

doi:10.3969/j.issn.1673-1719.2014.02.010

周天军, 邹立维. IPCC第五次评估报告全球和区域气候预估图集评述 [J]. 气候变化研究进展, 2014, 10 (2): 149-152

IPCC 第五次评估报告全球和区域气候预估图集评述

Atlas of Global and Regional Climate Projections

周天军^{1,2}, 邹立维¹¹ 大气科学和地球流体力学数值模拟国家重点实验室 (LASG) / 中国科学院大气物理研究所, 北京 100029;² 中国科学院气候变化研究中心 (CCRC), 北京 100029

与以往4次IPCC评估报告^①相比,第五次评估报告(AR5)增加了附录一:“全球和区域气候预估图集”^[1]。该图集是AR5的特色之一,它利用国际耦合模式比较计划第五阶段(CMIP5)^[2]全球气候模式的部分数据,给出了一系列全球和区域气候变化的图形。这些图形显示了全球和若干不同次大陆尺度区域在不同季节的表面气温变化和降水相对变化(平均降水变化百分比)。相对于参考时段(1986—2005年),该图集给出了CMIP5模式预估的近期(2016—2035年)、中期(2046—2065年)和远期(2081—2100年)的20年平均气候变化。该图集针对全球陆地和海洋平均、26个次大陆SREX区域^[3]、极地、加勒比海、印度洋的2个区域和太平洋的3个区域,分别给出了历史模拟和预估的温度和降水相对变化的时间序列,时间跨度为1900—2100年。

简而言之,该图集总计给出了35个区域、2个变量和2个季节的气候预估结果。这些图集大大方便了AR5有关章节对CMIP5模式历史气候模拟和未来气候变化预估结果的讨论,也为第二和第三工作组在其评估报告中引用区域气候变化预估结果提供了便利。对于从事气候模拟和预估、气候变化影响以及气候变化适应研究的科研和教学人员来说,该图集也提供了一个重要的参考。下面我们对该图集

的要点作概括总结。

1 气候预估范围和典型图形

图集给出的气候预估结果都是针对典型浓度路径(RCP)情景的。空间型只给出了RCP4.5情景下预估的结果,但时间序列给出了在RCP2.6、RCP4.5、RCP6.0和RCP8.5情景下区域平均的不同响应。其他RCP情景和补充情景的空间分布图形在补充材料中给出。图1和图2分别对典型的时间序列和空间图形进行了解释。在该图集每一页的图例中,都列出了AR5报告与该页、该区域有关的具体章节清单,这

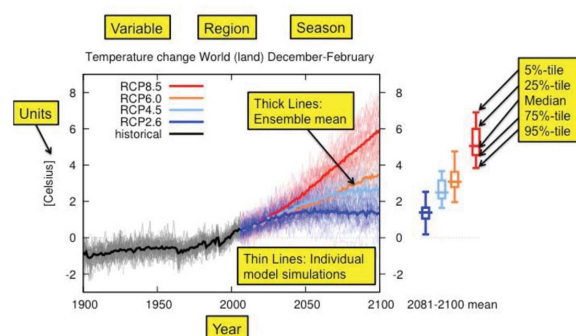


图1 图集给出的典型时间序列示例 (引自 AR5 Figure AI-1)
Fig. 1 Explanation of the features of a typical time series figure presented in Annex I (from AR5 Figure AI-1)

收稿日期: 2014-01-02; 修回日期: 2014-01-24

资助项目: 国家重点基础研究专项经费 (2010CB951904); 国家自然科学基金 (41125017) ^A

作者简介: 周天军, 男, 研究员, 主要研究方向为气候模拟、海气相互作用和季风、东亚气候变化, zhoutj@lasg.iap.ac.cn

^① 如无特别说明, 本文 IPCC 评估报告均指第一工作组报告。

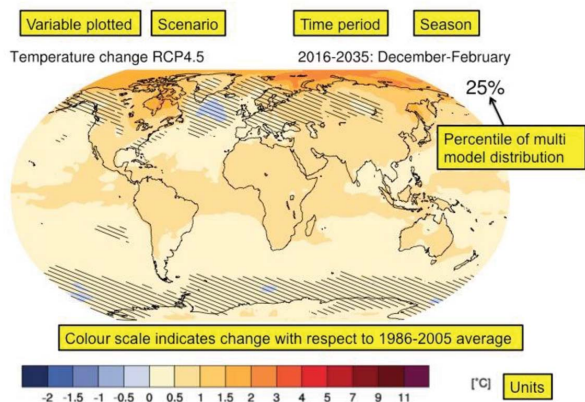


图2 图集给出的典型空间型分布示例。影线区表示20年平均变化的第25百分位、中位数或第75个百分位的量值比使用模式估算的20年平均差自然变率的一个标准差要小(引自 AR5 Figure AI-2)

Fig. 2 Explanation of the features of a typical spatial maps presented in Annex I. Hatching indicates regions where the magnitude of the 25th, median or 75th percentile of the 20-year mean change is less than one standard deviation of model-estimated natural variability of 20-year mean differences (from AR5 Figure AI-1)

为读者查询AR5报告对该图集的解读结果提供了极大的便利。

2 关于图集的技术说明

数据和处理：所有图形均基于2013年3月15日前（AR5规定的接受文章的截止日期）发布的CMIP5模式输出数据制作，包括42个气候模式在RCP2.6/4.5/6.0/8.5情景下的32/42/25/39组试验结果。图集只使用了浓度驱动的预估试验，即模式预估试验中给定的是温室气体浓度而不是排放，并且只使用了每个模式的第一个集合成员（即使这些模式有不同的初值和不同自然变率的多个成员数据），~~这样~~每个模式都给予同样的权重。

参考时段：给出的时间序列和空间场的预估图集，都是相对于参考时段1986—2005年的距平。因此，预估的变化均是相对于工业革命以来已经发生的变化而言的。对趋势大于自然变率的物理量（如较大区域的温度），利用更近的参考时段会得到更好的估计；但对于自然变率远大于趋势的物理量，利用更长的参考时段更好。

同样的模式权重：AR5第9章利用多种技术对模式性能进行了评估^[4]，但迄今为止在气候模式界，针对如何利用这些信息给不同模式的预估结果分配权重并没有达成一致。因此，图集基于“一个模式一票”的原则，对用到的不同CMIP5模式的预估结果都视作具有相同的可能性。物理参数化方案不同的模式亦被视作不同的模式来对待。

物理量：图集绘制了两个变量：表面气温变化和降水相对变化。降水相对变化被定义为每一个集合成员相对于参考时段的降水变化百分比。时间序列的计算方法是：首先对变量进行区域平均，然后针对参考时段计算变化。因此，在那些气候态降水梯度较大的区域，时间变化序列常被降水量大的区域所主导。

季节：对于温度，给出了标准的气象季节6—8月和12月到次年2月的结果，这些季节通常大致对应最暖季和最冷季。年平均和其他季节的结果均在补充材料中给出。对于降水，给出了半年（4—9月和10月到次年3月）的结果，这包括了绝大多数季风区的当地雨季。因为先计算季节平均、后计算变化百分比，因此结果主要受半年内的降水月份所主导。年平均的降水结果在补充材料中给出。

区域：除了全球的空间图，图集还给出了SREX中定义的区域^[3]以及其他6个区域（包括加勒比、印度洋和太平洋岛屿、两极的陆地、海洋区域）的空间变化。对于多数陆地区域，只对陆地格点作平均；对于海洋区域，对海洋格点和陆地格点都作平均。在一个网格里，如果陆地面积超过50%，则视作陆地格点，反之视作海洋格点。对于有很长海岸线的SREX区域，例如南美西海岸、北欧、东南亚等，区域平均结果包含了海洋的影响。需要指出，岛上的温度和降水的变化与邻近海域是不同的。

时间序列：对于每一个绘制的区域，先针对模式原始格点的陆地、海洋或者所有格点求区域平均。为表征模式不确定性和自然变率，在图集页面的顶部，针对每个模式、每个情景，都给出了1900—2100年相对于参考时段的距平时间序列，同时还给出多模式集合平均的结果。最后，针对2081—2100年这一时间段，计算了20年的平均值，并且以盒形图的

方式, 给出了基于所有模式 20 年平均值的第 5、第 25、第 50 (中位数)、第 75 和第 95 百分位的结果, 这其中包含了自然变率和模式离散度。由于采用 20 年平均值, 相对于逐年的时间序列而言, 自然变率被抑制了, 而模式不确定性并无变化。由于使用的模式数量少, RCP2.6 和 RCP6.0 情景的盒形图要比 RCP4.5 和 RCP8.5 情景的不确定性大。

空间型: 图集中的空间图形给出了包含 2~3 个地区的大范围区域 2016—2035 年、2046—2065 年和 2081—2100 年相对于参考时段的距平场。由于气候变化的局地预估结果是不确定的, 因此, 除了给出插值 (对表面气温采用双线性插值, 对降水采用一阶守恒插值) 到均匀的 2.5° 的模式集合的中位数响应外, 还给出了模式预估范围的一个度量。需要再次强调的是, 这个范围并不代表预估的所有不确定性。在空间图形的左列, 给出集合成员第 25 百分位的分布, 右列则给出第 75 百分位分布, 中位数的分布则在中列给出。这个分布包含了自然变率和模式离散度的共同影响。所有图形的色标都保持一致。

影线: 影线区代表 20 年平均值的的变化量小于模式估算的现代气候 20 年平均差自然变率的一个标准差。自然变率是利用工业革命前至少 500 年的控制试验来估算的, 忽略前面 100 年结果。自然变率的计算方法是, 先把每个格点的时间序列减去其二阶拟合以扣除模式漂移, 然后, 在这个格点上计算非重叠的 20 年平均值的标准差。得到的自然变率再乘以 2 的平方根, 这是对数字的两种分布进行比较所需要考虑的因子。最终取所有模式的上述量值的中位数。这一中位数度量了由自然的内部变率引起的两个 20 年平均值的典型差异。所有的空间场图形都使用这种打影线的方式。例如, 如果模式预估的第 25 百分位分布小于自然变率的一个标准差, 则该格点便打影线。

对影线区的解释是, 与当代气候的 20 年内部变率强度相比, 未来气候的变化强度。它要么意味着变化相对小, 要么意味着在变化的符号上模式间缺少一致性。它只是对两个 20 年平均值之差所揭示的变化强度进行了评估。若使用其他度量方法来表征自然变率, 给出的影线区会大些或者小些, 但影线

区下面的颜色不会有大的不同。采用 AR5 知识窗 12.1 所介绍的其他打影线和打点的方法也可以^[5]。在实际应用中, 如果这类信息很重要, 则建议应当针对所考虑的问题, 利用合适的统计方法来检验评估结果的显著性。

3 关于气候预估结果的不确定性

为描述气候预估结果的可信度、评估其不确定性, 开展未来气候变化预估需要仔细评估模式性能、阐明观测中的不确定性, 以及理解气候变化的物理基础。不同的气候模式在模拟过去气候变率和平均态上各有千秋^[4]。但需要指出的是, 该图集显示的信息均基于所有 CMIP5 模式的输出, 对每一个模式或者同一个模式的不同参数化版本, 都给予了一样的权重, 体现了模式间的“民主”权利。

在气候变化影响研究中需要考虑一些定量预估辅助方法, 例如利用统计技术将模式输出和模式性能信息相结合的方法等。本图集并没有比较使用这些方法得到的预估结果与采用“民主”方法给出的预估结果的异同。提供简单图形是不能严格估计与预估有关的不确定性的。在本图集中, 模式离散度的范围只是简单地给出了未来变化的可能范围, 这其中包括了自然变率的影响。评估了模式对过去趋势模拟结果的可靠性后, 发现 CMIP5 多模式集合结果总体上不能被视作可靠的区域概率预报^[5]。它们不应当被解读为“预报”。实际的不确定性甚至可能比图集中给出的模式离差还要大。

需要指出, 未来气候变化的预估依赖于气候强迫的假设, 亦受气候模式自身缺陷和不可避免的特定期内部变率的影响。随着模式的改进, 不同模式版本预估的气候变化型也会有所区别。尽管一些共性的模式偏差在所有模式中都存在, 但许多气候变化空间型在几代模式中都出现, 这增强了未来预估结果的可信度。

4 结语

作为一种新的尝试, AR5 第一次给出了基于

CMIP5 模式结果的全球和区域平均温度、降水变化的预估结果。该图集既方便了 IPCC 第一工作组的各个章节在涉及气候预估问题上的讨论,又有助于第二和第三工作组在其评估报告中对气候预估结果进行引用,同时对科研和教学工作也有重要价值。

该图集在处理气候预估结果的不确定性方面所采用的技术方法,也值得我们在分析 CMIP5 模式的时候参考:每个模式都采用一个集合成员而不是进行单模式多成员的集合平均,这使得在评估预估结果的不确定性时可以考虑内部自然变率的作用;对于预估的近期(2016—2035 年)、中期(2046—2065 年)和长期(2081—2100 年)温度和降水变化,都给出 CMIP5 模式的第 25、第 50 和第 75 百分位的分布,这使得我们可以考察内部自然变率和模式离差对预估结果的影响;而影线区技术的使用,则为衡量模式对外强迫的响应强度是否大于内部自然变率提供了一个显著性检验的客观标准。上述 3 个方面的处理都大大提高了 CMIP5 模式气候预估结果的可信度。国内学者在进行 CMIP5 模式结果的诊断分析中,应该及时吸收这种先进的模式数据分析诊断方法。

关于该图集的不足之处,主要体现在以下几个方面:

一是只关注了温度和降水这两个基本要素的平均态变化,未能给出气候变化研究中重点关注的极端温度和极端降水的变化。该图集也未考虑气候变化研究中众所关注的风速、湿度、大气环流等要素的变化。

二是区域平均图形是基于地理区域划分的,未考虑自然气候带的特点,这使得区域平均结果的价值大打折扣。

三是图集内容的设计 and AR5 的有关内容存在脱节现象。例如,图集并未给出区域气候现象(季风、南北半球环状模、ENSO 等)未来变化的预估结果,这制约了对上述现象预估结果的评估。

四是对 CMIP5 模式结果的质量检验亟待加强。CMIP5 实际上是气候模拟界的自由交流平台,对于模式的准入条件并未有严格的限制,这使得参与

CMIP5 的模式在性能上参差不齐,“一个模式一票”的模式“民主”做法,实际上存在令模式可信度被少数性能较差的模式所“污染”的风险。这种情况实际上在 IPCC 第四次评估报告(AR4)中就已经出现过,例如所给出的 CMIP3 多模式集合的偏差实际上来自少数模式,并不能代表多数模式的共性偏差。

尽管尚存在不足,对于 AR5 “全球和区域气候预估图集”的重要作用依然应予以充分肯定。对总计 42 个模式、138 组、每组长度 200 年的模拟和预估试验数据的处理,技术复杂,工作量巨大。负责数据处理的英国气象局 Hadley 中心和荷兰气候研究所付出了艰辛的努力。特别是对图集编写组牵头人 Matthew Collins 博士、Geert Jan van Oldenborgh 博士的杰出贡献应该表示敬意。相信在未来的 IPCC 评估报告中,类似的图集将不断得到完善,其重要性亦将为科学界所广泛肯定。■

参考文献

- [1] IPCC. Annex I: atlas of global and regional climate projections [M/OL]// IPCC. Climate change 2013: the physical science basis. Cambridge: Cambridge University Press, 2013 [2014-02-26]. http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5_AnnexI_FINAL.pdf
- [2] Taylor K E, Stouffer R J, Meehl G A. A summary of the CMIP5 experiment design [J]. Bull Amer Meteor Soc, 2012, 93: 485-498
- [3] IPCC. Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2012: 1-582
- [4] Flato G, Marotzke J, Abiodun B, *et al.* Evaluation of climate models [M/OL]//IPCC. Climate change 2013: the physical science basis. Cambridge: Cambridge University Press, 2013 [2014-02-26]. http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5_Chapter09_FINAL.pdf
- [5] Collins M, Knutti R, Arblaster J M, *et al.* Long-term climate change: projections, commitments and irreversibility [M/OL]// IPCC. Climate change 2013: the physical science basis. Cambridge: Cambridge University Press, 2013 [2014-02-26]. http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5_Chapter12_FINAL.pdf
- [6] Kirtman B, Power S, Adedoyin J A, *et al.* Near-term climate change: projections and predictability [M/OL]//IPCC. Climate change 2013: the physical science basis. Cambridge: Cambridge University Press, 2013 [2014-02-26]. http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5_Chapter11_FINAL.pdf