

中国业务动力季节预报的进展^{*}

—| 汇 李清泉 李维京 罗 勇 张培群
张祖强 史学丽 刘| 鸣 王兰宁

(国家气候中心, 北京, 100081)

摘 要

利用动力模式开展季节到年际的短期气候预测, 是目前国际上气候预测的发展方向。自 1996 年以来, 经过 8 a 多的研制和发展, 国家气候中心已建立起第 1 代动力气候模式预测业务系统, 其中包括 1 个全球大气-海洋耦合模式(CGCM)、1 个高分辨率东亚区域气候模式(RegCM-NCC)和 5 个简化的 ENSO 预测模式(SAOMS), 可用于季节-一年际时间尺度的全球气候预测; 全球海气耦合模式与区域气候模式嵌套, 可以提供高分辨率的东亚区域气候模式制做季节预测。

CGCM 对 1982~2000 年夏季的历史回报试验表明, 该模式对热带太平洋海表面温度和东亚区域的季节预测具有较好的预测能力。RegCM-NCC 的 5 a 模拟基本上能再现东亚地区主要雨带的季节进展。利用嵌套的区域气候模式 RegCM-NCC 对 1991~2000 年的夏季回报表明, 在预报主要季节雨带方面有一定技巧。2001~2003 年, CGCM 和 RegCM-NCC 的实时季节预报与观测相比基本合理。特别是, 模式成功地预报了 2003 年梅雨季节长江和黄河之间比常年偏多的降水。

SAOMS 模式系统的回报试验表明, 该系统对热带太平洋海表面温度距平有一定的预报能力, 模式超前 6~12 个月的回报与观测的相关系数明显高于持续预报。1997~2003 年, SAOMS 多模式集合实时预报与观测的相关系数达到 0.7, 合理地预报了 El Niño (1997/1998 年) 和 La Niña (1998/2000 年) 事件。

关键词: 大气环流模式, 海气耦合模式, 区域气候模式, ENSO 预报, 季节预报。

1 引 言

20 世纪 60 年代, 人们通过对海洋、大气进行观测和诊断研究发现了耦合气候系统的某些现象的可预报性^[1,2]。此后, TOGA(热带海洋全球大气)试验揭示出 ENSO 是最强的气候信号, 为年际与季节预报提供了坚实的物理基础^[3]。进行季节-一年际时间尺度短期气候预测的方法可以分为两类: 一类是基于资料统计分析的统计方法, 另一类是基于气候系统变化规律的动力方法, 即气候模式预测方法。利用气候模式开展季节到年际的短期气候预测, 是当前发达国家气候预测的主流和国际上的发展方向。在实际工作中, 有两种方法制作动力季节预报。第 1 种方法是两步法(two-tiered approach)^[4]。这种方法的步骤是, 先用统计或动力模式得到 SST 预

报, 然后把预报的 SST 作为大气总环流模式(AGCM)低层边界条件, 利用 AGCM 获得气候预报。第 2 种方法是耦合大气-海洋总环流模式(CGCM)。真实世界中大气和海洋是一个耦合系统, 因此用 CGCM 做预报在物理上更合理。但是, 运行 CGCM 需要大量的计算机资源, 而且还存在与耦合相关的一些问题。

1985 年, 世界气候研究计划(WCRP)启动了热带海洋-全球大气计划(TOGA)^[5]。TOGA 计划的成果促使了海洋-大气模式的发展和全球海洋观测系统的建立, 如热带太平洋海洋浮标阵(TOGA-TAO)的设置^[6~8], 并用模式开始制做实时季节-年际时间尺度的 ENSO 与气候预报^[9~14]。气候变率和可预报性研究计划(CLIVAR)的一个重要目标是发展热带外地区短期气候(季节-年际)预测。一些

^{*} 初稿时间: 2004 年 7 月 30 日; 修改改稿时间: 2004 年 8 月 25 日。
资助课题: 国家科技部“九五”加强课题(96-908-06-3)。

国际组织建立专门的国际研究计划和相应的气候研究机构发展数值气候模式, 制做短期气候预报。美国、日本、加拿大、澳大利亚、英国、韩国等都成功地建立了季节-年际预报系统并应用在业务或试验业务中^[14~18]。1996 年, 国际气候预测研究院 (IRI) 在 Lamont - Deherty Earth Observatory (LDEO) 和 Scripps Institution of Oceanography (SIO) 成立^[19]。IRI 的任务是改进、制作、应用全球季节-一年际气候变率的气候预报。

1996 年, 在 WMO 的气候变率和可预报性计划 (CLIVAR) 中, 季节-年际预测工作组 (WGSIP) 提出了动力季节预报模式比较计划 (SMIP)。澳大利亚气象局研究中心 (BMRC)、俄罗斯数值数学部 (DNM)、法国国家气象研究中心 (CNRM)、日本气象厅 (JMA)、南非天气局 (SAWB) 参加了 SMIP。美国的海洋-陆地-大气研究中心 (COLA)、国家大气研究中心 (NCAR) 和国家环境预报中心 (NCEP) 组织了动力季节预报 (DSP)。在欧洲, 欧洲的中期天气预报中心 (ECMWF)、法国气象局 (Meteo - France)、法国电力部 (Electricite de France) 和英国气象局 (UKMO) 参加了季节-一年际时间尺度的气候变化预报 (PROVOST)。在这些项目中, 都是用观测的 SSTs 强迫 AGCMs 做季节集合预报试验来估计可预报性的上限。目前正在实施 DEMETER 计划, 用超级集成方法 (MME) 制作季节-一年际动力预报。

在过去 10 a 里, 区域气候模式在区域气候和气候变化模拟方面取得了很大的进展^[20~23]。许多关于季节时间尺度可预报性的研究表明, 在一定的条件下季节气候具有潜在的可预报性。例如, 当强迫大气的边界条件 (如海表面温度和陆表面条件) 出现强扰动时, 一个季节里发生的不同天气事件的概率会出现显著偏移或异常^[12], 在这种情况下, 如果很好地预报了有关的边界条件以及气候模式对这些外部强迫的响应, 是能够得到好的季节预报结果^[24, 25]。但在有些地区、有些条件下, 可预报性较低, 如许多对动力季节预报技巧的评估表明亚洲夏季风区的季节预报技巧很低^[26]。好的 AGCM 或 CGCM 预报是利用嵌套的区域气候模式系统进行有限区域的气候预报的重要前提条件。最近, Leung 等^[27]强调了区域气候模式用于季节气候预报的重要性。发展区域气候模式的一个主要原因是为了不断改进与细化 AGCM 或 CGCM 制作的动力季

节预报, 为区域模式预报提供边界条件。

最近 10 a, 中国利用全球环流模式作降水的季节和年际预报已经取得了很大的进展。中国科学院大气物理研究所从 1988 年起开展了用气候模式作跨季度 (半年) 或更长时效的降水距平预测试验^[28~31]。当时的预测方案主要有 3 种: (1) 直接将大气环流模式和大洋环流模式耦合, 但为了节省计算时间, 采用太平洋海洋环流模式, 其余海域的海表温度距平取为已知; (2) 取初始时刻以后的海表温度距平等于初值, 为大气环流模式提供边界条件, 只积分大气环流模式来作气候预测; (3) 用别的模式或方法先预测未来的海表温度距平, 再用它作为边界条件, 积分大气环流模式。1995 年, 中国科学院大气物理研究所建立了第 1 代 IAP 跨季度数值气候预测系统, 它包括初值场及初值形成 (资料同化) 方案、对耦合或非耦合模式的积分、预报订正、集合预测 4 个部分。后来, 中国科学院大气物理研究所对第 1 代 IAP 跨季度数值气候预测系统在陆面过程模式、海洋模式、预测海表温度距平的方法、初值形成、预测订正方法、集合方法等方面作了改进, 建立了第 2 代 IAP 跨季度数值气候预测系统。从 1998 年起, 正式启用这个新版本作实时的跨季度雨量距平预测。回报和预报检验表明, IAP 跨季度数值气候预测系统对中国夏季旱涝形势有着较好的跨季度预测能力^[31]。

但是, 国内几乎所有以前工作都是采用全球大气环流模式 (AGCM) 或全球 AGCM 耦合太平洋海洋环流模式作季节-一年际预测。简化的全球大气-海洋模式直接用来做短期气候预测。1996~2000 年, 在国家科技部重点项目“中国短期气候预测系统的研究”的支持下, 国家气候中心与中国科学院等单位合作发展了一个具有较高分辨率和较复杂的物理过程的全球大气-海洋耦合模式。这个模式在 IBM SP 计算机上已经连续积分 100 多年。耦合模式积分结果基本与观测一致, 没有明显的气候飘移^[32]。2001 年以来, 国家气候中心又针对该模式系统, 进行了业务化工作, 从而建立起中国第 1 代气候模式预测业务系统, 并在此基础上, 形成了一套包含月、季和年时间尺度的模式预测业务。起初, 只在每年的 3 月下旬制作当年汛期 (6~8 月) 的季预测; 2001 年 10 月开始制作年度预测, 预测未来冬、春、夏 3 个季节的气候趋势; 2003 年春季起, 随着计算机资源的增强, 又增加到每个季节都制作预测; 同时, 月预

报也开始每旬滚动制作。这个 CGCM 被用来做实时试验季节预报, 预报结果提供给全国气候预报会商会议和中国气象局、日本气象厅、韩国气象局联合举办的东亚季风季节预报会议。2001 年起, 中国国家气候中心的区域气候模式(RegCM-NCC) 开始进行业务预报试验^[33], RegCM-NCC 与全球环流模式 CGCM 嵌套耦合, CGCM 为区域气候模式提供初始条件和随时间变化的侧边界条件。目前, 利用这种全球模式嵌套区域模式制作季节预报的工作还不多。通过试验预报, 得到了许多宝贵的经验。

2 季节预报的主要方法

中国季节预测系统由气候模式子系统、统计方法子系统和产品子系统 3 个部分构成。其中模式子系统由资料同化和气候模式两部分组成。气候模式部分包括全球大气-海洋耦合模式、高分辨率东亚区域气候模式、太平洋-印度洋海盆模式和简化的 ENSO 预测模式, 可用于季节-年际时间尺度的全球气候预测; 全球海-气耦合模式与区域气候模式嵌套, 可以提供高分辨率的东亚季节预测。

2.1 全球大气-海洋耦合模式

全球大气-海洋耦合模式由国家气候中心和中国科学院大气物理研究所合作研制, 是由全球大气环流模式(T63L16) 与全球海洋环流模式(L30T63) 通过日通量距平耦合方案在开洋面上逐日耦合而形成的, 被称作 CGCM-1.1。

T63L16 全球大气环流模式是一个较高分辨率的大气环流模式^[32]。该模式包含大地形、辐射、大尺度降水、积云对流、陆面过程等较全面的物理参数化方案, 在计算上采用半隐式时间积分格式。模式源于国家气象中心的中期天气预报业务模式^[34]。模式水平方向采用三角形截断, 取 63 波(近似于 $1.875^\circ \times 1.875^\circ$), 垂直方向分成 16 层(模式顶层约为 25 hPa, 模式底层约为 996 hPa), 采用 p - σ 混合坐标(η 坐标)。

这个模式是在对原中期数值预报模式改进的基础上发展而成。例如, 将参考大气方案和质量守恒方案加入到大气模式中, 以减少大地形造成的虚假误差和保证长期与稳定积分; 用逐步循环订正法对模式初值中存在的负水汽问题进行了特别处理, 克服了负水汽现象; 采用半拉格朗日方法计算水汽输送; 辐射采用 Morcrette 方案^[35]。此外, 把原模式中固定的气候边界条件(海表面温度、土壤深层温度和

湿度在模式积分过程中保持月平均值), 改为由月平均场插值到每一天, 增加了与气候相关的下边界条件。T63L16 大气模式仍使用原中期预报模式的一些物理参数化方案。其中, 对流方案是 Kuo 参数化方案^[36], 重力波拖曳参数化采用 Palmer 方案^[37]的修改型, 陆面过程采用基于地表热量平衡的陆面模式, 土壤分为 3 层, 考虑了植被对地面蒸发的作用以及与雪盖有关的感热通量作用。

L30T63 全球海洋环流模式是在中国科学院大气物理研究所(IAP) 大气科学与地球流体力学国家重点实验室(LASG) 的 20 层海洋模式的基础上发展起来的^[38]。模式的水平分辨率约为 $1.875^\circ \times 1.875^\circ$, 垂直方向分 30 层。模式采用斜压原始方程组、 η 垂直坐标系统和自由海面^[39]。海水状态方程是根据一个三阶多项式拟合的 UNESCO 公式计算的^[40,41]。海洋表面热量通量的计算采用 Haney 型海表热通量公式^[42]。为了改进海洋主温跃层的模拟, 采用了 Gent 和 McWilliams 发展的沿等密度面的混合方案^[43]。在 $30^\circ\text{N} \sim 30^\circ\text{S}$ 的热带海洋上层, 为了改善对赤道温跃层的模拟, 引进 Pakanowski 和 Philander 的海洋上层垂直混合方案^[44]。采用了 Rosati 太阳短波透射的参数化方案^[45], 但根据模式需要, 修改了有关参数。大洋表面边界条件是一种牛顿张弛型的边界条件。在模式积分过程中, 采用了蛙跃积分格式和正、斜压分离-耦合算法, 正压、斜压、温盐的时间步长不同。

模式海冰的生消是根据 Parkinson 和 Washington 原理^[46]重建的一个热力学海冰模式来计算的。当模式预报的 SST 达到冰点时出现海冰。由于考虑了“水道”, 有海冰覆盖的网格中的海温主要受海气之间通过水道交换的热量所控制, 因此, 模式中不仅考虑了海冰厚度的变化, 也考虑了海冰面积和水道面积的相互消长。

全球大气环流模式 T63L16 与全球海洋环流模式 L30T63 通过日通量距平耦合方案在开洋面上的逐日耦合形成了全球海气耦合模式。耦合模式中没有考虑海洋模式和大气模式之间的淡水通量交换^[47]。为了提高热带地区的水平分辨率, 该海洋模式可以与太平洋-印度洋海盆模式相嵌套(分辨率为 $0.3 \sim 0.5$ 纬度), 这可以改进 El Niño 与暖池地区的海洋预报^[48]。

2.2 高分辨率东亚区域气候模式

中国气象局国家气候中心的 RegCM_NCC 是

1996~2000 年在美国大气研究中心(NCAR)的第 2 代区域气候模式 RegCM2^[49]基础上发展起来的。与 RegCM2 相比, RegCM_NCC 模式改进了陆面过程、积云对流、辐射过程、边界层和地形处理等物理过程参数化方案。主要包括: (1) 陆面过程方面, 改进了陆面特征参数(地面植被、粗糙度长度和地面反照率等)的赋值方法, 更新了大气和下垫面的交换系数算法, 对原来模式中采用的生物圈-大气传输方案(BATS)中的土壤温度和土壤湿度的求解方法以及积雪过程的描述方案都进行了改进, 陆面过程改进之后的模式对于不同年份的异常降水过程中的陆面特征量和降水的模拟效果有了显著的改进; (2) 积云对流过程方面, 在 RegCM2 已有的两个方案选项的基础上, 又增加了两个选项, 即修正的质量通量积云对流参数化方案(MFS)和 Betts-Miller 对流参数化方案, 模拟结果表明, 以上两种方案在模拟强降水过程方面效果较好, 如对于 1991 年夏季江淮地区的特大降水过程与 1994 年华南特大暴雨过程的模拟效果都比原模式更为合理; (3) 模式中利用 CCM3 的辐射方案取代原来的 CCM2 辐射方案; (4) 对于边界层过程和地形处理方案, 采用了湍流动能(TKE)闭合方法以及地形误差订正、包络地形和重力波拖曳方法。此外, 模式的嵌套方案也做了改进。模式范围包括青藏高原的整个中国和西太平洋地区, 水平分辨率为 60 km。这个分辨率可以包括比较复杂的陆面特征、地表非均匀性和物理过程。在模式范围内, 这种较高分辨率的空间尺度, 可以模拟和预报许多区域和局地异常事件和现象。对上述各改进方案的组装和整体调试, 并进行了数值试验的检验(包括针对中国某一特定地区, 如江淮流域、华北和东北地区等的模拟研究, 以及涵盖整个青藏高原在内的东亚区域模拟试验), 结果表明 RegCM_NCC 不仅可以合理地模拟不同地区的环流特征, 而且可以较合理地再现东亚季风区降水的时空演变特征^[50]。该模式已成为模式预测系统中针对东亚区域进行预测的重要工具。

RegCM_NCC 与全球耦合模式 CGCM 嵌套。耦合模式为区域模式提供初始条件和随时间变化的侧边界条件。目前, 嵌套只用了单向嵌套, 没有来自区域模式的反馈作用; 目前提供的是单个成员预报的结果。以后将建立集合预报和订正系统。利用 NCEP/NCAR 再分析资料作为区域气候模拟的初始和边界条件, 用该模式进行了 10 a 夏季(6~8 月)

和连续 5 a 的模拟试验。另一方面, 也通过与耦合模式单向嵌套, 用区域气候模式进行了 10 a 夏季的回报和 3 a 夏季的实时预报试验。

2.3 ENSO 模式

在引入美国哥伦比亚大学 Lamont-Doherty 地球现象台模式(ZC87)^[51]和英国牛津大学模式^[52]的基础上, 通过调整和改变相关参数、热通量项、资料初始化方案等, 建立了包含 NCCo, NCCn, NCC/NIM, NCC/STI 和 CAMS/NJU 5 个模式在内的一组专门用于预测热带太平洋海表面温度距平和 ENSO 过程的简化海气耦合模式系统(SAOMS)^[53]。由 SAOMS 模式系统预测的结果实际上是多模式集合预报结果。NCC, NIM, STI, CAMS, NJU 分别是国家气候中心、南京气象学院、上海台风研究所、中国气象科学研究院、南京大学的英文缩写。NCCo 模式是在 ZC87 模式基础上发展起来的。一些计算函数被改变, 建立了模式的前、后处理过程, 采用了一个新初始化方案, 即在初始化过程中, 用观测值代替模式计算的海表面温度异常和风应力异常^[54]。NCCn 模式是在 NCCo 模式基础上改进了海洋部分的上翻和平流过程而建立的^[55]。NCC/STI 模式是在不包含初始化部分的 NCCo 模式基础上, 增加伴随同化而建立的^[56]。NCC/NIM 模式是在英国牛津大学模式基础上发展起来的, 改进了模式大气部分的气候背景和热通量计算^[57]。CAMS/NJU 模式的动力框架也是 ZC87, 它包括热带太平洋、印度洋和大西洋 3 个部分, 印度洋和大西洋的参数是根据试验选取的^[58]。上述模式可以提供提前 0.5~1.5 a 的 ENSO 预测信息。

3 模式性能的检验和回报

中国位于东亚季风区, 季风的年际变率非常显著。夏季(6~8 月)常发生洪涝与干旱灾害。因此, 夏季气候异常的季节一年际预报(如降水和温度预报)特别重要。为系统性地检验模式系统的预测效果, 进行了历史回报试验和检验。夏季降水预报是中国短期气候预测的重点。为了检查模式的预报能力, 用 CGCM 和 RegCM_NCC 进行回报试验。CGCM 回报试验是用 3 个成员作出的简单集合预报, 初始场日期为 1982~2000 年 2 月 8, 9, 10 日, 模式积分到 8 月 31 日。用以比较的降水资料是 1951~2003 年中国 160 个站月实测降水量。模式降水量被插值到 160 个站上, 以便与观测值比较。还使

用了美国的 GPCP 月降水资料 and 最优插值的海表面温度资料^[59]。在检验中, 使用 5 个指数定量评估回报结果: 业务预报评分(P)、相对于气候预报的技巧评分(SS)、距平符号正确率(R)^[60]、距平相关系数(ACC)^[61]和均方根技巧评分(RMSSS)^[62]。

3.1 CGCM 的模拟和回报

在影响大气环流和降水的外部强迫因子中, 海表面温度异常(SSTA) 尤其是热带太平洋 SSTA 最受关注。海-气耦合模式的一个特点是模式自身通过内部的大气-海洋相互作用的物理过程计算出每一时间步的海表面温度和海表面温度异常(SSTA)。模式海温预报情况也直接关系到大气环流及其他要素的预报。从图 1 中可以看到, CGCM 回报的海表

面温度距平与观测值的相关系数在太平洋、印度洋、大西洋的大部分地区都为正相关, 特别是热带太平洋上相关系数比较高。因此耦合模式对这些地区的海表面温度的回报效果比较好(图 1)。

在亚洲季风区(图 2), 观测和预报夏季降水异常百分率的正相关区位于印度尼西亚、菲律宾、中国的东南部及其以东的西太平洋地区, 中心值达到或超过 90% 信度。在中国(图 3), 模式对东北地区的北部、内蒙古、河套地区、新疆东部、长江以南的部分地区(如福建、广东和广西)的预报准确率相对较高, 相关系数的中心值能达到 90% 信度。在全国 160 个台站中, 有 69 站的降水距平百分率的相关系数大于零, 占 43.12%。

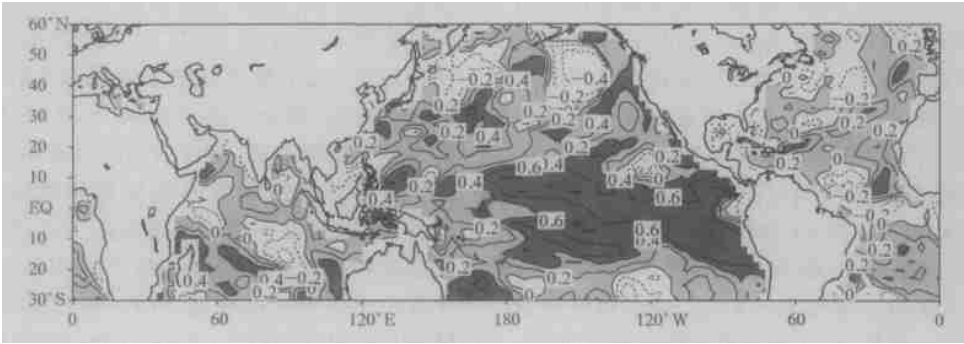


图 1 CGCM 回报和观测的海表面温度距平相关系数分布
(阴影区为正相关, 深阴影区为相关大于 90% 信度)

Fig.1 Distribution of correlation coefficients between CGCM predicted and observed sea surface temperature anomalies
(Shadow indicates positives ACC. Dark shadow indicates ACC higher than 90% confidence)

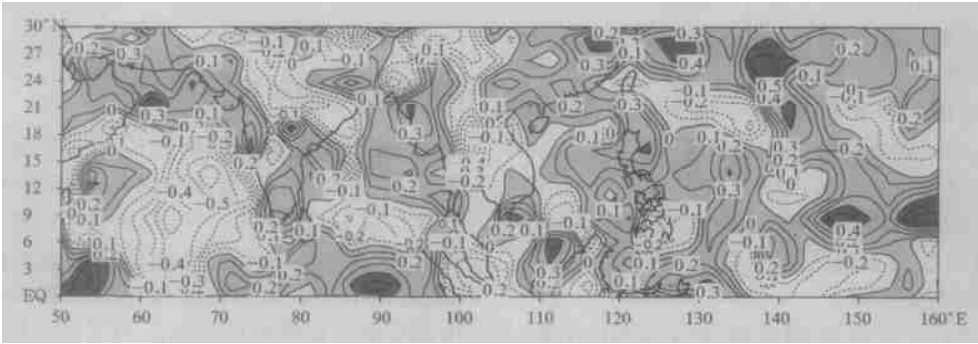


图 2 1982~ 2000 年 CGCM 回报和 GPCP 观测的亚洲—太平洋季风区
(0~ 30° N, 50~ 160° E) 夏季降水异常百分率的相关系数
(阴影区为正相关, 深阴影区为相关大于 90% 信度)

Fig.2 Distribution of correlation coefficients between CGCM predicted and GPCP summer rainfall anomaly percentage over Asian Monsoon Area(0– 30° N, 50– 160° E) during 1982– 2000
(Shadow indicates positives ACC. Dark shadow indicates ACC higher than 90% confidence)

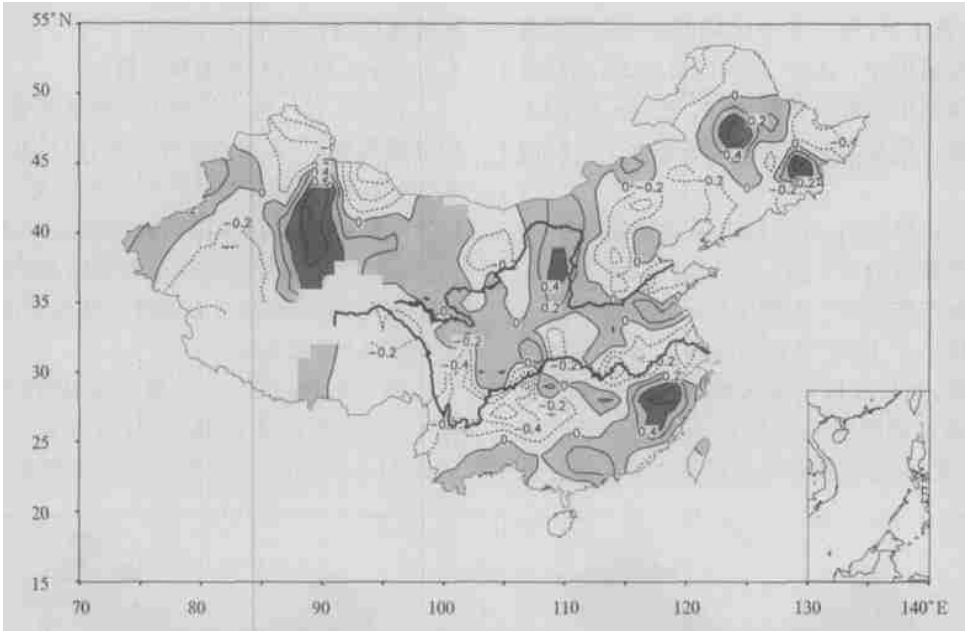


图3 1982~ 2000年 CGCM 回报和观测的中国夏季降水异常百分率的相关系数
(浅阴影区为正相关, 深阴影区为相关大于 90% 信度)

Fig.3 Distribution of correlation coefficients between CGCM predicted and observed summer rainfall anomaly percentage over 160 stations of China during 1982- 2000
(Light shadow indicates positives ACC. Dark shadow indicates ACC higher than 90% confidence)

中国地域广阔, 不同地区夏季风降水特征和机制有所不同, 因此中国降水有明显的地域性。为了检验模式在不同地区预报技巧, 把中国划分为成几个区域。首先, 沿 105°E 把中国分为东部(105°E 以东)和西部(105°E 以西)。进一步, 再重点选取 5 个子区域: 东北(42°N 以北, 110°E 以东)、河套(34~44°N, 100~ 110°E)、华北(34~ 42°N, 105~ 120°E)、华南(22~ 30°N, 100~ 120°E)、江淮地区(26~ 34°N, 105~ 120°E), 这些是东亚季风主要影响的地区, 旱涝灾害较常发生。

如表 1 所示, 每种指数评估中国不同区域夏季降水回报结果的结果有一定差异。5 个子区域的 P

评分都高于 60。中国西部和东北地区的 R 评分大于 50, 其他区域的 R 评分接近 50。因此, 模式较好地预报了每个子区域的降水趋势。在 5 个子区域中, 河套地区的 RMSSS 和 ACC 最高, 其次是华北。东北和江淮地区的 ACCs 相对较低, 分别是- 0.10 和- 0.05。因此, 模式预报技巧在河套和华北地区比在东北、华南和江淮地区高。模式预报技巧在河套和华北地区比较好并不是偶然的, 是有一定的物理基础的。以前的统计分析表明, 这些地区的夏季风降水变化与 ENSO 事件和亚洲夏季风 30~ 60 d 季节内振荡有显著相关^[63]。

SS 是相对于气候预报 (即距平为零) 的技巧评

表1 1982~ 2000 年 GCCM 回报夏季中国不同地区降水异常百分率的评估
Table 1 Assessment on GCCM predictions of summer averaged rainfall anomaly percentage in different sub-regions of China during 1982- 2000

区域	P	R	RMSSS	ACC	SS
东部	62.64	49.08	59.26	- 0.03	7
东北	64.78	51.63	59.49	- 0.10	11
河套	66.25	49.82	65.62	0.11	7
华北	61.53	47.56	59.56	0.07	4
华南	64.01	49.43	55.50	0.05	8
江淮	61.59	48.89	45.53	- 0.05	8
西部	67.64	50.00	58.42	0.09	9

分。因此,在表 1 中,每一个子区域的正 SS 表明模式预报比气候预报好。此外,还可以看到,模式预报技巧在中国西部也不低。西部的 R, P, SS 和 ACC 都比东部的高。只有西部的 RMSSS 略低于东部的 RMSSS。

作为一个回报个例,这里给出模式预报的 1998 年夏季降水异常百分率。这一年,长江流域发生了持续性暴雨和严重洪涝。如图 4 所示,与观测相比,模式基本预报出了 1998 年夏季全国大部分地区降水偏多的形势,如长江以南地区的降水正距平。模式预报新疆地区的洪涝和干旱也与观测一致。但是,模式对东北、内蒙以及长江和黄河之间的部分地

区降水的预报并不好。

3.2 RegCM-NCC 模拟和回报

目前已有一些工作利用区域气候模式连续几年积分模拟欧洲、美国和东亚气候,但只有对美国 and 东亚气候有较长时间模拟^[64, 65]。Lee 等^[65]对东亚季风区气候进行了 10 a 模拟。应该指出,他们使用的 RegCM 2 可以较好地再现东亚季风系统的大尺度特征。但是,他们模拟的 6 月降水在模式范围中部(中国中部地区)明显偏多。

图 5 是 RegCM-NCC 模拟和观测的中国东部地区 10 d 平均降水的纬度时间变化。可以看到, RegCM-NCC 比较真实地再现了主要雨带的季节移

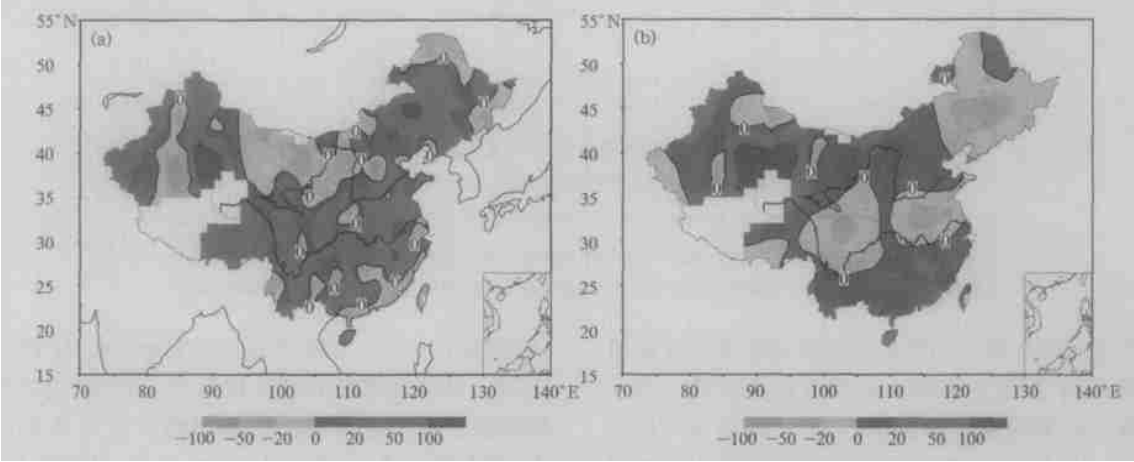


图 4 观测(a)和CGCM 回报(b)的 1998 年夏季降水异常百分率 (%)

Fig. 4 Observed (a) and predicted (b) summer rainfall anomaly percentage in 1998 (%)

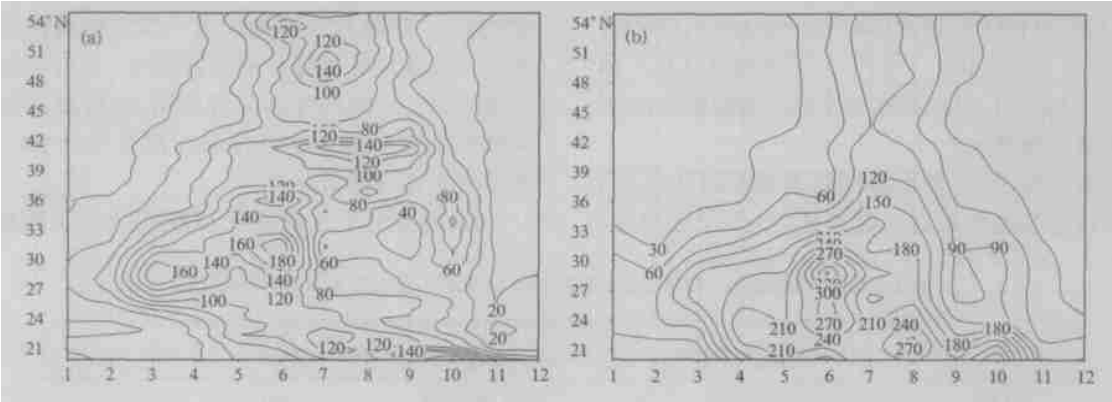


图 5 110~ 120°E 范围平均(1998~ 2000 年)的 10 d 平均降水的季节进展^①

(a. 模拟, b. GPCP 观测)

Fig. 5 Seasonal march of the 10-day mean precipitation averaged for 110– 120°E

((a) Simulated with RegCM_NCC; (b) observation of GPCP)

① 李巧萍,丁一汇. 东亚气候的多年模拟. 将投气象学报, 2004.

动(图 5b)。例如,模拟的主要季风雨带第 2 次到达长江流域的时间与观测一致(图 5a),降雨量也比较合理。但是,模式模拟的长江流域前汛期降水和 7~8 月华北降水偏多,华北和东北的雨季偏长。

图 6 是 10 a(1991~2000 年)平均观测、模拟和回报的汛期降水。很明显,模拟降水(图 6b)与观测非常相似(图 6a),中国降水量从东南沿海地区向西北逐渐减少。回报降水(图 6c)的主要雨带在华南和长江流域,与实况有一定偏差。在东北、内蒙西部和青藏高原的南部回报降水也存在明显的系统误差,可能是这些地区的地形起了重要作用。西北、河套和长江与黄河之间的地区回报降水误差较小。总的来说,模拟和回报降水都比观测降水大。其他研究,如 Lee 等^[65]和 Kato 等^[66]也得到区域模式模拟的东亚降水偏大。Leung 等^[67]指出这可能主要与

云—辐射参数化的问题有关。回报降水(图 6c)与模拟降水(图 6b)有差别、且不如模拟降水好,这说明边界条件对区域模式结果有显著影响,因此改进全球环流模式输出结果是动力降水尺度预报的一个重要方面。

表 2 是中国各分区模拟和回报的平均降水距平相关系数。值得注意的是,模拟的结果在中国东部的 ACC 比西部的高,而回报结果则相反,这可能是大尺度边界强迫作用的结果(见表 1)。在东部地区,华南和华北 ACC 比江淮地区的 ACC 高。由于江淮地区经常发生严重、持续时间较长的洪涝灾害,因而需要进一步改进这个地区的预报。东北地区 ACC 较高是由于这个地区西部降水模拟得比较好。比较模拟和回报结果,发现除了中国西部,在其他地区前者皆比后者好。

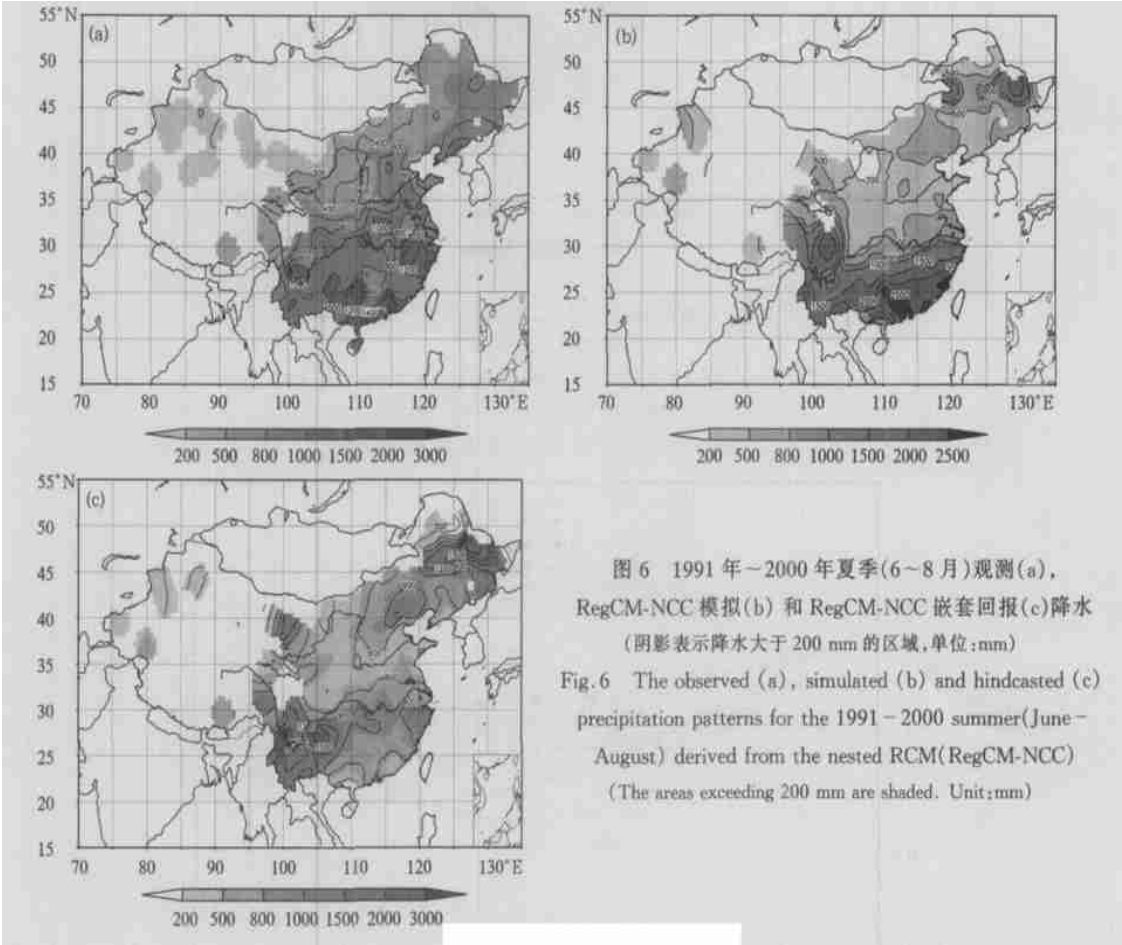


表 2 1991~2000 年中国不同区域平均降水距平相关系数(ACC)

Table 2 The mean temporal ACC over different sub- regions over China for 1991-2000

ACC	西部	东部	华南	江淮	华北	东北
模拟	0.031	0.132	0.148	0.05	0.167	0.174
回报	0.04	0.01	0.06	0.01	-0.05	0.12

图 7 是 1991~ 2000 年回报与观测降水距平时间相关系数 ACC 的地理分布。可以看到, 在中国东部大部分地区 ACC 为正, 华北和东北大部分地区 ACC 较高, 这与 CGCM 的回报结果一致。与 CGCM (图略) 相比, 长江流域的 ACC 有很大提高, 这一地区出现大范围的正相关区, 特别是长江中下游地区。这表明由于区域气候模式具有较高的空间分辨率和

较好的物理过程参数化方案, 嵌套的区域气候模式可以改进模式在某些区域的性能。

3.3 ENSO 回报和模拟

利用 SAOMS 模式系统进行了 1980~ 1996 年的回报试验, 并与观测和持续预报相比较。从图 8 可见, 模式系统对热带太平洋海表面温度距平有一定的预报能力。模式超前 6~ 12 个月的预报与观测

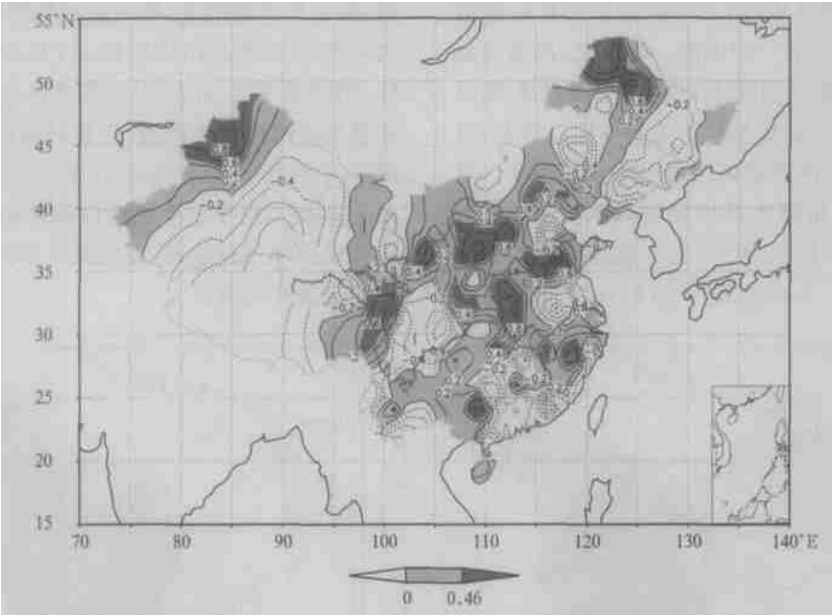


图 7 观测和 RegCM_NCC 模拟降水距平相关系数
(阴影表示正相关)

Fig. 7 Anomaly correlation coefficient between observed and simulated precipitation by RegCM_NCC
(The positive correlation is represented by shaded area)

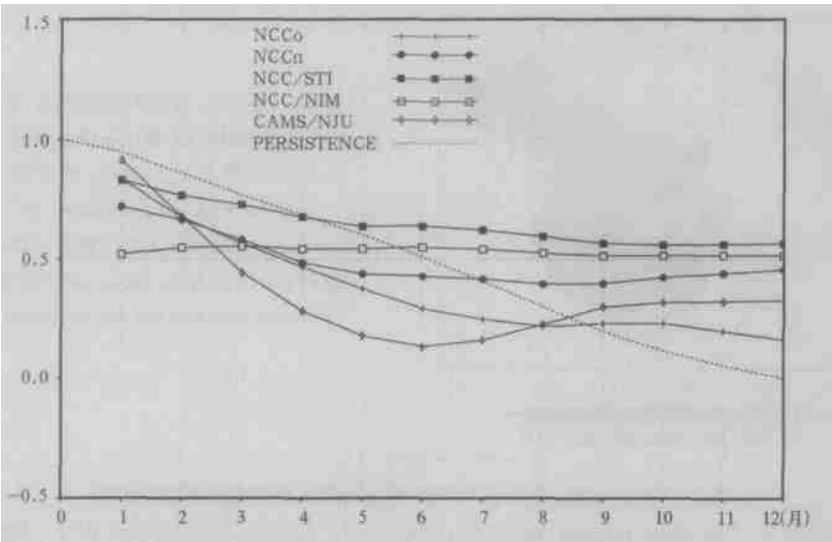


图 8 1982~ 1996 年 SAOMS 预报与观测的 Nino3 区海表面温度距平的时间相关系数

Fig. 8 Temporal correlation coefficients between observed and predicted Nino3 SSTA in 1982- 1996 by the SAOMS

的相关系数明显高于持续预报。特别是, 所有模式超前 9~12 月的预报技巧均高于持续预报。在这个回报试验中, 有 3 次 El Niño 事件 (1982/1983, 1986/1987, 1991/1992 年) 和 3 次 La Niña 事件 (1984/1985, 1988/1989, 1995/1996 年)。因此, 图 8 反映了 SAOMS 模式系统对 ENSO 事件的预报能力。

4 试验性实时预报

在一系列模式回报试验以后, 动力气候模式从 2001 年春季开始实时进行试验性业务预报。CGCM 制作季节预测的集合预报成员数从 2001 年的 1 个增加到 2003 和 2004 年的 8 个。RegCM_NCC 采用单成员预报。

几年的实时预报试验表明, 模式系统的预测效果较好。CGCM 和 RegCM-NCC 合理地预报了 2001 年夏季中国沿海地区的异常强降水以及 2002 年夏季长江中下游以南地区降水偏多、华北地区降水偏少的降水分布。特别是 2003 年夏季, 模式成功地预报出主要多雨带位于长江和黄河之间的地区, 这与观测是一致的(图 9)。这一年的梅雨季, 淮河出现了异常强的持续暴雨与严重洪水。

与 CGCM 和 RegCM_NCC 相比, 简化海气耦合模式预报系统的实时预报试验开始得比较早。1997 年国家气候中心便开始利用 SOAMS 做热带太平洋海表面温度异常预报^[68]。图 10 是 1997~2003 年 SAOMS 多模式集合预报的 Niño3 区海表面温度距平与观测的比较。多模式集合预报是 5 个模式分别起始于 1997~2003 年 1 月。可以看到, 模式系统合理地预报了 El Niño (1997/1998 年) 和 La Niña (1998/2000 年) 事件。5 个模式中, 只有一个模式 (NCC/STI) 预报出 2002 年的 El Niño 事件, 其他 4 个模式没能预报出这次事件。因此, 2002 年初, 多模式集合预报也没能预报出 2002 年的暖事件。尽管如此, 1997~2003 年, 多模式集合预报与观测的相关系数达到 0.7。超前 1~4 个月和 6~11 个月相关系数超过 0.5 (图 10)。

5 待解决的问题

动力模式预测的不准确主要来源于初值的不准确和模式的不准确。为了降低由于模式初值误差所导致的预测结果的不确定性和随机性, 通常采用多

初值与多模式集合预报方法。国外目前集合预报的思路主要是取初始时刻在一定范围内的尽可能多的初值, 从大量的初值出发, 就可相应得到大气未来一切可能演变的预报, 也就是尽可能将未来大气演变的可能状态都包含在该集合中。国外的集合预报的成员大多在 30 个以上, 有的多达 50~60 个。目前我们的季节预测不同初值预报成员是 8 个, 样本数较少, 随着计算资源的改善, 这方面的能力可以得到加强。但是, 由于动力气候模式是一个高度复杂的非线性系统, 利用不同的初值预报的未来气候变化可能属于不同的吸引子(或不同的演变趋势), 而真实大气未来演变又是唯一和确定的, 对于大量的属于不同的吸引子的预报结果进行集合平均显然是不合适的, 因此, 从理论上讲, 如果能把属于同一吸引子的成员进行集合平均, 这样可以明显改进集合预报的效果。另一方面, 不同的模式在相同的初值情况下的预测结果与实际情况之间也存在误差(或偏差), 这些偏差是由模式本身的误差造成的。利用多模式的超级集合预报(MME)可以减小模式系统误差对预测结果的影响。多模式超级集合结果从理论和实际预测试验上都优于单模式结果和简单集合平均结果, 它是未来模式预测的一个发展方向, 但这种多初值、多模式集合预报本质上变成了一种概率预报。

云辐射参数化是目前气候模式中不确定的主要来源。当前云辐射反馈研究中存在的首要问题是模式对不同的云辐射参数化方案十分敏感, 以我们目前的理解能力无法肯定什么样的云辐射参数化方案更加接近实际。造成这些问题的原因是多方面的。首先是模式本身的缺陷, 由于当前的气候模式分辨率较低, 使得模式无法对云辐射过程进行显式表征, 只得进行参数化。其次, 由于我们对云辐射过程(尤其是云的微物理过程)的机制的认识水平还十分有限, 使得参数化缺乏必须的物理基础。最后, 由于我们对云辐射的观测能力还很有限, 尤其缺乏高分辨率的大范围三维云辐射资料去验证计算结果。要解决当前气候模式云辐射研究中存在的问题, 可以从以下 3 方面考虑: 云及其辐射性质的更好表述, 云辐射反馈机制的更好理解, 以及提高辐射方案的精度。这些改进的前提条件是加强云辐射资料的观测, 进一步提高对云过程、辐射过程以及云辐射反馈的物理机制的认识^②。

② 王芳, 丁一汇. 气候模式中云辐射反馈过程机理的评述. 地球科学进展, 2004(待发表)。

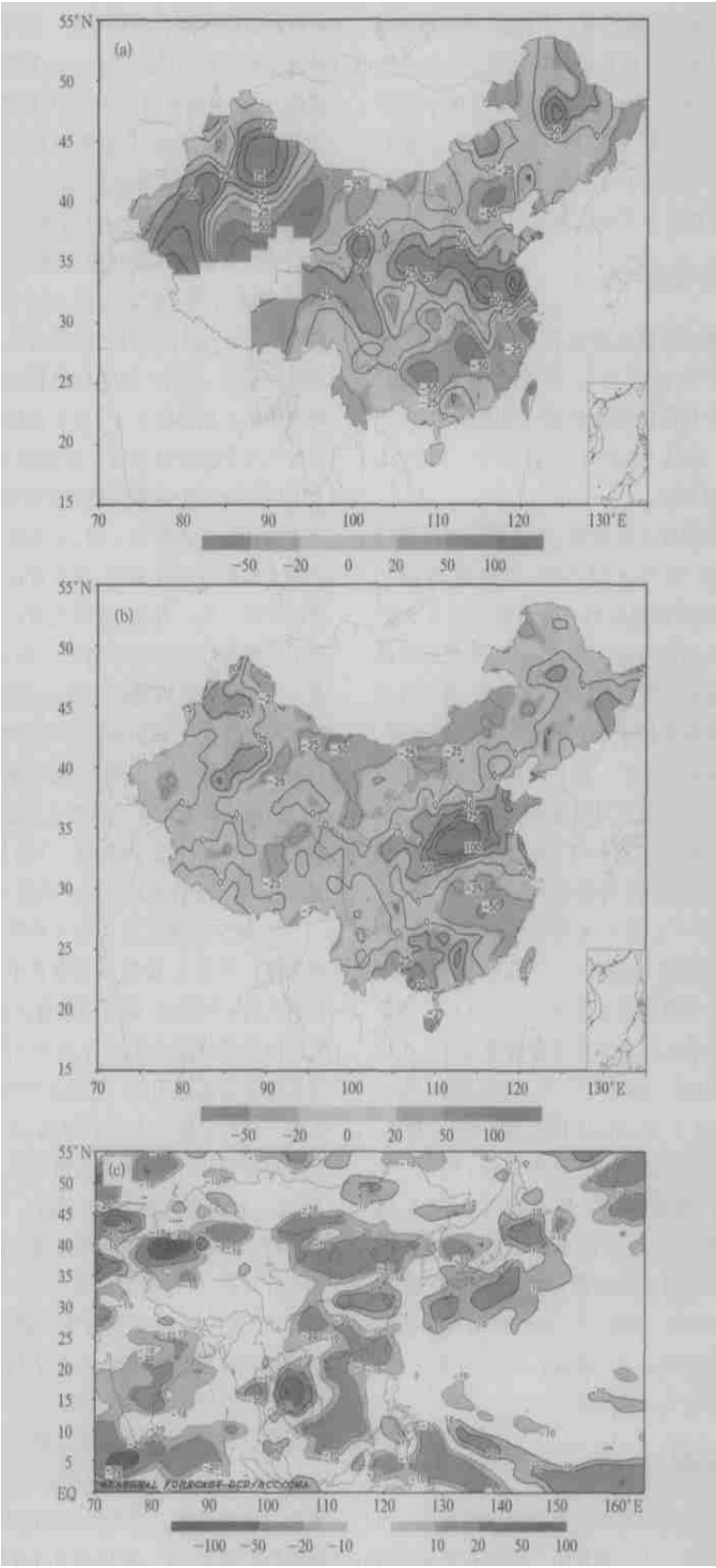


图9 2003 年夏季降水异常百分率(%)

(a. 观测, b. RegCM_NCC 预报, c. CGCM 预报)

Fig.9 Precipitation anomaly percentage of summer 2003 (Unit: %)

(a. observation, b. Prediction with the nested RegCM_NCC; c. Prediction with CGCM)

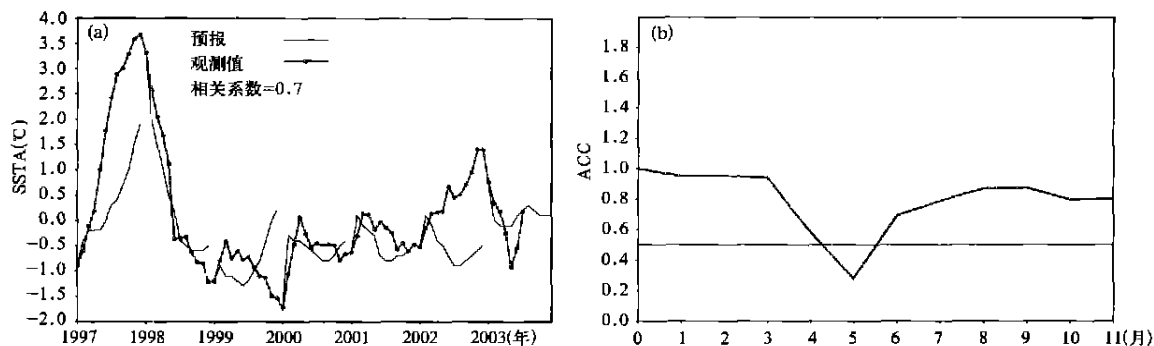


图 10 模式起始于 1997~2003 年 1 月预报的 Nino3 区海表面温度距平与观测比较(a) 及预报与观测的相关系数(b)

Fig. 10 Verification of predictions starting from January of 1997–2003 (a) and anomaly correlation coefficients between prediction and observation (b)

目前季节一年际预报的模式预测系统主要是以大气环流模式为主(二步法),但用海-气耦合模式进行预测近年来逐步增多。这两种模式中的陆面和海冰部分都比较简单,而要提高模式系统的模拟预测能力,利用耦合了多圈层相互作用的气候系统模式是不可替代和最具潜力的工具,也是目前国际上气候研究的前沿领域和未来发展方向。中国科学家也充分认识到建立中国自己的气候系统模式的重要性。自 2003 年已正式启动“气候系统模式的发展研究”计划,加强对描述生物过程、化学过程,包括陆面的植被变化过程,海洋的碳循环过程、大气化学过程等的模式物理参数化的研究,最终建立一具有特色的气候系统模式。影响中国气候季节、年际和年代际变化的物理因素非常复杂,既包括全球海温,也包括青藏高原积雪、极地海冰、陆地表面过程及土壤中的温湿状况等。总体上来看,目前国内外通用的各种数值模式,对东亚天气和气候的模拟和预测能力都还非常有限。所以,针对东亚区域的地形和气候特点,提高和改进模式对东亚区域气候的模拟能力是我们今后的主要方向。

6 结 语

在前期研究的基础上,经过 8 a 多的研制和发展,国家气候中心建成了第 1 代动力气候模式预测业务系统,并以此为平台,逐步形成了月、季到年际时间尺度的模式预测业务。经过 4 a 的试验性业务运行和 20 a 的历史回报试验检验,表明 CGCM 模式预测系统的有一定预报技巧,在某些指标上已超过统计方法的预测水平。

5 a 模拟表明,RegCM_NCC 基本上能再现东亚地区主要雨带的季节进展。利用嵌套的区域气候模式 RegCM_NCC 对 1991~2000 年的夏季回报表明,在预报主要季节雨带方面有一定技巧。最好的预报区域在中国西部和东北。在 CGCM 预报基础上的一个明显改进是长江流域预报技巧的增加。这个改进与更加合理描述青藏高原的地表特征有关。2001~2003 年的实时季节预报与观测相比基本合理。特别是,RegCM_NCC 成功地预报了 2003 年梅雨季长江和黄河之间的比常年偏多的降水。

SAOMS 模式系统的回报试验表明,该系统对热带太平洋海表面温度距平有一定的预报能力。模式超前 6~12 个月的预报与观测的相关系数明显高于持续预报。SAOMS 多模式集合预报实时地、合理地预报了 El Niño (1997/1998 年) 和 La Niña (1998/2000 年) 事件。1997~2003 年,SAOMS 多模式集合预报与观测的相关系数达到 0.7。超前 1~4 个月和 6~11 个月相关系数超过 0.5。

短期气候预测是一个十分复杂的问题。目前各国都在研究和进行试验性预报,尚有许多问题没有解决。但作为整个气候预测的第一步,在未来 10 a 中最有希望实现完全的业务化。世界气候研究计划(WCRP)正在制定 20 a 的 COPES(Coordinated Observation and Prediction of Earth System)计划和其他相关的季节预报模式比较计划(如 SMIP)。这些国际上的挑战和机遇将为中国短期气候预报的进一步发展提供更有利的条件和推动力。

致谢: 本文所介绍的业务动力季节预报系统是在“中国短期气候预测系统加强研究”课题“短期气候预测综合动力模式

系统业务化”(96-908-06-3)的支持下完成的,我们谨向参与该项研究的所有人员表示衷心感谢。特别要感谢在模式发展中做出重要贡献的丑纪范院士、纪立人、张学洪、董

敏、赵宗慈、赵其庚、倪允琪、钱永甫、俞永强研究员以及刘益民、叶正青、宋永加。另外,感谢董文杰、章国材、王锦贵、祝昌汉、王守荣、朱界平的大力支持。

参考文献

- 1 Bjerknes J. A possible response of the atmospheric Hadley circulation to equatorial anomalies of ocean temperature. *Tellus*, 1966, 18: 820~ 829
- 2 Bjerknes J. Atmospheric teleconnections from the equatorial Pacific. *Mon Wea Rev*, 1969, 97: 163~ 172
- 3 Latif M, Anderson D, Barnett T, et al. A review of the predictability and prediction of ENSO. *J Geophys Res*, 1998, 103: 14375~ 14393
- 4 Bengtsson L, Schese U, Roeckner E, et al. A two-tiered approach to long-range climate forecasting. *Science*, 1993, 261: 1027~ 1029
- 5 WCRP. CLIVAR science plan: A study of climate variability and predictability. WCRP-89, WM O/TD No. 690, ICSU, WMO, UNESCO, 1985. 157pp
- 6 Hayes S P, Mangum L J, Picaut J, et al. TOGA-TOA: A moored array for real-time measurement in the tropical Pacific Ocean. *Bull Amer Meteor Soc*, 1991, 72: 339~ 347
- 7 McPhaden M J, et al. The Tropical Ocean-Global Atmosphere observing system. A decade of progress. *J Geophys Res*, 1998, 103: 14169~ 14240
- 8 Trenberth K E, Branstator G W, Karoly D, et al. Progress during TOGA in understanding and modeling global teleconnections associated with tropical sea surface temperatures. *J Geophys Res*, 1998, 103: 14291~ 14324
- 9 Cane M A, Zebiak S E, Dolan S C. Experimental forecast of El Niño. *Nature*, 1986, 321: 827~ 832
- 10 Barnett P, Bengtsson L, Arpe K, et al. Forecasting global ENSO-related climate anomalies. *Tellus*, 1994, 46A: 381~ 397
- 11 Hunt B G, Zebiak S E, Cane M A. Experimental predictions of climatic variability for lead times of twelve months. *Int J Climatol*, 1994, 14: 507~ 526
- 12 Palmer T N, Anderson D L T. The prospects for seasonal forecasting. *J R Meteor Soc*, 1994, 120: 755~ 793
- 13 Mason S J, Goddard L, Graham N E, et al. The IRI seasonal climate prediction system and the 1997/98 El Niño event. *Bull Amer Meteor Soc*, 1999, 80: 1853~ 1873
- 14 Ji M, Kumar A, Leetmaa A. A Multiseason climate forecast system at the National Meteorological Center. *Bull Amer Meteor Soc*, 1994, 75: 569~ 577
- 15 Kang I-S, Park G-K. A KMA/SNU Dynamical Seasonal Prediction System, Proceedings of Second International Symposium on Physics-Mathematical Problems Related to Climate Modeling and Prediction. Shanghai: Sept, 22~ 23, 2002, 28
- 16 Kusunoki S, Sugi M, Kitoh A, et al. Atmospheric seasonal predictability experiments by the JMA AGCM. *J Meteor Soc Japan*, 2001, 79: 1183~ 1206
- 17 Derome J, Brunet G, Plante A, et al. Seasonal Predictions Based on Two Dynamical Models. *Atmosphere Ocean*, 2001, 39(4): 485~ 501
- 18 Wang G, Kleeman R, Smith N, et al. Seasonal predictions with a coupled global ocean-atmosphere model. BMRC Research Report No. 77, Bur Met, Australia, 2000
- 19 Carson D J. Seasonal forecasting. *Quart J Roy Meteor Soc*, 1998, 124: 1~ 26
- 20 Liu Y Q, Giorgi F, Washington W M. Simulation of summer monsoon climate over East Asia with a NCAR regional climate model. *Mon Wea Rev*, 1994, 122: 2331~ 2348
- 21 Giorgi F, Means L. Introduction to special section: Regional climate modeling revisited. *J Geophys Res*, 1999, 104: 6335~ 6352
- 22 Giorgi F, Hewitson B. Regional climate information—Evaluation and Projection. In: Houghton J T, Ding Y, Griggs D J, et al eds. *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Cambridge: Cambridge University Press, 2001. 585~ 638
- 23 Anthes R A, Kuo Y-H, Hsieh E-Y, et al. Estimation of skill and uncertainty in regional numerical models. *J R Meteor Soc*, 1989, 115: 763~ 806
- 24 Palmer T N, Brankovic C, Richardson D S. A probability and decision-model analysis of PROVOST seasonal multi-model ensemble integrations. *J R Meteor Soc*, 2002, 126: 2013~ 2033
- 25 Graham R J, Evans A D L, Mynne K R, et al. An assessment of seasonal predictability using atmospheric general circulation models. *Q J R Meteor Soc*, 2000, 126: 2211~ 2240
- 26 Sperber K R, Brankovic C, Deque M, et al. Dynamic seasonal predictability of the Asian summer monsoon. *Mon Wea Rev*, 2001, 129: 2226~ 2248
- 27 Leung L R, Mearns L O, Giorgi F, et al. Regional climate research-needs and opportunity. *Bull Amer Meteor Soc*, 2003, 84: 89~ 95
- 28 曾庆存, 袁重光, 王万秋等. 跨季度气候距平预测试验. *大气科学*, 1990, 14(1): 10~ 25
- 29 Zeng Qingcun, Yuan Chongguang, Li Xu, et al. Seasonal and extraseasonal predictions of summer monsoon precipitation by GCMs. *Adv Atmos Sci*, 1997, 14(2): 163~ 176
- 30 曾庆存, 林朝晖, 周广庆. 跨季节动力气候预测系统 IAP DCP-II. *大气科学*, 2003, 27(1): 101~ 117

- 31 曾庆存, 王会军, 林朝晖等. 气候动力学与气候理论研究. 大气科学, 2003, 27(4): 468~ 463
- 32 董敏, 陈嘉宾, 季仲贞等. 季节预测大气模式研制和应用进展. 见: 项目办公室, 项目执行专家组编. 短期气候预测业务动力模式的研制. 北京: 气象出版社, 2000. 63~ 69
- 33 丁一汇, 刘一鸣, 宋永加等. 中国短期气候动力预测模式系统的研究及试验. 气候与环境研究, 2002, 7(2): 236~ 246
- 34 国家气象中心. 资料同化和中期数值预报. 北京: 气象出版社, 1991. 436pp
- 35 Morcrette J J. Impact of changes to the radiation transfer parameterization plus cloud optical properties in the ECMWF model. Mon Wea Rev, 1990, 118: 847~ 872
- 36 Kuo H L. Further studies of the parameterization of the influence cumulus convection of large-scale flow. J Atmos Sci, 1974, 31: 1232~ 1240
- 37 Palmer T N, Shutts G J, Swinbank R. Alleviation of a systematic westerly bias in general circulation and numerical weather prediction models through an orographic gravity wave drag parameterization. Quart J Roy Meteor Soc, 1986, 112: 1001~ 1039
- 38 张学洪, 赵其庚, 杨修群等. 海洋环流-海冰模式和海气耦合研究进展. 见: 项目办公室, 项目执行专家组编. 短期气候预测业务动力模式的研制. 北京: 气象出版社, 2000. 161~ 169
- 39 Jin X Z, Zhang X H, Zhou T J. Fundamental framework and experiments of the third Generation of IAP/LASG world ocean general circulation model. Adv Atmos Sci, 1999, 16(2): 197~ 215
- 40 Bryan K, Cox M D. An approximate equation of state for numerical models of ocean circulation. J Phys Ocean, 1972, 2: 510~ 514
- 41 UNESCO. Tenth report of the joint panel on oceanographic tables and standards. UNESCO Technological Paper in Marine Science 36, Paris, 1981
- 42 Haney R L. Surface thermal boundary condition for ocean circulation models. J Phys Ocean, 1971, 1: 241~ 248
- 43 Gent P R, McWilliams J C. Isopycnal mixing in ocean circulation models. J Phys Ocean, 1990, 1: 241~ 248
- 44 Pakanowski R C, Philander G. Parameterization of vertical mixing in numerical models of the tropical ocean. J Phys Ocean, 1981, 11: 1442~ 1451
- 45 Rosati A, Miyakoda K. A general circulation model for upper ocean circulation. J Phys Oceanogr, 1988, 18: 1601~ 1626
- 46 Parkinson C L, Washington W M. A large-scale numerical model of sea ice. J Geophys Res, 1979, 84: 311~ 337
- 47 俞永强等. 海气通量距平耦合方案. 见: 项目办公室, 项目执行专家组编. 短期气候预测业务动力模式的研制. 北京: 气象出版社, 2000. 201~ 207
- 48 赵其庚, 宋永加, 彭淑英. 高分辨率印度洋-太平洋海洋环流模式及对季节变化和年际变化的模拟研究. 见: 项目办公室, 项目执行专家组编. 短期气候预测业务动力模式的研制. 北京: 气象出版社, 2000. 193~ 200
- 49 Giorgi F, Marinucci M R, Bates G T. Development of a second-generation regional climate model (RegCM2), Part II: convective processes and assimilation of lateral boundary conditions. Mon Wea Rev, 1993, 121: 2814~ 2832
- 50 丁一汇, 钱永甫, 颜宏等. 高分辨率区与气候模式的改进及其在东亚持续性暴雨事件模拟试验中的应用. 见: 项目办公室, 项目执行专家组编. 短期气候预测业务动力模式的研制. 北京: 气象出版社, 2000. 217~ 231
- 51 Zebiak S E, Cane M A. A model of El Niño-Southern Oscillation. Mon Wea Rev, 1987, 115: 2262~ 2278
- 52 Balmaseda M A, Anderson D L, Davey D K. ENSO prediction using a dynamical ocean model coupled to statistical atmosphere. Tellus, 1994, 46A: 497~ 511
- 53 赵宗慈, 李清泉, 张祖强等. ENSO 年际变化预测模式研制. 见: 项目办公室, 项目执行专家组编. 短期气候预测业务动力模式的研制. 北京: 气象出版社, 2000. 323~ 333
- 54 李清泉, 赵宗慈. NCC 简化海气模式的建立和数值模拟. 气象学报, 2000, 58(增刊): 790~ 803
- 55 张祖强, 赵宗慈. ENSO 年际预测模式 NCCn 的研制. 短期气候预测业务动力模式的研制. 北京: 气象出版社, 2000. 351~ 361
- 56 端义宏, 梁旭东, 李永平. NCC/STI 四维变分同化业务系统的建立和数值试验. 气象学报, 2000, 58(增刊): 804~ 813
- 57 张勤, 丁一汇. NCC/NIM 热带太平洋耦合模式对 1990 年代 ENSO 预测性能检验. 气象学报, 2000, 58(增刊): 826~ 837
- 58 殷永红, 史历, 倪允琪. CAMS/NJU 全球热带海洋距平模式及其数值模拟. 气象学报, 2000, 58(增刊): 778~ 789
- 59 Reynolds R W, Smith T M. Improved global sea surface temperature analyses using optimum interpolation. J Climate, 1994, 7: 929~ 948
- 60 陈桂英, 黄嘉佑, 王会军. 现有短期气候预测方法的检验、评估和集成研究. 见: 项目办公室, 项目执行专家组编. 短期气候监测、预测、服务综合业务系统的研制. 北京: 气象出版社, 2000. 3~ 12
- 61 WMO. The eleventh WMO working group session, Italy, 1996
- 62 WMO. Abridged final report with resolutions and recommendations. Secretariat of the WMO, Geneva, Switzerland, WMO-No. 893, 1999, 154~ 157
- 63 Ding Yihui. Monsoons over China. Dordrecht/Boston/London: Kluwer Academic Publisher. 1994. 419pp
- 64 Pan Z, Christensen J H, Arritt R W, et al. Evaluation of uncertainties in regional climate change simulations. J Geophys Res, 2001, 106: 17735~ 17751
- 65 Lee D K, Suh M S. Ten year Asian summer monsoon simulation using a regional climate model (RegCM2). J Geophys Res, 2000, 105: 29565

~ 29577

- 66 Kato H, Hirakuchi H, Nishizawa K, et al. Performance of NCAR RegCM2 in the simulation of June and January climate over eastern Asia and high-resolution effect of the model. *J Geophys Res*, 1999, 104: 6455~ 6476
- 67 Leung L R, Ghan S J, Zhao Z C, et al. Inter-comparison of regional climate simulations of 1991 summer monsoon in eastern Asia. *J Geophys Res*, 1999, 104: 6425~ 6454
- 68 李清泉, 赵宗慈等. 简化海气耦合模式系统对 1997~ 1999 年 El Niño/La Niña 事件的预报. *气象学报*, 2000, 58(增刊): 838~ 847

ADVANCE IN SEASONAL DYNAMICAL PREDICTION OPERATION IN CHINA

Ding Yihui Li Qingquan Li Weijing Luo Yong Zhang Peiqun
Zhang Zuqiang Shi Xueli Liu Yiming Wang Lanning

(National Climate Center, CMA, Beijing 100081)

Abstract

Application of dynamical model in seasonal-interannual climate prediction is currently a developing direction of climate prediction in the world. After more than 8 years' research and development, the first generation of dynamical climate model prediction operation system has been established in National Climate Center (NCC), Chinese Meteorological Administration. It consists of a global coupled atmospheric-oceanic circulation model (CGCM), a high-resolution East Asian regional climate model (noted as RegCM_NCC) and five simplified ENSO prediction models (noted as SAOMS), which can be used to perform climate predictions on seasonal-interannual time scales. RegCM_NCC nested with CGCM can provide high-resolution seasonal prediction of climate over East Asia.

The hindcast experiment results of the CGCM for the summer of 1982– 2000 show that the model has reasonably good performance in predicting the tropical Pacific sea surface temperature (SST) and the climate over East Asia on seasonal time scale. By nesting with CGCM, 10-year hindcast experiments of RegCM_NCC have been undertaken for the summer of 1991– 2000. The preliminary results have shown that the RegCM_NCC has some capabilities in predicting the major seasonal rain belts over China. The real-time experimental predictions for summer in 2001– 2003 with CGCM as well as the nested regional climate model have shown certain prediction capabilities. In particular, the prediction of 2003 summer was successfully made with the much above-normal precipitation in the regions between the Yellow River and the Yangtze River valleys.

Hindcast experiments of SAOMS shows it has a certain skill to predict the SST anomalies over the tropical Pacific Ocean, with the correlation coefficients considerably exceeding the persistence prediction at 6– 12 lead months. The real-time predictions of the tropical Pacific SST anomalies were conducted based on the five models of the SAOMS during 1997– 2003. The correlation coefficient between the multi-model ensemble predictions and observations for the SST anomalies in Nino3 region is 0.7. The model system predicted both El Niño (1997/1998) and La Niña (1998/2000) events reasonably.

Key words: AGCM, CGCM, Regional climate model, ENSO prediction, Seasonal prediction.