

主 编：帕尔哈特·乌斯曼
副主编：魏文寿 陈晓梅

新疆气象学会成立



周 年 论 文 集

气象出版社

新疆气象学会成立 40 周年 论文集

主 编 帕尔哈特·乌斯曼
副主编 魏文寿 陈晓梅

气象出版社

内 容 提 要

本书汇集近年来新疆气象科技工作者在天气预报和短期气候预测、天气和气候变化、气候资源开发利用、生态环境保护、人工影响天气、农业气象、卫星遥感、网络建设等方面的部分研究和实践成果,并阐述新观点、提出新方法、揭示新事实;具有新疆特色和創新性,有较高的学术、实用和参考价值。

本书可供广大气象科技工作者和有关部门的科技人员参考。

集文新

图书在版编目(CIP)数据

新疆气象学会成立 40 周年论文集/帕尔哈特·乌斯曼主编. —北京:气象出版社,2005. 8
ISBN 7-5029-3791-9

I. 新... II. 帕... III. 气象学—文集 IV. P4—53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 092988 号

气象出版社出版

(北京海淀区中关村南大街 46 号 邮编:100081)

总编室:010-68407112 发行部:010-62175925

网址:<http://cmp.cma.gov.cn> E-mail:qxchs@263.net

责任编辑:张淑萍 王凤梅 王向华 终审:黄润恒

封面设计:阳光图文工作室 版式设计:王丽梅 责任校对:王丽梅

*

北京市奥鑫印刷厂印刷

气象出版社发行

*

开本:880mm×1230mm 1/16 印张:34.25 字数:1026 千字

2005 年 8 月第 1 版 2005 年 8 月第 1 次印刷

定价:60.00 元

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等,请与本社
发行部联系调换

《新疆气象学会成立 40 周年论文集》编委会

主 编： 帕尔哈特·乌斯曼

副主编： 魏文寿 陈晓梅

委 员： 肖开提 刘惠云 崔彩霞 黄 镇
王 旭 袁玉江 杨 青 李新建
赵 明 瓦黑提·阿扎买提
吴友法 彭成海 胡寻伦 谢国辉

序

新疆气象学会,始创于1962年10月6日,至今已历经40个春秋。为全面贯彻落实中国气象事业发展战略研究成果,以“三个代表”重要思想为指导,牢固树立科学发展观和“公共气象、安全气象、资源气象”三个新理念,在世纪更替之际,我们将新疆气象部门科技工作者近年来的科技成果集成出版《新疆气象学会成立40周年论文集》一书,以纪念学会诞生40周年和献给新疆气象事业的创建者,献给新疆气象学会的所有会员和所有关心新疆气象学会的朋友们。

气象事业是科技型、基础性社会公益事业。气象科技是气象事业全面协调可持续发展的基础,是实现我国从气象大国向气象强国跨越的根本条件。新疆地处欧亚大陆,属于旱半干旱地区,每年都不同程度地受到干旱、洪水、寒潮、暴雪、大风等灾害性天气的危害。建国后,特别是改革开放以来,气象科技在为我区各级党政领导部门防灾减灾决策提供科学依据,在为重大社会政治活动、人民生活及重大工程建设等都提供良好的气象保障服务方面,发挥了不可替代的作用,有力地促进了我区国民经济的快速健康发展。

新疆气象事业已有近几十年的发展史,新疆气象科学技术有了巨大的进步。新疆气象学会的创建和发展,则是伴随着新疆气象事业、气象科学的发展而成长的,并为新疆现代化气象科技事业的繁荣谱写了辉煌的篇章。

当前,我区已进入全面实施“十一五”规划加快发展的重要时期,也是我区气象事业发展的关键时期。在科学技术迅猛发展的新时代,对气象科技的重要性要给予足够的重视,要使更多的人了解气象科技,运用气象科技,更多更好地发挥气象科技在防灾减灾趋利避害中的重要作用,相信我区气象科技工作者将为气象科技事业发展和新疆的社会经济建设做出更大贡献。

《新疆气象学会成立40周年论文集》一书,归纳了天气气候、人工影响天气、卫星遥感、气候环境、农业气象等方面的文章。《论文集》汇集了我区一批气象专家和年轻的科技工作者的科技成果,是他们辛勤劳动的重要结晶。也从一个侧面反应了新疆气象科学技术发展水平和现代化建设的成就。特别是丑纪范、李崇银、吴国雄院士和国家气象中心几位专家的文章为《论文集》增添了新颖的亮点。《论文集》能够在较短的时间里得以成功编辑和出版,是新疆气象局党组和有关部门的关心支持,编委会和学会秘书处同志共同努力的结果,体现了学会秘书处同志们的敬业奉献精神。在此,谨对他们表示感谢和敬意!衷心祝愿新疆气象科技事业日益进步和繁荣!

史玉光

2005年4月

目 录

序

短期气候预测的现状、问题与出路	丑纪范(1)
关于夏季副热带高压形成和变化研究的进展	吴国雄 丑纪范 刘屹岷(12)
气象台天气分析预报技术发展走向和对策研究	徐羹慧(16)
植被净第一性生产力及其对气候变化响应研究进展	蔡承侠(24)
当代气候研究计划	李崇银(35)
陆面过程研究的进展	孙菽芬(41)
气候变化与冰川演变的研究进展	崔彩霞 苏晓岚(50)
新疆短期气候预测研究的回顾	张家宝 陈晓梅(54)
迅速发展的中国统计气象学	周家斌 黄嘉佑(64)
降水统计力学研究的进展	张学文(75)
中尺度气象模式研究若干进展及其在区域预报业务中的应用	康红文 柳崇健(84)
新疆气候资源、环境气象工作的回顾与展望	季元中 徐羹慧(88)
南海夏季风建立的气候特征及其机制的讨论	何金海 王黎娟 徐海明 周兵(94)
国家气象中心客观要素预报——MOS 系统	刘还珠 赵声蓉 陆志善 赵翠光 杨元琴 李玉华(104)
国家气象中心新一代业务中期预报系统 T213L31	金之雁 陈起英(114)
国家气象中心中期集合预报系统概况	田华(120)
新疆降水概率预报技术研究	汤浩(125)
阿勒泰地区暖区大降雪与白灾的气候学特征	晋绿生 赵俊荣(131)
克州地区气温年代际变化及均生函数预报模型的应用	阿布力米提·司马义 何敏(135)
阿克苏沙尘天气的气候特征及成因分析	胡翠珍(142)
库尔勒地区沙尘天气的分析与预报	张 邺 蔺喜禄(146)
吐鲁番市大风规律及预报方法探讨	张新庆 姚丽花 柳宏英(150)
渭干河流域暴雨融雪型洪水的气象与水文服务新技术研究	张俊岚 毛炜峰 王金民 张亚新(154)
塔里木盆地一次特大暴雨过程的分析	阿不里米提·塔西 王旭(160)
乌鲁木齐地区夏半年云系及其降水预报研究	陈勇航 苏晓岚 吕新生 路光辉(164)
喀什地区一场大雪天气过程分析	江远安 赵逸舟(169)
新疆对流层中上部水汽输送特征研究	王旭 王铁 马禹(172)
新疆夏季降水异常与 100hPa 南亚高压月平均环流特征的相关分析	刘惠云(176)
数值预报产品在乌鲁木齐地区未来 24 小时大降水预报中的应用	李霞(180)
“99”新疆特大混合型洪水的气象成因分析	陆帼英(184)
新疆夏季降水偏多(少)同期环流特征分析	王健(188)
新疆分县降水预报的初步研究	杨莲梅(194)
塔克拉玛干沙漠腹地盛夏 10 场沙尘暴综合分析预报探讨	陈勇航 向鸣 吕新生 徐希慧(197)
北半球冬季副热带西风急流及有关环流季内振荡若干特征分析	史玉光 杨舵 陈洪武(202)

全球大气角动量的幂分布律	杨舵 史玉光 陈洪武(210)
塔中地区沙尘暴天气气候学分析	薛红 胡列群 王旭(214)
相似距离的意义	祝学范(219)
21世纪气象理论的一个新方向——寻找积分型的规律	张学文(225)
新疆“4·18”特强大风过程天气动力学分析与预报技术评估	陆帼英 崔彩霞(229)
新疆特大暴雨过程中的中尺度对流系统特征	马禹 王旭 陶祖钰(234)
“96·7”新疆特大暴雨洪水预报服务技术研究的综述与启示	徐羹慧(241)
“96·7”新疆特大暴雨的水汽条件研究	肖开提·多莱提 汤浩 李霞 白惠星(247)
“96·7”新疆特大暴雨强度和落区	魏荣庆 肖书君(252)
克拉玛依市风口范围及其大风强度	韦克范(255)
越赤道气流对新疆天气异常的影响	周毅(258)
乌鲁木齐地区东南大风分布规律的研究	孟齐辉 吕斌 刁平(262)
南北云系结合对塔克拉玛干沙漠大降水的影响	徐希慧(268)
论现代气候观与新疆气候问题	张家宝(272)
新疆气候对地表水资源影响的区域差异性初探	袁玉江 桑修诚 龚原 王月娥(277)
新疆现代气候变化特征及趋势分析	杨青 魏文寿(284)
塔里木河流域的气候变化、径流量及人类活动的影响	杨青 何清(291)
古尔班通古特沙漠风沙活动规律及输沙量的测定	郭擎宇 袁春琼(301)
乌鲁木齐市环境污染现状分析及防御对策	刁平 乔瑞玲(307)
暴雨时程方程在中吉乌铁路(中国段)暴雨估算中的应用	戈峰 杨旭 马淑红 王胜兰 李梅(312)
昌吉州生态环境恶化的原因及对策	张建伟 王彦生 林芙蓉 闫伦哲(315)
近45年吐鲁番地区气候变化趋势	张山清 普宗朝 耿芙蓉 郑乐娟 鄯萍(320)
乌鲁木齐河山区冰雪水资源及径流量丰枯频率	李江凤(325)
塔里木油田地区大型工程设计中气象水文参数研究	马淑红 蔡承侠 熊建国 戈峰(332)
巴州地区气候变化及其对农业生产的影响	张月华 张慧岚(338)
南疆棉区棉纤维含糖量与气候条件相关分析	黄慰军 郑维(342)
新疆棉花“矮密早”栽培技术的气候条件	李星华(346)
北疆棉区棉花膜下滴灌蒸散规律研究	陈多方 许鸿 徐腊梅 曹兵(350)
新疆棉花产业发展的气候比较优势及对策	张建华 任宜勇(353)
膜下条播冬小麦适宜播种期的探讨	傅玮东 刘锁建 贾全堂 朱明大(359)
膜下条播冬小麦节水效应	李迎春 刘锁建 普宗朝(363)
晚播冬小麦膜下条播及其农田小气候特征试验研究	地膜小麦课题组(366)
新疆葡萄产品的优势及其生态气候条件评价	徐德源 王健 任水莲 喻树龙 郭擎宇(371)
论RS、GPS、GIS技术与农业可持续发展	王秀珍(377)
降水、土壤水分与天然草场产草量的关系	梁云 陈洁 孙长东(382)
红花栽培气象条件及开发利用前景	王健 张茵(386)
人工影响天气的主要进展及我区面临的任务	瓦黑提·阿扎买提(389)
阿克苏河流域成灾冰雹统计特征分析	热苏里·阿不都拉 王红岩 热汉古丽 张清 居玛·奥西尔(394)
博乐垦区冰雹发生规律及减灾措施初探	臧云淑 叶健 李新安 朱万库 姚新明(399)
新疆奎屯河流域冰雹型对流云回波带的结构和分类研究	蔺志善, 杨新海, 任朝武, 赵开军(404)
多单体冰雹云结构特征分析	黄逸静(409)
克拉玛依山区人工增水效果的再评价	高子毅 买买提·阿尤甫 刘广忠 王绍民(413)

应用一维时变积雨云模式预报冰雹	伍志方 张春良(419)
盛夏强降水的多普勒雷达回波特征的初步分析	李进忠 李霞 张燕(425)
新疆天气雷达联网、拼图业务系统建设与应用前景	王友新 马士剑 孟惠荣(431)
乌鲁木齐、独山子地区冬季晴空条件下大气气溶胶分布特征	廖飞佳 施文全(435)
北疆冬季层状云微物理结构初探	廖飞佳 张建新 黄钢(439)
我国气象卫星的现状与未来	孟晋宝 张青(443)
基于 GIS 的 MODIS 环境荒漠化监测中的应用方法研究	李金桐 镞拉提 纪良 阿布都瓦斯提(449)
中巴卫星遥感资料在土地资源遥感调查中的应用	刘文峰 高敏华 肖继东(453)
艾比湖面积的遥感气候学分析	黄镇 何清(459)
新疆雪盖特征分析	李良序 黄镇 傅华(463)
塔克拉玛干沙漠腹地盛夏沙尘暴天气卫星云图分析	唐淑娟 何清 桑长青 向鸣(468)
论遥感、地理信息系统和全球定位系统的集成	肖继东(473)
塔克拉玛干沙漠雨迹卫星云图特征的再研究	徐希慧(478)
草地、小麦和土壤水分卫星遥感动态监测系统概述	赵兵科 镞拉提 肖继东 李良序(483)
塔克拉玛干大沙漠腹部出现罕见稳定积雪	唐淑娟 黄镇(486)
“121”气象信息系统集成与服务策略研究	李景林 胡岩 梁云 赵书琴(488)
《沙漠公路风沙危害数据库系统》的设计与建立	姚艳丽 李敏(493)
用 VB 开发数据库应用程序的一些方法	安克武 陈顺三 李元鹏(497)
新一代气候信息采集、网络传输、质量控制及信息服务系统	张婷 李元鹏 陈顺三(500)
新疆省级气象信息网络建设	赵明(504)
电子衡籽棉收购微机系统	吴晓俭 谢国辉 张杰 周韬(510)
历史资料数据库管理系统的研制	张帆 武疆艳(514)
短期预报系统结论图形化输出的特点及方法	张广兴(518)
卫星遥感资源调查数据库的建立	傅华 汪景春(521)
《新疆天气过程分析、查询系统》的设计与建立	刘晖 张帆(527)
地理信息系统及其在农业气象服务中的应用	谢国辉(531)

短期气候预测的现状、问题与出路

丑纪范

(中国气象局北京培训中心, 北京 100081)

摘要:从方法论上分析了短期气候预测的现状、问题与出路。着重指出:基础理论研究的欠缺又不甚得法是短期气候预测准确率提高缓慢的原因;应当将数值预报的提法从初值问题改为演变问题,进一步提为反问题;统计学方法与动力学方法要相互借鉴,取长补短,融合发展。

关键词:短期气候预测 现状、问题与出路 统计学方法 动力学方法

在短期天气预报开展之后,月、季、半年及年际的预测成为人们的希望,曾经被称为长期天气预报。长期预报的研究与实践,甚至可以追溯到19世纪末期。随着混沌现象的揭示,人们认识到气候系统是一个复杂的混沌系统,天气预报时效有一定的范围,两周以上的天气预报将完全失去技巧,月以上只能作气候预测,所以改称短期气候预测。

从方法论上看,短期气候预测现有两类方法:统计学方法和动力学方法。本文主要包括以下内容:①介绍统计学方法的艰难历程,它的成就和问题。由于统计学方法本身固有的局限性,它不能成为预测的成功之路。在数值天气预报成功的背景下,人们寄希望于动力学方法。②概述短期气候预测的动力学方法的由来和发展。③指出现行动力学方法存在的一些带根本性的缺陷和问题。④介绍针对现行动力学方法存在的缺陷和问题已经做了一些工作。⑤提出一些值得进一步开展的工作。最后讨论短期气候预测的准确率提高得如此缓慢,究竟是因为问题本身的困难所致,还是因为一叶障目,在重大方向性问题上,走上了错误的道路所致等。

1 统计学方法的艰难历程,它的成就和问题

我国的短期气候预测工作开始较早。解放初期,杨鉴初先生的历史演变法得到发展。前苏联、英国很早就开始月、季的预测。短期气候预测中,用天气气候学、数理统计学方法的道路本身非常艰难。在此举二点可看出国际上的情况:英国正式做月预报是从1963年开始,到1980年年底宣布此预告终止,不做了,因为将1963~1980年的预告情况跟实际情况进行了严格的检验,发现这种用天气气候、统计学方法做的预报比气候预测的准确率还低,效果很差。后来到了1985年才又恢复,一直继续到现在。1989年世界气象组织关于长期预报发表了一个声明,国际上正式认为用数理统计方法做长期预报有效果,对这种方法给予肯定,这非常不容易。声明肯定,数理统计方法做的长期预报特别是在太平洋沿岸,其中也包括我国是有效果的。当然,这个方法本身确实也存在一些问题。前苏联(20世纪80年代末期)的水文气象局局长在纪念水文气象局成立100周年大会上,在谈到长期预报(现在叫短期气候预测,因为天气的可预报性在2周左右)状况时,大意说过,这个长期天气预报方法本身(指经验统计)有些问题。在前苏联用经验统计方法做长期预报的经历是,有一批很有才能的人,花了很大力气,在历史资料分析中,找出的预报指标、预报关系也非常好,可具体一用就不行,于是扔掉,再换另一批同样也是很有才能的人,再重新找,又找了一批指标,仍是报的不行,老处在这么一个状态,提高就不明显。他在会上提出要用动力学方法来做长期预报。越来越多的人寄希望于动力学方法,这也可能是受了短期数值预报成功的影响。

2 动力学方法的由来和发展

2.1 短期和中期数值预报的成功,由此引出了月平均环流的动力延伸预报

由于逐日预报不可能做到月的时间尺度,人们把逐日预报一天一天继续作下去,但最后只要月平均的量。最早进行月平均环流数值试验的是 Spar 等(1976~1979)。Miyakoda(1980)做了 1977 年 1 月的预报试验。目前,国家气象中心用 T 63 动力延伸做月平均环流、温度、降水的业务预报。概括说来就是:①大部分模式采用实际环流初始场,但海温多用气候平均值或用固定的实际值。②采用蒙特卡罗预报或滞后平均预报,即形成若干个初值作集合预报。③为了克服气候漂移,有的做了系统的误差订正,有的使用模式平均做气候平均。

对于月预报——月平均环流的预报,现在发现两个问题:①前 10 天实况解释月方差的 1/2,数值预报 GNMP 只能解释 1/2,所以实际上前 10 天的只能解释 1/4。②月平均距平预报的相关。根据日本气象厅的报告(Takano 与 Kobayashi,2000),1996~2000 年月平均 500hPa 高度距平预测与实况的相关系数达到 0.5,但只有 25%达到 0.6,仍然有时相关为负。而且从总体上看,20 世纪 90 年代无明显的进步,预报技巧仍然主要取决于前 10 天,如果把月预测改为 16~45 天平均,预报水平立刻下降,相关系数可能降到 0.1。初值误差引起的不确定性对月平均场影响也很严重,预报技巧随时间下降,即 10 天以上的预报,几乎没有改进。

由于月动力延伸预报水平不高,无从提高,20 世纪 90 年代国际上集中到季节这个时间尺度,但是正如王绍武(2001)所指出:“尽管美国、英国、德国的科学家把季度预测的希望寄托于耦合模式,现在的实验,不仅水平不高,同时用观测的 SST 及海冰强迫大气环流模式,只能称为模拟而不是预测。因此,用 GCM 作季度预测前景也不非常乐观。”^{[1][2]}

2.2 Cane 和 Zebiak 简化模式预测 ENSO 的成功,鼓舞了开展年际预测

Cane 和 Zebiak(1986)设计了一个简单的大气耦合海洋模式,模式范围在太平洋 124°E~80°W, 29°N~29°S。利用该模式对 1972,1976,1979 和 1982 年 4 次厄尔尼诺期间的各 Nino 区 SST 模拟预测,效果较好。于是 1986 年初,利用这个模式制作的 1986~1987 年即将发生厄尔尼诺事件,这个预报公布于众,获得了成功。埃塞俄比亚的降水是受厄尔尼诺影响较明显的,在 ENSO 年的“小雨”季节(2月中旬到 5月中旬)多雨,在“大雨”季节(6~9月)少雨。对 1986~1987 年将发生厄尔尼诺的预报,为了防止类似发生的饥荒的情况再次回到埃塞俄比亚,埃塞俄比亚气象学家和政府采取了行动。通过调整农民的正常生产方式来对付可能发生的灾害。根据预测,在主要雨季将要发生的严重干旱,有可能造成巨大损失。因此,政府鼓励农民在 2月中旬至 5月中旬的“小雨”季节竭尽全力进行生产。最大限度地播种农作物,政府增加了种子和化肥调拨,结果土地被最大限度地利用,谷物丰收。预测中的干旱的确在“大雨”季节发生了。政府的前期行动,鼓励农民减少土地播种面积,选种短期早熟作物,减少了所需救济粮的数量,最为重要的是储存食物和水,政府尽早向国际经济援助机构寻求援助。1987 年该地区的严重干旱没有造成一人死亡。

1991 年年中,Cane 和 Zebiak 根据他们的模式制作的预报,预报一次厄尔尼诺事件将在 1991 年底发生,再一次获得成功。这一预报在巴西带来了巨大的效益。巴西东北部地区反复发生的严重干旱与厄尔尼诺事件有着密切联系,1991 年 12 月根据美国的预报,巴西的气象预报员发布了严重干旱警报。政府首脑相信了这一预报,动员农民种植能在干旱情况下生长和成熟、生长期短的农作物,政府预先采取了对居民定量供应水的措施并建设一座新水坝,以积蓄水源。将 1992 年干旱与 1987 年发生的一次类似的干旱相比,由于 1991~1992 年的厄尔尼诺事先有预报并被利用,获得了成功。1987 年降水为平均值的 70%,谷物生产只有平均值的 15%,1992 年降水为平均值的 73%,谷物生产达到平均值的 82%^[3]。

这两次预报的成功,给气象界以极大的鼓舞,似乎短期气候预测即将突破了,各主要发达国家均先后成立了气候与环境预测中心。然而,随后的预报对 Cane 和 Zebiak 来说,真好似一场恶梦。厄尔尼诺事件的预测就像普希金笔下的那个漂亮姑娘——“开始给你一些希望,然后再表明那是妄想。”

Cane 和 Zebiak 准确地预报出了 1991 年底厄尔尼诺事件,他们进一步预报厄尔尼诺将在 1992 年底结束的情况并未出现。他们预报 1993 年为拉尼娜,结果 1993 年一次弱的厄尔尼诺再次出现。它消亡以后,接着又有 1994 年的厄尔尼诺事件发生,大多数模式的预报都失败。1996 年 Cane 和 Zebiak 预报 1997~1998 年将有一次冷事件发生,结果发生了 20 世纪最强的厄尔尼诺。这次事件后,各模式又受到了新的考验,在 SST 负距平背景下,不少模式已经在 1999 年、2000 年及 2001 年多次预报出现新的暖事件而遭到了新的失败。

厄尔尼诺的预报只不过预报 SST,很自然地产生这样的问题,一旦有了较为准确的 SST 预报,大气环流模式能不能做出正确的反映。许多 AGCM 都作过这种试验,在观测的 SST 及海冰的强迫下作集合积分,各积分之间的差反映了大气内部变率。结果发现热带可预报性高。各积分之间的差较小。中、高纬的可预报性低,各积分之间的差大。对中、高纬地区如果用实测的 SST 及海冰尚且不能作出较好的预报,那么耦合模式不可能取得成功。这就导致要对 AGCM 进行改进,目前主要在改善陆面过程和云辐射过程,增加分辨率。这就使得在气候系统中,我们对海洋环流的了解,陆地活动层和冰雪圈的了解不如对大气环流的了解,目前模式改进的重点仍在大气模式。

2.3 完成了以气候数值模式开展的短期气候预测试验

在气候数值模拟取得成就的基础上,我国曾庆存等利用 IAPCGCM 率先开展汛期降水跨季度预报,文献^[4]回顾了近年来我国短期气候预测研究的若干进展,主要是在中国科学院大气物理研究所完成的以气候模式为基础的短期气候预测方面的工作。第一个基于气候数值模式开展短期气候预测试验的是曾庆存等人。他们所采用的是 IAP CGCM 耦合一个热带太平洋环流模式(OGCM);1997 年,基于耦合气候模式基础上的 ENSO 预测系统建立起来;同时开展了东亚区气候可预测性研究;利用气候变动的准两年信号提出了对模式预测结果进行有效修正的方案;为了考虑初始土壤湿度异常对夏季气候的影响,建立了气象变量和土壤湿度的经验关系。

正如该文所述,作为最早开展短期气候预测的研究机构之一,中国科学院大气物理研究所气候预测研究小组早在 1988 年就利用气候模式开展了跨季度汛期降水距平预测,并获得了初步的成功;随后在此基础上发展了一套海洋四维同化方法、海气耦合积分方法、集合预测方法、可信度和概率预测方法以及订正技术等,逐步建立和完善了中国科学院大气物理研究所跨季度短期气候距平预测系统(IAP PSSCA)。在对我国夏季风降水距平进行跨季度实时预测时,他们采用的是“两步法”,即先利用海气耦合模式预报出海温异常,然后再利用经过修正后的海温异常来驱动大气环流模式进行集合预报。

利用 IAP PSSCA 对 1989~1994 年我国夏季旱涝形势的预测总的说来是比较成功的,即大的形势和主要距平还能报出来(或多少相像),特别是对我国东部地区(尤其是长江流域和我国南方)的预测效果较好。例如 1989 年江淮流域夏季多雨,1991 年发生在我国江苏和安徽的大洪水,1992 年在我国东北和华北的大旱,1994 年我国南方的大涝以及中部的干旱,1995 年江南北部多雨等等都预报得很好。但是有的年份却不是很好,例如对于 1993 年的预测就不是很成功,形势分布都不像。

在利用 IAP PSSCA 进行实时预测的同时,王会军还利用 IAP 大气环流模式研究了我国夏季降水异常的可预报性问题,指出在我国的东部和南部相对而言其可预报性较高;而林朝晖等通过对 1980~1997 年的夏季降水异常进行的系统性事后预报试验,发现气候模式中陆面过程的改进可以在较大程度上改善短期气候预测的技巧,特别在中国华北和东北地区的改善尤为显著。在此基础上进一步改进和完善了 IAP 短期气候预测系统,结果使得短期气候预测又进了一步。

利用改进后的 IAP PSSCA 对 1998 年夏季中国降水距平的预报结果表明该系统的预测效果是较好的。对于 1998 年夏季我国大部分地区多雨,尤其是长江流域,嫩江流域和新疆西北部的大正距平,

以及黄淮间的小负距平都预报得较好,另外还正确地预报出位于中国东部海域以及日本的降水正距平区,虽然长江流域正距平的幅度与实测相比偏弱。对于 1999 年中国夏季的旱涝形势,大多数的预报模式和方法都未能很好地预报出来。但 IAP PSSCA 却很好地预测出我国 1999 年南涝北旱的大范围降水形势,对于长江下游和新疆北部的强降水中心,以及我国北方大部的少雨形势的预报与实测均较相符。但是对于我国华北地区存在的小范围降水正距平区,IAP PSSCA 并没有很好地预报出来;另外 IAP PSSCA 预报的我国南方多雨地区的范围也比实测要稍微偏北。

2000 年我国大部分地区尤其是北方地区为早年,主要雨带位于黄淮之间以及我国的西南和东南沿海,IAP PSSCA 均较好地预报出了我国这些大范围的降水异常特征。而且对于河套附近较强的降水负距平区也预报得很好,另外对位于新疆的降水正距平区,IAP PSSCA 也很好地预测出来了。但是对于长江中下游流域的狭窄的降水负距平区,模式未能预报出来,这主要还是由于预测系统中气候模式分辨率太低的缘故。

多年来的实时预测试验结果表明,IAP PSSCA 对我国夏季大范围的降水异常形势有较好的预报能力,但是该预测系统同样存在着一些不足之处,如降水距平分布的细致结构与实测的相比仍有一定的欠缺。同时预报出降水异常幅值与实测相比偏弱等。这一方面需要通过进一步改进和完善气候模式,引入性能良好的高分辨率模式来达到;另外一个方面就是需要在预测过程中引入陆面状况的初始化过程;同时还需要对 IAP PSSCA 的订正系统予以进一步的改进和完善。

3 现行动力学方法存在什么缺陷

在大气环流模式基础上发展出的气候模式,现在全世界已有 30 多个了,投入了大量的人力和财力,但从业务预报的角度看,收效甚微。虽然,短期气候预测特别是降水预报各种方法技巧都很低,但目前气候模式仍不如统计学方法。这就不能不思考现行动力学方法是不是存在一些问题,我认为至少存在如下三个有根本性的缺陷:

3.1 初值问题,未能考虑“历史”,背景缺乏教养,资料不足与资料闲置并存

现行动力学方法把预测问题提为微分方程的初值问题,这与统计学方法对问题的提法是很不相同的,统计学方法不仅应用了近期实况演变资料,还要应用积累了数十年的历史资料,充分考虑气候系统过去的行为及其呈现出的规律。而提为初值问题则只用到一个时刻的实况值。显然,这种对气候预报的提法蕴含着两个要准确的前提:一是模式要准确,二是初、边值条件要准确,只有在这两者都准确的前提下,所获得的预报结果才与实际大气的演变相同。然而,实际情况却并非如此,这是由于受到下面两个原因的限制:

(1)无论多么精细复杂的数值预报模式都不是实际现象的无限复杂性的完全真实反映。虽然我们对大气、海洋等流体运动的特点有了较为深刻的认识,但在数值模式中网格不可能无限精细,描写次网格物理过程的参数化处理不可避免,而参数化方案和有关参数均难以客观准确地确定。

(2)准确的初值不易获得。受观测条件和精度等限制,与实际大气初始状态相一致的预报初值难于获得。对于海—地—气耦合模式,初值不仅包含了大气环流的三维信息,还包含海洋、冰雪圈、陆面圈以及生物圈等在初始时刻状态的信息,这就更难于准确获得。

将气候数值预测提为初值问题影响了资料的使用,现在的气候数值预测方法,是对气候模式进行初值积分,将气候数值预测提为初值问题,使得数值模式只能利用一个时刻的资料。一方面,目前的观测大多是在低层大气中进行的,海洋、陆地等下垫面的观测资料严重不足,某一时刻的观测资料在空间上比较缺乏;另一方面,已有的观测资料在时间上具有连续性,较好的大气资料和海表温度资料已积累了近 50 年,提为初值问题的气候数值预测却将这些资料闲置不用,以致于造成目前资料不足和资料闲置并存的局面。

3.2 置混沌于不顾,反而不断增加分辨率,增加可预报期限更短的小尺度特征

天气尺度的特征结构是大气中的混沌分量,一个月后 CGCM 的预报将不会比猜测的结果好多少,它们对稳定分量的影响的模式表达也不比参数化的好,对此置之不顾,反而不断增加分辨率,增加可预报期限更短的小尺度特征。

模式分辨率的过分细化对气候过程描述帮助不大。没有证据显示大尺度的气候过程是中、小尺度大气过程简单累积的结果,众多数值实验的结果表明,对月、季预报而言,模式分辨率的细化并不能改善预报,在亚洲季风区和青藏高原东南侧,反而预测效果有所下降。在预报结果有改进的例子中,改进最明显的仍然是预报开始的头几天,对随后的预报改进没有什么效果。

3.3 预测没有针对性,与气候的动力理论脱节

模式的改进无需动力学理论研究,预测现象的物理机制的揭示与模式的改进不相干。模式一心在于逼真地模拟出实际气候系统中的所有物理过程,而对其所要预测的现象而言,哪些是主要的,哪些是次要的,哪些是无关紧要的不感兴趣。模式的改进主要就是改进物理过程参数化,目前重点在陆面过程和云辐射过程,其次是改进数值计算,并不区别不同的预测对象。实际上,“不能把过程中所有的矛盾平均看待,必须把它们区别为主要的和次要的两类,着重于抓住主要的矛盾”(《矛盾论》)。复杂的大气运动具有各种不同的时空尺度,气候模式描述了各种不同的时空尺度的现象,这是矛盾的普遍性,现象的时空尺度不同,各因子起作用的大小不同,对某一特定的现象而言,那些对它影响很小(不是没有影响)的过程,如果从模式中滤掉,即数值模式中不包含这些过程,仍然是一个很好的描述,如果模式中包含了这些过程,由于这些过程不是没有影响,似乎更符合实际了,非也!这是因为模式给出的这些因子对该现象的作用,是实际作用加上计算误差,一般说来,由于实际作用很小,计算误差相对而言显得很大,结果反而偏离了实际。只注意矛盾的普遍性,忽视矛盾的特殊性与气候的动力理论脱节,预测没有针对性是一个带根本性的缺陷。

最近,Gray(1999)也指出:①海洋大气系统十分复杂,模式只能是一个十分粗略的近似。②从初值出发作积分并没有充分考虑“历史”,因此气候模式缺少“教养”。③气候模式预测没有针对性。虽然存在这些带根本性的缺陷,但是正如王绍武(2001)所指出:不应该由此认为不必发展气候模式,实际上,在业务预报中既要应用气候模式,也要应用统计方法。在科学研究中既要继续按现有思路不断增加模式的分辨率和改进物理过程的参数化以改进气候模式,也要针对其缺陷,发展自己的理论和方法,摆脱缩小分辨率和增加集合预测成员这种简单的方式,在深刻的理性思维下,充分利用新颖的数学成果,吸收天气气候学和统计研究的丰富经验,走上一条有特色的创新之路。

4 针对现行动力学方法的缺陷,已经做了什么工作

4.1 已经提出将数值预报从初值问题改为演变问题,进一步提为反问题。既充分利用物理规律,又充分利用实况资料,不仅是近期演变资料,还有积累了数十年的历史资料

针对作为初值问题,缺少“教养”的缺陷,首先要问:是不是动力学的数值气候预测,只能提为初值问题?非也!

早在 1958 年顾震潮就指出,天气数值预报把预报问题提成初值问题的提法与日常天气预报工作由天气历史演变来作预报的提法是很不相同的。仅将数值天气预报提为一个初值问题,就将已有大量的初始时刻以前的近期演变实况资料弃而不用,而这些资料中的确蕴含了未来状况的信息。要解决这个矛盾,就要改变问题的提法,把数值天气预报由初值问题提成历史演变问题。他证明,仅只地面温压场的演变就蕴含了斜压大气三维温压场的构造。也就是在理论上说,某一时刻的大气初始状态已由初始时刻以前的近地面状态的演变完全决定。丑纪范、郭秉荣等在讨论短期气候预测时,用一

个简化的地(海)气系统两参数耦合模式通过数学分析证实了下垫面热力特征的异常是由前期大气环流的异常所造成的,并可以用前期大气温压场的连续演变表征出来,这就表明海—气耦合模式提为初值问题与提为大气温压场的历史演变问题是等价的。当数值预报提为演变问题时,就可以应用已有的近期丰富的大气演变资料,而不是只能用初始时刻缺乏观测的大气、海洋及冰雪圈等资料来作数值预报。

当同时考虑前期地面状况和大气温压场的演变资料时,已有的演变资料多于与初值问题等值所需的资料,问题是超定的,可能无解。为了充分利用已掌握的资料,1962年丑纪范将微分方程的定解问题变为等价的泛函极值问题——变分问题,通过引入“广义解”推广了微分方程的解的概念,对资料超定或欠定均适用,并利用希尔伯特空间理论,证明“广义解”比原来意义下的“正规解”更接近方程所述的物理现象的“实况”。

曹鸿兴基于大气运动是一种不可逆过程的观点,引进忆及过去时次资料的记忆函数,导出大气运动自记忆性的概念,把通常的大气运动方程推广为包含多时次观测的自记忆性方程。数值试验结果证明预报技巧有了显著的提高。

这些工作将数值天气预报的提法从初值问题改为演变问题,使得过去资料在数值天气预报中的使用成为可能。

动力学的数值气候预测面临着模式不准确和初值不精确的问题,这影响了预报的效果。若以改进初值及模式来改进预报,则涉及到复杂的初值同化方案和物理参数及物理过程的调整,而参数不易客观确定。另外,考虑到观测资料的分布特点往往是在给定时刻空间分布太少,但在时间上又是大量的,这些实况资料源源不断地提供方程的解的信息。当把预报问题提为初值问题或演变问题时,未能利用或充分利用这些信息,尤其不能利用这些资料确定模式方程中的未知项或参数化系数。仅将预报问题提为初值问题或演变问题这样的正问题还不够,合理的提法是先利用这些观测信息去确定方程的初值和未知部分,提成动力模型的反问题,再去解正问题作预报。这样在作数值预报时,就把已有的所有信息,包括已知的物理规律和所积累的实况演变资料,都合理地应用于数值预报模式上。通过这些信息来形成合理初值及客观给定物理参数,而不是通过构造各种复杂的初始化方法和在模式中引入种种不可靠的参数化方案和参数值的方法来改进预报。这样,一方面应用了已有的历史资料,另一方面降低了对模式方程精确的要求。反问题的实质在于,同时考虑我们对大气认识的两个方面:物理规律和实况资料,强调两条腿走路。

为了充分利用过去数十年观测积累的历史资料,提出了把要预报的场视为叠加在历史相似上的一个小扰动,把天气学的预报经验吸收到数值预报中来的观点,形成了天气预报的相似——动力方法,并用此方法作了预报实例。试验表明,预报水平有了相应的提高。

鉴于大气作为一个强迫、耗散的非线性系统,而支撑起吸引子的自由度数目较少,且有限,因而形成一组支撑起吸引子的基底是准确描述大气长期演变的成败关键。少数基底实际上就是大气系统在长期演化过程中向一些优势模态上集中,而其它不占优势的模态在演化过程中成为小尺度无量纲而被耗散掉。张邦林、丑纪范(1991,1992)指出一个缩减大气环流模式自由度的新方法,即对模式的一个现实作 EOF 分解,以决定出支撑吸引子的少数自由度。对这一方法用 T42 谱模式进行月尺度动力延伸预报数值试验发现,预报技巧有了大幅度提高。

龚建东、丑纪范(1999)对中国气象学家在数值天气预报中使用过去实况演变资料的理论和方法作了概要性总结。其中不仅讨论了近期实况演变资料的应用,还讨论了积累数十年的历史资料的应用问题。文中强调要改变对数值预报问题的提法,回顾了由初值问题改为演变问题,再改为反问题的历程。文中指出,针对实际问题特点的不同,可以理想化为三种情况:一是模式是精确的,资料也是精确的,但有的变量没有观测资料;二是资料是精确的,模式有误差;三是模式是精确的,但有的变量没有观测资料。而所谓四维变分同化方法,不过是属于第三类,而且只应用了近期演变资料,没有应用历史资料。由于实际情况通常是模式不精确,资料也不精确,文中提出应在不确定的前提下,把预报问题提成一个信息问题,充分利用已掌握的实况资料以及我们对过程演变物理规律的一定程度的了

解,对未来状况作出概率的估计。

4.2 研究了混沌系统的长期行为(渐进状态)的特征,开创了强迫耗散非线性大气动力学方程组全局分析的定性理论,提出了气候的数学理论

针对 CGCM 从一个初值逐步向前积分,置混沌于不顾的缺陷,首先要问:对气候预测而言,当前面临的科学问题是确定论的动力学方程组,在个别状态由于对初值的敏感性变成不确定之后,系统的长期行为(渐近状态)是否还有确定性的特征?有的话,如何表述这种特征?如何算出这种特征?

确定论系统的长期行为是系统能够取得的所有初值在时间趋于无穷大时的整体渐近特征,这是数值试验无法回答的问题。这个问题的研究导致需要开拓一个新领域:大气和海洋动力学方程组的全局分析。这是引进相空间概念,借助几何直观建立的定性理论。定性方法是从方程本身的特点来了解方程解的性态,而且不要求出方程的解就能直观地、清楚地展示出非线性系统运动的主要性质和特征,这表明定性方法具有显著优越性。看来,在讨论大气(包括海洋)动力学方程组解的全局特征时,定性研究是非常必要的,也是必然的。

丑纪范(1983)首先开创了强迫耗散的非线性大气动力学方程组的定性理论,他证明大尺度大气运动方程组可以简洁地写成 Hilbert 空间中的一个算子方程,研究了算子的性质,证明了在 R^n 空间中大气大尺度系统存在一吸引点集,不论初始状态如何,系统的状态都将随着时间的增长演变到吸引点集中的状态,并证明这个终态是 R^n 空间中体积为零的点集。后来,汪守宏等(1989)、李建平等(1995, 1996, 1997, 1998)分别将上述结果推广到无穷维 Hilbert 空间、大尺度海洋动力学方程组、大尺度海气耦合系统和非正常外源强迫情形,得到初值问题的解存在唯一及系统的全局吸引子 A ,证明吸引子 Hausdorff 维数是有限的,并给出了其估计值。全局吸引子 A 反映了系统的终态,称为大气吸引子。由于涉及的是系统的长期行为,也可称为气候吸引子。大气吸引子 A 的存在性揭示出大气系统具有向外源的非线性适应过程,同时说明“耗散结构”的性质是大气运动的一个基本特征。 A 外的点代表暂态过程,表明系统具有明显的不可逆特征^[6]。

A 的 Hausdorff 维数是有限的,这意味着在 H 中,大气系统的极限解集会收缩到有限维的流型上,因此,从理论上说,大气偏微分方程组解的渐近行为,可以被一个有限维的常微分方程组所描述。不过实际上人们尚无法获得这个常微分方程组。当对空间变量离散化(谱方法,差分法)得到常微分方程组,不论 N 多大,都不见得一定能包含有限维的流型 A 。

描述大气的一组偏微分方程是无穷维的动力系统,其状态变量属于 H 。数值求解时首先要对空间变量离散化(谱方法,差分法),将这组偏微分方程化为一组常微分方程,设为 n 个。从数学上说,空间变量的离散化将状态变量由 H 空间变为 R^n 空间, H 空间的算子方程变成 R^n 空间的算子方程。为了得到动力关系相协调一致,不歪曲原方程的本质属性,方程中相应的算子的性质应当保持不变,这是正确离散化的准则。这样一来,在 R^n 空间中存在一个全局吸引点集 S_n ,在 R^n 空间中该点集 S_n 体积为零, S_n 描述了常微分方程组解的渐近行为,设 $R^n \subset H$,则 $S_n \subset R^n \subset H$ 。 S_n 与 $A \subset H$ 是否一致呢?当 n 小于点集 A 的维数时,两者显然是不同的。

上述 R^n 中的常微分方程组求数值解时,要对变量进行离散化,变为差分方程。在某一特定机器上运行时,由于机器字长(r)的限制,状态变量本身还被离散化。在计算机上有一个程序,可以由状态变量 $X \subset R^n$,在 $t+m\tau$ 时刻的值 $X(m)$ 算出 $t+(m+1)\tau$ 时刻是唯一确定的值 $X(m+1)$ 。设数值模式在机器上可以运行任意长的时间不出现溢出。机器可以表示的所有可能的 X 的全体是一个有限个点组成点集 Cr , $Cr \subset R^n$ 而 $X(m+1)=F(X(m), u)$, $m=0, 1, 2, \dots$, F 是 $Cr \rightarrow Cr$ 的一个映射。这里 $\tau = a\delta t$, $a \geq 1$ 的整数, δt 为数值计算的最优步长。 μ 为给定的反映系统外在环境状况的参数。一般是常数或严格的周期函数(这 τ 取为此周期)。于是 F 不依赖于 m ,这是自治系统,依据 C. S. Hsu 提出的 Cell-to-Cell Map- ping 的概念和理论,不难证明,映射 F 的周期胞的全体记为 $Pr(n)$ 是数值解的全局渐近特征,数值模式的所有可能初值当 $t \rightarrow \infty$ 时,演变到一个吸引点集 $Pr(n)$ 上, $Pr(n) \subset Cr \subset$

$R^n \subset H, Pr(n)$ 的结构及其统计特征就是数值模式的气候特征。

综上所述,在 H 空间中有三个点集: A, Sn 和 $Pr(n)$ 他们都与初值无关,是由方程、外参数和算法决定的。它们就是确定论的动力学方程组,在个别状态由于初值的敏感性变成不确定了之后,系统的长期行为(渐近状态)的确定性的特征。 A, Sn 和 $Pr(n)$ 的泛函数也是确定的是可预测的稳定分量。于是我们看到个别状态的不确定和整体的确定性,由不确定走向确定。

此外,个别状态的不确定性除由初值敏感的因素而产生外,在数值计算中由于离散误差和舍入误差共同的非线性作用存在一个最大有效计算时间 T ,超出这个时间 T ,数值解与真解无关。现在求数值解的理论和方法是解初值问题的,气候涉及系统的长期行为。由此导致一个待开拓的领域:气候的数学理论。这里需要像冯康先生对保守系统提出辛几何算法类似,提出耗散系统的全局收敛算法。

如果 $\lim_{r \rightarrow \infty, n \rightarrow \infty} dist^H(Pr(n), A) = 0$ 则称该气候数值模式是全局收敛的,使气候数值模式全局收敛的离散化算法,称为适当离散的。

Harsdorff 距离: $dist^H(A, B) = \max\{dist(A, B), dist(B, A)\}$

其中 $dist(A, B) = \sup_{a \in A} \rho(a, B) = \sup_{a \in A} \inf_{b \in B} \rho(a, b)$ 为度量空间 a 和 b 的距离。显然,当且仅当 $A=B$ 时, $dist^H(A, B) = 0$ 。为了获得适当离散的气候数值模式,需要寻求对空间变量的适当离散方法和对时间变量的适当离散方法。但是这并不是问题的全部。气候数值模式获得的数值解($Pr(n)$)与原方程的真解(A)的偏差是由离散误差与舍入误差共同作用造成的。但是,现今计算数学的理论研究在方法上却分两步考虑,对给定的初值问题,先假定没有舍入误差的情况下证明离散误差可趋于零。然后再考虑抑制舍入误差的影响(格式的稳定性)。实际上,这种把两个共同作用的因素割裂开来分步讨论的方法本身具有严重的缺陷。最近李建平等揭示了这种缺陷。它不能保证数值解逼近真解。要寻找和创造新的研究方法,他还指出由于机器精度的有限性,用数值方法求解非线性常微分方程的初值问题时,存在一个最优时间步长 h 。 h 与数值方法的阶以及机器的字长之间要满足一个与方程的类型、初值及方法本身无关的普适关系,其实质是既然总误差是离散误差和舍入误差两者作用的结果,则这两个误差相当时最优,在一定机器精度下,超过一定限度去缩小时间步长,并不能减少误差,是无意义的。

同样的,气候数值模式的结果 $Pr(n)$,与原偏微分方程的真解(“实际气候” A)的误差 $dist^H(Pr(n), A)$ 是空间变量离散化产生的误差 $dist^H(Sn, A)$ 与时间变量离散化产生的误差 $dist^H(Pr(n), Sn)$ 两者叠加的结果,则这两个误差相当时最优,在一定的机器精度下,应该有最优的 n 值。机器精度 r ,时间步长 h ,空间分辨率 n 之间可能存在着一个普适关系,像空间步长时间步长之间的柯朗判据一样,只有满足这个关系时,空间变量适当离散的方法与时间变量适当离散的方法构成的气候数值模式才是适当离散的,否则 $r \rightarrow \infty, n \rightarrow \infty$ 时的数值模式的解仍可能不是全局收敛的。

很自然的要问,现有的气候模式,其 r, h 和 n 之间是最优的组合吗?是全局收敛的吗?如果不是,该如何改进?冯康先生提出了辛几何算法,针对的是保守系统的数值计算问题。气候的数值模拟和预测,呼唤着耗散系统的全局收敛算法,这是气候的数学理论,一个正在开拓中的新领域,在等待着有兴趣且有创新精神的学者去完成。

在气候系统中存在着混沌分量和稳定分量,短期气候预测不应该置混沌于不顾,应该将稳定分量作为预报对象,根据月、季、年的预测的时间长度不同,研究相应的可预报的稳定分量是什么?探讨建立描述该稳定分量变化的方程组。探讨混沌分量对该稳定分量影响的参数化方法。在副高脊线的季节变化方面,国内已做了一些初步的工作。

5 值得进一步开展的工作

5.1 从事动力学方法的人如何借鉴统计学方法

首先从指导思想上要有一个转变。要清醒地看到,模式不可能全面地“逼真”于实际气候系统,理

想化是不可避免的,只能在这个方面这些过程与实际气候系统一致,而在那些方面,那些过程就不一致。模式好比平面的地图,实际气候系统好比球面,面积和方向都要“逼真”是不可能的。应该明白有治特定病的特效药,而无包治百病的良方。比如对汛期降水预测,有能较准确的预测我国汛期降水的模式,而该模式未必能预测其他项目,也不必去这样要求。对现有模式的改进,则首先要诊断对汛期降水的预测而言,主要误差在何处?找出主要误差之源,并设法减小之。明确了这个指导思想之后,具体怎么做呢?第一,实施一个模式比较计划,从我国现有的诸模式中挑选出一个对汛期降水预测而言是最佳的模式。第二,改进这个挑选出来的模式。怎样改进呢?这就要借鉴统计学预测的思路,利用数十年的资料的回报对模式进行改进。一个气候模式不外乎对大气、海洋等变量,设为 n 个, X_1, X_2, \dots, X_n 的如下方程:

$$\frac{dX_i}{dt} = f_i(X_1, X_2, \dots, X_n) \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

离散化后进行数值积分。对这个模式的改进,从物理上看,各种各样的物理过程参数化是多种多样的,但归结到数学上无非是将方程(1)变成了下面方程

$$\frac{dX_i}{dt} = g_i(X_1, X_2, \dots, X_n) \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

我们可以设想这个改进十分成功,以至于(2)式能够准确地作出汛期的降水预测。

不失一般性设

$$g_i(X_1, X_2, \dots, X_n) = f_i(X_1, X_2, \dots, X_n) + f'_i(X_1, X_2, \dots, X_n) \quad (3)$$

这样一来,要作出汛期降水的准确预报的问题就变成了确定 $f_i(X_1, X_2, \dots, X_n)$ 的问题。借鉴于统计学方法的思路,问题变成这样,如下方程中函数 $f_i(X_1, X_2, \dots, X_n), i=1, 2, \dots, n$ 是未知的。

$$\frac{dX_i}{dt} = f_i(X_1, X_2, \dots, X_n) + f'_i(X_1, X_2, \dots, X_n) \quad (4)$$

但是,方程的一些解的泛函(比如 1951~2000 年汛期降水)却是已知的,在数学上这就是微分方程的反(逆)问题,一个近年来发展迅速的领域。如果设 $\|f'\| \ll \|f\|$, 则近似的有

$$f'_i(X_1, X_2, \dots, X_n) \approx c_i + \sum_{j=1}^n d_{ij} X_j \quad (5)$$

确定 f'_i 的问题变为确定常数 C_i, d_{ij} 的问题,这个问题在数学上已有现成解法,原则上不存在什么困难。不过这里 C_i, d_{ij} 的数量达到 10^7 的量级,只有直到最近的超级并行计算机和计算技术的发展,才提供了实际解决的可能。

总而言之,动力学方法走动力和统计结合之路,要努力将数学中求解反(逆)问题的丰富成果,最新技巧,运用到汛期降水预测中来,当然这只是一个方面,可作的工作很多,参见文献[5]。

5.2 从事统计学方法的人如何从动力学成果中吸取营养

如果有一个 CGCM 没有误差地准确作出汛期降水预测,无非意味着有

$$\delta s(v, \lambda) = f(\delta d_1, \delta d_2, \dots, \delta d_n) \quad (6)$$

这里 $\delta s(v, \lambda)$ 为 6~8 月降水距平,而 δd_i 为前期 t_0 (t_0 为前冬和今春的某一时刻)大气、海洋、陆面和冰雪状况的距平。其中海温异常(ENSO, 西太平洋暖池,黑潮乃至印度洋、南海海温),雪盖异常,极冰异常,季风,西太平洋副高,东亚阻高等都是 δd_i 的重要组成部分。设想 δd_i 包含了 CGCM 的所有初值。

则有

当 $\delta d_i = 0, i=1, 2, n$ 时, $\delta s(v, \lambda) = 0$, 当 δd_i 都较小,即前期没有出现强异常讯号时,(6)式用泰勒