

北部チベット高原における河川流量の変動と 気温との関係 (1990年夏)

村山治太¹⁾・马 菜龄²⁾

The relation between atmospheric temperature and flow rate of river water at North Tibet plateau, in China (1990 Summer).

Haruta MURAYAMA¹⁾・Lailing MA²⁾

Abstract: The scientific expedition was carried out from the Taklimakan desert (altitude 1000 m) to the Tibet plateau (4000~5000 m) passing through Kunlun mountains (over 5000 m) by the members of Japan-China Joint Project which name was Kekexili, China Region Science Expedition. Daily fluctuations were observed in flow rate of river water at camp sites (altitude about 4700 m). This phenomena were explained from observations of atmospheric and river water temperature: 1) Melt water from frozen ground is re-frozen and constructed embankment by ice on surface ground at night. 2) Following melt water is saved into unfrozen ground and flow late of river water is decreased slowly. 3) When atmospheric temperature is rise up above 0°C, ice embankment is melted and changed to water. 4) This time, saved water is added melt water and flow rate is increased quickly.

はじめに

1989年1月に中国科学探検協会が設立され、第一号事業として「日中共同カガンリ科学探検 (Kekexili, China Region Science Expedition) プロジェクト」が企画された。カガンリ (Kekexili) 地域はこれまで人跡未踏に近く、科学調査がなされていないため、総合自然科学調査の対象地域として取り上げられた。平均標高 4500 m に達する山岳・峡谷・湖沼地帯の成立経緯と、動植物界の実態を明らかにすることが主な目的であった。向こう3年間を目標として、第1回科学調査隊が1990年7月18日にウイグル

¹⁾ 横浜国立大学・教育学部・化学教室

Department of Chemistry, Faculty of Education, Yokohama National University,
156, Tokiwadai, Hodogaya-ku, Yokohama 240

²⁾ 北京大学・生物学系

The Biology Department, Peking University,
Beijing, China

自治区の首都ウルムチ (Urumqi) を出発した。ランドクルーザー 3 台を日本から持込み、ジープ 4 台とトラック 6 台を中国側が用意した。タクラマカン (Taklimakan) 砂漠を越え、コンロン (Kunlun) 山脈の東に位置するカガシリ山脈を含むチベット (Tibet) 北部の、標高 4000 ~ 5000 m の高原地帯約 3000 km を調査し、9 月 14 日にウルムチにもどった。第一回調査隊の責務は地域全般の予察を行い、以降の計画の進行を図ることにあつた。隊の構成は日中双方から動物・植物・地質・地形・古環境・陸水等の調査隊員 9 名の他、報道・設営・車両関係者等も加えて、総勢 40 名であつた。

筆者等は陸水調査を担当しチベット北部の、標高 4500 m を越える高原地帯でキャンプしているときに、河川水の流量が一日の間に規則正しく、しかも急に増減する現象を観察した。調査地域河川の夏季の主な水源は地中に存在する凍土からの融水であるが、地表から数メートルの深さのところでは気温の変化や太陽からの輻射熱による地温の変動はあまり大きくなく、河川水の流量を大きく変動させる要因は別に考えなければならない。気温と河川水の水温および河川流量の経時変化を観測し、流量を変動させる機構について考察した。併せてチベット高原に登る途中の海拔 2850 m・3660 m 地点の気温と河川水温の経時変化、およびタクラマカン砂漠南縁のオアシス 2 地点 (海拔約 1000 m) の気温についても報告する。

1. ルートおよび観測地点の地理的特徴

調査地域の概念図を図-1 に、走破したウルムチからのルート図を図-2 に示す。日中両国の調査隊員は北京 (Beijing) に集合し、先発した車両隊とウルムチで合流した。当初の計画ではテンシャン (Tianshan) 山脈を越え、コルラ (Korla) からタクラマカン砂漠 (標高 1000 m) の縁に沿って東から南に回り、チェモー (Qiemo) からアルチン

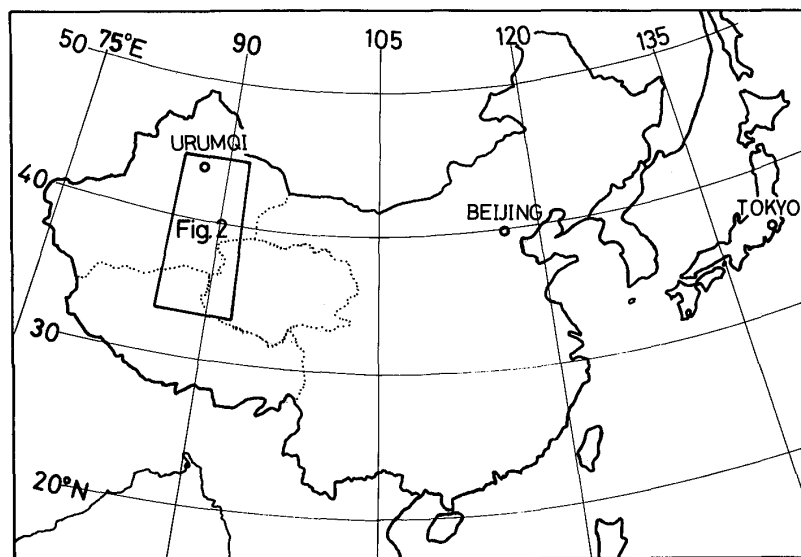


図-1 調査地域の位置

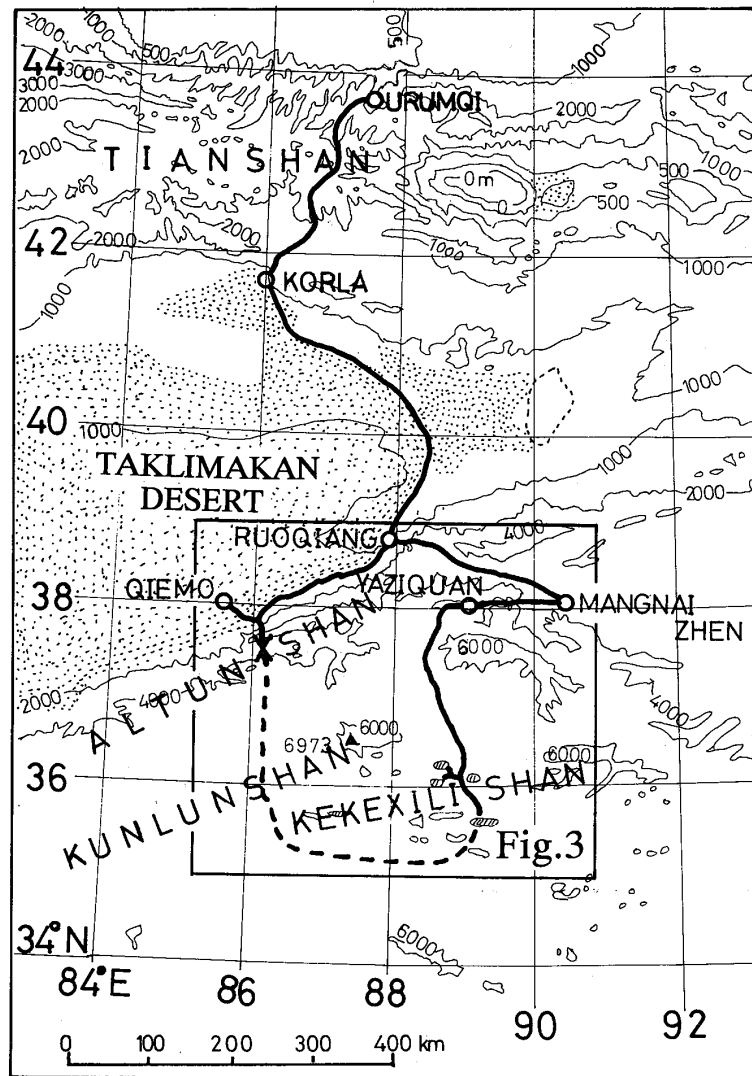


図-2 ルート図

(Altun) 山脈を越えて、コンロン山脈の東に位置するカガシリ山脈を含むチベット北部の、標高 4000 ~ 5000 m の高原地帯を西から東に調査する予定であった。しかし、チェモ-南東 80 km に位置する集落カージ (kazi) の先 (図-2・3 で×印の地点) で、川の水が多くてチェモ-河の支流すら渡河出来ず、計画を変更した。一度ルオチャン (Ruoqiango) 迄戻り、帰りのルートに予定していたヤチクアン (Yaziquan) 経由でアルチン山自然保護区を通過してカガシリ山地に入り、時間とガソリンの許す限り南進した。シンヤン (Xiangyang) 湖を南限として同じルートをたどり、ウルムチに戻った。

観測を行った 7 地点を図-3 に示す。河川流量の大きな規則的変動はチベット高原のキャンプ地 C-1 ~ 3 の地点で観察された。何れの地点も海拔高度 4600 m を越えており、川の流路以外は 10 cm 位の草が地表面を覆う、ゆるい起伏の続く草原である。川の傾斜もゆるく流路は蛇行しており、流水は流下の途中で涸れてしまうかまたは湖沼に達して終わる。

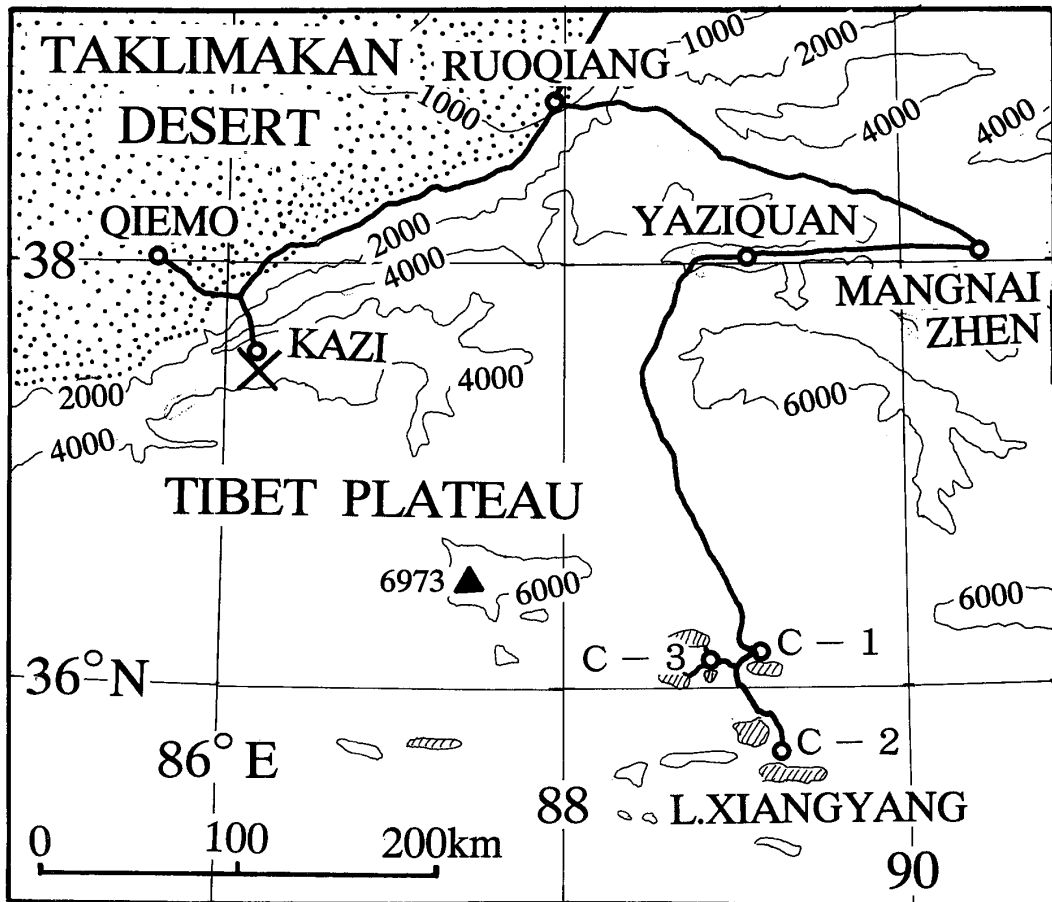


図-3 観測地点

ヤチクワンは「鴨子泉」という地名が示すように、高原からの伏流水が湧出している海拔 3660 m のルオチャン河の源流部である。観測は湧水群から 500 m 降った地点で行った。湧水群の上部は幅 300 ~ 500 m の広い涸れ谷が緩い傾斜で 20 km 以上も続き、やがて高原部の草原に移行する。アルチン山自然保護区の入りで、ウイグル自治区の役人が夏だけ駐在している。富士山の頂上と同じ海拔高度であるが、湧水群より下流・河川の付近など水分が多く供給されるには草が密に生えている。ここより奥には人家はない。

カージはチェモの南東 80 km の小さな集落である。アルチン山脈の一部である峠二つ（海拔 2880 m, 2940 m）を越え、チェモ河の小さい支流（川幅約 30 m, 流量はおよそ毎秒 5 t）を渡って枝沢を少し登った、海拔 2850 m の谷間に位置する。川の流れ方もやや急で勢いがある。カージから南に 10 km 進んだところ（図-2・3 で×印の地点）にあるチェモ河の大きな支流が増水していて渡河することができず、計画は大幅な変更を余儀なくされた。

ルオチャン、チェモは標高約 1000 m のタクラマカン砂漠南縁のオアシスで、古くからシルクロードの交易都市として栄えてきた都市である。われわれも物資補給の基地として利用した。気温観測のみを行った。

2. 気温と河川水温の経時変化

気温と河川水温はガラス製棒状アルコール温度計 ($-20 \sim 100^{\circ}\text{C}$) で測定した。目盛りが 1°C 刻みであるため、目測で 0.1°C の単位まで読み取った。そのため測定値は最後の桁で ± 2 の誤差が見込まれる。また現在の中国では全土で統一した時刻を採用しているため、観測時刻は全て北京標準時でしかも夏時間である。日本と同じ時刻 (東経 135 度) に相当するため調査した地域 (東経 90 度付近) では現地時刻が 3 時間遅れるが、以下の記述には特に断わらない限り時刻は全て北京標準夏時間を用いている。気温と河川水温の変化を示した図 (図-4~6) には全て現地の日出 (上向き矢印) と日没 (下向き矢印) の時刻を記入してある。

キャンプ地 C-1~3 の地点で観測した気温と河川水温の結果を表-1~3 に示す。ヤチクワンとカージでの観測結果を表-4 と 5 に示す。チェモ-とルオチャンでも気温の測定を行ったので結果を表-6 と 7 に示す。なお観測結果の表-1~7 は文末にまとめてある。

表-1~3 をグラフ化したものが図-4 の(a)~(c)である。表 1~3 および図-4 で明らかのように北部チベット高原のキャンプ地 C-1~3 付近 (海拔高度約 4700 m) では、8月末~9月初めの晴れた日の気温と河川水温の変動には次のような特徴があった。

- 1) 気温は日の出頃 -5°C 位まで下がり、17時 (現地時刻 14時) 頃 15°C 位迄上がった。
- 2) 昼間河川水の水温は気温より高くなり、 20°C 位になった。
- 3) 夜間流水の水面は結氷した。氷の下を 0°C の水が流れていた。
- 4) 水温が最高値を示した後で水量が急に増加した。

また、C-2 で気温の日較差の最大値は 22°C あった。C-3 では日中河は干上がってしまい、川の水が流れ始めたのは 19時 30分 で、だんだん水量を増し、夜半には最高となり、日の出頃にはほとんど流れなくなってしまった。

表-4 の一部をグラフ化して図-5 (a) を作製した。ヤチクワンの観測は湧水群の下流 500 m のキャンプ地そばで行った。図-5 (a) に一番大きな湧水の水温を 5 回測定した結果も併せて示してある。湧水の水温は 5.0°C で一日中同じ値を示していた。湧出量もほとんど変化しなかった。 500 m 下った観測地点では流水の水温は 2.9°C から 7.0°C まで上下に 2°C 変動した。気温は -0.8°C から 17.2°C まで 18°C も変動したが、ほぼ同じ海拔高度の富士山頂では同じ 1990年 8月 20日~21日の気温の変動は 4.2°C から 10.3°C で、日較差は 6.1°C であった。この日較差の違いは大陸内部と独立峰という地理的条件の違いによる。

表-5 をグラフ化したものが図-5 (b) である。カージでは河川水の水温の変化が気温の変化に追従する普通のパターンが観測された。

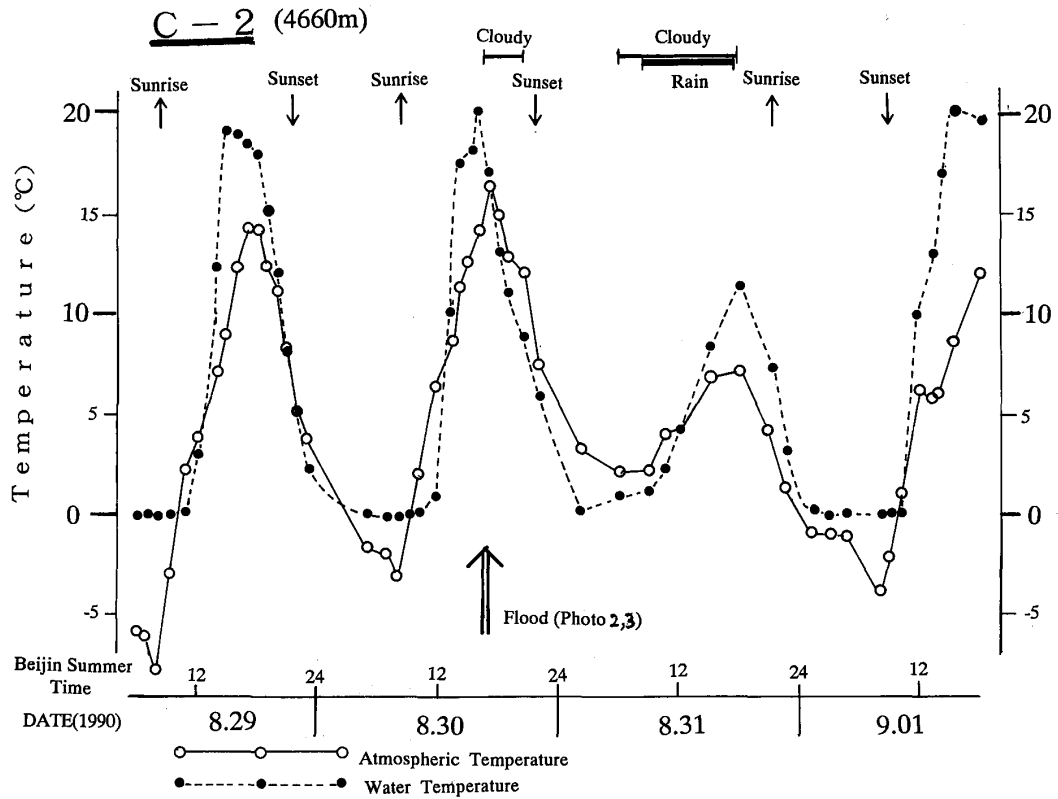


図-4 (b) 気温と水温の変化-2. キャンプ地-2 (C-2, 4660 m)

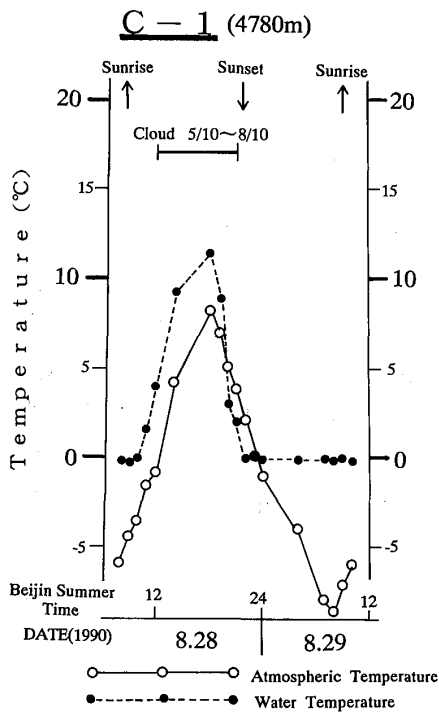


図-4 (a) 気温と水温の変化-1.
キャンプ地-1 (C-1, 4780 m)

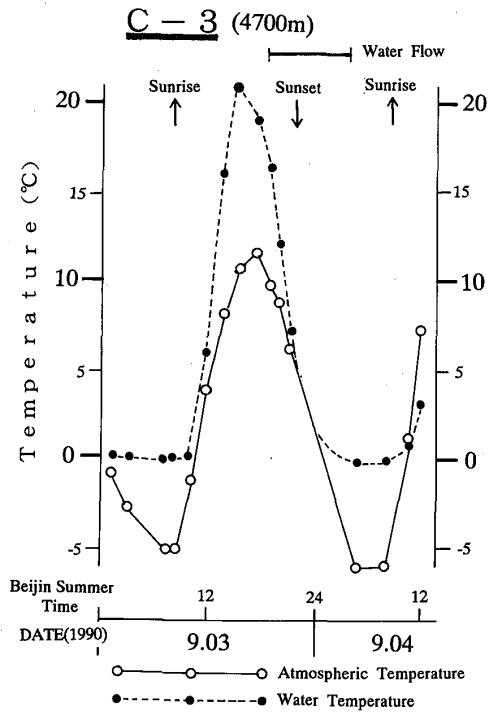


図-4 (c) 気温と水温の変化-3.
キャンプ地-3 (C-3, 4700 m)

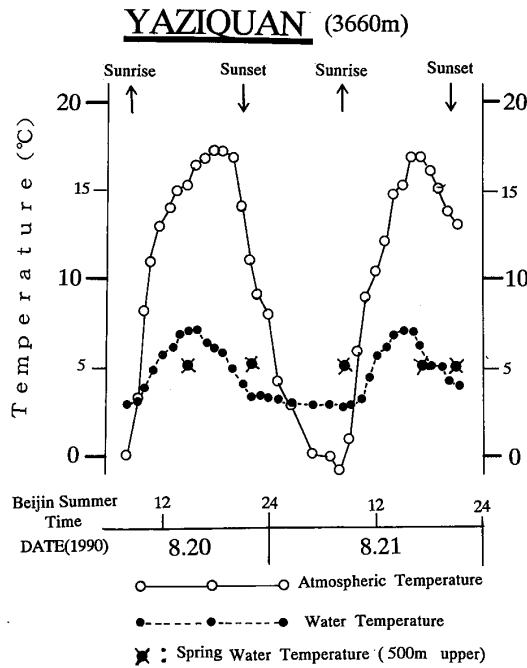


図-5 (a) 気温と水温の変化-4.
鴨子泉 (YAZIQUAN 3660 m)

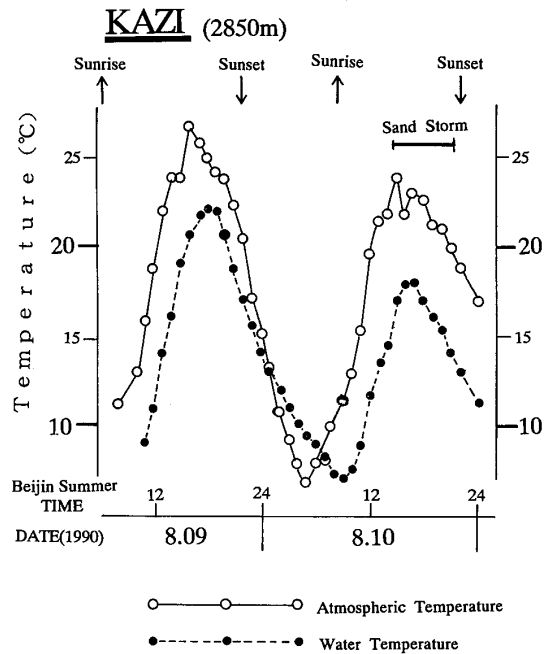


図-5 (b) 気温と水温の変化-5.
长子 (KAZI 2850 m)

3. 突然の増水

海拔高度 4700 m の草原でキャンプしている時、川の流量が規則正しく増減する現象が観察された。早朝少なかった河川水が日中流量を増し、夜半過ぎると再び減少するが、極端な場合にはキャンプ地 C-3 のように、特定の時間だけしか流れない場所もあった。図-4(b)に「上向き二重矢印」および「Flood」と記してあるのは突然流量が 10 倍以上に増加したとき (8月30日 16時40分) で、その様子を写真-2 と 3 に示す。

4. 流量変動の機構について

調査地域 (海拔高度 4700 m) 河川の夏季の主な水源は地中に存在する凍土からの融水である。凍土の融水が地表に浸出している様子を写真-1 に示す。地表から数 m の深さのところでは日々の気温の変化や太陽からの輻射熱による地温の変動は余り大きくなく、凍土の融水は昼夜の別なくほぼ同じペースで地表に浸出してくる。流量が大きく変動するためには水が貯留され、堰を切ったように流出する機構が必要である。水が貯留される場所は凍土と地表との間の地中、堰として夜間の低温による浸出水の地表面での氷結による氷のダムを考えた。模式化して図-6 に示す。図-6 で左図のように、凍土からの融水の浸出量はあまり変動しないが、地表付近の気温がマイナスになると右図のように、融水は地表への浸出面で氷結し、この凍った水がダムの役割を果たすことになる。低温の時間が長く続くとダムは高くなる。夜が明けて地表付近の気温が上昇すると、氷結していた浸出水が融けて流れ出すだけでなく、氷のダムによって地中に貯えられてい

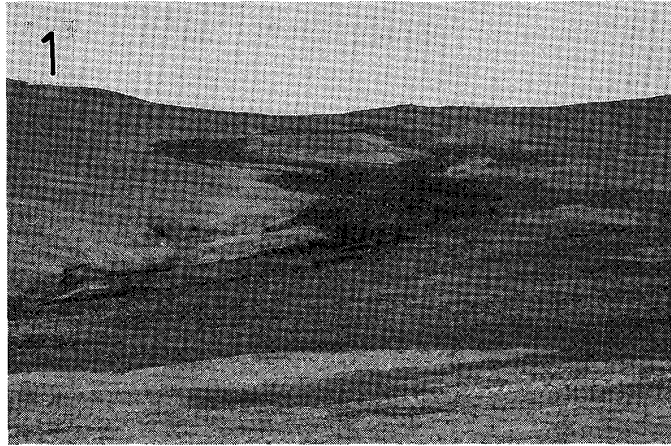
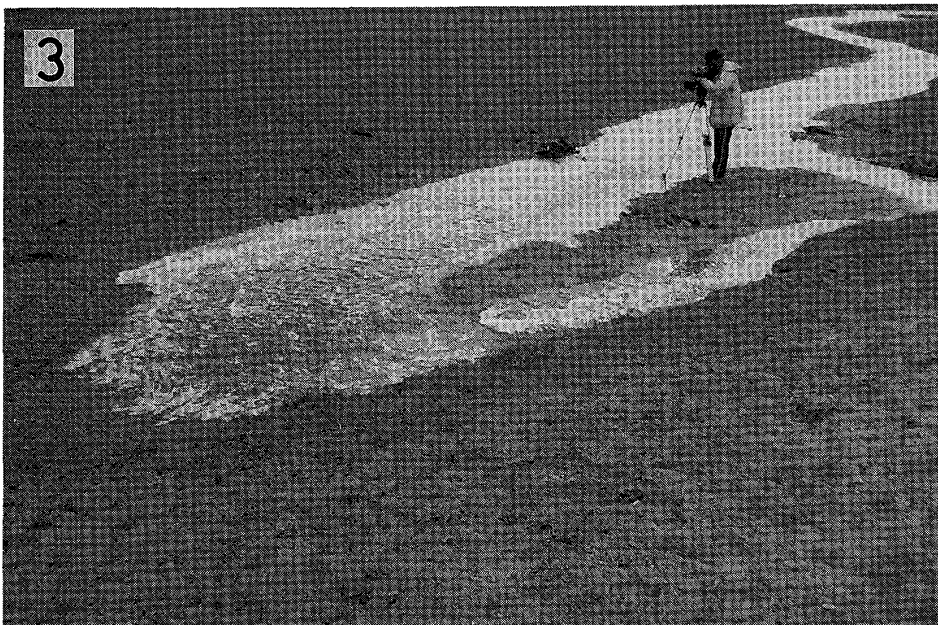


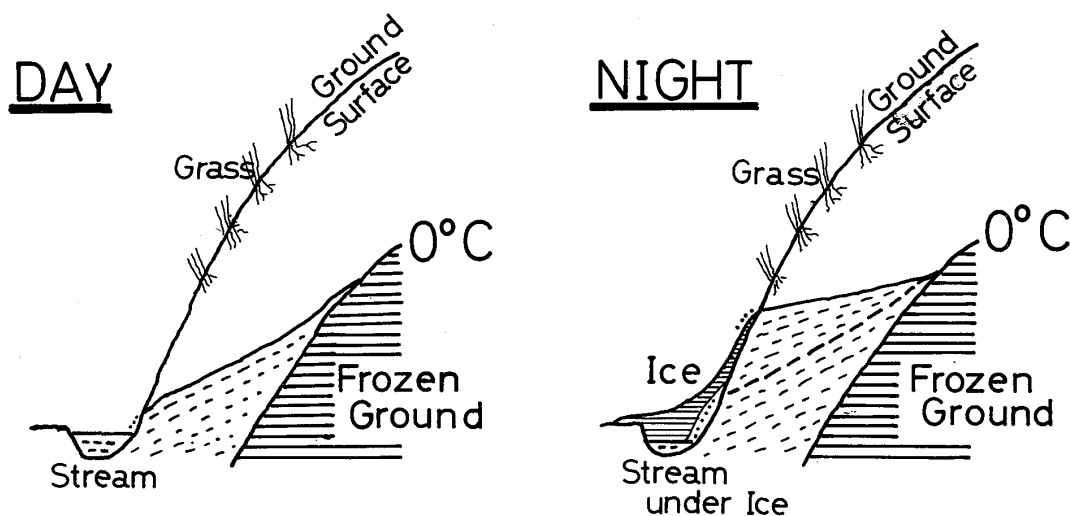
写真-1 凍土の融解
写真中央部黒っぽく見えるところは水が浸出しているため土が濡れている。



写真-2 増水-1

写真-3 増水-2





昼：気温がプラスの状態が続いていると、浸出量はあまり変動しないため、河川流量も安定している。

夜：気温がマイナスになると浸出面で凍結し、氷のダムが出来る。流水の表面も凍結し、河川流量は減少する。

マイナスだった気温が上昇してプラスになると氷が融けて河川水となり、ダムはなくなる。内部に貯留されていた凍土の融水も加わるため、河川の流量が急に増加する。

図-6 流量変動の機構

た凍土の融水も加わり、河川水の流量はより多くなる。同様の現象があちこちで起こり、合流を繰り返して流量が増加し、流量が増加すると流速も増すため、遅い流れに追いついて更に流量を増やし、突然の増水になる。

5. 結 言

海拔高度 4600 m を越える北部チベット高原で河川水の流量が一日の間に規則正しく、しかも急に増減する現象を観察した。気温と河川水温を観測し流量増減の機構は 1) 気温低下に伴う地表面での浸出水の凍結および凍土融水の貯留 2) 気温上昇による氷のダムの崩壊と貯留水の流下 3) 合流による流量増加、が組合わさって起こるものと考えた。

6. おわりに

平均標高 1000 m のタクラマカン砂漠南縁のオアシスで、気温の観測をする機会があった。本報告には直接関係ないが、観測結果を表-6 と 7 に、表-6 の一部から作製した気温変化を図-7 に示す。8月3日にルオチャンで、最低気温 21.0°C、最高気温 41.2°C でわずか 10 時間の間に 20.2°C も変化した。日本の内陸盆地旭川でも同年 8 月に日較差が最も大きかったのは 4 日で最低気温 18.5°C、最高気温 33.3°C で 10 時間で 14.8°C 変化した。風が強くなって砂漠の砂が吹き上げられると日射が遮られるため、雲がなくても

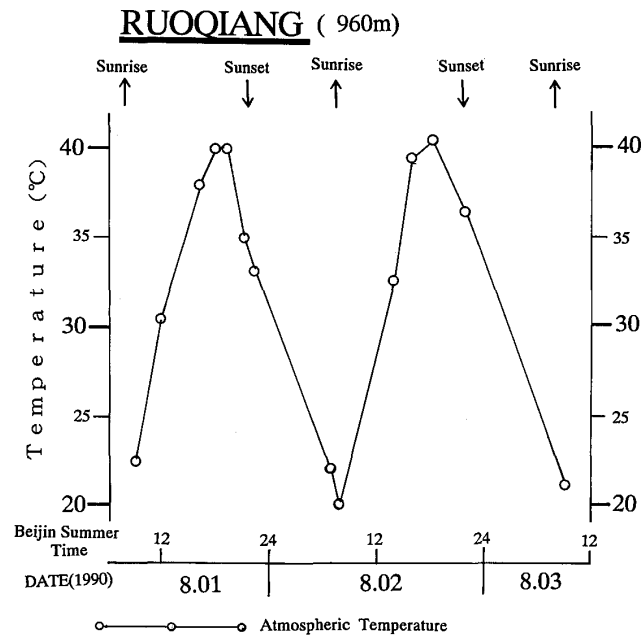


図-7 気温の変化 若羌 (RUOQIANG 960 m)

気温はそれほど高くならなかった。表-7でチェモ一の気温が余り高くなかったのは、強風によって巻き上げられた空中の砂塵も影響していると思われる。

7. 謝 辞

本調査は中国科学探検協会の事業として行われた。数々の困難な状況をくぐり抜けて科学探検を成功に導いた中国科学探検協会の皆様、あらゆる協力を惜しまなかった中国と日本の関係者の方々に深い敬意を表します。75日間の海外調査を許可して下さった横浜国立大学教育学部教授会の皆様に感謝します。富士山の気温データは気象庁富士山測候所・旭川のデータは気象庁統計室のご好意によりました。

表1 気温と水温の変化-1
キャンプ地-1 (C-1 4780 m)

Date (1990)	Time*	C. A.	A. T.	W. T.
8.27	08:00	0	-5.9	-0.1
	09:00	0	-4.5	0.0
	10:00	0	-3.6	0.0
	11:00	1	-1.7	1.7
	12:00	4	-0.9	4.0
	14:00	6	4.2	9.2
	18:00	7	8.2	11.4
	19:00	8	6.9	8.9
	20:00	7	5.0	3.0
	21:00	6	3.8	2.1
	22:00	3	2.1	0.2
	23:00	0	0.1	0.0
	24:00	0	-1.0	-0.1
	8.28	04:00	0	-4.1
07:00		0	-8.0	0.0
08:00		0	-8.6	-0.1
09:00		0	-7.2	0.0
10:00		0	-6.0	-0.1

Time* : Beijing Summer Time
C. A. : Cloud Amount (/10)
A. T. : Atmospheric Temperature (°C)
W. T. : Water Temperature (°C)

表3 気温と水温の変化-3
キャンプ地-3 (C-3 4700 m)

Date (1990)	Time*	C. A.	A. T.	W. T.
9.03	01:45	4	-0.8	0.2
	03:35	0	-2.9	0.1
	07:30	0	-5.1	-0.1
	08:45	0	-5.2	0.0
	10:20	0	-1.2	0.1
	12:00	2	3.9	6.0
	14:15	1	8.2	16.0
	15:45	0	10.7	20.8
	17:45	0	11.5	19.0
	19:10	0	9.8	16.4
	20:00	0	8.8	12.1
9.04	21:25	0	6.1	7.2
	05:10	0	-6.0	0.0
	08:15	0	-6.0	0.0
	10:45	0	1.1	0.9
	12:00	0	7.1	3.2

Time* : Beijing Summer Time
C. A. : Cloud Amount (/10)
A. T. : Atmospheric Temperature (°C)
W. T. : Water Temperature (°C)

表 2. 気温と水温の変化-2
 キャンプ地-2 (C-2 4660 m)

Date (1990)	Time*	C. A.	A. T.	W. T.	Date (1990)	Time*	C. A.	A. T.	W. T.
8.28	24:00	0	1.0	0.8	8.31	02:00	4	3.2	0.2
8.29	06:00	0	-5.8	-0.1		06:00	10	2.1	0.8
	07:00	0	-6.0	0.0		09:00	10	2.0	1.1
	08:00	0	-7.8	-0.1		10:30	10	4.0	2.2
	09:30	0	-3.0	0.0		12:00	10	4.1	4.1
	11:00	0	2.1	0.1		15:00	10	6.9	8.3
	12:00	0	3.8	3.0		18:00	4	7.2	11.2
	13:30	0	7.0	12.4		21:00	1	4.2	7.3
	15:00	0	8.9	19.2		22:45	0	1.2	3.2
	16:00	0	12.0	18.9	9.01	01:30	0	-1.0	0.2
	17:00	0	14.2	18.5		03:00	0	-0.9	-0.1
	18:00	1	14.2	17.8		04:30	0	-1.1	0.0
	19:00	1	12.3	15.0		08:00	0	-4.0	-0.1
	20:00	1	11.2	12.0		09:00	0	-2.1	0.0
	21:00	2	8.1	8.0		10:00	0	0.9	0.0
	22:00	1	5.1	5.0		11:45	0	6.3	9.9
	23:00	0	3.8	2.2		13:00	0	6.0	12.9
8.30	05:00	0	-1.8	0.0		14:00	1	6.2	16.9
	07:00	0	-1.9	-0.1		15:00	2	8.7	20.2
	08:00	0	-3.2	-0.1		18:00	5	12.1	19.7
	09:10	0	-0.1	0.0					
	10:00	0	2.0	0.1					
	11:30	0	6.2	0.9					
	13:00	0	8.5	10.0					
	14:00	0	11.3	17.5					
	15:00	5	12.5	18.2					
	16:00	7	14.1	20.0					
	17:00	9	17.0	16.5					
	18:00	10	15.0	13.0					
	19:00	10	12.8	11.0					
	20:30	10	12.0	8.8					
	22:00	2	7.4	5.9					

Time* : Beijing Summer Time

C. A. : Cloud Amount (/10)

A. T. : Atmospheric Temperature (°C)

W. T. : Water Temperature (°C)

表4 気温と水温の変化-4
鴨子泉 (YAZIQUAN 3660 m)

Date (1990)	Time*	C. A.	A. T.	W. T.
8.19	22:00	9	12.1	4.3
	24:00	1	10.1	3.9
8.20	03:00	1	6.9	3.2
	06:00	2	3.2	3.0
	08:00	1	0.1	3.0
	09:00	0	3.2	3.1
	10:00	0	8.2	3.9
	11:00	0	10.9	4.9
	12:00	0	12.8	5.6
	13:00	1	13.9	6.1
	14:00	0	14.9	6.9
	15:00	0	15.2	7.0
	16:00	0	16.3	7.0
	17:00	0	16.7	6.3
	18:00	0	17.2	6.0
	19:00	0	17.2	5.9
	20:00	0	16.9	5.0
	21:00	0	14.0	4.1
	22:00	0	11.1	3.5
	23:00	0	9.1	3.5
	24:00	0	8.0	3.4
	8.21	01:00	0	4.1
02:30		0	2.9	3.0
05:00		0	0.1	3.0
07:00		0	0.0	3.0
08:00		0	-0.8	2.9
09:00		1	1.0	3.0
10:00		1	5.9	3.3
11:00		1	8.9	4.4
12:00		4	10.3	5.6
13:00		6	12.0	6.1
14:00		3	14.6	6.8
15:00		7	15.2	7.0
16:00		10	16.8	7.0
17:00	9	16.8	6.2	
18:00	10	15.9	5.0	
19:00	10	15.0	4.9	
20:00	10	13.8	4.2	
21:00	10	13.0	4.0	
8.22	01:00	1	6.1	3.4

Date	Time*	S. T.
8.20	15:10	5.0
	22:10	5.1
8.21	08:15	5.0
	17:30	5.0
	20:50	5.0

Time* : Beijing Summer Time
 C. A. : Cloud Amount (/10)
 A. T. : Atmospheric Temperature (°C)
 W. T. : Water Temperature (°C)
 S. T. : Sprig Water Temperature (°C)

表 5. 気温と水温の変化-5
 长子 (KAJI 2850 m)

Date (1990)	Time*	C. A.	A. T.	W. T.	Date (1990)	Time*	C. A.	A. T.	W. T.
8. 09	08 : 00	7	11.2	N.D.	8. 10	01 : 00	0	13.2	13.0
	10 : 00	4	13.0	N.D.		02 : 00	3	10.8	12.0
	11 : 00	0	15.8	9.0		03 : 00	0	9.2	11.0
	12 : 00	0	18.8	11.0		04 : 00	0	7.9	10.1
	13 : 00	0	22.1	14.0		05 : 00	0	6.8	9.5
	14 : 00	6	23.9	16.1		06 : 00	0	7.9	9.0
	15 : 00	3	23.9	19.1		07 : 00	0	8.0	8.2
	16 : 00	9	26.8	20.9		08 : 00	0	10.0	7.3
	17 : 00	7	25.8	21.9		09 : 00	0	11.3	7.1
	18 : 00	5	25.0	22.1		10 : 00	0	12.9	7.5
	19 : 00	8	24.2	22.0		11 : 00	5	15.3	8.8
	20 : 00	8	23.9	20.4		12 : 00	5	19.6	11.7
	21 : 00	3	22.4	18.8		13 : 00	10	21.4	13.5
	22 : 00	2	20.5	17.1		14 : 00	10	21.8	14.5
23 : 00	1	17.1	15.6	15 : 00	10	23.9	17.0		
24 : 00	1	15.2	14.2	16 : 00	10	21.8	17.9		
					17 : 00	10	23.0	17.9	
					18 : 00	10	22.6	17.0	
					19 : 00	10	21.2	16.1	
					20 : 00	10	21.0	15.3	
					21 : 00	10	19.9	14.0	
					22 : 00	10	18.8	13.1	
					24 : 00	10	17.0	11.3	

Time* : Beijing Summer Time
 C. A. : Cloud Amount (/10)
 A. T. : Atmospheric Temperature (°C)
 W. T. : Water Temperature (°C)
 N. D. : Not Determined

表6 気温の変化-1
若羌(RUOQIANG 960 m)

Date (1990)	Time*	C. A.	A. T.
7. 31	07:00	0	25.0
	09:00	0	24.4
	12:00	0	29.5
8. 01	03:00	0	27.1
	09:00	0	22.5
	12:00	0	30.5
	16:00	0	38.0
	18:00	0	40.1
	20:00	0	40.2
	21:30	0	34.9
	22:30	0	33.1
8. 02	07:00	0	22.0
	08:00	0	20.2
	14:00	0	32.5
	16:00	0	39.5
	17:30	0	40.5
	22:00	0	36.5
8. 03	09:00	0	21.0
	15:00	0	38.1
	19:20	0	41.2
	21:30	0	36.9
8. 04	06:15	0	27.0
	08:00	0	27.0
	14:45	0	33.2
	18:00	10 *	36.0
	21:00	10 *	37.0
	24:00	10 *	32.0
8. 05	08:00	9	26.2

Time* : Beijing Summer Time
 C. A. : Cloud Amount (/10)
 A. T. : Atmospheric Temperature (°C)
 10* : Sand Dust

表7 気温の変化-2
且末 (QIEMO 1030 m)

Date (1990)	Time*	C. A.	A. T.	
7. 23	08:30	10	21.0	
	13:25	10	25.1	
	16:40	10	27.2	
	19:00	8	26.5	
	24:00	0	24.0	
	7. 24	06:40	0	19.5
	11:00	10	24.0	
	15:00	10	31.0	
	19:00	10	23.1(Rain)	
	22:00	10	21.9	
	7. 25	08:00	0	17.0
	12:00	0	25.0	
	15:00	0	29.8	
	18:00	0	32.0	
	20:00	0	31.1	
	22:10	6	27.1	
	24:00	7	26.0	
	7. 26	05:30	0	21.2
	07:00	0	19.8	
	12:00	0	25.6	
	15:00	0	29.1	
	19:00	0	32.2	
	24:00	2	24.9	
	7. 27	07:00	7	22.0

Time* : Beijing Summer Time
 C. A. : Cloud Amount (/10)
 A. T. : Atmospheric Temperature (°C)