把这种关系应用于数值模式输出的大尺度数值预报产品,产生局地气候预测(如气温和降水)。即:建立大尺度预报因子与区域气候预报量间的统计函数关系式:

$$Y = F(X) \quad (1)$$

其中  $X$  代表大尺度气候预报因子, $Y$  代表区域气候预报变量, $F$  为建立的大尺度气候预报因子和区域气候预报变量间的一种统计关系。一般说来, $F$  是未知的,需要通过动力方法(区域气候模式模拟)或统计方法(观测资料确定)来得到。 $F$  表示的统计关系要求大尺度气候场和区域气候要素场之间具有显著的统计关系且这种统计关系是稳定而有效

的。

统计降尺度法的优点在于它能够把数值模式输出的物理意义较好、模拟较准确的数值预报产品应用于统计模式,从而纠正数值模式的系统误差,而且不用考虑边界条件对预测结果的影响。它的缺点就是需要有足够的观测资料来建立统计模式,而且统计降尺度法不能应用于大尺度气候要素与区域气候要素相关不明显的地区<sup>[8]</sup>。

## 1.2 统计降尺度方法——转换函数法

以往的统计降尺度研究中常用的统计降尺度方法概括起来主要有两种:转换函数法和环流分型技术,应用最多的是转换函数法。转换函数法中有很多不同的统计方法,主要可分为两种类型,一种是线性的转换函数法,另一种是非线性转换函数法。最常用的线性方法就是线性回归方法,最简单的统计降尺度方法就是建立大尺度气候场与地面变量场之间的多元线性回归方程。Sailor等<sup>[9]</sup>用多元线性回归方法模拟了美国站点的气温,Murphy<sup>[10]</sup>也用同样的技术模拟了欧洲的月平均气温和降水。还有一些回归方法,如主分量分析与逐步线性回归相结合<sup>[11]</sup>等方法。另一种线性统计方法是典型相关分析CCA,如Busuioc等<sup>[12]</sup>用EOF-CCA方法估计瑞典的降水。在统计降尺度方法的研究中还常用一种非线性方法就是人工神经网络法(ANN)。它实质上是一门非线性科学,其优点是具有并行处理、容错性、自学习等功能<sup>[13]</sup>。Mpelasoka等<sup>[14]</sup>成功地用ANN模拟了新西兰(New Zealand)的月平均气温和降水。

## 2 统计降尺度法预报局地气候的一般步骤

尽管在统计降尺度方法的应用研究中常用的统计方法很多,但大多数统计方法的应

用步骤是大体一致的。

### 2.1 预报因子的选取

预报因子的选择是应用统计降尺度法过程中一个非常重要的环节,因为预报因子的选择很大程度上决定了局地气候的预报特征<sup>[15]</sup>。许多研究<sup>[16-17]</sup>指出,在统计降尺度方法中,应该尽可能应用物理意义较为明确的预报因子。因为大气环流对地面气候要素有重要的影响,因此大气环流常常成为预报因子的首选<sup>[18]</sup>。预报因子的选择一般遵循4个标准:

(1) 选择的预报因子要与所预报的预报量有很强的相关;

(2) 选择的预报因子必须能够代表大尺度气候的重要的物理过程和大尺度气候变率;

(3) 所选择的预报因子必须能够被数值模式较准确地模拟,从而纠正数值模式的系统误差;

(4) 应用于统计模式的预报因子间应该是弱相关或无关的。

### 2.2 统计降尺度模式的选择和标定

选择不同的统计降尺度法所得的预报结果是很不一样的,许多文献对不同的统计降尺度法进行了比较。所有这些研究认为:不同的统计降尺度模式各有其优缺点。在不同区域、不同的情形下,选用不同的统计降尺度法模拟效果会不同,应通过多次试验选择最适合所研究区域及研究目的的统计降尺度方法。应该注意的是标定模式的数据长度和标定数据类别对模式模拟结果是有很大影响的。Winkler<sup>[15]</sup>做了不同的标定数据长度和不同的数据类型(标准化变量和非标准化变量)敏感性分析试验。

### 2.3 统计降尺度模式的检验

统计关系建立以后,还需要用独立的观测资料对该统计降尺度模式进行可靠性检

验。常用的方法有两种:一种是把整个观测序列分为两段,前一段观测序列用于建立统计关系,后一段用来做检验,这种方法适合于观测资料记录较长的区域<sup>[19]</sup>;还有一种常用的检验方法就是交叉检验<sup>[20]</sup>,这种方法的优点就是能充分利用所有的观测数据。

### 3 统计降尺度法在西北强沙尘天气过程中期预报中的应用

统计降尺度法目前主要用于气候预测。但是由于天气变化与人们的生产、生活、社会和军事活动等息息相关,5天以内的短中期数值天气预报,其效果已达到了较高的水平。但是5天以上数值天气预报的准确率随着时间的推移急剧下降,而5天以上高水平的数值天气预报又是社会各领域迫切需要的,也是众多气象学家全力以赴追求的目标。逐日预报不能超过2~3周,15天以内的逐日预报在可预报期限以内,在理论上是可行的。但是,与计算机领域的摩尔定律形成对比的是,数值天气预报准确率的提高却是相当缓慢的。因此,从现行的1~5天的数值天气预报业务化模式和大量的历史资料这两个基本工具出发,可以提高4~7天的中期天气预报的准确率。

研究发现,强沙尘暴发生时温度比正常年份同期高2~3℃,降水量一般比正常年份同期偏少30%以上<sup>[21]</sup>。利用历史资料,统计强沙尘暴发生时正变温最大值和前期降水变化情况,以此作为沙尘天气预报的重要指标。应用T213模式的数值预报产品,找出与温度和降水相关性比较高的大尺度天气要素作为沙尘天气预报因子。大尺度天气预报因子通常应用的是500hPa位势高度场<sup>[22,15]</sup>,因为该层代表对流层中部的大气环流。另外常用的有700hPa<sup>[23,24]</sup>和850hPa<sup>[9,23]</sup>位势高度场以及等压面厚度场<sup>[23,25]</sup>。除以上所说的预报因子外,还有很多预报因子如850hPa温度、气压梯度<sup>[26]</sup>、气流指数( $u$ 、 $v$ 、风速、风

向、旋度)<sup>[23,27]</sup>,以及各种预报因子的联合等。

选定了预报因子之后,应用逐步回归等统计方法建立大尺度天气预报因子与区域天气预报量(尽管沙尘暴这种灾害性天气几乎影响到全球,但是沙尘暴个例的发生具有区域性)之间的统计降尺度模型。利用该统计模型作出西北干旱区气温和降水的4~7天中期预报,同时结合强沙尘暴发生时温度和降水的变化特征,最终建立强沙尘暴的统计降尺度预报方法,实现统计降尺度方法对数值预报产品在天气预报方面的释用,提高预报准确率。

### 4 结 语

统计降尺度技术仅仅10年的时间就已发展成为一个相当完善的领域,然而它仍有许多方面需要进一步研究和完善。通过对各种统计降尺度技术进行比较研究,找出它们之间的差别以及产生这种差别的原因,还有就是研究各种统计降尺度技术的适用条件和适用范围。最重要的是在研究和完善统计降尺度技术的同时,需要着重于对统计降尺度技术的应用,尤其是该方法在天气预报方面的应用。

### 参考文献

- [1] Cubasch U, Von Storch H, Waszkewitz J, et al. Estimates of climate changes in southern Europe using different downscaling techniques[J]. *Climate Research*, 1996, 7: 129-149.
- [2] Wilby R L, Wigley T M L. Downscaling general circulation model output: A review of methods and limitations[J]. *Progress in Physical Geography*, 1997, 21: 530-548.
- [3] Wilby R L, Dawson C W, Barrow E M. SDSM-A decision support tool for the assessment of regional climate change impact[J]. *Environmental Modeling and Software*, 2002, 17: 145-157.
- [4] Wilby R L, Wigley T M. Precipitation Predictors for downscaling: Observed and General Circulation Model

- Relationships[J]. *International Journal of Climatology*, 2000, 20 (5):641-661.
- [5] 范丽军,符淙斌,陈德亮. 统计降尺度法对华北地区未来区域气温变化情景的预估[J]. *大气科学*, 2007, 131 (15):887-897.
- [6] 何慧,金龙,覃志年,等. 基于 BP 神经网络模型的广西月降水量降尺度预报[J]. *热带气象学报*, 2007, 23(1): 72-77.
- [7] 陈丽娟,李维京,张培群,等. 降尺度技术在月降水预报中的应用[J]. *应用气象学报*, 2003, 14(6):648-655.
- [8] Mean L O, Bogardi I, Giorgi F, et al. Comparison of climate change scenarios generated from regional climate model experiments and statistical downscaling [J]. *Journal Geophysics Research*, 1999, 104 (D6): 603-621.
- [9] Sailor D J, Li X. A semiempirical downscaling approach for predicting regional temperature impacts associated with climatic change[J]. *Journal of Climate*, 1999, 12: 103-114.
- [10] James Murphy. Prediction of climate change over Europe using statistical and dynamical downscaling techniques[J]. *International Journal of Climatology*, 2000, 20(5):489-501.
- [11] Ruping Mo, David M Straus. Statistical Dynamical Seasonal Prediction Based on Principal Component Regression of GCM Ensemble Integrations [J]. *Monthly Weather Review*, 2002, 130(9):2167-2187.
- [12] Busuioc Aristita, Deliang Chen, Cecilia Hellström. Performance of statistical downscaling models in GCM validation and regional climate change estimate; Application for Swedish precipitation[J]. *International Journal of Climatology*, 1999, 21: 557-578.
- [13] 丛爽. 面向 MATLAB 工具箱的神经网络理论和应用[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 1998: 1-15.
- [14] Mpelasoka F S, Mullan A B, Heerdegen R G. New Zealand Climate Change Information Derived by Multivariate Statistical and Artificial Neural Networks Approaches [J]. *Journal of Climatology*, 2001, 21(1): 415-433.
- [15] Winkler J A, Palutikof J P, Andresen J A, et al. The simulation of daily temperature time series from GCM output: Part II: Sensitivity analysis of an empirical transfer function methodology[J]. *Journal of Climate*, 1997, 10: 2514-2535.
- [16] Zorita E, Hughes J, Lettenmaier D, et al. Stochastic characterization of regional circulation patterns for climate model diagnosis and estimation of local precipitation [J]. *Journal of Climate*, 1995, 8: 1 023-1 042.
- [17] Hewitson B C, Crane R G. Climate downscaling: Techniques and applications[J]. *Climate Research*, 1996, 7: 85-95.
- [18] Chen D, Hellström C. The influence of the North Atlantic Oscillation on the regional temperature variability in Sweden: spatial and temporal variations [J]. *Tellus*, 1999, 51A (4):505-516.
- [19] Oshima Naoko, Hisashi Kato, Shinji Kadokura. An application of statistical downscaling to estimate surface air temperature in Japan[J]. *Journal of Geophysics Research*, 2002, 107 (D10):14-1-14-10.
- [20] Ruping Mo, David M Straus. Statistical dynamical seasonal prediction based on principal component regression of GCM Ensemble Integrations[J]. *Monthly Weather Review*, 2002, 130: 2 167-2 187.
- [21] 赵景波,杜娟,黄春长. 沙尘暴发生的条件和影响因素[J]. *干旱区研究*, 2001, 29(1):58-62.
- [22] Bger G. Expanded downscaling for generating local weather scenarios[J]. *Climate Research*, 1996, 7: 111-128.
- [23] Cavazos T, Hewitson B. Relative performance of empirical predictors of daily precipitation[A]. In: Rizzoli A E, Jake man A J, eds. *Integrated Assessment and Decision Support*[C]. *Proceedings of the 1st Biennial Meeting of the IEMSS 2002*, 2002, 2:349-354.
- [24] Brdossy A. Stochastic downscaling of GCM2 output results using atmospheric circulation patterns [A]. In: Feddes R A ed. *In Space and Time Scale Variability and Interdependencies in Hydrological processes* [C]. Cambridge: Cambridge University Press, 1995: 119-123.
- [25] Radan Huth. Statistical Downscaling of Daily Temperature in Central Europe[J]. *Journal of Climate*, 2002, 15(1):731-742.
- [26] Charles S P, Bates B C, Whetton P H, et al. Validation of downscaling models for changed climate conditions: Case study of southwestern Australia[J]. *Climate Research*, 1999, 12:1-14.
- [27] Conway D, Jones P D. The use of weather types and air flow indices for GCM downscaling [J]. *Journal of Hydrology*, 1998, 212-213: 348-361.