

罗 勇

(国家气候中心,北京 100081)

提 要

美国的全球变化研究主要由美国全球变化研究计划(USGCRP)支持,重点资助季节—年际尺度气候变率,十年—百年尺度的气候变化,臭氧、UV 辐射以及大气化学的变化,土地利用以及陆地、海洋生态系统的变化等4个领域。当前,水汽与云仍是全球变化研究中不确定性较大的一个方面,因而受到关注。关于气候变化的信号检测以及成因分析也是一个研究热点。气候模拟研究是全球变化研究的一个主要方法。卫星资料在全球变化研究中的应用取得了大量成果。近期美国在全球变化研究领域的重点是气候模拟,短期气候预测,十年—百年尺度的气候变化,臭氧、UV 辐射以及大气化学的变化,地表以及陆地、海洋生态系统变化,对全球变化的区域尺度估计,卫星资料的应用,气候变化影响的国家级评估等8个方面。

关键词: 美国 全球变化 气候预测 气候模拟

在美国气象学会第78届年会期间,举行了有关全球变化研究和气候预报现状及前景的第九次科学讨论会,反映出当前在这个领域中取得的显著成果。本文主要根据该科学讨论会的论文文集等写成。

1 美国全球变化研究计划

美国的全球变化研究主要由 USGCRP (美国全球变化研究计划)资助。该计划设立于1989年,并于次年作为优先项目开始实施。其目的是:1) 提出地球系统变化的主要不确定性,包括自然的和人为的变化;2) 监测、认识和预报全球变化;3) 为国内、国际有关全球变化问题的决策提供坚实的科学基础。美国国家科学技术委员会(NSTC)下属的一个机构——环境和自然资源委员会(CENR)中的部门间全球变化研究分委员会(SGCR)负责对该计划进行指导,并负责组织实施。几年来,该计划致力于加强主要科学

问题的研究,并在地球系统内部的过程和相互作用方面取得了显著的进展。由该计划资助的研究成果在世界范围的科学评估中起了重要作用,包括对气候变化和平流层臭氧减少的评估。近年来 USGCRP 的重点资助领域为以下四个方面。

1.1 季节—年际尺度的气候变率

该研究领域的目的是认识短期气候振荡的预报技巧和可预报性,并用于解决美国国内和国际上与社会和经济发展有关的问题。

1.1.1 厄尔尼诺事件预报的进展

许多基于数值模式的预报方法成功地预报出1991~1995年厄尔尼诺事件的结束和1996年赤道东太平洋SST冷位相的开始。赤道东太平洋海温的这一变化造成美国西南地区的干旱和美国西部地区冬季的强降水。目前在大多数情况下可以提前一年制作出年际气候振荡的预报。另外,已经开始在更长的

时间尺度上研究厄尔尼诺的演变过程,以确定为什么90年代发生的厄尔尼诺事件会持续多年,而70和80年代的厄尔尼诺事件大多只持续一年。为了提高厄尔尼诺事件的可预报性,目前正在努力发展更复杂的数值模式,以便全面地反映海气相互作用过程,以及大气与陆地表面、植被和水文过程之间的相互作用。作为热带海洋—全球大气(TOGA)计划的一部分,在热带太平洋上布设的观测阵对厄尔尼诺事件预报技巧的提高起了重要作用。目前由卫星遥感资料获得的海面高度资料和海表风应力资料也被应用于厄尔尼诺事件的预报。上述实时观测的进展使得我们对于海洋条件变化的认识扩展到整个热带太平洋地区和更高的纬度,为提高厄尔尼诺事件的预报提供了基础。

1.1.2 全球降水分布型

由于降水会影响水资源管理、农业以及旱涝的发生,因而是与社会经济有关的重要气候变量之一。进行降水预报的前提是准确地认识全球降水的分布型以及分析降水同其它气候变量的关系。季节—年际尺度气候预报是否成功的一个标志就是降水量和降水落区预报能力的提高。USGCRP继续综合现场观测和卫星资料制作出更好的全球降水分布型。由美国和日本合作,1997年发射的TRMM(热带降水观测计划)卫星将提供南北纬35°之间整个地区高质量的降水遥感观测资料。这一资料也是进一步认识厄尔尼诺与降水的关系,以及热带的其它变化如何影响全球大气环流,如何在中高纬地区产生气候异常的基础。

1.1.3 北美的气候变率

GEWEX的大陆尺度国际计划(GCIP)正在进行5年(1995年10月~2000年9月)的加强观测期。GCIP正在收集外场观测资料和模式输出,这些资料将被用于发展改进区域大气模式、区域水文模式和区域陆气耦合模式。在未来的2年内,GCIP的研究将集

中在以下3个方面:1)改进气候模式中陆面过程格式在冷季的代表性;2)加强对暖季密西西比河流域降水型与更大尺度的外部过程联系的研究;3)加强与水文管理部门的联系,将改进的降水和土壤湿度预报应用于水文方面。一个泛美气候研究特殊计划(PACS)也已经开始,其主要目的是进一步认识北美季风发展和撤退中的关键过程。北美季风的进退是中美洲、墨西哥和美国西南部地区在季节和年际尺度上的重要事件。GCIP和PACS的一个共同的目的是研究北美地区夏季降水的年际变率的可预报性有多大。

1.1.4 经改进的厄尔尼诺预报的应用

专门从事气候预报的国际研究院(IRI)已于1996年开始建立,目前正在采取措施争取国际支持,以发展研究中心的国际性网络,并开展预报信息的应用研究。IRI的目标是:

1) 利用全球和区域的海-陆-气耦合模式进行季节—年际尺度的气候预报,并发布试验性预报结果;

2) 为受到与厄尔尼诺有关气候变率影响的国家和地区提供预报指导;

3) 根据一些地区的特殊条件和需求制作全球和区域性的预报。

IRI正在研究如何在不同经济部门的管理和决策中应用改进后的预报结果。例如,已经发展了在美国西北太平洋地区的大马哈鱼产业管理中分析应用厄尔尼诺预报的方法。通过全面考虑与物理、生物、经济和管理有关的各个方面,可以提供如何在可能的厄尔尼诺影响下进行更为有效的渔业管理的策略。USGCRP的另一项研究分析了如何在全国的农业部门应用经改进的气候预报,以及如何确定可能的作物产量并减小成本。对气候变量与农作物病虫害发生和传播的关系也进行了研究。

1.2 十年—百年尺度的气候变化

预测人口、能源利用、土地利用以及其它自然和人为因素的变化,为社会提供了解这

些变化所需的科学信息,以达到认识、预报和评估这些变化的目的。

1.2.1 气候变化的过程

温室气体排放的继续增加不可避免地造成大气中温室气体浓度的继续增加。要想停止大气中二氧化碳浓度的增加,需要在下个世纪显著减小二氧化碳的排放。有关碳循环的研究目的是确定大气中二氧化碳和其它温室气体浓度的变化率和程度。作为一个例子,研究表明森林吸收了大约三分之一的二氧化碳排放,特别是在森林可再生的地区,如北半球的中纬度。但是,目前尚不清楚森林的这种吸收作用能够持续多久。目前的研究,包括云上和云下的同时观测试图给出有关在有云的天空中太阳辐射吸收的统一的理论解释。不同反馈机制之间的耦合过程也被重新重视起来。例如,计划在高纬度进行一些观测试验,研究当温度升高时,低空层状云的形成会在多大程度上调节极区海冰的变薄和融化。制定这一观测计划的原因是由于极区的气候变化在决定深海环流的强度方面起着极其重要的作用,而深海环流的强度变化会反过来显著影响中纬度地区(包括北美和欧洲地区)的气候。

1.2.2 气候变化的预报模式

过去的气候变化的研究对确定由模式预报的气候变化的可信程度非常重要。所有关于地质时期气候变化的模式模拟结果均表明,气候系统对各种外部强迫相当敏感。气候模式能够模拟出在上个冰期的冰川极大值时(大约2万年前),热带陆地上的显著低温。最近的古气候研究结果与这些模式的结果相当一致。目前的计算机模式有了相当大的改进,可以用来进行全球气候的模拟研究,并用来预报未来的气候变化。最近一个新的高分辨率的海洋模式首次成功地进行了北冰洋的海洋环流的数值模拟。这一区域海洋模式和相应的全球海洋模式正在与美国国家大气研究中心(NCAR)的高分辨率大气模式进行耦

合。该耦合模式包含了更加完整的气候强迫效应,将对模拟最近的气候变化和预报下个世纪的气候变化起到重要作用。

1.2.3 气候变化的影响评估

新的海洋模式还可以用来对全球变暖所引起的可能的海平面上升作进一步评估。研究表明,海平面的上升将对沿岸地区的社会经济产生显著的影响。海平面上升将使由台风引起的风暴潮的影响更加严重。改进的植被模式可以用来进行对植被、土壤湿度和径流变化的评估,以及长期气候变化影响的进一步研究。正在发展中的综合气候评估模式将改进这些模式模拟气候变化对社会影响的能力。一个非常重要的问题是如何模拟全球气候变化对区域尺度的影响,以及如何模拟对不同自然资源和经济部门,包括对公共健康的影响。一项对气候变化社会影响的国际性评估即将完成,将为社会提供对气候变化重要性的新认识。

1.3 臭氧、UV 辐射以及大气化学的变化

该领域的目的是认识和刻画全球大气化学变化的特征及其对人类的影响。

1.3.1 大气中使臭氧减少的化学物质的变化趋势

大气平流层氯化物和氟化物浓度的卫星监测证实,观测到的平流层使臭氧减少的氯化物浓度显著增加的原因是人类活动排放的氯氟化碳(CFC)和氢氯氟化碳(HCFC)。这些观测结果对全面了解平流层氯化物的源非常重要。观测结果否定了平流层氯化物的增加可能源于自然源的假设。如果与最近对流层氯化物的累积首次出现下降的观测事实联系起来,上述观测进一步加强了这一结论,即国际社会在蒙特利尔协定中终止CFC排放的决定将会随时间逐渐使平流层的臭氧层得到恢复。

1.3.2 与气候变化有关的臭氧减少

数值模拟研究表明,观测到的最近10年以来发生在平流层低层的冷却现象的纬向分

布型与平流层低层的臭氧减少是一致的。由于臭氧减少与人类活动引起的卤碳化物排放有关,因而臭氧的减少以及全球大气平流层低层温度的变化事实就成为政府间气候变化专门委员会 1995 年科学评估报告所指出的“可识别的人类活动对全球气候影响”的主要内容之一。在过去的 10 年中,由于臭氧减少引起的大气平流层低层冷却的程度明显超过了工业革命以来由其它温室气体排放所引起的辐射冷却。臭氧减少引起的冷却作用部分抵消减小了由温室效应引起的全球对流层的增暖。预计在未来的 10 年中臭氧层将得到恢复,因而其冷却作用将逐渐消失,温室气体的增暖效应很可能将明显增强。

1.3.3 地表 UV 辐射的观测

由卫星上的总臭氧映射光谱仪(TOMS)观测到的全球臭氧减少,以及观测到的云和气溶胶的变化,可以用来测算地表紫外(UV-B)辐射的增加。1979~1992 年期间南北半球纬度高于 40°地区的地表 UV 辐射显著增加,通过了统计显著性检验。地表 UV 辐射增加最大的季节是高纬度的冬季和春季。例如据测算在过去的 20 年中,在春季的 45°N 地区可造成 DNA 损伤和红皮病的辐射量每 10 年分别增加了 8.6%和 5.1%。在人口分布非常密集的 55°N 地区辐射量的增加更大,全年平均分别达到了每十年增加 6.8%和 4.3%。这些观测结果定量地给出了平流层臭氧减少所引起地表 UV 辐射的增加量,使人们进一步认识到蒙特利尔协定要求采取保护臭氧层措施的重要性。

1.3.4 UV 辐射对人类健康的影响

由于 UV 辐射是人类的一个致癌因素,研究主要集中在 UV 辐射是如何诱发或加重癌症的。最近的研究证据表明,有一种特别的基因可以防止最常见的皮肤癌(基底细胞癌)的发生,这种基因的损伤会导致皮肤癌。UV 辐射可以导致这种基因发生突变,现已

发现这种突变会加重基底细胞癌的病情。其它一些研究成果可以用来解释为什么不同肤色的人患皮肤癌的危险性不同。

1.4 土地利用及陆地、海洋生态系统的变化

目的是为认识、预报和评估由人为和自然影响产生的陆地和海洋生态系统变化的原因及后果提供更有力的科学基础及对策。

1.4.1 陆地生态系统与碳循环

对大气中氧的浓度和二氧化碳的¹³C 与¹²C 比率变化的观测和分析支持了这样一种假设,即 90 年代北半球中纬度的陆地生态系统是重要的“碳汇”,吸收了大约三分之一的化石燃料燃烧所排放出的碳。如果没有这样一个“碳汇”,大气中碳的积累会更高。目前正在进行的周期观测将能够提高对年际气候变率如何影响陆地生态系统和大气之间碳交换的认识。陆地生态系统模式是更大尺度的地球系统模式的重要组成部分之一,而上述观测的结果可以用来发展并检验基于过程的生态系统模式。这些模式是全球变化科学和评估的主要研究工具。利用 Landsat 卫星产品制作出的新的陆地覆盖资料,包括南美洲、东南亚以及美国大陆等地区,可以使人们进一步了解这些地区森林砍伐的速度,以及与森林消失所产生的地气之间碳通量的变化。美国大陆的地表覆盖资料有 1km 的分辨率,可以为资源管理的区域尺度规划提供重要信息。

1.4.2 生态系统对大气二氧化碳增加的响应

随着化石燃料的继续使用,至少在下个世纪中大气二氧化碳的浓度将会继续明显上升。长期以来,人们利用温室、上开式实验箱和其它一些精密控制的二氧化碳增加的环境条件进行了大量的二氧化碳增加的实验研究,现已清楚地认识了在高二氧化碳浓度的大气中固碳过程的生理学响应。但是相对来说,目前仍然缺乏整个生态系统如何对二氧化碳增加进行响应的资料。最近一个外场试验网已经建立起来,可以用来测算在预期的

未来10年大气二氧化碳浓度增加条件下陆地植物和生态系统的响应。从作物和森林试验初步得到的资料显示,当植物生长在二氧化碳浓度增加的环境中,多年生植物的生态系统将会增加净的碳吸收。这些外场试验将长期进行,可以为加深对未来由化石燃料燃烧所造成碳排放后果的认识提供科学基础。另一个用来进行二氧化碳吸收和释放试验的测站网将要扩展为包括更具代表性的自然生态系统和不同的土地利用和陆地覆盖类型。扩展后的观测网将与过程研究以及气候和人为因子对陆地系统影响的研究相协调。该研究可以加深对控制植物和土壤净的碳吸收过程的科学认识,并提高对未来大气二氧化碳浓度的预报准确性,还能够为制定稳定大气二氧化碳浓度所应采取的必要措施提供科学基础。

1.4.3 气候变化对陆地生态系统的影响

大尺度生态系统的模拟研究已经取得了重大进展。模式可以模拟出气候变化以及大气成分变化的生态学响应,包括气候变化所引起的陆地植物群的分布变化。研究结果表明全球变暖和气候变率的增大均可以增加山地的火险。在过去的400年中,科罗拉多州落基山地区火灾的次数与气候变率的关系极其密切。全球变暖的一个预期后果是海平面升高。在过去的50年中,美国东南部沿海地区湿地的减小呈加速的趋势。目前正进一步研究海平面的持续上升所带来的湿地生态系统的综合变化。

1.4.4 海洋生态系统

最近对热带太平洋的研究指出,在近海相对丰富的铁对海盆中部海洋生物的初级生产力的营养作用可能非常有限。通过一系列外场试验,科学家们发现由于浮游生物的大量繁殖,相应地降低了其它营养物质。这些结果表明需要加强对世界海洋中初级生产力、碳循环以及海洋-气候响应的控制因子的研究。

2 78届AMS年会所反映出的全球变化研究成果

虽然USGCRP只执行了8年时间,但由于组织得力、目标集中,已经取得了相当显著的成果。这可以从78届AMS年会所提交的论文情况反映出来。78届AMS年会共提交了全球变化研究方面的论文145篇,分为USGCRP介绍、水汽、模式研究与诊断、降水、预报、全球变化资料与信息的发展与访问、气候变化的检测、ENSO研究、气候变化的成因、陆面-大气相互作用、反馈与影响、云、非绝热加热与风暴、全球变化观测系统以及全球变化研究中概率与统计的应用等共14个方面。

2.1 水汽与云

水汽与云是全球变化研究中不确定性较大的一个方面。在78届AMS年会上一些作者报告了热带印度洋和太平洋地区可降水的年循环和年际变率特征,分析了北美地区水汽极值的变化,提出了一种水文循环中水汽的反馈机制,利用卫星观测资料研究了对流层上层水汽传输的变化和对温室气体增暖的影响,对比了卫星观测与模式再分析的大气水汽变化,还研究了云过程对热带太平洋海温年变化的作用等。

2.2 气候模拟

气候模拟研究是全球变化研究的一个主要方法。许多作者报告了他们在气候模式计算方案和物理过程参数化方面的研究成果,如气候模式对垂直和水平分辨率的敏感性,半拉格朗日格式与欧拉格式的比较,行星边界层水汽格式,卷云的反馈方案等;还有一些代表将气候模拟结果与观测资料进行了诊断对比研究,如分析了热带海气之间的能量传输,密西西比河流域的能量平衡等,以验证气候模式的模拟能力。

2.3 气候变化检测

较大量的论文是有关气候变化的信号检

测以及成因分析。如分析了全球降水的季节循环特征、日气温变率的变化趋势、美国大降水事件的变化趋势等,利用多种代用资料分析了过去几百年以来大尺度地表气温的变化,利用湖水位资料分析了非洲最近 200 年的水分收支等。

2.4 卫星资料的应用

主要由美国国家航空航天局(NASA)实施的,在全球变化研究中应用卫星资料的研究取得了大量成果。在土地利用-地表变化方面,他们利用卫星资料制作出第一张全球陆地覆盖图,为将来对陆地覆盖进行测量提供了基准。在季节-年际气候预测方面,他们在对控制 El Nino 形成的过程进行观测方面取得了突破。在自然灾害方面,他们试图利用有限干涉 SAR 资料从地壳的自然破裂中分辨出人为引起的地形高度变化,例如地下水减少引起的地表沉降。他们还利用类似资料和 GPS

接收站从全球四个火山地区对脆弱性进行了评估。在长期气候方面,他们在北半球一些地区检测出生长季节在最近的 10 年中增加了一个星期。飞机的观测表明生物燃料的燃烧和城市化作用气溶胶源的重要性。他们继续对大气臭氧进行了监测,对 UARS 资料的分析表明氢氟化物增长的趋势有所减缓。

参考文献

- 1 Subcommittee on Global Change Research. Committee on Environment and Natural Resources of the National Science and Technology Council. Our changing planet, The FY1998 U. S. Global Change Research Program, 1998, 118pp.
- 2 American Meteorological Society. Ninth symposium on global change studies and Namias symposium on status and prospects for climate prediction. 11~16 January 1998, Phoenix, Arizona, 1998, 364pp.

Status of Global Change Studies in the United States

Luo Yong

(National Climate Center, Beijing 100081)

Abstract

The global change studies in the United States are mainly supported by the U. S. Global Change Research Program (USGCRP). The four key global change issues of USGCRP are seasonal to interannual climate variability, climate change over decades to centuries, changes in ozone, UV radiation and atmospheric chemistry, changes in land cover and in terrestrial and aquatic ecosystems. At the current stage, water vapor and cloud remain to be the emphasis of global change research due to the great uncertainties in this aspect. Another focus is the detection and attribution of climate changes. The climate modeling keeps to be one of the main methodologies of global change studies. The application of satellite based observational data in global change studies has been made great progresses. In the coming years, the new research focuses of global change studies in the United States will be climate modeling, short-term climate prediction, climate changes over decades to centuries, changes in ozone, UV radiation and atmospheric chemistry, changes in land cover, and in terrestrial and aquatic ecosystems, regional-scale estimates of global change, application of satellite data and national assessment of the consequences of climate change for the United States.

Key Words: the United States global change research status climate prediction