

太阳对气候的影响机制不仅仅是总辐射能量

——“太阳变率与地球气候”研讨会评介

■ 董仕 肖子牛

美国科学院国家研究委员会于2011年4月25日在美国科学院Keck中心(National Academies Keck Center)举行了主题为“太阳变率和地球气候”的研讨会(The Effects of Solar Variability on Earth's Climate: A Workshop Report), 参会人员主要来自太阳变率与地球气候委员会和空间研究委员会等。此次研讨会, 旨在探索过去1万年地球气候的变化和太阳可能存在的联系, 对过去、现在的太阳和太阳变率进行了总结, 点出了在不同时间尺度下太阳和气候的关系, 以及太阳和气候关系的相关机制。

太阳辐射是地球主要的能量来源。太阳辐射总量在地球大气中的变化可能会引起地球辐射的收支失衡, 使得近地面温度发生相应变化。太阳变化具有多时间尺度特征, 从长期趋势看, 太阳在过去10亿年间正向着一个红巨星(红巨星是恒星燃烧到后期所经历的一个较短的不稳定阶段, 表面温度相对很低, 但极为明亮)演化, 亮度一直在增长。一般而言, 太阳活动大部分10年到几千年周期的波动都是和太阳磁场的变化相联系的。太阳总体释放的能量巨大, 所以其到达地球的能量微小变化在持续数10年之后也会在很大程度上影响地球气候。

古气候变化的显著性特点就很可能是在太阳活动周期在几十年到几千年长时间尺度上影响的结果。尽管在过去的50年中, 通过卫星观测到的太阳辐射能量变化都还不足以对全球平均气温的上升产生显著影响。太阳活动和气候变化之间的联系越来越引起人们的重视, 甚至有人认为太阳变化有可能是ENSO循环的原因。一个令人鼓舞的进展来自



探索过去1万年地球气候的变化和太阳可能存在的联系, 对过去、现在的太阳和太阳变率进行了总结, 点出了在不同时间尺度下太阳和气候的关系, 以及太阳和气候关系的相关机制。

“自上而下(top-down)”的太阳影响模型, 即太阳的变率首先扰动平流层, 继而强迫对流层而影响地球表面温度。与此同时, “自下而上(bottom-up)”的影响观点则认为太阳辐射能量通过海陆动力和热力的相互作用而影响气候变率。

太阳变率影响气候的潜在可能性包含两个方面:

一是宇宙射线作用: 通过观察已经可以演示出太阳黑子的数量和宇宙射线通量存在着负相关。太阳风强度的调整影响着宇宙射线到达地球的通量。当宇宙射线穿过地球大气层的时候, 会留下一种离子化通道, 提供冷凝中心源来影响云量和地球的反照率; 宇宙射线也会通过雷暴影响地球表面到对流层的电荷分布, 从而对地球大气层的全球电路产生影响。因此, 宇宙射线具有影响地球气候变化的潜在可能性。

二是太阳总辐射变率作用: 太阳辐射总量(TSI)具有周期变化特征, 从而导致气候的周期变化。其中之一就是“自下而上”的影响机制, 这种机制在热带地区最强, 因为其主要通过热带地区气候系统中复杂的云反馈作用实现, 可能会放大影响效果, 从而影响高纬度和全球大气。第二个是所谓的“自上而下”机制, 主要通过调整平流层对紫外线的吸收来实现。“自上而下”机制首先直接影响平流层温度, 但该机制对全球温度变化的

贡献非常小。虽然有人认为(Jack Eddy, 1976)1600年到1850年小冰期与太阳总辐射的长期变化有关, 但TSI对气候的影响一般认为非常小, 难以造成百年尺度的气候变化。因此, IPCC第四次评估和最近国家科学院的气候变化报告均认为: 在过去的50年中没有实质的科学证据来证明太阳变率是引起气候变化的原因。

但本次研讨会仍然从10个方面谈论了太阳影响气候变化的可能机制和相关问题, 大体分为两类。

一是对观测事实的探讨:

(1) 华盛顿大学的Ka-Kit Tung指出解析地球表面气候对周期循环和长期太阳强迫的不同响应, 是试图探究过去气候变化与太阳强迫作用研究中面临的一个最重要问题。气候系统自然的内部循环(例如Atlantic Multidecadal Oscillation, AMO)可能使检测信号变得复杂和困难。

(2) 亚利桑那大学的Lon Hood博士报告了10年间平流层上层臭氧混合比的观测信号。卫星观测的紫外线变化与太阳11年周期有密切联系, 这种周期变化与臭氧的关系在平流层底层最为显著。

(3) 伦敦帝国理工大学的Joanna D. Haigh博士报告了其观测分析结果, 指出太阳通过对流层和平流层的耦合传输影响大气系统。当太阳活动加剧时, 热带平流层低

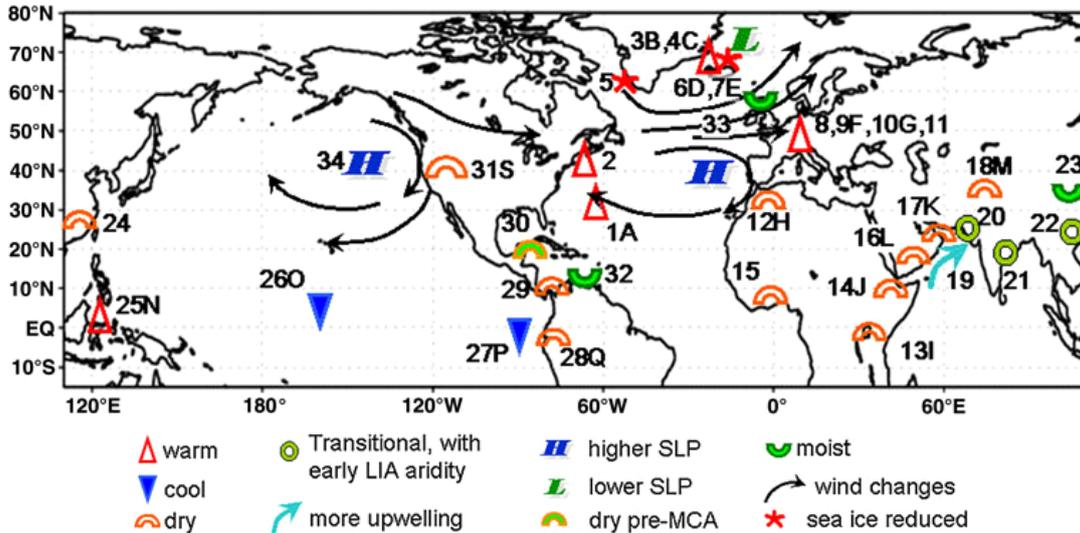


图1 中世纪暖期的一些气候特征 (引自: Graham N E, Ammann C M, Fleitmann D, et al. Support for global climate reorganization during the “Medieval Climate Anomaly”. *Climate Dynamics*, 2011, 37: 1217–1245.)

层会升温, 通过垂直传播穿越进入中纬度对流层, 热带大气的主要经圈环流 (Hadley Cell) 强度增强, 中纬度环流系统向极地地区移动。Haigh分析了太阳光谱的观测事实, 也证实了紫外线加强时会加强这些机制。

二是模拟与推测的探讨:

(1) 科罗拉多大学的Daniel N. Baker评估了太阳活动和日地影响过程, 指出银河系宇宙射线 (GCRs) 进入对流层和平流层, 对于太阳和气候的耦合来说, 是太阳活动影响气候的一个重要机制, 它可能是通过“自上而下”的机制来实现的。

(2) 亚利桑那大学的Joe Giacalone强调了日光层现象对调制地球宇宙射线的作用。GCRs在地球大气层顶部的强度和太阳黑子的数量呈反比, 一般情况下GCRs在空间中是均匀的射向各个方向, 当GCRs进入太阳系, 由于太阳风、行星际磁场、日光层相互作用, 因而会发生能量和强度的变化。Joe Giacalone认为, GCRs会与地球大气层的原子核相互作用, 产生一个次级的宇宙射线, 次级的宇宙射线就可以和地面丰富的氧和氮作用形成¹⁴C或¹⁰Be, 产生的这些同位素可以影响大气电离和云的形成。

(3) 马萨诸塞大学的Raymond S. Bradley认为诊断太阳或宇宙射线的气候影响, 应该诊断它在气候环流系统中的信号, 而不是直接检测温度信号。比如, 较高的宇宙射线同位素的产生周期 (可能与辐射减少有关) 似乎与阿曼、印度、中国南部地区较弱的季风降水相关联。也有证据表明, 当太阳活动较弱时, 极涡会有一个普通尺度的扩张, 西风带会向南移动。

(4) 讨论了解释地球气候对太阳变率响应的3类机制, 涉及对太阳辐射总量、紫外线辐射度和微粒辐射变化的响应。

(5) NCAR的Caspar Ammann强调了太阳对气候的间接影响。他指出太阳通过加热作用对中世纪暖期 (图1) 的辐射驱动是似乎可信的。太阳的周期强迫在改变地球辐射平衡时, 并不是所有地点受到的影响都是相同的。即使全球平均温度的改变可能很小, 区域的湿度、压强、温度的信号也可能存在很强的响应。全球气候模式 (GCMs) 目前无法重复在替代资料中所能看到的热带气候的特点。例如, 当进入印度洋的太阳辐射通量加强时, 气候系统的响应机制十分复杂, 可能包括平流层和对流层的动力性耦

合、海气耦合动力学复杂过程。

(6) NCAR的Gerald A. Meehl博士报告了太阳对低层大气和海洋影响最新的分析和模拟研究成果。在太阳黑子的高峰年, 赤道太平洋地区会出现显著的“La Niña-like”模态, 赤道东太平洋地区有1℃的降温。对此模态的诊断显示出“自下而上” (与大气海洋的耦合有关) 和“自上而下” (与平流层的臭氧有关) 的机制。“自下而上”机制涉及东太平洋热带和亚热带海洋更强的加热。而平流层臭氧相关的“自上而下”会以类似的海洋大气耦合机制影响气候。

(7) Dalhousie大学的Jeffrey Pierce博士讨论了目前还饱受争议的宇宙射线与云成核问题。GCRs通过影响云量而对气候产生影响。Jeffrey Pierce讨论了两种潜在在GCR—云—气候的实现路线, 一是GCRs通过电离气体来加强气溶胶成核率和云凝结核的浓度, 这种改变会更改云的形成、云量, 随后影响到地球表面的短波辐射; 二是GCRs通过改变云附近区域的电离来影响过冷液滴的冻结, 从而影响降水。

(作者单位: 董仕, 中国气象科学研究院; 肖子牛, 中国气象局气象干部培训学院)