

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16mm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 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15.1億トンであり、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。

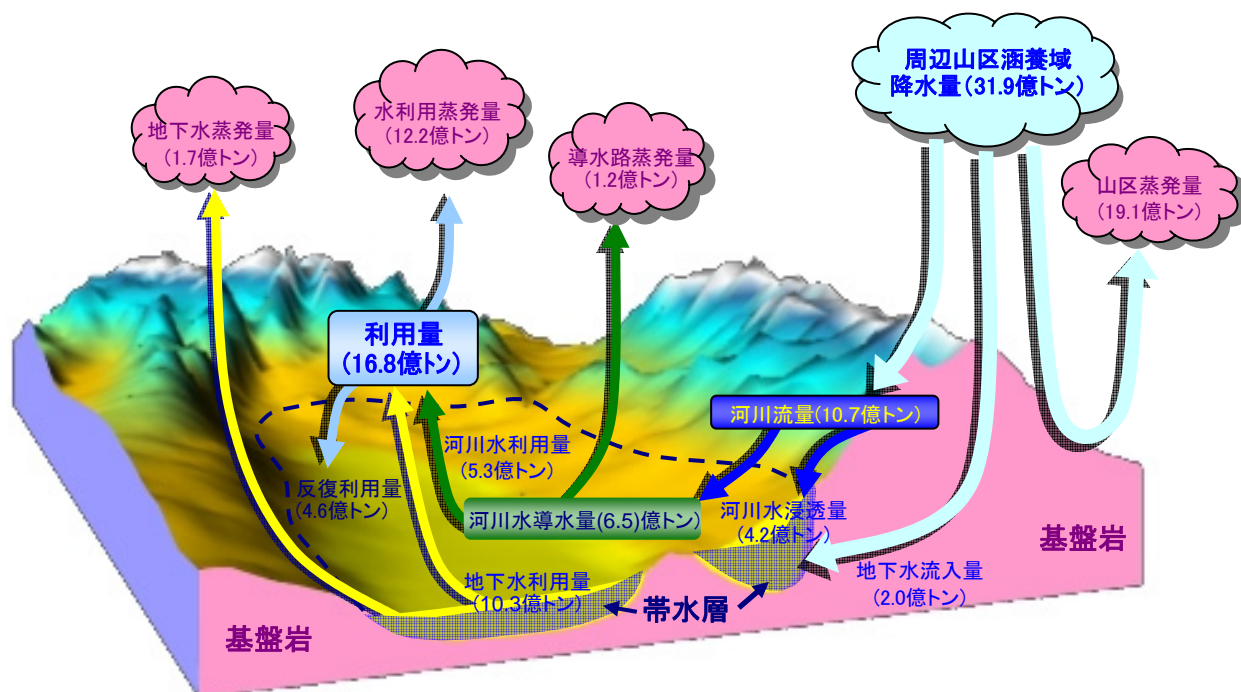


図 10.1.1 トルファン盆地の現況水収支

各量の説明：

- ・ 降水量 31.8 億トン：水文学解析結果
- ・ 河川流量 10.7 億トン：水文学解析結果。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：水文学解析での調査結果。
- ・ 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：水文学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 水資源利用管理の課題

10.2.1 水資源開発と地域配分

2003年におけるトルファン地区の水資源利用内訳は表 10.2.1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 86 %は農業用が占めており、10 %を占めるその他用水も林業や牧畜用水を含むことから、水利用は農業及びそれに関連する用水がほとんど全てであるといっても過言ではない。トルファン地区の今後の経済成長を見込んでも、工業用水や生活用水の水利用全体に占める割合が飛躍的に伸びることは考えにくく、トルファン地区の水資源問題とは、農業用水の開発利用をどうするかであり、問題の核心をなすことが明白である。

水源別に水利用内訳を見ると、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。このように、現在のトルファン地区の水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くなっている。井戸による地下水利用量が、1990年代を通して一貫して増加してきたことは、地表水資源の開発がほとんど限界に達していることの証でもある。

表 10.2.1 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。

また、表 10.2.2に示すように農業用水の県・市別内訳を見ると、トルファン市とシャンシャン県がほぼ同量のそれぞれ約 5.55 億 m³及び 5.53 億 m³を利用しているが、トクソン県は約 3.41 億 m³で少ない。水源別に見るとトルファン市とシャンシャン県では河川水利用量は両方とも約 2.0 億 m³であり、泉、カナート、井戸による地下水利用の方が多く、それぞれ約 3.5 億 m³程度である。これに対して、トクソン県の河川水利用量は約 2.3 億 m³で、トルファン市やシャンシャン県よりもやや多く、地下水利用量は約 1.1 億 m³と少ない。

表 10.2.2 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%

表 10.2.3はトルファン地区の大流域別に地表水資源の現況利用率を見たものである。この表からも分かるように、トルファン地区では今後開発できる地表水資源は限られている。トクソン 2 河流域やトルファン・シャンシャン 7 河流域では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 10.2.3 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%

4 大流域の内、トクソン 2 河流域の河川利用率はまだ 57.9 %であり、全体として見ればまだ幾分かの水資源開発余力がある。2 河流域のうち阿拉溝河は平均流量が 1.71 億 m³である。上流域にはトルファン地区外の和静県があるが、山地で人口もほとんどなく水利用はない。しかし、2 河のうち白楊河の上流域はウルムチ市に属し、平均流量は 1.36 億 m³であるが、下流のトルファン地区での水資源開発には行政地区間の調整が必要である。

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計画がある。これらのダム建設により全体として幾分かの新規開発水量を得ることは可能である。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必要がある。また、ダム建設に伴う下流側での地下水かん養量の変化や生態環境に及ぼす影響についても慎重な検討が必要である。

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し、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（地下水揚水量）の約 6.4 億 m³のうち 6 億 m³は農業用水に使用されている。地下水揚水量の地域的分布は、シャンシャン県が約 3.3 億 m³を占め、約 2.2 億 m³のトルファン市がそれに次いで多い。このため、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の進行など社会環境問題となっている。

過去 10 年間の地下水揚水量を県・市別に集計すると表 10.2.4 に示すように、1994 年の 3.16 億 m³ から 2003 年の 6.41 億 m³ へと倍増している。特にシャンシャン県では激しい増加を示し、1994 年の 1.28 億 m³ から 3.25 億 m³ へほぼ 3 倍増となっている。これは、シャンシャン県へ流入する河川が、トルファン・シャンシャン 7 河流域の柯柯亜河、二塘溝の 2 河川及び坎尔其河のみであり、3 河川を合わせた平均流量は 2.23 億 m³ で、柯柯亜河と坎尔其河にはすでにダムが建設され、二塘溝の流量もすでに 9 割以上が取水されており、新規ダムも洪水調節用に計画されているためである。

表 10.2.4 県・市別過去 10 年間井戸揚水量

単位：百万m³/年

県市	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	626.0	641.5

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 20 m 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。従来は深度 70 m 程度の井戸により浅層帯水層が開発利用されてきたが、地下水位の低下や揚水量の減少により、最近では井戸深度が深くなり 100 m を超えるものも現れ、徐々に深層帯水層の開発が進んでいる。このまま井戸建設と揚水量増を放置すれば、やがて地下水盆全域で地下水位低下の広域化が進み、地下水資源の枯渇に至る事態にもなりかねない。

また、水質調査結果によれば、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、井戸を深く掘り、深層帯水層の地下水を取水する場合も、浅層地下水が井戸側壁を通して深層帯水層に侵入し、深層地下水を汚染すると考えられる。このように、トルファン地下水盆全域での地下水位低下や水質悪化により、地下水が枯渇したり、枯渇しないまでも水質悪化のために利用が出来なくなる事態は避けなければならない。

上述のように地下水資源は現在トルファン地区の主要な水資源となっており、これを保全し、適正にそして持続的に利用して地域住民の農業用水と生活用水を守るための対策を立案することは緊急の課題である。このため、水資源利用管理基本計画では、「許容限界水位」の概念に基づき、「許容揚水量」（持続的地下水揚水量）の目標設定を行い、それを達成するために必要な諸施策や事業展開について提案する。

1994 年制定の「新疆ウイグル自治区取水許可制度実施細則」において定められた地下

水管理制度は、地下水資源評価の結果に基づき、流域或いは行政区画毎の地下水資源開発利用及び保護計画を策定し、国や自治区の定めた技術基準に基づき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することとしている。しかしながらトルファン地区では、この制度はまだほとんど適切に施行されていないため、水資源利用管理基本計画では、地下水許容揚水量評価に基づき、地下水管理制度の運用を検討することも課題である。

10.2.3 節水技術の普及

中国国家發展改革委員会と科学技術部は「中国節水技術政策の要綱」を制定し、節水技術を開発しその普及応用により利水効率と利益を高め、水資源の持続的利用を促進することとしている。とくに、農業用水については効率的な節水型農業を発展させることが国家の基本戦略であるとしている。農業用水源に関しては積極的に多水源の結合管理技術を開発させ、各種農業用水施設の制御と管理方法、表流水の効率的な利用、地下水の適切な取水、水資源の合理的配分と利用に力を入れる方針である。また、効率的な配水・分水技術により効率を高めるとともに、導水、配水、分水の基礎となる圃場灌漑技術の改善を農業節水の重点としている。

すでに述べたように、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。それ故に、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、幹線水路の渠道防滲（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。本計画では節水灌漑面積の増加を織り込んだ水需要予測を行い、水資源管理基本計画に反映させるものとする。

10.2.4 生態環境の保全

a. 砂漠化の進行

国連環境開発会議(1992)および砂漠化対処条約(1994)によれば、「砂漠化」とは「乾燥、半乾燥及び乾燥半湿潤地域における種々の要素(気候変動および人間の活動をふくむ)に起因する土地の劣化をいう」と定義されている。これらの地域での砂漠化とは具体的には農地や牧草地、森林等が、土壌浸食、土壌特質（物理的、化学的、経済的）の悪化、長期的な自然植生の喪失により、劣化していくことである。

1986年と2004年のSPOT画像解析によると1986年以来トルファン盆地では砂漠の面積は南北よりも東西方向の変化が大きく、西へ向かって絶えず拡大している。砂漠の総面積はこの期間に70~80 km²増加し、年間平均約4~5 km²であった。一方、同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も速い。

他方、2004年のSPOT画像解析でトルファン盆地の風浸食地域を解析すると、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。植生保護や植樹のための用水は、いわゆる「生態環境用水」と考えられる。シャンシャン県の一部地域では下水を二次的に利用しているが、砂漠化対策に当たってはその地域における水資源の利用可能性を検討して、対策規模を検討することが課題となる。

b. 土壤塩類集積

土壤塩類集積は砂漠化の中の重要な一原因であるとともに、砂漠化の最も強い影響因子でもある。地勢が低く、勾配が緩やかな盆地平原地域では灌漑・排水システムがスムーズに働かず、地下水位が高くなりやすい。塩類集積は農耕地や牧草地の土壤生産力を極端に低下させ、一旦塩類濃度が高くなると改善対策も難しい。塩類集積が確認された地域では即時、有効な防止措置を取らないと、被害は深刻となり、土壤生産能力は完全に喪失し植生が退化する。トルファン盆地では上記の土壤塩類集積を引き起こす条件が揃っており、広い地域で土壤塩類集積が拡大している。

SPOT 画像解析によれば、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とが分かった。トクソン県の中心部から東部地域では塩類集積が原因で農業生産が被害を受け、さらに塩類集積面積が拡大する傾向にある。一方、トルファン市を中心とする広大な地域で行われた塩類集積改善・防止対策により、特に軽度の塩類集積土壤が改善され、その面積も大幅に縮小した。

浅層地下水は地下水位が浅い場合、地下水面から直接地表へ蒸発するため、地下水位変動に伴い土壤塩分の集積に大きな影響を与える。トクソン県の中心部から東部は地下水位が浅く一部には自噴する地域も見られる。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。これは、畑地、果樹園等農地の節水を含めた灌漑排水改善の一環として実施されなければならない。

c. アイディン湖の湖面変化

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。アイディン湖に水を供給できる唯一の河は白楊河のみであり、2003 年には、アイディン湖水面の東西長さが 6 km²、南北幅 2.6 km、深さは 1 m 未満で、面積は約 14 km²であった。現在のアイディン湖は塩水湖であり、塩類濃度 210 g/l、水化学類型は SO₄-Cl-Na である。

アイディン湖は、地史的には上新世末（新第三紀末）にすでに淡水湖として存在し、その後第四紀を通じて次第に淡水は塩水化し、最終的に完全な塩湖となったと考えられている。地質時代にはその湖面面積は数百～数千 km²の間で変遷したと推定されている。歴史資料や最近 20 年間の SPOT 画像解析によると 20 世紀前期から 80 年代中期まで湖水面積は 140 km² 程度から 20 km² 以下に急速に縮小した。

その後、主に気候要因で 90 年代初めから湖面が再度表れ、さらに、緩やかに拡大するが、湖水面積の変化幅は大きくなかった。2000 年 3 月になると、湖水面積は 80 年代以来の最大値の約 50 km² となった。その後、湖面は繰り返し変化したが、全体的に緩やかに縮小の傾向を続け 2004 年 9 月の衛星画像上では湖面が再び消滅した。

このように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。アイディン湖はトルファン盆地の最低標高地点であり、閉鎖性盆地の中で自然的にせよ人為的にせよ、それらの諸活動の結果として、最終的に塩類が集積する場所である。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ことは明かであり、このような環境をどの程度保全するのか、水資源管理における生態環境用水の意義やその確保について、今後広く論議される必要がある。

10.2.5 カナートの保全

2004 年時点でトルファン地区に存在し、利用されていると推定されたカナート数は 420

本あり、本調査ではこれら全てのカナートの実態調査を行った。その結果、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。この内12本は季節的断水によると考えられ、冬季には流量が回復するが、その他のカナートは枯渇や崩壊等の原因ですでに放棄されている。枯渇の主な原因は地下水位の低下によるものであり、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400m範囲での新規井戸や上流地域における土堤の建設制限を決定している。

カナートの利用についてみると、利用量全体の90%を占めるのは農業（灌漑・畜産）用であり、灌漑用に年間1.26億 m^3 、畜産用等に9,000万 m^3 、合計2.16億 m^3 に達している。一方、生活用水は約51,000人の飲料水や洗濯等に年間2,348万 m^3 が使用されている。農業（灌漑・畜産）と生活用水利用量を合わせると2.4億 m^3 に達し、トルファン地区全体の水資源利用量16.4億 m^3 のうち14.6%を占めている。市・県別に見た農業（灌漑）用のカナート利用量は、トルファン市とシャンシャン県でそれぞれ5,857万 m^3 と4,587 m^3 で、カナート水利用量の大半を占めており、両地域にとっては依然として貴重な水資源であることに変わりはない。

トルファン地区でもとくに地下水位低下の激しい東部のシャンシャン県の南盆地にある魯克沁鎮や吐峪溝郷などではカナートはほとんど消滅している。しかし、北盆地の七克台鎮や連木沁鎮では農業用水（灌漑・畜産）及び生活用水を合わせて、それぞれ1,810万 m^3 及び3,419万 m^3 の利用が行われていることから、今後はこれら残存するカナートを保護してその持続的利用を計画することが課題となる。

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、トルファン地区の水資源開発の歴史から見ると、井戸掘削による地下水利用が進んだため、今後のカナートの利用は限度があることは明かであり、現状の利用を当面維持することを計画の目標とすることが現実的であろう。

従って本計画ではカナートの保全及び再生に関して保護域を設定する。保護域では、許容地下水位を設定し、周辺地域での地下水許容揚水量を定めて、新規の井戸掘削については厳しい制限を提言する。

既存井戸についても、水文化や伝統的観点からカナート水位回復が必要と考えられる場合は、井戸揚水量の削減を行う必要がある。しかしながら、歴史的にトルファン地区では農地拡大による増産・増収のため井戸による地下水利用が進んできた経緯があり、地下水位の低下がカナートの枯渇を招き、結果としてさらに井戸が増加してきた。この点から見れば、井戸かカナートかという取水方法の良否の選択ではなく、もはや地下水資源そのものをいかに保全管理するかという課題に力点を置き、カナートの現状を最大限維持するなかで、水文化と伝統の貴重さを残していく必要がある。

カナートの保護と一口に言っても、その持続的利用のためには、定期または不定期に浚渫や暗渠延長等のメンテナンスが必要である。このためには、カナートのメンテナンスに関する費用が確保されなければならない。本計画で策定するカナート保護地域については地区政府による規制と同時に適切な維持管理指導や費用の助成措置を提言する。

10.2.6 地下水モニタリング

a. 地下水モニタリングの役割

地下水は地表水と違い、泉や浅井戸など地表面に近い場所を別にして、どれくらいの流量があり水質はどんなものであるか、ほとんど直接に見ることの出来ない水資源である。トルファン地下水盆地においても、深井戸はほとんどが農業用に利用され、地下から揚水された水が水路で配水され、畑に散水される状況を直接見ることはできるが、その時点での地下水位や水質を知ることが、そこに測定器がないかぎりほとんど不可能であ

る。また、利用者に地下水揚水量を井戸1本1本について計測して報告させることも将来的には必要である。しかし、地下水盆管理の基本的な手段として考えると、地下水盆のある一定の範囲内に観測井を設置し、そこで地下水位と水質を監視する方が個々の井戸の地下水揚水量報告を待つより簡単であり、得られたデータの利用率が高い。つまり、合理的、科学的な地下水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。

地下水モニタリング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。地下水盆管理が進んだ段階では、後述するように、地下水盆の代表的地点において「許容限界水位」を設定することとなる。地下水モニタリングの具体的な役割は、究極的には、これら設定された「許容限界水位」が守られているかどうかを監視することにあると言える。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データベースに格納され、同じく本調査で構築された地下水シミュレーションモデルと結合させて、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。

また、観測された地下水位や水質のデータは定期的に公表されることが望ましい。具体的にはトルファン地区政府機関や市・県の水利局広報を通じて新聞、テレビ、ラジオ等を利用した定期的な報道を行い、住民の水資源に対する保護意識や節水意識を高めるために役立つ必要がある。先進国では、大気汚染モニターなどと同様に住民に見えるように市役所の入り口などにその日の地下水位を掲示して、予め設定した「警戒水位」や「節水水位」に近づくと、住民に注意や具体的な節水行動を呼びかける例もある。

b. 既存のモニタリング施設の問題点

トルファン盆地では、地区水利局の指導と監督の下で県・市の水利局により地下水位の長期観測が実施されてきており、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32本である。これらの観測施設及び運用の問題点は下記のようにまとめられる。

- ① 記録を整理して電子化されておらず、記録紙のままのものも多い。
- ② 地下水位測定は月3回程度しか実施されておらず、欠測期間が多い。
- ③ 32本の観測井以外に観測が中止されたり廃棄された井戸が32本ある。この理由として井戸の破損により廃止され観測不能となったものもあるが、根本的には測定のための人員や予算の問題から観測が継続されなくなった。
- ④ 測定結果が整理されていないため地下水盆管理に有効に活用されていない。また、観測井のデータを活用する場（例えば地下水対策協議会のような水利局や水文水資源局、利用者農民・住民等のステークホルダーが参加した組織）がなく、データに基づいた地下水管理についての論議が行われていない。

前項④は、水資源の有効利用と管理のために、住民・事業者・行政が流域共同体意識をもち、広域的な連携と役割分担を行う上で欠くことの出来ないものである。

c. モニタリングシステムの構築

トルファン地区には既存の観測井の他、今回調査で作成された JICA 観測井がある。JICA 観測井の数は全体としては少ないが、以下のような地下水盆管理の考え方をもとに建設されている。

- ① トルファン北盆地と南盆地の帯水層の分布を考慮して、地域の代表性をもつように北盆地では中央部に1箇所、南盆地では東西方向4箇所に設置された。
- ② 観測井の深度は北盆地をのぞき、各箇所で浅層帯水層と深層帯水層を対象とした観測井を1本ずつ計2本を設置した。
- ③ このことにより、平均深度70 m程度の多数の既存井戸が開発利用している浅層帯水層の水位と水質の動向をモニターする。また、浅層帯水層での地下水揚水が深層に及ぼす影響や深層帯水層での地下水開発がその水位と水質に及ぼす影響を観測する。

今後のトルファン地区の地下水モニタリングは、当分の間既存観測井群と 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。記録された地下水位と水質データはトルファン地区水利局に設置された GIS 地下水データベースシステムに入力し、必要に応じて加工・出力して地下水盆管理に具体的に利用していくことが望まれる。さらに将来的には、地下水利用の動向を考慮しつつ、トルファン盆地内において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 計画の基本的な考え方

本計画は、トルファン盆地の存続・発展のため、流域全体として水資源をとらえ、貴重な地表水・地下水資源を適切に管理し有効に利用するために策定するものである。しかし、本計画はトルファン盆地における地下水資源の占める役割の重要性に鑑み、将来の地下水の持続的利用を主軸とした計画を立案する。

地下水資源は、その量と質や地表水との相互作用の点で極めて複合的な資源であり、その過剰利用により、帯水層の水量と水質、ひいては地表水にもその影響が及ぶため、管理に当たっては、開発と水需要のバランスを考慮することが重要である。一般に、地下水資源管理は水利用者が地下水位の低下、井戸揚水量の減少、水質の悪化などに直面してはじめてその必要性が認知されることが多い。そこでそのまま、無秩序な地下水揚水が放置されると、図 10.3.1に示すような「悪循環」が発生し、極度の地下水位低下や、水文地質条件によっては、塩水侵入や地盤沈下など、地下水資源全体に回復不可能なダメージを与えることになる。この「悪循環」を、地下水の持続的利用が可能となるような健全な「好循環」に変えるには、地下水帯水層の管理と同様に水及び土地利用者を管理していくことが重要と考えられる。つまり、換言すれば、地下水資源管理においては、社会経済的な要素（水利用者など需要サイドの管理）が水文地質的要素（水量、水位、水質など供給サイドの管理）と同程度に重要であり、両者を統合した地下水資源管理計画の策定が求められる。

とくに、地下水の供給サイド管理において重要なことは、水利用者住民・事業者及び行政機関などステークホルダーが以下の点について一定の関心をもち理解をすることである。

- 1) 地下水揚水が帯水層に与える負の影響（地下水位低下、揚水量減少、水質悪化など）
- 2) 地下水と地表水の相互作用、揚水の影響（河川の基底流量や湿地への影響）、河川流量の変化と涵養量の減少など

これらは全て短期的かつ回復的ないし半回復的か、または、長期的かつ半回復的な影響である。水利用者の理解を得て、より効果的な地下水資源管理を実践することが大事であり、その際には前節で述べたように、地下水モニタリングが不可欠の手段となる。また、一方で地下水の需要サイド管理においては以下の点に留意が必要である。

トルファン地区では、農業用の地下水揚水量が大きなウェイトを占め、地区の社会経済開発の根幹は農業生産におかれている。このため、地区の開発目標と水利用とは密接不可分で、水利用のあり方は帯水層など自然系のみならず社会経済系それ自身にも大きな影響を与える。従って、地下水資源管理は水利用者・農民の理解や用水管理、節水の技術的・経済的手段の導入、さらには利用者間連携等によってのみ、実施効果のあるものとなると考えられる。

水文地質的条件や社会経済条件は地域特有のものであり、統合的な地下水資源管理計画はそれらを十分反映させ策定しなければならない。また、持続的かつ効果的な管理のためには主要なステークホルダーの参加が不可欠である。管理の実施に当たっては水資源関係政府機関と利用者の中で実施能力の開発が必要となる。

図 10.3.2に示すように、トルファン地区の地下水資源はすでに「有意のストレス」ないし「不安定な開発」段階にあり、このまま進めば、総揚水量は、結局、非回復的な帯水層それ自身の枯渇により著しく減少していくものと予想される。従って、水資源管理計画は、如何にして「安定的な開発」段階に移行させるかの方策を確立することにある。

地下水開発の発展段階に応じた統合的な地下水資源管理手段を表 10.3.1に示す。トルファン地区の地下水開発利用と地下水位低下の現状を見れば、地下水管理手段としてとりうる手段はレベル 2 ないし 3 に対応するものである。これらの対策、諸手段のどれを優先するかは、主要なステークホルダー間でこの問題がどこまで理解されるかにかかっているとと言える。

10-12

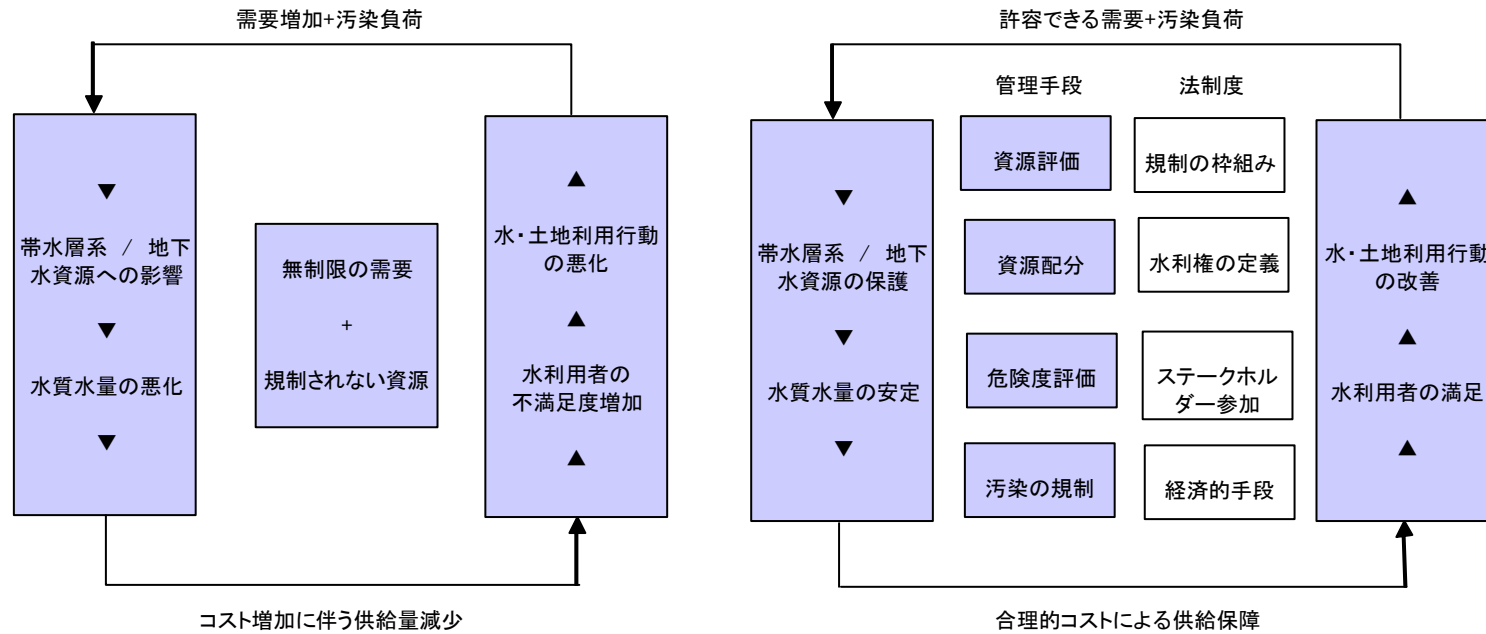


図 10.3.1 地下水開発に伴う悪循環と統合管理による好循環
(GW・MATE, World Bank, 2003 による)

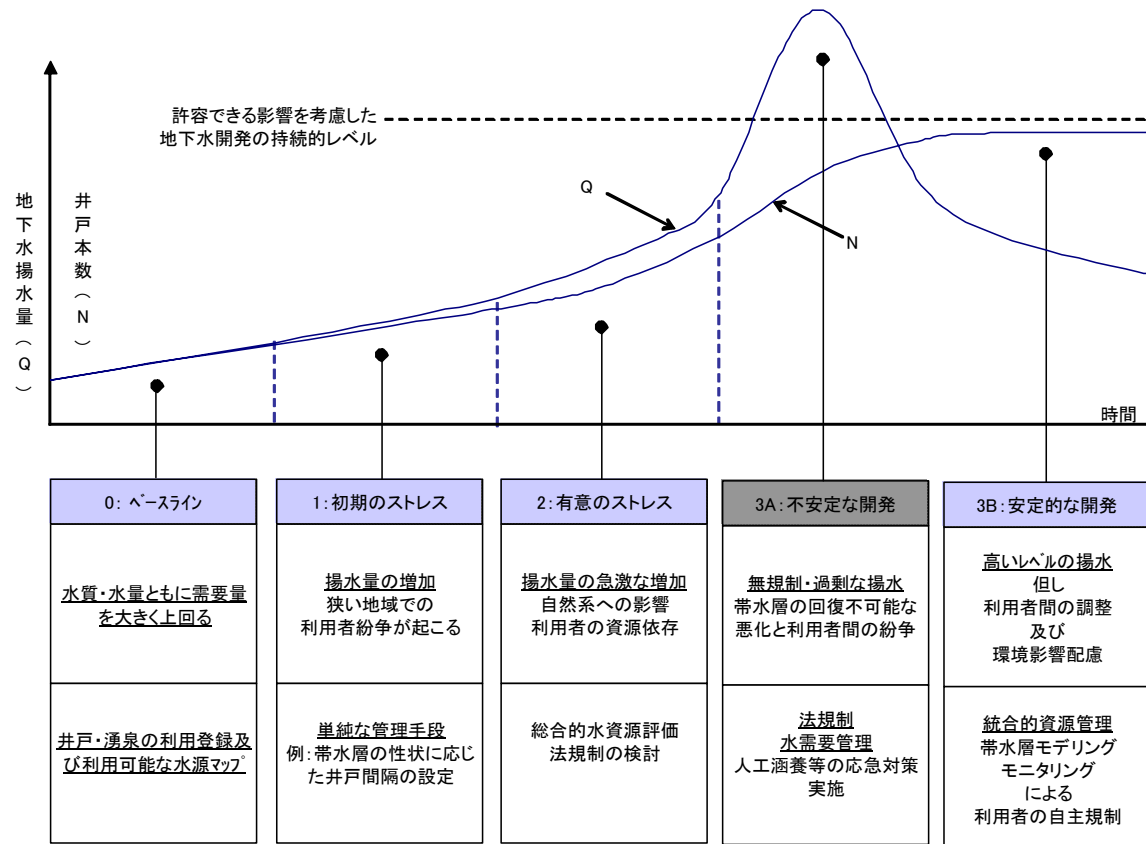


図 10.3.2 地下水開発段階毎に必要な管理手段
(GW・MATE, World Bank, 2003 に加筆修正)

表 10.3.1 地下水開発段階毎に必要な管理手段

地下水管理方法と手段	地下水開発段階と管理手段			
	0	1	2	3
技術的手段				
水資源評価	帯水層に関する基本的な知識	野外調査資料による概念的モデル	地下水揚水シナリオによる数値モデルシミュレーション	モデルの政策決定支援及び計画・管理での使用
水質評価	水質に関する制限なし	水質の変化が問題となる	水質変化の理解	水資源配分計画と水質の組み合わせ
帯水層モニタリング	定期的なモニタリングは行われない	プロジェクト実施時のモニタリング	定期的モニタリング確立	管理政策決定のためのモニタリング利用
制度的手段				
水利権	慣行水利権	ときに水利権の究明（法廷において）	社会的変化が慣行水利権に優先するとの認識	管理計画に基づく動的な権利
規制	社会的規制のみ	限定的な規制（例：井戸新設の許可、掘削の制限等）	政府機関による積極的な規制・施行	ステークホルダーの自主規制促進と管理
水法	水法はない	地下水法の準備について論議される	地下水利用者組織の法規定	帯水層管理のための全般的法整備
ステークホルダーの参加	水利用者と管理者の交流は少ない	利用組合の設立、受け身的な参加	ステークホルダー組織を管理組織に組み入れる（例：地下水協議会など）	ステークホルダーと政府機関は帯水層管理について責任を分担する
啓蒙教育活動	地下水は無尽蔵、無料の資源と考えている	地下水は有限の資源（保全・保護に関するキャンペーン実施）	地下水は経済財であり統合システムの一部	ステークホルダー間の効果的交流と伝達
経済的手段	外部経済はほとんど認識されていない	象徴的な揚水料金	経済的価値の認識（補助金の削減、目標設定）	経済的価値の認識（適正な料金と資源再配分）
管理活動				
副作用の防止	副作用に関する関心はほとんどない	長期と短期の副作用認識	予防的手段	利用と副作用のバランス考慮
資源配分	限定的な資源配分	水利用者の競合	揚水優先権の定義	公正な配分
汚染制御	土地利用と廃棄物処理は制御されていない	土地利用区分が行われるが事前対策的な制御はない	新設の点水源汚染制御及び安全地帯における井戸新設	全ての汚染源の制御：既存の汚染緩和対策

10.4 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。

10.4.1 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、その増加率の今後の変動いかんで、下記の3通りの想定ができる。

- 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）

ケース1ならびにケース3は、過去のデータを元にトレンド分析によって算出した。回帰式として、ケース1は一次回帰式を、ケース3は多項回帰式を用いた。R二乗値（決定係数： $0 < R \text{ 二乗値} < 1$ ）は、ケース1と比較してケース3がより高いが、2001年1月に策定された『トルファン地区国民経済ならびに社会開発第十次五カ年計画および2010年計画』では、ケース1に近い数字が想定されている（2005年人口58.5万人、2010年人口62.2万人）。

そこで、ここでは中間値であるケース2も含め、全部で3ケースを取り上げることとした。それぞれのケースにおける主要年の市県別人口は、表10.4.1～表10.4.3に示すとおりである。また、それぞれのケースにおける地区総人口の推移をグラフに示したものが図10.4.1である。

表 10.4.1 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 10.4.2 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 10.4.3 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

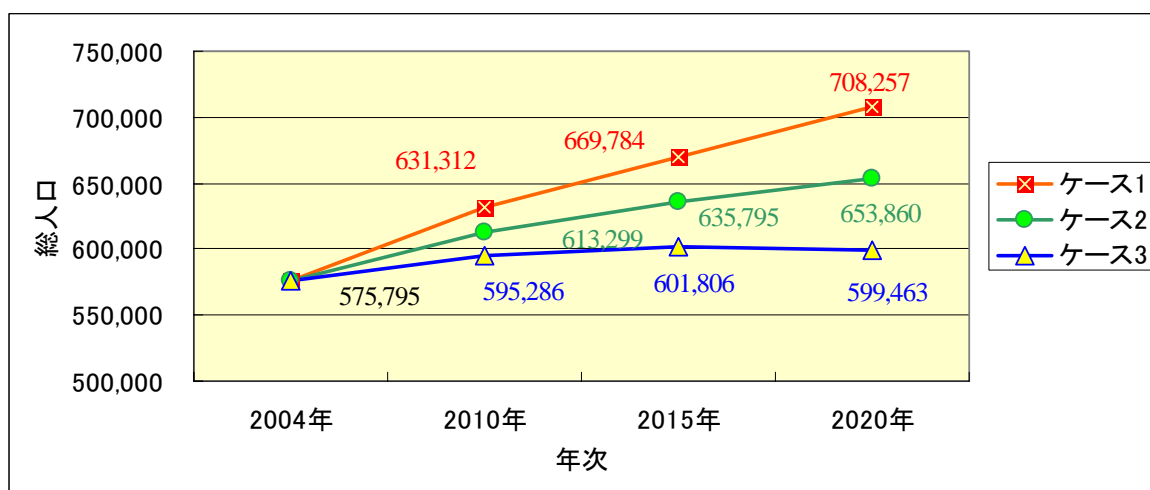


図 10.4.1 3 ケースにおける将来地区総人口の推移

b. 都市人口・農村人口

本調査では、市鎮人口を都市人口、郷村人口を農村人口とみなした。前項で述べたそれぞれのケースにおける主要年の都市・農村別人口は、表 10.4.4～表 10.4.6に示すとおりである。また、それぞれのケースにおける都市・農村人口各々の割合の推移をグラフに示したものが図 10.4.2～図 10.4.4である。

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。

表 10.4.4 トルファン地区の都市人口・農村人口推移(ケース 1)

	都市人口		農村人口		地区総計	
	人口	割合	人口	割合	人口	割合
2004年	236,201	41.0 %	339,594	59.0 %	575,795	100.0%
2010年	281,044	44.5 %	350,268	55.5 %	631,312	100.0%
2015年	314,321	46.9 %	355,463	53.1 %	669,784	100.0%
2020年	348,989	49.3 %	359,267	50.7 %	708,257	100.0%

表 10.4.5 トルファン地区の都市人口・農村人口推移(ケース 2)

	都市人口		農村人口		地区総計	
	人口	割合	人口	割合	人口	割合
2004年	236,201	41.0 %	339,594	59.0 %	575,795	100.0%
2010年	271,664	44.3 %	341,635	55.7 %	613,299	100.0%
2015年	295,982	46.6 %	339,813	53.4 %	635,795	100.0%
2020年	318,735	48.7 %	335,124	51.3 %	653,860	100.0%

表 10.4.6 トルファン地区の都市人口・農村人口推移(ケース 3)

	都市人口		農村人口		地区総計	
	人口	割合	人口	割合	人口	割合
2004年	236,201	41.0 %	339,594	59.0 %	575,795	100.0%
2010年	262,284	44.1 %	333,002	55.9 %	595,286	100.0%
2015年	277,643	46.1 %	324,164	53.9 %	601,806	100.0%
2020年	288,482	48.1 %	310,982	51.9 %	599,463	100.0%

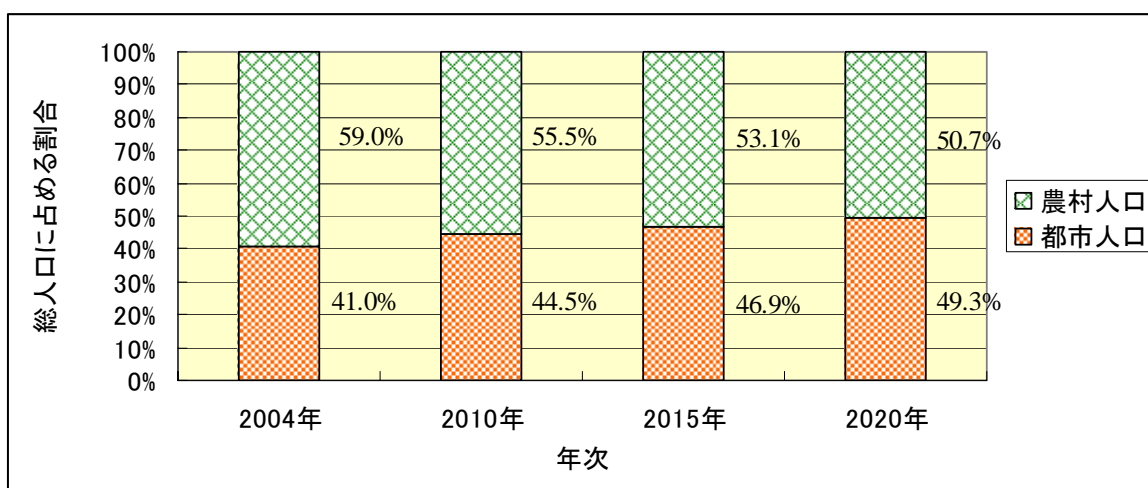


図 10.4.2 ケース 1 における将来都市人口ならびに農村人口割合の推移

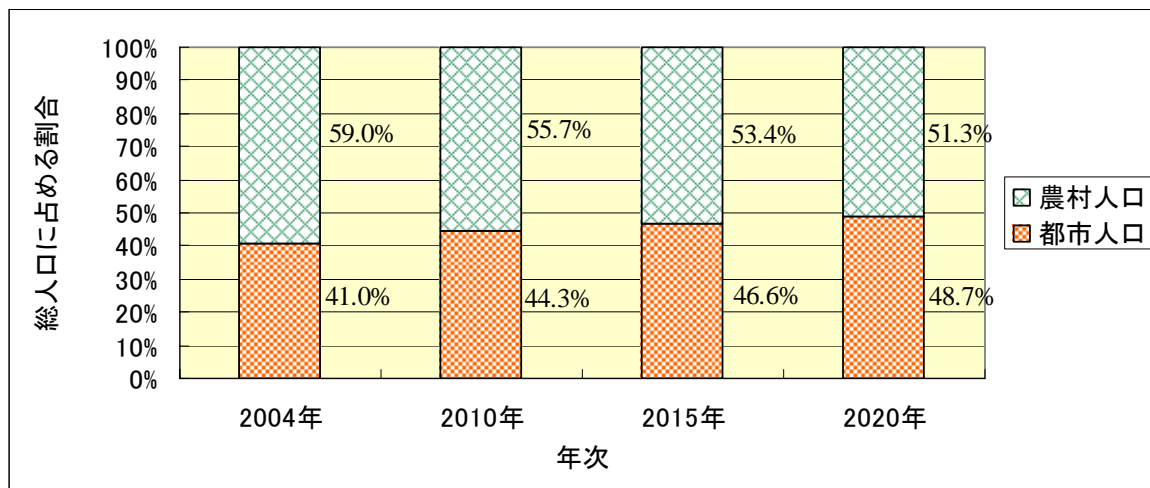


図 10.4.3 ケース 2 における将来都市人口ならびに農村人口割合の推移

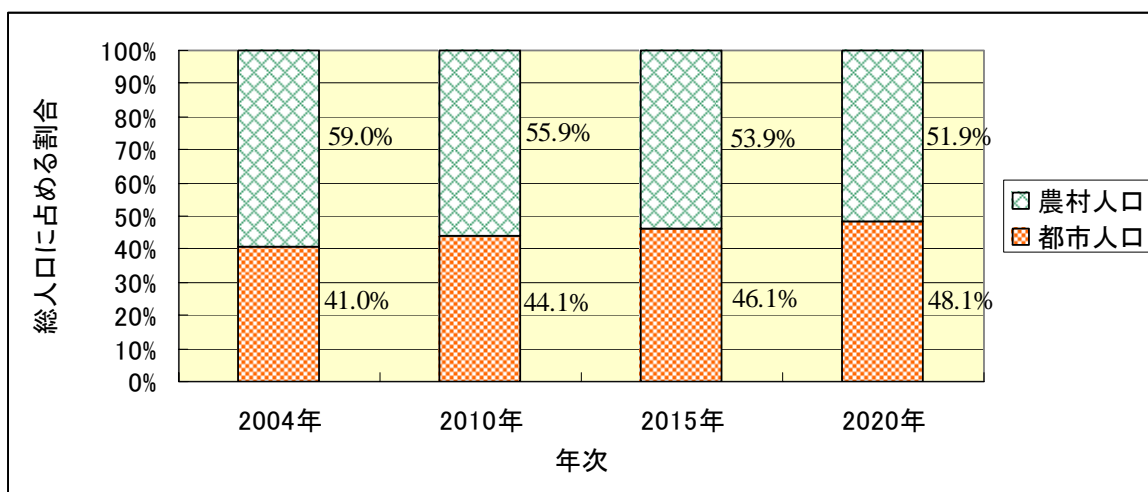


図 10.4.4 ケース 3 における将来都市人口ならびに農村人口割合の推移

10.4.2 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。

「新疆トルファン地区水利水電観測設計研究院・社会調査報告書」が引用している経済論文『本世紀頭二十年吐魯番 GDP 將翻三番（作者：王海龍）』によれば、トルファン地区における 2020 年の第一次・第二次・第三次産業構成比率は、表 10.4.7 のように設定されている。

表 10.4.7 トルファン地区における 2020 年産業構成比率及び同年までの年平均成長率

	第一次産業	第二次産業	第三次産業
想定構成比率	12.5 %	66.0 %	21.5 %
条件（最大値または最小値）	最小で 6.7%	最小で 53.3%	最大で 40.0%
2020 年までの平均成長率	7.50 %	9.75 %	14.50 %

（出典：新疆トルファン地区水利水電観測設計研究院報告書）

また、2003年1月、トルファン地区当局が「トルファン新聞」等マスコミを通じて公式発表した数字によれば、トルファン地区における2010年、2020年それぞれのGDP（国内総生産）総額は、それぞれ169.8億元、478.72億元となっている。

これらの条件を勘案し、本調査では表10.4.8に示すように3ケースを想定した。

表 10.4.8 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。

それぞれのケースにおける、短・中・長期年平均成長率、産業別年平均成長率、産業比率等は、表10.4.9に示すとおりである。

ケース1を達成するためには、短期で年平均10.64%、長期で年平均11.12%の成長を達成しなければならない。各年の国内総生産値予想をグラフで見ると、時系列的には指数関数的に経済成長する必要がある。しかし、一般に、1人当たりGDPが高額に達しつつある国においては、経済成長率自体は漸減していくのが普通である。過去8年間（1996～2004）の平均成長率が10.09%であること、トルファン地区の1人当たりGDPは14,652元（2003年）に達しており、既に新疆ウイグル自治区の平均9,700元（2003年）の1.5倍以上であること等を勘案すると、今後も現在を上回る率でトルファン地区が経済成長するとは考えにくい。したがって、ケース1の現実性は相対的に低いと考えられる。

一方、ケース3では、短・中・長期で、年平均成長率が、8.02%、5.78%、4.42%と漸減する。各年の国内総生産値予想をグラフで見ると、時系列的には対数関数に近い経済成長のパターンである。前述のとおり、トルファン地区の経済成長率も長期的には漸減すると仮定するのが自然であるから、この点でケース3は妥当性があると思われる。また、ケース2は、高成長と低成長のちょうど中間値を取りながら経済成長する。以上のことから、今後のトルファン地区経済は、ケース2あるいはケース3に近い形で成長を続けていく可能性が高いものと推定される。

既に述べたように、2004年現在、トルファン地区における水資源の9割近くが農業用水として利用されている。灌漑面積と一次産業総生産の関係は必ずしも明確ではないが、2020年における一次産業の比率は各ケース一定（6.8%）であることから、少なくとも3ケースの中では、ケース3→ケース2→ケース1の順で灌漑面積の伸びが大きくなると仮定するのが自然である。

第二次産業総生産と工業生産高の関係については、ある程度相関関係があると思われる。いずれにしても、工業用水が水資源利用量に占める割合は、現在1%未満と見られており、今後16年程度の期間における工業の伸びが水資源利用全体の趨勢に大きな影響を与えることは少ないと見られる。

表 10.4.9 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 %

10.4.3 灌漑面積

灌漑地の定義は、下記のとおりであり、灌漑面積とはこれらの用途に供する土地の総計面積である。

$$\text{「灌漑地」} = \text{「耕地」} + \text{「葡萄畑」} + \text{「果樹園」} + \text{「人工林」} + \text{「人工草地」}$$

なお「耕地」とは、小麦・綿花・瓜類・野菜・油脂作物・クミン（孜然）・シロツメグサ（苜蓿）・雑穀その他の栽培農地を指す。

将来の灌漑面積予測には、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を使用した。これには、「トルファン地区統計年鑑」・「地区節水計画資料」・「流域計画資料」等各種既存計画のデータが含まれているが、単独に必要な数値が完全に揃う報告書は存在しない（巻末付録参照）。したがって、複数の報告書から有効な数値を収集することになるが、互いに矛盾するものが多い。したがって、ここでは現存する値を精査し、主要年について可能な限り妥当性のあるものを引用した。また、大小複数の数値が存在する項目については、現存するデータの平均値を取るなど調整を加えた。これらのデータをもとに、目標年の数値をケースごとに以下の様に定め、対数回帰式を用いて各主要年の灌漑面積を予想した。

- 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10.4.10に示すとおりとなる。

表 10.4.10 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。		

¹ 約180万亩。ただし、221兵団・裏作を含まず。

なお、作物別面積に関する以下の傾向は、ケース 1～2 で共通のものである²。

- 耕地面積は、全市県において、対数曲線を描きつつ、一貫して増加する。
- 耕地栽培作物中、小麦・綿花・コウリヤン等雑穀類は停滞もしくは、減少する。
- 耕地栽培作物中、瓜類・野菜・クミン(孜然)・シロツメグサ(苜蓿)は、増加する。
- 葡萄・果樹は、短期的には急増傾向、中・長期的には緩やかな増加あるいは漸減する。
- 人工林・人工草地は、一貫して増加する。

各ケースにおける灌漑面積の推移は、表 10.4.11に示すとおりである。なお、これ以降トルファン市中西部に位置する 221 兵団の灌漑面積は、トルファン市の灌漑面積に含めて示すものとする。

また、ケース毎、年次毎の灌漑面積の内訳（各作物の作付面積）は巻末資料に示すとおりである（ただし、ケース 3 は、面積・内訳とも不変とするケースのため、同表は割愛する）。

² 「トルファン地区国民経済および社会発展第十一次五カ年計画」に提出されている意見書を参考とした。

表 10.4.11 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）

10.5 水需要予測

10.5.1 水需要予測の前提条件

a. 予測案作成の原則

水資源予測は次の4つの原則に基づき作成する。

a.1 水資源利用セクター区分

トルファン盆地内の水資源利用は生活用水、工業用水、農業用水及び其の他用水（環境用水等を含む）のように4つのセクターに分けることができる。水資源利用の現況分析と将来予測はこの4セクター毎に行う。

a.2 地域区分

トルファン盆地では、水資源利用の内、農業用水の利用が最も多い。しかし、水源別の水資源利用量、栽培作物の内訳及び割合、灌漑用水原単位等は、自然及び社会環境の相違によって、盆地内においても地域間の差が大きい。従って、現況分析と将来予測は地域性を十分考慮したうえで行う必要がある。一方、調査地域の既存の統計データや将来発展計画等の関連資料の大部分は県・市単位で作成されているので、現況分析及び将来予測は基本的に県・市単位で行うことにする。

a.3 関連資料の利用

分析に使用する基礎資料は、公表された統計年鑑、本調査で収集された関連報告書、計画書等とする。既存資料の不足分は社会調査及びその他の調査結果により補足する。水資源量及び水資源利用量は本調査で実施された水文調査及び水資源利用現況調査の結果に基づく。

a.4 パラメーターの設定

用水原単位や水資源利用効率のパラメーターはできるだけ既存資料に基づくものとするが、既存資料から求められない場合や、パラメーターや既存資料と本調査で得られた結果の間に大きな差が存在する場合、その発生原因を分析した上、本調査の結果に基づいたパラメーターを選定する。

b. 水需要予測地域区分

調査地域のうち、西部のトクソン県は農業を中心する県であり、地表水資源が豊富である。それに対して、東部のシャンシャン県は工業がGDPの83%（2004年時点）を占め、工業化の最も進んだ県ではあるが、水資源不足が最も深刻化している。トルファン市は経済発展の面から見ても、水資源賦存量の面から見ても、トクソン県とシャンシャン県の中間にある。

一方、工業が最も発達しているシャンシャン県では南北方向での産業の不均一が大きい。火焰山を境に北部と南部に分けると、北部では石油採掘及びそれに関連する産業が中心に工業化が進んでいるが、南部では工業活動はほとんどなく、農業に依存する地域であり、水資源が最も不足している。地下水の過剰揚水により、環境問題が深刻化して

いる地域でもある。

従って、地域区分は基本的に社会経済フレームの設定に従って、県と市を基本単位とするが、シャンシャン県ではさらに北部と南部に分けることにした。地域区分の結果は図 10.5.1に示す。また、各区分地域の水資源利用に関連する基本データは表 10.5.1にまとめている。

表 10.5.1 水資源利用現況分析及び将来予測のための地域区分

番号	予測地域区分	トクソン	トルファン	シャン北	シャン南	合計
(1)	農地面積(統計年鑑、万畝)	19	21	10	9	59
(2)	農地面積(社会経済調査、万畝)	25	31	11	10	76
(3)	灌漑地面積(社会経済調査、万畝)	32	61	20	18	137
(4)	オアシス面積合計(衛星写真、万畝)	40	63	33	34	170
(5)	水資源利用量(万m ³)	37,510	67,278	34,546	28,201	167,534
(6)	常駐人口(2003年統計年鑑)	107,768	254,900	134,299	74,744	571,711
(7)	移動人口(2003年統計年鑑)	129	2,685	17,049	420	20,283
(8)	人口合計((5)+(6))	107,897	257,585	151,348	75,164	591,994
(9)	常駐人口(社会経済調査)	109,500	263,888	136,134	75,766	585,288
(10)	人口合計(社会調査+(6))	109,629	266,573	153,183	76,186	605,571

注：

- 1) 項目(1)の農地面積は基本的に 2004 年の統計年鑑で公表された数字を引用しているが、統計年鑑では新疆生産建設兵団の農場に関連するデータを載せていないので、本件調査で実施された社会調査の結果に基づき建設兵団の農地面積を加えた。
- 2) さまざまな原因で、統計年鑑の農地面積と実際の農地面積との間には差がある。そこで、できる限り実際の農地面積を把握するため社会調査を実施し、統計年鑑上の数字に修正を加えた。項目(2)には社会調査の結果に基づいた農地面積を記入した。なお、トルファン市の農地面積は生産建設兵団の農地面積を含んでいる。
- 3) 項目(3)の灌漑地面積には耕地以外に葡萄畑、果樹園、植林、人工草地を含んでいる。
- 4) 項目(4)のオアシス面積は GIS データベース作成の際に行った衛星写真判読結果を利用して作成した。ここではオアシスという言葉を使っているが、実際は 10 m 解像度の SPOT 画像を利用して、人工的に作成されたオアシス、すなわち灌漑を実施したと判定されるオアシスの面積を意味する。従って、厳密に言えば、人工オアシスと呼ぶ方がより正確であり、項目(3)の灌漑地面積に対応している。
- 5) 項目(5)の水資源利用量には、シャンシャン県北部の石油生産関連用水の約 1,000 万 m³/年の揚水量を含んでいない。
- 6) 項目(6)の人口には注 1)と同じ理由と方法で生産建設兵団の人口を入れた。
- 7) 項目(7)番の移動人口は統計年鑑から得た。シャンシャン県北部以外の地域では、移動人口数が少ないが、シャンシャン県北部では移動人口数はトルファン地区移動人口数全体の 8 割以上を占め、17,000 人を超えている。現況では、シャンシャン県北部地域では石油会社により建設されたベースキャンプがあり、そこに駐在する人口はトルファン地区の常駐人口として勘定されていない。石油生産ベースキャンプの人口数も比較的大きいし、調査地域における常駐人口より、石油会社関連人口の用水原単位が大きいのので、水資源利用現況分析や将来予測では無視できない。

表 10.5.1に示すように、調査地域の灌漑面積については、統計年鑑で得られた資料と衛星写真判読の結果との間に大きな差が存在する。社会調査によりトクソン県とトルファン市の灌漑面積が修正されて、衛星写真の判読結果とは 5 %以内の差となったが、シャンシャン県では依然として 30 %以上の差が存在している。これは、後述するようにシャンシャン県の灌漑水利用率が低くなる大きな原因の一つである。

10.5.2 各用水の現況

a. 地域別水資源利用量

現況の水資源利用量は水資源需要予測の基礎である。そこで、本調査で実施された水文調査、水資源利用実態調査等に基づき、トルファン地区における現況水資源利用の特徴を分析した。

a.1 水源別の水資源利用量

地域区分別、水源別の水資源利用量は図 10.5.2と表 10.5.2に示す。

表 10.5.2 水源別・地域別水資源利用量

単位：百万立米

水源区分	トクソン	トルファン	シャン北	シャン南	地区合計
河川水導水量	226.33	213.78	173.36	32.94	646.41
	60 %	32 %	50 %	12 %	39 %
泉水利用量	7.51	129.89	2.72	7.72	147.84
	2 %	19 %	1 %	3 %	9 %
井戸揚水量	91.44	224.61	96.29	229.20	641.54
	24 %	33 %	28 %	81 %	38 %
カナート水利用量	49.82	104.50	73.08	12.15	239.55
	13 %	16 %	21 %	4 %	14 %
用水量合計	375.10	672.78	345.46	282.01	1,675.34

泉の利用実態調査で明らかにされたようにトルファン地区の泉は山地区か火焰山北縁に沿って分布している。しかし、シャンシャン県の北盆地よりも南盆地の泉利用量が多かった。その理由は、北盆地で湧出した泉流量は、連木沁河、吐峪河及び木頭溝河となり火焰山の峡谷を抜け南盆地に導水されたからである。

a.2 用水別の水資源利用量

セクター別・地域別の水資源利用量は図 10.5.3と表 10.5.3に示す。

表 10.5.3 現況セクター別現況水資源利用量

単位：百万 m³/年

セクター	トクソン	トルファン	シャン北	シャン南	地区合計
生活	3.65	19.61	8.03	3.74	35.04
	1.0 %	2.9 %	2.3 %	1.3 %	2.1 %
農業	341.06	554.98	283.68	269.46	1,449.18
	90.9 %	82.5 %	82.1 %	95.5 %	86.5 %
工業	1.08	1.64	10.24	0.29	13.25
	0.3 %	0.2 %	3.0 %	0.1 %	0.8 %
その他	29.30	96.54	43.51	8.52	177.88
	7.8 %	14.3 %	12.6 %	3.0 %	10.6 %
全部	375.10	672.78	345.46	282.01	1,675.34

上表の内、その他には畜産用、養魚用、観光用等の水資源利用を含んでいるが、その大部分はカナートや泉の放流水によって構成される。泉もカナートもその水の主要利用目的は農業灌漑である。農業灌漑は作物栽培季節でしか実施しないので、冬季のカナート水も泉水も盆地内の平原区ダムに導入して貯留するか、そのまま放流する。カナートや泉の放流水は生態系維持や地下水涵養等の面から重要ではあるが、直接利用量ではないので、それを取り除いた水資源利用量は表 10.5.4に示す。

表 10.5.4 放流水を除いたセクター別現況水資源利用量

単位：百万 m³/年

セクター	トクソン県	トルファン市	シャン北盆地	シャン南盆地	地区合計
生活	3.65	19.61	8.03	3.74	35.04
	1.0 %	3.4 %	2.6 %	1.4 %	2.3 %
農業	341.06	554.98	283.68	269.46	1,449.18
	97.0 %	96.1 %	91.3 %	98.3 %	95.7 %
工業	1.08	1.64	10.24	0.29	13.25
	0.3 %	0.3 %	3.3 %	0.1 %	0.9 %
その他	5.83	1.05	8.91	0.64	16.42
	1.7 %	0.2 %	2.9 %	0.2 %	1.1 %
全部	351.63	577.28	310.86	274.13	1,513.89

表 10.5.4に示すように、生活用水は人間生活に関連し、最も重要な用水ではあるが、利用量から見ると全体の 1 %～4 %未満の間にあり小さい。工業利用量はさらに小さい。シャンシャン県北盆地では、石油産業を中心に工業用水量が多いが、現況では水資源利用量全体の 3.3 %しか占めていない。その他の地域では 0.3 %ないしそれ以下となっている。

農業用水は圧倒的なウエイトを占め、全ての地域で 9 割以上、調査地域全体では水資源利用量の約 96 %を占めている。従って、調査地域の水資源問題は水量の面から見る場合、灌漑農業の問題だと言っても過言ではない。

b. 生活用水

生活用水の利用量は取水の利便性に大きく左右される。調査地域では 2 県 1 市の都市部ではすでに水道が普及し、農村部でも簡易水道を中心とした集中給水事業は 1990 年代から飲用水の水質改善を兼ねて力を入れて実施してきた。

水道のない地方では用水原単位についての正確な値が取りにくい、1人1日当たりの利用量は10数リットルから数10リットルの間にあると推測され、水道水の普及している地方より少ないのが一般的であると考えられる。

水道のある地方では、特に簡易水道のある地方では、給水量は給水レベル、施設の稼働状況、水源や施設の使用などによる水道料金多少等多くの要因に影響され、大きく変動する。トルファン地区各都市部の水道会社とトルファン地区水利局の資料に基づき、調査地域内集中給水施設の普及状況及び給水原単位を都市部と農村部別にまとめて表10.5.5及び表10.5.6に示す。

表 10.5.5 調査地域における都市部での給水現況

都市	給水量 (万m ³)	給水人口 (千人)	普及率 (%)	原単位 (l/人・日)
トクソン	40	18	95	60.9
トルファン	323	44.6	99	198.4
シャンシャン	110.9	41	85	74.1
石油会社	467	17	--	752.6

※：石油会社での現況生活給水量には生活用水以外に事務所の用水、緑化等の環境用水が含まれているが、その内訳ははっきりしていない。

調査地域における都市部では水道の普及率が85%～99%になっている。水道の水源としてトルファン市は泉水と地下水の両方を利用して、他の地方は地下水だけを利用して、実際には生活用水だけではなく、都市部の緑化用水、事務所や飲食業等の商業用水も水道会社から供給されているが、表10.5.5には石油会社の給水量を除いた都市地域については生活用水の給水量だけ記入している。石油会社を除く各都市部の都市部生活用水原単位を比べてみると、トルファン市では先進国並みの198.4 l/人・日となっていて、トクソンとシャンシャン県ではまだ低く、60～75 l/人・日の間にある。

表 10.5.6 調査地域における農村部での集中給水実施現況

県市	トクソン	トルファン	シャン北	シャン南	地区全体
施設数(ヶ所)	13	36	8	13	70
合計給水量(m ³ /日)	4,260	8,952	2,405	3,800	19,417
合計給水人口(千人)	38.9	93.8	28.4	44.7	205.8
普及率(%)	45.6%	52.7%	36.3%	68.0%	50.5%
原単位平均(l/人・日)	110	95	85	85	94
原単位変化範囲	17-290	37-146	66-142	40-176	17-290

注：この表は給水人口200人以上か日給水量が20m³以上の給水施設だけを対象としている。

水質調査で明らかにされたように、伝統的水源であるカナートや泉には水質に関連する問題多い。その主な問題項目はTDSと硫酸イオンである。農民にも安全な水を供給することを主な目的として、過去10数年間に於いて、地下水を、特に深層地下水を水源とする集中給水施設が農村地域で建設された。施設の利便性や水料金によって、給水量、従って給水原単位が大きな範囲で変化するが、平均して100 l/人・日前後である。図10.5.4は各予測地域の農村集中給水施設での給水原単位分布度数を示す。トクソンでは施設間の差が大きく、給水原単位の最小値も最大値もトクソン県に現れているが、他の地域では給水量原単位の変化は比較的小さい。

c. 工業用水

調査地域の水資源利用量のうち工業用水量の占める割合は現時点で、1パーセント未満であり、他のセクターと比較して最も少ない。しかし、工業はトルファン地区で伸び率の最も大きいセクターであることから、業種別に水資源利用量の変化を検討した。

トルファン統計年鑑では工業を石油開発業から農産品加工業まで22業種に分けている。その内、家具製造業等、生産プロセスにおいてほとんど水を使わない業種を除くと、工業用水を検討すべき業種は石油開発業を始め13業種がある。業種別の水資源利用量及び業種別の用水原単位は図 10.5.5と図 10.5.6に示す。

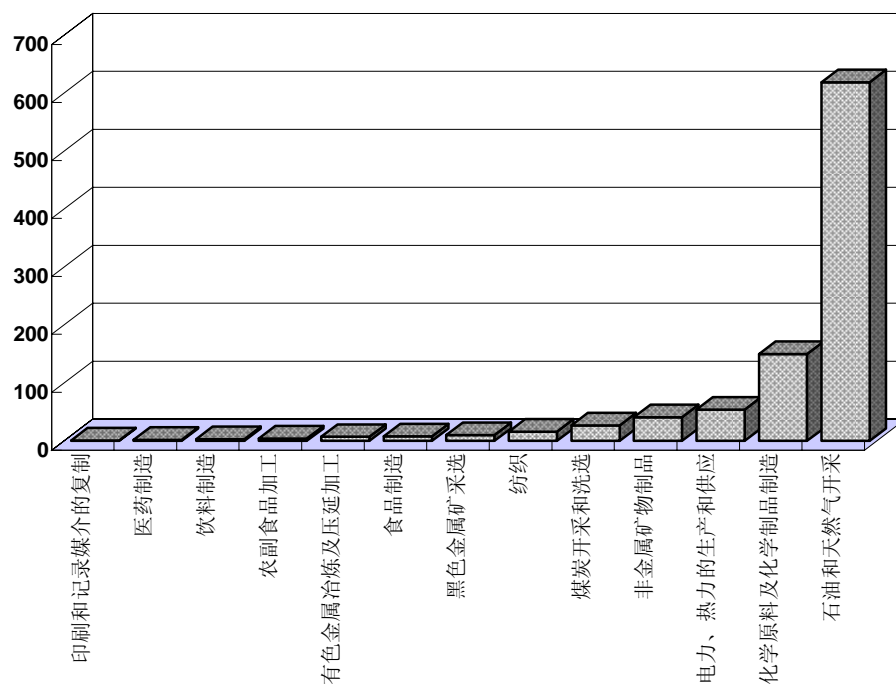


図 10.5.5 工業業種別水資源利用量(2003年)

石油開発業は調査地域では用水量の最も大きい工業業種である。それだけで工業用水量の約66%を占める。用水量が2番目に多いのは化学原料及び化学製品製造業である。上位2種目の用水量は工業用水量全体の約82%を占める。

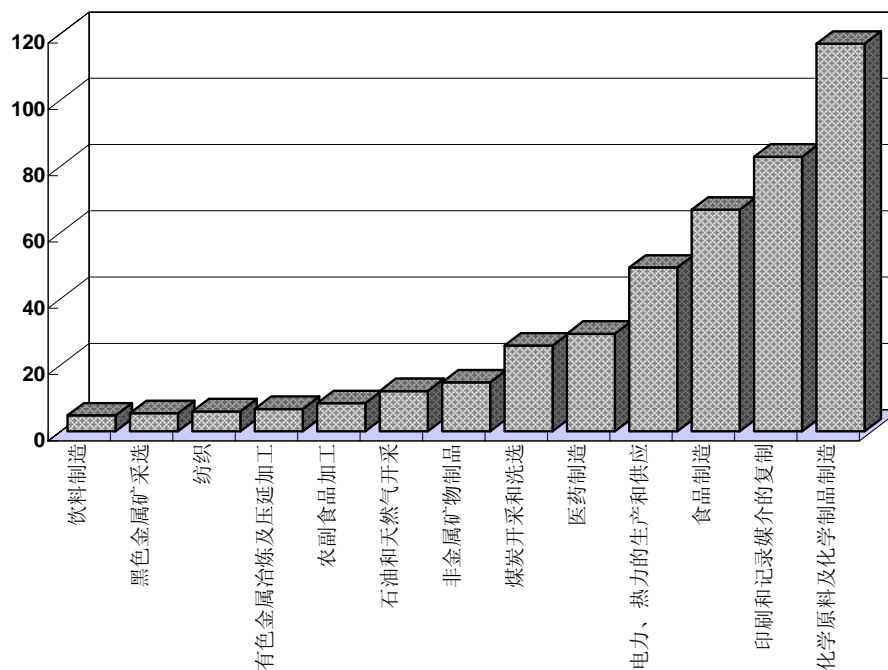


図 10.5.6 工業業種別用水量原単位(2003年)

業種別の用水原単位を見ると、石油開発業は中間程度であり、約 12 m³/万元である。用水量原単位の最も大きな業種は化学原料及び化学製品製造業であり、約 117 m³/万元である。調査地域の水資源事情から見て、今後の工業生産計画を策定する場合、化学原料特に化学製品製造業の発展は慎重に考える必要がある。水資源を利用する業種の用水原単位を平均すると 14.8 m³/万元である。

d. 農業用水

水資源利用の面から見て、農業は調査地域における最も重要なセクターである。そして、農業用水のほとんどは灌漑用水である。灌漑用水量は灌漑面積、作物品種、用水原単位等の因子に従って変化する。ここでは、因子別に灌漑用水量の構成を検討する。

d.1 灌漑面積

表 10.5.7 地域別の灌漑面積

単位：万亩

作物	トクソン	トルファン	シャン南	シャン北
小麦	7.50	4.42	1.18	1.26
雑穀（表作）	0.39	8.33	1.76	1.88
雑穀（裏作）	10.08	5.02	1.76	1.89
棉花	7.50	7.59	1.84	1.96
葡萄	4.79	15.48	7.99	8.53
メロン	0.39	4.37	2.20	2.35
野菜	0.52	3.01	0.77	0.83
油料(ピーナツ)	0.07	0.00	0.00	0.00

作物	トクソン	トルファン	シャン南	シャン北
果樹	0.29	3.74	0.83	0.89
飼草	3.20	2.81	0.00	0.00
植林(草)	4.98	11.10	1.88	2.01
孜然	2.86	0.13	0.00	0.00
合計	42.57	66.0	20.21	21.6

作物の栽培面積を見ると、トクソン県では穀物と綿が多い。トルファン市では穀物が多いが面積の一番多いのは葡萄である。シャンシャン県では葡萄が一番多く、それにメロンが次ぎ、穀物や綿の栽培面積が少ない。

d.2 作物別の灌漑用水原単位

表 10.5.8 地域毎の灌漑用水原単位

単位:m³/畝/作

作物	トクソン	トルファン	シャン南	シャン北
小麦	450	390	400	380
雑穀(表作)	445	420	430	410
雑穀(裏作)	370	340	350	330
棉花	525	475	490	460
葡萄	800	645	660	630
メロン	790	550	560	540
野菜	865	730	750	730
油料(ピーナツ)	450	360	370	350
果樹	480	390	400	380
飼草	440	330	340	320
植林(草)	350	310	320	300
孜然	380	325	340	310

灌漑用水原単位は地域による差がはっきりしていて、トクソン、シャンシャン南、トルファン、シャンシャン北の順に小さくなっている。地域差より、作物種目間の差が大きい。野菜栽培面積は各地域とも大きくはないが、野菜の用水原単位は最も大きい。それに続いて、葡萄の原単位が2番目に大きく、その次がメロンである。作物の種目別栽培面積を見ると、シャンシャン県では葡萄とメロンの栽培面積が上位2種目となっているので、シャンシャン県の農業用水量が多くなる原因となっている。

d.3 正味灌漑用水量

作物種目別の栽培面積に灌漑用水原単位をかければ、当該作物栽培に利用される正味灌漑用水量が求められる。トクソン県では灌漑用水量上位2種目の作物は栽培面積と同じ雑穀と綿である。トルファンでは葡萄の灌漑用水量は単独上位であり、全体灌漑用水量の3割強を占める。それに続き2番目に灌漑用水量の多い作物は綿であるが、葡萄灌漑用水量の3割未満である。シャンシャン県の北部も南部も葡萄による灌漑用水量は灌漑用水量全体の半分以上を占める。それに次ぐ作物品種はメロンであり、灌漑量全体の1割強を占める。

表 10.5.9 地域毎の正味灌漑用水量

単位：万 m³

作物種類	トクソン	トルファン	シャン南	シャン北
小麦	3,375	1,901	546	503
棉花	3,938	3,794	987	914
メロン	308	3,367	1,807	1,698
野菜	450	2,514	692	644
油料(ピーナツ)	32	0.0	0.0	0.0
孜然	1,087	46	2	2
苜蓿	1,408	1,179	0.0	0.0
雑穀(表作)	174	3,498	799	735
葡萄	3,832	12,074	6,643	6,245
雑穀(裏作)	3,996	1,756	669	609
果樹	139	1,683	403	372
植林	938	2,714	564	528
人工草	782	968	84	77
合計	20,457	35,494	13,196	12,327

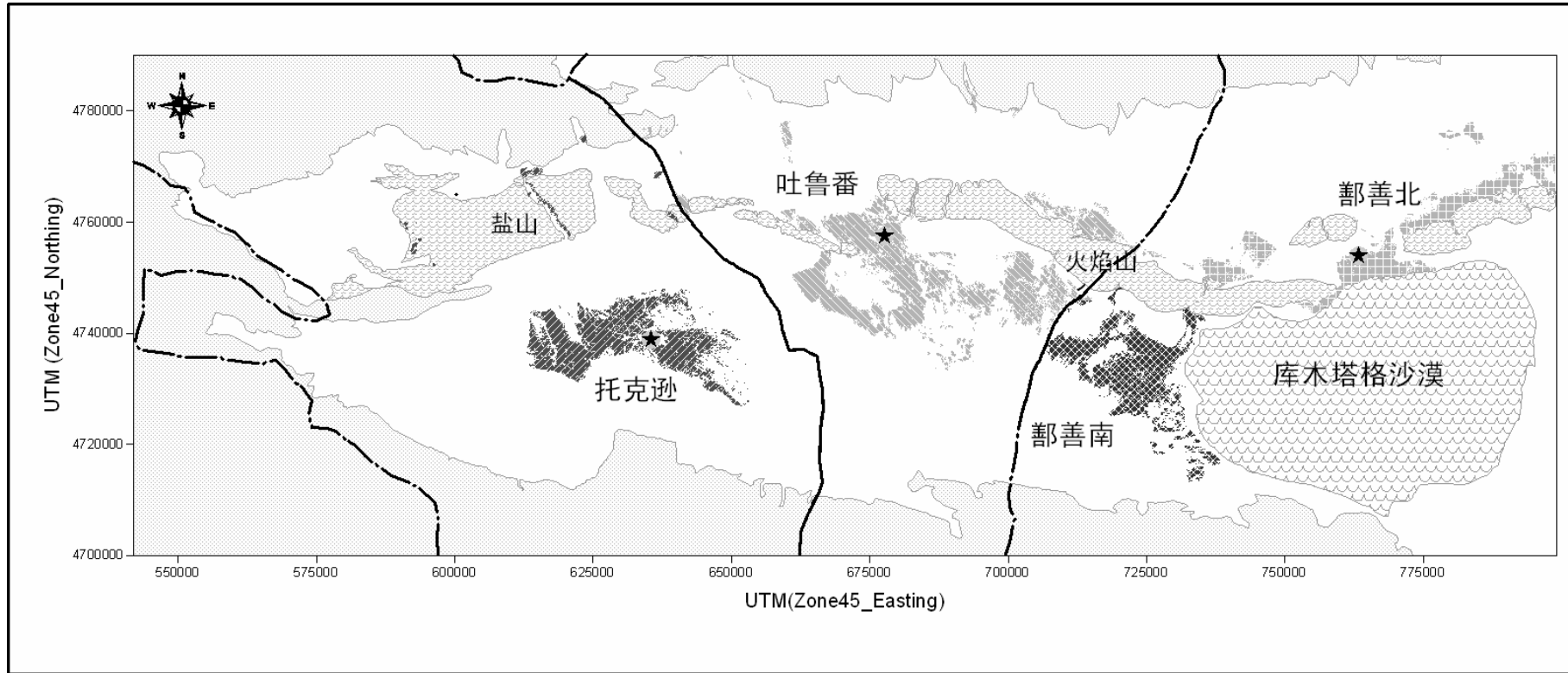


图 10.5.1 水需要予測するための地域区分

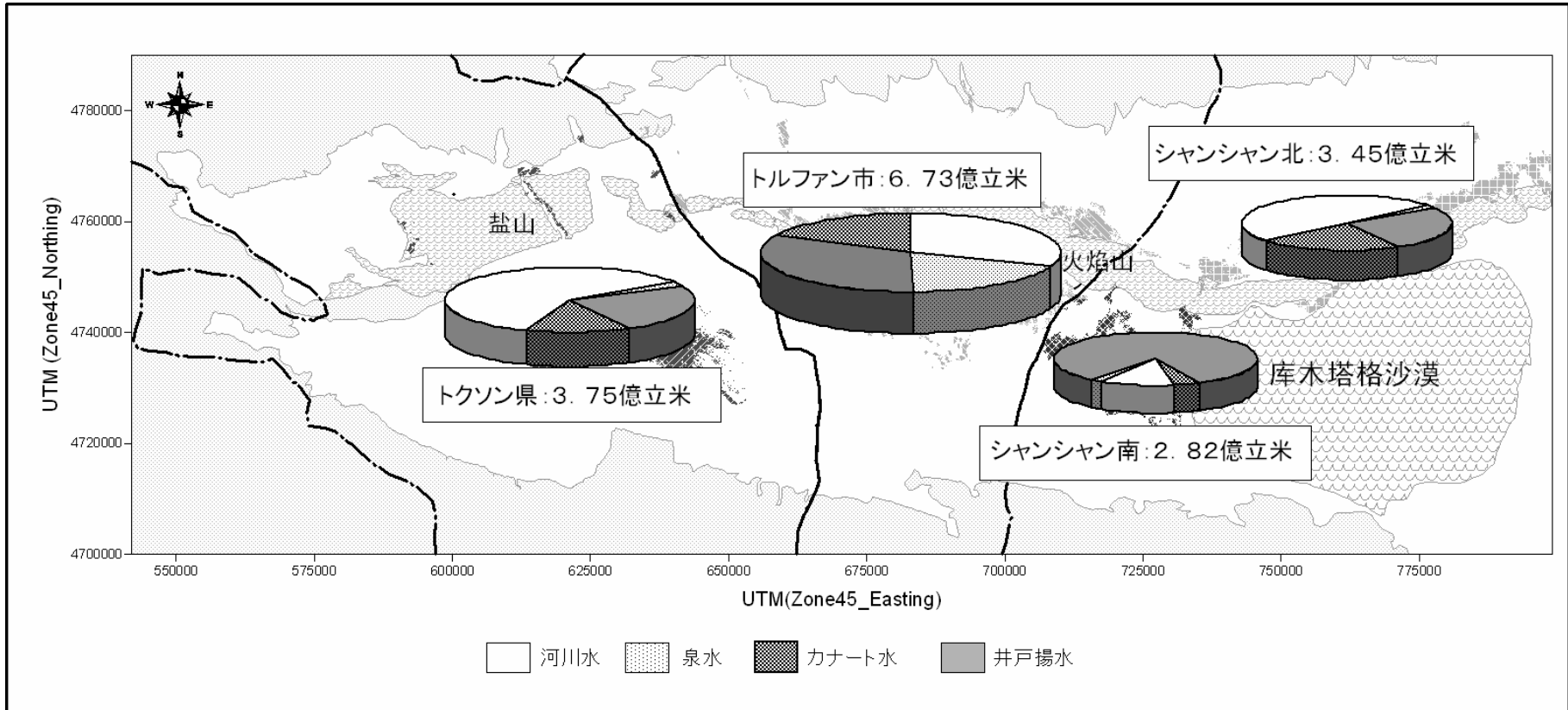


図 10.5.2 現況水資源予測区分別水資源利用量

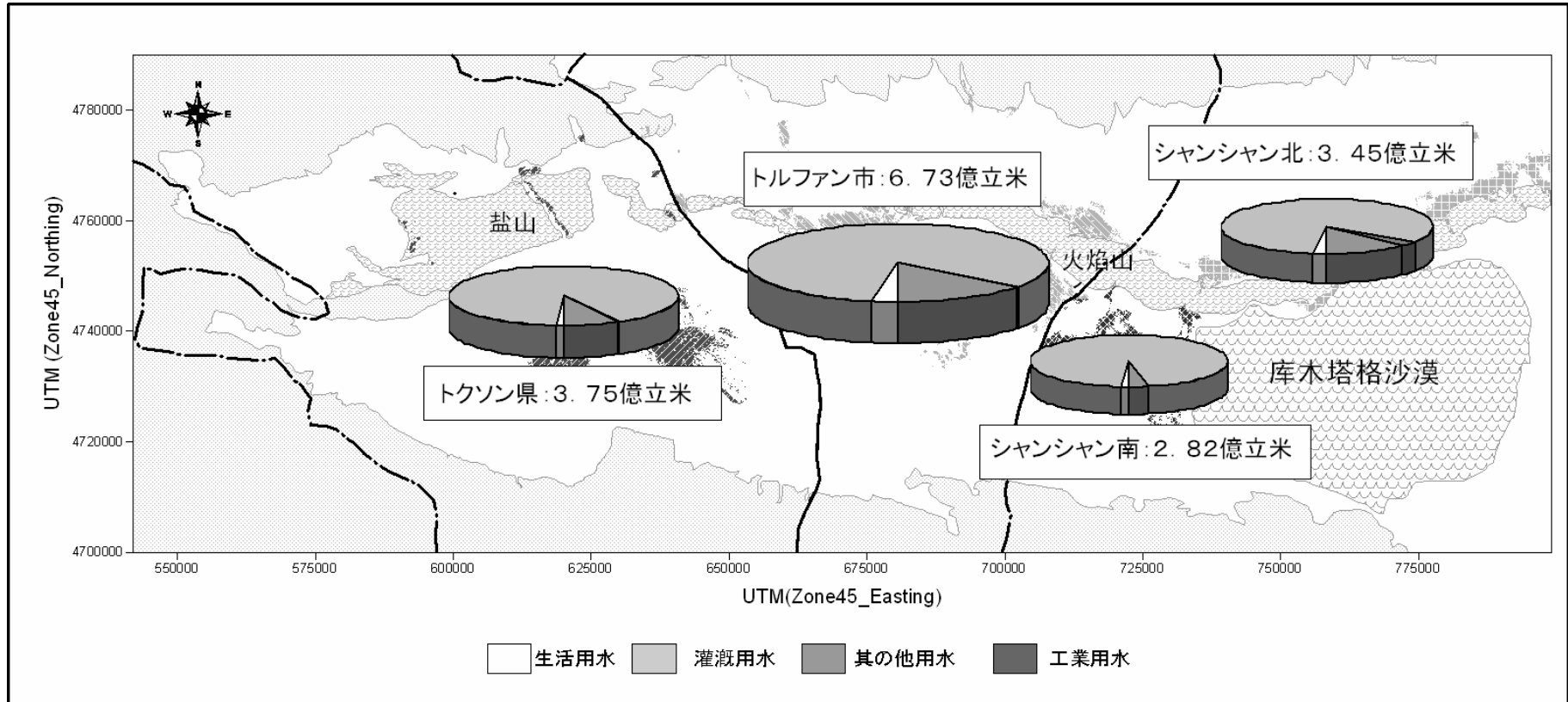


図 10.5.3 現況セクター別水資源利用量

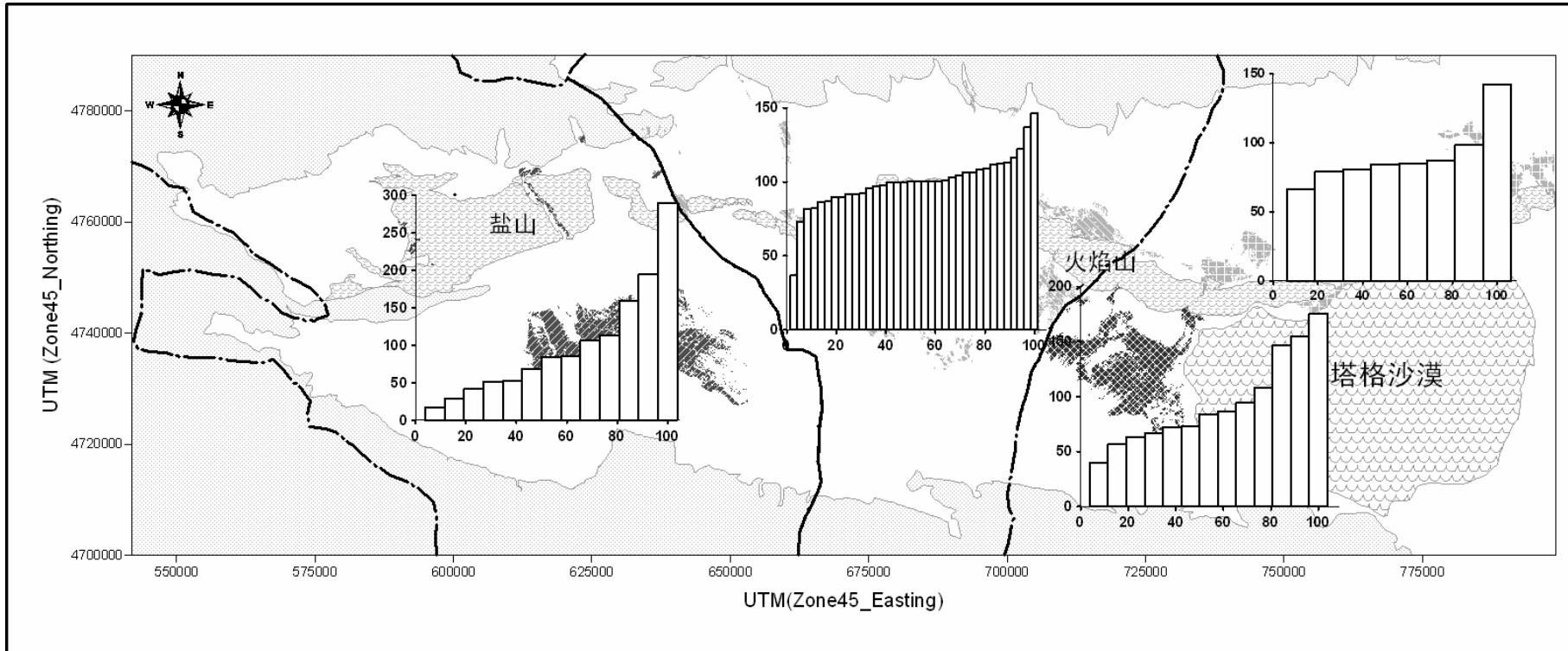


図 10.5.4 農村集中給水施設の給水原単位分布度数

10.5.3 各用水の水需要予測

a. 人口変化及び生活用水量予測

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。しかし、他の用水セクターと比較して、地元住民の健康維持や生活レベルの向上に直接関連していることから最も重要なセクターであると考えられる。

生活用水量の変化は人口の推移と給水レベルに関する生活用水原単位に基づいて検討される。人口推移は社会経済フレームでは大、中、小の 3 ケースを設定している。生活用水原単位はトルファン水利局の既存計画を元にして設定した。トルファン水利局には 2020 年までの給水計画はないが、既存の給水計画においては地区全体の生活用水原単位は、2000 年の 60 リットル/人・日から、2010 年の 100 リットル/人・日に向上すると設定されている。それを基に、長期目標年である 2020 年のトルファン地域全体での生活用水原単位を 120 リットル/人・日に設定した。

トルファン地区では、地域により経済発展の不均一性があり、集中給水施設の普及率及び施設のレベルは地域毎に異なる。従って、2020 年までの生活用水原単位を設定した上、地域毎に原単位の振り分けを行った。振り分けに当たっては、地域毎の社会経済状況により、中間変数として「用水原単位ベース」と「用水原単位係数」を導入して、各計画年の地域毎の用水原単位を設定した。「用水原単位ベース」と「用水原単位係数」の定義及びそれにより算出された各計画年の用水原単位を表 10.5.10に示す。

表 10.5.10 2020 年までの生活用水原単位設定

原単位：リットル/人・日

分類	トクソン	トルファン	シャン北	シャン南	合計
(1) 2003年生活用水量(百万m ³)	3.7	19.6	8.0	3.7	35.0
(2) 2003年人口 (万人)	11.0	26.7	15.3	7.6	60.6
(3) 用水原単位 $\hat{v} = \frac{(1)}{(2)}$	0.33	0.73	0.52	0.49	0.58
(4) 用水原単位係数 $\frac{(3)}{(3)}$ の合計	0.576	1.27	0.907	0.851	1
(5) 2005年原単位 $((4) \times \text{原単位合計})$	51.86	114.3	81.65	76.58	90
(6) 2010年原単位 $((4) \times \text{原単位合計})$	57.62	127	90.73	85.08	100
(7) 2015年原単位 $((4) \times \text{原単位合計})$	63.39	139.7	99.8	93.59	110
(8) 2020年原単位 $((4) \times \text{原単位合計})$	69.15	152.3	108.9	102.1	120

2003年生活用水量は水資源利用現況調査の結果を利用。
2003年には221団の人口と非常駐人口を含んでいる。

表 10.5.10で設定された 2020 年までの生活用水原単位と社会経済フレーム予測で設定された人口推移ケース 1 の結果を利用して、2020 年まで各計画目標年の生活用水需要量を予測し、表 10.5.11に示す。

表 10.5.11 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

縣市	年	全人口	用水原単位	生活用水量
	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

人口推移が予測されている最大ケースで伸びるとしても、最終計画目標年である 2020 年までの生活用水量は各地域とも 50 %～60 %増の結果であり、調査地域全体では 3,000 万 m³ 程度であり、現況水資源利用量の約 2 %であるので、調査地域全体の将来用水計画に対する影響は大きくない。

b. 工業用水量変化予測

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。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。

工業用水量の変化は生活用水や農業用水よりも不確定因子が多い。生産高の増加目標をどれだけ実現できるかはトルファン地方政府、企業等現地関係者の努力だけでなく、中国全国ないし世界の経済環境にも影響される。なお、工業生産高の目標値だけでなく、それを構成する各業種の変動、各業種内の技術進歩、設備更新等の技術面や工場内循環水の利用率等によっても大きく変わる。

これらの因子を個別に検討することは不可能なので、ここでの予測は次を前提条件として行った。

- ・ 工業セクターを構成する業種、その比率及び各地域における分布は現況と同じ。
- ・ 石油工業は大きな産業ではあるが、将来予測に資することのできる資料は皆無であるので、2020 年までの計画期間内においては現況を維持する。
- ・ 工業用水量予測のベースである予測目標年の工業生産高は社会経済フレーム設定のケース 1（最大ケース）を採用する。
- ・ 石油以外の工業用水原単位の変化は次ように設定する：2010 年は現況と同じ、2015 年現況の 7 割、2020 年現況の 6 割。

以上の条件により予測した 2020 年の工業用水量需要量は表 10.5.12 に示す。

表 10.5.12 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

工業生産が予測の最大ケースで伸びるとすれば、最終計画目標年である2020年までに工業用水量はシャンシャン県北部を除いて各地域で約3倍増となる。それにしても、調査地域全体での工業用水量は2,100万m³/年以下であり、現況水資源利用量と比較してわずか1%強しか占めない結果であり、調査地域全体の将来用水計画に対する影響は無視できるほど小さい。

c. 正味灌漑用水量予測

現況では農業用水が調査地域において最も大口の用水需要である。生活用水や工業用水等の将来用水量需要は増加する傾向ではあるが、農業用水量と比較すれば、少なくとも最終計画目標年の2020年までは問題にならない。そこで、水資源利用計画を立てるに当たって、最も重要視すべきことは農業用水量の変化予測である。

農業用水の需要予測をする基本的な方法は、社会経済フレームで設定した灌漑面積の変動や作物種目の変動を基にし、灌漑用水原単位の変動を検討した上、地域別に各種作物の灌漑用水量を算出し、正味灌漑用水量を求めることである。

c.1 灌漑面積の変動

全ての地域において、将来、灌漑地面積が増大すると計画され、社会経済フレームでは現況維持を含めて、3ケースが設定されている。

c.2 灌漑用水原単位の設定

灌漑用水原単位は作物種目によって大きく異なるだけでなく、気候、土壌、地下水位の深さ等多くの自然因子に影響され、栽培方法、栽培季節、農地整備レベル等多くの人為的因子にも関連している。その上、ドリップ灌漑やパイプ送水等の節水灌漑施設の有無によっても大きく変わる。計画目標年までの節水灌漑計画さえ立てられていない本調査地域では灌漑用水原単位設定に関連する因子を一つずつ検討することは不可能であ

る。そこで、今回の再委託調査（社会調査）から得られ、調査地域の水利局等の担当部局から認可された灌漑用水原単位の将来変化設定を元に、表 10.5.13～表 10.5.16に示すように、各地域の 2020 年までの原単位変化を設定した。

表 10.5.13 2020 年までトクソン県灌漑用水量原単位設定

単位：m³/畝/作

作物	2004	2010	2015	2020
小麦	450	445	415	400
雑穀（表作）	445	420	405	390
雑穀（裏作）	370	360	340	330
棉花	525	515	500	490
油料(ピーナツ)	450	440	420	410
孜然	380	370	350	340
野菜	865	820	790	760
メロン	790	760	730	700
葡萄	800	780	760	750
苜蓿	440	430	415	400
果樹	480	460	440	430
植林	350	330	310	300
人工草場	340	340	340	340

表 10.5.14 2020 年までトルファン市灌漑用水量原単位設定

単位：m³/畝/作

作物	2004	2010	2015	2020
小麦	430	407.5	395	385
雑穀（表作）	420	410	400	380
雑穀（裏作）	350	335	325	315
棉花	500	490	475	465
葡萄	780	750	740	730
メロン	770	700	690	680
野菜	835	770	755	745
果樹	450	430	422.5	415
苜蓿	420	400	392.5	385
植林	335	310	300	290
孜然	350	340	330	325
人工草場	322.5	300	290	280

表 10.5.15 2020 年までシャンシャン県北部灌漑用水量原単位設定

単位：m³/畝/作

作物	2004	2010	2015	2020
小麦	420	405	390	380
雑穀（表作）	410	400	390	380
雑穀（裏作）	340	330	320	310
棉花	490	480	470	460
葡萄	770	740	730	720
メロン	760	690	680	670
野菜	820	760	750	740
果樹	440	420	415	410
苜蓿	410	390	385	380
植林	330	310	300	290
孜然	340	330	320	320
人工草場	315	300	290	280

表 10.5.16 2020 年までシャンシャン県南部灌漑用水量原単位設定

単位：m³/畝/作

作物	2004	2010	2015	2020
小麦	440	410	400	390
雑穀（表作）	430	420	410	380
雑穀（裏作）	360	340	330	320
棉花	510	500	480	470
葡萄	790	760	750	740
メロン	780	710	700	690
野菜	850	780	760	750
果樹	460	440	430	420
苜蓿	430	410	400	390
植林	340	310	300	290
孜然	360	350	340	330
人工草場	330	300	290	280

c.3 正味灌漑用水量

灌漑面積と灌漑用水量原単位を基にして正味灌漑用水量が算出することができる。最終計画目標年の2020年におけるケース2（灌漑面積中）とケース1（灌漑面積大）条件下での予測区分別の正味灌漑用水量計算結果はそれぞれ表10.5.17と表10.5.18に示す。

表 10.5.17 ケース 2(面積中)の場合の正味灌漑用水量

単位：万 m³

作物種類	トクソン	トルファン	シャン北	シャン南
小麦	2,794	1,055	299	319
棉花	2,096	1,920	367	389
メロン	375	4,319	2,270	2,424
野菜	957	4,375	1,590	1,671
油料(ピーナツ)	45	0	0	0
孜然	3,170	139	5	6
苜蓿	1,444	2,197	798	849
雑穀(表作)	175	3,243	344	356
葡萄	4,242	12,655	5,990	6,382
雑穀(裏作)	5,436	1,969	342	366
果樹	457	1,925	567	603
植林	996	3,910	862	894
人工草場	1,077	953	98	102
合計	23,264	38,659	13,534	14,361

表 10.5.18 ケース 1(面積大)の場合の正味灌漑用水量

単位：万 m³

作物種類	トクソン	トルファン	シャン北	シャン南
小麦	2,794	1,308	350	372
棉花	2,096	2,381	429	455
メロン	375	5,357	2,652	2,832
野菜	957	5,425	1,857	1,952
油料(ピーナツ)	45	0	0	0
孜然	3,170	172	6	7
苜蓿	1,444	2,725	933	992
雑穀(表作)	175	4,021	401	416
葡萄	7,500	12,658	8,262	8,804
雑穀(裏作)	5,436	2,443	400	428
果樹	688	1,925	690	733
植林	1,386	5,055	1,052	1,090
人工草場	1,499	1,680	121	126
合計	27,565	45,150	17,153	18,206

d. 農業用水量予測

d.1 灌漑用水利用効率

灌漑用水は、河川水、泉水、カナート水及び井戸揚水のようにそれぞれの水源から取水している。井戸揚水の場合、可能な限り農地の近辺で井戸を建設するのは一般的であるので、取水地点から灌漑を実施する農地までの送水損失が少ない。それに対して、河川水の場合、数キロないし数10キロも長い水路を通じて、河川水を農地まで導水しなければならない。この長い導水途中で水路からの漏水損失、蒸発損失等が発生する。それに灌漑を実施する場合、農地整備や灌漑管理のレベル等により、水路の破損や農地内の湛水域の形成などにより灌漑水を無駄に消費することが考えられる。様々な原因により、実際の灌漑用水量は植物の正常成長に必要な正味用水量より多く取水する必要がある。そこで、実際の灌漑用水量に対する正味用水量を灌漑用水の効率と定義して、現況(2003

年)の実際の農業用水量と原単位法で算出した正味灌漑用水量を比較し、灌漑用水の利用効率を検討した。

表 10.5.19 正味用水量、実際用水量及び灌漑用水効率

単位：万 m³

予測区分	トクソン	トルファン	シャン北	シャン南
正味用水量	20,459	35,494	12,327	13,196
実際導水量	34,106	55,498	28,368	26,946
灌漑用水利用効率	60%	64%	43%	49%

表 10.5.19に示すように、各地域の実際導水量に対する正味灌漑用水量の割合は 43 % ~64 % の間にある。このような値は灌漑効率の低さを表していると考えられる。水路からの損失はやむをえないとして、シャンシャン県南部地域のように大部分地下水揚水によって灌漑される地域では水路損失が小さいはずではあるが、かえって灌漑用水利用効率が低いのは水路や管理上の問題だけで説明しきれない。統計年鑑や社会経済調査の結果から得た農地面積と衛星写真から得た人工オアシス面積を比較すると分かるように、両者の差はトクソンやトルファン地区では、比較的小さいが、シャンシャン県では大きい。すなわち、シャンシャン県の農地面積の統計精度には問題があり、実際の農地面積より統計値のほうが小さい可能性が示唆される。

いずれにしても、灌漑用水の利用効率は実際の農業用水量に対する影響が大きいので、将来の農業用水を予測する際にはそれを検討した上で行わなければならない。

d.2 灌漑用水利用効率の設定

調査地域における灌漑用水効率を向上させる必要があることは、トルファン地区水利局や各州市の水利局においても重要視している。過去には、主として予算不足等により、水路等の灌漑施設の維持管理や更新が十分に実施されなかったことが報告されている。しかしながら、水利局の将来計画においてはトルファン地区全体で 5 年毎に 4 パーセントの利用率向上を目標としている。これを年率にすると 0.8 %/年の向上率になる。

水利局の目標を基にし、現況での灌漑用水利用率を踏まえ、2020 年まで地域別の灌漑用水利用率を表 10.5.20のように設定した。

表 10.5.20 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
現況灌漑用水利用効率	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 %

d.3 将来灌漑用水量の予測

社会経済フレーム設定のケースに基づき、灌漑用水の正味利用量を算出した。正味灌漑利用量と利用率を用いて、各ケース毎の灌漑用水必要量を算出し表 10.5.21に示す。

表 10.5.21 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
		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 (水資源利用効率が改善)	332.3	522.4	233.3	224.4
		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

明らかに、最終計画目標年 2020 年の農業灌漑用水量は農地面積、栽培種目等の農業生産に関連する因子により一義的に決定できることではない。場合によって農地面積の変化及び作物種目の変化よりも、灌漑用水の利用効率の方が将来灌漑用水量に大きく影響する。

現況の灌漑用水利用効率が改善されないと、全部の地域で、すべての農業発展ケースでは灌漑用水が増加する結果になり、その増加幅は 1 割から約 4 割となっている。トクソン県のようにまだ地下水開発の可能性が残されている地域では実施可能であると思われるが、シャンシャン県南部のような地域では、過剰揚水により地下水位が低下する等の環境問題が深刻化している状況にあり、これ以上地下水資源を開発すると、環境問題が一層悪化するに違いない。

灌漑用水の利用効率を改善することは重要ではあるが、容易ではない。確かに、水路の漏水防止効果を向上するには、水路のモルタル化やコンクリート化等で実現するのは可能である。しかし、それだけで最終計画目標年の 2020 年まで、地区全体の灌漑水利用率を 15 % も上げるのは困難であると思われる。従って、現況の灌漑水利用率が低い点を考慮し、水路の漏水防止や圃場整備、灌漑水管理強化等以外の対策をも取る必要がある。

各種可能な対策により灌漑用水の利用効率が予定通り向上できた場合は、農地面積の増加にもかかわらず灌漑用水は減少する結果が得られる。

ケース 1 の場合、灌漑用水の利用効率が向上した効果は農地面積の増加と用水量の多い作物の増加によって相殺され、結局灌漑用水量は全ての地域で増加する結果になってしまう。従って、ここで検討した内容以上の対策、たとえば、節水灌漑施設の普及等が実施されない限り、ケース 1 が実現する可能性はない。

ケース 2 の場合、灌漑用水の利用効率が向上すれば、2020 年の灌漑用水需要量は地域によっては現況の 82 %～97 %になる。トクソン県やトルファン市では生活用水と工業用水の増加分を考慮するなら、現況を維持ができることが予想される。シャンシャン県では、現況維持だけでは環境問題が深刻化する一方となるので、用水量を減少するよう改善しなければならない。

10.6 許容揚水量と許容地下水位の概念

10.6.1 許容地下水位の概念と必要性

トルファン盆地の地下水資源は有限であり、地下水資源を無秩序に開発すれば地下水位の低下が発生し、それに伴い井戸やカナートの枯渇、地下水水質の悪化・拡大、地盤沈下などが発生する可能性がある。一方、トルファン盆地においては、現在、地下水利用量が水資源利用量全体の6割以上を占めるに至っており、地下水資源の利用なくしては地域の経済基盤そのものが存続し得ない状況にある。しかしながら、これ以上無秩序な地下水汲み上げを放置すると、広域的な地下水位の低下が拡大して、地下水資源の枯渇や地下水質の悪化により究極的に地下水資源利用それ自体が損なわれることになりかねない。

これ以上の地下水障害の拡大を防止しつつ持続的に地下水を利用していくためには、盆地内各地域において「許容地下水位」を設定し、この「許容地下水位」のもとで揚水可能な地下水量を目標として、地下水揚水の優先順位や地域配分を検討していく必要がある。

ここで「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。

許容揚水量決定の要件としては次のようなものがある。

- ① かん養要件：地下水揚水量は年間平均かん養量を越えてはならない
- ② 経済要件：揚水コストはある基準を越えてはならない
- ③ 水質要件：水質悪化を招くほど水位を低下させてはならない
- ④ 法律要件：水利権に抵触せぬこと
- ⑤ 地盤沈下要件：地盤沈下を発生させてはならない

日本、米国など先進国においては、かつて地下水揚水による広域的な地盤沈下が発生し、建物、道路、橋梁、農地、水路等に多大な被害を与え、その地域の安全性に係わる問題となったため、⑤地盤沈下要件を加える場合がある。

具体的な「許容揚水量」の決定は、以上述べた要件を基本として、その地下水盆の自然的あるいは社会的な実情を加味して、他のいろいろな要件も加味して決めるべきである。しかし、その最終的な評価基準は、たんに自然科学的な判断だけに求められず、むしろ地域住民の水利用の立場から、社会・経済的な判断に重点をおくべきと考えられる。

一般に、地下水揚水量の実態は正確につかめないことが多い。トルファン盆地の全ての井戸に量水計を設置し、定期的にその記録を回収し集計すれば、正確にすることは不可能ではない。将来的に、節水対策を進めるためにはまず利用者自身が正確に使用量を知ることが大切である。しかし、量水計の設置までには多大な経費と時間、労力を必要とする上、タイムリーにその結果を判断する上では、地下水位を監視する方が容易である。そこで、地下水揚水量の変化と密接な関係にある地下水位の変化をバロメーターとして、「許容揚水量」の代わりに「許容限界水位」の概念を導入する。ここで「許容揚水量」とは「許容限界水位」の範囲内で地下水盆から揚水することの出来る地下水量として読み替えることが出来る。

10.6.2 地下水資源利用管理計画への適用

前項までに述べてきた「許容揚水量」と「許容限界水位」の概念を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の原則的手順は、次のとおりである。

- ① トルファン地区の地下水開発・保全対策を進めるため、開発の限度を示す具体的な計画目標（行政目標）を設定する。
- ② その目標値として「許容限界水位」と「許容揚水量」を策定する。
- ③ その具体的な目標値策定に当たっては、地下水シミュレーションにより地下水揚水に伴って生じる地下水の動態を把握し、水需要予測案に基づいた精度の高い地下水位と水質の将来予測を行う。
- ④ 地下水利用によって生じる利害の分析を判断基準として、各予測案によるシミュレーション予測結果を評価し、比較検討の上で最適案を選定し、具体的な目標値とする。

10.6.3 許容地下水位の設定方法

「許容地下水位」あるいは「許容揚水量」の判断は、最終的には地下水開発に伴う利害の調整をどう計るかという問題に帰着し、その具体的な評価は実際には極めて困難なことである。しかしながら、前項で述べたように、地下水資源を計画的・持続的に利用していくためには何らかの意味でも地域の合意を得つつ目標値を設定していくことが必要である。ここではトルファン地区での「許容揚水量」策定に先立って、「許容揚水量」あるいは「許容限界水位」の具体的な設定方法についていくつかの考え方を述べる。

a. かん養要件による許容揚水量の求め方

かん養要件の具体的な判断基準は、地下水盆の水収支の平衡が持続的に保たれている状態をさし、地下水（水頭）が経年的低下をおこさず、常に安定していることにおいている。算出方法については従来から色々な方法が提唱されているが、ここではかん養量－地下水位変動から求める方法を示す（図 10.6.1）。この方法は別名ハーディング(Harding)法とも呼ばれ、一般に地表水と交流関連のある不圧地下水の場合に適用できる方法である。河川水や灌漑用水などの地表水の水収支計算から地下水かん養量の経年変化を求め、それをグラフの横軸にとる。縦軸は各年毎の地下水位変化をとる。両者の関係は、地下水流出量の変化が少ない場合にほぼ直線を描く。この直線上で、年水位変化ゼロに対応するかん養量が許容揚水量に相当する。この方法は、トルファン地区のように不圧ないし被圧浅層帯水層の開発利用が進み、地下水かん養が河川水や灌漑水路から生じている地域では適用できる考え方である。

b. 水質要件による許容揚水量の求め方

水収支的な平衡が保たれているとしても、地下水質が悪化すれば地下水利用に支障が生じてくる。とくに、トルファン地区では浅層帯水層の水質は飲料水の観点から見た場合には問題のある地域も見られる。今後、深層帯水層の開発が進むと、深層被圧水頭の低下により浅層から深層への漏水により水質の悪い地下水が深層へ移動することも考えられる。水質悪化と地下水位の関係を一義的に決定することは極めて難しいが、海岸部の帯水層では決定できることがある。海岸部のように地下水揚水が海水の侵入を招き社会問題となる場合は、塩水化に対する許容限界決定の一方法としてガイベン・ヘルツベルグ(Ghyben-Herzberg)の式を適用する。ガイベン・ヘルツベルグの式が成り立つ限

り、海岸部の地下水位は海拔標高 0m 以上に保たなければならないので、図 10.6.2に示すように、グラフの縦軸に臨海地下水盆の代表的な地下水位標高をとり、横軸に年間揚水量をとると両者の関係は直線で示される。そこで許容限界水位 0 m に対応する揚水量が許容揚水量となる。

c. 経済要件による許容揚水量の求め方

経済要件による許容揚水量の決定方法は、基礎を費用・便益論においている。その考え方は最適性の原理であり、地下水を長期間にわたって揚水するとき、それから期待される利益を最大にするよう地下水揚水量を数学的に決定するものである。しかしながら、具体的な問題として、個々の揚水による利益あるいは揚水費用を算出するのは簡単なことではなく、実際に適用された例はほとんどない。

そのほか、地下水の揚水費用が他の水源からの取水費用より高額になれば、市場のメカニズムが働いて地下水利用量が減少するとし、その費用をもって経済性揚水量を決める要件とする考え方もある。しかし、とくにトルファン地区では、地下水の水源費は極めて低い価格に設定されており、価格メカニズムが働きにくい。

理論的には、地下水位低下が進めば地下水揚水のための電力使用量が増加し、揚水コストの面から住民の支払能力を越えることも考えられる。また、周辺水位の低下により揚水量が減少あるいは枯渇し、住民は、新たにより深い井戸を掘る必要性が生じることもある。そのような場合、既存井戸の地下水位が現状より深くなることのないように、許容限界水位を設定するという考え方も成り立つ。

以上述べたように、トルファン地区で適用が可能な方法の一つはかん養要件をもとにした許容揚水量の策定である。検討に当たっては、このほか既存観測井における地下水位の実測記録や地下水盆の水文地質学的解析結果をもとに、現在までの地下水障害の発生の有無や発生程度、その被害程度を考慮して、地域別・帯水層別に設定する。本計画では、地下水シミュレーション解析により、地下水流動系の変化、水質悪化や地盤沈下等の地下水障害がどのように発生するかを予測し、地域の実態や社会経済条件を考慮して許容地下水位を地域別・帯水層別に設定することとする。しかし、繰り返し述べたように「許容揚水量」はかん養要件等の自然的要件だけで決まるものではない。本計画においては、トルファンの水利用の現状を踏まえ社会経済的な観点から一つの暫定的「目標水位」として年次毎に段階的に策定することが現実的であると考えられる。

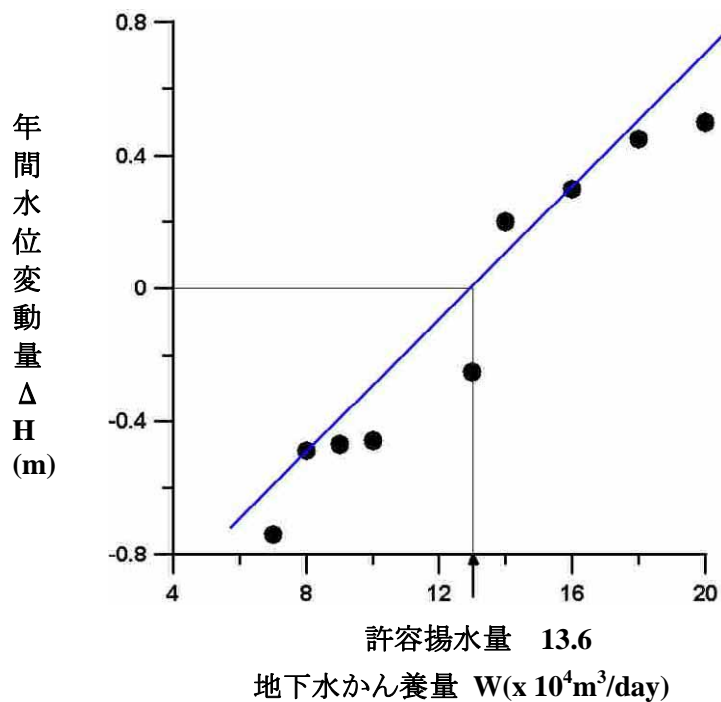


図 10.6.1 ハーディングの方法によって求められた許容揚水量
出典：「地下水盆の管理」水収支研究グループ、1976

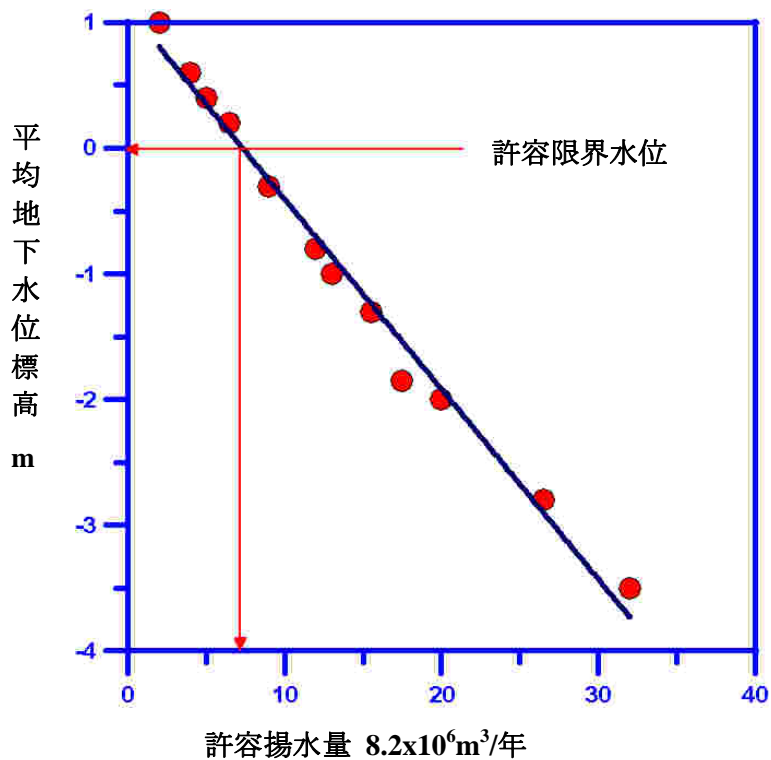


図 10.6.2 塩水化を要件とした許容揚水量
出典：「地下水盆の管理」水収支研究グループ、1976

10.6.4 マスタープラン策定の手順

地域別・帯水層別に許容地下水位を設定した後、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。図 10.6.3は地下水許容揚水量の策定を軸としたマスタープラン策定の手順をしめしたものである。

a. 許容地下水位設定

図の左上に示した手順により地下水かん養量の推定とシミュレーションモデルによる地下水流動及び水質動態の分析に基づき、トルファン地区の許容地下水位を設定する。

b. 地下水揚水計画案設定

図の右上に示した手順は、本章で述べた社会経済フレーム設定及びそれに基づく水需要予測である。この結果を分析して、トルファン地区において実現可能性のある地下水揚水計画案を設定する。すでに述べたようにトルファン地区では今後地表水資源により供給できる水量は限られている。そこで、まず、将来水需要の増加を全て地下水に依存した場合、トルファン地下水盆にどのような事態が発生するかを予測するため、最大揚水案を設定する。また、節水政策の推進を前提とした場合の節水揚水案も設定する。これらの予測案はそれぞれ基本となる気象水文条件を設定した上で、地域別・帯水層別に作成する。

c. 地下水揚水量最適配分案策定

図の下半分中央に示すように、水需要予測で設定した各予測案によりシミュレーション予測を行い、許容地下水位を守ることの出来る揚水計画案を策定して、これを許容揚水量とする。許容揚水量は、2010年、2015年及び2020年の各目標年次別に暫定目標値、最終計画目標値として示す。許容水位の設定により、トルファン地区東部では少なくとも現状維持、許容水位設定によっては揚水量の削減が必要になると予想される。シミュレーション予測結果を総合的に解析して、トルファン地区における最適な地下水揚水量配分を検討する。この過程では、図の下半分右側に示すように、水需要と供給のバランス分析と地表水資源の流域内調整・配分について並行的に検討を行う。

d. 代替水源開発と優先プロジェクト

地下水揚水量を現在以上に増加させることが困難な地域については、ダム建設計画や流域外からの導水を含めた代替水源開発計画を提案する。このうち、トルファン地区流域内において実施可能と考えられる優先プロジェクトについてその実施計画を策定する。

e. 地下水モニタリング計画

トルファン地区の GIS データベースシステムと結合し地下水盆管理のツールとして運用するための地下水モニタリング計画を策定する。また、地下水かん養の増強計画やカナートの保全計画を検討して、これに必要な制度的措置について提言する。

地下水を中心とした水資源開発利用・管理基本計画 (マスタープラン)策定の手順

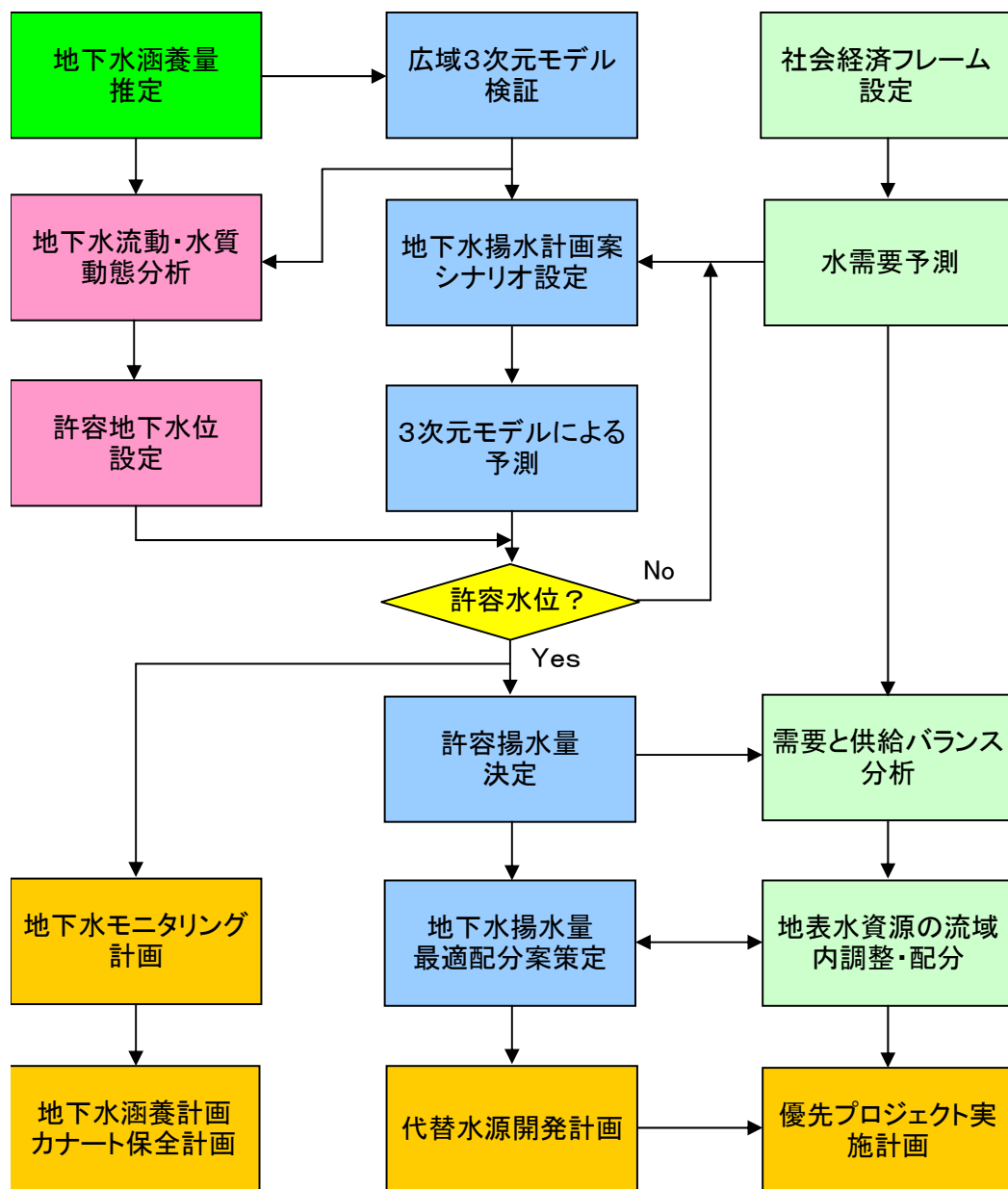


図 10.6.3 地下水を中心とした水資源開発利用・管理基本計画(マスタープラン)策定の手順

10.7 許容地下水位の設定(当初案)

10.7.1 許容地下水位設定のための前提条件

許容地下水位の検討に当たり、マスタープラン作成の必要性(背景)・調査団の示した計画目標・水資源利用者からの計画への要求を以下に、簡単にまとめる。

背景

- ・「10.2.2 地下水資源の保全と適正利用」にも記しているように、トルファン地区では過去10年間の急激な地下水揚水量の増加によりシャンシャン県南部等では地下水位が20m以上低下した地域がある。従来利用されている深度70m程度の浅層帯水層から取水する井戸は、地下水位の低下や揚水量の減少により、放置されたり増掘を余儀なくされているものもある。
- ・「10.2.5 カナートの保全」にも記しているように、トルファン地区においてカナートは水資源の面のみならず、水文化や伝統的観点からも保護していく必要がある。

調査団の示した計画目標

- ・トルファン地区の社会経済の安定と発展を保障する。
- ・経済発展と同時に環境を保護する。
- ・水資源の合理的かつ有効な利用と管理を実現する。

水資源利用者からの計画への要求

- ・調査の結果に基づき、科学的かつ合理的な計画。
- ・各因子間の相互影響を比較し、関連因子間のバランスが取れた計画。
- ・確実に実施可能で、社会経済状況の変化に対応できる計画。

10.7.2 暫定許容地下水位

トルファン地区の地下水かん養は、表 10.7.1に示したような特徴をもっており、許容地下水位の実現性の検討の際の重要な要素となる。

このような水理地質条件と現在のトルファン地区の社会・経済・文化条件から、表 10.7.2に示す地下水位を検討のための暫定的な許容地下水位とした。シャンシャン県南部においては、前項の背景で記したように著しい地下水位の低下が発生している。そのため、2003年の現況地下水位ではなく、それ以前の地下水位が低下する前の水位を目標とする考えも成り立つ。しかしながら、表 10.7.1に示すようにシャンシャン県南部は、地下水かん養が限られた条件でしか行われず、側方からの地下水流入も極めて少ない地点に位置しており、地下水位の上昇は難しい水理地質環境にある。

むしろ、このような条件であるため、表 10.7.2に示した地下水位ですら維持することが困難なことも予想された。そのため、揚水量を削減するために実施可能であろうと考えられる対策を全て実施した時の地下水位の変化を予測するために、次項に記す地下水揚水計画案設定の際には案の一つとしてこれを設定した。

また、10.2.4節で記したようにトクソン県では塩類集積による問題が顕在化している。トクソン県の設定地下水位(現状維持)は開発余力を残したものであり、その正当性については、後述する。

表 10.7.1 各地域の地下水かん養機構および揚水量とかん養量の関係

地域	かん養機構	揚水量とかん養量の関係
トルファン市	<ul style="list-style-type: none"> ・ 北側の天山山脈の基盤岩や山脈内の伏流水からのかん養。 ・ 北側の天山山脈から流入する河川からのかん養。 ・ 河川から取水する導水路の漏水によるかん養。 ・ 農地の灌漑水によるかん養。 ・ 北盆地から南盆地には、火焰山と塩山の不連続部を通して地下水が流下。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 農地への灌漑水が減少すると、かん養量も減少する。 ・ 天山山脈からのかん養量が大きいため、農地からのかん養量が減少しても地域内への地下水の流入量は大きい。
シャンシャン県北部	<ul style="list-style-type: none"> ・ 北側の天山山脈の基盤岩や山脈内の伏流水からのかん養。 ・ 北側の天山山脈から流入する河川からのかん養。 ・ 河川から取水する導水路の漏水によるかん養。 ・ 農地の灌漑水によるかん養。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 農地への灌漑水が減少すると、かん養量も減少する。 ・ 天山山脈からのかん養量が大きいため、農地からのかん養量が減少しても地域内への地下水の流入量は大きい。
シャンシャン県南部	<ul style="list-style-type: none"> ・ 導水路の漏水によるかん養。 ・ 農地の灌漑水によるかん養。 ・ 北側に火焰山・東側に庫木塔格砂漠が位置するため、側方からの地下水流入が少ない。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 農地への灌漑水や導水路の流量が減少すると、かん養量も減少する。 ・ 農業に関連する揚水量が減少するとそれに伴いかん養が減少し、かつ、側方からの地下水流入が少ないため、地域内への地下水量はあまり増大しない。 ・ 上記の理由により、農地がゼロになっても地下水位の上昇は緩やかである。
トクソン県	<ul style="list-style-type: none"> ・ 西側の天山山脈の基盤岩や山脈内の伏流水からのかん養。 ・ 西側の天山山脈から流入する河川からのかん養。 ・ 河川から取水する導水路の漏水によるかん養。 ・ 農地の灌漑水によるかん養。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 農地への灌漑水が減少すると、かん養量も減少する。 ・ 天山山脈からのかん養量が大きいため、農地からのかん養量が減少しても地域内への地下水の流入量は大きい。

表 10.7.2 許容地下水位(当初案)

地域	基準観測井 番号	現況	目標	許容要件
		地下水位* (2003年)	地下水位* (2020年)	
トルファン市	既存観測井 1-6	-18.2m	-18.2m	カナートの維持
		-19.6m	-19.6m	
シャンシャン県 北部	既存観測井 2-3	-15.0m	-15.0m	カナートの維持
		-19.9m	-19.9m	
シャンシャン県 南部	既存観測井 2-14	-31.5m	-31.5m	現状維持
		-39.5m	-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)
		-6.1m	-6.1m	

* 上段：最高水位、下段：最低水位

10.8 広域三次元モデルによる予測

10.8.1 地下水揚水計画案

調査地域の将来地下水利用及び水資源の変動は経済発展、特に農業発展、人口増加及び各種の水資源利用現況を改善する対策に従うものである。各因子単独でも数種類の変化パターンが想定できるので、数種類の対策を組み合わせると、任意多数の案が考えられる。そこで、経済条件や各対策因子の影響とその組み合わせ結果の確認を要点として基本案と評価案に分け、3種類の基本案と10種類の評価用案を作成した。

これらの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、後述するように理想案2案（シャンシャン県のための理想案）も作成した。

各案の基本条件と主な内容は次のとおりである。

a. 予測期間とデータ基本データ

地下水シミュレーションモデルの検証期間は1994年以降のデータ量や精度及び検証結果の精度等を考慮して、1994年～2003年の10年間とした。予測計算の期間は、これに引き続く2020年までの17年間とした。

モデルの計算ピリオド（一組の入力データの最小時間単位）が1ヶ月なので、各案につき、 $17 \times 12 = 204$ 組のデータを準備した。

地下水の揚水は基本的に他の水源が利用できない場合の最終的手段になると考えられるので、揚水量の変動はまずトルファン盆地内の主要水源である河川流量及び利用量に支配されるため、次式で地下水揚水必要量が計算される。

$$GW = WD - SW - SP - KE$$

ここでは：GWが地下水揚水必要量

WDは生活・農業・工業等を合わせた水資源需要量

SWは河川地表水利用可能量

SPは泉水の利用可能量

KEはカナートの利用可能量

a.1 水資源需要量 (WD)

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求めてる。河川地表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。

a.2 河川流量 (SW)

予測計算の初めの10年間(2004年～2013年)では過去10年間の河川流量及び利用可能量を直接利用した。しかし、予測計算後半の7年(2014年～2020年)の河川流量及び利用量設定は単純に1994年～2000年7年間のデータを繰り返して利用せず、予測結果の信頼性を高め安全側を取るために、河川流量の大きい3年間(1998、1999、2002年)を取り除いてから順番に利用した(これら3年を最終の3年間(2018年～2020年)に含むと地下水位維持のための予測においては危険側になる)。

予測年と河川流量のデータ利用年との関係は表10.8.1に示す。

表 10.8.1 予測年と河川流量データ利用年の対応表

予測年順番	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
予測計算年	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
データ利用年	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003

予測年順番	10	11	12	13	14	15	16	17
予測計算年	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
データ利用年	2003	1994	1995	1996	1997	2000	2001	2003

河川はさらに3種類に分けている。

- ・ 河川利用量（実際の灌漑用水量）
- ・ 河川導水損失量（水路での浸透損失量）
- ・ 河川放流量量（導水せずに山前で放流された水量）

これらの河川流量は水文解析調査の結果に基づき、14本通年河川の流況、つまり渇水期と豊水期（おおよそ非灌漑期と灌漑期に対応）での流量変化、各河川に対応している水路及び各水路の導水損失（河川流量調査の結果を利用）、各水路に関連している用水先（郷・鎮レベルまで）を解析した上、予測期間の17年間について、広域三次元モデルの25,300個のメッシュの中で、それぞれが対応するメッシュ毎に月単位で算出配分した。

a.3 泉流量 (SP)

泉流量は2004年～2020年の17年間で変わらないとした。しかし、泉の流量は灌漑期では農地全体にばら撒くようにしており、非灌漑期では泉下流の遠くない地点で浸透させるように設定しているので、灌漑期と非灌漑期の2期に分けて、日単位でまとめている。各月の泉流量は当該月の日数に対応する日流量を乗じて集計した。

a.4 カナート流量 (KE)

カナート流量の計算方法は井戸揚水量計算プロセスの中で説明する。

a.5 井戸揚水量 (GW)

井戸揚水量は前述の水収支式で予測区分別に求めるが、井戸揚水量とカナート流量とはお互いに影響する。過去10年間の揚水量とカナート流量を分析すると図10.8.1のような関係を持っていることが分かる。ただし、図中の横軸は井戸揚水量、縦軸はカナート流量で、単位は両方とも万立米である。この関係を利用して、図10.8.2のプロセスでまず井戸揚水量を求め、それを利用してカナート流量の変動を計算した結果を井戸揚水量へフィードバックする。

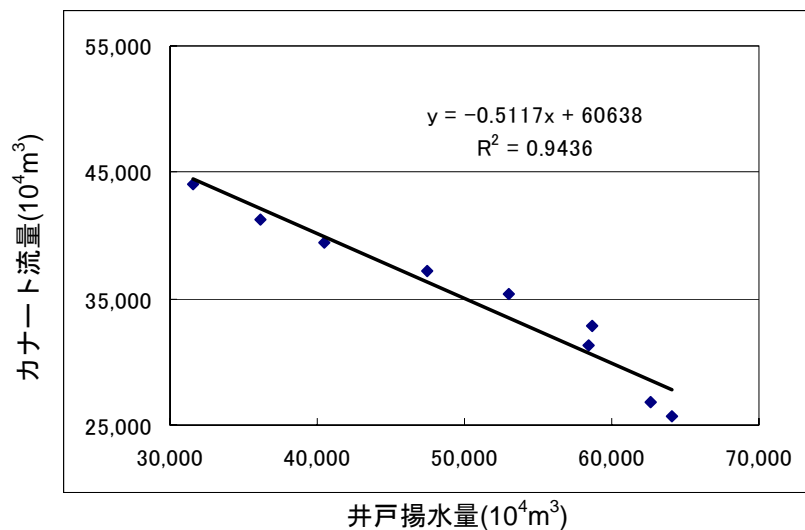


図 10.8.1 トルファン地域における井戸揚水量とカナート流量との関係

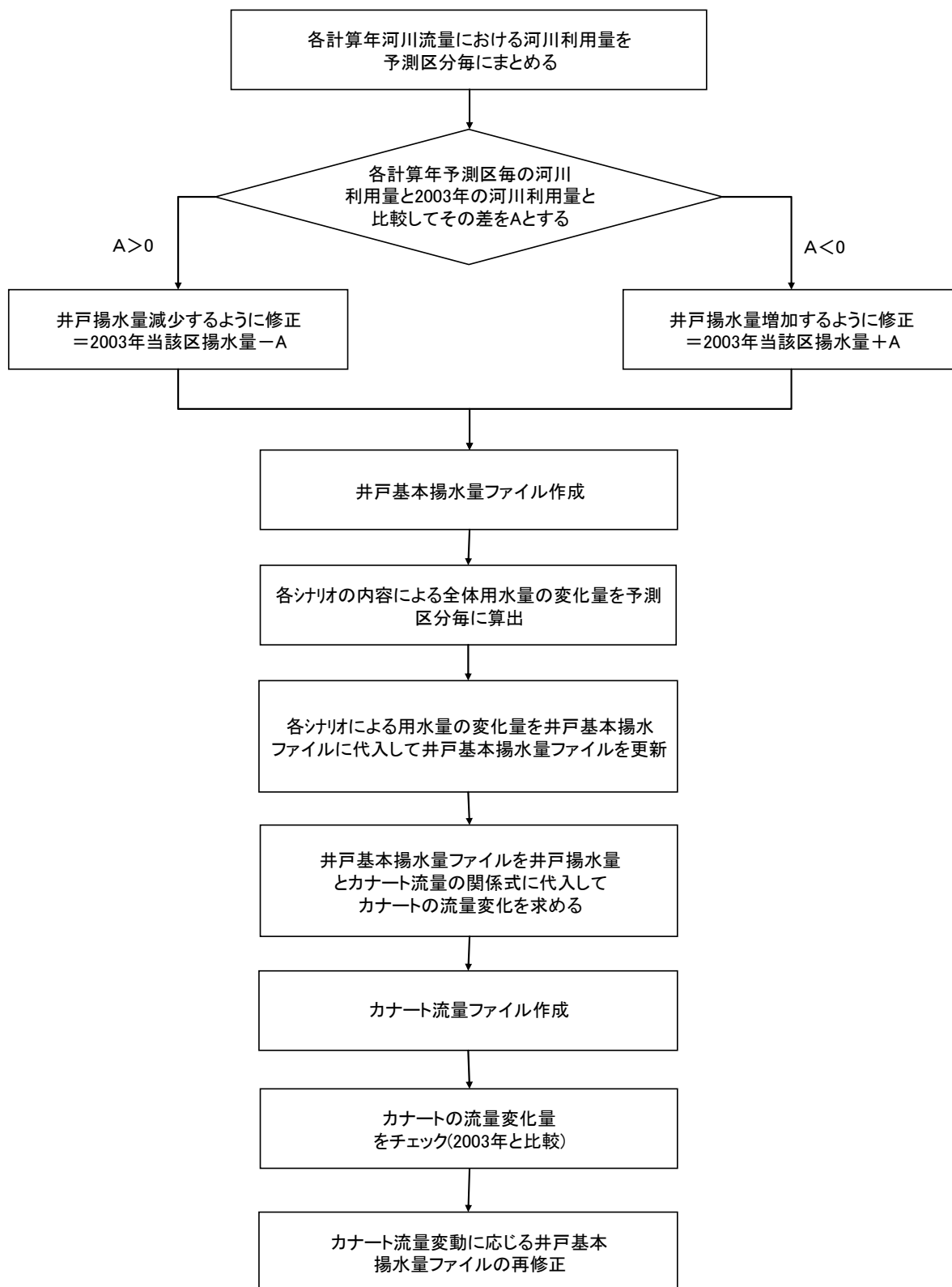


図 10.8.2 井戸揚水量及びカナート流量(涵養量ファイル)の作成手順

b. 各種水資源利用量の配分

b.1 生活用水量

都市地域に該当するメッシュを中心に生活用水量を配分した。

b.2 農業用水量

調査地域で農業生産活動は盆地の中心部艾丁湖の北側に集中している。統計資料では得られた農地面積には大きな誤差が含まれる可能性があり、精確な農地分布資料がないので、統計資料値及びGISから得られた解析結果（SPOT衛星画像を利用）を元に、広域三次元モデルの各メッシュにおける農地の面積を求めた。その結果は表 10.8.2に示す。

表 10.8.2 広域三次元モデルに取り組んだ農地面積分布

農地単位：万平方メートル

番号	TKX	TRP	SS-N	SS-S
地域	トクソン県	トルファン市	シャンシャン 県北部	シャンシャン 県南部
農地面積1メッシュ数	594	973	502	470
農地面積1	27,188	42,783	22,331	22,661
農地面積2メッシュ数	554	915	432	461
農地面積2	26,446	42,083	20,730	22,594

注：農地面積1は衛星写真から得られた面積
農地面積2は農地面積1から山、丘陵、火焰山に当たるメッシュを除いた部分の面積である。
シャンシャン県内農地に占める割合面積：SS-Nシャンシャン県北部48.74%、SS-Sシャンシャン県南部51.26%

10.8.2 予測関連基本因子

a. 農地栽培面積の変化

社会経済予測調査の結果に基づき、増加するケース2つと現況維持のケースを含めてケースは3通りを設定した。本調査においては、農地面積の減少は想定していない。これは、①農業がトルファン地区の主要な産業であり農地面積が年々増大しているのが現状である、②農地面積を増大させないことが実施可能な施策であり減少させることは難しい、③農地の移転に伴う住民移転は必ずしも農民が望んでいるものではない、④第10.7章でも記したように農地面積の減少が必ずしも地下水位の上昇につながらない地域もある、等の理由による。

表 10.8.2に示したように、衛星写真の解析によって、農地分布の現況を把握できる。しかしトルファン地区の発展計画に含まれた農地増加計画に対して、どのメッシュにどれだけの農地面積を増やすかについて検討しなければならない。灌漑用水量は予測区毎に農地面積に比例して各メッシュに振り分けているので、農地面積の変化によって各メッシュ間の水資源利用量のバランスが変わる。そのために次の原則と計算プロセスにより、農地面積増加計画に対応する各メッシュの農地面積変動を求めた。

原則：

- ・ 既存農地の入っているメッシュ（オアシス地域）以外に農地を増やすことはない。
- ・ すでに農地の割合が9割を超えるメッシュでは農地面積が増加しない。

- ・ 新增農地のメッシュでは農地面積が9割以上増加しない。
- ・ 農地の増加量は当該メッシュ内の未使用土地面積と比例する。

計算プロセス：

- ・ 既存農地のあるメッシュを集計し、各メッシュでの未使用面積及び未使用面積の割合と各予測区分別の未使用の農地の合計を算出。（ただし、当該メッシュの農地面積が9割に達した時点で、そのメッシュでの未使用面積は0とする）
- ・ 各年の農地増加計画量を算出、予測区分別の未使用農地に対する割合を求める。
- ・ 各メッシュでの未使用土地面積に農地増加率をかけて農地増加量を計算する。
- ・ 農地増加量と既存農地面積を合計し、増加後各メッシュでの農地面積を確定する。

b. 灌漑用水量原単位変化

社会経済の予測結果に基づく、灌漑用水量原単位も計画値、現況維持の2ケースのほか、計画値の半分まで実現できるとの3ケースを設定している。

c. 水資源利用効率の変化

水資源利現況調査の結果に基づき、3ケースを設定した。ケース1：計画どおりに向上、ケース2：現況維持、ケース3：前の2ケースの中間値。

d. 節水灌漑による灌漑用水量の変化

社会経済予測調査及び節水灌漑調査の結果に基づき、現況維持、計画通りと計画値の半分までのように3ケースを設定している。しかし、節水灌漑は多くの内容を含む概念であり、スプリンクラーやドリップ灌漑のような灌漑施設の利用により灌漑用水を低減する方法と栽培方法改善や耐旱魃品種の導入ないし微塩分水源の利用等各種施設を利用しなくても実施できる方法がある。ここでいう節水灌漑は施設導入による節水のことを意味し、具体的に節水灌漑計画の中に含まれた低圧パイプ送水とドリップ灌漑のことを取りこんでいる。節水灌漑計画に含まれた高標準畝栽培法等の節水区効果は農業用水量原単位変化の元として考え、節水灌漑因子の中に取りこまない。節水灌漑の効果は作物の種目及び方法自身によって変動するので各予測区分における節水灌漑の効果、すなわち節水量は次の式で算出する。

$$\begin{aligned} \text{節水量} = & \\ & \Sigma (\text{種目別 (節水灌漑方法普及面積} \times \\ & \quad (\text{畝灌時の灌漑原単位} - \text{節水時の原単位})) \end{aligned}$$

10.8.3 基本案

現況維持案は他の全ての案と比較するための基礎となるのでまず検討する。さらに、両極端の状況を想定し、最危険案と全計画実施案を設定した。

a. 現況維持案

生活以外の用水量は現状維持で固定する。生活用水量の増加分は井戸揚水量で賄う。ただし、生活用水量は予測区分毎にまとめる。

b. 最危険案

最危険案は揚水量増加因子を取り入れた案である。その内訳としては

- ・ 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

全計画実施案はできる限り揚水量減少因子を取り入れた案である。その内訳としては

- ・ 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：社会経済予測調査による普及計画が実現
- ・ 導水：阿拉溝河ダムからの導水をシャンシャン県南部で利用

10.8.4 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、その揚水量を到達するために、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。調査期間中には、水資源利用計画の設定原則や目標等に関する協議の中でできるだけ各種関連因子を評価し、今回の計画策定だけでなく、将来の計画見直しに使用したいとの要望もあった。そこで、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など 4 つの主要因子に関して評価する案を作成した。さらに、既存のダム計画に基づき、ダムによる新規開発水量の利用方法に関する案をも 2 つ加えた。

対策因子評価案の基本設定

- ・ 人口変動：基本案の「現況維持案」と同じ
- ・ 農地面積変化：社会経済フレーム設定でまとめた中間ケースの結果
- ・ 灌漑用水量原単位：社会経済調査でまとめた各計画目標値までの灌漑用水量原単位と現況灌漑用水量原単位との平均値
- ・ 水資源利用効率：既存水資源利用効率改善計画の目標値と現況水資源利用効率の平均値
- ・ 節水灌漑：施設による節水灌漑事業の目標値の半分が達成できる
- ・ 導水事業：なし

農地面積変化の効果評価

- ・ 農地面積不変案：他の関連因子は基本設定のまま固定し、農地面積だけ現況維持（増加しない）するように設定する。

- ・ 農地面積増大案：他の関連因子は基本設定のまま固定し、農地面積だけ社会の経済フレーム設定における農業面積大増加の計画値に設定する。

灌漑用水量原単位の効果評価

- ・ 灌漑用水量原単位不変案：他の関連因子は基本設定のまま固定し、灌漑用水量原単位だけ現況維持に設定する。
- ・ 灌漑用水量原単位計画値案：他の関連因子は基本設定のまま固定し、灌漑用水量原単位だけ用水量原単位減少目標値に設定する。

節水灌漑事業の効果評価

- ・ 節水灌漑未実施案：他の関連因子は基本設定のまま固定し、節水灌漑対策だけ現況維持のように設定する。
- ・ 節水灌漑計画値案：他の関連因子は基本設定のまま固定し、節水灌漑対策だけ普及計画の目標値に設定する。

水資源利用効率

- ・ 水資源利用効率現況維持案：他の関連因子は基本設定のまま固定し、水資源利用効率だけ現況維持するように設定する。
- ・ 水資源利用効率計画値案：他の関連因子は基本設定のまま固定し、水資源利用効率だけ向上する目標値に設定する。

10.8.5 導水事業の効果検討

対策因子評価案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の導水効果を検討した。

- ・ トクソン県導水案：阿拉溝河ダムの導水量をトクソン県内で利用する場合（ダムによる新規利用可能水量の9割をトクソン県で利用する。残る1割は導水途中の水路損失とする。）
- ・ シャンシャン導水案：阿拉溝河ダムの導水量をシャンシャン県南部 — 調査地域内の水資源の最も不足している地域で利用する場合。ただし、（ダムによる新規利用可能水量の7割がシャンシャン県まで導水でき、残る3割は導水途中の水路損失とするように設定。）

各案における2010年と2020年の予測区分別年間揚水量変化をは図10.8.3と図10.8.4に示す。

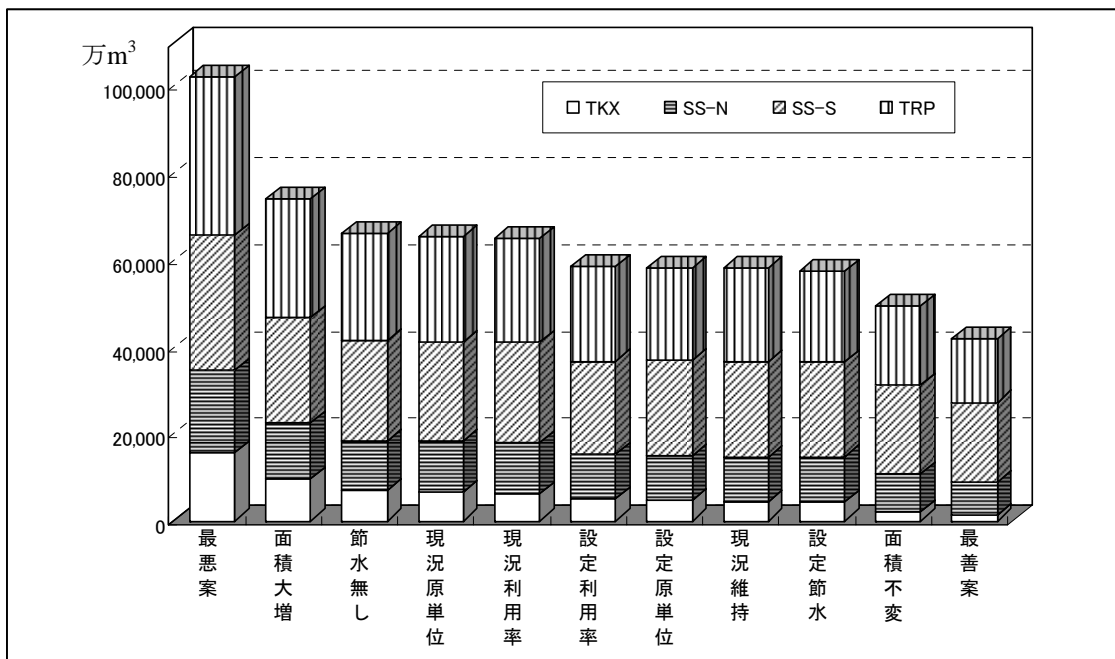


図 10.8.3 各予測計算案条件下での予測別井戸揚水量(2010年)

図 10.8.3に示しているように 2010 年まで、阿拉溝河からの導水は未だ実施されないの
で、予測案は基本案 3 案と因子評価案 8 案の 11 案である。全計画実施案と最危険案は言
うまでもなく井戸揚水量の最小と最大の案になっている。その次の農地面積不変案の揚
水量は 2 番目に小さく、計画通り面積増加が増加する案では揚水量は 2 番目に大きい。
すなわち、2004 年～2010 年の 7 年間では、農地面積の変化が井戸揚水量変化に対し大き
な影響を与えることが分かる。農地面積の次に節水灌漑の実施が効果の大きな因子であ
り、計画通り実施する場合 3 番目に揚水量が小さい案となり、逆に実施しなければ、3 番
目に揚水量の大きい案となる。

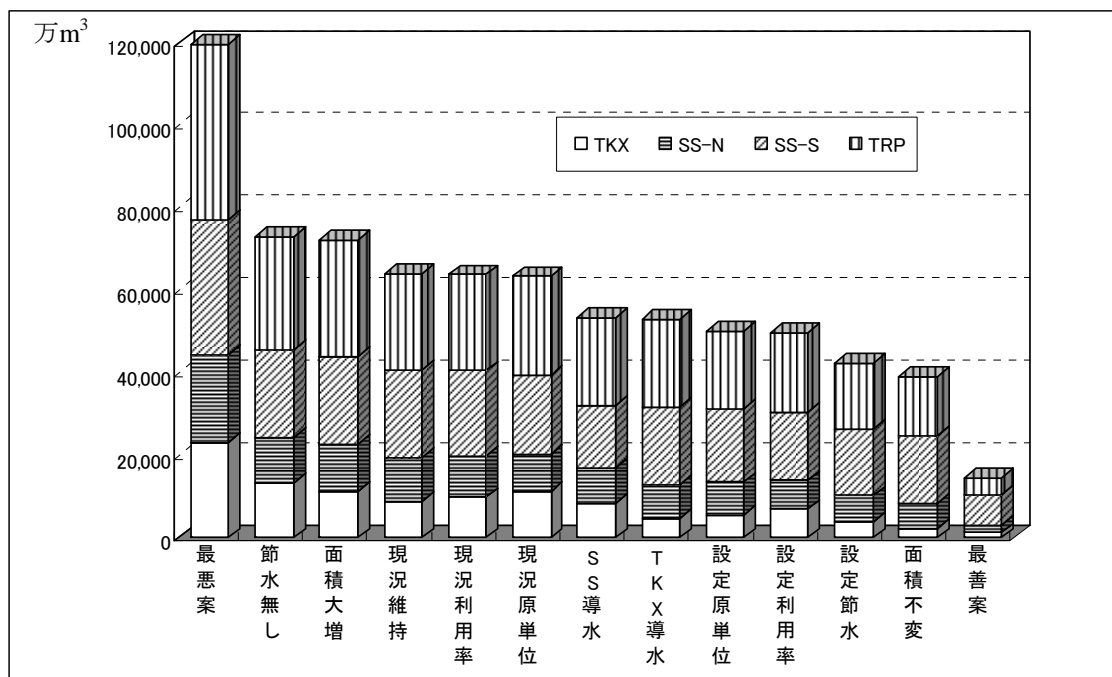


図 10.8.4 各予測計算案条件下での予測別井戸揚水量(2020年)

各予測案の条件下で水資源管理目標年の2020年では最危険案と全計画実施案は揚水量変化グラフの両端にあり、最善案に次いで農地面積不変案が2010年と同様に井戸揚水量の2番目に小さい案ある。しかし、節水灌漑未実施案は農地面積増大案の代わりに最危険案に次いで揚水量が2番目に大きな案となっていて、農地面積増大案よりわずかに井戸揚水量が多い。これは農地面積の増加計画では増加率が一定でなく、5年間ずつその増加率が低減していることに原因があり、農地増加因子の重みが小さくなるわけではない。

最危険案での揚水量は約12億立方メートル／年となり、全河川流量よりも大きくなる。その揚水量に到達する前にトルファン盆地の地下水位は全面的に低下し、地下水資源は枯渇してしまい、灌漑を中心とした農業生産活動だけでなく、住民の生活する場もなくなることが予想される。

10.8.6 各案による予測

a. 案別予測

本項においては、主要な帯水層である第17層と第18層を中心に地下水位の変化を記述する。上記してきたように、本調査では13の予測案を設定した（表10.8.3）。

表 10.8.3 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			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	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

a.1 第1案（現況維持案）

この案は、人口変動に伴う用水量の変化のみ生じるものとして、その他の用水量は現況と同じとしたものである。

2020年の第17層と第18層の地下水位分布を、図10.8.6に示す。また、2003年の地下水位分布との差分を図10.8.7に示す。

現況維持案の場合、現況の地下水頭と比較して上昇域と低下域が複雑な形でみられるが、火焰山南部からシャンシャン県南部では連続して地下水頭が低下している。これは、かん養地点（農地・河川流域）と揚水地点および地下水流動の方向に密接に関係しており、対策を講じる際の重点地域等の指標とすべきものである。

a.2 第2案（全計画実施案）

この案は、①人口変動に伴う用水量の変化、②農業生産面積は現況維持、③灌漑用量原単位は前記した設定値、④節水灌漑の普及は前記した計画値、⑤水資源利用効率は前記した計画値、⑥シャンシャン県への導水、を想定したものである。

2020年の第17層と第18層の地下水位分布と第1案（現況維持案）の地下水位との差分を、図10.8.8および図10.8.9に示す。また、2003年の地下水位分布との差分を図10.8.10に示す。

全計画実施案の場合、第1案（現況維持案）と比較して全域的に地下水頭が上昇して、特にシャンシャン県南部や火焰山周辺、トクソン県西部に大きな上昇がみられる。ただし、現在の地下水頭を維持できない地域も広く残る。

a.3 第3案（最危険案）

この案は、①人口変動に伴う用水量の変化、②農業生産面積は増大増加、③灌漑用量原単位は現状維持、④節水灌漑は実施しない、⑤水資源利用効率は現状維持、を想定したものである。

2020年の第17層と第18層の地下水位分布と第1案（現況維持案）の地下水位との差分を、図10.8.11および図10.8.12に示す。また、2003年の地下水位分布との差分を図10.8.13に示す。

最危険案の場合、第1案（現況維持案）と比較して全域的に地下水頭が低下して、特にシャンシャン県南部や火焰山周辺、トクソン県西部に大きな低下がみられる。また、第1案（現況維持案）では現況の地下水頭を維持できた地域でも、地下水頭の低下が起こる（例えば、トクソン市中心部西方）。

a.4 第4案（農地面積不変案）

この案は、①人口変動に伴う用水量の変化、②農業生産面積は現況維持、③灌漑用量原単位は前記した平均値、④節水灌漑の普及は前記した計画値の1/2、⑤水資源利用効率は前記した計画値の1/2、を想定したものである。

2020年の第17層と第18層の地下水位分布と第1案（現況維持案）の地下水位との差分を、図10.8.14および図10.8.15に示す。また、2003年の地下水位分布との差分を図10.8.16に示す。

農地面積が変化しない本案の場合、第1案（現況維持案）と比較すると全域的に地下水頭が上昇する。特に、トクソン県西部では第1案では2020年の地下水頭が2003年の

地下水頭より低下していた地域でも、本案では上昇が予測される地域もある。このような地域では、灌漑用水量原単位、節水灌漑、水資源利用効率を併せた計画の効果が比較的高いといえる。

a.5 第5案（農地面積増大案）

この案は、上記の「農地面積不変案」から、農業生産面積を増加させたものである。

2020年の第17層と第18層の地下水位分布と第1案（現況維持案）の地下水位との差分を、図10.8.17および図10.8.18に示す。また、2003年の地下水位分布との差分を図10.8.19に示す。

農地面積が増大する本案の場合、上記第4案と比較して現況維持案より地下水頭が低下する地域が大幅に拡大している。特に、シャンシャン県南部や勝金口付近では地下水頭の低下が大きい（図10.8.20）。また、トクソン県中心部付近では2003年と比較して2020年の方が地下水頭が上昇しているが、第1案（現況維持案）よりも上昇量は小さい。

a.6 第6案（灌漑用水量原単位不変案）

この案は、①人口変動に伴う用水量の変化、②農業生産面積は前記した増加量、③灌漑用水量原単位は現状維持、④節水灌漑の普及は前記した計画値の1/2、⑤水資源利用効率は前記した計画値の1/2、を想定したものである。

2020年の第17層と第18層の地下水位分布と第1案（現況維持案）の地下水位との差分を、図10.8.21および図10.8.22に示す。また、2003年の地下水位分布との差分を図10.8.23に示す。

灌漑用水量原単位が変わらない本案の場合、現況維持案と比較して勝金口周辺の北東-南西方向の帯状地域やトクソン県中心部西方で地下水頭が低くなる。また、現況地下水頭と比較すると、水頭が低下する地域も比較的広範囲に及ぶ。

a.7 第7案（灌漑用水量原単位計画値案）

この案は、上記の「灌漑用水量原単位不変案」から、灌漑用水量原単位を減少させたものである。

2020年の第17層と第18層の地下水位分布と第1案（現況維持案）の地下水位との差分を、図10.8.24および図10.8.25に示す。また、2003年の地下水位分布との差分を図10.8.26に示す。

灌漑用水量原単位を計画値とする本案の場合、上記第6案と比較して現況維持案より地下水頭は略全域で高くなるが、2003年の地下水頭と比較すると地下水頭が低下する地域は比較的広い範囲に及ぶ。（図10.8.27）。

a.8 第8案（節水灌漑未実施案）

この案は、①人口変動に伴う用水量の変化、②農業生産面積は前記した増加量、③灌漑用水量原単位は前期した平均値、④節水灌漑は現状維持、⑤水資源利用効率前記した計画値の1/2、を想定したものである。

2020年の第17層と第18層の地下水位分布と第1案（現況維持案）の地下水位との差分を、図10.8.28および図10.8.29に示す。また、2003年の地下水位分布との差分を図

10.8.30に示す。

節水灌漑を行わない本案の場合、現況維持案と比較して勝金口周辺の北東－南西方向の帯状地域やトクソン県中心部西方で地下水頭が低くなる。第 6 案（灌漑用水量原単位不変案）と低下域分布はほぼ同じであるが、その範囲はより広範囲に及ぶ。

a.9 第 9 案（節水灌漑計画値案）

この案は、上記の第 8 案（節水灌漑未実施案）から、節水灌漑対策を実施したものである。

2020 年の第 17 層と第 18 層の地下水位分布と第 1 案（現況維持案）の地下水位との差分を、図 10.8.31 および図 10.8.32 に示す。また、2003 年の地下水位分布との差分を図 10.8.33 に示す。

節水灌漑計画値案の場合、第 1 案（現況維持案）より地下水頭が略全域で上昇する他、第 8 案と比較しても略全域で地下水頭が上昇する（図 10.8.34）。しかし、2003 年時点の地下水頭と比較した場合には比較的広い範囲で地下水頭が低下している。

a.10 第 10 案（水資源利用効率現状維持案）

この案は、①人口変動に伴う用水量の変化、②農業生産面積は前記した増加量、③灌漑用水量原単位は前期した平均値、④節水灌漑の普及は前記した計画値の 1/2、⑤水資源利用効率は現状維持、を想定したものである。

2020 年の第 17 層と第 18 層の地下水位分布と第 1 案（現況維持案）の地下水位との差分を、図 10.8.35 および図 10.8.36 に示す。また、2003 年の地下水位分布との差分を図 10.8.37 に示す。

利用効率の改善を行わない本案の場合、現況維持案と比較して勝金口周辺の北東－南西方向の帯状地域やトクソン県中心部西方で地下水頭が低くなる。第 4 案（農地面積不変案）や第 6 案（灌漑用水量原単位不変案）と低下域分布はほぼ同じである。

a.11 第 11 案（水資源利用効率計画値案）

この案は、上記の「水資源利用効率現状維持案」から、水資源利用効率を改善したものである。

2020 年の第 17 層と第 18 層の地下水位分布と第 1 案（現況維持案）の地下水位との差分を、図 10.8.38 および図 10.8.39 に示す。また、2003 年の地下水位分布との差分を図 10.8.40 に示す。

水資源利用効率が計画値の本案の場合、第 1 案（現況維持案）より地下水頭が略全域で上昇する他、第 9 案（節水灌漑計画値案）と比較しても略全域で地下水頭が上昇する（図 10.8.41）。しかし、2003 年時点の地下水頭と比較した場合には比較的広い範囲で地下水頭が低下している。

a.12 第 12 案（トクソン県導水案）

阿拉溝河ダムの導水量をトクソン県内で利用する案である。

2020 年の第 17 層と第 18 層の地下水位分布と第 1 案（現況維持案）の地下水位との差分を、図 10.8.42 および図 10.8.43 に示す。また、2003 年の地下水位分布との差分を図

10.8.44に示す。

トクソン県導水案の場合、現況維持案と比較すると前記の第 10 案等で認められていたトクソン県中心部西方での地下水頭の低下が発生しなくなる。しかし、2003 年の地下水頭と比較した場合には、トクソン県中心部西方の一部地域では地下水頭の低下が発生するものと予測される。

a.13 第 13 案（シャンシャン県導水案）

阿拉溝河ダムの導水量をシャンシャン県南部（調査地域内で水資源が最も不足している地域）で利用する計画である。

2020 年の第 17 層と第 18 層の地下水位分布と第 1 案（現況維持案）の地下水位との差分を、図 10.8.45 および図 10.8.46 に示す。また、2003 年の地下水位分布との差分を図 10.8.47 に示す。

シャンシャン県導水案の場合、現況維持案と比較して、シャンシャン県南部では本案の効果により水頭低下が抑制されている。しかしシャンシャン県南部の地下水頭の現況維持または回復には至らない。

b. 地域別予測

トルファン盆地全域の地下水位を把握するために、後記するように地下水位の管理水位をもとめ、地下水位の観測を継続することを提案する。

以下に、各市県の主要な観測井の地下水頭変動の予測結果を図 10.8.48 に示す。

b.1 トルファン市

トルファン市域の地下水位を代表することができる地下水位観測井として、以下の井戸をあげることができる。

JICA 観測井 TWSS、JICA 観測井 TWSC、既存観測井 1-6、JICA 観測井 TWNC

後述するように、これら 4 井の中で過去の地下水位観測記録のある既存観測井 1-6 をトルファン市の基準観測井戸とする（図 10.8.49）。

トルファン市においては、南部では第 1 案（現況維持案）でも、地下水頭の緩やかな上昇が期待される。また、トルファン北部でも、現況の地下水頭を保つことができる。

一方、トルファン市中央部においては対策の効果は小さいが、地下水頭維持に最も効果のある対策は節水灌漑であり、効果的な位置の選定と実施時期・速度や他の事業との組み合わせを十分に考慮した対策を検討しなければならない。

b.2 シャンシャン県

シャンシャン県域の地下水位を代表することができる地下水位観測井として、以下の井戸をあげることができる。

JICA 観測井 TWSE、既存観測井 2-14、既存観測井 2-3、既存観測井 2-11

後述するように、これら 4 井の中で過去の地下水位観測記録のある既存観測井 2-14 をトルファン市南部の基準観測井戸とし、既存観測井 2-3 をトルファン市北部の基準観測井戸とする（図 10.8.50 および図 10.8.51）。

シャンシャン県域における地下水頭維持に最も効果のある対策は、阿拉溝ダムからの導水であるが、導水にその他の対策を組み合わせても（全計画実施案によっても）現況の地下水位を維持することは難しい状況にある。また、阿拉溝河ダムからの導水が可能であってもその開始年は2010年以降であり、それまでに地下水頭の低下が続いてしまう。

このように、2020年までに、シャンシャン県域の地下水位を2004年レベルの水位に回復させるためには最善案以上に早急な導水・節水・揚水規制等が必要であり、目標達成のための理想案を「c シャンシャン県のための理想案」で考察する。

b.3 トクソン県

トクソン県域の地下水位を代表することができる地下水位観測井として、以下の井戸をあげることができる。

JICA 観測井 TWSW、既存観測井 3-2

後述するように、これら2井の中で過去の地下水位観測記録のある既存観測井 3-2 をトルファン市の基準観測井戸とする（図 10.8.52）。

トクソン県中心部においては現況の地下水頭を維持することができ、地下水頭の上昇も期待できる。ただし、周辺辺部では対策を講じなければ緩やかな地下水頭の低下が発生する地域もあるほか、農地として利用されていない丘陵地縁辺では地下水頭の低下も生じる。トクソン県域における地下水頭維持に最も効果のある対策は、導水事業と節水灌漑である。本地域の地下水位は比較的浅いため、塩害対策をも考慮した地下水位管理を行っていくことが望ましい。

c. シャンシャン県のための理想案

前記したように、シャンシャン県南部においては、導水事業実施後地下水頭の低下が鈍化する。シャンシャン県南部の地下水頭を現況以上に低下させないためには、対策事業を可能な限り早急に実施し始めることが必要であり、かつ、第2案（全計画実施案）以上にシャンシャン県南部に特化した対策を講じなければならない。

以上のことを考慮した対策案を理想案として検討を行う。

c.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。

図 10.8.53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 10.8.56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 10.8.55）。

c.2 最理想案

上記したように理想案を実施しても、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が難しいため、実現性は無いがさらに厳しい対策を想定した。最理想案の各因子の設定条件は理想案と同じであるが、最理想案はシャンシャン県南部で計画値の目標値を全て2015年（理想案では2020年）に前倒して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 10.8.54)。しかし、図 10.8.55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 10.8.56)。

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。

d. 水収支予測

予測13案の中で、基本案は第1案(現況維持案)、第2案(全計画実施案)、第3案(最危険案)の3案である。これら3案と上項の理想案について、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。なお、揚水量はシミュレーションモデル上の計算途中で枯渇する井戸の揚水量を除いている。また、かん養量は第四紀層へのかん養量であり基盤への直接かん養量は除いている。

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(ただし、艾丁湖からの蒸発散量は考慮していない)。

表 10.8.4 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

注) 揚水量はシミュレーションモデル上の計算途中で枯渇する井戸の揚水量を除く。かん養量は第四紀層へのかん養量であり基盤への直接かん養量は除く。以下、表 10.8.5から表 10.8.7まで同じ。

表 10.8.5 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 10.8.6 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 10.8.7 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

10.8.7 予測結果の分析と評価

前記したようにトルファン盆地の地下水かん養の特徴は、降雨によって盆地全域にわたってかん養が行われるのではなく、河川・導水路周辺と農作地に限られることである。

予測計算においても、阿拉溝が流下しかつ西側山地からの地下水流入もあるトクソン県では将来にわたって現況の地下水位を維持でき、節水目標を達成することによって地下水位が上昇する。農作地の塩害という観点からは、むしろ地下水を利用して地下水頭を下げることも検討しなければならない。

トルファン市北部からシャンシャン県北部の北盆地においては、多くの河川が流下しかつ北側山地からの地下水流入があるため比較的かん養量が多く、節水を実施することにより地下水位の管理は容易である。ただし、予測結果が示すように河川周辺以外や農作地が分布しない地域においては地下水位の低下が予測されている。これらの地域が地下水位低下することにより、地下水かん養が豊富な地域においても地下水位の低下が生じることもあるので、これらの地域からの揚水は制限されるべきである。また、河川の水が上流部で取水され導水路によって下流側に運ばれる量が増大すると、地下水流動の上流部で地下水位の低下が発生してその影響が下流域にまで及ぶことがあるため、上流部の取水についても十分な管理が必要である。

トルファン市中心部においても、北側河川からかん養した地下水の流入があり、地下水位は比較的安定している。しかし、現在の揚水を継続すれば将来的には地下水位の低下が予測されており、何らかの節水対策を実施する必要がある。また、北盆地と同様に地下水流動の上流域の保護も必要である。

トルファン市南部においては、トルファン市中心部やトクソン県方向からの地下水の流入があり、地下水位は安定している。地下水利用もそれほど多くない地域であるため、現在のような土地利用が続く限りは現状を維持できる（農地の無い地域では一部小さな地下水位の低下）と予測される。

これらの地域に対して、シャンシャン県南部には背後（地下水流動の上流側）に地下水かん養域が存在しない。このため、シャンシャン県南部のかん養は農作地と火焰山内を流下する小河川に限られる。現在は過去に貯留された地下水を消費している状況にある。地下水水収支をゼロにするためには大規模な節水対策が必要であり、さらに地下水位を回復させるために水収支をプラスするための方策（例えば、揚水量を削減してかん養量を増加させるための他地域からの導水等）を実施した上で長期的な対策の継続が必要である。

また、農作地からのかん養は、揚水した地下水がその一部を失った後にまた地下に浸透するという循環によって行われている。そのため、前項（水収支予測）で示したように、節水対策を実施することによりかん養量も減少することになり、節水対策により急激な地下水位の上昇は期待されないため、長期的な対策が必要であることも十分に認識すべきである。

以上を表 10.8.8に各予測案の地域別評価としてまとめる。

表 10.8.8 各予測案の地域別評価

予測案	トルソン県	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	△～○	△～○	△	△～○	×	△～○
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

10.8.8 許容揚水量（持続的揚水量）

上記したように、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。

a. カナート保護地域と目標水位

トルファンと聞くと多くの人々の頭には浮かぶのはカナートである。それほどカナートはトルファン地区の象徴になるぐらい重要な文化財である。何があってもカナートを保護したい。そういう気持ちはトルファンの多くの人々の心にはあると思われる。一方、人口の増加、経済、とくに農業の発展、生活レベルの向上などにより、トルファンの水資源需要量が増え続けて、井戸による地下水の利用量はかなりの勢いで増加してきた。その結果、カナートの数はかなり減少し、存続しているカナートの流量も大分減った。カナートの保護は、地元の人々だけではなく、各方面から注目されている。

カナートを保護するために、トルファン地区はカナート周辺に井戸作成制限、堤防作成制限などの措置を取るため条例を制定した。しかし、水資源利用現況調査や水文調査で明らかになったように、現況ではカナートの流量は水資源利用量と比べて1/5にも及ばない程小さい。カナートの流量で現在の生活や生産活動を維持することはとても考えられない。そのため、現在の保護条例も事実上効力を発揮していない。また、カナートの維持管理には多量の人力、財力が必要であり、それだけの維持管理費を確保するのも簡単ではない。また、水資源利用としては効率の良い取水方法とも言いにくい。さらに、カナートの現況流量から見て、1,000m³/日以上流量を維持できるのは既存331本カナートの内、半分弱の159本だけである。これだけの流量が確保できない限り、水需要を賄うのは困難であるので、流量が小さいカナートの周辺で、現在のカナート保護条例に従わずに井戸揚水をするのはやむを得ない面がある。一方、流量の比較的大きいカナートは灌漑用水や生活用水の水源として現在も利用されているし、利用者から大事にされ、維持管理も良く行われている。

カナートの保護、給水特に生活給水の保障、維持管理が確実に実施できる等の因子をバランスが取れるように対策を策定するには、現況カナートの流量及び利用量を把握した上、利用可能で、保存価値も可能性も高いカナートに人力、財力を集中して重点的に保護していく方が最も現実性のある合理的な考え方と判断できる。

図 10.8.5には流量(2004年)が $0.01\text{m}^3/\text{s}$ (約 $1,000\text{ m}^3/\text{day}$)及び $0.042\text{ m}^3/\text{s}$ (約 $3,600\text{ m}^3/\text{day}$)を超えたカナートの分布を示す。流量の比較的大きなカナートはトクソン県オアシスの北部、トルファン市の北部及び火焰山の北麓に集中していることが分かる。これら流量の大きいカナートは、現在でもよく利用されていることが水資源利用調査から明らかになっている。従って、図に示されているようにこれら地域をカナート保護地域として指定し、地下水位が現況より下がらないように許容地下水位(目標水位)を設定する。

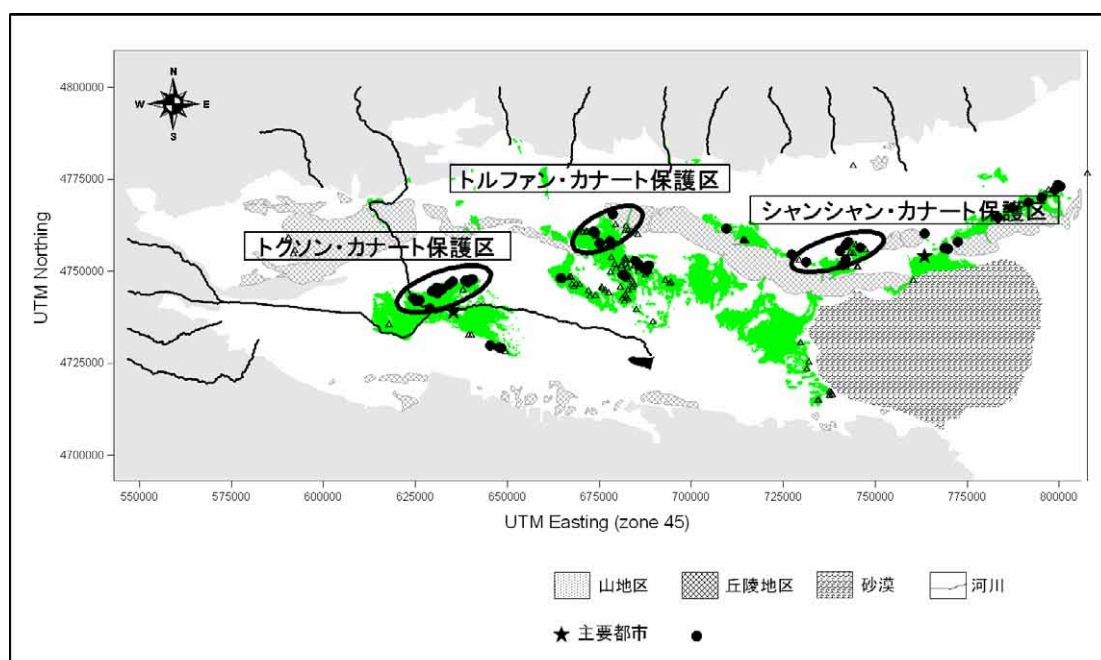


図 10.8.5 カナート保護区案

b. 目標水位の再検討と持続的揚水量

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。カナート維持のために中心部の地下水位を現況維持するためには、その北側の地下水位を維持することも必要である。また、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。このような観点から基準観測井は過去の水位記録がある既存観測井 1-6 とし、JICA 観測井 TWSC を補助的な井戸として地下水位変動量を観測する。

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。保護区内の既存観測井である 2-3 の現況地下水位を目標地下水位とする。

シャンシャン県南部においては、暫定的に現況の地下水位を維持することを許容揚水量として検討を続けた(「第 10.7 章参照」)。しかしながら、これまで記してきたように 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改める。「シャンシャン県のための理想案」の項でも検討したように、第 2 案を継続すれば

徐々にではあるが地下水位は回復してくる。2020年を目標年度とせず、より長期的な計画で地下水位の回復に努める必要がある。また、基準観測井は過去の水位記録がある既存観測井 2-14 とし、JICA 観測井 TWSE を補助的な井戸として地下水位変動量を観測する。

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、中心部に位置する既存観測井 3-2 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 10.8.9 にまとめる。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 10.8.9 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)			備考	許容揚水量	
トルファン市	既存観測井 1-6	-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	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	地下水位の維持		-	
		-39.5m		-39.5m				
		-31.5m	修正後	-56.0m	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		-56.7m				
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 10.8.10 及び図 10.8.57 に示す。

また、この許容揚水量案における水収支は、表 10.8.11 のようになる。

表 10.8.10 段階的揚水量目標と削減率

単位：億 m^3 /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%)

表 10.8.11 許容揚水量における水収支

流入量（億 m^3 ）		流出量（億 m^3 ）	
山側からの流入量	1.97	揚水量	3.79
垂直かん養量	4.05	カナートおよび平地部 泉の一部からの流出量	3.88

