

推动气候模拟的 美国国家战略

推动气候模拟国家战略委员会 著
周天军 邹立维 等 译



气象出版社

China Meteorological Press

推动气候模拟的 美国国家战略

推动气候模拟国家战略委员会 著
周天军 邹立维 等 译

This is a translation of *A National Strategy for Advancing Climate Modeling* by Committee on a National Strategy for Advancing Climate Modeling, Board on Atmospheric Sciences and Climate and Division on Earth and Life Studies © 2012. First published in English by the National Academies Press. All rights reserved. This edition published under agreement with the National Academy of Sciences.

图书在版编目(CIP)数据

推动气候模拟的美国国家战略/周天军译. —北京:
气象出版社, 2014. 9

书名原文: A national strategy for advancing
climate modeling

ISBN 978-7-5029-6006-3

I. ①推… II. ①周… III. ①气候变化-气候模拟-
国家战略-研究-美国 IV. ①P468. 712

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 219864 号

北京市版权局著作权合同登记:图字 01-2014-1862 号

出版发行: 气象出版社

地 址: 北京市海淀区中关村南大街 46 号

总 编 室: 010-68407112

网 址: <http://www.qxcbs.com>

责任编辑: 王萃萃

封面设计: 博雅思企划

印 刷: 北京京科印刷有限公司

开 本: 710 mm×1000 mm 1/16

字 数: 254 千字

版 次: 2014 年 12 月第 1 版

定 价: 80.00 元

邮政编码: 100081

发 行 部: 010-68409198

E-mail: qxcbs@cma.gov.cn

终 审: 章澄昌

责任技编: 吴庭芳

印 张: 20.75

彩 插: 6

印 数: 1—3000

印 次: 2014 年 12 月第 1 次印刷

美国国家科学院

国家层面的科学、工程和医学领域顾问

美国国家科学院是一个民间的、非盈利的、自治组织。它由从事科学和工程领域研究的杰出学者组成,致力于促进科学和技术进步,并应用于公共福利。自 1863 年由美国国会批准建立以来,国家科学院的使命之一是为联邦政府就科学技术事项提供咨询。美国国家科学院的现任主席是 Ralph J. Cicerone 博士。

美国国家工程院创立于 1964 年。根据美国国家科学院的章程,是一个由杰出工程师组成的并行机构。在管理和成员的选拔上拥有自主权,与国家科学院共同承担为联邦政府提供咨询的责任。美国国家工程学院也会发起那些旨在满足国家需求的工程项目,鼓励教育和研究,并表彰工程师的突出成就。美国国家工程学院的现任主席是 Harvey V. Fineberg 博士。

美国医学研究所由美国国家科学院于 1970 年创立,以确保行业内杰出专家能够审查关注公众健康的有关政策。在国会赋予美国国家科学院的职责范围之内活动,包括为联邦政府提供建议,以及依照自己的职权,鉴别医疗保健、研究和教育中的相关问题。美国医学研究所的现任主席是 Harvey V. Fineberg 博士。

美国国家研究理事会由美国国家科学院于 1916 年组织成立,以联系广泛的科学和技术团体,服务于科学院目标——增进知识及为联邦政府提供咨询。理事会按国家科学院确立的总方针行使职责,已经成为美国国家科学院和美国国家工程学院的主要执行机构,为政府、公众以及科学和工程领域的群体提供服务。理事会由两院和医学研究所联合管理。美国国家科学研究委员会的现任主席和副主席分别是 Ralph J. Cicerone 博士和 Charles M. Vest 博士。

www.national-academies.org

“推动气候模拟国家战略”全体委员会成员

CHRIS BRETHERTON (主席), 华盛顿大学, 西雅图

V. BALAJI, 普林斯顿大学, 新泽西

THOMAS DELWORTH, 地球流体力学实验室, 普林斯顿, 新泽西

ROBERT E. DICKINSON, 德克萨斯大学, 奥斯丁

JAMES A. EDMONDS, 西北太平洋国家实验室, 帕克学院, 马里兰

JAMES S. FAMIGLIETTI, 加利福尼亚大学欧文分校

INEZ FUNG, 加利福尼亚大学伯克利分校

JAMES J. HACK, 橡树岭国家实验室, 田纳西

JAMES W. HURRELL, 美国国家大气研究中心, 博尔德, 科罗拉多

DANIEL J. JACOB, 哈佛大学, 剑桥, 马萨诸塞

JAMES L. KINTER III, 海洋—陆面—大气研究中心, 卡尔佛顿, 马里兰

LAI-YUNG RUBY LEUNG, 太平洋西北国家实验室, 里奇兰, 华盛顿

SHAWN MARSHALL, 卡尔加里大学, 艾伯塔, 加拿大

WIESLAW MASLOWSKI, 美国海军研究生院, 蒙特雷, 加利福尼亚

LINDA O. MEARNS, 美国国家大气研究中心, 博尔德, 科罗拉多

RICHARD B. ROOD, 密歇根大学, 安阿伯

LARRY L. SMARR, 加利福尼亚大学圣地亚哥分校

美国国家科学研究委员会职员:

EDWARD DUNLEA, 高级项目主管

KATIE THOMAS, 项目副主管

ROB GREENWAY,项目副官

RITA GASKINS,管理协调人

APRIL MELVIN,Christine Mirzayan 科学和政策成员,2011

ALEXANDRA JAHN,Christine Mirzayan 科学和政策成员,2012

大气科学和气候委员会

ANTONIO J. BUSALACCHI, JR. (主席), 马里兰大学, 帕克学院
GREALD A. MEEHL (副主席), 美国国家大气研究中心, 博尔德, 科罗拉多

RICHARD (RIT) CARBONE, 美国国家大气研究中心, 博尔德, 科罗拉多

KIRSTIN DOW, 南加州大学, 哥伦比亚

GREG S. FORBES, 气象频道有限公司, 亚特兰大, 佐治亚

LISA GODDARD, 哥伦比亚大学, 帕利塞兹, 纽约

ISAAC HELD, 美国国家海洋大气局, 普林斯顿, 新泽西

ANTHONY JANETOS, 联合全球变化研究所, 帕克学院, 普林斯顿

HAROON S. KHESHGI, 埃克森美孚研究和工程公司, 安南达尔, 新泽西

MICHAEL D. KING, 科罗拉多大学, 博尔德

JOHN E. KUTZBACH, 威斯康星—麦迪逊大学

ARTHUR LEE, 雪弗龙集团, 圣拉蒙, 加利福尼亚

ROBERT J. LEMPERT, 美国研究与发展(兰德)公司, 圣莫尼卡, 加利福尼亚

ROGER B. LUKAS, 夏威夷大学, 檀香山

SUMANT NIGAM, 地球系统科学跨学科中心, 学院公园, 马里兰

RAYMOND T. PIERREHUMBERT, 芝加哥大学, 伊利诺斯

KIMBERLY PRATHER, 加利福尼亚大学圣地亚哥分校

RICH RICHELIS, 电力能源研究所, 有限公司, 华盛顿特区

DAVID A. ROBINSON, 新泽西州立罗格斯大学, 皮斯卡塔韦

KIRK R. SMITH, 加利福尼亚大学伯克利分校

JOHN T. SNOW, 俄克拉何马大学, 诺曼

CLAUDIA TEBALDI, 气候中心, 普林斯顿, 新泽西

XUBIN ZENG, 亚利桑那大学, 图森

美国国家科学研究委员会职员:

CHRIS ELFRING, 总监

EDWARD DUNLEA, 高级项目主管

LAURIE GELLER, 高级项目主管

MAGGIE WALSER, 项目主管

KATIE THOMAS, 项目副主管

LAUBEN BROWN, 研究副手

RITA GASKINS, 管理协调人

DANIEL MUTH, 博士后成员

ROB GREENWAY, 项目副官

SHELLY FREELAND, 高级项目助手

RICARDO PAYNE, 高级项目助手

AMANDA PURCELL, 高级项目助手

ELIZABETH FINKLEMAN, 项目助手

GRAIG MANSFIELD, 财务副官



中译本序一

气候信息与社会经济发展息息相关。从社会公众到各级决策者,对短至季节尺度的气候预测、长至百年尺度的气候预估,都有着迫切的信息需求。随着我国综合国力的不断增强,人民生活水平不断提高,社会公众对气候预测等信息的需求日益增长。气候变化直接影响到海平面升高、冰川消融、生态系统变化、极端天气和气候事件的发生等,社会各界应对和适应上述变化,需要提供准确的气候变化预估信息。气候系统模式是理解气候演变规律、预测短期异常、预估未来变化的重要工具。发展气候系统模式,具有迫切的国家需求。

气候模式是人类发展的最为复杂的模拟工具之一。气候系统由大气圈、水圈、岩石圈、冰雪圈和生物圈五大圈层组成,圈层间的相互作用影响着地球气候的演变。当前的气候系统模式,已经能够正确反映各圈层之间相互作用的关键过程。但是,气候系统模式涉及数量多到令人难以置信的相互联系的过程,我们目前对部分环节的认知水平依然有限。因此,不确定性是气候模拟的重要方面。当前,气候系统模式正朝着同时考虑物理过程、生物地球化学过程、人类活动影响等复杂过程的地球系统模式的方向发展。随着模式范畴的扩展,模式的复杂性随之提高,影响模拟结果不确定性的因素亦相应增多。完整地理解地球气候系统,改进气候模式、减少不确定性将是一项长期的任务。

气候模式发展是气候科学中最富有挑战性的任务,涉及气候物理学、生物地球化学、数值分析、超级计算环境等综合知识,以及高效的团队合作能力。我国的气候模式发展和模拟研究工作具有很好的基础,但是研究队伍的总体规模和水平较之发达国家尚有差距。近年来,随着我国对气候变化问题的高度重视和研发经费投入



的增加,开始有更多的研究机构投身于气候模式研究领域,这有助于提升我国的气候模拟水平、更好地服务于国家需求。气候模式的发展是一项难度大、投入高、周期长的工作,随着我国气候模式研发队伍的迅速扩大,如何从国家层次进行协调,确保模式发展的可持续性,已经成为当前摆在研发经费管理部门决策者面前的、亟待解决的重要问题,事关能否在不久的未来,从局地到全球尺度、从季节到年代际乃至百年时间尺度上,切实提升我国对当前和未来气候的模拟能力,对内满足国家需求,对外主导国际话语权。由美国国家海洋大气局(NOAA)、国家航空和航天局(NASA)、能源部(DOE)、国家科学基金会(NSF)等部门委托美国国家研究理事会(NRC)负责组织制定的《推动气候模拟的国家战略》,是指导美国气候模拟事业未来 10~20 年发展的战略框架。尽管中美两国国情不同,但该报告从科学、工程、组织管理等角度所提出的国家战略,对于我们依然具有重要参考价值。希望《推动气候模拟的国家战略》中文版的出版,将为我国气候模拟事业的可持续发展提供有益参考。

秦大河^{*}

2014 年 6 月

^{*} 秦大河,中国科学院院士,曾任中国气象局局长。



中译本序二

气候模式是理解和预测气候变化的基础,是支撑气候相关决策的重要工具。气候模拟是过去 30 年间地学领域发展最快的方向之一,这部分得益于“世界气候研究计划”(WCRP)的推动作用。WCRP 相继组织的“大气模式比较计划”、“耦合模式比较计划”(CMIP),极大地促进了气候模式研发和模拟领域的国际合作和数据共享。CMIP 计划是迄今为止地学领域组织得最为成功的国际计划之一。利用 CMIP 的气候模拟和预估结果所发表的大量学术成果,构成了“政府间气候变化专门委员会”(IPCC)历次科学评估报告的重要组成部分。气候预估只是气候模式众多应用领域之一。基于气候系统模式的短期气候预测业务,已经在世界上许多国家开展,并在一些关键气候指标上显示出较高的预报能力。

气候模式的发展是地学和环境领域国际竞争的前沿。气候模式水平的高低,是衡量一个国家地球气候系统研究综合水平的重要标志。1997 年参与 CMIP1 的国际模式有 10 个,2001 年参与 CMIP2 的国际模式有 18 个,2007 年参加 CMIP3 的国际模式有 23 个,到 2013 年参与 CMIP5 的国际模式有 42 个,从中可见世界各国对发展气候模式的高度重视。模式数量的增多只是一个方面,更为重要的进步还体现在模式所考虑的物理和地球生物化学过程的逐渐完善。在 CMIP3 之前,我国参与 CMIP 计划的只有中国科学院大气物理研究所的模式,到了 CMIP5,来自我国的气候模式已经达到 5 个,这是一个重要的进步,意味着我们的气候模式研发队伍在迅速壮大,这是我们参与国际竞争的人才基础。据不完全统计,我国目前研发中的耦合气候系统模式已经接近 10 个。

当模式研发队伍发展到一定规模的时候,如何组织协调就成为摆在研发基金管理部门面前的、所必须考虑的一个问题。在这方



面,发达国家的成功经验值得我们借鉴。《推动气候模拟的美国国家战略》就是这样一份具有较高参考价值的战略报告。美国国家研究理事会制定该报告的目的,就是为了能够在从局地到全球尺度、从十年到百年时间尺度上提升美国对当前和未来气候的模拟能力,指导美国气候模拟事业在未来 10~20 年的发展。该报告所涉及的美国当前气候模拟领域存在的问题、需优先解决的科学前沿问题、支撑模式发展的气候观测问题、模拟结果的不确定性问题、气候模式发展的人力问题、美国气候模拟研究与国际、国内的联系,以及气候预测业务和数据分发中存在的问题等,其中的许多方面也是我国目前面临的亟待解决的值得我们借鉴的问题。因此,这份报告中文版的出版时机,可谓恰到好处。

《推动气候模拟的美国国家战略》的重要价值,还在于针对当前美国气候模拟存在的问题,给出了“推动未来二十年气候模拟事业的美国国家战略”,这表达了美国在这个领域继续占领科技创新和引领发展潮流制高点的企望,全文包括四方面举措和五方面支撑系统建设。对于我国的气候模式研发组织管理机构决策者来说,这些举措无疑具有重要的参考价值。

最后,本书的翻译人员是工作在第一线的从事气候模式研发和模拟研究工作的青年学者,他们在繁忙的科研工作之余,能够抽出大量时间和精力来组织翻译这样一本战略报告实属不易,由于他们都是在这个领域工作和研究的专业人员,能够正确表达引文著作的原意,翻译的质量是高的,值得有兴趣的读者一读,这个译本也是他们对我国气候模式乃至地学发展战略研究的一个重要贡献,我要对他们的辛苦努力表示感谢。

丁一汇*

2014 年 6 月 11 日

* 丁一汇,中国工程院院士。



译者前言

气候模式,简言之就是封装了大量物理定律的计算机程序,是对地球系统中物理、化学和生态过程的数学表达。气候模式是迄今为止人类发展的最为复杂的计算机模拟工具之一,是理解、预测气候及其变化的基础,是支撑气候变化相关决策的重要工具。过去几十年来,气候模拟取得了巨大的成就,已经能够提供有效的气候预测和预估信息。但是,随着气候变化及其影响的加剧,减缓和适应气候变化的信息需求日益增加,世界各国的民众和决策者,对提供更为准确的全球和区域气候预测信息提出了更高的要求。为了能够从全球到区域空间尺度、从季节到未来百年时间尺度,全面提升美国的气候模拟和预测预估能力,按照美国国家海洋大气局(NOAA)、国家航空和航天局(NASA)、能源部(DOE)、国家科学基金会(NSF)和国家情报部门的联合部署,美国国家研究理事会(NRC)组织编制了《推动气候模拟的国家战略》(以下称作《推动气候模拟的美国国家战略》),它是指导美国气候模拟事业未来 10~20 年发展的战略框架,其目标是保证在未来二十年,美国的气候模拟事业能够快速发展,既适应国家需求,又确保国际竞争力。

《推动气候模拟的美国国家战略》报告出台的背景,是总结以往美国国家级气候战略报告实施的教训,以务实的态度,超越具体的模拟工作,超越各种模式类型,超越关注不同时空尺度的各个模拟研究群体,超越模式研发人员和模式产品用户,促进分散的美国气候模式事业走向联合和统一,这是适应未来二十年气候模拟领域美国国家需求和国际竞争所应采取的举措。在组织翻译这份战略报告的一年多时间里,仔细体会美国气候模式的发展历程和国家级的



战略统筹,我深感中美两国在气候模式研发历程上的相似性,这更增强了这份美国国家战略报告对于我国的参考和借鉴价值。国家级的战略统筹与协调,需建立在充足的人力和物力基础之上。以气候模拟领域国际竞争的一个主要舞台——“世界气候研究计划”(WCRP)组织的“耦合模式比较计划”(CMIP)及其气候模拟数据被“政府间气候变化专门委员会”(IPCC)科学评估报告的引用为例,从1997年的CMIP1、2001年的CMIP2,到2007年的CMIP3,来自我国的模式只有中国科学院大气物理研究所的模式;在CMIP计划启动之前,1992年发布的IPCC第一次科学评估报告及其补充报告,全世界只有11个模式参加,中国科学院大气物理研究所的模式不仅是国内唯一的模式,也是唯一来自发展中国家的模式。在这个阶段,我国的气候模拟事业尚处于从无到有的创业阶段,研究队伍薄弱、经费投入有限,气候模拟研究属于典型的“小众群体”的前沿研究行为,国家统筹与协调的必要性都不大。近年来,随着我国综合国力的增强,国家研发经费投入增多,气候模式研发队伍不断壮大,到了2013年的CMIP5,已经有5个来自我国的气候模式参与,我国的气候模拟研究步入蓬勃发展的壮大时期;而目前在研中的我国气候系统模式或者地球系统模式更有10个之多。在此背景下,国家级统筹与协调的必要性和紧迫性就日益凸显。

统筹协调是一个国际性难题。《推动气候模拟的美国国家战略》报告指出,在美国,即使在普遍呼吁加强统筹协调、促进国家目标实现这一积极氛围之下,任何涉及研究机构优化的举措都会造成“明显紧张气氛”,原因在于“涉及从事气候模拟研究的各种机构及其管理部门的利益”。笔者作为从事气候模拟研究的青年学者,鲜有参与高级别战略研讨的机会和阅历,故没资格在这方面费笔墨,这里想着重谈一下这次的访德经历。

当我在旅馆打开电脑,开始起草这份《译者前言》的时候,时间

是德国汉堡时间 2014 年 10 月 1 日晚上 10 点。借赴德参加 WCRP “耦合模拟工作组”(WGCM)第 18 届年会的机会,我顺访了位于汉堡的德国马普学会旗下著名的马普气象研究所(MPI-M),这是一家享有国际盛誉的、从事大气、海洋、陆面及其耦合过程模拟研究的机构。当天下午在 MPI-M,我做完题为“East Asian Summer Monsoon in a Warming World: Forcing from GHG, Aerosol and Natural Variability”的学术演讲之后,如约先后拜会了 MPI-M 的两位所长 Bjorn Stevens 和 Jochem Marotzke 博士(MPI-M 实行三位所长并行的管理体制)。Bjorn Stevens 博士是 WGCM 委员、CMIP6 计划(2015—2020 年)的组织者,他是位性格开朗的典型的美国人,在一小时的时间里,他以连珠炮似的语言,热情奔放地向我推销他所倡导的气候模式研发过程的两个核心环节:一是历史传承与坚持不懈,这从他主导设计的 CMIP6 核心试验 DECK(CMIP Diagnosis, Evaluation, and Characterization of Klima)中可以看到,未来 15 年从 CMIP6 到 CMIP8,DECK 的四组核心科学试验,将贯穿于世界上所有模式研发机构的所有新旧模式版本,目的是采用统一的指标、有效追踪模式发展进程中的成与败、得与失;涉及模式研发的组织,他强调要坚持长期努力,不能奢求短时间内的回报,要有在努力多年、大量投入后得不到回报,甚至模式性能出现倒退的心理准备;二是气候观测与模式物理过程改进的结合,在这方面,Bjorn 重点介绍了他主持的一项德国联邦教育和研究部(BMBF)项目“推动气候预测的高分辨率云和降水过程”(High Definition Clouds and Precipitation for advancing Climate Prediction),其目标是通过协同观测,解决 100 m 分辨率的超高分辨率气候模式中的云和降水物理过程的处理方案。在这个领域,我国当前存在研究空白。

MPI-M 的另一位所长 Jochem Marotzke 博士是 WCRP 联合科学委员会(JSC)委员,IPCC WG1 AR5《模式评估》一章的主要作者



召集人。他是一位典型的德国人,说起话来语速很慢、慢条斯理、字斟句酌。先是从书柜拿出刚出版的厚厚一本 IPCC AR5 报告,翻到《模式评估》一章,对照其中的表格,仔细询问我来自中国的几个模式的技术细节;期间还不无赞赏地告诉我,这一章中有哪几幅图来自李红梅博士的手笔(她是我以前联合培养的博士,目前在 MPI-M 从事博士后研究,作为 Jochem 的助手,高质量地完成了该章所用的海量模式数据的处理及其图形制作)。在讨论了我学术演讲中所涉及的 MPI-M 模式性能之后,他主动和我谈起了气候模式研发中的国家层组织协调问题。他告诉我,德国是一个小国,主要的气候模式研发机构是 MPI-M,此外还有两家规模较小,自己不独立研发模式但采用 MPI-M 的大气模式和其他海洋模式构建耦合系统,用于相关科学问题研究的单位;为避免资源的浪费,德国政府规定 CMIP 和 IPCC 只能由 MPI-M 模式参加。他说,美国是一个大国,目前参与 CMIP 国际计划的主要是 NOAA 地球流体力学实验室 GFDL 和国家大气研究中心 NCAR-DOE 的两个模式,NASA 的模式部分参与了但是研发投入不大,NOAA 环境预报中心 NCEP 的模式只做短期气候业务、而不参与 CMIP 和 IPCC。中国作为一个大国,经济实力允许现在同时研发多个模式,从培养队伍的角度看这也是好事,他也很高兴看到中国正在研究的 10 个气候系统模式中有 3 个是用 MPI-M 研发的大气环流模式 ECHAM 作为大气分量,尽管版本有些陈旧。不过从长远地看,中国的气候模拟界更应注意体现模式特色,着力解决国际前沿科学问题和国家需求问题。

最后,我要感谢完成本书翻译的团队。本书由多位专家翻译、校对,他们都是来自中国科学院大气物理研究所 LASG 国家重点实验室的从事气候模式研发和模拟研究的青年学者,感谢他们在繁忙的科研工作之余,付出劳动和时间来翻译这一战略报告。各章翻译和校对的责任专家是:总结,周天军;第 1 章,引言,吴波;第 2 章,来

自以前的气候模拟报告的教训,周天军;第3章,发展气候模式的战略:模式层级、分辨率和复杂性,周天军;第4章,科学前沿,邹立维;第5章,综合气候观测系统和地球系统分析,满文敏;第6章,描述、量化、传达的不确定性,邹立维;第7章,气候模式发展的人力资源,吴波;第8章,美国气候模拟界和其他国际国内工作的关系,张丽霞;第9章,业务气候模拟和数据分发战略,张丽霞;第10章,计算平台——挑战和机遇,郭准;第11章,天气和气候模拟间的协作,邹立维;第12章,与用户和教育界的联系,满文敏;第13章,优化美国研究机构设置的策略,吴波;第14章,推动气候模拟的国家战略,周天军;附录,郭准。几位在读的博士研究生孙咏、宋丰飞、陈晓龙等协助翻译了本书的前言和致谢部分。邹立维博士对全书译文进行了统一校对,负责联系本书出版的各个环节,以及最终排版的检查校对;在此期间,他曾因健康原因而住院手术,但仍带病坚持高质量地完成了各项工作。在此,我对他的敬业和奉献精神要表示特别的感谢!

中国工程院丁一汇院士曾任政府间气候变化专门委员会(IPCC)第三次评估报告第一工作组共同主席。中国科学院秦大河院士连续两届担任IPCC第四次和第五次评估报告的第一工作组共同主席。他们一直关注中国的气候模式在IPCC科学评估报告中的国际话语权,也一直鼓励我们青年学者要有国际视野,在做好本职研究工作的同时,要从战略高度上关注本领域的国际动态。两位三届IPCC第一工作组共同主席为本书作序,既彰显他们对气候模拟国家战略研究的高度重视,也是对承担本书翻译工作的青年学者所付出努力的肯定和鞭策,在此对秦大河院士和丁一汇院士表示深深的感谢!美国西北太平洋国家实验室(PNNL)大气科学和全球变化部副主任钱云博士、资深科学家 Ruby Leung 博士帮助我们联系美国科学院出版社的 Ann G. Merchant 博士获得了本书中文版的