

全球环流模式在中国部分模拟效果评估

赵宗慈

(气象科学研究院)

提 要

本文给出多种全球环流模式(GCMs)的模拟结果在中国部分的可信程度的评估。

一、引 言

在研究气候变化、大气环流和长期天气过程中已经广泛使用全球环流模式(GCM)。全球环流模式的发展趋向复杂化与完善化,目前在各国流行使用的GCM有大气环流模式(AGCM),大气环流模式与“沼泽”海洋耦合模式(AGCM/SWAMP),大气环流模式与混合层海洋耦合模式(AGCM/MLOM)以及大气环流模式与多层海洋环流耦合模式(CGCM)。

我国的气候学家们近10年来逐渐引入GCM,并且对有些GCM作较大改进,从而形成我们自己的GCM。在气候变化与大气环流的研究中,利用引入或改进的GCM做敏感试验及气候预测研究,则更加侧重分析在我国或东亚范围内各种效应。有些省的预报研究机构也在着手准备研究GCM应用到省的气候预测上来。

鉴于上述发展,有必要给出GCM在我国部分的模拟结果可靠性的评估。本文主要给出当前在各国流行且已引入我国的多种GCM在我国范围内模拟结果的评价,评估的气候变量是应用广泛的地面气温、降水及与土壤湿度有关的径流量等。为说明问题,还在开始部分给出各种GCM模拟全球年平均地面气温与降水率的结果。

尚需指出的是,各种GCM在中国范围内的网格点大致有40—60个,本工作根据各个模式作者发表的文章中各物理量的全球地理分布图,将中国部分放大,分别取经纬度 5° 格点读数,然后统一绘制在中国地图上,因而分析还是有一定实际意义的。同时文中所选用的各种GCM的模拟结果都是在模式计算达到准平衡状态后再继续计算5—10年,最后取平衡后的多年平均值,因而是合理的且符合统计学意义的。文中评估主要采用GCM模拟结果与观测结果的直观比较。由于GCM工作通常对比的观测场是国外学者给出的全球地理分布场,本工作类似上述方法读数绘制出中国部分的观测场。同时,为说明问题,本文的比较力求同时给出国外学者与我国学者分别给出的观测场,以供读者参考。

所选用的GCM包括美国普林斯顿大学地球物理流体动力学实验室(GFDL),美国宇航局Goddard空间研究所(GISS),美国国家大气研究中心(NCAR),美国俄勒冈州立大学(OSU),美国威斯康星大学(UW),英国气象局(UKMO)等的模式。

遗憾的是,许多GCM虽然发表了许多工作,但很少给出模式在控制试验中模拟的全球地理分布图,因而也就很难评估在中国部分的模拟效果。上面给出的这些GCM也

不是全面给出各种变量在各季、各月及年的模拟结果,因而本文的评估工作尽量力求客观全面包括各种结果在内,以便读者可以了解目前各种GCM的水平。

二、全球部分的简单评估

表1给出各种GCM模拟的全球年平均地面气温与降水率以及与观测值对比的差值。全球观测的地面气温的气候平均值为 14.2°C ,降水率为 $2.65\text{mm}/\text{day}$ [4]。从表1注意到,各种GCM模拟气温、降水率与观测值在数量级上相吻合,气温差值的绝对值在 $0.05\text{--}3.7^{\circ}\text{C}$ 之间,降水率差值的绝对值在 $0.04\text{--}0.44$ 之间。大部分模式气温模

拟差值在 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 之内,而降水率模拟差值在 ± 0.20 之间,因而各种GCM是可靠的。

尚需指出的是,从表1中注意到,GISS模式模拟的全球地面气温值与观测值的差值最小(0.05),这可能是由于在表1中所引用的12个模式中,只有GISS模式在陆面模式中取的是多层,其余模式均为一层,因而GISS模式在地面气温模拟上更接近实际。

有关GCM在全球范围内的模拟能力在[6]中有详细介绍,这里不再繁叙。

三、中国部分的评估

模式的模拟结果在中国部分主要评估了某些月和冬、夏季及年平均地面气温,降水

表1 各种GCM模拟的全球年平均地面气温($^{\circ}\text{C}$)与降水率(mm/day)以及与观测值的差值
(模拟值减观测值)

模 式	研 究 者	T(差值)	P(差值)
GFDL (AGCM/MLOM)	Manabe和Stouffer [1] (1980)	14.8(0.6)	2.69(0.04)
NCAR (CGCM)	Washington等 [2] (1980)	17.9(3.7)	
OSU (AGCM)	Gates等 [1] (1981)	14.8(0.6)	2.69(0.04)
UKMO (AGCM)	Mitchell [1] (1981)	12.3(-1.9)	2.83(0.18)
NCAR (AGCM/SWAMP)	Washington和Meehl [1] (1982)	11.7(-2.5)	3.09(0.44)
OSU (AGCM/SWAMP)	Schlesinger [1] (1982)	17.9(3.7)	2.73(0.08)
GISS (AGCM/MLOM)	Hansen等 [3] (1984)	14.25(0.05)	
NCAR (AGCM/MLOM)	Washington和Meehl [3] (1984)	14.4(0.2)	
GFDL (AGCM/MLOM)	Wetherald和Manabe [3] (1986)	14.8(0.6)	
UKMO (AGCM/MLOM)	Wilson和Mitchell [3] (1987)	13.3(-0.4)	
OSU (AGCM/MLOM)	Schlesinger和赵宗慈 [4] (1989)	15.7(1.5)	2.5(-0.15)
OSU (AGCM/MLOM)	Schlesinger [5] (1990)	13.7(-0.5)	

率,土壤湿度和径流量等。为节省篇幅,文中只给出部分对比结果。

1. 地面气温

各个GCM模拟在中国部分地面气温场与观测场最接近。做为一个例子,图1给出

冬季气温的观测场和模拟场。从图1满意地看到,几个模式把我国冬季气温在全国分布的主要特征都模拟出来了,即东北与西北北部地区寒冷,气温约 -15°C 到 -20°C ,而南部偏暖,温度大约为 $10\text{--}15^{\circ}\text{C}$ 。

即目前各个GCM能大致模拟出中国气温的基本特征,从而表明,GCM设计的在中国部分的热量交换过程大致上是较合理的。

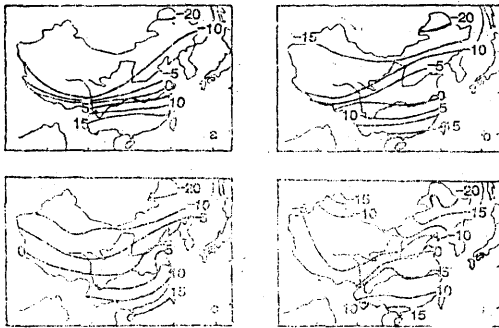


图 1 中国冬季(12—2月)气温分布

a. 模拟值(OSU^[4]); b. 观测值(取自文献[4]);
c. 模拟值(NCAR^[9]); d. 观测场(160站,取自文献[8])

比较模拟场与观测场还注意到, GISS模式模拟我国南方的温度值过低(图略),而OSU模式模拟我国南方的温度值过高,NCAR模式模拟我国西部温度分布稍差些。因而模式还有待在具体数值上做进一步改进,如在中国部分的下垫面类型及相应反照率取值等应根据我国情况调整。

2. 降水率

各种GCM模拟的降水场均用降水率(mm/day)表示,为对比方便,相应观测的降水场也都换算成降水率。

降水场的模拟远较气温场的模拟要困难得多,图2给出夏季降水率8个模式的模拟场与观测场的对比。

对比模拟场与观测场(见图2)表明,8个模式大致上都模拟出我国夏季降水分布的主要特征,即西北少南方多的特点。因而GCM在中国部分的降水模拟场是基本可信的。

从图2对比模拟场与观测场还要强调以下几方面:

第一,降水分布远较气温分布复杂,受局地因素影响较大。两个观测场(i)与(j)由于取站多少不同,带来分布特征有不少差

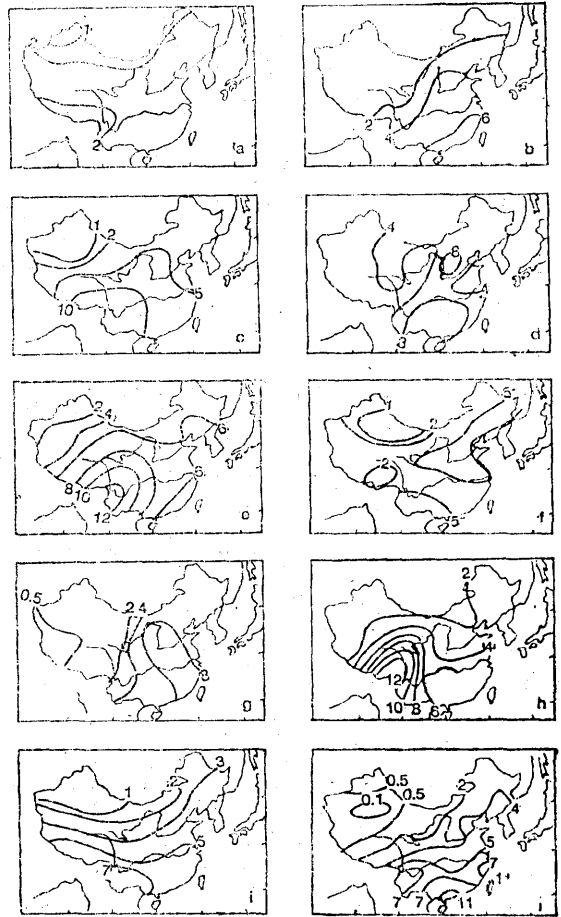


图 2 夏季(6—8月)中国降水率分布

a. OSU模拟场[4]; b. UM模拟场[7];
c. GFDL模拟场[9]; d. NCAR模拟场[2];
e. NCAR模拟场[9]; f. UKMO模拟场[9];
g. GISS模拟场[9]; h. NCAR模拟场[5];
i. 观测场(取自文献[4]); j. 观测场(取自文献[8])

异。GCM模式的创建大多以(i)作参考,即在中国部分只有较少的观测站点。因而在我国,改进的GCM模式中在中国部分应采用更多站点的观测场来调整模式中的相应物理过程。

第二,对比模拟场与观测场(j)发现,多数模式在我国南部模拟场与观测场差别较大。例如,GFDL(图2c),NCAR(图2e)与NCAR(图2h)模拟我国西南降水过多,而对我国南部与东南部则模拟值过小。因而尚需在这些模式的我国南方部分的水循环过程做进一步调整。

第三,注意到OSU模式对我国大部分地区降水值模拟过小。由于这个模式在AGCM中只有2层,因而对中国降水模拟效果较多层AGCM明显偏差。还需对模式中更多物理过程进行调整。

第四,图2中给出NCAR的3种不同类型模式,分别为9层大气环流模式(图2d),9层大气环流模式耦合50m混合层海洋模式(图2e)和9层大气环流模式耦合4层海洋环流模式(图2h)。与观测场对比,显然后两种增加混合层或深层海洋的模式模拟在中国部分的降水分布优于仅考虑大气的模式。这表明由增加了海洋特别是深层海洋模式,更多的考虑了全球海洋的热量及水汽、运动等物理过程,因而使降水分布更接近实际。由此启示我们,在做数值模拟时,应尽量在AGCM模式上耦合OGCM。

3. 土壤湿度与径流量

土壤湿度较降水量更复杂,尤其缺少较好的全球观测值。而径流量与土壤湿度关系密切,径流量有观测的年平均场,因而在这部分主要给出对模拟的径流量场在中国部分的评估,同时也给出土壤湿度场的粗略评估。遗憾的是,径流量与土壤湿度在我国都没有气候观测场,因此只能与国外给出的观测场加以对照。

图3给出年平均径流量的模拟场与观测场。对比图3的模拟场与观测场可见,4个模式粗略地模拟出我国径流量分布的主要特征,即西北少长江中下游及东南与南部多。仔细分析发现各个模式模拟的径流量大的区域与观测场有较大的位置及数值差别。

土壤湿度的模拟场与观测场的对比(图略)表明,模拟效果与观测场差距更大些,我国南方土壤湿度较湿而西北干燥的总特征并没有模拟出来。

由于目前的GCM的陆面过程是较为简单粗略的,一般计算土壤湿度及径流量都采用桶式方法,与实际情况差异较大。再加上目

前缺少较好的有关这方面的观测场,因而给下垫面参数化过程带来较大困难。目前一些局地陆面模式的研究将会促进GCM的改进。

尚需指出的是,图3a与b均为GFDL模式,前者为在模式中固定云,后者为在模式中预报云。注意到图3bGFDL-VC(预报云)更接近观测的径流量场。由此表明调整好模式中云的参数化过程是很重要的。

四、讨 论

总结以上对各种GCM在中国部分模拟效果的评估表明,模式对气温的模拟效果最佳,降水的总分布特征可以模拟出来,但数值相差较大,而对径流量与土壤湿度的模拟效果则较差。因而在利用各种GCM做敏感试验所得中国部分的结果还是有一定参考价值的,但若用各种GCM做气候预测时,对于中国区域所得结果要谨慎分析与利用。

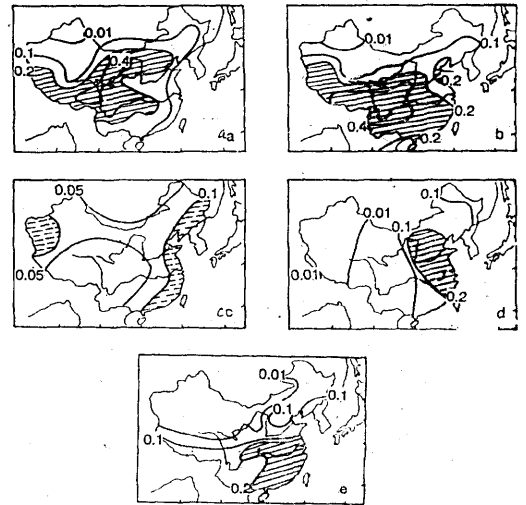


图3 中国年径流量分布

- a. GFDL-FC模拟场 [9];
- b. GFDL-VC模拟场 [9];
- c. OSU模拟场 [4]; d. UM模拟场 [7];
- e. 观测场(文献[4])

以上的分析还表明,所用的GCM模式在大气部分垂直层次分得愈细,包括的物理过程愈接近实际,GCM中包括海洋及冰过

程愈多, 陆面过程愈接近实际, 模式的模拟能力愈强。当然, 各种模式的设计是很复杂的, 本文只是一个初步的评估, 更详细的评估要针对各个模式的设计做具体分析。但从以上初步评估启示我们, 在做有关中国部分的数值模拟试验中, 对引进的各种GCM的改造上要特别注意改进模式的一些物理过程, 同时要嵌套区域模式到GCM中。

参 考 文 献

- (1) Schlesinger, M.E., A review of climate model simulations of CO₂-induced climatic change, Rep.No.41, CRI, Oregon State University, 1983.
- (2) Washington, W.M., A.J.Semtner, Jr., G.A.Meehl, D.J.Knight and T.A.Mayer, A general circulation experiment with a coupled atmosphere, ocean, and sea ice model, J. phys. Oceanogr., 10, 1887—1908, 1980.
- (3) Schlesinger, M.E., Model projections of the climatic changes induced by increased

atmospheric CO₂, Climate and Geo-Sciences, eds. by A.Berger et al., p375-415, 1989.

- (4) Schlesinger, M.E. and Zong-ci Zhao, Seasonal climatic changes induced by doubled CO₂ as simulated by the OSU atmospheric GCM/mixed-layer ocean model, J.Climate, 2, 459—495, 1989.
- (5) Schlesinger, M.E., Xiaodong Xu, Jai-Ho Oh and D.Vickers, CO₂-induced climate change simulated by an improved atmospheric GCM/mixed-layer ocean model: Results for the 1×CO₂ climate, (Personal communication).
- (6) 赵宗慈, 全球三维环流模式模拟短期气候变化的能力, 气象科技, 2期, 14—25, 1989.
- (7) Kutzbach, J.E. and R.G.Gallimore, Sensitivity of a coupled atmosphere/mixed-layer ocean model to changes in orbital forcing at 9000 years B.P., J.Gcophys. Res., 93, 803—821, 1988.
- (8) 陈菊英, 中国旱涝分析和长期预报研究, 农业出版社(即将出版)。

Assessment on validation of general circulation models (GCMs) in China

Zhao Zongci

(Academy of Meteorological Science)

Abstract

Assessment on the climatic changes in China as simulated by the general circulation models (GCMs) is presented in this paper.