

天山地区冰川物质平衡的突变探测

曹梅盛

(中国科学院兰州冰川冻土研究所, 730000)

摘要 据世界冰川监测处(WGMS)收集、编辑和出版的全球冰川物质平衡序列资料,用Mann-Kendall与滑动平均 t 检验法探测了天山地区6条冰川10 a尺度的物质平衡突变。结果表明,70年代中它们曾发生过突变,约三分之一突变量系年积累减少引起的,另外三分之二由消融量加剧导致的。所以,本次突变系夏季温度升高、消融剧增为主导,叠加年降雪量递减的综合结果。

关键词 冰川物质平衡 突变 天山地区

1 引言

一定山势格局条件下,气候变化将影响冰川规模及运动状态,直至冰川的生存。高山冰川及小冰盖尤为敏感。因此它们的演变记录已被视作气候变化的“指示器”(Barry, 1985)。冰川响应气候变化将首先通过冰川物质平衡的波动表现出来(谢自楚, 1994)。所以监测山区冰川的物质平衡变化,将为高山区气候环境波动监测提供可靠信息。

近年来气候突变研究受到重视。1985年北大西洋公约组织科学委员会曾专门在法国召开“气候突变事实与影响”的专题讨论会,并出版了会议论文集。冰川要素突变的研究也受到重视。据深海沉积岩芯的稳定氧同位素记录,已探测到 90×10^4 a BP前更新世中期,曾发生过一次全球冰量剧增即气候转冷的突变(Maasch, 1988)。近年来10 a尺度气候突变研究也取得进展。利用1956年以来天山6条冰川的年物质平衡序列,本文试图探测该区冰川10 a尺度的突变及其气候意义。

2 突变探测方法

本文采用滑动 t 检验(MTT)及Mann-Kendall秩和检验(MKRT)两法,并相互校合以确保探测结果的可靠。

若一序列某时段与相邻时段均值的差异有充分统计显著性,则认为在该相邻时段分隔点,序列存在满足一定信度的突变。为此,我们把冰川物质平衡随机变量序列 x ,分成二子样本集 x_1 和 x_2 。设 μ_i , s_i 和 n_i 分别表示子样本集 x_i 均值、方差和样本长($i=1$ 和 2),并对二子样本集进行 t 检验。

零假设 $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$, 定义统计量 t_0 为

$$t_0 = \frac{\mu_1 - \mu_2}{S_p \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)^{\frac{1}{2}}}$$

$$S_p^2 = \frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}$$

式中: S_p^2 为联合样本方差。因探测 10 a 尺度突变, 故 $n_1 = n_2 = 10$ 。显然, $t_0 \sim t_{(n_1 + n_2 - 2)}$ 分布, 所以给定信度 α 及相应临界值 t_{α} 后, 当 $|t_0| \geq t_{\alpha}$ 零假设 H_0 被否定, 被分序列相邻两时段的均值存在突变。依此逐点检验序列。图1为前苏联天山图尤克苏冰川1956/1957~1989/1990年度34 a 物质平衡序列变化过程线。图2为逐年累积曲线。它在70年代中有一转折, 此后的冰川物质负平衡有所加剧, 但非典型情况下, 其位置并不明确。图3为该序列 $n = 10$ a 的 MTT 监测结果。它显示1972/1973年度有一通过信度 $\alpha = 0.05$ 显著性检验的突变点。

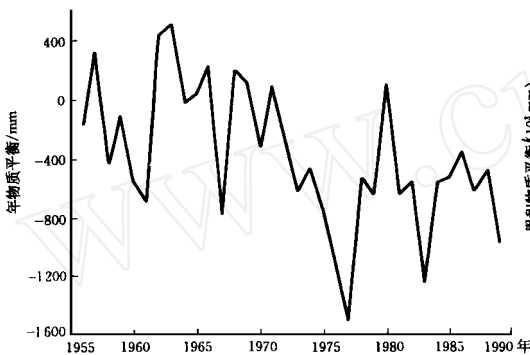


图1 图尤克苏冰川1956/1957~1989/1990年度冰川物质平衡变化曲线

Fig. 1 The time series of annual mass balance from 1956/1957 through 1989/1990 for Glacier Ts Tuyuksu

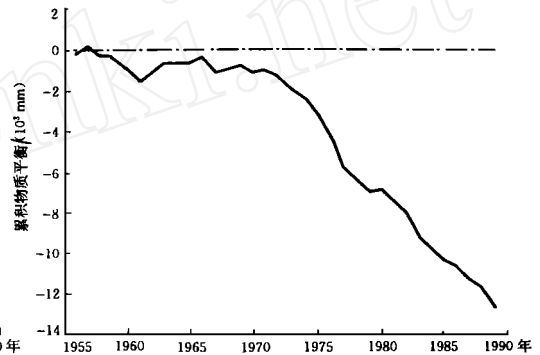


图2 图尤克苏冰川1956/1957~1989/1990年度逐年冰川物质平衡累积曲线

Fig. 2 The accumulative curve of the annual mass balance from 1956/1957 through 1989/1990 for Glacier Ts Tuyuksu

当序列长与 n_i 相差无几时, MTT 对序列的两端将无法探测。非参数 MKRT 可部分克服此缺点且定量程度高而被广泛采用 (符淙斌, 1991)。

MKRT 的零假设 H_0 : 冰川物质平衡序列 $x_1, x_2, \dots, x_n$ 无变化。用 m_i 表示样本 x_i 大于 x_j ($i \geq j \geq 1$) 的累计数。定义统计量 d_k 为:

$$d_k = \sum_{i=1}^k m_i \quad (2 \leq k \leq n)$$

d_k 均值 $E[d_k]$ 和方差 $\text{var}[d_k]$ 分别为

$$E[d_k] = \frac{k(k-1)}{4}$$

$$\text{var}[d_k] = \frac{k(k-1)(2k+5)}{72} \quad (2 \leq k \leq n)$$

将 d_k 标准化:

$$u(d_k) = \frac{(d_k - E[d_k])}{\sqrt{\text{Kvar}[d_k]}}$$

式中: $u(d_k)$ 为标准分布, 查表即可得知其概率值 α_0 。当 $\alpha_0 < \alpha_0$, 零假设被否定, 序列存在强烈增或减趋势, 此处 α_0 为给定信度。将 $u(d_1)$ 设定为0后与其余 $u(d_k)$ 一起 ($2 \leq k \leq n$), 组成曲线 C_1 。当该曲线超过给定信度线, 表示序列存在明显变化趋势 (图4)

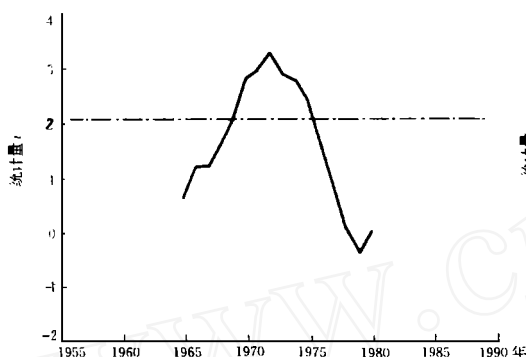


图3 图尤克苏冰川MTT 突变探测
(点划线为信度 $\alpha = 0.05$ 线)

Fig. 3 The abrupt change detection of annual mass balance using MTT for Glacier Ts Tuyuksu

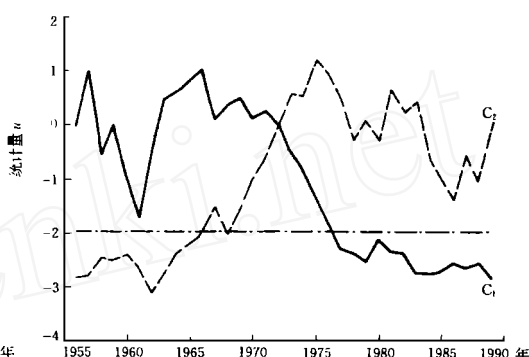


图4 图尤克苏冰川MKRT 突变探测

(C_1, C_2 分别为正反序列统计量 u 的变化曲线, 点划线为信度 $\alpha = 0.05$ 线)

Fig. 4 The abrupt change detection of annual mass balance using MKRT for Glacier Ts Tuyuksu

上述方法用到反序列, 以 $\bar{m}_i$ 表示第 i 个样本 $x_i > x_j$ ($i \leq j \leq n$) 的累计数。如果 $i = n+1 - i$ 时, $\bar{m}_i = m_i$; 反序列 $\bar{u}(d_i)$ 将如下表示:

$$\bar{u}(d_i) = -u(d_i) \quad (i, i' = 1, 2, \dots, n)$$

图4上序列 $\bar{u}(d_i)$ 变化以曲线 C_2 表示。若 C_1 与 C_2 交叉点位于给定信度界限线内, 则它即为满足一定信度的突变点。图4上出现在1972/1973年度。

3 结果与讨论

横贯亚洲中部的天山山系, 东西长约2500 km, 南北宽250~400 km。据冰川编目统计, 山区计有现代冰川16490条, 但包括有过物质平衡间断观测的冰川也仅数十条。本文仅对50年代中开始长期系统测量的6条冰川作突变探测。资料源自世界冰川监测处1994年前陆续编辑出版的1989/1990年度前“全球冰川波动”汇编6卷本。

探测结果列于表1。表中除乌鲁木齐河源1号冰川年物质平衡1977/1978年度的

表1 天山山区冰川物质平衡突变探测结果

Table 1Results of the abrupt changes in annualmass balance at 6 glaciers in the Tianshan Mountains

冰川名称 (W G M S) 编码	T s Tuyuksy (SU 05075)	Igly Tuyuksu (SU 05078)	Kara- batkak (SU 05080)	M ob- dezhniy (SU 05090)	M anetov (U 05091)	乌鲁木齐 河源1号 (CN 00010)
纬度	43 °	43 °	42 06 '	43 °	43 °	43 05 '
经度	77 06 '	77 06 '	78 18 '	77 06 '	77 06 '	86 49 '
面积(°)	3 14	1 72	4 56	1 43	0 35	1 87
雪线海拔(m)	3940	3850	3800	3870	3880	4060
突变年(M KDT)	1972/1973	1973/1974	1974/1975	1971/1972	1972/1973	1977/1978
突变年(M TT)	1972/1973	1973/1974	1974/1975	1972/1973	1972/1973	1977/1978
突变前年物质平衡均值(mm)	- 79	- 56	- 171	- 63	18	- 42
突变后年物质平衡均值(mm)	- 665	- 619	- 762	- 726	- 580	- 258
突变前后年物质平衡 均值的差异(mm)	- 586	- 563	- 591	- 663	- 598	- 216

注: 冰川面积与雪线海拔均采用1975年值。

表2 物质平衡突变前后两冰川年积累与消融均值的变化

Table 2The changes in the mean of the annual accumulation and ablation after and before the year when abrupt change of annualmass balance occurred for the two glaciers

冰川	物质平衡 突变年	年积累量均值(mm)			年消融量均值(mm)		
		突变前	突变后	差值 (占总差值, %)	突变前	突变后	差值 (占总差值, %)
图尤克苏 乌鲁木齐 河源1号	1972/1973	1092	915	177(30)	1168	1578	410(70)
	1977/1978	598	519	79(37)	638	774	136(63)

突变, 只能接近通过信度 $\alpha=0.05$ 显著性检验, 其余5条冰川均通过。结果表明, 尽管50年代以来天山地区冰川物质平衡一直以亏损为主, 但自70年代中期亏损呈现加剧突变。例如, 图尤克苏冰川年物质平衡均值突变前为- 79 mm 水当量, 突变后为- 665 mm, 相差 - 586 mm, 已超过34 a 总平均- 372 mm 的1.75倍。反映本世纪气候变暖总趋势背景下, 70年代中期天山地区气候环境已向干暖化方向跃变。据北疆1951~ 1987年37 a 大气干旱指数记录所得突变分析结果, 这个演变也得到佐证。按年、冬、夏季分别探测得知, 大气干旱指数在1973年, 1972年冬与1976年夏分别出现突变加大 (江剑民, 1993)。尽管高山与低地气候变化的特征有所差异, 但两者突变年靠近, 也许验证各自突变探测结果的可靠性。

探测冰川年积累与消融突变表明, 图尤克苏冰川分别为1971/1972年度与1972/1973年度, 乌鲁木齐河源1号冰川分别为1975/1976及1977/1978年度, 即年消融突变与全年物质平衡突变出现时间一致, 而年积累提前1~ 2 a。表2为该两冰川物质平衡突变前后年积累与消融均值变化的计算结果。它表明突变年前后, 两冰川年消融均值的差额均约占总差额的三分之二, 另外三分之一为年积累减少所致。冰川物质平衡的变化主要综

合反映气候环境中降水与夏气温变化, 而年积累与消融量分别侧重反映降水与夏气温状况。因此, 本区冰川物质平衡70年代中期的突发加剧, 系夏气温升高、消融剧增为主导, 再叠加年降雪量递减, 综合构成了本次10 a 尺度突变。

观测记录及大气环流模式(GCM)数值试验均证实, 70年代中太平洋区海气耦合系统曾出现突变(Graham, 1994), 导致北半球其它地区冬季环流明显改变: 阿留申低压及中纬太平洋东和中部盛行西风带加强并南移。天山地区1976/1977至1981/1982年度与1970/1971至1975/1976年度两时段700 mb 高度差, 也存在超过信度 $\alpha=0.05$ 的差异。天山冰川呈现的物质平衡突变, 正是北半球这个气候环境突变的响应。

参 考 文 献

- 江剑民, 刘 荣 1993 对我国年、季大气干旱指数的气候跃变分析 气象学报, 51(2): 237~ 240
 符淙斌 1991 南亚夏季风长期变化中的突变现象及其与全球迅速增暖的同步性 中国科学(B 辑), (8): 866~ 876
 谢自楚 1994 高亚洲冰川物质平衡研究 中国科学院院刊, (3): 245~ 248
 Barry R G 1985 The cryosphere and climate change In: Detecting the climatic effects of increasing carbon dioxide MacCracken, M C and Luther L M eds, Washington, D. C., U. S. DOE: 109~ 148
 Maasch K A. 1988 Statistical detection of the mid- pleistocene transition. Climate Dynamics, (2): 133~ 143
 Graham N E. 1994 Decadal- scale climate variability in the tropical and North Pacific during the 1970s and 1980s: observation and model results Climate Dynamics, (10): 135~ 162

Abrupt Change Detection of Glacier Mass Balance in the Tianshan Mountains

Cao Meisheng

(Lanzhou Institute of Glaciology and Geocryology, Chinese Academy of Sciences, 730000)

Abstract

Based on the glacier mass balance data collected, compiled and published by the World Glacier Monitoring Service, this paper attempts to detect if there were decadal- scale abrupt changes at six glaciers in the Tianshan Mountains. The results are listed. It is obvious that there was an abrupt change in the mid- 1970s, and 2/3 amount of the change was caused by the abrupt increase of annual ablation and other 1/3 was by the decrease of annual accumulation. Thus, this abrupt change was mainly caused by a temperature increase in summer as well as an annual snow fall decrease.

Key words: glacier mass balance, abrupt change, Tianshan Mountains

作者简介: 曹梅盛, 男, 59岁, 研究员, 1960年毕业于北京清华大学水利工程系水工结构专业。现主要从事冰冻圈环境遥感应用。