

二战后美国三个大气模式中心的美日组合

■ 闻新宇 朱清照

著名计算机科学家高德纳（Donald E. Knuth）曾经这样定义科学与艺术的边界：“科学是那些我们理解得足够清楚，以至于可以描述成计算机语言的知识；而艺术则是其他还未达到这种程度的认知。（Science is what we understand well enough to explain to a computer; Art is everything else we do.）”从这个意义上讲，现代气象学的发端似乎不是20世纪初以V. Bjerknes为首的挪威学派，而应是二战后的1950年。

从1950年Charney首次在ENIAC上成功试验了正压涡度方程开始，发展数值模式就成为了那个时代大气科学领域最激动人心的主旋律。Rossby于1947年从美国回到瑞典斯德哥尔摩大学，领导发展了全世界第一个业务化的正压预报模式，在瑞典BESK计算机上一周三次地预报北大西洋地区的天气状况。然而由于诸多原因，欧洲在模式研发的道路上虽然赢在了起跑线上，却输在了途中。美国最终以蓬勃向上的绝对优势，领导了二战后数值模式的研发方向。特别地，美国在1950—1970年代，先后诞生了三个具有里程碑意义的模式研发中心：位于科罗拉多州博尔德市的美国国家大气科学研究中心（NCAR）、位于加州洛城的加州大学洛杉矶分校（UCLA）和位于新泽西州普林斯顿市的地球流体力学实验室（GFDL）。其中最耐人寻味的是，这三个模式中心中最早领导模式研发工作的，都是一个美国学者和一个日本学者的组合：NCAR的Warren Washington和栗原秋良（Akira Kasahara）（图1）、UCLA的Yale Mintz和荒川昭夫（Akio Arakawa），以及GFDL的Joseph Smagorinsky和真锅淑郎（Syukuro Manabe）。这种固定的“美日组合”究竟有哪些优势？这种优势如何推动了大气环流模式的早期发展？这样的组合在特殊的历史年代又有怎样的必然性？当我们回望这段历史，仔细考察这三个模式中心早期的发展经历时，就会更深入地理解这些看似巧合的故事其实都孕育在某种必然中。（图2）。

一、国家大气科学研究中心（NCAR）

NCAR作为美国高校大气科学联盟（UCAR）下属的研究中心始建于1960年，其红色建筑由华裔著名建筑师贝聿明设计，坐落在美丽的博尔德市西南郊Mesa路尽头的小山上。在NCAR发展早期，领导其模

式研发工作的是美国黑人气象学家Warren Washington和日本学者笠原秋良（Akira Kasahara）。

笠原秋良于1926年生于日本东京，1944年考入东京大学修习气象学专业，1948年毕业后师从日本著名气象学家正野重方（Shigekata Shyono）攻读研究生。当时的日本处于战后恢复期，美国盟军在东京建立图书馆大肆传播西方文化和价值观，也向东大提供了许多美国最新的气象学杂志，这些专业杂志使得包括笠原在内的很多日本学者，了解到美国正在积极发展一种称为“数值模式”的计算机与程序相结合的设备。正野重方敏锐地意识到这一革命性的新方向对于弥合动力学与经验天气预报之间的鸿沟具有重要意义，并开始思考如何发展日本自己的数值模式。正野教授当时与自己的研究助理、学生和日本气象厅（JMA）的相关研究人员一起成立了一个数值天气预报小组，定

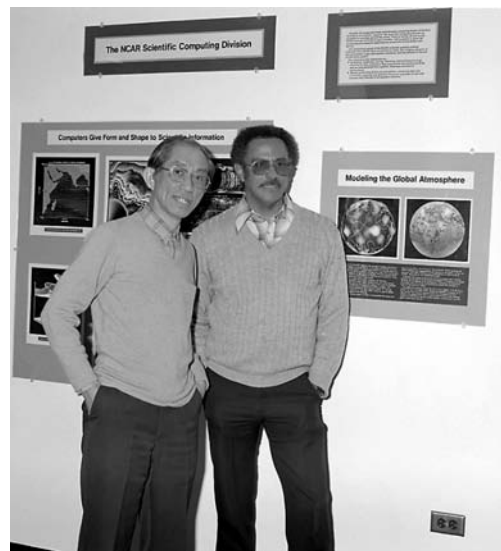


图1 1975年Warren Washington和笠原秋良的合影（见于NCAR档案）

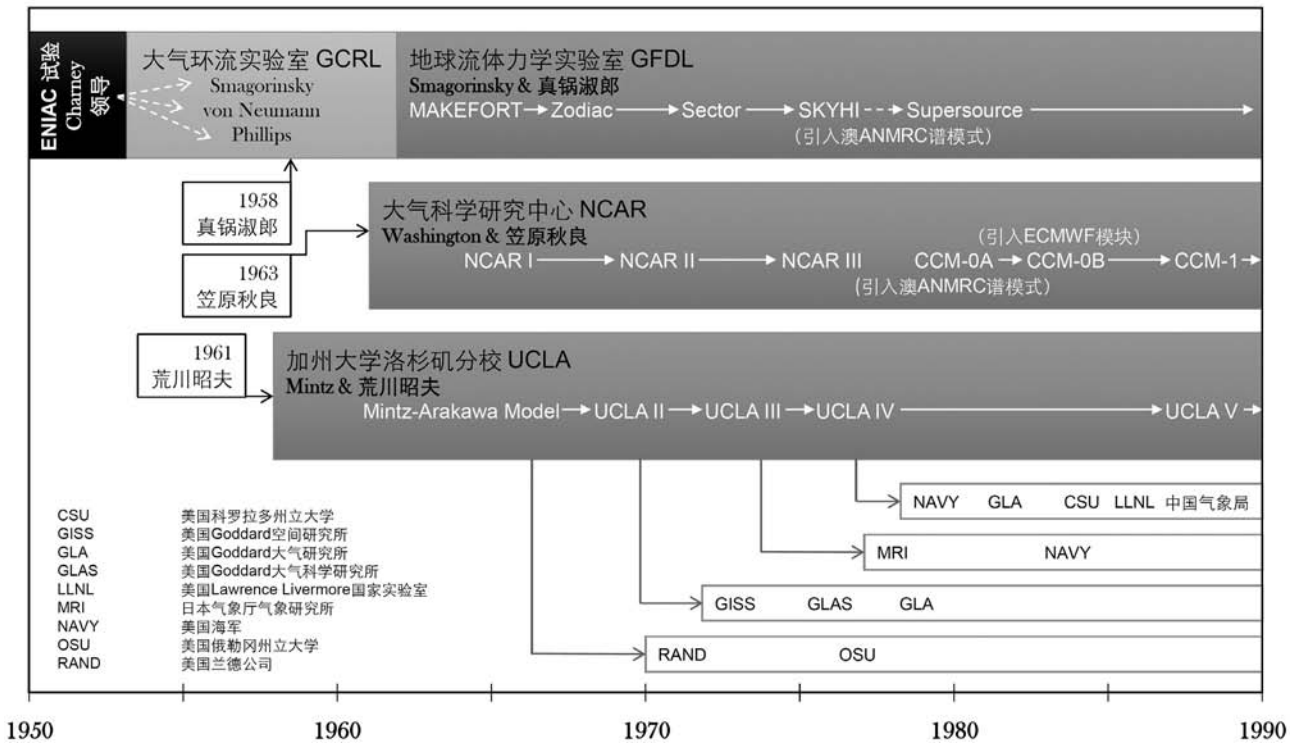


图2 1950—1990年GFDL、NCAR和UCLA有关模式发展和模式传播的示意图（修改自Randall D (2000) 第二章Fig 1）

期讨论相关问题。笠原曾生动地回忆道：那是1949年的一天，正野教授兴奋地举着Charney的论文冲进教室，激动地说：“看！气象学将因这篇文章而真正实现现代化！”1952年，正野重方的研究助理岸保勘三郎（Kanzaburo Gambo）因在长波频散和数值预报理论方面的工作受邀去美国普林斯顿大学高级研究所与Charney合作两年，期间他经常写信给笠原，告诉他Charney那边在模式发展方面的工作进展。1954年，岸保堪博士回到东京和正野教授共同组建了更大规模的数值预报小组，共包括25名研究生和日本气象厅雇员，他们每月都要集中讨论和汇报进展。这个活跃而充满激情的小组，在整个1950年代一直活跃在日本数值预报领域的最前沿。后人称之为“东京NWP小组”。

正是由于出身于正野教授的NWP小组，笠原接受了广泛的学术熏陶和良好的专业训练。1956年，笠原受Platzman的邀请到芝加哥大学参与热带气旋的研究，并在那里工作了6年。当时芝加哥大学的计算设备并不好，笠原经常要跑到位于首都华盛顿的美国气象局去完成计算任务。1961年，美国国家自然科学基金会（NSF）和日本学术振兴会（JSPS）达成协议，共同促进美日在尖端科学领域的交流与合作。两年后，笠原秋良受此计划资助前往NCAR工作，NCAR则承诺将提供最好的研究环境和计算设备。在笠原到达NCAR工作后的第三个月，他遇到了同样新加入NCAR的黑人

青年：沃伦·华盛顿（Warren Washington）。

沃伦·华盛顿于1936年生于美国俄勒冈州波特兰市，1960年毕业于俄勒冈州立大学获气象学硕士学位，1964年毕业于宾夕法尼亚州立大学获气象学博士学位，成为美国历史上第二位获得大气科学博士学位的非洲裔美国人。据华盛顿自己回忆，1963年8月28日，他正在驱车前往NCAR报到的路上，在汽车旅馆的电视里看到了马丁·路德·金（Martin Luther King）的著名演讲“I Have a Dream”，这段演说极大地激发了他作为一位非裔美国人在科学研究领域中争取平等的热情，这对他后半生的事业都产生了很大的影响。

在华盛顿加入NCAR不久后的一天，他主动向笠原提出共同建立一个大气环流模式（GCM）的想法，这让笠原感到非常震惊，因为那时华盛顿还只是一个刚刚毕业的青年学生。尽管笠原一直关注着GCM的发展，但此时NCAR在模式方面已经落在了后面。GFDL、UCLA和LLNL气象学家Chuck Leith都已经发展了自己的数值模式。笠原认为1917年理查森的手算试验不能算是完全的失败，他所使用的控制方程在本质上应该可以用计算机计算并得到更精确的解。于是笠原提出，NCAR的模式研发要采用理查森的原始方程组，全球覆盖，这可以使NCAR的大气环流模式研发趋向科学意义上的真正完善和成熟。

1964年5月，华盛顿和笠原秋良共同向NCAR主

任汤普森 (Thompson) 提出建立一个气候模式的想法, 并得到了支持。他们最终决定购买一台先进的 CDC3600 计算机用于数值计算。在模式发展初期, 他们两人主要专注于科学方面的研究, 由大量程序员负责编写和完善代码。整个团队几乎每天都要开会讨论模式的输出结果并确定第二天的改进方向, 模式在这种不断地修改中也变得越来越稳定。最终在科学家和程序员的共同努力下, 笠原和华盛顿共同署名于 1967 年发表了基于原始方程、覆盖全球的 GCM 论文, 在这篇文章里他们系统介绍了 NCAR 比较复杂的气候模式的动力框架、物理过程和初步的模拟结果。作为 NCAR 第一代大气环流模式, 这个 5° 分辨率的两层模式也被称为 Kasahara-Washington Model 或 NCAR 1。之后的 1970 年, 他们进一步大幅改进了模式的灵活性, 发布了第二代的 NCAR 2, 这一代模式默认分辨率仍为水平 5° , 但垂直增加到 6 层。1973 年他们又发布了 NCAR 3, 重点改进了差分算法。纵观 Kasahara-Washington 大气环流模式的发展历程, 他们始终在计算方法稳定性、极点处理, 以及如何控制计算机舍入误差方面给予了更多的关注。

1970 年代后期, NCAR 逐渐放弃了 Kasahara-Washington 模式系列, 转而开发给美国所有大学使用的新一代气候模式 CCM (Community Climate Model), 这一方面是出于更好地服务 UCAR 的需求, 另一方面也是因为澳大利亚数值预报研究中心 (ANMRC) 发展了具有里程碑意义的谱模式。CCM 系列一直发展至今, 经历了 CCM0B, CCM0A, CCM1, CCM2, CCM3, CSM1, CCSM2, CCSM3, CCSM4, 是今天 CESM1 一脉的源头。

从 1964 年至今, NCAR 一直努力延续着模式研发的传统, 使得今日 NCAR 的全系列数值模式, 包括气候模式 CESM、化学模式 MOZART、天气模式 WRF 等, 被世界范围内的众多科学家所广泛使用。今天 NCAR 的诸多数值模式都已成为美国模式领域最重要的风向标。

二、加州大学洛杉矶分校 (UCLA)

加州大学洛杉矶分校的大气科学系是由挪威学派的 J. Bjerknes (Jacob Bjerknes) 于二战期间建立的。1940 年 4 月, 挪威刚刚被德军占领, J. Bjerknes 便接受美国的邀请, 着手在 UCLA 建立气象系为美国空军培养气象预报员。这里成为当时美国 5 个基于大学的紧急军事气象训练基地之一。从那时起, UCLA 气象系逐渐成为美国最重要的大气科学研究中心之一, 在动力气象、大气环流模式、海气相互作用、边界层气

象、平流层物理化学等很多领域都保持了领先的研究水平。

荒川昭夫 (Akio Arakawa) 生于 1927 年, 中学时他就对自然科学, 特别是物理很感兴趣。二战结束后的 1947 年, 近 20 岁的荒川考取了东京大学物理系, 一直接受纯粹的物理学训练。1950 年荒川本科毕业, 也曾考虑过继续读研究生, 但由于当时刚刚订婚, 迫于生计需要他还是选择了工作。与他同班毕业的有 30 名同学, 但当时日本经济惨淡, 根本没有招收物理系毕业生的工作岗位, 全班只有 3 个工作机会, 其中之一便是去日本气象厅。荒川恶补了气象学知识, 没想到面试时主要被问了很多物理和数学问题, 他被顺利录取了。对于自己的教育背景, 荒川曾这样回忆道: 我从来没读过研究生, 也没有获得过硕士、博士学位 (实际上 1961 年他被授予东京大学名誉博士学位), 我本科也没接受过气象学训练。在步入 JMA 工作之前, 我对气象学一无所知, 也毫无兴趣。

荒川自己也没想到, 他毕业后进入 JMA 后的第一份工作, 却是随船出海。在经过半年的培训后, 荒川和另外几名入职新人被送上了 JMA 气象监测船。在之后一年的时间里, 他随船往返于日本东北部 X-Ray 测站 (152°E , 39°N , 测美日之间的天气状况) 和西南部的 Tango 测站 (135°E , 29°N , 测台风)。船上的生活并不紧张, 由于他们几个新人是被作为未来 JMA 中层领导人员进行培养的, 因此荒川有很多时间观察中纬度海面风暴路径上的锋面气旋云系和低纬度的强对流云团, 而且还能经常见习其他 15 名真正的气象员每天开展日常观测、手绘天气图、并进行相关天气讨论等活动。正是这一年内 6~7 次的随船出海, 使荒川真正爱上了气象学。

一年期的出海结束后, 荒川面临两个选择, 或者去 JMA 做统计员, 或者继续随船做海洋观测。此时 JMA 下属的气象研究所 (MRI) 主任荒川秀俊 (Hidetoshi Arakawa) 教授突然主动邀请荒川昭夫加入 MRI 从事天气预报、分析工作。当时 MRI 没有计算机, 所有预报工作都依赖在 500hPa 天气图上应用挪威人 Fjortoft (1952) 的匀速平流公式。而 1950 年代中期, 国际气象学界最前沿的领域是对大气环流的研究, 比如 Fultz 的转盘试验, 这深深吸引了荒川的关注。1958 年荒川将国际上对大气环流的研究进行了总结, 用日语出版了单行本《大气环流的现代理论》, 向日本气象学界介绍国际上有关大气环流的最新进展, 这本书直到今天仍被很多看过的人大加称赞。

到了 1959 年, MRI 几经权衡从美国购买了 IBM

704计算机, 这比MRI原来的富士通电脑能力强很多。荒川也从业务预报部门转到了新成立的数值预报(NWP)部门。新部门没有程序员, 荒川就从零学起, 对这台计算机的硬件和刚刚诞生的Fortran语言(1957年, Fortran语言诞生在IBM 704机器上)逐渐有了全面的了解, 并开始用计算机解决工作中的具体问题。要知道, 当时即使IBM驻日本分公司里也没几个人懂Fortran语言。同时, 开始接触数值计算的荒川也开始规律地参加“东京NWP小组”的每月讨论, 并受到了正野重方教授的赏识。1960年, 国际数值预报大会(NWP Symposium)在日本东京召开(亦称东京NWP大会)。这是一次具有里程碑意义的大会, 当时国际上著名的有关NWP和大气环流方面的权威专家几乎悉数到场, 包括: Bolin, Charney, Doos, Eliassen, Fjortoft, Gates, 郭晓岚, Lorenz, Mintz, Namias, Pfeffer, Phillips, Platzman, Shuman, Smagorinsky, Wurtele等。在这次大会上, 东大的正野教授与Mintz有过深入的交流, Mintz表明他想发展能模拟季节变化、可长期稳定积分的大气环流模式的宏大愿望, 正野便向他推荐了荒川昭夫。Mintz在拜读了一些荒川的日语论文的英译本后, 决定邀请荒川去UCLA进行为期2年的访问研究, 其核心目的就是帮助他发展大气环流模式。

Yale Mintz (1916—1991年) 于1937年毕业于达特茅斯学院的人类学系, 1942年于哥伦比亚大学获得地质学的硕士学位, 然后到纽约大学气象系工作了2年, 又考到美国西岸的UCLA师从创建气象系的J. Bjerknes。Mintz是个热情奔放、兴趣广泛、智力过剩的年轻人, J. Bjerknes曾生动地回忆道: 他来报到的时候, 除了人之外, 就是满满一大车的书。1949年, Mintz获得气象学博士学位, 这是该校历史上第二个获此学位的人(第一个是Charney)。之后, Mintz留校工作, 并作为J. Bjerknes的得力助手参与很多UCLA气象系的建设和管理工作。

1950年代, 天气预报多是局地、大陆尺度的预报, 刚刚兴起的NWP预报通常也只能报2天。而受到逐渐兴起的有关大气环流的研究的启发, Mintz想发展能长期稳定积分的GCM, 并把预报推广到全球。1961年荒川受邀来到UCLA, 他们两人便开始了一段长达20年的合作。他们两人的工作风格其实天差地别, Mintz由于教育背景的限制并不是一个彻底的气象学家, 但他眼界宽广, 因此他只关心宏大图景, 专注于不断拓展GCM的功能。他总觉得荒川工作进度很慢, 而荒川总是不得不说服Mintz慢下来, 并告诉他目前工

作的难点在哪里。荒川曾回忆道: “我们每天都要讨论1个小时, 或者是在电脑前, 或者是在电话旁, 他每天都有很多新想法, 我通常要否定一多半, 而剩下的都是非常好的点子。”由于当时UCLA比那些国家实验室(如NCAR, GFDL, LLNL等)小很多, 甚至连程序员都没有, 而Mintz又有野心要与他们竞争, 所以荒川几乎承担了全部的代码开发工作, 而且每个周末都要加班赶工。当时UCLA刚刚购买了一台很先进的IBM 709, 荒川凭借自己在日本积累的编程经验, 很小心地编写Fortran程序卡片, 实际的工作进展并不慢。

1961—1963年, 荒川和Mintz主要解决了平流方程中常见的雅可比算子(Arakawa's Jacobian operators)难题, 并顺利发展出了第一代UCLA两层模式, 也称Mintz-Arakawa Model。到了1963年, 荒川由于学者(J)签证到期不得不返回日本, 并且2年之内不得再入境, 荒川便回到了JMA工作。离开荒川的Mintz失落不已, 专门请了程序员Dennis Subsary才能继续开展工作, 同时急切地每个月给荒川写一封信, 希望他能尽快返美。1965年, 荒川再次赴美, 并获得了UCLA的永久教席。他们两人的再次合作爆发了前所未有的能量, 如向模式里加入水汽、完善格点设计、改进守恒性更好的差分算法等。

UCLA的大气环流模式在1965年之后发展很快, 但两人都没有时间停下来撰写论文, 以至于有关UCLA模式的论文是三个模式中心发表最晚的; 不仅如此, 荒川和Mintz凑巧一生都没有共同署名的文章发表。但是, 这没有妨碍UCLA的模式成为世界上传播最广泛的模式。这一方面是由于UCLA作为大学相比于那些国家实验室更自由、更友好的开放态度所致。事实上, 1965年之后, 全世界各地的学生和访问学者纷纷去UCLA交流访问, 他们毕业或回国后又把模式代码带到了世界各地。另一方面是由于IBM公司对UCLA提供了巨大的技术支持, IBM大规模科学计算部的工作人员每周从加州圣何塞(San Jose)到UCLA来听课、调程序, 并最终帮助他们撰写了高质量的文档, 这些文档里甚至包含了完整的源代码, 这使得世界各地的科学家可以轻易地复制UCLA的模式。

第一代UCLA的大气环流模式是原型模式, 大体于1965年成型, 没有水汽过程, 水平分辨率 $7^{\circ} \times 9^{\circ}$, 垂直两层, 物理过程方面也很不完善, 荒川称之为UCLA I。第二代模式UCLA II于1960年代后期完成, 这是第一个可以称得上是“产品级”的代码, 水平分辨率 $4^{\circ} \times 5^{\circ}$, 使用B格点, 同样只有两层。UCLA II流

传很广，是因为1970年Mintz的研究生Lawrence Gates毕业后将模式带到了兰德公司（RAND Corp.，美国智库），并将其应用在很多美国国防部的项目中，这个兰德公司的版本后来又被进一步带到了俄勒冈州立大学。第二代模式的垂直扩展版UCLA II-3L在第二代模式的基础上，主要把垂直分层增加到3层，这一版本后来又增加垂直分层后扩散到了三个NASA中心：1972年，一个9层版本传播到NASA/GISS；几年后又传播到NASA/GLAS和NASA/GLA。第三代模式UCLA III重新设计了混网格，采用C格点，这也是后来UCLA模式一直沿用的格点设计，垂直方向增加到6或12层。1970年代中期，UCLA III被传播到美国海军和日本气象厅MRI。第四代模式UCLA IV从1980年代早期开始研发，重新设计了 σ 垂直坐标，这一版标志着UCLA模式基本走向成熟。这一版代码被传播到美国海军、NASA/GLA、DOE/LLNL，甚至中国气象局，其中荒川的学生David Randall将这一版的模式代码带到科罗拉多州立大学（CSU），CSU成为后来最重要的模式发展分支之一。

Mintz于1977年退休。他在1980年代一直在NASA/GSFC担任科学顾问，但转而关注陆面过程和水循环。他于1990年获得Rossby奖，于1991年4月27日在以色列死于癌症。荒川早在1977年就获得了Rossby奖，于1998年从UCLA退休，但他一直留在UCLA继续工作至今。他的学生David Randall将荒川退休纪念会上的很多科学家的发言结集出版（*General Circulation Model Development: Past, Present, and Future*），这是一份全面回顾UCLA模式发展的文献。

三、地球流体力学实验室（GFDL）

GFDL的前身是美国气象局于1955年在von Neumann倡议下建立的大气环流研究部（General Circulation Research Section, GCRS），位于马里兰州的Suitland市，距离气象局的联合天气预报小组（Joint NWP Unit）非常近，Joseph Smagorinsky受邀担任主任。当时这个部门的成立主要是为了与von Neumann继续合作开发滤波模式。1959年该部门改名为大气环流研究实验室（General Circulation Research Laboratory, GCRL）并迁至首都华盛顿，从这时起，Smagorinsky开始独立研发9层原始方程模式。1963年，GCRL更名为现在的名字GFDL，并于1968年再次迁至现在的普林斯顿。今天的GFDL已经成为美国最重要的大气科学研究中心之一，其在气候动力和模式模拟方面都具有领先地位。

真锅淑郎（Syukuro Manabe）于1931年生于日本

爱媛县，并分别于1953，1955和1958年获得东京大学的本科、硕士和博士学位。同他的学长笠原秋良一样，他研究生阶段的导师也是著名的正野重方教授。在研究生阶段，真锅就在正野教授和岸保堪教授的指导下，在日本气象学报上发表了几篇论文，其聪颖、活跃的性格深得正野教授喜爱。特别地，他在“东京NWP小组”里也异常活跃，这都为他今后从事数值模式研发方面的工作打下了坚实基础。受导师正野教授的推荐，真锅在博士毕业的1958年就收到了来自美国Smagorinsky的邀请，毕业后直接飞赴美国加入Smagorinsky领导的GCRS。

Joseph Smagorinsky于1924年生于美国一个油画商之家。二战时他正在纽约大学读大二，他毅然选择参加空军，并先后被派到布朗大学学习数学和物理，以及MIT跟随Lorenz学习动力气象。在这期间，他能亲身感受到战争对气象信息的巨大渴求，也积累了很多实际的气象观测经验。于是二战结束后，他决定继续深造气象学。在一次由Charney主讲的天气预报课程上，Smagorinsky在提问环节问了一系列令人印象深刻的问题，Charney认可他的才华，便邀请他到普林斯顿的高级研究所去用计算机来验证他的一系列想法。1950年4月，年轻的Smagorinsky参加了Charney领导的著名的ENIAC试验，这使得Smagorinsky成为最早一批亲身参与1950年ENIAC数值试验的学者之一。之后他便正式加入普林斯顿高级研究所，与Charney和von Neumann合作，共同推进数值试验方面的工作。1953年，时年29岁的Smagorinsky得到了一个美国气象局下属的联合数值天气预报中心的工作机会。两年后，美国气象局又在von Neumann的建议下新成立了一个大气环流研究部（GCRS），由Smagorinsky直接领导。如上文所述，之后，他领导的这个机构几度搬家，并最终GFDL的名字迁至新泽西州的普林斯顿。

Smagorinsky在1955—1956年，通过与von Neumann、Charney和Phillips合作，已经发展出两层半球模式；从1959年开始，他又与真锅合作着手发展9层半球原始方程模式。尽管当时他们的模式使用了过多的黏性耗散，使得模拟的结果看起来更平滑漂亮，但计算不稳定一直是GFDL模式头疼的问题。在GFDL，由于有大量的程序员的支持，真锅得以全身心投入科学方面的思考中，特别是对很多物理过程如何在模式中表达，他做了海量的调查研究工作。比如真锅最早发展的对流调整方案，就是对辐射传输和积云对流过程简洁的高度抽象。除了模式研发本身，真锅还最早提出了使用模式进行CO₂加倍试验，这成为

今天利用模式进行全球变暖研究的起点。Smagorinsky并不具体负责模式代码的发展，他更多地关注方向性的问题。比如他最早意识到气候模式不能只有大气分量，海洋在长期气候模拟中起着举足轻重的作用。为此他于1961年邀请海洋模式方面的专家Kirk Bryan加入GFDL（当时叫GCRL），这使得GFDL的模式最早于1970年代就成为了耦合的海气模式。

1960年代中期以后，Smagorinsky的精力更多地转移到WMO下属的全球大气研究计划（GARP）的规划中，使得真锅成为GFDL模式研发方面实际意义上的领军人物。从这时起直到1998年真锅从GFDL退休，他成为世界上领导模式发展时间最长、最富有进取精神的领袖。在漫长的30多年的岁月中，一大批围绕在真锅身边的合作者也逐渐成为模式研发领域的翘楚，包括：Kurihara, Strickler、Wetherald、Holloway、Stouffer和Bryan等。

GFDL模式的命名不像其他单位那么自成一体，主要包括如下系列：MARKFORT系列，由Smagorinsky最早领导开发的9层半球原始方程模式，1960年代很多有影响力的论文都是基于这个系列；Zodiac系列，这是GFDL第二代模式，主要引入了Kurihara设计的新一代全球减网格，这一代模式一直使用到1970年代；Sector系列，这是一个东西方向只有60个经度的非全球GCM，且海陆分布也高度理想化；SKYHI系列，是从1975年之后开始发展的垂直高分辨率GCM，包含对流层、平流层和中层；GFDL谱模式系列，这是GFDL在1970年代中期以后，从澳大利亚数值气象研究中心（ANMRC）引入的，当时ANMRC的Bourke等人在1970年代早期发展的谱模式大有席卷全球之势；Supersource系列，1970年代后期，Holloway等人重写GFDL的谱模式代码，大大增加模块化和用户可选项，使其成为GFDL模式延续至今的一个谱模式系列，直到2000年之后，才被林山建等发展的有限体积动力框架所取代。

Smagorinsky于2005年9月去世，享年81岁。Smagorinsky一生著作等身、获奖无数，并于1972年获得Rossby奖。真锅于1998年退休，之后曾回到日本担任全球变化尖端研究院的科学顾问，但由于深感不适应日本僵化的学术氛围，他于2002年又返回GFDL继续从事研究工作至今。

四、对美日组合的反思

1950—1970年这20余年间，美国在模式研发领域，除了以上所述的三大中心外，还曾诞生过三个富有个人英雄主义色彩的开拓者，比如1950年领导

ENIAC试验的Charney；1956年全世界第一个真正意义使用原始方程开展GCM试验的Phillips；在LLNL发展出LAM模式、并用电影胶片展示其漂亮结果的Cecil Leith（外号“Chuck” Leith）。他们都曾经对模式发展起到过重要的推动作用，但最终遗憾地没能留下代码遗产。

本文所记述的三大模式中心NCAR、UCLA和GFDL，为什么能站在那个年代模式发展的最前沿，为什么又恰巧都是一个美国人和一个日本人的“美日组合”，却是很值得深入探讨的问题。除却一些泛泛的原因外，我们想提出至少四个最重要的理解角度。

第一，二战后特殊的日本经济状况与美日战略同盟。二战后日本作为战败国经济十分困窘，据“东京NWP小组”的回忆，当时东京大学的老师们薪水很低（除了岸保堪三郎工资较高之外），他们不得不利用课余时间去中学代课。当时为了维持NWP小组每月一次的活动，他们还到外面去拉赞助，比如当时的《朝日新闻》出版社就曾经资助他们2800美元（他们自己都不知道为什么会从《朝日新闻》得到这笔慷慨的资助）。困窘的经济使得优秀的日本青年不得不直面生活的挑战，荒川就是因此接受JMA的工作走上气象监测船的。当时更多的日本优秀青年学者都愿意赴美工作，他们大都承认有相当一部分原因是迫于生计。而恰巧当时受冷战影响，美日结成了特殊的同盟关系，美国不仅可以卖给JMA当时最先进的IBM计算机，还把国际性的NWP会议放到日本东京去开，两国甚至达成协议促进尖端领域的科技合作……这都反映出当时的美日关系是亲密无间的。正是在这样的时代背景下，很多优秀的日本年轻学生纷纷踏上去往美利坚的航船，在遥远的大洋彼岸继续寻找他们的科学之路。

第二，计算机成为战后尖端科学发展的有力武器。美国在战后最先发展出世界领先的计算机工业，诞生了像IBM、Cray等先进的计算机制造商，这为大气环流模式的研发提供了必备的硬件平台。当时的瑞典、日本都有自己的计算机品牌，但由于速度不够快，都只能做NWP的短期预报。比如当时日本的NWP就可以完成2天的计算，却无法更长。只有美国生产的高速计算机，才能真正支撑起大规模的GCM计算。这种硬件上的领先，为美国在GCM研发领域领先世界打出了足够的提前量。使得只有美国才最终成为了GCM研发最好的土壤。

第三，美日在人才培养方面的天然差别与互补。日本在战后把教育放在了最重要的基础地位，并于1947年重新颁布《教育基本法》，强调教育对完善人

格、提升个人价值和培养自立精神的巨大作用，在学制、教材、教学方法上也努力与世界全面接轨。这使得日本即使在最贫穷的战后恢复时期，也保证了学生能学到全世界最先进的知识，并以日本人特有的严谨、扎实的学习习惯内化到年轻人的头脑中。这一切，使得当时的日本年轻人，在个人知识层面似乎并没有因战争而经历任何“断层”。诸如荒川昭夫等人在来到美国后，可以直接上手最先进的计算机，并用最新的Fortran语言进行编程，再加上日本人特有的严谨、求实、脚踏实地，使得他们可以很好地完成与编程相关的工作。而美国的教育体制则更注重对人宏观判断力和领导力的培养，这导致三个模式中心无一例外都是美国人担任宏观领导角色，负责设计模式发展的大方向，因为他们对总体的把控力和对未来的想象力都大大领先于日本人。如此一来，美日组合脱胎于各自的教育体系，尽管有着与生俱来的差别和短长，但却具有天然的互补性。

第四，一个人，一个小组，一次国际会议，成为历史的关键节点和契机。这个人就是东京大学的正野重方教授；这个小组就是由正野重方与岸保堪三郎共同领导的“东京NWP小组”；这次会议就是1960年在日本东京召开的国际NWP大会。正是由于正野教授经常鼓励自己的学生关注模式发展前沿、鼓励他们大胆实践、推荐他们到美国最顶尖的实验室去合作，正是由于有东京NWP小组这样的研讨氛围，才孕育出训练良好的笠原秋良、荒川昭夫和真锅淑郎这一批模式专家。不仅这三人，还有很多同时代的日本气象学家皆出自这一血脉，比如Kurihara和Matsuno等。正是由于有1960年“巨星”云集的东京NWP大会这样的平台，使得东京NWP小组得以向世界展示其研究水平和人才储备，并因此走出了像荒川昭夫等许多优秀的年轻

人。因此从某种意义上说，美国三大模式中心的美日组合现象，应当归功于东京大学正野重方教授的远见和推动，应当归功于一个人、一个小组、一次国际会议这样的关键性枢纽。

20世纪中期，模式发展的浪潮将日渐成熟的动力学应用在传统的天气学分析之上，彻底改变了天气预报和气候预测的面貌，使得大气科学最终站上了现代科学的舞台。一个时代渐渐远去，但那些五彩斑斓，甚至有些激动人心的故事并没有因此被人们忘记。细细品味他们背后的种种偶然，感慨之余不免发现其实一切又在必然中。

致谢：感谢中科院战略先导专项（XDA05080801）和国家自然科学基金（41005035, 41130962, 41130105）对本文的支持。并特别感谢日本早稻田大学水上弘子女士对本文日文资料的翻译和整理。

（作者单位：北京大学物理学院大气与海洋科学系）

深入阅读

- Anon. “Suki” Manabe, Pioneer of Climate modeling. IPRC Climate, 2005, 5(2): 11-15. http://iprc.soest.hawaii.edu/newsletters/iprc_climate_vol5_no2.pdf
- Johnson D R. 1996. On the scientific contributions and insight of Professor Yale Mintz. J Climate, 9: 3211-3224.
- Lewis J M. 1993. Meteorologists from the University of Tokyo: Their exodus to the United States following World War II. Bull Amer Meteor Soc, 74(7): 1351-1360.
- Randall D. 2000. General Circulation Model Development: Past, Present, and Future. Utah: Academic Press.
- Smagorinsky J. 1983. The beginnings of numerical weather prediction and general circulation modeling: Early recollections. Advances in Geophysics, 25: 36.