

·成果简介·

青藏高原冰芯研究

姚檀栋*

(中国科学院兰州冰川冻土研究所, 兰州 730000)

[关键词] 青藏高原, 冰芯, 冰川过程, 气候阶段

前 言

冰芯研究是全球变化研究的重要内容之一。冰芯因其分辨率高、信息量大、保真性强、时间序列长和洁净度高而成为研究地球系统中生物、化学和物理过程的最好媒体。冰芯研究已经为全球变化研究做出了重大贡献。通过冰芯记录中的权威资料使得人们对新仙女木事件的研究、小冰期的研究、各种突发事件的研究和温室效应气体的研究, 都有了进一步深化。现在人们愈来愈认识到, 冰芯研究将成为检测过去全球变化、监测现在全球变化和预测未来全球变化的重要手段。中低纬度区域是人口稠密和经济迅猛发展的地区, 因而这些地区的冰芯研究还可为研究人类活动对环境的影响、为正确认识并把握人地关系提供依据。

过去30年来冰芯研究的热点地区在两极, 已完成了5个大规模冰芯研究计划, 另外5个新的冰芯研究计划正准备实施。其中特别引人注目的有国际南极研究科学委员会组织的国际横穿南极科学考察(ITASE)、美国西南极冰芯计划、欧共体组织的东南极(DOME C)深钻计划和日本组织的东南极(DOME F)深钻计划。这些新的研究计划的实施将会把南极冰芯气候环境的研究推向一个新阶段。

与南北极冰芯研究热潮相呼应, 作为“地球第三极”的青藏高原是目前国际上冰芯研究的另一热点地区, 已有中国、美国、法国、日本、俄罗斯、挪威等国的学者先后进行过青藏高原的冰川过程和冰芯研究。IGBP PAGES曾在1993年将青藏高原确定为今后5—10年内过去全球变化研究的攻坚目标。1995年4月在尼泊尔召开的“喜马拉雅山气候环境专家讨论会”上, 青藏高原冰芯研究再次被列为最重要的研究目标。1995年8月于瑞士召开的“高海拔地区气候环境变化专家讨论会”提出在北半球建立一个以青藏高原等高原山地冰芯研究为目标的网络。可以说, 青藏高原冰芯研究的高潮已经到来。

在各国学者即将涌入“第三极”掀起冰芯研究高潮之前, 利用中国独特的自然资源优势, 捷足先登, 不失时机地在青藏高原开展大规模的冰芯研究, 不但可以保持我们在第三极冰芯研究的优势, 提高中国科学研究成果在国际上的显示度, 而且将对中华民族的科学和社

* 1994年度国家杰出青年科学基金获得者。

本文于1998年4月13日收到。

会发展作出重要贡献。中国科学院兰州冰川冻土研究所正是在这种形势下开展冰芯研究的。中国在青藏高原的冰芯研究,已有10多年的历史。在此期间,中国先后完成敦德冰芯,唐古拉冰芯、希夏邦马冰芯等研究课题。正在开展的古里雅冰芯研究则是目前南北极以外最重要的冰芯研究项目,已在国内外引起很大关注。

1 青藏高原冰芯研究的基本内容

1.1 与冰芯研究相关的过程研究

大气气溶胶与冰气交换过程的研究。通过对大气气溶胶及冰面大气沉积物中主要阴阳离子、微粒、火山灰、族元素等的研究,建立不同季节和不同气候条件下,大气近冰面层和冰川表层各种物质成分的交流、沉积、冰内扩散和冰内储存机制的定量模型。借用冰这一高洁净物质的高保真性来精确地反映全球变化。

降水中 $\delta^{18}\text{O}$ 和 δD 与气候相互作用过程的研究。通过研究 $\delta^{18}\text{O}$ 和 δD 与气候变化的关系,建立作为气候变化主要因子之一的温度与 $\delta^{18}\text{O}$ 和 δD 关系的定量模型,进而定量地恢复过去气候变化。

生物地球化学循环过程研究。通过山地生物有机酸(DMS、MSA、F等)的研究,建立生物地球化学循环模型,揭示生物圈的演化特征。

物质平衡过程的研究。通过冰川总积累量、总消融量、纯积累量、纯消融量、净平衡和零平衡线的研究,揭示水圈、大气圈和冰冻圈的能量和物质转换过程。同时,揭示过去降水变化特征。

青藏高原冰冻圈和大气圈相互作用过程的研究。选择典型地区,进行消融期降水、蒸发及能量观测,以建立参数化物质-能量变换模型。

1.2 冰芯记录研究

通过对冰芯密度、温度、冰晶尺寸、冰晶组构等物理特征研究,提出冰芯气候环境变化的各种基本参数。

通过对冰芯时间模型的研究,建立冰芯高分辨率的时间序列。

通过对冰芯中环境信息的研究,特别是对冰芯中阳离子、阴离子、微粒的研究,揭示不同时间序列(200年内以年计,2000年内以5年计,1万年以10年计,10万年内以100年计)中这些物质成分所反映的自然变化特征及其与人类活动的关系。

通过对冰芯中气候信息的研究,特别是对 $\delta^{18}\text{O}$ 、积累量、 δD 和孢粉的研究,恢复气候变化历史。着重点在过去200年和2000年、全新世、末次冰盛期和末次间冰期几个时段的气候变化特征。

通过对冰芯中生物地球化学特环信息的研究,特别是对DMS、MSA及其它的生物有机酸的研究,建立冰芯记录中的生物地球学循环模型。

通过对温室效应气体研究,特别是对 CH_4 的研究,建立地球第三极温室效应气体的演化历史,并揭示地球第三极温室效应气体与气候变化的关系。

1.3 几个核心问题

冰-气转换模型研究。通过对冰-气界面各种物质交换、沉积、冰内迁移和储存等机制的定量、综合研究,建立其过程定量表述模型。

时空变化规律及主导因子研究。通过对冰期/间冰期、全新世、过去2 000年和过去200年4个层次时间序列的研究,阐明青藏高原地区气候变化规律及其主导因子。

气候变化与太阳活动关系的研究。通过高分辨率的冰芯记录分析,研究1 000年时间尺度上气候变化的驱动因子及对气候的响应模式。

2 青藏高原冰芯研究成果

2.1 研究成果

在德令哈气象站、西宁气象站、沱沱河气象站建立了系统采样网,研究大气降水中稳定氧同位素与气温之间的关系,以确认青藏高原北部冰芯中稳定氧同位素的气候意义。研究发现,在青藏高原北部,大气降水中稳定同位素的变化主要受温度变化的控制,因此,作为已积累下来的固体降水的冰芯中的稳定氧同位素可以作为温度变化的替代指标。

成功地完成了敦德冰芯和古里雅冰帽的深钻提取和冰样储存。其工作包括:在敦德冰帽和古里雅冰帽进行测厚、冰川积累量、冰应变、冰温、冰面气象等项目的研究;在敦德和古里雅冰芯钻取浅冰芯,确认钻取条件,冰芯提取质量和冰芯运输条件;在敦德冰帽提取140 m冰芯3根,在古里雅冰帽海拔6 200 m处钻取309 m冰芯一根,并成功地运回到兰州冰川冻土研究所低温室。

分过去2ka、过去125ka过去700ka³个时段,对敦德冰芯和古里雅冰芯进行断代,建立了过去2ka和过去125ka的连续时间序列。过去2ka的时间序列是通过污化层法建立的,分辨率以年计;过去125ka的时间序列是通过时间模型和特征层(或参考层)建立的,分辨率在10年左右。通过时间模型,³⁶Cl等手段,确定古里雅冰芯底部的年代达到70万年。

分析了敦德冰芯和古里雅冰芯中的主要阳离子(K、Na、Ca、Mg)和主要阴离子(Cl、SO₄、NO₃),分析了冰芯中的微粒含量,测量了冰芯中冰晶尺寸的变化。结果表明,冰芯中上述被测定物质成分的变化主要反映大气成分(或环境)的变化,而冰晶尺寸的变化则与温度的变化有密切的关系。

通过对冰芯中稳定氧同位素的分析和冰芯中冰川积累量的分析,研究了相应的温度变化和降水变化。

2.2 突破性进展

首次以连续的,分辨率达到年的、多指标记录,详细揭示了过去2ka以来气候环境变化。发现:过去2ka来,温度在波动中逐渐上升,降水在波动中逐渐增加,温度和降水的长期变化趋势有比较密切的正相关关系,其间,有多次大的气候寒冷事件,其寒冷程度超过小冰期。小冰期只不过是距今最近的一次冷期。

首次在中低纬度山地冰川建立了过去125ka以来高分辨率气候环境变化序列。该记录中显示的气候阶段1、2、3、4、5和阶段5中的5a、5b、5c、5d、5e十分清楚。两个特别发现是:第一,从冰期(或冰段)进入间冰期(或间冰段)时,气候变暖是逐渐的,而从间冰期(或间冰段)进入冰期(或冰段)时,气候变冷是突变的;第二,气候阶段3是末次冰期中的间冰阶。此间冰阶的温暖程度超过全新世,接近末次间冰期,说明青藏高原那时处于一种十分温暖的气候条件之下。

首次在该地区做了高分辨率地研究,并证实了新仙女木期在青藏高原也存在,从而证明

该寒冷事件的出现是全球性的。在古里雅冰芯中,新仙女木期由15次一级的冷暖波动组成,在达到最寒冷期以后,又突然升温,进入全新世大暖期。

大气成分变化与气候变化密切相关:气候变冷时,大气中尘埃含量增加;气候变暖时,大气中尘埃含量减少。以青藏高原为中心的高亚洲地区可能是全球大气尘埃变化的驱动源。

太阳辐射变化是青藏高原气候变化的主要驱动力。根据古里雅冰芯稳定氧同位素和太阳辐射关系的研究,发现两者具有密切的正相关关系,同时,太阳辐射的变化位相超前于气候变化且气候变化周期与太阳辐射变化周期一致。因此,可以认为,太阳辐射变化是气候变化的主要驱动力。

青藏高原古里雅冰芯所记录的过去125ka以来的气候环境变化与南极、北极及深海沉积记录的大的气候环境事件十分吻合,因此,全球重大气候环境事件具有同时性。但古里雅冰芯记录的气候变化幅度大于南极、北极地区,不同地区气候变化幅度的差异是十分明显的。

通过青藏高原冰芯研究,发现青藏高原在气候阶段3是一异常温暖阶段。对这一温暖事件及其机制的深入研究,将有可能在古气候研究方面有新的突破。

通过青藏高原冰芯研究,首次发现青藏高原的冷暖转换型与深海沉积所记录的冷暖转换型迥然不同。在深海沉积记录中,其特征是:当气候由冷向暖转变时,是一快速变暖过程,当气候由暖向冷转变时,是一慢速变冷过程。而在青藏高原冰芯记录中,其特征是:气候由冷变暖时,是一慢速变暖过程,气候由暖变冷时,是一快速变冷过程。和海洋记录正好相反。青藏高原的积雪变化可能是产生这一特征的主要原因。

3 未来青藏高原冰芯研究的实施

3.1 野外工作

沿青藏公路从南到北的剖面建站,以监测温度、降水、风速、风向、湿度、蒸发及与冰川物质平衡相关的冰川积累与消融,同时对冰川面积、体积和冰川末端变化及冰川遗迹进行研究,以建立各种过程模型和冰川变化模型。

在青藏高原建立覆盖不同气候区的采样点,采集样品并同时观测气温,并通过对降水中氧同位素的分析,建立降水中氧同位素与气温的关系。

选择典型冰川,研究冰面氧同位素、阴离子、阳离子及其它杂质随时间、温度等各种因子所发生的变化,探讨各种物质成分从大气到冰的转换过程以及它们在冰内储存及转换的方式与机制。

在大范围表面采样、冰川测厚与浅孔冰芯钻取的基础上,选择最理想的地点,钻取深孔冰芯。

3.2 实验工作

通过对现代过程各种资料的分析,研究冰冻圈与大气圈和水圈之间的定量耦合关系。利用冰芯资料,建立冰川物质平衡与冰川变化序列。利用野外所获取的各种资料和实验室分析结果,建立大气降水中氧同位素与温度关系的定量模型。利用野外资料和实验室分析结果,建立大气成分和冰内记录的转换模型。

分析表层雪样中主要阴离子、阳离子、DMS、MSA微量元素等以研究它们的沉积、迁移和储存机制,研究重点放在阴离子、阳离子、DMS、MSA等方面。

通过冰雪中稳定同位素（作为温度指标）的分析和冰川积累量（作为降水指标）的恢复，研究气候变化。分析的重点是冰芯中的氧同位素（ $\delta^{18}\text{O}$ ）、氢同位素（ δD ）和过量氘（ exd ）。

通过冰芯可溶性和不可溶性杂质的分析，研究环境变化及人为活动对环境的影响。着重分析的对象是阴离子、阳离子、生物有机酸、微粒等。

通过冰内气体成分的分析，研究大气成分的变化及其与气候变化的关系，目前主要研究 CH_4 。



课题组成员在仔细研究冰芯结构，做好分样前的对接

STUDY ON ICE CORE RECORDS AND THEIR RELATIVE PROCESSES ON THE TIBETAN PLATEAU

Yao Tandong

(*Institute of Glaciology and Geocryology, CAS, Lanzhou 730000*)

Key words Tibetan Plateau, ice core, glacial process, climatic stages