

人类活动对气候系统的影响——解读 IPCC 第六次评估报告第一工作组报告第三章

孙颖*

中国气象局 国家气候中心,北京 100081

* 联系人, E-mail: sunying@cma.gov.cn

2021-08-16 收稿, 2021-08-30 接受

国家自然科学基金资助项目(42025503)

摘要 2021 年 8 月,政府间气候变化专门委员会(IPCC)第六次评估报告第一工作组报告发布。该报告清楚表明,近百年来气候系统正在发生广泛而迅速的变化,人类活动已使得大气、海洋和陆地变暖。本文通过对报告第三章的摘译,介绍了报告中关于人类活动对气候系统影响的主要结论,包括人类活动对大气和地表、冰冻圈、海洋、生物圈以及气候变率的影响。基于最新的观测资料、新一代气候模式结果以及不同的检测归因方法,通过评估近年来该领域的最新文献表明,以温室气体为主的人类活动可以在气候系统多变量变化中被检测出来。

关键词

IPCC 第六次评估报告;
人类活动;
气候系统

自政府间气候变化专门委员会(IPCC)发布第一次评估报告以来,人类活动对气候系统的影响一直是 IPCC 历次评估报告的核心内容。IPCC 第一次评估报告指出:人类使用化石燃料大大增加了大气温室气体的浓度,导致温室效应增强和地球表面变暖。第二次评估报告表明:全球变暖“不太可能完全由自然因子造成”,人类活动对全球气候系统有“可识别的”影响。第三次评估报告指出:可能的是,过去 50 年观测到的大部分变暖是由于温室气体浓度的增加造成的。第四次评估报告指出,可能的是,自 20 世纪中期以来观测到的大多数变暖是由于观测到的人为温室气体浓度增加引起。第五次评估报告(AR5)指出,极有可能的是,人类活动是 20 世纪中期以来观测到的变暖的主要原因。这些系列报告表明,人类活动影响气候系统的证据在逐渐加强,科学界对于人类活动对气候系统影响的认识在深化。这主要是由于观测到的变暖越来越明显、气候模式性能的改善以及归因方法学的改进。

IPCC 最新发布的第六次评估报告(AR6),基于最新的观测和模式结果,系统评估了人类活动对大气和地表、冰冻圈、海洋、生物圈以及气候变率模式

的影响。与第五次评估报告相比,评估的变量更加全面,内容更为系统。评估的成员不仅包括传统的气候变量,如气温和降水等,而且还增加了生物圈等其他圈层的变量。通过对这些变量的评估,第六次评估报告得出结论:毋庸置疑的是,自工业化以来,人类的影响已经使得大气、海洋和陆地变暖。气候系统各圈层发生了广泛而迅速的变化,人类排放的温室气体等造成的人为强迫已经对气候系统造成了明显的影响(Eyring et al., 2021; IPCC, 2021)。

1 人类活动影响气候系统的主要结论

1.1 人类活动对气候系统的综合影响

自工业化以来,人类活动的影响已经使全球气候系统变暖。这一评估结论的信度在第六次评估报告里面进一步提高,主要是由于对气候系统多圈层多变量的综合评估,减少了传统单一变量评估带来的不确定性。在气候系统的不同圈层,包括大气、海洋、冰冻圈和地表气候变化等指标的变化中,均可以检测到人类活动的影响。这些影响与模式模拟和基于物理机制预期的理解相一致。

在第六次评估报告中,采用了参与第六次国际

引用格式: 孙颖, 2021. 人类活动对气候系统的影响——解读 IPCC 第六次评估报告第一工作组报告第三章[J]. 大气科学学报, 44(5): 654-657.

Sun Y, 2021. Impact of human activities on climate system: an interpretation of Chapter III of WG1 report of IPCC AR6[J]. Trans Atmos Sci, 44(5): 654-657. doi: 10.13878/j.cnki.dqkxxb.20210816009. (in Chinese).

气候模式比较计划(CMIP6)的气候模式。与第五次计划(CMIP5)的模式相比,CMIP6 气候模式对平均气候态的模拟有一定改进(高信度)。高分辨的气候模式对地表和海洋气候的模拟偏差减小(中等信度),包括生物地球化学反馈的大多数地球系统模式的模拟能力与复杂性较低的对模式持平(中等信度)。多模式平均能够很好地再现大多数观测到的气候变化(高信度)以及二氧化碳(CO₂)较高和较低时的代用数据重建的气候。与 AR5 相比,大陆尺度的古气候模拟有一定改进(中等信度),但模式通常低估了相对于当前气候较大的温度和降水差异(高信度)。

1.2 人类活动对大气和地表的影响

相对于 1850—1900 年,2010—2019 年全球平均表面气温(GSAT)的变化为 0.9~1.2℃,其中人为变暖贡献的范围可能为 0.8~1.3℃。人类活动引起的变暖最佳估计值是 1.07℃。其中,温室气体强迫贡献了 1.0~2.0℃的变暖,其他人为强迫(主要是气溶胶)贡献了 0.0~0.8℃的变冷。自然强迫的贡献仅为 -0.1~0.1℃,而内部变率的贡献为 -0.2~0.2℃。由于对不确定性理解的改进以及持续的变暖,第六次评估报告对自工业化革命以来 1850—1900 年的变暖进行了归因,而 AR5 中只能对自 1951 年以来的变暖归因。人类活动引起的 GSAT 和全球平均表面温度(GMST)变暖的可能范围相等(中等信度)。但是,将观测到的变暖归因于某种特定的人为强迫仍然具有较大的不确定性。很可能的是,人类活动引起的温室气体增加是自 1979 年开始广泛的卫星观测以来对流层变暖的主要影响因素,而人类活动导致的平流层臭氧损耗极可能是 1979 年至 20 世纪 90 年代中期平流层下部降温的主要影响因素。

与 1951—2012 年的增温相比,1998—2012 年观测到的 GMST 升温速率变缓是一个短暂事件,伴随其后的是 GMST 的快速上升(很高信度)。自 AR5 以来改进的观测资料显示,1998—2012 年 GMST 趋势比早期估计更大。1998—2012 年 GMST 趋势的所有观测估计值都在 CMIP6 模拟趋势的 10%~90% 范围内(高信度)。气候系统的内部变率,尤其是太平洋年代际变率以及太阳活动和火山爆发的变化部分抵消了 1998—2012 年人为活动导致的地表变暖趋势(高信度)。在此期间,全球海洋热含量持续增加,表明整个气候系统持续变暖(很高信度)。自 2012 年以来,GMST 急剧升温,

2016—2020 年这 5 a 至少是自 1850 年有器测记录以来最热的 5 年(高信度)。

自 20 世纪中期以来,人类活动很可能影响了大尺度的降水变化。新的归因研究进一步证实了过去的研究结论,即可以在北半球中高纬陆地降水的增加中检测到人类活动的影响(高信度)。人类活动已经影响了湿润的热带和干燥的亚热带之间纬向平均降水差异的增加(中等信度)。同时,人为气溶胶也对 20 世纪 50—80 年代全球陆地夏季风降水的减少有贡献(中等信度)。同样具有中等信度的是,人类活动影响了 1979 年以来南半球夏季降水在高纬的增加和中纬的减少,这与南半球环状模向正位相的转变有关。

人类活动引起的温室气体强迫是全球(几乎确定)和大多数大陆(很可能)极端冷事件和极端暖事件变化的主要原因。近几十年来,人类活动的影响,特别是温室气体强迫,很可能是全球陆地观测到的强降水加剧的主要驱动因子。具有高信度的是,模式可以重现陆地极端降水的大尺度空间分布特征。CMIP6 模式模拟的极端降水强度和频率与 CMIP5 模式的模拟相似(高信度)。

可能的是,人类活动影响了 20 世纪 80 年代以来南半球纬向平均 Hadley 环流向极地的扩张。具有中等信度的是,北半球纬向平均 Hadley 环流向极地的扩张主要受到气候系统内部变率的影响。自 20 世纪 80 年代以来太平洋 Walker 环流增强的原因尚不清楚,观测到的增强趋势超出了气候模式模拟的趋势范围(中等信度)。

1.3 人类活动对冰冻圈的影响

很可能的是,温室气体等增加引起的人为强迫是 20 世纪 70 年代后期以来北极海冰损耗的主要驱动因子。目前有新的证据表明,人为气溶胶的增加抵消了部分由温室气体引起的 20 世纪 50 年代以来北极海冰损耗(中等信度)。在针对北极海冰的模拟中,尽管平均海冰状态存在很大差异,但所有 CMIP5 和 CMIP6 模式都再现了近几十年来海冰范围和厚度的损耗(高信度)。相比之下,全球气候模式通常无法捕捉到卫星时代观测到的南极海冰范围的小幅度增加,并且对这种变化原因的归因信度很低。

很可能的是,人类活动影响了 1950 年以来北半球春季积雪的减少。CMIP6 模式比 CMIP5 模式更好地再现了北半球积雪的季节性周期(高信度)。人类活动的影响很可能是最近全球范围内几乎普遍

发生的冰川退缩的主要驱动因子。在过去的 20 年中,人类活动很可能影响了格陵兰冰盖表面的融化。具有中等信度的是,格陵兰冰盖最近的整体冰量损耗中存在人为贡献。然而,仅具有中等一致性的证据表明,人类通过冰流量的变化影响南极冰盖物质平衡。

1.4 人类活动对海洋的影响

极有可能的是,人类活动是 20 世纪 70 年代以来海洋热含量增加的主要驱动因子,海洋热含量的增加一直延伸到深海(很高信度)。自 AR5 以来由于模式模拟中同时考虑了自然和人为强迫,海洋上层(0~700 m)热含量变化的近期观测估计值与模式模拟之间的一致性提高。CMIP6 模式模拟结果显示,工业化以来(1850—2014 年)海洋上层(0~700 m)吸收了 58% 的热量,海洋中层(700~2 000 m)吸收了 21%,海洋深层(>2 000 m)吸收了 22%。与 CMIP5 的结果相比,CMIP6 得到的多模式平均海温偏差的结构和幅度基本没有发生变化(中等信度)。

极有可能的是,人类活动影响了 20 世纪中期以来海洋表层和次表层盐度变化。主要表现为盐分低的区域变得更淡,盐分高的区域变得更咸(高信度)。同期大气水循环和海洋-大气通量(蒸发和降水)的变化是观测到的海盆尺度盐度变化的主要驱动因子(高信度)。观测到的所有深度的海盆尺度盐度变化可归因于人为影响,CMIP5 和 CMIP6 模式都只能在包括温室气体增加的模拟中重现这些模式(中等信度)。很可能的是,综合考虑冰川、冰盖表面物质平衡和热膨胀的可归因贡献,人类影响至少是观测到的 1970 年以来全球平均海平面上升的主要驱动因子。自 AR5 以来的研究表明,不包括人为温室气体的模式无法模拟出历史时期热膨胀(热力学)导致的海平面上升,包括所有强迫(人为和自然强迫)的模式模拟结果与观测估计值最接近。很可能的是,人为影响是观测到的 1970 年以来全球平均热比容海平面上升的主要驱动因子。

1.5 人类活动对生物圈的影响

大气 CO₂ 浓度增加导致的植物生长施肥效应增强是大气 CO₂ 季节循环振幅增加的主要驱动因子(中等信度)。尽管如此,由于土地管理在某些地区占主导地位,CO₂ 施肥效应是观测到的变绿的主要驱动因子这一结论仅有低信度。

几乎确定的是,人为 CO₂ 的吸收是观测到的全球海洋酸化的主要驱动因子。观测到的北大西洋亚

热带和赤道地区 2000 年以来 CO₂ 浓度增加可能部分与海温升高有关,这一反应与海洋碳汇随变暖而减弱的预期一致。与 AR5 一致的是,海洋上层脱氧有部分是由于人类活动影响这一结论具有中等信度。具有高信度的是,地球系统模式模拟出了全球平均海洋碳汇的时间变化。

1.6 人类活动对气候变率模式的影响

很可能的是,人类活动影响了 20 世纪 70 年代以来南半球环状模(SAM)正位相趋势以及相应的南半球温带急流的加强和南移。与之前的几十年相比,2000 年代初以来臭氧强迫对 SAM 趋势的影响一直很小,导致观测到的 2000—2019 年 SAM 趋势较弱(中等信度)。气候模式很好地再现了夏季 SAM 趋势,且 CMIP6 模式的表现优于 CMIP5 模式(中等信度)。相比之下,20 世纪 60 年代以来北半球环状模(NAM)趋于正相位以及相应的温带急流和风暴路径北移的原因尚不清楚。

人类活动对年际变率的主要热带模式或其相应区域遥相关的影响并没有超出内部变率范围(高信度)。AR5 以来的研究进一步证实,气候模式和地球系统模式能够再现厄尔尼诺-南方涛动(ENSO)和印度洋海盆模态(IOB)和偶极子模态(IDB)的空间结构和方差的大部分特征(中等信度)。尽管 CMIP6 模拟效果略有改进,但 CMIP6 模式仍然未能较好的描述一些基本过程。

人为和火山气溶胶影响了 20 世纪 60 年代以来大西洋年代际变率(AMV)和相关区域遥相关的变化(中等信度)。具有高信度的是,内部变率是太平洋年代际变率(PDV)的主要驱动因子,尽管有一些模式证据表明存在潜在的人类活动的影响。由于观测记录简短,模式仍然无法完全再现相关的海表温度距平(中等信度),同时由于尚未充分理解关键过程的原因,评估人类对 AMV 和 PDV 的影响仍然存在不确定性。

2 讨论和展望

AR6 第一工作组第三章在对 CMIP6 模式性能进行评估的基础上,评估了人类活动对全球和大陆尺度气候变化的影响。其他变量,如区域尺度的水循环和极端事件等的归因等没有在该章进行评估。通过和第五次评估报告比较,可以看到,由于在新的模式比较计划中增加了更多的试验,不同人为强迫因子对气候系统的影响可以进一步被认识和量化,对人类活动影响的认识进一步深化,更多的证据

和更新的资料均支持了人类活动是工业化以来大气、海洋和陆地变化的主要影响因子。

相比较之前的评估报告,IPCC 最新发布的第六次评估报告进一步明晰了人类活动对气候系统的影响,这种影响可以在气候系统的多个圈层中检测到。由于全球气温的持续变暖,人类活动的信号愈发清晰,人为信号的检测从 AR5 的 1951 年提早到了 1850 年,明确指出自工业化革命以来的气候变化主要是由于人类活动造成。同时,对于人类活动对降水的影响,报告指出人类活动对大尺度极端降水影

响的信号在有些区域可以检测到。对于大尺度极端温度的变化,由于最新的 CMIP6 检测归因模式比较计划(DAMIP)资料的使用,在最新的研究中可以将温室气体和气溶胶的影响分离,因此在极端气温变化的归因研究中,指出了温室气体强迫的主导作用。而在极端降水的变化中,温室气体的作用也可以部分地分离。报告也对所谓的气候停滞期的原因进行了回顾,评估了人类活动对生物圈、深层海洋和气候变率等多圈层变量的影响,体现了近年来在检测归因领域的最新研究进展。

参考文献(References)

- Eyring V, Gillett N P, Achuta Rao K M, et al., 2021, Human influence on the climate system[R]//Climate change 2021: the physical science basis. 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).
- 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).

Impact of human activities on climate system: an interpretation of Chapter III of WGI report of IPCC AR6

SUN Ying

National Climate Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081, China

In August 2021, the Working Group I (WGI) report of the Sixth Assessment Report (AR6) of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) was released. The report has concluded that human activities have warmed the atmosphere, ocean and land. Widespread and rapid changes in the atmosphere, ocean, cryosphere and biosphere have occurred. This paper presents the main conclusions of the report on the impact of human activities on the climate system, including the impact of human activities on the atmosphere and surface, the cryosphere, the ocean, the biosphere and the climate variability. It is clear that based on recent literatures in the field of climate change detection and attribution, anthropogenic forcing signal, which is dominated by greenhouse gases, has been detected in multivariable changes in the climate system. The uses of the newest observational data, the latest generation of climate models and the updated attribution methods provide solid basis for these conclusions.

IPCC AR6; human activity; climate system

doi: 10. 13878/j.cnki.dqkxxb.20210816009

(责任编辑:袁东敏)