

·纪念 2003 年世界气象日·

我们未来的气候:人类的干预有多大?^①

任国玉

(国家气候中心,北京 100081)

提 要

对有关气候变化的观测事实和可能原因的研究做了简要回顾和总结,对 21 世纪人类活动和自然因子对气候系统的可能影响做了扼要讨论。近 20 余年全球气候变化科学有明显的进步,但要对 21 世纪气候趋势做出可靠预测,还需要在过去气候演化历史和成因、全球碳循环、气候系统模式与模拟、土地利用和土地覆盖变化的影响以及气候系统的稳定性等方面开展深入研究,以便进一步减少科学上的不确定性。

关键词: 气候系统 全球气候变化 气候预测

引 言

今年世界气象日的主题是:我们未来的气候。这个主题反映了世界气象组织(WMO)大家庭乃至整个科学界对全球气候变化问题的密切关注。今年 WMO 还将支持两次大型国际气候变化科学研讨会,一次是 3 月 31 日至 4 月 2 日在北京召开的“国际气候变化科学研讨会”,另一次是 9 月 29 日至 10 月 3 日在莫斯科召开的“世界气候变化大会”,同样反映了气象界对这个问题的的高度重视。WMO 以及科学界对气候变化问题的关注,是基于当前科学界一种主流观点,即人类活动已经并将继续干预地球的气候系统。

当前的大气中 CO_2 浓度是过去至少 42 万年内最高的^[1],而且还在不断地上升。近 140 年以来,全球平均近地面气温增加了约 0.6°C 。多数气候学家认为,过去 100 多年的变暖可能与人为引起的大气中温室气体浓度增加有关,21 世纪全球增暖亦将与日俱增,并将对自然和人工生态系统、淡水资源、海平面和海岸带等人类生存环境产生深刻的影响^[2]。一些科学家还担心,在最近的地球史上,气候系统曾多次出现快速变化和状态转

换,对生态系统造成了巨大影响,未来的持续变暖也有可能诱发类似的气候系统突变,产生不可估量的后果。

所有这些都构成了人类社会关注甚至担心全球气候变化及其影响的理由。在过去的 20 余年,国内外科学界对此倾注了前所未有的热情和精力,以 IGBP、WCRP 和 IHDP 等大型国际计划为代表的全球变化研究(又称地球系统科学)也应运而生。科学成就是有目共睹的,人类对地球气候的过去和未来的认识有了显著的提升,IPCC 的三次评估报告^[1,2]和 2001 年阿姆斯特丹全球变化科学大会对此进行了系统总结。但是,明显的科学进步并不表明,人类目前的认识能力已经足够强大,认识水平已经可以满足应对决策的需要。在气候变化问题上,还有大量的科学问题没有解决。

1 地球气候变化的事实和原因

在 20 世纪期间,全球平均近地面气温上升了约 0.6°C ,其中 90 年代是最暖的 10 年,1998 年是最暖的 1 年。20 世纪后半叶的观测表明,热带地区的增温没有高纬地区明显,

^① 国家“十五”科技攻关项目课题“全球与中国气候变化的检测和预测(2001BA611B-01)”资助。

海面温度的增暖没有陆地表面明显,白天气温的增加没有夜间明显。此外,对流层中上层的增暖也没有近地面显著^[1]。一些代用气候资料分析表明,北半球20世纪的增温有可能是过去1000年内最大的^[1]。由于气候变暖,中高纬度地区无霜期明显延长,寒潮频次却明显减少。北半球大陆中高纬地区降水一般呈增加趋势,暴雨事件频率似乎也有增加,但副热带地区降水一般出现减少趋势^[1]。从全球或半球作为一个整体来看,20世纪或近50年内极端降水事件频率以及经历严重干旱或水涝的陆地面积没有显著趋势性变化,热带风暴或台风的生成数量和登陆数量也没有出现显著增多或减少趋势。

1951~2001年期间,中国年平均地面气温也已显著增暖,变暖幅度约为 1.1°C ,增温速率达 $0.22^{\circ}\text{C}/10$ 年,明显高于同期全球或半球平均增温速率^[3]。我国温度生长期已明显增长,在1961~2000年的40年内,北方增长了10天,青藏高原增长近18天。从全国平均来看,日最高气温大于 35°C 的炎热日数没有出现显著趋势性变化,但日最低气温小于 0°C 的霜冻日数却明显减少,减少最快的时期是近15年^[3]。近50年来全国平均降水量趋势变化不明显,但长江流域、西北地区以及内蒙古地区降水量呈增加趋势,而黄河流域和海河流域降水出现下降趋势^[3,4]。长江中下游地区多数台站暴雨日数增加了,其中有一些站的增加比较显著。近50年来,我国登陆的台风数量没有显著变化,但由于台风影响造成的降雨量则明显下降^[3]。此外,自50年代以来,我国北方的沙尘暴和浮尘天气日数从长期来看呈减少趋势,尽管近几年略有回升^[3,4]。

由于气候变暖,近30年来北半球平均雪盖范围减少了约10%,中高纬度湖、河的年结冰期已明显缩短。非极地带的山岳冰川在20世纪多数处于退却状态。但是,南极地区海冰覆盖在近30年中没有明显变化。山岳冰川消融和海水热膨胀作用的结果是全球平均海平面明显上升,在过去的100多年内上

升了 $10\sim 20\text{cm}$ ^[1]。气候变暖对陆地和海洋生态系统可能也造成了一定影响,包括改变了物种分布、种群大小、繁殖或季节迁徙时间等。物候观测表明,一些地区植物和作物的生长季延长了,这和根据气温资料分析得到的温度生长期变长是一致的^[2]。

对于全球气候变暖的原因,大部分气候学家以及IPCC最新报告均认为,近50年的增温可能主要是由大气中温室气体浓度的人为增加引起的^[1]。自工业革命以来,大气中的 CO_2 浓度从大约280ppmv增加到目前的370ppmv,增加32%。同一时期,大气中 CH_4 和 NO_2 浓度分别增加了151%和17%。目前大气中的 CO_2 和 CH_4 浓度是过去42万年内最高的^[1]。IPCC TAR指出,观测到的整个20世纪的增暖不可能完全是自然起因的,因为模式模拟表明,仅由气候系统内部变率造成这样的增温是不可能的,而火山喷发和太阳辐射的变化对于解释20世纪增暖也是不充分的。只有同时考虑了温室气体、太阳辐射和硫酸盐气溶胶的影响,20世纪气温的增暖才能得到合理的解释^[1]。但是,目前在这个问题上还存在着较大的争论。

2 我们未来气候的可能情景

在不同的时间尺度上,我们未来的气候情景是大不一样的。这里所说的未来,是限定在几十到上百年的时间框架内。在这样一个尺度上,影响地球气候系统演化的因子可能主要包括人类活动、太阳辐射、火山喷发、以及气候系统内部的低频振荡等,其中后三个因子可统称为自然因子。

2.1 人类影响

就人类影响来看,目前主要关心的就是人为大气成分的改变及其可能的气候后果。IPCC报告关于未来气候的推测也只是限于这个方面。TAR给出的结论是:到本世纪末,全球平均的年均气温将上升 $1.4\sim 5.8^{\circ}\text{C}$ ^[1]。这是假设到2100年大气中的 CO_2 浓度达到 $540\sim 970\text{ppm}$,是利用经过与具有不同敏感性的复杂气候模式校准过的简单模

式计算得到的。这个估计值比观测到的 20 世纪变暖幅度大几倍,比 IPCC 第二次报告给出的未来增暖幅度(1.0~3.5℃)也明显大。气候模式模拟还表明,几乎所有陆地未来的升温都将高于全球平均水平,北半球高纬度地区冬季的增暖尤其明显;全球平均降水量可能增加 5%~20%,高纬度地区增加较明显,受季风影响的地区降水一般也将增加,但一些地区降水将减少^[1]。

变暖将导致冰川面积大规模萎缩,北半球的雪盖、永冻层和海冰范围将进一步减小。到本世纪末,全球平均海平面将上升 0.09~0.88m。生物生产力将改变,一些脆弱物种灭绝的风险增加。IPCC TAR 认为,预计的气候变化对环境和社会经济系统造成的影响主要是不利的。各种极端气候事件频率增加甚至发生气候突变的风险是存在的^[1,2]。

综合 IPCC TAR 和国内科学家近年的研究结果^[1,5],中国地区可能由人类活动引起的变暖速率接近或略高于全球平均值,而且北方和冷季的变暖将更明显,生长季或无霜期将进一步增长,青藏高原、北方特别是西北和内蒙古地区降水量甚至湿润程度可能增加。

2.2 自然变化

气候系统外部强迫因子如太阳辐射和火山喷发无疑还将变化。太阳输出辐射的相对变化可能不会很明显,但如果太阳活动与抵达大气上层宇宙射线通量及地球云量之间的物理联系或者其它增幅机制(如平流层臭氧和太阳活动之间的联系)存在的话,未来太阳辐射的变化无疑还将对地球气候系统产生显著影响。考虑到在年代到世纪时间尺度上,目前太阳黑子和太阳活动仍处于相对强盛阶段^[1],而且没有迹象表明在今后几十年内明显减弱,太阳辐射变化可能继续有利于气候变暖,或有利于暖期的维持。尽管对地面气温对太阳输出辐射变化响应量值的估计还存在较大差别^[1,6],但本世纪前半叶由于太阳辐射变化引起的全球平均地面气温增暖不大可能高于近 50 年来观测到的增温值。

强的火山喷发对全球气候年际变化的影响已经得到证实,但在年代到世纪尺度上,火山活动是否对全球或区域温度变化有影响还需要进一步研究。同时,对未来几十年全球火山活动进行预测也具有很大的难度。因此,目前根据火山喷发情况推测未来气候变化可能情景还不具备条件。

气候系统内部也存在多种时间尺度上的振荡。海-气耦合系统的年代际到世纪尺度振荡得到证实。例如,北大西洋涛动(NAO)对北半球特别是欧亚大陆气候具有重要影响,在其正位相阶段欧亚大陆气温一般也显著偏暖。近 30 年来 NAO 正处于一个正位相阶段。上一次正位相阶段在 20 世纪初到 30 年代,持续约 30 年左右^[1]。如果 70 年代以来的正位相仍属于自然变化,今后 30 余年 NAO 进入负位相阶段的可能性比较大,这将导致欧亚大陆乃至整个北半球平均气温降低。当然,太平洋年代际振荡(PDO)和 ENSO 的多年代变率也值得注意^[7]。

2.3 综合情景

总之,自然因素在气候系统的过去变化中发挥了重要作用,在地球未来的气候演化过程中也将是关键角色。但是,当前对自然因素影响的了解程度非常低,对未来由于自然因子变化造成的综合影响还很难给出定量估价。因此,IPCC TAR 对自然因素可能引起的未来气候趋势没有进行评估。如果考虑到未来几十年内自然因素的影响,太阳输出辐射的变化有可能加速预期的人为增暖,火山活动可能在一定程度上增强或减缓增暖,而气候系统内部由 NAO 引起的年代际变率则可能会减缓欧亚大陆或北半球预期的人为增暖。不管怎样,目前多数意见还是,今后 50~100 年人类活动对全球气候的控制将至少不亚于自然因子的综合影响。

3 气候变化科学面临的挑战

显然,在气候变化的检测和预测方面,现在还存在着许多重要的科学问题,有待进一步研究。对气候成因分析和气候趋势估计的可靠性将严重依赖于对这些科学问题的理解

水平。

3.1 多时间尺度上的气候系统变化史

对近百年和古代气候系统演化历史的了解是解决气候变化科学许多问题的基础,但目前的了解还十分粗浅。我们需要对主要气候要素(如温度、降水或湿度、风、云量等)、气候强迫因子(如太阳辐射、火山喷发或平流层硫酸气溶胶、大气中温室气体浓度和气溶胶浓度等)、其他气候因子(如冰雪面积、海气耦合系统的低频振动、陆地植被或土地覆盖等)、极端气候事件(如严寒、旱涝、台风、沙尘暴、气候突变等),等在年代到千年尺度上的时空演化图式有更清晰的认识。因此,加强气候系统观测和历史资料分析就显得非常重要。全球气候观测计划(GCOS)、气候变率与可预报性计划(CLIVAR)、以及过去全球变化计划(PAGES)等相关观测和研究计划的实施与协调将有助于实现上述科学目标。当前,特别需要结合国内外科学合作计划,对器测资料的空间覆盖和非均一性、城市热岛效应增强和区域土地利用变化影响、古气候代用资料可靠性及其与器测记录的衔接、气候系统内部低频自然变率(NAO、PDO、ENSO等)的历史重建和模拟、外部强迫因子的时间序列及其气候系统的响应、近地面与对流层增温速率的差异等问题进行深入研究。

3.2 碳排放及其陆地和海洋的碳汇作用

人为碳排放及陆地和海洋的碳通量动态是预测未来大气中温室气体浓度和人为气候系统变化的关键因素。例如,在近10多年内北半球陆地碳汇的作用在增强,但陆地生态系统碳汇吸收能力到本世纪中期达到峰值后是否将逐渐下降^[1,8]? 海洋碳汇作用是否也将随气候变暖而减弱? 这些问题不解决,就无法了解未来大气中温室气体浓度变化趋势。陆地碳汇问题也由于“京都议定书”确定的灵活履约机制而受到重视。目前酝酿中的全球碳循环计划的实施将增进对这些问题的理解。今后特别值得关注的科学技术问题包括:海洋表层水酸度、海洋生态系统和大洋环流对大气中二氧化碳浓度增加及气候变化的

响应;土地利用和土地覆盖变化及其陆地生态系统碳收支动态,其中包括目前陆地碳汇过程的延续性;水和氮、磷、铁、硅、钙等元素的循环在海-陆-气碳交换过程中的作用;基于陆地和海洋的各种固碳技术等。

3.3 气候系统模式及其模拟

气候模式研究发展比较快,已建立了一系列由简单到复杂不同等级的气候系统模式,可对地球气候系统历史变化以及未来趋势进行模拟。气候模式要可靠地模拟气候系统的演化,离不开观测数据集的发展,并需要经过观测资料(包括器测资料和代用资料)分析的检验。气候模式应该能够更合理地模拟降水的时空变化特征,尤其应该提高对极端气候事件的模拟能力。增加模式的分辨率固然重要,但更重要的还是不断提升对云和水汽、气溶胶(硫酸气溶胶、矿物气溶胶、黑碳等)、陆地植被、海洋环流、冰雪等反馈过程及其气候系统敏感性的认识。在气候系统模式中怎样耦合人类社会经济系统的影响也提出了一个新的挑战。

3.4 土地利用变化及其区域气候效应

土地利用和土地覆盖变化不仅通过碳循环过程影响全球变化,而且也通过改变地表特性影响区域气候。在像我国东部这样的人口密集和经济活动活跃地区,历史上和未来的土地利用和土地覆盖变化都是很显著的,其对区域气候的影响不容忽视。近年来,一些主要来自模式敏感性试验的研究表明,陆地表面特性改变对区域甚至大陆尺度气候的影响是存在的^[9]。今后,应通过多种途径,包括器测和代用资料分析、遥感技术、科学试验和模式模拟等,系统地开展研究,以便对下述科学问题获得新的认识:过去几十年到几千年不同时间上的土地利用和土地覆盖的演化历史;这些变化对局地、区域和次大陆范围气候的影响;过去土地覆盖变化引起的气候改变对于气候变化检测的意义;未来几十年土地利用和土地覆盖演化趋势及其气候效应。

3.5 气候系统的稳定性

古气候代用资料表明,在地球最近的历

史上,北大西洋地区曾多次发生海洋温盐环流和气候的突然变化^[1]。在过去的近50万年内,地球气候系统多数时间是运行于不同的准稳定态中,在这些状态之间则出现突然变化^[1,10]。人类活动是否有可能激发这种突变,并对人类社会经济系统造成灾难性后果,这个问题日益令人关注。目前大气中二氧化碳和甲烷浓度等参数已经偏离到至少过去50万年自然变率幅度之外了;同时一些模式模拟显示,当全球气温上升超过一定阈值,北大西洋温盐环流有可能减弱甚至关闭^[10],欧洲气候可能迅速变冷。这些发现加重了科学界对人为因素可能引发地球气候系统失稳问题的担忧。尽管北大西洋温盐环流的剧烈变化可能主要与冰期和冰消期大陆冰盖动态有关,在目前这样的间冰期发生类似剧变的可能性似乎很小,这个问题仍然值得给予足够的重视。目前需要深入了解的问题包括:过去间冰期和全新世北大西洋地区温盐环流和气候动态;冰期北大西洋地区温盐环流和气候突变的时间特征、影响范围和物理机制;未来可能由人类活动引起的全球变暖对海洋环流和陆地生态系统稳定态的影响。

4 结束语

在过去3个世纪里,地球上的人口增加了近10倍,20世纪内世界的城市人口增加了近10倍。目前地球上接近一半的陆地表面已经为人类所直接改变和利用。在几代人的时间内,人类将可能消耗完过去上亿年内由于漫长地质作用生成的化石燃料^[11]。大气中温室气体浓度已经明显受到人类活动的干扰,而且这种干扰可能已经对全球气候产生了影响,并可能继续改变未来全球气候分布图式。因此,近20年来国际社会严密关注地球气候系统变化及其影响应该是可以理解的。但是,综观全球气候变化或全球变化科学的历史和现状,我们不得不承认,虽然总体进步是显著的,但对一些关键问题的认识还很不完善,与此同时新的科学问题又不断出

现。时至今日,关于近100年全球气候增暖的主要原因仍然是IPCC评估报告中最具争议性的问题之一;而对于未来气候趋势估计的信度与十几年前比较也没有实质性的提高。展望未来,气候变化科学工作者依然任重而道远。

致谢:国家气候中心副主任李维京对本文形成提出了建设性意见,谨表谢意。

参考文献

- 1 Houghton, J. T., Ding, Y. H., et al. (eds.), *Climate Change 2001: The Scientific Basis*, Cambridge Univ. Press, Cambridge, 2001: 896.
- 2 McCarthy, J., O. F. Canzian, N. Leary (eds.), *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*, Cambridge Univ. Press, Cambridge, 2001: 1050.
- 3 任国玉,翟盘茂,刘小宁等.中国近50年气候变化研究的新进展.国家气象中心2002年度学术年会,2003年1月20~21日,北京.
- 4 王绍武,董光荣(主编).中国西部环境特征及其演变,秦大河主编:中国西部环境演变评估(第一卷).北京:科学出版社,2002.
- 5 丁一汇(主编).中国西部环境变化的预测,秦大河主编:中国西部环境演变评估(第二卷).北京:科学出版社,2002.
- 6 Van Geel, B., Raspopov, O. M., Renssen, H., et al. The Role of Solar Forcing upon Climate Change. *Quaternary Science Reviews*, 18, 1999: 331—338.
- 7 Moy, C. M., G. O. Seltzer, D. T. Rodbell, et al. Variability of El Niño/Southern Oscillation Activity at Millennial Timescales during the Holocene Epoch. *Nature*, 420, 2002: 162—165.
- 8 Melillo, J. M., P. A. Steudler, J. D. Aber, et al. Soil Warming and Carbon-Cycle Feedbacks to the Climate System. *Science*, 298 (5601), 2002: 2173—2176.
- 9 Fu, Congbin. Land Use and the East Asian Monsoon. *Global Change Conference*, Amsterdam, 10—13 July, 2001.
- 10 Broecker, W. S. Thermohaline Circulation, the Achilles Heel of Our Climate System: Will Man-Made CO₂ Upset the Current Balance? *Science*, 278 (5343), 1997: 1582—1588.
- 11 Moore III, B., The Challenges of a Changing Earth, *Global Change Conference*, Amsterdam, 10—13 July 2001.

Our Future Climate: To What Extent Will Human Activities Interfere with It?

Ren Guoyu

(National Climate Center, Beijing 100081)

Abstract

Significant progresses have been made in global climate change science for the past 20 years. However, there is still a long way for scientists to harvest the ripe fruit. The current argument over detection of and attribution to climate change could not be ignored, and the projection of anthropogenic climate change trend given by the IPCC TAR would be surely subject to modification with the prospective progress in the exciting field of modern earth sciences. These progresses should, and most probably will, be made in history of earth climate change, global carbon cycle, climate system model and climate modeling, land use and land cover change and the effect on regional or even sub-continental climates, and stability of earth climate system.

Key Words: Climate system Global climate change Climate projection