

10. 水資源管理基本計画

10 水資源利用管理基本計画

10.1 トルファン盆地の水収支

トルファン盆地は閉鎖性盆地であり、盆地内の降雨量は年平均 16 mm と極めて少なく、水資源涵養はすべて山地部における降雨から形成される河川流入量と基盤山地からの浸透量から成る。盆地内では、水資源は農業灌漑を中心に生活用水、工業用水及びその他の目的で利用されると同時に地形に沿って、盆地中心部の艾丁湖（アイディン湖）へ流れ、最終的に艾丁湖で蒸発によって消費される。水資源利用のうち、特に、灌漑用水の一部は再び地下に浸透し、地下水揚水により反復利用される。トルファン盆地の現況水収支を下図に示した。各種の中間過程を省略し、全体流入量と全体流出量と比較すれば分かるように、現況では流入量（河川流入量+地下水流入量）12.7 億 m³ に対して、流出量（水利用蒸発量（主に灌漑地蒸発量）+導水路蒸発量+地下水蒸発量）が 15.1 億トンであり、2.4 億トンの赤字が生じている。このような水収支の概要を念頭にトルファン地区の水資源利用・管理基本計画を策定する。

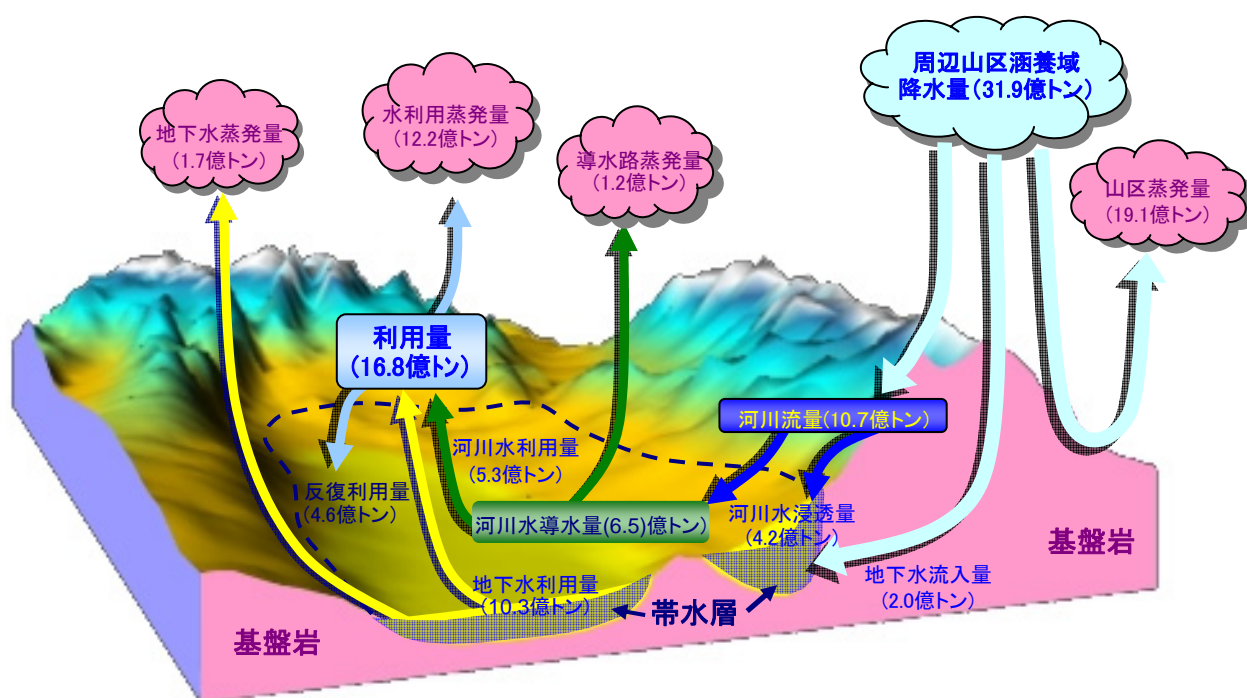


図 10.1 トルファン盆地の現況水収支

各量の説明：

- ・ 降水量 31.8 億トン：水文解析結果
- ・ 河川流量 10.7 億トン：水文解析結果。14 本通年河川 9.9 億トン、導水不可能な季節河川 0.8 億トンとの合計。
- ・ 河川導水量 6.5 億トン：水文解析での調査結果。
- ・ 河川山前浸透量 4.2 億トン：河川流量(10.7)－河川導水量(6.5)。
- ・ 山区の蒸発量 19.1 億トン：降水量(31.8)－河川流量(10.7)－地下水流量(2.0)
- ・ 地下水流入量 2.0 億トン：基盤岩からの流入量(1.6)+伏流水 (0.4)
- ・ 導水路蒸発量 1.2 億トン：導水路面積×蒸発能×導水時間。
- ・ 地下水利用量 10.6 億トン：井戸揚水(6.4)+カナート(2.7)+泉 (1.5) =10.6 億トン
- ・ 利用量 16.8 億トン：河川水 (6.5) +地下水利用量 (10.3) =16.8 億トン。
- ・ 反復利用量 4.6 億トン：水文解析の結果をモデルで修正した結果 (10.6.6 節参照)
- ・ 水利用蒸発量 12.2 億トン：利用量(16.8)－反復利用量(4.6)=12.2 億トン
- ・ 地下水蒸発量 1.7 億トン：艾丁湖面積×蒸発能

10.2 水資源利用管理の現状と課題

10.2.1 水資源利用の現状

2003年におけるトルファン地区の水資源利用内訳は表 10.1に示すように年間総利用量は約 16.8 億 m³である。このうち、約 97%は農業用水とその他用水（林業、牧畜用水）が占めている。

河川水は約 6.3 億 m³で利用量の 37.7%を占める。一方、地下水利用は井戸、泉、カナートを合わせて約 10.4 億 m³（62.3%）にもなり、このうち井戸による地下水利用は地表水とほぼ同じの約 6.4 億 m³で 38.3%を占めている。現在のトルファン地区の水資源は全体として河川水よりも地下水に依存する割合のほうが高い。

表 10.1 トルファン地区における水資源利用量内訳(2003 年)

単位：百万 m³

	農業	工業	生活	その他	合計
河川水	631.9	0.5	5.2	8.8	646.4
泉	80.7	--	8.1	59.0	147.8
カナート	135.2	--	2.0	102.4	239.6
井戸水	601.4	12.7	19.8	7.6	641.5
合計	1449.2	13.2	35.0	177.9	1675.3
割合	86.5%	0.8%	2.1%	10.6%	100%

注：その他の大部分は冬季(11月～3月)でのカナートや泉の放流水もあり、一部ダムからの損失、林業、牧畜業、養魚、観光等によるものもある。

農業用水の県・市別内訳は、トルファン市とシャンシャン県が多く、トクソン県は少ない。トルファン市とシャンシャン県では泉、カナート、井戸による地下水利用が多く、トクソン県では河川水利用量が多い。

表 10.2 農業用水の県・市別内訳(2003 年)

単位：百万 m³

	トクソン	トルファン	シャンシャン	合計
河川水	226.3	211.2	194.3	631.9
泉	4.3	71.1	5.3	80.7
カナート	28.4	60.8	46.0	135.2
井戸水	82.0	211.9	307.6	601.4
合計	341.1	555.0	553.1	1449.2
割合	23.5%	38.3%	38.2%	100%

地表水資源の現況利用率は全体で約 70%である。今後さらに地表水の利用率を上げることは可能ではあるが、トルファン地区の地表水資源としては一定の限界がある。

表 10.3 大流域別水資源量、河川流量と現況利用量

単位：10⁸m³

流域	地表水資源量	河川流量	利用可能河川流量	現況利用量	利用率
トクソン2河流域	0.666	3.858	3.910	2.263	57.9%
ト・シャン7河流域	4.873	5.110	4.976	3.912	78.6%
坎尔其河流域	0.545	0.545	0.289	0.289	100%
庫木塔格砂漠地域	0.053	0.053	0	0	0%
全区	6.137	9.566	9.175	6.464	70.5%

地下水資源は、トルファン地区西部では地下水位が浅く自噴地域も見られる。現在の利用量自体も少ないため開発余力はあるが、中部及び東部では急激な地下水利用量の増加に伴い地下水位の低下やカナートの枯渇など障害が起きている。このため今後は、地表水と地下水を一体化させた合理的な水資源管理を行い、貴重な地下水資源を守りつつ持続的かつ有効に利用することが重要である。

10.2.2 地下水資源の保全と適正利用

現状では、井戸による地下水利用量のほとんどは農業用水に使用されている。地下水揚水量の多い、トルファン市やシャンシャン県の南部では経年的な地下水位低下が発生し、カナートの大半が枯渇するに至っている。また、水位低下や水質の悪化に伴い住民移転を余儀なくされる地域や砂漠化が進行している。

過去10年間の地下水揚水量は、1994年の3.16億m³から2003年の6.41億m³へと倍増している。地下水の過剰揚水は、井戸の相互干渉、自噴停止、揚水量の減少、地下水位の異常低下、地盤沈下や水質の悪化などの障害を発生させ、水利用だけではなく環境に対しても大きな影響を与えている。トルファン盆地では、過去10年間の急激な地下水揚水量の増加により、トルファン市とシャンシャン県南部では地下水位が20m以上低下した地点があり、さらに低下の範囲は広域化しつつある。

トルファン地区の浅層地下水帯水層はTDSと硫酸イオン濃度が高い傾向を示し、砒素濃度もWHOガイドラインとの比較で見ると、浅層帯水層から取水している井戸に問題が多い。トルファン地区の井戸建設工事では、一般的に井戸側壁の遮水は行われていないため、深層地下水を汚染する可能性がある。

10.2.3 節水技術の普及

トルファン地区では地表水、地下水ともに今後は一方的な水需要増加に見合うだけの供給量を確保することは困難である。そのため農業用水の節水はトルファン地区においても、国の方針のもと今後積極的に推進していくことが極めて重要な課題である。

トルファン地区ではおいては、幹線水路からの浸透防止は、かなりの進捗をみている。また、圃場灌漑技術の改善として、低圧管道灌と微灌がトルファン市とシャンシャン県で実施され、トルファン市においては微灌（滴灌）の成功事例も見られる。現状では、節水技術の研究、調査設計、施設建設、機器、運営維持管理、費用と効果等全ての点で問題が多いが、将来は、多種多様な節水技術について十分な分析評価を行い、普及を進めていく必要がある。

10.2.4 生態環境の保全

1986 年以来トルファン盆地では砂漠化が進行し、その面積は西へ向かって絶えず拡大している。一方、過去数年にわたりトルファン地区で行われてきた植生保護及び人口植樹等の植生回復対策の効果により植生面積は増加している。

1986 年～2004 年までの 18 年間に土壤塩類集積面積は拡大したが、とくに 1998 年から 2004 年間は、トクソン県で塩類集積が拡大している。この地域では、今後地下水位の低下により土壤塩類集積の軽減を計る必要がある。

現在のアイディン湖は既に涸れる寸前の状態となっている。アイディン湖の現在の姿は地質時代を経て形成され、次第に縮小してきたのであり、近年は気候変動や水資源利用の増加がその縮小傾向を加速させ、変動要因となっている。湖面の変化とそれに伴う周辺生態環境は、地表水や地下水の流入と密接に関連している。

2004 年時点カナート数は 420 本あり、カナートの実態調査を行った結果、420 本のうち 89 本のカナートは実質的に利用が不可能であった。カナートはほとんどが農業（灌漑・畜産）用に利用されているが、地下水位低下の激しい地域では利用が不可能になっている。カナートは文化的資産あるいは伝統的な水文化として重要性が高いが、今後は保護域を設定し、水文化と伝統の貴重さを残していく必要がある。

10.2.5 地下水モニタリング

地下水の合理的、科学的な利用と管理を行うためには、直接目に見えない地下水を把握するツールとしての地下水位・水質観測井を確立し、定期的なモニターを行うことが基本となる。その役割は地下水位と水質の変動を継続的に観測（監視）して、地下水盆における過剰な地下水揚水による地下水位低下や水質の悪化を防止することにある。究極的には、本計画で設定された「許容限界水位」が守られているかどうかを監視することである。従って、地下水位や水質のデータは、本調査により構築され、トルファン地区水利局に設置された GIS データベースと地下水シミュレーションモデルを結合させて、地下水開発利用・管理計画の見直しや策定に有効に利用される必要がある。

トルファン地区の地下水モニタリングは既存観測井群と JICA 観測井を継続的かつ定期的に観測していくことである。さらに将来的には、地下水利用の動向を考慮しつつ、深層地下水観測井を拡充していくことも必要になると考えられる。

10.3 社会経済フレーム

トルファン地区の水資源需要の将来を大きく決定するマクロ的因子は人口と経済成長である。トルファン地区では総生産額のうち農業生産の占める割合は 2003 年統計によるとサービス業を含め 19% にすぎない。しかし、農業用水使用量は全体水利用量の 90% 以上を占めており、経済成長に伴い一次産業（農業）の割合がどのようになり、そして農業用水利用がどうなっていくかがトルファン地区の水資源需要を決定する最大の因子となる。そこで、本調査では人口及び GDP(国内総生産)に基づき、灌漑面積の将来予測を行った。

10.3.1 人口

a. 総人口

2004年現在におけるトルファン地区の人口は約57.6万人であり、過去10年間（1994年以降）の年平均人口増加率は1.33%である。トルファン地区における将来総人口の推移は次の3ケースについて行った。

- ① ケース1：人口増加率は次第に漸減するものの、2020年時点で年1.10%程度の増加率を維持する場合（人口増加数最大値）
- ② ケース2：ケース1・ケース3の中間値（各年の人口増加数が両ケースの中間値を取りながら推移する場合）
- ③ ケース3：人口増加率の低減が比較的速く進行し、2016年前後をピークに人口が減少に転じる場合（人口増加数最小値）

表 10.4 将来人口推移(ケース1)

	トクソン県	トルファン市	シャンシャン県	地区総計
2004年	109,473	258,295	208,027	575,795
2010年	113,723	277,379	240,210	631,312
2015年	118,129	292,551	259,104	669,784
2020年	122,535	307,723	277,998	708,257

表 10.5 将来人口推移(ケース2)

	トクソン県	トルファン市	シャンシャン県	地区総計
2004年	109,473	258,295	208,027	575,795
2010年	113,072	270,147	230,080	613,299
2015年	116,900	278,906	239,989	635,795
2020年	120,569	285,884	247,407	653,860

表 10.6 将来人口推移(ケース3)

	トクソン県	トルファン市	シャンシャン県	地区総計
2004年	109,473	258,295	208,027	575,795
2010年	112,420	262,916	219,950	595,286
2015年	115,672	265,260	220,875	601,806
2020年	118,603	264,045	216,815	599,463

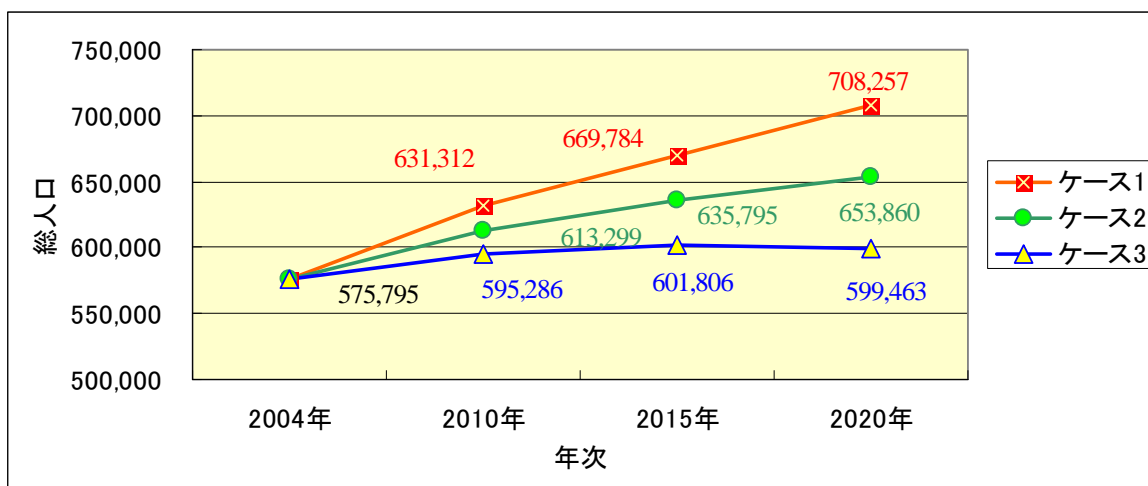


図 10.2 3 ケースにおける将来地区総人口の推移

b. 都市人口・農村人口

各ケースにおける都市・農村人口各々の割合はいずれのケースにおいても年の経過と共に都市人口率が増加し、2020年にはケース1で地区総人口の49.3%、ケース2で地区総人口の48.7%、ケース3で地区人口の48.1%が都市人口となる。そのほか、3ケースの相違点としては、農村人口の実数の増減があり、2004年～2020年の間に、ケース1では2万0千人弱増加するが、ケース2では4千人強、ケース3では2万9千人弱、それぞれ減少する。

10.3.2 GDP（国内総生産）

2004年現在、トルファン地区の地区総生産値は92.17億元（推計）であり、2003～2004年の成長率は10.5%であった。既存の計画資料を勘案し、本調査では表10.7に示すように3ケースを想定した。

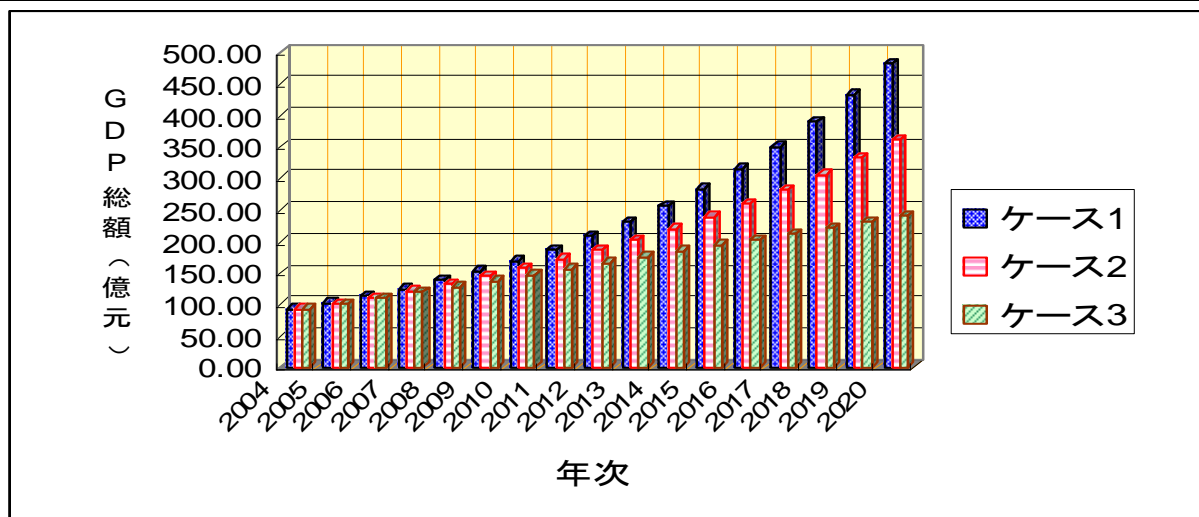
表 10.7 トルファン地区 GDP 成長の3ケース

	第一次産業
ケース1	高成長。一次・二次・三次産業がそれぞれ計画の7.50%・9.75%・14.50%で成長し、2010年・2020年各目標値約170億元・約480億元を共に達成する場合。
ケース2	中成長。2020年において、高成長の約75%の総生産値を達成する場合。
ケース3	低成長。2020年において、高成長の約50%の総生産値を達成する場合。

予測結果は表10.8に示す。

表 10.8 トルファン地区 GDP 成長 3 ケースの比較

GDP (国内総生産)	ケース1 (高成長)	ケース2 (中成長)	ケース3 (低成長)
2004年GDP値 (JICA調査団推計値)	92.17億元	92.17億元	92.17億元
2010年GDP値 (JICA調査団推計値)	169.07億元	157.74億元	146.41億元
2015年GDP値 (JICA調査団推計値)	283.63億元	238.77億元	193.90億元
2020年GDP値 (JICA調査団推計値)	481.35億元	361.01億元	240.67億元



GDP年平均成長率	ケース1 (高成長)			ケース2 (中成長)			ケース3 (低成長)		
2004-10年 (短期) のGDP年平均成長率	10.64 %			9.37 %			8.02 %		
2010-15年 (中期) のGDP年平均成長率	10.90 %			8.64 %			5.78 %		
2015-20年 (長期) のGDP年平均成長率	11.12 %			8.62 %			4.42 %		
産業別年平均成長率	一次	二次	三次	一次	二次	三次	一次	二次	三次
2004-10年 (短期) の産業別年平均成長率	7.50 %	9.75 %	14.50 %	5.66 %	8.02 %	14.53 %	3.65 %	6.13 %	14.57 %
2004-10年 (中期) の産業別年平均成長率	7.50 %	9.75 %	14.50 %	5.58 %	7.72 %	11.40 %	2.97 %	5.01 %	7.93 %
2004-10年 (長期) の産業別年平均成長率	7.50 %	9.75 %	14.50 %	5.53 %	7.60 %	11.06 %	2.17 %	3.94 %	5.67 %
年次別産業比率	一次	二次	三次	一次	二次	三次	一次	二次	三次
2004年の産業比率 (一次 : 二次 : 三次)	11.1 %	67.2 %	21.7 %	11.1 %	67.2 %	21.7 %	11.1 %	67.2 %	21.7 %
2010年の産業比率 (一次 : 二次 : 三次)	9.3 %	64.0 %	26.6 %	9.0 %	62.4 %	28.6 %	8.7 %	60.5 %	30.8 %
2015年の産業比率 (一次 : 二次 : 三次)	8.0 %	60.8 %	31.2 %	7.8 %	59.8 %	32.4 %	7.6 %	58.3 %	34.1 %
2020年の産業比率 (一次 : 二次 : 三次)	6.8 %	57.0 %	36.2 %	6.8 %	57.0 %	36.2 %	6.8 %	57.0 %	36.2 %

10.3.3 灌漑面積

新疆トルファン地区水利水電観測設計研究院実施の社会調査データに基づき、可能な限り妥当性のあるものを引用して各主要年の灌漑面積を次の3ケースについて予測した。

- ① ケース1：土地計画資料中で2030年目標とされている灌漑総面積を2020年に達成する場合
- ② ケース2：土地計画資料中で2030年目標とされている灌漑総面積¹を達成するように灌漑面積が伸びる場合。
- ③ ケース3：灌漑面積（地目構成を含む）が2004～2020年の間変化しない場合

ケース1およびケース2の違いは灌漑面積の増加率の違いである。

以上をまとめると、想定される灌漑面積ならびに水需要量のケース設定は、表10.9に示すとおりとなる。

表 10.9 灌漑面積および水需要量設定3ケースの比較

	ケース1	ケース2	ケース3
灌漑面積	大 (灌漑面積の伸び大)	中 (灌漑面積の伸び小)	小 (灌漑面積の伸び「ゼロ」)
想定される水需要量	大	中	小
灌漑面積算出方法	「統計年鑑」・「地区節水計画資料」・「流域計画資料」等既存計画のデータを精査し、主要年について妥当性のある数字を引用した。明かに誤りと思われる数字については調整を加えた。これらのデータを元に、回帰式（対数）を用いて各年の灌漑面積を予想した。		

各ケースにおける灌漑面積の推移は、表10.10に示すとおりである。

¹ 約180万亩。ただし、221兵团・裏作を含まず。

表 10.10 主要年におけるトルファン地区灌漑総面積予測

	地目	面積（万亩）			
		2004	2010	2015	2020
ケース1（灌漑面積大）	1. 耕地	67.14	84.37	89.54	93.07
	2. 葡萄	36.79	50.00	50.49	50.71
	3. 果樹園	5.75	8.20	9.03	9.66
	4. 人工林	14.04	22.00	26.38	29.44
	5. 人工草地	5.80	7.76	9.88	11.29
	6. （裏作）	19.14	25.59	25.48	26.94
	灌漑総面積	148.66	197.92	210.80	221.12
	ケース2（灌漑面積中）	1. 耕地	67.14	72.95	79.42
2. 葡萄		36.79	42.40	39.70	39.94
3. 果樹園		5.75	7.66	8.06	8.52
4. 人工林		14.04	21.40	21.60	22.86
5. 人工草地		5.80	6.41	7.08	7.28
6. （裏作）		19.14	22.04	23.39	25.07
灌漑総面積		148.66	172.86	179.25	185.15
ケース3（灌漑面積小＝不変）		1. 耕地	67.14	67.14	67.14
	2. 葡萄	36.79	36.79	36.79	36.79
	3. 果樹園	5.75	5.75	5.75	5.75
	4. 人工林	14.04	14.04	14.04	14.04
	5. 人工草地	5.80	5.80	5.80	5.80
	6. （裏作）	19.14	19.14	19.14	19.14
	灌漑総面積	148.66	148.66	148.66	148.66

（出典：新疆トルファン地区水利水電観測設計研究院、JICA 調査団推計）

10.4 水需要予測

水需要予測は生活用水、工業用水、農業用水及び其の他用水（環境用水等を含む）に分け、県・市単位で行った。しかし、東部のシャンシャン県は火焰山を挟んで北部は工業が、また南部は農業が発達しているため、二地域に区分した。

10.4.1 生活用水

生活用水量の水資源利用量全体に占める割合は地域により1～3.4%の間で変動するが、量としては少ない。予測では目標年における生活用水原単位を地域別に設定した。2020年における原単位は69.2～152.3リットル/人・日である。

社会経済フレーム予測で設定された人口推移ケース1の結果に基づくと2020年までの

各計画目標年における生活用水需要量は、表 10.11に示すとおりである。

表 10.11 2020 年までの生活用水量予測

単位：人口:万人、用水量原単位：リットル/人・日、用水量：万m³

縣市	年	全人口	用水原単位	生活用水量
トクソン	2005	10.96	51.86	207.5
	2010	11.65	57.62	245.1
	2015	12.43	63.39	287.5
	2020	13.19	69.15	333.0
トルファン	2005	26.1	114.3	1088.6
	2010	28.04	127	1299.4
	2015	29.77	139.7	1517.2
	2020	31.44	152.3	1748.2
シャン北	2005	13.29	81.65	396.1
	2010	14.22	90.73	470.9
	2015	14.95	99.8	544.4
	2020	15.63	108.9	621.1
シャン南	2005	9.45	76.58	264.1
	2010	10.11	85.08	314.0
	2015	10.63	93.59	363.0
	2020	11.11	102.1	414.1

10.4.2 工業用水

現況では各水資源利用セクターの中、工業用水量の割合は最も小さく、各地域でも0.2%～3%を占め、調査地域全体の水資源利用量から見るとわずか1%未満である。しかし、工業は過去10年間では調査地域で最も伸びている産業であり、将来計画においても高成長が予測されるので、ここで工業用水量の将来変化を検討した。

表 10.12 2020 年までの工業用水量予測

予測地域	予測年	工業生産高(万元)	用水量(万m ³)
トクソン	2004	29,234	108
	2010	57,700	213
	2015	101,690	263
	2020	179,200	397
トルファン	2004	68,545	164
	2010	121,400	290
	2015	195,500	327
	2020	314,900	452
シャン北	2004	70,624	1,020
	2010	132,063	1,063
	2015	222,563	1,079
	2020	375,063	1,127
シャン南	2004	42,375	29
	2010	79,238	54
	2015	133,538	64
	2020	225,038	92

10.4.3 農業用水

農業用水の予測に当たっては地域別に灌漑用水利用率を設定した。

表 10.13 2020年までの灌漑用水利用率の設定結果

予測区分	トクソン	トルファン	シャン北	シャン南
現況灌漑用水利用率	60 %	64 %	43 %	49 %
2020年の利用効率	70 %	74 %	58 %	64 %
利用率の向上率	10 %	10 %	15 %	15 %

灌漑用水利用率と社会経済フレーム設定に基づき、各ケース毎の灌漑用水量を予測した（表 10.14）。

表 10.14 将来灌漑用水量予測結果

単位：百万m³

予測条件		トクソン	トルファン	シャン北	シャン南
現況	正味灌漑量	204.6	354.9	123.3	132.0
	実際灌漑利用量	341.1	555.0	283.7	269.5
ケース1 農地面積の 増加幅が大	正味灌漑用水量	275.7	451.5	171.5	182.1
	実際灌漑利用量	459.6	706.0	394.7	371.8
	(水資源利用効率が現況維持)	135%	127%	139%	138%
	実際灌漑利用量 (水資源利用効率が改善)	393.8	610.1	295.7	284.5
	(水資源利用効率が改善)	115%	110%	104%	106%
ケース2 農地面積の 増加幅が中	正味灌漑用水量	232.6	386.6	135.3	143.6
	実際灌漑利用量	387.9	604.5	311.4	293.3
	(水資源利用効率が現況維持)	114%	109%	110%	109%
	実際灌漑利用量	332.3	522.4	233.3	224.4
	(水資源利用効率が改善)	97%	94%	82%	83%

各ケース下段のパーセンテージは現況灌漑用水量に対する比率

灌漑用水の利用効率は将来灌漑用水量に大きく影響するため、全域で節水対策により灌漑用水の利用効率を改善する必要がある。

10.5 許容揚水量と許容地下水位(持続的地下水利用量)

10.5.1 許容地下水位・許容揚水量の概念

「許容揚水量」とは、「その地域の住民が、地下水揚水により受ける利益や損失を勘案して、受け入れることのできる地下水揚水量」と定義される（水収支研究グループ、1972）。すなわち、「許容揚水量」とは、地下水盆の水収支的な均衡という自然科学的な観点だけではなく、地下水揚水によってその地域の住民に生じる利益と損失のバランスを考慮するという社会科学的な観点も含んだ概念である。

10.5.2 許容揚水量のマスタープラン策定への適用

トルファン地区の地下水資源利用管理計画に具体的に適用するため、地下水シミュレーションモデルによる将来予測解析を行い、許容地下水位を守るための許容揚水量を算出する。

10.6 広域三次元モデルによる予測

10.6.1 地下水揚水計画案

地下水揚水計画案は基本案と評価用案に分け、計 13 種類を作成した。

評価案の計算結果を分析し、水資源管理計画に決められた管理目標の実現に向かって、最適案 2 ケースも作成した。

a. 予測期間とデータ基本データ

予測期間は 2004 年～2020 年の 17 年間である。各予測年の水資源需要量（WD）は社会経済フレーム設定の結果に従って、人口変動、農地面積増加、灌漑用水量原単位の変化、節水灌漑の実施等の因子を組み合わせて求めた。将来の河川水の利用可能量は、水文解析で求めた過去 10 年間（1994 年～2003 年）の河川水量を元に作成した。また、泉流量及びカナート流量についても検討した。

b. 予測に考慮した基本因子

予測に考慮した基本因子は、農地栽培面積の変化、灌漑用水量原単位変化、水資源利用効率の変化、節水灌漑による灌漑用水量の変化である。

10.6.2 基本案

a. 現況維持案

生活以外の用水量は現状維持で固定、生活用水量の増加分は井戸揚水量で賄う。ただし、生活用水量は各予測区分において増加する。

b. 最危険案

揚水量変動に関連する全ての因子に揚水量増加因子を取り入れた案である。

- ・ 人口変動（生活用水）：「現況維持案」と同じ
- ・ 農業生産面積：最大増加計画に従う
- ・ 灌漑用水量原単位：現況維持（改善なし）
- ・ 水資源利用効率：現況維持（改善なし）
- ・ 節水灌漑：現況維持（普及しない）

c. 全計画実施案

揚水量変動に関連する全ての因子はできる限り減少因子を取り入れた案である。

- ・ 人口変動（生活用水）：「現況維持案」と同じ

- ・ 農業生産面積：現況維持（増加しない）
- ・ 灌漑用水量原単位：社会経済調査でまとめた計画が実現
- ・ 水資源利用効率：トルファン水利局の計画に基づき設定
- ・ 節水灌漑：社会経済予測調査でまとめた普及は計画が実現

10.6.3 各対策因子評価案

基本案を初め、各種の案や計算ケースを基に、揚水量と涵養量変化の条件を与え、シミュレーションで地下水環境の変化を検討し、水資源管理目標の達成できる揚水量（許容揚水量）がそれらの案の中から求められれば、その揚水量を達成するために、どの案に含まれた対策措置を実施するべきかを検討できる。本調査では、農地面積増、灌漑用水量原単位減、水資源利用効率の向上及び節水灌漑事業の実施の4つの主要因子に関して、評価する案を作成した。さらに、トルファン地区の既存ダム計画に基づきそのダムによる新增水量の利用法に関する案をも2つ加えた。

10.6.4 導水事業の効果検討

対策因子評価ケースの基本設定の上に阿拉溝河ダムによって、2011年から導水事業を実施する条件下で、トクソン県導水案とシャンシャン県導水の2案について導水効果を検討した。

以上の各案における2020年の予測区別年間揚水量変化は図10.3に示す。

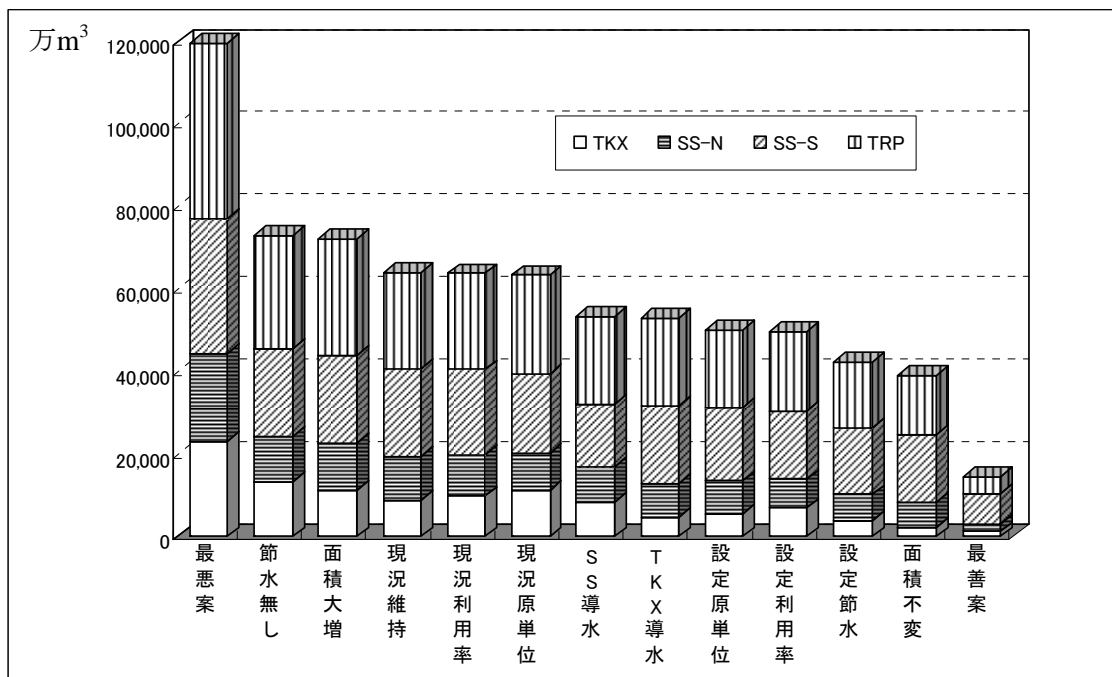


図 10.3 各予測計算案条件下での予測区別井戸揚水量(2020年)

(TKX:トクソン県、SS-N:シャンシャン県北部、SS-S:シャンシャン県南部、TRP:トルファン市)

上述の13案の用水別内容は表10.15にまとめられる。

表 10.15 予測案一覧表

予測案		生活用水	農業用水				導水
		人口増加	耕地面積	灌漑 用水量	節水灌漑	水資源 利用効率	
1	現況維持案	増加	現状	現状	現状	現状	無し
2	全計画実施案			目標値	目標値	目標値	シャンシャン県 導水
3	最危険案	最大増加	最大増加	現状	現状	現状	無し
4	農地面積不変案	増加	現状	目標値と 現状値の 平均値	目標値と 現状値の 平均値	目標値と 現状値の 平均値	無し
5	農地面積増大案		最大増加				
6	灌漑用水量 原単位不変案		中間増加	現状			
7	灌漑用水量 原単位計画値案			目標値			
8	節水灌漑 未実施案		目標値と 現状値の 平均値	現状			
9	節水灌漑 計画値案			目標値			
10	水資源利用効率 現状維持案		目標値と 現状値の 平均値	現状			
11	水資源利用効率 計画値案	目標値					
12	トクソン県 導水案	増加	現状	現状	現状	現状	トクソン県 導水
13	シャンシャン県 導水案						シャンシャン県 導水

10.6.5 予測結果

a. 地下水位予測

13案による各地域別地下水位予測結果をまとめると表 10.16のようである。

表 10.16 各予測案の地域別評価

予測案	トクソン 県	トルファン市			シャンシャン県	
		南部	中央部	北部	南部	北部
1 現況維持案	○～△	△～○	△	△～○	×	△～○
2 全計画実施案	○	○	○～△	○	×	○～△
3 最危険案	△	○	×	×～△	×	×～○
4 農地面積不変案	○	△～○	△	△～○	×	△～○
5 農地面積増大案	△～○	△～○	△	×～○	×	△～○
6 灌漑用水量原単位不変案	△～○	△～○	△	△～○	×	△～○
7 灌漑用水量原単位計画値案	△～○	△～○	△	△～○	×	△～○

予測案	トクソン県	トルファン市			シャンシャン県	
		南部	中央部	北部	南部	北部
8 節水灌漑未実施案	△～○	△～○	△	×～○	×	△～○
9 節水灌漑計画値案	△～○	△～○	△	×～○	×	△～○
10 水資源利用効率現状維持案	△～○	△～○	△	×～○	×	△～○
11 水資源利用効率計画値案	△～○	△～○	△	△～○	×	△～○
12 トクソン県導水案	○	△～○	△	×～○	×	△～○
13 シャンシャン県導水案	△～○	△～○	△	△～○	×	△～○

○：上昇～現況維持、△：低下量小または一部地域で低下、×：低下量大または広範囲の低下

シャンシャン県南部ではいずれの案を実施しても程度の差はあるが地下水位は低下する。しかしながら、第13案では導水事業実施後地下水頭の低下が鈍化している。そこで、シャンシャン県南部では第2案（全計画実施案）以上の案を対策として実施する理想案を2案策定した。

a.1 理想案

理想案は、第2案（全計画実施案）を基本として、シャンシャン県で計画されている節水灌漑事業を全て南盆地で実施しようとするものである。予測結果では、図10.4に示すように、本案を実施してもシャンシャン県南部では2003年の地下水頭を維持することは難しい。しかし、図10.7の観測井（JICA観測井TWSE）の計算地下水頭変動のグラフが示すように徐々に地下水頭の低下は収まり安定してきている。また、既存観測井2-14の周辺では地下水頭は上昇に転じている（図10.6）。

a.2 最理想案

最理想案は、シャンシャン県南部においては2020年に達成する計画値の目標値を全て2015年に前倒しで達成させようとするものである。

2020年において、理想案よりも地下水頭の低下は小さくなるが2003年の地下水頭と比較すると低下量は大きい状態が続く（図10.5）。しかし、図10.6に示すように、既存観測井2-14の周辺では地下水頭の回復は大きくなり、JICA観測井TWSEにおいても地下水頭の低下量が小さくかつ安定する時期が早くなる（図10.7）。

このように、シャンシャン県南部においては、早急な地下水頭の低下の防止・回復は難しいが、できるだけ早く対策を実施しかつ長期的な目標をたてることによって、徐々にではあるが地下水頭は2003年近くの水準まで回復することも可能であろう。

b. 水収支予測

基本3案と理想案について、予測最終年である2020年のトルファン盆地内の地下水水収支を以下に示す。

トルファン盆地全体では、第1案（現況維持案）では2020年に地下水水収支は赤字、第3案（最危険案）では大幅な赤字、第2案（全計画実施案）および理想案で少しの黒字という状況である。

表 10.17 水収支予測(第1案;現況維持案)

流入量 (億m ³)		流出量 (億m ³)	
山側からの流入量	2.03	揚水量	6.38
垂直かん養量	4.63	カナートおよび平地部 泉の一部からの流出量	3.80

表 10.18 水収支予測(第2案;全計画実施案)

流入量 (億m ³)		流出量 (億m ³)	
山側からの流入量	2.03	揚水量	1.49
垂直かん養量	3.52	カナートおよび平地部 泉の一部からの流出量	3.94

表 10.19 水収支予測(第3案;最危険案)

流入量 (億m ³)		流出量 (億m ³)	
山側からの流入量	2.07	揚水量	10.83
垂直かん養量	5.63	カナートおよび平地部 泉の一部からの流出量	3.72

表 10.20 水収支予測(理想案)

流入量 (億m ³)		流出量 (億m ³)	
山側からの流入量	1.99	揚水量	1.39
垂直かん養量	3.61	カナートおよび平地部 泉の一部からの流出量	3.94

10.6.6 許容揚水量 (持続的揚水量)

トルファン盆地の地下水環境は地域によって異なっており、許容揚水量設定のための条件も地域毎に設定しなければならない。また、本地域には伝統的なカナート文化があり、その保護も視野に入れた条件設定が必要である。

トルファン市においては、トルファン市中心部のカナート保護・維持を許容揚水量設定のための要件とする。中心部の地下水位が維持されることによって、地下水流動の下流域であるトルファン市南部の地下水位も将来にわたって安定する。

シャンシャン県北部ではカナート保護区である連木沁地域を代表させて、カナート保護・維持のために現況の地下水位を維持させることを要件とする。

シャンシャン県南部においては、理想は最低でも現況の地下水位を維持することである。しかしながら、2020年までにその目標を達成することは極めて難しい。シャンシャン県南部の地下水資源を枯渇させないために、少しでも地下水位の低下速度を緩和させる必要があり、揚水量削減の達成可能な数字の上限であろう第2案の2020年の予測水位

を目標水位とする。

トクソン県においては、中心部から主要なカナート分布域にかけては地下水位の低下は発生しない予測結果となっている。また、その西方では小規模な地下水位の低下が発生するが農地の塩害対策という面から見れば、許容される低下量である。よって、中心部2の地下水位を現況維持することを目標とする。

以上の要件で求めた2020年の許容揚水量を表10.21にまとめた。なお、許容揚水量は2020年を達成目標とする揚水量でありシャンシャン県北部およびトクソン県は第1案の2020年の揚水量としている。また、シャンシャン県南部は第2案の2020年の揚水量である。トルファン市の揚水量は、観測井の地下水位と第2案および第9案の揚水量の関係から求めた。

表 10.21 許容要件と許容揚水量

地域	基準観測井 番号	現況 地下水位*		目標 地下水位*		許容要件		2020年
		(2003年)	(2020年)	(2020年)	(2020年)	備考	許容揚水量	
トルファン市	既存観測井 1-6	-18.2m	-18.2m	-18.2m	-18.2m	カナートの維持		1.07億m ³
		-19.6m	-19.6m					
シャンシャン県北部	既存観測井 2-3	-15.0m	-15.0m	-15.0m	-15.0m	カナートの維持		1.07億m ³
		-19.9m	-19.9m					
シャンシャン県南部	既存観測井 2-14	-31.5m	当初案	-31.5m	-31.5m	地下水位の維持		-
		-39.5m		-39.5m				
		-31.5m	修正後	-56.0m	-56.7m	全面的な地下水の枯渇の防	地下水位低下速度の緩和	0.74億m ³
		-39.5m						
トクソン県	既存観測井 3-2	-4.6m	-4.6m		現状維持 (開発余力を残す)	一部低下地域あり	0.91億m ³	
		-6.1m	-6.1m					

* 上段：最高水位、下段：最低水位

以上述べた目標地下水位による各地域の許容揚水量の合計、3.79億m³/年がトルファン盆地の持続的地下水利用量である。2020年目標への揚水量の段階的削減案は表10.22に示す。

表 10.22 段階的揚水量目標と削減率

単位：億m³/年

地域	2003年現況	2003年－ 2009年	2010年－ 2014年	2015年－ 2019年	2020年－
トルファン市	2.25	2.01 (10.7%)	1.96 (12.9%)	1.46 (35.1%)	1.07 (52.4%)
シャンシャン県北部	1.07	1.07 (0%)	1.07 (0%)	1.07 (0%)	1.07 (0%)
シャンシャン県南部	2.19	2.00 (8.7%)	1.54 (29.7%)	1.14 (47.9%)	0.74 (66.2%)

トクソン県	0.91	0.91 (0%)	0.91 (0%)	0.91 (0%)	0.91 (0%)
合計	6.42	6.00 (6.4%)	5.48 (14.6%)	4.58 (28.7%)	3.79 (41.0%)

上段：揚水量目標、下段：削減率

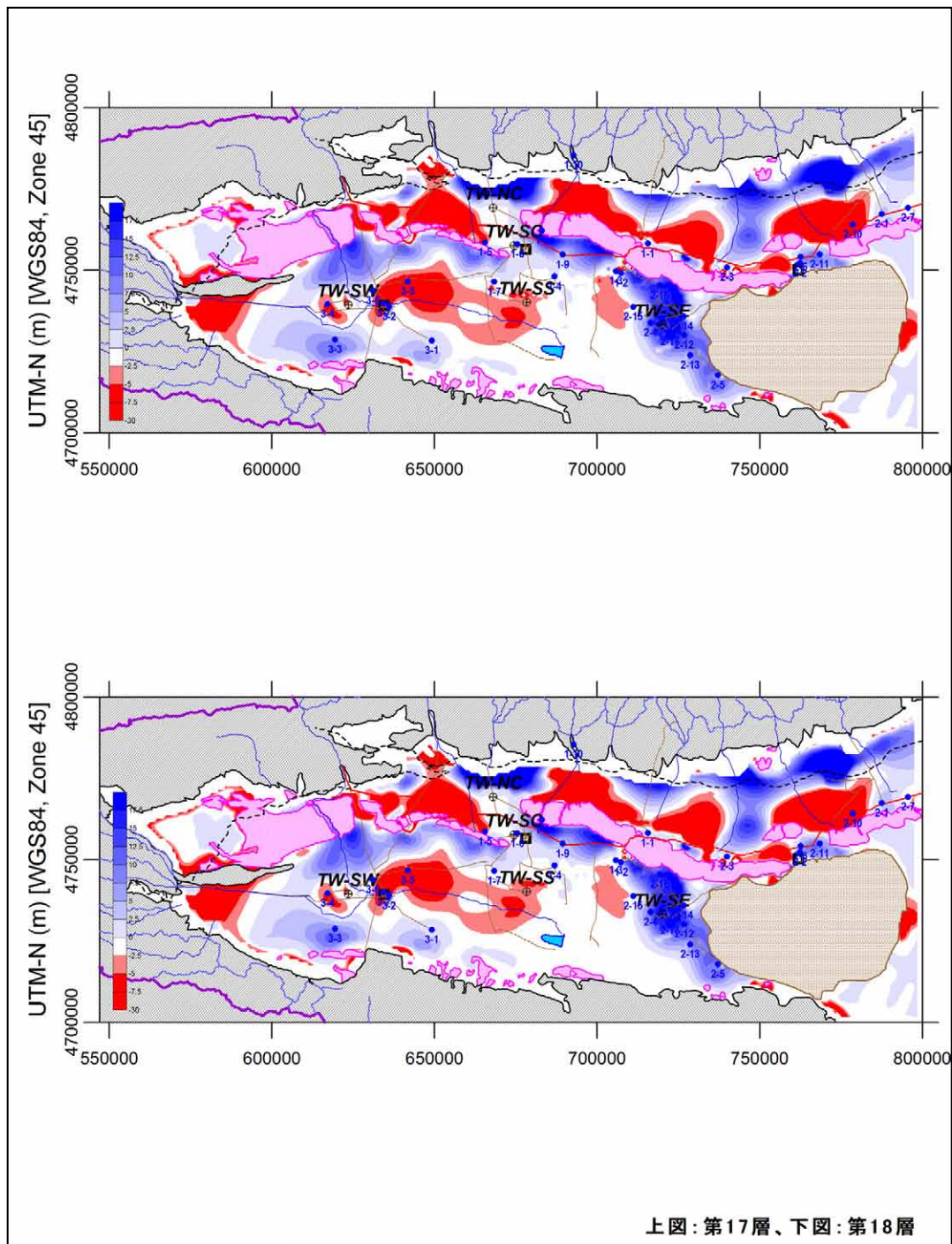


図 10.4 計算水頭分布(理想案)(2020年12月水頭と2003年12月水頭との差分)

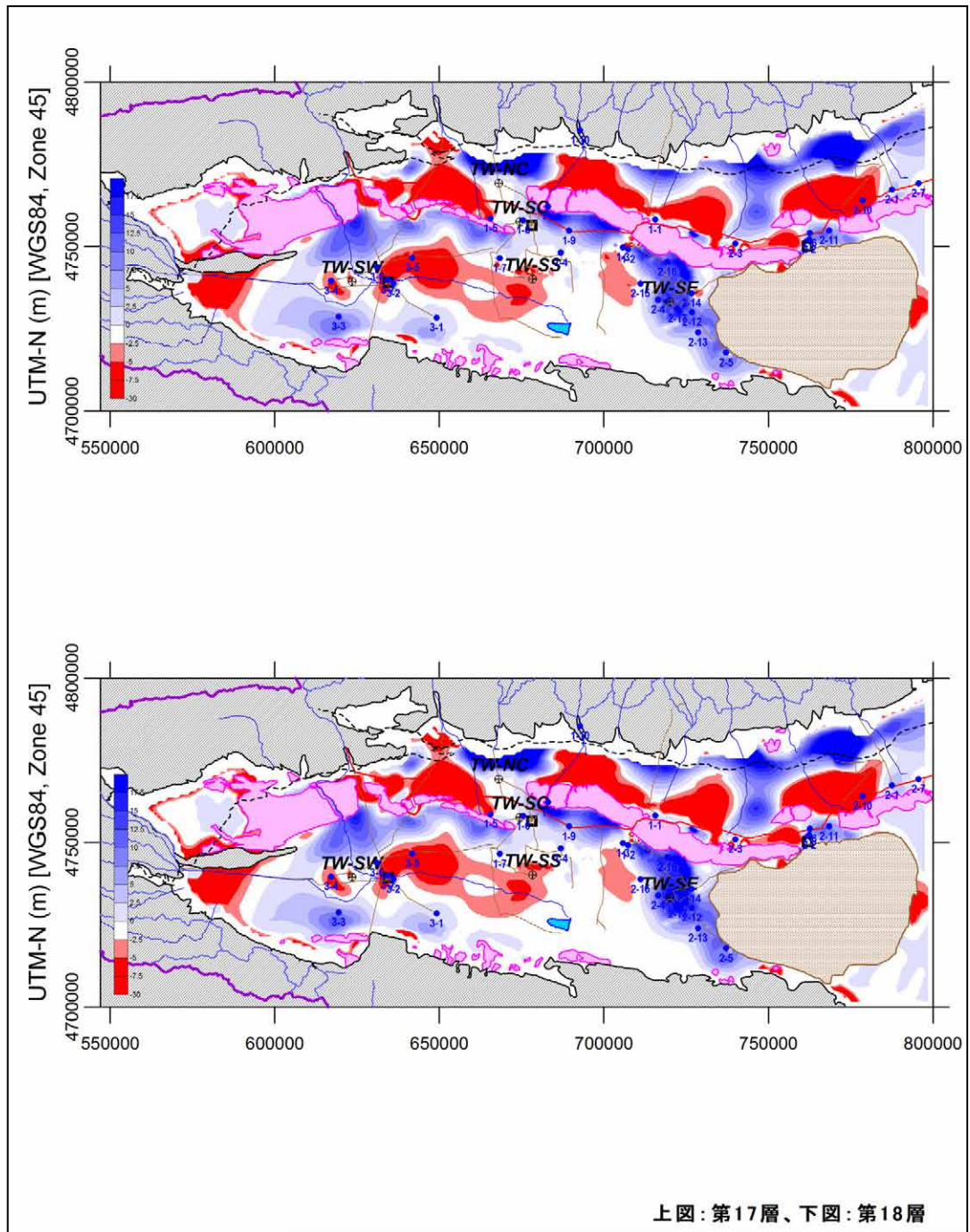


図 10.5 計算水頭分布(最理想案)(2020年12月水頭と2003年12月水頭との差分)

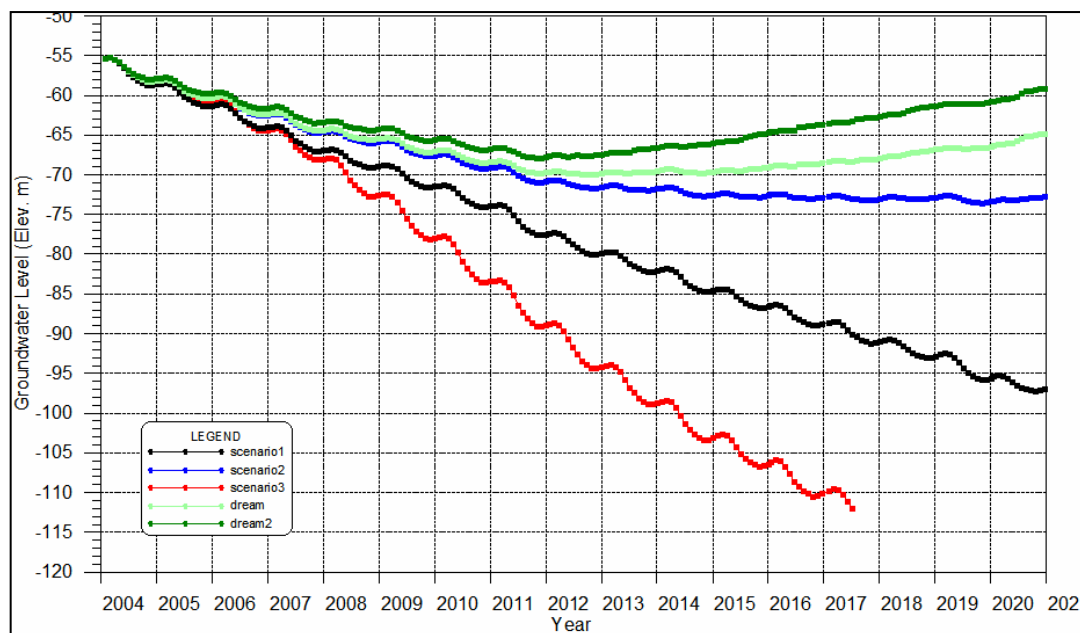


図 10.6 計算水頭変動(理想案・最理想案)(既存観測井 2-14、シャンシャン県;達浪坎郷)

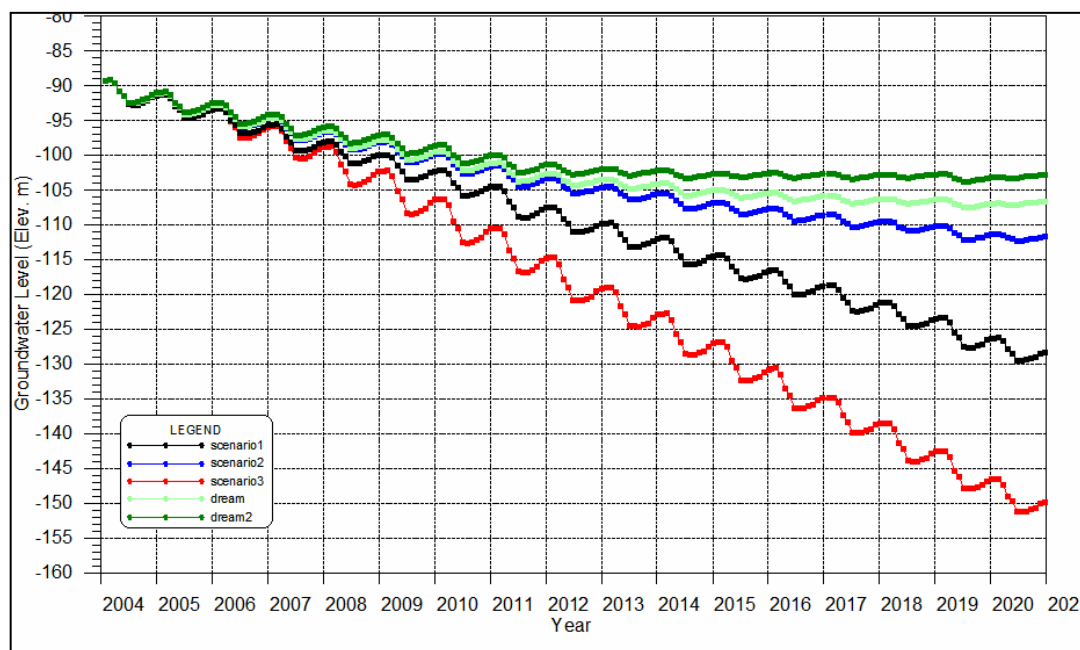


図 10.7 計算水頭変動(理想案・最理想案)(JICA 観測井 TWSE、シャンシャン県;達浪坎郷)

10.7 水資源利用管理施策と事業の展開

10.7.1 計画の基本目標

トルファン盆地とその流域を一体として地表水・地下水を統合して開発・管理し、将来に向かって水を守っていくため、本計画ではシミュレーション予測結果の持続的地下水揚水量評価をもとに基本目標を次のように設定する。

目標となる指標	目標年度・目標値	基準年・現在値
許容揚水量	2010年：5.48 億m ³ 2015年：4.58 億m ³ 2020年：3.79 億m ³	2003年：6.42 億m ³
節水灌漑による節水量	2010年：0.98 億m ³ 2015年：2.29 億m ³ 2020年：3.80 億m ³	2003年：0 億m ³

*節水灌漑による節水量は既存計画に基づく試算値

図 10.8 水資源利用管理計画(マスタープラン)の目標

10.7.2 基本方針

水資源利用管理基本計画（マスタープラン）の方針を以下の4項目とする。

a. 節水対策を推進する

トルファン盆地の水利用の97%は農業用水及びそれに関連する用水である。また、農業及び関連用水の地下水依存率はカナートや泉を含めると61.4%にも達している。地下水資源の現状を踏まえると、今後は地下水揚水量を一方向的に増加させることは出来ないのので、限りある水資源を出来るだけ有効に利用するため、農業用水、とくに圃場での節水を主なターゲットとした節水灌漑を推進する。

b. ダム開発により水源を増強するとともに、かん養促進により水源を保全する

トクソン2河流域の阿拉溝河では阿拉溝ダム、トルファン・シャンシャン7河流域では大河沿ダム及び二塘ダムの建設により水源を増強する。しかし、その開発水量の配分については、トルファン地区全体の社会経済発展の動向を踏まえ合理的に行うこととする。

c. 住民参加による流域協議会を設立し、流域内での水資源開発管理の連携

将来、トルファン地区では水利局などの行政・事業者だけではなく住民（農民及び都市住民）代表者を加えた協議会を設立し、水資源開発・管理について同じテーブルについて話し合いを行い、合意を形成していくことが望ましい。そこで本計画では、当面の設立目標として、地下水資源が危機にある現状に鑑みて、地下水資源管理を主テーマとした「地下水協議会」設立を目指す。

d. 法制度を拡充整備し適正に施行する

中国水法の規定の下で、1994年に自治区人民政府が発布した「新疆ウイグル自治区取水許可制度実施細則」の整備を行い、適正な施行を行う。このほか、節水対策制度の創

設やカナート保護条例の見直しを行う。

以上の方針に基づいた水資源利用管理基本計画の概要を図 10.9に示す。

水資源利用管理基本計画の概要

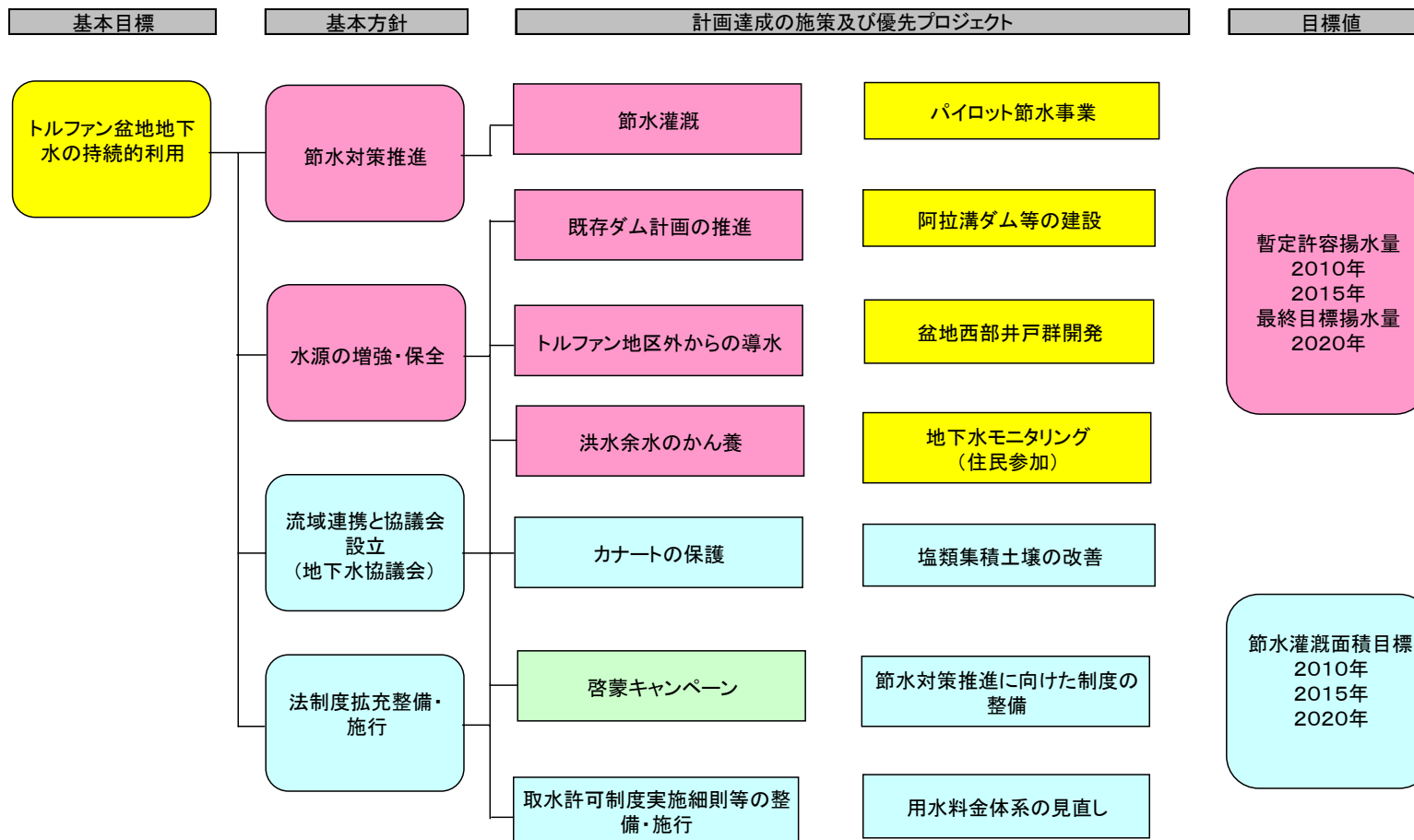


図 10.9 水資源利用管理計画の概要

10.7.3 目標達成への施策とその展開

a. 住民・事業者・行政の役割分担

農業用水と生活用水や各種の産業用水を確保するとともにカナートなど最もトルファンらしい水環境を守っていくため、行政と住民、兵団や鉱工業などを含む事業者もマスタープランの実施においてそれぞれの役割を担う必要がある。

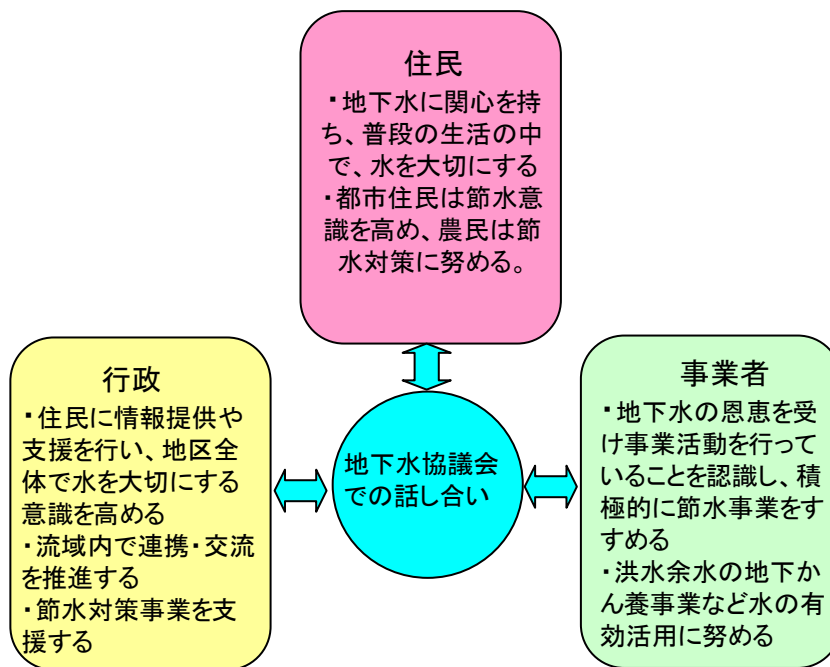


図 10.10 住民・事業者・行政の役割分担

b. 節水対策の推進

b.1 節水施策の展開方針

- 農業用水の圃場における節水を主なターゲットとする。
- 農業灌漑節水パイロット事業を行い節水の費用と効果を明らかにし、節水を広く普及させるためのモデルとする。
- 節水対策へ誘導するための制度的な仕組みづくりを進める

b.2 節水パイロット事業

トルファン地区ではすでに滴灌、低圧管道灌など節水施設を導入した灌漑地が 8 箇所あるが、研究、計画・設計、材料、施工、維持管理、運営制度、啓発・技術移転、コストの各項目で様々な問題点がある。そこで本計画では、節水技術の開発、検証及び技術移転と普及を目指したパイロット節水事業を実施する。

b.3 農民との協働

地下水協議会の中に節水小委員会を設置し、そこでトルファン地区全域での節水運動やモデル地域の設定などを協働により推進する。

- ① 節水技術・効果についての広報・啓発（マスコミ、掲示板等）
- ② 郷、鎮レベルでの技術普及ワークショップ（他地域の成功例に学ぶ）
- ③ 学校教育

b.4 節水対策推進に向けた制度の整備

トルファン地区では自治区人民政府令により水資源費の徴収管理やその費用の用途について規定されている。今後、節水対策推進のためには、現在の水管理制度のもとで以下の事項について整備していくことが望まれる。

- ① 個々の農家あるいは郷、鎮の水利組合、その他事業者の地下水利用や節水灌漑施設の導入に関する事業計画書の提出と許認可。
- ② 節水事業計画に対する利子補填融資制度の創設。
- ③ 経済合理的な観点を考慮した水使用を促すための水資源費の設定

c. 水源の増強と保全

c.1 既存ダム計画の推進

トクソン 2 河流域の阿拉溝ダム、トルファン・シャンシャン 7 河流域の大河沿ダム及び二塘ダムの建設計画を推進する。これらのダムにより新規に開発された水量は、本マスタープラン構想として設立する「トルファン地区流域協議会」（仮称）を通じて、その合理的・経済的配分を検討する。

c.2 ウェルフィールド（群井）地下水開発

盆地西部のトクソン県を中心とした地域での新たな水需要は、深度 150 m 未満の A 層を対象としたウェルフィールドによって実施する。今後は盆地西部においても東部地域と同様に鉱工業、発電等の用水需要が計画されることを想定した水資源対策のオプションであり、同地域の塩害対策に貢献する。

c.3 洪水余水の地下水かん養

トルファン地区では山地部における春季の融雪や夏季の豪雨による洪水がしばしば発生する。この洪水時の余水を遊水池に導いて地下水かん養を行う。遊水池は、高さ 1 m、幅 2m の堰堤をおよそ 500 m 間隔で地形等高線沿いに建設し、積極的に地下水かん養を行い、地下水の保全を計画する。

c.4 トルファン地区外からの導水

トルファン地区に隣接する新疆ウイグル自治区北部からの導水事業構想は未だ具体化していないが、広域での利水調整が必要である。本マスタープランでは究極のオプションとする。

d. 流域連携と協議会設立（地下水協議会）

本マスタープランの将来構想としてトルファン地区流域協議会をめざす。この協議会

の基本的目的は、トルファン地区河川流域・地下水盆内で利害関係にあるステークホルダーの意見を反映・集約し、透明性のある手続きに従って合意形成を行うことである。しかし、当面は、「地下水協議会」として出発させ、広く地下水利用に関係する住民、事業者、行政が話し合いを行う場とする。

d.1 住民参加による地下水モニタリング

地下水位と水質のモニタリングはトルファン地区水利局の既存観測井と本調査により設置した JICA 観測井を用い継続的に実施していくことが基本であるが、住民への啓蒙促進の一環として、住民自らの地下水モニタリング参加モニタリング施策を推進する。

d.2 啓蒙キャンペーン

トルファン地区では水に関するキャンペーンは現在実施されているが、今後はさらにそれを強化する。

e. 法制度の拡充整備・施行

e.1 取水許可制度実施細則等の整備と施行

本マスタープランでは、2020 年の目標に向けて、取水許可制度実施細則等の規定にある地下水開発の適宜区、制限区、過剰揚水区及び開発禁止区を区分し、トルファン地区の実態に即して整備し、それらを施行する。

e.2 節水対策推進制度の整備

本マスタープランで最終目標へと至る過程で、以下のような節水対策推進制度を確立し整備する。

e.3 用水料金体系の見直し

地下水の利用に際しては、所有者は揚水コスト以外に水資源費が徴収されている。しかし、トルファン地区東部のシャンシャン県では方針により現在は農業灌漑用地下水についての水資源費は徴収されていない。今後は、過剰揚水地区において徴収することが検討されている。用水料金の値上げは節水対策のインセンティブとなるので農家の経済的バランスを考慮しつつ節水へ誘導するような施策を継続的に実施する。

10.7.4 節水対策事業

本計画の目標である持続的揚水量（許容揚水量）を達成するには、現在の地下水揚水量を削減していくほかに、代替水源はアラ溝河ダムの開発による導水以外、当面の間は実現が難しいと考えられる。本計画では節水対策事業を強力に推進することで許容揚水量の達成を計る。

a. 既存の節水灌漑計画案による節水量試算

トルファン地区水利局は、滴灌、低圧管道灌と高標準地面灌漑の組合せ、高標準地

面灌漑の3通りを組み入れた節水灌漑計画を立案している。この計画案の節水灌漑面積及び節水灌漑による作物別畝当り節水量資料に基づき、2010、2015、2020年の節水量試算を行った結果は表10.23に示す。

表 10.23 節水量試算結果

		万m ³		
市/県	項目	2010年	2015年	2020年
トクソン県	節水未実施	8,059	14,285	42,562
	節水実施	4,987	7,814	30,848
	節水量	3,072	6,471	11,714
	節水率(%)	38	45	28
トルファン市	節水未実施	13,051	31,481	55,227
	節水実施	8,823	22,235	40,706
	節水量	4,228	9,246	14,521
	節水率(%)	32	29	26
シャンシャン県	節水未実施	9,790	23,954	43,999
	節水実施	7,254	16,775	32,203
	節水量	2,536	7,179	11,796
	節水率(%)	26	30	27
合計	節水未実施	30,900	69,720	141,788
	節水実施	21,064	46,824	103,757
	節水量	9,836	22,896	38,031
	節水率(%)	32	33	27

b. 重点的節水灌漑計画

既存計画案を参考として、現実的に本計画で目標とする許容揚水量まで地下水揚水量を削減するため、とくに節水が必要な地域に重点をおいた節水灌漑計画を検討した。

トルファン盆地で水資源が比較的豊富なトクソン県及びシャンシャン県北部では農地面積を現況以上に増加させない条件下で許容地下水位が守られる。これに対して、トルファン市、シャンシャン県南部地区では農地面積を増やさないだけでは許容地下水位が守れない。

b.1 シャンシャン県南部

第1案：シャンシャン県南部の地下水揚水量目標削減量1.45億トンを達成するため、灌漑用水量原単位の削減、水資源利用効率の向上、節水灌漑施設の普及、阿拉溝ダムからの導水など全てを計画通りに実施する。

第2案：シャンシャン県内の水資源の南北不均衡を考慮し、政策的にシャンシャン県南部での節水灌漑施設普及を強力に推進し、地下水位の低下を緩めるだけでなく、2015年頃から回復基調に転じさせる。

b.2 トルファン市

第1案：節水に関連する因子を均等にして目標を達成する

第2案：節水因子の内、節水灌漑施設の普及は最もコストがかかるため、それ以外の因子を重視する案

b.3 各案の評価

地下水シミュレーション結果ではシャンシャン県南部節水の第1案と第2案を比較すると、第1案では地下水位回復が遅く、2020年に目標水位を達成することは難しい。第2案の最大削減可能な理想案に近づけることが必要である。

一方、トルファン市では第1案と第2案の中間案とすることが現実的である。

10.7.5 優先プロジェクト

水文地質学的調査・解析と地下水シミュレーション解析によれば、トルファン盆地東部では今後地下水揚水の削減が必至となる。一方、盆地西部では第四紀地下水盆は深く、地下水は自噴する地域もあり地下水開発余力がある。本計画では、地表水と地下水資源量の地域的不均衡を考慮し、トルファン地区全体としての水資源の適正な開発管理を行うため、施策の一環として、上述の施策のうち4つの優先プロジェクトを提案する。

a. ダムによる地表水資源開発

トクソン2河流域では、阿拉溝河の利用率は現状で約60%であり、阿拉溝ダム建設計画を早期に推進することにより毎秒平均1 m³以上の水資源開発が可能と考えられる。また、トルファン・シャンシャン7河流域では大河沿ダムと二塘溝ダムの建設計画がある。

本節では、中国側で既に実施されている両流域における3つのダム建設の概要をダム建設に関する研究報告書の情報を用いて以下に各ダムの計画諸元、計画位置図を図10.11に示す。

a.1 阿拉溝ダム

阿拉溝ダムは計画中の3ダムの中では、最も重要で、実施有望なダムである。現在詳細設計が既に完了し、水利部からの許可も得て、中国の計画関連機関への手続き取っている。

阿拉溝ダムは阿拉溝河の河川水を水源とするダムである。現在2種類の計画案があり、それぞれ河川の山口から3.8 km（案1）と7.5 km（案2）の地点で建設する計画である。2002年12月に水利部・湖南省水利水電観測設計研究院より発行された「阿拉溝ダム建設に関する研究報告」によると計画内容は以下のとおりである。この両案のダム諸元を表10.24に示す。

表 10.24 阿拉溝ダム諸元

項目	単位	数量	
		案1	案2
常時満水位	m	940	945
総貯水量	万m ³	3,308	3,983
最低水位	m	910	910
最低貯水量	万m ³	761	774
調節容量	万m ³	2,546	3,221
制限水位	m	930	936.4

項目	単位	数量	
		案 1	案 2
洪水調節容量	万m ³	1,105	1,105
設計洪水位	m	941.15	946.08
総容量	万m ³	3,510	4,150
湛水面積	km ²	1,283	1,420
堤頂長	m	332	401.4
堤高	m	94.3	90.1
総事業費 (RMB)	万元	26,700	29,336
工事期間	ヶ月	48	48

事業費は案 1 の場合約 2.67 億元であり、建設事業年数は 4 年である。また、総事業費の各事業者負担割り当ては、国家負担が全体の 80% の 21,360 万元、自治区人民政府が 10% の 2,670 万元、該当県の負担が 10% の 2,670 万元となっている。

a.2 大河沿ダム

大河沿ダムのトルファン地区内での優先順位は、阿拉溝ダムの次とされている。大河沿ダムはトルファン市北西部 68 km の駿大板に建設すると予定され、大河沿の河川水を水源としている。大河沿の基本設計は完了しており、ダム諸元を表 10.25 に示す。

表 10.25 大河沿ダム諸元

項目	単位	数量
ダム容量	万m ³	3,569
最低貯水量	万m ³	679
設計洪水確率	年	50
主要受益者	-	221 団、トルファン市、石油給水

a.3 二塘溝ダム

二塘溝ダムの河川流量の 90 % は既に利用されている為、二塘溝ダムの建設は水資源開発より、洪水防止を主目的としている。現在 2 種類の計画案があり、それぞれ二塘溝導水路基点地点 (案 1) とこれより下流側へ 7 km (案 2) の 2 案で計画中である。これらの基本設計 (二塘溝ダム建設に関する研究報告、2000 年 9 月) は完了しており、ダム諸元を表 10.26 に示す。

表 10.26 二塘溝ダム諸元

項目	単位	数量	
		案 1	案 2
常時満水位	m	1,478	1,229
総貯水量	万m ³	2,494	2,507
最低水位	m	1,435	1,192.5
最低貯水量	万m ³	137	150
調節容量	万m ³	2,357	2,357
制限水位	m	1,472.5	1,229
洪水調節容量	万m ³	1,000	643
設計洪水位	m	1,481	1,232.2
総容量	万m ³	3,000	3,150
堤高	m	68.8	—
総事業費 (RMB)	万元	16,247	—
工事期間	ヶ月	36	—

総事業費は 16,247 万元、建設は 36 ヶ月で実施される予定で第 1 年次投資額は 4,926 万元、第 2 年次 5,325 万元、第 3 年次 5,996 万元と計画している。また、事業費の負担割合は、国家が総事業費の 30% の 4,874 万元、石油事業公団が 60% の 9,748 万元、地方自治体が 10% の 1,624 万元と計画されている。

a.4 トルファン地区内への導水

前述の阿拉溝ダム、大河沿ダム、二塘溝ダム計画を実施することにより相当量の水資源開発が可能でない、地表水の利用効率を最大限に向上させることが可能になる。阿拉溝ダム建設により増加する導水量は1969年から1998年の流入より試算すると約3,500万 m^3 が見込まれる。これらのダムにより得られた水資源は、基本的には下流域に配分されるべきものであると考えるが、トルファン地区内の水資源涵養量の地域的不均衡、将来の経済発展を考えた場合、合理的に整備された既存導水路、あるいは新規建設導水路を整備し、トルファン地区内他県・市へ導水を実施しトルファン地区の総合的水資源利用計画を検討する余地がある。

b. 盆地西部井戸群開発

盆地西部のトクソン県では地下水位が高く、これに伴い土壌の塩分集積が深刻な問題となっているため、ある一定の範囲で塩害を防止するための地下水位制御が必要と考えられる。本計画では、地下水位の制御と併せてその地下水を将来の盆地西部地域で利用するため、井田（Well Field）建設による地下水開発を検討する。

トクソン県の塩山北西側の天山山脈山麓付近には炭田が分布している。将来、この地域において、豊富な地下資源を利用した事業が展開される可能性が考えられる。また、その際には、表流水による水資源の確保が困難なため、地下水開発により事業に必要な水量を得ることも推測される。

計画概要：

- 井戸深度：200 m
- 揚水量合計 30,000 m^3/day
- 計算年：2004年から2020年まで

井戸群の開発を行った場合と現況維持の場合の井戸群周辺の地下水頭分布の比較を、図 10.12に示す。この地域で井戸群開発を実施しても、周辺地域への影響はほとんどなく（地下水頭低下量 1cm 以下）、図 10.12に示した塩山北西側周辺で新たな地下水開発は十分に可能であると考えられる。また、井戸群開発にかかる事業費は約 151 万元である。

また、前記してきたようにトルファン地区（特に地下水位の高いトクソン県）では、塩類集積の問題が発生している。トルファン地区のような乾燥地の土壌は、湿潤地の土壌と異なり、塩類を溶脱せずに保持しているために、土層中に多くの塩類を含んでいる。このようなところで灌漑を行うと地下水位が上昇し、土壌中の毛管上昇により塩類集積が進行する。一般に地下水位の深さの限界点は土壌の性質、作物の根群域の深さと地下水の塩分濃度に左右されるが 1.5～3.0mの範囲にあるといわれている（鈴木、1977²）。

塩類化の防止のためには、地下水の上昇移動（地下水位の上昇・毛管上昇移動）を抑えることが必要である。今回の検討は 1km メッシュで検討を行っているために計算結果の地下水頭の低下量は僅かであるが、取水井近傍では低下量はより大きなものになる。取水地点選定に自由度がある場合には、塩害地域との位置関係をも考慮した地下水解析を行い、取水地点を決定することも可能であろう。また、本解析は塩山北西側で行ったが、塩山南側（トクソン県中心部西側）でも同様の水理地質条件を有している。このように、トクソン県においては、地下水開発と塩害対策の二重の効果が期待できる井戸群開発を提案する。

² 鈴木 清（1977）：塩類化、「土の環境圏」第4編第8章第1節、(株)フジ・テクノシステム

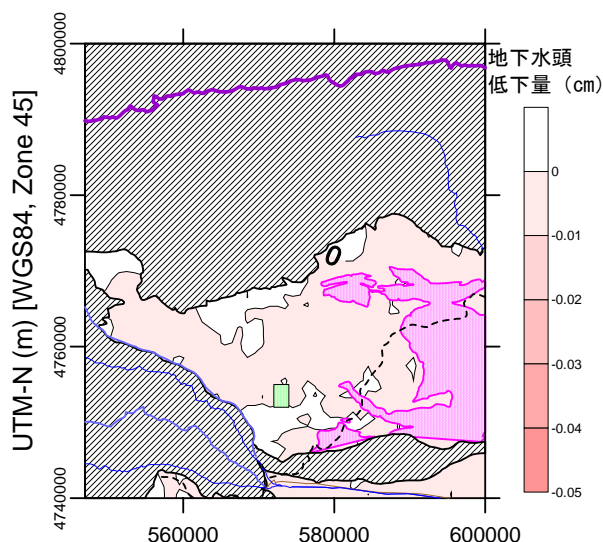


図 10.12 井戸群周辺の地下水頭分布の比較(第1案との差分、2020年12月)

c. パイロット節水事業

c.1 節水灌漑技術の課題

本計画の目標を達成し、トルファン地区の地下水環境をこれ以上悪化することを防ぐには、農業用水関連の各種対策を実施しなければならない。農業関連節水対策には、主に、農地面積拡大の制限、灌漑用水量原単位の低減、節水灌漑事業の実施、及び水資源利用効率の向上がある。

トルファン地区の今後の農業は、農地面積の増加を厳しく制限しながら農作物の収量や農民の収入を維持あるいは向上させていくことが必要で、そのためには、新品種の導入、栽培方法の改善などにより、単位収穫量あたりの収入を増加させる必要がある。

また、灌漑用水量原単位の低減や灌漑用水効率の向上を実現するには、施設整備などハード面での対策と栽培方法改善などソフト面での対策がある。何れの対策もトルファン地区の自然及び社会経済条件に適した技術体系を早急に確立することが前提となる。

トルファン地区では紅柳河園芸場や七克台明珠開発基地試験圃場では一部ドリップ灌漑によって成功を収めた例があるが、他地域では失敗した例も散見される。これら成功経験を普及し、同時に失敗の教訓を共有することは、今後の節水対策に取り組む上で極めて重要である。

トルファン地区で既に実施されている節水対策技術を踏まえ、今後、実験を通じて実証し、手法を確立することが必要な節水技術及び方法は次に示すように多岐にわたる。

① ミニ灌漑（ドリップ灌漑）

ドリップラインの適応性、エミッター形式及び適応性、最適給水圧調節、ドリップラインの配置、エミッター使用、パイプ材質や施工方法、農場でのバルブシステム、マルチフィルム灌漑技術、地中ドリップ灌漑、サイホンドリップ袋

② 伝統的畝灌漑技術

水路漏水防止、浸透防止材料、畝と溝の規格設計、畝（溝）間隔交替灌漑法、コントロール性根系交替灌漑、間隔灌漑

③ 節水栽培技術

レーザーによる農地均平、節水播種、土壌水分保持技術、

④ 優良作物品種の導入や育種

優良品種の利用

⑤ 灌漑用水関連

不十分灌漑、水不足調整灌漑、灌水指標の確定

⑥ 予備技術

観測システム、水分管理システム、代替水源確保、その他

c.2 パイロット圃場

前項の課題を解決し、節水対策の本格的推進に資するため、パイロット節水事業を行う。パイロット圃場は節水灌漑実験を実施しやすくするため、トルファン市からアクセスの良い場所に設置する。パイロット圃場を実験区及び展示区に分ける必要がある。

実験は、まず限られた面積で初期実験を実施し、得られた結果に従って、実験面積を拡大し、中期実験を実施する。中期実験でさらに確実性が実証された実験結果を展示区に移して実験を継続する。従って、実験区は初期実験区と中期実験区に分ける。

パイロット圃場全体の面積と区毎の面積を設定し、表 10.27及び図 10.13に示す。

表 10.27 パイロット圃場の区分と面積構成

圃場区分	小区分	面積(ha)	説明
初期実験区	節水灌漑施設	5	節水灌漑用器具、材料等を中心に5種類の実験を同時に実施できる。
	栽培方法	5	新品種導入、畑地灌漑方法等に関連する実験を5種類同時に実施できる。
中期実験区	節水灌漑施設	15	3種類の中期実験を同時に実施。
	栽培方法	15	3種類の中期実験を同時に実施。
展示区	節水灌漑施設	30	3種類の実験結果を同時展示。
	栽培方法	30	3種類の実験結果を同時展示。
面積合計(ha)		100	

節水灌漑施設実験区では水資源利用管理計画に必要な節水灌漑実施の対策内容を確実にするために実験を行う。実験項目は先に述べた項目を中心に、中国国内外の節水灌漑の研究・開発の進捗とトルファン地区の自然環境及び予算経費の確保等を考慮して設定する。

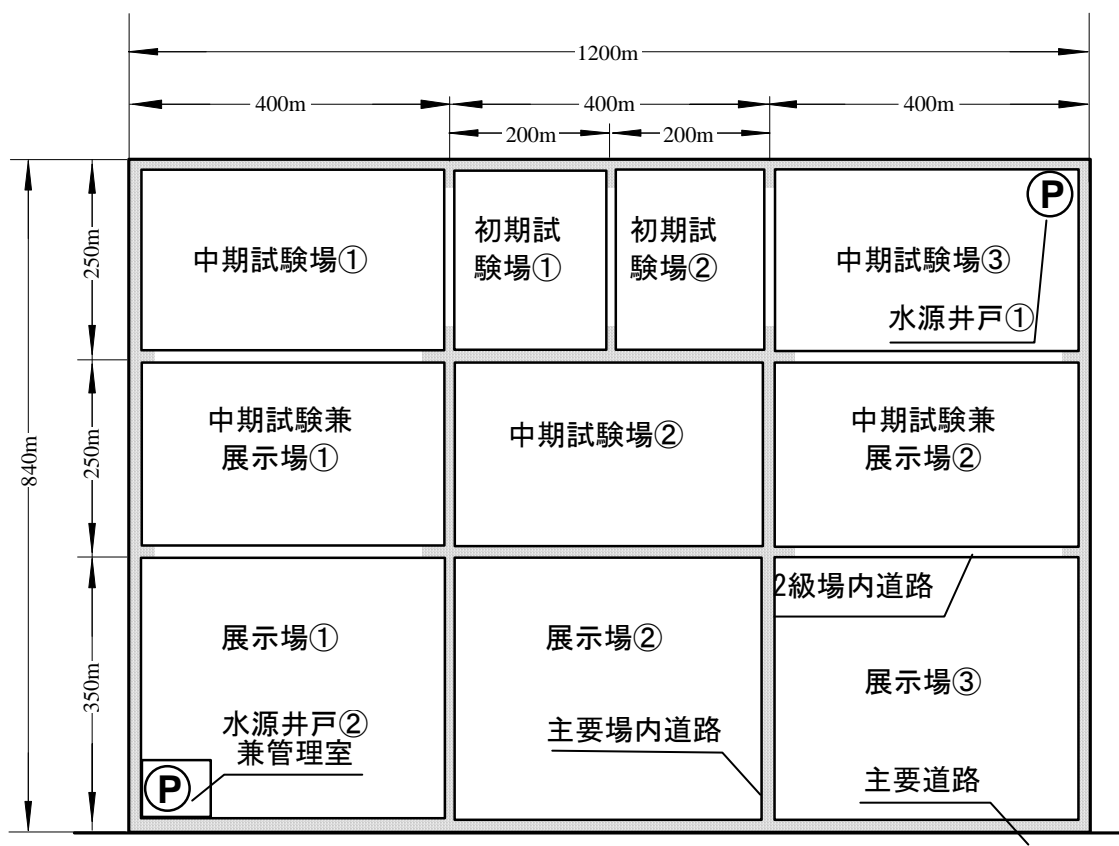


図 10.13 パイロット圃場概要配置図

c.3 管理体制と概算事業費

パイロット圃場は地区行政機関のプロジェクトとして、トルファン地区の行政機関担当長官がプロジェクトのリーダーを務め、プロジェクト全体の組織、調整、予算及び要人確保、運営監督を行う。実験担当者は地区水利・農業関連研究・技術指導担当機関の研究者と技術者を主として、各県市の関連研究者・技術者及び管理者の協力を得る。

本パイロット節水事業の事業費は約 440 万元が見込まれる。

c.4 住民参加地下水モニタリング

本計画では水利用者である住民（農民）自身が地下水資源についての知識をもち、それを管理して節水対策を行うことが本計画の目標、すなわち持続的利用、へ到達するための重要なステップとなると考えられることから、優先プロジェクトとして提案する。

モニタリング地域は、県・市それぞれにおいて郷、鎮単位でそれぞれ 1～2 地域を選定する。現状の地下水位低下分布を検討して下記地域から選定する。

トルファン市： 中心部及び南部の 2 地域（南盆地内）

シャンシャン県： 火焰山北麓（北盆地）及び火焰山南麓（南盆地）の 2 地域

トクソン県： 中心部 1 地域

地域毎 5～6 箇所の既存井戸を選定する。井戸は、地域内で偏らないようなるべく均等に配置する。地下水位は、携帯式地下水位計を作成または市販のものを購入または自作

して測定する。水量はバケツとストップウォッチで計ることができるこれらの機器作成、購入、取り付け、測定指導は水文水資源局が行う。

井戸毎に利用者住民グループを形成して、毎日の自然水位（ポンプ稼働前）と動水位（ポンプ稼働後）及び揚水量を測定する。測定結果は記録・整理して文書として残すとともに、月1回はその結果を住民グループ内で閲覧し地下水利用と水位について協議を行う場とする。また、結果を郷、鎮の中心部で水位表示板として公表する。

このプロジェクトには住民指導に当たる水文水資源局の人件費と車両費以外は、機材購入費がかかるだけであり、その1地域当たり費用は約1.3万円が見込まれる。

よって、トルファン地区5地域で実施する場合の機材費総額は63,500元である。

10.7.6 計画の運営・維持管理

本計画の目標を達成するには不断の水資源モニタリングを実行するとともに、施策・事業を運営管理するための予算措置とともに維持管理体制を確立することが必要である。

a. 水資源のモニタリング計画

a.1 地表水のモニタリング

トルファン地区では通年河川14本の内、国レベルの水文観測所が3箇所設置されているが現在まで継続観測されているのはそのうち2箇所である。また、河川流量の定期または不定期観測所が7箇所ある。水文観測所はトルファン7河流域では全ての河川に設置されていないため、本調査では恰勒坎河に新設した。適切な水資源対策を実行するためこれら水文観測所の観測を再開・継続する。

a.2 地下水位のモニタリング

地下水管理の基本は地下水位と水質のモニタリングである。本調査で作成されたGISシステムと観測井及び既存観測井をリンクして将来的に地下水資源管理を行っていくためには、継続的に地下水位と水質のモニタリングを行う。

既存観測井戸32箇所は適切に配置されており、現在の地下水開発の対象である深度50～150mのA層～B層帯水層の水位を観測していると推定される。今後、本計画での実行過程で、老朽化により新たな既存井戸を観測井とする場合は、できるだけ単一の帯水層水位を測定できる観測井とする。

本調査で5箇所に設置したJICA観測井は、単一帯水層にスクリーンを設置し、他の帯水層との地下水混合が起きないようにしているため、その観測結果は帯水層本来の水頭変化を正確に捉えている。記録はデータベースに入力し、本計画による地下水位目標管理の指標として活用していくものとする。

近年は、井戸深度が深層化して150～250m深度が増加する傾向がある。本計画の推進の過程で、こうした深層井戸群の開発については地下水協議会で十分な検討を行った上で実施計画を進めるものとし、その際には深層（C層下部）の水位観測を主目的とした観測井を建設する。

a.3 地下水質のモニタリング

地下水質調査の結果、トルファン市の南部を中心に硫酸イオン濃度などの水質健康項

目が基準値を超える地域があることが明かとなった。カナート水等は生活用水として飲用にも利用されているので、今後は計画の中で数年に1回程度の水質モニタリングを水質項目基準超過地域を対象に行うものとする。

b. 組織及び人材育成

本計画を推進していく中核となるのはトルファン水利局及びその傘下にある県・市水利局である。また、水資源モニタリングの実施組織は新疆ウイグル自治区水文水資源局傘下にあるトルファン地区水文水資源局である。

b.1 トルファン地区水利局

トルファン地区水利局は、水利局本部の他に研究院、設計院等をもつ組織である。トルファン水利局の下には各県、市水利局がある。トルファン市を例にとると、水利局本部、水管理総所、農村水道水供給総所からなり、水管理総所、農村水道供給総所等が郷、鎮単位で給水管理を実施している。これまでは、水資源管理においては地表水管理中心とした組織運営であったが、今後は地下水管理を強化するとともに節水対策の推進機構としても機能する必要がある。

本調査で作成された水資源 GIS データベースシステムは調査団による技術移転の後、2005年6月からトルファン水利局において運営を開始している。今後の計画では、節水対策推進室、地下水管理室、プロジェクト管理室を新設し、その人材育成を同時に行うことが必要である。

b.2 トルファン地区水文水資源局

トルファン地区水文水資源局は新疆ウイグル自治区水文水資源局の傘下にある地方局である。トルファン水文水資源局は、川、湖、ダム等の地表水及び地下水の量と質のモニタリングが主任務であり、技術科、測整科のほか各水文観測所にスタッフを配置した職員約30名の組織である。トルファン盆地における地下水観測の重要性に鑑み、本計画では技術科、測整科の業務とは別に2～3名のスタッフからなる地下水観測室を新設する。

各部局に新設されたスタッフについて中・長期的観点から人材育成を行っていかねばならない。本計画では、トルファン水利局及びトルファン水文水資源局に新設される各室スタッフの継続的長期研修を提案した。

c. 運営維持管理費

計画した施策及び事業の内最も多額の投資が必要な事業は阿拉溝ダム他2ダムの建設事業であり、維持管理費用が投資コストを含めて如何に償還されるかはそこで検討している。また、節水対策事業は本計画の根幹となる施策であるため、既存計画に基づき事業費を概算した。

10.7.7 総事業費

a. 既存節水計画案の事業費

既存節水灌漑計画案のうち滴灌及び低圧管道灌の二つを実施した場合の事業費（建設費+維持管理費）は約23億元と計算される。

b. 重点節水計画案の事業費

トルファン市とシャンシャン県南部を重点とした節水対策事業費は、各案の組み合わせにより事業費が異なる。既存節水計画の滴灌及び低圧管道灌事業費は、両地区合計で17.0億元であるが、それぞれの重点対策案では、各案の組み合わせにより、9.7億元～13.3億元まで変化する。

c. 総事業費

本計画の内最も多額の費用がかかるダム建設及び節水灌漑事業（重点節水計画）を合計すると、重点節水計画案の組み合わせにより、13.1億元から16.7億元の投資が必要となる。

表 10.28 総事業費(ダム建設+節水重点対策)

シャンシャン第1案+トルファン第1案

対象事業	金額(万元)
ダム建設事業費(アラ溝ダム)	26,700
導水路建設事業費	6,600
節水灌漑事業費	97,000
パイロット節水事業	440
合計	130,740

シャンシャン第2案+トルファン第1案

対象事業	金額(万元)
ダム建設事業費(アラ溝ダム)	26,700
導水路建設事業費	6,600
節水灌漑事業費	133,000
パイロット節水事業	440
合計	166,740

シャンシャン第2案+トルファン第2案

対象事業	金額(万元)
ダム建設事業費(アラ溝ダム)	26,700
導水路建設事業費	6,600
節水灌漑事業費	112,000
パイロット節水事業	440
合計	145,740

注) トルファン第1案 : 既存節水計画案を基にした揚水量削減計画
トルファン第2案 : 節水灌漑施設投資を最小化する揚水量削減計画
シャンシャン第1案 : 既存節水計画案を基にした揚水量削減計画
シャンシャン第2案 : 南部で節水灌漑施設を普及させる揚水量削減案

10.8 事業評価

10.8.1 水利局の財務現状分析と評価

a. トルファン市水利局

2002年におけるトルファン市の固定資産総額は、29,805.3万元である。1996～2002年におけるトルファン市の水料金年平均徴収率は、75.7%に留まっており、慢性的な赤字収支が続いている。近年、固定資産ならびに運営管理費が増加を続ける中、水料金はそのコストをはるかに下回っている。水管理部門の財務管理制度による算定では、新規投資はもとより、固定資産の減価償却分、大型改修費を捻出する余裕もない状況である。

このためトルファン市水利局は水単価の改定を予定している。現在の料金は、河川水が 0.05 元/m³、湧水が 0.03 元/m³、ダム水が 0.05 元/m³である。新料金を現在の料金と比較すると、農業（支渠）で 2.5 倍となる。

生産額に占める水料金（農地 1 亩当たり）は、改定後も 3.77 %程度に留まると予想されている。また、料金改定を行うメリットとしては、節水意識の向上による水使用量の減少、それにとまなう支払い総額の減少、土壌の改善、単位収量増加による農民の利益増加等が挙げられている。

b. トクソン県水利局

2002 年におけるトクソン県の固定資産総額は、9,328.0 万元である。1996～2002 年におけるトクソン県の水料金年平均徴収率は、54.6 %に留まっており、慢性的な赤字収支が続いている。現在の水料金は、表流水で 0.035 元/m³であるが、これを 0.095 元/m³に改定する案が提出されている。この改定料金であれば、現在のコストをまかなうのにほぼ十分であるといえる。

c. シャンシャン県水利局

2002 年におけるシャンシャン県の固定資産総額は、41,483.77 万元である。7 年間の水料金平均徴収率は 87.0 %で、トクソン県、トルファン市と比較して高い徴収率となっているものの、慢性的な赤字収支が続いている点では同様である。

現在の水料金は、河川水で 0.043 元/m³、地下水で 0.0001 元/m³となっている。今後は、これを改定し、地下水価格を 0.0050 元/m³とすることが計画されている。表流水の改定価格は具体的に示されていないが、トルファン市の例に倣って試算してみると、改定後の水価格としては、少なくとも 0.14 元/m³程度（水資源費を含まない）を検討する必要があるう。

d. 評価

3 市県（トルファン市、トクソン県、シャンシャン県）水利局は、いずれも慢性的なマイナス収支となっており、仮に上記の水料金改定を実現しても、当面はこれまでの赤字運営を克服するのが精一杯である。したがって、新規事業を実施する場合、各自治体が独自の資金で事業費をまかなうのは困難であり、何らかの外的資金が必要になる。

10.8.2 優先プロジェクトの財務及び社会経済評価

ここでは、現在建設計画が検討されている 3 ダム中、最も緊急性が高く、かつ計画案の具体化している阿拉溝ダム建設の財務評価結果を示す。

a. 優先プロジェクトの財務評価

a.1 前提条件及び財務内部収益率(FIRR)推定値

阿拉溝ダム事業第 1 案についての財務評価の前提条件は、表 10.29のとおりである。

表 10.29 財務評価の前提条件(原案)

項目	内容
工事期間	4年
償還期間	40年
事業総コスト	26,700万元
トクソン県負担分	9,612万元
年事業運営費	修理費・材料費・労働対価・水資源費・その他から算出
水価格 (m ³ 当たり)	灌漑用水：0.070元、南山鉱区用水：0.450元
給水量	灌漑用水：3,688万m ³ 、南山鉱区用水：700万m ³

出典 (阿拉溝ダム建設に関する研究報告)

年事業運営費は 219.2 万元である。この前提条件で財務内部収益率 (FIRR) 推定値を算出したところ、1.84 % という値が得られた。また、建設コスト負担額増加と需要減少を仮定した感度分析の結果 FIRR は需要減 20 % でマイナスとなり、負担額 20 % 増では 1.36 となった。

そこで別案として、トクソン県の負担額が総コストの 10 % のみであり、かつ大幅な水価格の値上げが実施可能な場合について検討すると 16.6 % という値が得られた。この財務内部収益率は十分に高い数字である。

原案は、財務内部収益率 (FIRR) は非常に低い (1.84 %) ことから、条件の細部の再検討が必要と思われる。別案は、16.6 % と十分に高い数字が得られたが、現況の水価格に比べて、灌漑用水で (0.100/0.035=) 2.86 倍、南山鉱区用水で (0.832/0.035=) 23.8 倍というかなり高い値上げが条件となっていることから、裨益者が値上げ後の水価格を受け入れるかどうかの十分な検討を要する。さらにこの場合でも、国・自治区の投資額が増大することを考慮すれば公共事業の観点からトルファン地区内他県への水利配分が検討されるべきであろう。水需要が旺盛なトルファン市やシャンシャン県への配分により投資負担の偏りを避け、適正な水価格を設定することで財務的な妥当性が確保できるか検討を要すると思われる。

以上のように、財務的には種々の検討課題を有する本阿拉溝ダム建設事業であるが、社会経済的には十分な内部収益率を得ているため、全体としては、上記の検討を踏まえた上で実施可能であるといえる。

a.2 優先プロジェクトの社会経済評価

既存資料によると経済評価の前提条件は、表 10.30 のとおりである。

表 10.30 経済評価の前提条件

項目	内容
工事期間	4年
償還期間	40年
事業総コスト	26,700万元×補正率 (=80 %)
年事業運営費	修理費・材料費・労働対価・水資源費・その他から算出
流動資金	年事業運営費の15%
便益	洪水防止・灌漑利用・工業利用
基準経済内部収益率	12 %

出典 (阿拉溝ダム建設に関する研究報告)

工事期間は 4 年間、償還期間は 40 年間、総事業コストは 26,700 万元であり、基準となる経済内部収益率 (FIRR) は 12 % とされている。

投資額が 20% 増加した場合でも、経済内部収益率は 16.2% (>12%) である。また、便益が 20% 減少した場合でも、経済内部収益率は 15.7% (>12%) である。

また、割引率 12%の場合で、純現在価値 (B-C) はいずれも正の値を、また、便益・費用比率(B/C)はいずれも 1 以上の値を取っている (※B: Benefit = 便益、C: Cost = 費用)。

したがって、投資額もしくは便益にそれぞれ最大で 20%増、20%減の変動があっても、阿拉溝ダム事業実施の経済的妥当性は保持される。

a.3 総合評価

既存資料を基に行った上記分析によると、阿拉溝ダム建設事業については、感度分析を含めて経済内部収益率 (EIRR) は十分に高い値が得られた。しかしながら第 10 章で述べたとおり、県・市水利局の財務状況については課題解決が必要である。また、同様に財務的検討を踏まえる必要がある。

10.8.3 技術評価

a. 節水対策技術

圃場レベルでの節水施設導入に関して現状では多くの技術的問題点があり、優先プロジェクトで提案したパイロット節水事業において実験と検証を行い、節水技術の本格的普及を図ることが重要である。このパイロットプロジェクトでは、滴灌(ドリップ灌漑)、畝灌漑、節水栽培、灌漑用水関連の各技術について実験を行い、下表に示すような技術的效果を得ることが期待できる。

表 10.31 節水対策技術の評価

実験技術項目	技術開発の進捗	技術の普及性	総合的效果
ドリップ灌漑	先進国を中心に開発が行われ中国でも応用されつつあり、技術開発は進捗している。	コスト低下により普及拡大が期待できる。	葡萄、メロン栽培などの高品種化により農業生産額の増収と節水効果が期待できる。
マルチフィルム灌漑	現在中国での応用が拡大しつつある。材料、工法、コスト、廃棄物処理が課題。	中国では普及しつつある	ドリップ灌漑と同様に集中灌漑が可能。低温地域では節水と保温が可能。
畝灌漑	中国の伝統的畝灌漑方法の変更を行うもので実験段階にある。	コスト面よりも技術の有効性を実証し、普及するには時間がかかる。	作物品種によっては灌漑水量を節水でき、収穫量を上げることが期待できる。
栽培技術	レーザーによる農地平滑化技術は先進国で開発され、中国でも実用化が進んでいる。農業機械や保水材の開発も進んでいる。	各種の農業機械や保水材料などの応用についてコスト及び時間を要する。	農地平滑化による灌漑用水の大幅な節減と土壌保水の改良による節水効果が期待できる。
灌漑用水関連	コスト削減と水不足を補う制限灌漑や調整灌漑による耐干魃性の調整灌漑は実施されている。	他の節水技術と組み合わせた広範な普及が必要である。	水利用効果を最大にするとともに収穫量増加が期待できる。
その他 (観測システム等)	灌漑地水収支や作物生育管理を把握する技術は先進国において開発されつつある。	コストが低下し手法が簡便化されれば一般農地農民への普及が期待できる。	科学的、合理的な水管理、作物生育管理の実施が期待できる。

b. 水資源開発利用技術

b.1 ダム・水路等の建設・維持管理技術

トルファン地区では1960年代からダム・水路等の地表水資源開発利用技術は発展しており、建設技術及び維持管理技術能力は高い。今後は、節水対策関連として、灌漑地への導水量制御の機械化や節水管理技術について前項で述べたパイロット節水事業の成果を利用し技術開発を進める必要がある。

b.2 洪水余水のかん養

洪水余水の地下水へのかん養のためには、洪水時に如何に既存水利施設（堰、灌漑用水路）を保護しつつ、余水を遊水池へ放流するか、余水吐きや放水路の構造について技術的に詳細な検討が必要である。遊水池は先に述べたように、等高線沿いに堰堤を築造することで実施でき、技術的には比較的容易であると考えられる。

b.3 地下水開発利用

トルファン地区では、井戸ケーシングと孔壁との間はセメントや粘土等による遮水が施されていない。このため、水質の悪い浅層帯水層の地下水と比較的水質の良い深層帯水層の地下水が混合し、結果的に深層地下水の汚染が拡大することが考えられる。今後の井戸建設許可に当たっては井戸の構造基準を設けて、厳格に審査する体制を構築する必要がある。今後、業界と監督官庁が協力し井戸建設技術を評価・検討・改善することが望まれる。

b.4 モニタリング技術

本計画では、当面、GISのデータ収集、整理を継続するが、将来は各水文観測所及び地下水観測井のテレメーターシステム化を考慮する必要がある。また、モニタリングの結果は、できるだけ広報板や水位掲示板で、県・市の中心部や、郷・鎮の中心部で表示し、住民の水についての関心を高め啓発に役立てることが望ましい。

10.8.4 環境影響評価

環境影響評価はJICA環境社会配慮ガイドライン（2004年4月）と中華人民共和國環境影響評価法（2002年10月）の示す評価目的、手順や関連する法律等の違いを考慮の上実施した。

中華人民共和國環境影響評価法では、國務院関係部門、行政区を設置する市級以上の地方人民政府及びその関係部門が、工業、農業、牧畜業、林業、エネルギー、水利、交通、都市建設、観光、自然資源開発の関連セクターの基本計画を作成する際には、基本計画のドラフトを上申・承認する前に環境影響評価を行い、当該基本計画を承認する機関に対して環境影響評価報告書を提出すると規定されている。また、道路、通信施設、発電所等のインフラストラクチャー整備を行う場合、建設事業と位置付けられ、事業の環境影響規模により異なる方法で評価を行う必要がある。この規定に沿い、本調査で示された基本計画及び優先プロジェクトの環境影響評価を以下に行った。

a. 基本計画の環境影響概況

優先プロジェクト実施を前提とした基本計画の環境影響概況を以下に記す。

表 10.32 基本計画の環境影響概況

No.	環境項目	評価	理由
社会環境			
1	住民移転	A	ダム建設に伴い水没する地域の住民や土地を収用される住民は他の地域への移転が予測される。2002年時の中国側の予測では住人179名（アラ溝ダム100名、二塘溝ダム79名）とされているが、調査団の現地踏査によるとアラ溝ダム建設予定地の周辺住民の大半は、既に転居しており、住民の話によると現在は20人以下であった。また、二塘溝ダムの建設予定地周辺では住人や住居を確認できず住民移転は必要ないと考えられる。
2	経済活動	D	基本計画実施によりトルファン地区の水資源が効果的に利用されることが達成されるならば、安定的に経済活動を計画することが出来るようになる。切迫する中国エネルギー問題を背景に石油等の鉱産資源豊富なトルファン地区の重要性は、今後益々高まることが明らかで、それらの産業育成を行う上でも基本計画に沿った水資源管理はベンチマークとして利用されることが予想できる。 節水技術導入や法整備等の一連の節水事業実施により単位面積あたりの農業用水量が減少し、農業生産物育成コストが軽減されることが予想される。これにより農民（トルファン地区人口の約75%）への負担が減る。また、用水料金の値上げが実施されると農業用水量の削減に対する農民の経済的インセンティブとなり農作物の生産活動に正の影響を与える。
3	交通・生活施設	B	ダム施設建設により農地、荒地、森林、道路、牧草地や通信施設等が水没する。また、ダム建設に伴う永久土地収用も行われる。
4	地域分断	D	基本計画実施により地域分断は発生しない。
5	遺跡・文化財	D	カナート保全を策定要素として基本計画目標値は設定され、三次元モデルにて検証されている。その結果、トルファン市とシャンシャン県のカナート保護区では、地下水位が現状維持または回復することが予想されている。このことによりトルファンの伝統文化財でもあるカナートが保存される。
6	水利権・入会権	D	ダム建設や井田群建設により既存用水量が減ずることは無く、地域内での水利権・入会権に抵触するような事項は無い。 アラ溝ダムの水を他地域に導水する場合、水利権を管轄する当該地区の水利庁が水利権の調整を行うことが必要となる。しかし、基本計画中に示されている流域協議会がトルファン市、シャンシャン県、トクソン県で形成され、トルファン盆地流域の統合的な管理概念が確立した場合、利害関係者（ステークホルダー）の合意のもとで水資源の分配が行われるようになる。
7	保健衛生	D	節水事業の一環で下水処理施設が拡充されることで都市部の保健衛生状況の改善が期待できる。
8	廃棄物	B	ダム建設や井戸掘削工事により発生する建設廃材や労働者からの生活ごみが廃棄物として発生する。
9	災害（リスク）	D	ダム建設や洪水余水の地下水涵養施設により当該地域の洪水防止機能が向上する。
自然環境			
10	地形・地質	B	ダム建設に伴う地形構造の改変がある。
11	土壌浸食	B	表流水及び土壌損失は主にダム建設工事期間におきる。基礎調査や建設資材収集などにより表層植物群が破壊され、表土が大気に晒される事により当該地の粗密な土壌は強い風や降雨に

No.	環境項目	評価	理由
			より流されてしまう。
12	地下水	C	トルファン地区の経済発展や農業用地面積拡大により地下水揚水量の増加が予測される。中国側では、地下水揚水の規制、農業用水料金値上等の対策を行う計画であるが、どの程度地下水の揚水量を抑制できるかは未知である。それ故、地下水揚水量を間接的に示す地下水位の変動は、今後継続的にモニタリングすることが必要となる。
13	湖沼・河川流況	D	ダム建設に先立ち、現況河川に取水口、取水路を設けるので建設期間中の河川流量は通年流量と変化は無い。建設後、ダム湛水は、渇水期（冬期）に実施され豊水期（夏期）の必要水量は取水路を通じて下流に放流されるためダム建設に伴う下流側への影響は無い。
14	海岸・海域	D	アイディン湖の湖面面積は増加すると予想されるが、他に負の影響は見込まれない。
15	動植物	C	トルファン地区では降雨量が極端に少ないため、植物は地下水から水を得ている。そこで地下水位が目標値に維持される場合、現況の植生に影響を与えることは無いと予想できる。生態環境調査結果によると基本計画や優先プロジェクトの対象地であるトルファン盆地内には、絶滅が危惧される動植物は存在しないことが判明しているが、土壌塩類集積が進行する地域では植物に影響が発生する可能性があり、土壌塩類集積の防止・改善対策の必要性がある。
16	気象	D	ダム貯水により周辺微気候が改善される。
17	景観	B	ダム建設によりダム周辺の地形的な景観が変化する。
18	大気汚染	B	ダム建設や井戸群建設中に工事車輛等により排気ガスが排出される。しかし、建設後は排気ガスが発生する可能性は無い。
19	水質汚濁	B	ダム建設中に発生が予想される土壌流出により河川水の濁度が高くなる。また、ダム建設や井戸群工事中に発生する掘削残土による水質汚濁が発生する。
20	土壌汚染	B	ダム建設や井戸群建設中に発生する汚染物質を含む残土や廃水により土壌汚染が発生する。
21	騒音・振動	B	ダム建設や井戸群工事の際に騒音・振動が発生する。しかし、建設後は騒音・振動が発生する可能性は無い。
22	地盤沈下	D	基本計画実施により地盤沈下は発生しない。
23	悪臭	D	特に影響は見込まれない。
<p>特記: 評価区分 A: 深刻な負の影響が予期される。 B: 負の影響が予期される。 C: 影響の範囲が不明確である。（引き続き調査必要。今後影響範囲が明確になる。） D: 負の影響は予期されない。EIA実施必要無し。</p>			

b. 基本計画の影響軽減・防止対策

以下に予想される影響の軽減・防止対策を以下に示す。

表 10.33 基本計画の影響軽減・防止対策

環境項目	防止・軽減対策
住民移転	移住を余儀なくされる住民に対し彼らの現状を十分に把握し方針を策定する。また、様々な社会的軋轢を防ぐため保証金の支払いを行い、その保証金を利用した新住居建設を行う。農民に対しての保証金は、阿拉溝ダム建設地で1,700,300元、二塘溝ダム建設では1,911,300元と試算されている。
生活施設損失	全ての回復可能な施設及び回復が絶対な施設は、元の規模や仕様を持って再建築し、住民生活に必要な同様の施設を移転地に建設できなければ、同等機能を有する代替施設を建築することが必要である。また、必要ではない施設であっても公共資産として保障されなければならない。公共施設として以下の建設が必要である。

環境項目	防止・軽減対策
	<p>1：阿拉溝ダム周辺道路：6.5 km 2：通信ケーブル：4 km 3：電力ケーブル：3 km 4：給水パイプ：2 km 以下の施設は、移設後必要のない施設であるが保障対象にならなければならない。 5：衛星放送受信施設 6：洪水防止ダム 7：橋 上記の建築・保障金額の合計は、阿拉溝ダム建設で3,814,400元、二塘溝ダム建設では250,000元必要であると推計されている。</p>
ダム建設に伴う土地収用	<p>阿拉溝ダム建設に伴う恒久土地収用面積は189畝で所有者への保障金額は5,780元と試算されている。臨時土地収用面積は210畝（廃棄物保管：36畝、建築廃材保管：50畝、建設用道路：27畝、その他：16畝）、これらの土地は生産性がない荒地であるために所有者への保障は必要ない。二塘溝ダム建設に伴う恒久土地収用面積は210畝でこれに対する保証金は6,200元と試算されている。</p>
土壌浸食及び景観	<p>ダム建設に伴う土壌損失防止対策は、植樹に適切な法面を確保し、植生回復を行うことで土壌流出を防止し景観を改善する。これにより阿拉溝ダムでは80 %、二塘溝ダムでは90 %の土壌流出が防止できる。 阿拉溝ダム建設に伴う土壌・表流水損失防止対策の仕様は以下のとおりである。 土壌掘削：3,800 m³ 埋め立て：25,700 m³ グラウティング：8,270 m³ コンクリートライニング：373 m³ 地均し：7.8hm² 傾斜地保護（樹木）：13,500 m² 傾斜地保護（蔦類）：7.8 hm² 傾斜地保護（藁類）：1.42 hm² 傾斜地保護（芝類）：0.55 hm² 二塘溝ダム建設では土壌・表流水損失対策予算は項目化されているが、具体的な計画は発表されていない。</p>
水温の階層構造による灌漑地への影響	<p>阿拉溝ダムと二塘溝ダムへ集まる水の多くは、上流の水河に起源を持つ。それ故、両河川水温は相対的に低い。ダム貯留水は水平方向への動きが少ないため、ダム建設後、貯留水は温度によって階層構造が発達すると考えられる。もし、下流域への灌漑用水取水口がダムの低位置に取り付けられた場合、灌漑用水の水温が非常に低く大気温度よりかなり低いため、下流域の育成穀物に低温障害がおきる可能性が懸念される。 そこで、取水口をダム上部に取り付けることで用水温度を大気温度に近付けることが可能であり、水路を流れる間に用水温度が十分上昇することが期待できる。</p>
汚染（大気、水質、土壌）、廃棄物および騒音・振動	<p>ダム建設中には様々な廃棄物（水、排気ガス、騒音等）が排出され、周辺環境に負の影響を与えることが予測できる。そこで、建設中には厳格な環境管理を行い、周辺環境に与える環境負荷を出来るだけ防止する必要がある。以下に防止対策計画を記す。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 建設廃水や下水処理を行うための施設に300,000元を投資する。 2) 土壌粉塵対策には水を撒くことで対応し、騒音対策には、建設機械や車輛に騒音防止装置導入を積極的に勧める。これらの対策には200,000元が必要と試算されている。 3) 建設労働者の衛生・健康管理対策を実施する。管理者は、定期的な検疫を行い建設労働者中での疫病蔓延防止に努める。衛生・健康管理対策には、200,000元が必要と試算されている。 4) 生活ごみ管理実施のため200,000元の投資を行い、生ゴミ収集箱設置、仮設トイレ設置、消毒作業を行う。 5) 800,000元を投資し、ダム建設中の環境保全管理と検査を実施する。
地下水	<p>環境影響詳細で述べた影響を防止するには利用量把握を試みるより地下水位の変化を基に対応策を講じることが肝要であると考えられる。その為、地下水モニタリングにて地下水位変化を適切に把握し、本調査で提案されている節水事業等の対応</p>

環境項目	防止・軽減対策
	策を実施することで目標水位を維持しなければならない。実施には優先プロジェクトにて提案する地下水モニタリングの予算、人員及体制が必要となる。
動植物	トルファン地域の場合、動植物への影響は土壌塩類集積が関係する。本計画においても地下水モニタリングや井戸群開発による地下水位管理等の塩類集積防止対策を一部含むが、総合的な土壌改善事業を新たに計画する必要がある。

c. 環境影響評価結論

過去導水路や井戸の無い時期のトルファン地区では主に泉やカナートからの水が利用され盆地内地下水涵養量を超えない水資源利用量と蒸発等の自然蒸発量の総和をもって地下水資源量が平衡を保っていたと考えられる。しかし、近年の人口増加や経済活動の発展により水資源利用量が急増し、従来の取水方法では需要増加量を補う事が出来なくなり井戸から地下水を揚水するようになった。現在も地下水資源利用量は増加し続けており地下水涵養量とのバランスは平衡状態に至ってはいない。

基本計画で示される2020年目標揚水量が達成されると、トルファン地区の地下水利用バランスが改善し地下水位の回復が予測される。この結果と地下水状況に強く影響を受けるトルファンの自然・社会条件を総合的に考察すると基本計画は、水資源を持続的に利用するためのベンチマークとしてだけでなく生態環境保全のベンチマークとしても有効であると結論付けられる。

本基本計画はセクター計画と位置付けられ、計画のドラフトを承認機関である省級以上の人民政府関係部門に上申する前に環境影響評価を行う必要がある。本基本計画の場合（優先プロジェクトを除く）、実施機関は新疆ウイグル自治区水利庁であるので、水利庁が以下の点に留意しながら環境影響評価の手続きを行う必要がある。

中国環境評価法に規定される環境影響評価報告書は、以下の構成で作成されなければならない。

- 当該計画実施により発生する可能性のある環境影響の分析、予測及び評価
- 環境への悪影響の防止と軽減の対策と措置
- 環境影響評価の結論

本調査で行った環境影響評価は、上記の構成に沿い、表 10.32に示されている環境項目についての影響を予測・評価を行った。この環境項目に関して調査実施前の C/P 機関との協議では中国での環境影響評価でも妥当性が高いとの判断を得ている。

しかし、予測・評価の具体的な項目と範囲は、国務院の環境保護行政主管部門が国務院関係部門と共に策定し、実施機関である水利庁に通知されることになっている。

中国国務院の環境保護行政主管部門と国務院関係部門が決定した評価項目が本調査で行った影響評価の項目と異なる場合或いは追加評価項目がある場合、水利庁は、本報告書の環境影響評価結果を参考にしながら決定された評価範囲について報告書を作成することが望まれる。

また、本調査結果より幾つかの環境項目で負の影響が発生する可能性や公衆の環境権益に直接関わると予測されるため、水利庁は計画ドラフト上申・承認の前に関係者への公聴会の実施、或いは関係機関や専門家との協議を経て広く意見を聴衆し計画策定に反映させる必要がある。本基本計画で提案されている流域協議会を早急に設立し、協議を行う事が肝要と考えられる。

準備された環境影響評価報告書は、市級以上の人民政府が指定する環境保護行政主管

部門或いはその他の部門の代表者や専門家で構成される審査グループへ提出され審査される。環境影響評価が承認された後、基本計画は省級以上の人民政府関係部門で承認される。

優先プロジェクトは、中国の環境影響評価法上では建設事業に該当する。その為、事業者は、予想される環境影響の度合いによって環境影響評価報告書（ダム建設）、環境影響報告表（盆地西部井戸群開発）、環境影響登録表（パイロット節水事業、住民参加モニタリング）を作成する必要がある。

10.9 実施計画

水資源開発利用管理計画の施策と事業は図 10.14に示すスケジュールに沿って実施する。本計画の実施はこのスケジュール案を指針として今後中国側で検討を行うことが望ましい。

10.9.1 節水対策推進

a. 既存の節水灌漑計画の確実な継続実施及び前倒し

本計画の目標年である 2020 年までの節水灌漑施設の普及計画は、実施するための諸条件を整えて、計画通り事業を推進する必要がある。計画の実施に当たっては各地域の地下水環境を考慮して、シャンシャン南部やトルファン市南部など重点地域を中心に強力に推進することが望ましい。

b. パイロット節水事業と本格実施

パイロット圃場の建設・実験及び結果の展示・普及は遅くとも 2007 年中には準備を開始し、2010 年までに前述した節水灌漑に関連する主要な技術課題に対して解答を出し、本計画で提案している節水対策事業に反映し、実施を本格化する。

10.9.2 水源の増強・保全

a. 既存ダム計画

阿拉溝ダムの建設は 2010 年以前の出来るだけ早い時期である 2007～2008 年を見込み、建設年数 4 年となることから、運用開始を 2010 年～2015 年の間に予定する。大河沿ダムは 2015 年以降の早期に、また二塘溝ダムは 2010 年を目処に実施し、2015 年前後に運用開始できるよう計画する。

b. 洪水余水かん養

本計画は早急に準備（基本設計）を行い、2010 年以前に 7 河流域の幾つかについて実施する。

c. 地下水開発と塩類集積土壌改善

トルファン盆地西部は地下水開発余力があるため、2010 年までに準備（調査・試掘、基本設計、詳細設計）を行い、2010 年までに地下水開発の運用開始を計画する。塩類集積土壌の改善については 2006 年以降準備（調査、設計）を行い、2010 年以降改善事業を

開始する。

d. トルファン地区外からの導水

現在、新疆ウイグル自治区北部のカラマイからウルムチへの導水計画が立案中であるが、この水をさらにトルファン・ハミ地区へ導水する構想については最終オプションとして2020年頃の建設を想定し、スケジュールに付記する。

10.9.3 流域連携と協議開設

地下水協議会は2006年を設立準備期間とし、2007年には第1回会合を開催することを目指すよう準備する。

10.9.4 法制度拡充整備施行

a. 取水許可制度実施細則

取水許可制度実施細則等の整備施行は、本計画を指針として2007年頃までに準備検討を行い、2010年以前の出来るだけ早期に施行を計画する。

b. 節水対策推進制度

パイロット節水事業の準備と平行して、推進制度の創設準備を行い、2010年以前の施行を計画する。

c. 用水料金体系の見直し

用水料金体系の改訂については当面は公聴会等の中国国内手続きを経て2006年中に実施されるものとした。これら水料金については今後、設立を計画する地下水協議会における合意形成や節水事業の進展を見守りつつ、本計画期間中に継続的に検討を行うものとする。



10-49

図 10.14 水資源開発利用管理計画の実施スケジュール案

11. 結論と提言

11 結論と提言

11.1 結論

(1) トルファン地下水盆

トルファン盆地は北盆地と南盆地に分けられる。盆地内基盤岩分布地域を含む総面積は約 12,000km² で、全域に第四紀層が堆積し広大な地下水盆を構成している。第四紀層の基盤深度は南盆地の西部で 600m 近くに達するが東部では 200~300m である。また、北盆地の基盤深度も深く 500~600m に達すると推定される。

第四紀層は A 層、B 層、C 層に区分され、各層の砂~砂礫層が帯水層を成す。南盆地西部では砂礫層が厚く分布するが、中央部から東部では砂・シルト層が厚く分布する。北盆地の第四紀層では礫層が卓越する。

(2) 水資源利用量

トルファン地区の 2003 年時点における水資源利用量は 16.75 億 m³/年である。水源別内訳は、河川水 (6.46 億 m³/年)、泉 (1.48 億 m³/年)、カナート (2.40 億 m³/年)、井戸水 (6.41 億 m³/年) である。地下水は主に A 層帯水層から取水され、泉、カナート、井戸水を合わせた地下水利用量は 10.29 億 m³/年に達している。水資源利用の 90% 以上は農業用水が占めており、工業及び生活用水は併せて 3% 程度である。

(3) 地下水の水位と水質

1986 年からの地下水位変動記録によると、トルファン市の地下水位は長期的に比較的安定していたが 2000 年以降は徐々に低下している。シャンシャン県では 1996 年頃から地下水位が大きく低下し、とくに南盆地のシャンシャン県南西部では 1996~2004 年の低下量は 15m 近くに達している。トクソン県では他の県・市に比べ地下水位低下量は小さい。

地下水の水質はトルファン市南部からアイディン湖にかけて一部地域で、浅層地下水 (A 層帯水層) の硫酸イオンや TDS 濃度が高く、その他の健康関連項目も基準値を超える地点が認められる。

(4) カナート

トルファン地区のカナートは 1994 年時点で 586 本存在し、その流量は 4.4 億 m³/年であったが、2004 年では 331 本に減少し、流量は 2.4 億 m³/年に低下した。カナート本数は 1994 年に比べ、トクソン県で約 20%、トルファン市で約 30%、シャンシャン県では 50% 以上減少している。

(5) 生態環境への影響

トルファン盆地の砂漠化は東西方向に広がり砂漠面積は 1986~2004 年間で 70~80km² 増加した。一方、この期間にオアシス面積も拡大し、その増加速度は砂漠化の進行より速い。しかし、砂漠化による生態環境悪化や水不足などにより住民移転 (生態移民) が発生している。

トルファン盆地中心部のアイディン湖は気候変動や水資源の利用増加により、近年、湖水面積は縮小しつつあり 2004 年 9 月の衛星画像上では消滅した。

(6) 地表水資源の開発可能量

トルファン地区へ流入する河川流量は長年平均で 9.57 億 m^3 /年であるが、通年流量がある 14 河川の利用可能流量は 8.72 億 m^3 /年である。現況ではこのうち 6.46 億 m^3 /年が利用されており、利用率は全河川合計で 74.1%である。14 河川のうちトクソン 2 河（アラ溝河、白楊河）の利用率は 65.5%であり今後まだ利用率を上げる余地がある。しかし、他の河川では大河沿と二塘溝以外はほぼ限界に達しており、開発余地はない。

(7) 地下水資源の持続的利用量

地下水シミュレーション予測結果から、地下水資源（主に A 層帯水層）の持続的利用量（許容揚水量）を検討した結果、トルファン市とシャンシャン県北部では現存するカナートの維持、シャンシャン県南部では全面的な地下水の枯渇防止、そしてトクソン県では開発余力を残した現状維持を許容要件として目標水位（許容地下水位）を設定した。この目標水位のもとでのトルファン地区の持続的揚水量は、2020 年：3.79 億 m^3 /年である。

トルファン地区西部及び中部の深度 300m までには C 層上部砂礫層に深層地下水が賦存し、水質も良好であるが、C 層下部砂礫層（深度 300～600m）の深層地下水とともにかん養のほとんどない枯渇性地下水資源であるため、開発は慎重に実施する必要がある。しかしながら、トクソン県を中心とした西部地域の 50～150m 深度の浅層地下水（A 層）へは、地下水かん養が多くあり、地下水位が高く開発余力がある。

(8) トルファン盆地の水収支

トルファン盆地全体の水収支は、現況では流入量（河川流入量＋地下水流入量）12.7 億 m^3 に対して、流出量（水利用蒸発量（主に灌漑地蒸発量）＋導水路蒸発量＋地下水蒸発量）が 15.2 億トンであり、2.5 億トンの赤字が生じている。

地下水の水収支は、現況維持案では 2020 年に、地下水かん養量（山側と垂直かん養）6.66 億 m^3 /年に対し、流出量は 10.2 億 m^3 /年で大幅な赤字である。しかし、持続的揚水量のもとでは地下水かん養量 6.02 億 m^3 /年に対し、流出量は 7.67 億 m^3 /年となり、赤字幅は大幅に減少すると予想される。

(9) 水資源開発利用・管理基本計画（マスタープラン）

トルファン盆地の水資源開発利用・管理計画は、トルファン盆地とその流域を一体として地表水・地下水を統合して開発・管理するため、2020 年に地下水の持続的利用量（許容揚水量：3.57 億 m^3 /年）を達成することを目標として策定した。

本計画は、①節水対策の推進、②ダム開発等による水源増強と地下水かん養、③流域協議会（地下水協議会）の設立、④法制度の拡充整備と施行、の 4 項目を基本方針とした。

本計画目標を達成するには、節水対策を強力に推進することが必要である。また、アラ溝ダム等の建設計画を推進して、河川水の利用率を極限まで引き上げることや洪水余水の地下水かん養も必要である。ダムにより開発された新規水量は、トルファン地区内で最も経済的、合理的になるよう配分されるべきである。トルファン盆地西部地域では群井による地下水開発を行い、水源増強とともに塩類集積土壌改善に役立てることが可能である。

本計画では地下水協議会を設立し、住民・行政・事業者がそれぞれの役割分担を行い、

計画を推進する。また、節水対策推進のための制度創設や新疆ウイグル自治区取水許可制度実施細則等についての整備と施行を行う。

本計画の中心となる節水対策事業は、トルファン市及びシャンシャン県南部地域での重点的な実施を計画した。節水対策事業及び阿拉溝ダム建設後の導水により、2020年を目標とした地下水揚水量の削減による目標水位（許容地下水位）の達成は可能と考えられる。重点節水対策事業及びダム建設事業等に要する総事業費は重点節水計画案の組み合わせにより、13.1億元から16.7億元となる。

(10)事業評価

1) 財務評価・社会経済評価

既存資料を基に行った上記分析によると、阿拉溝ダム建設事業については、感度分析を含めて経済内部収益率（EIRR）は十分に高い値が得られた。しかしながら第10章で述べたとおり、県・市水利局の財務状況については課題解決が必要である。また、同様に財務的検討を踏まえる必要がある。

2) 技術評価

優先プロジェクトの一つであるパイロット節水事業において各種節水対策技術の開発、実験を行い、節水効果及び農作物の増収効果等が検証される。この結果、節水技術の普及により本計画の中心施策である節水対策が本格的に推進される効果を生むことが期待できる。

3) 環境評価

本計画目標の達成により、地下水が枯渇に至る事態は避けられる。また、トルファンの伝統的文化遺産であるカナートが保全される。全体としてトルファン地区の生態環境が保全され、砂漠化に伴う住民移転等は最小限にとどめ得るものと評価できる。

11.2 提言

11.2.1 水資源利用について

a. 南盆地の地下水利用

シミュレーションによる地下水位の将来予測によれば、盆地西部では対策実施により地下水位の維持が期待されるのに対して、盆地東部では地下水位は低下し続け、回復することがない。したがって、シャンシャン県南部を中心とした盆地東部では地下水利用を可能な限り表流水や他地域からの導水利用に転換するとともに、重点的に節水対策を進めなくてはならないが、トクソン県を中心とした盆地西部ではまだ地下水開発が可能である。

本調査では、石炭等地下資源の豊富なトクソン県北西部の塩山北側でA層帯水層を主対象とした井戸群開発のシミュレーションを行い、大きな地下水低下量を発生させることなく取水できることが予測された。同様の地下水開発は塩山の南側地域においても可能と考えられる。従って、今後は、盆地西部の地下水新規開発について実施可能性調査を行い、表流水の新規開発コストとの比較検討を行って、トルファン盆地全体の水資源の有効利用という観点から、盆地内における表流水資源と地下水資源の適正な配分をして行くことが望ましい。

b. 深層地下水開発

本調査結果によりトルファン地下水盆の南盆地西部では第四紀層厚は 600m に達することが明かとなった。しかしながら、試掘調査により帯水層の性状を把握できたのは深度 300m までである (JICA-TW-SW 観測井)。TEM 法による物理探査結果は、西部地域の深度 300~600m (C 層下部)において帯水層になり得る礫層の存在を示唆している。300~600m の深層部に賦存する地下水は、トルファン地区の水収支から見ても、過去数万年の地質時代を経て蓄えられ、地下水揚水に伴い消耗される枯渇性地下水資源である。今後、深層部の帯水層分布と性状、地下水質等を調査することはもちろん必要であるが、その開発は慎重に行うべきである。従って、この地域における井戸掘削はとくに厳格な審査を行い、用途の優先度に応じて限定的に利用することが大切である。また、将来は 300~600m の深層部に達する地下水観測井を設置し、モニタリングを行うことが望ましい。

一方、北盆地の第四紀層厚も 600m 近くに達するが地下水位は JICA-TW-NC 観測井で 290m を示し、かなり深い。北盆地は地形勾配が急であり、標高の高い地域では地下水位はさらに深くなることが予想され、地下水開発には適していない。北盆地は、火焰山と塩山の間で南盆地に繋がっており、北盆地で涵養された地下水が南盆地に流入している。北盆地の天山山麓から火焰山北麓のオアシスまでは荒涼とした土漠であり、山地からの洪水流の地下水かん養に適している。地下水かん養は、下流側のカナート保全に寄与するため、本計画の施策として d.4 に述べるような方法で地下水かん養を実施することを提言する。

c. カナートの保護

カナートの保護は水資源利用自身の価値より伝統的水文化、トルファン地区のシンボルを守る観点から見て重要である。しかし、トルファン地区の長年の社会経済発展とそれに伴う地下水開発・利用の結果から見ると、カナートの衰退は避けられない。一方、地下水が比較的豊富で地下水位低下が軽微なトクソン県やシャンシャン県北部の連木沁鎮周辺では、カナートは十分な流量を維持していて、重要な水源として農業生産や生活に利用されている。従って、カナートの保護と社会経済発展を両立させるには、本計画で示したように、保護できる可能性も利用価値も高いカナートを重点的に保護すべきである。その保護対策としては次の 2 点に留意しなければならない。

c.1 カナート保護区の指定と管理の徹底化

トルファン地区ではすでに一部の地域がカナート保護区として指定されており、カナートから 400m 以内の範囲で新規井戸を禁止する等の条例が作成されていて、ある程度の保護効果が得られている。しかし、トルファン市やシャンシャン県では、保護地域内の新規井戸の掘削は完全になくならなかった。飲用水や灌漑用水がなければ、井戸を掘る以外に方法がない農民の立場を考えると、これまでの保護区の適用条件が十分か、保護区に指定した場合の水源確保が可能かなど、本計画で提案したカナート保護区と保護基準を参考に、再検討が必要である。一旦保護区に指定した場合は、監督管理体制を確立し、違反した場合の罰則等も確実に整備することが必要である。

c.2 カナートの保護支援

カナートはトルファンの存続・発展歴史の過程で、他に代え難い大きな役割が果たし、古来の井戸掘り技術を最大限に発揮した取水施設の代表となっている。しかし、カナートの水量維持のためには頻りに浚渫・延長等の作業を行う必要があり、それに適した作

業機械がないので、人力作業となりかなりの重労働である。カナートを維持するための作業を確実に実施して行くためには教育・奨励政策、資金、技術等の支援が必要である。

d. 地表水利用

d.1 平原区ダムの廃棄

トルファン盆地内の地表水利用をするために、10数箇所では平原ダムが建設されている。調査実施時の2004年夏季ではそのほとんどが枯渇した。トルファンのような蒸発量の大きい地域では、水深の浅い平原区ダムでの貯水量の多くは蒸発散で消費され、水資源の無駄使いになってしまっている。従って、現在ある平原ダムの再評価を実施して、メリットよりデメリットの方が大きいダムを廃棄し、冬の余剰泉水等を地下浸透させて、地下水涵養した方が水資源の有効利用にとって有効であり、望ましいと考えられる。

d.2 地表水の合理的配分

全体的に水資源が不足しているトルファンでは、水資源量分布の季節性及び地域的不均一性が大きい。現況の地表水資源利用は大原則が県市及びその下の郷鎮単位のように行政区画に従って配分されることが多い。このような管理方法では水資源を最大限に有効利用することは困難である。南盆地の地下水利用で提言したように、地表水についても水資源量、社会経済状況（1人当たりの水資源量）等を総合的に評価した上、地域的配分案を決めるべきであろう。トルファン盆地の水資源分布から見て、西部で開発された地表水は東部へ送水し、その代わりに水権の概念に基づき、送水の恩恵を受けしかも比較的経済レベルの高い東部は、西部から送られた水量に応じた代償を支払うことにより、水資源の合理的利用が進むとともに東西両地域の共同発展を促進することができる。また、このことにより本計画優先プロジェクトの一つである阿拉溝ダム建設の財務収益率向上が期待できる。

d.3 水路系統の管路化

山区の地表水は水路によって盆地内に導水している。水路のほとんどは開水路であり、送水途中の蒸発損失量は大きい。送水途中の浸透損失もあるが、それは地下水の涵養量になるので、水資源の無駄な損失とは異なる。蒸発損失は水資源の最終消費であるので、それを極力減らすことは水資源の最大限の有効利用に繋がる。現在の農地では低圧パイプ送水が推進されているが、将来支線水路や幹線水路をも暗渠化、パイプ化にすることによって、送水途中の蒸発を防ぐ必要がある。

d.4 冬季河川流量や洪水等の余剰水による地下水涵養

トクソン県ですでに実施している等高線に沿った簡易土堤の建設は、地下水涵養の面では大変望ましいことであり、実施地区では地下水位を守り、カナートの流量が増えるなど効果が得られた。平原ダムの変わりに、冬季の余剰水がある場合、洪水等水路で利用不可能な地表水を直接下流に流さないように、下図に示すように簡易土堤を建設するかあるいは直接農地に灌水して地下浸透を促進し、地下水涵養量を増やすことが必要である。

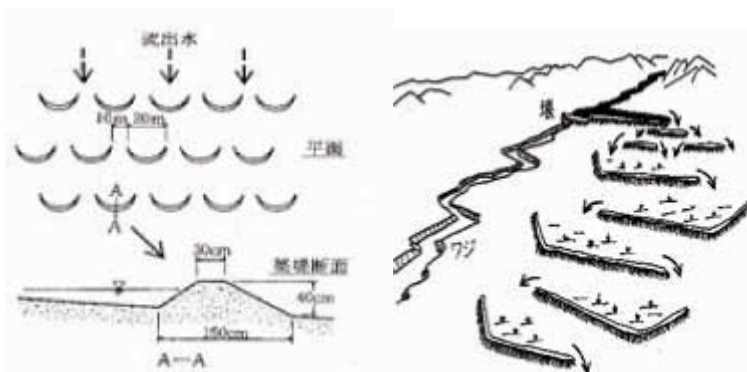


図 11.1 簡易土堤

11.2.2 水質について

a. 安全な飲用水の確保

水質調査で明らかになったように、トルファン地域では水質項目の中に良くないものが含まれる地域がある。カナートや泉及び一部の浅層地下水では塩分濃度が高く、また特に硫酸イオン濃度が高いなどの問題がある。フッ素やマンガン等が飲用水水質基準値を超える項目もあり、飲用に適さないものもある。そのような地域では今後水源転換が必要である。このような水質問題の多いトルファン市南部をみると、JICA-TW-SS 観測井の深度 200m の砂層帯水層（C 層上部）の TDS と硫酸イオン濃度は低い値を示し、水質は良好である。この地域では、飲料水への利用を優先第一として、200m 深度の深層地下水の開発利用により安全な飲料水水源を確保することが対策の一つである。

b. 帯水層の汚染防止

深層地下水は山区河川水に続き、トルファン地区における諸水源の中では 2 番目に水質の良い水源である。しかし、地下水の無秩序な開発、特に井戸掘削時に遮水工を規定どおり実施しない井戸によって、深層地下水が汚染される恐れが大いにある。深層地下水の水質を保護するには井戸作成の規制、井戸作成時の遮水工の実施を徹底する必要がある。

c. 微塩化水の有効利用

塩分濃度が飲料水基準を超えても作物の生育に利用できる水源はトルファン地区では多く存在している。そのような水に適した作物の栽培計画、塩水淡水混合灌漑や交替灌漑等微塩化水の利用方法を確立し、微塩化水の有効利用を促進する必要がある。

d. 水質観測の強化

地下水モニターリング計画の一部として、地下水の水質観測を強化する必要がある。また、地下水だけでなく、泉水や河川水についても特に飲用水として利用されている水源の水質については定期観測する体制を作成する必要がある。

11.2.3 優先プロジェクトの財務について

外部資金による優先プロジェクトを実施する際検討すべき点を次のように提言する。

a. 事業独自の会計システムの確立

特に支出の管理が不十分とならないように、事業単独の会計システムを確立し、現金の流れや資産管理の実態を常に明瞭に維持することが重要である。

b. 制度の見直し

財務の健全化のために、法制度の見直しを行いつつ、事業運営ならびに維持管理に係る関係機関の責任分担を明確にしておくことが重要である。

自治体の財源が乏しいことに鑑み、関係機関間の事業費自己負担割合の見直しも再考の必要がある。場合により、民間セクター導入に係る法整備も検討する。

さらに、料金回収率の改善のためには、住民に対する啓蒙活動実施の他、料金徴収方法（担当者・手段・計量機材の設置・頻度等）の再検討も重要である。料金を改定しても高回収率が保証されなければ、結果的に赤字財政と値上げの繰り返しを続ける羽目になることを理解し、その回避に十分な準備する必要がある。

c. 人材育成の推進

事業を管理するのは事業主体の人員である。組織や制度が整備されても、それを動かす人間の技術・管理レベルが低ければ、結果として事業推進に様々な支障をきたすこととなる。したがって、事業実施に必要な組織体制、制度の見直しと共に、事業実施に必要な人員、分野、技術・管理能力について評価し、しかるべき人材養成を行うことが重要である。

11.2.4 生態環境用水

トルファン地区はオアシスとして発展し、オアシス文化と呼ばれる生活様式や文化を有している。オアシスの水は、カナートを通じて都市まで運ばれ住民の生活、農業やオアシスを保護するため周辺の緑地整備に利用されてきた。この様な水利用形態を中国では、「生態環境用水」と呼んでいる。また、緑化や土壌への散水だけでなく、河川、湖などに補給される水をも意味している。

本計画で行った灌漑用水需要予測のうち植樹や人工草場の用水は、その意味で、生態環境用水に含まれる。一方、14本の通年河川は、ほとんどが山麓部で取水または地下浸透しており、洪水の流入を除けば、恒常的には、白楊河以外にアイディン湖に流入する河川はない。この点からするとアイディン湖の湖水面積を維持するために必要な白楊河流量も生態環境用水である。

トルファン盆地のカナートは、盆地山側の比較的浅い水位の地下水を盆地底部まで暗渠導水し、農業、生活用水として利用している。この導水方法は、蒸発量を抑えると同時に地下岩石との接触時間を短くすることで水中のイオン濃度も抑制できるなど科学的にも妥当性が高く、その形態から生態環境用水と呼ぶことができるであろう。

トルファンの伝統と文化を守るためカナートを保護し、アイディン湖の景観を存続させ、さらに、砂漠化対策を行って住民移転を防止し、地区全体として緑多いオアシスを

存続させ発展させて行くには、本調査で策定された水資源利用管理基本計画を土台にして、今後改定を行う際に生態環境の維持・改善を目的とする項目を新設し、正常な生態機能を維持するために必要な最小限度の生態環境水量を設定することを提言する。

11.2.5 「目標水位」設定と地下水盆管理

本計画では、地域ごとに「目標水位（許容地下水位）」を設定して、地下水シミュレーション予測から最も望ましいと考えられる案を組み合わせ「地下水の持続的揚水量（許容揚水量）」を求めた。現代の先進国における地下水盆管理はこのように地下水目標値を設定し、その範囲内で地下水揚水量を制御することが主流となっている。

1960 1970 年代に先進国では地下水過剰揚水に伴う地盤沈下、塩水化など地下水公害が多く発生し、「安全揚水量」を如何に決定するかの議論が盛んに行われた。その過程で実証され定説となったのは、地下水盆では揚水量に応じて動的平衡（二次的平衡とも言う）状態が発生するということである。これは、地下水揚水量の増加や減少に応じて地下水かん養量も増加、減少し、地下水盆内に擬似的平衡状態が出現することを意味している。「擬似的」というのは、地下水の流速が極めて遅いため、地下水盆全域においてかん養量・流動量と均衡するような地下水位に達する前に、水文地質条件に応じて、揚水地域周辺では平衡状態が現れることを意味する。このような動的な考え方が本計画の目標水位と目標揚水量を決定する基本になっており、静的平衡（自然かん養量＝安全揚水量）の考え方は採用していない。

本計画で設定した目標水位（管理水位と呼んでも良い）は、計画を実行する人々の考え方次第で変更が可能であり、目標水位の設定に応じて揚水量は変化し、それに伴って、かん養量や地下水流動量も変化していくのである。問題は目標水位を何処に置くかにかかっている。トルファン盆地は巨大な地下水盆であり、その全てを汲み尽くすことは不可能であるが、膨大な水資源量であることは確かである。この巨大な地下の貯水池を出来るだけ長持ちさせながら使用していくことが次世代、そしてまたその次の世代へと水資源利用を受け継いでいくことにつながる。本計画の目標値を指標として広範な議論を行いつつ、計画実現に向けて行くことを提言する。