

气候变化常用术语刍议

任国玉

(中国气象局气候研究开放实验室, 国家气候中心, 北京 100081)

摘要: 统一的术语对于学术交流和政策制定至关重要。然而, 在气候变化学界, 目前对若干术语的理解和使用还存在明显差异。尝试对气候变化及其相关领域基础性研究中若干常用术语的基本含义做初步阐释。这些术语包括气候变化、气候变异、全球变暖、全球变化、全球气候变化、气候变化监测、气候变化检测、气候变化归因、气候变化预估, 同时也包括具有相近含义的气候转型、气候跃变、气候突变、气候观测、气候监测、天气预报和气候预测等。

关键词: 术语, 气候变化, 气候变异, 全球变暖, 全球变化, 气候突变, 气候变化检测, 气候变化预估

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2015.03.004

A Discussion on the Usage of Terms in Climate Change Science

Ren Guoyu

(Laboratory for Climate Studies, National Climate Centre, CMA, Beijing 100081)

Abstract: It is important for scientists to use terms with the same meaning in academic exchange. However, the understanding and usage of the terms in climate change science are incompatible between researchers and different policy-makers, leading to some problems both in science and actions to cope with the global issue. Here a brief discussion is held about explicit and implicit meanings of quite a few frequently used terms in literature. The purpose of my humble opinion is to arouse a keen interest from the scientific community in order to find a final solution for the issue by provoking a further discussion. In particular, the terms discussed in this paper include climate change, climate variability, global warming, global change, global climate change, abrupt climate change, climate change monitoring, climate change detection, climate change attribution, and climate change projection.

Keywords: term, climate change, climate variability, global warming, global change, abrupt climate change, climate change detection, climate change projection

0 引言

统一的术语是正常学术交流的前提, 也是科学界向决策者和公众准确传递科学信息的必要条件。然而, 长期以来气候变化学界对于术语的使用还不统一, 个别情况下甚至还较混乱, 以致产生歧义。本文尝试对当前气候变化学界常见的术语进行比较和甄别, 目的是抛砖引玉, 引起关注和讨论, 为最终消除歧义和统一用法, 略尽微薄之力。

1 科学术语

1.1 气候变化

气候变化 (climate change) 是指由于气候系统外驱动因子改变即辐射强迫引起的多年代尺度以上的气候要素渐进演化过程。

气候通常指较长时期内的平均天气状态; 气候系统则指由大气圈、水圈、冰冻圈、生物圈和岩石圈构

成的地球表层综合体^[1-2]。目前理解的气候系统外驱动因子主要包括太阳辐射、火山活动和人类活动 (图1)。大气圈 (或对流层) 顶部接收的太阳辐射受太阳自身输出辐射变化的影响, 也受到地球轨道参数、地球磁场、宇宙射线以及星际空间宇宙尘埃变化的影响, 其

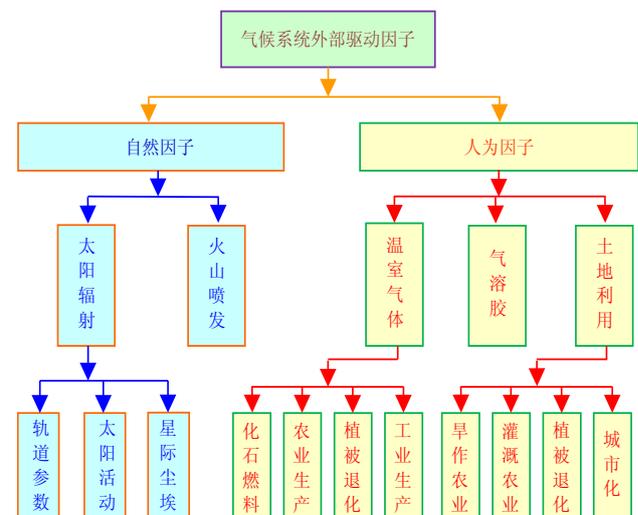


图1 气候系统主要外部驱动因子

收稿日期: 2014年4月30日; 修回日期: 2015年3月21日
作者: 任国玉 (1958—), Email: guoyoo@cma.gov.cn
资助信息: 公益性行业 (气象) 科研专项 (GYHY201206012)

中地球轨道参数变化仅引起全球各纬度带不同季节入射太阳辐射量的再分配，并不改变地球作为一个整体的全年入射太阳辐射量^[3-4]；火山活动是指火山喷发将硫化物等气溶胶带至平流层，悬浮达1年以上时间，影响对流层和地面接收的太阳辐射；人类活动主要包括化石燃料使用和土地利用等引起的大气中二氧化碳（CO₂）、甲烷（CH₄）、氧化亚氮（NO）和水汽等温室气体浓度增加，硫化物、硝化物、黑碳和矿物（粉尘）及其各种衍生物等气溶胶排放，以及土地利用变化引起的陆地表面特性改变等^[5-8]。

在某一特定时期，上述气候系统外部驱动因子的强弱会产生变化，进而导致大气层顶辐射净收支的变化，一般将其称为辐射强迫^[9-10]。在各种辐射强迫耦合作用下产生的全球和区域气候长期演化，称作气候变化。因此，引起气候变化的辐射强迫，既包含自然外强迫，也包含人为外强迫。该定义在气候变化研究中得到较广泛认可。政府间气候变化专门委员会（IPCC）的历次评估报告采用了近似用法^[9-11]，但将持续数十年或更长时间的气候系统内部自然过程引起的气候要素波动也看作气候变化^[9-10]，这与本文定义具有明显差异。

时间尺度界定是重要的。多年代一般指30年或更长的时期。世界气象组织（WMO）规定用以描述平均气候状态的参考期或基准期是3个完整年代，目前采用1981—2010年。因此，两个基准气候期之间的差异才能更好地反映气候平均状态的时间变化，这可以利用基于各种方法估计的研究时期内的线性趋势来表征。由于观测资料序列长度不足，过去也有采用30~50年资料分析气候要素趋势变化的，但利用不足30年连续观测资料开展这类趋势分析，一般认为意义不大。从这个意义上讲，由于外部自然驱动因子引起的气候年际到年代际波动，包括火山喷发引起的年际尺度地表气温波动，也不能看作为气候变化，可以归并到气候变异。

目前，气候变化术语使用其中的一个主要问题是，联合国气候变化框架公约（UNFCCC）采用了与学术界不同的定义^[12]。UNFCCC的定义为：气候变化是指人类活动直接或间接影响大气组成成分，并进而引起气候状态的改变。显然，根据这个定义，“气候变化”仅为学术界所用概念内涵的一部分，不包含由于自然外强迫引起的变化，当然更不包含由于气候系统内部分量演变所造成的不同频率波动即气候变异。UNFCCC当时没有区分太阳辐射、火山活动等自然外强迫因素和海洋、冰雪、植被等气候系统内部自然分

量波动的影响，把所有这些自然因素改变引起的变化统一称为“自然气候变异”，认为“气候变化”叠加在同一时期“自然气候变异”之上。如后所述，该用法在气候变化科学文献中亦有反映，其本身是值得商榷的。无论如何，UNFCCC对气候变化的定义是清楚的，它和学术界以及历次IPCC报告对气候变化的定义具有明显区别。

术语使用上的差异已经产生了若干后果。一个突出的负面影响是，由于学术界与决策者和公众对气候变化概念存在不同理解，科学信息在由前者向后者传递过程中出现困境，在一定程度上助长了学术界以外针对科学信息可靠性的争论，阻碍了社会各界在应对气候变化问题上达成一致认识。从这个意义上讲，国际上气候变化谈判步履维艰固然有许多复杂因素，但UNFCCC和学术界最初没有采用统一的术语，应该负有不可低估的责任。

认识到目前术语使用上的混乱，一些研究者选择采用人为气候变化（anthropogenic climate change, ACC）这个专用词，表示由于各种人类活动引起的大尺度气候变化，特别是由于人类活动排放温室气体导致的全球气候变暖及其气候系统其他方面的趋势性演化。在目前术语使用不统一的情况下，这个做法是值得提倡的。

1.2 气候变异

气候变异（climatic variability），亦称气候变率或气候可变性，是指由于气候系统内部分量或自然外驱动因子改变引起的月、季、年际和年代时间尺度上气候要素的自然波动性，或者仅仅由于气候系统内部分量改变引起的多年代及更长时间尺度上气候要素的长期演化过程。

与气候变化不同，气候变异主要取决于气候系统固有的自身波动，或者仅涉及气候系统自然外部驱动因子相对高频波动的影响，与各种人为因素影响无关。

地球大气圈、水圈、冰冻圈、生物圈和岩石圈每个圈层都有各自的时间演化过程，各个圈层之间还存在着复杂的相互作用，影响气候系统和地球表面的气候状态^[10, 13]。由于这些气候系统内部分量及其相互作用引起的气候状态自然波动即为气候变异。各个圈层的演进具有不同的气候学特征时间尺度，其中大气圈的特征时间尺度最短，主要集中在月、季节到年际长度上，而岩石圈的特征时间尺度最长，板块运动和大陆漂移可以发生在数千万年到上亿年时期内。海洋、陆地植被和冰冻圈演进的气候学特征时间尺度一般为季节到千年，成为当前气候变化科学最为关注的影响

气候系统和地球表面气候变异的主要分量。

在不同的时间尺度上，各个圈层对气候系统演化的影响程度存在差异（图2）。在月、季、年尺度上，大气圈和水圈与气候系统的交集或者相互作用较大，而岩石圈与气候系统几乎没有交集；在多年代时间尺度上，水圈中的海洋与气候系统存在较大的交集或者相互作用，而大气圈和岩石圈与气候系统的交集很小；在千年以上时间尺度上，岩石圈和冰冻圈在气候变异中的作用很大，大气圈和水圈则处于从属地位，作为响应圈层发挥“中间”作用。就每个圈层的作用强度随时间变化来看，大气圈在 $10^0 \sim 10^2$ 年尺度上迅速降低；水圈（主要是海洋）在 $10^1 \sim 10^2$ 年尺度上具有最强的影响，但在 $10^2 \sim 10^3$ 年尺度上迅速降低；岩石圈的影响一般发生在大于 10^3 年的尺度上，在 10^5 年以上尺度上逐渐成为影响地球气候变异的控制因素。

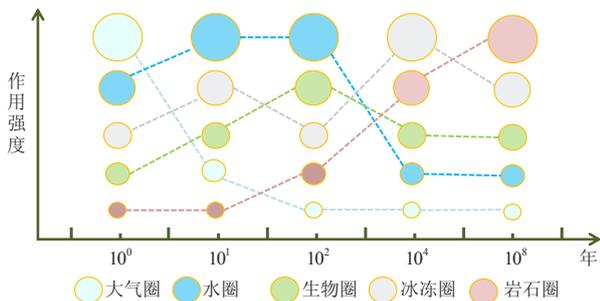


图2 气候系统各个圈层对气候变异的作用强度及其随时间尺度变化示意图

目前对于各种时间尺度，特别是年代以上时间尺度上，不同圈层的影响过程和机理了解很少。但是，与海洋有关的几个低频气候振动模态，如IPO（或PDO，指太平洋年代际涛动）、NAO（北大西洋涛动）以及AMO（大西洋年代际涛动），很可能对区域甚至全球年代到多年代尺度气候变异具有重要影响^[14-15]；北半球中高纬度地带的海冰、积雪范围也存在年代以上尺度的自然振动，可以对欧亚大陆和北美大陆气温、降水变异性产生一定影响^[13]。

值得注意的是，一些大气科学学者理解的气候变异大致等同于短期气候异常，即给定时段气候统计值相对于基准气候期平均态的偏离，通常指月、季、年尺度上的自然气候波动性。这个理解可能是狭窄的，因为它甚至排除了上述各种变异模态转化引起的年代到多年代尺度自然气候波动。

气候变异可以由气候系统内部分量多年代及更长时间尺度上的长期演化引起，这种情况又有称气候变动（climatic variation）、气候变化或气候演变（climatic evolution）的^[16]。

对于观测到的过去气候要素改变，常常不清楚是由何种原因或机理引起的。在这种情况下，为表达严谨最好将其称为气候变化和变异（climatic change and variability），正如美国许多气候学家所采用的^[13, 17-18]；也有作者按照时间尺度对二者予以区分，把多年代（至少30年）以上时间尺度的气候要素变动称作气候变化，而更短时间尺度的气候要素波动称为气候变异。按时间尺度区分是基于这样的假设：由外强迫造成的影响具有长期性或持续性，而由于气候系统内部分量造成的影响具有短时波动性。但是，这个假设实际上可能不成立。外强迫如单个火山喷发造成的影响也可仅持续几年；而气候系统内部分量变异的时间尺度谱系可以很长，从月、季节到上亿年。因此，根据时间尺度区分气候变化和气候变异可能并不合适。

当前气候变化科学的一个艰巨任务是如何在观测的过去气候序列里识别出不同尺度气候变异的影响，特别是工业革命以来多年代以上尺度气候变异的作用^[9-10]。目前的研究基本上还是假设最近100年或者50年的全球或区域平均表面温度序列中不存在明显低频气候变异信号。这个假设是否成立，还需要深入研究、检验。

1.3 全球变暖

全球变暖（global warming），又称全球气候变暖（global climate warming）或气候变暖（climate warming），特指有完整气候观测记录的过去100多年全球性地表温度（包括陆地表面气温和海洋表面水温）明显上升的现象^[19]，以及陆地冰川消融和全球海平面上升等其他气候系统分量的响应过程。一般认为，这个时期的全球地表温度上升主要是工业革命以来人类排放温室气体等活动影响的结果；然而，古气候代用资料表明，这个时期的变暖也可能至少部分与北半球地面气温由15—19世纪“小冰期”的自然回返过程有关。

显然，全球变暖是特定时期内气候变化的特殊表现形式，可看作是气候变化概念的外延；如果考虑到目前对于全球变暖现象背后原因还有一定争议的事实，它甚至可能是特定时期内气候变异的特殊表现形式，可看作气候变异概念的外延。因此，全球变暖不等同于气候变化。后者可以发生在除地表温度以外的其他气候要素上，而且可以出现在更加久远的过去，并可发生在区域和局地等各种空间尺度上，也可以起源于自然的外部驱动因子作用。气候变化概念涵盖了全球变暖，也涵盖了古气候或历史气候。气候变化研究因全球变暖问题而备受重视，现代气候科学也因此获得快速发展。气候变化

这个概念不仅明显区别于全球变暖，也不等同于全球气候变化（global climate change）。如下所述，后者与全球变暖的含义更为接近。

气候学界以外的研究者，以及决策者和公众，一般还把气候变化和全球变暖两个术语看作同义词。显然，这和UNFCCC对气候变化的定义有渊源关系^[12]。UNFCCC将由于人类活动向大气中排放过量温室气体和气溶胶等引起的气候状态改变称为气候变化，而这个狭义的“气候变化”突出表现在全球地表温度显著增加上。因此，UNFCCC定义的气候变化，其含义比学术界定义的更加接近全球变暖、全球气候变化和人为气候变化等术语。

1.4 全球变化

全球变化（global change），又称全球环境变化（global environmental change），是指主要由于人类活动影响而造成的地球表层系统及其支持生命的环境的演变。全球变化的基本表现形式是可能由于温室气体排放而引起的全球气候变暖和海洋表层酸化及其各种伴生的气候、环境和生态变化，以及由于其他人类活动而引起的大气臭氧层破坏、土地荒漠化和生物多样性减少等具有全球性影响或表现的环境退化过程^[4, 7, 20-22]。

目前对全球变化这个概念的内涵、外延还有不同的理解^[23]。上述定义主要依据与其相关的20世纪中后期发起的三大国际合作研究计划的目标和内容。这三个计划分别是国际地圈—生物圈计划（IGBP）、世界气候研究计划（WCRP）和全球变化人文维度计划（IHDP），常统称为全球变化研究，或者地球系统科学^[4, 23]。

根据这个定义，全球变化与气候变化概念一样，涵盖了全球变暖，但一般不包含作为气候变化概念固有属性之一的自然外强迫驱动下的气候状态改变。全球变化概念强调了人类活动影响，但与全球变暖概念比较，又包含了温度以外其他气候要素变化，以及气候以外其他人类生存环境分量的变化。全球变化与气候变异两个概念内涵几乎没有交集。

1.5 其他科学术语

此外，气候变化学界还有其他几个常见相关术语，包括全球气候变化、气候转型、气候跃变和气候突变等。

全球气候变化（global climate change）是指可能由于人类活动影响导致的全球气候变暖及与其相关的其他气候要素或气候系统分量的变化。全球变化和气候变化均涵盖了全球气候变化，而全球气候变化则是全球变化和气候变化的核心属性。全球气候变化也涵

盖了全球变暖。在目前的全球变化和气候变化研究中，全球变暖、全球气候变化或人为气候变化及其影响、应对都是最重要的内容。

可以看到，全球气候变化这个术语的内涵最接近UNFCCC和绝大多数学术界以外利益相关方对“气候变化”的理解。如果IPCC使用该术语构架其科学评估报告内容，同时国际公约和谈判弃用“气候变化”，改用“全球气候变化”将更加有助于科学信息的交流，消除误解，促进这一重大全球问题的解决。如果做不到这一点，IPCC及其国际公约和谈判同时采用“人为气候变化”术语，也比目前情况好得多。

气候转型（climatic shift/climate regime shift）一般指气候要素或大气、海洋环流场从一种稳定状态快速转变到另一种稳定状态的自然过程，而气候跃变（climatic jump）和气候突变（abrupt climate change）则指气候变量历史时间序列中的快速涨落现象，其中前者可用以描述近、现代器测时期自然或人类活动影响下气候变量均值或极值的快速升降现象，后者一般指古气候时期自然外强迫或气候系统内部分量作用下气候变量的快速升降现象^[3-4]。典型的气候突变包括发生在末次冰期和冰退期北大西洋及其周边区域的平均温度快速大幅升降现象，区域性年或夏季平均温度在几年到几十年时间内上升或下降幅度可以达到5.0~10.0℃。发生在大约12.9~11.5ka BP的新仙女木事件，就是近2万来最典型的一次大尺度气候突变^[3]。作为对比，器测时期中纬度地区发生的气候跃变区域性年平均气温变化一般不会超过1.0℃。与前述描述气候要素或状态渐变的术语不同，气候转型、气候跃变和气候突变等术语用以描述气候要素或状态的快速涨落现象。

上述常见术语之间既有一定联系，又有明显区别。表1从适用时空尺度、原因和表现形式等方面比较了各个术语的内涵要素。

2 技术术语

2.1 气候变化监测

气候观测（climatic observation）是指通过设立气象站或气象站网，开展定常、连续、规范的气候变量测量，获取能够描述气候状态及其随时间变化记录的过程。气候观测要遵守共同的规则，所获取的观测记录即气候数据资料也需要统一管理。因此，气候观测可以归为气象业务范畴。

1992年由WMO、联合国教科文组织（UNESCO）、联合国环境规划署（UNEP）和国际科学联合会（ICSU）共同发起了全球气候观测系统（GCOS）计划，以满足对气候及与气候有关数据和

表1 气候变化常用科学术语基本含义比较

	时间尺度	空间尺度	人为外强迫	自然外强迫	内分量作用	表现形式
气候变化	大于30年	局地~全球	部分	部分	无	渐变
气候变异	大于1年	局地~全球	无	部分	部分	波动、渐变、快变
全球变暖	工业革命后	全球	部分或全部	部分或无	部分或无	渐变
全球变化	农业起源后	全球	全部	无	无	渐变
全球气候变化	工业革命后	全球	全部	无	无	渐变
气候转型	大于年代	局地~全球	无	无或部分	部分或全部	状态快速转换
气候跃变	工业革命后	局地~全球	无或部分	无或部分	部分或全部	快变
气候突变	工业革命前	局地~全球	无	部分	部分或全部	快变

信息的需求。GCOS计划取得了一定成绩，为国际和国家气候变化研究、评估活动提供了基础数据支撑。近年我国也制定、发布了中国气候观测系统（CCOS）计划及其实施方案，必将完善我国地面和高空气候观测网络布局，推动气候观测业务建设，为气候和气候变化研究、业务和服务提供高质量数据资料。

无论GCOS还是CCOS，都是为满足日益高涨的气候变化监测服务和气候变化检测研究需要而发展起来的。气候变化的监测和检测对观测资料数量和质量的要求是相当严格的，二者均要求具有长期、连续或均一、能够反映不同空间尺度因子影响的高质量气候观测数据^[8]。为此，GCOS设计发展了全球地面（GSN）和高空（GUAN）观测网；美国建设了一个国家地面气候基准观测网（CRN）；中国开始设计、建设新的国家气候基准站网。但是，这些针对基本气候变量的基准气候观测网，仍然存在改进的空间。

气候监测（climatic monitoring）是指利用历史和实时观测资料，对气候系统关键变量短历时（月、季、年）异常状态及其原因的动态监视和分析。这个定义涵盖了原来的气候诊断内容。气候监测也属于气象业务范畴，并直接服务于短期气候预测工作。

气候变化监测（climate change monitoring）是指利用历史和实时观测资料，对气候系统关键变量长期（趋势性或转折性）变化的动态监视和分析。气候变化监测也应该归属到气象业务范畴。

气候变化监测与气候监测的区别不仅体现在时间尺度上，前者强调较长时间尺度上的趋势性或转折性变化，而且也体现在内容和目的上。从内容上看，气候变化监测注重基本气候变量，如气温、降水、太阳辐射、风速和潜在蒸发等平均态的走势，以及极端气候事件频率和强度的趋势，同时也十分重视气候影响因子，如太阳活动、火山活动、温室气体、气溶胶、土地利用/土地覆盖以及气候响应变量（如植被指数、冰雪面积、湖泊水位、海平面、能源消耗、作物产量、河流流量等）的长期演化情况；气候变化监测的空间范围包括从单站到全球等不同的水平空间尺度，

今后全球和大陆、次大陆尺度气候变化监测工作应予以加强。此外，在垂直范围上，地面气候变化监测具有很好基础，将来高空气候变化监测应进一步重视；从监测目的看，气候变化监测不是为短期气候异常诊断和预测服务，而是直接为气候变化检测、归因、预估以及影响评价等基础性研究服务。

气候变化监测业务首先要求具备一个完善的气候观测网络，积累了一定长度（至少30年）的历史观测资料，并与实时观测资料结合，通过质量控制、均一化处理以及城市化影响偏差订正，获得免除各种随时间变化断点和系统偏差的高质量资料数据集；然后要求发展和采用能够反映气候平均状态和极端性的指标体系，以及使用针对不同空间尺度的时间序列构建和分析方法；最后需要建立一个基于计算机自动处理程序的气候变化监测业务系统。

与气候监测比较，气候变化监测对历史观测资料序列长度和质量有更高的要求。一般情况下，历史观测记录时间长度不应少于30年，最好跨越两个完整的30年基准气候期。观测资料序列要具有良好的时间连续性和均一性，特别要求没有或者消除了由于更换仪器、站址迁移、观测规范变换等各种人为影响造成的序列断点或非均一性。在区域、大陆和全球尺度上，气候变化监测还要求资料序列免除局地人为和自然因子影响造成的系统性偏差，如地面气温、风速和相对湿度等气候要素序列中的城市化影响偏差^[24-25]。

2.2 气候变化检测

气候变化检测（climate change detection）是指证实所关注时段内观测到的气候系统关键变量长期（趋势性或转折性）变化在统计意义上是显著的，无法用相应时期内气候系统内部自然变异性来解释的一个分析过程。气候变化检测隶属研究范畴。

和气候变化监测一样，气候变化检测研究对观测资料序列的均一性和以及各种人为和自然因子影响造成的系统性偏差，具有很严格的要求。不同于气候变化监测，气候变化检测不要求实时性和滚动开展，可以利用非实时或更新的观测资料对过去某一特定时段

进行分析研究，但要求对探测到的长期变化的统计显著性做出判别，并对气候系统内部自然变异影响的可能性进行排除。显然，最后一个任务实际上已经涉及气候变化归因研究了，仅仅依据目前的仪器观测资料和方法，是十分困难的一项工作。仪器观测资料一般仅有100多年，许多地区观测记录长度更短，无法捕捉多年代到世纪时间尺度上的自然气候变异，即使检测到某一特定时段内某一气候变量的趋势变化在统计上是异常显著的，也不能确认这种显著的趋势变化不是气候系统内部低频变异性作用的结果。因此，在很多情况下，气候变化检测需要借助代用资料和古气候分析，但代用气候资料本身也存在诸多不足或局限性。

气候变化归因 (climate change attribution)，检测到显著的长期变化不一定意味着其原因已经认清了，把这种变化同各种人为或自然强迫因子的分别影响关联起来的过程就是气候变化归因。气候变化归因首先要求证明，观测的显著变化不能由气候系统内部自然变异来解释；然后还要证实，各种已知的外强迫包括自然强迫和人为强迫对特定时段气候变量长期变化的分别贡献是多少^[24, 26-27]。因此，气候变化归因是建立因果关系的一个过程，包括检验各种假设条件。

气候变化归因是一项极为困难的工作，也是目前气候变化基础科学领域最具争议性的研究。争议的主要原因在于人们对地球气候系统对主要外部影响因子的敏感性认识不足，对气候系统内部低频变异规律了解不充分，对用于归因分析的气候系统模式再现多年代尺度自然变异的能力缺乏足够信心。

气候变化检测与归因具有密切联系，二者经常同时使用，把检测作为归因分析的前提，而把归因作为检测研究的自然延伸。在一些使用中，甚至就用气候变化检测表示二者的全部含义。

2.3 气候变化预估

同气候变化预估相关的术语主要是气候预测和天气预报。气候预测 (climatic prediction) 是指依据当前气候监测结果以及对过去气候异常机理和成因的认识，对特定区域未来月、季、年到年代尺度气候异常程度及其可能性所做的陈述。

气候预测的一个基本假设是，影响因子与预测变量之间的统计和物理关系不随时间变化。气候预测的成败主要取决于对过去气候异常机理的了解，以及气候监测所提供的当前阶段气候影响因子条件，预测结果的不确定性较大。天气预报 (weather forecast) 不同于气候预测，前者主要依据当前 (今天) 的大气状态和前几天的大气条件，推知未来数日的天气现象和

大气变量异常情况，不依赖那些作为边界条件的其他潜在影响因子 (如海温、土壤水汽和人类活动等) 的可能变化，其结果的准确性一般比气候预测要高。

气候变化预估 (climate change projection)，也常常简称为气候预估 (climate projection)，通常是指根据一些假设条件对未来年代以上尺度气候演化趋势及其可能性的判断，特指依据不同的温室气体和气溶胶排放或大气浓度可能情景，利用气候模式对未来几周到上百年长期气候变化趋势的模拟和分析。

气候变化预估结果的可靠性主要取决于排放或浓度情景的设定，对气候系统敏感度的认识，以及气候模式的模拟能力^[10, 13, 28]。排放或浓度情景根据社会发展情况设定，主要参考未来可能的人口增长、经济增长、能源技术进步等因素，假设若干个未来温室气体和气溶胶排放量或大气浓度路径，用作气候模式的输入；气候系统敏感度一般指针对辐射强迫改变地球表面平均温度的平衡变化，但目前特指当大气中二氧化碳当量浓度达到工业革命前基准值 (280ppmv) 的2倍时地球表面年平均温度的平衡响应幅度，通常认为在1.5~4.5℃；气候模式的模拟能力是指在给定条件下，加入外强迫因子后，模式再现气候平均态和不同时间尺度变异性的程度。所有这些都存在着很大的不确定性，其中气候敏感度和气候模式的不确定性都非常大，均需要长期持续研究解决^[5]。

最近得到广泛关注的20世纪90年代末以来全球变暖趋缓现象^[10, 29]，再次表明过去对气候敏感度的认识和对气候模式模拟能力的信心需要调整。在迄今为止历次IPCC报告中，几乎所有复杂气候模式都没能正确模拟出1998年以来的全球表面温度增加趋缓现象^[9-11]。造成这一尴尬局面的原因，很可能在于气候系统模式中的海洋模式不具备模拟多年代尺度自然变异的基本能力，以及人们对长时间尺度自然气候变异性规律和机理的认识存在明显不足^[30-31]。

因此，气候变化预估给出的未来大尺度气温变化结果，其可信性比气候预测还要低，不确定性区间比较宽泛，只能理解为各种假设条件均得到满足情形下未来温度演变宽泛趋向的可能性；对于降水和极端气候事件变化，以及局地区域的温度趋势，气候变化预估结果的可信程度就更低，目前尚无充分信心将其应用于气候变化影响研究和应对决策考量之中。气候变化预估的时间尺度也比气候预测来得长，现阶段一般主要针对未来30年以后。

上述技术性术语之间存在密切联系，但也具有明显的区别。表2列出了各个术语的基本含义及其主要区别。

总体来看，天气预报、气候监测、气候预测等术

表2 气候变化科学若干术语基本含义比较

中文名	英文名	时间尺度	空间尺度	工具、方法与资料	可靠性(准确性)	属性分类
气候观测	Climatic observation	分钟到数百年	局地~全球	仪器设备、卫星遥感、通讯设备	高	业务
气候监测	Climatic monitoring	月、季、年、年代	局地~全球	观测和再分析资料、统计技术	高	业务
气候变化监测	CC monitoring	多年代到世纪	局地~全球	观测资料、统计技术	较高	业务
气候变化检测	CC detection	多年代到世纪	局地~全球	观测资料、统计技术	较高、中	研究
气候变化归因	CC attribution	多年代到世纪	区域~全球	观测资料、统计技术、气候模式	中、较低	研究
天气预报	Weather forecast	小时、日、数日	局地~全球	观测资料、卫星、雷达、天气图、数值模拟等	较高	业务
气候预测	Climatic prediction	月、季、年、年代	局地~全球	再分析资料、统计技术、气候模式	中	业务
气候变化预估	CC projection	多年代到世纪	区域~全球	排放或浓度情景、气候模式、地球系统模式	较低	研究

注: 可靠性或准确性按从高到低顺序分为5级: 高、较高、中、较低、低; CC是Climate Change的缩写。

语涉及的时间尺度比较短, 天气预报最短, 而气候变化相关的术语涉及的时间尺度至少30年以上, 气候观测跨越最完整的时间谱, 从分钟到数世纪; 气候变化归因和预估涉及到区域以上空间尺度, 因为目前对于局地或流域尺度的归因和预估还受到很低的信噪比以及模式模拟能力制约, 其他术语均涉及局地到全球尺度; 从所采用的技术手段、方法和资料来看, 气候观测主要采用各类气象仪器、卫星遥感和雷达、通讯设备等, 需要高标准的硬件建设, 气候监测、气候变化监测和检测主要使用历史和实时观测资料和统计技术, 气候监测还重视使用再分析资料, 气候变化归因、气候预测和气候变化预估除了利用各类观测资料外, 还利用气候模式技术; 产品或分析结果的可靠性(准确性)最高的是气候观测和气候监测, 较高的有气候变化监测、气候变化检测和天气预报, 中等的为气候预测, 但气候变化监测和检测在一些情况下也可达到中等水平, 较低的是气候变化预估, 气候变化归因在一些情况下也属于较低水平; 按属性划分, 气候观测、气候监测、气候变化监测、天气预报和气候预测都属于气象服务部门的基本业务范畴, 而气候变化检测、气候变化归因和气候变化预估则为科学研究范畴。

3 结束语

科学和技术术语的内涵和外延随着认识的深化而不断演变。本文讨论的气候变化科学技术常用术语主要依据当前研究和业务现状总结概括, 未来学术界和业务部门对它们的认识还会变化。另外, 气候变化问题涉及地球科学的许多学科领域, 与环境科学和生命科学具有密切联系, 不同学科和领域对同一术语的理解也有差异。本文仅试图从气候学或大气科学领域当前的认识水平出发, 提出初步释义建议, 疏漏谬误在所难免, 期待今后补充和完善。

致谢: 本文撰写获益于此同石广玉、李崇银、丁一汇先生的讨论。也感谢两位匿名审稿人的建设性意见和评论。

参考文献

- [1] 秦大河, 丁一汇, 苏纪兰. 中国气候与环境演变(上卷). 北京: 科学出版社, 2005.
- [2] 王绍武, 赵宗慈, 龚道溢, 等. 现代气候学概论. 北京: 气象出版社, 2005.
- [3] Bradley RS. Quaternary paleoclimatology: Methods of paleoclimatic reconstruction. Boston: Allen & Unwin, 1985.
- [4] 张兰生, 方修琦, 任国玉. 全球变化. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [5] Pielke RA Sr. Overlooked issues in the U. S. national climate and IPCC assessments—An editorial essay. Climatic Change, 2002, 52: 1-11.
- [6] 石广玉, 王喜红, 张立盛, 等. 人类活动对气候影响研究 II: 对东亚和中国气候变化与变率影响. 气候与环境研究, 2002, 7: 255-266.
- [7] 叶笃正, 符淙斌, 董文杰, 等. 全球变化科学领域的若干研究进展. 大气科学, 2003, 27 (4): 435-450.
- [8] 丁一汇, 任国玉. 中国气候变化科学概论. 北京: 气象出版社, 2008.
- [9] IPCC. Climate change 2007: The physical science basis. Solomon S, Qin D, Manning M, et al. (eds.). Cambridge: Cambridge Univ Press, 2007.
- [10] IPCC. Climate change 2013: The physical science basis. Stocker T F, Qin D, Plattner G, et al. (eds.). Cambridge and New York: Cambridge University Press, 2013.
- [11] IPCC. Climate change 2001: The scientific basis. Houghton J T, Ding Y H, et al. (eds.). Cambridge: Cambridge Univ Press, 2001.
- [12] UNFCCC. Convention on climate change. UUEP/IUC, Geneva Executive Center, Switzerland, 1992.
- [13] CCSP. Revised research plan for the U.S. climate change science program, A report by the climate change science program and the subcommittee on global change research. 2008.
- [14] Li CY, Li G L. The NAO/NPO and interdecadal climate variation in China. Advances in Atmospheric Sciences, 2000, 17: 555-561.
- [15] 周连童, 黄荣辉. 关于我国夏季气候年代际变化特征及其可能成因的研究. 气候与环境研究, 2003, 8 (3): 274-290.
- [16] Barring L. Climate: Change or variation? . Climatic Change, 1993, 25 (1): 1-13.
- [17] National Assessment Synthesis Team. Climate change impacts on the United States: the potential consequences of climate variability and change. Cambridge: Cambridge University Press, 2000.
- [18] MacCracken M C. Do the uncertainty ranges in the IPCC and U.S. national assessments account adequately for possibly overlooked climatic influences? An Editorial Comment, Climatic Change, 2002, 52: 13-23.
- [19] Weart S R. The discovery of global warming. Harvard: Harvard University Press, 2003.
- [20] Malone TF, JG Roederer. Global change. Cambridge: Cambridge University Press, 1984.
- [21] 叶笃正, 符淙斌, 董文杰. 全球变化科学进展与未来趋势. 地球科学进展, 2002, 17 (4): 467-469.
- [22] 陈宜瑜, 陈泮勤, 葛全胜, 等. 全球变化研究进展与展望. 地学前缘, 2002, 9 (1): 11-18.
- [23] 曲建升, 葛全胜, 张雪芹. 全球变化及其相关科学概念的发展与比较. 地球科学进展, 2008, 8(12): 1277-1283.
- [24] NRC (National Research Council). Understanding and responding to climate change: Highlights of National Academies Reports, 2008 edition. Washington D C, 2008.
- [25] 任国玉, 任玉玉, 李庆祥. 全球陆地表面气温变化研究现状、问题和展望. 地球科学进展, 2014, 29(8): 934-946.

- [26] Barnett T P, Hasselmann K, Chelliah M, et al. Detection and attribution of recent climate change: A status report. Bulletin of the American Meteorological Society, 1999, 80 (12): 2631-2659.
- [27] Barnett T. Detecting and attributing external influences on the climate system: A review of recent advances. Journal of Climate, 2005, 18: 1291-1314.
- [28] MacCracken M C. Do the uncertainty ranges in the IPCC and U.S. national assessments account adequately for possibly overlooked climatic influences? An Editorial Comment. Climatic Change, 2002, 52: 13-23.
- [29] Kosaka Yu, Xie S P. Recent global-warming hiatus tied to equatorial Pacific surface cooling. Nature, 2013, 501, doi:10.1038/nature12534.
- [30] Lean J L, Rind D H. How natural and anthropogenic influences alter global and regional surface temperatures: 1889 to 2006. Geophysical Research Letters, 2008, 35 (18), doi:10.1029/2008GL034864.
- [31] Meehl G A, Arblaster J M, Marsh D R. Could a future "Grand Solar Minimum" like the Maunder Minimum stop global warming? Geophysical Research Letters, 2013, doi: 10.1002/grl.50361.

确定预报和集合预报的捆绑协同——ECMWF培训有感

■ 钟琦 王启光

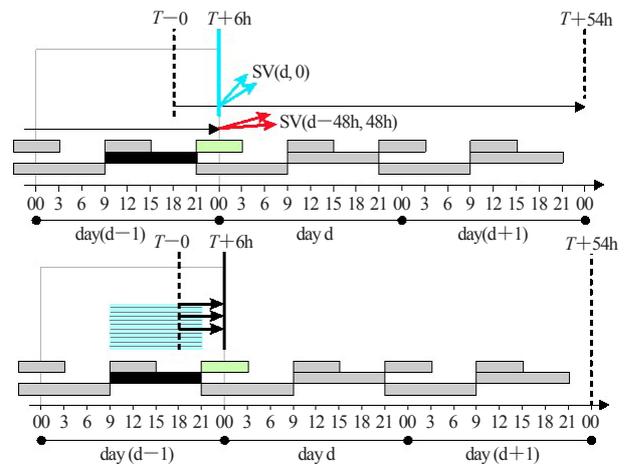
2015年4月20—29日，笔者一行赴欧洲中期天气预报中心（ECMWF）参加了“2015年数值预报系列之大气可预报性与海—气系统集合预报”的培训，通过课程学习，尤其与ECMWF研究部主任Erland Källén博士和可预报性部门主管Roberto Buizza博士的交流中，笔者深切地感受到ECMWF未来的发展重心将继续致力于提高确定性预报的准确率，并在此基础上继续推进集合预报的发展。概括来说，减小其数值预报的初值误差和大力改进模式物理描述仍是其核心目标，包括发展先进的同化技术（如，Ensemble of Data Assimilations）；提高全球数值预报模式分辨率（2015年达8~10km）；改进模式物理，尤其是云物理过程的描述；等等。然而数值模式的初值和模式固有的误差总是无法彻底消除的，并且考虑到大气本身的不确定性随时空尺度和天气系统的变化，集合预报成为提高定量估计预报的可信度、延长数值预报的预报时效和减少预报不确定性的重要手段。ECMWF预计2025年集合预报模式达5km分辨率；高影响天气的预报时效提前到2周；大尺度天气形势和环流调整的预报时效提前到4周；全球尺度异常的预报时效提前到1年。ECMWF集合预报技术的发展经验，不论是针对初值不确定的，如集合同化—奇异向量集合（EDA-SVINI ENS，见附图），还是针对模式不确定的随机物理扰动，如随机全倾向扰动法（stochastically perturbed physics tendencies, SPPT）和随机动能补偿方案（stochastic kinetic energy backscatter, SKEB），均指出，好的集合预报效果与准确的确定预报密切相连。也即，基于更接近真实的初值和物理过程才能产生出更有效的初值扰动和物理扰动。事实上，无论数值预报处于何种发展阶段，高分辨率的确定性预报和集合预报都不是替代关系，而是相互补充的关系。高分辨的确定性预报能提供更接近真实的更细致的细节预报，但初值和模式的固有缺陷无法消除；集合预报能提供可预报性的定量评估和更多可能更接近真实的预报选择，但好的集合预报是建立在较准确的确定预报基础之上的。因此，ECMWF抓住

了两者互补和互相促进的核心思想，将两者捆绑在一起协同发展，最终实现提高天气预报准确率和延长预报时效的目标。这也是当前ECMWF在确定性中期天气预报和集合预报水平都处于世界领先水平的原因之一。而在未来，确定性预报和集合预报的平衡发展，及其产品的综合运用将是模式研发人员和广大预报员要共同面对的现实而重要的挑战。

另外，值得一提的是此次培训方的组织方式和快速反应能力。ECMWF培训部提前1个月即开始释放滚动的课程信息，包括课程设计、参考阅读材料、课件素材、甚至部分课程录音，以便学员提前熟悉课程内容，带着问题参加培训。在课程前一周开放了交流论坛，听取学员对课程的想法和要求，当我们提出希望学习到针对模式不确定的随机物理过程扰动内容时，举办方迅速做出反应，在第一周课程中增加了一堂相关内容的课程。而且在培训过程中，基本一小时的课程讲解后跟随半小时的自由交流时间，有助于学员对课堂知识有更多的消化和更深入的认识。

（作者单位：中国气象局气象干部培训学院）

附图：



基于集合同化的奇异向量初值扰动（EDA-SVINI ENS）概念图