

全球气候变暖:浅谈从 AR5 到 AR6 的认知进展

周波涛*

南京信息工程大学 气象灾害预报预警与评估协同创新中心/气象灾害教育部重点实验室/气候与环境变化国际合作联合实验室,江苏 南京 210044

* 联系人, E-mail: zhoubt@nuist.edu.cn

2021-08-15 收稿, 2021-08-19 接受

国家自然科学基金资助项目(41991285)

摘要 自政府间气候变化专门委员会(IPCC)第五次评估报告(AR5)发布以来,国际科学界在气候系统变化领域取得显著进展,有关气候变化的科学认识不断深入。IPCC第六次评估报告(AR6)第一工作组(WGI)报告对这些科学进展和最新认识作了综合评估。温度是全球变化最直接的指示器。本文从温度变化视角,对从 AR5 到 AR6 的科学进展进行了梳理和简要评述,主要聚焦观测的变化、归因以及未来预估三个方面。与 AR5 相比,AR6 以更强有力的证据进一步确证了近百年全球气候变暖的客观事实,人类活动对气候变暖影响的信号更为清晰,未来变暖幅度取决于温室气体减排力度。

关键词

AR6;
全球气候变暖;
观测变化;
归因;
预估

2021年8月6日,IPCC第54次全会审议通过了第六次评估报告第一工作组报告《气候变化2021:自然科学基础》(以下简称为AR6)。该报告对气候系统变化科学领域自第五次评估报告第一工作组报告(以下简称为AR5)以来的研究进展和最新成果做了全面、系统的评估,由来自全球65个国家的234位科学家历时三年半完成,我国共有14位科学家参加编写。AR6报告(IPCC, 2021)共分为12章和1个图集,聚焦三大方向:大尺度变化(观测的气候系统变化;气候系统变化的检测归因;未来气候变化预估)、过程理解(全球碳及其他生物地球化学循环和反馈;短寿命气候强迫因子;地球能量收支、气候反馈和气候敏感性;水循环变化;海洋、冰冻圈和海平面变化)和区域信息(全球和区域气候变化的联系;极端天气气候事件;用于区域影响和风险评估的气候变化信息)。报告内容丰富,覆盖气候系统五大圈层的最新研究进展,体现了当前科学界对气候变化自然科学的最新认知,为全世界认识和应对气候变化提供了科学基础与区域信息。

AR5(IPCC, 2013)发布后,秦大河等(2014)全面总结了报告中观测的气候系统变化、气候变化原

因、未来气候系统变化预估等方面的亮点结论。巢清尘等(2014)梳理了IPCC第一次评估报告(FAR)到AR5有关气候变化事实、原因和未来趋势的科学认知发展。本文在上述基础上,对AR5到AR6的认知进展做简要介绍。温度是全球变化最直接的指示器,本文仅从温度变化视角谈谈其在过去变化、归因以及未来变化预估方面的认识。

1 进一步确证全球气候变暖事实

AR5(IPCC, 2013)指出,1998—2012年全球地表平均温度的升温速率($0.05\text{ }^{\circ}\text{C}/(10\text{ a})$)小于1951年以来的升温速率($0.12\text{ }^{\circ}\text{C}/(10\text{ a})$)。在AR5发布之后引发了部分质疑全球变暖之声,认为气候变暖趋势趋缓或停滞。事实上,该时段(1998—2012年)全球平均温度的变化趋势反映了气候系统自然变率所造成的年代际和年际波动。从2013年以后的监测数据来看,之后的年份连续创下1850年以来最暖年份纪录(中国气象局气候变化中心, 2021)。AR6基于多源证据再次揭示,全球气候变暖的大趋势并没有改变(IPCC, 2021)。

自AR5以来,随着方法的改进和空间覆盖度的

引用格式:周波涛, 2021. 全球气候变暖:浅谈从 AR5 到 AR6 的认知进展[J]. 大气科学学报, 44(5):667-671.

Zhou B T, 2021. Global warming: scientific progress from AR5 to AR6[J]. Trans Atmos Sci, 44(5):667-671. doi: 10.13878/j.cnki.dqkxxb.20210815009. (in Chinese).

增加,陆地和海洋资料的质量得到进一步提升,不确定性减小。如新一版的全球地表温度数据集(GH-CNMv4)相比之前版本包含了更多的陆地站点观测,英国东英吉利大学气候研究所的新版温度数据集(CRUTEMv5)提升了数据完整性并进行了额外的质量控制,三套全球海洋资料(HadSST4、ERSSTv5、COBE SST2)进行了偏差订正等。基于多套更高质量的观测资料和向后延长的时间序列,AR6揭示最近10年(2011—2020年)的全球地表平均温度比1850—1900年高出 $1.09 [0.95 \sim 1.20]$ °C,比2003—2012年(AR5评估的时间段)增暖 $0.19 [0.16 \sim 0.22]$ °C,且最近4个年代连续为1850年代以来的最暖10年。在AR5中,最近10年(2003—2012年)相对于1850—1900年的增温为 $0.78 [0.72 \sim 0.85]$ °C,采用AR6资料和方法后更新为 $0.90 [0.74 \sim 1.00]$ °C(表1)。这些数据说明全球温度仍处于上升趋势,全球变暖并未停滞。随着资料和方法的更新,对近代气候变暖在气候历史中所处地位的认知也不断提升。AR5认为1983—2012年可能是过去1400年中最暖的30年。AR6揭示近50年(1970年代以来)的全球增暖速率比近2000年来任何一个50年的增温速率都要大。

在全球变暖背景下,中国气温同样呈现显著的上升趋势。1901—2020年,中国年平均气温以每10年约 0.15 °C的速率上升,1951—2020年的升温趋势更为明显,为 0.26 °C/(10 a),近20年为20世纪初以来最暖的时期(气候变化蓝皮书,2021)。

2 人为影响的证据进一步加强

造成气候变化的原因既有自然的,也有人为的。自然原因包括太阳活动、火山活动、气候系统内部变率等,人为原因主要是人类活动导致的温室气体排放、气溶胶变化、土地利用变化等。从FAR到AR5,有关人类活动对气候系统影响的认知逐渐深入,评估结论的信度水平不断提升(巢清尘等,2014)。自AR5以来,人类活动对气候系统变化影响的证据更加充分,人为影响的信号更为清晰,体现在气候系统五大圈层的诸多方面,并扩展到区域尺度(IPCC, 2021)。

自然和人为强迫对气候系统变化的贡献可用辐射强迫定量表述。辐射强迫正值表示气候系统吸收能量,导致气候变暖,反之亦然(IPCC, 2013; 秦大河等, 2014)。AR6评估结果表明,1750—2019年的人为辐射强迫为 $2.72 [1.96 \sim 3.48]$ W · m⁻²,相比

AR5时的1750—2011年的 2.29 W · m⁻²人为辐射强迫增加了 0.43 W · m⁻²,其中 0.34 W · m⁻²因2011年以来温室气体浓度增加所致。2011年,温室气体CO₂、CH₄、N₂O的体积浓度分别为 391×10^{-6} 、 1803×10^{-9} 、 324×10^{-9} ,到2019年依次上升至 410×10^{-6} 、 1866×10^{-9} 和 332×10^{-9} 。其中,大气CO₂浓度达到过去200万年来的最高水平,比2011年时为过去80万年的最高水平向前推进了120万年。人为辐射强迫增加的净能量有91%加热海洋,5%加热陆地,3%加热冰冻圈,1%加热大气(AR5对应值分别为93%、3%、3%和1%)。

AR5对1951—2010年全球平均温度变化中人为强迫、温室气体、气溶胶、自然强迫和气候系统内部变率的各自贡献进行了定量归因,由此得出,人为影响是20世纪中叶以来全球变暖的主要原因,1951—2010年全球平均温度升高中有一半以上是由人类活动导致的(大于95%的概率;表1)。在AR6中,由于观测到的更显著变暖以及对不确定理解的提升,对温度变化的归因可回溯至1850—1900年。从1850—1900年到2010—2019年,人为影响造成的全球增温幅度为 $0.8 \sim 1.3$ °C,最佳估计值为 1.07 °C,与观测的升温幅度 1.06 °C基本一致(表1)。其中,温室气体的贡献为 $1.0 \sim 2.0$ °C,气溶胶等其他强迫的贡献为 $-0.8 \sim -0.0$ °C。自然强迫的贡献为 $-0.1 \sim 0.1$ °C,气候系统内部变率的贡献为 $-0.2 \sim 0.2$ °C。人类活动对各个大陆气温变化的影响也均能检测到。陆地区域极端温度事件频率和强度变化(包括长期变化和单个极端事件)的人为影响证据也进一步增多。

我国气候变化归因研究工作起步相对较晚。Xu et al.(2015)基于第五次国际耦合模式比较计划(CMIP5)多模式模拟结果和最优指纹法量化了1961—2005年中国年平均气温变化中的人为贡献,结果显示可检测到温室气体和气溶胶的贡献,仅人为强迫就能解释观测的气温变化趋势。Wen et al.(2013)首次检测了中国极端温度(包括日最高温度年最大值和最小值、日最低温度年最大值和最小值)变化中的人为影响。近几年来,有关中国气候和极端气候变化的归因研究蓬勃发展,取得显著进展。Sun et al.(2021)在综述文章里对相关进展进行了回顾,指出人为影响特别是温室气体排放是观测到的中国平均温度和极端温度长期变化的主要原因,并增加了极端热事件的发生概率。

表 1 AR5 与 AR6 的全球平均温度过去变化及归因和预估结果的比较

Table 1 Comparison of observed, attributed and projected changes in global mean surface temperature between AR5 and AR6

℃					
观测		归因		预估(到 21 世纪末)	
AR5	AR6	AR5	AR6	AR5	AR6
	1850—1900 到 2011—2020; 1.09[0.95~1.20]	人为影响是 20 世纪中叶以来全球变暖的主要原因(极有可能)	人为影响已经使得大气、海洋、陆地增暖(毋庸置疑)		SSP1-1.9 相对 1850—1900;1.4[1.0~1.8] 相对 1995—2014;0.6[0.2~1.0]
1850—1900 到 2003—2012; 0.78[0.72~0.85]	1850—1900 到 2003—2012; 0.90[0.74~1.00]	20 世纪中叶以来观测到的全球气候变暖有一半以上是由人类活动导致的(极有可能)	1850—1900 到 2010—2019, 人为影响造成的全球增温幅度为 1.07[0.8~1.3], 与观测的升温幅度 1.06 相当	RCP2.6 相对 1850—1900; 1.6[0.9~2.3]	SSP1-2.6 相对 1850—1900;1.8[1.3~2.4] 相对 1995—2014;0.9(0.5~1.5)
过去 3 个年代连续为 1850 年以来的最暖 10 年	最近 4 个年代连续为 1850 年以来的最暖 10 年			RCP4.5 相对 1850—1900; 2.4[1.7~3.2]	SSP2-4.5 相对 1850—1900;2.7[2.1~3.5] 相对 1995—2014;1.8(1.2~2.6)
1983—2012 年可能是过去 1400 年中最暖的 30 年	20 世纪 70 年代以来 的 50 年全球增暖速率比近 2000 年来任何 一个 50 年的增温速率都要大			RCP6.0 相对 1850—1900; 2.8[2.0~3.7]	SSP3-7.0 相对 1850—1900;3.6[2.8~4.6] 相对 1995—2014;2.8(2.0~3.7)
				RCP8.5 相对 1850—1900; 4.3[3.2~5.4]	SSP5-8.5 相对 1850—1900;4.4[3.3~5.7] 相对 1995—2014;3.5(2.4~4.8)

3 未来气候变暖幅度取决于温室气体减排力度

气候变化预估依赖气候模式和未来排放情景。在 AR5 中,采用的是 CMIP5 气候系统模式和典型浓度路径(RCPs)情景。RCPs 包括 RCP2.6、RCP4.5、RCP6.0、RCP8.5 四种情景,分别代表从低到高的温室气体排放(Taylor et al.,2012)。在 AR6 中,第六次国际耦合模式比较计划(CMIP6)模式被采用。与 CMIP5 模式相比,CMIP6 模式具有更高的空间分辨率,对于物理、化学、生物过程的描述更为完善(Eyring et al.,2016)。情景采用的是社会共享经济路径(SSP)和 RCP 的组合,包括 SSP1-1.9、SSP1-2.6、SSP2-4.5、SSP3-7.0 和 SSP5-8.5,分别对应从低到高的温室气体排放(O'Neill et al.,2016)。

方法上首次采用观测约束和敏感度约束温度预估。AR5 表明,温室气体继续排放将会造成全球气候进一步增暖。人为温室气体排放越多,增温幅度就越大。相对于 1850—1900 年,到 21 世纪末(2080—2100 年),预估全球平均温度在低排放情景(RCP2.6)下将升高 1.6[0.9~2.3]℃,在中等排放情景下(RCP4.5)将升高 2.4[1.7~3.2]℃,在很高排放情景(RCP8.5)下将升高 4.3[3.2~4.8]℃。对应的 AR6 预估结果相类似,但最佳估计值略偏大(表 1)。综合考虑 AR6 所有情景,全球平均温度至少到 21 世纪中叶前都将上升。《巴黎协定》确定在 2100 年前把全球温升控制在 2℃,力争在 1.5℃之内(较工业化前水平)。从 AR5 和 AR6 的预估结果来看,只有在很低排放情景(SSP1-1.9)和低排放情景(SSP1-2.6、RCP2.6)发展路径下,到 21 世纪

末全球增温才可能不超过 2°C 。也就是说,如果不深度减排, 2°C 和 1.5°C 升温目标很难实现。如果遵循很高排放情景(SSP5-8.5、RCP8.5)发展,在近20年很可能超过 1.5°C (IPCC,2021)。

与AR5相比,AR6还给出了不同温升水平下不同区域的温度变化差异。在 1.5°C 、 2°C 和 4°C 三种温升水平下,未来温度变化的空间分布形态较为相似,陆地升温大于海洋,北极增暖最为明显,为全球温升的2倍以上。未来变暖将加剧极端热事件频率和强度的变化。每 0.5°C 的升温将很可能造成极端热事件(包括热浪)频率和强度明显增加(IPCC,2021)。

未来中国气候将进一步增暖。根据多模式集合预估结果,与当今气候(1995—2014年)相比,在SSP2-4.5和SSP5-8.5情景下,中国年平均气温到21世纪末将分别增加 2.7°C 和 5.4°C (Yang et al.,

2021),均高于全球平均水平(表1)。

4 结语

IPCC历次评估报告均代表当时人类对气候变化的最新认知水平,是国际社会应对气候变化行动的主要科学依据。与AR5相比,AR6以更多更强有力的证据,进一步证实近百年全球气候变暖的事实。人类活动对气候系统影响的证据也更加充分,信号更为清晰。人为影响已经使得大气、海洋、陆地增暖,这一结论毋庸置疑。在AR6考虑的所有情景下,全球气候变暖趋势至少在21世纪中叶前仍将继续。全球增暖幅度越大,气候系统的许多变化将加剧。如果不深度减排,难以实现到21世纪末将温升控制在 2°C 以内的目标。

参考文献(References)

- 巢清尘,周波涛,孙颖,等,2014. IPCC气候变化自然科学认知的发展[J]. 气候变化研究进展, 10(1): 7-13. Chao Q C, Zhou B T, Sun Y, et al., 2014. The cognition development of the climate change physical sciences on IPCC[J]. Adv Climate Change Res, 10(1): 7-13. doi: 10.3969/j.issn.1673-1719.2014.01.002. (in Chinese).
- Eyring V, Bony S, Meehl G A, et al., 2016. Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization[J]. Geosci Model Dev, 9(5): 1937-1958. doi: 10.5194/gmd-9-1937-2016.
- IPCC, 2013. Climate Change 2013: the physical science basis[R]//Stocker T F, Qin D, Plattner G K, et al. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, and New York: Cambridge University Press, Cambridge: 1535.
- IPCC, 2021. Climate change 2021: the physical science basis[R]//Masson-Delmotte V, Zhai P, Pirani A, et al. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge and New York: Cambridge University Press. (In Press).
- O'Neill B C, Tebaldi C, van Vuuren D P, et al., 2016. The scenario model intercomparison project (Scenario MIP) for CMIP6[J]. Geosci Model Dev, 9(9): 3461-3482. doi: 10.5194/gmd-9-3461-2016.
- 秦大河, Stocker T, 259名作者和TSU(驻伯尔尼和北京), 2014. IPCC第五次评估报告第一工作组报告的亮点结论[J]. 气候变化研究进展, 10(1): 1-6. Qin D H, Stocker T, 259 Authors and TSU (Bern & Beijing), 2014. Highlights of the IPCC working group I fifth assessment report [J]. Climate Change Research, 2014, 10(1): 1-6. doi: 10.3969/j.issn.1673-1719.2014.01.001. (in Chinese).
- Sun Y, Zhang X B, Ding Y H, et al., 2021. Understanding human influence on climate change in China[J]. Natl Sci Rev. doi: 10.1093/nsr/nwab113.
- Taylor K E, Stouffer R J, Meehl G A, 2012. An overview of CMIP5 and the experiment design[J]. Bull Amer Meteor Soc, 93(4): 485-498. doi: 10.1175/bams-d-11-00094.1.
- Wen H Q Z, Zhang X B, Xu Y, et al., 2013. Detecting human influence on extreme temperatures in China[J]. Geophys Res Lett, 40(6): 1171-1176. doi: 10.1002/grl.50285.
- Xu Y, Gao X, Shi Y, et al., 2015. Detection and attribution analysis of annual mean temperature changes in China[J]. Clim Res, 63(1): 61-71. doi: 10.3354/cr01283.
- Yang X L, Zhou B T, Xu Y, et al., 2021. CMIP6 evaluation and projection of temperature and precipitation over China[J]. Adv Atmos Sci, 38(5): 817-830. doi: 10.1007/s00376-021-0351-4.
- 中国气象局气候变化中心, 2021. 中国气候变化蓝皮书(2021)[M]. 北京: 科学出版社. CMA Climate Change Centre, 2021. Bluebook on climate change in China(2021)[M]. Beijing: Science Press. (in Chinese).

Global warming: scientific progress from AR5 to AR6

ZHOU Botao

Collaborative Innovation Center on Forecast and Evaluation of Meteorological Disasters (CIC-FEMD)/Key Laboratory of Meteorological Disaster, Ministry of Education (KLME)/Joint International Research Laboratory of Climate and Environment Change (ILCEC), Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China

Since the release of the Fifth Assessment Report (AR5) of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), the international scientific community has made a number of significant progresses in the field of climate system change, which deepen our understanding on climate change. These scientific progresses and findings have been assessed objectively and comprehensively in the Working Group I (WGI) report of the Sixth Assessment Report (AR6) of IPCC. Given that temperature is the most direct indicator of global climate change, this paper briefly reviews the scientific cognition of the observed changes, attribution and projection from AR5 to AR6 from the perspective of changes in surface temperature. Compared to AR5, AR6 further confirms the objective fact of global warming since 1850 with stronger evidence, and the signals of human influence on global warming are much clearer. The future amplitude of global warming depends on the efforts of greenhouse gas emission reduction.

AR6; global warming; observed change; attribution; projection

doi: 10. 13878/j.cnki.dqkxxb.20210815009

(责任编辑:袁东敏)