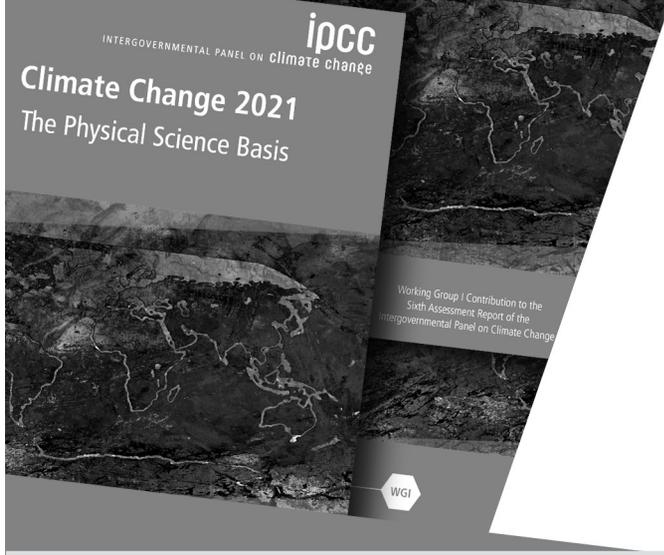


DOI: 10.12006/j.issn.1673-1719.2021.224

陈德亮, 赖慧文. IPCC AR6 WGI 报告的背景、架构和方法 [J]. 气候变化研究进展, 2021, 17 (6): 636-643

Chen D, Lai H-W. Interpretation of the IPCC AR6 WGI report in terms of its context, structure, and methods [J]. Climate Change Research, 2021, 17 (6): 636-643



IPCC AR6 WGI 报告的背景、 架构和方法

陈德亮, 赖慧文

瑞典哥德堡大学地球科学系, 哥德堡 405 30, 瑞典

摘要: IPCC 第六次评估报告 (AR6) 第一工作组报告 (简称报告) 中提供了对气候系统和气候变化的最新物理解释, 整合了来自古气候和仪器观测的多项证据、过程理解以及全球和区域的气候模拟, 记录了气候科学的最新进展。报告旨在提供有关过去气候如何变化的事实, 揭示人类活动在这些变化中所起的作用, 并根据不同社会经济路径的排放情景对未来气候进行了预估。这些结果对于政策制定者来说很重要。它有助于减缓气候变化、根据灾害管理框架制定区域适应计划以及开展即将到来的 2023 年全球综合评估。本文聚焦该报告的背景、架构和方法, 并介绍当前气候变化评估的主要进展。结果显示, 与以前的评估报告相比, AR6 提供了更综合实用的信息和认识, 更加强调了区域气候变化, 以及更好地约束了气候敏感度的估计。该报告最重要的结论之一是人类活动对气候变化的影响已从科学认知演变为不争的事实。

关键词: IPCC AR6 WGI 报告; 结构; 背景; 方法

引言

2021 年北半球夏季, 尤其是在肆虐加拿大、美国和希腊的夏季森林火灾, 袭击德国和中国灾难性洪水以及世界各地不断刷新的高温记录之后, 全球公众与媒体对气候问题的关注又达到了一个高峰。当 IPCC 于 2021 年 8 月 9 日发布其最新的关于地球状况的第六次评估报告 (AR6) 第一工作组报告 (简称报告) 时, 与气候变化相关的气象灾害议题变得明朗许多。

IPCC 针对全球气候变化至今共发布 6 次评

估报告。第一次评估报告 (FAR)^[1] 为制定联合国气候变化框架公约 (UNFCCC)^[2] 提供了科学背景, 该公约承诺各方协商防止危险的人类活动对气候系统的干扰 (UNFCCC 的最终目标)。第二次评估报告 (SAR)^[3] 为各国政府参与京都议定书 (1997 年) 谈判做了准备, 这是 UNFCCC 框架下第一个侧重于缓解气候变化的主要协议。第三次评估报告 (TAR)^[4] 强调气候变化的影响和适应需求, 并介绍了与政策和治理等新的主题相关的内容。第四次和第五次评估报告 (AR4、AR5)^[5-6] 为 UNFCCC 框架下的第二个主要协议——巴黎协

收稿日期: 2021-09-29; 修回日期: 2021-10-25

资助项目: 中国科学院战略性先导科技专项资助 (XDA20060400)

作者简介: 陈德亮, 男, 瑞典皇家科学院院士, 中国科学院外籍院士, deliang@gvc.gu.se

定(2015年)提供了科学背景和基础。巴黎协定缔约方承诺将全球平均气温升高限制在“与工业化前水平相比最多 2°C ”的水平下,并努力将全球平均气温升高限制在 1.5°C 内以“显著地降低气候变化的风险和影响”。该协定于2016年生效。同时,AR5得出结论,表示过去50年来的地球变暖有超过95%的可能性是人类活动造成的。

从FAR开始,IPCC评估被分为3个工作组。第一工作组(WGI)评估气候变化的物理科学基础,第二工作组(WGII)评估气候变化的相关影响、脆弱性和适应问题,而第三工作组(WGIII)评估气候变化的减缓与应对。每份报告都以早期的综合评估为基础,纳入新的研究并尽可能更新以前的发现与结果。随着时间的推移,评估的范围和3个工作组之间的交叉联系大大增加。

报告评估观测到的变化,以及这些变化中可归因于人为影响(或人为引起)的部分,区分人为和自然强迫的变化^[7]。报告确认且加强了IPCC以往报告的核心评估结论,其中十分重要,当前对人为气候变化的主要原因和后果的理解是正确的,相关的结论也是可信的。

报告的主要贡献在于提供对物理和生物地球化学方面的气候科学的理解和信息,并且特别强调不同的区域气候变化。在复杂且多变的政策背景下,前述报告的贡献与气候变化的减缓、适应和风险评估息息相关,主要包括巴黎协定、全球盘点、仙台框架和可持续发展目标(SDG)框架等。报告评估了从观测、再分析数据、古气候档案和气候模型模拟以及物理、化学和生物气候过程中获得的关于气候变化在物理科学方面的证据,并汇整了基于物理气候系统观测到的日益明显的气候变化事实。其中,许多变化可归因于人类活动的影响。本解读主要关注报告的第一章^[7]内容与结果。

1 架构

报告围绕大尺度信息、过程理解和区域信息等三大主题构建。这与AR5的结构有所不同。新

的结构更能统整对知识的完整理解。例如,第八章在评估气候变化引起的水循环变化时,包含并整合了对模型、观测证据和古气候记录的评估。报告的12个章节可以归为以下3类。

1.1 大尺度信息(第二、三和四章)

这些章节评估了从全球到大陆或海盆尺度的气候变化信息。第二章介绍对气候系统变化状态的评估,包括大气、生物、海洋和冰冻圈。第三章继续评估人类活动对这种不断变化的气候的影响,涵盖对观测到的变化的归因,并介绍用于评估气候模型的适用性方法,且将这些方法用于归因研究。最后,第四章评估了从近期到未来长期的气候变化预估,包括2100年以后的气候变化,以及潜在的突变和“低概率高影响”(LLHI)事件的变化。

1.2 过程理解(第五、六、七、八和九章)

这5章提供了对气候系统基本过程和各个组成部分(圈层)的评估:碳收支和生物地球化学循环(第五章)、短期气候强迫及其与空气质量的联系(第六章)、地球的能源收支和气候敏感度(第七章)、水循环(第八章)以及海洋、冰冻圈和海平面变化(第九章)。所有这些章节都提供了对当前观测到的变化的评估,包括相关的古气候信息和对过程和机制的理解以及预估和模型评估。

1.3 区域信息(第十、十一、十二章和图集)

报告反映了区域尺度气候变化的新知识,共有4章涵盖区域信息。第十章是链接全球与区域变化和过程的新章节,与地方决策者的需求高度相关。它提供了一个评估区域气候信息的框架,包括方法、物理过程、区域尺度观测变化以及区域模式性能的评估。第十一章讨论极端天气和气候事件,包括温度、降水、洪水、干旱和19种复合事件。第十二章(区域影响和风险评估的气候变化信息)不仅专注在极端情况,还着眼于可能出现在较长时间尺度上的与风险评估相关的其他因素(例如干旱、积雪变化等)。作为第一工作组

对解决方案贡献的一部分，这类信息有助于对气候变化风险和影响的评估。最后，图集对整个报告中的区域气候信息进行评估和综合，着重在不同区域的平均变化评估和区域模式评估。

报告亮点之一是它增加了一个交互式在线区域地图集，其中包含了支持第一工作组评估的观测和预估的气候变化数据。用户可以使用报告中引用的数据集进行空间和时间分析，访问已观测到的过去和预估的未来“产生影响的气候因子”

(CID) 的区域综合信息，并下载该数据。图集还包括一个可视化工具，结合了多个空间和时间尺度上的各种增温水平和情景。

古气候重建和模型评估在 AR5 中有专门的章节说明，这次它们分布在报告的多个章节中。古气候档案（例如：冰芯、珊瑚、海洋和湖泊沉积物、洞穴沉积物、树木年轮、地下钻孔温度和土壤等）帮助重建仪器时代之前的气候条件，为过去 150 年的气候变化以及 21 世纪的气候预估提供重要的长期历史背景。模型评估可以加深我们对相关过程的理解并对未来气候变化的预估提供不同的信度。

2 重要进展和方法

自 AR5 以来 AR6 有如下 4 个方面的重要进展和一些新方法。

2.1 确定了人类活动对气候系统影响的事实

报告指出我们对气候系统基本特征的理解是扎实且完善的。19 世纪的科学家确定了影响气候系统的主要自然因子。他们还假设化石燃料燃烧排放的 CO₂ 可能导致人为气候变化。自 20 世纪初以来，气候变化的主要自然驱动因子，包括入射太阳辐射的变化、火山活动、轨道周期和全球生物地球化学循环的变化，已得到系统的研究。1970 年代科学家进一步确定了其他主要的人为驱动因子，例如大气气溶胶、土地利用变化和非 CO₂ 温室气体等。IPCC 在 1990 年得出的结论是：人类活动造成的气候变化很快就会变得明显，但

还不能确认它已经发生。今天，有大量证据表明气候自工业革命以来确实发生了变化，而人类活动是造成这个变化的主要原因。这是 IPCC 第一次无可置疑地将全球变暖归因于人类活动的影响。物理理论预测了人类活动对气候系统的影响和可能产生的特定的变化特征，而且我们在观测和气候模拟中都能看到这些特征。例如，夜晚比白天变暖得更快，更少的热量逃逸到太空，低层大气（对流层）正在变暖但高层大气（平流层）已经冷却。这些经证实的预测主要是由温室气体浓度增加而非自然因素驱动变化所引起。更重要的是，报告也首次确认了气候变化在加剧极端天气气候事件（如极端热浪和强降雨事件）中的作用。人类活动正使包括热浪、强降水和干旱在内的极端气候事件变得更频繁和严重。此外，报告还评估了过去几十年对全球平均地表气温和变暖的时空特征的预估，并发现这些过去的预估与随后的观测大体一致。这证明了气候模型在人类活动对气候影响方面的预估能力。

2.2 与其他工作组进行了更多的协调

加强 3 个工作组之间的相互联系，可以使最终的跨工作组的综合报告更具一致性。报告中的各章以及与 WGII 和 WGIII 评估的协调与综合以多种方式进行，包括制定通用词汇表、统一风险框架、未来大规模变化的情景和预估以及各种全球变暖水平。

第八章至第十二章以及图集也涵盖了 WGII 在多个领域评估的主题，包括区域气候信息和相关气候风险。这种方法可以对跨工作组的气候变化影响进行更综合的评估。特别值得一提的是第十章讨论为用户生成的区域气候信息、与用户共同设计研究以及将信息转化为用户背景（特别是针对 WGII）。按照 WGII 评估的章节组织，第十二章在物理气候信息（气候影响驱动因素）与部门影响和风险之间构建了直接的链接。

第二章至第七章中涉及与 WGIII 主题相关的内容，例如碳预算、短期气候强迫因素和排放指标等，它们都与减缓气候变化相关。报告在相关

章节内定义了一致性的碳平衡和净零排放目标的概念, 以支持综合报告中的论述。第二章介绍了跨工作组对于全球温度定义的综合讨论结果, 这对气候变化科学的许多方面都有影响。第六章提供了有关气候变化对全球空气污染影响的信息, 这与 WGII 相关。此章节还包括了近期新型冠状病毒 (COVID-19) 大流行对气候和空气质量的影响。第七章介绍排放驱动的模拟器 (简单气候模型), 它们被用来快速地模拟复杂地球系统模型 (ESM) 的大尺度气候响应。模拟器还被用来探索全球平均地表气温对多种情景的预期响应。此章的情景与其他工作组报告中使用的情景一致。

报告通过使用 3 个核心组成部分: 情景、全球变暖水平以及累积碳排放与全球变暖之间的关系, 在 3 个工作组内部和之间进行协调与综合对未来气候变化的评估。作为一种系统探索可能的未来的方法, 情景的使用在 IPCC 的评估工作中有着悠久的历史。本次报告使用一组源自共享社会经济路径 (SSP) 的新情景, 用于综合跨物理科学、影响以及适应和减缓的研究。SSP 包含数种情景叙述以及基于不同情景下的社会与经济发展。SSP 情景以 SSPX-Y 表示。X 代表社会经济发展途径, 它根据人口、城市化水平、国内生产总值 (GDP) 以及经济与科技的发展程度, 共分成 5 种情景。Y 代表 21 世纪末的辐射强迫数值, 介于 $1.9 \sim 8.5 \text{ W/m}^2$ 之间。报告中使用的说明性 SSP 情景集 SSP1-1.9、SSP1-2.6、SSP2-4.5、SSP3-7.0 和 SSP5-8.5 涵盖了广泛的排放途径, 其中包括新的低排放路径。

2.3 关注气候信息的有效性

自 AR5 以来, “气候服务” 在多个层面 (地方、国家、区域和全球) 有所进展, 以帮助个人和部门与组织的决策, 为气候变化作好准备和及时采取早期行动。同时, 重点关注与气候变化风险评估相关的多个十年时间尺度。报告提供与改进决

策服务的相关信息, 包括评估构建区域信息的方法, 以及提供与不同部门的影响和风险评估相关的区域层面的预估。除了更多关注区域变化和水平循环以及与空气质量的联系, 报告还首次开发并提供了一个在线的交互式数字图集^①。通过访问图集, 用户可以轻松访问报告使用的所有气候观测和模拟数据。另外, 报告也提供决策者报告与各章节所使用的数据资料 (如决策者报告中的图表数据^②)。这显著提高了报告的透明度、可重复性和易处理性。

2.4 更好的历史数据、对气候系统过程的更深入理解及改进的气候模型

自 AR5 以来, 观测物理气候系统的能力在总体上不断提高和扩展。在海洋观测网络和遥感系统以及从代用资料中重建古气候方面的改进尤其明显。来自过去观测系统的额外数据, 甚至手写的历史记录也持续被纳入观测数据集。如今, 这些数据集可以更好地被整合和校正, 以适应仪器和测量技术的历史变化。来自遥远过去的冰芯、沉积物、化石和其他新证据提供了很多关于地球气候在整个历史中是如何变化的信息。报告的另一个重要特点是更多地使用再分析资料作为评估气候系统状态和演变的证据。再分析用历史观测数据约束大气或海洋预测模型以创建过去的气候记录、保证多个物理量之间的一致性并提供未直接观测到的变量信息。自 AR5 以来, 新的再分析资料在许多方面有了长足的进步, 包括提高分辨率、扩展观测数据、更一致的数据同化、对因初始条件引起的不确定性有更好估计以及改进对海洋的描述等。

人类对气候系统过程的理解也更加深入。例如, 在 1990 年, 人们对深海如何响应气候变化知之甚少。今天, 深海温度的重建可以追溯到 1871 年。我们现在知道海洋吸收了大部分被温室气体捕获的多余能量, 甚至深海也在变暖。另一个例

^① <https://interactive-atlas.ipcc.ch/>.

^② <https://catalogue.ceda.ac.uk/uuid/ae4f1eb6fce24adcb92ddca1a7838a5c>.

子是，在 1990 年，人们对格陵兰岛和南极洲的巨大冰盖如何或何时对变暖做出反应不甚了解。今天，更多的数据和更好的冰盖模型揭示了出乎意料的高融化率，这将导致 21 世纪内发生全球重大变化，尤其是海平面大幅上升。

在几十年到几个世纪的时间尺度上导致气候变化的主要自然因素是火山爆发和太阳能量输出的变化。今天，数据显示，自 1900 年以来太阳辐射能量的变化对全球变暖的贡献很小，其自 1970 年代以来甚至呈现出弱的下降趋势。数据还显示，大型火山喷发有时会将气溶胶喷发到大气中，在较短的时间内（通常是几年）冷却整个地球。

造成气候变化的主要人为因素是化石燃料燃烧、森林砍伐和农业释放的温室气体。另一方面，燃烧煤炭产生的硫酸盐等气溶胶具有短期冷却作用，可以部分抵消人为因素造成的变暖。自 1990 年以来，我们对这些人为因素进行了更多更好的观测，并改进了历史记录，从而能够更准确地预估人类对气候系统的影响。

最新一代的复杂气候模型改进了许多物理过程的描述。1990 年的大多数气候模型都侧重于大气，使用的是高度简化的海洋和陆地表面模块。但今天的地球系统模型包括了海洋、冰、雪、植被和许多其他变量的详细模块。其中许多地球系统模型还包含了生物地球化学循环。自 AR5 以来，可以更好地捕捉小尺度过程和极端事件的更高分辨率的气候模型已经投入使用。对气候模型的一个重要测试是它们在仪器记录期间（自 1850 年左右）模拟地球气候的能力。自 1990 年以来，科学界已经开展了多轮此类测试，并且测试标准也变得更加严格和全面。支持这次评估报告的关键模式包括国际耦合模式比较计划第 6 阶段（CMIP6）的全球模型和协调区域气候降尺度试验（CORDEX）的区域模式。报告还评估了使用 CMIP5 模拟的结果。自 AR5 以来，尤其是在区域尺度上，基于单个模型使用相同的气候强迫进行多次模拟的大型集合模拟越来越多地被用于了解气候系统内部变率和气候系统中强迫变化的相对作用。集合模型模拟的广泛可用性有助于更好地

估计未来变化预估中的不确定性。另外，报告评估了一组简化气候模型，并使用这些模拟器为不同研究领域之间传递气候信息，例如用这些模拟器评估了与未来全球变暖的某些水平一致的影响或减缓途径。

3 新方法

下面我们将详细地介绍报告中使用的一些具体方法和概念。

3.1 故事情节 (Storyline)

自 AR5 以来，故事情节或叙述可以更好地协助风险评估和决策、区域过程理解与气候预估中不确定性的交流。其目的是构建一个潜在气候变化途径的情景^[8]。报告以故事情节为主，解释复合的物理过程和气候事件。情节通常具有前因后果的关系，可以有逻辑地结合天气、气候和人为系统变化的物理踪迹，并从物理性上描述气候系统对于驱动力 / 强迫的反应和变化特性，增强对当前或是未来气候变化的解释。情节能够提供完整的气候信息，也有助于风险评估以及决策。例如，因为其考虑了物理过程以及其过去和未来的演变趋势，所以可增进了解低概率高影响（LLHI）事件发生的可能性。

3.2 风险框架

根据气候变化情景的描述，报告提供风险框架以评估可能的未来。AR5 第一工作组着重在灾害方面的风险，这次报告则提供跨工作组的风险框架以提升工作组之间对于风险的交流。风险框架可被应用于人类或是生态系统，其不但可以评估气候变化造成的影响，也包含人类对气候变化的应对。在此概念之下，风险包含暴露度、脆弱性、危害与影响。具有系统性的风险框架能有效地应对当前和未来气候变化带来的挑战，并为风险评估和决策提供更有用的信息。

报告使用气候影响驱动因素而非灾害来描述物理系统，例如第十二章和图集章用产生影响的

气候因子 (CID) 描述各区域气候变迁的相关影响。LLHI 事件也是报告的重点之一, 因为其具有潜在的高风险及不可预料的影响。这里 LLHI 包含两种: 第一种是低概率高暖化 (LLHW) 情景, 用以描述高气候敏感性; 第二种为 LLHI 事件, 该事件虽然发生概率低, 但是对社会及生态系统具有极大的潜在影响。以发生概率来分类事件可以更好地作出风险评估和决策。除了概率之外, 不确定性也被用作评估风险的交流工具。

3.3 突变、临界点和意外事件

AR6 定义了这 3 个关键概念以帮助对气候变化和 risk 的各种特征的讨论。突变是指相较于变量或系统过往的变化率出现大幅度的变化。在气候变化中, 气候变化突变意指大尺度的气候系统变化且持续数十年时间, 并在人类及自然系统中造成重大影响。当突变发生后, 在某些情况下系统变得不稳定, 其后的改变将不再依赖强迫, 这类突变点被称为临界点。在报告中, 临界点被用来探讨极端区域气候事件, 例如旱涝、高温、融冰以及环流变化, 越过临界点的改变通常是突然且可能为不可逆的。数个突变和临界点已发生在区域尺度的地球系统模型的预估中, 例如亚马孙森林枯死和多年冻土崩塌等^[9-10]。意外事件被视为一种风险, 为低概率但已被了解的事件, 该事件的发生无法以当前的认知来预测。例如, 臭氧洞的形成、火山爆发引起的冷却效应或是不稳定海冰活动导致的海平面上升等。

3.4 事件归因

过去最常被讨论的议题包括“观测到的全球温度变化, 有多少比例是人为排放温室气体造成的, 且有多少是由大自然的变率造成的? ”。对于这类问题, 归因可以根据统计上的置信区间来评估多项因素对于某起事件或气候变化的相对贡献。归因研究是当前评估全球变暖带来的极端天气风险的重要技术手段方法之一。评估的因素包含人类活动 (如温室气体和气溶胶的排放, 或土地利用变化), 以及气候、自然或人类系统其他方面的

变化。归因能够理解造成物理或生物地球化学变量变化 (如温度或大气 CO₂ 浓度) 的因果关系, 或是对于自然或人类系统的影响 (如基础设施损坏或农业生产水平)。先前的 IPCC 报告已经评估全球或大陆的平均温度变化与人类活动之间的归因, 这次报告则强调极端事件与人类活动之间的归因以及可能途径^[11-12]。

3.5 萌现约束 (Emergent constraint) 和平衡态气候敏感度

不同的全球气候模型对未来气候的预估有不同的结果, 这些结果的范围可能非常大。限制或缩小气候模型结果范围的一种方法是使用萌现约束。萌现约束方法的基本原理是在分析全球气候模型的大量集合模拟样本时, 模型对当前气候的模拟中的某一变量 X 与模型对未来气候预估中的另一个变量 Y 之间可能在多模型集合模拟样本间会出现一个明显的关系。当这种统计关系被确定后, 输入变量 X 的实际观测值可以缩小变量 Y 的结果范围^[13]。

萌现约束已被成功地用于改进对平衡态气候敏感度 (ECS) 的估计^[14]。ECS 被定义为如果大气 CO₂ 浓度相对于工业化前水平立即增加 1 倍, 全球平均地表气温与新的 CO₂ 水平达到平衡时将会发生的全球平均变暖。复杂地球系统模型能够仿真表达当今气候对人类排放的敏感度, 而集合模式能够展现多个短期至长期的变化与敏感性。萌现约束是将观测转换成观测与地球系统敏感度的关系。基于转换得出的关系区间来约束集合模式的扩散程度, 这有助于我们更着重在与过去有观测较相关的模式上。然而, 这也可能导致约束结果被无差别数据挖掘的地球系统模式影响而无法对未来变化做出约束。因此, 萌现约束需要以额外 (未包含在训练集) 的数据做测试, 且需基于物理和数学理论。

近 20 多年来, IPCC 评估的 ECS 的可能范围 (66% ~ 100% 概率) 保持在 1.5 ~ 4.5 °C。使用萌现约束可以对 ECS 施加更严格的约束^[14], 从而缩小 ECS 估计值的范围。同时, ECS 还可以用我

们对气候系统中反馈过程的认识、我们观测到的自 1850 年以来的历史变暖及对史前气候变化（如末次冰期更早的气候回暖）来估算。近年来，这种方法都取得了重大进展。AR6 综合这 4 种方法，完成了比任何单一方法更准确的估计。与之前的 IPCC 报告相比，AR6 将估计 ECS 的不确定性减少了将近一半，这意味着对未来全球变暖的计算变得更加准确。ECS 的可能范围现在确定为 2.5 ~ 4.0℃。

4 小结

IPCC AR6 报告证明我们对气候系统基本特征和物理过程的理解是科学和完善的。报告中最重要结论应该是人类活动毋庸置疑地导致了全球变暖。基于改进的观测资料和古气候重建、模型、情景和气候敏感性估计，报告得出的结论是在考虑所有的排放情景下，至少到 21 世纪中叶全球平均地表气温（GSAT）将继续升高。除非在未来几十年内大幅减少 CO₂ 和其他温室气体排放，否则 21 世纪末全球变暖将超过 1.5℃、甚至 2℃。■

致谢：感谢陈爱芳博士对文字的润色。

参考文献

- [1] IPCC. Climate change 1990: the IPCC scientific assessment [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1990: 365
- [2] UNFCCC. Report No. FCCC/INFORMAL/84 [R]. United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), 1992: 24
- [3] IPCC. Climate change 1994: radiative forcing of climate change and an evaluation of the IPCC IS92 emission scenarios [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1995: 339
- [4] IPCC. Climate change 2001: the scientific basis [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2001: 881
- [5] IPCC. Climate change 2007: the physical science basis [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2007: 996
- [6] IPCC. Climate change 2013: the physical science basis [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2013: 1535. DOI: 10.1017/cbo9781107415324.004
- [7] IPCC. Climate change 2021: the physical science basis [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2021, in press
- [8] Shepherd T G, Boyd E, Cabel R A, *et al.* Storylines: an alternative approach to representing uncertainty in physical aspects of climate change [J]. *Climatic Change*, 2018, 151: 555-571. DOI: 10.1007/s10584-018-2317-9
- [9] Drijfhout S, Bathiany S, Beaulieu C, *et al.* Catalogue of abrupt shifts in Intergovernmental Panel on Climate Change climate models [J]. *Proceedings of The National Academy of Sciences*, 2015, 112 (43): E5777-E5786
- [10] Bathiany S, Hidding J, Scheffer M. Edge detection reveals abrupt and extreme climate events [J]. *Journal of Climate*, 2020, 33 (15): 6399-6421
- [11] Zhou C, Chen D, Wang K, *et al.* Conditional attribution of the 2018 summer extreme heat over Northeast China: roles of urbanization, global warming and warming-induced circulation changes [J]. *Bulletin of The American Meteorological Society*, 2020. DOI: 10.1175/BAMS-D-19-0197.1
- [12] Sun Y, Zhang X, Ding Y, *et al.* Human influence on climate change in China [J]. *National Science Review*, 2021. DOI: 10.1093/nsr/nwab113
- [13] Hall A, Cox P, Huntingford C, *et al.* Progressing emergent constraints on future climate change [J]. *Nature Climate Change*, 2019, 9: 269-278
- [14] Cox P, Huntingford C, Williamson M. Emergent constraint on equilibrium climate sensitivity from global temperature variability [J]. *Nature*, 2018, 553: 319-322. DOI: 10.1038/nature25450

Interpretation of the IPCC AR6 WGI report in terms of its context, structure, and methods

CHEN Deliang, LAI Hui-Wen

Department of Earth Sciences, University of Gothenburg, Gothenburg 405 30, Sweden

Abstract: The IPCC Working Group I (WGI) contributes to the Sixth Assessment Report (AR6) with the most up-to-date physical understanding of the climate system and climate change, integrating multiple lines of evidence from paleoclimate, observations, process understanding, and global and regional climate simulations, and documenting the latest advances in climate science. It aims to deliver relevant content and knowledge about how climate has changed in the past, and what role human activity has played in these changes, and what is to be expected in the future given a set of emission scenarios based on different socioeconomic paths we will choose. These are important and relevant for policymakers, including climate change mitigation, regional adaptation planning based on a risk management framework, and the global stocktake coming up in 2023. In this interpretation of the report, we intend to introduce the main features of the AR6 WGI report in terms of its context, structure, and methods. Compared with previous reports, AR6 offers more integrated and actionable information and understanding, greater emphasis on regional climate change, and better-constrained climate sensitivity estimates. One of the most important conclusions of this assessment is that the influence of human activity on the warming of the climate system has evolved from theory to established fact.

Keywords: IPCC AR6 WGI report; Structure; Context; Methods