珠穆朗玛峰高海拔地区水体中氢氧同位素的地球化学特征*

中国科学院地理研究所化学地理室
北京大学化学系

一、概况和取样位置

珠峰地区的喜马拉雅山主脉的山脊大多在海拔 6,000 米以上,四个最高峰附近海拔高达 8,000 米以上。由于极高的海拔,在这个低纬度地区形成了巨大的山岳冰川。位于珠峰北坡的主要冰川有中绒布冰川、东绒布冰川和西绒布冰川,这三条冰川汇合成绒布冰川。珠峰地区有着强烈的太阳辐射和较强的水蒸发,昼夜温差很大,这些特点影响了积雪的变质成冰作用和冰川的消融过程。从雪线以上直到顶峰,积雪变质成冰作用属于渗浸冻结类型,不存在象极地冰盖地区或其他冰川地区的重结晶类型^[1]。这一自然地理特征也影响了珠峰高海拔地区冰雪中同位素的分馏作用及其组成的地球化学特征。

1975 年 3 月中、下旬起,我国登山队男女运动员和科学考察队员通过协作,在从北坡登上珠峰的过程中,采集了东绒布冰川和中绒布冰川海拔 7,050 米以上的冰雪样品。在北坳海拔 7,050 米处采集了冰川剖面样品,见图 1。采集了绒布河早、中、晚不同时间的水样。此外,还采集了珠峰低海拔地区不同自然带中的降水和降雪样品。所有样品都直接装入聚乙烯瓶中,注意了密封,防止同位素组成的变化。

二、同位素分析结果

将水样用镁粉转化成氢,另用电解法转化成氧(转化的方法将另文发表),然后分别在 M-86 型和 CH-5 型质谱计上测定其中的氘和氧-17、氧-18 含量。最后以标准平均洋水(SMOW)为基准计算出 δ 值^[2,3],结果见表 1。标准平均洋水的 O^{17}/O^{16} 比值,系按下述公式计算而得:

$$\left(\frac{O^{17}}{O^{16}}\right)_{SMOW} = \left(\frac{O^{17}}{O^{16}}\right)_{\text{样}} \left[\frac{(O^{18}/O^{16})_{SMOW}}{(O^{18}/O^{16})_{\text{样}}} \right]^{1/2}.$$

三、氘和重氧分布规律的讨论

1. 珠峰地区冰雪水中氘和重氧的分布特征

本文 1977 年 11 月 18 日收到。

* 本文由中国科学院地理研究所章申、于维新执笔。工作中得到中国登山队的大力支持和协助。同位素分析工作主要由北京大学化学系同位素组担任,并有清华大学工化系和地质科学研究院地质矿床研究所参加。张青莲教授对本工作进行了指导,一并深表谢意。

图1 采样点

表1 珠峰高海拔地区冰雪水中氦和重氧的测定结果

编号	地点	海拔(米)	名称	1975年、月、日	$\delta D(\text{‰})$	$\delta O^{17}(\text{‰})$	$\delta O^{18}(\text{‰})$	备注
Z ₁	珠峰峰顶	8848	新雪	5.27	-208.8	-12.54	-25.76	
Z ₂	突击营地附近	8600	表层雪	5月下旬	-136.3	-7.89	-17.55	
Z ₃		8100	粒雪	4.20	-82.2	-4.96	-11.31	
Z ₄	高山营地	7600	冰		-22.4	-0.57	-3.05	
Z ₅		7450	粒雪	4.21	-62.0	-3.96	-8.18	
Z ₆	北坳营地	7050	新雪	3.22	-127.8	-8.68	-18.14	A ₀ 层
Z ₇	北坳营地	7050	陈雪	3.22	-135.9	-9.22	-19.45	A 层
Z ₈	北坳营地	7050	粒雪	3.22	-144.2	-9.79	-20.36	B 层
Z ₉	北坳营地	7050	粒雪冰	3.22	-121.7	-9.25	-16.24	C 层
Z ₁₀	北坳营地	7050	冰	3.22	-154.8	-9.55	-19.75	D 层
Z ₁₁	绒布寺营地	5000	绒布河水	3.16 晨	-153.1	-9.81	-20.65	表层水
Z ₁₂	绒布寺营地	5000	绒布河水	3.16 午	-147.1	-9.77	-20.54	表层水
Z ₁₃	绒布寺营地	5000	绒布河水	3.16 晚	-151.5	-10.05	-20.41	表层水
Z ₁₄	定日(协格尔)	4300	新雪	3.26	-74.1	-4.43	-10.36	
Z ₁₅	樟木	2300	雨水	4月	+8.9	+1.48	+0.51	

首次测得世界最高峰雪样中氦的浓度为 $123.2(\pm 0.3)$ ppm, 与标准平均洋水相比时 δD 为 -208.8‰ 、与北京大学自来水中氦含量相比时 ΔD 为 $-22.5(\pm 0.5)$ ppm. 氧-17 的 δ 值为 -12.54‰ . 氧-18 的 δ 值为 -25.76‰ . 从珠峰顶峰一直到海拔四千多米的冰雪水样品中的氦含量都明显低于标准平均洋水的含量, 氧-17 和氧-18 的含量也这样. 7,600 米高山营地的一个冰样(样品号 Z_4) 中这些较重同位素的含量不那么低, 是由于消融和蒸发的结果. 上述特征再一次证明了一般高山冰川地区固态和液态水体中贫氦和贫重氧的普遍规律. 然而, 云层的形成和降水过程都是比较复杂的^[4], 如欲作出进一步的说明, 那就需要积累大量的数据.

2. 新雪中同位素含量的海拔效应

由表 1 所列的 Z_1 , Z_2 , Z_6 和 Z_{14} 四个新雪样品分析数据可以看出, 随着海拔高度的升高, 新雪中氦含量有明显的下降. 氧-17 和氧-18 的海拔效应不象氦那样显著, 但可以看出氧-17 和氧-18 的含量随海拔升高而降低的趋势.

3. 冰雪剖面中氦和重氧的分布

在 7,050 米北坳营地附近所采冰雪剖面中氦含量从表层向下有逐渐降低的趋势. 而氧-17 和氧-18 含量在剖面中并没有明显的分布规律, 这种不规则的分布可能和冰层形成时的自然环境有关, 尚待进一步的研究.

4. 降水中氦和重氧的含量

测定了珠峰北侧高原半干旱草原带定日盆地的降雪样品(编号 Z_{14}) 和珠峰西南侧山地亚热带樟木地区的降雨样品(编号 Z_{15}), 观察到两者的氦含量有很大差异. 亚热带降雨中氦的含量为 157.1 ppm, 大于高原半干旱草原带降雪中的氦含量 144.2 ppm. 氧-17 和氧-18 也出现了这种差别, Z_{14} 的 δO^{17} 为 -4.43‰ , Z_{15} 为 $+1.48\text{‰}$; Z_{14} 的 δO^{18} 为 -10.36‰ , Z_{15} 为 $+0.51\text{‰}$. 这种规律符合文献中通常的报道, 即亚热带和热带降水中氦和重氧的含量较其他自然带为高.

5. 绒布河水中氦含量的变化规律

珠峰北侧的绒布河主要受冰川融水的补给, 根据 1966 年设在海拔 5,000 米绒布寺附近短期观察点的资料, 绒布河的流量平均约为 7.4 米³/秒, 每天午间 10 时至 14 时流量最小(4.5—6 米³/秒), 最大流量一般在晚上 20 时至 22 时出现, 约为 9—11 米³/秒, 早晨七、八时是流量由大变小的过渡时间. 这次测定了绒布河早、中、晚水样的氦含量, 结果(Z_{11} 、 Z_{12} 、 Z_{13} 三个样品)表明, 河水中氦含量的日变化很小, 变化范围在 ± 1 ppm 以内. 在流量最小的中午, 氦含量有增高的趋势. 1968 年前测定的绒布河水(海拔 4,850 米的吉隆寺附近)中的 D 含量为 130 ppm^[5], 与这次测定的结果(含量为 131.9—132.8 ppm)相比, 说明氦在绒布河中的年变化是不大的.

氧-17 和氧-18 含量的日变化也很小, δO^{17} 的变化范围在 0.28‰ 以内, δO^{18} 的变化范围在 0.24‰ 以内.

参 考 文 献

- [1] 谢自楚、王彦龙, 珠穆朗玛峰地区科学考察报告(现代冰川与地貌), 科学出版社, 1975, 34.
- [2] Hagemann, R., Nief, G. & Roth, E., *Tellus*, 22(1970), 6, 712.
- [3] Craig, H., *Science*, 33(1961), 1833.
- [4] Friedman, I. et al., 1, *Rev. Geophys.*, 2(1964), 1, 177.
- [5] 章申等, 中国科学, 1973, 4, 430.