

# 统计降尺度基本原理及其研究进展

唐晓勤<sup>1</sup>, 王怡<sup>2</sup>, 刘国光<sup>1</sup>, 陈宏志<sup>2</sup>

(1. 四川省阿坝州南坪林业局, 四川 南坪 623400; 2. 四川省林业调查规划院, 四川 成都 610081)

**摘要:** 统计降尺度方法是目前国内外研究气候变化的一个新途径, 本文简要介绍了统计降尺度的发展历程、原理、概念等基本概况, 并从其发展、应用等方面介绍了国内外的研究状况及进展。

**关键词:** 统计降尺度; 气候变化; 生态环境

中图分类号: S716 文献标识码: A 文章编号: 1003-5508(2013)04-0107-04

## The Principle and Development of Statistical Downscaling

TANG Xiao-qin<sup>1</sup> WANG Yi<sup>2</sup> LIU Guo-guang<sup>1</sup> CHEN Hong-zhi<sup>2</sup>

(1. Forestry Bureau of Nanping County, Aba, Nanpin 623400, Sichuan;  
2. Sichuan Forest Inventory and Plan Institute, Chengdu 610081, Sichuan, China)

**Abstract:** Statistical downscaling is a new approach to studying the climate changes both at home and abroad at present. In this paper a brief description is given of the conception, principle, development and application of statistical downscaling.

**Key words:** Statistical downscaling, Climate change, Ecological environment

各国政府间气候变化委员会(IPCC)第三次评估报告关于21世纪气候预测的基本结论表明:21世纪全球平均气温将继续上升,其可能上升范围为1.4℃~5.8℃。无疑,气候变化将加剧阶段性和长期性的水资源短缺,进一步衍生出一系列的相关问题<sup>[1]</sup>。而每一次干旱、大降雨等气候变化和气候异常事件的发生,都会给生态环境造成巨大破坏,给人民生命和财产造成巨大损失,减缓当地经济的发展。为了应对气候变化带来的一系列挑战以及弄清气候变化的趋势和后果,目前很多学者从不同角度进行了大量的研究工作。而统计降尺度是目前国内外研究气候变化的一个新途径,常用来研究和评估区域气候变化的研究<sup>[2]</sup>。本文将主要介绍统计降尺度的基本概况以及其研究进展。

### 1 降尺度的发展历程

经典统计学方法作为短期气候预测的主要手段

优点在于在过去资料基础上直接研究气候系统过去的实际行为,揭示出呈现的规律,一直以来得到广泛应用,并取得了较大进展,预报准确率达到一定的水平<sup>[3]</sup>。但统计科学用于预报,存在一定的挑战,并在长期应用过程中逐渐显露其缺陷。首先用于气象预报的规律是通过归纳得到的,因为样本有限,所以是不完全归纳的结果,而不是通过假设演绎得到的。隐藏在现象背后更深层的东西,所以这种规律在总体样本改变时会发生改变。比如全球变暖是近百年来全球气候变化的重要特征之一,科学家们发现,在全球变暖的条件下,全球总降水量虽然变化不大,但水分循环加强,极端气候事件增多,其表现为干旱和洪涝的频率增加。在近几十年,东亚(包括中国)、非洲南部和撒哈拉地区干旱程度趋于增强,而美国、欧洲等地则是干(旱)湿(涝)都趋于增加<sup>[4]</sup>。在我们的短期气候预测实践中也体验到,现在降水量预报比以往更困难了,虽然月降水量的多年平均值变

化并不大,但对流性降水呈明显增多的趋势。其次统计学方法的缺陷在于用于预报的因子不稳定,相关随时间变化,特别对历史上出现极少的小概率事件预报能力差。由于人类活动的影响,气候系统的几大圈正在发生前所未有的改变,CO<sub>2</sub>浓度增加是最显著的人类活动影响结果之一,这不仅对全球温度产生影响,而且对其他气候要素也会产生深刻的影响<sup>[5]</sup>。这也是预报因子不稳定的原因之一。

于是人们把短期气候预测的希望寄托于动力学方法。动力学方法的优点在于它是在支配系统演变的物理规律的基础上,从因果制约上揭示其规律,正好克服了统计学方法的缺陷。目前 AOGCM 对于预估大尺度未来全球气候变化来说,是最重要也是可行的方法, AOGCM 能相当好地模拟出大尺度最重要的平均特征<sup>[6]</sup>。但是由于目前 AOGCM 输出的空间分辨率较低,缺少区域气候信息,很难对区域尺度的气候要素的变化做出合理的预测。目前有 2 种方法可以弥补 AOGCM 难以准确预测区域气候要素变化的不足,一是发展更高分辨率的 AOGCM 模式;二是降尺度方法。由于提高 AOGCM 的空间分辨率需要的计算量很大,相形之下降尺度方法是更为可选的方法。降尺度法基于这样一种观点:区域气候要素变化是以大尺度气候背景为条件的,它把大尺度、低分辨率的 AOGCM 输出信息转化为区域尺度的地面气候要素变化信息(如气温、降水),从而弥补 AOGCM 对区域气候预测的局限。

目前应用的降尺度法主要有两种:第一种是动力降尺度法;第二种是统计降尺度法。而统计降尺度法在实际业务中更为适用。统计降尺度法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 AOGCM 输出的大尺度气候信息,来预测区域气候要素的变化,这就是 PP 释用预报法;另一种统计降尺度预报法是 MOS 方法,利用模式预报产品或模式回算资料,普查相关因子,建立预报量与预报因子的关系式。

## 2 统计降尺度的基本概况

### 2.1 统计降尺度的基本概念

统计降尺度(SDSM)是一个基 Windows 界面对

当前和未来逐日气象要素进行单站情景集合的降尺度工具,由于大尺度环流模型和大气湿度等当地气象要素(如降水概率或降水强度)通常是线性关系,因此该工具也是一种可以被归类为随机天气发生器和转换函数(回归方法)相结合的技术方法。迄今为止,统计降尺度方法已经广泛应用于遍布欧洲、北美和东南亚等地的气象、水文及环境评价等诸多领域<sup>[7]</sup>。

### 2.2 统计降尺度的原理

统计降尺度法基于以下 3 个假设:(1)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;(2)大尺度气候场能被 GCM 模式很好地模拟;(3)在变化的气候情景下,建立的统计关系是有效的。SDSM 统计降尺度方法的原理是基于这样一种观点:区域气候变化情景是以大尺度(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 GCMs 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),从而弥补 GCMs 对区域气候预测的局限性<sup>[8]</sup>。模型的敏感性分析表明降尺度时存在许多敏感性因素,如季节的定义、数据标准化方法的选择、模型标定期的长度、函数形式和预报因子变量的选取等,同时还指出,即使应用同样的 GCM 预报因子变量,不同的环流机制和降尺度方法也会产生不同的区域气候变化情景。另外,SDSM 情景假定预报因子和预报量之间必须存在很强的相关,并且对选择的预报因子变量和降尺度应用的转换函数非常敏感。

### 2.3 统计降尺度方法

近年来许多气象工作者对统计降尺度释用技术进行了探索和研究,使动力气候模式产品释用技术在提高区域月气候要素预测能力方面显示出巨大潜力。动力气候模式产品释用使用的统计降尺度方法很多,概括起来主要有以下 4 种:

(1)从大尺度大气动力学方程组出发,推导出月降水距平百分率与月平均环流场的关系,从而建立单站月降水距平百分率预报方程,随后利用月动力延伸提供的 500hPa 平均环流场和实际降水资料反演出月降水距平百分率预报方程的系数,再根据动力气候模式预报的 500hPa 月平均集合预报场得到单站月降水距平百分率<sup>[9~12]</sup>。

(2)应用线性函数,建立大尺度气候场与区域气候要素的统计关系,经实况或再分析资料检验这

种统计关系的稳定性,再把这种关系应用到模式输出的大尺度气候信息,得到区域气候要素的预报值。最常用的线性函数就是线性回归方法,一般是建立大尺度气候场与地面气候变量场之间的多元线性回归方程<sup>[13]</sup>。还有一些回归方法,如逐步回归、主分量分析与多元线性回归相结合、主分量分析与逐步回归相结合等方法。另一种线性函数是典型相关分析(CCA),CCA方法在气候研究中已经得到广泛的应用<sup>[14,15]</sup>。近几年已经开始把CCA方法应用于统计降尺度<sup>[16]</sup>。如Busuioc等用EoF-CCA方法估计瑞典的降水;与CCA相似的奇异值分解(SVD)方法也开始应用于统计降尺度。Oshima等把PCA-CCA和SVD方法应用于日本预测当地的降水,对2种方法做了比较,结果表明SVD方法预测结果优于PCA-CCA。还可以使用一些逐级线性和非线性内差法来进行回归。

(3) 应用人工神经网络法(ANN)。人工神经网络是由大量的神经元广泛相互连接而成的复杂网络系统,它是在现代神经科学成果基础上提出来的,反映了人脑功能的若干基本特征,但并不是神经系统的逼真描述,而只是一种抽象的数学模型,是一种具有高速非线性的超大规模连续时间动力学系统。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。Mpelasoka等成功地用ANN模拟了新西兰地区的月平均气温和降水。Schof等对比了神经网络和回归方法在温度和降水的降尺度预测的效果。

(4) 应用环流分型技术,对与区域气候变化相关的大尺度大气环流进行分类,一般可以利用大尺度大气环流信息如海平面气压、位势高度场、气流指数、风向、风速、云量等对大气环流分型。常见的分型技术一般有两种:一种是主观的分型技术如Lambweather Type、Grosswetterlagen等,它的优点就是可以充分应用气象工作者的气象知识和经验积累,缺点就是其结果不能被重建,而且只能应用于特定的区域;另一种分型技术为客观分型技术,主要是以统计方法进行的分型技术,如PCA、CCA、平均权重串组法、PCA-平均权重串组相结合的方法、人工神经网络分类法和模糊规则为基础的分类方法等。把环流分型方法应用于统计降尺度时,首先应用已有的大尺度大气环流和区域气候变量的观测资料对与区域气候变量相关的大气环流分型,其次计算各环

流型平均值、发生的频率和方差分布以及在各天气型发生情况下区域气候量如气温或降水的平均值、发生的频率和方差分布,最后通过把未来环流型的相对频率加权到区域气候状态得到未来区域气候值。

#### 2.4 统计降尺度的优缺点

统计降尺度法的优点在于它能够把GCM输出中物理意义较好、模拟较准确的气候信息应用于统计模式,从而纠正GCM的系统误差,而且不用考虑边界条件对预测结果的影响,与区域耦合模式相比,计算量相当小,节省机时,从而可以很容易把统计模型应用于许多不同的GCM;缺点是需要有足够的观测资料来建立统计模式。而且统计降尺度方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>[9,10]</sup>。

### 3 统计降尺度的研究进展

统计降尺度法包括以下5个重要环节:(1)大尺度气候预报因子的选择,即筛选预报因子变量;(2)统计降尺度模式的选择和标定;(3)利用独立的观测资料检验模式;(4)把统计模式应用于GCM模式输出产生未来气候情景;(5)对未来气候情景进行诊断分析研究,包括输出数据统计分析、模型输出制图等<sup>[7,17]</sup>。预报因子的选择在很大程度上决定了预报未来气候情景的特征。因此,预报因子的选择是应用统计降尺度法过程中的一个非常重要的环节。近些年来,许多研究在降尺度气候变量(如气温、降水量)时仅选择大尺度环流因子(如位势高度场或海平面气压)作为预报因子,这样产生的气温或降水量变化在一定程度上很不真实。为了避免类似的问题,最近的研究一般选择更多的预报因子,如大尺度气温、气流指数、湿度变量等<sup>[18]</sup>。

国内陆续有学者利用统计降尺度方法进行中国区域气候的模拟和情景预估。如赵芳芳、徐宗学在对黄河源区未来地面气温变化的统计降尺度分析时,遵循预报因子选择的4个标准<sup>[19]</sup>,应用SDSM程序中的“筛选变量”和偏相关分析,从候选变量中筛选出适合对黄河源区日最高、最低气温进行降尺度分析,所用到的预报因子变量,这些变量具有明确的物理意义,并且对变量的典型特征(如方差)具有较小的残余误差。并借助基准期实测数据、NCE即

模拟数据和 SDSM 降尺度数据进行模型验证,表明 SDSM 可以较好地模拟日气温过程。范丽军等曾利用采用主分量分析(PCA)与逐步回归分析相结合的多元线性回归模型统计降尺度方法对华北地区 1 月和 7 月 49 个气象观测站的未来月平均温度变化情景进行预估;赵芳芳等同时应用 Delta 和 SDSM 方法建立未来 3 个时期黄河源区的气候变化情景(包括日降水量和最高、最低气温),但总体上统计降尺度方法应用于中国地区尚不多见,尤其缺少对极端气候事件的分析,有学者利用统计降尺度方法进行极端事件的预估应该有一定的发展前景。

#### 4 结论

目前还没有办法得知未来气候变化情景下站点之间的相关结构如何变化,这将影响到降尺度结果的可靠程度。由于大气环流模式模拟预测区域气候变化时总存在着不可避免的不确定性,因此 SDSM 仍是分析小尺度下未来气温变化可能情景的一种较为简单、经济的方法。

#### 参考文献:

- [1] 郝振纯. 气候变化对黄河源区水资源的影响[C]. 黄河水利委员会编, 黄河源区径流及生态变化研讨会专家论坛. 2004: 194 ~ 217.
- [2] 范丽军. 统计降尺度方法的研究及其对中国未来区域气候情景的预估. 北京: 中国科学院研究生院. 2006.
- [3] 陈桂英, 赵振国. 短期气候预测评估方法和业务初估[J]. 应用气象学报, 1998, 9(2): 180 ~ 185.
- [4] 李维京, 赵振国, 李想, 等. 中国北方干旱的气候特征及其成因的初步研究[J]. 干旱气象, 2003, 21(4): 1 ~ 5.
- [5] 秦大河, 丁一汇, 苏纪兰, 等. 中国气候与环境演变[M]. 科学出版社, 2005: 455 ~ 499.
- [6] 朱乾根, 林锦瑞, 寿绍文, 等. 天气学原理和方法[M]. 气象出版社, 2000.
- [7] Wilby R L, C W Dawson. Using SDSM Version 3.1 - A decision support tool for the assessment of regional climate change impacts [Z]. User Manual, 2004.
- [8] 范丽军, 符淙斌, 陈德亮. 统计降尺度法对未来气候变化情景预估的研究进展[J]. 地球科学进展, 2005, 20(3): 320 ~ 329.
- [9] 李维京, 陈丽娟. 动力延伸产品释用方法的研究[J]. 气象学报, 1999, 57(3): 338 ~ 345.
- [10] 陈丽娟, 李维京. 月动力延伸预报产品在三峡工程建设服务中的应用[J]. 气象, 1999, 27(3): 23 ~ 25.
- [11] 陈丽娟, 李维京. 月动力延伸预报产品的评估和解释应用[J]. 应用气象学报, 1999, 10(4): 486 ~ 490.
- [12] 林纤, 李维京, 陈丽娟. 月动力延伸预报产品在甘肃省的释用及评估[J]. 气象, 2004, 30(10): 22 ~ 37.
- [13] Sailor D J, Li X. A semiepiral downscaling approach for predicting regional temperature impacts associated with climatic change[J]. Journal of Climate, 1999, 12: 103 ~ 114.
- [14] James Murphy. Prediction of climate change over Europe using statistical and dynamical downscaling techniques [J]. International Journal. Climatology, 2000, 20(5): 489 ~ 501.
- [15] 张礼平, 杨志勇, 陈正洪. 典型相关系数及其在短期气候预测中的应用[J]. 大气科学, 2000, 24(3): 427 ~ 432.
- [16] 朱洁华, 豫家良. EOF-CCA 模型在区域降水预报中的试验研究[J]. 大气科学研究及应用, 1998, 1(1): 115 ~ 119.
- [17] Wilby R L, C W Dawson, E M Barrow. SDSM-A decision support tool for the assessment of regional climate change impacts [J]. Environmental Modelling Software, 2002, 17: 147 ~ 159.
- [18] Huth R. Statistical downscaling of daily temperature in central Europe [J]. Journal of Climate, 2002, 15: 1731 ~ 1742.
- [19] 赵芳芳, 徐宗学. 黄河源区未来地面气温变化的统计[J]. 高原气象, 2008, 27(1): 153 ~ 161.

## 重要启事

《四川林业科技》原邮箱——雅虎邮箱于 2013 年 7 月停用, 新的邮箱为: scslxh2004@163.com 请各位作者投稿至新邮箱。