

温室效应引起的中国区域气候变化的数值模拟 I: 模式对中国气候模拟能力的检验*

高学杰 赵宗慈 丁一汇

黄荣辉

(中国国家气候中心, 北京, 100081)

(中国科学院大气物理研究所, 北京, 100080)

Filippo Giorgi

(The Abdus Salam International Center for Theoretical Physics, Trieste, Italy)

摘 要

使用 RegCM2 区域气候模式单向嵌套澳大利亚 CSIRO R21L9 全球海-气耦合模式, 进行了 CO₂ 加倍对中国区域气候变化影响的数值试验研究, 分析了控制试验(1×CO₂)即模式对中国当代气候的模拟情况。首先给出了全球模式控制试验在中国地区的结果, 分析表明它对中国区域的地面气温和降水具有一定的模拟能力, 其结果可以用来制作驱动区域气候模式的初始场和侧边界。对 RegCM2 5 a 时间长度控制试验积分结果的分析与检验表明, 区域气候模式由于具有较高的分辨率和较完善的物理过程, 它对中国区域地面气温和降水的模拟效果较全球模式有了较大提高, 如它模拟的各月气温与实况的相关系数全年 12 个月的平均由全球模式的 0.83 提高到 0.92, 降水由 0.48 提高到 0.65。

关键词: 气候模拟, 区域气候模式, 能力检验。

1 引 言

数值模式最早应用于短期和中期天气预报领域。20 世纪 50 年代由 Phillips^[1] 开始将其应用于气候方面, 他使用准地转方程组加入一些简单的强迫作用项, 进行了长时间积分, 得到的积分结果与初始状况不同, 并模拟出了大气环流的许多主要特征。经过不断的发展, 数值模式(这里主要指全球环流模式, GCM)在 20 世纪 70 年代成熟完善, 广泛应用于气候数值模拟及气候对不同因子的敏感性试验等方面^[2], 成为进行气候研究的重要工具。

但现有 GCM 存在的主要问题是由于计算条件限制, 它们的分辨率一般较低(200~500 km), 不能适当地描述复杂地形、地表状况和某些物理过程, 从而在区域尺度的气候模拟及气候变化试验等方面产生较大偏差, 影响其可信程度。

IPCC 第一工作组在其多次科学评估报告中先

后评估了世界各国 40 多个全球环流模式, 如第 3 次报告所指出的^[3], GCM 对全球气候的整体特征模拟较好, 但对区域气候的模拟依区域和模式而不同, 仍存在较大的误差和不确定性。赵宗慈等^[4] 曾经先后选用 IPCC 第一工作组科学评估报告(1990, 1992, 1995)中的 15 个模式作东亚和中国地区模拟可靠性评估, 指出 GCM 对气温的模拟效果优于降水, 对冬季的模拟效果优于夏季; 模式大致可以模拟出气温与降水的分布形式, 但数值上差异较大。

除此之外, GCM 的模拟主要反映了大尺度、长时期的气候特征, 难以描述更细节的, 如因小地形引起的温度和降水波动及如台风等尺度较小的系统的变化。

为解决计算机能力和区域气候模拟要求的矛盾, 除了利用降尺度(downscaling)等方法对模式结果进行统计和经验方面的修正外, 就模式本身, 现在发展出另外两种方法, 即变网格模式和区域气候

* 初稿时间: 2001 年 6 月 20 日; 修改时间: 2002 年 1 月 16 日。

资助课题:《国家重点基础研究发展规划》“中国重大气候灾害形成机理和预测理论的研究(G1998040900)”项目, 全球环境变化对策与支撑技术研究项目全球与中国气候变化的检测和预测课题(2001-BA611B-01)。

模式。前者由于方法的复杂性,使用受到一定限制;目前广泛应用的是区域气候模式。区域气候模式在 20 世纪 80 年代末至 90 年代初被提出^[5-7],其后得到了广泛的应用^[8]。

本研究中,我们使用一个区域气候模式(RegCM2)嵌套到一个 GCM(澳大利亚 CSIRO AOGCM R21L9)中,进行了 CO₂ 加倍对中国区域气候影响的数值试验。

2 模式简介

2.1 全球模式

本文选用 CSIRO R21L9 作为用于嵌套的 GCM。这是一个复杂的,包括有大气、海洋、海冰和生物等多个部分的全球模式^[9]。其大气部分的水平分辨率大约为 5.6°(经度)×3.2°(纬度),垂直方向采用 σ 坐标,层数为 9 层。地表作用以土壤-冠层(soil-canopy)模式进行了参数化。土壤湿度分为 2 层、土壤温度分为 3 层考虑,底层使用 0 垂直通量条件。海洋模式(GFDL)采用通量调整方式与大气模式耦合,垂直方向分 12 层,深度从表层的 25 m 到下层的 900 m。海冰模式包含有动力和热力部分。

在已进行的温室效应“瞬时”(transient)试验中^[10],模式从一个相当于 1881 年的初始时刻开始积分,其中的 CO₂ 采用实测值,1990 年后,将模式中的 CO₂ 按每年约 1% 的速度增加,继续积分到 CO₂ 加倍(大约在 2070 年左右)。将试验中相当于 1981~1990 年 10 a 的结果,做为模式对当代气候的模拟(控制试验),将其与观测资料相比,考察检验了模式对中国区域气候的模拟能力。

2.2 区域模式

RegCM 模式最早出现是 20 世纪 80 年代末,在 Penn State/NCAR 中尺度气象模式 MM4 基础上考虑气候物理过程发展起来的(RegCM1)^[5-7]。主要改动有耦合了陆面过程方案 BATS^[11];采用了 NCAR/CCM1 模式的辐射方案^[12];增加了一个行星边界层等。

对 RegCM1 进行扩充和改进,自 1992 年后便形成了 RegCM2 模式^[13,14]。其物理过程的改进包含使用了性能更全面的 CCM2 辐射方案^[15],增加了 Grell 单云参数化方案^[16],采用 Holtslag 的非局地边界层方案^[17]等;在其他方面的改进包括采用

显式分离算法^[18]计算重力波以节约计算时间等。同时模式也在应用中不断地完善和发展^[19-24]。

嵌套区域模式需要给出模式的初始场及随时间变化的侧边界场,包括各层风、温、湿度场及地面气温、气压场等。这些变量和场参照以前的工作^[23,24],从上述全球模式结果中得到。

具体在水平方向上采用双线性插值方法,将各变量从全球模式的格点上插值到区域模式格点上;按照区域模式格点分布要求,将动量场置于整数格点上,质量场置于半数格点上。同时旋转水平风场,使之成为区域模式所需的直方网格上的水平风场。对地面气压场和气温场,按照区域模式的地形进行了订正;海表温度由全球模式中海洋部分的海表温度插值得到。垂直方向上风场和相对湿度场沿等压面进行线性插值,温度场按照对数气压进行插值,同时利用静力关系计算位势高度,从而得到所需各垂直层上各变量的值。

模式中心点取为 37.5°N,110°E,模式水平分辨率取为 60×60 km,南北方向的格点数为 80,东西向的格点数为 150;垂直方向为 16 层,模式顶层的气压为 10 hPa。采用指数松弛技术设置边界缓冲区,缓冲区个数取为 30。湿度方案取为显式方案,陆面过程采用 BATS 方案,对流参数化选用 Grell 方案。

图 1 给出所取模拟区域和其中的地形分布,资料来源于美国 NCAR 30'×30' 地形资料。从图中可以看出,由于分辨率较高,模式对东亚地区的海岸线、岛屿、地形等的描绘都比较细致,如中国西南部的四川盆地、东南部的武夷山脉、东北地区的长白山脉等,在其中都得到了较详细的描述,远好于用于嵌套的全球模式(图略)。

模式所取计算区域很大,除了包括整个中国大陆外,在东西方向上,又做了一些延伸。西部的延伸,基于大气运动的纬向性考虑,使得中国区域内尽量少地受到全球模式计算结果的影响;东部取得也较大,主要用以考察西太平洋地区的情况。

在中国大陆境内采用中国科学院植物研究所提供的实际地表植被类型资料,取代了原 NCAR 提供的模式植被状况资料。后者在中国区域内有较大的误差,如分布在中国东部的植被在其中被描述为大片的草场和温带落叶、针叶林,显然与实际不符(图略),这将会导致较大的气候模拟偏差^[25]。

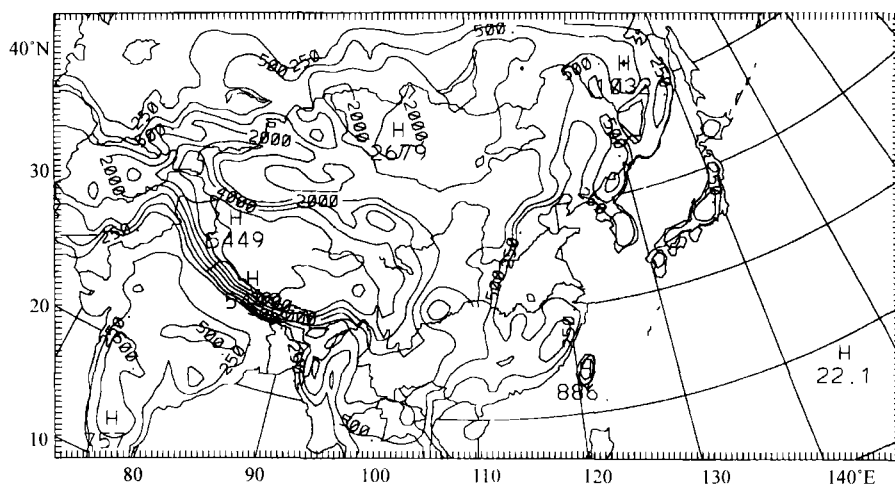


图1 区域模式所取区域和其中的地形分布
(地形高度单位: m)

以上述全球模式 10 a 控制试验中后 5 a 的结果,制作区域模式所需的初始场和侧边界场,侧边界场每 12 h 输入到区域模式中一次,共进行了 5 a 时间的积分,将其输出结果作为区域模式对中国现代气候的模拟,进行了分析。

3 模式对中国地面气温的模拟

在进行模式结果与观测资料的对比分析中,因为模式结果是在格点上,观测资料一般位于不规则站点上,因此存在一个插值的问题。文中将模式资料插值到了站点上,便对模式结果进行更严格的检验。取中国 160 个标准观测站 1956~1990 年 35 a 观测资料的平均作为中国当代气候状况。

将两个模式控制试验结果中地面气温和降水场插值到上述 160 个观测站上。首先对月平均地面气温的模拟进行分析,计算得到中国 1~12 月月平均地面气温模拟与实况的空间相关系数(图 2a, b)。

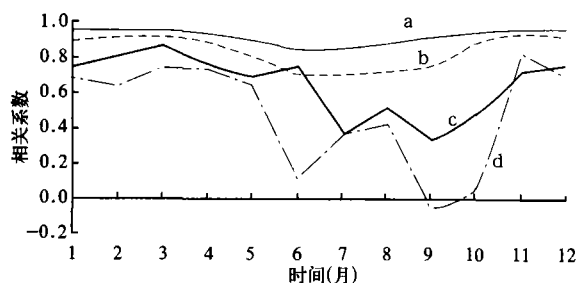


图2 中国月平均地面气温、降水模拟与实况的相关系数

(a. 区域模式模拟的气温; b. 全球模式模拟的气温;
c. 区域模式模拟的降水; d. 全球模式模拟的降水)

从图中可以看出,两个模式对中国地面气温的模拟效果均较好。其中全球模式各月模拟与实况的相关系数一般在 0.70 以上,全年平均为 0.83。而区域模式对中国地区地面气温场的模拟则较全球模式有了明显改进,各月模拟与实况的相关系数一般都在 0.85 以上,全年平均达到 0.92。从相关系数上看,两个模式都是对冬半年的模拟好于夏半年。

图 3a, b, c 分别给出中国年平均地面气温场的图 3 是实况和全球模式及区域模式的模拟。两个模式模拟的年平均气温与实况的空间相关系数分别为 0.90 和 0.94(它和上述各月相关系数的平均因物理意义不同,数值上也有差异,下文中有同样情况)。

对比图 3a 与 b, 可以看到全球模式对中国年平均地面气温模拟的主要误差有,一是模式模拟的温度数值偏低;二是不能模拟小尺度地形引起的温度波动;三是模拟出的中国东部等温线近于东南-西北向分布,实况中更近于东西向分布。

从图 3c 可以看出,区域模式由于有较高的分辨率,使得其模拟的地面气温分布较全球模式的更加复杂和符合实际情况。模拟较明显的改进如四川盆地,在实况场上为一个温度较高的地区,这一特点在全球模式的模拟中难以体现,而在区域模式的结果中则表现得比较明显。另外如区域模式结果中 8℃ 等值线,在河北西部,可以明显看出其随地形(太行山系)下降而向北伸的特点,类似于实况场中的 12℃ 线;再如新疆南部青藏高原北麓地区的气温,在全球模式结果中的数值在 0℃ 以下,与实况

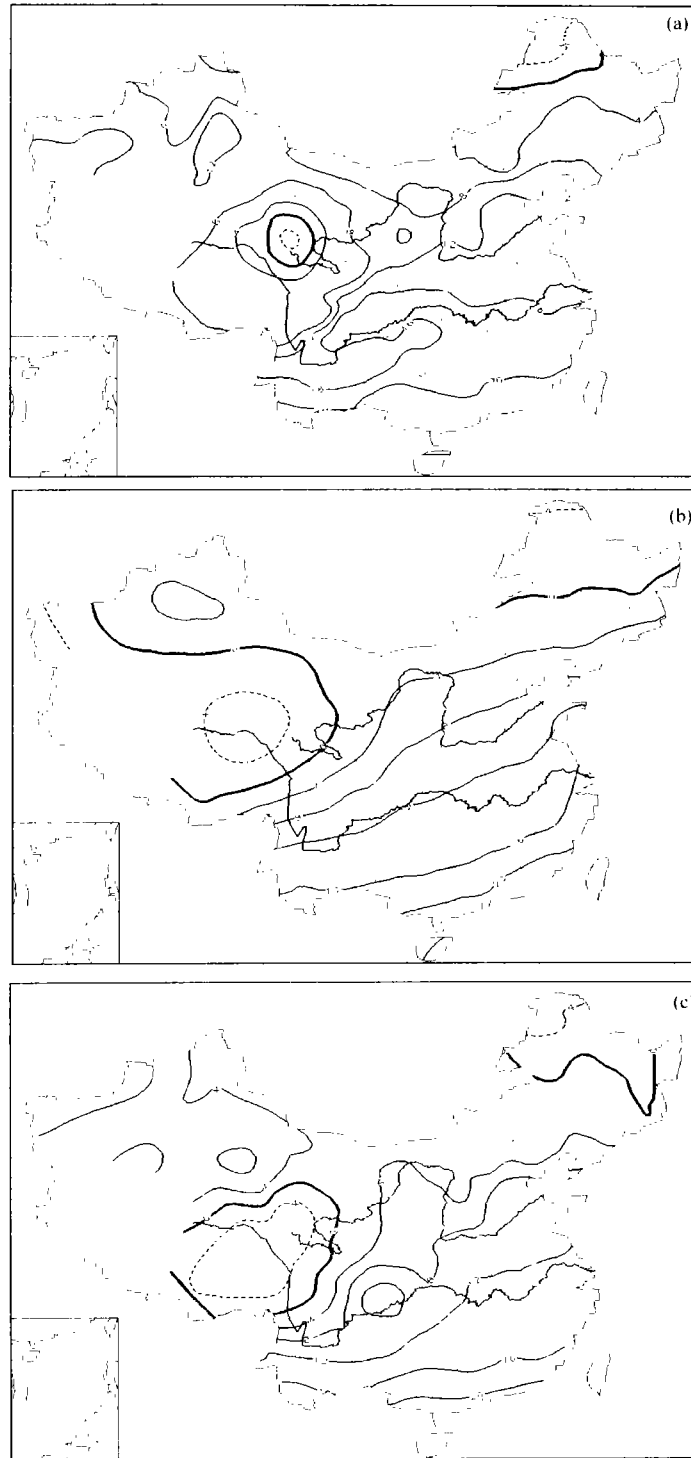


图3 中国年平均地面气温
(a. 实况, b. 全球模式的模拟, c. 区域模式的模拟; 单位: $^{\circ}\text{C}$)

(10°C 以上)相差很大,在区域模式模拟中这一状况也得到了较大改善。

从图3c中还可以看到,区域模式模拟的中国东部气温分布,趋向于由南向北方向递减,更接近

于实况。

但区域模式模拟的地面气温数值和全球模式一样,存在较实况普遍偏低的误差。说明区域模式并不能完全消除用以嵌套的全球模式本身引起的偏

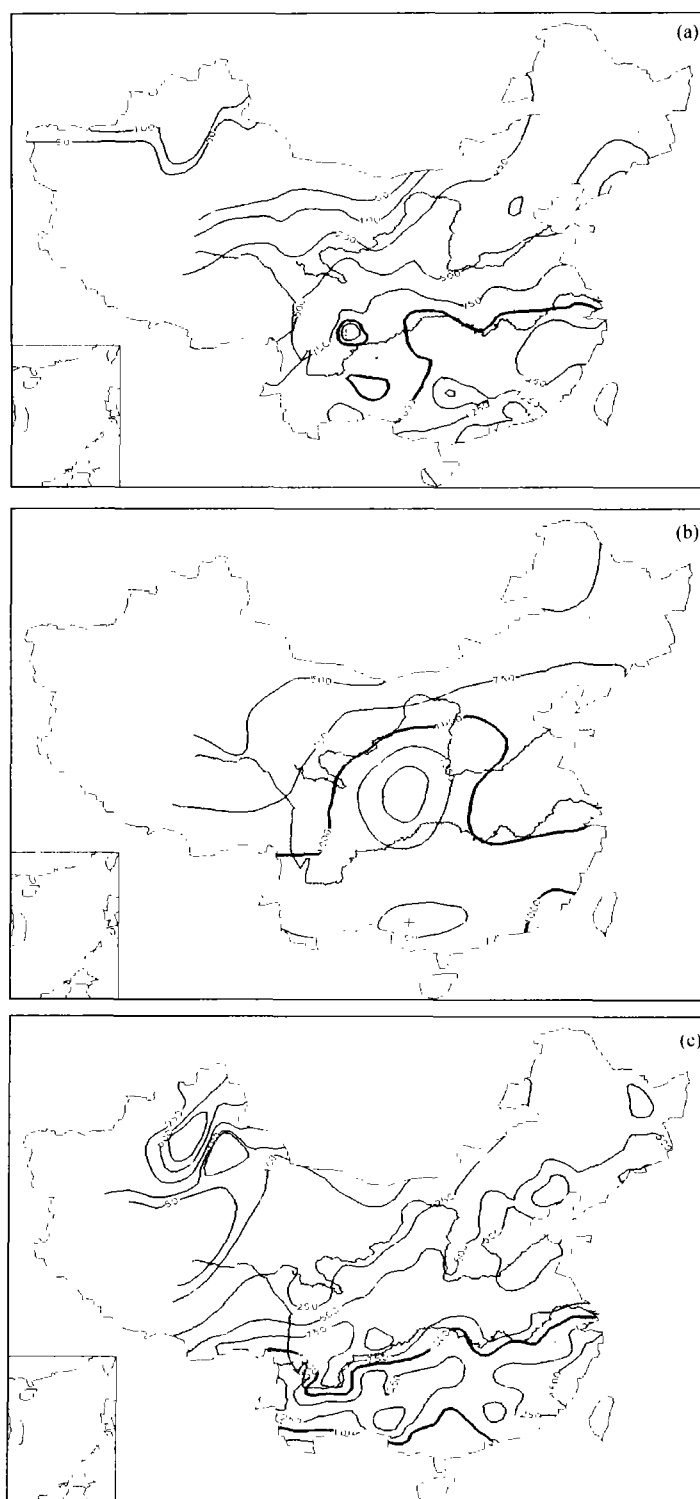


图4 中国年平均降水

(a. 实况, b. 全球模式的模拟, c. 区域模式的模拟; 单位: mm)

差。在区域气候模拟中，除了区域气候模式本身需要继续改进完善外，用于嵌套的全球模式的改进和完善也是非常重要的。

4 模式对中国降水的模拟

计算得到两个模式模拟的中国1~12各月降水

和实况的相关系数(图 2c,d)。从图中可以看出,两个模式对中国降水的模拟都没有各自对地面气温的模拟效果好;与地面气温类似,对降水的模拟也是冬半年好于夏半年。

全球模式模拟与实况的相关系数各月平均为 0.48。其中 9 和 10 月最差,相关系数约为 0.00;其次为 6,7,8 月,相关系数低于 0.50。

区域模式结果中 7 和 9 月是较差的,相关系数不到 0.40;其次为 10 和 8 月,相关系数在 0.50 左右;其它各月模拟与实况的相关一般都在 0.70 以上。与全球模式结果相比,可见区域模式对降水模拟的改进非常明显,如 9,10 月份的相关系数由原来的 0.0 左右,分别提高到了 0.33 和 0.48;原来较低的 6 月份,由 0.12 上升到了 0.74;其他各月也都有了不同程度的提高。各月平均的相关系数为 0.65,较全球模式的 0.48 有较大提高。

图 4a, b, c 分别给出中国年平均降水的实况和两个模式的模拟。两个模式模拟与实况的相关系数分别为 0.63 和 0.80。区域模式较全球模式有较大提高。

从图 4a 与 b 的对比可以看出,全球模式模拟与实况偏差最大的地方为模式在中国陕西、四川和甘肃 3 省交界地带,模拟出了一个虚假的降水中心。需要指出的是,类似现象在其他一些 GCM 的模拟中也有出现^[26]。各个 GCM 采用不同的动力框架和不同的物理过程,因此上述误差可能是由于它们的共同缺陷,即因为分辨率低而对青藏高原大

地形等的描述不好引起的。另外模式对中国北方和西北干旱少雨地区的降水量模拟得普遍偏大,这也是同类模式中普遍存在的问题^[26]。

从图 4c 上可以看到区域模式对中国降水的模拟有较大改进,其中最主要的改进是消除了上述虚假降水中心。其次在于它所模拟的中国北部和西北地区的降水,与实况相比虽然仍然偏大,但较全球模式有较大改进。上述改进可能是由于区域模式分辨率较高的原因,反映出在利用数值模式进行中国(东亚)降水的模拟中,高分辨率的模式可能是必需的。这需要进一步的数值试验确定。

区域模式对中国降水模拟的主要不足和全球模式一样,模拟不出中国东部夏季(6~8 月)雨带由南向北的逐次移动(图略);而在使用实测资料做为初始和边界场的模拟中,区域模式能够模拟这种变化^[23],表现了模式对初始和边界场的依赖性。

总之区域气候模式对中国地面气温和降水的模拟较全球模式有了较大的改善,但它并不能完全消除用以嵌套的全球模式模拟的误差;全球模式提供一个尽可能好的初始和边界场依然是非常重要的。

5 区域气候模式对东亚 500 hPa 高度场的模拟

计算得到区域模式模拟的东亚 500 hPa 高度场与实况(采用 1979~1995 年 NCAR/NCEP 分析资料)逐月的相关系数,如表 1 所示。

表 1 RegCM2 模式模拟的 500 hPa 高度场与实况的相关系数

月 份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	平均
相关系数	0.996	0.998	0.997	0.997	0.989	0.967	0.874	0.951	0.951	0.983	0.996	0.995	0.974

由表 1 可见,总体来看,RegCM2 模式对东亚 500 hPa 高度场模拟得较好,模拟与实况的相关系数一般在 0.95 以上,全年平均大于 0.97。模式对 7 月份的模拟相对稍差一些,而作为季风地区,东亚 7 月份的环流又是相对来说非常重要的。这是模式有待于重点改进的地方。

作为一个较差的例子,图 5a, b 分别给出 7 月份的实况和模拟结果。对比图 5a 和 b,可以看到总体来说模式对 7 月东亚环流形势的模拟较差。尤其是在低纬度地区,模式模拟的影响和控制中国夏季降水的西太平洋副热带高压系统的位置和强度都与

实况偏差比较大。对副高描述的误差最终导致了模式对中国夏季降水模拟的较大偏差。

6 结论和讨论

(1) 对 CSIRO R21L9 全球模式控制试验结果的分析表明,模式对中国当代气候具有一定的模拟能力,其结果可以用来制作驱动区域模式的初始场和侧边界条件,得到中国在 CO₂ 加倍情况下气候变化更详细、可靠的信息。

(2) 对 RegCM2 区域模式 5 a 时间积分的控制试验结果分析表明,区域模式对中国地面气温和降

水的模拟较全球模式有明显改善。其气温模拟的主要改进是克服了全球模式不能描述小尺度地形引起的温度特征的缺陷。对降水模拟的改进中,比较突出的是消除了全球模式在中国中西部产生的虚假降水中心,使得模式模拟与实况的相关系数有了较大

提高。但模式对中国夏季风进退的模拟仍然不好。反映在高层形势场,模式对东亚夏季 500 hPa 高度场模拟得不好,具体在低纬,表现为模式对影响和控制中国夏季降水的西太平洋副热带高压的模拟偏差较大。这是模式有待于重点改进完善之处。

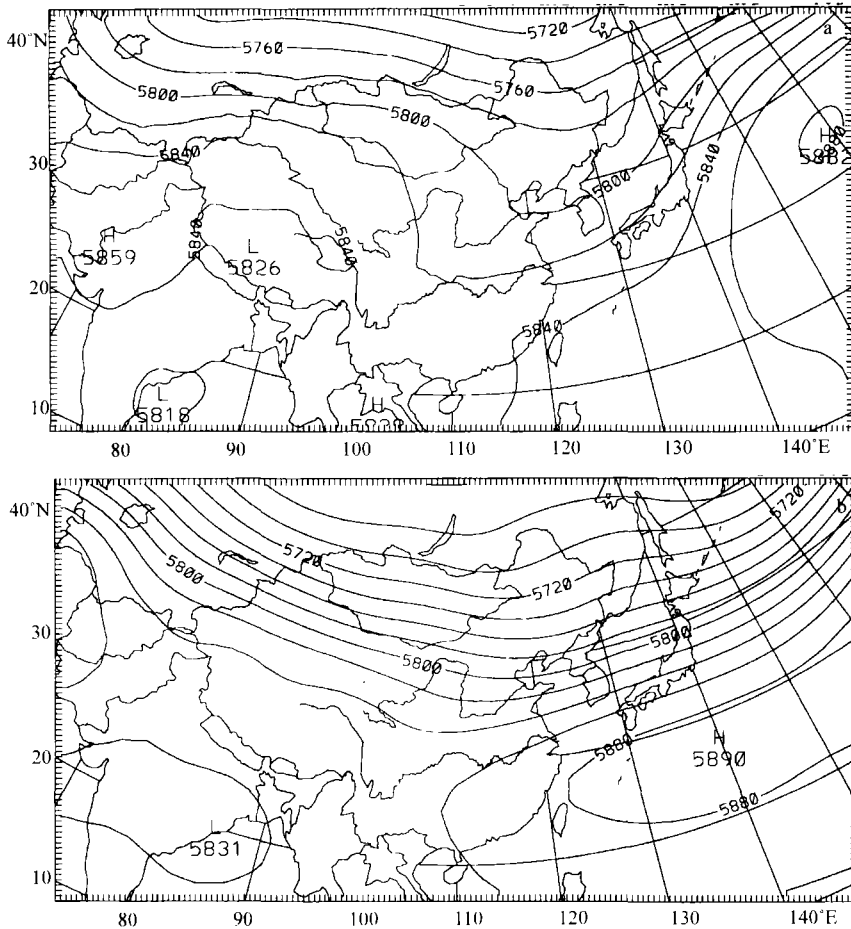


图5 东亚地区7月份 500 hPa 高度场

(a. 实况, b. 区域模式的模拟; 等值线间隔: 20 gpm)

(3) 区域模式对全球模式模拟的系统误差虽有所纠正,但并不能完全消除这种误差。区域模式本身不是独立的,它取决于嵌套的全球模式的优劣。利用区域模式对区域气候状况进行模拟时,除区域模式本身需要改进外,用以嵌套的全球模式能够提供尽量准确的边界条件,对模拟的成功是非常重要的。

(4) 总体上看,RegCM2 区域模式对中国当代气候的模拟,效果较 CSIRO R21L9 全球模式有了较大改善。该模式可以用以进行温室效应对中国气候变化影响等多方面的模拟研究。

致谢: 澳大利亚 CSIRO 的 John McGregor 和 Martin Dix 博士,提供了运行区域模式所需的全球模式资料;中国科学院植物研究所陈仲新博士提供了中国地区植被资料。特此致谢。

参考文献

- 1 Philips N A. The general circulation of the atmosphere: A numerical experiment. *Quart J Roy Meteorol Soc*, 1956, 82: 123~164
- 2 Garp Report of the JOC study conference on climate models, performance, intercomparison and sensitivity studies. Geneva: Garp Publication Series, WMO/ICSU, 1979, 22

- 3 Giorgi F, Hewitson B, et al. Regional climate information - evaluation and projections. In: Houghton J T. et al eds. The Scientific Basis, Contribution of WGI to the Third Assessment Report of IPCC. Cambridge: Cambridge University Press, U. K: 2001. 585pp
- 4 赵宗慈等. 海-气耦合模式在东亚地区的可靠性评估. 应用气象学报, 1995, 6(1): 9~18
- 5 Giorgi F, Bates G T. The climatological skill of a regional model over complex terrain. Mon Wea Rev, 1989, 117: 2325~2347
- 6 Giorgi F. Sensitivity of simulated summertime precipitation over the western United States to different physics parameterizations. Mon Wea Rev, 1991, 119: 2870~2888
- 7 Giorgi F, Marinucci M R. Validation of a regional atmospheric model over Europe: Sensitivity of wintertime and summertime simulations to selected physics parameterizations and lower boundary conditions. Q J Roy Meteor Soc, 1991, 117: 1171~1206
- 8 赵宗慈, 罗勇. 二十世纪九十年代区域气候模拟研究进展. 气象学报, 1998, 56(2): 225~246
- 9 Gordon H B. A flux formulation of the spectral atmospheric equations suitable for use in long-term climate modeling. Mon Wea Rev, 1981, 109: 56~64
- 10 Gordon H B, Farrell P O. Transient climate change in the CSIRO coupled model with dynamic sea ice. Mon Wea Rev, 1997, 125: 875~907
- 11 Dickinson R E, Kennedy P J, Henderson-Sellers A et al. Biosphere atmosphere transfer scheme(BATS) for the NCAR Community Climate Model. NCAR Tech. Note, NCAR/TN-275+STR, 1986, 69
- 12 Kiehl J T, Wolski R J, Briegleb B P, et al. Documentation of Radiation and Cloud Routines in the NCAR Community Climate Model(CCM1). NCAR Tech. Note, NCAR/TN-288+IA, 1987, 109
- 13 Giorgi F, Marinucci M R, Bates G T. Development of a Second-Generation Regional Climate Model (RegCM2). Part I: Boundary-layer and radiative transfer processes. Mon Wea Rev, 1993, 121: 2794~2813
- 14 Giorgi F, Marinucci M R, Bates G T, et al. 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
- 15 Hack J J, et al. Description of the NCAR Community Climate Model (CCM2). NCAR Tech. Note, NCAR/TN-382+STR, 1992
- 16 Grell G A. Prognostic evaluation of assumptions used by cumulus parameterizations. Mon Wea Rev, 1993, 121: 764~787
- 17 Holtslag A A M, et al. A high resolution air mass transformation model for short-range weather forecasting. Mon Wea Rev, 1990, 118: 1561~1575
- 18 Madala R V. Efficient time integration schemes for atmosphere and ocean models. In: Book D L Ed. Finite-Difference techniques for Vectorized Fluid Dynamics Calculations. New York: Springer-Verlag Publ, 1981. 56~74
- 19 Giorgi F, Brodeur C S, Bates G. Regional climate change scenarios over the United States produced with a nested regional climate model. J Climate, 1994, 7: 375~399
- 20 Giorgi F, Marinucci M R. An investigation of the sensitivity of simulated precipitation to model resolution and its implications for climate studies. Mon Wea Rev, 1996, 124: 148~166
- 21 Giorgi F, Mearns L, Shields S, et al. Regional nested model simulations of present day and $2 \times \text{CO}_2$ climate over the Central Great Plains of the United States. Climatic Change, 1998, 40: 457~493
- 22 Giorgi F, Shields C. Tests of precipitation parameterizations available in the latest version of the near regional climate model (RegCM) over the continental U S. J Geophys Res, 1999, 104: 6353~6376
- 23 罗勇, 赵宗慈. NCAR RegCM2 对东亚区域气候的模拟试验. 应用气象学报, 1997, 8(增刊): 124~133
- 24 赵宗慈, 罗勇. 区域气候模式在东亚地区的应用研究——垂直分辨率与侧边界对夏季季风降水影响研究. 大气科学, 1999, 23(5): 522~532
- 25 Gao Xuejie, Luo Yong, Lin Wantao, et al. Simulation of effects of landuse change on climate in China by a regional climate model. Adv Atm Sci, 2003, in press
- 26 高学杰, Fred Kucharsky, 赵宗慈. 实况海温强迫的 CCM3 模式对中国区域气候的模拟能力. 大气科学, 2003, 待发表

**CLIMATE CHANGE DUE TO GREENHOUSE EFFECTS IN CHINA
AS SIMULATED BY A REGIONAL CLIMATE MODEL
PART I: EVALUATION OF THE MODEL SIMULATIONS**

Gao Xuejie Ding Yihui Zhao Zongci

(*National Climate Center, Beijing 100081*)

Huang Ronghui

(*Institute of Atmospheric Physics, Beijing 100080*)

Filippo Giorgi

(*The Abdus Salam International Center for Theoretical Physics, Trieste, Italy*)

Abstract

Impacts of greenhouse effects ($2 \times \text{CO}_2$) on climate change over China as simulated by a regional climate model have been investigated. The model was based on RegCM2 and is nested in one-way mode within a global coupled atmosphere-ocean model (CSIRO R21L9 AOGCM). Two multi-year simulations, the control run with normal CO_2 concentration and sensitive run with doubled CO_2 concentration are conducted.

As Part I of the publications, results of control run of the CSIRO, i. e. its simulations of present climate in China, are analyzed briefly. It shows that the model has a certain ability in the simulations of surface air temperature and precipitation over China. Therefore, its results can be used as initial and boundary conditions to drive the regional model.

Analysis of control run of RegCM2 shows that with a high resolution, the model improves the simulations of surface air temperature and precipitation in China compared to the CSIRO model, especially for the precipitation. The spatial correlation coefficient between simulated and observed annual temperature increased from 0.83 in the CSIRO to 0.92 in the RegCM2 and for annual precipitation from 0.48 in the CSIRO to 0.65 in the RegCM2. A similar improvement in the RegCM2 compared to the CSIRO was found in all simulated months.

The main improvement for surface temperature is that RegCM2 can simulate the fine scale structure of temperature caused by topography. RegCM2 greatly improved the spatial distribution of precipitation by eliminating the virtual precipitation center in mid-west China, which was simulated by many other GCMs. The precipitation simulated by RegCM2 in north and northwest part of China is smaller than that by CSIRO which makes it closer to the observation.

It suggests that with the good performances of climate simulations, RegCM2 can be widely used in the regional climate study of China, e. g. climate change scenario simulations.

Key words: Climate simulations, Regional climate model, Evaluation.