

## 4.4 試掘調査結果

試掘調査は、トルファン盆地の地下地質状況を直接確認することにより地下に分布する第四系の基本地質層序を確立して帯水層区分を行うとともに、試掘孔を地下水観測井として仕上げて地下水の水量や水質を把握することを目的として実施した。

### 4.4.1 試掘場所と数量

試掘場所は、図 4.7に示すように、北盆地で 1 箇所、南盆地で 4 箇所の合計 5 箇所とした。試掘箇所は、既存井戸資料の位置や精度等を把握した上で、盆地内の南北方向と東西方向の地質断面図を作成することを目的に選定した。このうち、北盆地では中央部の 1 箇所において、予定深度 400 m の試掘孔を 1 孔掘削した。南盆地では、地質状況が複雑で複数の帯水層ユニットに区分されると推定されたので、4 箇所それぞれにおいて深層帯水層を対象とした試掘孔と浅層帯水層を対象とした試掘孔を 1 本ずつ掘削した。本調査で実施した試掘調査の数量を、表 4.2にまとめて示す。

表 4.2 試掘箇所と試掘孔別掘削深度

盆地名	盆地内地域	掘削箇所記号と座標 (UTM WGS84, Zone 45)	試掘井番号	掘削深度 (m)
北盆地	中部	TW-NC 667998E 47692273N	TW-NC-1	400
		TW-SC 674340E 4757688N	TW-SC-1	409.3
南盆地	西部	TW-SW 623390E 4739461N	TW-SW-1	300
			TW-SW-2	66
	東部	TW-SE 719966E 4733255N	TW-SE-1	245.9
			TW-SE-2	70
	南部	TW-SS 678217E 4740216N	TW-SS-1	253.36
			TW-SS-2	50
合計		5箇所	9孔	1924.56 m

### 4.4.2 試掘柱状図

試掘作業に当たり、地質サンプルは、コアサンプルとスライムサンプルの 2 種類とした。コアサンプルは、原則として深度 10 m ごとに 1 回、1 m 区間のコアを採取した。地層が砂礫層でコアサンプルの採取が困難である場合は、スライムサンプルを採取した。スライムサンプルは、深度 1 m ごとに採取した。地質サンプルの観察により試掘柱状図を作成した (図 4.8)。

### 4.4.3 孔内物理検層

孔内物理検層は、試掘孔内の地下地質の物理特性を把握して、地層の層相評価を行うための基礎資料を得るために実施した。孔内物理検層は、1 箇所あたり 2 孔の試掘を行う南盆地の試掘箇所では、深度の深い試掘孔 (第 1 孔) で実施した。また、北盆地の試掘箇所 (TW-NC) では、TW-NC-1 孔において実施した。

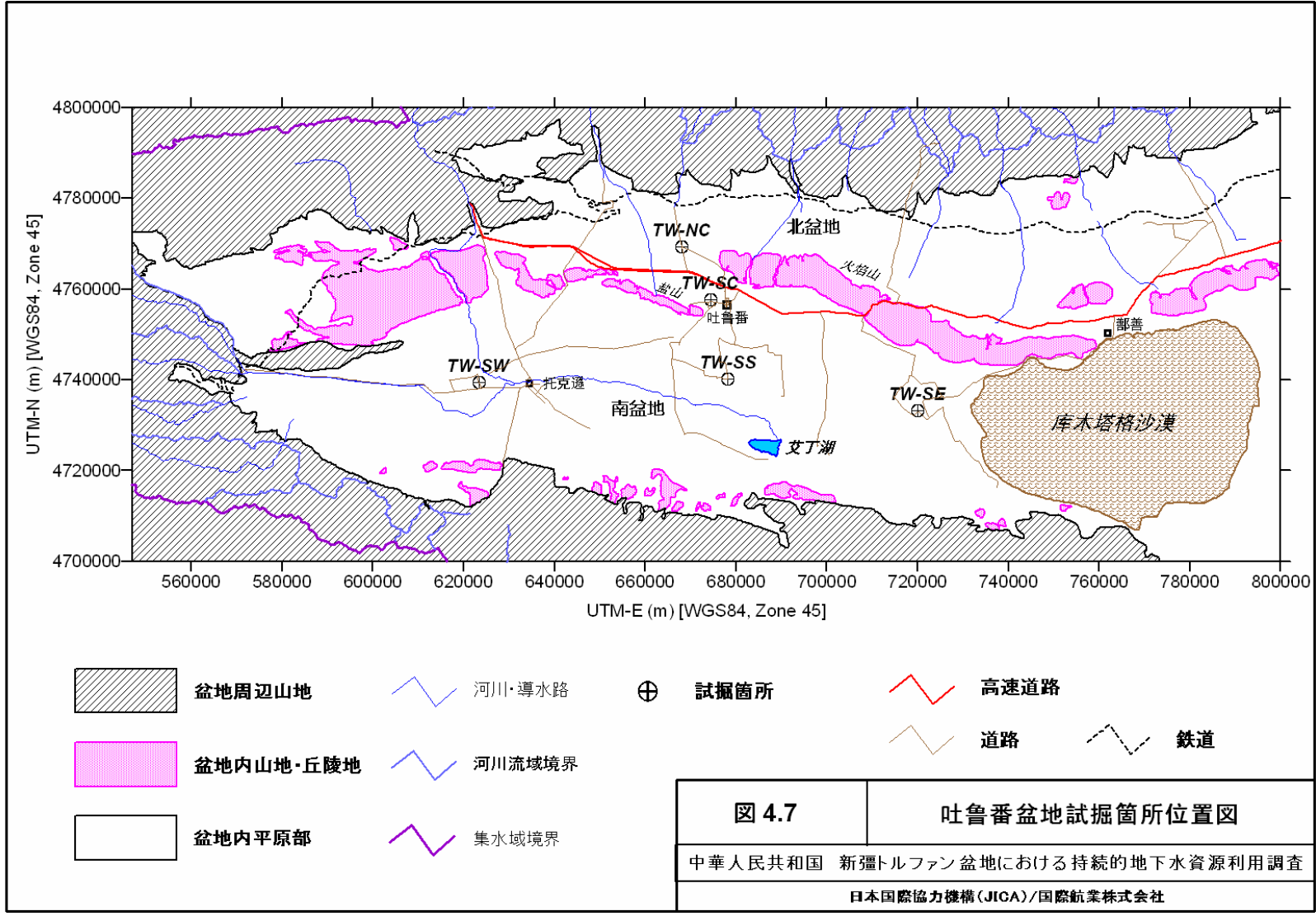
本調査で実施した孔内物理検層は、電位比抵抗 (ノルマル比抵抗) 検層、勾配比抵抗 (ラテラル比抵抗) 検層、自然電位検層、および自然ガンマー検層の 4 種類である。電位比抵抗 (ノルマル比抵抗) 検層および勾配比抵抗 (ラテラル比抵抗) 検層は、地層の比抵抗を連続的に測定するもので、得られた比抵抗値から、地層の層相や地下水塩水化の有無などを把握することができる。自然電位検層は、自然電位の変化を連続的に記録

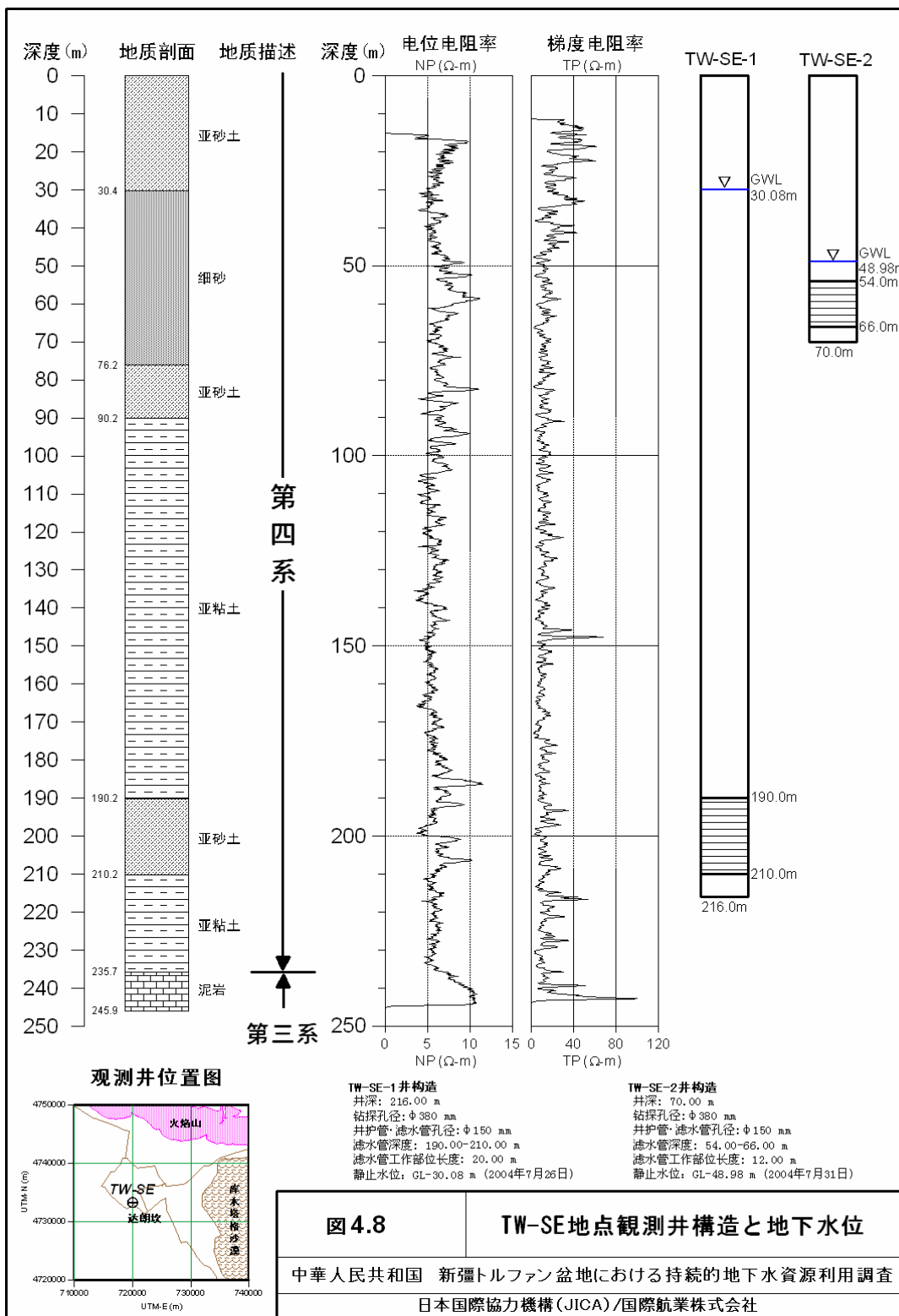
することにより、地層の層相を推定することができる。自然ガンマー検層は、地層中に含まれる天然放射性元素から放射される自然ガンマー線量を測定するもので、地層の層相推定や地層対比に利用される。

#### 4.4.4 井戸構造と地下水位

各試掘箇所での地下地質状況および孔内物理検層結果を踏まえて、地下水観測井として仕上げるための井戸構造を決定した。1箇所あたり2孔の試掘を実施した南盆地の試掘箇所では、深度の深い試掘孔（第1孔）の地質観察と孔内物理検層結果を踏まえて、第1孔近傍で掘削する浅い試掘孔（第2孔）の井戸深度と井戸構造を決定した。

図4.8にはTW-SE地点（ダランカン郷）で掘削された試掘柱状図、物理検層結果及び井戸構造と地下水位を一例として示す。同地点では深度236.7mで第三系泥岩に着岩した。しかしその他の試掘井ではいずれも第三系には達していない。





## 4.5 揚水試験結果

本調査で掘削した試掘孔を観測井として仕上げた後、帯水層の能力を把握して地下水シミュレーションに必要な帯水層定数を得るために、揚水試験を実施した。また、揚水試験結果に基づき観測井の井戸効率も評価した。

合計 9 本の新規観測井において、段階揚水試験、連続揚水試験、回復試験の 3 種類の試験を計画したが、北部盆地の TW-NC-1 観測井では地下水位が極端に深いため揚水試験が実施できず、その代わりに注水試験・回復試験を実施した。

### 4.5.1 段階揚水試験結果

段階揚水試験を実施した 7 本の平均井戸効率の平均値は 85.46 % であり、最高値は TW-SS-1 観測井の 97.12 %、最低値は TW-SS-2 観測井の 67.60 % である。平均井戸効率が 90 % を超える観測井は、TW-SC-1、TW-SC-2、TW-SS-1、および TW-SW-2 の 4 本であり、これらの井戸は井戸効率が高いと評価できる。TW-SE-1、TW-SE-2 の 2 本は、一般的な平均値を示し、TW-SS-2 はやや低い値をしめした。

### 4.5.2 連続揚水試験・回復試験解析結果

段階揚水試験に引き続き、連続揚水試験と回復試験を行った。一例として、図 4.9 に TW-SS-1 の解析結果を示す。なお、北部盆地の TW-NC-1 観測井では、静水位が地表面から 290 m 付近と非常に深くに分布するため、連続試験と回復試験を実施することができず、代わりに注水試験と回復試験を実施した。各試験結果を解析し、比湧出量、透水量係数、貯留係数などの帯水層係数を求めた。

### 4.5.3 新規観測井の帯水層係数

新規観測井で実施した揚水試験により得られた帯水層係数をまとめて表 4.3 に示す。透水量係数の最大値は、トルファン市街地西部の浅層帯水層を対象とした TW-SC-2 観測井で得られた  $427.0 \text{ m}^2/\text{day}$  である。一方、9 本の観測井で最も小さい透水量係数  $7.082 \text{ m}^2/\text{day}$  が得られたのは南盆地南部の深層帯水層に掘削した TW-SS-1 観測井である。南盆地では、合計 4 地点でそれぞれ 2 本ずつ観測井を設置したが、このうち深層帯水層の透水量係数が浅層帯水層よりも大きいのは TW-SE 地点だけであり、残りの地点では浅層帯水層の透水量係数が大きい。

透水係数は  $0.295 \sim 30.50 \text{ m/day}$  の範囲にあり、透水量係数と同様に南盆地では TW-SE 地点を除いて浅層帯水層の方が大きな値を示す。なお、北盆地では TW-NC-1 観測井だけで帯水層係数が得られたが、この観測井は深度  $360 \sim 384 \text{ m}$  と北部盆地の中でも比較的深い部分を対象としているため、既往調査では知られていなかった北部盆地中央部深部の帯水層係数が本調査で初めて得られたことになる。得られた透水量係数および透水係数は、南盆地の深層帯水層と比較して決して大きくなく、むしろ低めの値となっている。なお、北盆地の中央部から北部では地下水位が非常に深く分布しているため、地下水面よりも上位の不飽和帯での透水係数は揚水試験で求めることはできない。

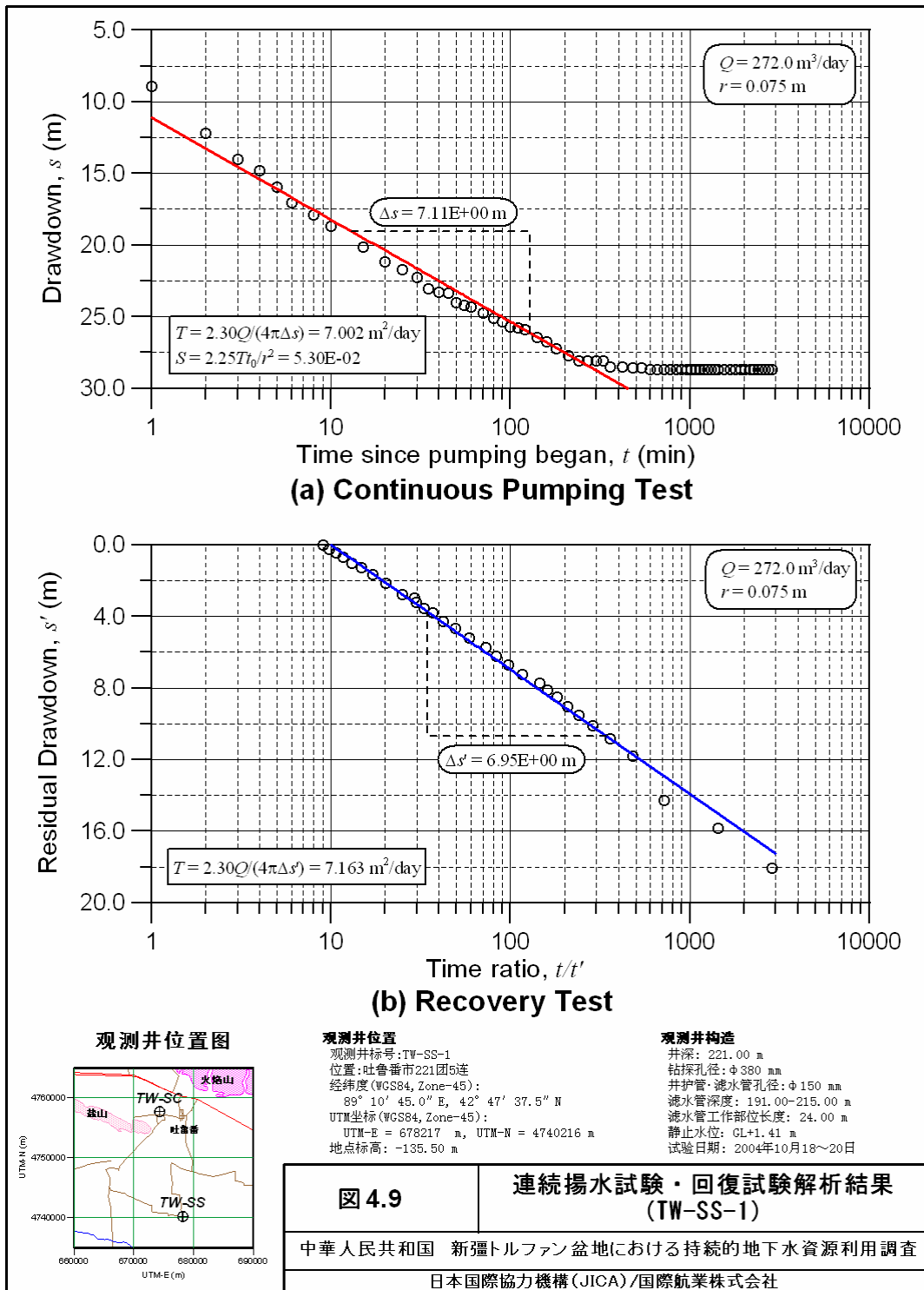


表 4.3 JICA 地下水観測井連続揚水試験・回復試験結果総括表

試掘地点名	観測井番号	掘削深度(m)	井戸深度(m)	スクリーン深度(m)	スクリーン総延長(m)	試験日(Y/M/D)	静水位(m)	連続揚水試験					回復試験	総合評価			備考
								揚水量(m <sup>3</sup> /day) Q	最終水位 降下量(m) s	比湧出量(m <sup>3</sup> /day) Sc	透水量係数(m <sup>2</sup> /day)	貯留係数S		透水量係数(m <sup>2</sup> /day) T	透水量係数採用値 (m <sup>2</sup> /day) T	スクリーン部 透水量係数 (m <sup>2</sup> /day) K	
TW-SE	TW-SE-1	245.9	216.0	190.0-210.0	20.0	2004/7/28	-30.08	194.0	10.50	18.48	48.83	8.84E-12	126.4	48.83	2.492	2.70	
	TW-SE-2	70.0	70.0	54.0-66.0	12.0	2004/7/31	-48.98	68.60	<10.06	8.99	-	-	11.81	11.81	0.964	1.31	水位異常低下のため連続試験解析不能
TW-SC	TW-SC-1	409.3	391.0	345.0-354.0 376.0-385.0	18.0	2004/9/10	-10.30	272.0	8.71	31.23	39.14	2.06E-05	43.95	41.48	2.304	1.33	
	TW-SC-2	130.0	130.0	110.0-124.0	14.0	2004/9/16	-20.40	256.6	1.01	254.1	341.90	8.63E-03	533.3	427.0	30.50	1.68	
TW-SS	TW-SS-1	253.4	221.0	191.0-215.0	24.0	2004/10/18	+1.41	272.0	26.18	9.65	7.002	5.30E-02	7.163	7.082	0.295	0.73	
	TW-SS-2	50.0	50.0	30.0-48.0	18.0	2004/10/26	-1.84	287.9	10.36	27.79	41.07	4.60E-05	50.85	45.58	2.532	1.64	
TW-SW	TW-SW-1	301.4	288.0	268.5-282.0	13.5	2005/1/6	+6.97	270.0	2.73	98.83	1157.10	4.06E-06	101.70	101.70	7.53	1.03	高い被圧水頭を有する自噴井であり連続試験に問題あり
	TW-SW-2	86.0	86.0	42.0-60.0	18.0	2004/12/4	-0.31	287.9	1.99	144.7	257.4	4.35E-06	246.7	262.0	14.56	1.81	
TW-NC	TW-NC-1	400.4	390.0	360.0-384.0	24.0	2004/11/3	-289.82	231.9	6.38	36.35	7.463	-	29.36	29.36	1.223	0.81	注水試験を実施

## 4.6 基盤構造

トルファン盆地の地下水賦存量や地下水流動の実態を解明するためには、トルファン地下水盆の基盤構造をできるだけ正確に把握する必要がある。本調査では石油地質や構造地質等の分野の資料や論文、報告書等も可能な限り収集して内容を分析し、TEM法による物理探査結果と総合して基盤構造を把握した。

すでに述べたようにTEM法電磁探査により得られた比抵抗構造をもとに水文地質基盤の推定深度分布図を作成した。この深度分布図から、SRTM-3地形標高データをもとに、水文地質基盤上面の標高を算出し、図4.10に示す水文地質基盤上面の標高分布図を作成した。また、図4.11には、トルファン盆地の地形面標高と水文地質基盤上面の推定標高分布を3次元表示したものである。これによると、トルファン盆地の水文地質基盤上面の標高は、南盆地のトクソンからトルファン市街地南部にかけての地域が低く-500 m以下である。

基盤上面標高が0 m以下の地域は南盆地の大部分を占めるだけでなく、トルファン市街地付近を通過して北盆地に入り込み、さらにそこから東に延びてトルファン市とシャンシャン県との境界付近にまで達している。すなわち、南盆地地下水盆と北盆地地下水盆は火焰山と塩山との深い基盤の谷を通じて連結していることになり、この谷は北盆地では東方まで奥深く延びていることになる。

南盆地アイディン湖の東方約20 kmでは、標高-400 mの等高線が南に屈曲する地点があり、この付近を境にして東西で基盤上面標高に段差が見られアイディン湖付近の基盤標高が比較的高いことから、断層等の構造線が南北方向に存在するものと推定される。

北盆地では、基盤上面の谷は前述のようにトルファン市街地北方から東に延びており、西側における谷の発達が悪い。シャンシャン市街地の北東部には基盤上面標高が250 m付近まで上昇する高まりがあり、そこを境にして北部盆地は水文地質基盤構造の観点から東側のハミ盆地領域と西側のトルファン盆地領域に区分される。

## 4.7 水文地質と帯水層単元

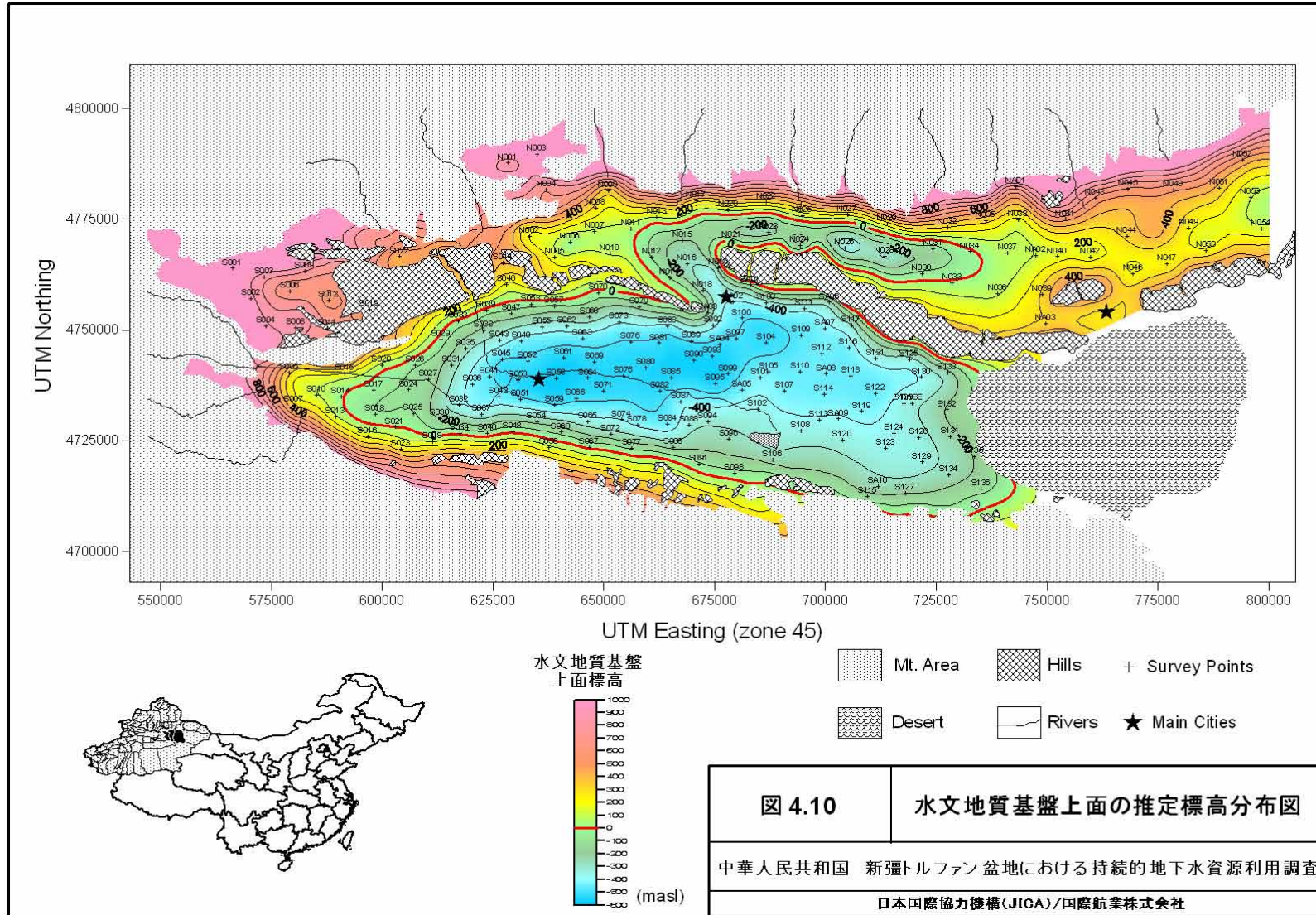
現地調査結果や既往調査の結果・資料をもとに基本層序・層相対比を行い、トルファン盆地の地下水盆を構成する第四系の水文地質区分と帯水層単元を同定した。

既存資料の地質柱状図や本調査の試掘柱状図の解析により、南盆地では地下に分布する第四系は、連続性のよい層相の特徴や比抵抗値等から上位よりA層、B層、C層に区分される。

一方、本調査では北盆地において1箇所の試掘調査を行っただけであるが、既存調査結果からも北盆地の第四系はほとんど礫層からなることが知られている。したがって、北盆地の水文地質区分は南盆地よりも単純なものとなる。

表4.4には、試掘調査結果に基づく水文地質区分と帯水層単元を示す。また、図4.12には、南盆地東西断面での基本層序と層相対比を示す。





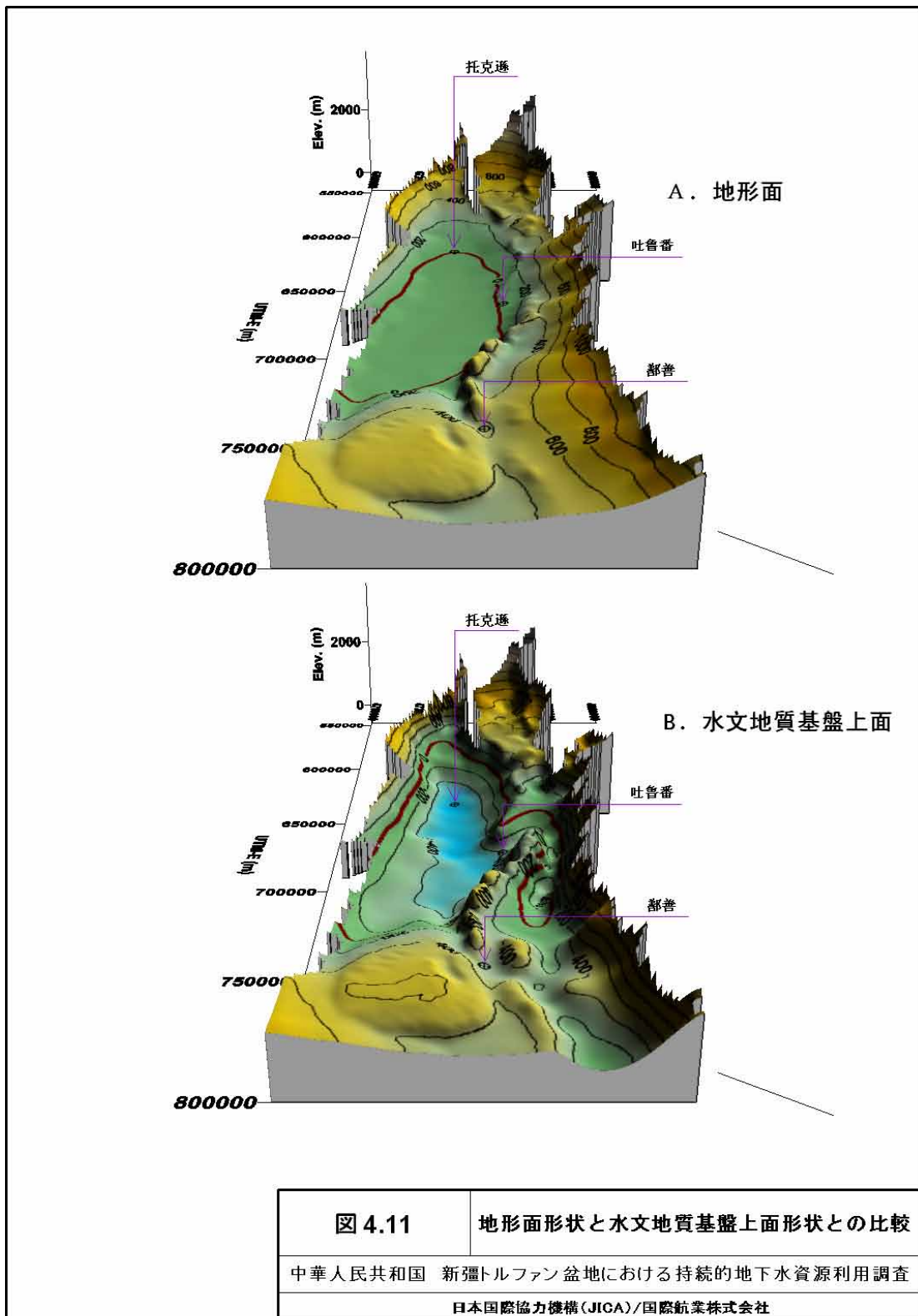
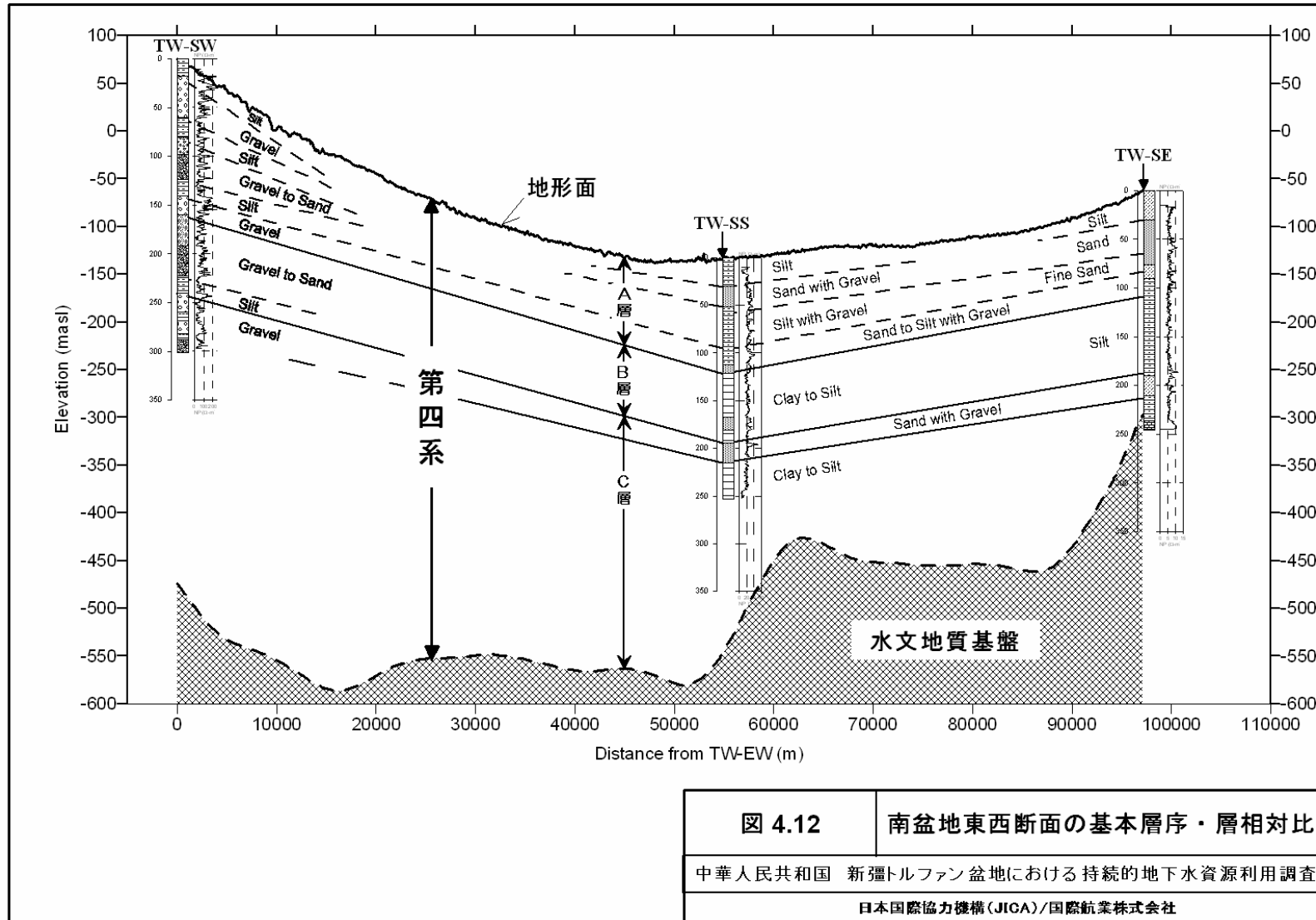


表 4.4 試掘調査結果に基づく水文地質区分と帯水層単元

地質時代	地下地質層序	水文地質区分		帯水層単元		備考
		南盆地	北盆地	南盆地	北盆地	
第四紀	A層	A帯水層 A加圧層	北盆地帯水層	加圧層 不圧/被圧帯水層	不圧帯水層	南盆地で1~3帯水層
	B層	B加圧層 (B帯水層)		加圧層 (被圧帯水層)		南盆地で0~1帯水層 南盆地西部で帯水層 発達
	C層	C帯水層 C加圧層		加圧層 被圧帯水層		南盆地で1~4帯水層 南盆地東部で欠如
先第四紀	第三系 ／先第三系	水文地質基盤		難透水性基盤		一部第三系は砂礫相



## 5. 水資源利用実態調査

---

---

## 5 水資源利用実態調査

泉、カナート、井戸による地下水利用と水質の実態について現地訪問調査を実施した。

### 5.1 泉

トルファンオアシスは泉の下流に形成され今日まで存続してきた。現在もお泉はトルファンオアシスの維持のために極めて重要な水源である。

#### 5.1.1 泉のタイプと分布

トルファン盆地内の泉は大部分が北盆地に分布していて、山区と平原区の境に沿うか、火焰山-塩山の北縁に沿うものが多い（図 5.1）。泉の分布はその形成原因と密接な関連があり、2つのタイプに分けることができる。

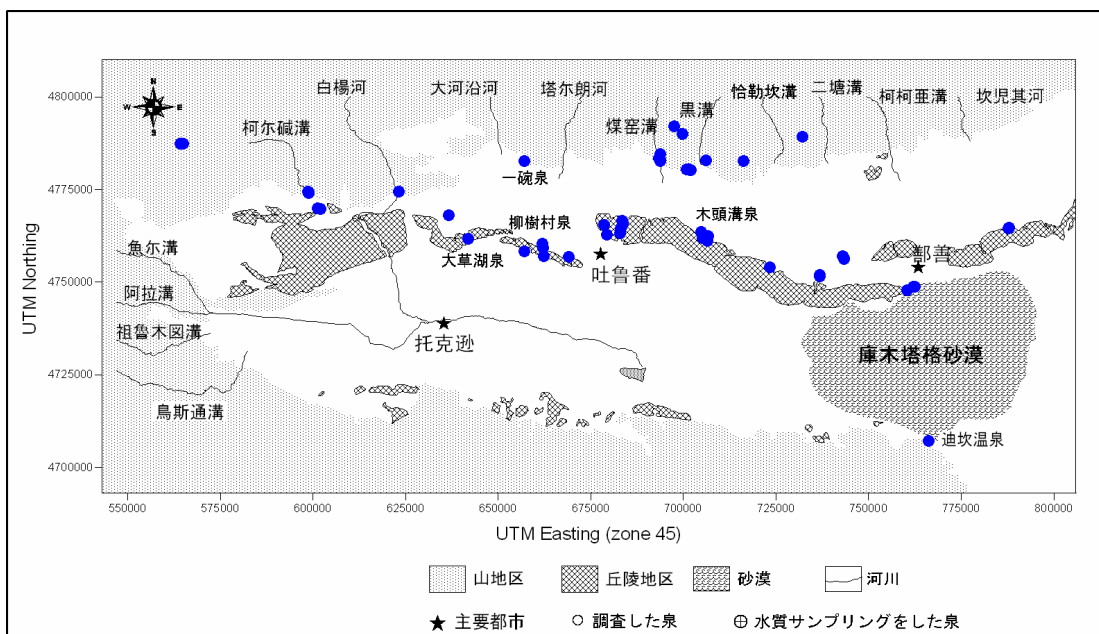


図 5.1 トルファン盆地における泉分布

#### a. 天山山脈の南縁、トルファン盆地の北境界周辺の降下泉（タイプ1）

山区帯水層中の地下水が河川に到達する前に地表へ露出し泉となるタイプである。このタイプの泉は主にトクソン県とトルファン市の山裾に分布しており、測定できる程度の流量を有する泉は31ヶ所ある。

#### b. 火焰山北縁の泉群（タイプ2）

主に河川水により涵養されたトルファン盆地の地下水は北盆地の地形に沿って流下していくが、南盆地との境界をなす不透水基盤の火焰山に阻まれ、火焰山の北縁に沿って地表に露出し泉となるタイプである。多くはトルファン市とシャンシャン県内に分布する。測定できる流量を有する泉は40ヶ所ある。地表に出た湧水は火焰山を横切り南盆地に流下して貴重な水資源となっている。

### 5.1.2 泉の流量

聞き取り調査によると泉の総数は全部で72ヶ所ある<sup>1</sup>。縣市別・目的別の泉数と泉流量をまとめて表5.1に示す。

全部で72ヶ所の泉の流量、約1.48億m<sup>3</sup>のうち、生活用水だけに利用されているのは1ヶ所トルファン市七泉湖鎮にある4#泉であり、年間流量は約8,515m<sup>3</sup>である。灌漑に利用されている泉が最も多く3縣市合わせて41ヶ所あり、その合計流量は1.45億m<sup>3</sup>で、泉流量全体の約98%を占める。

一部の泉の下流には貯水池が作られている。また流量の大きい泉8箇所には導水路が建設されている。導水路の延長は約120キロ、泉の流量は約9千7百万m<sup>3</sup>であり、泉の流量全体の約65%を占める。

表 5.1 縣市別泉利用量集計表

県(市)	トクソン		トルファン		シャンシャン	
	ヶ所	年流量(m <sup>3</sup> )	ヶ所	年流量(m <sup>3</sup> )	ヶ所	年流量(m <sup>3</sup> )
生活飲用			1	8,515		
灌漑及び生活飲用			6	7,843,634	2	255,284
農業灌漑	9	7,510,456	13	97,287,614	12	8,889,210
農業及び林木灌漑			2	17,723,232		
牧畜			2	4,730		
林業灌漑			1	5,771,088		
観光			20	1,247,536	4	1,301,365
合計	9	7,510,456	45	129,886,349	18	10,445,858

### 5.1.3 泉の水質

現地調査では、泉の水温、pHと電気伝導度(EC)を測定した。水温はタイプ1の山区降下泉で平均13.5度であるが、タイプ2の平原区泉では18.5度である。山区降下泉の涵養源は変温帯以下にあり、平原区泉の帯水層は変温帯付近にあるためと考えられる。

今回の調査において測定した泉の縣市別、泉タイプ別電気伝導度を表5.2にまとめた。

<sup>1</sup>上述の2タイプ以外に1ヶ所の泉がクムタグ砂漠の南端にあり迪坎温泉と名づけられている。泉は約0.5l/sの流量を有し、小さくはないが水質が極めて悪く、溶存イオン含有量(TDS)が30g/l以上である。飲用水には勿論、灌漑にも利用できない。

表 5.2 泉の電気伝導度(EC)の調査結果

単位:S/m

県(市)	温泉	山区降下泉			平原区泉		
		最大	最小	平均	最大	最小	平均
トクソン	--	72.4	10.7	34.0	--	--	--
トルファン	--	272.0	29.4	60.0	139.0	16.4	43.8
シャンシャン	3,140.0	--	--	--	403.0	10.6	88.6
合計	3,140.0	272.0	10.7	52.4	403.0	10.6	64.8

山区降下泉も平原区泉も電気伝導度が 10.6~400.0 S/m の間で変化し、水質のバラツキが大きい。特に一部の泉で測定した電気伝導度は 104.4 S/m と 116.2 S/m を超え、それぞれ飲用水水質基準にある硫酸イオンと TDS の基準値を超えている可能性を示唆している。すなわち、泉の一部は硫酸イオン濃度或いは TDS が高く飲用に適していない。

山区降下泉の水質は石炭採掘等の鉱業に関連があると推測され、電気伝導度の高い泉の近傍では炭鉱があることも確認された。また、平原区泉の高濃度については、帯水層が盆地内の強い蒸発によって塩分集積が進んでいるためと推測される。

## 5.2 カナート

カナートは縦井戸を掘り井戸と井戸の間を暗渠でつなぎ上流から下流に向けて地下水を集水し流下させる古代からの地下水路であり、泉と同様昔からトルファンオアシスの形成と存続には重要な役割を果たしてきた。昔はカナートはトルファン地域で人工的に作られた唯一の水利施設であり、“トルファンの生命の泉”と称された。しかし、1970年代からの地下水開発により、水資源利用量にカナートの占める割合が著しく減少しただけでなく、多くのカナートは枯渇し、カナートそのものの存続が問題になってきた。

### 5.2.1 カナートの現況

既存資料によれば、2003年時点ではトルファン盆地で利用できるカナートが 420 本あるとされている。そこで、本調査ではそれら 420 本のカナートを中心に現地訪問調査を行った。

#### a. カナート流量

調査した 420 本のカナートは既に一部が枯れていた。本調査時点(2004年9月~10月)で利用されているカナートの分布を図 5.2に示す。カナートの県市別の集計結果は表 5.3に示す。

表 5.3 既存カナート数及び流量

県(市)	2003年	2004年	減少数	流量 (m <sup>3</sup> /s)
トクソン	50	43	7	1.57974
トルファン	261	195	66	3.33154
シャンシャン	109	93	16	2.72045
合計	420	331	89	7.63173



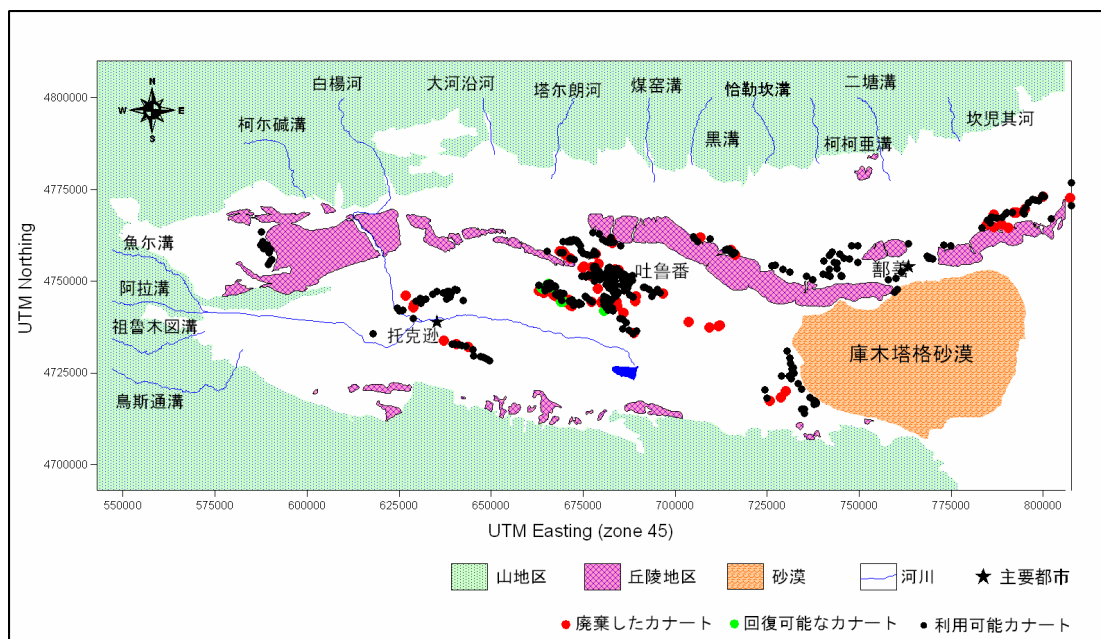


図 5.2 現地調査したカナート位置図

調査時点で流量の測定できるカナートは 331 本ある。流量は、トルファン、シャンシャン、トクソンの順で、それぞれ 3.33、2.72 と 1.58 m<sup>3</sup>/s である。年間で換算すれば 1.05、0.85 と 0.50 億 m<sup>3</sup>/年で、合計流量 2.4 億 m<sup>3</sup> である。

このカナート流量は山区河川からの流入量(9.175 億 m<sup>3</sup>)と泉の湧水量(1.478 億 m<sup>3</sup>)と比較すればかなり大きな量である。

今回の調査は渇水年に当たり地下水位が例年より全体的に低く、またその中でも地下水位の比較的低い時期に実施したので、カナート流量も低い値を示していると考えられる。

実測した 420 本カナートの内、35 本は水が溜まっているだけで、流量測定ができなかったが、非灌漑期に地下水の汲み上げが止まると、回復する可能性がある。また、聞き取り調査によると今回はカナートの渇水期で、豊水期には水は流れるとの回答もあった。

カナート流量の季節変動は地下水位の変化に連動しているが、地下水位は盆地内の場所、場所によりそれぞれ変化状況が異なる。調査結果では、カナートの豊水期は 11 月～3 月の非灌漑期に集中する傾向がある。一方、カナートの渇水期は灌漑期の 5 月～9 月に集中する傾向が認められる。

### b. カナート利用量

カナート水源は主として農業（灌漑・畜産）用と生活用に利用されている。農業関連の利用量は 2.16 億 m<sup>3</sup> であり、カナート流量全体の約 90 % を占める。農業用では農地面積 5,800 ha 以上の灌漑、羊 6.4 万匹、牛約 9,000 頭の給水に利用されている。生活関連の給水人口は約 51,000 人であり、トルファン地区人口全体の約 1 割に相当する。

### c. カナートの構造

トルファン盆地で利用されているカナートの平均延長距離は 3.4 km である。トルファン市では平均 3.6 km で最も長く、シャンシャン県とトクソン県ではそれぞれ 3.1 と 3.0 km

である。盆地内で最も長いカナートはトルファン市の恰特喀勒郷にあり、12 km である。それに対して、一番短いのはシャンシャン県の辟展郷にあり、僅か 60 m である。

カナート 1 本当たりの縦井戸数は 5~700 本で、カナートの長さだけではなく、深さによっても変化する。全体平均では 45 本/1km であり、縦井戸の平均間隔は約 22 m である。縦井戸の平均深度は 45.4 m もあり、カナート作りはいかに大変かが伺われる。縦井戸の保護蓋はほとんど設置されている。

#### d. カナートの枯渇と廃棄原因

カナートが廃棄される最大の原因は取水量が極端に減少するか断流して、実際に利用できなくなることである。今回の調査で訪問した 420 本のカナートのうち、87 本が枯れていた。このうち冬季に回復するカナートもあるが、74 本のカナートは回復が期待できない。また数本は崩壊や土砂堆積により放棄されていた。

#### e. カナートの維持管理

カナートは歴史的な文化財としても重要視されている。井戸による地下水位の低下からカナートを保護するために、トルファン地区政府はカナートの上流地域及びカナート両側 400 m の範囲内では新規井戸や土堤の建設制限等を決定した。

一方、カナートの水量を維持するためには頻繁な維持管理が必要である。よく維持されたカナートは概ね年に 1 回点検や拡張を実施する。維持管理の主な内容は暗渠に溜まった土砂を浚渫し、上流の方へ縦井戸 1 個か 2 個分延ばして、集水域を拡大する等である。1 回の浚渫や拡張・延長を実施するためにかかる費用は場所によりかなり異なり、人民元 1,000 元未満から 100,000 元までである。

毎年 1 回カナートの浚渫が望ましいが、維持管理費用が高額になるため出来ない村もある。一部放棄されたカナートは、修復用資金の確保さえできれば、復活できると言われている。

### 5.2.2 カナートの水質

カナートは重要な水源であり、灌漑だけでなく飲用水としても多く利用されている。今回の調査では、測定できるすべてのカナートにつき、水温、pH と電気伝導度を現場で測定した。

水温の変動幅は比較的大きく、平均気温より高い 33.5 °C から常温帯の温度に相当する 12.4 °C までである。平均して 16.8 °C である。pH は数ヶ所で中国飲用水質基準 8.5 を超えている。全体として、カナート水はアルカリ性が強い傾向にある。

電気伝導度は 6.3 S/m~1,088.0 S/m を示し大きな幅がある。トルファン盆地全体の平均値は 128.8 S/m であり、危険指標である 104.4 (硫酸イオン基準濃度に相当) と 116.2 S/m (TDS 基準濃度に相当) を超えているため、約 40% のカナートでは飲用水として利用できないと考えられる。

### 5.2.3 カナート流量と本数の経年変化

既存資料から検討すると、1994 年~2004 年の 11 年間にトルファン盆地のカナート流量は 14.0 m<sup>3</sup>/s (4.4 億 m<sup>3</sup>/年) から 7.63 m<sup>3</sup>/s (2.4 億 m<sup>3</sup>/年) までほぼ半減した。年減少量

は 1,110 万 m<sup>3</sup>/年から 2,900 万 m<sup>3</sup>/年であり、平均して約 2,000 万 m<sup>3</sup>/年である。特にシャ  
ンシャン県の達浪坎（ダランカン）郷では、1994 年には 0.42 m<sup>3</sup>/s（4,800 万 m<sup>3</sup>/年）の流  
量があったが、1990 年代の後半に急激に減少し、2001 年には全滅した。また、カナートの  
本数は 1994 年にはトルファン盆地全体で 586 本であったが、過去 10 年間で年間 10 本  
から 40 本、平均して年間 25.5 本の速度でカナートが減少した。

### 5.3 井戸

1950 年代までトルファン盆地ではカナート以外に井戸などの地下水取水施設はなかつ  
た。トルファン盆地で最も古い井戸は 1954 年にトルファン市三堡郷でさく井された深度  
60 m の井戸である。しかしこの井戸は 2001 年に廃棄された。現在トルファン盆地の井戸  
総数は 5,000 本以上に達し、揚水量は 6 億 m<sup>3</sup>/年を超え、各種水源の中で利用量が一番多  
い。

#### 5.3.1 井戸数

##### a. 現況井戸数

今回の訪問調査では、水管理所の記録にあった全ての井戸と各村の村長や井戸管理担  
当者の知っている全ての井戸について資料収集を行い、それらの井戸の全数を実測調査  
した。調査した井戸総数は 5,664 本であり、そのうち、調査時点(2004 年)で利用されてい  
るか、或いは、利用可能な状態にある井戸は 5,254 本である。市県別内訳は図 5.3 示す。

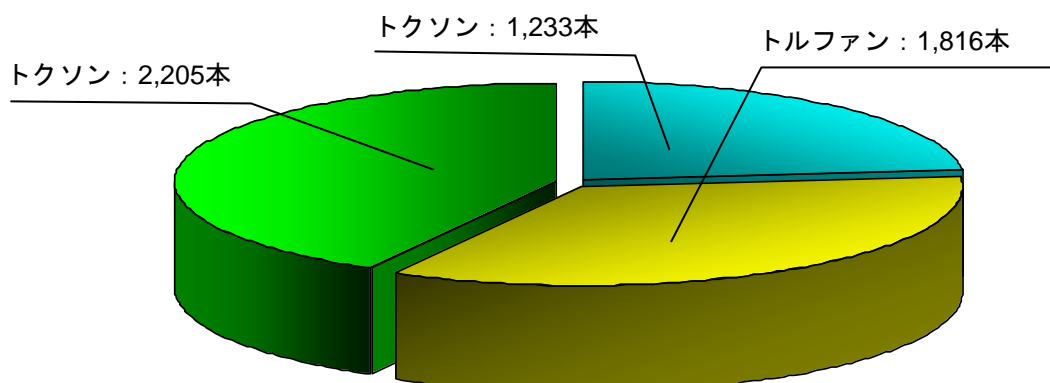


図 5.3 現況(2004 年)で利用可能な井戸数の内訳

##### b. 井戸数の経年変化

表 5.4はトルファン盆地内におけるさく井数の経年変化を示す。また、5 年間隔でのさ  
く井数の変化は図 5.4に示す。1970 年代までトルファン盆地において、井戸数は 100 本  
未満であった。1970 年代の後半から井戸数が本格的に増え始め、1980 年代の後期から新  
規井戸の増加速度は 100 本/年に達し、1990 年代の後半で最大の井戸増加期となり、年間  
平均約 400 本の速度で増加した。しかし、2000 年に入ってから増加速度は 1990 年代の後  
半と比較して遅くなった。

表 5.4 1950 年から 5 年間隔毎の縣市別さく井戸本数

縣市	1950	1955	1960	1965	1970	1975	1980	1985	1990	1995	2000	合計
トクソン	0	3	5	22	76	121	177	227	278	325	176	1,410
トルファン	1	1	5	18	75	117	125	243	357	673	321	1,936
シャンシャン	0	0	1	38	85	72	116	118	322	893	648	2,293
合計	1	4	11	78	236	310	418	588	957	1,891	1,145	5,639

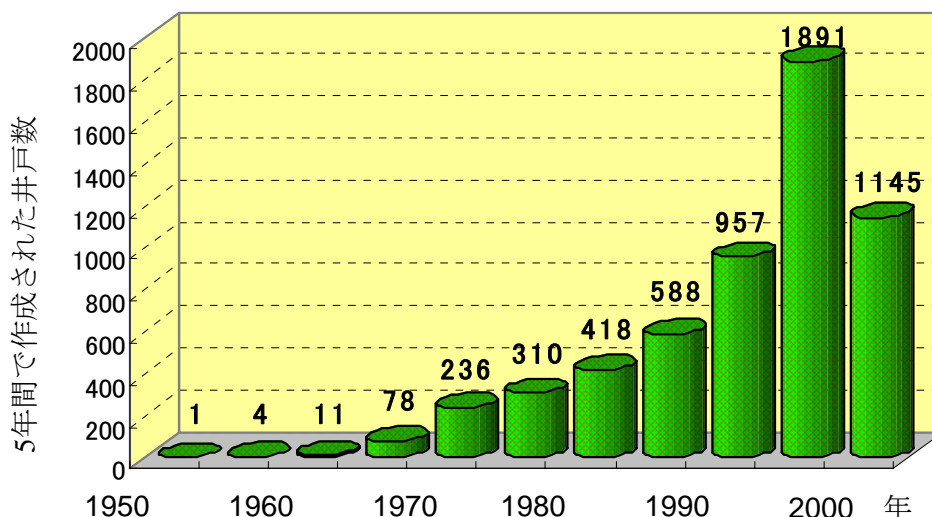


図 5.4 トルファン盆地内さく井戸数の経年変化

一方、2003 年から過去 10 年間に於いて、毎年郷別に利用している井戸本数の変化は表 5.5 に示す。

表 5.5 過去 10 年間井戸本数変化の縣市別集計

縣市	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
トクソン	882	955	1,008	1,088	1,139	1,179	1,212	1,224	1,230	1,262	1,233
トルファン	982	1,074	1,189	1,324	1,471	1,639	1,707	1,765	1,820	1,769	1,816
シャンシャン	759	877	1,046	1,262	1,421	1,606	1,753	1,889	2,012	2,131	2,205
合計	2,632	2,906	3,243	3,674	4,031	4,424	4,672	4,878	5,062	5,162	5,254

### 5.3.2 井戸揚水量

今回の調査では管口流速計を用いて井戸は 4,701 本について流量測定を実施した。しかし、揚水量を正確に把握するためには、流量計を各井戸に設置する必要がある。トルファン盆地では、油田関連の井戸など極く一部の井戸を除いて、流量計を設置した井戸はない。

井戸の揚水量を把握するため、本調査では測定された管口流量に揚水時間を乗じて求めることとした。大部分の井戸は電力ポンプを装着しているため揚水により電気を使用し電気代が発生する。各井戸の電力消費量と電気代は記録されているので、電力消費量を井戸ポンプのパワー数で割ると、当該井戸の揚水時間が求められる。そこで、ポンプの動力特性資料と農業用電力消費量資料により、郷別・月別に井戸揚水量を計算した。管口流量が測定できなかった井戸やポンプ能力が不明な井戸については郷別の平均値を

与えた。また、工業や生活用水井戸は流量計で測ったデータがあるのでこれらを集計した。

**a. 過去 10 年間の井戸揚水量**

過去 10 年間（1994 年～2003 年）について、ポンプによる井戸揚水量と自噴井戸の揚水量をそれぞれの方法で郷別に集計した。表 5.6には縣市別の集計結果を示す。

表 5.6 縣市別過去 10 年間井戸揚水量集計結果

単位：百万 m<sup>3</sup>/年

縣市	郷	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
	トクソン	69.6	75.0	64.8	85.3	84.9	93.0	80.3	141.4	89.9	91.4
	トルファン	118.5	134.6	152.6	173.9	198.0	209.7	217.8	261.5	213.0	224.6
	シャンシャン	128.1	152.0	187.4	216.0	247.0	284.6	285.8	336.4	323.1	325.5
	合計	316.2	361.6	404.8	475.2	529.9	587.3	584.0	739.3	626.1	641.6

過去 10 年間の井戸本数増加に伴い地下水揚水量はほぼ倍増した。とくに 2001 年は渇年のため井戸さく井本数と揚水量は急激に増加している。トクソン県の増加は他の市県より少なく、年間平均では 1～3%増である。一方、トルファン市の増加率は大きく地下水揚水量は 4 割以上増加した。シャンシャン県では増加率が最も大きく、10 年間で 1.5 倍以上増加し、県内の迪坎郷、吐峪溝郷と達浪坎郷では、増加量がそれぞれ 2.6 倍、2.8 倍と 4.4 倍であった。縣市別の過去 10 年間における地下水揚水量の変化は図 5.5に、またトルファン盆地全体の揚水量変化を図 5.6に示す。

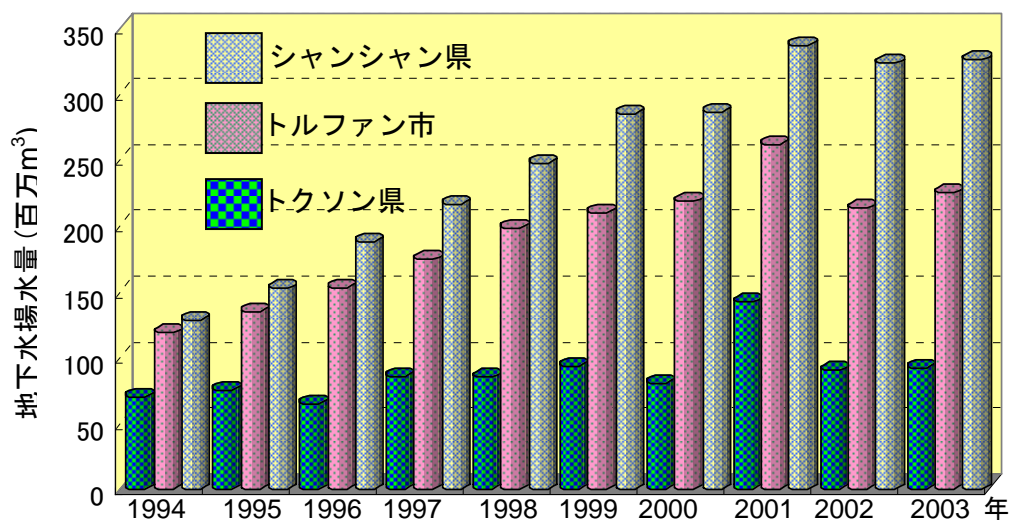


図 5.5 過去 10 年間縣市別地下水揚水量変化図

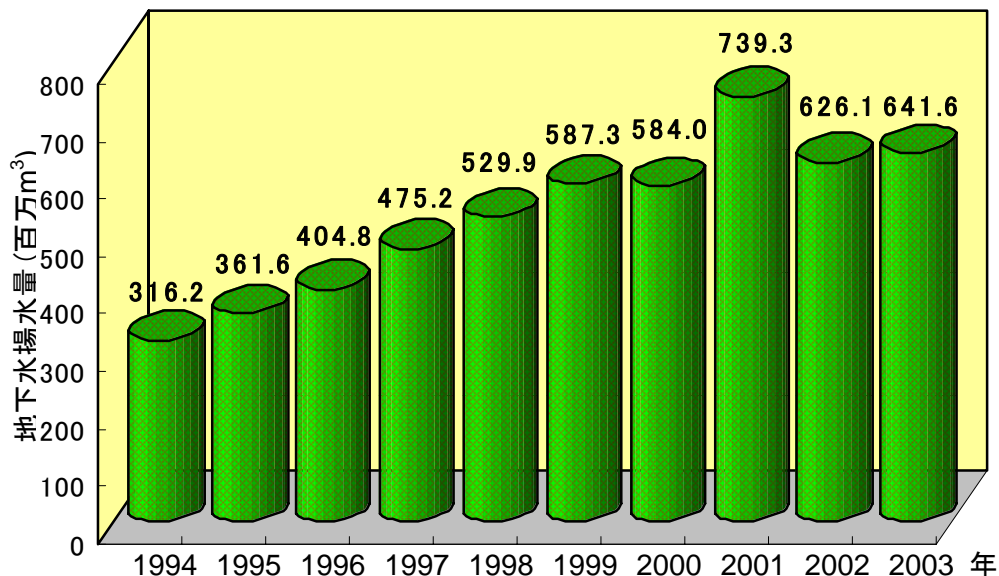


図 5.6 過去 10 年間トルファン盆地における地下水揚水量変化図

**b. 揚水量の季節変化**

2003 年の地下水揚水量月変化は図 5.7 に示す。非灌漑期の 12 月から翌年の 2 月までは自噴井戸か工業・生活用など季節性の少ない井戸から取水され、月間揚水量は 2 百万 m<sup>3</sup> 程度で安定している。灌漑期に入ると月間揚水量は数百万 m<sup>3</sup>～1 億 m<sup>3</sup> 前後に増加する。

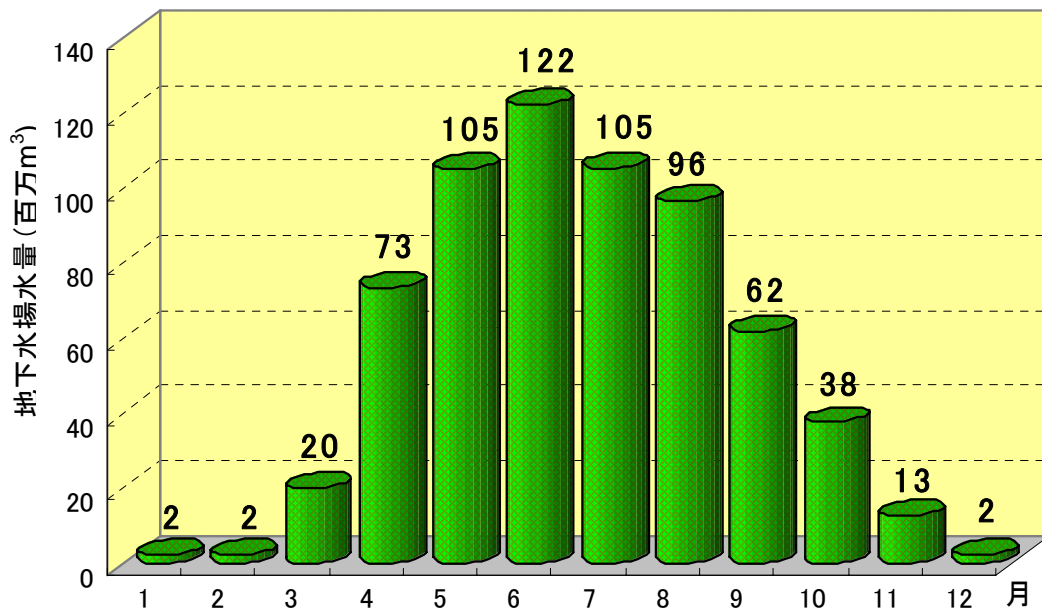


図 5.7 2003 年トルファン盆地における月別地下水揚水量変化

**c. 灌漑用水揚水強度**

2004 年統計年鑑による耕地面積をベースにして、単位農地面積当たりの地下水揚水量を集計した結果を表 5.7 に示す。

縣市単位で見ると、トクソン県の地下水灌漑強度が比較的に低く、畝あたり 500 m<sup>3</sup> 強である。これは、トクソン県では河川水資源が比較的豊富であることに原因があると推測される。一方、トルファン市とシャンシャン県では畝当たりの地下水揚水量は 1,700 m<sup>3</sup> を超えかなり大きい。

表 5.7 2003 年縣市別単位農地面積当たり地下水揚水量

縣市	灌漑揚水量	耕地面積(ha)	揚水強度 : m <sup>3</sup> /畝
トクソン	91.4	11,836	515
トルファン	210.96	8,168	1,722
シャンシャン	297.02	11,050	1,792
合計	599.43	31,054	1,287

なお、郷単位の地下水揚水強度を見ると、畝当たりの地下水揚水量は 290 m<sup>3</sup> から 3,790 m<sup>3</sup> まで変化し、約 10 倍の差がついている。シャンシャン県の迪坎郷は最も大きな揚水強度を示した。この郷は地下水位低下により水生性植物が枯れ、砂漠化が進み、生態環境の悪化により移民が行われた。

### 5.3.3 井戸利用区分

#### a. 井戸の利用目的

表 5.8は井戸を利用目的によって分類し、県・市別に集計した結果である。

表 5.8 井戸の利用目的

単位：本

県	農業	生活	工業	畜産	その他	兼用	合計
トクソン	1,072	37	18	0	64	42	1,233
トルファン	1,661	70	2	2	6	75	1,816
シャンシャン	2,050	41	24	2	4	81	2,202
合計	4,783	148	44	4	74	198	5,251

利用目的について明らかに出来たのは 5,251 本の井戸であり、そのうち農業灌漑専用の井戸が 4,783 本で全体の 91% を占める。兼用井戸が 198 本でそれに次ぐ。兼用井戸の大部分は灌漑用であるが 1～2 割は生活用水としても利用している。農業専用と兼用井戸を合わせると井戸全体の約 95 % を占める。生活専用の井戸は 148 本あり、井戸全体の約 3 % を占める。その他に分類した井戸には、林業・緑化灌漑用の井戸、養魚池用等が含まれている。

#### b. 生活用水供給

兼用井戸を含めると、トルファン盆地で生活用の井戸は 300 本を超えている。生活用と畜産用の地下水揚水量を集計し表 5.9に示す。トルファン地区全人口 53 万人の生活用水への地下水給水率は 52.4% に達している。なお、人口と家畜頭数は 2004 年トルファン年鑑による。

表 5.9 生活及び畜産用地下水量集計結果

人口単位：人；羊と牛単位：頭

県	給水人口	人口	給水(%)	羊	牛
トクソン	41,551	107,227	38.8	1,154	490
トルファン	130,625	254,900	51.2	50,706	5,097
シャンシャン	105,983	168,351 <sup>※※</sup>	63.0	40,221	5,950
合計	278,159	530,478	52.4	92,081	11,537

※石油産業関連人口は統計年鑑に納めていないので、本表に含まれていない。

※※：統計年鑑の人口とは一致しない。これは、井戸調査をしていない郷が省かれたためである。

### 5.3.4 井戸の水質

水温の変化幅は 8.2 °C～31.7 °Cの範囲にあり変化幅が大きい。平均値は 17 °C前後である。最も高い pH 値はシャンシャンの迪坎郷で 9.1 であるが、トルファン盆地全体の平均では 7.7 を示し、ややアルカリ性である。

中国の水質基準では pH の基準値は 6.5～8.5 である。全部で 4,643 個測定した水質試料のうち、飲料水基準値の pH 上限を超えた試料は 78 個であり、約 1.7%で、トクソン県とトルファン市に集中している。

全体的に、井戸水の電気伝導度は高く、郷単位で平均しても、116.2 S/m を超える郷・鎮は 11 に上る。11 のうち大部分の郷鎮では電気伝導度は 300.0～900.0 S/m の高い値を示す。地域的にはトクソン県が比較的 low、平均値は 100.0 S/m 以下である。一方、トルファン市とシャンシャン県では、電気伝導度平均値は約 170.0 S/m の高い値を示している。

電気伝導度と硫酸イオンと塩分濃度の相関関係から、それぞれ 104.4 S/m と 116.2 S/m を用いて中国飲用水水質基準の点から水質をみると、トクソンでは 25 %～30 %の井戸水が不合格で、トルファン市とシャンシャン県での不合格率は 50 %を超えた。

本調査で行った試掘調査では、同じ場所の深層帯水層と浅層帯水層地下水の水質分析を行い、浅層帯水層より深層帯水層の水質が良いことが確認されている。特にトルファン市南部やシャンシャン県の達浪坎郷など浅層地下水の水質が悪い地域では、深層帯水層から良質な地下水が取水できる。

調査した井戸を深さ別に 100 m以下、100～160 m 及び 160 m 以上に区分し水質を検討した。100 m以下と 100～160 m とでは差がなく、両者とも水質は良好ではない。しかし、160 m 以上の井戸では著しく水質が良い傾向がある。

### 5.3.5 井戸所有権

トルファン盆地では井戸の大部分、特に農業灌漑用井戸の大部分は、村や昔の生産隊単位の農業生産組織によって建設されている。その他、都市部の給水や各地方政府関係の機関・部門によって建設された井戸もあれば、石油関連企業など企業によって建設された井戸もある。表 5.10は県市別に井戸の所有権による分類結果をまとめた。現在、個人が建設する井戸も急激に増えている。



表 5.10 トルファン盆地井戸の所有権による分類

県	郷	国	組合	学校	企業	個人
トクソン		86	1,004	3	8	314
トルファン		75	1,320	0	2	517
シャンシャン		42	1,824	4	30	398
合計		202	4,148	7	40	1,229

### 5.3.6 井戸の深さと水位

トルファン地区の井戸を深さで分類すると表 5.11 のようになり、50-100 m 及び 100-150 m の間に集中している。しかし、150m 以上 300m に達する井戸も全体の 1 割以上ある。

表 5.11 深度別井戸本数

県市	0-50	50-100	100-150	150-200	200-250	250-300	300-350	>350
トクソン	105	796	46	212	62	6	2	0
トルファン	42	605	954	169	29	6	3	1
シャンシャン	166	1,073	925	27	2	4	5	0
合計	313	2,474	1,925	408	93	16	10	1

井戸さく井時の地下水位について聞き取り調査し、今回現地で測定した地下水位と比較した結果を表 5.12 に示す。トルファン盆地内では 3 県市とも 1994 年以前と比較して地下水位が低下していることが明らかである。低下量は、トクソン県では約 5 m、トルファン市では 10 m に近づき、シャンシャン県では 10 m を超えている。

表 5.12 現況地下水位及びさく井時水位(1994 年以前)との比較

県	現況地下水位 m	低下量 m
トクソン	10.9	5.3
トルファン	31.8	9.3
シャンシャン	35	11.9
平均	28.9	9.1

このように地下水位低下は顕著であるが、郷単位で平均すると過去 10 年間で新規井戸が深くなる傾向は認められなかった。

### 5.3.7 井戸構造及び関連施設

#### a. パイプの材質

トルファン盆地では、コンクリート管を井戸パイプとして使うものが最も多く、約 79 % を占める。開孔率が小さく、帯水層からの集水効率が悪いため電気消費量が大きくなる。その他には PVC パイプ、木材やレンガ積等がある。

#### b. 遮水の有無

水質の良くない地域、特に異なる帯水層間で水質が違う地域では帯水層間の汚染拡大を防ぐために遮水工が重要である。しかし、調査した井戸のうち遮水工を実施している

のはわずか8本であり、全体の0.16%しかない。トルファン盆地では帯水層間の汚染拡大が心配される。

**c. ポンプ型式及び動力**

自噴井戸でなければ、ポンプで揚水する必要がある。農業灌漑用井戸が多いので、ほとんどの井戸には深井戸モーターポンプが付けられている。

## 6. 水質調査

---

---

## 6 水質調査

### 6.1 調査方法

#### 6.1.1 調査対象・数量及び実施期間

水質調査は次のように3種類の水源と観測井で実施した。

- 1) 地表水：河川（水路）
- 2) 浅層地下水：カナート、泉、既存浅井戸
- 3) 深層地下水：既存深井戸
- 4) 観測井：既存観測井、新規観測井

水源別のサンプリング数は表 6.1に、またサンプリング実施期間は表 6.2に示す。

表 6.1 水源別サンプリングの数量一覧

調査対象	数量
河川(水路)	30+31=61
カナート	63+69=132
泉	32×2=64
既存一般井戸	51+52=103
既存観測井戸	31×2=62
新規観測井戸	4×2+7×3=29
合計	451

表 6.2 水源別サンプリングの実施期間

水源	第1回サンプリング	第2回サンプリング
地表水	2004/07/25～2004/08/09	2004/11/20～2004/12/09
泉	2004/10/01～2004/10/03	2005/01/05～2005/01/11
井戸	2004/09/25～2004/10/03	2005/01/14～2005/01/27
カナート	2004/10/16～2004/10/29	2005/01/06～2005/01/30

なお、5ヶ所9本の新規観測井戸でのサンプリングは2004年8月から2005年9月までの間に4回に分けて実施した。

#### 6.1.2 調査項目

水質調査は、地下水および地表水の水質の実態を明らかにし、飲料水基準や灌漑用水水質基準との比較により飲料水としての安全性や灌漑用の水質適合性の評価を行うとともに、水質組成から地表水と地下水の交流関係や地下水流動機構を検討するために実施した。分析項目は、中国の飲用水質基準を基本とし、さらに地下水の基本的性質と人間活動の汚染指標を表す水質項目を加え、表 6.3に示す28項目とした。

表 6.3 中国の飲用水水質基準と本調査の調査項目

中国飲用水水質基準 (1985年8月)		本調査での分析項目
項目	基準値(mg/l)	
色	無色、15度以内	--
汚濁度	3度以内	--
臭いと味	無し	--
懸濁物	無し	--
pH	6.5-8.5	◎*
硬度(CaCO <sub>3</sub> で計算)	450	◎
鉄	0.3	◎*
マンガン	0.1	◎*
銅	1.0	--
亜鉛	1.0	◎
フェノール	0.002	◎
陽イオン合成洗剤	0.3	--
硫酸イオン	250	◎
塩化物	250	◎
TDS	1000	◎
フッ素	1.0	◎*
青酸化物	0.05	--
砒素	0.05	◎*
セレン	0.01	--
水銀	0.001	◎
カドミウム	0.01	◎
クロル	0.05	--
鉛	0.05	◎
銀	0.05	--
硝酸態窒素	20	◎*
クロロホルム	50	--
フェニキシン	3.0	--
3,4-ペンソツピレン	0.01	--
DDT	1.0	--
ヘキサドー	5.0	--
細菌総数	100	◎*
大腸菌	3	◎*
遊離塩素	0.05	--
α	0.1	--
β	1	--
水温	--	◎*
酸化還元電位	--	◎*
電気伝導度	--	◎*
ナトリウム	--	◎
カルシウム	--	◎
マグネシウム	--	◎
カリウム	--	◎
COD	--	◎
遊離炭酸	--	◎
炭酸イオン	--	◎
重炭酸イオン	--	◎
亜硝酸イオン	--	◎
アンモニアイオン	--	◎*
項目数	35	28

※ : 室内分析と現場測定両方とも実施した項目。

## 6.2 地表水の水質

### 6.2.1 山区からの流入河川

流入河川の水質は類型が重炭酸-カルシウム型である(図 6.1参照)。溶存イオン含有量(塩分、TDS)は全体的に低く 100~600 mg/l の間で変化する。豊水期と渇水期の 14 河川の TDS の変化を見ると、豊水期の平均値は 288 mg/l、渇水期は 391 mg/l で渇水期がやや高い。渇水期には河川流量成分のうち、山区地下水からのかん養量が大きくなるためと思われる。

### 6.2.2 盆地内の河川及び水路

盆地内の泉を源とした河川及び水路の水質は山地河川の水質と明らかに異なる(図 6.1)。水質類型は硫酸-カルシウム型を主とし、TDS も 440~3,190 mg/l と高くなり、半分以上の調査地点では飲料水水質基準(1,000 mg/l)を超えている。下流ほど TDS が上流より高くなる傾向が明らかである。これは流れる途中で TDS の高い地下水の涵養を受けていることを示唆している。

TDS 高濃度の原因が硫酸イオン等の成分による場合、その水質による健康被害は無視できない。盆地内 3 河川のうち、連木沁河だけが水質良好であり、後の 2 本の河川、木頭溝と吐峪溝の硫酸イオンは水質基準値の約 1.4 倍~4 倍ほど高いので、飲用水としての利用は適当ではない。

### 6.2.3 地表水の安全性評価

第 2 回河川水質調査結果をもとに地表水の安全性を評価すると、中国飲用水水質基準を超えた項目は、山地からの流入河川及びそれら河川に繋がる水路では、鉄とマンガンである。盆地内の泉から流れ出た河川では、鉄、マンガンの他に TDS、ナトリウム(Na)、塩素(Cl)、硫酸イオン(SO<sub>4</sub>)と硬度(CO<sub>3</sub>で計算)など 5 項目があった。また、第 2 回調査地点の 31 ヶ所中 21 ヶ所で大腸菌数は中国水質基準を超えた。

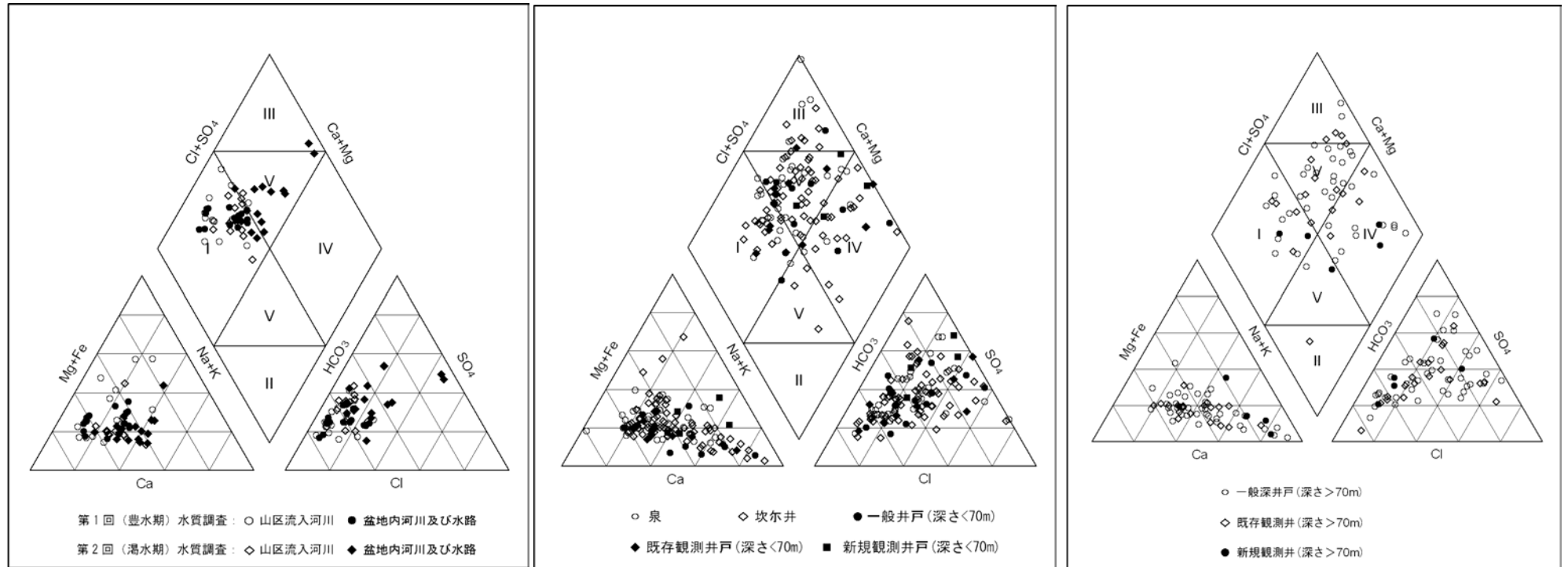
## 6.3 地下水の水質

### 6.3.1 泉

#### a. 泉の水質

図 6.1に示すように、泉水の水質成分はバラツキが大きく、重炭酸-カルシウム型から硫酸-ナトリウム型に変化していて、豊水期と渇水期による水質類型の変化も認められない。基本的にトルファンのような乾燥地域では、地下水位が浅い地域で土壌水の蒸発量が大きくなり、土壌中の塩分濃度が増える方向に進むため、アイディン湖を中心とした塩分濃度の高い地下水水質ゾーンが形成されている。泉も同様に、涵養域の帯水層が全体的に浅く流れが遅い地域では、長い地質時代の中で蒸発作用によって塩分集積が進み、水質が悪くなっている。泉の水質が悪化すれば、泉に涵養された河川の水質も悪くなるので、盆地内河川の水質は山区からの流入河川の水質とかなり異なっている。

6-4



地表水

浅層地下水 (渇水期)

深層地下水 (渇水期)

図 6.1 地表水と地下水の水質組成

### b. 泉水の安全性評価

泉水の中で問題のある基準値超過項目は、TDS、ナトリウム(Na)、塩素 (Cl)、フッ素 (F)、硫酸(SO<sub>4</sub>)、硬度、硝酸態窒素(NO<sub>3</sub>-N)、鉛(Pb)とフェノールである。そのうち、健康に関連する項目としてはフッ素、硫酸、硝酸態窒素、鉛及びフェノールがある。

フッ素基準を超えたサンプルがあるが、WHO のガイドライン (1.5 mg/l) より小さいので大きな問題はない。トルファン盆地の泉水には 139 mg/l の硝酸態窒素が検出された地点があり、この地点では明らかに飲用には不適當である。中国水質基準値(0.05 mg/l)の倍ほどの鉛濃度も 1ヶ所で検出された。この地点も飲用不適當である。また、1ヶ所で基準値を 10 倍も超える 0.027 mg/l (豊水期) のフェノールが検出されており飲用不適當である。

泉水質調査で県市別に水質基準を超えた項目数とサンプル数を表 6.4にまとめた。泉の水質はトルファン盆地内において西から東へ問題が多くなる傾向にある。

表 6.4 県市別泉水質調査における超過数集計

県市	サンプル数		超過項目のあるサンプル数			超過項目数	
	豊水期	渇水期	豊水期	渇水期	平均(%)	豊水期	渇水期
トクソン	5	5	1	1	20%	1	1
トルファン	20	20	7	7	35%	21	20
シャンシャン	7	7	4	3	50%	24	15
全体	32	32	12	11	36%	46	36

### 6.3.2 カナート

#### a. カナートの水質

図 6.1に示すように、カナート水の水質類型は泉水よりもバラツキが大きい。カナートは暗渠で浅層地下水を集水し下流へ導水する施設である。従って、カナートの水質は集水域や流路周辺の地下水質を代表していると考えられる。

#### b. カナート水質の安全性評価

カナート水で飲用水水質基準を超えた項目は、TDS、ナトリウム、塩素、フッ素、硫酸、硬度、硝酸態窒素、砒素とフェノールがある。泉と異なり鉛について水質基準を超えたサンプルはなかった。従って、トルファン盆地内では、地下水の鉛汚染は限定的であると考えられる。

しかし砒素は、中国の水質基準を満たしているものの、WHO ガイドライン、日本及び欧米諸国で採用された水質基準値 0.01 mg/l でみると、第 1 回 (豊水期) 調査では 63 サンプルのうち、約半分に当たる 36 サンプルが基準値を超えた。また、第 2 回 (渇水期) 調査では 69 サンプルのうち、1/4 弱に相当する 15 サンプルが WHO ガイドラインを超えた。

カナート水質調査で県市別に水質基準を超えた項目数とサンプル数を表 6.5にまとめた。泉水の調査結果と似ていて、トクソン県では水質の問題が比較的小さい。それに対してトルファン市とシャンシャン県では調査地点の半分以上のカナートでは硫酸イオン或いは砒素が基準値を超えているので、飲用には十分な注意が必要である。



表 6.5 縣市別カナー水質調査における超過数集計

調査時期	サンプル数		超過項目のあるサンプル数			超過項目数	
	豊水期	渇水期	豊水期	渇水期	平均(%)	豊水期	渇水期
トクソン	8	10	5	8	72%	5	8
トルファン	29	31	28	28	93%	61(20)	72
シャンシャン	26	28	20	26	85%	38(16)	50
全 体	63	69	53	62	87%	104 (36)	130

### 6.3.3 井戸水

#### a. 浅井戸の水質と安全性評価

本調査では、浅井戸とは深度 70m 以下の井戸と定義する。浅井戸の水質類型は硫酸—カルシウム型と硫酸—ナトリウム型が多く、重炭酸—カルシウム型が比較的少ない（図 6.1）。

浅井戸水質の基準値超過項目は TDS、ナトリウム、塩素、フッ素、硫酸、硬度、鉄とマンガンである。そのうち、フッ素は中国の水質基準（1 mg/l）を超えたが、WHO のガイドライン(1.5 mg/l)以内であり、健康上には問題がないと考えられる。硫酸イオンが 1,070 mg/l の地点もあり、浅層地下水における大きな水質問題である。浅井戸の水質評価結果をまとめて表 6.6に示す。超過井戸数の分布を見るとトクソン県では約 60 %、トルファン市では 73 %、シャンシャン県では 87 %という結果になる。しかし、硫酸イオンの超過数を見ると、トクソン県、トツファン市及びシャンシャン県ではそれぞれ 30%、36%と 46%である。

表 6.6 縣市別浅井戸水質調査における超過数集計

調査時期	サンプル数		超過項目のあるサンプル数			超過項目数	
	豊水期	渇水期	豊水期	渇水期	平均(%)	豊水期	渇水期
トクソン県	9	11	3(3)	9(3)	60%	12	25
トルファン市	5	6	2(1)	6(3)	73%	6	19
シャンシャン県	6	9	6(3)	7(4)	87%	17	28
全 体	20	26	11	22	72%	35	72

注：括弧内の数字は硫酸イオンの超過数である。

#### b. 深井戸の水質と安全性評価

本調査では、深井戸は深度 70 m 以上の井戸と定義する。深井戸の水質類型は変化が多く、重炭酸—カルシウム、硫酸—カルシウム、硫酸—ナトリウム型が存在し、なかでも硫酸—カルシウム型が多い。硫酸—カルシウム型や硫酸—ナトリウム型の地下水は蒸発で濃縮された地下水か、長い滞留時間のある地下水であることを示唆している。鉱床の影響により、滞留時間の短い地下水も硫酸イオンが卓越する場合もある。しかし、その影響は比較的限定的で、水質は主として蒸発や滞留時間に影響されていると考えられる。

飲用水水質基準を超えた項目は、pH、TDS、ナトリウム、塩素、フッ素、硫酸、硬度、鉄、マンガン、砒素とフェノールがある。そのうち硫酸イオンは 2,180 mg/l（豊水期）～ 2,340 mg/l（渇水期）を示したサンプルがある。

水質基準を超えた項目数とサンプル数を縣市別にまとめ表 6.7に示した。問題のある井戸数の分布を見るとトクソン県では約 61%、トルファン市では約 65%、シャンシャン県では約 59%という結果になる。しかし、硫酸の超過数を見ると、トクソン県、トルファ

ン市とシャンシャン県ではそれぞれ 40 %、30%と 25%である。

表 6.7 縣市別第 1 回深井戸水質調査における超過数集計

調査時期	サンプル数		超過項目のあるサンプル数			超過項目数	
	豊水期	渇水期	豊水期	渇水期	平均(%)	豊水期	渇水期
トクソン県	15	13	6(6)	11(5)	61%	33	36
トルファン市	30	27	17(12)	20(5)	65%	55	56
シャンシャン県	25	26	11(8)	19(5)	59%	35	50
調査地域全体	70	66	34(26)	50(15)	62%	123	142

注：カッコ内では硫酸イオンの水質基準を超えたサンプル数。

## 6.4 地下水水質の地域分布

### 6.4.1 浅層地下水と深層地下水の硫酸イオン分布

浅層帯水層（深度 70m 以下の井戸により取水）における硫酸イオン分布を図 6.2に示した。中国飲用水水質基準値（250 mg/l）を境界線として、安全区と危険区を区分した。TDS の分布もこれとかなりよく一致する。すなわち、蒸発や地下水の滞留時間の長さにより、地下水の塩分濃度（TDS）が増大すると共に硫酸イオンが増大したと考えられる。

深層地下水（深度 70m 以上の井戸により取水）の硫酸イオン分布を図 6.3に示している。浅層地下水と同じ分布パターンを示し、アイディン湖を中心に TDS も硫酸イオンも高くなっている。

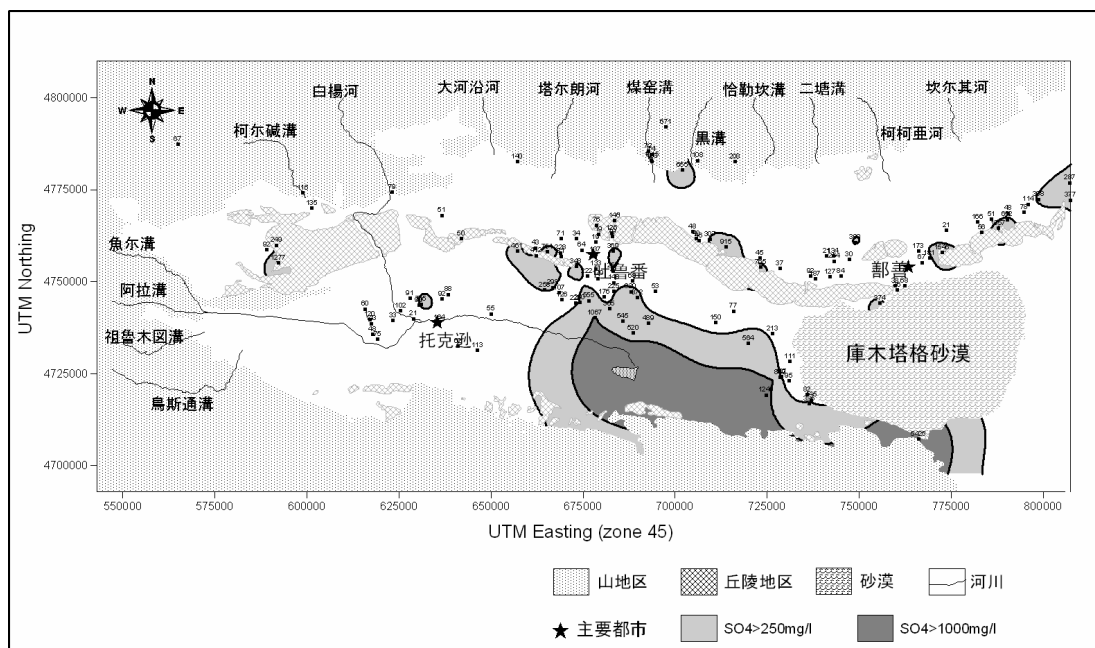


図 6.2 浅層帯水層の硫酸イオン等値線図

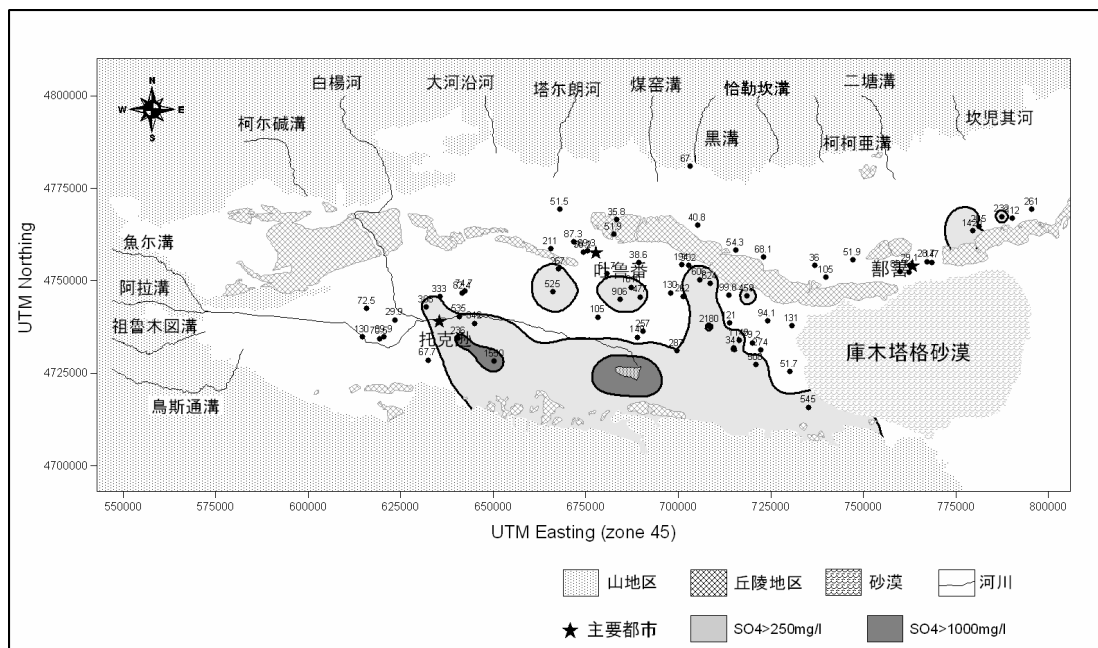


図 6.3 深層地下水硫酸イオン等値線図

浅層帯水層と深層帯水層において水質基準を超過したサンプル数を豊水期と渇水期について比較した結果を表 6.8と表 6.9に示す。豊水期では、安全上何らかの問題がある地点数はそれぞれ 32 と 65 であり、サンプル全数のそれぞれ約 46 %と約 56 %である。浅層帯水層の水質は季節変動は少ないが、深層帯水層水質の季節変動が大きい。特に TDS と硫酸イオンでは、渇水期の超過率は豊水期の約 60 %に減少している。その原因の一つとして、豊水期には地下水揚水により井戸内の水位が低下し、遮水をしていない井戸では浅層帯水層の地下水が深層に混入したことが考えられる。

表 6.8 深浅層帯水層安全性比較(豊水期)

問題サンプル平均、最大値単位 : mg/l

項目	基準値	浅層帯水層(65/116 地点)				深層帯水層 (32/70 地点)			
		問題地点数	問題サンプル平均	最大値	問題地点割合	問題地点数	問題サンプル平均	最大値	問題地点割合
TDS	1000	32	2,862	30,340	27.6%	29	1,869	4,330	41.4%
SO <sub>4</sub>	250	34	807	5,620	29.3%	29	635	2,180	41.4%
As	0.05(0.01*)	36	0.012	0.03	31.0%	3	0.01	0.01	4.3%
F	1	11	1.34	3.4	9.5%	3	1.84	4	4.3%
Phenol	0.002	5	0.009	0.03	4.3%	5	0.009	0.02	7.1%
NO <sub>3</sub> -N	20	3	58	139	2.6%	--	--	--	--
Mn	0.1	2	0.2	0.3	1.7%	2	0.28	0.28	2.9%
Pb	0.05	1	0.1	0.1	0.9%	--	--	--	--

表 6.9 深淺層帯水層安全性比較(湧水期)

問題サンプル平均、最大値単位 : mg/l

項目	基準値	浅層帯水層(65/116 地点)				深層帯水層 (32/70 地点)			
		問題地点数	問題サンプル平均	最大値	問題地点割合	問題地点数	問題サンプル平均	最大値	問題地点割合
TDS	1000	29	2,837	19,400	23.8%	18	1,839	4,810	25.0%
SO <sub>4</sub>	250	34	790	5,230	27.9%	17	656	2,340	23.6%
As	0.05(0.01 <sup>※</sup> )	(15)	0.012	0.02	12.2%	0	--	--	0.0%
F	1	9	1.49	2.28	7.4%	1	2.2	2.2	1.4%
Phenol	0.002	2	0.077	0.082	1.6%	1	0.02	0.02	1.4%
NO <sub>3</sub> -N	20	4	51.0	67.8	3.3%	1	54.2	54.2	1.4%
Mn	0.1	3	0.48	0.84	2.5%	4	1.0	2.6	5.6%
Pb	0.05	--	--	--	--	--	--	--	--

#### 6.4.2 新規観測井戸による帯水層水質比較

一般に、井戸仕上げではケーシングと孔壁の間を粘土やセメントなどにより充填し、遮水する必要があるが、トルファン盆地の既存井戸のほとんどは遮水していない。深井戸でもスクリーンパイプを多段で設置しているものがある。従って、深い井戸から採取したサンプルでも、完全に深い帯水層の水質を代表しているとは言えない。本調査で建設した5ヶ所9本の新規観測井戸は、浅層帯水層と深層帯水層の間を遮水してあるので水質を区別することができる。水質分析結果によれば4ヶ所の深層帯水層(深さ200m~380m)のTDS値はいずれも300mg/l以下で低い。それに対して、浅層帯水層(50m~120m)のTDS値は地域によって異なる。北西部のTWSWとTWSC地点では深層帯水層との差が小さいが、南部と東部のTWSSとTWSE地点では浅層帯水層のTDSが深層帯水層より数倍も高い。また、硫酸イオンも浅層帯水層の方が深層帯水層の数倍から10倍も高く水質基準値を超えている。

### 6.5 水質のまとめ

トルファン盆地内水資源の水質分布及び特徴は次のようにまとめることができる。

- 1) 山地からの流入河川水の水質は良く、飲用するには殺菌消毒が必要であるが、灌漑等の目的には直接利用できる。
- 2) 盆地内の湧水により形成された河川の水質は、山地からの流入河川の水質と大きく異なる。調査した3本の盆地内河川の内、2本は水質が悪く飲用には適していない。
- 3) 地下水の水質は、北盆地の大部分の地域では良いが、南盆地ではTDSと硫酸イオンの高い地域がアイディン湖を中心に分布している。行政区別にみると、シャンシャン県の水質は比較的悪く、トクソン県では比較的良好である。
- 4) 地下水で中国の飲用水質基準値を超えた項目には、溶存物総量(TDS)、硫酸(SO<sub>4</sub>)砒素(As)<sup>1</sup>、フッ素(F)、硝酸態窒素(NO<sub>3</sub>-N)、フェノール、マンガン(Mn)、鉛(Pb)等がある。超過項目の内、分布範囲が広いのはTDSと硫酸イオンであり、砒素についても注意が必要である。
- 5) 地下水で飲用水水質基準を超えているが、健康関連項目ではない項目として、

<sup>1</sup> WHOガイドラインに比較して高い。

鉄 (Fe) 、塩素(Cl)、硬度、等がある。盆地内には鉄含有量の高い地点が多く、一部の地域では面的な広がりがある。

- 6) 深層帯水層と浅層帯水層の水質を深度 70 m を境にして比較した結果、TDS、硫酸及び他の健康関連項目については差がはっきり現れない。しかし、砒素は深層帯水層よりも浅層帯水層の方が基準値以上を示すサンプルが多い。
- 7) 新規観測井戸では、200 m より深い帯水層の地下水は河川水とほぼ同様の良好な水質を示す。浅層帯水層の TDS や硫酸イオン含有量が高い地点でも深層帯水層から良質な地下水の取水が可能である。

## 7. 地下水位調査

---

---

## 7 地下水位調査

地下水位は、地下水盆中の貯留量の変化を示す重要なデータであるとともに、地下水の流動方向や流速等を把握するための基本的なデータでもある。地下水位観測データは、地下水管理モニタリングの基本資料として使用されるとともに、地下水シミュレーションの検証資料としても利用される。本調査では、トルファン盆地の既存地下水観測資料を収集・整理して解析するとともに、新規に設置した地下水観測井において地下水位連続観測を行った。

### 7.1 調査方法

#### 7.1.1 既存観測井

トルファン盆地では、トルファン地区水利局の指導・監督の下、県・市の水利局により地下水位の長期観測が実施されてきた。このうち、現在まで継続して観測が行われている地下水観測井は、トルファン市に 10 本、シャンシャン県に 15 本、トクソン県に 7 本の計 32 本である。これら既存観測井の位置図を図 7.1 に示す。

本調査では、これらの既存観測井における過去の地下水位測定記録を収集・整理した。一方、本調査の実施前には、既存観測井の地下水測定は月 3 回程度しか実施されておらず、しかも欠測期間が多いなどの問題があったため、本調査では再委託業務により既存観測井の地下水位を月 4 回測定した。なお、トルファン盆地では現存する 32 本のほかに、すでに観測が中止されたり廃棄されたりした観測井が 32 本ある。本調査ではこれらの古い観測井の地下水位記録も収集・整理した。

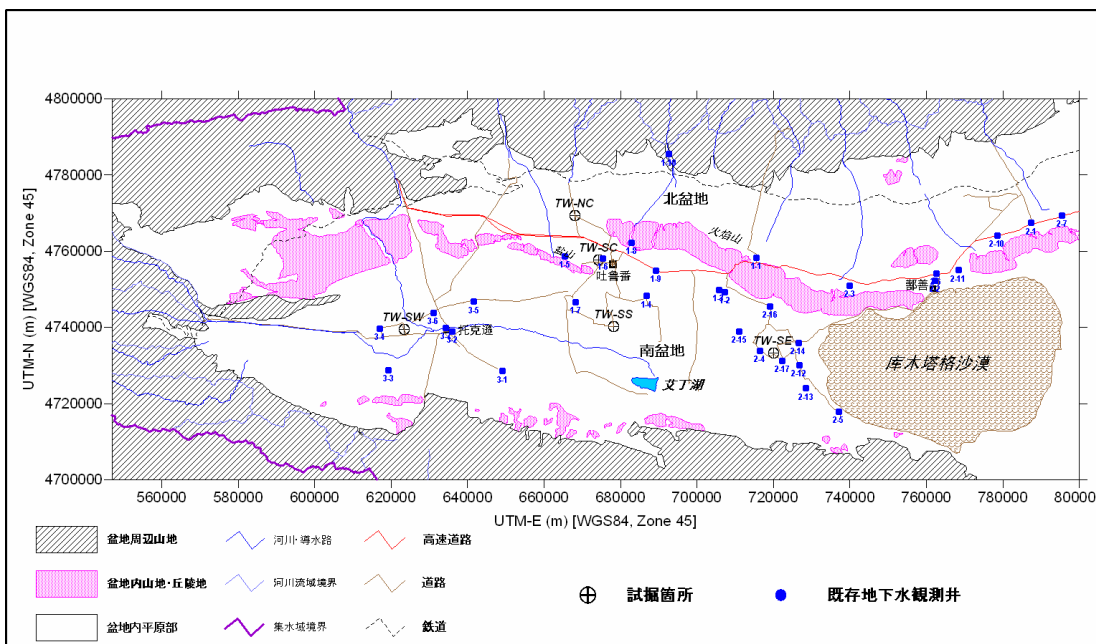


図 7.1 トルファン盆地既存地下水観測井分布図

#### 7.1.2 JICA観測井

本調査では南盆地で 4 箇所、北盆地で 1 箇所の計 5 箇所を試掘調査を実施し、合計 9 本の新規地下水観測井を設置した。このうち、南盆地の試掘箇所では、浅層部の地下水

と深層部の地下水のそれぞれについて地下水位と水質を観測するために、1箇所あたり2本の観測井を設置した（表 7.1参照）。

表 7.1 JICA 観測井一覧表

試掘地点名	観測井番号	掘削深度 (m)	井戸深度 (m)	スクリーン深度 (m)	スクリーン総延長 (m)
TW-SE	TW-SE-1	245.9	216.0	190.0-210.0	20.0
	TW-SE-2	70.0	70.0	54.0-66.0	12.0
TW-SC	TW-SC-1	409.3	391.0	345.0-354.0 376.0-385.0	18.0
	TW-SC-2	130.0	130.0	110.0-124.0	14.0
TW-SS	TW-SS-1	253.4	221.0	191.0-215.0	24.0
	TW-SS-2	50.0	50.0	30.0-48.0	18.0
TW-SW	TW-SW-1	301.4	288.0	268.5-282.0	13.5
	TW-SW-2	66.0	66.0	42.0-60.0	18.0
TW-NC	TW-NC-1	400.4	390.0	360.0-384.0	24.0

#### a. 水位測定方法

9本のJICA観測井のうち、南盆地南部に設置したTW-SS-1観測井と西部のTW-SW-1観測井は自噴井であり、被圧地下水頭が観測井の管頭よりも高い。一方、北盆地中央部に設置したTW-NC-1観測井では、掘削時の地下水位が地表面より約290mときわめて深い位置にある。そこで、JICA観測井については、次の3種類の方法で地下水位を観測することとした。

##### (1) 自記水位計による水位観測

上記の3本の観測井を除く6本の観測井にフロート式自記水位計を設置した。

##### (2) 自噴井における水位観測

TW-SS-1観測井およびTW-SW-1観測井では、掘削直後から地下水が自噴しており、自記水位計による地下水観測ができないことから、ケーシングパイプの管頭を密封し、そこから水位観測用のパイプを立てて水頭を測るようにした。

##### (3) 手動による水位観測

北盆地に設置したTW-NC-1観測井では、地下水位は地表面から約290mときわめて深い。中国国内にはこのような大深度の地下水位を測定できる自記水位計はない。そこ



で、本調査ではこのような大深度の地下水位を測定できる手動式水位計を作成し、2日に1回の間隔で地下水位を手動で測定した。

JICA 観測井は今後長期間にわたりトルファン地下水盆の地下水位を連続的に測定する重要な観測井となるので、自噴井の TW-SS-1 と TW-SW-1 観測井については、観測小屋を設置し、それ以外の観測井については観測箱を設置した(図 7.2写真参照)。



図 7.2 JICA 観測井の保護箱(TW-SC 地点)

## 7.2 既存観測井

トルファン盆地における長期地下水観測は、シャンシャン県で最も早く 1986 年 1 月から開始され、その後トルファン市では 1987 年 10 月から、トクソン県では 1988 年 1 月から始まった。

### 7.2.1 トルファン市

1987 年末から現在まで継続して地下水位が測定されている観測井は 3 本ある。これら 3 本の地下水位は地表面から 20~28 m の範囲で変動し、長期的には比較的安定しているものの、2000 年以降地下水位が徐々に低下している。2000 年および 2001 年の冬季には地下水位が大きく上昇したものの、2001 年夏季には大きく低下し、翌 2002 年も水位が低い状態が続いた。2003 年は地下水位が高いまま推移したが、2004 年の夏季には水位が大幅に低下している。

### 7.2.2 シャンシャン県

シャンシャン県では、多くの観測井で 1996 年頃から地下水位が大きく低下している。とくに、県南西部の南盆地に位置する観測井では 1996 年以降地下水位が年々低下し、2004 年夏季には水位が異常に低下していることが観測された。2004 年夏季に地下水位が地表面から 45 m 付近まで低下している。県南西部では、1996 年から 2004 年までの地下水位低下量は 15 m 近く低下している。

一方、シャンシャン県市街地から東部にかけての北盆地南縁部においても、1990 年代後半から水位が低下しはじめ、2000 年以降はその傾向が顕著になっている。この地域では、過去 10 年間に地下水位が 5~10 m 低下している。

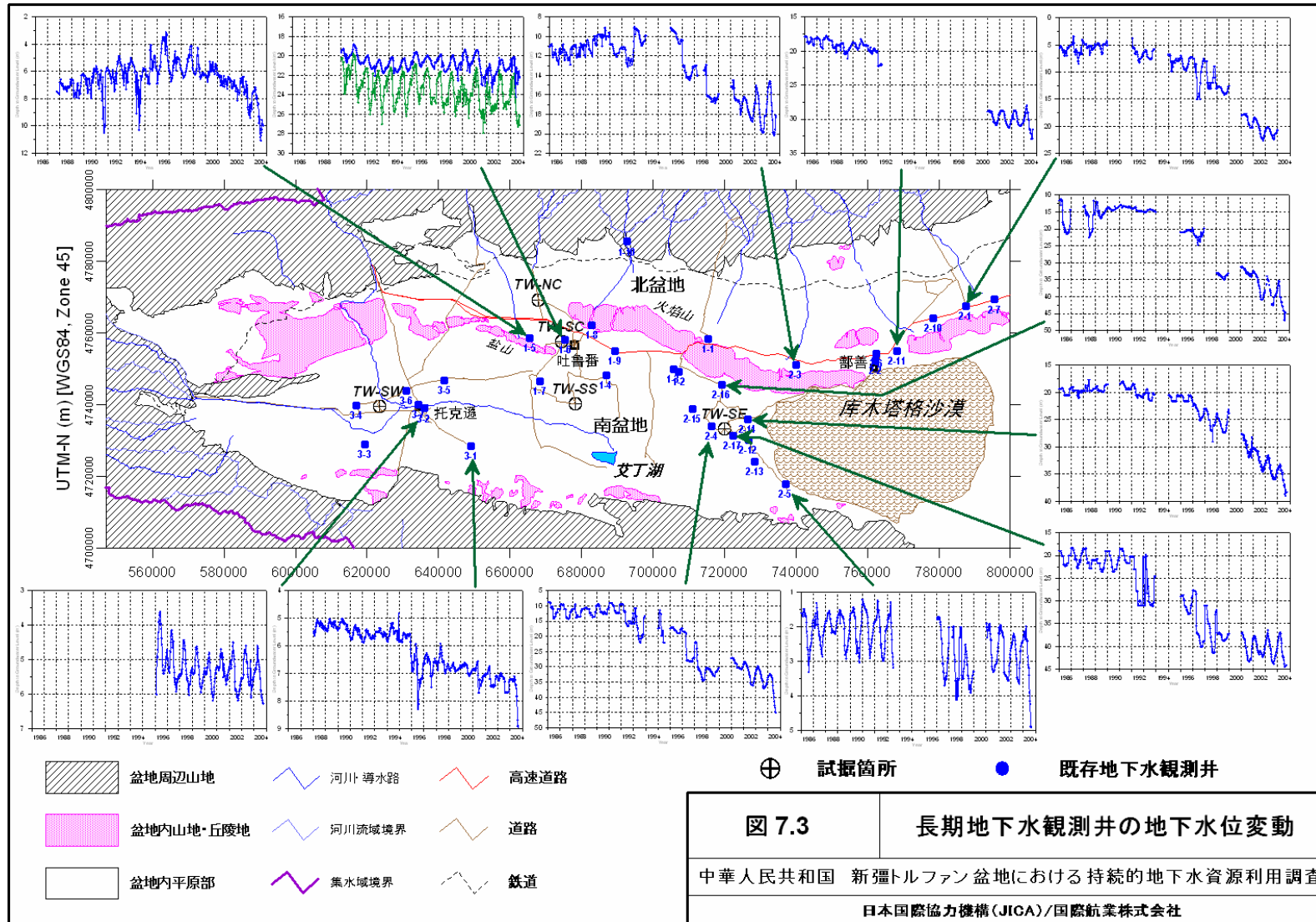
### 7.2.3 トクソン県

長期的な地下水位変動をみると、シャンシャン県のような大幅な地下水位低下はみられないが、1996年頃から地下水位が徐々に低下している傾向が認められる。II-3-1 観測井では1995年までは地下水位が深度6m以内であったが、1996年以降、約10年間で1~3m水位が低下している。

トクソン市街地よりも上流側に位置する観測井では地下水位の変動幅が4m程度と大きく、しかも2003年の夏季に比べて2004年の夏季には水位が2~3m低下した。

また、図7.3にはトルファン盆地において比較的長期間にわたり観測が実施されている主要な地下水位観測井の地下水位変動記録を示す。

7-7



### 7.3 JICA 観測井

本調査で設置した JICA 観測井では、井戸建設および揚水試験が終了した後、地下水位観測を開始した。観測開始時期は、早いもので 2004 年 11 月からである。

図 7.4には、吐魯番市街地近郊の TW-SC-2 観測井で自記水位計により記録した地価水位変動記録を示す。この観測井では、2004 年 9 月に揚水試験を行った時点では、周囲の既存井戸の揚水によると思われる水位変動が観測されたが、2004 年 12 月からの自記水位計による観測開始後にはそのような変動は現れていない。

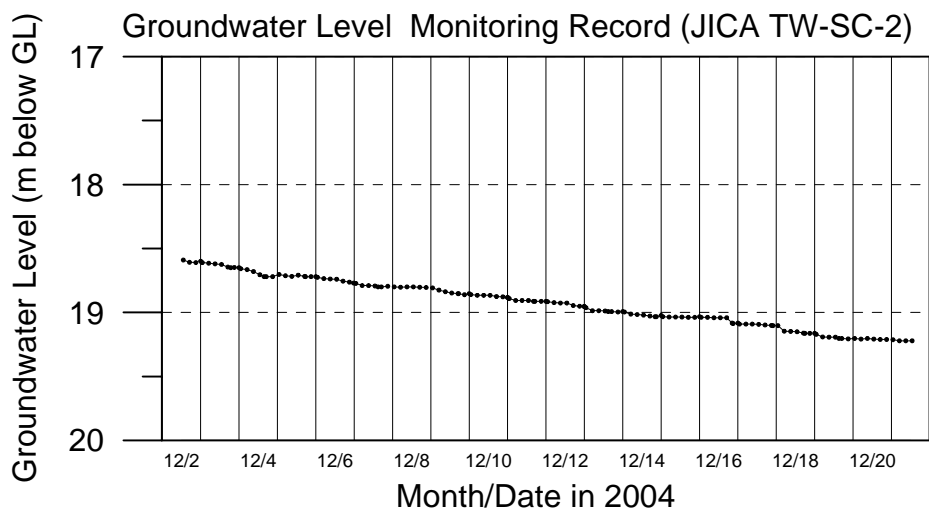


図 7.4 JICA 観測井 TW-SC-2 における地下水位自記記録

## 7.4 地下水位の平面分布

### 7.4.1 地下水位の深度分布図

図 7.5には、既存観測井の地下水位測定結果をもとに作成した地下水位深度分布図を示す。これによると、南盆地では南から北に向かって地表面から地下水位までの深度が大きくなり、火焰山の南縁部では地下水面深度が 40 m 以上となる。とくに、鄯善県南西部の达朗坎地区では地下水位深度が 40 m 以上の部分が多く、火焰山近くの吐峪沟付近では 70 m と大きくなる。北盆地では、地形面が北に向かって上昇するのに対し、地下水面は地形面よりも緩い傾斜で徐々に上昇するため、地下水位までの分布深度は北盆地中央部から北部で大きくなる。

### 7.4.2 地下水位の標高分布図

図 7.6には、既存観測井の地下水位測定結果をもとに作成した地下水位の標高分布図を示す。これによると、南盆地ではアイディン湖を中心に地下水位標高が-150 m 以下と低く、そこから同心円状に地下水位標高等値線が分布している。したがって、南盆地ではアイディン湖付近の地下水位標高低下部に向かって地下水が流動していることになる。

地下水位標高はトルファン市街地付近から北盆地に向かってさらに高くなるが、地形面標高の勾配に比べて地下水面標高の勾配は小さい。

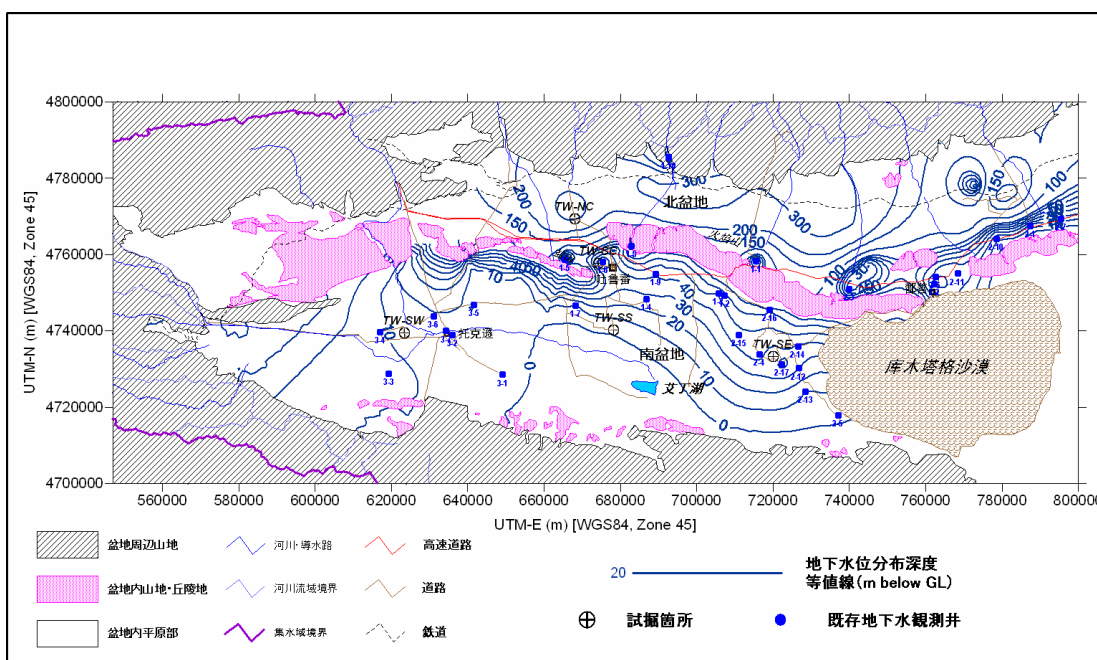


図 7.5 地下水位深度分布図(2004年8月16日)

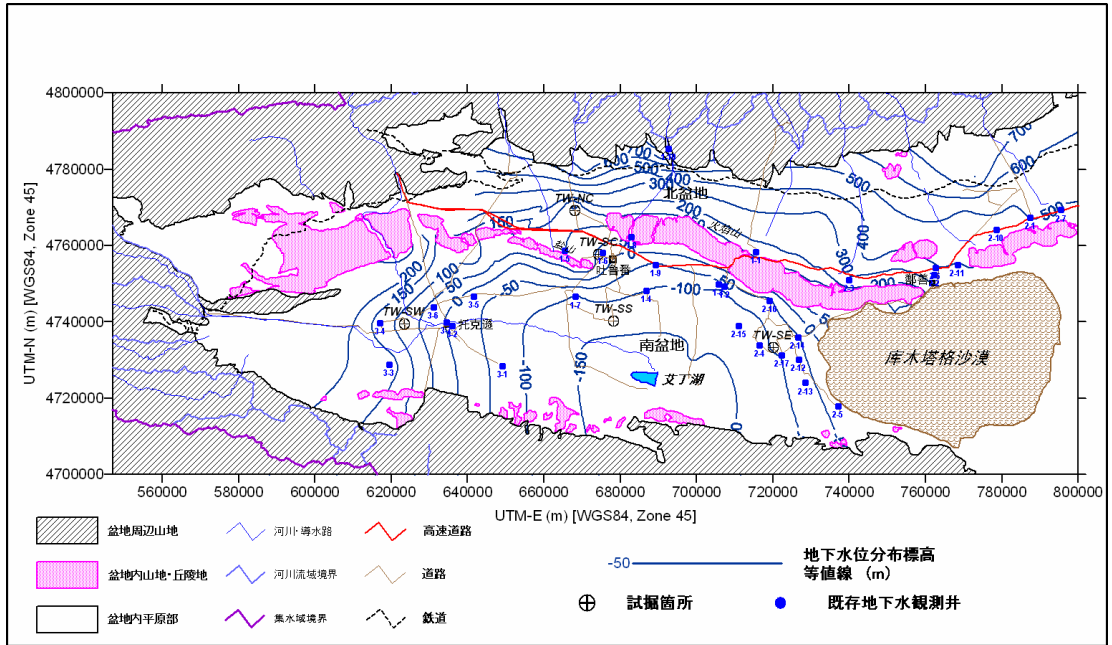


図 7.6 地下水位標高分布図(2004年8月16日)