

全国气候变化学术讨论会文集

(一九七八年)

中央气象局气象科学研究所天气气候研究所 编

科学出版社

全国气候变化学术讨论会文集

(一九七八年)

中央气象局气象科学研究院天气气候研究所 编

科学出版社

1981

内 容 简 介

本书是1978年8月“全国气候变化学术讨论会”的论文选集,收入论文共十九篇。内容包括:地质时代第四纪我国气候变迁史;历史时期、特别是近五百年来我国旱涝和冷暖的演变规律;太阳黑子、行星运动、大气环流等因子对我国气候变化的影响;人类活动对辐射、降水影响的估计;气候变化的统计分析方法;以及粮食生产与气候资源的关系等。

本书可供气象、水文、地理、地质等科技人员以及高等院校气象专业师生参考。

全国气候变化学术讨论会文集 (一九七八年)

中央气象局气象科学研究所天气气候研究所 编

责任编辑 郑秀灵

科学出版社出版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1981年7月第一版 开本:787×1092 1/16
1981年7月第一次印刷 印张:11 1/4
印数:0001—2,500 字数:258,000

统一书号:13031·1606

本社书号:2206·13—15

定价:1.80元

前 言

气候变化问题日益引起人们的重视。这是由于六十年代以来,世界许多地区不断发生大范围的干旱、洪涝以及人们没有预料到、认识到的气候异常现象,严重地影响到人类的生产和生活等各个方面;也是由于科学技术的发展使人们逐渐认识到:反映大气运动长期过程的气候现象,比短期局地的天气现象,对人类的生产和生活具有更深远的影响。在我国社会主义现代化建设事业中,有关农田基本建设,农制改革、品种改良、防风治沙、水利建设、水源利用以及能源规划、城市规划、环境保护等方面,都与气候变化有一定的关系。正因为如此,气候变化问题已成为国内外学术界密切关注、积极研究的课题。

我们敬爱的周恩来总理,生前对气候变化问题十分重视,早在1973年,就指示我们要好好研究气候变异问题和做好抗旱防涝工作。周总理的重要指示,得到广大气象工作者和有关科研人员的积极响应,极大地推动了我国气候变化的研究和服务应用工作,使我国的气候变化研究迅速地、蓬蓬勃勃地开展起来。

1978年9月在江苏省无锡市召开的《全国气候变化学术讨论会》,是继1975年长沙《全国气候变迁及超长期预报会议》后,有关气候变化的第二次全国性学术讨论会。会议就史前气候变化、历史时期气候变化、气候变化因子、气候分析方法及气候与农业生产关系等五个方面进行了学术交流和讨论,共收到交流材料和论文82篇,本文集选编了其中的19篇。可概括为以下三方面:

第一,论述了我国的气候变化史,有论文十篇。关于史前气候变化的研究,探讨了第四纪以来,特别是近三万年我国气候的变迁史,绘制成了我国近一千万年以来的气候演变曲线,大大延长了竺可桢制作的中国近五千年来的气候序列,为气候预报提供了地质学尺度的背景。关于历史时期气候变化的研究,在对我国气候史料进行系统整理以及开展树木年轮气候研究的基础上,建立了一些千年的和数百年的气候序列,特别是完成了我国五百年以来逐年旱涝等级图。对近五百年旱涝、冷暖气候演变规律的分析,使我们对我国十五世纪以来的历史气候变化有了进一步认识,并被用来作气候预报的资料依据。

第二,从太阳活动、天体引力、大气环流等不同角度探讨了气候变化的自然原因,以及初步分析了绿化、大气污染等人为因子对气候形成的影响。弄清气候变化的原因,是作好气候预报的基础。我国气候变化研究工作者一向重视气候变化的自然原因,做了许多工作,本集中有关的几篇论文是在过去工作基础上的进一步深化。关于人类活动对气候变化影响的研究,则是我国近年来新开展的研究课题。

第三,有三篇论文讨论了气候序列分析、预报方法以及气候变化与农业生产的关系。关于气候变化分析方法的研究,提出了二元变量离散型序列的统计方法,并对已有的一些周期分析方法作了改进。关于气候变化与农业生产关系的研究,探讨了如何充分利用气候资源,做好气候预报,在不利的条件下夺取稳产、高产等问题。

这十九篇论文,在一定程度上反映了从1975年长沙《全国气候变迁及超长期预报会议》以来,我国气候变化研究在各个方面的进展,它们或是开辟了新的研究领域,填补了我

国气候变化研究中的空白点，或是在原有工作的基础上取得了新的成果。但由于气候变化问题所涉及的面很广，本文集所选的论文尚不能代表所有的方面，且编者水平有限，因此会有选择不当或错误之处，请读者批评指正。

编者

1979年

目 录

前言.....	(iii)
气候变化的基本概念及其预报问题的讨论.....	张家诚 (1)
我国第四纪气候变迁的初步研究.....	段万倜、浦庆余、吴锡浩 (7)
青藏高原近二千年来气候变迁的初步探讨.....	吴祥定、林振耀 (18)
祁连山圆柏年轮与我国气候变化趋势.....	张先恭、赵溱、徐瑞珍 (26)
近五百年旱涝史料的几点初步分析.....	盛承禹 (36)
中国东半部近五百年干旱指数的分析.....	张先恭 (46)
我国近五百年旱涝的初步分析.....	徐瑞珍、王雷 (52)
近五百年来我国南部冬季温度状况的初步分析.....	张德二、朱淑兰 (64)
长江三角洲的冷暖特点及趋势展望.....	严济远、许卫桐、石熙春、朱静燕 (71)
近两千年昆明地区八月气温变化的分析.....	刘恭德 (78)
江西省近八百年冷暖规律研究.....	江西省气象局资料室 (81)
1662 年黄河大水的气候变迁背景	王涌泉 (95)
行星运动对中国五千年来气候变迁的影响.....	任振球、李致森 (107)
近百年来我国的气候变化与全球大气环流.....	王绍武、赵宗慈 (117)
长江上游地区旱涝的前期环流特征的气候变化.....	林学椿 (131)
人类活动对大气降水影响的估算.....	傅抱璞 (143)
兰州大气污染对太阳可能辐射的影响.....	李怀瑾、于静明 (152)
用序列方差分析检验二元变量序列中的循环周期与周期.....	么枕生 (160)
粮食生产的气候资源潜力及其开发问题.....	张家诚 (167)

气候变化的基本概念及其预报问题的讨论

张 家 诚

(中央气象局气象科学研究所天气气候研究所)

气候过程和天气过程比较,具有两个最显著的特征。第一个特征是两者的关系是宏观与微观的关系。气候过程是大量天气过程综合而得,两者之间存在着统计联系。与物理学不同的是,气候的宏观性首先不是在空间反映出来,而是在时间上反映出来。第二个特征是气候系统包括了大气、海洋、大陆、冰雪、生物圈等组成的庞大系统。而天气系统可看作是大气系统。所以影响气候的因子是无比复杂的,具有更大的随机性。因此,要确定地表现气候过程的特征,必须使用统计概念和方法,概括在其范围内一切微观的和随机的现象。

Kellogg 把气候预报称之为对气候统计量变化的预报^[1]。Gates 把气候状态定义为气候系统的全部成分在任一特定时段内的平均统计特征^[2]。Lorenz 指出,可预报性问题与周期性问题是联系在一起的^[3]。我们认为,这一些观点是值得注意的。

可以说,任何自然的或人造的机器都是以条件性周期活动为其运动和变化的主要特征,因为任何稳定系统都围绕一定的平衡状态作周期性的振动。只要它的一个成份或作用力离开平衡状态,必然引起与其有关的其他成份和作用力产生相反的作用,促使其返回平衡状态。在到达平衡状态后,这些相反的作用并不立即消失,进而推动系统偏离平衡的另一面,如此往复产生周期性振动。如果背景、内部或外部参数发生改变,就必然会确定一个新的平衡状态,而产生一系列适应于新状态的周期性振动。人们所熟知的钟摆就是最简单的一个例子。大气系统显然复杂庞大得多,除了成份间、相互作用间存在各种内、外反馈作用外,还受外部条件的影响。因此,它的任一成份随时都可能以可能复杂的方式偏离平衡状态,引起周期性振动,而且不同时间、地点的振动互相叠加影响。因而大气系统周期性的表现就不会十分简单和明显。可以说,大气中只存在条件性准周期活动,而不存在绝对的严格周期性。因此,研究大气周期性而不谈其存在的条件,往往是难以见效的。

对气候过程的周期性说来,最有效的分析方法之一就是把周期分解成几个主要位相(阶段性),位相就是气候过程的主要基本时段,周期最优显示量就是按阶段长度求出的气候统计量。所谓预报的可能性就是这种阶段统计量预报的可能性。为进一步说明这个问题,我们对大气过程尺度谱作一简明介绍(图1),在图上,时间尺度是以10年为底的对数,空间尺度是以10公里为底的对数。

图上四种尺度的大气过程之间存在明显的分界线。天气尺度的范围是以瞬时天气图的分辨能力的极限来确定的。范围最小的天气图是站点天气图,它以一个测站目力所及的观测范围为极限。这样的天气图能分辨积云单体,这就是天气尺度的起点。频率高于天气尺度的是湍流尺度。在地球大气范围内,最大空间范围是全球。全球瞬时天气图能

时间尺度	-8-7-6-5-4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4 5 6 7 8										
空间尺度	秒 分 时 日 月 年										
	-5-4-3-2-1 0			1 2 3 4							
谱段	湍流尺度			天气尺度			大天气尺度	气候尺度			
层次				积云 小尺度 中尺度 短波 长波			自然季节	2-5年周期 25-36年周期 百年周期 千年周期 副冰期 亚冰期 大冰期			
频段	超高频 微气象学			高频 天气学			低频 大天气学	超低频气候学			

图1 大气过程尺度谱

分辨超长波,这就是天气尺度的终点。在湍流和天气尺度范围内,空间尺度与时间尺度近似地保持线性对应关系,空间的波动性和时间的周期性在一定程度上是等价的。

进入大天气尺度后,地球大气的空间尺度不再随时间增长,但是大气已不能看作绝热系统,必须考虑边界条件的影响,天气系统必须扩大为气候系统。从这种尺度开始,时间尺度更为重要了,空间坐标为主的天气分析不得不让位于时间坐标为主的气候分析。瞬时天气图已经不能作为分辨大天气过程和气候过程的主要工具,而必须采用低通滤波的方法,用平均资料和平平均图来表征它。

超过一年以上时间长度,才进入气候尺度范围。年变化是大气中极明显和严格的周期,它在气候分析中是一种基本时间单位。在气候尺度里,年变化已不是约制因素。虽然气候也讨论某一季节特征的多年变化,但这是作为年特征之一,并不着眼于年内的季节变化。

在各个谱段存在着几种主要周期。例如在天气谱段中有短波、长波、超长波,在大天气谱段中有自然天气季节,在气候谱段中有2—5年周期、20—40年周期、百年周期、千年周期以至万年以上尺度的各种冰河期—间冰期振动。一个较长周期的任一位相是由若干较短周期所组成,它们的关系是个体与集体的关系,微观与宏观的关系。因此,它们构成大气过程尺度谱的层次。相对于短期天气过程说来,气候过程居于高得多的层次。

因此,某一尺度的气候就是相应阶段的统计量所显示的大气状态。气候变化就是以干湿阶段交替或冷暖阶段交替所组成的准周期性变化为主要特征。换句话说,气候变化即是这些统计量的时间变化。

对任何周期现象说来,最原始的预报思想就是根据位相转换的顺序性,从当前所处的位相推知即将出现的位相。因此,气候可预报性问题存在于位相的顺序关系中,各个位相的尺度是对应的,并反映为:预报时效的尺度和预报量的尺度、因子量的尺度、初始量的尺度等之间的互相对应,统计量的时间长度则和分辨率成反比关系。这些对应现象可概言之谓尺度对应原理,它保证了建立预报关系的各物理量属于大气过程尺度谱中的同一层次。它也反映了各个层次的大气过程都具有相对独立的规律性。

以下举一个例子。

图2是上海年降水量及其十年滑动平均曲线。可以看出,在一百多年的记录中,上海年降水量经历过35次2—5年周期的振动和3次25—36年周期的振动。值得注意的是,

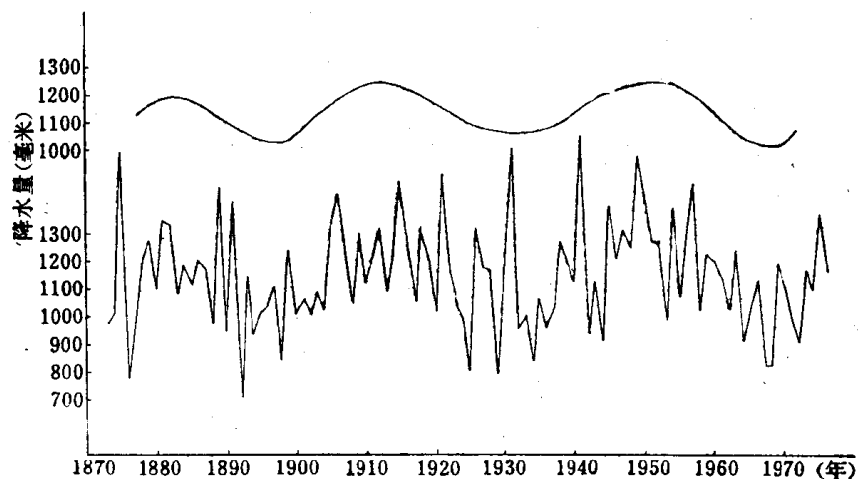


图2 上海降水量

在这两种长度之间并不出现其他较明显的周期性,说明这两种周期分属于相差一个数量级的两个层次。每个2—5年周期都是由一个1—3年的少雨阶段和一个1—3年的多雨阶段所组成。每个25—36年周期是由一个12—14年的少雨阶段和一个14—16年的多雨阶段所组成。

大阶段与小周期之间存在着明显的性质对应关系。表1列举了各个阶段的多雨年和

表1 上海降水量各阶段频数

多 雨 阶 段				少 雨 阶 段			
时段	年数	多雨年数	少雨年数	时段	年数	多雨年数	少雨年数
1877—1891	15	5	2	1892—1904	13	1	7
1905—1922	17	8	3	1923—1944	22	4	11
1945—1960	16	10	2	1961—1974	14	1	6

少雨年的频数。可以看出,在这两种阶段里,多雨年频数和少雨年频数的差值是很显著的。在多雨阶段中各个2—5年周期的峰值一般都达到多雨水平(正距平 ≥ 100 毫米),而谷值却达不到少雨水平(负距平 ≤ -100 毫米)。在少雨阶段则相反,峰值达不到多雨水平,谷值一般能达到少雨水平。因此,每个小周期对其所属大阶段而言一般具有代表性。同时,每个小周期也有其变异性。这是由于在大阶段内部只具有不显著的量变过程,它有可能在个别小周期的变异性上反映出来。如果我们善于从变异性中分离出具有倾向性的变异性,显然对于预报大阶段转变的时间和性质是有用的。大阶段是小周期的背景,随着大阶段的转变,小周期的规律性也会发生相应的改变,预报指标的稳定性问题一般都是与大阶段有联系的。因此,各层次大气过程的规律性又是互相制约,互为指标的。预报方法如果能具备多层次结构,显然可以提高其可预报性。

周期性最优显示方法就是按阶段性求取气候统计量。故周期越长,表现它们特征的资料分辨率也越低。从图2可以看出,用年平均资料反映2—5年周期是恰当的,但用年平均资料反映25—36年周期就不明显了。这是由于25—36年周期的位相长达10年以上,比年大一个数量级,所以年不合作为最优显示单位长度。换句话说,分辨25—36

年周期必须滤去高频振动,而以其位相尺度的气候统计量为最佳显示量。根据这个原理,尺度越长的气候变迁可以使用分辨率越低的代用资料。研究百年以上的气候变化,可以使用气候史料、树木年轮等资料。地质资料能反映万年以上气候变化的主要特点。

但是尺度对应原理并不为人们所熟悉,甚至还出现过“小原因,大效果”^[4]和“大原因,小效果”等尺度错乱的观点。《全球大气试验》丛刊第 11 期(1973)中说到:“如果动能谱衰减慢于波数的负三次方,那么极小尺度的最小初始值误差引起极大尺度产生巨大错误所需的时间是有限的,或许少于三个星期。这个假设有数值试验的支持,……”^[5]这段话强调尺度间的联系,却未能考虑各层次规律的相对独立性。这些观点出现的原因,是由于气象预报首先在中短期预报中获得发展,这一层次的特殊规律性,被误认为是适于一切层次的普遍规律性。在中、短期预报领域里,瞬时图是基本工具,在表面上似乎并不存在初始过程和预报过程之间的时间尺度对应问题。如果深入一步就会发现情况并非如此。因为,首先在中、短期预报中用瞬时场作初始场和预报场,二者是对应的。其次,在天气尺度里,空间尺度和时间尺度间存在着近似的线性对应关系。预报时效越长的中、短期预报需要空间范围越大的初始场,就是尺度对应现象的一种表现形式。根据数值试验的结果,使用瞬时初始场,预报时效的极限可达 2—3 周。这是由于在半球和全球瞬时图上能够反映出生命期长达 2—3 周的超长波活动。空间的扩大取代了时间的延长,保持了尺度的对应。是否可以采取提高初始场的精细度以达到延长预报时效的目的?回答应当是否定的。因为根据尺度对应原理,任何尺度的初始值只能对应一定的预报时效,超过了一定尺度范围,就应当改变初始量的层次和相应地改变分辨率。从这样的科学概念出发,任何长度的气候预报,在原则上都是可能的。

我们以图 2 的上海年降水量为例,在 1972 年前后,在世界与我国范围内都出现较大面积的严重干旱。降水变化趋势是当时令人关心的一个气候预报问题。如果要制作次年的预报,2—5 年周期显然是分析的重点。1972 年究竟处于哪一个位相呢?该年上海降水量只有 900 毫米,显然位于谷点,这就可以判断未来有向多雨位相转变的可能。在 10 个 900 毫米以下的谷点中,有 9 个次年是上升的,更增加了这一判断的依据。但要估计更长的趋势,就有必要分析 25—36 年周期。在十年滑动平均曲线上,1963—1972 年的平均值(记在 1967.5 的坐标上)处于周期振动的谷点,这就意味着将进入上升段。根据以上判断,比较肯定地估计,从 1973 年起将会出现雨量上升的阶段。事实证明这是正确的。

世界气象组织大气科学委员会工作组报告《气候变迁与预报问题》(1973 年)中公布了欧洲、北美气候工作者的 20 个气候预报,其中大部分已有实况可以评定,它们都在不同程度上取得了一定的成功。报告作者强调指出:“从 1950 年或 1960 年以后,大气环流减弱和气候较冷的趋势的估计似乎已很好为实况所证实”^[6]。

在我国也有大量事实证明了当前气候预报的效果。其中最早把气候预报列入业务服务项目的吉林省气象科学研究所,1962 年作出“预计 1962 年至迟 1963 年吉林省降水转入少雨时期,且可持续 11 年左右”的预报,实况是从 1962 年开始转入少雨时期并持续 13 年,预报取得一定成效^[7]。

我国部分县气象站也开展了气候预报工作。例如湖南省安乡气象站 1972 年预报 1973 年雨多水大,1974 年属正常年景,汛期总雨量偏少,1975 年属正常年。与实况基本符合。

以上只是我们知道的少数例子中的几个,当然,仅根据这一些有限材料,还不足以论

述气候预报的平均准确率。但是它们提供了第一批实验材料,对今后这一工作显然有一定的鼓舞,同时也启发我们考虑气候预报的现状与当前的途径。

上面说明了气候变化的主要特点是有条件的准周期性。现在必须进一步说明这种周期性的不严格性及其条件。前面谈过:如果背景、内部或外部参数发生改变,就必然会确定一个新的平衡状态,而产生一系列适应于新状态的周期性振动。因此,只有弄清背景问题和因子问题,才有可能阐明气候变化的物理过程,作出精确的气候预报,否则,就只能停留在轮廓性的了解上。也只能对未来邻近阶段的气候作出粗略的估计。

某一层次气候变化的背景主要受更高层次气候变化的约束。因此,研究某一层次周期变化的特点,所需资料的长度至少是更高层次的一个周期的全长,否则所得的规律性只反映其一个位相的特殊条件下的规律性,而不具备必要的稳定性。这就是气候变化的研究必须包括全部气候史在内的原因。

在气候变化的原因方面,正如世界气候组织气候变迁专家组的报告^[8]所指出的:“现在对气候变迁的原因的了解是初步的。难点在于弄清哪些机制是明显的和确认每个原因对于气候变化总体所作的贡献的程度”。“我们还没有关于有关全部机制作用的适当概念。我们不能确定包括这些机制的普遍性物理设计是什么”。我们认为这个评价是客观的。

近代科学进步的事实说明了系统分析是一个十分有用的科学方法。虽然我们还无法提供全面的物理设计,但是对于形成气候的几个主要因子是了解的。它们有机的结合在一起,图3表现了其间的主要关系。图3中C、D可以看作是气候系统的两个主要组成部

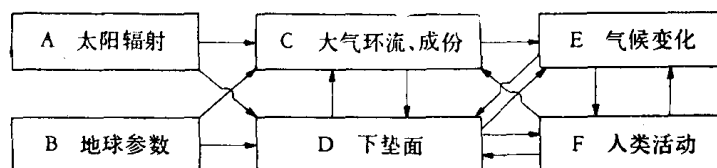


图3 气候变化的因子(引自[9])

分,A、B、F则是外界因子。从图上可以看出,这些因子的作用是互不相同的,而且通过气候系统联结起来。太阳辐射是整个气候系统的能源。

地球的天文参数是影响辐射分布和大气运动的重要外部条件。太阳辐射到达地球后即进入气候系统的各个组成部分。除了能分别直接引起各部分发生变化和运动外,而且任一部分的变化必然影响到其他部分。每个组成部分的内部又可分解成许多较小的组成部分。因而形成重重叠叠的内部和外部的反馈关系,而使同一起来源的太阳影响不断地来回传递,不断地组合和分化,不断向前发展。在这样长期的影响传递过程中,太阳上又会出现许多新变动,它们对大气的影响与原有的变动所产生的影响叠加起来,交错结合,而以无限多的形式表现出来。这就是气候变化的因子问题难以得出简单的、公认的结果的原因^[10]。面对这一情况,当前正确的战略是在进行全面系统分析的基础上,突出最主要的影响传递过程。对这许多因子进行鉴别选择的一个重要方法就是尺度分析。Kutzbach列了一个因子的尺度表^[11]给我们提供了很好的参考。对于一个世纪内的短期气候变迁来说,太阳活动的11年周期、22年磁周期,80—90年周期无疑是很好的线索。另外,海洋具有比较大的热惰性,Gates把它称作“气候系统的热飞轮”^[12],它对外部条件的变化需要

几年到几世纪的调整、适应阶段。这两个方面在当前短期气候变化中受到很大的重视,就是由于它们的变化较大气具有更大的稳定性,适宜于气候尺度的分析。

为了弄清主要的因果关系,数值模式显然能够提供一定的证明,但是当前比较有效和简便易行的仍然是统计方法。所谓“遥联”现象就是空间的相关联系,有助于弄清大气环流的机制。值得注意的是,气候系统各组成部分都具有一定的带独特性的振动系统。它们互相间会产生抑制、加强、调整等各种关系。分析各系统本身的周期性,就有助于弄清其间的联系。正是它们的相互作用进一步加强了气候过程周期振动的条件性。

根据以上的讨论,我们认为,气候和气候变化问题,是一个十分复杂的科学问题。由于气候变化过程具有多层次的准周期性结构,作为分析的基础,可以考虑各层次周期性振动的相对独立的性质。为此,必须注意到尺度对应原理,并且在此基础上作出初步的气候预报。其次,有必要进而考虑到各层次过程的相互影响,弄清周期变化的大尺度背景和其内部结构,初步弄清预报规律性的稳定性问题。以后还必需深入研究气候变化的物理原因,从较简单的统计关系出发,逐步归纳成更为全面的物理模式,建立气候变化的科学理论,在动力和统计结合的基础上,提出可靠的气候预报方法。

参 考 文 献

- [1] Kellogg, W. W., Effects of human activities on global climate—Part 1, WMO Bulletin, oct., 1977, p. 230.
- [2] Gates, W. L., Opening Lecture. The influence of the oceans on climate, Scientific lectures at the 28th Session of the EC WMO. WMO Bulletin, July, 1977, pp. 168—169.
- [3] Лоренц Э. Н., Предсказуемость климата, Труды международной конф. орг. ВМО и МСНС при поддержке Программы ООН по окружающей среде (Стокгольм, 29 июля—10 августа, 1974г.), стр. 137—141.
- [4] Baur, F., Physikalisch-statistische Regeln als Grundlagen für Wetter-und Witterungs vorhersagen, Frankfurt a. M. 1956—1958.
- [5] GARP Publication Series, No. 11, 1973, Appendix I, The prediction problem, p. 57.
- [6] Lamb, H. H. et al., Climatic fluctuation and the problem of foresight, WMO, 1972.
- [7] 丁士晟: 吉林省六十年代降水超长期预报的检验, 气候变迁和超长期预报文集, 科学出版社, 1977年, 第123—125页。
- [8] Tech. report by the WMO executive committee panel of experts on climatic change, WMO Bulletin, Jan., 1977, pp. 50—55.
- [9] 张家诚: 气候变迁研究现状的几个问题, 大气科学, 1973年3期。
- [10] 张家诚等: 气候变迁及其原因, 科学出版社, 1976年第256—264页。
- [11] Kutzbach J., Fluctuations of climate-monitoring and modelling, WMO Bulletin, July, 1974. pp. 155—163.

我国第四纪气候变迁的初步研究

段万倜 浦庆余 吴锡浩

(地质部地质力学研究所)

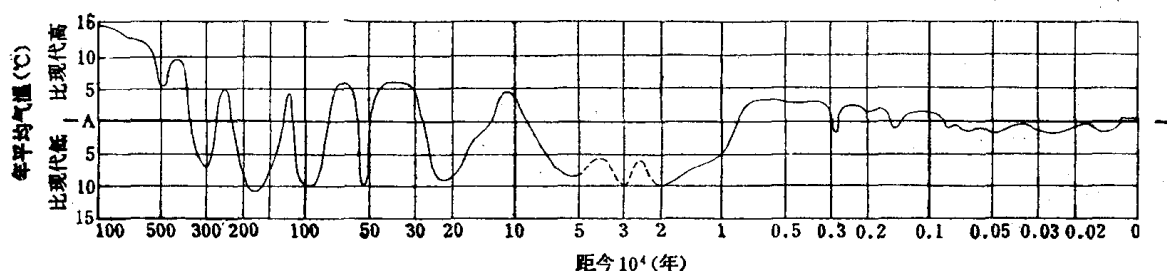
气候变迁史的研究是超长期天气预报的一项基础工作。现有的资料足以表明地球气候史上有着几种不同尺度的气候振动。从地质学的角度着眼,我国第四纪大约三百五十万年以来,振幅达 $15-20^{\circ}\text{C}$ 、周期为 10^4 年至 10^5 年的巨大尺度气候振动,至少有过六次,各次振动从冰期至下次冰期发生以前,包括一个冰期和一个间冰期。竺可桢多年从事我国历史时期气候变迁研究,提出了五千年来我国气候变迁规律的论文^[1],成果卓著。近年来,随着孢子花粉、哺乳动物群、第四纪冰川遗迹、古冰缘(冻土)现象和现代冰川进退规律的不断发现,以及 C^{14} 同位素年龄数据的逐渐积累,将我国五千年来气候变迁的序列延长到距今 3 万多年间,已经初步具备条件,它为超长期天气预报提供的参数,可把资料序列增加一个数量级。

一、三百多万年来气候振动——六次冰期(冰缘期)*

第四纪是地球历史上最近一次大冰期发生的时代。

从侏罗—白垩纪开始,地球上不但出现了气候分带现象,而且从晚白垩世以来气温不断下降。有人估计大约距今 1 亿多年至今,气温降低了 19°C ,七千五百万年至今降低了 12°C ,上新世末到现在降低了 8°C 。所以,第四纪气候变迁是地质历史上气候变迁过程的继续和发展。

我们根据我国第四纪冰川遗迹、古冰缘现象、华北平原钻孔孢粉资料¹⁾、元谋组和青藏高原第四纪古地磁资料和孢粉资料、风化壳和古土壤,绘制了一千万年以来我国气候变化



一千万年来我国气温变化曲线

* 关于我国的冰缘期,首先是由裴文中和杨怀仁提出来的,1975年我们在青藏公路沿线进行第四纪研究时,曾对那里的第四纪冰缘期进行划分,1977年又作了许多补充,1978年继续提出我国第四纪冰缘地质问题。1976—1977年间,郭旭东同志也独立地提出了我国东部地区的冰缘期问题。

1) 有关华北平原钻孔的孢粉资料,是任振纪、李文漪等鉴定的,引自河北省地质局第七地质大队等编写的材料。

曲线(如下图)。今就这条曲线作我国第四纪气候变迁规律的简要说明。

1. 上新世气候——全球性气温骤降的结果

华北平原钻孔深处属于上新统的棕红色、紫红色和蓝灰色粘土层的孢粉组合,是含有常绿阔叶树的落叶阔叶和针叶林混交林组合,反应了山地植被的垂直分带现象,在低处应是北亚热带气候环境,同现今长江以南的浙江、江西和湖南中部地区相仿,年平均温度比现代华北高 $5-7^{\circ}\text{C}$ 。大致同时,沈阳附近的孢粉组合具有现代华北的面貌。

我国北方和西北地区上新世红土发育甚广,已到达北纬 42° 的位置。近代红壤发育的北界只抵北纬 25° ,两者相差17个纬度。若以中纬度地区年平均温度每个纬度相差 0.65°C 计算,上新世红土发育时期我国北方的年平均温度比现在高 11.5°C 。以红土和孢子花粉为标志推得的上新世温度状况的差异,这可能是层位关系引起的,也可能由于资料局限造成的。

上新世一度有过干凉气候时期,可能代表上新世晚期阶段,它在我国北方和西北地区上新统的孢粉组合中都有反映。渭河盆地的孢粉组合除有一定数量的热带和亚热带分子以外,草本植物的花粉含量可达孢粉总数的60%左右¹⁾;北京顺义天竺钻孔中,孢粉组合也以草本植物为主²⁾。上新世晚期的干凉气候是第四纪冰期将要到来的先兆。

最堪注意的是:由古地磁确定的大约距今500万年左右,在唐古拉山一带沉积了一套含有大量灰岩砾石的巨厚砂砾层,它们也是上新世寒冷气候的佐证。

由此可见,上新世气候是中生代晚期以来全球性降温过程的后期阶段,上新世的气候已逐渐接近第四纪间冰期的气候。

2. 第四纪早冰期——龙川(红崖)冰期(距今约350—300万年)

河北阳原盆地的红崖村,青藏公路沿线的昆仑山垭口盆地,四川渡口和云南元谋盆地的龙川江畔,在湖相沉积物下面都有冰碛或冰水沉积物发育。渡口地区覆盖在冰碛上的昔格达组底部地层,冷杉花粉含量一般有30%左右,最高达52.8%,反映了湿冷的气候³⁾。从滇西上新世晚期三营煤组常绿针阔混交林⁴⁾向昔格达组针叶-落叶阔叶林转变,是气候逐渐变寒的结果。

更新世最初时期,华北平原东部生长暗针叶林-草甸植被,云杉和冷杉花粉共占46.7%,年平均温度比现在低 8°C 左右。渭河盆地此时植被稀疏,只有为数不多的针叶和阔叶树种,还有少量草本植物和个别的阴地蕨孢子,这里也进入了冰期阶段。

从上新世到第四纪早冰期,气温降低了 18°C 左右。

3. 早间冰期(距今300—210万年)

这一时期云南元谋是南亚热带气候,自然植被为常绿阔叶林和季雨林⁵⁾,年平均气温比现代至少高 $3-4^{\circ}\text{C}$,最冷月平均气温也在 10°C 以上。华北平原先是以栎属为主的阔叶林,后是针阔混交林-草原,年平均温度比现代高 $4-5^{\circ}\text{C}$ 。渭河盆地当时是北亚热带-暖温带气候,年平均温度比现代高 $2-3^{\circ}\text{C}$,从发现暖水转卷虫⁶⁾推论,海水温度在 $25-30^{\circ}\text{C}$ 之间。青藏高原昆仑山垭口地区,当时生长以圆柏为主的灌丛草原,一度出现以桦属和榛属为主的落叶阔叶林,年平均气温大约变化于 $2-8^{\circ}\text{C}$ 之间。

4. 狮子山冰缘期(距今210—150万年)

1) 孙秀玉提供的资料。

2) 王乃文面告。

这个寒冷期在羌塘组、泥河湾组和三门组等更新世早期湖相层中上部造成了冻融褶皱等类型的冰缘构造。羌塘组中,冻融褶皱现象在多层出现,说明冰缘气候持续时间较长,而且还间有气候波动¹⁾。冻融褶皱是多年冻土上限附近的冰缘现象,它的存在证实了当时这些地方发育了多年冻土。从藏北、青海、河北和河南等分布地点看,距今210—150万年期间,我国多年冻土发育很普遍。冻土发生的气候条件是多年平均气温在-2—-3℃以下。因此,当时年平均气温除受不断上升影响的青藏高原外,其他地区要比现代低12℃以上。北京延庆八里店钻孔所示,该时期以草本植物为主²⁾,是草原型气候,偏干偏凉。华北平原东部为暗针叶林景观,年平均温度比现代低10℃左右;元谋盆地此时是北亚热带至暖温带气候;狮子山冰缘期我国东部地区多年冻土南界至少在北纬40°附近,甚至可能到北纬34°地带。

5. 狮子山-鄱阳间冰期(距今150—110万年)

该间冰期初期华北平原东部偏寒,继之气温上升,生长了以栎为主的针阔混交林,年平均温度比现在高4℃左右。这个间冰期的堆积物,除含海相层的泥河湾组上部等地层外,在其他地区比较少见,可能是还没有认识的缘故。

6. 鄱阳冰期(距今110—80万年)

鄱阳冰期的冰碛在江西庐山、湘西黔东、陕西蓝田和北京西山潭柘寺都有发现,是山谷冰川至山麓冰川类型;昆仑山、唐古拉山和念青唐古拉山地区是山麓冰川至局部小冰盖;华北平原东部此时生长着以云杉、冷杉为主的暗针叶林。东部平原鄱阳冰期年平均气温比现在低8℃左右。

7. 鄱阳-大姑间冰期(距今80—60万年)

长江以南地区湿热风化作用强烈,形成了蠕虫状红土;北方地区形成棕红色黄土:即午城黄土的红土化阶段,离石黄土下部的堆积和风化阶段。离石黄土里面的古土壤多是褐色土类型,发育这种土壤的气候条件同现代长江流域的相似,年平均温度比黄土区现代的至少要高出6℃。长江流域的蠕虫状红土属于红壤-砖红壤类型,这种土类现代只在北回归线附近发育,故当时的年平均温度也要比现代高2—6℃左右,最冷月平均气温14—18℃。鄱阳-大姑间冰期我国气候带整个地向南移动了3—8个纬度。

8. 大姑冰期(距今60—50万年)

这期冰川的遗迹普遍可见,大多可恢复其山谷冰川的面貌,若以我国东部地区现代雪线理论值在海拔3000米²⁾计,大姑期雪线降低值为2200米。但在某些山体,由于地形雨的原因,降水特多,冰川活动能力强,冰舌可伸展到平原,冰面上的粒雪线应低于地形雪线,属海洋性冰川。大姑冰期的温度降低值从周口店第一地点底砾层孢粉组合看,大约是10℃左右,因为其中有阴地蕨和大量苔藓、卷柏的孢子^[6,7]。延庆地区大姑期堆积物中的孢粉以云杉为主,占47%,桦属次之,是针叶林组合和草原组合。通县东田阳孔该期堆积物中,松属占28.9—44.4%,云杉属占37.7%^[2]。从上述两地孢粉组合分析,大姑冰期温度降低值是6—7℃。

9. 大姑-庐山间冰期(距今50—30万年)

1) 郭旭东等报道过喜马拉雅山北坡加布拉间冰期湖相层中多层冻融褶皱,但他们将它置于间冰期。

2) 我国东部地区第四纪各次冰期的雪线位置都比周围地区低,因此我们推测这里的现代雪线理论值也应比周围地区现代雪线的位置为低。

该间冰期也是湿热风化时期,长江以南继续发育蠕虫状红土,北方继续离石黄土沉积和成土过程,年平均气温比现代仍高出 2—6℃ 左右。

北京周口店第一地点堆积物主要形成于大姑冰期至大姑-庐山间冰期,除底砾石层以外,第十、十一层的哺乳类化石喜冷的和喜暖的种属之比是 3:1¹⁾。洞穴堆积中多灰岩角砾,有的直径可达 2 米,很可能是冰缘气候下冻融风化作用的结果。第四层哺乳动物化石以喜暖的为主²⁾。洞外的所谓下砾石层下部有虎耳草属、卷柏属、菊科、苔藓和毛茛科孢粉,是冰期的堆积,中部是间冰期红土层,它的上面又覆盖着红棕色粘土层和碎石层,后者是冻融泥流堆积,反映了典型的冰缘气候。因此,北京人生活的时代,气候波动是很激烈的,并不是正常的温带气候。

10. 庐山冰期(距今 30—20 万年)

这个冰期在我国东部地区只有小规模的山谷冰川和冰斗冰川,雪线在海拔 800—900 米间,低于现代理论雪线 2000 米左右,年平均温度降低值 12℃ 左右。华北平原东部地区这一时期的孢粉组合中,针叶树花粉占木本植物花粉总数的 95%,其中云杉属占 65%;苔藓孢子占草本植物花粉总数的 85.5%,是针叶林-苔原气候,年平均温度比现代低 10—14℃。北京顺义县天竺村钻孔该期地层为草本植物组合,还发现云杉和可能为矮桦的花粉²⁾,反映了与前相似的气候条件。浙江天目山北坡海拔 450 米的深溪坞谷底冰坑剖面²⁾,两层泥炭被巨砾碎屑层隔开,间隔层是冰缘环境下的冻融岩屑堆积;下泥炭层的一块样品木本植物花粉占 58.6%,孢子占 41.4%,云杉属和冷杉属又占木本植物花粉的 90.2%,为暗针叶林相,林下有蕨类等低等植物生长;上泥炭层的一块样品木本植物花粉占 47.9%,孢子占 50.3%,冷杉为木本植物花粉总数的 1/3 左右,云杉和松属次之,也属暗针叶林相。冷杉林在台湾玉山分布高度是 3000—3600 米,在鄂西神农架是 2200 米,与冰坑的高差前者是 2550—3150 米,后者是 1850 米,年平均气温的降低值在 10—12℃ 上下。

11. 庐山-大理间冰期(距今 20—10 万年)

第四纪晚期我国地貌已具现在这样的格局: 青藏高原的规模已达到平均海拔 4000 米,横亘东西的秦岭高耸中原,气候的纬度地带性和垂直地带性都很显著。因此,这个间冰期的表现形式各处不一: 东部地区是温和半干旱的森林草原气候,木本植物主要是松属,南方温湿,从东北到长江下游,从西北到中原,普遍地堆积了黄土和黄土状亚粘土;青藏高原地区是寒冷的间冰期,地处高原腹部的唐古拉山地区尚未脱离冰缘环境。

12. 大理冰期(见下节)

二、一万年前的严寒气候——大理冰期的证据

我国东部地区大理冰期的表现如下:

(1) 湘西大理冰期的冰斗海拔高度为 1650—1750 米,比庐山冰期冰斗高出 800—900 米。还有海拔 1350—1450 米的冰斗层也可能属大理冰期。黔东三层冰斗海拔分别为 850—1000 米,1400—1500 米和 1800 米以上,前者显系庐山冰期形成,后者无疑属大理冰期,中间者与湘西类同。

1) 贾兰坡面告。

2) 冰坑剖面的孢粉资料是徐馨和韩辉友提供的。

雪峰山西麓的沅江第一级阶地浅黄色粉砂亚粘土层中,冷杉花粉占乔木花粉的16%,还有5%的铁杉花粉,其余大多是温带和亚热带成分¹⁾,反映了植被的垂直地带性和气候的垂直地带性分异。但是,在海拔1000米以上的山地有明亮针叶林出现,而此种高度目前是栎属为主的针阔混交林相,鄂西神农架海拔2200米以上才有冷杉林。因此,大理冰期时湘西、黔东的温度降低值有10—13℃。

(2) 湘赣边境浏阳和铜鼓两县交界处的大围山地区,在海拔700—800米和1400—1500米的地带,分别有冰斗和冰窖,里面有沼泽和腐殖质层;并发育了相应的冰碛、漂砾和冰缘区的冻融泥流堆积。与湘西黔东地区相似,海拔1400—1500米的冰蚀洼地可能是大理冰期形成的。

(3) 浙江天目山海拔920米处的平溪附近,泥流阶地堆积物孢粉分析结果表明^[6],中、下部层位冷杉属花粉含量最多可达67%,卷柏属占5%左右,虎耳草科有5—10%;剖面顶部冷杉属含量减少,水龙骨科孢子增加到62%,石松属孢子达到最高值。这个地区大理冰期时处在冰缘气候下,并由针叶林带向冻原方向发展。剖面上部棕黄色砂砾层有冻融褶皱现象,下部地层褶皱更为剧烈,粘土矿物以水云母为主,这些都是寒冷气候的证据。南天目山茗堂基附近海拔900米的地带也有类似现象。道源洞U形谷下游海拔850米处的冰楔辟充填物中,有35—40%的冷杉属花粉,还有少量云杉属和菊科等花粉。天目山地区大理冰期时为冰缘气候笼罩,温度降低值根据孢粉资料确定为8℃,若以冻融褶皱计,则达12℃。

(4) 浙闽界山的百山祖,在海拔1750米的大理冰期冰斗中,发现有6株现生冷杉,是大理冰期的孑遗。从浙北海拔850米处大理冰期冷杉林,到浙南海拔1750米处的现在冷杉孑遗,反映了大理冰期以来这里年平均温度升高了5.4℃。

(5) 华山顶上海拔2100米处的洼地中堆积了黄土,这里在历史时期还有湖泊^[9],它无疑是大理冰期的冰窖。太白山顶冰蚀地形更加典型,山顶还有冰缘区的石海发育。渭南北庄村第一级阶地黄土状堆积物下面的砾石层中,有青杆(*Picea Wilsonii*)球果、树枝和云杉、冷杉花粉。此地海拔490米,而青杆现今生长在秦岭海拔2000米以上的地带。青杆球果的C¹⁴年龄测定为距今23100±850年。当时渭南年平均气温比现在低8℃^[10],甚至更低。砾石层下面的砂层有冻融褶皱,当时气温比现在要低14℃。

(6) 山西朔县峙峪遗址出土的王氏水牛,C¹⁴年龄28135±1330年。据贾兰坡研究,当时气温比现在低7.8℃^[11]。

(7) 北京西山清水河谷及其支谷里,普遍发育冰缘河谷堆积物及其气候阶地,它们是寒冷气候下的加积堆积物,形成于斋堂黄土之后。马兰台剖面上部的粉砂透镜体,一块样品的孢粉组合中云杉花粉占85%,说明当时北京西山河谷中及山坡上生长着暗针叶林。

北京饭店扩建工程挖方揭出,在14米深处理藏着一株古榆树,C¹⁴年龄29285±1350和28465±1350年。淤泥层中的孢粉经周昆叔研究,草本植物占孢粉总数的49.6—68.0%,松粉占乔木花粉的82%以上,云杉属花粉最高时可达17.9%,冷杉花粉最高时达30.8%^[12]。淤泥层上面的砂层中有扭曲和卷曲构造,可能是冻融褶皱。积水潭孔深16米处的孢粉组合,针叶林占80—90%,中部的样品冷杉属含量11.5%,云杉属含量34.4%。

1) 刘廷栋提供的资料。