

独立行政法人 国際協力機構

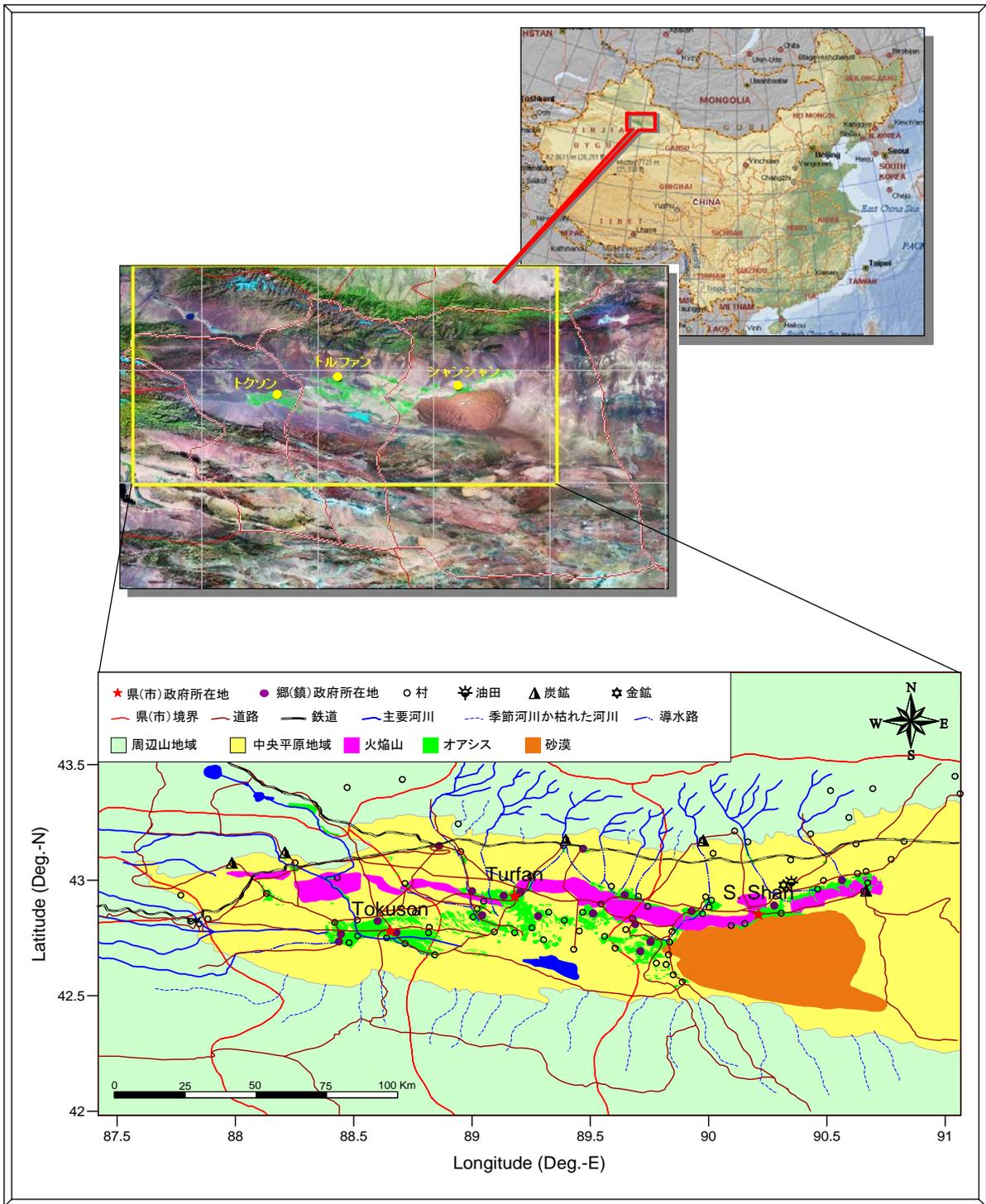
中華人民共和国新疆ウイグル自治区水利庁
中華人民共和国新疆ウイグル自治区水文水資源局
中華人民共和国トルファン地区水利局

中華人民共和国
新疆トルファン盆地における
持続的地下水資源利用調査

最終報告書
メインレポート

2006年3月

国際航業株式会社



調査位置図

序 文

日本国政府は、中華人民共和国政府の要請に基づき、新疆トルファン盆地における持続的地下水資源利用調査を実施することを決定し、独立行政法人国際協力機構がこの調査を実施いたしました。

当機構は、平成 16 年 5 月から平成 18 年 1 月まで、国際航業株式会社海外事業部の鎌田烈氏を団長とし、国際航業株式会社から構成される調査団を現地に派遣いたしました。

調査団は、中華人民共和国政府関係者と協議を行うとともに、計画対象地域における現地調査を実施し、帰国後の国内作業を経て、ここに本報告書完成の運びとなりました。

この報告書が、本計画の推進に寄与するとともに、両国の友好・親善の一層の発展に役立つことを願うものです。

終わりに、調査にご協力とご支援を戴いた関係各位に対し、心より感謝申し上げます。

平成 18 年 3 月

独立行政法人国際協力機構
理事 上田 善久

独立行政法人 国際協力機構

理事

上田 善久殿

伝達状

今般、中華人民共和国新疆トルファン盆地における持続的地下水資源利用調査が終了致しましたので、ここに最終報告書を提出いたします。

この報告書は中華人民共和国新疆ウイグル自治区トルファン盆地において、平成16年4月から平成18年1月まで22ヶ月間にわたり国際航業株式会社の専門家から成る調査団が実施した調査結果をとりまとめたものです。

調査に際しまして、中華人民共和国新疆ウイグル自治区水利庁、水文水資源局並びにトルファン地区水利局から調査団に寄せられましたご厚意とご協力に深く感謝申し上げます。とくに、本調査の中国側ステアリングコミッティ顧問の中国国務院参事 王 秉忱教授のご助言とご指導に深く感謝申し上げます。

貴機構ならびにアドバイザーコミッティ及び日本国大使館の各位には、調査を通じて多くのご支援を頂きましたことに深く感謝申し上げます。

本調査報告書が新疆トルファン盆地の持続的地下水利用のマスタープランとして今後活用されることを切望いたします。

平成18年3月

国際航業株式会社

新疆トルファン盆地における持続的地下水資源利用調査団

団長 鎌田 烈

要 旨

第1章 序 論

新疆ウイグル自治区のトルファン地区では近年、過剰な地下水利用が行われたため地下水位が低下し、伝統的な水源であるカナートの枯渇や水質の悪化、農地の荒廃などが発生し深刻な環境問題となっている。一方、同地区の今後の経済発展のためには、限られた水資源について、地表水・地下水一体となった総合的管理を行い、地下水資源を適正かつ有効に利用することが重要となっている。

本調査の目的は下記2項目である。

- 1) トルファン盆地の水資源状況を把握し、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）を策定する。
- 2) 関係機関に対し、地下水調査及び水資源開発利用・管理計画の策定に関する技術移転及び職員・技術者の能力開発を行う。

本調査は、日本独立行政法人国際協力機構（JICA）の委託を受け、国際航業株式会社（日本）が2004年4月から2006年2月までの23ヶ月間にわたり、トルファン盆地を対象に実施した。この最終報告書は、2004年5月～2006年1月に行われた第1次及び第2次現地調査の結果をとりまとめたものである。

第2章 調査地域の概要

2.1 自然条件

(1) 地形・地質

トルファン盆地は周辺が山地により囲まれた閉鎖式盆地で、北部と西部は天山山脈の主軸となるボゴダ山地と繋がり、東部はクムタグ砂漠を挟んでハミ盆地に、また南部も天山山脈に連なる山地に接している。盆地は中央部を東西に走る火焰山により北盆地と南盆地に分けられる。北盆地は礫質沖積平野で海拔標高は1,200～300 mである。一方、南盆地は砂・粘土質沖積平野で海拔標高はマイナスであり中央部に位置するアイディン湖は中国で最も標高が低く-155 mである。

盆地を囲む山地には古生代から第三紀の地層が分布している。火焰山には南側から北側に向かって中生代から第三紀の地層が露出している。北盆地の大部分と南盆地西部は礫質堆積物からなる沖積～洪積層が分布し、南盆地のオアシス帯には砂質堆積物、アイディン湖周辺には湖成のシルト・粘土堆積物からなる沖積層が分布している。

(2) 気象・水文

トルファン盆地は大陸性温暖帯に属し干魃砂漠気候である。盆地内の平均降雨量は年16.6mmに過ぎない。一方、蒸発散量は極めて高く年平均2,845mmにも達する。年間平均気温は13～14℃であるが夏は30～40℃と高く、冬は逆に0～零下15℃またはそれ以下になる。

山地の年降雨量は山腹で100～500 mm、高所では800～900 mmに達する。頂上周辺の

万年雪（氷河）は天然の貯水池となり流水は比較的豊富である。夏季には降雨と融雪により洪水が起きる。また、年流量の 50～80 %がこの時期に流出し、冬季の流量は非常に少ない。周辺山地から盆地内に流入する河川は 14 本あり、年間流量合計は 9.17 億 m³に達している。河川水は 3 ヶ所に建設されたダムにより貯水された後、水路により盆地内に導水され農業用水として利用されている。

トルファン盆地には山麓部から平原部にかけて横穴式暗渠のカナートが掘削され、歴史的に生活用水や農業用水として利用されてきた。しかし、1960 年代からの地下水位低下に伴い流量の減少や枯渇が発生し、かつては 1,400 本以上もあったカナートが現在は 300 本余りに減少している。

(3) 水理地質と地下水

トルファン盆地では周辺山地から流れ出た河川水が山麓部や平原部で河道や水路を通じて地下に浸透している。北盆地と南盆地では、この浸透水の涵養により第四紀層を帯水層とする地下水盆が構成されている。1965 年頃から農業用水需要の増大に伴いトルファン地下水盆では井戸の建設が進められ、現在の井戸総数は 5,000 本以上に達している。また、生活用や石油生産用にも地下水が利用されている。

2.2 社会経済条件

(1) 行政区分・人口

トルファン地区はトクソン県、トルファン市、シャンシャン県の 1 市 2 県から構成され、総人口は約 57 万人である。住民は多様な民族からなるが、ウイグル族が最も多く全体の約 70 %を占める。漢民族がこれに次いで多く約 23 %である。都市人口と農村人口はそれぞれ約 40 %と 60 %であるが、シャンシャン県では都市人口の方が多い。

(2) 経済

トルファン地区の 2003 年における総生産額は約 86 億元で新疆ウイグル自治区全体の 4.0%を占めている。1 人当たりの生産額は約 1.5 万元で中国全国や新疆ウイグル自治区の平均よりも高い。1970 年代までは農業並びに農業産品加工業を中心とした経済パターンを維持していたが、1980 年代には石油・石炭・化学等の多様な工業が発達した。

農業では作物栽培・畜産業が主体を占める。2003 年では畜産業が 22 %、作物栽培は 74 %である。農業生産額は約 16.4 億元で、桑・葡萄など果物、綿花、瓜、穀物を栽培している。

トルファン地区の工業は、近年、石油・鉱山開発、化学工業ならびに農産物加工業が盛んである。2003 年における工業総生産額は、68.7 億元である。

第3章 水文調査

水文調査は既存水文及び気象資料の整理と分析、14 本の通年河川及び水路の流量観測、

新規水文観測所の設置を行った。これらの結果を解析し、トルファン地区の河川流量、洪水影響範囲及び盆地内蒸発散消費量をまとめた。

3.1 気象資料の収集及び解析

トルファン地区 9 ヶ所の気象水文観測所資料(1952~2000 年)を収集整理し、欠測期間の延長・補間を行った。降水量資料を基に、豊水年・渇水年、年間変化、安定性、地域分布について解析し、トクソン 2 河流域、トルファン・シャンシャン 7 河流域、坎儿其(カンアールチ) 河流域、庫木塔格(クムタグ) 砂漠区の 1956~2000 年降雨量時系列を求め、各流域の年間平均降水量及び降水確率毎の年間降水量を算出した。

3.2 河川流量調査

(1) 山区河川流量調査

トルファン地区の山地河川 14 ヶ所と盆地内河川・水路 18 ヶ所において豊水期(2004 年 7 月)及び渇水期(2004 年 11 月)の 2 回、流量観測を実施した。

渇水期の流量は豊水期流量の 40 %未満である。そのうち、白楊河や大河沿河は、渇水期の流量が豊水期よりも大きい異常な変動を示した。これら 2 本の河川を除外すると、豊水期流量に対して渇水期流量は僅か 16.7 %であり、流量の季節変動が大きい。

(2) 平原区河川・水路流量調査

盆地内 4 河川(白楊河、木頭溝、吐峪溝、連村心溝)と 5 水路(塔朗水路、黒溝水路、烏斯通水路、二塘溝水路、坎儿其水路)について上、中、下流の 2~3 断面で山区河川流量観測と同時期に流量観測を行い、河川・水路の断面間の流量増減を求め区間毎の流量損失を検討した。

(3) 新規水文観測所設置

新規水文観測所は、トルファン・シャンシャン 7 河流域の恰勒坎河に自記水位計、雨量計、量水標、スチール製観測橋等を設置した。

3.3 河川流量解析

トルファン地区の国レベル水文観測所 3 ヶ所と専用水文観測所 7 ヶ所の流量観測資料(1956~2004 年現在)を収集整理し欠測期間の延長と補間を行った。流量資料を基に流量時系列の代表性、年間流量統計パラメータの確定及び安定性について分析を行い、年間流量の成分構成、地域分布及び年間変化を明らかにした。

3.4 洪水影響範囲解析

トルファン地区の洪水種類及び特性、歴史記録、洪水被害について整理し、洪水影響範囲図を作成した。

3.5 盆地内蒸発散消費量解析

トルファン地区内外の気象・水文観測所の蒸発関連資料を収集し、水面蒸発量と陸面蒸発量の年間変化及び地域別分布を明らかにし、多年平均蒸発量等値線図を作成した。

第4章 水文地質調査

既存の水文地質調査結果や井戸資料とともに、石油探鉱や構造地質など幅広い分野の地質関係資料を収集・解析した。現地で実施した調査は、204地点のTEM法物理探査、5箇所9本の試掘調査、孔内物理検層、揚水試験（段階試験、連続試験、回復試験）である。

4.1 地形と地質

スペースシャトルのSRTM-3数値地形標高データ（3秒メッシュ）を活用してトルファン盆地の地形を解析するとともに、既存資料をもとに地質状況を取りまとめた。

(1) 地形の特徴

トルファン北盆地は、南北方向の幅が約20 km、東西方向の延長約170 kmの、東西方向に細長い帯状盆地である。標高は北から南にむかって低くなり、北部山麓から南部の火焰山までの標高は1,200～300 mであり地形勾配は0.8～2 %で主要河川に沿って扇状地が発達している。

南盆地は、南北方向の幅は約40 km、東西方向の延長は約180 kmである。南盆地の中央部から東部の大部分は標高0 m以下の低地となっており、地形等高線は盆地内の最低点アイディン湖を中心に環状に分布している。地形勾配は2%～0.4 %と中央部に向かい小さくなる。北盆地と比較して扇状地の発達が悪い。

(2) 第四紀地質と地下水

北盆地には層厚が数10～1,000 mに達する第四紀の大礫層、礫層、砂層および少量の粘土層が分布する。一般に地下水位が地表面より30 m以上と深く、最も深いところでは地下水位は地表面から300 m以上深いところに分布する。北盆地の火焰山北麓付近では、一部の被圧地下水は自噴して火焰山の北麓沿いに分布する泉から地表に流出している。

南盆地は層厚数10～700 mの第四紀堆積物が分布している。第四紀堆積物の層相変化は北盆地より複雑で、礫→砂礫→砂礫/粘土・砂/粘土・シルト/粘土・湖積土とミラ

ビル（硫曹石）・塩類層のように変化している。南盆地の大部分の地域では第四系からなる帯水層は数層に分けられ、不圧地下水と被圧地下水が存在する。南盆地の西部から中部にかけては自噴井戸が多く自噴帯を形成している。

4.2 物理探査

物理探査は、トルファン盆地内 204 地点で時間領域 TEM 法測定システムにより実施した。この結果をもとに、トルファン盆地の比抵抗構造を平面的、断面的に解析し、水文地質基盤上面の分布深度を明らかにした。

4.3 試掘調査

試掘調査はトルファン盆地の地下地質状況を直接確認することにより地下に分布する第四紀層の基本地質層序を確立して帯水層区分を行うとともに、試掘孔を地下水観測井として仕上げて地下水の水量や水質を把握することを目的として実施した。試掘地点は北盆地で1ヶ所（1孔）、南盆地で4ヶ所（8孔）の合計5ヶ所9孔である。試掘孔の位置は盆地内の南北方向と東西方向の地質断面図を作成することを目的に選定した。

表 4.1 試掘箇所と試掘孔別掘削深度

盆地名	盆地内地域	掘削箇所記号と座標 (UTM WGS84, Zone 45)	試掘井番号	掘削深度 (m)
北盆地	中部	TW-NC 667998E 47692273N	TW-NC-1	400
		TW-SC 674340E 4757688N	TW-SC-1 TW-SC-2	409.3 130
南盆地	西部	TW-SW 623390E 4739461N	TW-SW-1 TW-SW-2	300 66
		TW-SE 719966E 4733255N	TW-SE-1 TW-SE-2	245.9 70
	南部	TW-SS 678217E 4740216N	TW-SS-1 TW-SS-2	253.36 50
		合計	5箇所	9孔	1924.56 m

4.4 新規観測井の帯水層係数

9孔で実施した揚水試験を解析し、井戸損失係数や帯水層損失係数を算出して井戸効率を求めるとともに、透水量係数と貯留係数、比湧出量を算出して帯水層能力を評価した。

4.5 基盤構造

吐哈油田の地質構造や地震探査の最近の文献から、トルファン盆地深層部の基盤構造をとりまとめた。また、TEM 法物理探査結果や既存資料をもとに、トルファン盆地の水文地質基盤上面の標高分布図を作成した。

4.6 水文地質と帯水層単元

試掘調査結果をもとに、南盆地東西方向と盆地中央部南北方向の基本断面において基本層序対比と層相対比を行い、トルファン盆地の地下地質を上位より A 層、B 層、C 層に区分した。また、北盆地、南盆地の水文地質区分と帯水層単元の同定を行った。試掘調査結果に基づく水文地質区分と帯水層単元を示すと表 4.2 のようである。

表 4.2 試掘調査結果に基づく水文地質区分と帯水層単元

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

第5章 水資源利用実態調査

トルファン地区の泉、カナート及び井戸の全部について訪問調査により実態を把握した。また水源位置、水量、水質、地下水位を現地で測定した（地下水位は測定可能な井戸のみ）。

5.1 泉

(1) 泉のタイプと流量

トルファン盆地には全部で 72 ヶ所の泉がある。泉は 2 つのタイプに分けられる（例外 1 ヶ所）。1 つのタイプは天山山地南縁の山裾に分布しており、山地河川の浸透による地下水が不透水層と接する地点で地表に流出するもので、流量測定可能な泉は 31 ヶ所ある。代表的な泉は大河沿河東側の一碗泉や煤窑溝東側の泉群である。

2 つめのタイプは火焰山の北縁に沿って分布している。この泉群はトルファン北盆地を流下した地下水が火焰山を構成する不透水層と接する地点で地表に流出するもので、代表的な泉には大草湖泉、柳樹村泉、木頭溝泉等があり、流量測定可能な泉は 40 ヶ所ある。泉からの湧水は火焰山を横切り南盆地に流下して貴重な水資源となっている。

(2) 泉の水質

泉の水質を室内分析した結果、トルファン市、シャンシャン県それぞれ各 4 ヶ所で TDS と硫酸イオン濃度が飲用水水質基準を超えた。TDS は 1,090～4,220 mg/l、硫酸イオン濃度は 311～850 mg/l を示した。

5.2 カナート

(1) カナートの現況

2003 年の既存調査では、1,127 本のカナート資料があるが、そのうち 707 本は 2003 年時点ですでに枯渇しており、利用可能なカナートは 420 本とされている。本調査では、これら 420 本のカナートの位置、流量、水質、農業利用率、構造、枯渇と廃棄の原因、維持管理状況、水質等を把握するとともに、既存資料を整理して過去 10 年間のカナート流量及びカナート本数の変化を郷鎮別にまとめた。また、カナートの位置図と水質（電気伝導度）分布図を作成した。

(2) カナートの水質

pH の平均値は 7.6 でややアルカリ性が強い。電気伝導度と TDS 及び硫酸イオン濃度の関係から、これらの項目が飲用水水質基準を超える可能性があるカナートが多い。

(3) カナート流量と本数の経年変化

1994～2004 年までの 11 年間のカナート流量とカナート本数の経年変化を調べた結果、カナート本数は 1994 年に 586 本あったものが年平均 25.5 本の割合で減少し、2004 年には 331 本になった。また、流量はこの 11 年間で 4.4 億 m³ から 2.4 億 m³ へとほぼ半減した。特に減少の激しいのはシャンシャン県のダランカン郷であり 2001 年には全滅している。

5.3 井戸

(1) 井戸数

トルファン地区各郷の全ての井戸を訪問し実測調査を行った。調査井戸総数は 5,664 本であるがこのうち 5,254 本が利用されているかまたは利用可能な状態にある。井戸記録に基づき 1950 年から 2000 年までに削井された井戸本数を 5 年おきに整理した。井戸掘削本数は 1970 年代を通じて一貫して増加し、1990～1995 年間にはこれまで最大の 1,891 本が作成された。1994～2004 年の 11 年間でみると、井戸数の増加はシャンシャン県で最も大きい。

5,254 本中 5,251 本の井戸の利用目的別内訳は 4,783 本（91 %）が農業用であり、その他は生活用が 148 本、工業用 44 本、兼用 198 本などである。工業用には石油関連生産用を含んでいる。

(2) 井戸揚水量

2004年におけるトルファン地区の総揚水量は6.42億 m^3 であり、1994年の3.16億 m^3 に比べると倍増している。地域別には、シャンシャン県が最も多く約半分の3.26億 m^3 を占め、トルファン市2.25億 m^3 、トクソン県0.91億 m^3 の順となっている。地下水揚水量の季節変化をみると4～10月の灌漑期に多く、11～3月の非灌漑期には少ない。

(3) 井戸の水質

pHの平均値は7.7でややアルカリ性が強い。電気伝導度とTDS及び硫酸イオン濃度の関係から、TDSが飲用水水質基準を超える可能性がある井戸は1,118本で全体の約24%を占める。また、硫酸イオンでは1,002本で約22%を占めている。

井戸の深さ別に電気伝導度をみると、100m未満と100～160mの井戸との間には明瞭な水質の差はない。160m以深の深井戸はシャンシャン県にはほとんどない。トクソン県には237本あり、電気伝導度が低く水質は良好である。

(4) 井戸の所有者

全調査井戸5,664本のうち5,626本の井戸所有者内訳は、組合（村の農業生産組織）が4,148本(73.7%)を占める。個人用の井戸も多く1,229本(21.8%)である。その他の井戸は国や企業が所有するが、その割合は少ない。

(5) 井戸の深さと水位

井戸の深さは50～100m(2,474本)、100～150m(1,925本)の順に多く、150m以深の井戸は528本である。300m以深の井戸も11本ある。

(6) 井戸構造

トルファン盆地では費用が安いコンクリート管のケーシングが多い。井戸のケーシングと孔壁との間を遮水している井戸は4,905本中僅かに8本にすぎず、ほとんど全ての井戸では遮水されていない。

5.4 水資源利用量

泉、カナート、井戸水の利用量と盆地に流入する14河川からの導水量を併せ、トルファン地区の水資源利用量を用途別にまとめると表5.1のとおりである。

表 5.1 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	626.2	0.5	5.2	8.8	640.6
泉	80.7	--	8.1	59.0	147.8
カナート	126.0	--	23.5	90	239.5
井戸水	601.7	12.5	19.8	7.6	641.6
合計	1434.5	13.0	56.5	165.4	1669.5
割合	85.9 %	0.8 %	3.4 %	10 %	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であり、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、用途別の中で最も利用量の多い農業用水について、水源別、県・市別にまとめると表 5.2のとおりである。

表 5.2 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	222.26	201.69	202.20	626.2
泉	1.1	74.4	5.2	80.7
カナート	21.60	58.57	45.87	126.0
井戸水	82.0	211.9	307.8	601.7
合計	326.9	546.5	561.1	1434.5
割合	22.8 %	38.1 %	39.1 %	100 %

第6章 水質調査

水質の季節変化を見るため、豊水期と渇水期の2回、合計441個のサンプルを採取し、室内分析を行った。調査項目数は28項目である。地表水のサンプリング地点は河川流量調査地点と一致する。泉は調査地域で均一に分布するよう選定した。また、カナートと井戸は地域分布の均一性や、土地利用、水利用度等を総合的に判断して選定した。

6.1 地表水の水質

山地からの流入14河川の水質は良好である。盆地内の泉を源とした河川・水路の水質は、TDSが高い地点があり、半分以上の調査地点で飲料水水質基準(1,000 mg/l)を超えている。また、鉄、マンガン、大腸菌が中国飲用水質基準値より高い地点がある。

6.2 地下水の水質

泉水では、TDS、Na、Cl、F、SO₄、硬度、NO₃-N、Pb、フェノール等が基準値を超えた地点がある。カナートでも、泉と同様の項目で基準値を超える地点が多いので、飲用

水としての利用には十分な注意が必要である。浅井戸（70 m より浅い井戸）では、TDS、Na、Cl、SO₄、硬度、鉄、マンガンなどのいずれかまたは複数項目が水質基準を超え留地点がある。また、深井戸（70m より深い井戸）では、主に硫酸イオン（SO₄）が基準値を超えていた。その他では pH、TDS、Na、Cl、F、硬度、鉄、マンガン、砒素、フェノール、フッ素（F）も僅かに基準値を超えた地点がある。

6.3 地下水水質の地域分布

浅層地下水と深層地下水について TDS 等値線図及び健康関連項目について基準値を超えたサンプルの位置図を作成した。

第7章 地下水位調査

7.1 既存観測井とJICA観測井

トルファン盆地には既存の観測井が 32 本存在する。本調査では、これら既存の地下水記録を収集・整理するとともに、週 1 回現地地下水位測定を実施した。また、9 本の JICA 観測井には、6 本に自記水位計を設置して連続観測を行い、2 本の自噴井には水位・水圧測定装置を設置して手動で観測を行っている。地下水位が 290 m と深い北盆地の観測井ではロープ式水位計により手動で観測している。

トルファン市街地に近い 2 本の観測井記録は 1988 年からの長期傾向で見ると比較的安定しているが、2000 年頃からは地下水位は徐々に低下している。2002 年後半から新たに 5 本の観測井が設置されたが、古い観測井とともに 2004 年夏季には大幅に水位が低下した。

シャンシャン県では 1996 年頃から多くの観測井で地下水位が大きく低下している。とくに県南西部の南盆地に位置する観測井では 1996 年から 2004 年までの地下水位低下量は 15 m 近くに達している。これらの地下水位低下は近年の地下水揚水量の増加によるものと考えられる。

トクソン県の長期的な地下水位変動を見ると大幅な地下水位低下は見られないが、1996 年頃から地下水位が徐々に低下している傾向が認められる。10 年間の水位低下量は 1~2 m であるが、2004 年夏には前年に比べ 2~3 m の低下が発生した。

JICA 観測井での地下水位観測は 2004 年 11 月から開始した。

7.2 地下水位の平面分布

既存観測井での地下水位測定結果をもとに、2004 年 8 月の地下水位深度分布図と地下水位標高分布図を作成し、トルファン盆地の地下水位の平面分布状況と地下水流動についてとりまとめた。

南盆地では南から北に向かって地下水位が深くなりアイディン湖周辺では 0~10 m であるが火焰山南麓やトルファン市街、シャンシャン県ダランカン地区では 40 m 以下になっている。一方、北盆地では地下水面は地表面より緩い傾斜で徐々に上昇し火焰山北麓から天山山地山麓部に向かい 100~300 m と深くなっている。

南盆地ではアイディン湖を中心に地下水位標高が-150 m 以下と低く、そこから同心円上に地下水位標高等値線が分布している。従って、南盆地ではアイディン湖付近に向かって地下水が流動している。一方、北盆地では天山山地山麓部の地下水位標高が 700～500 m あり、そこから火焰山北麓の 200～150 m の地下水位等値線部に向かい、ほぼ北から南へ地下水が流動している。

第8章 地表水資源の現況評価

8.1 地表水資源量

トルファン地区の河川流域はその特徴により、トクソン“2河”流域、トルファン・シャンシャン7河流域、坎尔其河流域及びクムタグ砂漠地域の4大流域に区分できる。

(1) 地表水資源生成量

トルファン地区の多年降雨量等値線図及び流出高等値線図を作成し、周辺山地の標高ゾーン別面積に流出高を乗じて当該ゾーンの表流量を算出した。表 8.1にはトルファン地区の行政区画範囲内で生成した水資源量をまとめた。

表 8.1 トルファン地区内で生成した地表水資源量

面積単位：km²；流出高単位：mm；流量単位：10⁸m³

流域	面積	地表水資源量		割合 (%)
		年流出高	年流量	
トクソン2河流域	9,688	6.9	0.6663	10.9
ト・シャン7河流域	12,838	38.0	4.873	79.4
坎尔其河流域	8,035	6.8	0.5454	8.9
庫木塔格砂漠地域	36,178	0.2	0.0529	0.9
全 区	66,739	9.20	6.137	100

(2) 地表水の流出入量

トルファン地区行政区画内に他の行政区画から流入する河川と流入水量は表 8.2にまとめた。

表 8.2 トルファン地区への地表水流入量

流域	流入河川	流入水量 (10^8m^3)	流入元
トクソン2 河流域	魚尔溝	0.4522	ウルムチ市
	祖魯木図溝	0.0486	和碩県
	烏斯通溝	0.1392	和碩県
	阿拉溝河	1.275	和静県
	白楊河	1.355	ウルムチ市
小計		3.27	
トルファン・シャンシャン7 河流域	大河沿河	0.2366	ウルムチ市
合計		3.507	

(3) 河川流量

トルファン地区で生成した地表水資源量と地区外からの河川流出入量をもとに流域別の河川流量を表 8.3にまとめた。

表 8.3 流域区分別地表水資源量及び河川流量

流域区分	全体 面積 (km^2)	集水 面積 (km^2)	地表水資源 量 (10^8m^3)	流入量 (10^8m^3)	流出量 (10^8m^3)	地表水流量 (10^8m^3)
トクソン2 河流域	9,688	4,779	0.6663	3.2704	0.0786	3.8581
ト・シャン 7 河流域	12,838	5,284	4.873	0.2366	--	5.1096
小 計	22,526	10,063	5.5393	--	--	8.9677
坎尔其河流域	8,035	2,720	0.5454	--	--	0.5454
庫木塔格砂漠	36,178	601	0.0529	--	--	0.0529
合 計	66,739	13,384	6.137	--	--	9.5660

(4) 地表水資源の特徴

トルファン地区の河川は、急な河床勾配、短い河道、水量が比較的小さいことなどが特徴である。柯柯亜河や煤窑溝河、集水域がトルファン地区外にある阿拉溝河と白楊河など万年雪や氷河の多い河川は比較的流量が大きく、河道も長い。これらの河川の流量は融雪水、降雨と地下水によって構成される。これに対して、トルファン地区にある比較的小さい河川の流量は主に降雨と山地地下水による。

トルファン地区の河川は山地で形成され、流出し、平原区で消耗される。山口を出てから、一部の河川（白楊河等）を除いて、河川流量は短い流路を流れるうち平原区の広大で厚い沖積層に浸透して、地下水に転化する。河川流量の大部分は、水路などの水利施設で農耕地まで導かれる。

地表水資源はトルファン地区内の東西、南北で分布が不均一で、降水量や万年雪は、西から東へ、さらに北から南へと減少する傾向にある。従って、地区内で形成された地表水資源量は東部より西部が多く、南部より北部が多い。また、トルファン地区外からの流入水量は西部に集中しているので、水資源量及び河川流量の東西の差はより大きくなっている。

8.2 地表水利用現況

トルファン地区の地表水は 14 本の通年河川を主としてダムと水路によって利用し、水量を調節・配分している。

(1) ダム

トルファン地区には貯水容量 20 万 m^3 以上のダムは 14 箇所ある。14 ダムの総貯水容量は 8,895 万 m^3 である。

(2) 幹線水路

トルファン盆地内 14 本の通年河川のすべてにダムか導水路が建設されている。幹線水路の利用時期は 3 月～11 月の間が多い。冬季は河川水量が小さく地下浸透するか、または凍結による水路の損傷を防ぐため自然河道に放流される。

トルファン盆地の水利施設は 1950 年代から取水堰や幹線水路等の建設が始まり 1970 年代まで続いた。1980 年代からは新規取水堰や幹線及び支線水路の建設よりも、既存水路の維持及びライニング率の向上に整備の重点を移した。

水路総延長は 1990 年に延べ 4,460 km であったが 2000 年までに 5,197 km に増加した。また、1990 年のライニング率は 41.5 %、ライニング延長は 1,850 km であったが、2000 年にはライニング率 80 %、ライニング延べ 4,160 km まで増加している。

(3) 地表水利用現況

2001 年からトルファン地区では新疆ウイグル自治区の水資源管理政策に従って、農家単位の給水管理（給水到戸）が実施された。各水管理所の用水料金帳を元に、郷鎮単位までの年間灌漑用水量を各県、市別にまとめた。

8.3 地表水開発ポテンシャル

トルファン地区全体の降雨によって形成された地表水資源量は 6.1 億 m^3 /年、流入水を含む河川流量は 9.6 億 m^3 /年、そのうちクムタグ砂漠地域における季節河川及び他流域における季節河川で豊水期にのみ発生する洪水流量を除外すると、利用可能な河川水流量は 9.19 億 m^3 /年である。河川流量に対する現況利用量は 6.51 億 m^3 /年であり、地区全体の利用可能流量の約 70 %を占める。

表 8.4 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	0.6663	3.9367	3.92	2.26	57.7%
ト・シャン7河流域	4.873	5.1096	4.98	3.96	79.5%
坎尔其河流域	0.5454	0.5454	0.29	0.29	100%
庫木塔格砂漠地域	0.0529	0.0529	0	0	0.00%
全区	6.137	9.6446	9.19	6.51	70.9%

トルファン・シャンシャン7河流域は地区社会経済において重要な位置を占めているが、利用率は約80%であり、約1億m³/年の開発余力がある。しかし、そのほとんどは大河沿河にある。大河沿河はトルファン地区外から流入するので、上流側との調整が必要である。

トクソン2河流域では河川表流水の開発率は約58%であり、未開発の水量は約1.7億m³/年である。そのうち開発可能量が大きいのは白楊河と阿拉溝河である。白楊河には紅山ダムがすでに建設利用されているので、阿拉溝河のダム建設計画が策定されている。

第9章 地下水資源の評価

9.1 地下水資源評価方法

(1) 地下水シミュレーション

トルファン盆地の有限な水資源を合理的に管理して持続的かつ有効に利用していくためには、地表水と地下水を一体化させた流域全体の水循環の実態を把握することが必要である。

そこで、本調査では、地下水資源の実態や動態を明らかにするために、地表水系と地下水系を「かん養」を通じて一体化させたシミュレーションモデルを作成し、モデル解析により流域全体の水循環や地下水流動および地下水の水質分布を動的に把握する。検証された地下水モデルに将来条件を設定することにより、将来の地下水流動や地下水位分布を予測する。この結果に基づき、貴重な地下水資源を持続的に有効利用し適切に管理するための合理的な計画策定を行った。

(2) 地下水モデルの適用方法

本調査ではトルファン地下水盆の特徴や水文地質状況に基づき、シミュレーション解析の目標を設定するとともに、各種地下水モデルの長所や短所を踏まえ、さらに各種データの利用可能性を検討した上で、表9.1に示す3種類の地下水モデルを作成した。

表 9.1 適用した地下水シミュレーションモデル

モデルの名称	目的
広域三次元モデル	吐魯番盆地全域の広域的な三次元地下水流動を解析するため
断面二次元モデル	吐魯番盆地中央部の南北方向および南盆地東西方向の断面地下水流動を詳細に解析するため
局所三次元モデル	地下水障害の顕著な南盆地東部で詳細な三次元地下水流動や水質分布を解析するため

9.2 地下水かん養量の推定

(1) 地下水かん養量の意義

トルファン盆地では、山地から河川水として盆地内に流入する地表水と、山地において地下に浸透した水が地下において地下水盆中に直接地下水として流入する水量が、地下水かん養ポテンシャル量であると考えられる。そこで、山地河川水量を基準として、盆地内の各河川水系について水収支を検討した。

(2) 地表水系モデルの区分

地表水系からのかん養量計算のため、地表水系モデルを、自然河川系、導水路系及び灌漑農地系に区分した。

(3) 地下水かん養量の計算結果

上記の各系において河川・水路からの浸透量、灌漑農地からの浸透量、泉・カナートからの流出量、かんがい用井戸からの揚水量を含んだ最大可能かん養量（かん養ポテンシャル量）を算出し、これから、農地及び作物からの蒸発散量を差し引いて、モデル各グリッド毎の実際かん養量を求めた。1994～2003年の年間実際かん養量は、2001年の5.68億 m³から1994年の6.66億 m³の間で変動しており、10年間の平均は約6.20億 m³である。

(4) 地下水揚水量とかん養量の比較

トルファン盆地の地下水かん養量と地下水揚水量の比較を図 9.1に示す。1994年では冬季、夏季ともほとんどの月で地下水かん養量が地下水揚水量を上回っていたが、1997年頃から夏季の揚水量がかん養量を上回るようになり、1999年以降は夏季のすべての月で揚水量がかん養量よりも大きくなっている。このことは、トルファン地下水盆の水収支が近年夏季において赤字になっていることを示しており、夏季の地下水位低下を引き起こす原因となっていることがわかる。1994年から2003年までの年間のかん養量と揚水量の収支をみると、2001年からは「赤字」に転落した。

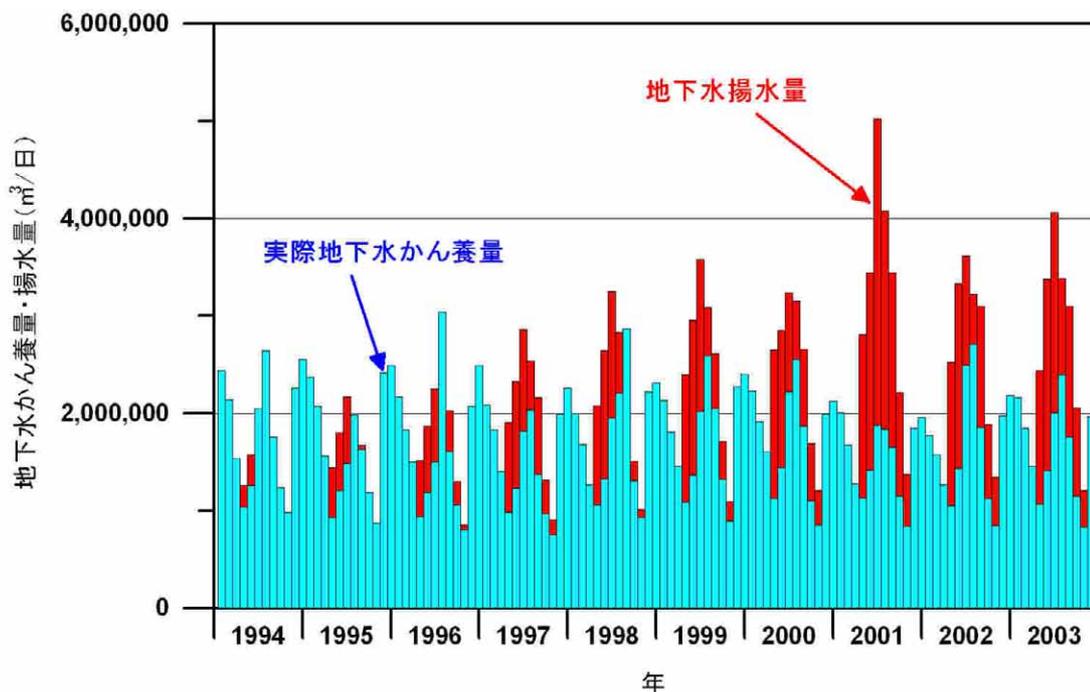


図 9.1 地下水揚水量とかん養量との比較

9.3 広域三次元モデル

(1) モデルの構造

広域三次元モデルのモデル平面グリッドはトルファン地下水盆全体をカバーするように設定した。モデルの大きさは東西 253 km 南北 100 km で、各グリッドの平面サイズは 1 km×1 km である。

広域三次元モデルの断面構造は、深度方向においてもトルファン地下水盆を立体的にカバーできるように 22 層構造とし、トルファン地下水盆の主要部から地下水盆基底部までの水文地質条件を反映できるようにした。

トルファン地下水盆の北地下水盆と南地下水盆とはトルファン市街地付近の地下でパイプ状につながっており、ここを通過して北地下水盆の地下水が南地下水盆に流入する構造をモデル構造に反映させた。

(2) モデルの検証

広域三次元モデルの検証は、最終的には 1994 年 1 月から 2003 年 12 月までの月別時系列データを入力して非定常計算により実施し、検証材料は、既存地下水観測井の地下水位とした。

図 9.2に検証の最終ステップである 120 ステップ時（2003 年 12 月）の地下水面分布図を示す。本地域の地下水位の標高分布は、以下のような特徴をもっており、今回のモデルはこれらの特徴を再現しているものと考えられる。

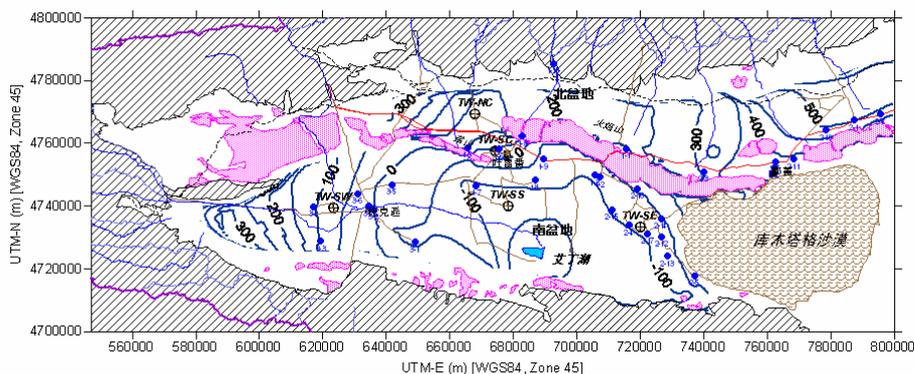


図 9.2 計算地下水位標高分布図(120 ステップ、2003 年 12 月)

また、図 9.3に地下水位の長期的な変化傾向が、モデルによって再現できたかどうかを検証した結果の例を示す。地下水位のレベル、長期的な変動パターンは、ほぼ実測値を再現できている。

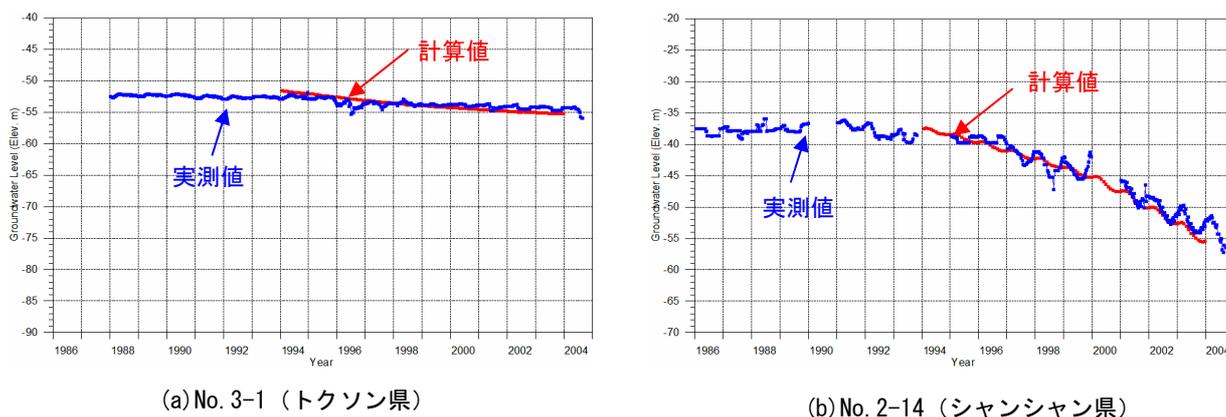


図 9.3 計算地下水位と実測地下水位の比較

(3) トルファン地下水盆への地下水流入量

検証された広域三次元モデルにより、トルファン盆地に流入する起源の地下水かん養量と基盤岩からの直接地下水流入量を計算した結果を表 9.2に示す。

表 9.2 トルファン盆地への地下水流入量計算結果(1994~2003 年)

	最小 (億 m ³ /年)	最大 (億 m ³ /年)	平均 (億 m ³ /年)
地表からのかん養量	5.68	6.66	6.20
基盤岩からの流入量	2.17	2.88	2.45

9.4 断面二次元モデル

(1) 断面二次元モデルの構造

断面二次元モデルは、トルファン盆地の断面方向の地下水流動を詳細に検討するために、南盆地の東西断面および盆地中央部の南北断面に沿って 2 つのモデルを作成した。南盆地東西方向の断面二次元モデルは水平方向が 170 km、垂直方向が標高 1,200 ~ - 600 m の範囲であり、各グリッドの大きさは水平方向に 1 km、垂直方向に 20 m とした。また、トルファン盆地南北方向の断面二次元モデルは水平方向が 85 km、垂直方向が標高 1,200 ~ - 600 m の範囲であり、各グリッドの大きさは水平方向に 1 km、垂直方向に 20 m とした。

(2) 断面二次元モデルの検証

断面二次元モデルの検証の検証計算結果を示す。

断面二次元モデルでは、北盆地において地表面から地下水面までの深度は北に行くほど大きくなることわかる。一方、北盆地の南縁部では地表面と地下水面との距離は縮まり、地形傾斜が緩くなる部分では泉として自噴することを示している。北盆地と南盆地の境界付近から南盆地では帯水層が数層に分かれ、透水係数の低い加圧層（図中緑色の地層）を境にして上下の帯水層で水頭差が生じる。

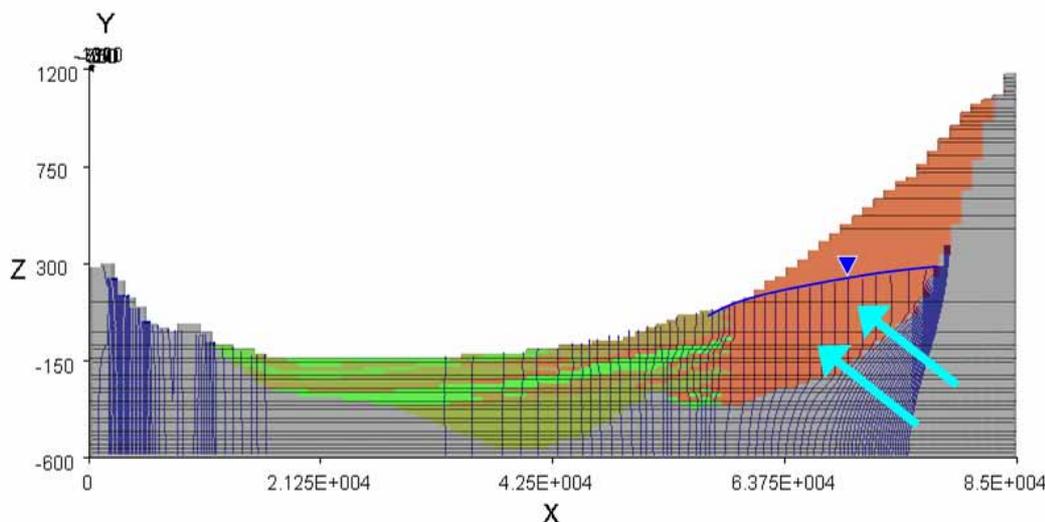


図 9.4 南北方向の断面二次元モデルの検証計算結果

9.5 局所三次元モデル

局所三次元モデルは、トルファン盆地南地下水盆東部のダランカン地区を対象に作成した。モデル化した地域は東西 25 km、南北 35 km の範囲である。局所三次元モデルに含まれる地域はシャンシャン県南西部の魯克沁鎮をはじめ、達浪坎乡や迪坎乡、吐峪沟乡などがあり農業が活発な地域であるが農業用水のほとんどは地下水によりまかなわれているが、地下水位の異常な低下により井戸枯れや揚水量の減少が発生し、砂漠化も進行し住民移転を余儀なくされている地域がある。局所三次元モデルにおいても、地下水位流

動を再現できているか否かの検証を行なった。

第10章 水資源利用管理基本計画

10.1 トルファン盆地の水収支

トルファン盆地の水収支について、全体流入量と全体流出量と比較すると、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。

10.2 水資源利用管理の課題

トルファン地区の水資源利用管理の課題を次の 6 項目にまとめた。

- (1) 地表水資源の開発と地域配分
- (2) 地下水資源の保全と適正利用
- (3) 節水技術の普及
- (4) 生態環境の保全
- (5) カナートの保全
- (6) 地下水モニタリング

10.3 社会経済フレーム

トルファン地区の GDP の産業別比率は、地区全体として 2020 年で第一次 6.7 % 以上、第二次 53.3 % 以上、第三次 40 % 以下である。これらを考慮して調整を加えた結果、GDP に占める割合は第三次が伸び、灌漑面積は 2020 年まで一貫して増加するため第一次も若干の伸びが認められ、第二次が減少する。一方、2020 年の地区人口はそれぞれ約 60 万人と 71 万人と予測される。

10.4 水需要予測

社会経済フレームに基づき生活用水、工業用水の 2020 年までの予測を行った。農業用水は、灌漑面積の予測結果をもとに 3 ケースを設定し、それぞれについて利用効率現況維持のケースと節水による利用効率向上を考慮したケースを予測した。予測結果は、表 10.1 に示す。

表 10.1 目標年における水需要予測結果

単位：百万 m³/年

予測年	現況	2010年	2015年	2020年	備考
生活用水	20.2	23.6	27.5	31.6	原単位法（利用量ベース）
	35.0	40.1	44.0	47.4	修正値（取水量ベース）
工業用水	13.2	16.2	17.3	20.7	
農業用水ケース 1	1,449.2	1,830.2	1,893.7	1,932.0	利用効率現況維持
		1,703.7	1,648.9	1,584.1	利用効率向上
農業用水ケース 2		1,585.6	1,588.0	1,597.0	利用効率現況維持
		1,476.2	1,384.7	1,312.5	利用効率向上
農業用水ケース 3		1,449.2	1,449.2	1,449.2	利用効率現況維持
		1,349.4	1,263.9	1,188.9	利用効率向上
その他	177.9	177.9	177.9	177.9	

10.5 許容揚水量と許容地下水位の概念

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」と定義されている（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という社会科学的な観点も含んだ概念である。具体的に「許容揚水量」を求めるため、トルファン盆地では、井戸やカナートの枯渇、地下水水質の悪化や拡大を防止するため、盆地内各地域において許容地下水位を設定する。次に水需要予測で設定した各シナリオを用いた地下水シミュレーションモデルによる将来予測を行い、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

2020年までの水需要、節水対策及び導水事業を考慮した13案の揚水シナリオ並びに理想案2案について広域三次元地下水シミュレーションモデルによる地下水位予測を行った。予測結果に基づき目標地下水位（許容地下水位）を達成することができる許容揚水量を求めた。許容要件及び許容揚水量は下表に示す。

表 10.6.10.2 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	備 考	2020 年
		(2003 年)	(2020 年)			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 ヤン県 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 ヤン県 南部	既存観測井 2-14	-31.5m	-56.0m	全面的な 地下水の 枯渇の防 止	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

10.7 水資源管理施策と事業の展開

トルファン地区の水資源利用管理の課題解決のため、水管理施策と事業展開を図ることとする。

(1) 基本目標

トルファン盆地の 2020 年における許容揚水量を 3.79 億 m³/年として持続的地下水利用を図る。

(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 項目とした。

1. 節水対策を推進する
2. 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
3. 流域協議会（地下水協議会）を設立し、流域内での水資源開発管理の合意を計る
4. 法制度を拡充整備し適正に施行する

(3) 水資源利用管理施策と展開

基本方針に基づき、2020年目標を達成するため、次に示す主要施策及び事業を計画した。

1. パイロット節水事業、節水対策事業
2. 既存ダム計画事業
3. 盆地西部井戸群開発
4. 洪水余水のかん養
5. カナート保護
6. 地下水モニタリング（水文水資源局のほか住民参加モニタリング実施）
7. 流域協議会設立（当初は地下水協議会として設立）
8. 啓蒙・普及活動
9. 法制度整備拡充（節水対策推進に向けた制度整備、自治区取水許可制度実施細則の整備、施行）

(4) 優先プロジェクト

各施策及び事業の内、以下の4プロジェクトを優先することとした。

1. パイロット節水事業
2. 阿拉溝ダム他2ダム建設事業
3. 盆地西部井戸群開発
4. 住民参加による地下水モニタリング

(5) 総事業費

本計画の推進に当たり、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、2020年までに13.1億元から16.7億元の投資が必要である。

10.8 事業評価

財務、経済、技術及び環境の観点から本計画を評価した結果、本計画の実施は妥当であり実施可能と判断される。

第11章 結論と提言

11.1 結論

本調査により、トルファン地下水盆、水資源利用量、地下水の水位と水質、カナート現況、生態環境、地表水資源の開発可能量、地下水資源の持続的利用量、トルファン盆地の水収支について明確な結論を得た。この結果に基づき、地下水の持続的利用を目標と

したトルファン盆地の水資源利用管理計画を策定した。

11.2 提言

調査結果に基づき、下記項目についての提言を行った。

- (1) 水資源利用について
 - 南盆地の地下水利用
 - 深層地下水開発
 - カナートの保護
 - 地表水利用
- (2) 水質について
 - 安全な飲用水の確保
 - 帯水層の汚染防止
 - 微塩化水の有効利用
 - 水質観測の強化
- (3) 優先プロジェクトの財務について
 - 事業独自の会計システムの確立
 - 制度の見直し
 - 人材育成の推進
- (4) 生態環境用水
- (5) 「目標水位」設定と地下水益管理

目 次

	頁:
1	序 論 1-1
1.1	調査の背景 1-1
1.2	調査の目的及び調査対象地域 1-1
1.2.1	上位目標 1-1
1.2.2	プロジェクトの目標 1-1
1.2.3	調査対象地域 1-2
1.3	調査期間と項目 1-2
1.4	調査組織 1-4
1.4.1	日本側調査団 1-4
1.4.2	中国側の実施体制 1-4
1.5	謝辞 1-5
2	調査地域の概要 2-1
2.1	自然条件 2-1
2.1.1	地理と地形 2-1
2.1.2	地 質 2-1
2.1.3	気 象 2-2
2.1.4	河川とカナート 2-3
2.1.5	水理地質と地下水 2-3
2.2	社会経済条件 2-8
2.2.1	行政区画 2-8
2.2.2	人 口 2-8
2.2.3	経 済 2-10
3	水文調査 3-1
3.1	調査方法 3-1
3.1.1	気象資料の収集・解析 3-1
3.1.2	河川流量観測 3-1
3.1.3	河川流量解析 3-1
3.1.4	洪水影響範囲解析 3-1
3.1.5	盆地内蒸発消耗量解析 3-2
3.2	気象資料の収集及び解析 3-3
3.2.1	基本資料及び補完 3-3
3.2.2	時系列代表性分析 3-4
3.2.3	降水量年内変動及び年間変動 3-9
3.2.4	水文区分 3-13
3.2.5	降水の時間系列 3-16
3.2.6	各流域の降水量確率計算 3-18
3.3	河川流量調査 3-20
3.3.1	山区河川調査 3-20
3.3.2	平原区河川・水路調査 3-26

3.3.3	新規水文観測所建設	3-31
3.4	河川流量解析	3-37
3.4.1	基本資料	3-37
3.4.2	年間流量の還元計算	3-38
3.4.3	不足資料の補完延長	3-38
3.4.4	流量系列の代表性分析	3-41
3.4.5	年間流量統計パラメーターの確定	3-43
3.4.6	統計パラメーターの安定性分析	3-45
3.4.7	年間流量の涵養及び構成	3-46
3.4.8	河川流量の地域分布及び年間変化	3-49
3.4.9	主用河川の年間流量	3-52
3.4.10	地表水資源量計算	3-54
3.4.11	流出・流入量	3-56
3.4.12	区分別の天然流量と地表水資源量	3-56
3.5	洪水影響範囲解析	3-61
3.5.1	洪水の形成原因分析	3-61
3.5.2	洪水の種類及び特性	3-61
3.5.3	洪水の歴史記録	3-62
3.5.4	洪水被害	3-64
3.5.5	洪水影響域分析	3-65
3.6	盆地内蒸発散消耗量解析	3-67
3.6.1	水面蒸発	3-67
3.6.2	陸面蒸発	3-71
4	水文地質調査	4-1
4.1	調査方法	4-1
4.2	地形と地質	4-3
4.2.1	地形	4-3
4.2.2	地質	4-5
4.2.3	第四紀地質	4-8
4.2.4	地質構造	4-8
4.3	物理探査結果	4-21
4.3.1	調査実施体制と工程	4-21
4.3.2	調査方法	4-21
4.3.3	TEM法の原理、観測装置及び解析方法	4-22
4.3.4	インバージョン結果	4-24
4.3.5	比抵抗構造の平面分布	4-26
4.3.6	比抵抗構造の断面分布	4-27
4.3.7	考察	4-30
4.4	試掘調査結果	4-49
4.4.1	調査実施体制と工程	4-49
4.4.2	試掘場所と数量	4-49
4.4.3	試掘柱状図	4-50
4.4.4	孔内物理検層	4-53
4.4.5	井戸構造と地下水位	4-57

4.5	揚水試験結果	4-75
4.5.1	試験実施方法	4-75
4.5.2	試験解析方法	4-77
4.5.3	段階揚水試験解析結果	4-79
4.5.4	連続揚水試験・回復試験解析結果	4-83
4.5.5	新規観測井の帯水層係数	4-88
4.6	基盤構造	4-109
4.6.1	深層部の基盤構造	4-109
4.6.2	水文地質基盤構造	4-110
4.7	水文地質と帯水層単元	4-119
4.7.1	解析方法	4-119
4.7.2	試掘井の基本層序対比	4-119
4.7.3	基本断面による基本層序・層相対比	4-121
4.7.4	試掘結果に基づく水文地質区分と帯水層単元の同定	4-122
5	水資源利用実態調査	5-1
5.1	調査方法	5-1
5.1.1	調査対象の区分	5-1
5.1.2	資料収集	5-2
5.1.3	実測調査	5-2
5.1.4	調査実施体制及び調査実施期間	5-3
5.2	泉	5-5
5.2.1	泉の形成と分布	5-5
5.2.2	泉流量	5-6
5.2.3	泉の聞き取り調査結果	5-8
5.2.4	泉の水質	5-10
5.3	カナート	5-15
5.3.1	カナートの現況	5-16
5.3.2	カナートの水質	5-28
5.3.3	カナートの歴史	5-31
5.4	井戸	5-39
5.4.1	井戸数	5-39
5.4.2	井戸揚水量	5-43
5.4.3	井戸利用区分	5-50
5.4.4	井戸水質	5-53
5.4.5	井戸所有権	5-58
5.4.6	井戸深と水位	5-59
5.4.7	井戸構造及び関連施設	5-61
6	水質調査	6-1
6.1	調査方法	6-1
6.1.1	背景	6-1
6.1.2	調査対象・数量及び実施期間	6-1
6.1.3	調査項目及び調査方法	6-2
6.2	地表水の水質	6-9

6.2.1	山区から流入河川	6-9
6.2.2	盆地内の河川及び水路	6-10
6.2.3	地表水の安全性評価	6-11
6.3	地下水の水質	6-15
6.3.1	泉	6-15
6.3.2	カナート	6-19
6.3.3	井戸水	6-24
6.4	地下水水質の地域分布	6-31
6.4.1	浅層地下水	6-31
6.4.2	深層地下水	6-31
6.4.3	新規観測井戸による帯水層水質比較.....	6-32
6.5	水質のまとめ	6-41
7	地下水位調査.....	7-1
7.1	調査方法	7-1
7.1.1	既存観測井	7-1
7.1.2	JICA観測井.....	7-5
7.2	既存観測井	7-8
7.2.1	トルファン市	7-8
7.2.2	シャンシャン県	7-8
7.2.3	トクソン県	7-9
7.3	JICA観測井.....	7-14
7.4	地下水位の平面分布	7-15
7.4.1	地下水位の深度分布図	7-15
7.4.2	地下水位の標高分布図	7-15
8	地表水資源量の評価.....	8-1
8.1	評価方法	8-1
8.1.1	地表水資源の評価方法	8-1
8.1.2	地下水資源の評価方法	8-1
8.2	地表水資源量	8-2
8.2.1	流域別地表水資源生成量	8-2
8.2.2	トルファン地区地表水の流出入量	8-2
8.2.3	トルファン地区の河川流量	8-3
8.2.4	表流水資源の特徴	8-4
8.2.5	地表水資源量の評価	8-5
8.3	地表水利用現況	8-7
8.3.1	ダム	8-7
8.3.2	幹線水路	8-9
8.3.3	地表水利用現況	8-11
8.3.4	地表水利用パターン	8-13
8.4	地表水開発ポテンシャル評価	8-19
8.4.1	トルファン・シャンシャン7河流域.....	8-19
8.4.2	トクソン2河流域	8-20

9	地下水資源の評価	9-1
9.1	地下水シミュレーションの方法	9-1
9.1.1	地下水シミュレーションの目的	9-1
9.1.2	地下水モデルの適用方法	9-1
9.1.3	使用したシミュレーション解析コードと原理	9-2
9.1.4	地下水モデルの作成方針	9-5
9.1.5	地下水モデルの概要	9-9
9.2	地下水かん養量の推計	9-10
9.2.1	トルファン盆地における地下水かん養量の意義	9-10
9.2.2	トルファン盆地内の河川水の水循環と水収支	9-11
9.2.3	モデルグリッド別地下水かん養量推計の基本方針	9-14
9.2.4	通年河川水系別の地下水かん養量推計の方法	9-16
9.2.5	地下水かん養量の推計結果	9-18
9.3	地下水揚水量の算出	9-31
9.3.1	地下水揚水量の基礎資料	9-31
9.3.2	グリッド別・標高別揚水量の集計	9-31
9.3.3	地下水揚水量の集計結果	9-31
9.4	水文地質パラメータ	9-40
9.4.1	地下水シミュレーションに必要なパラメータ	9-40
9.4.2	比湧出量	9-41
9.4.3	透水量係数と透水係数	9-43
9.4.4	貯留係数	9-50
9.5	広域三次元モデル	9-56
9.5.1	広域三次元モデルの構造	9-56
9.5.2	境界条件	9-58
9.5.3	モデルの検証	9-61
9.6	断面二次元モデル	9-74
9.6.1	断面二次元モデルの構造	9-74
9.6.2	水文地質条件のモデル化	9-75
9.6.3	かん養量と揚水量の入力	9-76
9.6.4	断面モデルの境界条件	9-78
9.6.5	断面モデルの検証計算	9-79
9.7	局所三次元モデル	9-89
9.7.1	局所三次元モデルの構造	9-89
9.7.2	境界条件	9-91
9.7.3	かん養量と揚水量	9-92
9.7.4	モデルの検証	9-97
9.7.5	物質移動シミュレーション結果	9-110
10	水資源利用管理基本計画	10-1
10.1	トルファン盆地の水収支	10-1
10.2	水資源利用管理の課題	10-2
10.2.1	水資源開発と地域配分	10-2
10.2.2	地下水資源の保全と適正利用	10-4
10.2.3	節水技術の普及	10-5

10.2.4	生態環境の保全	10-5
10.2.5	カナートの保全	10-6
10.2.6	地下水モニタリング	10-7
10.3	計画の基本的な考え方	10-10
10.4	社会経済フレーム	10-15
10.4.1	人口	10-15
10.4.2	GDP（国内総生産）	10-18
10.4.3	灌漑面積	10-21
10.5	水需要予測	10-24
10.5.1	水需要予測の前提条件	10-24
10.5.2	各用水の現況	10-26
10.5.3	各用水の水需要予測	10-37
10.6	許容揚水量と許容地下水位の概念	10-45
10.6.1	許容地下水位の概念と必要性	10-45
10.6.2	地下水資源利用管理計画への適用	10-46
10.6.3	許容地下水位の設定方法	10-46
10.6.4	マスタープラン策定の手順	10-49
10.7	許容地下水位の設定（当初案）	10-51
10.7.1	許容地下水位設定のための前提条件	10-51
10.7.2	暫定許容地下水位	10-51
10.8	広域三次元モデルによる予測	10-53
10.8.1	地下水揚水計画案	10-53
10.8.2	予測関連基本因子	10-57
10.8.3	基本案	10-58
10.8.4	各対策因子評価案	10-59
10.8.5	導水事業の効果検討	10-60
10.8.6	各案による予測	10-62
10.8.7	予測結果の分析と評価	10-69
10.8.8	許容揚水量（持続的揚水量）	10-70
10.9	水資源利用管理施策と事業の展開	10-123
10.9.1	計画の基本目標	10-123
10.9.2	基本方針	10-123
10.9.3	目標達成への施策とその展開	10-127
10.9.4	節水対策事業	10-140
10.9.5	優先プロジェクト	10-144
10.9.6	計画の運営・維持管理	10-171
10.9.7	総事業費	10-176
10.10	事業評価	10-180
10.10.1	水利局の財務現状分析と評価	10-180
10.10.2	優先プロジェクトの財務及び社会経済評価	10-184
10.10.3	技術評価	10-203
10.10.4	環境影響評価	10-204
10.11	実施計画	10-219
10.11.1	節水対策推進	10-219
10.11.2	水源の増強・保全	10-219

	10.11.3 流域連携と協議会設立	10-220
	10.11.4 法制度拡充整備施行	10-220
11	結論と提言	11-1
11.1	結論	11-1
11.2	提言	11-3
	11.2.1 水資源利用について	11-3
	11.2.2 水質について	11-6
	11.2.3 優先プロジェクト外の財務について	11-6
	11.2.4 生態環境用水	11-7
	11.2.5 「目標水位」設定と地下水盆管理	11-8

表リスト

	頁:
表 2.1.1	トルファン地区地形別面積 2-1
表 2.1.2	トルファン地区気象因子統計表 2-2
表 2.1.3	1985-1995年10年間主要気象要素平均値（トクソン） 2-2
表 2.1.4	1985-1995年10年間主要気象要素平均値（シャンシャン北盆地） 2-2
表 2.1.5	1985-1995年10年間主要気象要素平均値（シャンシャン南盆地） 2-2
表 2.2.1	トルファン地区の行政区分 2-8
表 2.2.2	トルファン地区の人口規模 2-8
表 2.2.3	面積および人口密度（2003年） 2-9
表 2.2.4	民族構成（2003年） 2-9
表 2.2.5	男女別人口・都市人口・農業人口（2003年） 2-9
表 2.2.6	トルファン地区の過去の経済成長（%） 2-10
表 2.2.7	農業生産額分野別構成比推移（%） 2-11
表 2.2.8	分野別農業生産額推移（万元） 2-11
表 2.2.9	農林水畜産品別生産額（2003年 - 単位：万元） 2-12
表 3.2.1	選定された水文分析用観測所 3-3
表 3.2.2	気象データ延長・補完の結果 3-4
表 3.2.3	代表気象観測所年降水量10年単位統計 3-4
表 3.2.4	調査地域における各気象・水文観測所連続最大4ヶ月間降雨量 3-9
表 3.2.5	調査地域における各気象・水文観測所降水量の季節配分 3-11
表 3.2.6	調査地域における各気象・水文観測所の最大・最小年間降雨量 3-12
表 3.2.7	調査地域における観測所年間降水量変動係数 3-13
表 3.2.8	行政区分（縣市）の年間降水量 3-13
表 3.2.9	各流域区分での年間降水量 3-14
表 3.2.10	トクソン2河流域各標高区分での年間降水量 3-14
表 3.2.11	各流域区分で選定された代表観測所 3-16
表 3.2.12	各流域区分における降雨時系列 3-17
表 3.2.13	各流域における降水量の確率分布 3-18
表 3.3.1	河川流量調査実施状況 3-20
表 3.3.2	山区通年河川流量調査地点概要 3-21
表 3.3.3	白楊河豊水期観測シート 3-23
表 3.3.4	山区河川流量調査結果 3-24
表 3.3.5	平原区河川・水路流量調査地点概要 3-27
表 3.3.6	平原区河川・水路流量調査結果 3-28
表 3.3.7	流量損失率計算表 3-30
表 3.4.1	調査地域における国レベル水文観測所一覧 3-37
表 3.4.2	調査地域における専用水文観測所一覧 3-37
表 3.4.3	河川流量分析に利用された資料一覧 3-38
表 3.4.4	トルファン地区流量観測所多年平均流量計算のための延長・補完処理一覧 3-40
表 3.4.5	代表水文観測所平均流量計算結果比較 3-46
表 3.4.6	代表河川流量成分分割結果 3-48
表 3.4.7	トルファン盆地内代表河川の年内変化検討結果 3-51
表 3.4.8	代表河川と計算対象河川との対応 3-52
表 3.4.9	調査地域における主用河川年間流量関連主要指標一覧 3-53
表 3.4.10	流域区分別地表水資源量及び河川流量 3-55

表 3.4.11	調査地域における縣市別地表水資源量及び流量	3-56
表 3.4.12	調査地域における流入流出水量一覧	3-56
表 3.4.13	流域区分別代表観測所の選定	3-57
表 3.4.14	行政区画別代表観測所の選定	3-57
表 3.4.15	各流域区分での年度別地表水流量計算表(10^8m^3)	3-58
表 3.4.16	調査地域における各行政区での年度別流量計算表(10^8m^3)	3-59
表 3.5.1	トルファン盆地 $50\text{ m}^3/\text{s}$ 以上の河川流量記録表(2000年まで)	3-63
表 3.5.2	1980年～2000年の21年間での上位3回洪水流量一覧	3-64
表 3.6.1	蒸発量資料収集状況及び蒸発量換算結果	3-68
表 3.6.2	蒸発能の年間変化	3-69
表 3.6.3	調査地域における蒸発能の年内変化	3-70
表 3.6.4	山地域水資源形成区での陸面蒸発量	3-71
表 3.6.5	行政区画別山地域水資源形成区での陸面蒸発量	3-72
表 3.6.6	陸面蒸発係数表	3-72
表 4.2.1	トルファン盆地および周辺地区の地質層序表	4-7
表 4.2.2	トルファン盆地の地質構造概要表	4-9
表 4.3.1	物理探査実施体制	4-21
表 4.3.2	物理探査調査工程	4-21
表 4.3.3	物理探査の内容	4-22
表 4.3.4	トルファン盆地第四系層相の比抵抗値 (既存資料による)	4-24
表 4.3.5	比抵抗値の統計結果	4-25
表 4.3.6	調査地域の地質とTEM法比抵抗値	4-30
表 4.4.1	試掘調査実施体制	4-49
表 4.4.2	試掘調査工程	4-49
表 4.4.3	試掘箇所と試掘孔別掘削深度	4-50
表 4.5.1	段階揚水試験各段階の地下水位測定時間間隔	4-75
表 4.5.2	連続揚水試験の地下水位測定時間間隔	4-76
表 4.5.3	回復試験の地下水位測定時間間隔	4-76
表 4.5.4	JICA地下水観測井段階揚水試験結果総括表	4-97
表 4.5.5	JICA地下水観測井連続揚水試験・回復試験結果総括表	4-108
表 4.7.1	試掘調査結果に基づく水文地質区分と帯水層単元	4-122
表 5.1.1	水資源利用現況調査調査実施期間	5-4
表 5.2.1	タイプ1の泉地点と流量一覧	5-6
表 5.2.2	タイプ2の泉地点と流量一覧	5-7
表 5.2.3	縣市別泉流量集計表	5-8
表 5.2.4	縣市別泉利用量集計表	5-8
表 5.2.5	泉利用するための貯水池施設	5-9
表 5.2.6	泉利用するための導水路施設	5-9
表 5.2.7	泉の水温調査結果	5-10
表 5.2.8	泉の電気伝導度(EC)の調査結果	5-12
表 5.2.9	高電気伝導度の泉の塩分と硫酸	5-12
表 5.3.1	既存カナート数及び流量	5-16
表 5.3.2	調査年流量と比較して豊水年流量の増加量	5-17
表 5.3.3	調査年流量と比較して渇水年流量の減少量	5-18
表 5.3.4	調査時期の流量と比較して豊水期流量の増加量	5-18
表 5.3.5	トルファン盆地内カナートの豊水期分布	5-19
表 5.3.6	トルファン盆地内カナートの渇水期分布	5-20
表 5.3.7	トルファン盆地内カナートの農業利用率一覧	5-20

表 5.3.8	トルファン盆地における目的別カナート水源利用量	5-21
表 5.3.9	カナートの延べ距離の調査結果集計	5-22
表 5.3.10	カナートの縦井戸数調査結果の集計	5-22
表 5.3.11	カナートの縦井戸深及び保護に関連する調査結果	5-23
表 5.3.12	涸れたカナートの調査結果集計	5-25
表 5.3.13	カナートの維持管理費に関連する調査結果	5-26
表 5.3.14	最近実施された浚渫年の調査結果	5-27
表 5.3.15	カナート調査における水温測定の結果	5-29
表 5.3.16	カナート調査におけるpH測定の結果	5-29
表 5.3.17	カナート調査における電気伝導度測定の結果	5-30
表 5.3.18	美味しくないと確認されたカナート一覧	5-31
表 5.3.19	過去10年間トルファン最大可能カナート流量計算結果	5-33
表 5.3.20	過去10年間トルファン郷別のカナート本数変化	5-33
表 5.4.1	1950年から5年間隔で郷別に作成された井戸の数量	5-40
表 5.4.2	過去10年間井戸数量変化の郷別集計	5-41
表 5.4.3	縣市別過去10年間新規作成された井戸と廃棄された井戸の集計	5-42
表 5.4.4	郷鎮別に農業用井戸管口流量集計	5-43
表 5.4.5	トルファン地区過去10年間農業電気消耗量変化	5-45
表 5.4.6	郷別過去10年間井戸揚水量集計結果	5-46
表 5.4.7	トルファン盆地における過去10年間地下水揚水量の月変化	5-48
表 5.4.8	2003年郷別単位農地面積での地下水揚水量	5-50
表 5.4.9	利用目的による井戸の郷別集計	5-51
表 5.4.10	生活及び畜産用地下水量集計結果	5-52
表 5.4.11	井戸水温調査結果集計	5-53
表 5.4.12	井戸水pH調査の結果集計	5-54
表 5.4.13	郷鎮別pH>8.5のサンプル数	5-54
表 5.4.14	トルファン井戸水の電気伝導度調査結果の郷別集計	5-55
表 5.4.15	深さ区分別の硫酸イオン関連水質検討結果	5-56
表 5.4.16	深さ区分別の塩分濃度関連水質検討結果	5-57
表 5.4.17	水質感覚に関する調査結果の集計	5-57
表 5.4.18	水質感覚が良くない原因による分類	5-58
表 5.4.19	トルファン盆地における井戸の所有権による分類	5-58
表 5.4.20	井戸深の郷別に集計した結果	5-59
表 5.4.21	現況地下水位及び1994年以前の地下水位と比較する時の水位低下量	5-60
表 5.4.22	新規井戸の深さ変化	5-61
表 5.4.23	井戸パイ部の材質による分類	5-62
表 5.4.24	トルファン盆地における井戸の遮水工実施状況	5-63
表 5.4.25	トルファン盆地における井戸のポンプ分類統計	5-64
表 5.4.26	ポンプ動力源による分類	5-64
表 5.4.27	井戸関連タンク・給水パイプ及びポンプ小屋の設置状況	5-64
表 6.1.1	新規観測井戸でのサンプリング実施期間	6-2
表 6.1.2	水源別サンプリングの数量一覧	6-2
表 6.1.3	水源別サンプリングの実施期間	6-2
表 6.1.4	中国の飲用水水質基準と本調査の調査項目	6-3
表 6.1.5	室内分析用水質サンプルの固定方法	6-4
表 6.2.1	山区流入河川TDS分析結果	6-9
表 6.2.2	盆地内河川TDSと硫酸イオン調査結果	6-11
表 6.2.3	第1回地表水水質調査における超過地点一覧	6-11

表 6.2.4	第2回地表水水質調査における超過地点一覧	6-14
表 6.3.1	第1回(豊水期)泉水質調査結果集計	6-17
表 6.3.2	第2回(渇水期)泉水質調査結果集計	6-18
表 6.3.3	縣市別泉水質調査における超過数集計	6-19
表 6.3.4	第1回(豊水期)カナート水質調査結果集計	6-20
表 6.3.5	第2回(渇水期)カナート水質調査結果集計	6-21
表 6.3.6	縣市別カナート水質調査における超過数集計	6-22
表 6.3.7	豊水期と渇水期カ郷鎮別カナートTDS比較.....	6-23
表 6.3.8	豊水期と渇水期郷鎮別カナート硫酸イオン含有量比較	6-23
表 6.3.9	第1回(豊水期)浅井戸水質調査結果集計	6-24
表 6.3.10	第2回(渇水期)浅井戸水質調査結果集計	6-25
表 6.3.11	縣市別浅井戸水質調査における超過数集計	6-26
表 6.3.12	第1回(豊水期)深井戸水質調査結果集計	6-28
表 6.3.13	第2回(渇水期)深井戸水質調査結果集計	6-29
表 6.3.14	縣市別第1回深井戸水質調査における超過数集計	6-30
表 6.4.1	深浅層帯水層安全性比較 (豊水期)	6-32
表 6.4.2	深浅層帯水層安全性比較 (渇水期)	6-32
表 6.4.3	新規観測井戸による深・浅層帯水層TDSの比較.....	6-33
表 6.4.4	新規観測井戸による深・浅層帯水層硫酸イオンの比較	6-33
表 7.1.1	トルファン市の既存地下水観測井	7-1
表 7.1.2	シャンシャン県の既存地下水観測井	7-1
表 7.1.3	トクソン県の既存地下水観測井	7-2
表 7.1.4	トルファン盆地地下水水位観測井の観測期間	7-4
表 7.1.5	JICA観測井一覧表.....	7-5
表 8.2.1	トルファン地区内で生成した地表水資源量	8-2
表 8.2.2	トルファン地区への地表水流入量	8-3
表 8.2.3	トルファン盆地における水資源量及び河川流量	8-3
表 8.2.4	トルファン盆地内14本通年河川からの流量	8-4
表 8.3.1	トルファン盆地におけるダム一覧	8-7
表 8.3.2	坎尔其、柯柯亚、紅山ダム最近3年間利用状況	8-8
表 8.3.3	幹線水路概要	8-9
表 8.3.4	トルファン盆地内支線を含む全水路変化状況一覧	8-10
表 8.3.5	トルファン盆地内幹線水路変化状況一覧	8-10
表 8.3.6	トクソン県にける各郷鎮の地表水利用量と導入量	8-11
表 8.3.7	トルファン市にける各郷鎮の地表水利用量と導入量	8-12
表 8.3.8	シャンシャン県にける各郷鎮の地表水利用量と導入量	8-12
表 8.4.1	大流域別水資源量、河川流量と現況利用量	8-19
表 9.1.1	適用した地下水シミュレーションモデル	9-2
表 9.1.2	作成した地下水シミュレーションモデルの概要	9-9
表 9.2.1	月別最大可能地下水かん養量	9-20
表 9.2.2	月別実際地下水かん養量	9-26
表 9.3.1	トルファン盆地の月別地下水揚水量	9-32
表 9.3.2	トルファン盆地の月別地下水揚水量とかん養量の収支	9-35
表 9.4.1	MODFLOWシミュレーションに必要な基本パラメータ	9-40
表 9.4.2	既存井戸資料中の透水係数値の統計分析結果	9-44
表 9.4.3	既存井戸資料から算出した透水量係数値の統計分析結果	9-45
表 9.4.4	Logan (1964) の方法で算出した透水量係数値の統計分析結果	9-46
表 9.4.5	推定方法による透水量係数値の比較	9-46

表 9.4.6	Logan法による透水量係数から算出した横方向透水係数の統計解析結果.....	9-49
表 9.4.7	帯水層の層相による透水係数の初期入力値.....	9-49
表 9.4.8	貯留係数の実測値の統計分析結果.....	9-50
表 9.5.1	広域三次元モデルの平面諸元.....	9-56
表 9.5.2	トルファン盆地への地下水流入量計算結果（1994～2003年）.....	9-63
表 9.5.3	広域三次元モデルの検証で同定された水文地質パラメータ.....	9-64
表 9.7.1	局所三次元モデルの平面諸元.....	9-89
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）.....	10-2
表 10.2.2	農業用水の県・市別内訳（2003年）.....	10-3
表 10.2.3	大流域別水資源量、河川流量と現況利用量.....	10-3
表 10.2.4	県・市別過去10年間井戸揚水量.....	10-4
表 10.3.1	地下水開発段階毎に必要な管理手段.....	10-14
表 10.4.1	将来人口推移（ケース1）.....	10-15
表 10.4.2	将来人口推移（ケース2）.....	10-16
表 10.4.3	将来人口推移（ケース3）.....	10-16
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）.....	10-17
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）.....	10-17
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）.....	10-17
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.....	10-18
表 10.4.8	トルファン地区GDP成長の3ケース.....	10-19
表 10.4.9	トルファン地区GDP成長3ケースの比較.....	10-20
表 10.4.10	灌漑面積および水需要量設定3ケースの比較.....	10-21
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.....	10-23
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.....	10-25
表 10.5.2	水源別・地域別水資源利用量.....	10-26
表 10.5.3	現況セクター別現況水資源利用量.....	10-27
表 10.5.4	放流水を除いたセクター別現況水資源利用量.....	10-27
表 10.5.5	調査地域における都市部での給水現況.....	10-28
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.....	10-28
表 10.5.7	地域別の灌漑面積.....	10-30
表 10.5.8	地域毎の灌漑用水原単位.....	10-31
表 10.5.9	地域毎の正味灌漑用水量.....	10-32
表 10.5.10	2020年までの生活用水原単位設定.....	10-37
表 10.5.11	2020年までの生活用水量予測.....	10-37
表 10.5.12	2020年までの工業用水量予測.....	10-39
表 10.5.13	2020年までトクソン県灌漑用水量原単位設定.....	10-40
表 10.5.14	2020年までトルファン市灌漑用水量原単位設定.....	10-40
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.....	10-41
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.....	10-41
表 10.5.17	ケース2(面積中)の場合の正味灌漑用水量.....	10-42
表 10.5.18	ケース1（面積大）の場合の正味灌漑用水量.....	10-42
表 10.5.19	正味用水量、実際用水量及び灌漑用水効率.....	10-43
表 10.5.20	2020年までの灌漑用水利用率の設定結果.....	10-43
表 10.5.21	将来灌漑用水量予測結果.....	10-44
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.....	10-52
表 10.7.2	許容地下水位（当初案）.....	10-52

表 10.8.1	予測年と河川流量データ利用年の対応表	10-54
表 10.8.2	広域三次元モデルに取り組んだ農地面積分布	10-57
表 10.8.3	予測案一覧表	10-62
表 10.8.4	水収支予測（第1案；現況維持案）	10-68
表 10.8.5	水収支予測（第2案；全計画実施案）	10-68
表 10.8.6	水収支予測（第3案；最危険案）	10-68
表 10.8.7	水収支予測（理想案）	10-68
表 10.8.8	各予測案の地域別評価	10-70
表 10.8.9	許容要件と許容揚水量	10-72
表 10.8.10	段階的揚水量目標と削減率	10-73
表 10.8.11	許容揚水量における水収支	10-73
表 10.9.1	節水灌漑実施地概要	10-129
表 10.9.2	節水灌漑の抱える問題点	10-130
表 10.9.3	許可権限機関	10-136
表 10.9.4	農業灌漑用水（河川水）料金設定及びその変化	10-138
表 10.9.5	水資源費の設定	10-139
表 10.9.6	将来の節水灌漑面積	10-141
表 10.9.7	節水量試算結果	10-141
表 10.9.8	地域別の許容揚水量	10-142
表 10.9.9	シャンシャン県南部揚水量削減目標と寄与率（第1案）	10-142
表 10.9.10	シャンシャン県南部揚水量最大削減可能量（第2案）	10-143
表 10.9.11	トルファン市における節水対策計画値と最小必要値（第1案）	10-143
表 10.9.12	トルファン市における節水灌漑施設投資を最小化する揚水量削減計画（第2案）	10-144
表 10.9.13	阿拉溝ダム諸元	10-145
表 10.9.14	年度別建設事業費	10-146
表 10.9.15	阿拉溝ダム建設工事工程表	10-147
表 10.9.16	大河沿ダム諸元	10-147
表 10.9.17	二塘溝ダム諸元	10-148
表 10.9.18	二塘溝ダム建設工事工程表	10-149
表 10.9.19	既存導水路現況	10-151
表 10.9.20	既存導水路建設費	10-154
表 10.9.21	阿拉溝ダム建設による導水増加量	10-155
表 10.9.22	水路形式対比表	10-156
表 10.9.23	新設導水路概算工事費	10-157
表 10.9.24	盆地西部井戸群開発概算事業費	10-160
表 10.9.25	農業節水関連する実験項目	10-161
表 10.9.26	パイロット圃場の区分と面積構成	10-166
表 10.9.27	パイロット節水事業概算事業費	10-169
表 10.9.28	機材購入費内訳	10-171
表 10.9.29	既存節水灌漑計画案に基づいた事業費	10-177
表 10.9.30	重点節水対策案の事業費	10-178
表 10.9.31	総事業費（ダム建設+節水重点対策）	10-179
表 10.10.1	トルファン市水利局の資産保有状況（2002年）	10-180
表 10.10.2	トルファン市の農業用水料金徴収状況	10-180
表 10.10.3	トルファン市水利局が予定している改定水単価一覧	10-181
表 10.10.4	トルファン市における農業（支渠）用水改定料金の算出根拠	10-181
表 10.10.5	トクソン県水利局の資産保有状況（2002年）	10-182

表 10.10.6	トクソン県の水料金徴収状況	10-182
表 10.10.7	トクソン県における改定水料金の算出根拠	10-183
表 10.10.8	シャンシャン県水利局の資産保有状況（2002年）	10-183
表 10.10.9	シャンシャン県の水料金徴収状況	10-183
表 10.10.10	シャンシャン県の水料金改定計画	10-184
表 10.10.11	シャンシャン県における改定水料金の算出根拠	10-184
表 10.10.12	想定投資分担	10-185
表 10.10.13	財務評価の前提条件（原案）	10-185
表 10.10.14	年事業運営費の算出根拠	10-185
表 10.10.15	阿拉溝ダム建設事業・原案・財務分析・財務内部収益率（FIRR） ..	10-186
表 10.10.16	投資額・便益変化の想定内容	10-187
表 10.10.17	建設コスト負担額・需要変化に対応した財務内部収益率	10-187
表 10.10.18	阿拉溝ダム建設事業・原案・財務分析・財務内部収益率（FIRR）・ 感度分析1=コスト変化（増加10%）	10-188
表 10.10.19	阿拉溝ダム建設事業・原案・財務分析・財務内部収益率（FIRR）・ 感度分析2=コスト変化（増加20%）	10-189
表 10.10.20	阿拉溝ダム建設事業・原案・財務分析・財務内部収益率（FIRR）・ 感度分析3=需要変化（減少10%）	10-190
表 10.10.21	阿拉溝ダム建設事業・原案・財務分析・財務内部収益率（FIRR）・ 感度分析4=需要変化（減少20%）	10-191
表 10.10.22	別案の投資分担	10-192
表 10.10.23	財務評価の前提条件（別案）	10-192
表 10.10.24	阿拉溝ダム建設事業・別案・財務分析・財務内部収益率（FIRR） ..	10-193
表 10.10.25	経済評価の前提条件	10-194
表 10.10.26	費用（=C）算出根拠	10-195
表 10.10.27	便益（=B）総括表	10-195
表 10.10.28	農業部門便益（=B）総括表	10-196
表 10.10.29	阿拉溝ダム建設事業・社会経済分析・経済内部収益率（EIRR）	10-197
表 10.10.30	投資額・便益変化の想定内容	10-198
表 10.10.31	投資額・便益変化に対応した経済内部収益率	10-198
表 10.10.32	阿拉溝ダム建設事業・社会経済分析・経済内部収益率（EIRR）・感 度分析1=投資変化（増加10%）	10-199
表 10.10.33	阿拉溝ダム建設事業・社会経済分析・経済内部収益率（EIRR）・感 度分析2=投資変化（増加20%）	10-200
表 10.10.34	阿拉溝ダム建設事業・社会経済分析・経済内部収益率（EIRR）・感 度分析3=便益変化（減少10%）	10-201
表 10.10.35	阿拉溝ダム建設事業・社会経済分析・経済内部収益率（EIRR）・感 度分析4=便益変化（減少20%）	10-202
表 10.10.36	節水対策技術の評価	10-203
表 10.10.37	基本計画の環境影響概況	10-205
表 10.10.38	ダム建設の環境影響概況と詳細	10-208
表 10.10.39	ダム建設の影響軽減・防止対策	10-210
表 10.10.40	建設前と建設後の作付面積・工業生産量比較表	10-211
表 10.10.41	井戸群開発による環境影響概況	10-213
表 10.10.42	環境影響詳細	10-214
表 10.10.43	井戸群開発の影響防止・軽減対策	10-214
表 10.10.44	参加者内訳	10-217

図リスト

		頁:
図 1.3.1	フローチャート	1-3
図 2.1.1	地形概略図	2-4
図 2.1.2	降水量分布図	2-5
図 2.1.3	河川位置図	2-6
図 2.1.4	地下水位標高分布図（2004年8月16日）	2-7
図 3.2.1	調査地域における気象・水文観測所位置図	3-3
図 3.2.2	トルファン気象観測所1952-2000年降雨量変化	3-5
図 3.2.3	シャンシャン気象観測所1956-2000年降雨量変化	3-5
図 3.2.4	トルファン気象観測所年間降雨量降雨量変動率累計曲線	3-6
図 3.2.5	シャンシャン気象観測所年間降雨量降雨量変動率累計曲線	3-7
図 3.2.6	トルファン気象観測所降水量変動係数累計平均曲線	3-7
図 3.2.7	シャンシャン気象観測所降水量変動係数累計平均曲線	3-8
図 3.2.8	降雨量と海拔標高との関係	3-9
図 3.2.9	各観測所で降水量の季節配分	3-10
図 3.2.10	多年平均年間降水量分布図	3-19
図 3.2.11	トルファン盆地における年間降水量変化	3-18
図 3.3.1	山区通年河川流量調査地点位置図	3-21
図 3.3.2	白楊河の河床断面	3-22
図 3.3.3	大河沿河1996年～2004年における月単位平均流量	3-25
図 3.3.4	大河沿河の長年平均年間流量に対する年間流量	3-26
図 3.3.5	平原区河川・水路流量調査地点位置図	3-27
図 3.3.6	既存水文観測所及び新規水文観測所	3-32
図 3.3.7	新規水文観測所の配置平面図	3-33
図 3.3.8	新規水文観測所の観測小屋	3-33
図 3.3.9	新規水文観測所の観測橋	3-34
図 3.3.10	新規水文観測所でのH-Q曲線	3-36
図 3.3.11	新規水文観測所での観測結果(2005年1月～6月)	3-36
図 3.4.1	煤窑溝観測所6-9月の流量と年間流量との相関関係	3-39
図 3.4.2	開墾河7月流量と柯柯亜河流量との相関関係	3-39
図 3.4.3	阿拉溝水文観測所年間流量変動率差積曲線	3-41
図 3.4.4	煤窑溝水文観測所年間変動量数差積曲線	3-41
図 3.4.5	柯柯亜水文観測所年間流量変動率差積曲線	3-42
図 3.4.6	阿拉溝河河年間流量変動率累計平均曲線	3-42
図 3.4.7	煤窑溝年間流量変動率累計平均曲線	3-43
図 3.4.8	柯柯亜河年間流量変動率累計平均曲線	3-43
図 3.4.9	柯柯亜河年間流量確率曲線	3-44
図 3.4.10	阿拉溝河年間流量確率曲線	3-45
図 3.4.11	煤窑溝河年間流量確率曲線	3-45
図 3.4.12	阿拉溝河水文観測所1998年日流量分割図	3-47
図 3.4.13	煤窑溝水文観測所1992年日流量分割図	3-48
図 3.4.14	柯柯亜水文観測所1996年日流量分割図	3-48
図 3.4.15	阿拉溝河月流量変化図	3-50
図 3.4.16	煤窑溝河月流量変化図	3-50
図 3.4.17	柯柯亜河月流量変化図	3-51
図 3.4.18	代表河川の年間流量変化	3-52

図 3.4.19	トルファン盆地における流出高等値線図	3-60
図 3.4.20	トルファン地区の水文区分	3-55
図 3.5.1	洪水影響範囲図	3-66
図 3.6.1	E601型蒸発器構造図	3-68
図 3.6.2	多年平均蒸発量等値線図	3-74
図 4.2.1	吐魯番—哈密盆地周辺地形概要図	4-10
図 4.2.2	吐魯番盆地集水域地形概要図	4-11
図 4.2.3	吐魯番盆地集水域主要河川分布図	4-12
図 4.2.4	吐魯番盆地内地形等高線図	4-13
図 4.2.5	吐魯番盆地地形断面図	4-14
図 4.2.6	吐魯番盆地周辺接谷面図・切谷面図	4-15
図 4.2.7	吐魯番—哈密盆地周辺地質断面図	4-16
図 4.2.8	吐魯番盆地第四紀地質図	4-17
図 4.2.9	吐魯番盆地第四紀地質断面図	4-18
図 4.2.10	吐魯番盆地地質構造図	4-19
図 4.2.11	吐魯番盆地周辺地質構造発達史	4-20
図 4.3.1	物理探査実施地点位置図	4-32
図 4.3.2	TEM法の原理	4-23
図 4.3.3	TEM法インバージョン解析結果(1)	4-33
図 4.3.4	TEM法インバージョン解析結果(2)	4-34
図 4.3.5	TEM法インバージョン解析結果分布図	4-35
図 4.3.6	地表面した20 mの比抵抗構造分布図	4-36
図 4.3.7	地表面した100 mの比抵抗構造分布図	4-37
図 4.3.8	地表面した200 mの比抵抗構造分布図	4-38
図 4.3.9	地表面した300 mの比抵抗構造分布図	4-39
図 4.3.10	地表面した400 mの比抵抗構造分布図	4-40
図 4.3.11	地表面した600 mの比抵抗構造分布図	4-41
図 4.3.12	NB-NB'測線の比抵抗構造断面分布図	4-42
図 4.3.13	NBE-NBE'測線の比抵抗構造断面分布図	4-43
図 4.3.14	NS-NS'測線の比抵抗構造断面分布図	4-44
図 4.3.15	SB-SB'測線の比抵抗構造断面分布図	4-45
図 4.3.16	SBE-SBE'測線の比抵抗構造断面分布図	4-46
図 4.3.17	SBW-SBW'測線の比抵抗構造断面分布図	4-47
図 4.3.18	推定基盤深度分布図	4-48
図 4.4.1	吐魯番盆地試掘箇所位置図	4-59
図 4.4.2	TW-SE-1地点地質柱状図・観測井戸構造図	4-60
図 4.4.3	TW-SC-1地点地質柱状図・観測井戸構造図	4-61
図 4.4.4	TW-SS-1地点地質柱状図・観測井戸構造図	4-62
図 4.4.5	TW-SW-1地点地質柱状図・観測井戸構造図	4-63
図 4.4.6	TW-NC-1地点地質柱状図・観測井戸構造図	4-64
図 4.4.7	TW-SE-1孔内物理検層結果	4-65
図 4.4.8	TW-SC-1孔内物理検層結果	4-66
図 4.4.9	TW-SS-1孔内物理検層結果	4-67
図 4.4.10	TW-SW-1孔内物理検層結果	4-68
図 4.4.11	TW-NC-1孔内物理検層結果	4-69
図 4.4.12	TW-SE地点観測井構造図と地下水位	4-70
図 4.4.13	TW-SC地点観測井構造図と地下水位	4-71
図 4.4.14	TW-SS地点観測井構造図と地下水位	4-72

図 4.4.15	TW-SW地点観測井構造図と地下水位.....	4-73
図 4.4.16	TW-NC地点観測井構造図と地下水位.....	4-74
図 4.5.1	段階揚水試験結果 (TW-SE-1)	4-89
図 4.5.2	段階揚水試験結果 (TW-SE-2)	4-90
図 4.5.3	段階揚水試験結果 (TW-SC-1)	4-91
図 4.5.4	段階揚水試験結果 (TW-SC-1)	4-92
図 4.5.5	段階揚水試験結果 (TW-SS-1)	4-93
図 4.5.6	段階揚水試験結果 (TW-SS-2)	4-94
図 4.5.7	段階揚水試験結果 (TW-SW-1)	4-95
図 4.5.8	段階揚水試験結果 (TW-SW-2)	4-96
図 4.5.9	連続揚水試験・回復揚水試験 (TW-SE-1)	4-98
図 4.5.10	連続揚水試験・回復揚水試験 (TW-SE-2)	4-99
図 4.5.11	連続揚水試験・回復揚水試験 (TW-SC-1)	4-100
図 4.5.12	連続揚水試験・回復揚水試験 (TW-SC-2)	4-101
図 4.5.13	連続揚水試験・回復揚水試験 (TW-SS-1)	4-102
図 4.5.14	連続揚水試験・回復揚水試験 (TW-SS-2)	4-103
図 4.5.15	連続揚水試験・回復揚水試験 (TW-SW-1)	4-104
図 4.5.16	連続揚水試験・回復揚水試験 (TW-SW-2)	4-105
図 4.5.17	注水試験・回復揚水試験 (TW-NC-1)	4-106
図 4.5.18	TW-NC-1観測井注水試験結果解析.....	4-107
図 4.6.1	吐哈盆地の深部地質構造.....	4-113
図 4.6.2	吐魯番盆地の主要地震断面図.....	4-114
図 4.6.3	吐魯番盆地南縁・西縁地震断面図.....	4-115
図 4.6.4	既存資料による第四系等層厚線図.....	4-116
図 4.6.5	水文地質基盤上面の推定標高分布図.....	4-117
図 4.6.6	地形面形状と水文地質基盤上面形状との比較.....	4-118
図 4.7.1	試掘井戸の基本層序対比 (南盆地東西方向)	4-125
図 4.7.2	試掘井の基本層序対比 (盆地中央部南北方向)	4-126
図 4.7.3	南盆地東西断面の基本層序・層相対比.....	4-127
図 4.7.4	盆地中央部南北断面の基本層序・層相対比.....	4-128
図 5.1.1	トルファン盆地での水循環.....	5-1
図 5.2.1	トルファン盆地における泉分布.....	5-14
図 5.2.2	電気伝導度(EC)と塩分濃度(TDS)との関係.....	5-11
図 5.2.3	電気伝導度(EC)と硫酸イオン(SO ₄)濃度との関係.....	5-11
図 5.3.1	現地調査したカナート位置図.....	5-35
図 5.3.2	カナートの維持管理にかかる費用の累計曲線.....	5-27
図 5.3.3	2004年までの浚渫作業を実施した間隔年.....	5-28
図 5.3.4	カナート水の電気伝導度分布.....	5-36
図 5.3.5	カナート過去流量の計算手順.....	5-32
図 5.3.6	10年間縣市別カナート流量変化.....	5-37
図 5.3.7	縣市別過去10年間カナート本数変化.....	5-38
図 5.4.1	トルファン盆地内現況(2004年)利用可能な井戸分布.....	5-39
図 5.4.2	トルファン盆地内揚水井戸作歴史変化.....	5-41
図 5.4.3	トルファン盆地で井戸が廃棄された原因.....	5-42
図 5.4.4	縣市別の灌漑用井戸流量分布.....	5-44
図 5.4.5	郷単位月別井戸揚水量計算フロー.....	5-66
図 5.4.6	2003年トルファン盆地における縣市別農業用電気消耗量.....	5-46
図 5.4.7	過去10年間縣市別地下水揚水量変化図.....	5-47

図 5.4.8	過去10年間トルファン盆地における地下水揚水量変化図	5-48
図 5.4.9	2003年トルファン盆地における月別地下水揚水量変化	5-49
図 5.4.10	トルファン盆地における利用目的による井戸区分	5-52
図 6.1.1	河川水水質調査地点位置図	6-6
図 6.1.2	浅層地下水水質調査地点位置図	6-7
図 6.1.3	水質分析位置図（深層地下水）	6-8
図 6.2.1	地表水水質の主成分分布図	6-10
図 6.3.1	浅層地下水の水質主成分分布（豊水期）	6-15
図 6.3.2	浅層地下水の水質主成分分布（渇水期）	6-16
図 6.3.3	深層地下水の水質主成分分布（豊水期）	6-27
図 6.3.4	深層地下水の水質主成分分布（渇水期）	6-27
図 6.4.1	浅層帯水層TDS等値線図	6-34
図 6.4.2	浅層帯水層の硫酸イオン等値線図	6-35
図 6.4.3	健康関連項目基準超過地点位置図（浅層地下水）	6-36
図 6.4.4	深層地下水TDS等値線図	6-37
図 6.4.5	深層地下水硫酸イオン等値線図	6-38
図 6.4.6	健康関連項目基準超過地点位置図（深層地下水）	6-39
図 6.4.7	水質の深さによる変化（新規観測井戸地点）	6-40
図 7.1.1	トルファン盆地既存地下水観測井分布図	7-3
図 7.2.1	トルファン市長期地下水観測記録	7-10
図 7.2.2	シャンシャン県長期地下水観測記録	7-11
図 7.2.3	トクソン県長期地下水観測記録	7-12
図 7.2.4	長期地下水位観測井の地下水位変動	7-13
図 7.3.1	JICA観測井TW-SC-2における地下水位自記記録	7-14
図 7.4.1	地下水位深度分布図（2004年8月16日）	7-16
図 7.4.2	地下水位標高分布図（2004年8月16日）	7-17
図 8.2.1	4大流域区分	8-6
図 8.3.1	トルファン盆地におけるダム位置	8-8
図 8.3.2	トルファン盆地における幹線水路分布図	8-15
図 8.3.3	トクソン県内の河川水配分ルート	8-16
図 8.3.4	トルファン市内の河川水配分ルート	8-17
図 8.3.5	シャンシャン県内の河川水配分ルート	8-18
図 9.1.1	MODFLOW三次元モデルのグリッド区分	9-3
図 9.1.2	特性曲線法（MOC法）による粒子追跡概念図	9-4
図 9.1.3	MT3DやMT3DMSによる立体的な粒子配置	9-4
図 9.1.4	簡便な地下水盆のモデル化方法の例	9-5
図 9.1.5	傾斜の大きい地層のモデル化の問題点	9-6
図 9.1.6	断面二次元モデルにおける地層のモデル化方法	9-7
図 9.2.1	トルファン地下水盆への流入模式図	9-10
図 9.2.2	盆地内に流入する河川水の水循環模式図	9-12
図 9.2.3	MODFLOWかん養パッケージによるかん養の与え方	9-15
図 9.2.4	大河沿河水系でのグリッド分布図作成例	9-17
図 9.2.5	最大可能地下水かん養量の月別グラフ	9-19
図 9.2.6	最大可能地下水かん養量分布図（2003年1月）	9-23
図 9.2.7	最大可能地下水かん養量分布図（2003年7月）	9-24
図 9.2.8	最大可能地下水かん養量と実際地下水かん養量	9-25
図 9.2.9	実際地下水かん養量分布図（2003年1月）	9-29
図 9.2.10	最大可能地下水かん養量分布図（2003年7月）	9-30

図 9.3.1	トルファン盆地の地下水揚水量の時系列変化	9-32
図 9.3.2	地下水揚水量とかん養量との比較	9-35
図 9.3.3	2003年1月の地下水揚水量分布	9-39
図 9.3.4	2003年7月の地下水揚水量分布	9-39
図 9.4.1	既存井戸資料による県・市別の比湧出量の分布	9-52
図 9.4.2	揚水量と水位降下量、比湧出量との関係	9-53
図 9.4.3	北盆地、南盆地における揚水量と水位降下、比湧出量との関係	9-54
図 9.4.4	定常法透水係数から推定した透水量係数とLogan法による透水量係数 との比較	9-47
図 9.4.5	定常法透水係数から推定した透水量係数と比湧出量との関係	9-48
図 9.4.6	定常法透水係数から推定した透水量係数と比湧出量との関係（両対数 グラフ）	9-48
図 9.4.7	北盆地、南盆地における T/Sc 係数と比湧出量との関係	9-55
図 9.4.8	非定常状態における比湧出量と貯留係数、透水量係数との関係	9-51
図 9.5.1	広域三次元モデル平面グリッド図	9-65
図 9.5.2	広域三次元モデルの断面構造	9-57
図 9.5.3	広域三次元モデルの上面構造	9-66
図 9.5.4	広域三次元モデルの下面構造	9-67
図 9.5.5	広域三次元モデルにおける固定水頭境界の位置（第17層）	9-58
図 9.5.6	広域三次元モデル周辺部の一般水頭境界（第22層）	9-59
図 9.5.7	広域三次元モデル第16層の一般水頭境界	9-60
図 9.5.8	広域三次元モデル第3層の一般水頭境界	9-60
図 9.5.9	広域三次元モデル第16層の排水境界	9-61
図 9.5.10	広域三次元モデルの地形分布と検証計算用初期水頭分布（1994年1月）	9-68
図 9.5.11	広域三次元モデルによる計算地下水頭分布（1）	9-69
図 9.5.12	広域三次元モデルによる計算地下水頭分布（2）	9-70
図 9.5.13	広域三次元モデルによる計算水頭降下量分布（1）	9-71
図 9.5.14	広域三次元モデルによる計算水頭降下量分布（2）	9-72
図 9.5.15	実測水頭と計算水頭との比較	9-73
図 9.6.1	断面二次元モデルの位置図	9-81
図 9.6.2	南盆地（W-E）断面二次元モデル構造図	9-82
図 9.6.3	盆地中央（S-N）断面二次元モデル構造図	9-83
図 9.6.4	南盆地（W-E）水文地質断面図	9-84
図 9.6.5	盆地中央部（S-N）水文地質断面図	9-85
図 9.6.6	南盆地（W-E）断面水文地質モデル区分図	9-86
図 9.6.7	盆地中央部（S-N）断面水文地質モデル区分図	9-87
図 9.6.8	断面二次元モデルと広域三次元モデルのグリッド対応	9-77
図 9.6.9	断面二次元モデルへの揚水量配分方法	9-77
図 9.6.10	南北方向断面モデルの境界条件	9-78
図 9.6.11	東西方向断面モデルの境界条件	9-79
図 9.6.12	南北方向断面モデルの検証計算結果	9-79
図 9.6.13	東西方向断面モデルの検証計算結果	9-88
図 9.7.1	局所三次元モデル位置図	9-100
図 9.7.2	局所三次元モデル平面グリッド図	9-101
図 9.7.3	局所三次元モデル化地域の鳥瞰図	9-102
図 9.7.4	局所三次元モデルの平面条件図	9-103
図 9.7.5	局所三次元モデルの断面構造	9-90
図 9.7.6	局所三次元モデルの立体構造	9-104

図 9.7.7	局所三次元モデルの固定水頭境界	9-91
図 9.7.8	局所三次元モデルに入力した実際地下水かん養量	9-92
図 9.7.9	グリッド別実際地下水かん養量（2003年1月）	9-93
図 9.7.10	グリッド別実際地下水かん養量（2003年7月）	9-94
図 9.7.11	局所三次元モデルに入力した実際地下水かん養量と揚水量	9-95
図 9.7.12	局所三次元モデルに入力した1994年7月の揚水量分布	9-96
図 9.7.13	局所三次元モデルに入力した2003年7月の揚水量分布	9-96
図 9.7.14	局所三次元モデルによる計算地下水頭分布（1）	9-105
図 9.7.15	局所三次元モデルによる計算地下水頭分布（2）	9-106
図 9.7.16	局所三次元モデルによる計算地下水頭分布（3）	9-107
図 9.7.17	局所三次元モデルによる計算水頭降下量分布（1）	9-108
図 9.7.18	局所三次元モデルによる計算水頭降下量分布（2）	9-109
図 9.7.19	局所三次元モデルによる計算水頭と実測水頭の比較（No.2-14観測井）	9-98
図 9.7.20	物質の移動範囲	9-111
図 10.1.1	トルファン盆地の現況水収支	10-1
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	10-12
図 10.3.2	地下水開発段階毎に必要な管理手段	10-13
図 10.4.1	3ケースにおける将来地区総人口の推移	10-16
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	10-17
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	10-18
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	10-18
図 10.5.1	水需要予測するための地域区分	10-33
図 10.5.2	現況水資源予測区分別水資源利用量	10-34
図 10.5.3	現況セクター別水資源利用量	10-35
図 10.5.4	農村集中給水施設の給水原単位分布度数	10-36
図 10.5.5	工業業種別水資源利用量（2003年）	10-29
図 10.5.6	工業業種別用水原単位（2003年）	10-30
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	10-48
図 10.6.2	塩水化を要件とした許容揚水量	10-48
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	10-50
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	10-55
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	10-56
図 10.8.3	各予測計算案条件下での予測区別井戸揚水量(2010年).....	10-61
図 10.8.4	各予測計算案条件下での予測区別井戸揚水量(2020年).....	10-61
図 10.8.5	カナート保護区案	10-71
図 10.8.6	計算地下水頭分布（第1案；現況維持案）（2020年12月、第17層・第18層）	10-74
図 10.8.7	計算地下水頭分布（第1案；現況維持案）（2020年水頭と2003年水頭との差分）	10-75
図 10.8.8	計算水頭分布（第2案；全計画実施案）（2020年12月、第17層）	10-76
図 10.8.9	計算水頭分布（第2案；全計画実施案）（2020年12月、第18層）	10-77
図 10.8.10	計算水頭（第2案：全計画実施案）（2020年12月水頭と2003年12月水頭の差分）	10-78
図 10.8.11	計算水頭分布（第3案；最危険案）（2020年12月、第17層）	10-79
図 10.8.12	計算水頭分布（第3案；最危険案）（2020年12月、第18層）	10-80
図 10.8.13	計算水頭（第3案：最危険案）（2020年12月水頭と2003年12月水頭の差分）	10-81

☒ 10.8.14	計算水頭分布（第4案；農地面積不変案）（2020年12月、第17層）	.... 10-82
☒ 10.8.15	計算水頭分布（第4案；農地面積不変案）（2020年12月、第18層）	.... 10-83
☒ 10.8.16	計算水頭（第4案；農地面積不変案）（2020年12月水頭と2003年12月水頭の差分）	..... 10-84
☒ 10.8.17	計算水頭分布（第5案；農地面積増大案）（2020年12月、第17層）	.... 10-85
☒ 10.8.18	計算水頭分布（第5案；農地面積増大案）（2020年12月、第18層）	.... 10-86
☒ 10.8.19	計算水頭（第5案；農地面積増大案）（2020年12月水頭と2003年12月水頭の差分）	..... 10-87
☒ 10.8.20	計算水頭（農地面積の評価）（2020年12月水頭と2003年12月水頭との差分の比較）	..... 10-88
☒ 10.8.21	計算水頭分布（第6案；灌漑用水量原単位不変案）（2020年12月、第17層）	..... 10-89
☒ 10.8.22	計算水頭分布（第6案；灌漑用水量原単位不変案）（2020年12月、第18層）	..... 10-90
☒ 10.8.23	計算水頭（第6案；灌漑用水量原単位不変案）（2020年12月水頭と2003年12月水頭の差分）	..... 10-91
☒ 10.8.24	計算水頭分布（第7案；灌漑用水量原単位計画値案）（2020年12月、第17層）	..... 10-92
☒ 10.8.25	計算水頭分布（第7案；灌漑用水量原単位計画値案）（2020年12月、第18層）	..... 10-93
☒ 10.8.26	計算水頭（第7案；灌漑用水量原単位計画値案）（2020年12月水頭と2003年12月水頭の差分）	..... 10-94
☒ 10.8.27	計算水頭（灌漑用水量原単位の評価）（2020年12月水頭と2003年12月水頭との差分の比較）	..... 10-95
☒ 10.8.28	計算水頭分布（第8案；節水灌漑未実施案）（2020年12月、第17層）	10-96
☒ 10.8.29	計算水頭分布（第8案；節水灌漑未実施案）（2020年12月、第18層）	10-97
☒ 10.8.30	計算水頭（第8案；節水灌漑未実施案）（2020年12月水頭と2003年12月水頭の差分）	..... 10-98
☒ 10.8.31	計算水頭分布（第9案；節水灌漑計画値案）（2020年12月、第17層）	10-99
☒ 10.8.32	計算水頭分布（第9案；節水灌漑計画値案）（2020年12月、第18層）	10-100
☒ 10.8.33	計算水頭（第9案；節水灌漑計画値案）（2020年12月水頭と2003年12月水頭の差分）	..... 10-101
☒ 10.8.34	計算水頭（節水灌漑の評価）（2020年12月水頭と2003年12月水頭との差分の比較）	..... 10-102
☒ 10.8.35	計算水頭分布（第10案；水資源利用効率現況維持案）（2020年12月、第17層）	..... 10-103
☒ 10.8.36	計算水頭分布（第10案；水資源利用効率現況維持案）（2020年12月、第18層）	..... 10-104
☒ 10.8.37	計算水頭（第10案；水資源利用効率現況維持案）（2020年12月水頭と2003年12月水頭の差分）	..... 10-105
☒ 10.8.38	計算水頭分布（第11案；水資源利用効率計画値案）（2020年12月、第17層）	..... 10-106
☒ 10.8.39	計算水頭分布（第11案；水資源利用効率計画値案）（2020年12月、第18層）	..... 10-107
☒ 10.8.40	計算水頭（第11案；水資源利用効率計画値案）（2020年12月水頭と2003年12月水頭の差分）	..... 10-108
☒ 10.8.41	計算水頭（水資源利用効率の評価）（2020年12月水頭と2003年12月水頭との差分の比較）	..... 10-109

図 10.8.42	計算水頭分布（第12案；トクソン県導水案）（2020年12月、第17層）	10-110
図 10.8.43	計算水頭分布（第12案；トクソン県導水案）（2020年12月、第18層）	10-111
図 10.8.44	計算水頭（第12案：トクソン県導水案）（2020年12月水頭と2003年12月水頭の差分）	10-112
図 10.8.45	計算水頭分布（第13案；シャンシャン県導水案）（2020年12月、第17層）	10-113
図 10.8.46	計算地下水位分布（第13案；シャンシャン県導水案）（2020年12月、第18層）	10-114
図 10.8.47	計算水頭（第13案：シャンシャン県導水案）（2020年12月水頭と2003年12月水頭の差分）	10-115
図 10.8.48	計算水頭変動（2004年～2020年）	10-116
図 10.8.49	計算水頭変動（既存観測井1-6、トルファン市；亜尔郷）	10-117
図 10.8.50	計算水頭変動（既存観測井2-14、シャンシャン県；魯克沁）	10-117
図 10.8.51	計算水頭変動（既存観測井2-3、シャンシャン県；連木沁；カナート保護区）	10-118
図 10.8.52	計算水頭変動（既存観測井3-2、トクソン県）	10-118
図 10.8.53	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）	10-119
図 10.8.54	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）	10-120
図 10.8.55	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）	10-121
図 10.8.56	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）	10-121
図 10.8.57	段階的揚水量目標	10-122
図 10.9.1	水資源利用管理計画（マスタープラン）の目標	10-123
図 10.9.2	水資源利用管理計画の概要	10-126
図 10.9.3	住民・行政・事業者の役割分担	10-127
図 10.9.4	地下水情報板（日本、熊本市）	10-135
図 10.9.5	トルファン盆地内ダム建設計画	10-150
図 10.9.6	トルファン盆地導水路現況図	10-153
図 10.9.7	中国における物価動向	10-154
図 10.9.8	トルファン盆地導水路計画図	10-158
図 10.9.9	盆地西部井戸群位置	10-160
図 10.9.10	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）	10-160
図 10.9.11	パイロット圃場概要配置図	10-167
図 10.9.12	トルファン地区水利局組織図	10-175
図 10.9.13	トルファン地区水文水資源局組織図	10-176
図 10.11.1	水資源開発利用管理計画の実施スケジュール案	10-222
図 11.2.1	簡易土堤	11-6

略語一覽

A/P	Action plan
C/P	Counterpart
DF/R	Draft final report
DIW	Department of industrial works
F/R	Final report
IC/R	Inception report
IT/R	Interim report
M/M	Minutes of meetings
M/P	Master plan
P/P	Pilot project
P/R	Progress report
S/W	Scope of work

1. 序 論

1 序論

1.1 調査の背景

高度成長期にある中華人民共和國（以下、「中国」と略す）では、近年、地域間の経済及び社会発展の不均衡が顕著になっている。広大な西部地域は東部沿海地域に比べて気候条件が厳しく人口密度も低いため、インフラ整備が遅れて産業も発達していない。また、新疆ウイグル自治区は、ウイグル族、漢族、カザフ族、回族、キルギス族、モンゴル族、オロス族、シボ族、タジク族、ウズベク族、タタール族、満州族などの民族が住む地域である。地域の格差を縮小し、国内の安定、とくに少数民族地域の安定を図るために、中国中央政府は1990年代から「西部大開発」の方針を打ち出し、政策・投資等での優遇措置を用いて西部地域の発展を促進してきた。さらに、本件調査地域であるトルファン盆地では1990年代から石油開発が進んでおり、石油の純輸入国になった中国の中でより一層重要な地域となっている。

しかし、乾燥した内陸部に位置するトルファン盆地では自然条件により水資源量が限られているため、近年は地下水の過剰揚水により地下水位が低下しカナートの枯渇、生活用水の確保難、水質悪化、農地の荒廃等の深刻な問題が発生している。トルファン盆地では、今後、限られた水資源について地表水・地下水一体となった総合管理を行い、地下水資源を有効に利用することが重要である。

これまでにトルファン盆地では地表水、地下水資源の調査が何回も行われてきたが、とくに地下水資源については資源量や開発可能量が未だに明らかにされておらず、地下水資源の持続的な利用計画を立てられない状況であった。

以上のような背景から、中国政府は2002年9月、日本政府に対して本件調査の実施に係わる協力を正式に要請し、日本政府は2003年12月に事前調査団を派遣してS/Wを締結した後、国際航業株式会社を本件調査実施のコンサルタントとして選定した。

コンサルタント調査団は2004年4月から2006年1月までの22ヶ月間にわたり、トルファン盆地を対象に実施してきた。この最終報告書草案は、2004年5月～2005年10月に行われた第1次及び第2次現地調査の結果とその後の国内作業によりとりまとめたものである。

1.2 調査の目的及び調査対象地域

1.2.1 上位目標

トルファン盆地の限られた水資源が持続的に利用される。

1.2.2 プロジェクトの目標

- 1) トルファン盆地の水資源状況を把握し、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）を策定する。
- 2) 関係機関に対し、地下水調査及び水資源開発利用・管理計画の策定に関する技術移転及び職員・技術者の能力開発を行う。

1.2.3 調査対象地域

中華人民共和國新疆ウイグル自治区トルファン盆地のうち、概ね 25,000 km² を対象とした（調査位置図参照）。

1.3 調査期間と項目

調査期間は 2004 年 4 月から 2006 年 3 月までの 24 ヶ月間である。調査項目は、フェーズ I から III までの 3 段階に区分され、各フェーズに於いて、以下の調査を実施した。また、調査の流れを図 1.3.1 に示す。

フェーズ	期間	調査項目
I	2004年4月～12月	A. 国内準備作業 A1 既存資料の収集・分析 A2 調査の基本方針・内容の検討 A3 シンセプション・レポートの作成 B. 第一次現地調査 B1 インセプション・レポートの説明・協議 B2 既存資料、情報の収集・分析による現状の把握 B3 水利用実態調査 B4 流量観測 B5 水質分析 B6 生態環境調査 B7 社会・経済状況調査
II	2004年6月～2005年3月	B8 物理探査 B9 試掘調査 B10 揚水試験 B11 地下水モニタリング B12 水文地質解析 B13 .GISデータベース作成 B14 地下水シミュレーションモデルの作成・解析 B15 水文解析 B16 水資源量の評価および開発可能量の解析 B17 初期環境影響評価(IEE)支援 B18 Webサイト作成 B19 プロダクト・レポートの作成提出
III	2005年4月～2006年3月	C. 第一次国内調査 C1 水資源開発利用・管理の課題の抽出 D. 第二次現地調査 D1 社会・経済フレームの設定 D2 水需要予測・需給バランス検討 D3 水資源開発利用・管理の基本政策と戦略の策定 D4 水資源開発利用・管理基本計画の策定 D5 インテリム・レポートの作成・提出 D6 概算事業費の積算 D7 事業評価 D8 実施計画の策定 D9 緊急地域、優先プロジェクトの選定 D10 技術移転ワークショップ・トレーニング・セミナーの開催 D11 ドラフトファイル・レポートの作成・提出及び説明・協議 E. 最終国内作業 E1 ファイル・レポートの作成・提出

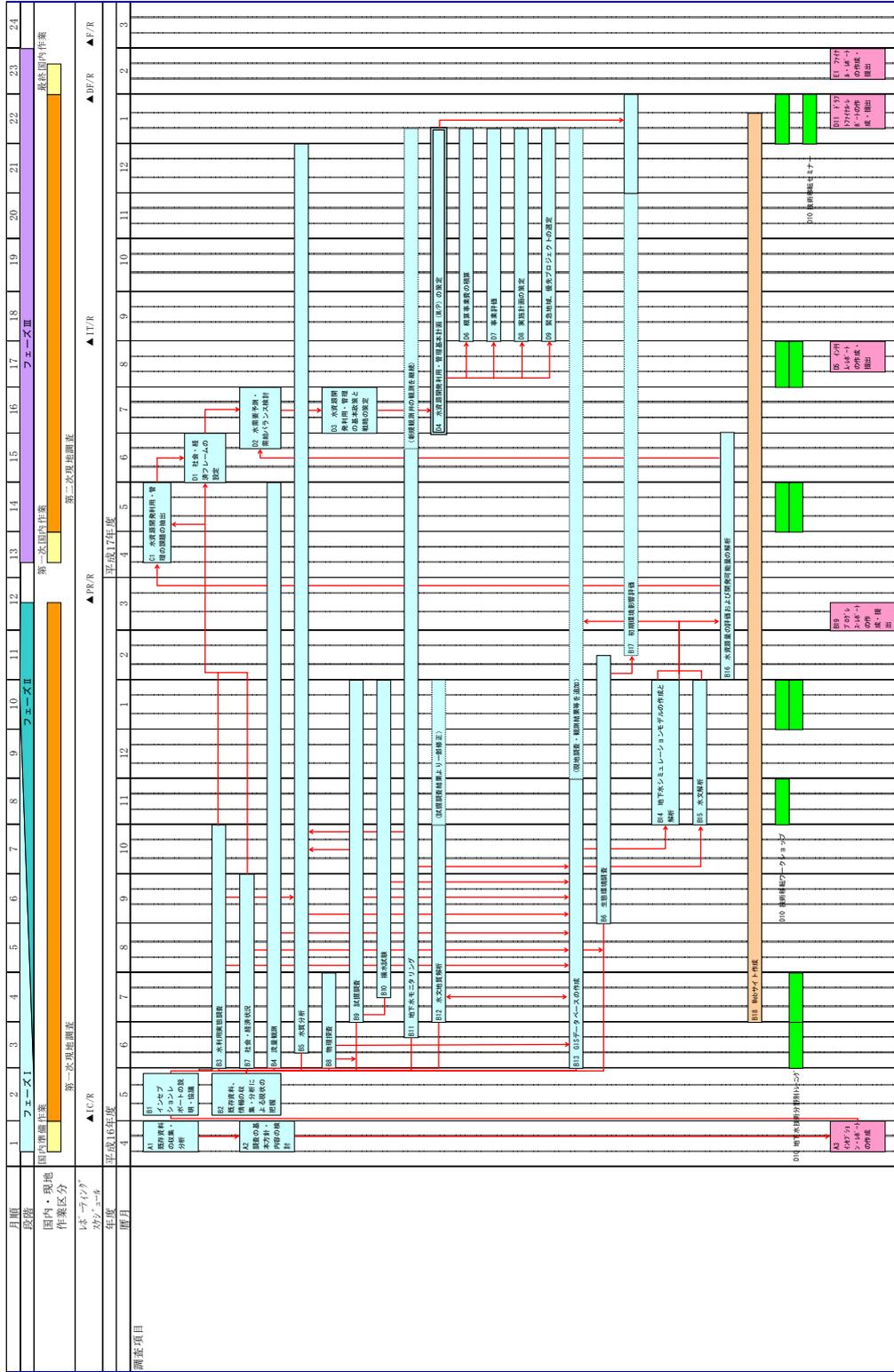


図 1.3.1 フローチャート

1.4 調査組織

1.4.1 日本側調査団

日本側調査団は、以下の8名の調査団員と1名の業務調整団員からなる。

担 当	氏 名	所 属
総括／水資源管理計画	鎌田 烈	国際航業（株）
水理地質／地下水開発計画	柴崎 直明	国立大学法人 福島大学
水文／水質／水利用／GISDB	雷 沛豊	国際航業（株）
水理地質／地下水開発計画（2）	木原 茂樹	国際航業（株）
施設計画／積算	藤田 洋	国際航業（株）
試掘調査・物理探査	高見 明	三井金属資源開発（株）
農業・灌漑計画	加茂 元	日本工営（株）
社会・経済	森尾 康治	日本工営（株）
環境／業務調整（2）	加藤 智弘	国際航業（株）
業務調整（1）	木原 茂樹	国際航業（株）

1.4.2 中国側の実施体制

中国側実施機関は新疆ウイグル自治区水利庁であり、新疆ウイグル自治区水文水資源局およびトルファン地区水利局が執行の責任を負い、トルファン地区および関係機関に対する便宜供与、連絡調整等を行った。また、中国側は調査を円滑に実施するため新疆ウイグル自治区水利庁総工師を中心としたステアリングコミッティーを設置した。調査の実施に当たっては、中国側は日本側の本格調査団員に対しカウンターパートを次に示すように配置している。日本側は、中国側カウンターパートと共同で調査の実施およびOJTに当たった。

担 当	氏 名	資 格
水資源計画	邓 铭江	教授級高級工師
水文水資源	王 志杰	教授級高級工師
農業水利	黄 志忠	トルファン地区行署副専門員
農業水利	曹 培武	トルファン地区水利局局長
水文地質	董 新光	教授級高級工師
環境評価	邓 贵忠	高級工師
設計・積算	隗 经斌	高級工師
水文地質	王 東亮	高級工師
水文水資源	吴 超存	高級工師
水文水資源	尤 达平	高級工師

1.5 謝辞

本調査の実施にあたり、新疆ウイグル自治区水利庁、水文水資源局、トルファン地区水利局並びに関係機関からご協力を頂いた。また、本調査ステアリングコミッティー顧問の中国國務院参事 王秉忱教授には調査全般を通じてご指導ご助言を頂いた。ここに記して深く感謝する。

2. 調査地域の概要

2 調査地域の概要

2.1 自然条件

2.1.1 地理と地形

トルファン地区は新疆ウイグル自治区東部に位置し、東側はハミ地区、南西側は巴音郭楞モンゴル自治州、北側は天山山脈を隔ててウルムチと昌吉回族自治区に接している。地理的位置は、東経 87° 16' - 91° 55'、北緯 41° 12' - 43° 40' の範囲にあり、南北約 240 km、東西約 300 km、総面積が 69,713 km² で、新疆ウイグル自治区総面積の約 4.1 % を占める。

地形は、山地と平原（ゴビ、砂漠、オアシス）に大別される（表 2.1.1）。

表 2.1.1 トルファン地区地形別面積

区分	山地	平原地域			合計
		ゴビ	砂漠	オアシス	
面積(km ²)	9,850	49,620	3,870	6,373	69,713
割合(%)	14.13 %	71.18 %	5.55 %	9.14 %	100.00 %

トルファン盆地は周辺が山地により囲まれ中央部が低い閉鎖式盆地である。盆地の北部と西部は天山山脈の主軸となる博格達山地と繋がり、山地の最高点標高は海拔 5,445 m である。トルファン地区の地形は、北西部が高く（海拔 3,500-4,000 m）、南東部が低い（海拔 600-2,500 m）。南部の却勒塔格山の最高点は海拔 2,591 m である。また、中部にある艾丁湖は盆地の最低点であるとともに中国の最低点でもあり、その海拔標高は-154 m である。盆地内には、西遊記で有名な火焰山と塩山が東西方向に延びて発達している。火焰山の最高点は 851 m、山地全体の標高は 300~600 m で、盆地を南と北に分けている。このように、トルファン盆地は北の博格達山、南の却勒塔格山、中部の火焰山の 3 山と北盆地と南盆地の 2 盆地からなる（図 2.1.1）

地形をみると、火焰山北部地域（北盆地）は天山水系により形成された礫質沖積平原であり、標高は海拔 1,200~300 m で、北から南へ 0.8~2 % の勾配で降下する。火焰山南部地域（南盆地）は火焰山水系により形成された沖積平原である。南盆地の大部分は、海拔標高がマイナスであり、地形勾配は火焰山周辺の 2 % ぐらいから中部では 1 % 前後となり、艾丁湖周辺では 0.4 % を示しやや緩やかになる。盆地内の標高差は、1,400 m にも達する。

2.1.2 地質

北部及び西部の天山山脈には主に石炭紀の地層が分布している。西部山地にはジュラ紀層が比較的広い範囲に分布している。天山山脈の山麓部には古第三紀層と新第三紀層が分布している。また、第三系には塩基性岩類を中心とした貫入岩が点在し、一部には花崗岩の貫入岩も認められる。

盆地中央を東西に走る火焰山では、南側から北側に向かってジュラ紀、白亜紀、古第三紀、新第三紀の順に地層が露出している。シャンシャン県南部にはクムタク砂漠が発達している。クムタク砂漠の基盤は主にジュラ紀~古第三紀層からなるものと推定され、一部に基盤岩が露出している。

盆地内平原部では、北部及び南部山地の山裾に氷河堆積物が分布する。また、北盆地

の大部分と南盆地西部は礫質堆積物からなる沖積～洪積層が、南盆地のオアシス帯には中粒～細粒土からなる沖積堆積物が分布する。盆地最低部の艾丁湖周辺は湖成堆積物が分布し、堆積物は主にシルトや粘土層からなる。

2.1.3 気象

トルファン盆地は典型的な大陸性温暖帯早魃砂漠気候である。盆地内の平均降雨量は16.6 mm/year、最大降雨量は48.4 mm（1958年）、最小降雨量は2.9 mm（1968年）であった。また平均蒸発量は2,845 mm/yearである。山地及び盆地全体の降雨量分布を図2.1.2に示す。気候上の特徴として、明らかな四季、暑い夏、寒い冬があり、春季の気温上昇と秋季の気温降下が速い。相対湿度は40～43%を示し、極めて乾燥している。それに加えて、熱量、日射量、日温度差も大きい(表2.1.2～表2.1.5)。

平均気温は13.3～13.9℃で、記録された最高、最低気温はそれぞれ49.6と-29.9℃である。地面直射最高気温は76.6℃、砂丘表面実測最高気温が82.3℃であった。夏期の日最高気温で分類すると暑い日(>30℃)108～161日、酷熱日(>35℃)44～121日、極熱日(>40℃)2～29日である。このためトルファン地区は“火洲”と呼ばれている。トルファン地区では風が強く、年平均8級(7級以上は台風)の風は年に31回、最大風速が40m/秒に達することもあり、“風庫”とも呼ばれている。

表 2.1.2 トルファン地区気象因子統計表

	気温(℃)		降水量 (mm)			蒸発量(mm)		日照時間	最高地表温度
	平均	極端	平均	最小	最大	平均	最大	平均	
トルファン	13.9	49.6	16.4	2.9	48.4	2838	3608	3049	76.6
シャンシャン	11.3	44.8	25.2	10.7	--	2727	3038	3112	--
トクソン	13.8	48	6.9	1.9	--	3723	4107	3054	75.8

表 2.1.3 1985-1995年10年間主要気象要素平均値(トクソン)

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
気温 °C	-7.1	0.06	8.9	18.8	25.02	30.5	31.8	29.07	22.4	12.9	2.4	-5.5
蒸発量 mm	21.6	65.5	191	339	441	469	463	365	257	150	64.4	21.5
降水 mm	0.5	0.05	0.71	0.11	2.07	1.65	3.27	1.37	1.21	1.52	0.05	0.45

表 2.1.4 1985-1995年10年間主要気象要素平均値(シャンシャン北盆地)

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
気温 °C	-13.2	-2.7	6	14.9	23.4	27.5	29.5	27.6	21.3	11.4	1.5	-8.6
蒸発量 mm	23.9	52.5	154	280	392	433	444	381	256	148	62	25
降水 mm	1.3	0.5	0.7	1.9	1.7	3.9	5.2	4.1	3.3	1.6	0.7	0.8

表 2.1.5 1985-1995年10年間主要気象要素平均値(シャンシャン南盆地)

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
気温 °C	-8.8	0.4	9	17.9	26.3	29.6	32.1	29.8	23.7	13.6	4	-6.9
蒸発量 mm	19.9	51.1	163	298	411	470	482	390	247	130	51	19
降水 mm	1.1	0.2	1.4	0.3	0.7	3.4	2.3	2.6	1.3	1.2	0.6	1

2.1.4 河川とカナート

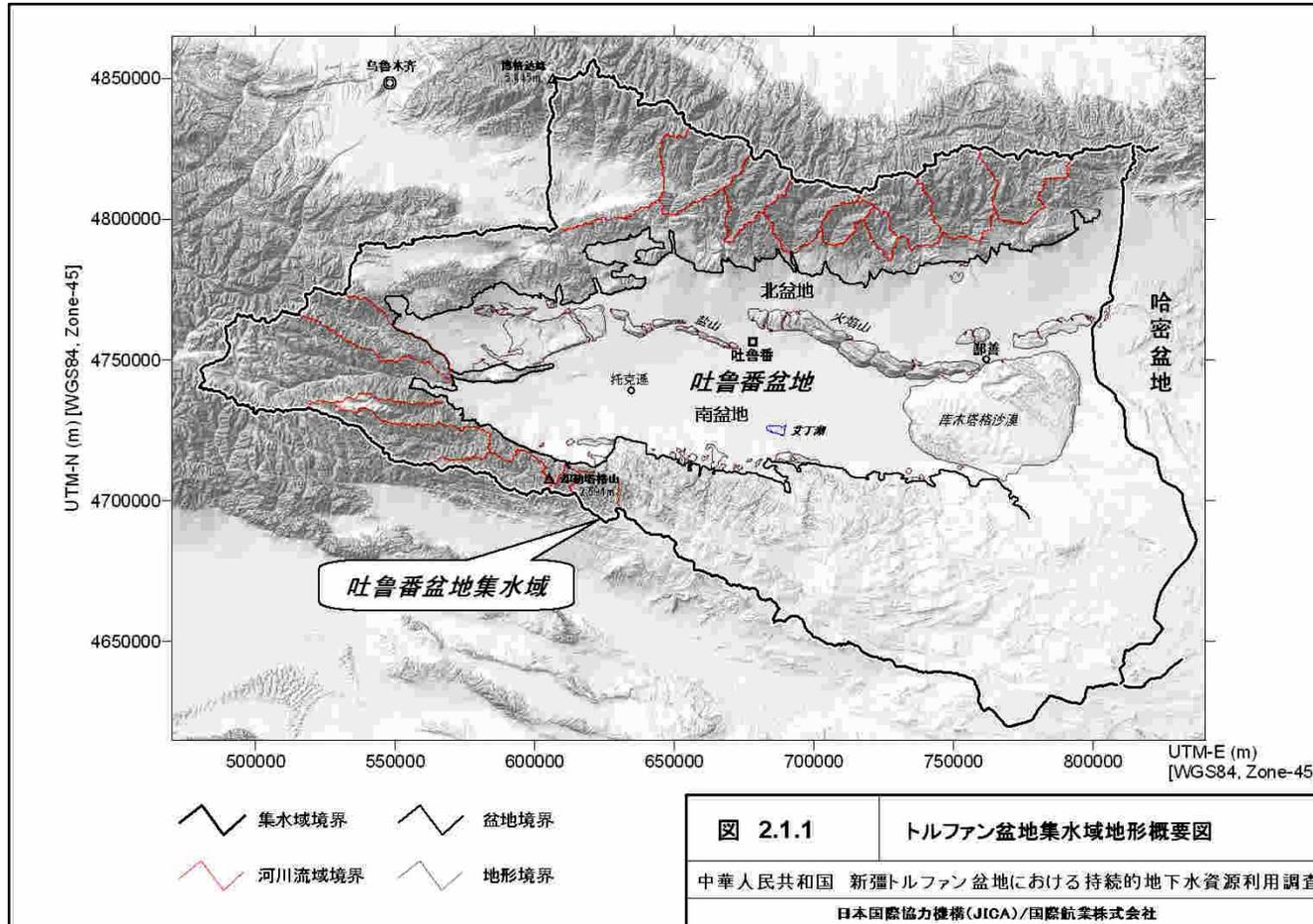
トルファン地区には、北部の博格達山地と西部のカラニョチュン山地からもたらされる14本の河川が流れ込んでいる。山地の年降水量は山腹で100～500 mm、さらに高所では800～900 mmに達し、頂上周辺の万年雪(氷河)が天然の貯水池の役割を担っている。これら、河川の位置は図2.1.3に示す。流水は比較的豊富であり、夏季には降雨と融雪により洪水が起こる。また、年流量の50～80%がこの時期に流出し、冬季の流量は非常に少ない。カラニョチュン山からは艾丁湖に直接流れ込む阿拉溝河が流れ、博格達山地からは残り13本の河川が流れ出ている。阿拉溝河流域は本地域で最大の集水域を持つ。年平均流量は盆地へ西側から流入する阿拉溝河と、北側から流入する白楊河がそれぞれ12,900万 m^3 と14,500万 m^3 で、14本全部の年間流量合計は91,710万 m^3 に達している。しかし、これらの河川からの流水は、3箇所建設されたダムにより貯水された後、水路により盆地内に導水され、農業用水として利用されている。天山山地山麓部では、流水はほとんどが地下に浸透し地下水となって火焰山北側一帯に分布する泉となって湧出する。

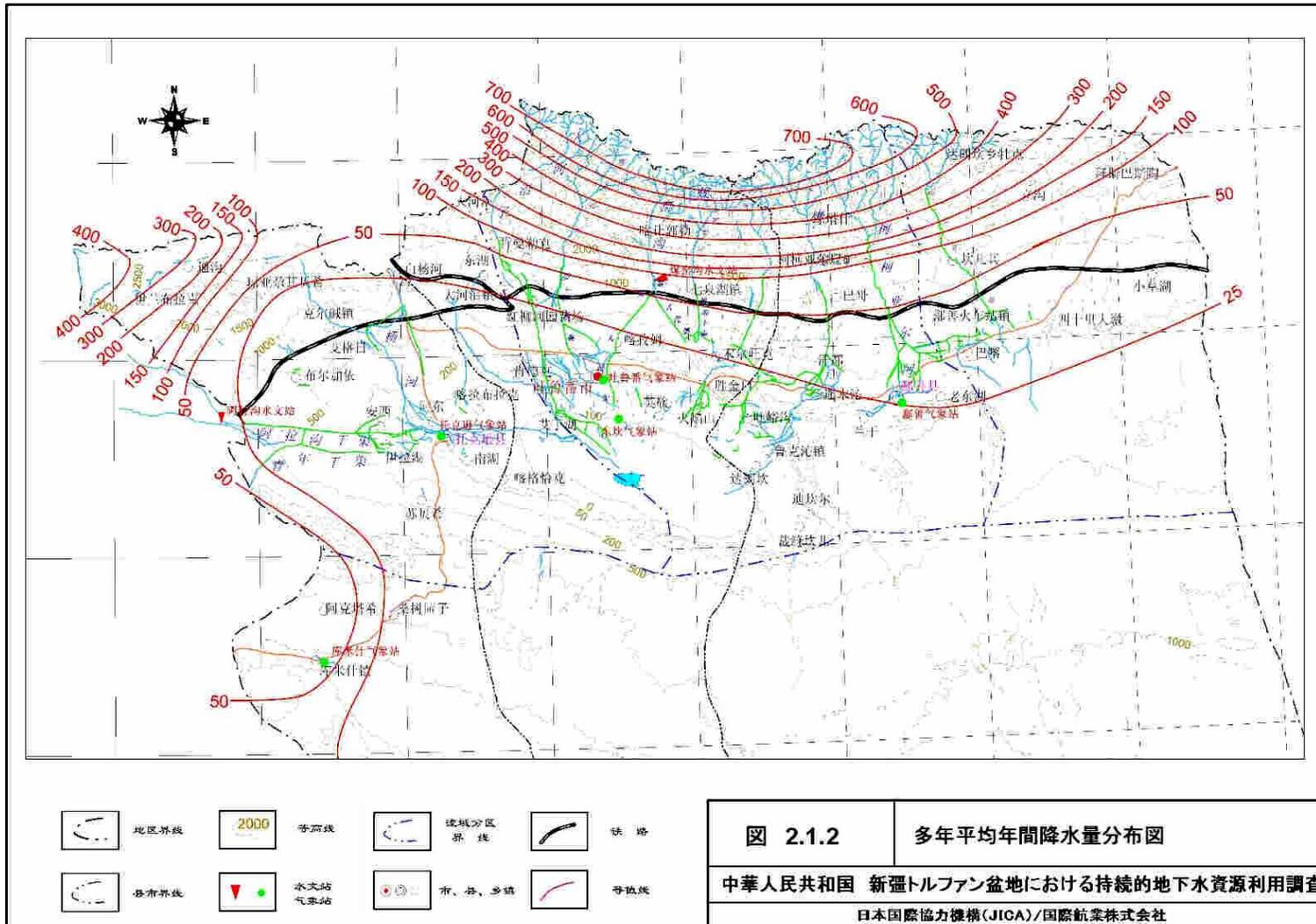
また、この地域の特徴として山麓部から平原部にかけて横穴式暗渠のカナートが掘削されており、歴史的にトルファン盆地の生活用水や農業用水として利用されてきた。しかし、1960年代から地下水位低下のため流出量の減少や枯渇が発生し、かつては1,400本以上もあったカナートが現在は400本あまりにまで減少している。

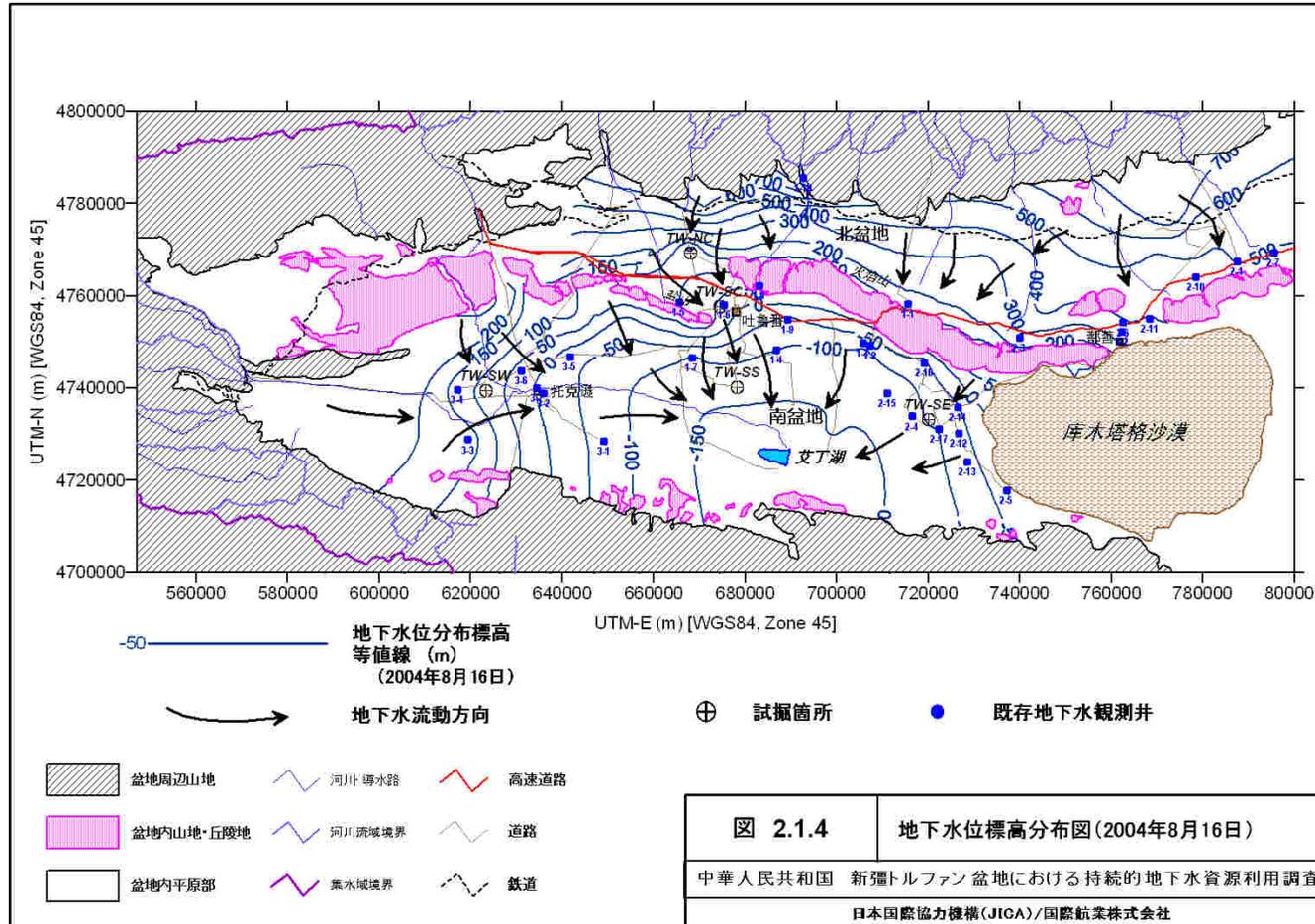
2.1.5 水理地質と地下水

トルファン地区では山地を構成する古生代～第三紀の地層・岩石は不透水性の水理地質基盤をなすものと考えられる。周辺山地からの流水は山麓部で地下に浸透し、北盆地と南盆地それぞれに於いて、第四紀層を帯水層とする地下水盆を構成している。盆地内の地下水は、図2.1.4に示すように、北盆地から南盆地へ、また南盆地では西から東へと流動している。火焰山を構成する岩石は泥質岩類であるため、これが地下水の流動を規制して地下水を北盆地内に貯留させる“天然の地下ダム”の役割を果たしていると考えられている。

1965年頃から、農業用水需要の増大と地表水資源の季節的変動に対応するため、トルファン盆地では井戸の建設が進められ、現在の井戸総数は5,000本以上にも達している。また、地下水利用量の約7割は、農業用水が占めていると推定されている。このほか、トルファン盆地では、近年石油生産において低下した油圧を高めるために揚水した地下水を地下深部に注入することが行われており、石油生産用の地下水利用量も増加している。







2.2 社会経済条件

2.2.1 行政区画

トルファン地区は、西から東へ順に、トクソン県、トルファン市、シャンシャン県（1市2県）で構成されている。

各市県の下部に、街道弁事処（市）、郷・鎮（市ならびに県）が位置し、街道弁事処は複数の社区、鎮は複数の社区・村、郷は複数の村から構成されている。鎮・郷・村には、それぞれ鎮政府・郷政府・村民委員会が存在する。その他、トルファン市には兵団（名称 221 兵団）が1つ存在する。各々の行政単位数は、下表のとおりである。

表 2.2.1 トルファン地区の行政区分

市・県	街道弁事処	郷・鎮				社区	村
		鎮	郷	民族郷	計		
トクソン県（托克逊）	0	3	4	0	7	8	45
トルファン市（吐魯番）	2	2	7	0	9	18	92
シャンシャン県（鄯善）	1	5	4	1	10	10	83
計	3	10	15	1	26	36	220

出典：トルファン地区行政（トルファン地区統計局）

2.2.2 人口

a. 人口規模

2003年におけるトルファン地区の人口は約57万人で、新疆ウイグル自治区全体の3.0%を占めている。また、同地区人口が中国全土に占める比率は0.04%である。

表 2.2.2 トルファン地区の人口規模

地域	総人口(万人)	対総人口比 (%)	対自治区人口比 (%)
中国全土	128,698	100.00	6654.7
新疆ウイグル自治区	1,934	1.50	100.0
吐魯番地区	57	0.04	3.0

出典：トルファン地区行政（トルファン地区統計局）

現在、トルファン地区1市2県の総人口は571,711人、総世帯数は159,535世帯、平均世帯規模は、 $(571,711 / 159,535) = 3.58$ 人/世帯である。また、2002-2003年の人口増加率は、0.86%となっている。2003年の人口を市県別にみると、トルファン市が全体の44.6%を占め最も多く、次いで、シャンシャン県（36.6%）、トクソン県（18.9%）と続く。

表 2.2.3 面積および人口密度(2003年)

	人口(人)	面積(km ²)	人口密度(人/km ²)
トクソン県	107,768	15,660	6.9
トルファン市	254,900	15,738	16.2
シャンシャン県	209,043	38,315	5.5
計	571,711	69,713	8.2

出典：トルファン統計年鑑（トルファン地区統計局）

b. 民族構成

トルファン地区の住民は、下表に示すとおり、10を超える多様な民族から成っている。2003年現在、ウイグル族が最も多く、全体の69.9%を占めている。次いで、漢民族(23.3%)、回族(6.5%)の順に多い。これら上位3民族が全体の99.7%を占めており、その他の民族は実数の上で極めて小さい存在に過ぎない。また、漢民族以外の少数民族の総人口に占める割合は、76.7%である。

表 2.2.4 民族構成(2003年)

	ウイグル	漢	カザフ	回	モンゴル	シボ	オロス	満州	ウズベク	その他	計
トクソン県	82,751	17,245	178	7,508	10	0	0	28	0	48	107,768
トルファン市	180,474	54,211	27	19,341	82	26	48	162	8	521	254,900
シャンシャン県	136,594	61,603	36	10,352	56	2	19	142	3	236	209,043
計	399,819	133,059	241	37,201	148	28	67	332	11	805	571,711
(%)	69.9%	23.3%	0.0%	6.5%	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	0.0%	0.1%	100.0%

出典：トルファン統計年鑑（トルファン地区統計局）

c. 男女別人口・都市人口・農業人口

トルファン地区の男女別人口、都市人口、農業人口は下表に示すとおりである。2003年現在、トルファン地区の性比に占める男性の割合は50.77%、都市人口比率は39.36%、農業人口は73.37%である。ただし、都市人口は鎮人口、農村人口は郷人口と見なした。

表 2.2.5 男女別人口・都市人口・農業人口(2003年)

	男	女	都市	農村	農業	非農業	総人口
トクソン県	54,886	52,882	20,745	87,023	81,516	26,252	107,768
トルファン市	129,384	125,516	71,767	183,133	177,375	77,525	254,900
シャンシャン県	106,009	103,034	132,542	76,501	160,598	48,445	209,043
計	290,279	281,432	225,054	346,657	419,489	152,222	571,711
(%)	50.77	49.23	39.36	60.64	73.37	26.63	100.00

出典：トルファン統計年鑑（トルファン地区統計局）

2.2.3 経 済

a. 経済規模

トルファン地区の位置する新疆ウイグル自治区の総生産額（2003年）は、約1,875億元で、中国全土の1.6%を占めている。その中でトルファン地区の総生産額は約83.4億元であり、新疆ウイグル自治区全体の4.0%を占めている。これは、新疆ウイグル自治区内の15地区・自治州の中で第9位の規模である。

トルファン地区の1人当たりの平均総生産額は約14,652元（2003年）で、中国全土の同平均総生産額（9,030元）、新疆ウイグル自治区の同平均総生産額（9,700元）を大きく上回っている。また、この数値は新疆ウイグル自治区内の15地区・自治州の中で、乌鲁木齐市、克拉玛依（カラマイ）市、巴音郭楞（バーインゴロ）蒙古自治州に続き、第4位の位置にある。

b. 過去の経済成長

トルファン地区における過去の経済成長を、主要経済指標にしたがって5カ年計画期間毎にみると、下表のとおりとなる。1980年代以降、全体的に、ほぼ一貫して経済成長が続いており、今後もしばらくはこの傾向が続くものと予想される。なお、最近年の「九五」時代に於いては、耕地面積、穀物生産、綿花生産がいずれもマイナス成長を示した。一方、瓜類生産は著しい成長を示しており、注目に値する。

表 2.2.6 トルファン地区の過去の経済成長(%)

指標	「六五」時代 1981-1985	「七五」時代 1986-1990	八五時代 1991-1995	「九五」時代 1996-2000
地区総生産額	9.6	12.1	16.5	6.9
農業総生産額	5.0	11.6	8.7	5.2
工業総生産額	16.7	19.3	19.8	6.9
財政収入	14.8	24.5	16.0	19.1
農民平均純収入	21.6	18.4	14.2	7.2
非農民平均給与	10.8	14.3	24.1	13.4
人口	1.5	1.9	2.1	1.0
耕地面積	-1.3	-0.3	0.2	-7.4
穀物生産	-7.7	9.7	5.4	-0.3
葡萄生産	9.9	31.1	13.0	8.1
瓜類生産	12.6	6.1	-14.6	42.7
綿花生産	5.5	14.6	9.1	-9.8
消費財小売総額	18.1	14.3	14.8	2.4

出典：トルファン地区行政（トルファン地区統計局）

c. 近年の経済状況

1970年代まで、トルファン地区は、農業ならびに農業産品加工業を中心としたオアシス経済パターンを維持してきた。その後、1980年代に工業が伸び、現在は、石油・天然ガス・原炭・化学・硫化鉄鉱・食品・紡績・皮革・建築資材等多様な分野を含む工業体系が形成されている。

2003年現在の地区総生産額は、85億9,698万元であり、そのうち農業関係（サービス業含む）が16億3,699万元（19.0%）、工業関係（サービス業を含む）が68億7,183万円（79.9%）となっている。2000年から2002年までの各年における総生産額増加率は、

それぞれ 19.1 %、3.2 %、16.9 %であった。

d. 農 業

トルファン地区では、第1次産業として、主に、作物栽培業・畜産業が行われている。林業・漁業もわずかながら存在する。2003年における農業総生産額は、16億3,699万元であり、前年比で17.6%の伸びとなっている（2002年：13億9,163万元）。

下表より、1990年には、農産品生産総額の12.9%しか占めていなかった畜産が、その後一貫して伸び続け、2003年には22.4%を占めるまでに成長していることがわかる。逆に、作物栽培は、同期間に、85.8%から74.1%へと後退している。つまり、近年、作物栽培に対する畜産の位置づけが相対的に大きくなる傾向が続いている。

表 2.2.7 農業生産額分野別構成比推移(%)

年	総生産額	作物栽培	畜産	林業	漁業	サービス業
1990	100.0	85.8	12.9	1.3	0.1	
1995	100.0	85.1	14.3	0.5	0.2	
2000	100.0	83.9	15.7	0.3	0.2	
2001	100.0	81.4	18.0	0.4	0.2	
2002	100.0	77.7	20.5	1.6	0.2	
2003	100.0	74.1	22.4	1.3	0.1	2.1

出典：トルファン統計年鑑（トルファン地区統計局）

しかし、作物栽培生産額が減少しているわけではない。下表のとおり、作物栽培生産額は、近年引き続き増加の傾向を示している。

表 2.2.8 分野別農業生産額推移(万元)

年	総生産額	作物栽培	畜産	林業	漁業	サービス業
1990	45,935.0	39,400.5	5,904.2	611.7	18.6	
1995	112,086.3	95,352.1	15,990.9	532.7	210.7	
2000	130,960.2	109,805.6	20,521.8	434.4	198.4	
2001	135,849.4	110,631.7	24,414.2	566.7	236.8	
2002	139,163.0	108,154.0	28,484.3	2,277.1	247.6	
2003	163,698.8	121,316.5	36,670.5	2,113.0	209.6	3,389.2

出典：トルファン統計年鑑（トルファン地区統計局）

2003年における主要産品別生産額は、下表のとおりである。

表 2.2.9 農林水畜産品別生産額(2003年 - 単位:万元)

項目	トクソン	トルファン	シャンシャン	計
農林水畜産業総生産額	33,123.2	69,642.9	60,932.8	163,698.9
1. 作物栽培総生産額	20,409.0	53,916.8	46,990.8	121,316.6
(1) 穀物	5,253.4	3,220.3	2,481.0	10,954.7
1) 小麦	2,463.4	962.4	1,030.0	4,455.7
2) コウリヤン	1,804.5	1,102.2	893.3	3,800.0
(2) 綿花	7,096.4	6,459.6	4,754.5	18,310.4
(3) 植物油脂作物	289.7	43.5		333.1
(4) 野菜	1,652.4	4,673.9	2,250.0	8,576.3
(5) 瓜類	952.2	3,719.9	7,716.0	12,388.1
(6) 孜然(香辛料の類)	2,526.4	1,945.6	16.8	4,488.8
(7) 桑・果物	2,062.7	33,500.7	29,590.5	65,153.9
葡萄	1,518.4	33,402.7	29,479.1	64,400.3
その他	544.3	98.0	111.4	753.7
(8) その他作物	576.0	353.4	182.0	1,111.4
2. 畜産業総生産額	11,170.7	13,173.5	12,326.3	36,670.5
(1) 家畜	10,774.4	12,939.2	11,287.4	35,001.0
1) 牛	3,562.0	720.0	1,695.6	5,977.6
2) 羊	5,311.3	10,220.0	8,194.0	23,725.3
3) その他食用家畜	90.5	225.0	748.0	1,063.5
4) 乳製品	1,202.5	1,052.5	305.0	2,560.0
5) 毛織物	608.1	721.8	344.8	1,674.6
(2) 豚	58.0	85.0	241.9	384.9
(3) 家禽	299.3	119.9	737.0	1,156.2
(4) その他家畜およびその産品	39.0	29.4	60.0	128.4
3. 林業総生産額	399.7	920.5	792.8	2,113.0
(1) 材木(人工林)	365.4	892.5	709.7	1,967.7
(2) 木工製品		10.0	75.0	85.0
(3) 材木(村以下レベル)	34.3	18.0	8.1	60.3
4. 漁業総生産額	40.8	151.9	16.9	209.6
5. 農林水畜産業サービス総生産額	1,103.0	1,480.2	806.0	3,389.2
(1) 農業サービス業	859.0	1,388.2	756.0	3,003.2
(2) 畜産サービス業	240.0	92.0	50.0	382.0
(3) 林業サービス業	2.0			2.0
(4) 漁業サービス業	2.0			2.0

出典：トルファン統計年鑑（トルファン地区統計局）

e. 工業

近年におけるトルファン地区の工業は、石油・鉱山開発を主翼とし、化学工業、ならびに農産物加工を両翼とする形態をとっている。2003年における工業総生産額は、68億7,183万元であり、前年比で19.2%の伸びとなっている（2002年：57億6,413万元）。

郷以上の自治体について、軽工業と重工業の割合をみると、軽工業4億3,156.3万元（6.7%）に対し、重工業は60億3,664.9万元（93.3%）であり、重工業が地域経済上圧倒的に大きい存在となっている。しかし、生産額の上では、軽工業は近年一貫して年8～10%程度の伸びを続けている。

工業分野の主な内容は、原炭加工（161.31万トン）、原油加工（235.01万トン）、酒類（8,785トン）、缶詰（274トン）、発電（4,258万キロワット）、硫化鉄（20,288トン）、天然ガス（12億3,443万m³）、セメント（31.77万トン）、花崗岩板材（1,417,398m²）、

紡績綿糸（14,525 トン）等である（数値はいずれも 2003 年現在）。このうち、2000 年以降、一貫して伸びている分野は、硫化鉄、天然ガス、花崗岩板材、紡績綿糸である。特に、花崗岩板材は、2000 年から 2003 年の間に約 17.3 倍と驚異的な伸びを示している。

3. 水文調査

3 水文調査

3.1 調査方法

水文調査は降雨量を中心とする気象条件解析、河川流量調査、河川流量解析、洪水影響範囲解析と蒸発解析に分けられる。

3.1.1 気象資料の収集・解析

気象資料は調査地域関連の既存気象資料の中、水資源の形成及び消耗に密接な関連のある降雨量、蒸発散量、気温等を中心にして収集し、トルファンの気象条件を把握すると同時に水文解析の基礎資料とした。

3.1.2 河川流量観測

河川流量調査はさら山区河川と盆地内河川に分けられる。山区河川の流量調査は調査地域の水資源涵養区である天山山脈での降水・融雪水から形成された水資源が河川表流水としてトルファン盆地内へ流入する量を把握することを目的とする。流量調査は、調査地域の北部と西部に位置する 14 本の通年河川を対象に、豊水期と渇水期 2 回実施した。流量観測地点は既存観測所のある河川では、既存観測地点、観測所のない河川では山地と扇状地の境界部分にした。

盆地内河川流量調査も豊水期と渇水期に分け 2 回実施した。トルファン盆地内には天然河川が少なく、地表水の輸送に水路が多く建設されている。従って、調査対象は河川だけでなく、水路をも含めた。一回目の調査では 6 河川及び水路を選定し、各河川・水路の上流、中流、下流の 3 地点において流量を測定し、流量の増減から各測定区間での地下浸透量を把握することを目的とした。

調査地域では、既存水文観測所の数が少なく、地表水流量が正確に把握しにくいいため、新規水文観測所を 1 ヶ所建設し、連続流量観測ができるようにした。

3.1.3 河川流量解析

盆地内外水文観測所の観測結果を収集整理し、中国「地表水資源調査及び統計分析技術細則」、「全国洪水災害防止計画降雨区分技術細則」、「全国水資源総合計画技術細則」等関連基準や規定に従って、流量時系列の補完・延長等の処理をした上、調査地域の流出高等値線図を作成し、14 本の主要河川について過去 10 年間の流量変動を求めた。

3.1.4 洪水影響範囲解析

既存洪水関連資料を収集した上、現地踏査や訪問調査を実施し、従来の洪水発生・被害状況を把握し、洪水の特徴による分類、地域による特徴の変化を検討して、洪水影響域分布図を作成した。

3.1.5 盆地内蒸発消耗量解析

トルファン盆地内外の蒸発量関連観測・実験結果を収集し、それと気象・河川流量解析の結果を元にして、トルファン盆地内の蒸発能等値線分布図を作成した。さらに、トルファン地区の蒸発分布の地域別特徴を検討し、特にオアシス地域での蒸発量と植生・灌漑用水及び地下水位の深さ等の関係を実験結果に従って検討した。

3.2 気象資料の収集及び解析

3.2.1 基本資料及び補完

トルファン地区には気象観測所及び水文観測所を合わせて10箇所で行気象観測を実施している。そのうち、観測時系列の最も長いのはトルファン市気象観測所であり、1952年からの連続観測データがある。観測期間の最も短いのは二塘溝水文観測所で、3年間の観測資料しか保存されていない。気象水文観測所の位置は図3.2.1に示す。

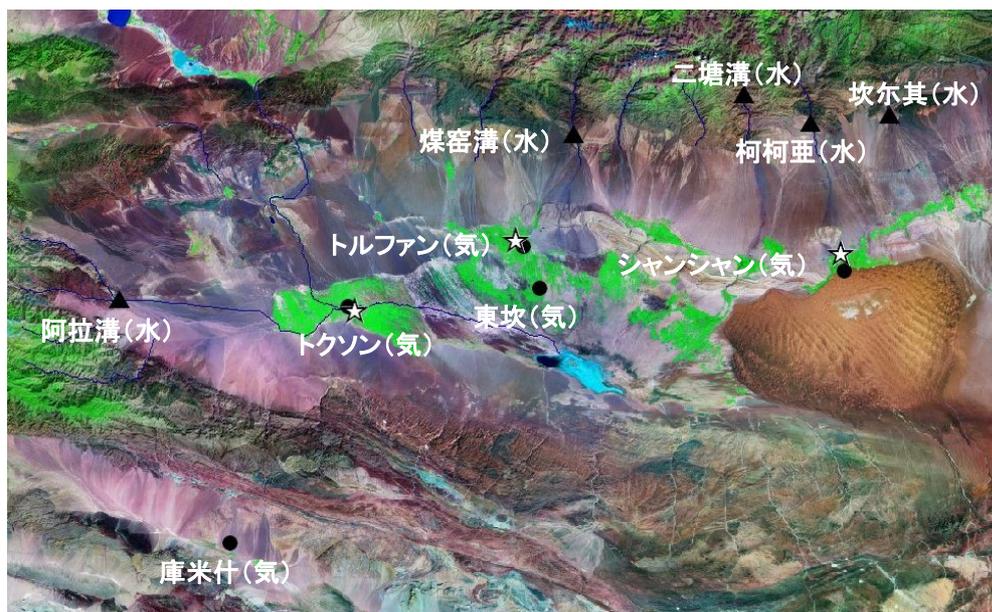


図 3.2.1 調査地域における気象・水文観測所位置図

中国水利部が1981年に制定した「地表水資源調査及び統計分析技術細則」（以下「細則」と記す）に従い、次の基準で分析計算に利用する観測所を選定した。

- 1) 観測精度が比較的高い
- 2) 観測時系列が比較的長い
- 3) 調査地域で比較的均一に分布する
- 4) できる限り地形など水文変動の特徴を反映できる。

10箇所の気象・水文観測所のうち9箇所を選定した（表3.2.1）。

表 3.2.1 選定された水文分析用観測所

観測所	座標		標高 (m)	観測期間	観測項目
	東経	北緯			
トルファン	89°12'23"	42°56'03"	35	1952~2000	降水、気温、 風速、蒸発、 湿度
シャンシャン	90°14'05"	42°51'13"	378	1956~2000	
トクソン	88°38'11"	42°48'07"	1	1959~2000	
庫米什	88°13'24"	42°14'19"	922	1959~2000	
東坎	89°15'21"	42°50'08"	-49	57~66、74~2000	
阿拉溝(水)	87°52.11'	42°48.09'	777.3	57~58、60~2000	降水、蒸発、 気温、水状況、 流量、水位、土砂
煤窑溝(水)	89°23.35'	43°10.86'	882	57~58、61~64、66~67、 71~73、78~2000	

観測所	座標		標高 (m)	観測期間	観測項目
	東経	北緯			
柯柯亜(水)	90°08.48'	43°12.49'	1,090	1981~1997	降水
五工区	89°15.30'	43°17.01'	1,708	1966~69、1972~87	

注：(水)は水文観測所である。

選定された気象・水文観測所について 1956 年から 2000 年の時系列を揃えるために、欠測の月・年の降水量を次の方法で補完・延長処理をした。

- (1) 欠測月の降水量は隣接する観測所の降水量を参考とし、両所間の相関に基づき求める。個別相関関係が低く、隣接のデータから求められない部分は長い年の平均値を入れて補完する。
- (2) 欠測年の補完は欠測月と同じく隣接する観測所の年降水量を元に、両者間の相関関係から求める。

上述の方法で補完処理した部分は合計 28 観測所年で、分析計算用観測所年全体の 8.5 %を占め、資料の連続性が比較的良いと考えられる。補完処理の結果は表 3.2.2に示す。

表 3.2.2 気象データ延長・補完の結果

観測所	相関因子	補完年	補完式	相関係数
トクソン	トルファン気象站年降	1956 年、1957 年	$Y=0.4058*X+0.9446$	0.6531
	本站 6-10 月降水量	1958 年	$Y=1.0061*X+1.4934$	0.994
庫米什	トルファン気象站年降	1956 年	$Y=14.665*X0.4773$	0.6837
東坎	本站 4-12 月降水量	1957 年	$Y=0.9904*X+2.4363$	0.9106
	トルファン気象站年降	1956 年、	$Y=0.6312*X+5.8899$	0.8179
阿拉溝河 水文観測所	本站年降水量多年均値	1956 年		
	本站 7-12 月降水量	1959 年	$Y=1.0025*X+17.42$	0.8466
煤窑溝	トルファン気象站年降	1956 年、1959-	$Y=1.4397*X+43.359$	0.7372

3.2.2 時系列代表性分析

a. 豊水年・渇水年分析

豊水年・渇水年分析のために調査地域内において地域的代表性があり、時系列が長いトルファン気象観測所とシャンシャン気象観測所を代表として選定した。

各代表観測所の降水時系列を 10 年毎に区切って、各 10 年単位の平均降水量と多年平均降水量と比較して 1950 年代から豊水期と渇水期との交替状況を検討した。その結果は表 3.2.3に示す。

表 3.2.3 代表気象観測所年降水量 10 年単位統計

		52~60 (9 年)	61~70 (10 年)	71~80 (10 年)	81~90 (10 年)	91~2000	多年平均 降水量
トルファン	10 年平均(mm)	21.0	12.6	16.2	15.9	14.5	15.9
	多年平均 との比較(%)	32.1	-20.8	1.9	0.0	-8.8	(1952~ 2000年)
シャンシャン	10 年平均(mm)		24.3	24.8	29.4	28.5	26.9
	多年平均 との比較(%)		-9.7	-7.8	9.3	5.9	(1956~ 2000年)

表 3.2.3に示しているようにトルファン気象観測所は 1950 年代と 1970 年代が豊水期、1960 年代と 1990 年代が渇水期、1980 年代が平水期にある。それに対して、シャンシャン気象観測所は 1960 年代と 1970 年代が渇水期、1980 年代と 1990 年代が豊水期にある。すなわち、同じトルファン盆地の中でも豊水期と渇水期の分布は必ずしも一致しない。

b. 年間変化分析

と図 3.2.3は代表観測所の雨量変化図である。

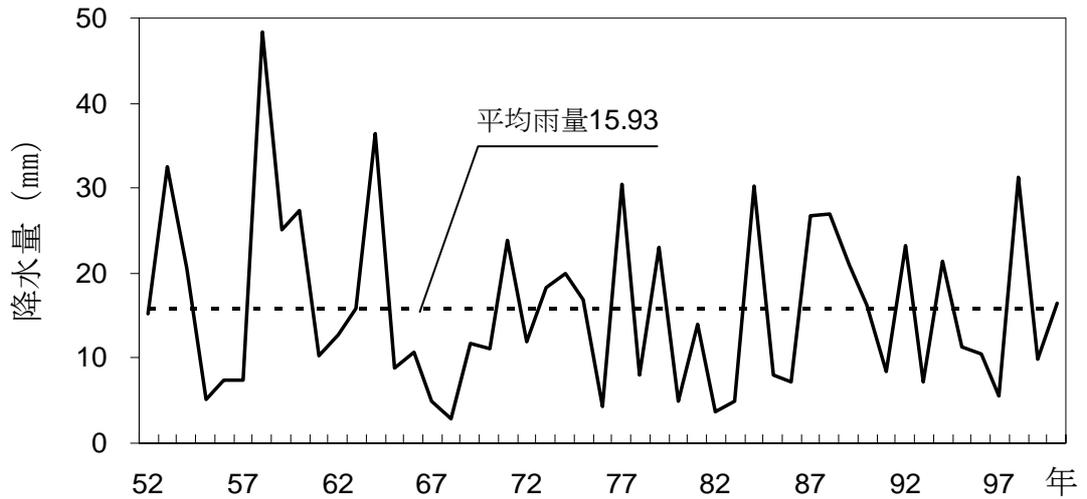


図 3.2.2 トルファン気象観測所 1952－2000 年降雨量変化

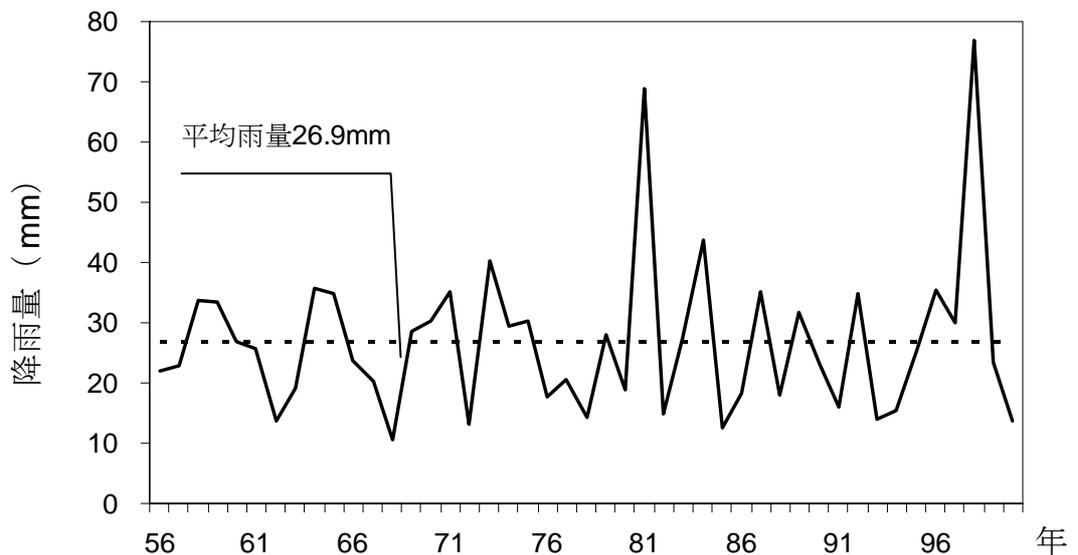


図 3.2.3 シャンシャン気象観測所 1956－2000 年降雨量変化

「細則」に従って、降雨量変動率(variability of rain)を作成し年間降水量の変動周期性を検討した。降雨量変動率はある一定期間における水文量（降水量等）と当該水文量の平均値との比として定義され、次式で表す。

$$Ki = \frac{Xi}{\bar{X}}$$

ここでは

Xi : 年間降水量 (mm)

\bar{X} : 多年平均降水量 (mm)

年間降水量の周期性変動の検討にはトルファン盆地内観測期間の長いトルファン気象観測所とシャンシャン気象観測所を代表観測所としてそれぞれの年間降水量と多年平均降水量を用いて、降雨量変動率を求め、さらに降雨量変動率の累計曲線を作成した。

曲線の縦軸は $\Sigma(Ki-1)$ で定義され、当該年降水量が多年平均降水量と同じなら ($Ki-1$) は 0 となり、曲線は上昇も降下もせず、横ばいとなる。豊水年周期に入ると、曲線が上昇傾向、渇水年周期に入ると曲線が降下傾向となる

トルファンとシャンシャン 2ヶ所の代表観測所の降雨量変動率の累計曲線は図 3.2.4 と図 3.2.5 に示している。2箇所代表観測所の観測期間が共に 45 年以上であり、その間一つ或いは一つ以上のはっきりした豊水期—渇水期の変動サイクルが含まれている。

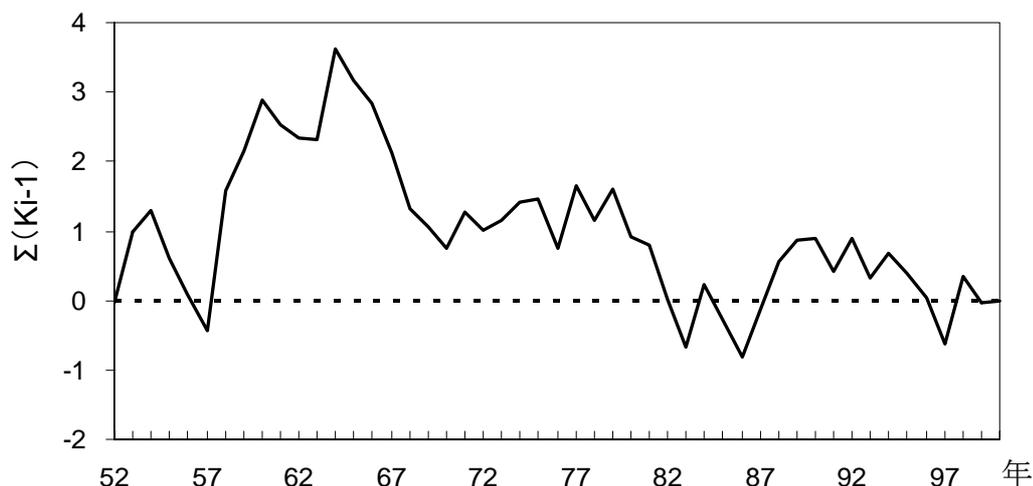


図 3.2.4 トルファン気象観測所年間降雨量降雨量変動率累計曲線

トルファン気象観測所では 1952～1954 年、1957～1964 年は曲線が上昇傾向にあり、豊水期にあることを示している。1955～1956 年、1965～1970 年は曲線が降下傾向にあり、渇水期にあることを示す。1971～2000 年の降水量は多年平均降水量を上下して変動する。

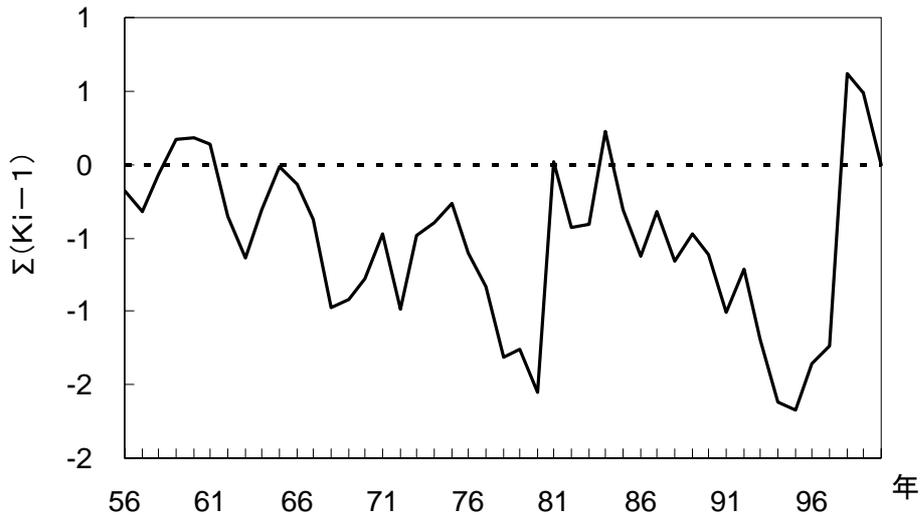


図 3.2.5 シャンシャン気象観測所年間降水量降雨量変動率累計曲線

シャンシャン気象観測所は1958～1979年、1985～1995年は基本的に渇水期の特徴が見られているが、その間でも豊—渇水期交替の2次サイクルが含まれている。1980～1984年、1995～1998年は豊水期である。

図 3.2.4と図 3.2.5を比較すると、トルファン気象観測所よりシャンシャン気象観測所の降水量時系列変動は大きいことが分かる。

c. 安定性分析

降水時系列の平均値は時系列の長さに伴って安定になる。そして、代表観測所の年間降水量が安定になるまでの期間を求めるためには両所の変動係数の累計曲線を作成し、2000年から逆時間順序で安定になる過程を分析した。両所の変動係数の累計曲線はそれぞれ図 3.2.6と図 3.2.7に示す。

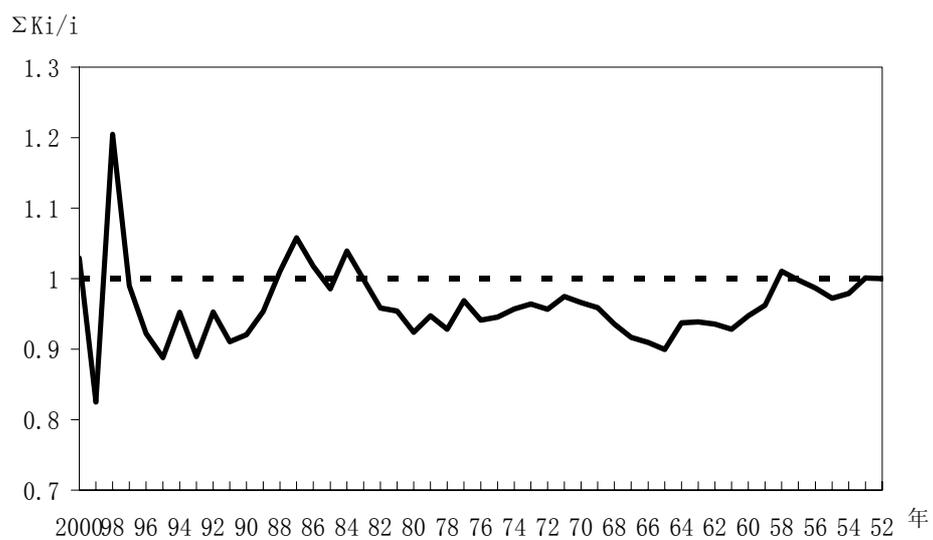


図 3.2.6 トルファン気象観測所降水量変動係数累計平均曲線

図 3.2.6に示されたように、 $\pm 5\%$ の誤差レベルでは曲線は 1959 年まで伸ばす必要がある。すなわちトルファン気象観測所では降水量多年平均値が安定になるのは 41 年間かかる。

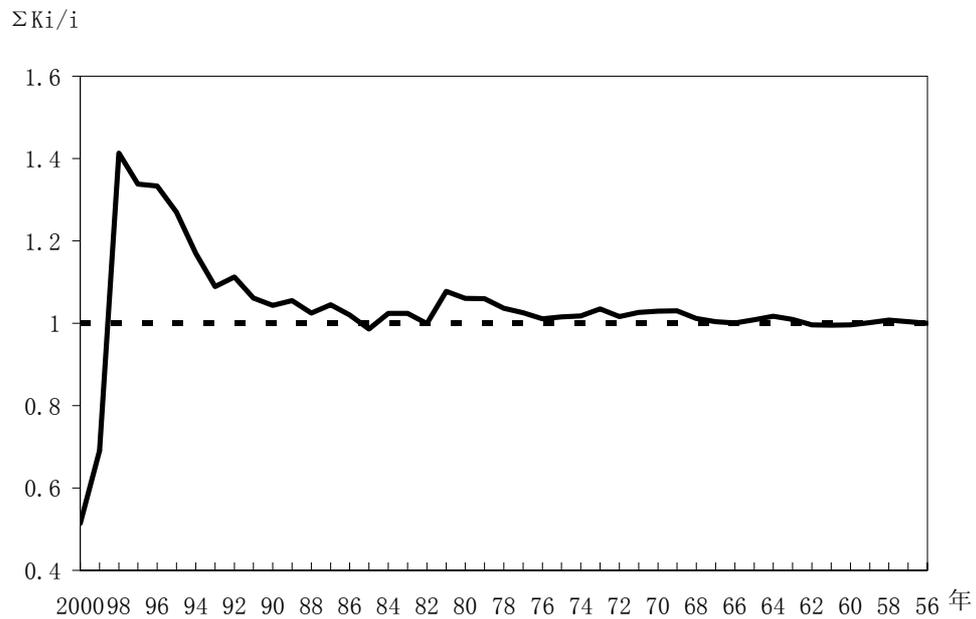


図 3.2.7 シャンシャン気象観測所降水量変動係数累計平均曲線

図 3.2.7に示されたように、曲線は 2000 年～1978 年まで伸ばすと、 $\pm 5\%$ の誤差レベル以内に抑えられる。すなわち、シャンシャン気象観測所では降水量多年平均値が安定になるのは 22 年間かかり、トルファン気象観測所と比較して約半分である。

d. 降水量地区別分布

トルファン盆地内においては、山区と平原区が分布し、地形的に北西部が高く、南東部が低く、大きな地形勾配で盆地内最低点の艾丁湖へ傾斜する。年間降雨量は海拔標高に従って増加する傾向が明らかである。

今回の解析に利用する気象・水文観測所の内トルファン、東坎、煤窑溝、五工区の 4 ヲ所をそれぞれの海拔高度の代表とし、降雨量の地形による変化を検討した。各代表観測所の実測年間降雨量は 7.7～157.4 mm の間にあり、図 3.2.8に示すように、海拔標高と降雨量との間には密接な相関関係があり、海拔標高の増大によって、降雨量は指数関係で増加する。

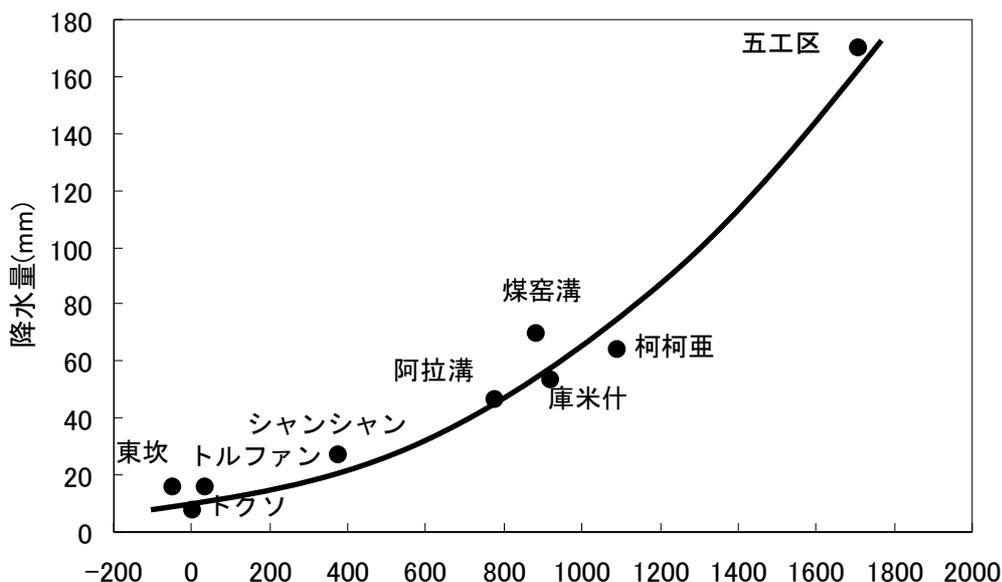


図 3.2.8 降雨量と海拔標高との関係

3.2.3 降水量年内変動及び年間変動

a. 降水量の年内変動

調査地域における降水量の年内配分が不均一である。表 3.2.4を見ると、各観測所での連続4ヶ月間最大降雨量は6月～9月に現れ、年間降雨量の58%～84%を占める。すなわち、降雨の集中度が高い。

表 3.2.4 調査地域における各気象・水文観測所連続最大4ヶ月間降雨量

観測所	連続最大4ヶ月間降雨量	年間降雨量	出現月
トルファン (気象)	9.2	58.0	6～9
シャンシャン (気象)	16.2	60.5	6～9
トクソン (気象)	5.7	74.3	6～9
庫米什 (気象)	40.8	76.4	6～9
東坎站 (気象)	9.5	59.0	6～9
アラ溝 (水文)	38.7	83.6	6～9
煤窑溝 (水文)	45.8	64.1	6～9
柯柯亜 (水文)	49.2	75.4	6～9
五工区 (気象)	124.6	79.5	6～9

表 3.2.4に示されるように、調査地域では降水量は夏季に集中し、春、秋、冬の3季では降雨量が少ない。最も不均一性の高いアラ溝気象観測所では夏季の降雨量は年間降雨量の80%以上を占める。トクソン、庫米什、柯柯亜、五工区等の4観測所では夏季降雨量の年間降雨量に占める割合が70%を超える。トルファン、シャンシャン、東坎、煤窑溝の4観測所でも約60%～70%の間にある。

年内変化をまとめるため季節別降雨量を配分集計し、表 3.2.5と図 3.2.9に示した。図 3.2.9にある柱状図の縦軸は年降雨量に占める各季節降雨量の割合（パーセンテージ）である。

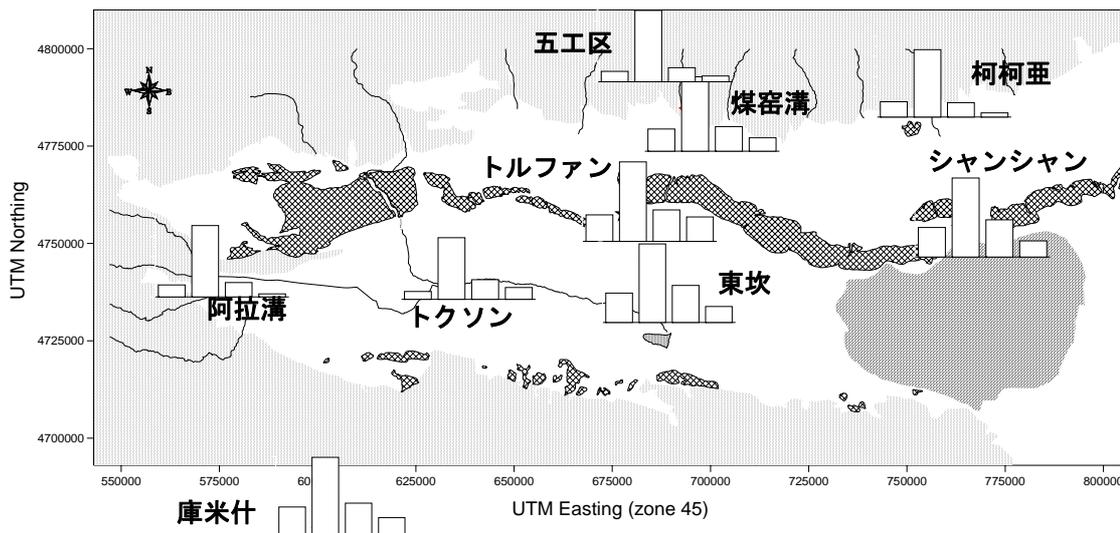


図 3.2.9 各観測所で降水量の季節配分

トルファン盆地における降水の大部分は夏季に集中していて、春、秋、冬 3 季節の占める割合が小さい。夏季の降水量を見ると、阿拉溝河水文観測所では 70 %以上、煤窑溝、トクソン、庫米什、柯柯亜等の観測所では 55 %～68 %、トルファンとシャンシャン気象観測所では約 49 %を占める。

多年平均最大降水量は年間降水量の約 19～31 %を占め、6 月か 7 月に現れる。それに対して多年平均月最小降水量は年間降水量の僅か 0.3～2.9 %で、1 月か 2 月に現れる。最大月降水量と最小月降水量とを比較すると、阿拉溝河観測所で 97.4、柯柯亜観測所で 64.1、一番小さい煤窑溝では約 7.3 で、最大降水量と最小降水量との差が大きく、年内の降水量配分の不均一性が明らかである。

表 3.2.5 調査地域における各気象・水文観測所降水量の季節配分

観測所	項目	春季 (3~5月)	夏季 (6~8月)	秋季 (9~11月)	冬季 (12~2月)	年降水量 (mm)	多年平均月 最大最小降水量(mm)		最大月 /最小月
							最大月	最小月	
トルファン (気象)	降水量 (mm)	2.6	7.8	3.1	2.4	15.9	3.2	0.3	9.7
	(%)	16.4	49.3	19.5	15.1	100			
シャンシャン (気象)	降水量 (mm)	4.9	13.1	6.2	2.7	26.9	5.1	0.5	11.0
	(%)	18.2	48.7	22.9	9.9	100			
トクソン (気象)	降水量 (mm)	0.6	4.7	1.5	0.9	7.7	1.9	0.0	
	(%)	7.8	61.0	19.5	11.7	100			
庫米什 (気象)	降水量 (mm)	7.6	36.1	8.1	1.6	53.4	16.5	0.4	41.5
	(%)	14.2	67.6	15.2	3.0	100			
東坎站 (気象)	降水量 (mm)	2.9	7.9	3.3	1.9	16.0	2.9	0.2	16.6
	(%)	18.3	49.5	20.7	11.6	100			
阿拉溝 (水文)	降水量 (mm)	5.5	32.7	6.6	1.4	46.2	12.7	0.1	97.4
	(%)	11.9	70.8	14.3	3.0	100			
煤窑溝 (水文)	降水量 (mm)	11.8	39.4	13.1	7.1	71.4	15.0	2.1	7.3
	(%)	16.5	55.2	18.3	10.0	100			
柯柯亜 (水文)	降水量 (mm)	9.9	43.4	9.3	2.7	65.3	16.6	0.3	64.1
	(%)	15.2	66.5	14.2	4.1	100			
五工区 (気象)	降水量 (mm)	16.0	110.3	21.6	8.9	156.8	47.5	1.9	25
	(%)	10.2	70.3	13.8	5.7	100			

b. 降水量の年間変動

b.1 最大／最小年間降雨量

年間降雨量の変動幅を分析するには最大年間降雨量と最小年間降雨量との比を求める方法がある。調査地域における観測所の最大・最小年間降雨量は表 3.2.6に示す。

表 3.2.6 調査地域における各気象・水文観所の最大・最小年間降雨量

降水量単位：mm

観測所	時系列年数	長年平均降水量	最大年間降水量	出現年	最小年間降水量	出現年	最大年降水量 - 最小年降水量	最大年降水量 / 最小年降水量	最大年降水量 / 長年平均降水量	最小年降水量 / 長年平均降水量
トルファン	49	15.9	48.4	1958	2.9	1968	45.5	16.7	3.04	0.182
シャンシャン	45	26.9	76.8	1998	10.7	1968	66.1	7.2	2.85	0.398
トクソン	42	7.7	25.7	1994	0.5	1968	25.2	51.4	3.35	0.065
庫米什	42	53.4	108.2	1998	14.5	1978	93.7	7.5	2.03	0.272
東坎	37	16.4	38.2	1998	5.7	1993	32.5	6.7	2.33	0.348
アラ溝	43	46.2	85.7	1969	6.3	1980	79.4	13.6	1.85	0.136
煤窑溝	33	71.4	165.8	1998	22.9	1962	142.9	7.2	2.32	0.321
柯柯壘	17	65.3	125.2	1984	13.6	1985	111.6	9.2	1.92	0.208
五工区	20	156.8	254.3	1981	74.9	1985	179.4	3.4	1.62	0.478

最大年間降水量を最小年間降水量の比を利用して検討すると、調査地域における各地での年間降水量の変化が比較的大きいことが分かる。トクソン気象観測所では年平均降雨量がわずか7.7 mmであり、少しの降雨量変化でも大きな差が現れ、最大年間降水量と最小年間降水量との比は51倍にもなる。それを除くと、調査地域における大部分の気象・水文観測所での年間最大最小降水量の比は6.7倍から16.7倍の間に変化している。しかし、五工区気象観測所で年間降水量変化が他の観測所と異なり、わずかに3.4倍で小さい。この観測所は海拔1,700 m以上の高さに設置され、他の観測所より多年平均降水量は倍以上多いことから、降水量の多い山区では降水量の年間変動が小さいと推測される。

b.2 変動係数

降水量の年間変化を分析するには最大と最小雨量を比較する他、標準偏差を利用して、観測系列全体のばらつきを見ることが出来る。しかし、場合によって標準偏差は標本数（ここでは観測年数）の影響を受けることがあるので、標準偏差の代わりに変動係数Cvを利用して検討した。

Cvは相対的な散らばりを表す指標であり、次の式で計算される。

$$CV = \frac{\sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (x - \bar{x})^2}}{\bar{x}} \times 100\%$$

ここでは：

n：標本数（観測年数）

x：各年間降水量

表 3.2.7は調査地域における各観測所の変動係数及び多年平均年間降水量を示す。表に

ある Cv を小さい順で並べ、対応する多年降水量と比較すると、阿拉溝観測所、柯柯亜観測所を除くと、Cv の変化と多年平均雨量の変化とは逆比例している。すなわち、標高が高く、平均降水量の大きい観測所での多年平均年間降水量の変化は小さい傾向にある。

表 3.2.7 調査地域における観測所年間降水量変動係数

観測所	Cv	多年平均降水量(mm)	海拔標高(m)
阿拉溝	0.33	46.2	777.3
五工区	0.36	156.8	1,708
煤窑溝	0.44	71.4	882
庫米什	0.49	53.4	922
シャンシャン	0.52	26.9	378
東坎	0.53	16.4	-49
柯柯亜	0.62	65.3	1,090
トルファン	0.75	15.9	35
トクソン	0.92	7.7	1

3.2.4 水文区分

調査地域内の降水量観測値は観測所毎に異なるが、降水は地理的位置、地形因子等の影響を受けるので、各観測所の実測値を基に、地形、山脈の延伸方向等の因子を考慮して降水量等値線図を作成する。

降水量等値線図を作成する場合、各観測所のデータを基にするが、個別点の値に拘るより、地域全体の特徴を重視して、等値線図上の不自然な区極点や他の地理・地形・気候等の条件と合わない小さな島が出ないように留意する。さらに等値線図は全体として地形分水界に一致するが、完全に地形等高線に等しいものではないことを原則とし、図 3.2.10 に示すように降水量等値線図を作成した。

調査地域においては主に地形の影響で、降水量は不均一に分布している。調査地域内の降水量を把握するには降水量等値線図と地形図を合わせて集計する必要がある。トルファンの地形の特徴に従って、まず海拔 1,000 m を境界にし、調査地域を山区と平原区に分け、各地形区分の降水量を算出する。

地形等高線が密集している山区は 500 m 間隔で再区分した。平原区では地形等高線の分布特徴に従い再区分は 100 m または 200 m を基準とした。各等高線間隔毎の降水量をそれぞれ計算し集計した。

集計した結果、トルファン地区多年平均降水量は $31.87 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、平均年間降水深 47.8 mm となった。さらに各行政区分と各流域の降水量及び各流域内各標高分区での降水量は表 3.2.8～表 3.2.10 にまとめている。

表 3.2.8 行政区分(縣市)の年間降水量

縣市	面積 (km ²)	降水量 (10 ⁸ m ³)	降水深 (mm)
トクソン県	14,318	5.385	37.6
トルファン市	15,480	11.15	72.0
シャンシャン県	36,941	15.33	41.5
合計	66,739	31.87	47.8

表 3.2.9 各流域区分での年間降水量

流域区分	面積 (km ²)	降水量 (10 ⁸ m ³)	降水深 (mm)
トクソン2河流域	9,688	4.236	43.7
ト・シャン7河流域	12,838	16.91	131.7
坎儿其河流域	8,035	5.756	71.6
庫木塔格砂漠地域	36,178	4.970	13.7
合計	66,739	31.87	47.8

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

表 3.2.10-1 トクソン2河流域各標高区分での年間降水量

流域区分	標高区分	面積 (km ²)	降水量(10 ⁸ m ³)	降水深 (mm)
トクソン 2河流域	>4000m	4	0.0132	358.2
	3500~4000m	25	0.0871	346.1
	3000~3500m	42	0.1335	316.5
	2500~3000m	341	1.023	300.4
	2000~2500m	793	1.216	153.3
	1500~2000m	1,186	0.6499	54.8
	1000~1500m	1,380	0.3495	25.3
	800~1000m	681	0.1072	15.7
	600~800m	962	0.1227	12.8
	500~600m	540	0.0675	12.5
	400~500m	605	0.0757	12.5
	300~400m	511	0.0638	12.5
	200~300m	565	0.0706	12.5
	100~200m	569	0.0711	12.5
	50~100m	281	0.0351	12.5
	0~50m	253	0.0317	12.5
	-50~0m	285	0.0357	12.5
-100~-50m	380	0.0475	12.5	
-150~-100m	286	0.0358	12.5	
小計		9,688	4.236	43.7

表 3.2.10-2 トルファン7河流域各標高区分での年間降水量

流域区分	標高区分	面積 (km ²)	降水量(10 ⁸ m ³)	降水深 (mm)
トルファン・ シャンシャン 7河流域	4000m以上	18	0.1076	592.6
	3500~4000m	396	2.368	597.8
	3000~3500m	802	4.387	546.7
	2500~3000m	810	3.350	413.7
	2000~2500m	833	2.474	296.9
	1500~2000m	788	1.554	197.1
	1000~1500m	995	0.9181	92.2
	800~1000m	582	0.3483	59.9
	600~800m	790	0.2910	36.8
	500~600m	1,354	0.2452	18.1

流域区分	標高区分	面積 (km ²)	降水量(10 ⁸ m ³)	降水深 (mm)
	400~500m	1,197	0.2571	21.5
	300~400m	898	0.1718	19.1
	200~300m	615	0.0903	14.7
	100~200m	378	0.0472	12.5
	50~100m	261	0.0327	12.5
	0~50m	177	0.0221	12.5
	-50~0m	532	0.0665	12.5
	-100~-50m	655	0.0818	12.5
	-150~-100m	756	0.0946	12.5
	小計	12,838	16.91	131.7

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

表 3.2.10-3 坎儿其河流域各標高区分での年間降水量

流域区分	標高区分	面積 (km ²)	降水量(10 ⁸ m ³)	降水深 (mm)
坎儿其河流域	>4000m			
	3500~4000m	2	0.0112	543.8
	3000~3500m	122	0.5800	474.4
	2500~3000m	358	1.287	360.0
	2000~2500m	434	1.050	242.0
	1500~2000m	613	0.8897	145.1
	1000~1500m	945	0.6475	68.5
	800~1000m	542	0.2430	44.9
	600~800m	1217	0.2972	24.4
	500~600m	992	0.2481	25.0
	400~500m	905	0.2137	23.6
	300~400m	1,032	0.1796	17.4
	200~300m	825	0.1031	12.5
	100~200m	48	0.0061	12.5
小計	8,035	5.756	71.6	

表 3.2.10-4 庫木塔格河流域各標高区分での年間降水量

流域区分	標高区分	面積 (km ²)	降水量 (10 ⁸ m ³)	降水深 (mm)
庫木塔格沙漠区	2000~2500m	76	0.0384	50.5
	1500~2000m	2,467	0.5470	22.2
	1000~1500m	20,870	2.781	13.3
	800~1000m	8,253	1.040	12.6
	600~800m	3,441	0.4301	12.5
	500~600m	443	0.0554	12.5
	400~500m	287	0.0358	12.5
	300~400m	163	0.0204	12.5
	200~300m	129	0.0162	12.5
	100~200m	48	0.0061	12.5
小計	36,178	4.970	13.7	

3.2.5 降水の時間系列

調査地域における降水量の時間系列は、前述の水文区分毎に作成した。流域区分には観測所の実測降雨量がある場合実測値を利用し、実測値の欠けている地区や年間については対象地域の降水量との相関関係によって補完する方法及び隣接流域や地区との比較で各計算対象年の年間雨量を求めた。

比較法は次の通りである。

$$PiD = Pis \times \frac{\overline{P_D}}{\overline{P_S}}$$

ここでは：

PiD は各流域区分における年間降水量（ 10^8m^3 ）

Pis は代表観測所での年間降水量（mm）

$\overline{P_D}$ は各流域区分での多年平均降水量（ 10^8m^3 ）

$\overline{P_S}$ は代表観測所多年平均降水量（mm）

各流域区分で選定された代表観測所は表 3.2.11に示す。

表 3.2.11 各流域区分で選定された代表観測所

流域区分	選定された代表観測所
トクソン2河流域	トクソン気象観測所、阿拉溝河水文観測所
ト・シャン7河流域	トルファン気象観測所、煤窑溝気象観測所、東坎気象観測所
坎尔其河流域区分	シャンシャン気象観測所
庫木塔格沙漠地域	庫木什気象観測所

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

各流域区分における降雨量時間系列の計算結果は図 3.2.11と表 3.2.12に示す。

表 3.2.12 各流域区分における降雨時系列

単位：10⁸m³

計算年	トクソン 2河流域	トルファン・ シャンシャン 7河流域	坎尔其河 流域	庫木塔格 砂漠区	調査地域 全体
1956	4.181	12.45	4.736	3.535	24.90
1957	4.436	11.74	4.928	3.535	24.64
1958	5.840	28.80	7.221	8.544	50.41
1959	4.898	21.98	7.135	8.517	42.53
1960	3.180	20.85	5.786	5.622	35.44
1961	3.548	16.96	5.528	2.802	28.84
1962	2.250	8.203	2.914	4.277	17.64
1963	3.517	12.70	4.114	3.859	24.19
1964	4.029	21.84	7.650	6.207	39.73
1965	3.816	14.02	7.457	3.785	29.08
1966	6.793	14.52	5.100	6.188	32.60
1967	2.844	7.581	4.350	3.906	18.68
1968	1.137	9.081	2.293	2.087	14.60
1969	5.289	15.03	6.107	4.694	31.12
1970	5.660	15.04	6.514	3.720	30.93
1971	5.832	17.80	7.543	4.667	35.84
1972	3.407	12.04	2.828	4.435	22.71
1973	3.039	19.25	8.614	4.852	35.76
1974	2.679	18.68	6.278	3.794	31.43
1975	3.630	16.77	6.493	3.358	30.25
1976	4.005	10.28	3.793	4.731	22.81
1977	3.733	20.63	4.436	2.022	30.82
1978	4.042	13.03	3.043	1.345	21.46
1979	6.560	19.10	6.021	7.060	38.74
1980	1.157	11.41	4.071	2.978	19.62
1981	3.740	25.27	14.79	6.754	50.55
1982	2.851	10.10	3.193	1.726	17.87
1983	2.902	19.28	5.893	6.114	34.19
1984	3.987	25.80	9.385	3.869	43.04
1985	2.483	7.412	2.700	3.460	16.06
1986	3.256	12.21	3.900	2.885	22.25
1987	4.822	23.21	7.521	5.075	40.63
1988	6.508	21.02	3.836	5.789	37.15
1989	6.821	23.24	6.814	5.771	42.65
1990	3.974	23.12	4.971	7.682	39.75
1991	4.211	15.88	3.450	4.128	27.67
1992	4.588	22.02	7.457	8.155	42.22
1993	4.657	11.96	3.021	5.121	24.76
1994	6.069	19.60	3.300	9.565	38.53
1995	2.830	16.84	5.464	6.763	31.90
1996	6.148	14.35	7.564	8.127	36.19
1997	3.421	11.05	6.407	2.941	23.82
1998	6.398	41.16	16.46	10.04	74.06
1999	5.272	14.85	4.993	4.147	29.26
2000	6.182	12.77	2.957	5.019	26.93
多年平均	4.236	16.91	5.756	4.970	31.87

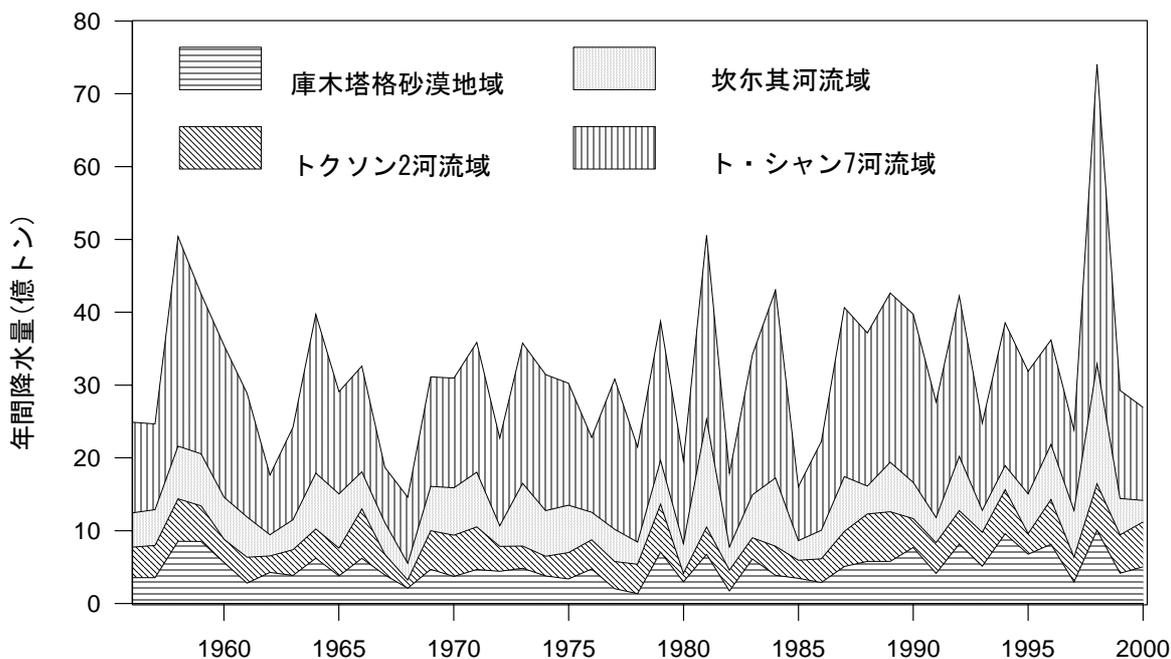


図 3.2.11 トルファン盆地における年間降水量変化

3.2.6 各流域の降水量確率計算

降水量確率は水資源利用計画を立てる場合重要な因子である。「細則」に従って、トルファン盆地における各流域の多年降水量平均値、歪度 Cs、変動係数 Cv を元に、最小2乗法で各流域の降水量確率計算をした。歪度 Cs は次のように定義されている。

$$Cs = \frac{\sum_{i=1}^n (k_i - 1)^3}{(n-3)Cv^3}$$

ここでは

Ki が年間降水の変動率

n が観測時系列の長さ

Cv が変動係数

各流域における各確率での降水量計算結果は表 3.2.13にまとめている。

表 3.2.13 各流域における降水量の確率分布

単位：10⁸m³

流域	面積 (km ²)	平均年間 降雨量	Cv	Cs/Cv	降雨確率及び対応している降水量			
					20%	50%	75%	95%
トクソン2河流域	9,688	4.236	0.37	2.5	5.4	4	3.1	2.1
ト・シャン7河流域	12,838	16.91	0.36	2	21.7	16.2	12.5	8.29
坎尔其河流域	8,035	5.756	0.52	3	7.8	5.01	3.57	2.44
庫木塔格沙漠区	36,178	4.97	0.48	2.5	6.72	4.5	3.22	2

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

