

# 从“气候”到“全球气候系统”概念的发展

王绍武

(北京大学物理学院大气与海洋科学系, 北京 100871)

**摘要:** 气候学中从“气候”的概念发展为“全球气候系统”标志着科学的发展。从现代气候学的观点看, 气候是全球气候系统的特征, 而不是局部的温、湿、压。科学技术进步是全球气候系统概念建立的基础, 这主要指: 高速电子计算机的制造, 全球观测系统的建立, 及气候模式的发展。气候科学的发展同社会发展的关系越来越密切。

**关键词:** 气候, 气候系统, 气候学, 气候模式

## From "Climate" to "Global Climate System"

Wang Shaowu

(Department of Atmospheric and Oceanic Sciences, School of Physics, Peking University, Beijing 100871)

**Abstract:** Change of conception in climatology from "climate" to "global climate system" characterizes the development of science. Climate, now from the point-view of modern climatology, is the character of global climate system, rather than temperature, precipitation, and sea level pressure in a local site. Advancement of science and improvement of technology provided the basis for the formation of modern conception "global climate system", namely, the manufacture of high-speed computers, the establishment of the global observational system, and the development of the global climate system model. Progress of climatology more and more closely relates to the development of society.

**Key words:** climate, climate system, climatology, climate model

### 1 经典的气候概念

经典气候学对“气候”的理解是狭隘的。这表现在3个方面: 气候平均值, 气候代表要素及气候成因<sup>[1]</sup>。(1) 把30年平均做气候平均是一个重要的概念, 至今英文都把这个平均称为“normal”, 直译即“标准值”。经典气候学的概念是如果对一个气象站有了30年的观测, 则可以得到一个气候的“标准值”, 这个值可以用来描述本站的气候特征。既然这个值是“标准的”, 也就意味着是“不变的”。这样就排除了气候变化的概念。开始国际气象组织(IMO)统一规定用1901—1930年平均为标准值, 后来世界气象组织(WMO)又改用1931—1960年平均, 当时已经考虑到测站的增加影响。由于人们广泛承认气候变化, 所以WMO决定2011年以前用1971—2000年平均, 从2011年开始用1981—2010年平均, 以后每10年更新一次。这样既可以适应气候的变化, 也能照顾到新的观测资料覆盖面的增加。(2) 经典气候学认为对于一个气象站有了温、湿(降水量)、压(气压)的观测, 就掌握了该站的基本气候特征。当然, 我们并不反对这3个要素是最基本的气候要素, 但是把对气候特征的认识局限于这3个要素, 无疑就限

制了对气候的了解<sup>[2]</sup>。例如现代气候学研究表明, 对于陆地测站雪盖也是一个重要的要素, 降水量的记录并不能完全代替雪盖的记录, 雪盖的存在不仅依赖于降水量, 与温度、风、云等要素也有密切的关系。因此, 雪盖是一个综合性的气候要素, 认识雪盖这个要素, 对研究一个地区的气候特征, 研究气候变化, 乃至短期气候预测均有重要意义。又如云也是一个重要的要素, 云的变化对温室效应的影响至今仍是研究全球气候变暖中一个未解决的问题。因此, 仅仅用地面观测的温、湿、压3要素来描述气候是不完全的。(3) 经典气候学把影响气候形成的因子归纳为3个: 测站所在经纬度、海陆分布及大气环流。无疑这3个因子在决定一个地区的气候特征中有重要的作用。经纬度决定了太阳辐射条件, 海陆分布决定了气候大陆度。另外在不同的地理位置大气环流条件不同, 例如是在中纬度还是在热带, 在大陆西岸还是在大陆东岸, 大气环流条件有根本的差异。但是现代气候学研究表明, 除了这3个因子之外, 还有一些不可忽略的因子, 如ENSO、温室气体、热盐环流。海气相互作用, 特别是ENSO的影响是当前短期气候预测的核心问题。温室效应是温室气体变化的影响, 由于大气中CO<sub>2</sub>浓度增加, 使大气的温室效应加剧, 气候变暖, 这是当前国际上的热门问题。又如热盐环流(Thermohaline Circulation), 全球大洋深层环流的变化对海洋中的热量交换与局地气候, 如北大西洋两

收稿日期: 2011年8月4日

作者: 王绍武(1932—), Email:swwang@pku.edu.cn

资助信息: 科技部创新方法工作专项项目  
(2008IM020500)

岸的气候有关键性的作用。这些是在过去都不认识或认识不够的因子。这说明仅仅局限于从局地的因素来认识气候的形成是不够的。气候是全球气候系统各圈层之间相互作用的结果，而且这个相互作用是全球性的。

## 2 全球气候系统概念的建立

从1979年召开第1次世界气候大会，到IPCC（政府间气候变化专门委员会）于1990，1995，2001及2007年先后发表了4次评估报告<sup>[3-6]</sup>，现代气候学已经形成了“全球气候系统”的概念。人们不再把气候视为一个“不变的”、“地面的”及“局地的”现象。根据现代气候学的概念，气候是在全球气候系统影响下形成的。气候的形成是地球的5个圈层相互作用的结果，这包括大气圈、水圈、冰冻圈、陆面及生物圈。例如“全球气候变暖”，对这个问题的现代气候学认识不仅仅局限于温度上升，也包括了冰雪的融化、海平面上升、植被变化等。现代的短期气候预测，特别是对未来长期气候变化的预估，都是以海—陆—大气耦合模式或全球气候系统模式为基础。因此，可以认为现代气候学已经用新的“全球气候系统”概念代替了经典气候学的狭隘的“气候”概念。

从“气候”到“全球气候系统”概念的更新不仅不是一朝一夕就能做到的事，而且有重要的“社会”与“科学”的背景。“社会”背景就是人们对气候认识需求的增长。气候预测就是一个最明显的例子。当天气预报仅限于“短期”（24小时）的时效以内时，似乎人们只考虑当前的大气状况就足以应付了。因此早期的短期天气预报是以大气模式为基础。后来当人们提出中期（10天以内）数值预报时，就需要应用海气耦合模式，也就是要考虑海—气的相互作用，所以预测模式逐渐采用海洋—大气耦合模式。这时对海面温度的异常，海冰、雪盖、植被的变化，似乎还可以忽略不计。但是人们需要进一步做短期气候预测，则考虑海面温度异常成为一个中心问题。而且由于预测时间长，还要考虑海面温度异常的变化。目前，由于模式的预测能力限制，所以对热带太平洋海面温度单独做预测，然后再用来强迫大气环流模式的技术取得了一定的效果。而完全的海洋—陆面—冰雪—大气全方位耦合的全球气候系统模式仍在研制与不断改进之中。不过，全球气候系统模式无疑不仅是长期气候预估，也是短期气候预测发展方向。这个例子说明，对气候预测需求增加，是社会的发展对气候科学发展的核心推动力。离开了社会的需求，任何科学也不会自行发展的<sup>[7, 8]</sup>。

并不是社会发展了，自然灾害的影响就会自己减

弱，相反社会的脆弱性反而会增加。例如，今天有了电网、有了高速公路，大风雪对中国南部的影响要远远超过明清时期，尽管那时的风雪可能还要更强。因此，现代社会对气候预测的要求一天比一天高。特别是现代人类活动对环境造成了破坏，人们迫切需要了解这种破坏对人类生活和社会发展的影响。就是在这样巨大社会需求的驱动下，全球气候系统的概念才进入社会、也进入了科学界。

## 3 建立全球气候系统概念的科学基础

社会的需求是一个问题，如何来响应这个需求则是另一个问题。这就关系到科学的发展。气候学像任何一个科学分支一样，其发展是不能脱离整个科学发展水平的。气候系统概念的建立有3个重要的科学支柱，即高速电子计算机的发明与发展、以卫星为主体的全球观测系统的建立以及全球大气环流模式的开发。

### (1) 大型高速电子计算机

在没有发明高速电子计算机之前，科学上的大量计算都是靠人力进行的。Walker为了研究世界三大涛动，在第1次世界大战之后就曾经雇佣了二百多人，进行了4年的计算，这才导致了1920年代到1930年代发表著名的“世界天气”系列研究。那时唯一的工具是手摇计算机。在这种情况下，数值天气预报是不可能实现的。最早的实验证明计算的速度远远落后于天气发展的速度，因此无论原理如何，从技术上讲，数值预报是不可能的。现在，国际上最快的计算机已经达到了若干万亿次/秒，中国自行设计的计算机也步入世界先进行列，数值预报也就成为许多国家气象局天气预报以及短期气候预测的主要业务。全球气候变暖预估研究的一个重要基础就是用耦合模式或全球气候系统模式做长期积分，有时是达到百年以上的积分<sup>[9-11]</sup>。

### (2) 全球观测系统

建立气候系统概念的另一个基础是全球的观测系统。没有对地球各个圈层的全球尺度观测是不可能建立任何全球模式的。无论大气环流模式，海洋—大气耦合模式，还是全球气候系统模式毫无疑问都需要对大气、海洋、陆面、冰冻圈及生物圈层有全面的了解。卫星观测是提供这些资料的主要来源。因为只有卫星观测才能覆盖那些荒无人烟的高山、冰原、沙漠、大海等没有可能进行日常观测的地区。1950年代后期人造地球卫星的发射提供了广泛的前景。到了1980年代初，人们逐渐开始了全球海冰、积雪、大洋中部海面温度的观测，因此也就积累了足够的覆盖全球的观测，这为建立全球气候系统模式打下了重要的基础<sup>[7, 8]</sup>。

### (3) 气候模式

有了高速电子计算机,到1980年代计算速度已经提高到百万次/秒至千万次/秒以上,具备了长期积分全球大气环流模式的能力。大气环流模式、海洋—大气耦合模式乃至全球气候系统模式相继发展。开始只是进行3天的短期数值预报,1980年代逐渐开始试做月平均环流预报,模式也逐渐改为以海洋—大气耦合模式为主。目前逐日预测大约以10天为界,欧洲哈得来中心的10天预测达到了相当高的水平。月平均环流的短期气候预测也做到1~3个季度。为了进行未来数十年到一个世纪的气候预估,全球气候系统模式在研制与不断改进之中。为了研究千年乃至万年的古气候变化,又开发了中等复杂程度的气候模式。这些模式的建立成为当前气候预测与预估及古气候模拟的主要手段。气候模拟为气候再分析计划提供了重要的支撑,形成了近50年到100年的再分析资料同化系统。这个系统反过来又对气候预测、气候预估及气候模拟提供了重要的资料基础<sup>[7]</sup>。

总之,高速计算机、全球观测、气候模式是当前全球气候系统研究的3个重要支柱,缺一不可。也只有在这3个支柱的支撑下,才建立了全球气候系统的概念。从“气候”到“全球气候系统”概念的发展,使气候学以崭新的面貌出现于世界。气候学研究的一个主要目标就是预测,预测气候的变化是人类社会最主要的需求。预测是多方面的,从短期气候预测到上百年的气候预估,以至对万年尺度气候变化成因及变化规律的分析,都是当前气候学面临的核心课题。古为今用,研究古气候变化,其中一个重要的目的也是为了预测未来的气候变化。因为一方面我们要了解时间尺度为万年、千年的古气候,另一方面也为了估算当前人类活动造成的气候变化。在这方面,高科技的发展,提供了前所未有的重要信息。<sup>14</sup>C及不同同位

素分析给古气候年代学研究打下了基础, $\delta^{18}\text{O}$ 及 $\delta^{13}\text{C}$ 分析为古气候研究提供了可能。如今人们已经对过去约百万年的气候有了前所未有的了解。对发生于几十年乃至十年以内的气候突变有深刻的认识,这都是近20年,甚至近10年才得到的结果。这些基本资料为更精确的气候预估提供了可能<sup>[12]</sup>。

因此,当我们回顾气候学的发展,分析从经典的气候概念到现代全球气候系统概念的发展,就会看到气候学概念的发展是与社会及科学的发展息息相关的。没有社会的需求这种发展不可能提上日程,没有整个科学的进步这种发展也是不可能实现的。

### 参考文献

- [1] 王绍武. 气候系统引论. 北京: 气象出版社, 1994.
- [2] The Physical Basis of Climate and Climate Modeling, Report of the International Study Conference in Stockholm, 29 July-10 August, 1974, GARP Publications Series No. 16, 1975.
- [3] IPCC. Climate Change: The IPCC Scientific Assessment. Houghton J T, Jenkins G J, Ephraums J T, eds. Cambridge: Cambridge University Press, N Y: United Kingdom and New York, 1990.
- [4] IPCC. Climate Change 1995: The Science of Climate Change. Houghton J T, et al, eds. Cambridge: Cambridge University Press, N Y: United Kingdom and New York, 1996.
- [5] IPCC. Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Houghton J T, et al, eds. Cambridge: Cambridge University Press, N Y: United Kingdom and New York, 2001.
- [6] IPCC. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Solomon S, Qin D, Manning M, et al, eds. Cambridge: Cambridge University Press, N Y: United Kingdom and New York, 2007.
- [7] 丁一汇. 气候变化. 北京: 气象出版社, 2010.
- [8] 王绍武. 现代气候学研究进展. 北京: 气象出版社, 2001.
- [9] 威廉·伯勒斯. 21世纪的气候. 秦大河, 丁一汇, 等译校. 北京: 气象出版社, 2007.
- [10] 丁一汇. 中国气候变化—科学、影响、适应及对策研究. 北京: 中国环境科学出版社, 2009.
- [11] 《气候变化国家评估报告》编写委员会. 气候变化国家评估报告. 北京: 科学出版社, 2007.
- [12] 王绍武. 全新世气候变化. 北京: 气象出版社, 2011.

### 会议信息

- ◆ 可持续的地球科学会议（第一届会议和展览）（Sustainable Earth Sciences, 1<sup>st</sup> Conf. and Exhibition），2011年11月8—11日，西班牙，巴伦西亚（<http://www.eage.org/events/index.php?evp=5184&ActiveMenu=>）
- ◆ 第五届国际空间地球会议——最有效的解决方案（Earth from Space – The Most Effective Solutions, 5<sup>th</sup> Int. Conf.），2011年11月28—12月1日，俄罗斯，莫斯科（<http://www.conference.scanex.ru/index.php/en.html>）
- ◆ 第八届欧洲空间天气周（8<sup>th</sup> European Space Weather Week），2011年11月28—12月2日，比利时，Namur（<http://sidc.oma.be/esww8>）
- ◆ 地球观测海洋—大气相互作用科学会议（Earth Observation for Ocean-Atmosphere Interaction Sciences），2011年11月29—12月2日，意大利，Frascati（<http://www.eo4oceanatmosphere.info/>）
- ◆ 第39届COSPAR科学大会（39<sup>th</sup> COSPAR Scientific Assembly），2012年7月14—22日，印度，Mysore（<http://www.cospar-assembly.org>）
- ◆ 欧洲气象卫星中心2012年气象卫星大会（2012 EUMETSAT Meteorological Satellite Conference）2012年9月3—7日，波兰，索波特（<http://www.conferences.eumetsat.int>）
- ◆ ISTP国际研讨会议（International Symposium on Tropospheric Profiling, ISTP），2012年9月3—7日，意大利（<http://cetemps.aquila.infn.it/istp/>）
- ◆ 2012年海洋科学会议（2012 Ocean Sciences Meeting），2012年2月20—24日，美国，犹他州，盐湖市（<http://www.tos.org/index.html>）
- ◆ 欧洲地学联盟大会（European Geosciences Union General Assembly）2012年8月22—27日，奥地利，维也纳（<http://meetings.copernicus.org/egu2012/home.html>）