

doi:10.3969/j.issn.1673-1719.2014.01.011

胡婷, 胡永云. 对 IPCC 第五次评估报告检测归因结论的解读 [J]. 气候变化研究进展, 2014, 10 (1): 051-055

对 IPCC 第五次评估报告检测归因结论的解读

A Brief Interpretation of Detection and Attribution of Climate Change from IPCC Fifth Assessment Report

胡婷¹, 胡永云²¹ 中国气象局国家气候中心, 北京 100081; ² 北京大学物理学院大气科学系, 北京 100871

气候变化的检测归因是识别人为和自然因子对气候变化相对贡献的核心研究内容, 也是迄今没有很好解决的科学问题之一。学术界对于检测和归因的概念有严谨的阐述^[1]。气候变化的检测, 是在某种统计意义的定义下揭示气候或被气候影响的系统已发生变化的过程, 但并不解释这种变化的原因。归因是在给定的统计信度上评估多个因素对某一变化或者事件相对贡献的过程, 是结合统计分析和物理解析的过程。这些因素包括人为强迫(如工业排放导致的大气温室气体浓度增加和气溶胶变化、大规模土地利用)和自然强迫(如火山活动、太阳变率)。

政府间气候变化专门委员会(IPCC)自发布第一次评估报告(FAR)以来, 就非常重视气候变化的检测归因问题, 但是由于资料、技术方法、模式发展等方面的限制, 直到2001年第三次评估报告(TAR)才有能力尝试定量分析气候变化中的人为影响。2007年IPCC第四次评估报告(AR4)以来, 观测资料的系统偏差和非均一性都得到了很好的订正, 海-气耦合气候模式的模拟能力也得到了进一步的提高, 尤其是在全球耦合模式比较计划第五阶段(CMIP5)中, 大部分气候模式分别模拟了单个人类活动强迫因子和自然强迫因子的气候效应, 这些都为更好地进行气候变化检测和归因提供了保证(图

1^[2])。特别需要指出的一点是, IPCC第五次评估报告(AR5)对气候变化检测和归因的统计方法作了系统和全面的说明。

AR5有关检测归因的最主要结论是: 人类活动极可能是造成20世纪中叶以来全球变暖的主要原因。报告所引的大量研究结果表明, 已经在大气和海洋变暖、全球水循环变化、积雪和冰(陆地冰川和海冰)减少、全球平均海平面上升以及一些极端气候事件的变化中检测到人为影响的信息, 而太阳活动、火山爆发等自然强迫和气候系统内部变率不是自1950年以来全球变暖的最强驱动因子。该结论的可能性超过95%(极可能)^[3]。这比2007年AR4提出的可能性超过90%(可能)更强^[4], 表明人为作用对气候变化的影响更为明确。下面, 我们对AR5检测归因的主要结论进行简要的解读。

1 气候变化检测归因的主要结论

从FAR到AR5, 气候变化的检测与归因从气温升高和其他系统或变量变化趋势的研究开始, 经历了从全球、半球、海洋和陆地、七大洲直到区域尺度的细化过程, 评估的范围也扩展到了气候系统的五大圈层。TAR指出“海平面、积雪、冰面积和降

收稿日期: 2013-11-28; 修回日期: 2013-12-21

资助项目: 气候变化专项(CCSF201342); 国家重点基础研究发展规划项目(2010CB428606); 国家自然科学基金(41025018); 国家科技支撑计划(2012BAC20B05)

作者简介: 胡婷, 女, 副研究员, 从事气候变化研究; 胡永云(通信作者), 男, 研究员, yyhu@pku.edu.cn

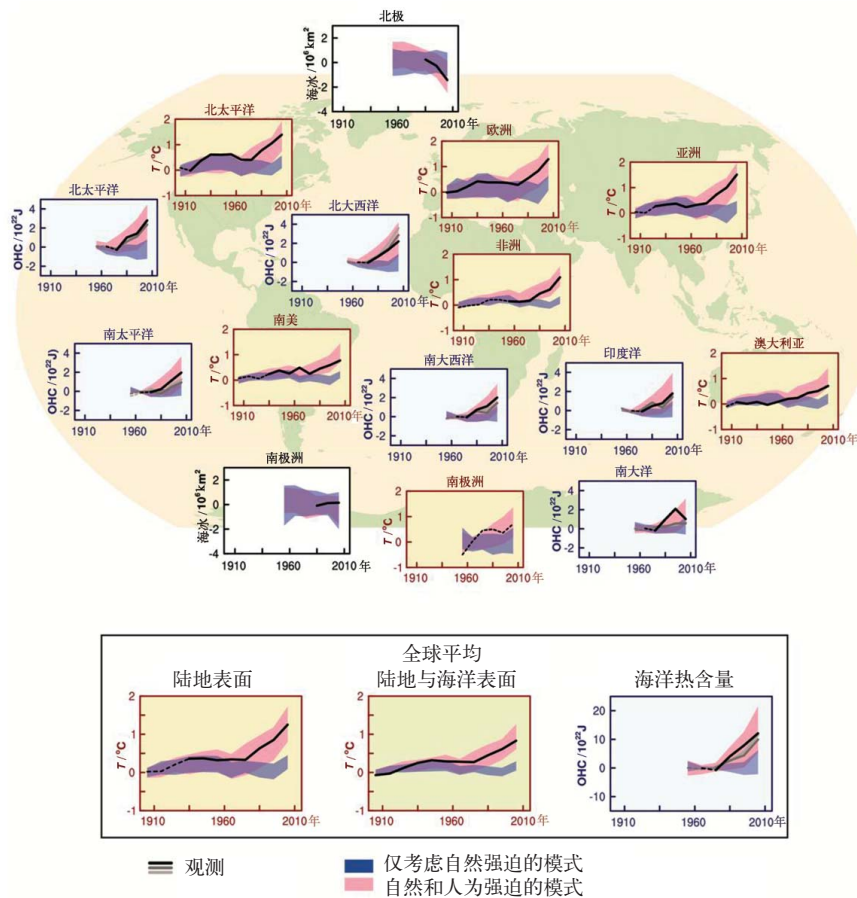


图1 利用大气、冰冻圈和海洋的3个大尺度指标比较观测和模拟的温度及热含量(OHC)变化(引自 AR5^[2]决策者摘要)

Fig. 1 Comparison of observed and simulated temperature changes based on three large-scale indicators in the atmosphere, the cryosphere and the ocean^[2]

水的变化与地球表面正在变暖的气候是一致的”。AR4将可辨别的人类活动的影响扩展到了气候系统的其他方面,包括海洋变暖、大陆尺度的平均温度、温度极值以及风场。自AR4以来,有关人为影响的证据有所增加。

1.1 全球地表和大气温度

人为温室气体浓度增加和其他人为强迫因素的共同作用,导致了20世纪50年代以来一半以上的全球平均地表升温,这一结论的可能性超过95%。人类活动引起变暖的最佳估算值与这个时期观测到的增暖值相似。1951—2010年,温室气体造成的全球平均地表增温可能在 $0.5 \sim 1.3 \text{ } ^\circ\text{C}$ 之间,包括气溶胶降温效应在内的其他人为强迫的贡献可能在 $-0.6 \sim 0.1 \text{ } ^\circ\text{C}$ 之间。自然强迫和气候系统内部变率的贡

献都可能在 $-0.1 \sim 0.1 \text{ } ^\circ\text{C}$ 之间。综合起来,所评估的这些贡献与这个时期所观测到的约 $0.6 \text{ } ^\circ\text{C}$ 的升温相一致。

观测与模拟的气候系统变化具有一致性。大气和海洋的变暖、海平面上升、海洋酸化以及水循环、冰冻圈和极端气候事件的变化,均体现了主要由人为温室气体浓度增加导致的大尺度变暖。太阳辐射强迫是唯一已知的在此期间导致升温的自然强迫因素,但远小于温室气体的升温作用。观测到的对流层升温以及平流层下层降温的长期模态与对太阳辐射度变化的预期响应不符合。几乎确定的是,仅气候系统内部变率难以解释1951年以来观测到的全球升温。大西洋年代际振荡(AMO)对气候的影响较为复杂,但是提出AMO对气候系统具有显著影响的研究均表明,AMO并未对1951—2010年的温

度趋势产生显著影响。1951 年以来观测到的全球尺度的升温幅度大于气候模式基于气候系统内部变率所模拟的数值。北半球近几十年来的升温趋势远大于过去千年重建资料中的任何时段。观测到的升温的空间分布也不同于仅考虑气候系统内部变率得到的模拟结果。

以温室气体排放为主的人为强迫**可能**导致了 1961 年以来对流层的升温, 以排放臭氧损耗物质为主的人为强迫**很可能**导致了 1979 年以来平流层下层的降温。探空和卫星资料中的不确定性使得观测到的对流层上层趋势归因的确定性要低于对整个对流层大气温度变化的归因。

有更多的证据显示, 人类活动对全球不同区域的温度变化有重要影响。在除南极以外的每个大陆区域, 人为强迫**可能**对 20 世纪中叶以来地表温度的升高作出了重要贡献。对大陆尺度上人为影响的确凿检测与陆地大范围变暖人为影响的全球归因是一致的。人类活动**可能**对 20 世纪中叶以来北极明显的变暖具有贡献。对南极地区, 由于观测站点较少, 南极地表温度趋势的不确定性较高, 所以, 人为强迫对现有台站观测到的变暖具有贡献这一结论为**低信度**。

1.2 海洋

人为强迫**很可能**对观测到的 20 世纪 70 年代以来全球海洋上层 (洋面至洋面下 700 m) 热含量增加作出了重要贡献。有证据表明人类活动影响了个别洋盆。人为导致的海洋变暖通过热膨胀对同期的全球海平面上升作出了贡献。观测到的海洋变暖与同时考虑人为和火山爆发强迫的气候模式的模拟结果一致, 而与不包含人为强迫的模拟结果不一致。同时考虑人为和自然强迫的模拟结果也与观测的年代际变率一致。

人为强迫**很可能**对 20 世纪 70 年代以来的全球平均海平面上升也作出了重要贡献。这些人为贡献来自 1990 年以来的格陵兰冰盖融化和 20 世纪 60 年代以来的冰川冰量损耗。自 1971 年以来的观测显示, 热膨胀和陆地冰川 (不包括南极冰川) 融化两者一起大约可解释观测到的全球平均海平面上升的 75%

(**高信度**)。

海洋吸收人为二氧化碳**很可能**是导致海洋表层水酸化的重要原因。观测证据表明酸化速度为每年 $-0.0014 \sim -0.0024$ pH, 观测到的全球海洋中氧气溶解的减少可部分归因于人类影响 (**中等信度**)。

1.3 水循环

AR4 以来, 新的证据表明人类活动对全球陆地降水变化、北半球高纬度地区降水增加以及大气水汽含量增加有影响。人为影响导致了 1973 年以来观测到的大气比湿增加和 1950 年以来全球尺度的陆地降水模态的变化, 其中包括北半球中高纬度地区降水的增加 (**中等信度**)。与温度不同, 降水的观测和模拟结果的不确定性都比较大, 降水的内部变率也比较复杂, 这些都造成在现阶段无法对降水的变化趋势作更高信度的评估。

人为强迫**很可能**对 20 世纪 60 年代以来海洋表层和次表层盐度的变化产生了可以辨别的贡献。基于区域和全球海洋表层及次表层盐度的 40 多项研究所发现的模态与水循环和海洋环流中人为强迫导致的变化一致。尽管目前对观测到的海洋表层和次表层盐度的内部变率的认识还不完全, 但是气候模式模拟出的人为强迫下的盐度分布变化可以从观测结果中检测出。

人类活动**可能**影响了 1960 年以来的全球水循环。这一评估结果是基于大气和海洋中观测到的系统性变化中的综合证据, 根据其和降水和蒸发的关系, 这些变化可归因于人类活动对陆地降水、大气湿度和海表盐度的影响。

1.4 冰冻圈

人为强迫**很可能**对 1979 年以来北极海冰的减少产生了贡献。一系列模拟结果显示, 只有在模式考虑了人为强迫后, 才能模拟出北极海冰面积的减少。由于对南极海冰面积变化原因的科学解释不完整且相互矛盾, 而且对该地区海冰内部变率的估算只有**低信度**, 因此对观测到的南极海冰面积小幅增加的**科学认识**还不足。

冰川和冰盖正在融化, 人为影响**可能**对 20 世纪

60年代以来的冰川退缩和1993年以来格陵兰冰盖表面冰量损耗加剧作出了贡献。2007年以来,气候系统内部变率可能进一步加剧了格陵兰冰盖的融化。根据对观测到的冰量损失、内部变率和冰川对气候驱动因子的响应的确凿估算,对冰川变化的科学认识水平较高。但是,由于对南极冰川的科学认识还不够,所以,对观测到的1993年以来南极冰盖冰量损耗的归因具有低信度。

观测到的1970年以来的北半球春季积雪减少可能有人为贡献,观测和归因研究都发现人类在大陆尺度和区域尺度上均有影响,且两者具有很高的一致性。

1.5 极端气候事件

自AR4和《管理极端事件和灾害风险推进气候变化适应特别报告》(SREX)^[6]以来,人类对极端温度影响的证据进一步增强。人为影响很可能导致了观测到的20世纪中叶以来日极端温度的频率和强度在全球范围内发生变化,并可能使一些地区热浪的发生概率加倍。

在观测资料覆盖足以满足评估需求的陆地区域,人为强迫对20世纪下半叶全球尺度的强降水增加有贡献(中等信度)。由于观测的不确定性,以及难以从干旱事件的长期趋势中辨别出年代际尺度变率,所以将20世纪中期以来全球陆地区域的干旱变化归因为人类影响具有低信度。

由于观测证据不足,对气候驱动因子和热带气旋活动之间的联系缺乏物理认识,气候系统内部变率、人为和自然强迫的相对重要性的研究一致性较低,将热带气旋活动归因于人类影响具有低信度。

1.6 大气环流

人类影响可能改变了全球的海平面气压分布。多项研究发现,在海平面气压分布变化中可以检测到人类影响。大气环流的变化对于局地气候变化非常重要,因为它们会导致某一个特定区域产生比其他区域多或者少的气候变化。

在南半球,平流层臭氧损耗已经对夏季观测到的Hadley环流边界的极向移动产生了贡献(中等信

度)。但对于向高纬度移动的程度,还具有明显的不确定性。可能的是,平流层臭氧损耗对20世纪中期以来南半球夏季观测到的南半球环状模的正趋势有贡献,这与高纬度地区海平面气压的下降和亚热带海平面气压的上升相对应。在南半球,温室气体也对夏季哈德莱环流边界和环状模的变化趋势产生影响(中等信度)^[6]。

1.7 千年到多个世纪的温度变化

20世纪前,人为和自然强迫在驱动半球尺度的气候变率方面产生了实质性作用。很可能的是,仅内部变率可以解释1400—1850年北半球的温度变化。外部强迫对850—1400年的北半球温度变化有贡献,也对欧洲过去5个世纪的温度变化有贡献(中等信度)。

1.8 1998—2012年全球升温速率变缓

观测数据显示,1998—2012年全球升温速率变缓,即1998—2012年全球平均地表的升温速率小于1951—2012年的速率。这可归因为气候系统内部变率的降温作用和外部强迫的减弱趋势,两者的贡献不相上下(专家判断,中等信度)。外部强迫趋势的减弱主要是缘于火山爆发和太阳周期下行阶段造成的负强迫趋势。但是,由于火山强迫趋势变化幅度的不确定性和气溶胶强迫趋势的低信度,对造成变暖趋势停滞的外部强迫趋势进行量化评估的信度低。各种人为和自然强迫,包括温室气体浓度上升,对流层和平流层气溶胶、平流层水汽和太阳辐射的变化,以及ENSO和AMO等气候变率的内部模态,都会对全球平均地表温度的年际和年代际变率产生影响。

2 结论与讨论

AR5《气候变化2013:自然科学基础》报告基于更准确、时间更长、覆盖面更广的观测资料,更加先进的CMIP5模式的模拟结果以及不断进步的检测归因技术方法,量化评估了气候变化中不同强迫因子的作用,并将气候变化的检测归因从全球尺度

扩展到了区域尺度, 检测归因的要素也扩展到了气候系统的五大圈层。相比 AR4, AR5 对气候变化主要由人类活动造成这一结论更加确定。对气候系统各圈层的多个要素的检测归因研究显示, 人类活动是极可能造成 20 世纪中叶以来全球变暖的主要原因; 在报告所评估的要素中, 人类活动对其产生影响的可能性远大于没有产生影响的可能性, 仅有自然因素或者气候系统内部变率无法造成这些全球升温、海平面上升等可以辨别的气候变化现象。■

参考文献

- [1] Hegerl G, Hoegh-Guldberg O, Casassa G, *et al.* Good practice guidance paper on detection and attribution related to anthropogenic climate change. [M]// Stocker T F, Field C B, Qin D, *et al.* Meeting report of the Intergovernmental Panel on Climate Change expert meeting on detection and attribution of anthropogenic climate change. Bern: IPCC Working Group I Technical Support Unit, University of Bern, 2010: 1-8
- [2] IPCC. Summary for policymakers [M/OL]//IPCC. Climate change 2013: the physical science basis. 2013-09-30 [2013-09-30]. http://www.climate2013.org/images/uploads/WGI_AR5_SPM_brochure.pdf
- [3] Bindoff N L, Stott P, AchutaRao K M, *et al.* Detection and attribution of climate change: from global to regional [M/OL]//IPCC. Climate change 2013: the physical science basis. 2013-09-30 [2013-09-30]. Cambridge: Cambridge University Press, in press. http://www.climatechange2013.org/images/uploads/WGIAR5_WGI-12Doc2b_FinalDraft_Chapter10.pdf
- [4] IPCC. Climate change 2007: the physical science basis [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2007
- [5] IPCC. Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation (SREX) [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2011
- [6] Hu Y Y, Tao L J, Liu J P. Poleward expansion of the Hadley circulation in CMIP5 simulations [J]. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2013, 30: 790-795