

doi:10.12006/j.issn.1673-1719.2017.032

任国玉. 重大气候突变会不会发生? ——兼评《气候变化突发影响: 预见意外》[J]. 气候变化研究进展, 2017, 13 (2): 181-184

重大气候突变会不会发生?

——兼评《气候变化突发影响: 预见意外》

Will Major Abrupt Changes in Climate Occur? —Commentary on “Abrupt Impacts of Climate Change: Anticipating Surprises”

任国玉^{1,2}¹ 中国气象局国家气候中心, 北京 100081; ² 中国地质大学 (武汉), 武汉 430074

由美国国家研究理事会 (NRC, 隶属国家科学院和工程院) 地球与生命科学部大气科学与气候工作组下属“气候突变及其影响研究与监测委员”编辑、美国国家科学出版社出版的评估报告《Abrupt Impacts of Climate Change: Anticipating Surprises》^[1] 的中文版《气候变化突发影响: 预见意外》, 即将由气象出版社出版发行。

本书系统地评述了全球气候变化背景下可能出现的若干重大气候、环境突变事件及其影响, 预计将会引起气候学界、决策人员和公众对气候突变及其影响问题的新一轮关注。

在所有可能的重大气候突变及其影响中, 北大西洋温盐环流急剧变化引起的剧烈降温及其他环境和生态学后果一直是学术界追逐的热点问题^[2], 也是本书重点评述的内容之一。下面, 笔者针对这个问题谈谈个人的粗浅看法。本文主要内容来自《气候变化突发影响: 预见意外》序言。

1 末次冰期、冰消期的气候突变

在 20 世纪 90 年代中后期, 科学界开始注意全球变暖可能引起地球重大气候突变问题。这种关注

主要起源于 20 世纪 90 年代初针对格陵兰冰盖的两根冰芯古气候重建研究^[3-4]。

当时, 欧洲共同体国家和美国科学家依托 GRIP (Greenland Ice Core Project) 和 GISP2 (Greenland Ice Sheet Project Two) 计划, 在格陵兰冰盖钻取了两根长冰芯, 实验分析结果同时表明末次冰期和冰消期格陵兰地区曾出现一系列非常清楚的相对暖、冷阶段和快速、大幅度气温变化。由于早先极地冰芯古气候研究的前驱者, 丹麦哥本哈根大学的 Dansgaard 教授和瑞士伯尔尼大学的 Oeschger 教授, 已经发现过这些快速变化现象, 人们将其称为 Dansgaard-Oeschger 事件 (简称 D-O 事件)。

在冰期里, D-O 事件表现为一系列温暖事件。每一次暖事件约持续几百年到数千年, 其开始都很突然, 在几年到几十年内气温可以上升 6~8℃, 但返回到寒冷状态则相对较缓慢。在冰消期, D-O 事件则逐渐表现为变暖趋势中的冷事件, 变冷和转暖都很突然。一系列 D-O 事件的最后一幕, 就是所谓的“新仙女木事件” (Younger Dryas)。它是指发生在格陵兰及其北大西洋地区距今 1.29 万~1.16 万年前的一次极端寒冷事件, 但其开始和结束都非常突然, 不超过几十年甚至几年, 这一点和冰

资助项目: 国家自然科学基金项目 (41575003); 国家公益性行业 (气象) 科研专项 (GYHY201206012)

作者简介: 任国玉, 男, 研究员, guoyoo@cma.gov.cn

期里的 D-O 事件又有差异。新仙女木事件结束时格陵兰地区在几年内年平均气温上升幅度至少达到 7℃。

实际上早在 19 世纪末、20 世纪初,人们就已在瑞典和丹麦泥炭剖面的花粉研究中发现了新仙女木事件。但在包括 GRIP 和 GISP2 的格陵兰冰芯氧和氩同位素序列中,这个事件得到最清楚的反映,获得最精确的起讫时间定年,同时证实其至少在北大西洋地区具有普遍性。

D-O 事件和新仙女木事件形成的原因和机理是古气候学者长期致力于解决的一个重要科学问题^[5]。从现有研究看,近几十万年来地球气候系统似乎至少存在两个基态,即急速振荡态和稳定少变态。前者似乎和冰期阶段相联系,而后者似乎对应于间冰期。急速振荡是年代到千年尺度上的现象,用地球轨道参数变化理论无法解释。Dansgaard 推测,D-O 事件可能与海洋-大气系统的不同模态转换密切相关。但是,冰期里冰盖主要分布在北大西洋两侧陆地,北大西洋温盐环流(THC,或者所谓大西洋经向翻转环流,即 AMOC)对大气和淡水输入的高度敏感性,以及格陵兰冰芯和北大西洋海洋沉积物记录的相互对应关系,促使人们认识到,这些快速变化事件很可能与大陆冰盖消长及其温盐环流有联系。

美国哥伦比亚大学的 Broecker 教授提出了全球海洋环流“传输带”理论,并和其他科学家一起证实了冰期和冰消期北大西洋地区气候快速变化与温盐环流的消长存在耦合关系。温盐环流的减弱或消失,意味着表层的墨西哥湾流北向分量减弱或消失,北大西洋地区快速降温;而它的建立或恢复则引起北大西洋地区突然增暖。新仙女木事件开始对应着温盐环流“传输带”几乎关闭,而其结束则伴随着温盐环流的开启。

大西洋温盐环流的这种转换很可能与北美和欧洲的大陆冰盖动态有关。当有过量冰体崩裂、飘入海洋或冰融水大量流进北大西洋时,由于有充分淡水注入,表层水盐度降低,北大西洋深层水(NADW)生成过程减弱或停止,墨西哥湾流及温盐环流也随之减弱和消失,造成整个地区变冷;相反,

在冰体崩裂或冰融水流量少时,淡水注入量也减少,表层水盐度升高,NADW 生成速率加快,温盐环流恢复或加强,北大西洋地区的气候又迅速变暖。

在美国地球物理流体动力学实验室工作的 Manabe 和 Stouffer 利用海气耦合模式模拟了淡水输入对海洋环流的影响,发现在过量淡水输入情况下,北大西洋温盐环流确实会出现明显响应,包括突然变弱及其后续的增强、再变弱和完全恢复的过程,北大西洋地区气温也呈现明显下降^[5]。再后来,瑞士伯尔尼大学 Stocker 教授等也发现当大气中 CO₂ 浓度加倍时,温盐环流出现明显的减弱甚至消失的现象。

德国联邦海洋局的 Heinrich 博士及其同事在北大西洋冰期海底沉积物岩芯研究中发现了若干具有陆源物质的较粗沉积层,其化学和同位素成分也和其他海洋沉积层明显不同。他们认为这些陆源物质来自大陆冰盖分解下来的系列冰山,称作冰筏沉积层,大约每隔 0.5 万~1.5 万年出现一层。后来将其称为 Heinrich 事件^[6]。Heinrich 事件全部发生于末次冰期或冰消期,同格陵兰冰芯记录的 D-O 事件以及大气温度的突然变化具有一定对应关系。Broecker 认为,Heinrich 事件发生时冰筏消融向北大西洋输入了大量淡水,降低了表层海水盐度,减弱了温盐环流。在两次 Heinrich 事件之间,存在次一级波动,相当于格陵兰冰芯记录的 D-O 事件,可能和规模较小的冰筏沉积有关,也可能和冰川内部动力过程有关。

新仙女木事件可能由巨大的冰筏融水和北美大陆巨型冰川湖泊外流河改道或溃决引起。一个可能就是当时巨型冰川融水湖泊 Agassiz 湖随着劳伦泰冰盖退缩向北迁移或扩张,致使排泄通道由经过古密西西比河改为经由五大湖-圣劳伦斯河,湖水流入北大西洋,造成海表过量淡水,导致温盐环流突然减弱或关闭。

2 全球变暖引发气候突变的可能性

在未来全球气候增暖情况下,北大西洋温盐环流是否也会进入一种不稳定模态?这是 20 世纪 90

年代末到 21 世纪初气候学界极为关注的一个重要问题^[3, 7]。

2002 年，美国国家研究委员会发布了第一本系统评估气候突变及其与全球气候变暖联系的科学报告《气候突变：不可避免的意外》，引起科学界和政治界的广泛注意^[8]。该报告特别强调了发生在最近地质时期的快速、大幅度气候变化，认为在人类活动影响下的地球气候系统有可能出现类似的气候突变，但科学界还没有足够信心预测这类重大惊奇事件，更没有做好迎接和应对未来气候突变的准备。报告也提醒了世界各地发生特大干旱灾害的风险。

这本报告特别唤起了科学界以外各界人士对于气候突变的兴趣和关注。2004 年，美国二十世纪福克斯公司制作的影片《后天》在全球上映，把公众对气候突变的关注和担忧推向高潮。影片描绘的就是人类活动致使地球大气温室效应增强，引发一系列天气气候灾害，并造成以美国为聚焦点的全球气候突变，气温在一天之内急剧下降，美国本土再现冰期和冰盖景观。

影片在北京首映后，观众反响十分强烈，次日中国气象报记者曾采访了笔者。在《中国气象报》题为“气候突变：现实还是幻想？”的采访报道中，可以看到以下的评论：“《后天》中描述的情景虽然夸张，但也有一定的科学依据。一方面，在过去的冰期和冰消期，北大西洋地区确实多次出现气候突变；另一方面，在大气中温室气体浓度增加几倍时，有的气候模式模拟出了北大西洋温盐环流明显减弱甚至停顿下来的现象，气温显著降低。但到目前为止，用成熟的海-气耦合模式进行模拟一般没有得出同样结果。退一步讲，假设全球变暖可以导致北大西洋地区气候突然变冷，地球进入新的冰期，人们也完全没必要因此而恐慌，因为从间冰期向冰期过渡是非常漫长的过程，要经历数万年时间，陆地冰盖不可能在一夜之间长出来。因此，可以有把握地说，《后天》中描述的情景完全不可能出现，变暖情况下未来 100 年内缓慢进入冰期的可能性也极为不可能，这种可能性即使不会和一颗直径 5 km 以上的小行星未来百年内撞上地球的几率相近，

也不会比它高多少。尽管如此，气候变化所能带来的影响还是不可小觑的，加大气候变化科学研究的投入十分必要……”。

可以看到，无论是 NRC 的评估报告，还是影片《后天》的故事情节，当时都在很大程度上夸大了人类活动影响下北大西洋温盐环流闭合和大尺度气候突变的可能性。面对记者的提问，笔者力图阐释自己对相关问题的认识，消除观众的疑虑甚至恐慌，但后来发现当时的解释仍不到位。

从前边的评述可以看出，过去的快速气候变化主要发生于北半球存在大范围大陆冰盖的情况下。格陵兰 GRIP 冰芯资料记录了上次间冰期氧同位素的剧烈波动，短时间内曾引起极大关注，但后来证明这些波动是由底部冰层扰动造成的。距今 8200 年前的快速变化确实出现在间冰期，但当时北美大陆冰盖正处于消融之中，还没有完全融化掉。上次间冰期和全新世其他快速气候变化的证据目前还不充分。

因此，类似 D-O 波动或新仙女木事件的极端大气-海洋系统突变过程，需要一个非常关键的边界条件：北大西洋两侧大陆发育着面积广大的巨厚冰盖，特别是冰进期、冰盛期和冰消期不同阶段北美大陆北部的大范围陆地冰川。只有在这个关键条件下，在地球轨道参数这样更长周期驱动因子的协调作用下，冰川、大气、海洋和地壳的相互作用才会导致一定时期内冰川消融或冰川湖失稳溃决，向北大西洋注入过量淡水。

在间冰期，包括现在的间冰期，即全新世，地球的水大部分回归海洋，北半球各大陆的巨型冰盖不复存在，北大西洋地区大气-海洋系统大幅度快速变化不具备边界条件。目前，以及未来至少数百年、上千年，北美大陆和欧洲西北部都不存在大陆冰盖。这种条件无关乎人类活动。在人类活动引起全球气候变暖的情况下，如果夏季不经历变冷过程，大陆冰盖当然更不会出现。

格陵兰冰盖快速消融是一个值得考虑的因素。这里的重要科学问题是，在地球气候温暖时期或气候变暖的背景下，格陵兰冰盖是否会融化甚至快速消融。上次间冰期应该是一个最好的类比。当

时,地球表面年平均温度大约比近 1 万年平均高出 1~3℃,同现代气候比较,是一个温暖程度相当或略为偏暖的阶段。目前研究上的共识是,上次间冰期内格陵兰冰盖仍然存在,并未消失。格陵兰冰盖在温暖的间冰期也不消失的主要原因,应该和南极冰盖一样,就是纬度足够高,夏季足够冷,加之孤立大陆或岛屿的独特构造地形,致使近百万年来冰盖处于超稳定状态。

最近几十年,北极地区气候变暖异常迅速,造成海冰面积持续减少。这个快速的变暖可能主要是人类活动引起全球变暖的区域表现,但也可能至少部分与年代以上尺度自然气候变异有关,其各自的贡献目前还没有确定结论。此外,能够导致北大西洋表层淡水输入通量增加的因子还包括北大西洋地区降水量上升、蒸发量减弱和径流量增加。然而,这些因素变化的量级难以与过去冰期和冰消期的气候突变相提并论。

3 结束语

除了北大西洋地区发生可能性极为微小的重大气候突变外,科学界关注的其他与气候变暖相关的突变事件还包括:北极海冰消失及其对气候的影响,西伯利亚等区域永久冻土消融引发甲烷突然大量释放,北冰洋沿岸陆地、高山和热带海洋珊瑚礁等生态系统生物灭绝,西南极冰盖失稳崩裂及其海平面快速上升,人口稠密地区重大持久的超级干旱事件等。这些突变事件发生的可能性,每个都较北大西洋温盐环流“传输带”关闭及其气候突然变冷情景来的高,但正如本书根据近些年研究得出结论,有

的事件(如西伯利亚区域永久冻土消融引发甲烷突然大量释放)发生的可能性也是非常低的^[1]。所有上述以及其他可能出现的气候变化突发影响,都在本书中得到较为系统的分析评估。

值得指出的是,尽管一些重大气候突变事件,特别是北大西洋温盐环流急剧变化及其气候和环境影响,发生的几率很低,个别甚至低至未来几代人时间内几乎不可能;不过这类重大气候突变一旦出现,对全球特别是区域人类生存环境将造成极为严重的影响。因此,加强相关科学问题的研究,开展部分风险较高的重大气候突变事件监测和预警,仍然是十分必要的。■

参考文献

- [1] NRC. Abrupt impacts of climate change: anticipating surprises [M]. Washington DC: National Academies Press, 2013
- [2] IPCC. Climate change 2013: the physical science basis [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2013
- [3] 任国玉. 与当前全球增暖有关的古气候学问题 [J]. 应用气象学报, 1996, 7 (3): 361-370
- [4] USCCSP. Synthesis and assessment product 3.4: abrupt climate change [M]. Washington DC: U.S. Department of the Interior, 2008
- [5] Stouffer R J, Yin J, Gregory J M, *et al.* Investigating the causes of the response of the thermohaline circulation to past and future climate changes [J]. *Journal of Climate*, 2006, 19 (8): 1365-1387
- [6] Hemming S R. Heinrich events: massive late Pleistocene detritus layers of the North Atlantic and their global imprint [J]. *Reviews of Geophysics*, 2004, 42 (1), 235-273
- [7] Alley R B, Marotzke J, Nordhaus W D, *et al.* Abrupt climate change [J]. *Science*, 2003, 229 (5615): 2005-2010
- [8] NRC. Abrupt climate change: inevitable surprises [M]. Washington DC: National Academy Press, 2002