

孙成权, 曲建升, 高峰. 气候变化关键科学问题的分析. 科学新闻周刊, 2001, (29): 14-15.

对气候变化关键科学问题的认识

——美国国家科学院应白宫要求提交的报告概要

摘要: 美国国家科学院的国家研究委员会地球与生命研究部气候变化科学委员会最近向白宫提交了一份关于气候变化科学问题的咨询报告, 以供布什政府以及相关机构决策参考。该报告根据美国的全球变化研究工作对100年以来以全球气候变暖趋势为特征的全球气候变化的认识, 对IPCC关于气候变暖的研究成果与预测作了剖析。该咨询报告在承认全球变暖研究中仍存在一些不确定性的同时, 指出全球变暖确实存在, 并对白宫与民众所关心的一些关键科学问题作了回答, 这些问题是: 自然气候变化的幅度; 温室气体和其它对气候变化具贡献作用的气体的排放是否在加速增长及其增长速率与来源; 气溶胶的驱动作用; 降低温室气体以及其它一些对气候变化具贡献作用的排放物的增加趋势所需的时间; 气候变化是否正在发生以及如何发生; 温室气体是否导致气候变化; 未来100年温度的变化幅度以及发生地点; 所预计的气候变化有多少是气候反馈过程(如水蒸气、云和冰雪融化)造成的; 不同程度的全球变暖的后果; 科学研究是否已经确定温室气体浓度有一个“安全”水平; 为了提高对气候变化的认识, 还有哪些专门领域需要更深入地进行研究。最后指出在气候变化研究中独立自主开展工作意义重大, 以及今后需要加强的研究领域和关注重点。

关键词: 气候变暖; 全球变暖; 美国; 京都议定书

1 背景介绍

受白宫2001年5月11日的委托, 隶属美国国家科学院的国家研究委员会地球与生命研究部气候变化科学委员会(以下简称气候变化科学委员会)于2001年6月6日向白宫提交了一份关于气候变化科学问题的咨询报告, 以供布什政府以及相关机构决策参考。该报告根据美国的全球变化研究工作对100年以来以全球气候变暖趋势为特征的全球气候变化的认识, 对IPCC关于气候变暖的研究成果与预测作了剖析。IPCC一直呼吁各国对温室气体排放采取更加严厉的控制措施, 并于1997年12月达成了控制温室气体排放的《京都议定书》, 《议定书》中明确指出在2008年至2012年期间, 世界38个发达国家6种温室气体(以CO₂作用最为突出)的排放量要在1990年的基础上平均减少5.2%, 其中美国减少7%, 欧盟成员国减少8%。但布什政府对是否存在全球变暖趋势、变暖的程度以及其在温室气体排放中应承担的义务持怀疑态度, 这引起了国际上尤其是欧洲各国的不满。事实上, 美国离《京都议定书》规定的减排目标越来越远。按照美国在1995年至2000年间CO₂排放的平均增长速度, 到2008年时, 美国的CO₂排放量不但不会减少, 而且要比1990年高出35%, 这将严重影响全球减排计划的实现(ENERDATA能源信息统计所, 2001年6月8日)。如何履行美国政府在温室气体减排中的义务, 成为布什政府对外政策的第二大焦点问题(首要问题是国家导弹防御计划)。

2 咨询报告主旨

该咨询报告承认在全球变暖问题上仍然存在一些不确定性, 如关于自然变化对全球变暖的影响作用有多大等, 但总体上支持欧洲国家领导人和环保组织以及IPCC的观点。气候变化科学委员会主席Ralph J. Cicerone说: “我们知道地球大气层的温室气体越来越多并导致地面气温上升。但对于迄今为止的气温上升, 我们还不清楚究竟在多大程度上受人类活动的影响。但是, 根据物理原理和计算机模拟, 我们认为气候变暖会继续加剧, 因为温室气体排放仍在继续”。

对于在全球变化认识上的不确定性, 气候变化科学委员会认为主要是由于假设的差异、模型的差异以及替代数据的准确性等原因造成的, 但即便按照最保守的估计, 全球变暖以及海平面的上升

都将伴随着整个21世纪。为减少目前全球气候变化模型预测中的不确定性，需要在以下两点的认识与模拟上取得较大进展：①决定大气温室气体与气溶胶浓度的因子；②决定气候系统对温室气体增加的敏感性的反馈机制。对气候监测来说，规划一个全球观测系统是一项紧迫的任务。

由于人类活动，温室气体在地球大气中不断积累，引起了陆表与海表温度的升高。在过去的几十年中所观测到的变化很可能主要是由人类活动引起的，但是我们不能排除这些变化的一些重要部分也是自然变化的反映。人类活动引起的气候变暖以及与之有关的海平面的上升预计将持续整个21世纪。由计算机模型模拟和基本的理论推算得出的一些相关影响（包括雨量的增加、半干旱地区干旱程度的增加）十分依赖于变暖的程度及其发生的概率。

由IPCC（气候变化政府间工作小组）对人为引起的全球变暖进行的基本可信的评估是以气候驱动力*增加为前提的，如CO₂将加速全球变暖的进程。到21世纪末，全球温度升高3℃的预测是与云层和大气相对湿度影响全球变暖的假设相一致的。这一预测也与通过比较冰期—间冰期的温度振荡所得到的气候敏感性结论相一致，冰期—间冰期的振荡导致了气候驱动力的变化。所预测的温度升高对有关温室气体和气溶胶浓度的升高的反应极为敏感。因此，国家的决策在目前以及今后较长时期内将影响脆弱的人类社会和生态系统所遭受损害的程度。因为目前对气候系统在自然状态下如何变化以及如何响应温室气体和气溶胶的排放的认识还存在相当大的不确定性，所以这一预测结果应当看作是暂时的，需要根据未来的变化进行调整。

气候变化科学委员会所提交的咨询报告中力求对气候变化科学问题以及IPCC研究成果的可信度进行更为清晰的描述。详尽的表述对政策制定者很有帮助，因为他们需要考虑缓解气候变化或是适应气候变化等多种选择。该咨询报告主要回答了以下一些白宫以及民众关注的关键科学问题。

3 全球变化研究中的关键科学问题

3.1 自然气候变率的幅度有多大？

众所周知，在局地 and 区域空间尺度上，以及短至十年的时间周期上，自然气候变化的幅度十分宽广（超过几个摄氏度），降雨的变化也十分大。例如，有证据证明像20世纪30年代的“尘盆（Dust Bowl）”的剧烈干旱，在10—14世纪的美国中部非常普遍。通过冰川反复进退的对比研究得知，局部地区的平均温度变化已经超过10℃。评估全球平均温度的自然变化非常困难，因为现有的数据空间覆盖较小，且替代数据推断温度难度大。虽然如此，仍有证据表明，在最近一次冰期的冰川后退期间，全球变暖的速率是2℃/千年。

3.2 温室气体和其它对气候变化具贡献作用的气体的排放正在加速增长吗？不同的温室气体与排放物是按不同的速率增长吗？温室气体与其它对气候变化具贡献作用的排放物浓度的增加是人类活动引起的吗？

一些温室气体的排放正在增加，但也有一些温室气体的排放呈减少趋势。在某些个例中，气体排放的减少是决策的结果，但是在另外一些事例中，气体排放的减少却很难理解。

在直接受人类活动影响的温室气体中，最重要的是CO₂、CH₄、N₂O和CFCs。人类活动排放的气溶胶也可以影响气候（表1列出了大气中的气候驱动因素所产生的驱动力）。

分析取自格陵兰和南极的冰芯所获得的CO₂浓度变化的记录具相当代表性，其范围从冰期的接近 1.9×10^{-2} %（体积浓度）到较温暖的间冰期（如开始于大约1万年前的最近一次间冰期）的接近 2.8×10^{-2} %。直到工业革命为止，CO₂浓度一直没有超过 2.8×10^{-2} %。当1958年开始系统大气测量的时候，CO₂浓度已经到达了 3.15×10^{-2} %，目前其浓度大约为 3.7×10^{-2} %，并以 1.5×10^{-4} %/年的速率增长（这个数值比1958年有记录以来的早期的增长速率略高）。人类活动应该对这种增长负主要责任。化石燃料的燃烧是碳的主要排放源，其实际排放量大约是所观测结果的两倍。在过去的几十年里，热带森林的砍伐对CO₂排放也具贡献作用。过量的CO₂由海洋和陆地生物圈吸收。

目前CO₂、CH₄等大气层中的气体含量高于其它的任何时期。从1978年以来，温室气体的浓度大致以每年1%的速率平稳增长，到20世纪90年代其增长的速率变得缓慢，但更具不确定性。大约当前2/3的CH₄是由于人类的活动产生的，如水稻种植、畜牧业增长、矿业开采、秸秆回填、天然气处理，

* 气候驱动力被定义为地球能源系统的强迫扰动，其单位一般用瓦特/平方米（W/m²）。

所有这些在过去的50年中都有所增加。

对流层中的臭氧一小部分是平流层中的自然过程产生的，到了20世纪，又有一部分臭氧补充进了这部分“对流层臭氧”。在局部区域，这部分臭氧是由阳光对污染大气（由机动车辆尾气、化石燃料燃烧、电力工厂以及生物燃烧等产生的气体造成）的光化学反应产生。

N₂O由土壤和水中大量的微生物的反应形成，但含氮化肥的大量生产与使用也造成N₂O的增加。能够产生N₂O气体的一些人工化学过程已经得到确定。在过去的200年里N₂O的浓度增加了大约13%。

自1928年首次合成CFCs以来，其在大气中的含量一直稳定增长，到20世纪90年代初其含量达到最高。许多工业上有用的其它含氟化合物（如CF₄和SF₆）在大气中具有很长的寿命，尽管有些气体在大气中的浓度还不足以产生大的辐射驱动，但已引起了研究者的关注。CFCs的替代产品HFCs具有温室效应，因为其在大气中寿命较短，其作用尚不明显。

3.3 还有哪些排放物是气候变化的驱动因素（如气溶胶、CO、煤烟等）？它们对气候变化的贡献是什么？

除了温室气体，人类活动还增加了大气气溶胶的含量，这些气溶胶包括硫酸盐颗粒和黑碳（煤烟），由于它们在大气中的寿命很短，分布具有不平衡性。硫酸盐颗粒将太阳辐射散射回外层空间，从而在一定程度上减缓温室效应。最近由于“洁净碳技术”和低硫燃料的利用，使得硫酸盐浓度逐渐降低，在北美这一作用更为明显，但也降低了其对温室效应的抵消作用。黑碳气溶胶是生物燃烧（森林火灾和秸秆焚烧）以及化石燃料不完全燃烧的最终产物，它们直接或间接地影响太阳辐射的收支，尽管要量化其影响还存在难度，但这一点是确定无疑的。

3.4 降低温室气体以及其它一些对气候变化具贡献作用的排放物的增加趋势需要多长时间？不同的温室气体以及其它的排放物是否具有不同的消亡时间？

具体数值见表1。

表1 部分气体与气溶胶的消亡时间与气候驱动力

驱动因素	大致的消亡时间	到2000年的气候驱动力 (W/m ²)
温室气体		
CO ₂	>100年	1.3—1.5
CH ₄	10年	0.5—0.7
对流层臭氧	10—100天	0.25—0.75
N ₂ O	100年	0.1—0.2
碳氟化合物（包括SF ₆ ）	>1000年	0.01
气溶胶		
硫酸盐	10天	-0.3—-1.0
黑碳	10天	0.1—0.8

3.5 气候变化是否正在发生？如果是，又是怎样发生的？

气象站的记录与船载观测资料显示，全球表面平均温度在20世纪大约增加了0.4—0.8℃。尽管变暖的程度各地不一，但变暖的总体趋势在全球广泛存在，这也与本报告中所列举的其它证据相一致。海洋是气候系统中的最大热储库，自20世纪50年代以来，在从海洋表层到3000多米深的海底，海洋温度平均升高了0.05℃。

所观测到的温度升高并不是以均衡的速率进行的，实际上，整个20世纪的全球表面大气温度的升高主要发生在20世纪初到40年代期间和过去的几十年中。在70年代，对流层变暖的程度要高于80和90年代，但过去的20年中地球表面变暖的程度要高于70年代。在时间上的这些无规律与不一致性的原因还没有得到彻底认识。在过去的35年中，一个显著的变化是约22 km高处的平流层的变冷，而且在冬季的两极冰帽地区有加强的趋势。

3.6 是温室气体引起了气候的变化吗？

IPCC认为过去50年中所观测的升温可能主要是由于温室气体浓度的升高导致的，这一结论准确地反映了科学界当前的观点。目前IPCC评估的置信程度明显高于10年甚至于5年前，但由于以下的原因尚存在不确定性：①在10年至百年的时间尺度上，气候系统固有的自然变化的幅度不易确定；②准确模拟那些长时间尺度上的模型的能力值得怀疑；以及③利用替代证据重建过去一千年的全球平均温度的可信程度不能确定。尽管有这些不确定性的存在，但一般都认为所观测的变暖情况是真实存在的，并且在过去20年中显著增强。全球变暖是否与响应人类活动所导致的变化保持一致，取决于人们对各种驱动因素（尤其是气溶胶）的浓度在大气中存在时间的假定。

3.7 未来100年温度将变化多少，将在哪些地方发生？

基于IPCC排放物的假设，针对1990到2100年期间进行的气候变化模拟得出了到21世纪末全球平均温度将比1990年升高1.4-5.8℃的结论。这个估计值的范围过大反映出以下两点问题：①IPCC所考虑的各种假设中，温室气体和气溶胶将来的浓度有不同的假设；②模拟研究中所使用的各种气候模型得出的气候敏感性不同。

所预测的变暖现象，在较高纬度地区要强于低纬度地区（尤其在秋冬季更为明显），在陆地要强于在海洋。降雨比率与暴雨事件将增加，尤其在较高纬度地区更为明显。更高的蒸发率将加速降雨之后土壤的干燥，导致较低的相对湿度和较高的白昼温度，在暖季，这种现象尤其突出。这种效应发生在半干旱地区的可能性非常大，例如在美国的大平原（Great Plains）。IPCC报告中的这些预测与目前对控制局地气候的过程的认识是一致的。

除了IPCC对未来温室气体和气溶胶增加的假设外，气候变化科学委员会也考虑了一个方案，这个方案是建立在一项旨在保持未来50年适度全球变化的能源政策之上的。这个方案不仅重视碳排放的增长，而且也重视其它温室气体和气溶胶浓度的变化。

对观测到的CO₂等温室气体的浓度变化趋势与早期的IPCC报告所预报的趋势的比较工作滞后了很多时间。在过去的10年中，全球化石燃料CO₂的排放量以每年6%的速度增长，这比IPCC的估计值略低一些，大气CH₄的浓度也是这种情况。现在还不清楚这种增长速度减缓的状况能否持续下去。

3.8 所预计的气候变化有多少是气候反馈过程（如水蒸气、云和冰雪融化）造成的？

反馈对气候变化的贡献依赖于本报告中所描述的“气候敏感性”。如果核心的气候敏感性评估得以实施，那么所预测的变暖的40%将归因于温室气体和气溶胶的直接影响，其余的60%则是由反馈导致的。在各类模型中，水蒸气的反馈（大气变暖导致大气水蒸气浓度增加，进而产生额外的温室效应）是最重要的。除非相对湿度在热带对流层的中上部有所降低，否则这种效应有望使由于人为引起的温室气体浓度增加而导致的大气温度以1.6的倍数增加。冰雪反射对气候变化的反馈（由于冰雪消退，反射回外层空间的太阳辐射减少）被认为是重要的。综合起来，以上两项反馈使模拟得到的气候对温室气体影响的响应加强至2.5倍。另外，云量的变化以及高空云与低空云的相对数量的变化和相对湿度的平均的垂直变化，会增强或降低变暖的幅度。不同的气候模型的预测结果存在很大不同是由于各个模型均用其自己独特的方式描述这些过程。这些不确定性将继续持续下去，直到对控制云和大气相对湿度的过程形成更根本的认识为止。

3.9 不同程度的全球变暖的后果是什么（如极端天气和对健康的影响）？

最近一段时间的研究发现，由于CO₂的施肥效应和一些植物在较高的大气CO₂浓度下增强了水的功效，使得农业和森林有可能获益。对农作物而言，最适宜的气候条件可能发生变化，这需要进行有意义的地方适应性改良。一些模型提出在半干旱地区，干旱有增强的趋势，如在美国的大平原。在美国西部，大多数的水供应依赖于积雪覆盖量和春季径流，水文学的影响对那里来说意义重大。降雨率的增加可以冲刷污染物也可带来洪水。随着海平面的升高，即使热带风暴的强度不发生变化，海岸带地区也将难以抵御风暴潮的危害。大幅度变暖也会对生态系统产生深远的影响。与以上所述的各种影响有关的社会投入与风险还很难量化，而且一定会超出本报告所估计的范围。

气候变化对人类健康的影响是激烈争论的主题。气候是引起传染病发生的重要因素之一。在主要的城市地区，与热和烟雾有关的疾病（包括呼吸系统疾病）将会增加，但假如不能够适应气候的

变化，与冷有关的疾病在温暖的气候条件下也会出现。在美国的大多数地区，由于强大的公共卫生系统、公众对疾病较高的认知程度以及较高的生活标准，不利的健康影响有可能会得到控制。

到21世纪末，全球变暖可能会对社会与生态产生严重的不利影响，尤其是如果全球平均温度的增加接近IPCC所预报的高值（5.8℃）。即便根据较保守的方案，模型也预计温度和海平面的升高将至少持续到21世纪末。

3.10 科学研究是否已经确定温室气体浓度有一个“安全”水平？

是否存在温室气体浓度的“安全”水平这一问题还不能直接回答，因为还需要对世界各地的人类安全和生态系统可接受的风险进行判断，如对与全球变暖各种影响有关的风险和损失进行更量化的评估。就通常而言，风险是伴随着气候变化的速度和量级的升高而增加的。

3.11 为了提高对气候变化的认识，还有哪些专门领域需要更深入地进行研究？

对未来气候变化的预测尚存在极大的不确定性，为了在减少这一不确定性方面取得进展，需要解决与大气中温室气体累积和气候系统行为有关的大量基本的科学问题。需要解决的问题包括：①化石燃料未来的使用；②甲烷未来的排放；③未来滞留在大气中产生辐射强迫并与海洋或与陆地生物圈发生交换的那一部分化石燃料碳；④气候系统中决定气候变化的幅度和海洋对能量的吸收率的反馈机制，在给定的辐射强迫下，气候变化的幅度和海洋的能量吸收率决定着温度增加值的大小和时段；⑤在全球气候变化的背景下，区域与局地气候变化的详细情况；⑥气候自然变率的本质和起因及其与外部驱动变化的相互作用；⑦气溶胶分布变化的直接与间接影响。

4 今后需要关注的问题

维持一项强大的长期进行的基础研究计划，自主募集资金和独立开展气候评估活动，是减少以上不确定性的重要环节。

另外，研究人类社会与环境的相互作用以及环境变化的工作必须加强，包括对以下几点的支持：①结合物理学、化学、生物学和人类系统学开展多学科研究；②提高科学知识综合能力，融入有效的决策支持系统；③提高区域尺度的研究水平和部门的管理能力，分析人类和自然系统对多重压力的响应。

提高对气候变化的认识的有效策略需要：①支持长期监测与预报的全球观测系统；②集中物力和人力资源，进行大尺度模拟；以及③保证气候研究得到支持和有效的管理，以使其研究具有创新性与影响力。

（孙成权 曲建升 高峰 据Committee on the Science of Climate Change, Division on Earth and Life Studies, National Research Council. Climate Change Science—An Analysis of some Key Questions. National Academy Press,2001.和Institute of World Energy Statistics and Information. 2001 Statistical Yearbook. <http://www.enerdata.fr/enerdatauk/index.htm>. 2001/6/18.）