

8. 地表水資源量の評価

8 地表水資源量の評価

8.1 地表水資源量

トルファン地区の地表水資源は、トクソン“2河”流域、トルファン・シャンシャン7河流域、坎尔其河流域及び庫木塔格砂漠地域の4大流域別に区分し、各流域について評価した(図8.1参照)。

8.1.1 流域別地表水資源量

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、標高ゾーン別面積に流出高を乗じて、地区内で生成された地表水資源量を算出した(表8.1)。

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	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	0.1	0.0529	0.8
全区	66,739	9.2	6.137	100

大流域別に見ると、トルファン地区の水資源量の分布は不均一であり、流域面積が約1.3万平方キロ(地区全体の約19%)のトルファン・シャンシャン7河流域が、地表水資源量(6.13億立米/年)の約79%を占めており、面積で3.6万平方キロを占める広大な庫木塔格砂漠地域は0.8%しか占めていない。

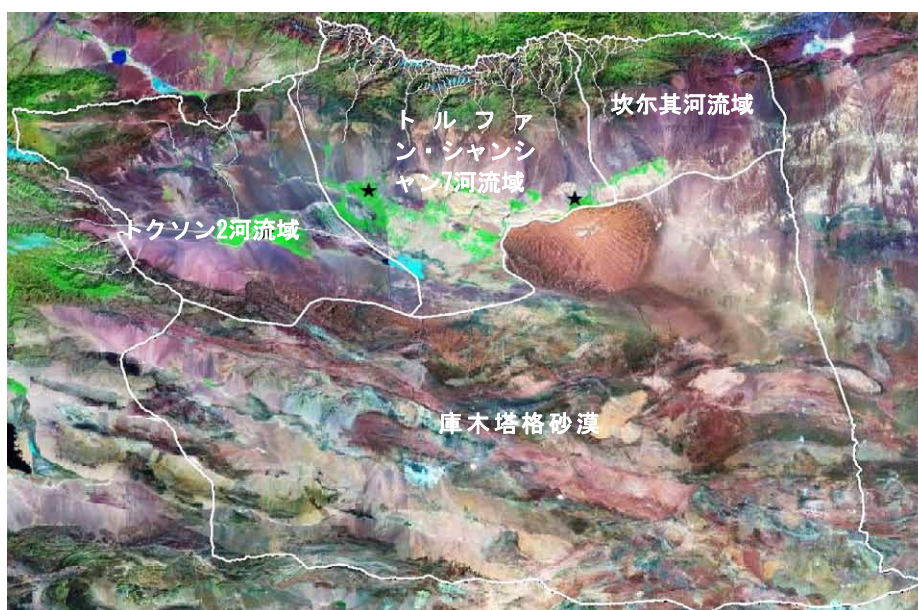


図 8.1 トルファン地区大流域区分

8.1.2 トルファン地区外からの地表水流出入量

河川流域と行政区とは必ずしも一致しないので、行政区画間の地表水流出入が生じる。トルファン地区への流入量は表 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
	祖鲁木図溝	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
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	

トルファン地区への河川流入量と比較して、河川流出量は少ない。トルファン盆地西部地域のトクソン 2 河流域、白楊河と阿拉溝河の流入量はトルファン地区外からの流入量全体の 75 %を占めており、東部地域への地区外からの流入量はない。

水利権は水資源が形成された行政区画が所有している。従って、夏の灌漑期には灌漑用水が地区外で取水されるため、白楊河の流量が少なくなり、冬の渇水期には逆に流量が大きい。同じことは大河沿河でも発生している。

8.1.3 トルファン地区の河川流量

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流出入量を合計するとトルファン地区の河川流量が求められる。流域別の河川流量は表 8.3に示す。

表 8.3 トルファン盆地における水資源量及び河川流量

面積単位： km^2 ;資源量及び流量単位： $10^8\text{m}^3/\text{年}$

流域	面積	地区内 水資源量	地区外からの 流入量	地区外への 流出量	河川流量
トクソン 2 河流域	9,688	0.6663	3.2704	0.0786	3.8581
ト・シャン 7 河流域	12,838	4.873	0.2366	--	5.1096
坎尔其河流域	8,035	0.5454	--	--	0.5454
庫木塔格砂漠地域	36,178	0.0529	--	--	0.0529
合計	66,739	6.137	3.507	0.0786	9.566

地表水資源量の約 8 割はトルファン・シャンシャン 7 河流域で生成しているが、比流量では、トクソン 2 河流域の方が大きい。トルファン地区の 14 本の通年河川の確率別年間流量を表 8.4に示す。

表 8.4 トルファン盆地内 14 本通年河川からの流量

大流域 区分	河川名	集水面積 (km ²)	平均流量 (10 ⁸ m ³ /年)	確率別年間流量 (10 ⁸ m ³)			
				20%	50%	75%	95%
トクソン 2 河流域	白楊河	2,423	1.36	1.67	1.16	0.96	0.87
	柯尔碱溝	646	0.21	0.25	0.18	0.15	0.13
	魚尔溝	628	0.45	0.56	0.41	0.34	0.28
	阿拉溝	2,503	1.26	1.57	1.17	0.96	0.79
	祖魯木図溝	257	0.05	0.06	0.04	0.04	0.03
	烏斯通溝	617	0.14	0.17	0.13	0.10	0.09
	小計	7,074	3.91	4.82	3.49	2.87	2.46
ト・シャン7 河流域	柯柯亜河	707	1.12	1.31	1.06	0.92	0.80
	二塘溝	501	0.82	0.97	0.81	0.70	0.55
	恰勒坎河	100	0.09	0.10	0.09	0.08	0.06
	黒河	185	0.33	0.39	0.32	0.28	0.22
	煤窑溝	481	0.81	0.95	0.80	0.68	0.54
	塔朗河	443	0.77	0.91	0.76	0.65	0.52
	大河沿河	724	1.04	1.22	1.02	0.87	0.69
	小計	3,141	4.98	5.86	4.86	4.18	3.37
坎尔其河 流域	坎尔其河	548	0.29	0.34	0.27	0.24	0.21
合計		10,763	8.723	10.47	8.22	6.97	5.78

8.2 地表水利用現況

トルファン地区の地表水利用は 14 本通年河川を主として行なわれている。河川水を利用するためダムと水路によって、水量の調節や配分を実施している。

8.2.1 ダム

トルファン地区の 3 本の河川では山地にダムが建設されており、平原区内にも 11 箇所
でダムが建設されているが、それらの容量は小さい。トルファン地区内の 20 万立方米以
上のダムをまとめて、表 8.5に示し、ダムの位置は図 8.2に示した。

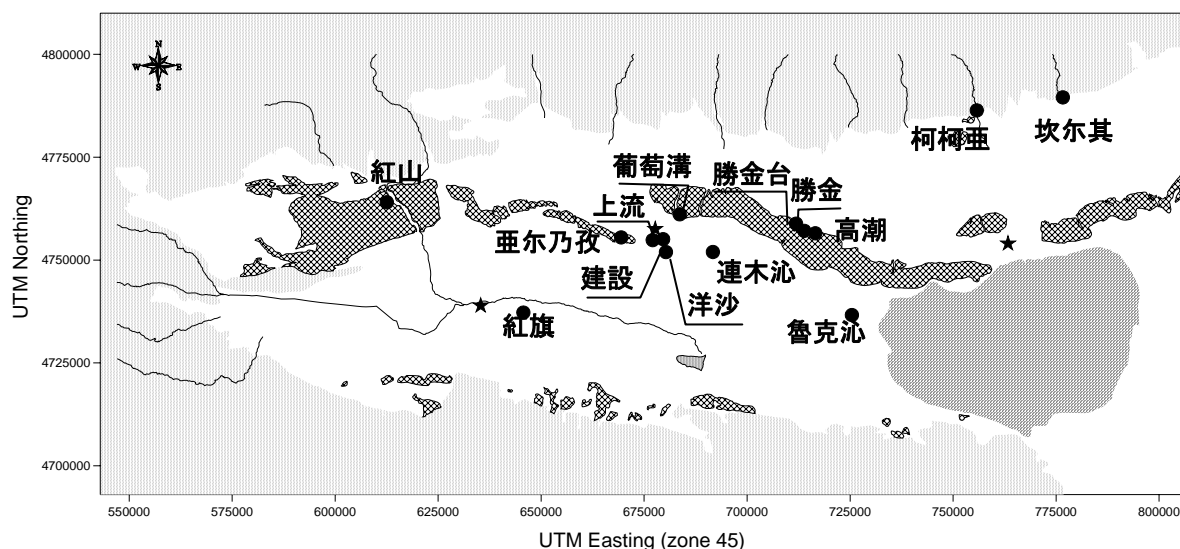


図 8.2 トルファン盆地におけるダム位置

表 8.5 トルファン盆地におけるダム一覧

容量単位：万立方米

ダム名	東経	北緯	分類	設計容量	建設年	備考
紅山	88°22.87'	43°01.24'	注入式	5,300	1980	死水位
坎尔其	90°24.32'	43°12.47'	堰きとめ	1,180	2002	
柯柯亚	90°08.83'	43°11.20'	堰きとめ	1,052	1985	
亚尔乃孜	89°04.58'	42°56.00'	平原	463	1998	死水位
葡萄溝	89°15.13'	42°58.83'	平原	250	1976	死水位
勝金	89°37.27'	42°56.19'	平原	141	1953	枯渴
紅旗	88°46.85'	42°46.43'	平原	139	1967	死水位
勝金台	89°35.85'	43°05.16'	平原	89.7	1959	枯渴
洋沙	89°14.35'	43°08.86'	平原	70	1976	枯渴
上流	89°17.35'	43°03.86'	平原	70	1976	枯渴
魯克沁	89°45.27'	42°44.95'	平原	60	1962	死水位
高潮	89°31.35'	43°03.86'	平原	30	1976	枯渴
連木沁	89°69.24'	43°53.77'	平原	30	1961	死水位
建設	89°18.35'	43°03.86'	平原	20	1976	死水位

トルファン盆地の河川地表水利用に大きな影響を与えるダムは、山地にある柯柯亜、坎尔其及び紅山ダムである。このうち、坎尔其ダムが一番新しく、2002年に建設された。しかし、河川流量に対する利用率はまだ60%であり、ダムの機能が十分発揮されていない。柯柯亜ダムはトルファン盆地におけるダムの中では利用率が一番高いと言える。

紅山ダムは堰きとめ式ではなく、注入式（導水式）である。すなわち、毎年秋～冬期の農業用水がほとんど必要ない時期に白楊河の河川水をダムに導水して、翌年の灌漑期に放流して農業用水の不足を補う。ダムに直接繋がる幹線水路は無く白楊河へ放流される。夏季には白楊河からの導水量がほとんどないので、1年単位でダムの利用量と河川水量と比較すると利用率が約26%と低くなっている。

8.2.2 幹線水路

トルファン盆地内 14 本の通年河川のすべてにはダムか導水路が建設されている。導水路の幹線（幹線水路）の分布を図 8.3に示す。概要は表 8.6にまとめた。

幹線水路の利用時期は 3 月～11 月の間が多い。冬季には河川水量が小さく、幹線水路に到達するまでに地下に浸透してしまう。また、冬季に幹線水路に到達できる流量があっても、凍結による水路の損傷を防ぐため、水路内に河川水を入れずに自然河道に放流するためである。

表 8.6 幹線水路概要

幹線水路名	取水河川	水源河川水量	導水量 (万 m ³)	導水率 (%)
青年幹線水路	烏斯通河	1,392	800	57.5
阿拉溝総幹線水路*	阿拉溝	22,098	11,336	51.3
柯尔碱水路	柯尔碱溝	2,057	823	40
白楊河水路	白楊河	13,550	9797	72.3
紅星水路	大河沿河	10,350	5,061	48.9
塔朗朗水路	塔朗朗河	7,728	5,356	69.3
人民水路	煤窑溝	8,083	6,749	83.5
黑溝水路	黑溝河	3,300	2,112	64
石油工人水路	恰勒坎河	890	828	93
二塘溝水路	二塘溝	8,235	7,733	93.9
柯柯壩水路	柯柯壩河	11,170	10,578	94.7
坎尔其水路	坎尔其河	2,892	2,892	100
坎尔其水路	坎尔其河	2,892	2,892	100

*：阿拉溝幹線水路によっては阿拉溝河、魚尔溝、祖魯木図溝の河川水を合わせて導水する。

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。水路延長は 2000 年までに 5,197 km に増加し、ライニング率は約 80 % に達している。

ライニングは石グラウティングを主としているが石空積み、コンクリートもある。流量観測調査結果では、流量損失率はコンクリート水路では最も小さく 1 km 当たり 0.15～0.21 % である。それに対して、石空積みと石グラウティング水路は、両方とも 1 km 当たり 0～2 % である。

8.2.3 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。農家単位の給水管理というのは水利用を末端まで管理するというもので、各農家の農地面積を元に水量を配分し、用水料金を徴収する管理方法である。この管理法は地表水を対象として徹底されている。地下水は電気代等のコストが高いため、用水料金を徴収しない地域が多いので、実質的にこの管理方法からはずされている。末端用水管理を実施すると、各農家が実際の利用水量によって料金を払うので、用水量の勘定が厳密になり、地表水利用量をよく把握できる。

トルファン盆地における地表水利用パターンは 3 種類に分けることができる。

a. パターン1：ダム調節 → 水路導水 → 利用

このパターンで地表水を利用している河川は山地ダムのある坎尔其河、柯柯亜河及び白楊河である。ダムがあるので、冬季—非灌漑期の河川水をダムに貯留し、翌年春季と夏季の灌漑期に利用できる水量を増加させることができるが、貯留に伴う蒸発損失が大きい。

b. パターン2：取水堰 → 開水路導水 → 利用

坎尔其、柯柯亜河と白楊河以外の河川はほとんどこのパターンである。灌漑期には地表水資源を便利に有効に利用できるが、非灌漑期の河川水量を貯留して春期の水資源不足を緩和することはできない。しかも洪水流量調節機能が無いので、夏季の河川水を100%使用することはできない。しかしダムに比べて水面蒸発量が少ない。

c. パターン3：ダム → パイプ送水 → 利用

このパターンは坎尔其ダムから鉄道関係の用水を確保するために建設された小規模水路1本だけである。送水途中の蒸発と水路浸透を防ぐことができるが、河川水の土砂含有量が少ない必要があり、建設コストが高い。

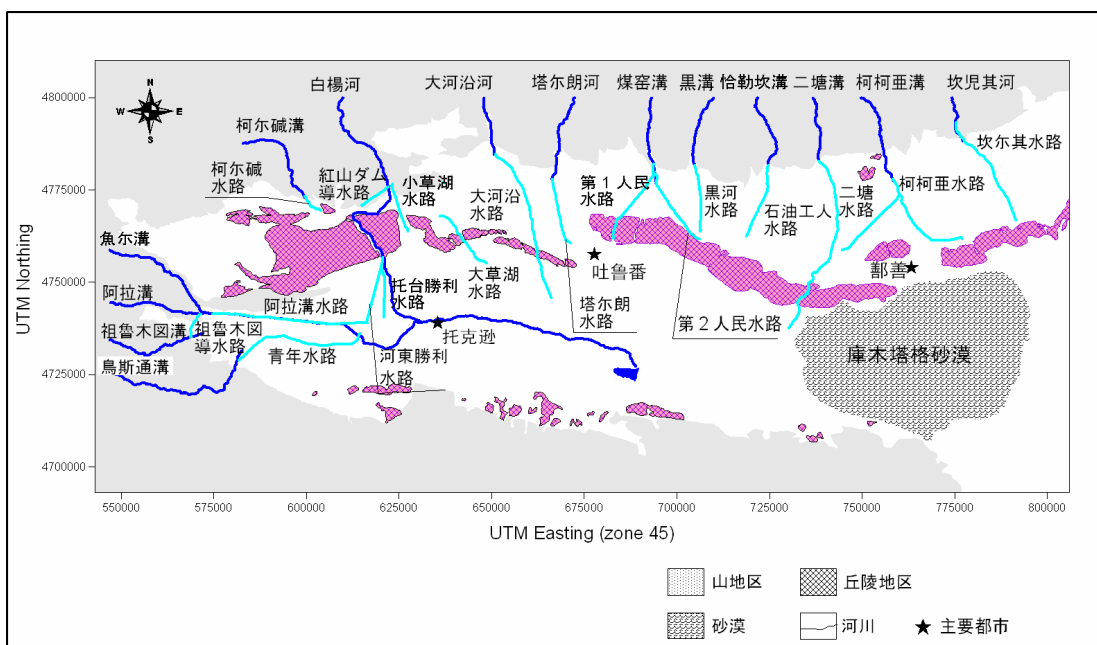


図 8.3 幹線水路分布図

8.3 地表水開発ポテンシャル評価

トルファン地区全体の降雨により形成された地表水資源量は約 6.1 億立方米であるが、地区外からの流入水を含む河川流量は約 9.6 億立方米である。このうち庫木塔格砂漠地域を除外すると、利用可能な河川水流量は約 8.7 億立方米である。現況利用量は約 6.4 億立方米あり、利用率は約 74 %を占めている。

表 8.7 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	3.858	3.458	2.263	65.5%
ト・シャン7河流域	4.873	5.110	4.976	3.912	78.6%
坎尔其河流域	0.5454	0.545	0.289	0.289	100%
庫木塔格砂漠地域	0.0529	0.053	0	0.000	0%
全区	6.137	9.566	8.723	6.464	74.1%

坎尔其河流域はシャンシャン県にあり、新規建設されたダムによってすべての表流水資源がコントロールされ、さらに開発する余地はない。

8.3.1 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河流域にはトルファンやシャンシャンなど、地区社会・経済の中心が位置しているが、地表水資源量約5億立方メートルに対して、既に約4億立方メートルが開発済みである。この流域の河川の開発余力は大河沿河をのぞきほとんどない。大河沿河と二塘溝河にはダム建設計画があるが、前者についてはトルファン地区外との調整が必要であり、後者についてはすでに利用率が90%を超えているため、洪水調節用ダムが検討されている。

8.3.2 トクソン2河流域

この流域の河川表流水の開発率は約65.5%であり、未開発の水量（約1.2億立方メートル）のうち白楊河（約4,000万立方メートル）と阿拉溝河（約6,700万立方メートル）が大部分を占める。両河川の流量は地区外からの流入により形成されているが、白楊河では夏季の水量が大幅に減少する。しかし、阿拉溝河の上流には用水が少なく、河川流量のほとんどがトルファン地区で利用されている。トルファン盆地内の白楊河流域には既に注入式ダムが1ヶ所建設され、冬季の余剰水を調節している。一方、阿拉溝河についてはダム建設計画がある。ダム建設に当たっては、トルファン地区全体での合理的利用を検討することが必要である。

9. 地下水資源の評価

9 地下水資源の評価

9.1 地下水シミュレーションの方法

9.1.1 地下水シミュレーションの目的

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した。また、モデル解析により、河川水と地下水の水収支や交流関係を明確にした。さらに地下水モデルに将来条件を設定し、将来の地下水流動や地下水位分布、水質分布等の動態を予測した。予測結果に基づき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計画策定を行った（第10章参照）。

9.1.2 地下水モデルの概要

本調査で作成した地下水モデルの概要を、表 9.1にまとめて示す。

表 9.1 作成した地下水シミュレーションモデルの概要

項目	広域三次元モデル	断面二次元モデル	局所三次元モデル
対象	トルファン地下水盆全体	<ul style="list-style-type: none"> 南盆地東西断面 南北断面 	南盆地東部達朗坎地区
目的	<ul style="list-style-type: none"> 地下水盆全体の地下水流動を解析する 地下水塩水化状況を解析する 諸条件の変化による将来の地下水流動や水質分布を予測する 設定する許容地下水位を守る許容揚水量を算定する 地下水の持続的利用のための最適揚水量配分を行う 	<ul style="list-style-type: none"> 断面的な地下水流動を解析する 塩水化した地下水の断面分布や移動状況を解析する 諸条件の変化に伴う将来の断面地下水流動や水質分布を予測する 	<ul style="list-style-type: none"> 地下水位の低下と地下水障害の発生状況を再現する 地表水が河川・導水路から地下に浸透する状況を再現する 水質の悪い浅層地下水の移動状況を再現する 地下水障害緩和策および改善策の効果と影響を予測する
解析ソフト	Processing Modflow Pro (地下水流動解析：MODFLOW、物質輸送解析：MT3DMS)		
解析範囲	平面：253 km×100 km 断面：標高2,500～-700 m まで	【東西断面】 平面延長：170 km 断面：標高1,200～-600 m 【南北断面】 平面延長：85 km 断面：標高1,200～-600 m	平面：25 km×35 km 断面：標高200～-500 m まで
グリッドサイズ	平面：1 km×1 km 断面：22層 層厚 500～100 m	水平方向：1 km×1 km 深度方向：層厚20 m×90層	平面：250 m×250 m 断面：層厚20 m×35層
計算時間ステップ	1ステップ=1ヶ月	1ステップ=1ヶ月	1ステップ=1ヶ月

9.2 地下水かん養量の推計

9.2.1 吐魯番盆地における地下水かん養量の意義

トルファン盆地平原部の降水量は平均して年間 30 mm 以下であるので、盆地内平原部で発生した降水量からの直接的な地下水かん養量はほとんどないと判断される。したがって、トルファン地下水盆の地下水かん養量は、基本的にトルファン盆地周辺の集水域内に発生した降水量を起源としており、山地からの河川水として盆地内に流入する地表水 (IF_s) 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 (IF_g) が、地下水かん養ポテンシャル量 (R_p) であると考えられる (図 9.1 参照)。

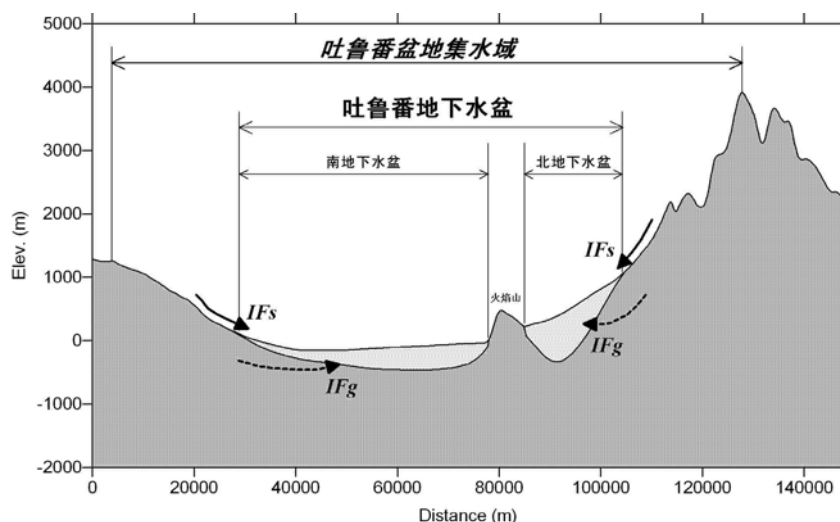


図 9.1 トルファン地下水盆への流入模式図

このうち、山地からの河川水として盆地内に流入する地表水 (IF_s) は、山地に発生した降水が複雑な水循環過程を経てその一部が河川水として出てくる水量であるが、これは山地と盆地との境界部で河川流量を測定すれば実際の値を把握することができる。また、河川の伏流水として盆地内に流入する地下水があるが実測は不可能である。

一方、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流入する水量 (IF_g) についても、実測することは不可能である。地下水シミュレーションモデルでは、水文地質基盤に相当するグリッドに水理パラメータを設定し、境界水頭を設定してその推定水量を評価する。

9.2.2 吐魯番盆地内の河川水の水循環と水収支

図 9.2には、盆地内に流入した河川水の水循環模式図を示す。

盆地内に流入した河川水は、まず、河川の自然流路を流下する。本調査では、この区間を自然河川系と呼ぶことにする。トルファン盆地の通年河川では、自然河川系の延長距離は数 km 程度であり、通常の状態では、河川水は自然河川系の区間における蒸発や河床からの漏水により消滅する。

現在は、ほとんどの通年河川に導水路が建設されており、河川水は自然河川系で消滅する前に導水路に導かれる。この区間を導水路系と呼ぶ。導水路系では、導水路を流れる水は蒸発量と導水路からの漏水によりいくらかの水量を失う。

導水路をってきた水のほとんどは、灌漑水路を経て灌漑用水として農地に導かれる。本調査では、灌漑用水路や灌漑されている農地を一括して灌漑農地系と呼ぶ。灌漑農地系では、導入された水量の多くは農地での作物消費量として利用されるが、灌漑用水路や農地から蒸発や漏水によるロスも発生する。

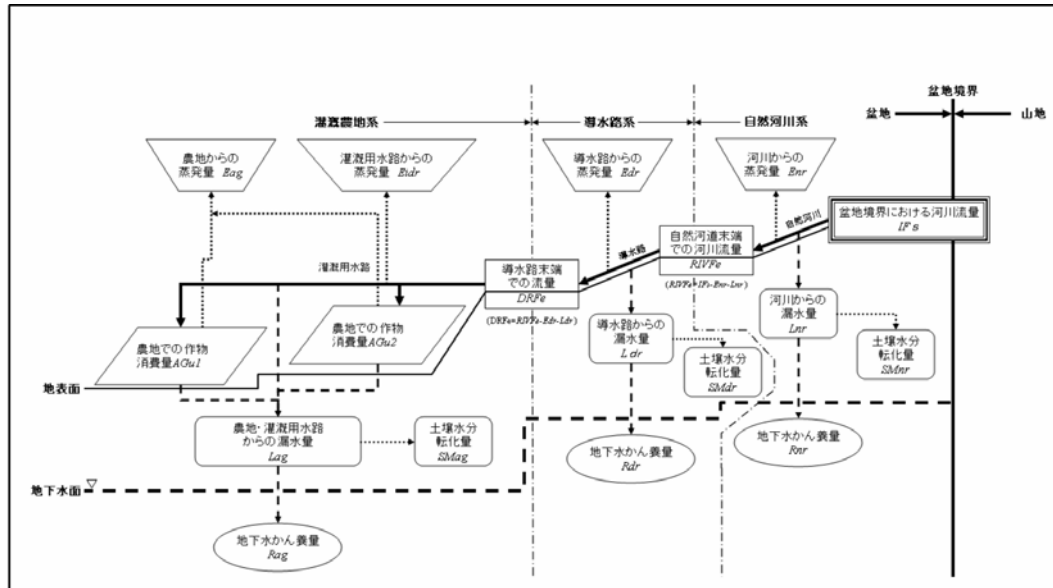


図 9.2 盆地内に流入する河川水の水循環模式図

9.2.3 モデルグリッド別地下水かん養量推計

地下水シミュレーションモデルは、過去および現在の地下水流動を再現するだけでなく、将来の地表水系、地下水系の諸条件の変化に伴う将来の地下水の挙動を予測するために用いられる。従って、14本の通年河川それぞれについて図 9.2.2. に示す水循環模式に従い水収支計算を行い、地下水かん養量の平面分布を求め、それらをモデルの平面グリッドに与えた。地下水かん養量はシミュレーションモデルの検証期間(1994年1月～2003年12月)について月別に推計した。

実際かん養量¹の算出結果を図 9.3に示す。図 9.3には最大可能かん養量²も合わせて示すが、実際かん養量は灌漑期において最大可能量の5分の1程度と小さくなる反面、非灌漑期には最大可能量の5割から9割となる。これは、非灌漑期には作物消費量がなくなることと、冬季に蒸発能が小さくなることが原因であり、その結果実際かん養量は年間2回夏季と冬季に大きくなる変化パターンを示す。

1994～2003年の年間実際かん養量は、2001年の5.68億 m^3 から1994年の6.66億 m^3 の間で変動しており、10年間の平均は約6.20億 m^3 である。

¹実際かん養量は、最大可能かん養量から河川、導水路、灌漑農地からの蒸発量や作物消費量等を差し引いた値で、最大可能かん養量よりも大幅に小さくなる。

²最大可能かん養量とは、地下水かん養発生グリッドにおけるかん養ポテンシャル量であり、その量は自然河川からの浸透量、導水路からの浸透量、灌漑農地からの浸透量のほか、泉からの流出量、カナートからの流出量、灌漑用井戸からの揚水量が含まれる。

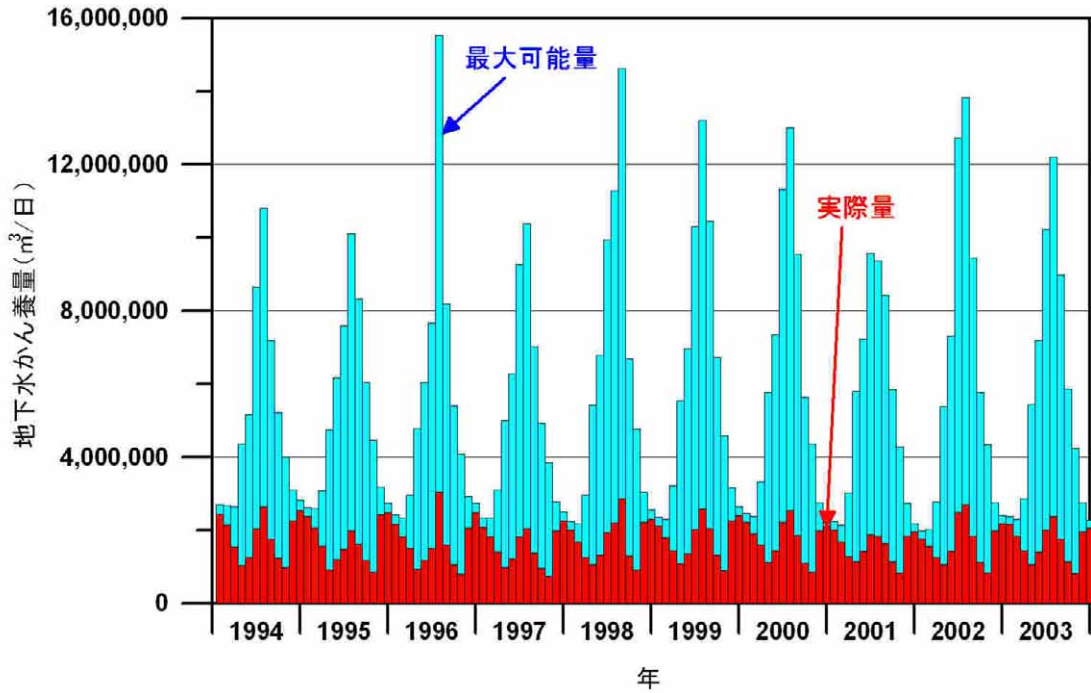


図 9.3 最大可能地下水かん養量と実際地下水かん養量

図 9.4には、2003 年 7 月における実際地下水かん養量の分布を示す。ほとんどすべての自然河川や導水路、灌漑農地に実際かん養量が配分されており、 1 km^2 あたり $100 \sim 2,000 \text{ m}^3$ /月の実際かん養量を与えられているグリッドが多い。

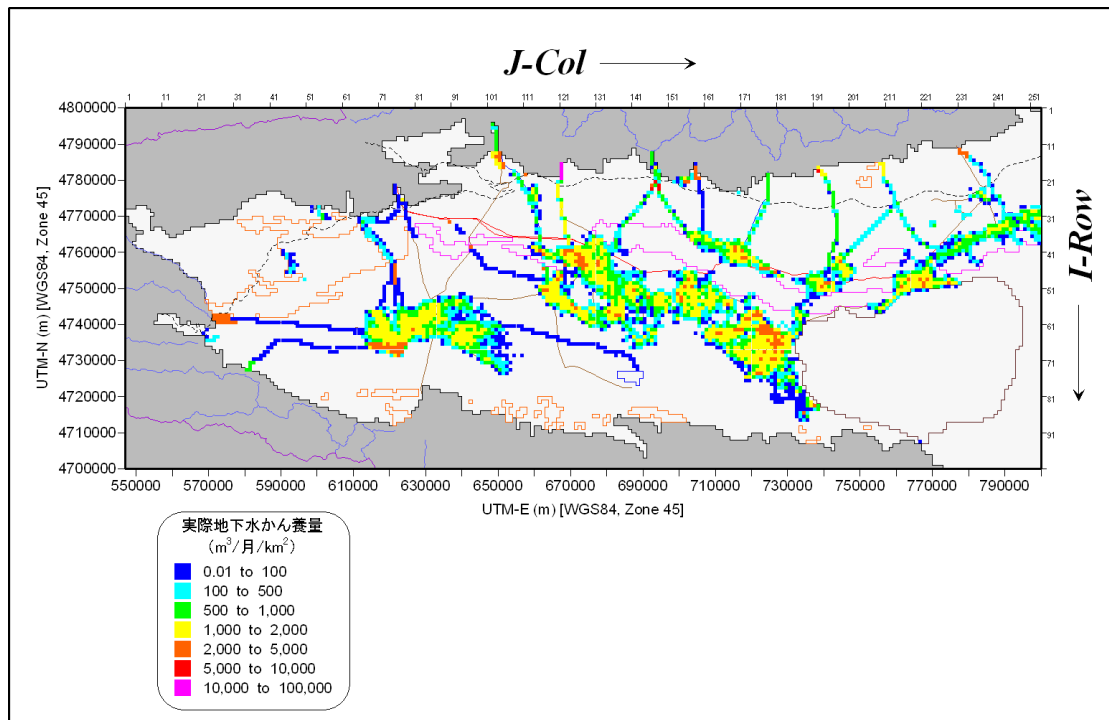


図 9.4 最大可能地下水かん養量分布図(2003 年 7 月)

9.3 地下水揚水量の算出

9.3.1 グリッド別・標高別揚水量の集計

水利用資源実態調査に基づき 1994 年 1 月から 2003 年 12 月の 1 km × 1 km グリッドごとの月別地下水揚水量を算出した。また、各井戸の深度またはスクリーン位置をもとにグリッド別・深度別の揚水量を把握した。さらに、グリッド別・標高別（標高 50 m ごと）の地下水揚水量を検証期間 120 ヶ月分について集計した。

9.3.2 地下水揚水量の集計結果

a. 地下水揚水量の時系列変化

広域三次元モデル用に作成したトルファン盆地全域の地下水揚水量データの時系列変化を、図 9.5 に示す。地下水揚水量は、毎年夏季の 5～8 月に大きく冬季の 11～2 月に小さい変化パターンを示す。夏季の揚水量は 6 月が最も大きく、6 月の揚水量は 1994 年から 1999 年にかけて直線状に 189 万 m³/日から 358 万 m³/日へと増加している。2000 年 6 月の揚水量はいったん減少したものの、2001 年 6 月には 502 万 m³/日と月別最高揚水量を記録している。2003 年 6 月の揚水量は 406 万 m³/日である。年間の揚水量も、1994 年の 3.14 億 m³ から 1999 年の 5.85 億 m³ へと大きく増加しており、2001 年には 7.37 億 m³ を記録した。2003 年の年間揚水量は 6.40 億 m³ となっている。

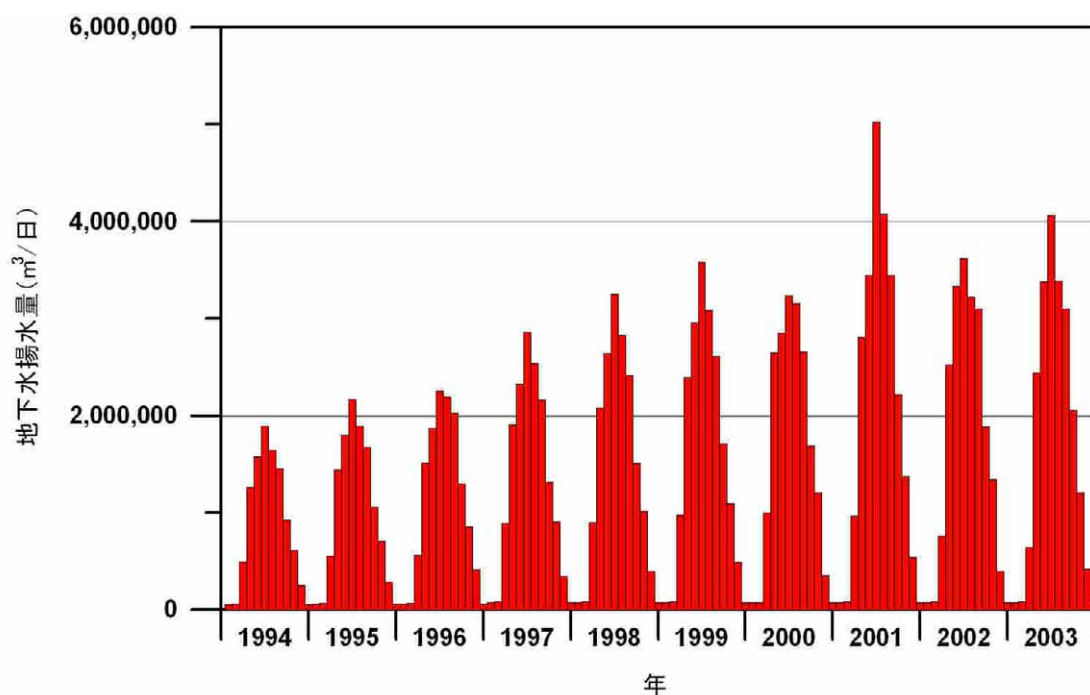


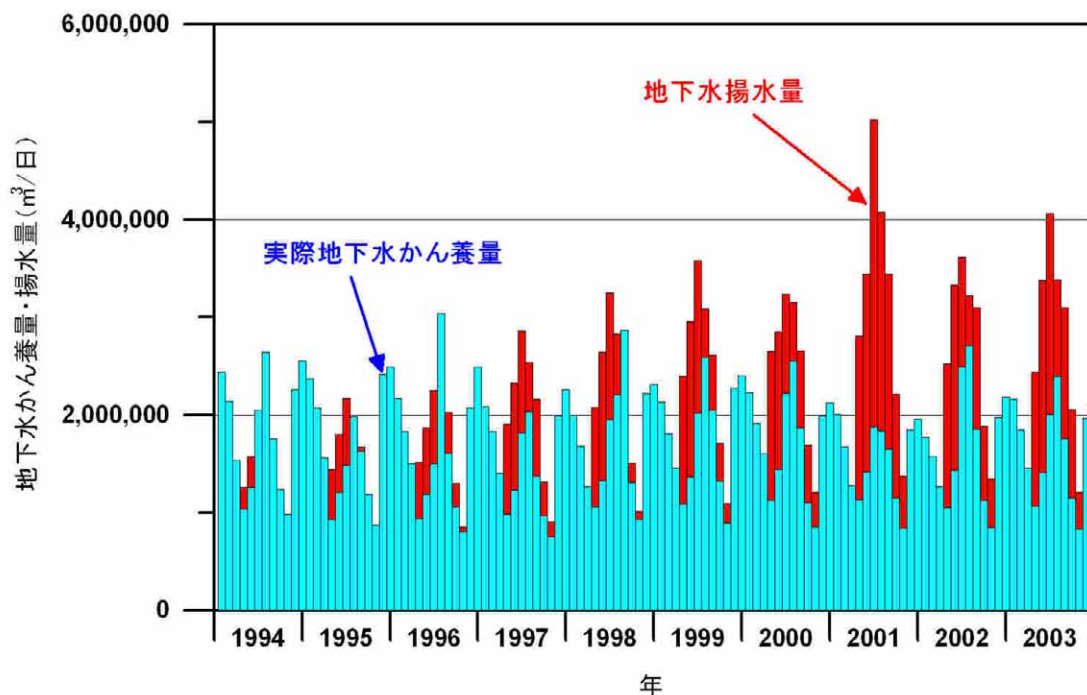
図 9.5 トルファン盆地の地下水揚水量の時系列変化

b. 地下水揚水量と地下水かん養量との比較

前節で述べたトルファン盆地の地下水かん養量と地下水揚水量との比較を図 9.6 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。また、年間のかん養量と揚水量の収支をみると、2001年以降は連続して「赤字」になっている。

図 9.6 地下水揚水量とかん養量との比較



c. 地下水揚水量の分布

トルファン盆地全域の2003年7月の揚水量分布を図9.7示す。南盆地では東部や北東部の火焰山南縁部で揚水量の大きなグリッドが分布しているほか、トルファン市やトクソン県でも冬季よりも数多くのグリッドで揚水されている。北盆地では、火焰山北側で揚水量の大きなグリッドが密集しているほか、シャンシャン市街地付近やシャンシャン県東部でも揚水量が冬季より増えている。

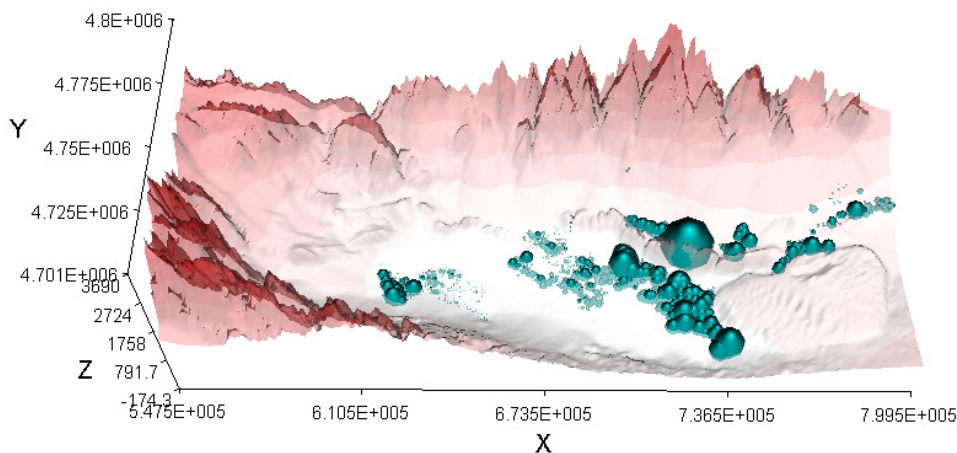


図 9.7 2003年7月の地下水揚水量分布

9.4 水文地質パラメータ

9.4.1 地下水シミュレーションに必要なパラメータ

地下水シミュレーションは、MODFLOW コードを使用する地下水流動シミュレーションと MT3DMS コードを使用する物質輸送シミュレーションに区分される。本調査ではそれぞれのシミュレーションに必要なパラメータを推定した。

9.4.2 比湧出量

比湧出量は帯水層能力の評価や井戸効率の評価に用いられるパラメータである。収集・整理した既存井戸資料をもとに、トルファン盆地における水位降下量、揚水量、比湧出量の関係を示す（図 9.8）。シャンシャン県の既存井戸は 200～3,000 m³/day の揚水量を持つ井戸が多く、中には 5,000 m³/day 以上で揚水されている井戸もある。水位降下量は 1～10 m を示す井戸が大半である。トルファン市では 300～2,000 m³/day で揚水されている井戸が多い。トクソン県では大半の井戸が 500 m³/day 以上で揚水されており、比湧出量が 1,000 m²/day を超える井戸では 3,000 m³/day 以上の揚水量で揚水されている。

9.4.3 透水量係数と透水係数

透水量係数は帯水層の能力を表す最も重要なパラメータである。本調査では、計 128 本の既存井戸の比湧出量をもとに Logan (1964) の方法により算出した透水量係数を使用した。また、シミュレーションでは層厚を考慮して透水量係数から横方向透水係数に変換しておく必要がある。そこで、スクリーン長または帯水層層厚を用いて横方向透水係数を算出し、帯水層の層相ごとにモデルへの初期入力値を設定した。

表 9.2 帯水層の層相による透水係数の初期入力値

帯水層の層相	透水係数初期入力値 (m/day)
礫相、砂礫相（帯水層能力＝大）	29.26
中粒～粗粒砂相（帯水層能力＝中）	5.88
細粒砂相（帯水層能力＝小）	1.18

9.4.4 貯留係数

貯留係数は帯水層の貯留能力を示すパラメータである。地下水シミュレーションモデルに初期値として入力する貯留係数は、既存井戸資料による貯留係数の対数平均値を参考に、被圧帯水層の代表値である 1.0E-03 とした。本調査では既存井戸の平均スクリーン長 38.5 m を使用し、比貯留量の初期入力値は 2.60E-05 m⁻¹ とした。

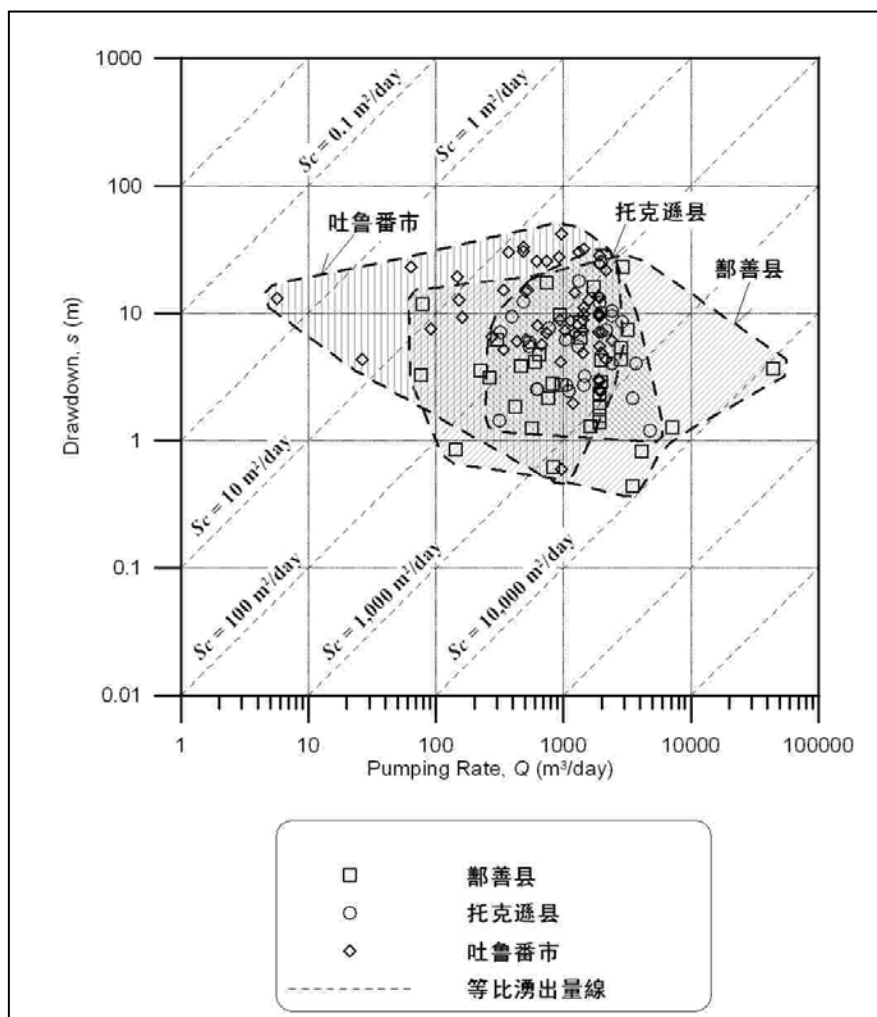


図 9.8 揚水量と水位降下量、比湧出量との関係

9.5 広域三次元モデル

9.5.1 広域三次元モデルの構造

広域三次元モデルのモデル平面グリッドは、図 9.9に示すようにトルファン地下水盆全体をカバーするように設定した。モデルグリッドは世界測地系 WGS84 の UTM 座標系第 45 帯を基準とし、各グリッドの平面サイズは 1 km×1 km とした。断面構造は、深度方向においても吐魯番地下水盆を立体的にカバーできるように 22 層構造とし、モデルの最上面標高は 2,500 m、最下面標高は -700 m とした。モデルの下面構造は、図 9.10に示すように第四系の下位に水文地質基盤に相当するグリッドを配置した。図 9.11にはトルファン地下水盆を北西側の地下から見上げた立体図を示すが、トルファン地下水盆の下面構造の特徴がよく表現されている。とくに、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ことが容易に想像できる。

広域三次元モデルでは、閉鎖境界、固定水頭境界、一般水頭境界、排水境界の 4 種の境界条件を設定し、モデルの検証過程でそれを必要に応じて修正した。

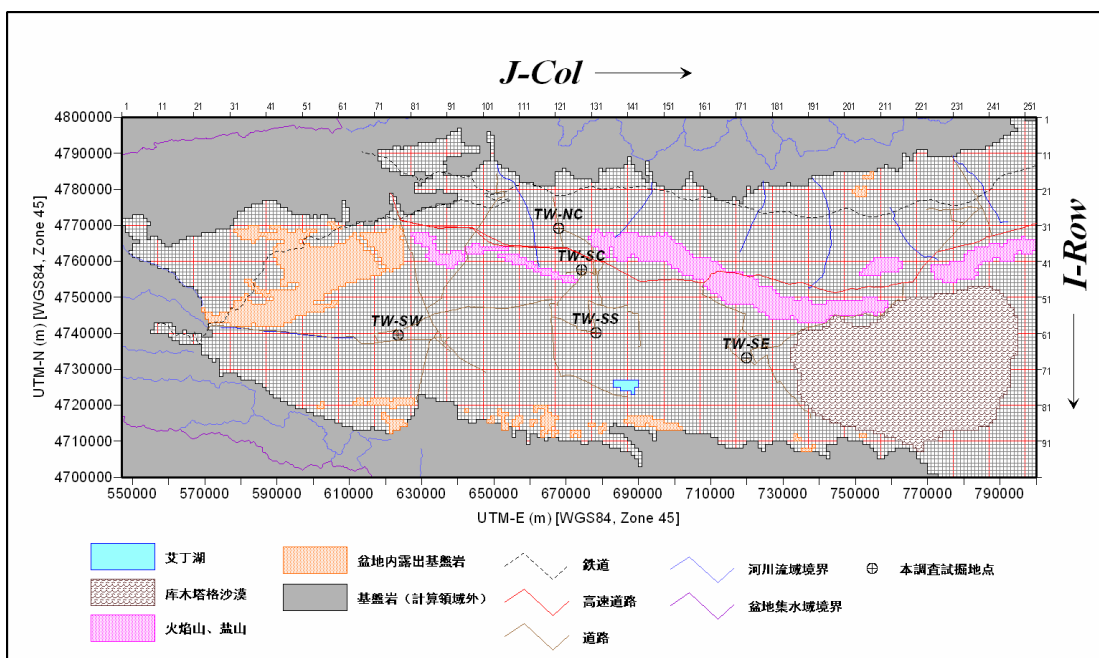


図 9.9 広域三次元モデル平面グリッド図

9.5.2 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た。検証期間の非定常計算の前に長期非定常計算（準定常計算）を行い、検証非定常計算開始時の初期水頭を作成した。

次に、作成した初期水頭を各モデル層に入力し、月別に地下水揚水量やかん養量データを入力して検証計算を行った。図9.12には、最高位変水頭グリッドの地下水面分布と地下の地下水頭等ポテンシャル分布を示す。地下水頭等ポテンシャル面は南盆地のトクソン県南部やシャンシャン南部でわずかに変化している。しかし、分布傾向はほとんど変わらず、基本的に1994年から2003年までの10年間で、トルファン盆地中の地下水流動パターンに大きな変化がないことがわかる。これは、トルファン盆地の地下水頭分布が地形ポテンシャル分布に大きく支配されており、極端な地下水位低下や上昇が起こらない限り、地形標高の高い北盆地から低い南盆地に地下水が流動し、最終的にアイディン湖付近に到達するという流動パターンは変化しないことを示している。

検証計算の結果、水頭分布やその降下量分布は実際の状態をよく再現することができることが分かった。代表的な既存観測井の地下水位変動と計算水頭変動とを対比すると図9.13に一例を示すように、計算水頭変化は1994年から2003年にかけての実測水頭の低下をよく再現している。

このように、検証された広域三次元モデルでは、過去の地下水頭分布や地下水頭低下量分布、代表的観測井における水頭変化をよく再現することができ、トルファン盆地の将来予測シミュレーションに使用できると判断される。

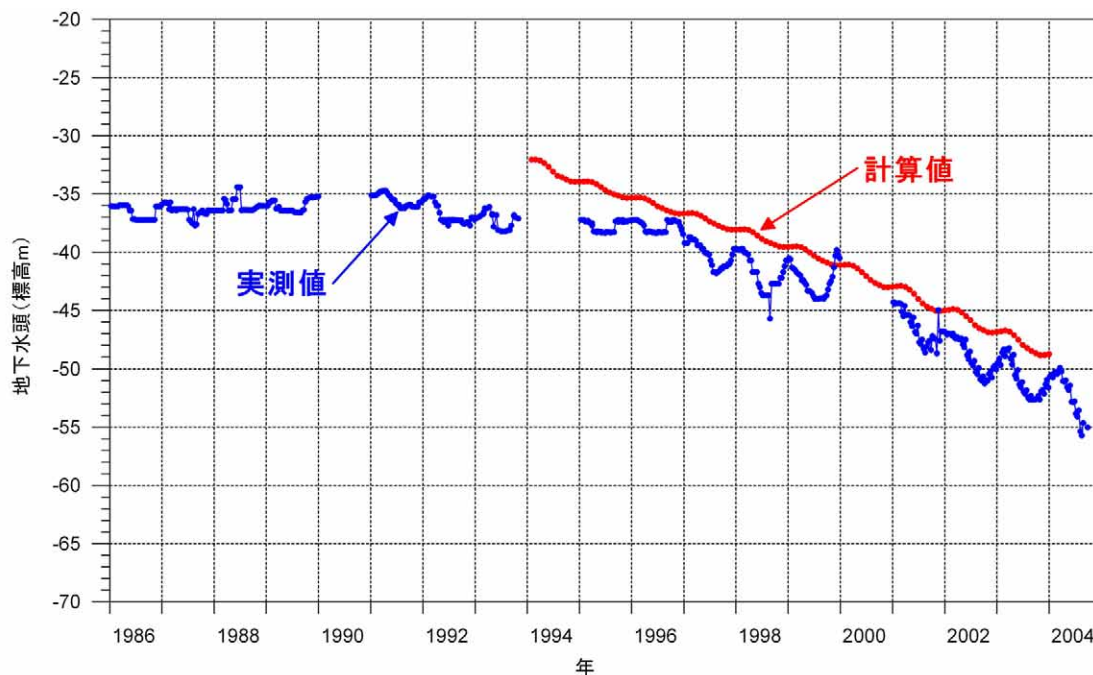


図 9.13 鄯善県No.2-14観測井における実測水頭と計算水頭との比較

9.5.3 広域三次元モデルによるトルファン地下水盆の地下水流入量

広域三次元モデルを使用して、トルファン盆地に流入する地表水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。

その結果、地表水・地下水とも盆地内に流入する水は主に盆地北側や西側の天山山脈からもたらされ、盆地南側の基盤山地からの流入はほとんどないことが判明した。また、表 9.3に示すように、周辺山地から盆地内に流入する河川水や泉・カナートからの流出量、井戸揚水による灌漑水からのかん養量の合計は、1994～2003年の10年間において2001年の5.68億 m^3 /年から1994年の6.66億 m^3 /年の間で変動しており、10年間の平均は約6.20億 m^3 /年と計算された。

一方、地下水盆を取り巻く基盤岩からの直接地下水流入量は、1994～2003年の10年間で0.27億 m^3 /年から0.54億 m^3 /年の間で変動しており、10年間の平均は約0.41億 m^3 /年と計算された。

表 9.3 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	0.27	0.54	0.41

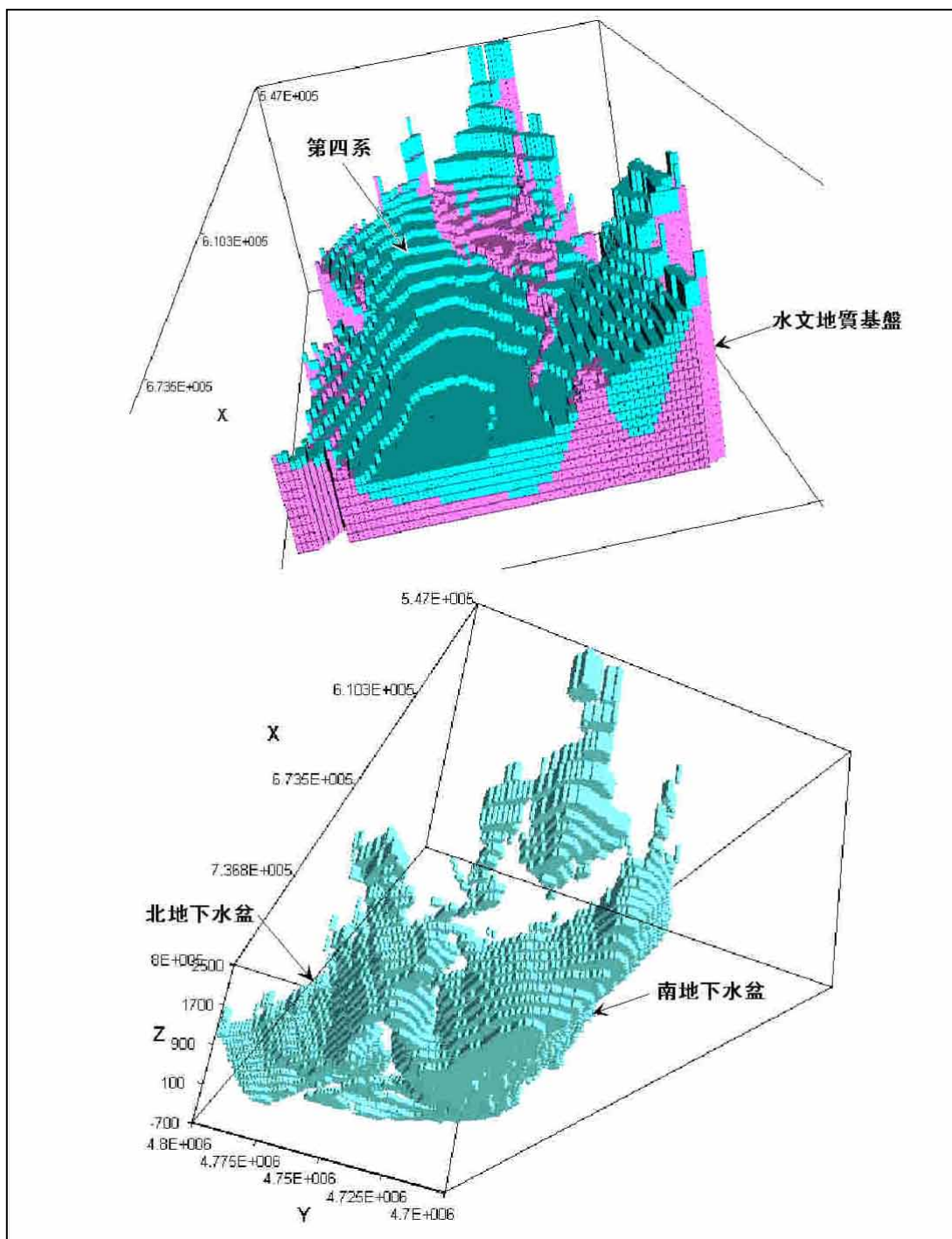


図 9.10 広域三次元モデルの下面構造

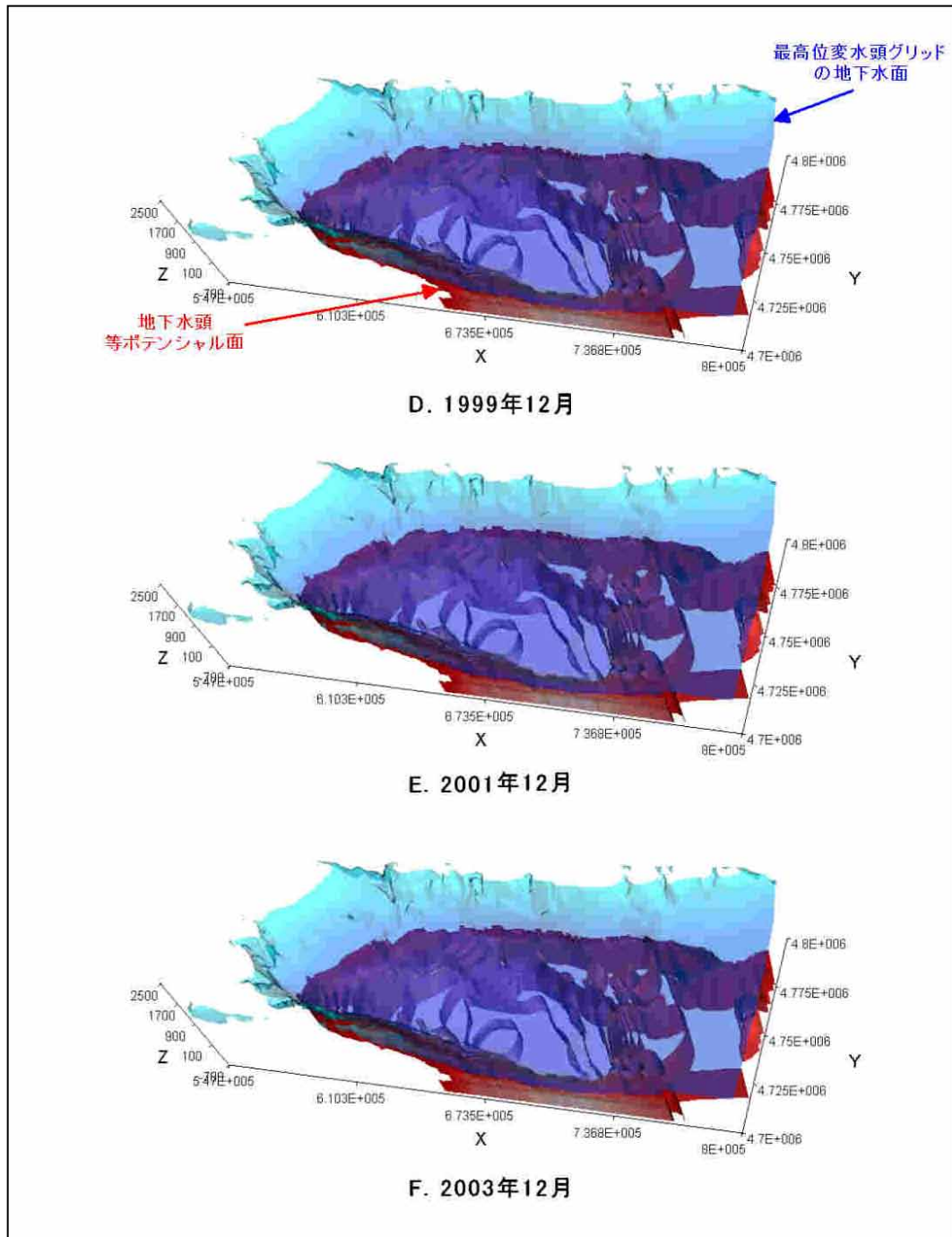


図 9.11 広域三次元モデルによる計算地下水頭分布(2)

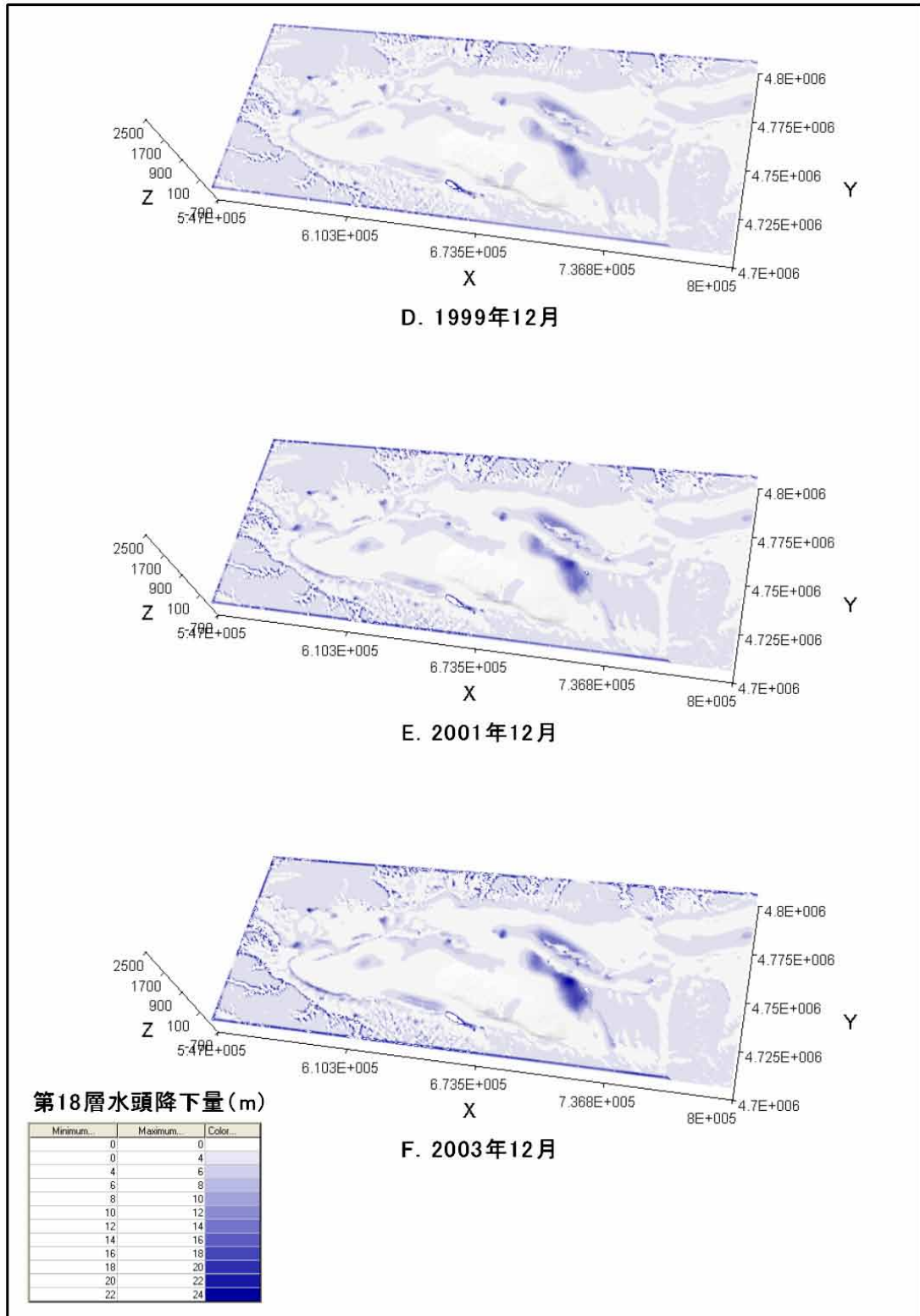


図 9.12 広域三次元モデルによる計算水頭降下量分布(2)

9.6 断面二次元モデル

9.6.1 断面二次元モデルの構造と水文地質条件のモデル化

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。図 9.14には断面モデルの位置図を示す。

南盆地東西方向の断面二次元モデルの領域は水平方向が 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の領域は水平方向が 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。

東西断面、南北断面それぞれについて、層相を考慮した水文地質断面図を作成し、それらをもとに、それぞれのモデルグリッドについて地層区分および層相区分を行なった。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、それぞれのグリッドについて地層ラベルと層相ラベルを付した。

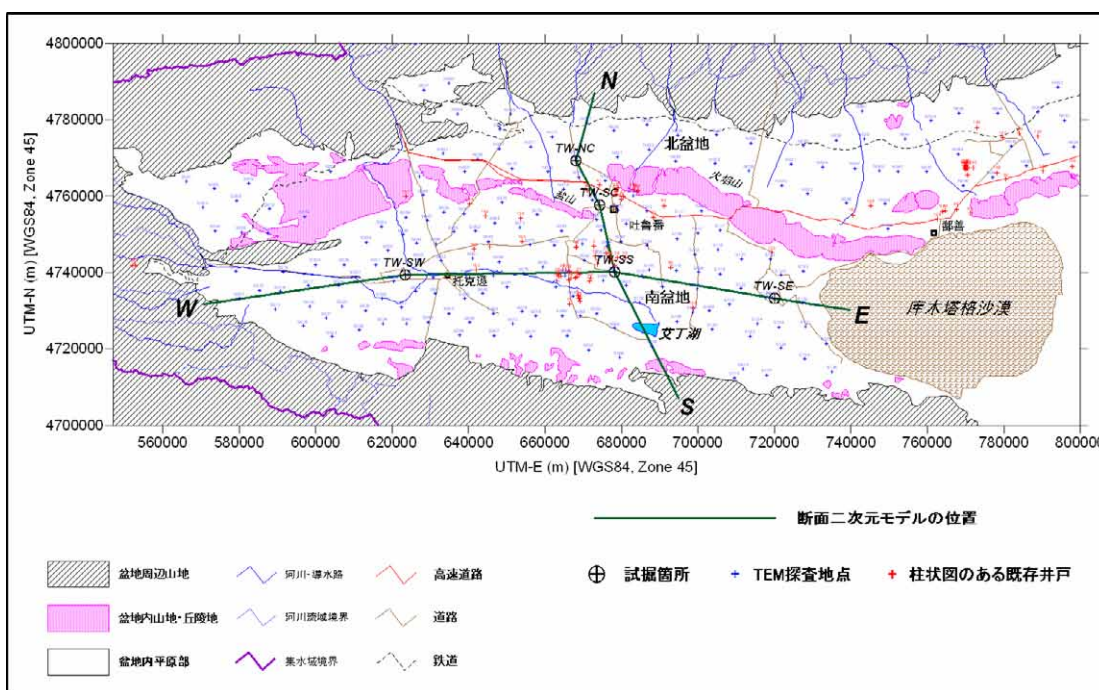


図 9.14 断面二次元モデルの位置図

9.6.2 かん養量と揚水量の入力

断面モデルへの地下水かん養量は、広域三次元モデルのグリッドとの対応関係を設定して入力した。また、地下水揚水量の入力も同様の方法で行った。は、前述の地下水かん養量の配分と同じ方法を採用した。しかし、揚水量は深度方向にも与える必要があるため、各断面モデル平面グリッドについて標高 50 m ごとの深度別揚水量を集計した。集計に当たってはモデルグリッドの層厚と透水係数を考慮して、透水性の高いグリッドから大きく揚水されるような現実にあった配慮を行った。

9.6.3 断面モデルの境界条件

南北断面モデルの固定水頭境界はアイディン湖付近の常に蒸発が発生していると考えられるグリッドに配置した。一方、トルファン市街地北部の北盆地南縁部では湧水が存在するため、一般水頭境界を設定した。これ以外のモデルの周囲は閉鎖境界とした。

9.6.4 断面モデルの検証計算

南北方向の断面モデルに1994年1月から2003年12月までの地下水かん養量と揚水量を入力して、120ヶ月間の検証計算を行った。それによる2003年12月の計算水頭ポテンシャル分布を図9.15、図9.16に示す。

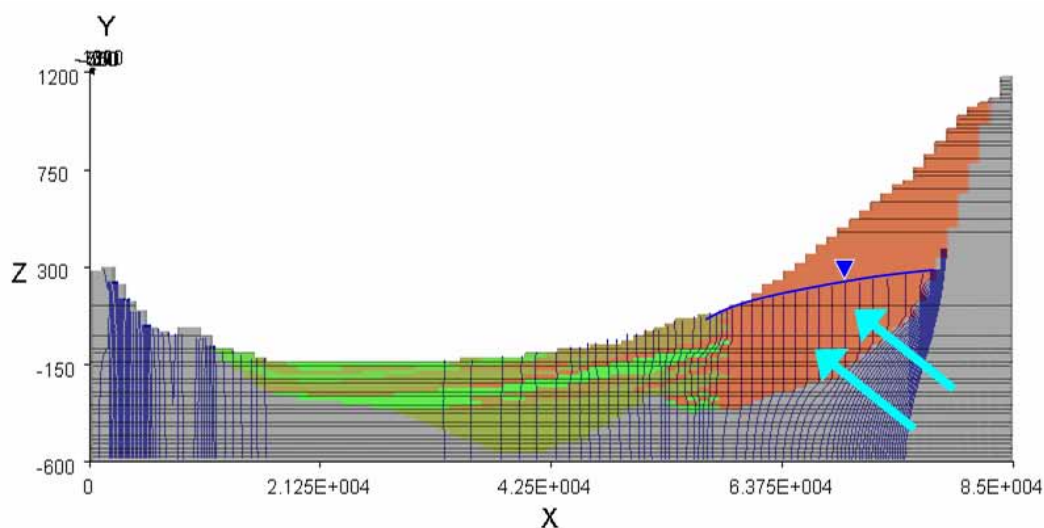


図 9.15 南北方向断面モデルの検証計算結果

南北断面モデルでは、モデルのほぼ中央部に位置するトルファン市付近を境にして北盆地と南盆地で水文地質条件が大きく異なり、計算水頭分布もその影響を受けて異なる分布パターンを示す。北部盆地では砂礫層内の計算水頭等ポテンシャル線はほぼ鉛直方向の直線として分布し、砂礫層内で深度方向の水頭差がほとんどないことを示す。また、砂礫層の透水係数が高いため、地下水面の分布形状は、地形面の傾斜よりもかなり緩やかになっており、盆地北部に行くほど地下水位が大きくなる。

一方、トルファン市付近から南側の南盆地では、透水係数の小さな粘土層を境にして深度方向の計算水頭が異なる。たとえば、トルファン市付近では、標高-150 m 付近に分布する B 層の粘土層を境にして、下位の帯水層の計算水頭は上位のそれよりも高くなっている。この計算水頭分布は、トルファン市付近の実際の観測井記録とよく一致している。

北部盆地ではとくに北側部分において、図中の矢印で示すように水文地質基盤から地下水盆に直接地下水が流入していると理解される。しかし南盆地では、基盤と地下水盆内の計算水頭値に大きな違いはなく、基盤から地下水盆内への地下水の流入はほとんどないことを示している。

東西方向断面モデルの検証結果は、西側のトクソン県において計算地下水頭が高く、また、基盤岩から地下水盆への地下水の直接流入が発生していることが理解される。ま

た、トクソン県中部から下流のアイディン湖付近にかけては、計算地下水頭が地表面標高よりも高くなっており、自噴帯が形成されていることを示す。これは、観測井による実際水位の分布状況とよく一致している。

一方、東西モデル東半部では、シャンシャン県南部の地下水揚水量が大きいことと、東側のクムタグ砂漠のからは地下水の補給がほとんどないことから、計算地下水面は地表面よりも低く、モデルにおいても自噴帯はみられない。このように、東西断面モデルも実際の地下水位の分布状況をよく再現していると判断される。

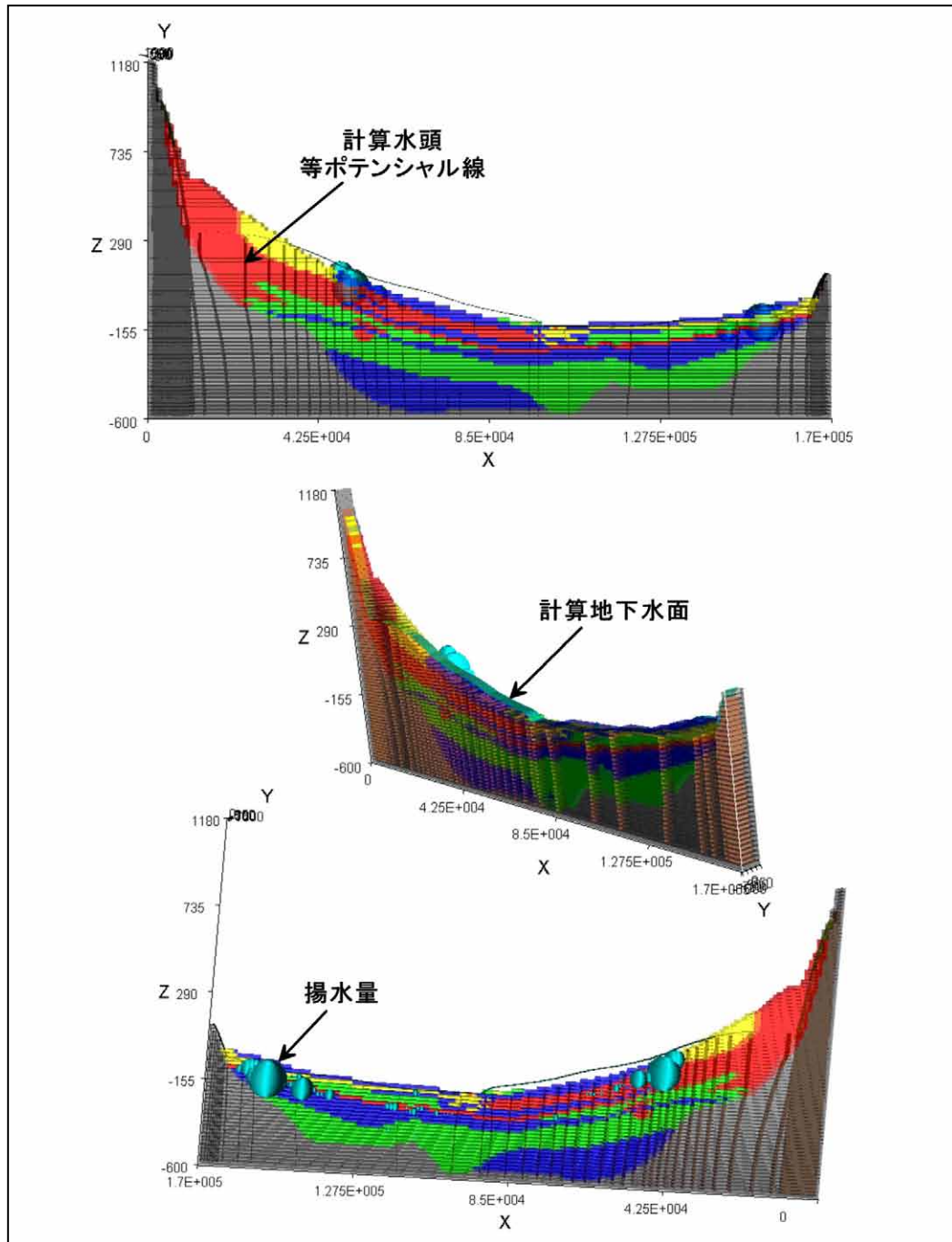


図 9.16 東西方向断面モデルの検証計算結果

9.7 局所三次元モデル

9.7.1 局所三次元モデル対象地域

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（図 9.17参照）。モデル化した地域は東西 25 km、南北 35 km の範囲であり、北側には火焰山、東側にはクムタグ砂漠を含む。局所三次元モデルに含まれる地域は、農業が活発な地域であるが、2004 年夏には地下水位が異常に低下して多くの井戸で井戸枯れや揚水量の減少が発生した。なお、南部の迪坎郷では砂漠化が進行しており住民移転を余儀なくされている。

この地域は北側を火焰山、東側をクムタグ砂漠でさえぎられた状態になっており、地表水は季節的に北盆地の二唐溝の河川水等が導水されているが、農業用水のほとんどは地下水によりまかなわれている。この地域には多くのカナートが利用されていたが、現在ではそのほとんどが枯れており利用されていない。

9.7.2 かん養量と揚水量

局所三次元モデルに入力したかん養量と揚水量は、広域三次元モデル用に集計したかん養量データと揚水量データをもとに、250 m×250 m グリッド別に再集計した。

a. かん養量

1994～1997 年頃までは夏季のほか冬季にも実際地下水かん養量の増加するピークが認められたが、1998 年以降は夏季のみにピークが現れている。これは、カナートや泉からの流出量が減少したため、以前はこれらの水源から冬季にも地下水かん養が発生していたが、近年はカナートや泉からの流出量がほとんどなくなり、地下水かん養量は主に井戸からの揚水量と導水路からの浸透量に依存していることを示している。

図 9.18に示した 2003 年 7 月の実際かん養量のグリッド別分布をみると、灌漑農地で広く地下水かん養が発生していることがわかる。とくに、モデル内北西部では、グリッドあたりのかん養量が中央部や南東部よりも大きくなっている。

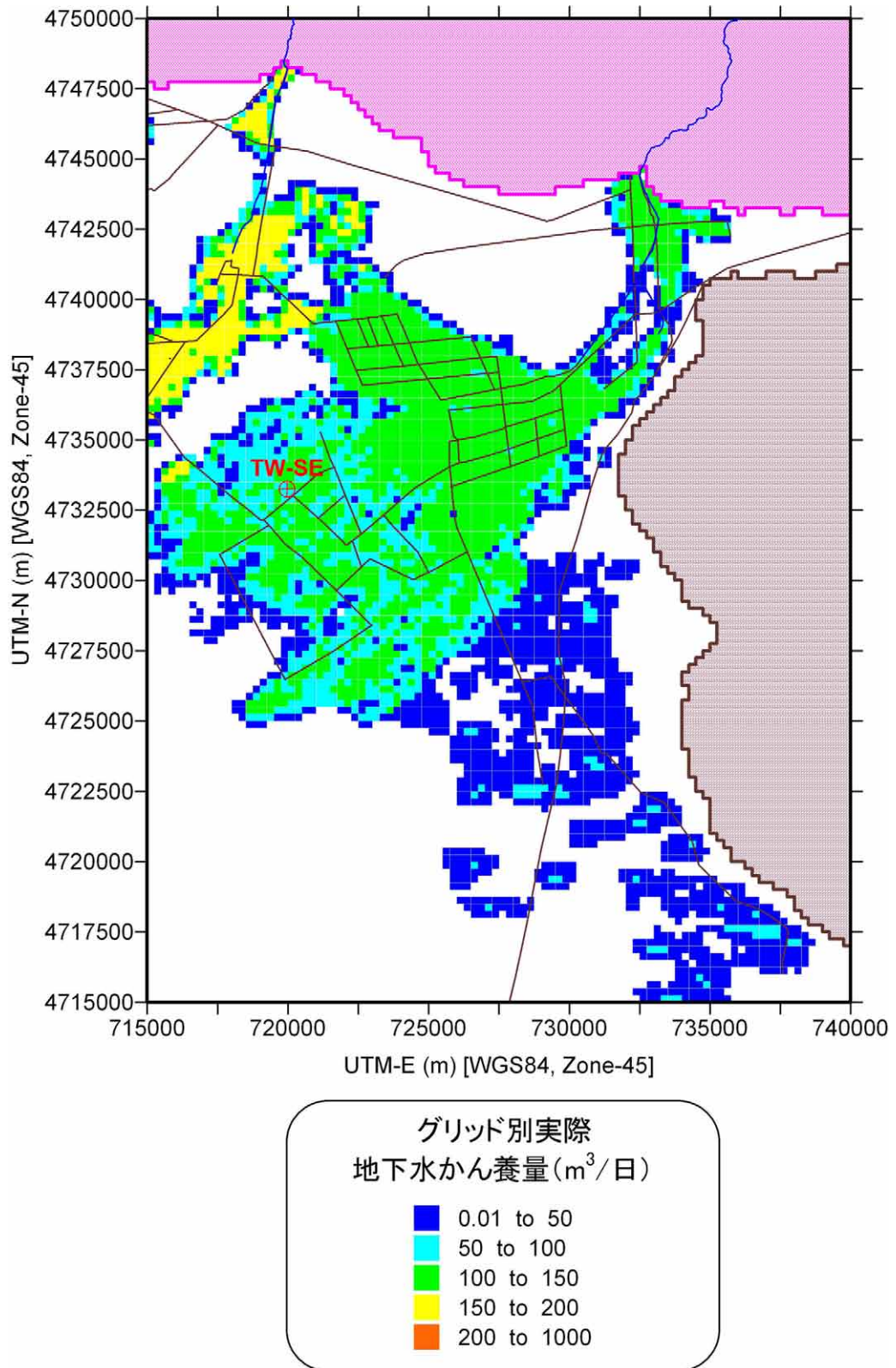


図 9.18 グリッド別実際地下水かん養量(2003年7月)

b. 地下水揚水量

局所三次元モデルに入力した検証期間（1994年1月～2003年12月）の地下水揚水量を、実際地下水かん養量とともに図9.19に示す。これによると、地下水揚水量は1994年以降1999年にかけて年々急激に増加し、その後も2003年まで増加傾向を示す。

これに対して地下水かん養量は、夏季の井戸揚水量からの灌漑量の増加に伴い夏季のピークが顕著になるものの、年間かん養量自体はほとんど増加せず、夏季に地下水揚水量が地下水かん養量を上回る大幅な赤字状態が深刻化している。

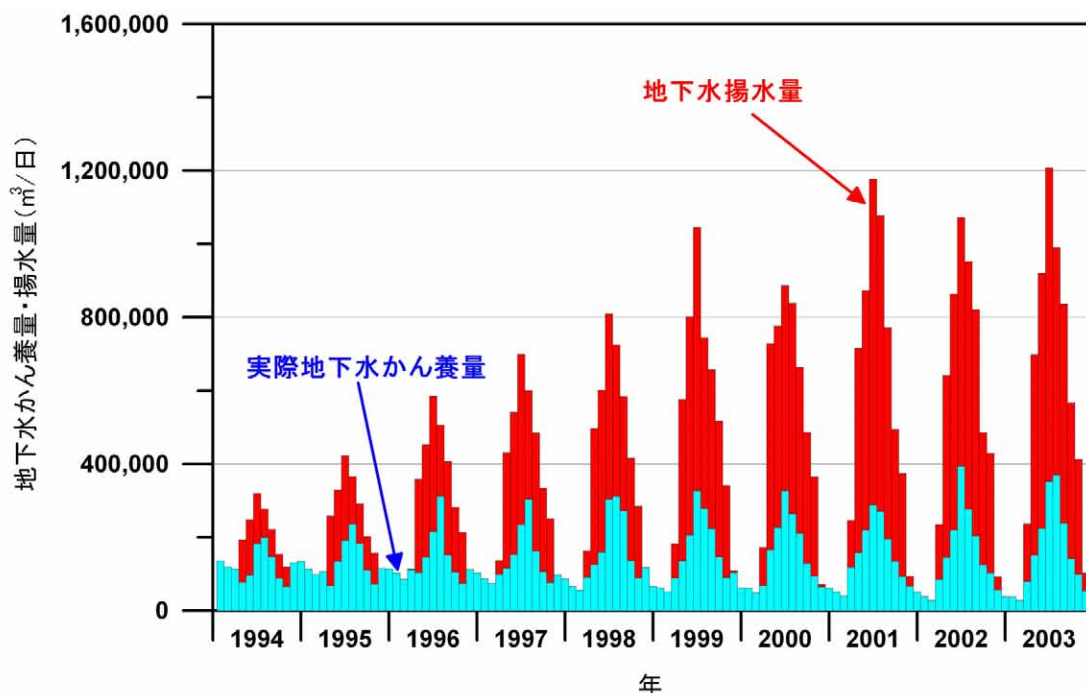


図 9.19 局所三次元モデルに入力した実際地下水かん養量と揚水量

9.7.3 モデルの検証

局所三次元モデルの検証は、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た。計算地下水頭は南西で低く北東に向かって高くなる分布を示すが、冬季と夏季では夏季のほうが水頭等ポテンシャル面は北東側に移動しており、夏季に地下水頭が低下していることを示している。また、1994年に比べて、1998年、2003年と時間が経過するにつれ等水頭ポテンシャル面が北東側に入り込んだ分布を示すようになり、モデル中央部の水頭が低下していることを示している。

1994年1月の初期水頭を基準とした計算水頭低下量は1997年12月には7.5～10 mに達する地域が現れはじめ、2000年12月には12.5～15 mに達する地域がモデル化地域中央部に出現する。2003年12月には、モデル化地域中央部の水頭低下は顕著になり、17.5～20 mの水頭低下地域が明瞭になる。この地域は、2004年夏季に発生した水頭低下による井戸枯れや揚水量減少地域とよく一致しており、このまま揚水量が増加し続けると、さらに深刻な地下水頭の低下が発生することが懸念される。

図9.20には、鄯善県 No. 2-14 観測井で記録された実測地下水頭と計算地下水頭との対比を示す。これによると、計算水頭変化は1994年から2003年にかけての実測水頭の低下を極めてよく再現している。

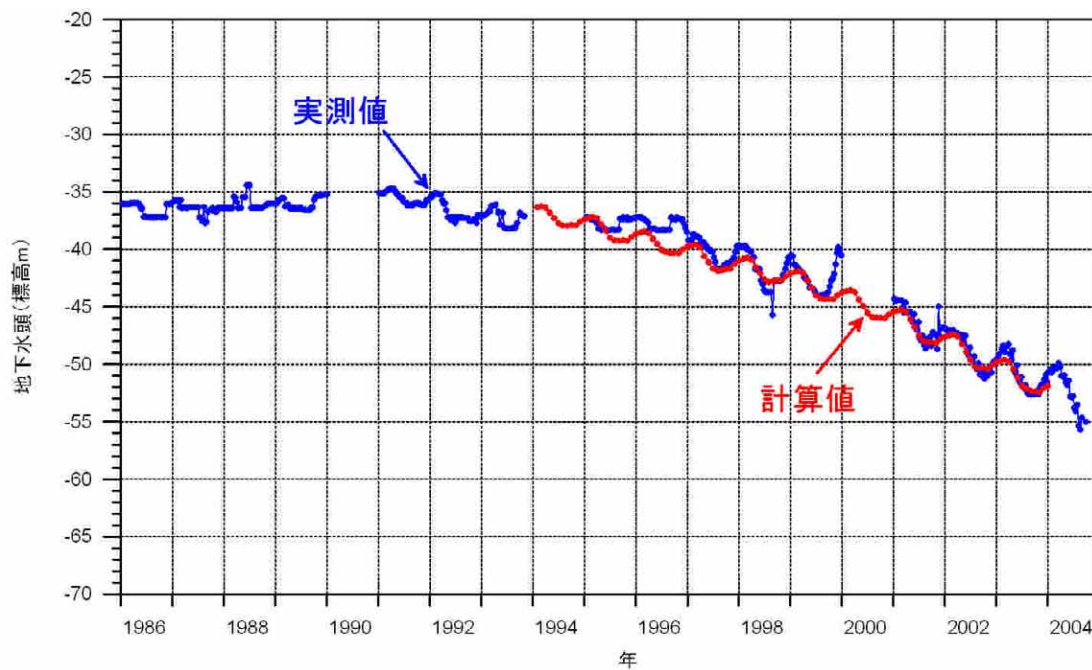


図 9.20 局所三次元モデルによる計算水頭と実測水頭の比較 (No.2-14 観測井)

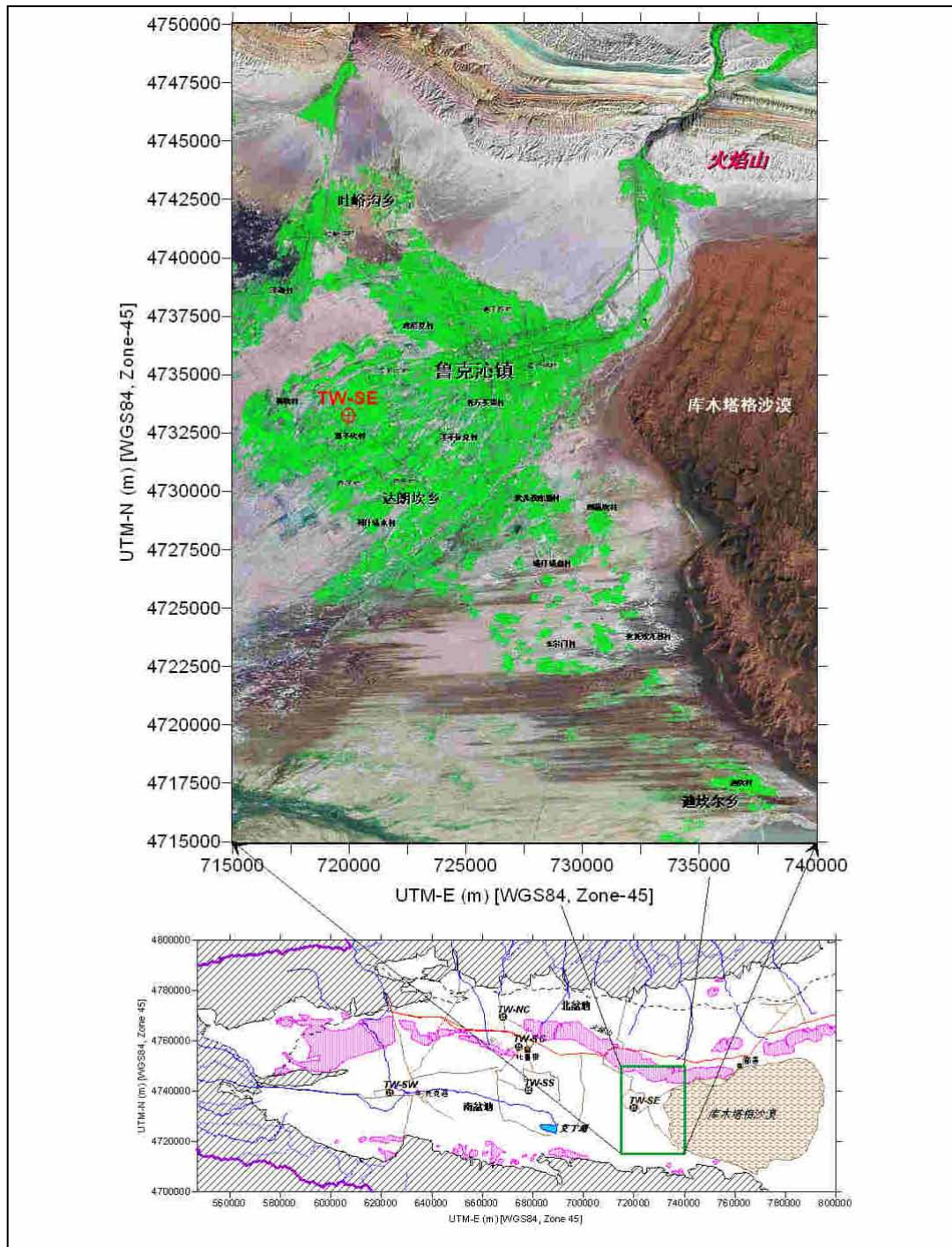


図 9.17 局所三次元モデル位置図

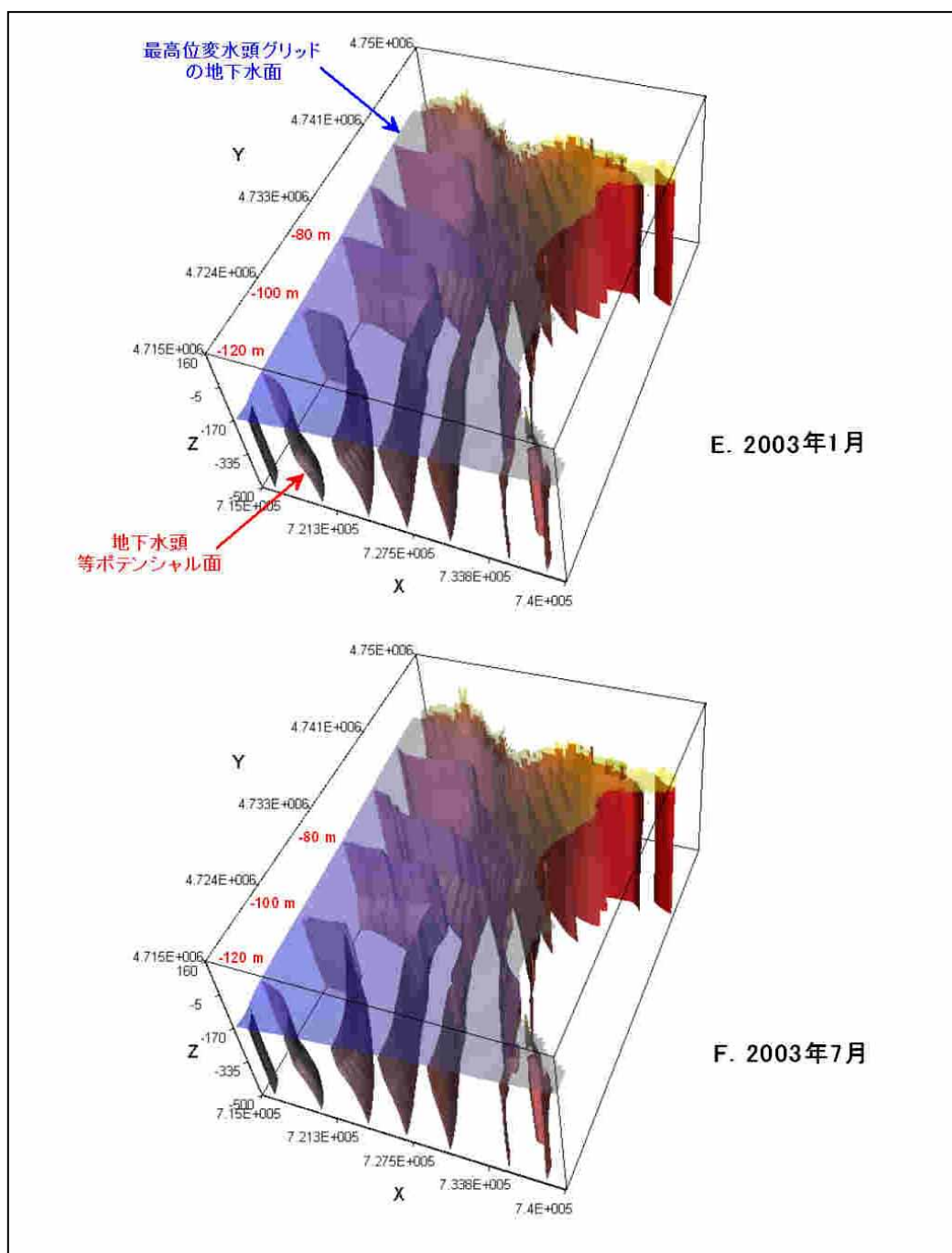


図 9.21 局所三次元モデルによる計算地下水頭分布(3)