

### 3.3 河川流量調査

トルファン盆地内の平原区では、絶対量 30 mm 未満、蒸発量と比較すれば僅か 1~2 % しか無い降水量は水資源の形成に役立たない。トルファン盆地の水資源は主として周辺の山区での降水及び融雪水からなる山区河川が盆地内に流入して形成される。従って、山区河川からの流量を正確に把握するのはトルファン盆地内の水資源量を把握する上で極めて重要である。

一方、自然状態では山区からの流入河川の大部分は、山口を流出してから、僅か数キロで地下に浸透して、地下水の涵養量にはなるが、直接利用しやすい表流水での利用はできない。河川水を直接利用するために、1950 年代からトルファン盆地内では導水路を中心とする水利施設の建設が進められ、主要山区河川の大部分は天然河道ではなく、水路によって盆地内のオアシスと結ばれるようになった。そのため、盆地内の水資源特に地下水資源の涵養・分布条件が大きく変化している。河川流量の把握は涵養量推定のベースとなるものである。

従って、今回の河川流量調査では山区流量だけではなく、盆地内河川及び水路の流量調査をも実施した。河川流量は季節変動が大きく、豊水期と渇水期に分けられる。河川流量調査の回数はその調査の精度に大きく影響するので、今回の調査では豊水期と渇水期に分けて 2 回実施した。山区河川及び平原区河川流量調査の実施状況は表 3.3.1 にまとめている。

表 3.3.1 河川流量調査実施状況

縣市	山区河川		盆地内河川・水路				流量観測回数
			豊水期		渇水期		
	豊水期	渇水期	河川	水路	河川	水路	
トクソン	6	6	1×3	1×3	1×3	1×3	24
トルファン	5	5		2×3	3×3		25
シャンシャン	3	3		2×3		1×3	15
合計	14	14	3	15	12	6	64

#### 3.3.1 山区河川調査

##### a. 調査地点の選定

山区河川調査はトルファン盆地北部及び西部天山山脈で形成された全部の通年河川 14 本を対象としている。14 本の河川及び調査地点の分布は図 3.3.1 と表 3.3.2 に示すとおりである。

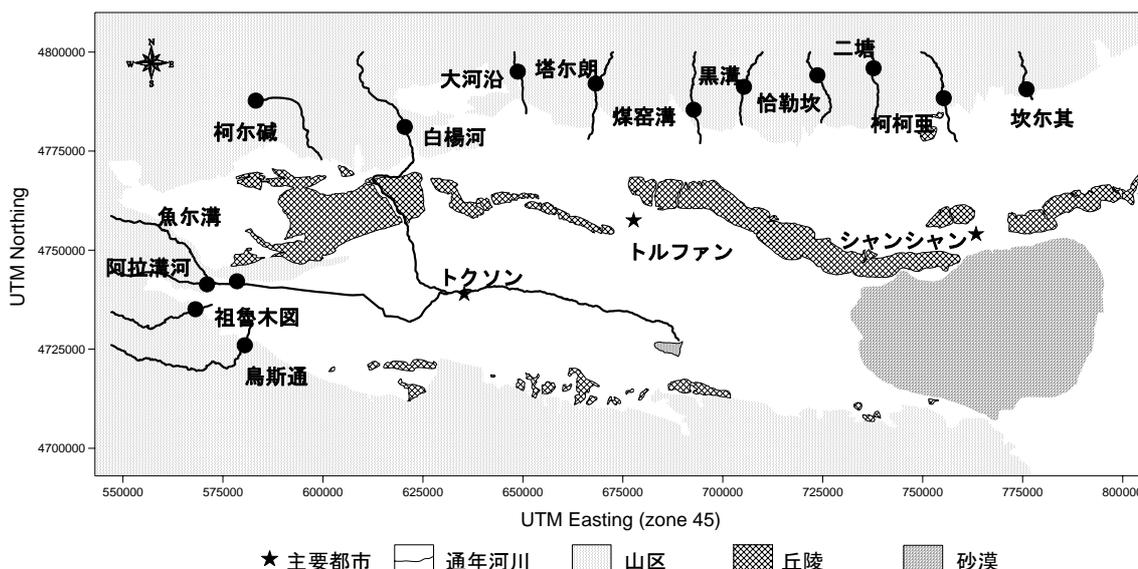


図 3.3.1 山区通年河川流量調査地点位置図

表 3.3.2 山区通年河川流量調査地点概要

県市	河川	観測地点名	座標		海拔 標高 (m)
			北緯	東経	
トルファン	煤窑溝	煤窑溝水路観測所 (二)	43°11'50"	89°22'19"	929
		煤窑溝水路観測所 (三)	43°11'50"	89°22'19"	929
	大河沿	221団取水堰大河沿水文観測所	43°17'37"	88°50'00"	1,464
	塔尔朗	塔尔朗水路取水堰上流100 m	43°15'45"	89°04'21"	1,155
	黑溝	黑溝水路取水堰上流100 m	43°14'45"	89°31'43"	1,467
	恰勒坎	勝金郷恰勒坎村(新規水文観測所)	43°16'01"	89°45'21"	2,000
トクソン	白楊河	白楊河山からの出口	43°10'23"	88°28'55"	711
	阿拉溝	南山鉱区阿拉溝水文観測所 (二)	42°49'18"	87°52'07"	770
	魚尔溝	南山鉱区魚尔溝道路橋の下	42°49'40"	87°57'38"	747
	柯尔碱	庫加依鎮亞尕其貝希村	43°14'16"	88°01'29"	1,528
	祖魯木図	南山鉱区祖魯木図河口上流500 m	42°45'55"	87°49'57"	1,054
	烏斯通	南山鉱区烏斯通溝水路上流100 m	42°40'56"	87°58'55"	804
シャン シャン	柯柯壩	柯柯壩ダム上流500 m	43°12'18"	90°08'31"	1,070
	二塘溝	托万買來二塘溝水文観測所	43°16'43"	89°55'46"	1,438
	坎尔其	坎尔其ダム上流300 m	43°13'04"	90°23'51"	1,173

山区河川調査の実施地点の選定に際しては、新規水文観測所を含めて水文観測所のある河川では観測所の設置している場所、観測所のない河川では山地と扇状地の境界部分で観測することを基本原則としたが、河道ができるだけまっすぐで、水流が比較的集中している、などの観測条件を考慮して、中国の水文観測基準 GB50179-9「河川流量測驗規範」に従って最終的に決定した。

豊水期と渇水期の流量観測調査は2004年7月25日～7月31日の7日間と2004年11月20日～11月25日の6日間で実施した。

## b. 調査項目及び方法

河川流量調査の実施手順は次の通りである：

- (1) 踏査によって流量観測断面の選択及び実施案の作成。
- (2) GPS で測地地点の経緯度座標を測定。
- (3) 中国の測量レベル 4 等に従って、河川流量断面測量。
- (4) 「河川流量測驗規範」に従い、流速計法で河川流量観測を実施。
- (5) 現場水質分析。

河川流量調査と同時に現場水質分析を実施した。分析項目は水温、電気伝導度 (EC)、pH、酸化還元電位(ORP)、鉄 (Fe)、マンガン (Mn)、フッ素 (F)、硝酸イオン (NO<sub>3</sub>)、砒素 (As)、アンモニアイオン (NH<sub>4</sub>)、大腸菌及び一般細菌等合わせて 12 項目である。以上の測定項目のうち、電気伝導度と pH は中国市販の測定装置で観測したが、他の項目は JICA 調査団が日本から携行した現場分析パックやキット、携帯式測定器及び試験用紙によって測定した。

図 3.3.2は白楊河の豊水期と渇水期 2 回観測時の河床断面を示した。他の測定地点での河床断面は添付資料にまとめた。

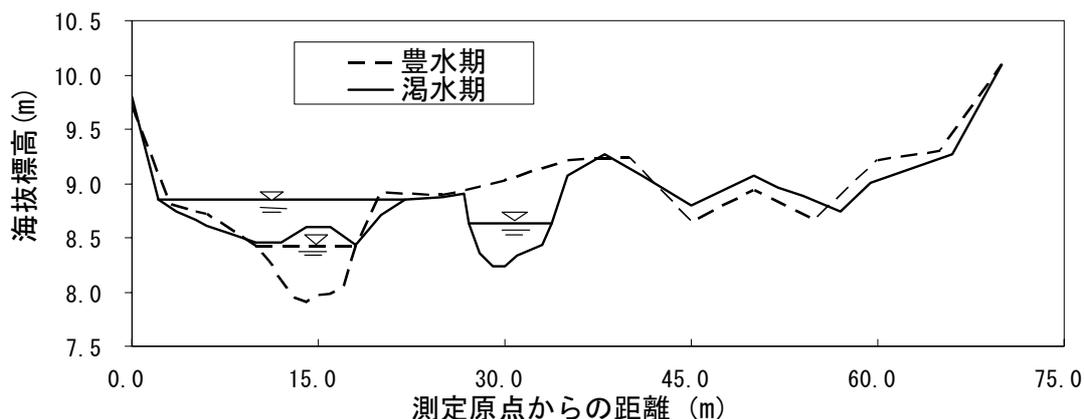


図 3.3.2 白楊河の河床断面

表 3.3.3は白楊河豊水期流量観測シートを示す。他の測定地点及び測定期の観測シートは添付資料にまとめた。

表 3.3.3 白楊河豊水期観測シート

白楊河河 测深、测速记载及流量计算表(二) (畅流期流速仪法)																			
地理位置: E43° 10' 23" N89° 28' 55"						海拔高度: 711 m													
施测时间: 7月25日18时45分至25日19时10分(平均: 25日18时58分)										天气: 阴		风向风力:			流向:				
流速仪牌号及公式: LS25-1 V=0.2558n+0.0080						检定或比测后使用小时数:			起点距计算公式:										
停表牌号: 上海钻石																			
垂线号数	测深	测速	起点距(m)	水深或应用水深(m)	流速位置		测速记录			流向偏角	流速(m/s)				测深垂线间		水道断面面积(m <sup>2</sup> )		部分流量(m <sup>3</sup> /s)
					相对	测点深(m)	信号数	总转数	总历时(s)		测点	流向改正后	系数	部分平均	平均水深(m)	间距(m)	测深垂线间	部分	
右水边		10.0	0.00											0.18	0.07	1.0	0.07	0.07	0.013
1	1	11.0	0.14	0.5	0.07	6	120	108	0.29			0.26	0.43	0.22	1.0	0.22	0.22	0.095	
2	2	12.0	0.31	0.6	0.19	12	240	104	0.60			0.60	0.81	0.40	1.0	0.40	0.40	0.324	
3	3	13.0	0.48	0.6	0.29	20	400	101	1.02			1.02	1.23	0.53	1.0	0.53	0.53	0.652	
4	4	14.0	0.58	0.6	0.35	28	560	100	1.44			1.44	1.14	0.54	1.0	0.54	0.54	0.616	
5	5	15.0	0.50	0.6	0.30	16	320	100	0.83			0.83	0.72	0.48	1.0	0.48	0.48	0.346	
6	6	16.0	0.46	0.6	0.28	12	240	101	0.62			0.62	0.72	0.42	1.0	0.42	0.42	0.302	
7	7	17.0	0.38	0.6	0.23	16	320	101	0.82			0.82	0.57	0.19	1.3	0.25	0.25	0.142	
左水边		18.3	0.00												8.3	2.91	2.91	2.490	
断面流量		2.49	m <sup>3</sup> /s	水面宽	8.3	m	糙率			水位记录	水尺名称		编号	水尺读数(m)			零点高程(m)	水位(m)	
水道断面面积		2.91	m <sup>2</sup>	平均水深	0.35	m	水位涨率				基本			始:	终:	平均:			
死水面积			m <sup>2</sup>	最大水深	0.58	m	相应水位				测流			始:	终:	平均:			
平均流速		0.86	m/s	上下比降		m	水位差				比(辅)上			始:	终:	平均:			
最大测点流		1.44	m/s	水面比降	×10 <sup>-1</sup>		垂线数	测点总数	7/7		比(辅)下			始:	终:	平均:			
渡河方法	涉水	测距方法: 量距	测深方法: 悬杆	流速仪悬杆方式: 悬杆	铅鱼重:	悬索直径:	仪器轴中心至铅鱼底距离:		借用断面的施测号数:		水位级:	总不确定度:		已定系数误差:					
施测: 马建强				计算: 孙长林				初校: 马建强											

c. 流量調査結果

山区河川の2回の流量観測結果は表 3.3.4にまとめている。

表 3.3.4 山区河川流量調査結果

縣市	河川	流量(m <sup>3</sup> /s)	
		豊水期	渇水期
トクソン	白楊河	2.49	7.32
	阿拉溝河	6.48	3.19
	魚尔溝	3.16	0.802
	柯尔碱溝	0.366	0.258
	祖魯木凶溝	0.186	0.054
	烏斯通溝	0.546	0.223
	小計	13.228	11.847
トルファン	煤窑溝	9.87	0.523
	大河沿	1.84	2.71
	塔尔朗	3.97	0.106
	黒溝	2.53	0.282
	恰勒坎	0.335	0.212
	小計	18.545	3.833
シャンシャン	柯柯亜河	5.68	0.268
	二塘溝	3.03	0.212
	坎尔其河	1.9	0.232
	小計	10.61	0.712
合計		42.383	16.392

河川1本1本で流量観測を実施する場合は、観測前の天候、観測時間等偶然因子の影響は避けられないので、1回の観測結果だけに河川流量の比較は困難である。しかし、短い観測期間では、多くの流量観測結果を合わせることによって、広域の流出特徴が検討できる。

- 1) 豊水期と渇水期の観測結果を合わせて、縣市別に比較すると、トルファン盆地の西から東へ向かって河川水資源量は減少している傾向が明らかである。
- 2) 季節別の河川流量を比較すると、渇水期の流量は豊水期流量の40%未満である。そのうち、白楊河や大河沿河は、渇水期の流量が豊水期よりも大きい異常な変動を示した。これら2本の河川を除外すると、豊水期流量に対して渇水期流量は僅か16.7%であり、流量の季節変動が大きい。
- 3) 縣市別の河川流量の季節変動を見ると、豊水期流量に対して渇水期流量の占める割合はトクソン県白楊河を除いて5河川の合計で約42%、トルファン市大河沿を除いて4河の合計で6.7%、シャンシャン県3河の合計でも6.7%である。トクソン県で豊渇水流量比が大きいのはトルファン盆地外から流入した阿拉溝河の影響が大きい、それを除きトルファン盆地内で形成した河川だけを見ても約31.4%で大きい。

d. 異常河川流量の検討

トルファン盆地内14本通年河川を対象に豊水期、渇水期2回で流量観測調査を実施した。その中、12本の河川はトルファン盆地内の気象・水文特徴と一致して、渇水期より

豊水期の河川流量が大きかった。しかし、白楊河と大河沿河の流量変動はそれに反して、渇水期の方が大きかった。

### d.1 白楊河

調査した 14 本通年河川の中、白楊河は最大の集水面積 (2,423 平方キロ) があり、従来の調査結果によるとトルファン盆地内では流量の最も大きい河川である。しかし、集水面積の大部分がトルファン盆地外、ウルムチ市の範囲にある。当然のことで白楊河のすべての水利権はトルファン地区にあるわけではない。

トルファン盆地に流入するまでには上流部の達板城等の地域では灌漑期の 3 月～10 月の間、1 億立米ほど白楊河から取水している。その取水量の一部が河川に還元していると考えられるが、その還元量及び還元時期の推測は困難である。

結果として、豊水期にトルファン盆地に入る流量が小さく、渇水期にトルファン盆地で観測した流量が豊水期流量を上回った。

### d.2 大河沿

既存資料によると、大河沿河は白楊河、阿拉溝河、柯柯亜河に続いて、トルファン盆地内で第 4 番目に流量が大きな河川である。しかし、白楊河と同様に大河沿河はトルファン地区内河川ではなく、総流域面積 724 平方キロのうち上流側の 254 平方キロはウルムチ市の管轄域にある。

上流側での大河沿河からの取水量を推測するための資料が不足しているため、取水による影響は把握できない。

一方、大河沿河には専用水文観測所があるので、1996 年からの流量観測資料が保存されている。図 3.3.3 に示すように大河沿河の月単位平均流量は夏季の 7 月～8 月にピークが現れることが多いが、本調査を実施した 2004 年と同様に 2001 年も夏季の 7 月の流量より冬季の 11 月の流量が大きかった。さらに、1998 年の月平均流量を見るとピーク値は 8 月に現れているが、10 月にもう一つのピークが現れている。

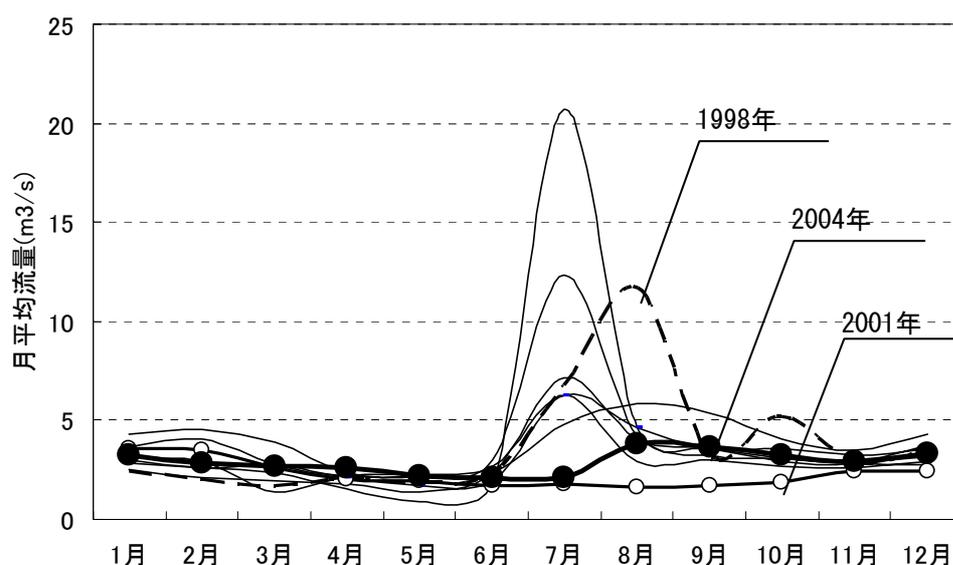


図 3.3.3 大河沿河 1996 年～2004 年における月単位平均流量

図 3.3.4は大河沿河の長年平均年間流量に対する 1996 年～2004 年の年間流量の占める比率を示す。図に示すように 1997 年及び 2001 年から 2004 年までは平均年間流量を下回っている。1996 年～2004 年の 9 年間では 2001 年と 2004 年は渇水年である。すなわち、渇水年のため豊水期においても上流側での取水量が大きいため下流の流量は、同年の渇水期流量よりも小さい値を示している。これらの詳細については、今後他の関連調査で解明する必要がある。

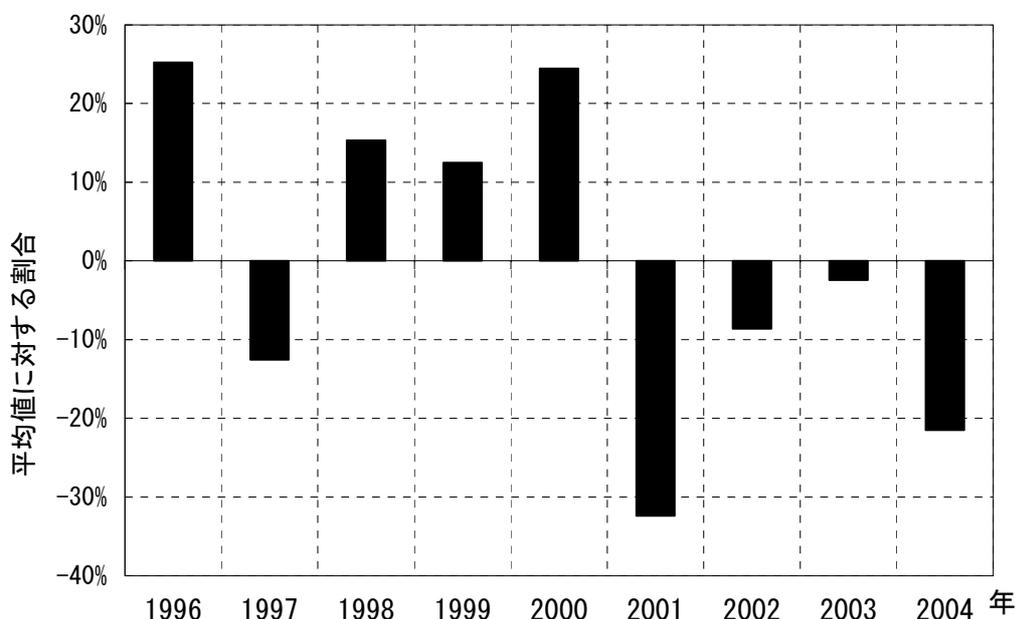


図 3.3.4 大河沿河の長年平均年間流量に対する年間流量

### 3.3.2 平原区河川・水路調査

#### a. 調査地点の選定及び調査方法

平原区内代表河川及び水路の流量調査は河川水がトルファン盆地に内において河床及び導水路からどのように浸透して地下水に付加しているかを把握することを目的としている。従って、河川と水路の選択はできる限り、長い河道或いは水路があり、且つ途中で取水口が少ないことを条件としている。調査は 1 対象河川・水路につき、上、中下流別に 2 断面か 3 断面で流量を測定し、観測断面間の流量変化を調べた。山区からの流入河川と同様に豊水期と渇水期の 2 回、流量調査を実施した。

トルファン盆地平原区の河川分布の特徴から見て、山区から流入した河川の大部分は平原区に入ると、数キロの短い流下距離内で河川水が地下へ浸透する。水資源利用するオアシスに流入する河川は、盆地西部にある白楊河と阿拉溝河（トクソンで合流して、トクソン河になる）の 2 河だけで、盆地の中部と東部の河川水は全部水路で盆地に導入している。しかし、阿拉溝河の平原区には多くの支流の流入、取水口があり、流路での水量を把握できる程十分長い河道が選定しにくい。従って、第 1 回豊水期での流量調査での河川は白楊河だけにし、残り 5 本の調査対象は全部水路にした。

第 2 回渇水期の流量調査実施時には、農業用水はほとんど要らないことや、冬季の水路凍結損害防止のため、一部の水路では水が止められていた。従って、盆地の西部では第 1 次流量調査とほぼ同じ調査地点で流量観測を実施したが、盆地の中部と東部の一部地域では第 1 次流量調査の対象とした水路を、火焰山北側の湧水から涵養された盆地内河川に入れ換えた。

2回の流量調査を実施した河川、水路及び実施地点位置は図 3.3.5と表 3.3.5に示すとおりである。

調査方法は山区の流入河川流量観測と同じである。

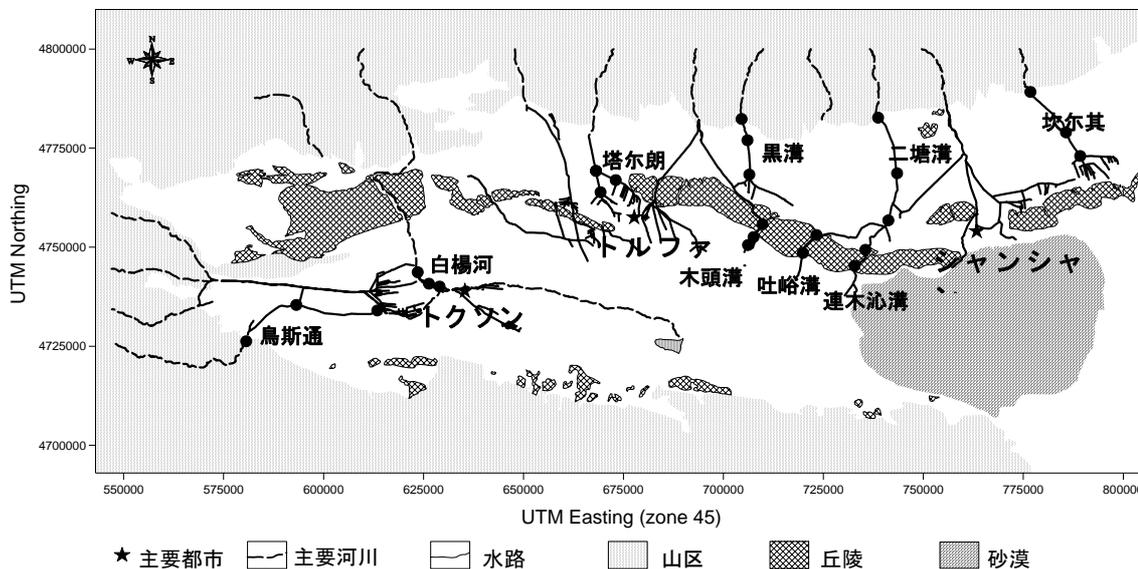


図 3.3.5 平原区河川・水路流量調査地点位置図

表 3.3.5 平原区河川・水路流量調査地点概要

河川・水路	豊水期調査	渇水期調査	前断面からのkm数	断面位置	東経	北緯	海拔標高(m)
白楊河	○	○		上流	88°30'42"	42°50'08"	72
	○	○	4	中流	88°32'43"	42°48'33"	30
	○	○	2.7	下流	88°34'40"	42°48'08"	17
塔爾朗水路	○	×		上流(東)	89°03'49"	43°03'30"	411
	○	×	5.4	下流(東)	89°07'28"	43°02'07"	282
	○	×		上流(南)	89°03'49"	43°03'30"	408
	○	×	5.4	下流(南)	89°04'30"	43°00'31"	178
黒溝水路	○	×		上流	89°30'48"	43°09'41"	1,090
	○	×	5.5	中流	89°31'56"	43°07'03"	793
	○	×	8.6	下流	89°32'05"	43°02'22"	365
烏斯通水路	○	○		上流	87°59'04"	42°41'04"	808
	○	○	15.5	中流	88°08'20"	42°45'56"	412
	○	○	20.3	下流	88°23'10"	42°45'01"	166
二塘溝水路	○	○		上流	89°55'53"	43°09'22"	1,104
	○	○	14.8	中流	89°59'17"	43°01'53"	666
	○	○	12	下流	89°57'47"	42°55'19"	383
坎爾其水路	○	×		上流	90°24'25"	43°12'16"	1,151
	○	×	13.5	中流	90°30'39"	43°06'34"	750
	○	×	6.9	下流	90°33'05"	43°03'16"	571
木頭溝	×	○		上流	89°34'14"	42°55'33"	23

河川・水路	豊水期調査	渇水期調査	前断面からのkm数	断面位置	東経	北緯	海拔標高(m)
	×	○	3.9	中流	89°31'54"	42°54'12"	-26
	×	○	2.4	下流	89°31'11"	42°54'07"	-39
吐峪溝	×	○		上流	89°44'09"	42°54'32"	213
	×	○	5.6	下流	89°41'29"	42°51'28"	59
連木沁溝	×	○		上流	89°52'58"	42°51'37"	199
	×	○	4.8	下流	89°50'52"	42°49'29"	115

### b. 平原区流量調査結果

平原区河川・水路の流量調査結果は表 3.3.6に示す。断面観測は上流から下流へ表流水の流れを追いかけて、順次に観測したので、水面蒸発の影響が小さいと考えられ、各断面間の流量差の殆どは流路沿いの地下浸透か地下水からの涵養を受けて生じたものと考えられる。豊水期と渇水期の2回の観測で測定した9河川・水路の内、水路の全てで流路に沿う水量損失が確認されたが、4本の河川の半分、白楊河と連木沁溝では下流での流量は上流より大きい結果となった。

表 3.3.6 平原区河川・水路流量調査結果

河川・水路	調査期	流量(m <sup>3</sup> /s)			流量損失(m <sup>3</sup> /s/km)	
		上流	中流	下流	上-中流間	中-下流間
白楊河	I	3.8	3.8	4.26	0.0000	-0.1704
	II	2.57	2.58	2.98	-0.003	-0.1481
塔朗朗水路	I		1.87	1.4	--	0.0870
	II		1.13	0.824	--	0.0567
黒溝水路	I	0.937	0.926	0.914	0.0020	0.0014
烏斯通水路	I	0.838	0.579	0.572	0.0170	0.0003
	II	0.219	0.155	0.155	0.0041	0.0000
二塘溝水路	I	7.47	7.21	5.36	0.0176	0.1542
	II	0.173	0.164	0.136	0.0006	0.0023
坎尔其水路	I	0.878	0.685	0.61	0.0143	0.0109
木頭溝	II	0.793	0.521	0.348	0.0697	0.0721
吐峪溝	II		0.082	0.077	--	0.0009
連木沁溝	II		0.936	1.09	--	-0.0321

### c. 平原区の地下水から河川への涵養

白楊河の調査地点はトルファン盆地西部トクソン県郭勒布依郷と夏郷のオアシス地域にある。調査地点周辺の白楊河流域では地下水位が浅い。今回の調査で別途実施した水資源利用現況調査の結果を見ると、農業用水のピーク期直後の9月には、多量の灌漑用水が汲み上げられたため、地下水位が比較的低い時期にあるが、井戸深50m以内の浅井戸で観測された地下水位は、上流側にある郭勒布依郷で1.2m～15.8mの間に分布し、平均7.8m、下流側にある夏郷で0.95～2.18mの間に分布し、平均1.5mである。

一方、写真 3.3.1に示すように、河川は地表から深く切り下がっている。



写真 3.3.1 白楊河の河床断面

河川水位が地下水面より高い場合、流路にそって流量損失が生じるが、反対の場合に、地下水が河川に流出し、流路に沿って、河川流量が増えることになる。白楊河は地下水位の浅い地域で深く切り下がった河川であり、盆地内のオアシス地域では地下水の流入を受け、流路に沿って流量が損失することなく、増える結果になる。上流断面と中流断面の間では河川水と地下水との間にはほとんど流出量が釣り合い、断面間の流量変化は無視できるほど小さかった。中下流断面の間では、地下水から河川への流出が卓越しており、平均すると  $0.15 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}$  (渇水期)  $\sim 0.17 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}$  (豊水期) の間にあり、日単位で換算すると直線距離1キロ当たり毎日地下水から河川への流出量は約1.3万立方メートルから1.45万立方メートルとなる。

もう1本流量損失がマイナスになった河川は連木沁溝である。この河川は豊水期で実施した第1回目の調査中選定された河川・水路と異なって、山区からの流入河川とは直接繋がってなく、火焰山北部の湧水が合流して、火焰山を横断する谷を形成する盆地内河川である。その意味では平原区河川より、トルファン盆地内丘陵区の河川と見なすべきである。

連木沁溝の上下流観測断面は火焰山の北側谷の流入口と南側谷の流出口にそれぞれ設定されている。谷地形であるので、連木沁溝は水位が両岸の地下水位より低く、地下水の流入を受けることが考えられる。一方、河床両側の沖積堆積物にある伏流水は、流出及び蒸発で消費されるので、両岸の地下水からの涵養を受けると同時に連木沁溝からの涵養を受けることも考えられる。今回の調査結果からは、連木沁溝では、流路に沿って河川水と地下水の間には複雑な涵養或いは流出関係が想定されるが、全体的に河川は地下水の涵養を受け、流路に沿って流量が増えている。観測断面間では地下水から河川への流出量は毎日約1.33万立方メートルである。

#### d. 平原区での河川・水路の流量損失

2回の平原区河川・水路流量観測調査には4河川が含まれている。白楊河と連木沁溝は観測区間において地下水の涵養を受け、流路での流量損失がなかった。連木沁溝と似た

地形地質条件にある吐峪溝では僅かであるが、火焰山北側にある上流断面と比較して、火焰山南部にある下流断面での河川流量は  $0.005 \text{ m}^3/\text{s}$  と小さい。

木頭溝も火焰山北側の湧水によって形成された盆地内丘陵地域での河川ではあるが、流路での流量損失は直線距離約 4 キロ未満の上中流断面間で  $0.272 \text{ m}^3/\text{s}$  で、火焰山を切り抜け、南盆地にある中下流断面間では僅か 2.4 キロの距離で  $0.173 \text{ m}^3/\text{s}$  である。上中流断面と中下流断面間の流量損失は共に約 33 % である。

平原区流量観測対象となった 5 本の水路の全てでは、流路に沿う流量損失が確認された。水路は地表水を利用するために建設され、取水或いは排水の利便性からできる限り用水の目的地（農地等）の標高より高く作られているので、地下水からの涵養を受けることは考えられない。水路に沿う流量損失、特に地下浸透による流量損失は一言で地表水の利用効率が低減したとは言い切れず、地下水を涵養し、カナートの水量維持、地域内の水資源量のバランスにとって、意義がある面も考えられる。

水路の流量損失の利害を議論する前に、その損失量の把握が重要である。今回の調査結果をまとめると以下のとおりである。

- 1) 水路の流量損失は最大で  $0.154 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}$ 、二塘溝水路の豊水期調査で観測され、水路流量と比較するとその約 25 % である。
- 2) 水路の流量損失は流量と関係しているため、流量の極く小さい水路での流量損失は当然小さいので、最小流量損失に関連する検討を省く。
- 3) 水路での流量損失の平均値は  $0.026 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}$  であるが、バラツキが大きく標準偏差は  $0.045 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}$  である。
- 4) 地域（県市）による流量損失の差を見ると、やや西部から東部へ大きくなる傾向にある。平均値をみると、トクソン県（烏斯通水路）で  $0.00583 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}$ 、トルファン市（塔朗水路と黒溝水路）で  $0.035 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}$ 、シャンシャン県（坎尔其水路と二塘水路）で  $0.040 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}$  である。
- 5) 水路からの絶対損失量（地下浸透量）は水資源の計算に重要であるが、水路の評価には流量に対する平均流量損失率を検討した。その結果は表 3.3.7 に示す。

表 3.3.7 流量損失率計算表

河川・水路	水路形式	調査期	流量( $\text{m}^3/\text{s}$ )			平均流量損失率(%/km)	
			上流	中流	下流	上-中流間	中-下流間
塔朗水路	石空積み	I		1.87	1.4	--	4.65
	石グラウティング	I		1.13	0.824	--	5.01
黒溝水路	コンクリート	I	0.937	0.926	0.914	0.21	0.15
烏斯通水路	石空積み	I	0.838	0.579	0.572	1.99	0.22
		II	0.219	0.155	0.155	1.89	0.00
二塘溝水路	石グラウティング	I	7.47	7.21	5.36	0.24	2.14
		II	0.173	0.164	0.136	0.35	1.42
坎尔其水路	石グラウティング	I	0.878	0.685	0.61	1.63	1.59

トルファン盆地内の幹線・支線水路の多くは石グラウティングで作られているが、石空積みやコンクリート水路もある。コンクリート水路の 1 km 当たりの流量損失率は 0.15 ~ 0.21 % と小さく、距離で平均すれば、0.17 % である。

石空積みと石グラウティング水路の間には流量損失率の差がほとんど見られない。むしろ、水路間あるいは観測断面間の差がはっきりしている。塔朗水路を除けば、平均流量損失率は 0 ~ 2 % の間にある。

### 3.3.3 新規水文観測所建設

トルファン盆地には国レベルの水文観測所が3箇所あり、それに、専用水文観測所（河川流量の定期か不定期観測するための水文観測所）が7箇所あった。専用水文観測所のうち今でも観測が続いているのは2箇所だけである。これらの観測所で貯蓄された資料と実施している水文観測は気候・地形・河川水涵養源等条件が異なる調査地域内の河川流量変動を把握するには十分とは言えない。従って、本調査の中新規水文観測所の建設が含まれている。

#### a. 新規水文観測所の設置場所

トルファン盆地は水文的特徴から見て、トクソン2河流域、トルファン・シャンシャン7河流域と坎尔其河流域に分けることができる。

トクソン2河流域のうち、白楊河は調査地域外からの流入河川であり、その上流地域の水資源利用状況によってトルファン盆地に流入する河川水量が大きく変動し、水文観測所を設置する条件を満たさない。阿拉溝河には既存の国レベル水文観測所がある。

坎尔其河流域では2002年に完成した坎尔其のダムによって河川水量のほとんどをコントロールできるようになっており、坎尔其河に設置されている専用水文観測所が現在まで観測を続けている。

従って、新規水文観測所はトルファン・シャンシャン7河流域に設置することになった。当該流域の中では、河川の涵養源から見て、降水涵養型河川と地下水涵養型河川のように再区分できる。既存の国レベル水文観測所である煤窑溝水文観測所と柯柯亜水観測所は共に降水涵養型河川に設置されていて、地下水涵養型河川の水文資料が不足している。従って、新規水文観測所は地下水涵養型河川に設置することにした。

恰勒坎河は典型的な地下水涵養型河川である。すなわち、河川の涵養域には万年雪がなく、河川流量に占める融雪水の割合が極少ない。通年河川としての流量維持は地下水に頼っている。

さらに、補足条件として観測所設置場所の下流側1キロほどの所に小さな村があり、無人観測所にする場合の維持管理しやすいこと、観測所まで車でアクセスできること、などがある。JICA調査団と中国側の水文観測責任機関、C/P機関でもある新疆ウイグル自治区水文水資源局の担当者との協議の結果、恰勒坎河を選定した。新規水文観測所の位置は図3.3.6に示す。

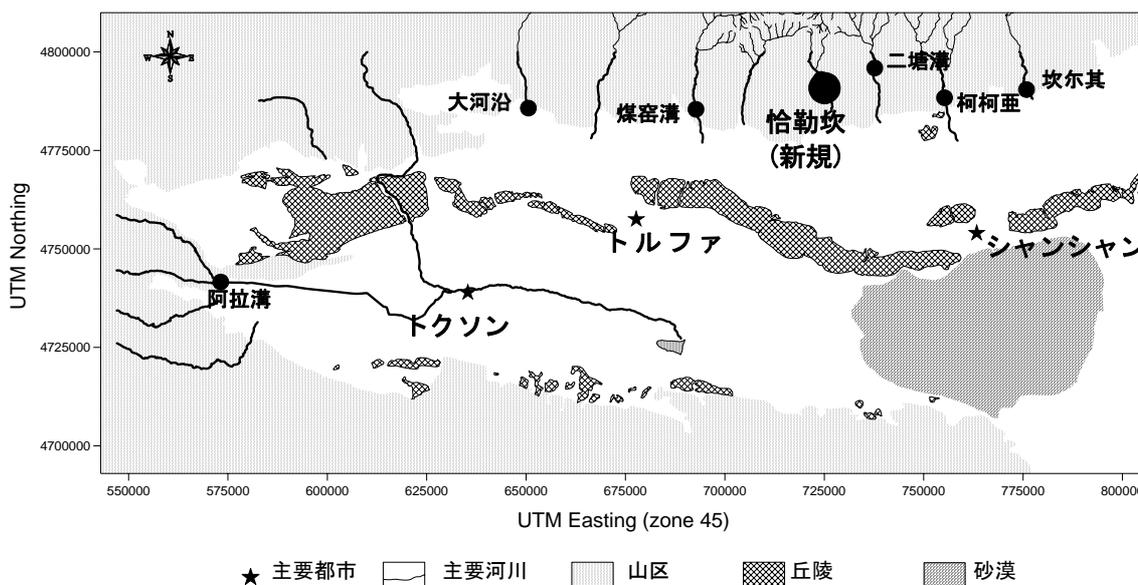


図 3.3.6 既存水文観測所及び新規水文観測所

#### b. 新規水文観測所の設計

新規水文観測所—恰勒坎水文観測所の設計は中国水文観測基準 SL233-1999「水利水電建設工事検収規定」に定められた規定に従って行った。

新規水文観測所の構成は次のとおりである。

- 1) 水準点：基本水準点 1ヶ所と仮水準点 2箇所。
- 2) 量水標：新規水文観測所には 3つの断面が設けられ、断面毎 4本の量水標で計 12本の量水標。
- 3) 保護標示板：「国家水文観測施設・破壊違法」と書かれた標示板。
- 4) 計器室（観測小屋）：自記水位計、雨量計、太陽エネルギーパネル等観測装置を据え付けるための小屋。
- 5) 自記水位計用井戸及び導水管。
- 6) 観測橋：スチール製観測橋。

新規水文観測所の配置平面図は図 3.3.7に示す。

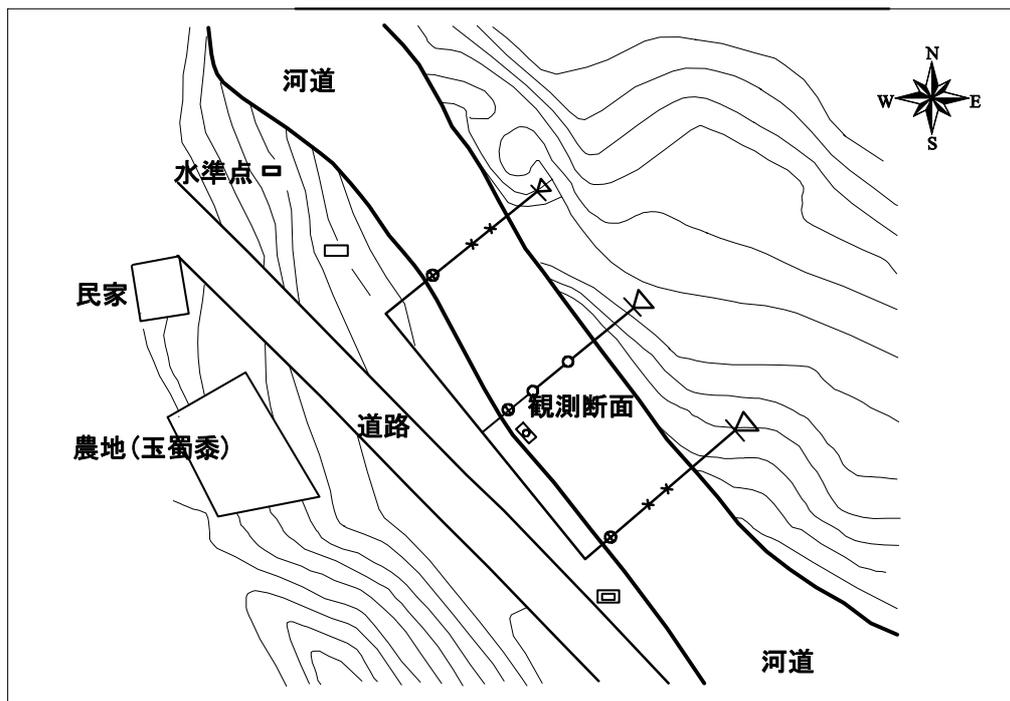


図 3.3.7 新規水文観測所の配置平面図

新規水文観測所の観測小屋、観測橋は図 3.3.8と図 3.3.9に示す。

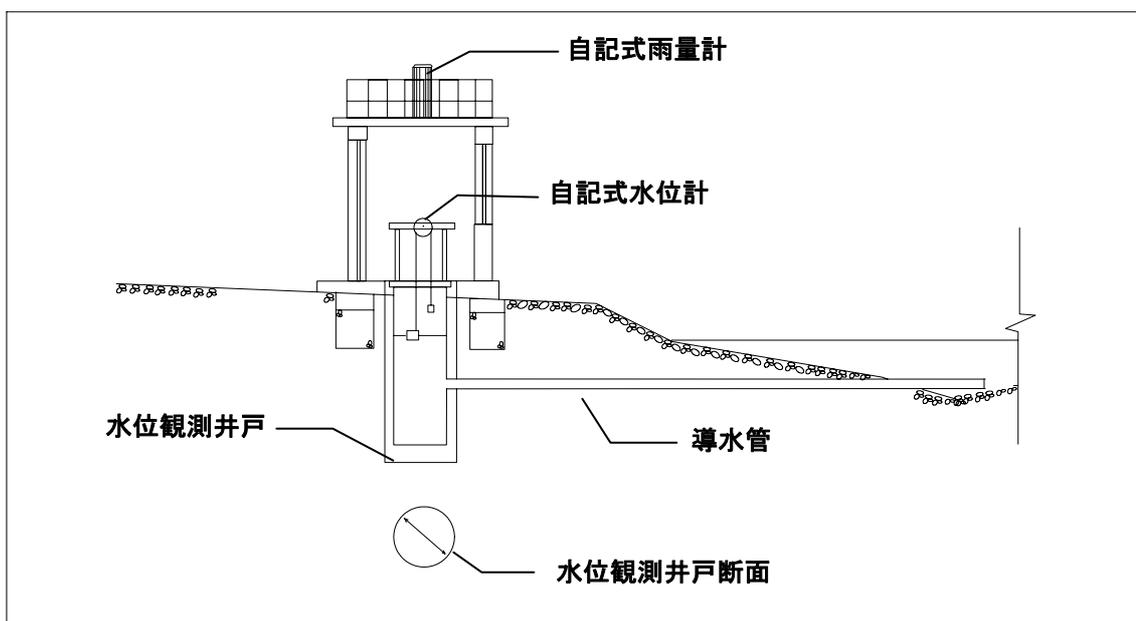


図 3.3.8 新規水文観測所の観測小屋

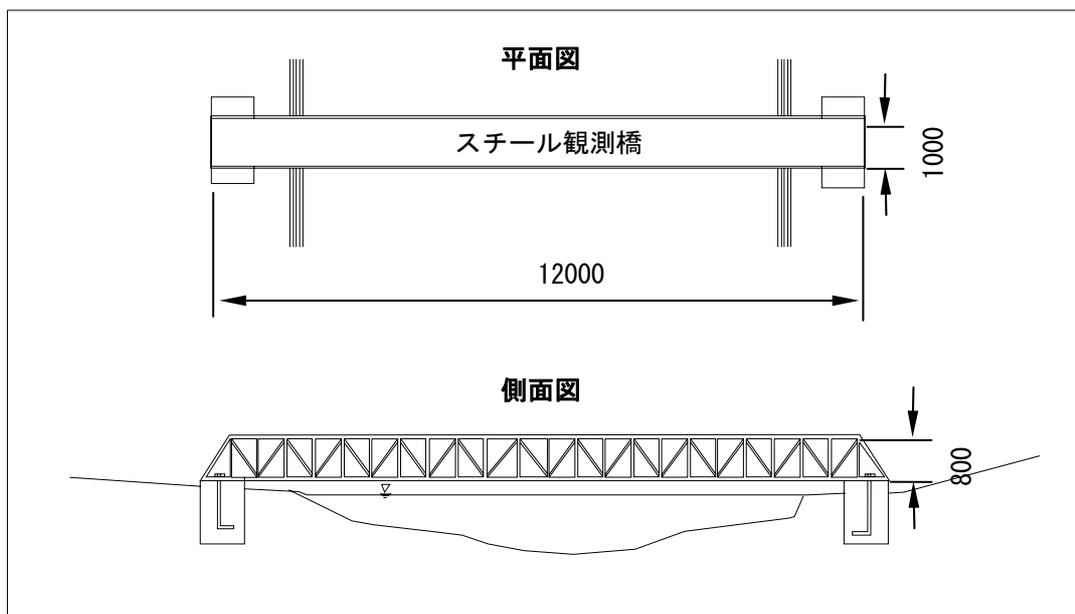


図 3.3.9 新規水文観測所の観測橋

写真 3.3.2と写真 3.3.3は新規水文観測所の建設現場の写真と建設完成時の写真である。



写真 3.3.2 新規水文観測所の建設現場



写真 3.3.3 新規水文観測所の建設完了時の様子

新規水文観測所は無人文観測所であり、中に設置する自記式雨量計と自記式水位計は中国の水文観測基準—GBJ138-90「水位観測規範」と SL21-90「降水量観測基準」に従って設置する。

### c. 新規水文観測所での観測結果

新規水文観測所は 2005 年 1 月 1 日から観測が始まった。

本報告書を作成し始まった 7 月までに半年間雨量及び河川流量観測を連続的に実施された。流量観測は中国の流量観測規定に従って、直接観測小屋で設置された自記式水位計で河川観測断面での河川水位を連続に観測し、観測した水位を H-Q（水位—流量）曲線に当てはめて、河川流量を算出した。

自記水位観測計の設定は水が変化が 1cm 以内なら、1 日 2 回記録し、1cm 以上の変動があった場合、その変動が生じる時点で記録するようにした。

H-Q 曲線を作成するために、1 月から 6 月まで 28 回河川流量観測を実施した。それらの観測結果に基づいて作成した H-Q 曲線は、図 3.3.10 に示している。

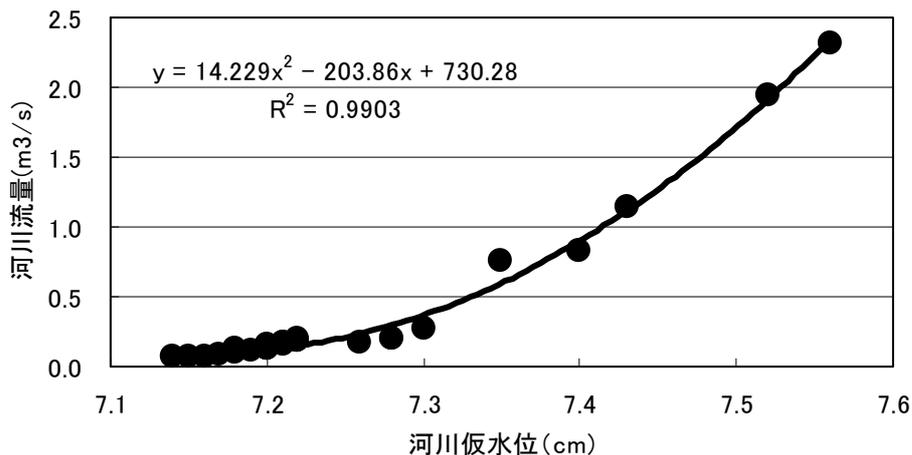


図 3.3.10 新規水文観測所での H-Q 曲線

1月から6月までの降雨量観測結果と河川流量の観測結果をまとめて、図 3.3.11に示す。

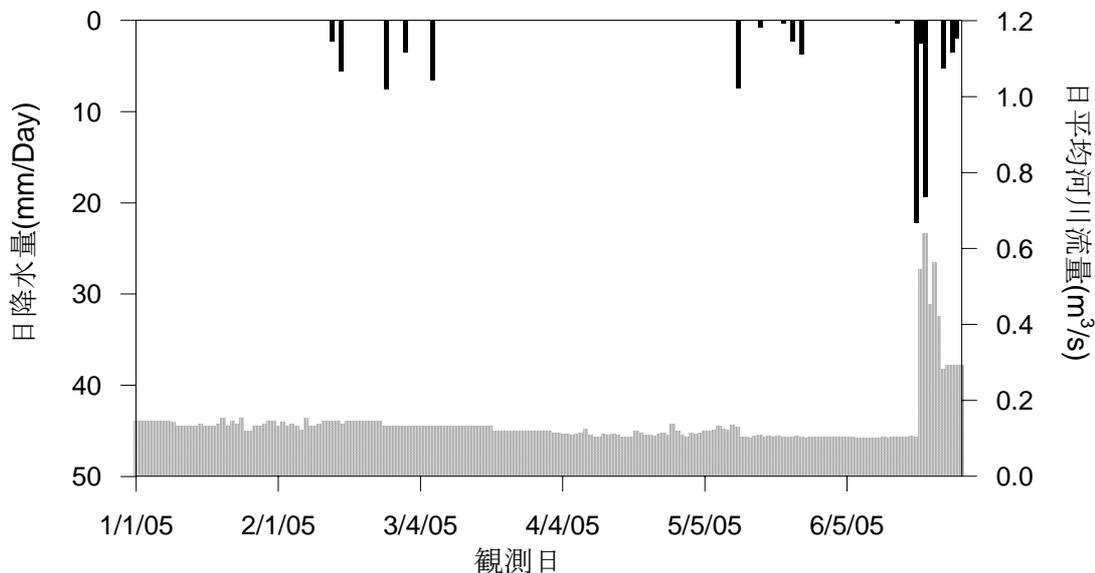


図 3.3.11 新規水文観測所での観測結果(2005年1月～6月)

1月から5月まで新規水文観測所の設置している恰勒坎河流域内では 10 mm/Day 以上の雨も少ないし、降雨量全体も少ないので、河川水量が減少している傾向にあった。しかし、恰勒坎河は地下水による涵養された代表河川であるので、冬季～春季の渇水期でも河川が枯れることなく、約 0.1 m³/s (約 8,640 m³/day)の流量が維持された。6月の雨季に入ると降水量の増加に従って、河川流量が増え、日単位で平均すれば 0.564 m³/s (約 4.87 万 m³/day)であり、観測された最大流量は6月21日の18時から数10分間で 2.34 m³/sであった。

### 3.4 河川流量解析

#### 3.4.1 基本資料

調査地域においては国レベルの水文観測所は比較的少なく、3箇所だけである。それらの水文観測所は調査地域の西側から東へ阿拉溝、煤窑溝、柯柯亜の順で配置されている（表 3.4.1）。

表 3.4.1 調査地域における国レベル水文観測所一覧

河川名	座標		観測期間	備考
阿拉溝	87°52.11'	42°48.09'	1956～1996	1996年の洪水で破壊された。
			1997～現在	元の観測断面から5km下流側
煤窑溝	89°24.35'	43°10.86'	1956～現在	洪水で2回破壊されたが、観測断面の移動はない。
柯柯亜	90°08.48'	43°12.49'	1980～1997	柯柯亜ダムが建設されてから撤収。

国家レベルの長期水文観測所の他、調査地域においては水利工事の建設等の目的に応じて、専用水文観測所が数箇所設置され、不定期観測や巡測等の方法で水文観測を実施した。それらの観測所に関連する資料の連続性・観測期間等は国レベルの水文観測所と比較できないが、本解析では貴重な参考資料として収集した。調査地域における専用水文観測所の基本状況は表 3.4.2にまとめている。

表 3.4.2 調査地域における専用水文観測所一覧

河川名	観測所名	座標		観測期間	備考
二塘溝	托万買里	89°56.10'	43°11.07'	1956～1957	基本観測所
	出山口	89°57.04'	43°17.20'	1992～現在	専用観測所
大河沿	大河沿	88°50.03'	43°17.60'	1957	基本観測所
				1986.6～1991.3	巡測用観測所
				1995.9～1997.9	専用観測所
坎尔其	坎尔其	90°23.89'	43°13.07'	1992～現在	専用観測所
恰勒坎	恰勒坎	89°46.13'	43°16.24'	1995.9～1997.9	巡測用観測所
黒溝	黒溝	89°32.09'	43°15.03'	1995.9～1997.9	巡測用観測所
塔尔朗	塔尔朗	89°04.11'	43°16.09'	1998～2003	巡測用観測所
魚尔溝	魚尔溝	87°53.02'	42°50.07'	1986～1989	巡測用観測所

今回の解析のために、上述した国レベルの水文観測所及び基本観測所の水文資料を全て収集し、巡測観測所のうち、大河沿、塔尔朗、艾維尔的資料をも収集した。合わせて収集資料数は計153観測所年である。特に調査地域では水文観測所の多くは1990年代の中期か後半から設立されていて、長期間の観測資料が少ない。このため、調査地域周辺の比較的観測資料の揃っている水文観測所である開墾河及び黄水溝の観測結果を収集し、調査地域内の流量観測値の修正及び補完のため利用した。従って、今回の解析に利用した全部の資料数は243観測所年である（表 3.4.3）。

表 3.4.3 河川流量分析に利用された資料一覧

観測期間（年）	観測所数	割合（%）
≤10	4	36.3
11～20	3	27.3
21～30	0	0
31～40	1	9.1
≥40	3	27.3
合計	11	100

今回の流量解析に利用した 11 ヶ所の水文観測所のうち、調査地域にあるのは 9 箇所であるが、それらの資料の観測期間や観測精度等は同じではない。塔爾朗、出山口、艾維爾等の観測所は観測期間が短く、観測レベルも巡測であり、精度も比較的低い。それに対して、国レベルの観測所の資料の信頼度は高いので、本解析の中では主要観測所として扱う。

### 3.4.2 年間流量の還元計算

トルファン地区の水文観測所の大部分は各河川が山区から平原区へ流れ出る地点（山口）に設置されている。山区は河川流量の形成区、平原区は流量の散失区であり、山口はその境である。流量形成区では人間活動が少なく、遊牧民が主である。農地やその他の耕作地は河川近辺の旧河床周辺に限られるため、河川流量の消耗は少ない。従って、山口で観測された流量は河川の本流量と見なし、周辺農地からの流量還元計算は省く。

また、2 大流入河川である阿拉溝河と白楊河は上流の流量消耗量を算定するには十分な資料がないので、本解析においては水量還元計算をせずに、河川そのものの本流量から解析を行う。

### 3.4.3 不足資料の補完延長

各水文観測所の観測期間を揃えることや欠測月・年の補完、延長は次の方法で実施した。

- 1) 少数観測所個別年の渇水期欠測については、当該観測所豊水期流量と渇水期流量との相関関係に基づき補完する。例えば煤窑溝の豊水期流量と年間流量の間には図 3.4.1に示すような相関関係がある。
- 2) 流量形成区の降雨、地形、地質等の条件が類似している河川の流量実測値と欠測部分のある河川との相関関係を元にして、年間流量の補完をする。例えば、開墾河水文観測所の 7 月の流量と柯柯亜河流量との関係は図 3.4.2に示す。
- 3) 観測時系列が短く、良い相関関係のない河川の流量については、水文比較法で、多年の平均流量を修正する。参考観測所は比較的相関性の良い観測所にする。
- 4) 観測位置が移動した水文観測所に対しては、移動前後の集水面積を比較し、中国水文解析規定で決められた誤差範囲以内なら、移動の影響を無視して解析する。

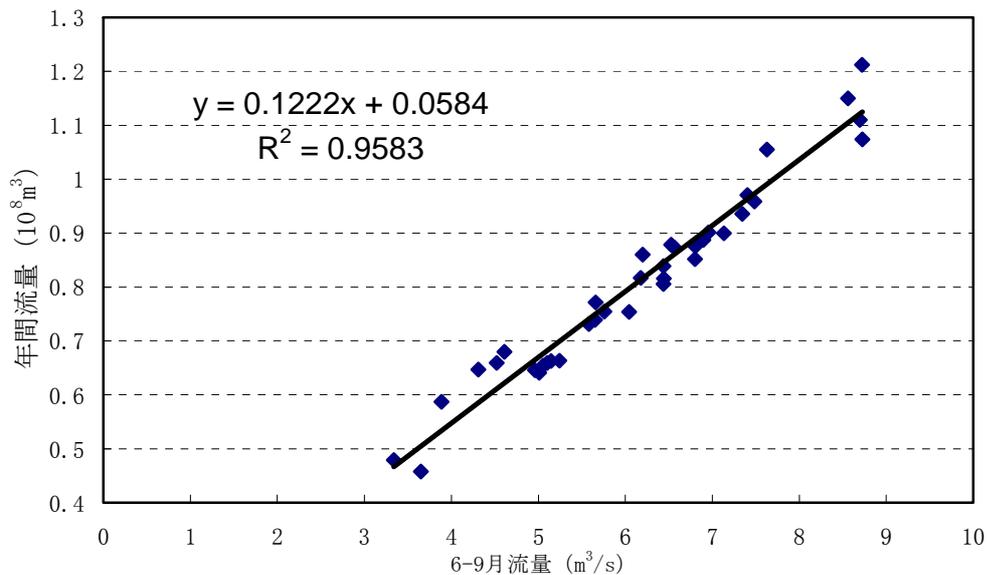


図 3.4.1 煤窑溝観測所 6-9 月の流量と年間流量との相関関係

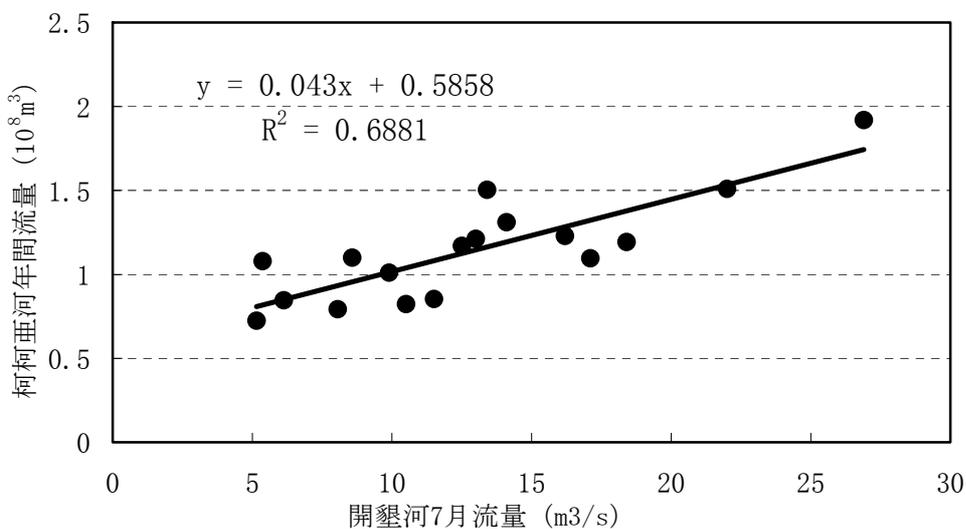


図 3.4.2 開墾河 7 月流量と柯柯亜河流量との相関関係

調査地域及びその周辺の水文観測所の多年平均流量の延長・補完方法及び結果をまとめて、表 3.4.4に示す。一部流量観測時系列が短く、相関関係の作成が困難な河川に対しては「細則」に従って、同じ期間の実測流量値の相関性が高い河川の流量を参照し、比較法で平均値の修正を行った。比較法で求めた河川は表中に※印を付けた。

表 3.4.4 トルファン地区流量観測所多年平均流量計算のための延長・補完処理一覧

河川名	座標		集水面積 (km <sup>2</sup> )	流量測定時系列		系列の延長			多年平均
	東経	北緯		年	多年平均流量	相関因子	補完方程式	相関係数	河川流量 (10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup> )
柯柯亜	90°08.48′	43°12.49′	707	1981-1997	1.147	当該観測所自身 豊水期流量	$y=0.2064x+0.056$	0.995	1.117
						開墾河観測所夏 季流量	$y=0.043x+0.5858$	0.83	
坎尔其	90°23.89′	43°13.07′	548	1992-2000	0.2866	柯柯亜年間流量	$y=0.2779x-0.0191$	0.804	0.2892
二塘溝	89°57.04′	43°17.02′	344	1992-2003	0.8386	煤窑溝年間流量	$y=0.9648x+0.0206$	0.944	0.79
煤窑溝	89°24.35′	43°10.86′	481	1956-1958	0.8119	当該観測所自身 豊水期流量	$y=0.1222x+0.0584$	0.979	0.8083
				1961-1967		英雄橋観測所	$y=0.154x+0.0693$	0.935	
				1969-1971		開墾河、白吉観測 所合成年径流量			
				1976、 1978-2003					
塔尔朗	89°04.11′	43°16.09′	443	1998~2003	0.805	煤窑溝年間流量	$y=0.7099+0.1732$	0.911	0.7728
大河沿	88°50.03′	43°17.06′	724	1956、 1996-2003	1.065	煤窑溝年間流量	$y=0.472e0.9574x$	0.811	1.035
白楊河	88°29.36′	43°10.53′	2,423	1957-1958	1.237	黄水溝年間流量	$y=0.2637x+0.6232$	0.858	1.355
				1979-1987					
阿拉溝	87°52.11′	42°48.09′	1842	1957、	1.32	当該観測所自身 豊水期流量	$y=0.1026x+0.4156$	0.972	1.275
				1960-2003		黄水溝観測所	$y=0.3678x+0.2315$	0.902	
魚尔溝	87°53.02′	42°50.07′	628	1986-1989	0.4604	阿拉溝年間流量	$y=0.1619+0.2744x$	0.855	0.4522

### 3.4.4 流量系列の代表性分析

#### a. 流量変動率(variability of runoff)による代表性分析

「細則」に従い、年間流量代表性を分析するために調査地域において観測時系列の比較的長い3箇所(国レベル観測所)、阿拉溝、煤窑溝、柯柯亜水文観測所の流量変動率の差積を求めた。その結果を図3.4.3～図3.4.5に示す。

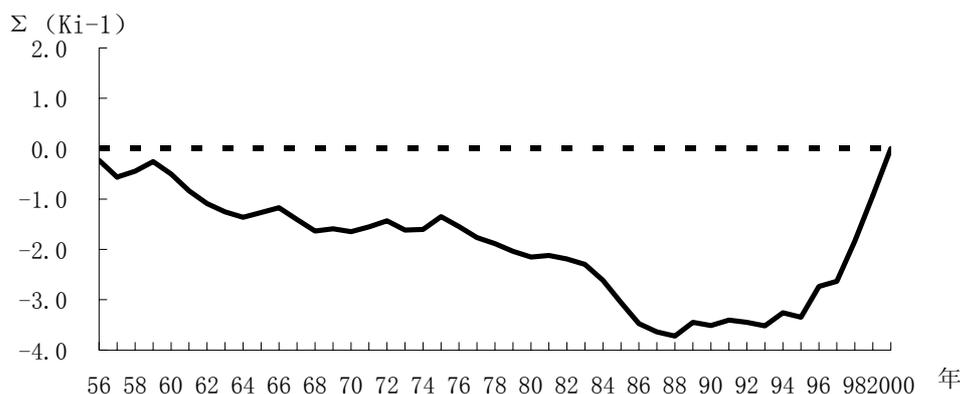


図 3.4.3 阿拉溝水文観測所年間流量変動率差積曲線

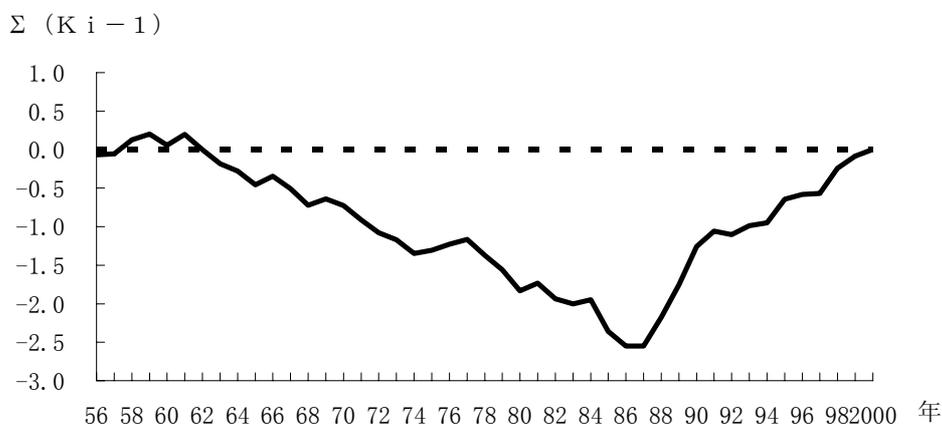


図 3.4.4 煤窑溝水文観測所年間変動量数差積曲線

図3.4.3～図3.4.4に示すように、阿拉溝、煤窑溝の年間流量変動サイクルは長い。阿拉溝河では1956～1988年の33年間は渇水期であり、1983年～1993年は平水期、1994年から2000年は豊水期である。煤窑溝では1956～1962年は平水期、1963～1987年は渇水期、1988～2000年は豊水期である。流量変動率の差積曲線分析によると、1956～2000年の観測時系列では豊水期、平水期、渇水期を全部含んでいるが、2000年以後の豊水期はまだ継続しているので全体の代表性十分とは言えず、より長い観測結果により修正する必要

があると考えられる。その影響としては多年平均流量の計算は本来の値より小さく求められる可能性がある。

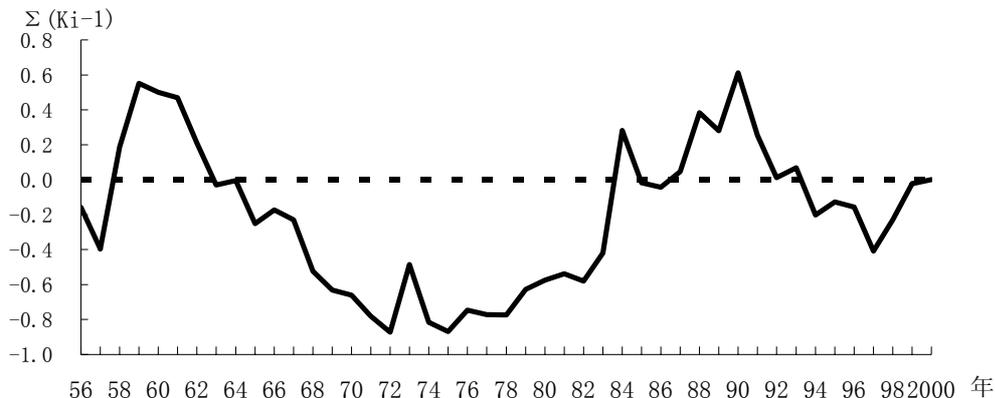


図 3.4.5 柯柯亜水文観測所年間流量変動率差積曲線

柯柯亜河流量変化は短周期を主とする点に特徴がある（図 3.4.5）。3 段の豊水期があり、それらは 1957 年～1959 年、1979～1990 年及び 1998～2000 年である。1973～1978 年は平水期であり、1991～1997 年は渇水期である。1956～2000 年の時系列においては複数の豊水期、平水期及び渇水期が含まれているので、十分な代表性があると考えられる。

**b. 流量変動率累計平均曲線分析**

阿拉溝、煤窑溝及び柯柯亜 3 箇所水文観測所の流量変動率の累計平均曲線を図 3.4.6～図 3.4.8に示す。

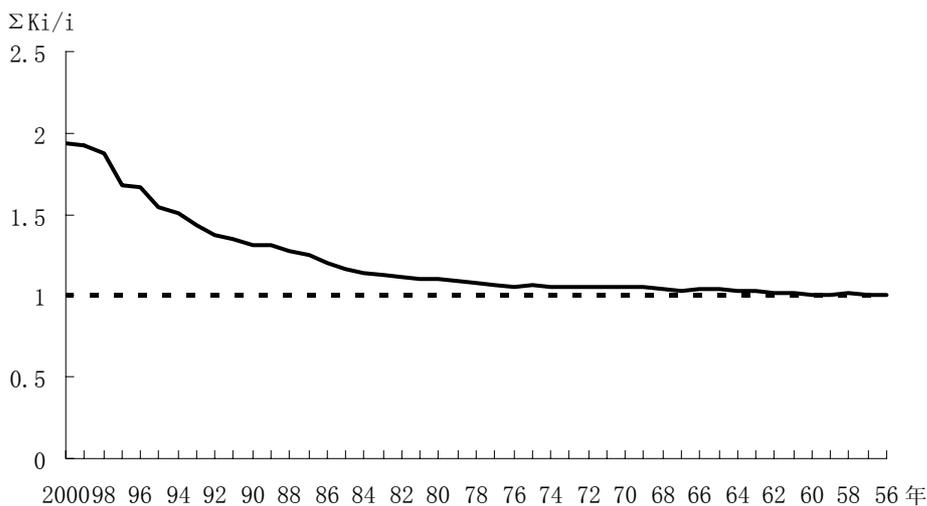


図6. 4. 6 阿拉溝河河年間流量変動率累計平均曲線

図 3.4.6 阿拉溝河河年間流量変動率累計平均曲線

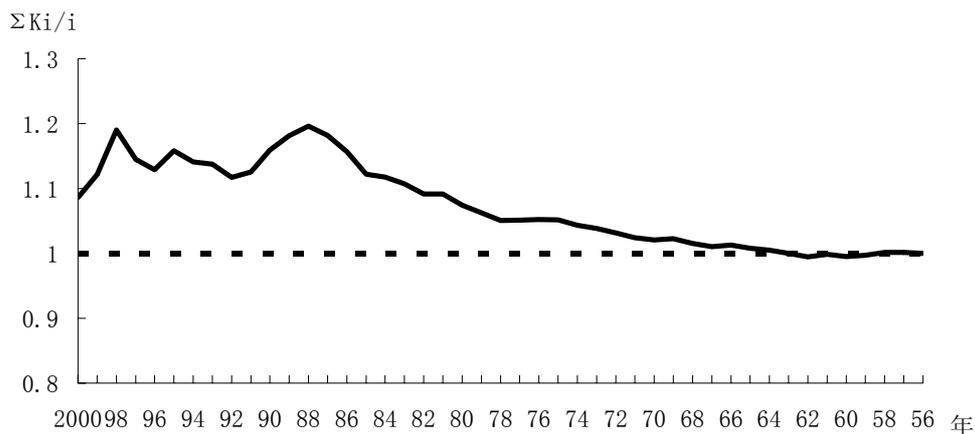


図 3.4.7 煤窑溝年間流量変動率累計平均曲線

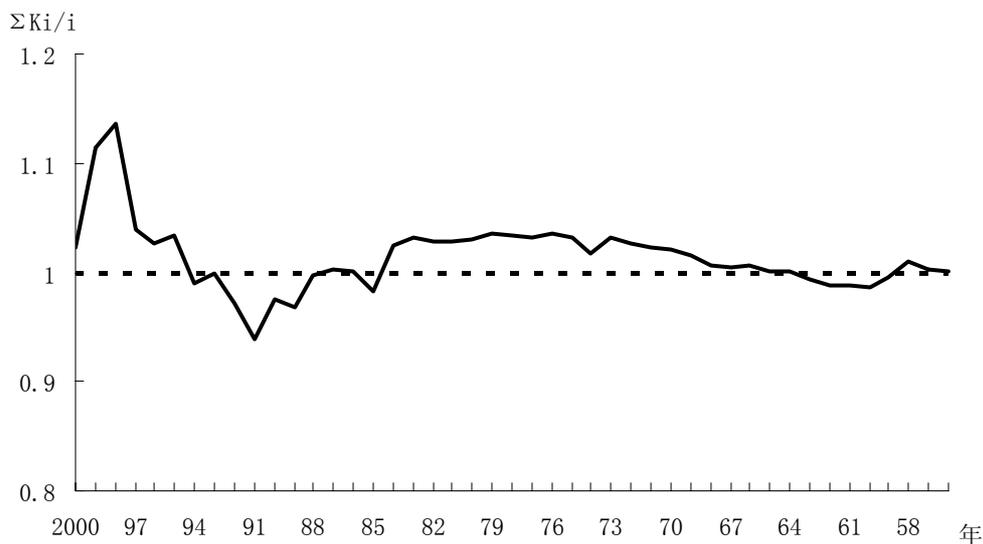


図 3.4.8 柯柯亜河年間流量変動率累計平均曲線

図 3.4.6～図 3.4.8に示すように、3 箇所的水文観測所のいずれも 2000 年から約 40 年前の 1960 年周辺で、曲線は 1 に接近しているため、1960 年から 40 年間の観測資料には比較的良好な代表性があると考えられる。

### 3.4.5 年間流量統計パラメーターの確定

#### a. 平均値の確定

観測時系列の長い水文観測所では、できるだけ長い系列の資料を利用して年間流量の平均値を計算するが、観測時系列が短い水文観測所の平均値を取るには水文比較法で修

正をした。水文比較法で用いられた修正式は次の通りである。

$$W_L = \frac{W_{RL}}{W_{RS}} W_S$$

ここでは：

$W_L$ は修正後の流量値

$W_S$ は観測時系列の短い観測所での平均値

$W_{RL}$ は参考観測所での多年流量平均値

$W_{RS}$ は参考観測所の短い時系列を有する観測所と同期の平均値

調査地域における水文観測所の多くは時系列の短い観測所であるので、以上の方法だけで平均値を算定と誤差が大きくなる。これを検証し再修正するため、実測系列の平均値と流出高（runoff depth）図を用いて求めた流量値を比較し、最終的に各河川の平均流量を確定した。

### b. 確率曲線

河川流量の確率分布を求めることは水資源開発利用計画を立てる上で重要である。河川流出確率を推定するには指数分布法、一般化極値分布法、対数ピアソン III 型分布法、岩井法、石原・高瀬法、母数積率法等数多くのモデルが開発されている。ここでは、中国「全国洪水災害防止計画降雨区分技術細則」（中国洪水災害防止計画指導グループ、2004年1月）等の関連技術基準に従い、河川流量確率分布はピアソン III 型分布法で検討した。その結果は図 3.4.9～図 3.4.11に示した。

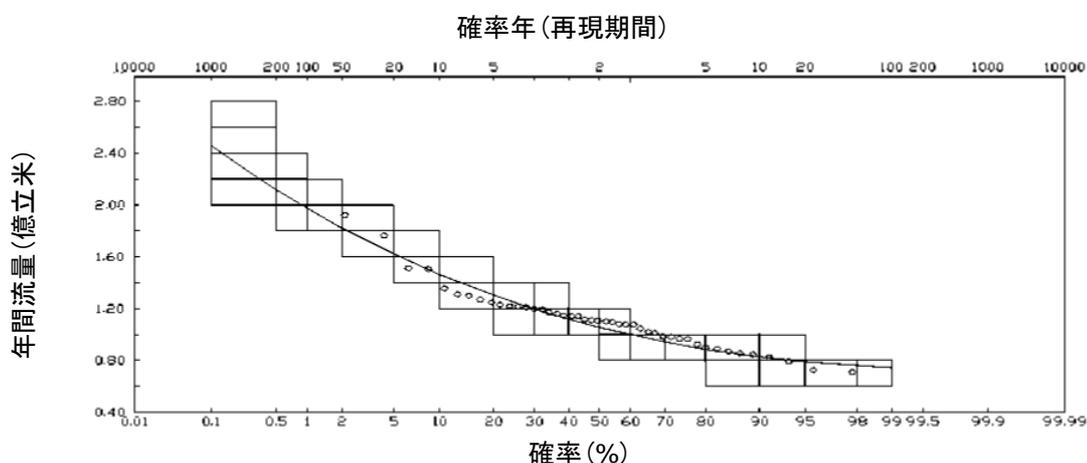


図 3.4.9 柯柯亜河年間流量確率曲線

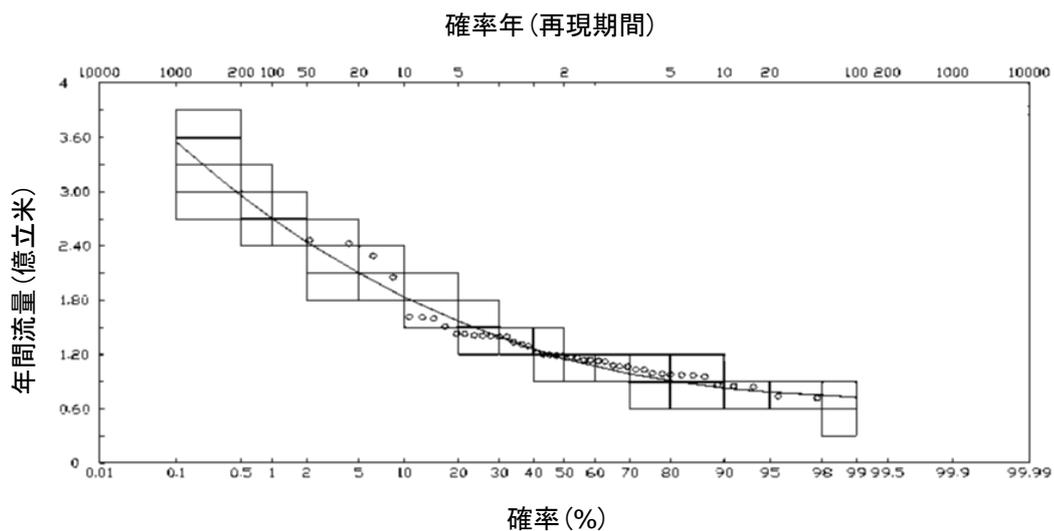


図 3.4.10 阿拉溝河年間流量確率曲線

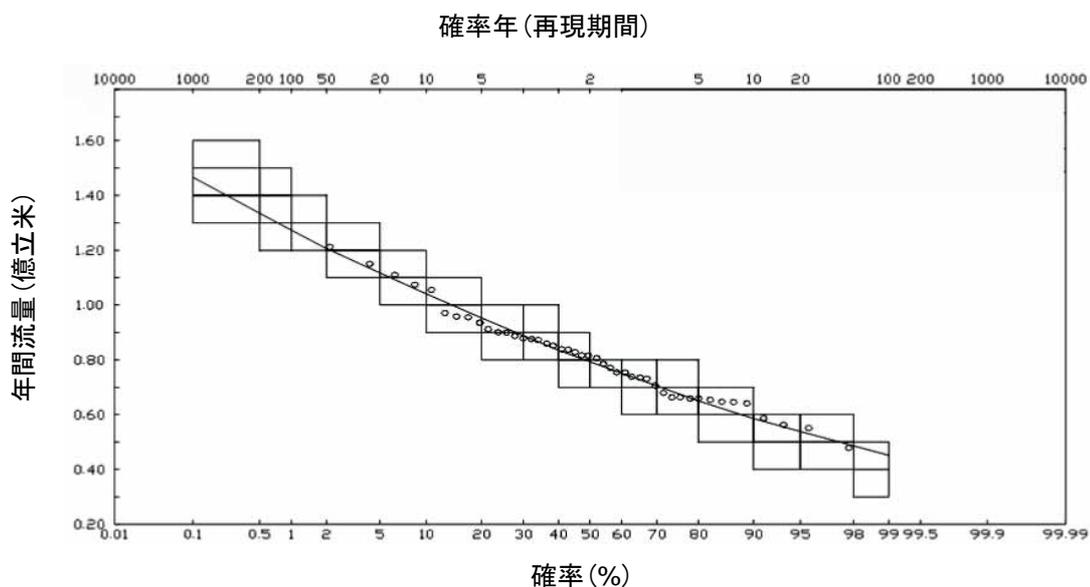


図 3.4.11 煤窑溝河年間流量確率曲線

### 3.4.6 統計パラメーターの安定性分析

パラメーターの変化による流量計算に対する影響を分析するためには、異なる時系列での主要代表水文観測所の年間流量計算値と関連パラメーターを表 3.4.5にまとめて比較した。

表 3.4.5 代表水文観測所平均流量計算結果比較

観測所	計算期間	年数	対応している 平均流量 ( $10^8\text{m}^3$ )	$\frac{\overline{W}_{\text{Short}} - \overline{W}_{\text{Long}}}{\overline{W}_{\text{Long}}} (\%)$	Cv	$\frac{Cv_{\text{Short}} - Cv_{\text{Long}}}{Cv_{\text{Long}}} (\%)$
阿拉溝	1986-2000	15	1.535	20.4	0.35	12.9
	1981-2000	20	1.413	10.8	0.37	19.4
	1976-2000	25	1.344	5.4	0.36	16.1
	1971-2000	30	1.346	5.5	0.33	6.5
	1966-2000	35	1.322	3.6	0.32	3.2
	1961-2000	40	1.291	1.3	0.32	3.2
	1956-2000	45	1.275	0.0	0.31	0.0
柯柯亜	1986-2000	15	1.130	0.1	0.22	-8.3
	1981-2000	20	1.161	2.9	0.25	4.2
	1976-2000	25	1.168	3.5	0.22	-8.3
	1971-2000	30	1.154	2.2	0.23	-4.2
	1966-2000	35	1.137	0.7	0.22	-8.3
	1961-2000	40	1.115	-1.3	0.22	-8.3
	1956-2000	45	1.129	0.0	0.24	0.0
煤窑溝	1986-2000	15	0.9356	15.7	0.17	-15.0
	1981-2000	20	0.8826	9.2	0.20	0.0
	1976-2000	25	0.8509	5.2	0.21	5.0
	1971-2000	30	0.8282	2.4	0.21	5.0
	1966-2000	35	0.8192	1.3	0.21	5.0
	1961-2000	40	0.8075	-0.1	0.20	0.0
	1956-2000	45	0.8086	0.0	0.20	0.0

表 3.4.5に示すように阿拉溝河では 40 年間の時系列を用いる場合、安定した流量平均値が得られるが、変動係数 Cv 値はまだ安定していない。柯柯亜河では 35 年の時系列で安定した流量平均値が得られるが、Cv 値は 40 年時系列でも安定していないし、収束傾向も見られない。煤窑溝河では 35 年時系列で平均流量が安定に達し、明らかな収束傾向が見られる、Cv 値は 40 年時系列で安定している。

### 3.4.7 年間流量の涵養及び構成

#### a. 河川流量の涵養

調査地域における河川流量の涵養源は比較的顕著な垂直方向の地域差と季節差がある。一般的には、3,500 m 以上の涵養域では、涵養源は氷河の融雪を主とし、2,000~3,500 m にある中高山地帯では季節性融雪と降水である。2,000 m 以下の低山地帯では、河川流量の涵養源は主として降水と地下水である。各主要河川の間にある季節性河川やラビーン(溪谷)の涵養源は殆ど夏季の豪雨によるものである。

河川流量の涵養はまた 1 年内の季節変化によって特徴が異なる。冬は雨が少なく、11 月から翌年 3 月までの降水量は年間降水量の 1 割以下であり、融雪も少ないので、河川の涵養は主に地下水に頼り、流量が小さく低減傾向にある。春先には、各河川で年間最低流量が現れ、場合によって一部の河川が断流する。

春の気温上昇によって、低中山地帯の雪が先に解け始め、河川流量が少しずつ増加する。場合によって、降水量の増加に伴い、春季の洪水期になることがある。しかし、気温や降水涵養等多くの因子の影響によって、春季の洪水期は極めて不安定で、始まるかどうかは年毎に変化する。

5月～9月の夏季には中高山融雪が年内で最大となり、降水量も多いので、河川水の最大流量が現れる。氷河融雪水の涵養の有無や量によって、調査地域における河川の洪水の現れる時期が異なる。二塘溝河より東側の河川では融雪水の涵養は殆ど受けられないので、年内最大4ヶ月間流量は5～8月の間に現れる。それに対して、二塘溝より西側の河川では年内最大4ヶ月間流量は6～9月の高温の時期に現れる。

秋からは融雪量も降水量も減るので、河川の涵養源は徐々に地下水に頼るようになり、広い流域があり、地下水から十分な涵養が得られる河川、たとえば、白楊河と阿拉溝河では比較的安定な流量が得られるが、夏季の降水を主な涵養源にする河川では流量が大きく変化する。

### b. 河川流量構成

河川の涵養源には降水の直接涵養、融雪水の涵養及び地下水の涵養のように大きく分けることができる。阿拉溝河、柯柯亜と煤窑溝の3本の河川を代表河川として、典型的な年の流量を直線法で分割し、河川流量の構成を検討した(図 3.4.12～図 3.4.14、表 3.4.6)。

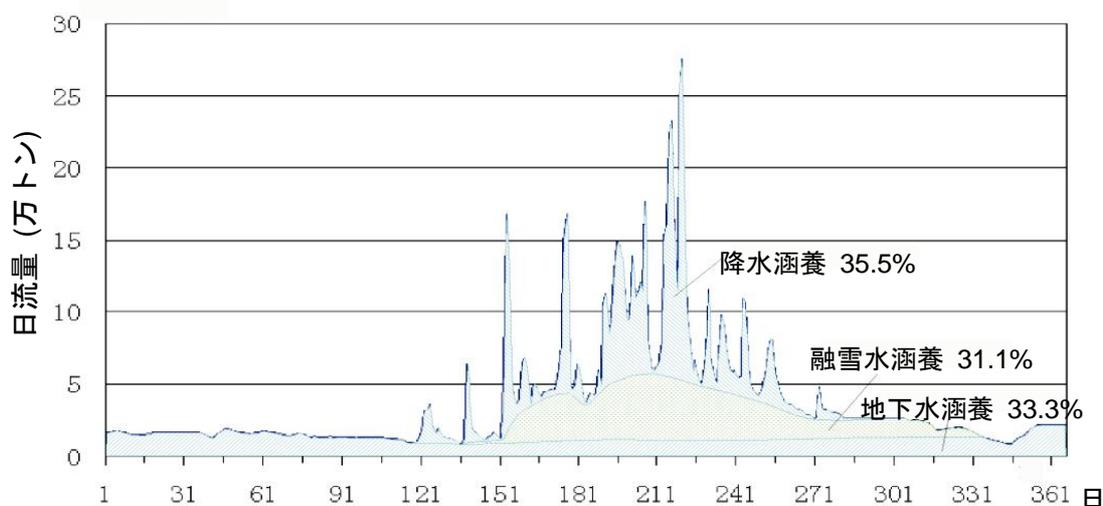


図 3.4.12 阿拉溝河水文観測所 1998 年日流量分割図

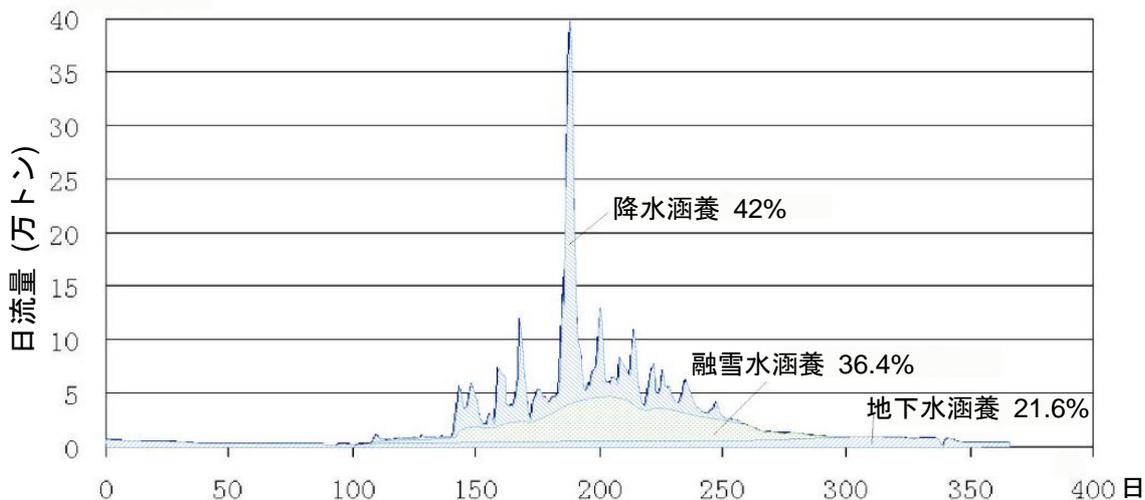


図 3.4.13 煤窑溝水文観測所 1992 年日流量分割図

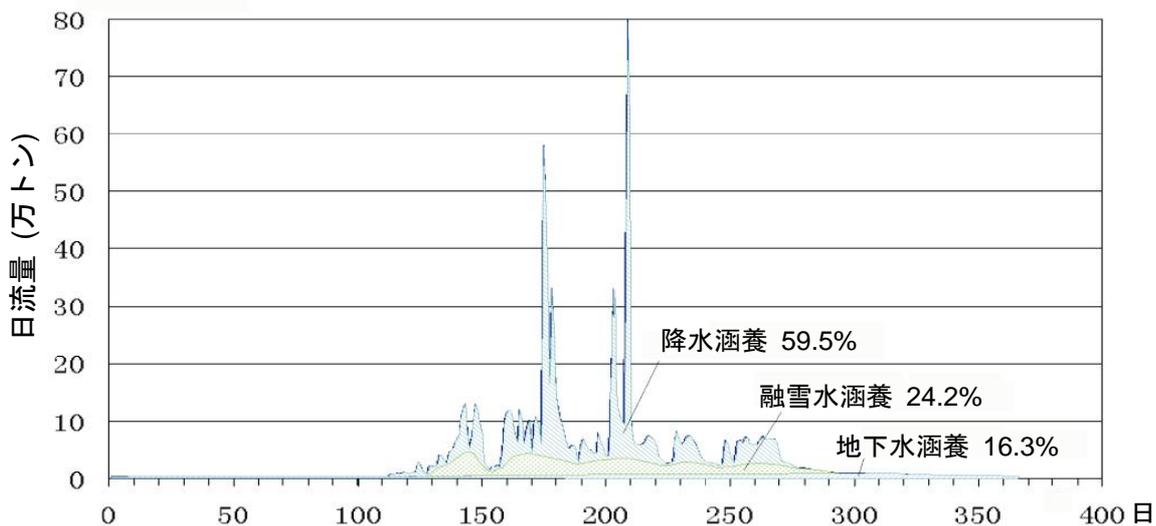


図 3.4.14 柯柯亜水文観測所 1996 年日流量分割図

表 3.4.6 代表河川流量成分分割結果

単位：%

代表河川	典型年	降水涵養	融雪涵養	地下水涵養
阿拉溝河	1998	35.6	31.1	33.3
煤窑溝	1992	42.0	36.4	21.6
柯柯亜	1996	59.5	24.2	16.3

### 3.4.8 河川流量の地域分布及び年間変化

#### a. 河川流量の地域分布

調査地域では河川表流水の地域的分布にも明らかな特徴が見られる。表流水は主にトルファン盆地西部の艾丁湖流域に集中する。トクソン県内で形成された表流水資源は比較的少ない。盆地内最大河川である白楊河と阿拉溝河、さらに艾維爾河の流量は調査地域河川流量全体の約半分の値を示しているが、其の流量の大部分は調査地域外の巴音郭楞（バイングアロ）モンゴル族自治州やウルムチ市の中で形成されている。

トルファン市とシャンシャン県は調査地域内水資源の主要形成区である。大河沿、塔朗、煤窑溝、黒溝、二塘溝、柯柯亜、坎尔其等 7 河川の流量は地表水流量全体の半分（52.4 %）を占める。

上述のように、調査地域での地表水流量の分布は均一ではない。西部には大きな河川流量を有しているのに、河川水の利用権限を全部持っているわけではないので、開発利用の上で不確実性がある。トルファン盆地の北部は調査地域の主要地表水資源形成区であり、年間、億立方米級の河川、大河沿河と柯柯亜河がある。それに次ぐ年間流量 7,000 万～8,000 万立方米級の河川、塔次郎河、煤窑溝河と二塘溝河がある。坎尔其河より東部地域では地表水資源の形成量は極めて限られていて、しかも豪雨による洪水の形で現れることが多い。トルファン地区南部の庫木塔格砂漠地域では地表流が殆どない。

河川表流水のこの分布特徴は基本的にトルファン盆地の気候や地形条件によって形成されている。トルファン盆地の東部も南部も低い丘陵或いは砂漠であるので、河川表流水の形成条件が欠乏している。その上、この地帯では融雪もないし降水も少ないので、この地帯はトルファン盆地内で地表水資源の最も少ない地域となる。

垂直地帯性も河川表流水の地域分布上の特徴である。流出高は明らかに海拔標高に従って増加する。海拔標高の増加によって降水量は増加する傾向は前述したとおりである。この特徴は本調査地域だけでなく、新疆ウイグル自治区全体で共通している。

トルファン盆地内河川表流水のもう一つ特徴は平原区での河川水の降下浸透である。河川表流水は山口を出て平原区に入ってから、急速に降下浸透で消失し、地下水に転換する。

#### b. 河川流量の年内分布

トルファン盆地内河川流量の年内変化は大きい。阿拉溝河、煤窑溝と柯柯亜の 3 本の代表河川の月流量変化を図 3.4.15～に示し、月最大流量と最小流量との比較は表 3.4.7にまとめている。

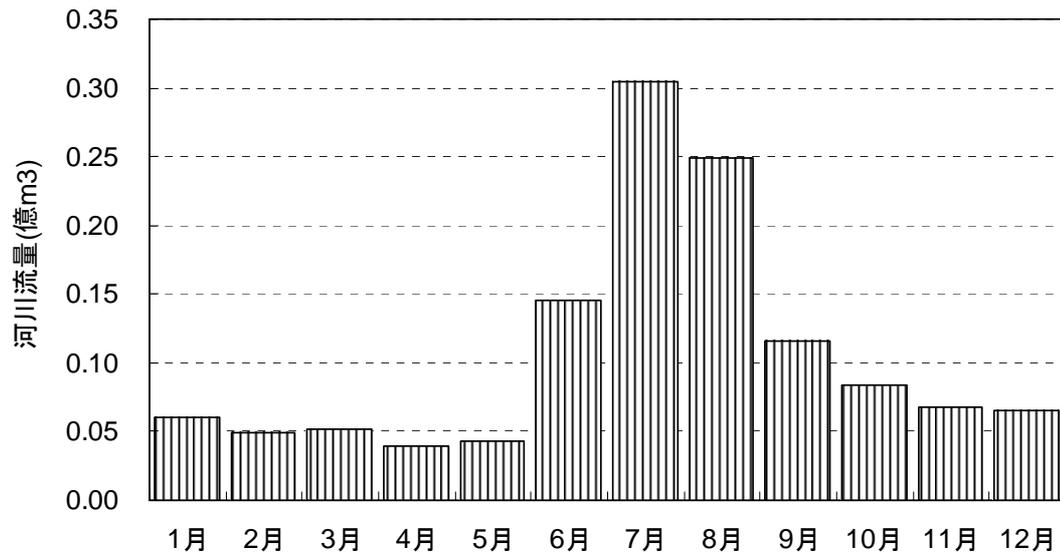


图 3.4.15 阿拉溝河月流量变化图

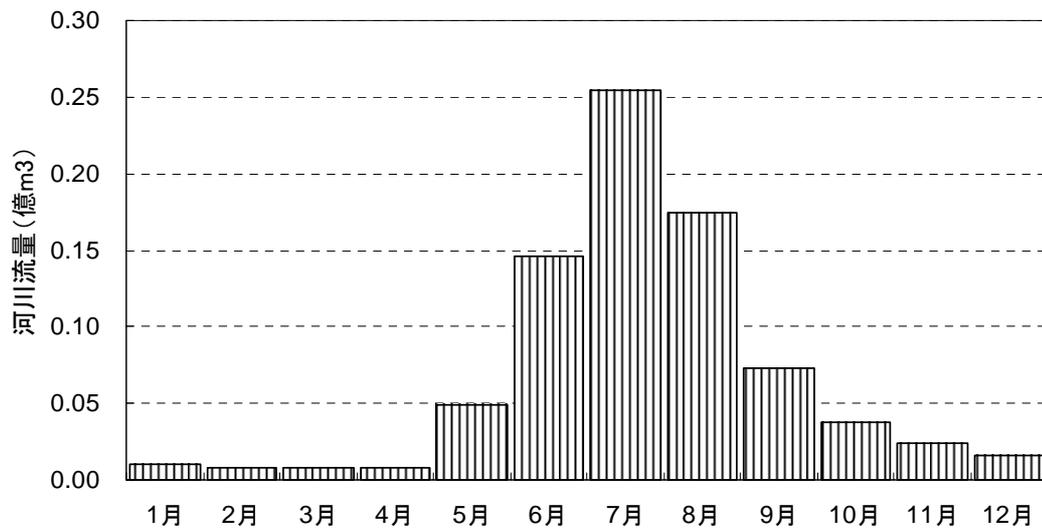


图 3.4.16 煤窑溝河月流量变化图

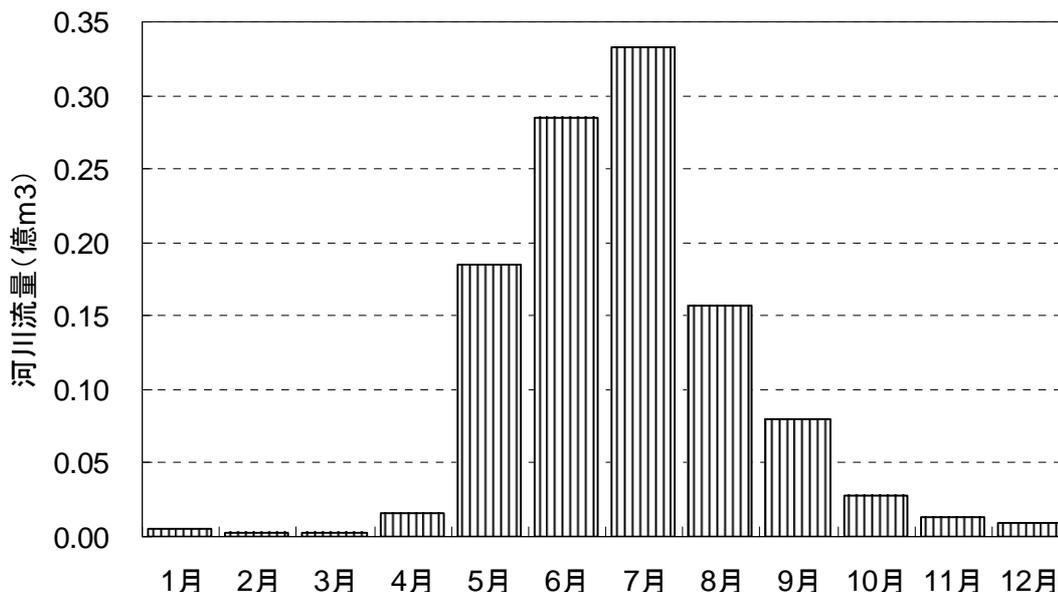


図 3.4.17 柯柯亜河月流量変化図

表 3.4.7 トルファン盆地内代表河川の年内変化検討結果

流量単位：10万 m<sup>3</sup>

代表河川	最大		最小		最大／ 最小	連続4ヶ月間最大		
	流量	%	流量	%		流量	月	%
阿拉溝河	304.3	24.0	51.2	2.98	8.04	814.6	6～9	64.2
煤窑溝河	254.5	31.1	7.8	0.94	33.2	648.2	6～9	80.4
柯柯亜河	332.7	29.8	2.1	0.19	159	960.0	5～8	86.0

注：％は年間流量に対する割合である。

河川流量の年内変化は流域の大きさ、地形、地質、植生等多くの条件に影響される。結果から見るとトルファン盆地内では西から東へ河川流量の年内変化が大きくなる傾向にある。

### c. 河川流量の年間変化

調査地域における河川流量の年間変化は比較的小さい。主要代表河川である阿拉溝河、煤窑溝河及び柯柯亜河の多年河川流量変動係数  $C_v$  はそれぞれ 0.34、0.22、0.24 であり、新疆ウイグル自治区では、中等程度のグループに属する。この3河川の中においては阿拉溝河の  $C_v$  がやや大きい。

主要代表河川の最大年間流量と最小年間流量との比は 2.5～3.4 の間、多年最大流量変動率  $K_{max}$  は 1.3～1.93 の間、最小流量変動率  $K_{min}$  は 0.5～0.7 の間にある。すなわち、年間平均流量と比較する場合、豊水年でも年間流量は多年平均流量の倍以上にならないし、渇水年でも年間流量は多年平均流量の半分以下にならない。

3本主要代表河川の流量変化は図 3.4.18に示す。

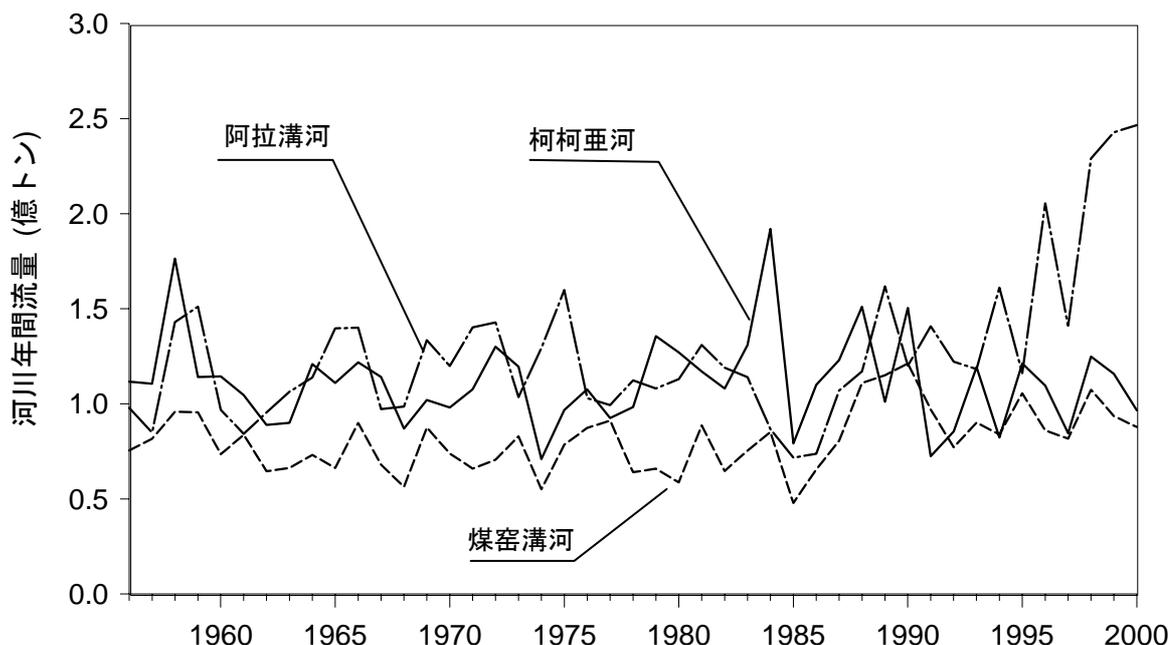


図 3.4.18 代表河川の年間流量変化

### 3.4.9 主用河川の年間流量

以上の解析をまとめて、調査地域における 14 本の主要河川の年間流量変動に関連するパラメーター及び各保障率\*での年間流量を表 3.4.9にまとめている。

代表観測所以外の実測期間が短い河川の保障率別の年間流量を求めるには、代表河川の年間流量変化を参考にした。代表河川との相関性を確認した上、代表河川の保障率別の流量変動率  $K_p$  を用いて、対象河川の流量計算をした。代表河川と計算対象河川との対応関係は表 3.4.8に示している。

表 3.4.8 代表河川と計算対象河川との対応

代表河川	計算対象河川
柯柯亜	坎尔其
煤窑溝	二塘溝、塔尔朗、大河沿、恰勒坎、黒溝
阿拉溝河	魚尔溝、祖魯木図、烏斯通
黄水溝	白楊河、柯尔碱

\* 再現確率に相当する

表 3.4.9 調査地域における主用河川年間流量関連主要指標一覧

	河川名	計算点座標		集水面積 (km <sup>2</sup> )	平均流量 (10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup> )	Cv	Cs / Cv	保障率別の流量 (10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup> )			
		東経	北緯					20%	50%	75%	95%
1	坎尔其	90°23.89'	43°13.07'	548	0.2892	0.24	5.5	0.3389	0.2744	0.2382	0.206
2	柯柯亚	90°08.48'	43°12.49'	707	1.117	0.24	5.5	1.309	1.06	0.9199	0.7958
3	二塘溝	89°56.10'	43°11.07'	344	0.79	0.22	2	0.9313	0.7773	0.6669	0.5275
	二塘溝	89°57.04'	43°17.20'	501	0.8235	0.22	2	0.9708	0.8102	0.6951	0.5498
4	怡勒坎	89°46.13'	43°16.24'	100	0.089	0.22	2	0.1049	0.0876	0.0751	0.0594
5	黑河	89°32.09'	43°15.03'	185	0.33	0.22	2	0.389	0.3247	0.2786	0.2203
6	煤窑溝	89°24.35'	43°10.86'	481	0.8083	0.22	2	0.9529	0.7953	0.6823	0.5397
7	塔尔朗	89°04.11'	43°16.09'	443	0.7728	0.22	2	0.911	0.7604	0.6523	0.516
8	大河沿	88°50.03'	43°17.60'	724	1.035	0.22	2	1.22	1.018	0.8737	0.6911
9	白楊河	88°28.93'	43°10.17'	2,423	1.355	0.42	5.5	1.67	1.161	0.9629	0.8731
10	柯尔碱	88°01.03'	43°14.12'	646	0.2057	0.42	5.5	0.2535	0.1762	0.1462	0.1325
11	艾维尔	87°53.02'	42°50.07'	628	0.4522	0.34	4.5	0.5575	0.4146	0.3396	0.2801
12	阿拉溝	87°52.11'	42°48.09'	1,842	1.257	0.34	4.5	1.572	1.169	0.9574	0.7897
	阿拉溝	87°54.76'	42°49.02'	2,503	1.709	0.34	4.5	2.107	1.567	1.283	1.059
13	祖鲁木因	87°50.37'	42°46.11'	257	0.0486	0.34	4.5	0.0599	0.0446	0.0365	0.0301
14	烏斯通	87°59.35'	42°40.68'	617	0.1392	0.34	4.5	0.1716	0.1276	0.1045	0.0862

### 3.4.10 地表水資源量計算

地表水資源は普通河川、湖沼、ダム、氷河等表面以上に存在する動態水量のことを意味し、その定量的特徴値は河川の流量である。

#### a. 計算方法

地表水資源量の計算に当たっては次の事項を原則とした。

- 1) 水文観測所のある河川については、実測流量を延長・補完した時系列で多年平均年間流量を計算した。また、水文観測所のない流域については、年間流出高等値線図に基づき計算した流量を多年平均年間流量とする。
- 2) 水文観測所が設置されていない渓谷等の地域では、山区の集水面積に年間流出高等値線図で求めた流出高を乗じて多年平均年間流量を算出する。
- 3) 河川流域が完全に調査地域に含まれた場合、当該河川の流量は地表水資源量として計算する。それに対して、流域の一部が調査地域の行政区画外に跨る場合、当該流域の地表水資源量は河川流量から調査地域外からの流入水量をさし引く。

#### b. 流出高等値線図

流出高等値線図は地表水資源量の計算、検証には重要である。中国で2002年に策定された「全国水資源総合計画技術細則」に従って、本調査地域の流出高等値線図を作成した。調査地域における水文観測所の流量測定結果に還元（延長・補完）処理の結果を加えて、多年平均流量を求めてから、流域面積に配分して、当該流域の流出高にする。図化するには、各流域の流出高を当該流域の重心点にプロットし、各点の流出高を元に天山山脈の伸び方を考慮した上、次の原則を守るように各等値線を引いた。

- 1) 全体的に地形等高線や降水等値線とは同じ方向に伸びるものとし、やむを得ず交差する場合は、流出高等値線と地形等高線或いは降水等値線の間にある内抱角は大きくなってはならない。
- 2) 調査地域や周辺地域の流出特性分析の結果を元に、作成した流出高等値線の合理性をチェックする。すなわち、高山、中山、低山、平原等地形や海拔標高との関係が自然であることを確認する。
- 3) 等値線作成後、それに従って計算した流出量と水文観測所で観測した流量と照合し、誤差は5%以内に抑えなければならない。

調査地域における流出高の分布は図 3.4.19に示す。

#### c. 流域区分

トルファン盆地における河川形成の特徴に従って、図 3.4.20に示しているようにトルファン盆地及び行政区画上でトルファン地区に属する南部の砂漠や丘陵地域を含めて、4つの流域に区分し、流域区分毎に地表水資源量を次の式を用いて算出し、表 3.4.10にまとめた。

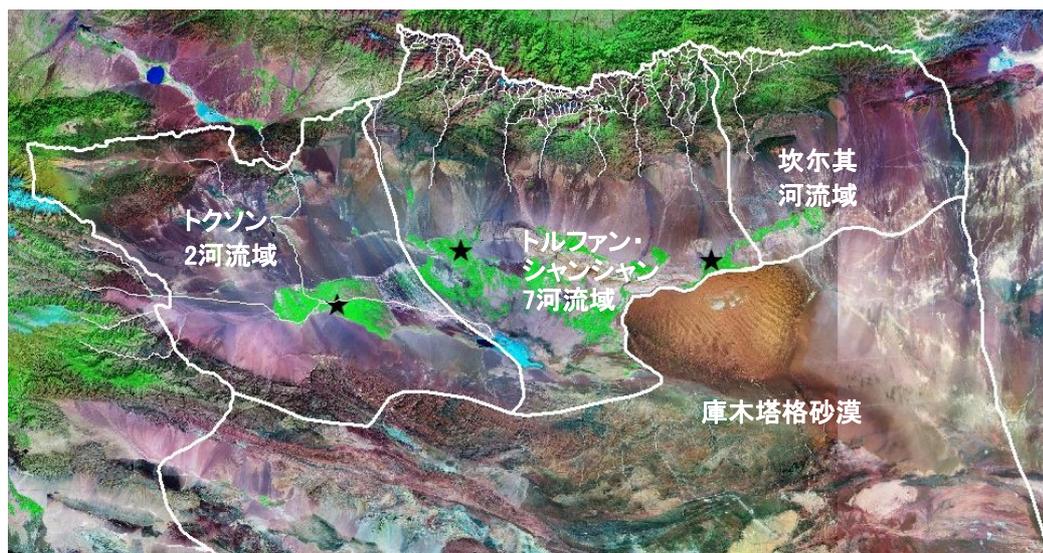


図 3.4.20 トルファン地区の水文区分

地表水資源量 = 調査地域における水文観測所で測定した河川流量  
 - 調査地域外からの流入水量  
 + 水文観測所のない河川や溪谷の推定水量  
 地表水流量 = 調査地域における水文観測所で測定した河川流量  
 + 水文観測所のない河川や溪谷の推定流量

表 3.4.10 流域区分別地表水資源量及び河川流量

流域区分	全体面積 (km <sup>2</sup> )	集水面積 (km <sup>2</sup> )	地表水資源量 (10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup> )	流入量 (10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup> )	流出量 (10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup> )	地表水流量 (10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup> )
トクソン 2 河流域	9,688	4,779	0.6663	3.2704	0.0786	3.858
ト・シャン 7 河流域 <sup>※</sup>	12,838	5,284	4.873	0.2366	--	5.110
小 計	22,526	10,063	5.5393	--	--	8.968
坎尔其河流域	6,035	2,720	0.5454	--	--	0.5454
庫木塔格沙漠	38,178	601	0.0529	--	--	0.0529
合 計	66,739	13,384	6.137	--	--	9.566

※ ト・シャン 7 河流域： トルファン・シャンシャン 7 河流域、7 河とは大河沿、塔尔朗、煤窑溝、黒溝、恰勒坎、二塘溝と柯柯亜河である。

#### d. 行政区画別地表水資源量

2003 年に実施された「中国第 2 次水資源計画・水資源評価」では、流域区分を基に算出した地表水資源量は当該流域を跨った行政区分に配分すると規定している。調査地域における縣市レベル行政区分毎の地表水資源量と地表水流量を次の式を用いて算出し、表 3.4.11にまとめた。

地表水資源量 = 当該行政区内で測定した河川流量  
 - 当該行政区外からの流入水量  
 + 当該行政区内水文観測所のない河川や溪谷の推定水量  
 地表水流量 = 当該行政区内の地表水資源量  
 + 当該行政区外からの流入水量

表 3.4.11 調査地域における縣市別地表水資源量及び流量

縣市	全体面積 (km <sup>2</sup> )	集水面積 (km <sup>2</sup> )	地表水資源量 (10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup> )	流入量 (10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup> )	流出量 (10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup> )	地表水流量 (10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup> )
トクソン	14,318	4,537	0.6276	3.2704	0.0786	3.8194
トルファン	15,480	4,274	2.922	0.2366		3.1586
シャンシャン	36,941	4,573	2.588			2.588
合計	66,739	13,384	6.137	3.507	0.0786	9.566

### 3.4.11 流出・流入量

調査地域外からの流入水量が大きい、トルファン盆地西側の阿拉溝河（支流河川の艾維爾河、祖魯木図河と烏斯通河を含む）、白楊河と大河沿河流域に集中している。

ウルムチ河の支流である板房溝上流はトクソン県内にあり、集水面積は僅か 67.5 平方キロで流出量は  $7.86 \times 10^6 \text{ m}^3$  と小さいが、最終的にウルムチ市に流出する。

調査地域における流入・流出水量をまとめて、表 3.4.12に示す。

表 3.4.12 調査地域における流入流出水量一覧

流域	流入河川	流入量集水面積 (km <sup>2</sup> )	流入量(10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup> )	流出元
阿拉溝河	阿拉溝	1,840	1.275	和静県
	艾維爾	587.6	0.4522	ウルムチ市
	祖魯木図	254.5	0.0486	和碩県
	烏斯通	554.1	0.1392	和碩県
白楊河	白楊河	1,773	1.355	ウルムチ市
大河沿河	大河沿	254	0.2366	ウルムチ市
合計		5,263	3.507	
流域	流出河川	流出量集水面積 (km <sup>2</sup> )	流出量(10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup> )	流出元
ウルムチ河	板房溝	67.5	0.0786	トクソン

### 3.4.12 区分別の天然流量と地表水資源量

地表水量の変化の歴史を把握することは、調査地域の水資源利用現況の分析や将来計画の策定に当たり重要である。従って、各流域区分別の地表水流量を次の式を用いて算出した。

$$W_{i \text{ 区分}} = W_{i \text{ 代表観測所}} \times W_{\text{区分}} / W_{\text{代表観測所}}$$

ここでは：

$W_{i \text{ 区分}}$  : 各流域区分計算年流量 (10<sup>8</sup>m<sup>3</sup>)

$W_{\text{区分}}$  : 各流域区分多年流量 (10<sup>8</sup>m<sup>3</sup>)

$W_{i \text{ 代表観測所}}$  : 代表観測所計算年流量 (10<sup>8</sup>m<sup>3</sup>)

$W_{\text{代表観測所}}$  : 代表観測所多年流量 (10<sup>8</sup>m<sup>3</sup>)

流域区分別の代表観測所の選定は表 3.4.13に示すとおりである。

表 3.4.13 流域区分別代表観測所の選定

計算流域区分	選定した代表水文観測所
トクソン2河	阿拉溝
ト・シャン7河	煤窑溝と柯柯亜2所の合成値
坎尔其河	柯柯亜
庫木塔格砂漠	阿拉溝

流域区分別の地表水流量計算と同じ方法で、行政区画別の地表水流量時系列をも作成した。各行政区画（縣市）に対応している代表水文観測所の選定は表 3.4.14に示す。

表 3.4.14 行政区画別代表観測所の選定

縣市	選定した代表水文観測所
トクソン県	阿拉溝
トルファン市	煤窑溝
シャンシャン県	煤窑溝と柯柯亜2所の合成値

流域区分別と行政区画別地表水流量計算結果は表 3.4.15と表 3.4.16に示す。

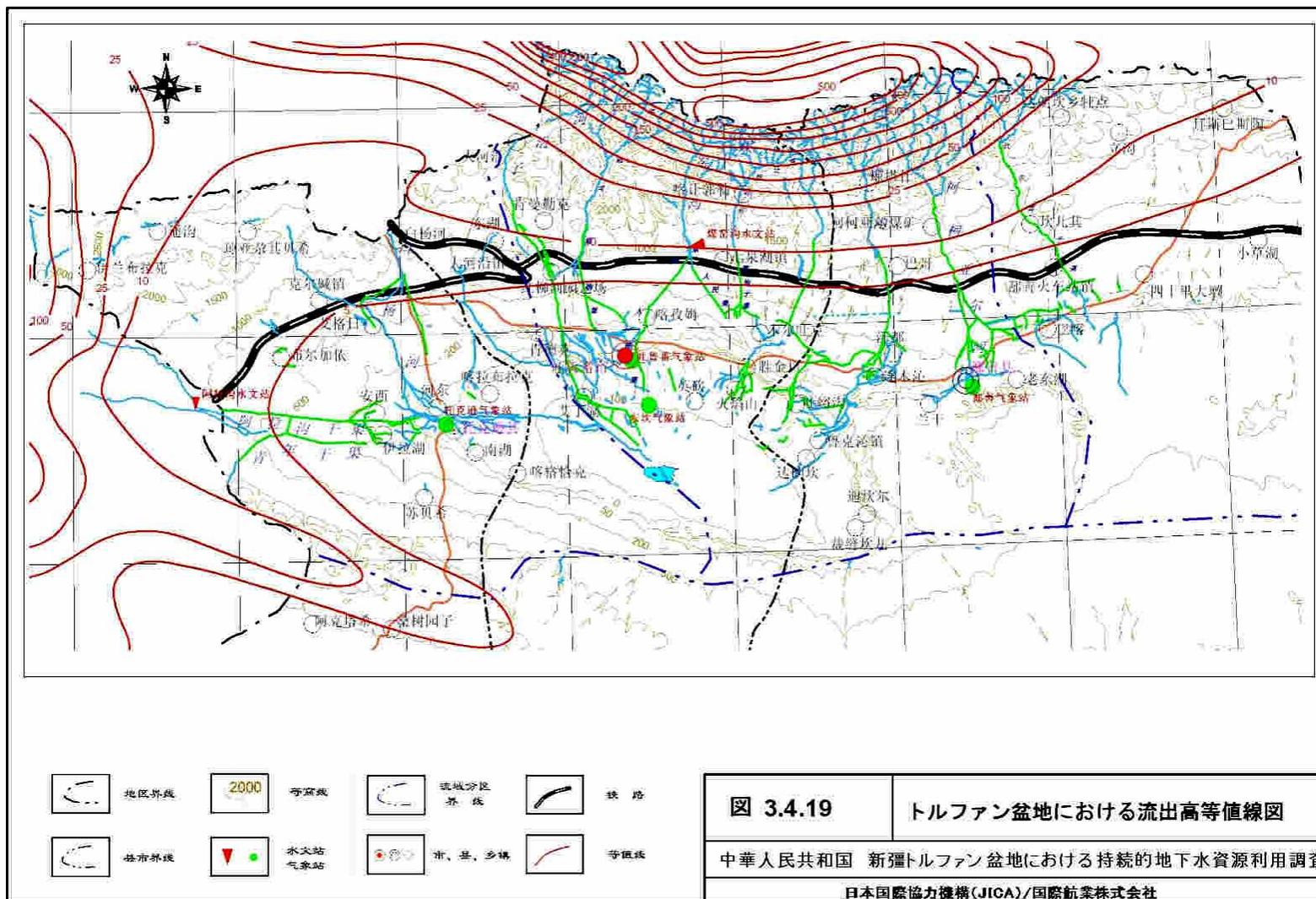
表 3.4.15 各流域区分での年度別地表水流量計算表(10<sup>8</sup>m<sup>3</sup>)

年	トクソン2河流※	トクソン2河流	ト・シャン7河	坎尔其河	庫木塔格砂漠
1956	0.5116	3.204	4.737	0.5454	0.0406
1957	0.4439	2.780	4.865	0.5401	0.0353
1958	0.7471	4.679	6.891	0.8613	0.0593
1959	0.7895	4.944	5.305	0.5569	0.0627
1960	0.5059	3.168	4.759	0.5590	0.0402
1961	0.4403	2.757	4.767	0.5107	0.0350
1962	0.4989	3.125	3.883	0.4338	0.0396
1963	0.5559	3.482	3.957	0.4395	0.0441
1964	0.5946	3.724	4.912	0.5905	0.0472
1965	0.7299	4.571	4.489	0.5422	0.0580
1966	0.7315	4.581	5.359	0.5947	0.0581
1967	0.5079	3.181	4.607	0.5569	0.0403
1968	0.5149	3.225	3.629	0.4248	0.0409
1969	0.6975	4.368	4.798	0.4981	0.0554
1970	0.6264	3.923	4.353	0.4790	0.0497
1971	0.7325	4.588	4.392	0.5254	0.0582
1972	0.7461	4.673	5.076	0.6346	0.0592
1973	0.5408	3.387	5.127	0.5842	0.0429
1974	0.6755	4.231	3.192	0.3467	0.0536
1975	0.8354	5.232	4.436	0.4725	0.0663
1976	0.5381	3.370	4.933	0.5254	0.0427
1977	0.5188	3.249	4.650	0.4517	0.0412
1978	0.5867	3.675	4.111	0.4802	0.0466
1979	0.5648	3.537	5.099	0.6619	0.0449
1980	0.5904	3.698	4.701	0.6202	0.0469
1981	0.6844	4.287	5.206	0.5713	0.0544
1982	0.6217	3.894	4.371	0.5273	0.0494
1983	0.5956	3.730	5.224	0.6396	0.0473
1984	0.4530	2.837	7.016	0.9375	0.0360
1985	0.3746	2.346	3.217	0.3867	0.0297
1986	0.3851	2.412	4.439	0.5371	0.0306
1987	0.5590	3.501	5.153	0.6006	0.0444
1988	0.6113	3.828	6.631	0.7373	0.0485
1989	0.8453	5.294	5.470	0.4936	0.0671
1990	0.6275	3.930	6.874	0.7344	0.0498
1991	0.7356	4.607	4.291	0.3539	0.0584
1992	0.6385	3.999	4.115	0.4171	0.0507
1993	0.6181	3.871	5.300	0.5825	0.0491
1994	0.8417	5.271	4.207	0.4018	0.0668
1995	0.6066	3.799	5.740	0.5923	0.0482
1996	1.0731	6.721	4.951	0.5351	0.0852
1997	0.7367	4.614	4.207	0.4127	0.0585
1998	1.1964	7.493	5.877	0.6094	0.0950
1999	1.2685	7.945	5.298	0.5653	0.1007
2000	1.2879	8.066	4.665	0.4712	0.1023
多年平均	0.6663	4.173	4.873	0.5454	0.0529

※：地表水資源量

表 3.4.16 調査地域における各行政区での年度別流量計算表(10<sup>8</sup>m<sup>3</sup>)

年	トクソン県 表流水資源量	トクソン県 河川流量	トルファン市 河川流量	シャンシャン県 河川流量	調査地域全体 表流水資源量	調査地域全体 河川流量
1956	0.4813	3.174	2.728	2.516	5.725	8.417
1957	0.4177	2.754	2.950	2.584	5.951	8.288
1958	0.7029	4.635	3.466	3.660	7.828	11.76
1959	0.7428	4.898	3.454	2.818	7.015	11.17
1960	0.4760	3.139	2.658	2.527	5.662	8.325
1961	0.4142	2.732	3.027	2.532	5.973	8.290
1962	0.4694	3.095	2.335	2.062	4.866	7.492
1963	0.5230	3.449	2.397	2.101	5.021	7.947
1964	0.5594	3.689	2.644	2.609	5.812	8.942
1965	0.6867	4.529	2.397	2.384	5.467	9.309
1966	0.6882	4.538	3.251	2.846	6.786	10.636
1967	0.4779	3.151	2.457	2.447	5.382	8.056
1968	0.4845	3.195	2.038	1.927	4.449	7.160
1969	0.6562	4.328	3.165	2.548	6.369	10.041
1970	0.5894	3.887	2.671	2.312	5.573	8.870
1971	0.6892	4.545	2.383	2.333	5.405	9.261
1972	0.7020	4.629	2.553	2.696	5.951	9.878
1973	0.5088	3.355	2.997	2.723	6.229	9.075
1974	0.6356	4.191	1.992	1.695	4.323	7.878
1975	0.7860	5.183	2.838	2.356	5.981	10.378
1976	0.5063	3.339	3.156	2.620	6.282	9.115
1977	0.4881	3.219	3.298	2.470	6.256	8.987
1978	0.5520	3.640	2.316	2.183	5.051	8.140
1979	0.5314	3.504	2.383	2.708	5.622	8.595
1980	0.5555	3.663	2.122	2.496	5.174	8.281
1981	0.6440	4.246	3.207	2.765	6.615	10.22
1982	0.5850	3.857	2.339	2.321	5.245	8.518
1983	0.5604	3.695	2.726	2.774	6.061	9.196
1984	0.4262	2.810	3.080	3.726	7.232	9.617
1985	0.3525	2.324	1.732	1.708	3.793	5.764
1986	0.3623	2.389	2.364	2.358	5.084	7.111
1987	0.5260	3.469	2.914	2.737	6.176	9.119
1988	0.5751	3.793	4.013	3.522	8.110	11.33
1989	0.7954	5.245	4.157	2.905	7.857	12.31
1990	0.5904	3.893	4.381	3.651	8.623	11.93
1991	0.6921	4.564	3.509	2.279	6.480	10.35
1992	0.6007	3.961	2.789	2.185	5.575	8.936
1993	0.5815	3.835	3.257	2.815	6.654	9.907
1994	0.7919	5.222	3.033	2.234	6.059	10.49
1995	0.5707	3.763	3.814	3.049	7.433	10.63
1996	1.0097	6.658	3.109	2.629	6.748	12.396
1997	0.6931	4.571	2.953	2.234	5.881	9.758
1998	1.1257	7.423	3.883	3.121	8.129	14.43
1999	1.1935	7.871	3.381	2.814	7.389	14.07
2000	1.2117	7.991	3.174	2.478	6.864	13.64
多年平均	0.6269	3.819	3.158	2.588	6.137	8.723



**図 3.4.19** トルファン盆地における流出高等値線図  
中華人民共和國 新疆トルファン盆地における持続的地下水資源利用調査  
日本国際協力機構(JICA)/国際航業株式会社

### 3.5 洪水影響範囲解析

トルファン盆地では水資源が不足しているが洪水の被害もしばしば起こる。洪水の被害を防ぐと同時に、洪水流量を地下水涵養量に転換させることができるなら、治水と利水を合わせた方策になるには違いがない。従って、本調査では洪水に関連する調査解析を実施した。

#### 3.5.1 洪水の形成原因分析

トルファン盆地では河川流量の形成は氷河の融雪水、山区の降雨及び地下水流出による。地下水流出は安定していて洪水を引き起こす原因にならない。

融雪水による流量は気温の変化に密接な関連がある。冬季では、気温が低く、融雪量が少なくなり、海拔標高の高い地域では積雪量が増える時期である。トルファン地区の春季は短く、寒い時期から気温が急上昇し、山地域の雪線が低いので融雪量が急増して、河川水量は急激に増加することがあり、確率的には小さいが被害を引き起こすこともある。しかし、この春季の洪水はトクソン県に限られていて、トルファン市とシャンシャン県では春季洪水の記録はない。

洪水の主要原因は夏季の集中降雨によるものである。資料によるとトルファン地区では61回の大雨があり、91.8%が山区の局部での降雨であり、地域全体に渡る大雨は3.3%しか占めない。1987年7月29日に五工区（海拔標高1,708 m）で観測された日降雨量は51.9 mmで、当該観測所当該年降水量164 mmの32%を占める。

#### 3.5.2 洪水の種類及び特性

洪水の形成原因に従って、トルファン盆地内の洪水は流域別に分類することができる。

##### a. トルファン市とシャンシャン県

トルファン市には5つの通年河川があるので、便宜上でトルファン5河流域と呼ばれている。それと同様にシャンシャン県3河流域という分類も多く使われている。このトルファン5河流域とシャンシャン3河流域の洪水発生の特徴は似ていて、局地豪雨型洪水と地域性洪水に分けることができる。

##### a.1 局地豪雨型洪水

典型的な例としては、1981年7月19日の洪水がある。当日20時～21時の約1時間内で、葡萄溝周辺の降水量は、当地多年平均年間降水量の約2倍の25.1 mmであった。それによって、付近の木頭溝で213 m<sup>3</sup>/sのピーク流量が記録され、大きな被害を引き起こした。

##### a.2 地域性洪水

1984年6月21日シャンシャン県内の広い範囲で大雨があり、数箇所の気象観測所では多年平均年間降雨量の約30%に相当する降雨量が記録された。その結果シャンシャン3河流域では洪水が発生し、柯柯亜河、二塘溝河と坎尔其河のピーク流量はそれぞれ174 m<sup>3</sup>/s、180 m<sup>3</sup>/sと153 m<sup>3</sup>/sであった。

1984年7月11日柯柯亜河流域で1950年以来最大の洪水が発生し、ピーク流量が268 m<sup>3</sup>/sであった。天山の北側でも同時期に記録された最大の洪水が発生した。

夏季の大雨洪水は河川流量の急激な上昇と早い回復が特徴であり、洪水継続時間は短い。突然発生し、破壊力が強く大きな損害をもたらしやすい。

## b. トクソン2河流域

トクソン2河流域での洪水は3種類に分けることができる。

### b.1 豪雨型洪水

継続性降水や大雨によって豪雨型洪水は夏季の6～8月の間に発生する。豪雨型洪水はトルファン・シャンシャンの同型洪水と同じく突発的であり、大きな被害をもたらしやすい。

1996年7月18日博格達峰を中心に日降水量は80～100 mmに達した。阿拉溝河水文観測所の記録では当日朝から河川流量が急上昇し始め、午後には第1回目のピークに達し、河川流量が164 m<sup>3</sup>/sであった。翌日第2回目のピークが現れ、河川流量が490 m<sup>3</sup>/sに達した。この洪水は珍しく3日間も継続した。阿拉溝河と同時期に魚尔溝河、祖魯木凶河や白楊河等相隣している河も洪水が発生した。

### b.2 融雪水による洪水

融雪水による洪水の発生条件としては前年度冬の降雪量に従う積雪面積・深さ、当年の気温上昇速度等がある。洪水は4月～5月に発生しやすい。豪雨洪水と比較して、融雪洪水は緩やかな水位上昇があり、継続時間がながく、洪水流出量は大きい。ピーク流量は大きくない。一つの洪水期では毎日のようにほぼ同様なピークが現れる。

1980年8月には大雨がなかったが、15日～20日間に気温の急上昇によって、河川水量が増加し、連続5日間の洪水が発生した。しかし、ピーク流量は37.3 m<sup>3</sup>/sであり、大雨洪水より小さかった。

### b.3 雨雪混合型洪水

1)型洪水と2)型洪水の条件が同時に揃う場合、雨雪混合型洪水が発生する。混合型洪水は豪雨型洪水と似て、6～8月に発生することが多い。混合型であるので、豪雨型洪水と融雪型洪水の特徴共に持っている。すなわち、継続時間が長く、ピーク流量が高い。従って、この混合型洪水の危険性が最も大きい。

## 3.5.3 洪水の歴史記録

既存水文観測所の流量記録から50 m<sup>3</sup>/s以上の流量記録を取り出して、表3.5.1にまとめ、洪水の発生状況を検討した。

表 3.5.1 トルファン盆地 50 m<sup>3</sup>/s 以上の河川流量記録表(2000 年まで)

年	阿拉溝		峽口(白楊河)		煤窑溝		柯柯亜	
	最大流量 (m <sup>3</sup> /s)	月/日						
1957	69.2	7/22	62	7/22	175	7/21		
1958	82	7/17	120	7/17	188	7/18		
1959	92.3	8/9						
1961					126	8/7		
1962	86.9	7/11			71.3	8/4		
1964	76.2	8/5						
1965	66.8	7/13						
1966	51.6	8/11			98.5	7/26		
1968	66.4	7/2						
1969	234	6/26						
1970	74.2	7/25			115	7/25		
1971	96.4	7/8						
1972	56	7/31						
1974	55.3	8/28						
1975	88.9	7/4						
1976	62.2	6/25			54.2	8/2		
1979			82.6	7/27				
1980							84.9	5/28
1981			89.9	7/11	161	7/3	103	7/6
1982							115	5/23
1983					54.9	7/26	103	6/30
1984							268	7/11
1986	59	6/29	53	6/29			194	6/29
1987	131	7/27	272	7/27	181	7/27	176	6/3
1988	168	6/24					153	6/24
1989	81.3	7/19			51.6	6/30	104	6/30
1990			120	7/24	92.4	7/23	76.9	7/23
1991	93.3	7/15			157	8/10	190	8/10
1992	78.2	7/4			60.2	7/5	135	7/5
1993	57.5	7/27			169	7/18	86	7/19
1994	222	7/15	173	7/15	83.5	7/14	98.3	6/10
1995	68.1	8/14			81.7	7/17	89.7	7/20
1996	490	7/20	<b>638</b>	7/20	151	7/20	187	7/26
1997	137	6/24	58.8	6/24	167	7/12	85	7/12
1998	321	8/12	60.8	8/12	168	8/13		
1999	148	7/17	111	7/17	50.3	7/9		
2000	230	7/18			110	7/3		

柯柯亜水文観測所は 1980 年に設立されたので、1979 年までの洪水記録はないが、1980 年から 1997 年の 18 年間では毎年 50 m<sup>3</sup>/s 以上の流量が記録され、21 年間の検討期間に対して 85 % 以上の確率となり、トルファン盆地においては洪水発生する危険性の最も大きな流域と言える。一方、表に示した 4 本河川の中、柯柯亜河の多年平均流量が第 3 番目の大きさであり、流量の一番大きい白楊河の約 2/3 であるが、洪水が発生する回数が白楊河より多い。

1980年～2000年の21年間の洪水記録を見ると、盆地内洪水が一斉に発生したのは4回で、1987年、1994年、1996年と1997年であり、検討期間の約1/5を占める。洪水は毎年のように盆地内のどこかで発生するが、洪水の多くは局地豪雨による洪水であり、地域性洪水は比較的少ない。

1980年～2000年の21年間において各河流域で上位3回の洪水流量を表3.5.2に示した。大きな洪水はトルファン盆地西部のトクソン県に集中していることが分かる。その代わりに東のシャンシャン県では洪水の発生頻度が多いが、洪水流量は西部と比較して小さいと言える。

表 3.5.2 1980年～2000年の21年間での上位3回洪水流量一覧

単位：m<sup>3</sup>/s

順位	アラ溝	白楊河	煤窑溝	柯柯壘
1	490	638	181	268
2	321	272	169	194
3	230	173	168	190

水文観測所での洪水記録以外に、流量がはっきりしていない河川での洪水発生状況をも検討した。

1996年6月26日煤窑溝で特大洪水が発生したが、洪水流量の記録がないので、1970年トルファン水文局は洪水の発生状況を調査した。その結果、洪水のピーク流量が494 m<sup>3</sup>/sと推定した。

1987年7月27日大河沿河流域を中心として30時間の連続降雨による洪水が発生した。同じ事後調査で推定した洪水時のピーク流量は煤窑溝河で720 m<sup>3</sup>/s、塔朗朗河で633 m<sup>3</sup>/sであった。

1981年7月19日、葡萄溝周辺では50分以内に、25.1 mmの豪雨があつて、約311 m<sup>3</sup>/sの洪水流量が生じ、大きな損害をもたらした。

トルファン盆地内には流量観測記録が残されていない大きな洪水も多数あるが、事後の洪水流量推定も行われていないので、この検討から省く。

### 3.5.4 洪水被害

トルファン盆地内に残された洪水記録及び今回の調査で実施した訪問調査により1981年以降の大洪水による被害状況についてまとめると以下のとおりである。

1981年トルファン市葡萄溝での洪水により、葡萄溝河に建設された小型水力発電所が壊され、鉄道も壊された。

1986年トクソン県内の洪水では小麦・綿畑約7haを全壊した。

1988年トクソン県内の洪水では民家53棟、羊舎11ヶ所と水路5キロが壊れた。

1990年トクソン県内の洪水で堤防14.5キロ、道路25キロ、橋1ヶ所が壊れ、97棟の民家が浸水した。

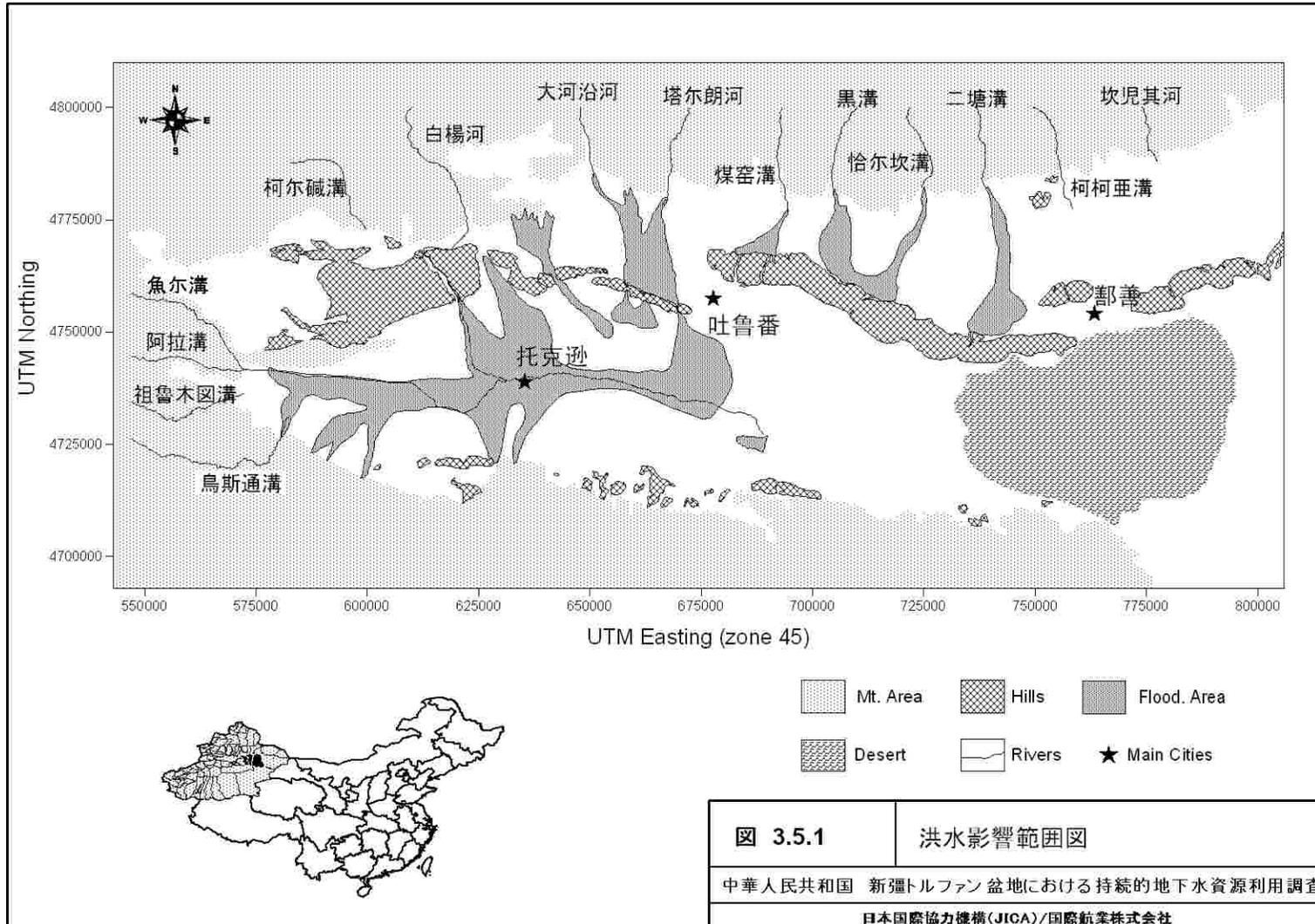
1996年トクソン県で発生した特大洪水で、水文観測所そのものも壊れた。

### 3.5.5 洪水影響域分析

洪水災害を防ぎ、地域社会の安定と経済発展を計ることは言うまでもないが、防災と同時に洪水流量を地下水涵養のために利用できれば、利水の観点からも有益である。トクソン県では簡易の土堤を作ることによって、冬季の余剰河川水をゴビに散水し、地下水涵養を促進している。その結果、下流のカナートの一部では復水或いは流量が増加したことが報告されている。それと同様に、土地利用、地形等の条件が適切であれば、洪水流量による地下水涵養を検討する価値がある。

洪水の防御と利用の両目的を達成するには洪水の影響域を把握する必要がある。従来の洪水調査はオアシス内の洪水被害を中心に実施されることが多く、洪水の影響域を決めるための調査はほとんど行われていない。そこで、本調査では洪水影響の範囲図次の原則に従い作成した（図 3.5.1）。

- 1) 調査地域における主要河川流域での洪水を対象とする。
- 2) 訪問調査や既存洪水被害で確定できる被害域を中心に影響範囲図を作成する。
- 3) オアシス以外、今まで調査を実施されていない地域の洪水影響範囲は古い河道の分布、地形の変化、特に地形等高線の伸び方を総合的に分析して決める。
- 4) ダム等の建設で洪水の影響から完全に保護された地域に対しては、過去に洪水被害を受けた記録があるが、今回の洪水影響範囲から除外する。



### 3.6 盆地内蒸発散消耗量解析

調査地域においては、水資源の収入は降水にと外部からの流入により構成される。それに対する支出は、僅かの量が流域外に流出する以外、全部蒸発散によるものである。従って、盆地内の蒸発散量の把握は、水収支計算上でも、また将来の水資源開発利用計画を策定する上でも極めて重要である。

本解析では水面蒸発と陸面蒸発を分けて検討した。

#### 3.6.1 水面蒸発

水面蒸発能は対象地域の蒸発能力を示す指標であり、気象観測所や水文観測所で観測され、天候の基本情報になるとともに水文解析の基本資料となる。水面蒸発は主に気温、湿度、風速、日射等複雑な気象因子に支配される結果、緯度、地形等の条件により変化する。

##### a. 基本資料と蒸発量の換算

本解析では調査地域内外 12ヶ所の気象・水文観測所の蒸発関連資料を収集した。気象観測所 7箇所は、トルファン、五工区、東坎、シャンシャン、トクソン、庫米什とカイ先達板であり、水文観測所 5箇所は、柯柯亜、坎尔其、托万買来、煤窑溝と阿拉溝である。気象観測所の大部分は平原区の都市部に設置されているが、水文観測所のほとんどは河川の出口付近に設置されている。

観測時系列のもっとも長いのはトルファン気象観測所であり、1952年～2003年の蒸発データがある。観測時系列の最も短い托万買来水文観測所では3年間のデータしかない。しかし、トルファン盆地では利用可能なデータ量が限られるので、僅か3年間の観測データでも放棄せず、参考データとして利用した。実測蒸発量データの合計は268所年である。

多くの観測所では直径20cmの蒸発皿（以後、φ20と記す）を利用しているが、一部の観測所ではφ20と同時にE601型蒸発器も設置している。「細則」によると、蒸発量の表示及び利用はE601型蒸発器での蒸発量に換算することになっている。従って、φ20とE601両方を設置した観測所の資料を利用して、トルファン地区の換算係数を求め、全て観測データをE601型蒸発器での蒸発量に換算した。E601型蒸発皿の構造は図3.6.1に示し、蒸発量の観測値及び換算値は表3.6.1に示している。

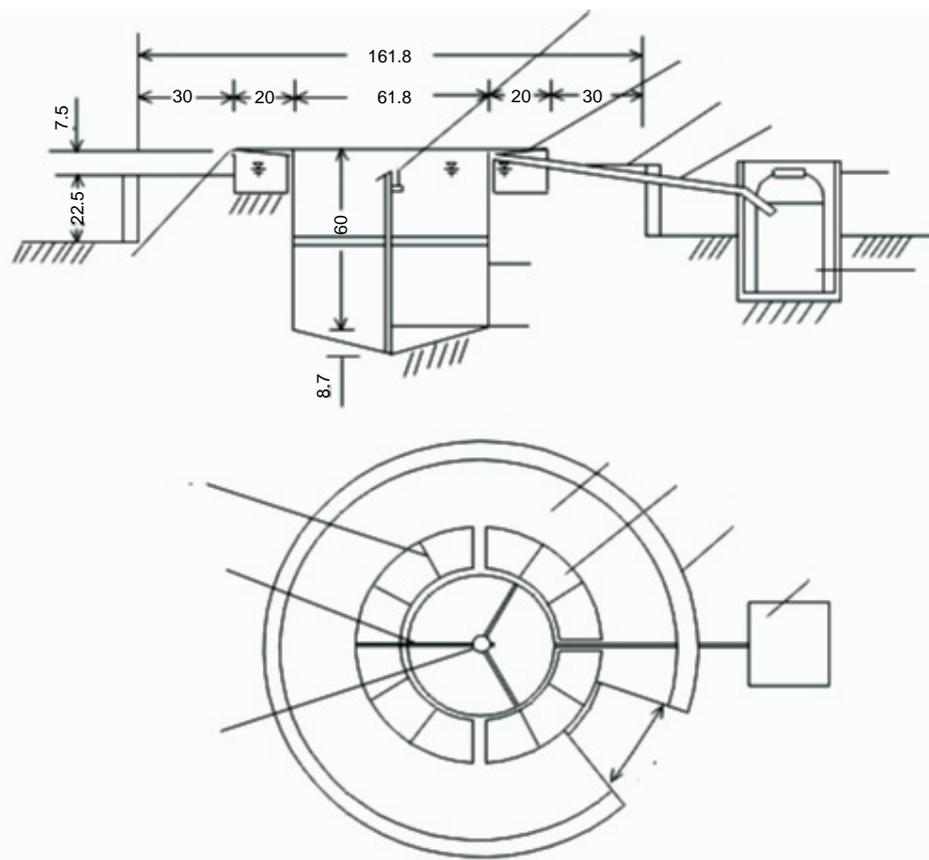


図 3.6.1 E601 型蒸発器構造図

表 3.6.1 蒸発量資料収集状況及び蒸発量換算結果

	観測所	東経	北緯	観測年数	観測装置	φ20 蒸発量	E601型への換算量
1	トルファン	89°12'23"	42°56'03"	49	φ20	2,716.3	1,575.5
2	煤窑溝	89°24.35'	43°10.86'	21	φ20	2,102.3	1,219.4
3	五工区	89°15'18"	43°17'06"	9	φ20	2,074.8	1,203.4
4	東坎	89°15'21"	42°50'08"	29	φ20	3,012.3	1,747.1
5	シャンシャン	90°14'05"	42°51'13"	46	φ20	2,632.1	1,526.6
6	柯柯壘	90°08.48'	43°12.49'	18	φ20	2,683.4	1,556.4
7	坎尔其	90°23.89'	43°13.07'	3	φ20	2,192.2	1,271.5
8	托万賈里	89°56'06"	43°18'04"	3	φ20	2,074.0	1,202.9
9	トクソン	88°38'11"	42°48'07"	43	φ20	3,356.2	1,946.6
10	庫米什	88°13'24"	42°14'19"	21	φ20	3,041.7	1,764.2
11	奎先達板	86°54.09'	42°54'13"	4	φ20	1,962	1,138.0
12	阿拉溝	87°52.11'	42°48.09'	22	φ20	2,223.4	1,289.6

※：水文観測所

## b. 水面蒸発量の地域分布

調査地域では主に地形の影響によって温度、湿度等の気象因子が不均一に分布している。一般に低温高湿条件下では水面蒸発量が小さくなり、高温乾燥条件下では蒸発量が大きくなる。従って、調査地域における蒸発量の分布は降雨量分布の正反対で山区では小さく平原区では大きい。

収集した蒸発散資料に基づき、図 3.6.2に示すように水面蒸発能等値線図を作成した。トルファン盆地では水面蒸発散能は 800 mm～2,000 mm まで、大きく変化する。トルファン盆地の北部、博格達峰南側の山区では蒸発能は 800 mm～1,400 mm の間にある。蘭州—新疆鉄道から南へ艾丁湖周辺では 1,400 mm～1,800 mm、盆地南部の覺羅塔克山周辺では 1,800 mm を超える。

## c. 水面蒸発量の年内及び年間変化

### c.1 蒸発能の年内変化

トルファン盆地の気候の特徴は乾燥、高温、多風で、温暖帯乾燥砂漠気候である。盆地内各地の蒸発能は不均一に分布しているが、蒸発能の年内変化の特徴は盆地内大気候条件により定まり、盆地内で共通性が見られる。

表 3.6.3に示したように、12ヶ所の気象・水文観測所の資料に基づき検討した結果、最大4ヶ月の水面蒸発能は5月～8月に現れ、年間水面蒸発能の59.2～64.0%を占める。季節別の蒸発能を見れば、夏季(6～8月)での高温に支配され、蒸発能が最も大きくなり、年間蒸発能の43～49%を占める。春(3月～5月)と秋(9月～11月)とを比較すると、気温は大きく違わないが春季の風が秋より多く強いいため、春季の蒸発能は秋より大きい。

月別にみると年内の最大月蒸発能は6月か7月に現れ、年蒸発量の14～18%を占める。それに対して、最小月蒸発能は1月か2月に現れ、年蒸発能の0.7～1.7%しか占めていない。

### c.2 蒸発能の年間変化

トルファン盆地では蒸発能に影響する気温、湿度、風速、日射時間等の気象因子の年間変動量が比較的小さいので、蒸発能の年間変動は小さい。表 3.6.2に示しているように、観測期間の長い5観測所の資料を検討した結果、蒸発能の年間変動の指標となる最大蒸発能と最小蒸発能との比は1.37～2.03の間にあり、変動係数Cvは0.09～0.18の間にある。従って、トルファン盆地では蒸発能は比較的安定していると考えられる。

表 3.6.2 蒸発能の年間変化

蒸発能単位：mm

観測所	多年平均蒸発能	変動係数Cv	最大蒸発能		最小蒸発能		最大／最小
			蒸発能	発生年	蒸発能	発生年	
トクソン	3,356.2	0.14	4,107.2	1961	2,279.0	1998	1.80
阿拉溝*	2,223.3	0.18	3,162.7	1999	1,561.2	1988	2.03
トルファン	2,716.3	0.12	3,608.2	1956	2,284.0	1952	1.58
煤窑溝*	2,099.8	0.10	2,446.5	1980	1,781.3	1994	1.37
シャンシャン	2,632.1	0.09	3,092.2	1959	2,109.0	1984	1.47

※：水文観測所

表 3.6.3 調査地域における蒸発能の年内変化

観測所	標高	多年平均蒸発能 (mm)												季節別蒸発能				最大四 力月蒸 発能	年間 蒸発能
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	春季	夏季	秋季	冬季		
柯柯亜	1,140	12.9	26.3	81.7	157.4	236.3	259.7	258.3	237.7	158.9	84.4	31.7	11.1	475.4	755.7	275.0	50.3	992.0	1,556
托万買里	1,500	16.5	27.6	55.7	143.7	195.0	197.9	168.8	150.5	120.0	78.5	32.4	16.5	394.4	517.1	230.8	60.6	712.1	1,202
坎尔其	1,300	14.0	24.7	48.8	120.1	187.6	207.4	206.7	196.9	137.8	77.3	34.3	16.0	356.5	610.9	249.4	54.7	798.5	1,271
シャンシャン	378	13.6	30.6	88.8	161.1	226.1	249.4	255.3	218.5	148.1	85.5	35.3	14.3	476.0	723.2	268.9	58.5	949.3	1,526
トルファン	35	11.3	29.8	94.8	171.7	238.6	271.1	274.2	225.2	143.4	74.9	29.3	11.0	505.1	770.5	247.6	52.2	1009.1	1,575
煤窑溝	1,400	12.0	25.2	63.1	125.3	186.3	202.6	199.5	176.3	119.8	67.4	29.4	12.3	374.8	578.5	216.7	49.5	764.8	1,219
東坎	-49	13.1	34.2	104.0	192.6	270.7	296.2	291.5	236.3	166.0	92.5	36.7	13.5	567.3	824.0	295.2	60.7	1094.8	1,747
五工区	1,708	20.5	24.8	72.1	114.6	171.3	169.8	185.0	188.5	124.0	77.4	35.2	20.2	358.0	543.2	236.6	65.6	714.6	1,203
阿拉溝	882	10.6	25.6	70.3	134.8	194.4	206.2	210.3	187.7	132.6	76.0	29.7	11.4	399.4	604.2	238.4	47.6	798.5	1,289
トクソン	1	13.7	39.5	125.3	223.2	298.2	319.5	324.8	261.9	178.8	104.1	44.0	13.6	646.6	906.3	326.9	66.7	1204.4	1,946
庫米什	922	14.2	31.1	91.3	179.9	260.1	276.4	286.3	266.5	194.4	107.1	41.6	15.3	531.3	829.2	343.1	60.6	1089.3	1,764

### 3.6.2 陸面蒸発

蒸発能とは蒸発量に釣り合う十分な水がある場合の最大蒸発可能量であり、河川や湖沼の水面からの蒸発量が考えられる。しかし、陸地は土壌や岩石に覆われ、土壌からの蒸発量は一般的には水面より小さい。特に乾燥地域で水分補給が少ない場合、実際の土壌からの蒸発量と蒸発能との差は数倍ないし数10倍も大きくなる。

陸面での蒸発量は気候条件以外に、陸面の構成岩質、土質あるいは土壌粒径、構造等複雑な因子に影響され、理論式で求めるより、実験の方法で求めることが多い。トルファン盆地にはかつて地下水収支試験場が設置されたことがあり、1989年10月～1992年5月の実験値が保存されている。この資料を基に、水収支の原理を利用して、トルファン盆地での陸面蒸発量を検討した。

蒸発能の地域分布や地表水の地域分布等の因子を考慮して、調査地域を次のように3つのタイプに分け、それぞれの陸面蒸発量を検討した。

- 1) 山地域地表水資源形成区（海拔標高が1,000 m以上の地域）
- 2) 平原地域水供給のある地区（海拔標高1,000 m以下、庫木塔格砂漠以外）
- 3) 平原地域水供給の無い地区（庫木塔格砂漠）

#### a. 山地域水資源形成区

調査地域の海拔標高の高い山区では、陸面蒸発を測定した観測所が無いので、水収支解析の方法で陸面蒸発を求めた。水収支式は次の通りである：

$$\bar{E} = \bar{P} - \bar{R}$$

ここでは：

$\bar{E}$  が陸面蒸発量

$\bar{P}$  が降水量

$\bar{R}$  が流出量

本来は水収支式の右辺には降水の地下浸透量を加えるべきであるが、それに関連する資料が皆無であり、従来の調査での推定値や計算値及び水文地質分析の結果からは降水の地下浸透量が少ないことが考えられるので、上式から省いた。従って、上式で算出した結果は実際の陸面蒸発量より少しだけではあるが、大きい可能性がある。

気象資料解析で作成した降水量等値線図と河川流量解析で作成した流出高等値線図を合わせて、2種の等値線の交差している点での降雨量と流出高の値を上式に代入しその点での陸面蒸発量を求めた。こうして算出した流域区分別と行政区画別の山地域水資源形成区での陸面蒸発量は表 3.6.4と表 3.6.5に示している。

表 3.6.4 山地域水資源形成区での陸面蒸発量

流域区分	流域区分面積 (km <sup>2</sup> )	1,000m以上面積 (km <sup>2</sup> )	陸面蒸発量 (mm)
トクソン2河流域	9,688	3,449	86.4
ト・シャン7河流域	12,838	4,414	259.6
坎尔其河流域	8,035	2,485	173.9
合計	30,561	10,348	181.3

※：調査地域における水資源形成区で陸面蒸発量平均値。

表 3.6.5 行政区画別山地水資源形成区での陸面蒸発量

縣市	縣市面積 (km <sup>2</sup> )	1,000m以上面積 (km <sup>2</sup> )	陸面蒸発量 (mm)
トクソン	14,318	2,902	93.5
トルファン	15,480	3,360	214.3
シャンシャン	36,941	4,086	216.4
合計	66,739	10,348	181.3

※：調査地域における水資源形成区での陸面蒸発量平均値。

## b. 平原水資源消耗区

平原地域はトルファン盆地での水資源消耗区である。しかし、平原地域の中では河川水、泉水等あらゆる形での水供給のある地域と地表水供給の殆ど無い地域にさらに区分することができる。

トルファン盆地南部の覚羅塔克山、庫魯克塔格山等の低山丘陵地域と庫木塔格砂漠地域では、降水量が少なく、地表流が殆ど無く、合わせて砂漠地域に分類できる。同じく、水収支式で計算すれば、収支式右辺の流出量項目を省くこととなり、 $P=R$ 、すなわち、陸面蒸発量は降水量と等しくなる。

トルファン盆地内河川水の供給を受けている地域としては主要河川流域があり、そのほか火焰山に沿う湧水も一部平原区の水供給源になっている。さらに灌漑施設や導水施設等によって、自然状態では水供給の殆ど無い地域に水が供給され、農地を含むオアシスとなっている。オアシスでは供給された全ての水が蒸発によって消費されるが、陸面蒸発量は均一ではない、植物の分布、地下水位の深さ等によって変動する。従って、この水供給のある区分での陸面蒸発量を検討するには、植物の分布や地下水を因子としてそれぞれ検討する必要がある。

### b.1 植物の無い地域

植物の無い地域では、陸面蒸発量は地下水が毛細管作用で地表面に上昇してから蒸発するので、同じ土質条件下では、地下水位が深ければ毛細管の上昇力が弱くなり、地表面に供給できる水量が少なく、蒸発量も少なくなる。「新疆トルファン水収支試験場地下水蒸発・浸透試験報告書」によると、トルファン盆地では一般に地下水位が 5.5 m より深ければ、陸面からの蒸発量は殆どなくなる。すなわち 5.5 m は陸面蒸発が発生する極限深度と考えられる。地下水位がその深度より浅い場合の陸面蒸発量は蒸発能と蒸発係数の積で計算できる。表 3.6.6は異なる地下水位深さでの蒸発係数を示す。

表 3.6.6 陸面蒸発係数表

地下水位深(m)	0.5	1	2	4	5.5
陸面蒸発係数	0.164	0.111	0.042	0.023	0.012

### b.2 植物（農作物）のある地域

地下水位が 5.5 m より深い場合、陸面蒸発量は次式で求められる。

$$E_{陸} = P + R - D$$

ここでは：

$E_{陸}$  が陸面蒸発量

$P$  が平均降水量

$R$  が灌漑水量

$D$  が灌漑水の降下浸透量

但し、灌漑水の降下浸透量は経験的に灌漑用水量と降下浸透係数との積で求められる。新疆トルファン水収支試験場での実験結果によれば、トルファン盆地での灌漑用水の降下浸透係数は0.2449としている。

地下水位が5.5 mより浅い場合、陸面蒸発量を求めるためには次の水収支式を利用できる。

$$E_{陸} = P + R + - D$$

$E_{陸}$  が陸面蒸発量

$P$  が平均降水量

$R$  が灌漑水量

$E_{地下水}$  が地下水面からの蒸発量

$D$  が灌漑水の降下浸透量

植物のある地域での陸面蒸発量の推定方法は、植物があり、しかも灌漑水のあることを条件としている。11月から翌年の3月まで、植物もかんがい用水も無い時期では植物の無い地域と同じ方法で陸面蒸発量を算出するべきである。

