

## 9.7 局所三次元モデル

### 9.7.1 局所三次元モデルの構造

#### a. 局所三次元モデルの平面構造

局所三次元モデルは、トルファン盆地南地下水盆東部の達朗坎地区を対象に作成した（図 9.7.1参照）。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、東側には庫木塔格（クムタグ）砂漠を含む。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 250 m×250 m とした（図 9.7.2参照）。表 9.7.1には、局所三次元モデルの平面諸元をまとめて示す。

表 9.7.1 局所三次元モデルの平面諸元

	東西方向	南北方向
モデルの大きさ	25 km	35 km
グリッド数	100 列	140 行
UTM 座標 (WGS84, Zone-45)	西 : 715,000 m 東 : 740,000 m	南 : 4,715,000 m 北 : 4,750,000 m
グリッドの大きさ	250 m	250 m
平面グリッドの数	14,000 個	

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、達浪坎郷や迪坎郷、吐峪溝郷などがあり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。

図 9.7.3には局所三次元モデル化地域の鳥瞰図を示すが、この地域は北側を火焰山、東側を庫木塔格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が魯克沁干渠を通じて導水されているほか、少量の地表水が吐峪溝支渠から配水されているだけであり、農業用水のほとんどは地下水によりまかなわれている。

こうした達朗坎地区の平面的な諸条件を、図 9.7.4にまとめて示す。局所三次元モデルでは、平面的には火焰山に相当するグリッドと庫木塔格砂漠に相当するグリッドを、非計算領域として取り扱う。一方、盆地内の農地および草地は地下水や導水された地表水により灌漑されているので、地下水かん養量を与える。なお、この地域には図に示すように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。

#### b. 局所三次元モデルの断面構造

局所三次元モデルの断面構造は、モデル化地域平原部の地表面からトルファン地下水盆の水文地質基盤上面までの地下水盆の構造を立体的にカバーできるように 35 層構造とし、モデルの最上面標高を 200 m、最下面標高を-500 m とした。したがって、局所三次元モデル全体の厚さは 700 m となる。

モデル層の層厚は、図 9.7.5に示すように第 1 層から第 35 層までを一律に 20 m とした。そして、それぞれのグリッドに地層区分や層相区分に応じた水文地質パラメータを与えることとした。

標高(m)	モデル層	モデル層厚(m)
200	1	20
180	2	20
160	3	20
140	4	20
120	5	20
100	6	20
80	7	20
60	8	20
40	9	20
20	10	20
0	11	20
-20	12	20
-40	13	20
-60	14	20
-80	15	20
-100	16	20
-120	17	20
-140	18	20
-160	19	20
-180	20	20
-200	21	20
-220	22	20
-240	23	20
-260	24	20
-280	25	20
-300	26	20
-320	27	20
-340	28	20
-360	29	20
-380	30	20
-400	31	20
-420	32	20
-440	33	20
-460	34	20
-480	35	20
-500		

図 9.7.5 局所三次元モデルの断面構造

c. 局所三次元モデルの立体構造

以上述べた局所三次元モデルの骨格にしたがい、実際のモデル化地域の地形面標高と水文地質基盤の上面標高を考慮して、モデルの立体構造を構築した。図 9.7.6には、局所三次元モデルの立体構造を示す。モデルの計算領域は、火焰山および庫木塔格砂漠を計算領域から除くとともに、完全に地表面よりも高い場所に位置するグリッドも非計算領域グリッドとして計算領域から除いた。

モデル化した第四系の下位には、図 9.7.6の B 図に示すように水文地質基盤に相当するグリッドを配置した。局所三次元モデルでは、広域三次元モデルと同様にトルファン地下水盆の下位に分布する水文地質基盤についてはモデル上では非計算領域とせず、第四系とは異なる水文地質パラメータ値を入力して、水文地質基盤と第四系地下水盆の地下水の交流関係を検討できるようにした。水文地質基盤の上面構造は、局所三次元モデル化地域内で掘削した TW-SE-1 観測井で確認された基盤深度や本調査で実施した物理探査結果により作成した基盤上面標高分布図をもとにモデル化した。

### 9.7.2 境界条件

シミュレーションモデルでは、水文地質条件を考慮した境界条件の設定が必要である。局所三次元モデルでは、以下のような境界条件を設定し、モデルの検証過程でそれを必要に応じて修正した。

#### a. 閉鎖境界

閉鎖境界は、これを境にして内側と外側との間で地下水流動が発生しない境界のことであり、局所三次元モデルではモデルの底面（標高-500 m）と、後述する固定水頭境界を指定していないモデル外周グリッドの側面を閉鎖境界とした。

なお、広域三次元モデルおよび断面二次元モデルの検証結果より、庫木塔格砂漠の下位に分布する基盤岩および火焰山を構成する基盤岩からの地下水流入量はきわめて小さいと判断されたため、局所三次元モデルでは庫木塔格砂漠および火焰山に相当するグリッドを不透水グリッドとして計算領域から除外した。また、広域三次元モデルと同様に、モデル層によってはその分布標高が高く、実際の地層が存在しないグリッドがあるため、そうしたグリッドもモデル上では不透水グリッドとして扱い、計算領域から除外した。

#### b. 固定水頭境界

固定水頭境界は、図 9.7.7に示すように、火焰山の谷間から南盆地に流入する河川が位置するグリッドと、計算領域南西部の表層グリッドに設定した。前者は火焰山谷谷における湧水および導水路からのかん養を再現するため、また、後者は艾丁湖に近いグリッドは水位がほぼ一定であると仮定して設定されたものである。

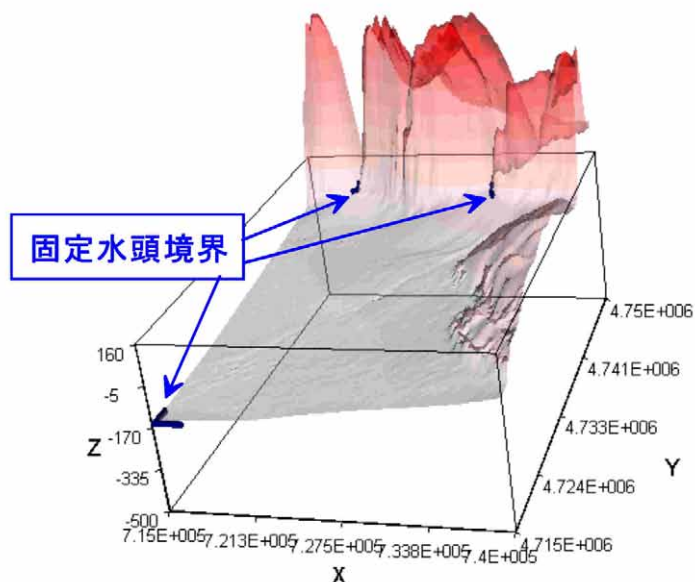


図 9.7.7 局所三次元モデルの固定水頭境界

### 9.7.3 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. 地下水かん養量

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）の実際地下水かん養量を図 9.7.8に示す。これによると、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。

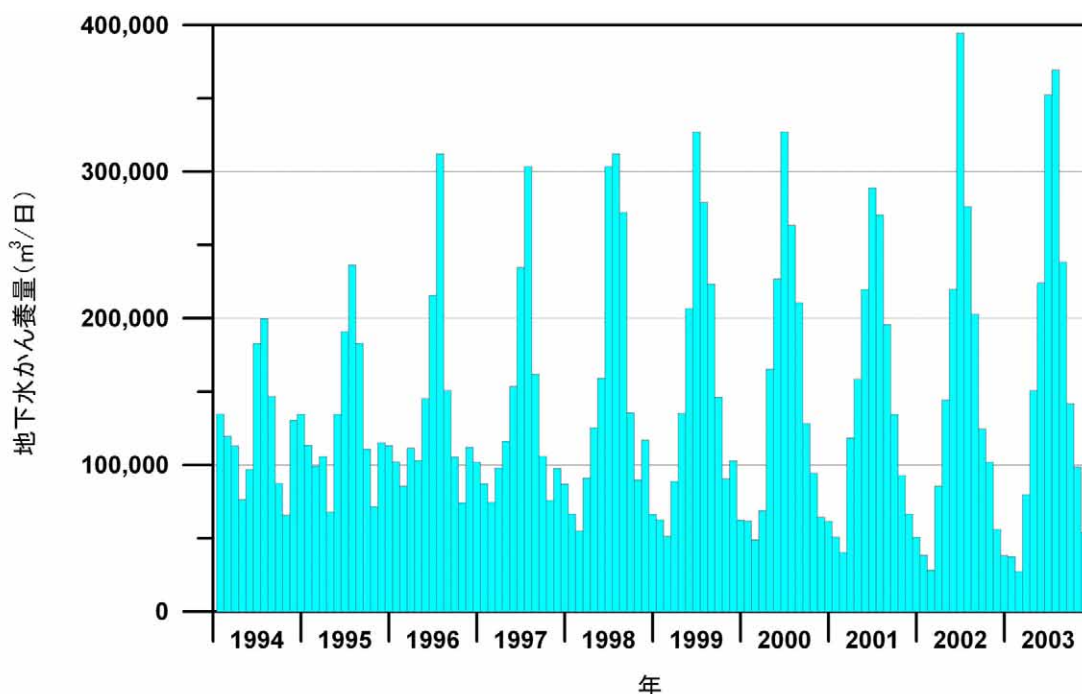


図 9.7.8 局所三次元モデルに入力した実際地下水かん養量

図 9.7.9には、2003年1月の実際地下水かん養量のグリッド別分布状況を示す。これによると、最近の冬季の地下水かん養は、火焰山の谷間からの導水路沿い付近のグリッドと、モデル化地域南東部に残存する泉やカナートが位置するグリッド付近のみで発生している。

一方、図 9.7.10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。

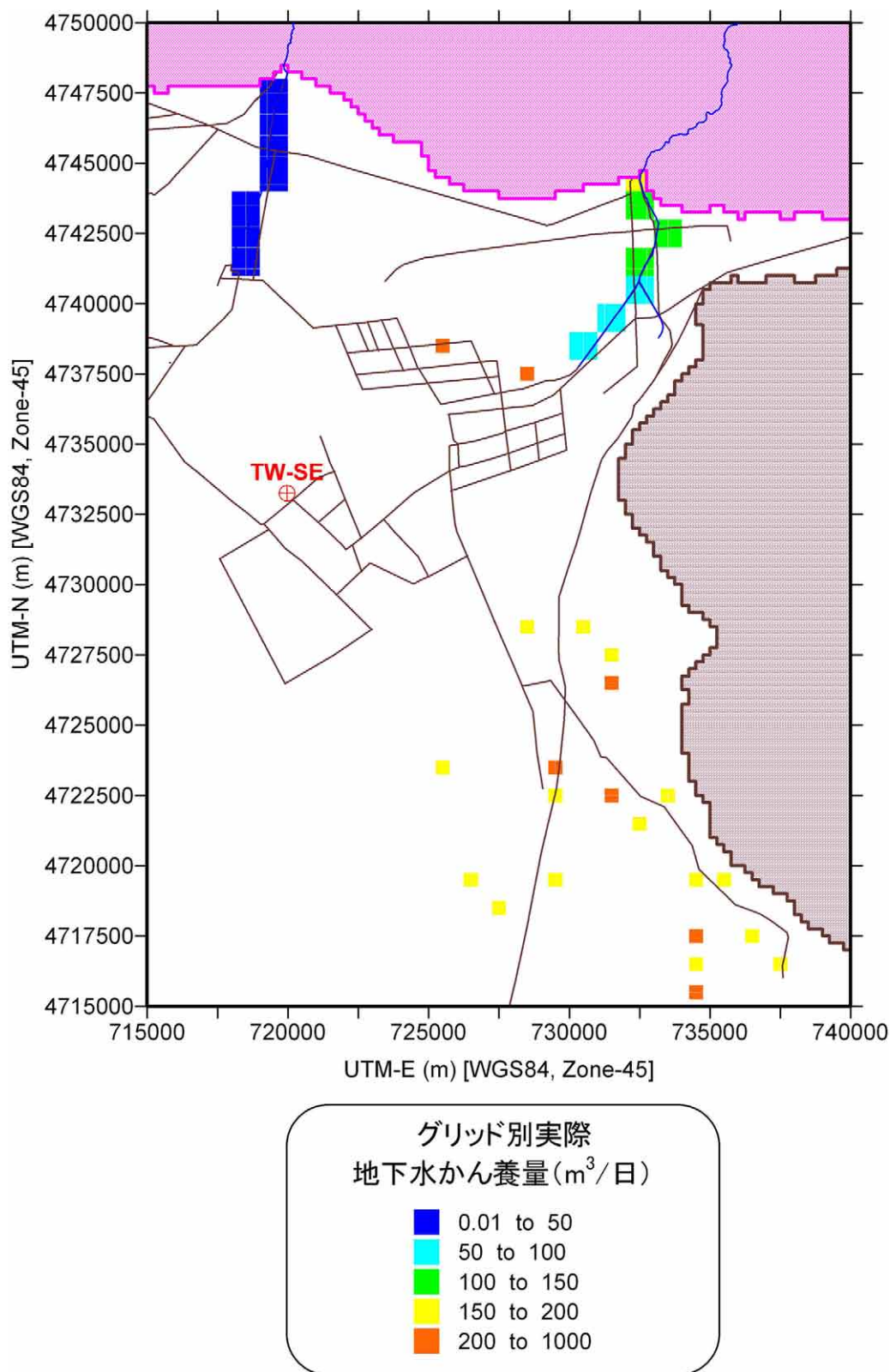


図 9.7.9 グリッド別実際地下水かん養量(2003年1月)

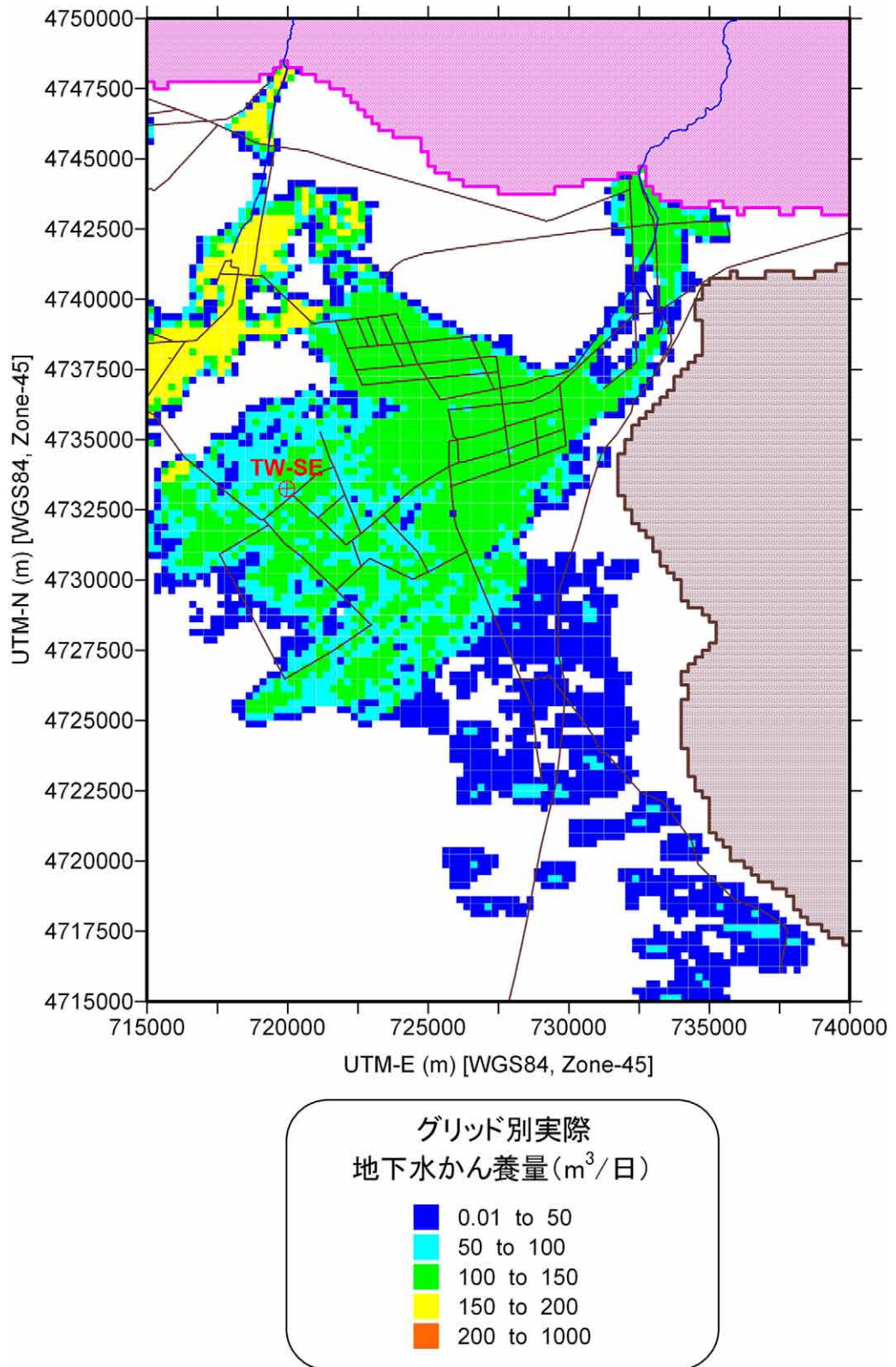


図 9.7.10 グリッド別実際地下水かん養量(2003年7月)

### 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 9.7.11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。

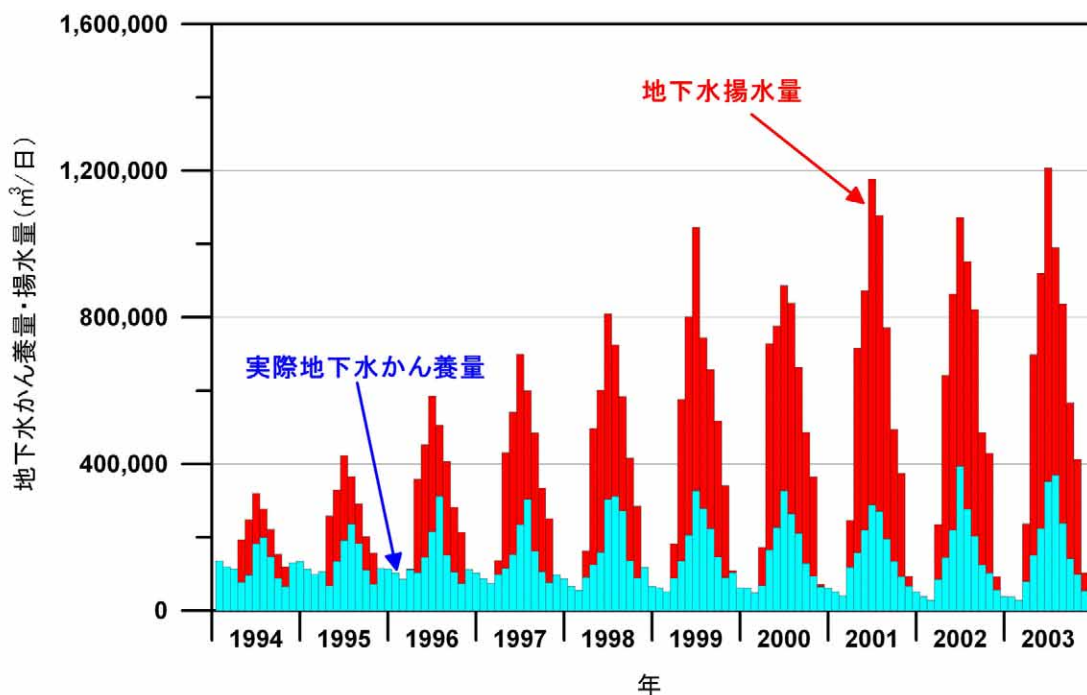


図 9.7.11 局所三次元モデルに入力した実際地下水かん養量と揚水量

検証期間の夏季の地下水揚水量分布の変化をみるために、1994年7月の揚水量分布図（図 9.7.12）と2003年7月の揚水量分布図（図 9.7.13）を示す。これによると、2003年7月には1994年7月よりも数多くのグリッドから地下水が揚水されていることがわかる。これは、この期間に多くの井戸が設置され、最近では局所モデル化地域の灌漑農地において、ほとんどすべての250 m×250 mグリッドから地下水が揚水されていることを示している。

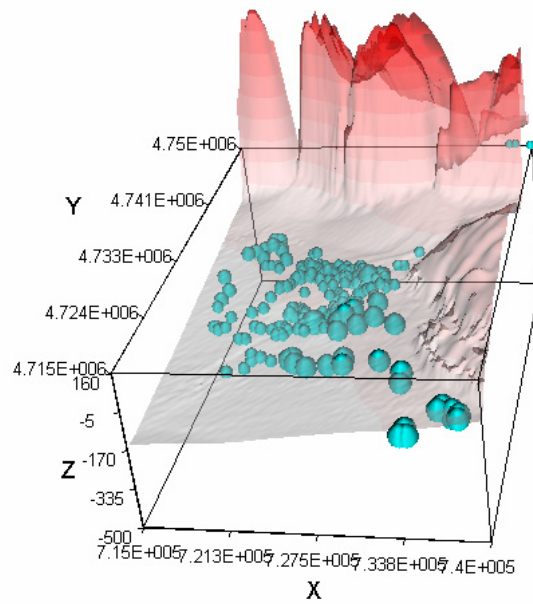


図 9.7.12 局所三次元モデルに入力した 1994 年 7 月の揚水量分布

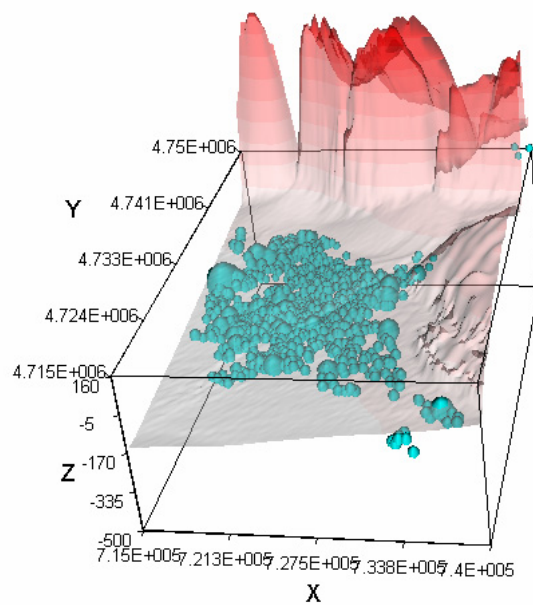


図 9.7.13 局所三次元モデルに入力した 2003 年 7 月の揚水量分布



#### 9.7.4 モデルの検証

##### a. 初期水頭の作成

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が、検証計算開始時の初期水頭は、広域三次元モデルによる長期非定常計算（準定常計算）結果を利用して作成した。

##### b. 検証非定常計算による計算水頭分布

前項で作成した初期水頭を各モデル層に入力し、1994年1月から2003年12月までの120ヶ月間について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9.7.14、図9.7.15および図9.7.16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。

それによると、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。

##### c. 検証非定常計算による計算水頭降下量分布

1994年1月の初期水頭を基準とした計算水頭降下量分布を図9.7.17および図9.7.18に示す。

それによると、計算水頭降下量は1997年12月には7.5～10mに達する地域が現れはじめ、2000年12月には12.5～15mに達する地域がモデル化地域中央部に出現する。

検証期間終了時の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、17.5～20m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。

##### d. 計算水頭変動と実測水頭変動との比較

以上のように、本調査で作成し検証されたモデルでは、実際の地下水頭分布や水頭降下量分布をよく再現することができる。さらにモデルの精度を検証するために、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した。

図9.7.18には、シャンシャン県 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。広域三次元モデルでは水頭の絶対値に2m程度の差が生じ、しかも季節変動パターンが小さめに再現されていたが、局所三次元モデルでは詳細にその変動パターンを再現することができる。

以上のように、検証された局所三次元モデルでは、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、南盆地東部の地下水障害が深刻な地域における将来予測シミュレーションを精度よく実施できると判断される。

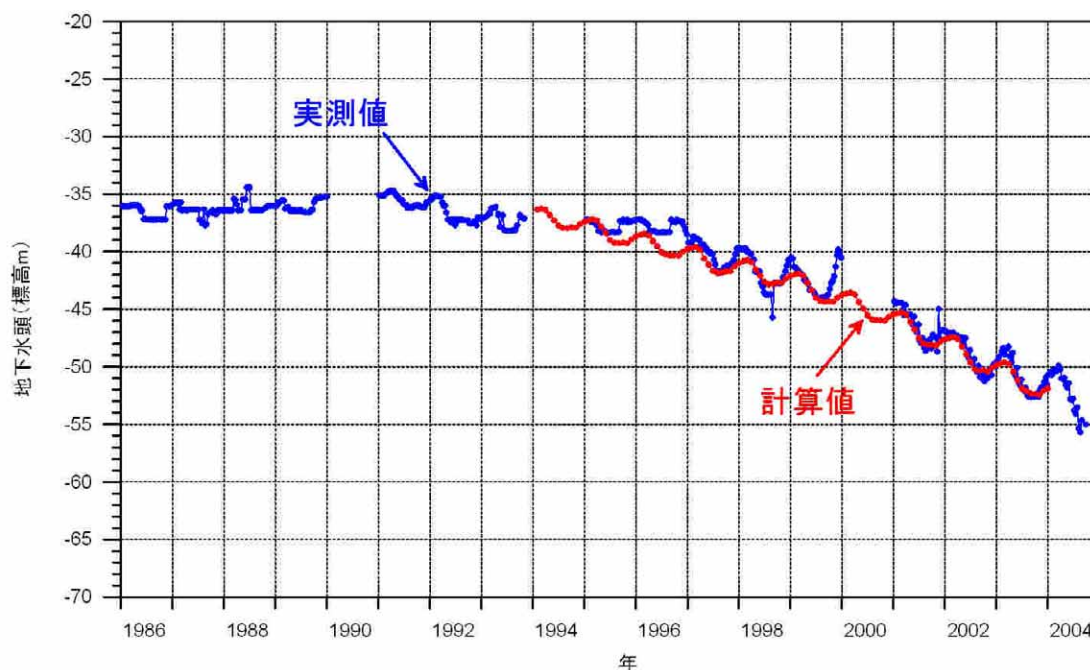


図 9.7.19 局所三次元モデルによる計算水頭と実測水頭の比較(No.2-14 観測井)

#### 【参考文献】

- 1) Gelhar, L.W., 1986, Stochastic subsurface hydrology, from theory to applications. *Water Resources Research*, 22, 9, 135S-145S.
- 2) Konikow, L. F. and Bredehoeft, J. D., 1978, *Computer Model of Two-dimensional Solute Transport and Dispersion in Ground Water*. Techniques of Water Resources Investigations Book 7, Chap. C2, USGS, 90p.
- 3) Logan, J., 1964, Estimating transmissibility from routine production tests of water wells. *Ground Water*, 2, 35-37.
- 4) McDonald, M. G. and Harbaugh, A. W., 1988, A modular three-dimensional finite-difference ground-water flow model. Techniques of Water-Resources Investigations 06-A1, USGS, 576p.
- 5) Shibasaki, T., Azemoto, S., and Kotsuma, T., 1967, A various investigation on coefficient of aquifer. *Soils and Concrete*, 48, 5-11. (in Japanese)
- 6) Shibasaki, N., 1996, Relationship between transmissivity and specific capacity for evaluating aquifer characteristics. *Jour. Geol. Soc. Japan*, 102, 419-430.
- 7) Thiem, G., 1906, *Hydrologische Methoden*. Gedhardt, Leipzig, 56p.
- 8) Walton W. C., 1970, *Groundwater Resource Evaluation*. McGraw-Hill, New York, 587p.
- 9) Zheng, C., 1990, MT3D, a modular three-dimensional transport model, S.S. Papadopoulos & Associates, Inc., Rockville, Maryland
- 10) Zheng, C. and Wang P. P., 1999, MT3DMS: A modular three-dimensional multispecies model for simulation of advection, dispersion and chemical reactions of contaminants in

groundwater systems; Documentation and Users Guide, Contract Report SERDP-99-1, U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS.

- 11) 中华人民共和国建設部, 2001, 供水水文地质勘察规范. 中华人民共和国国家标准, GB50027-2001, 中国计划出版社, 北京、115p.
- 12) 黄文房等, 1998, 绿洲的发展与生态环境建设. 新疆科技卫生出版社、乌鲁木齐、227p.

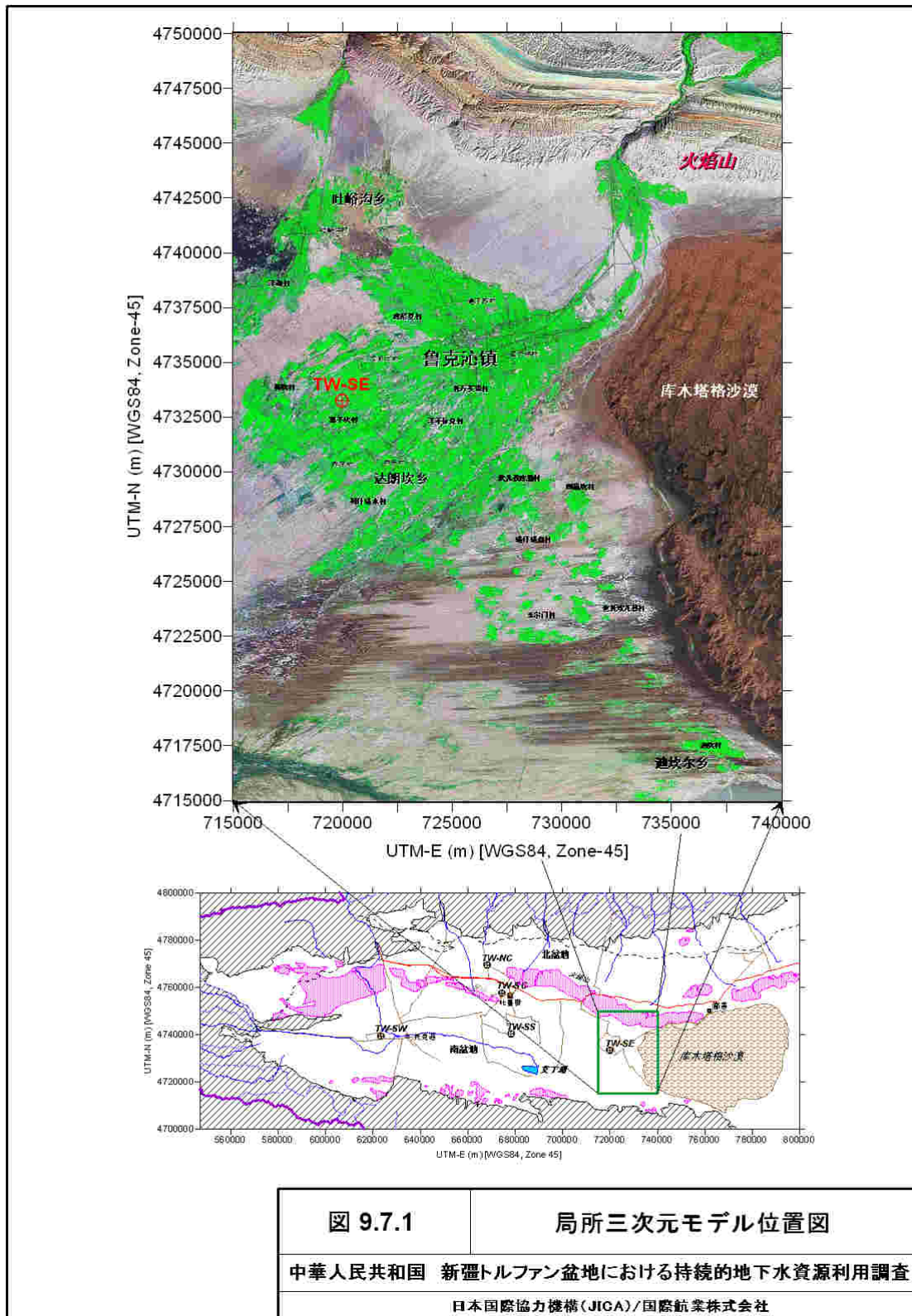
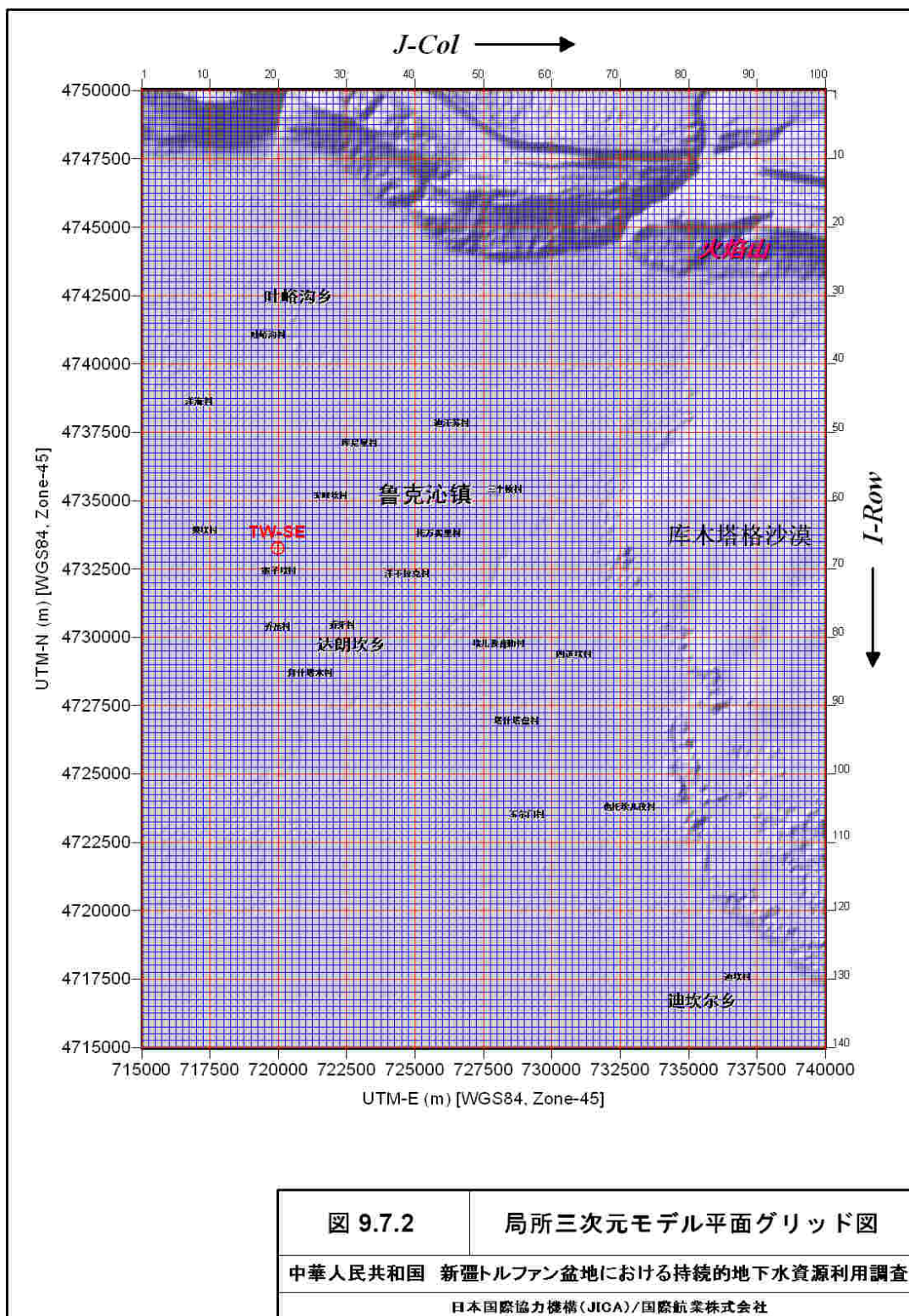


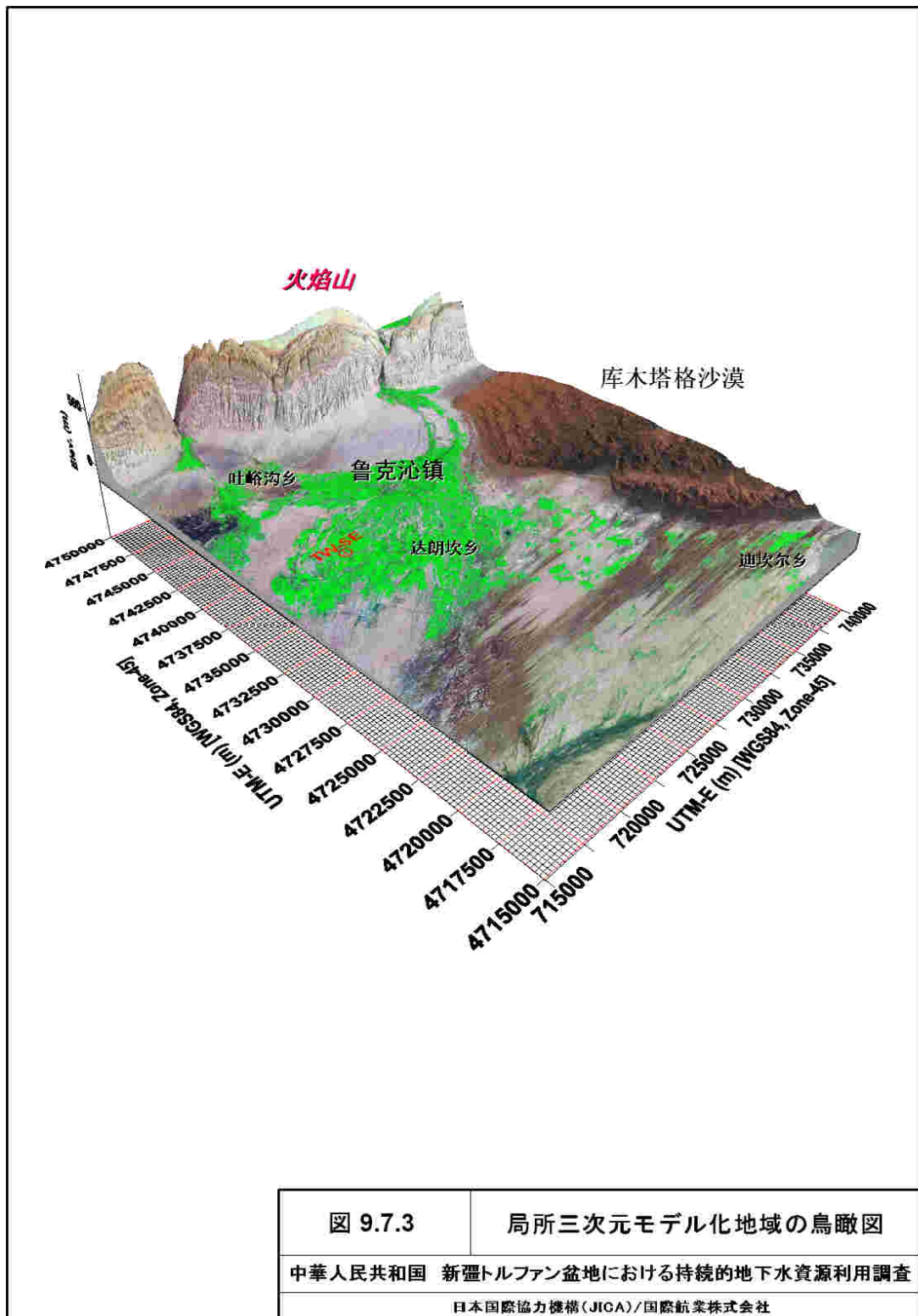
図 9.7.1

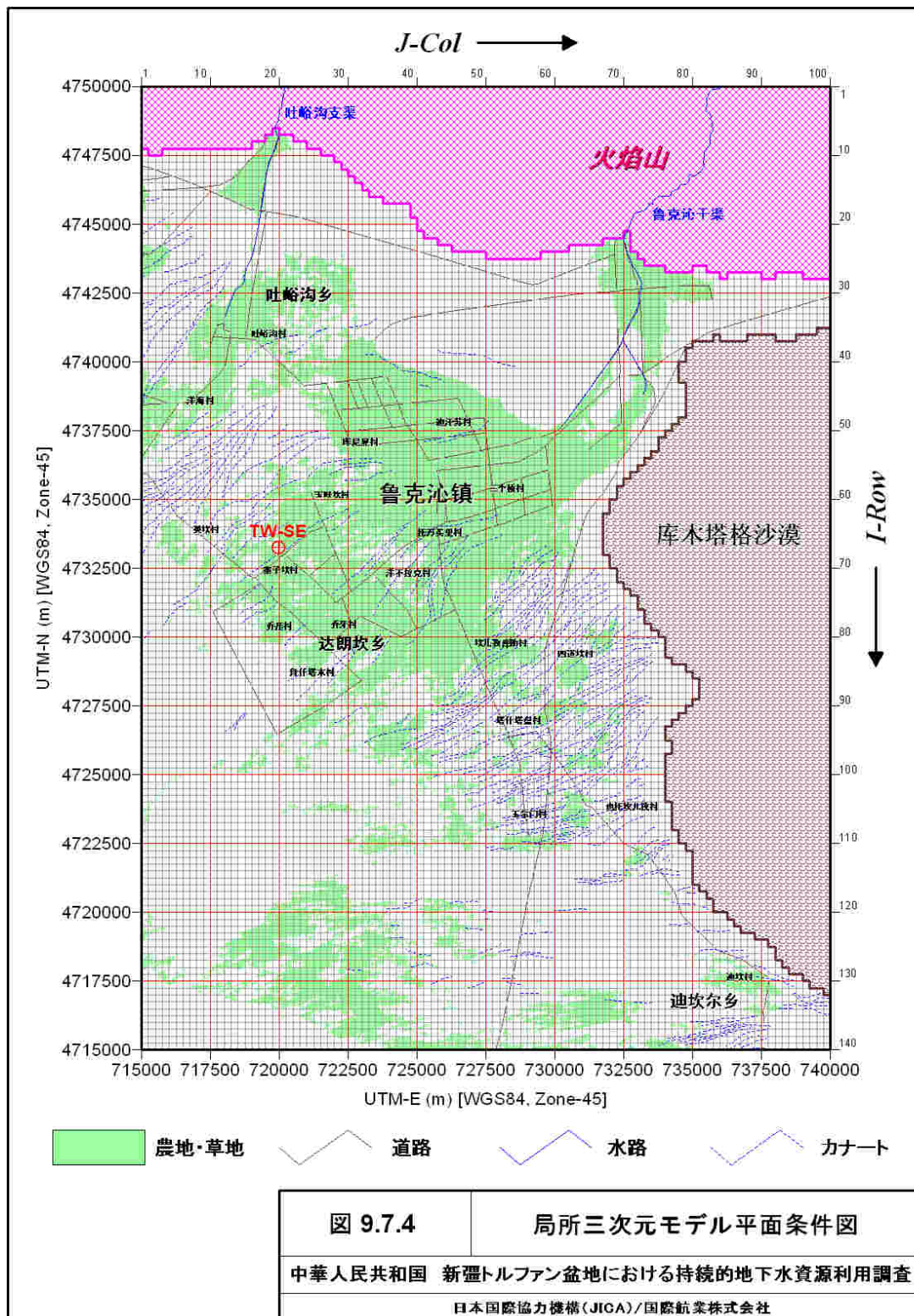
局所三次元モデル位置図

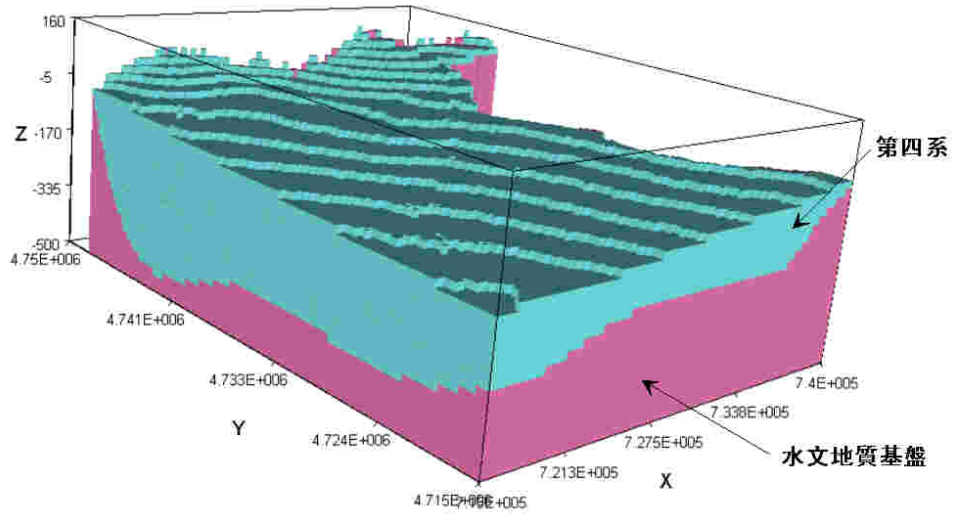
中華人民共和國 新疆トルファン盆地における持続的地下水資源利用調査

日本国際協力機構(JICA)/国際航業株式会社

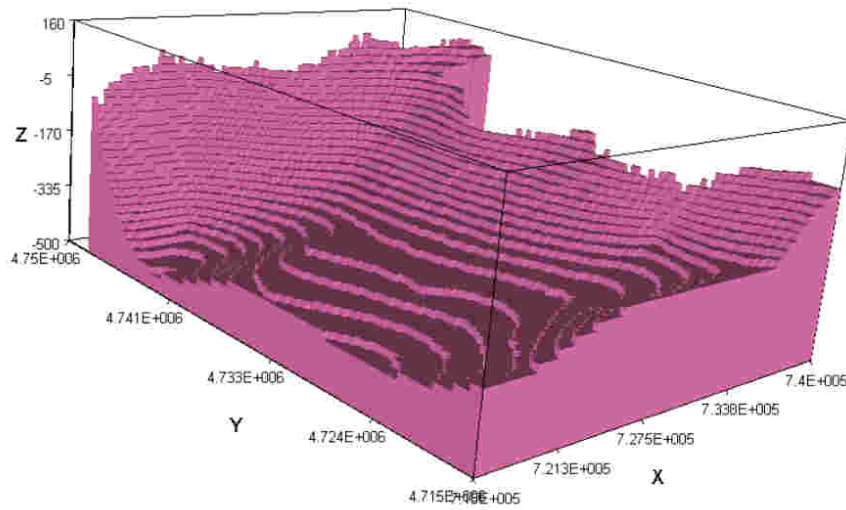








A. 局所三次元モデルの立体構造



B. モデル化した水文地質基盤の上面構造

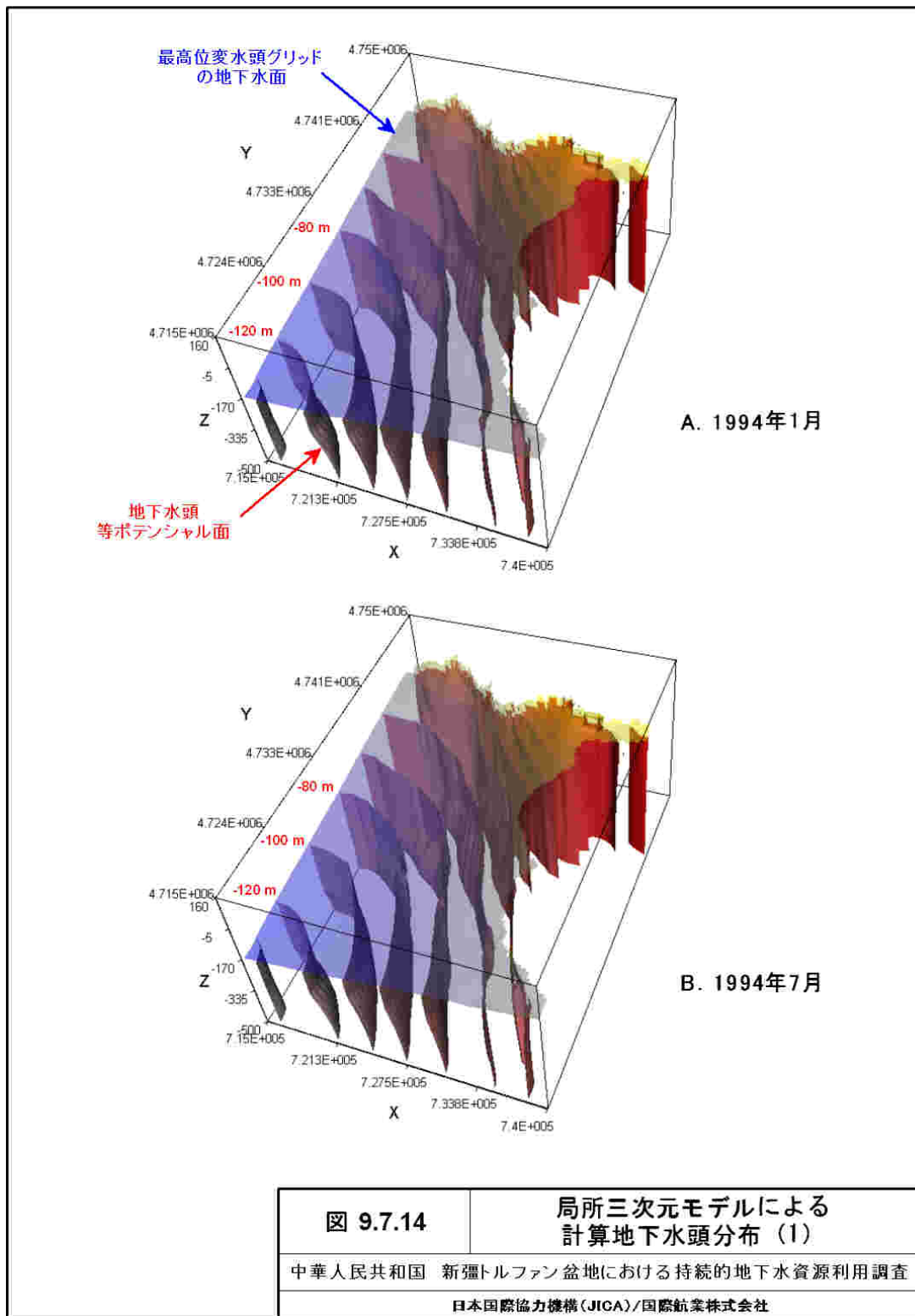
図 9.7.6

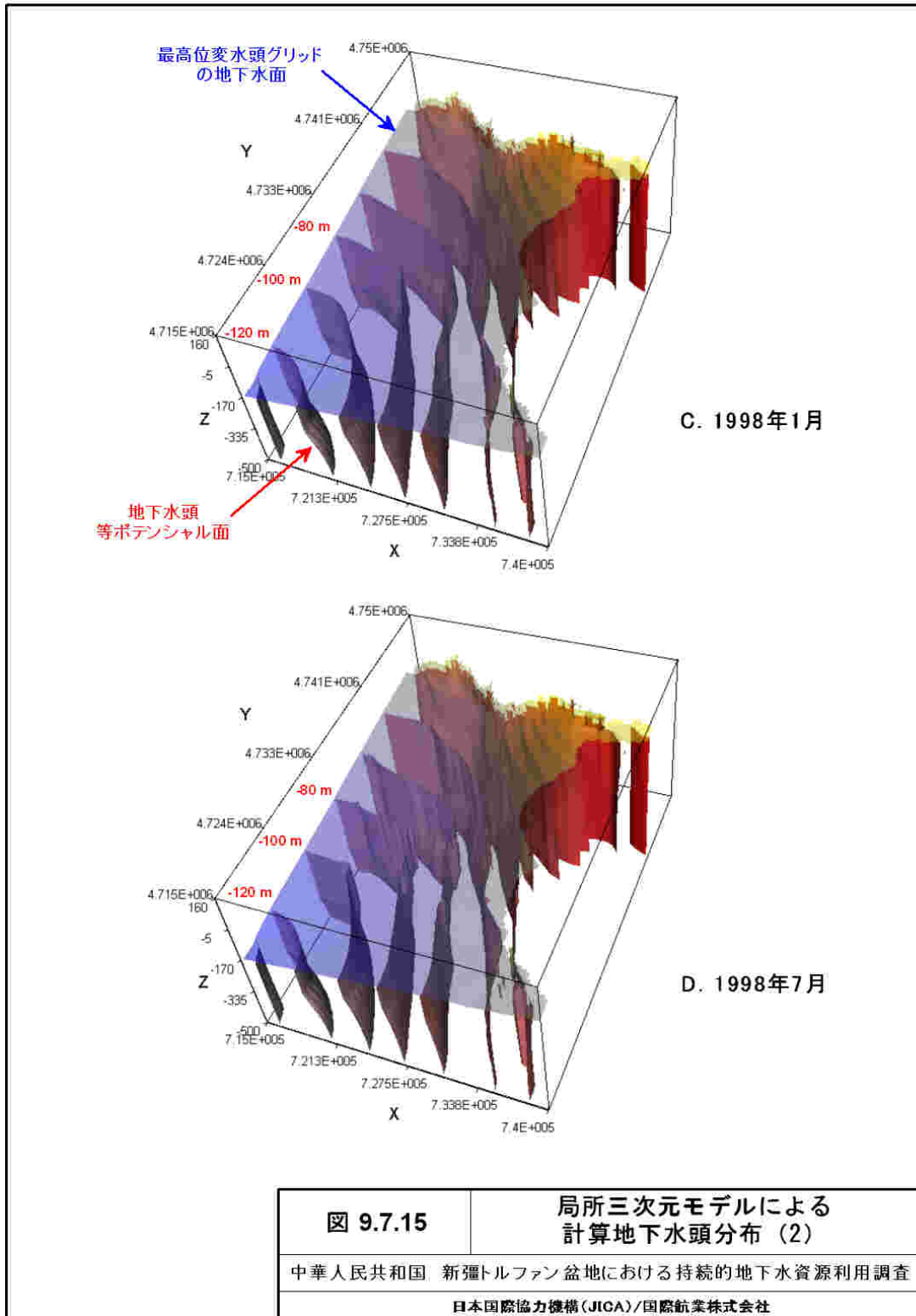
局所三次元モデルの立体構造

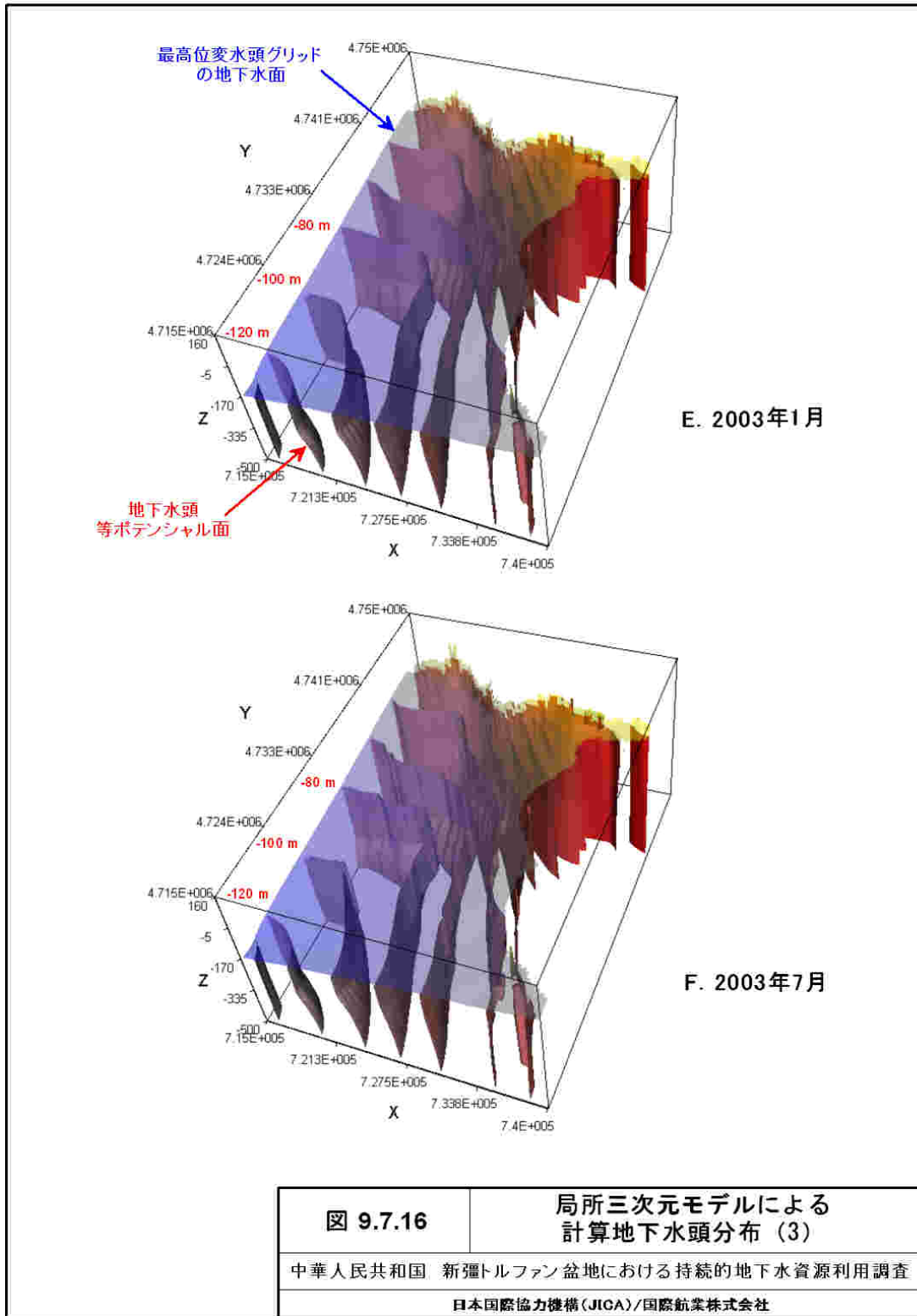
中華人民共和国 新疆トルファン盆地における持続的地下水資源利用調査

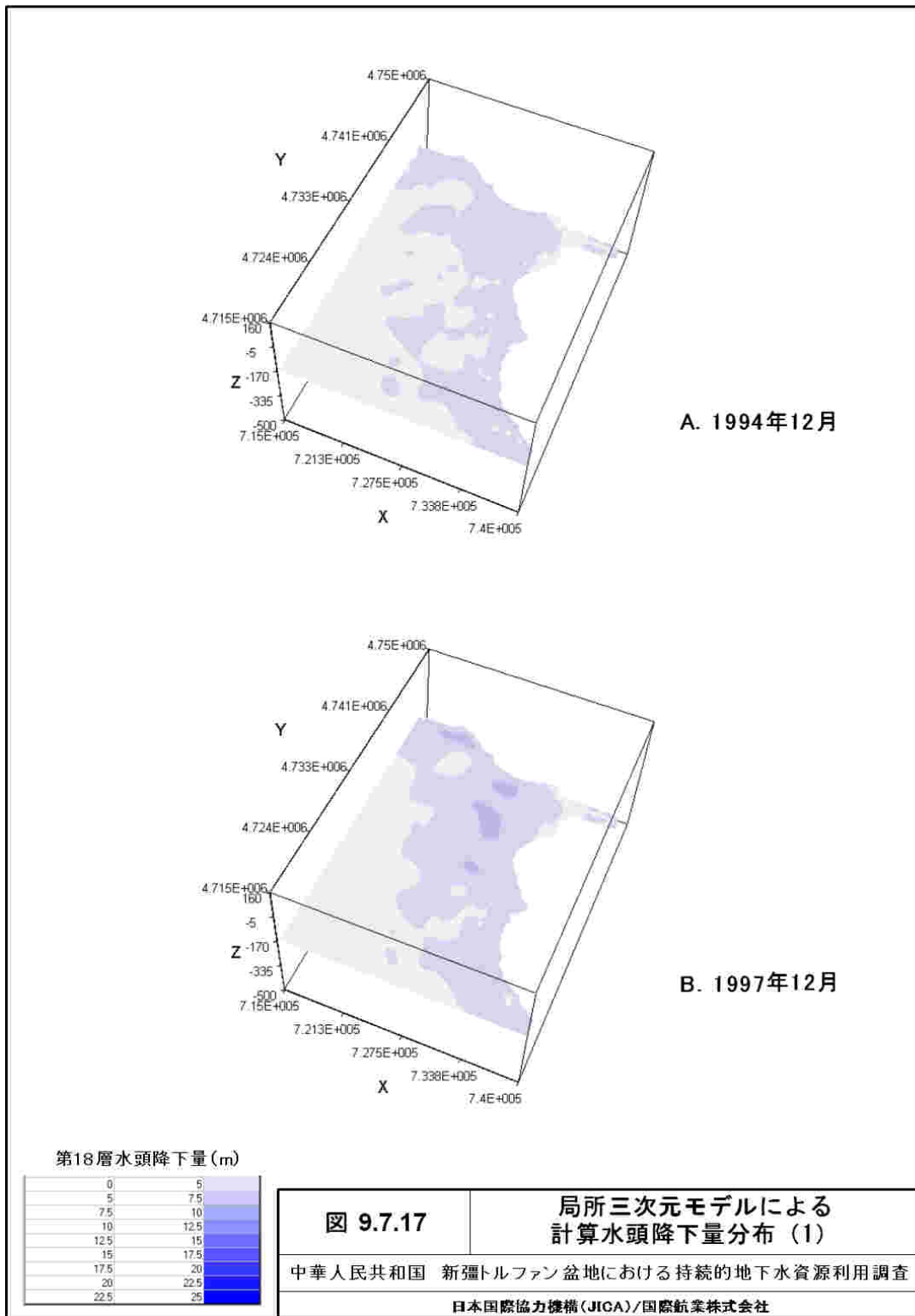
日本国際協力機構(JICA)/国際航業株式会社

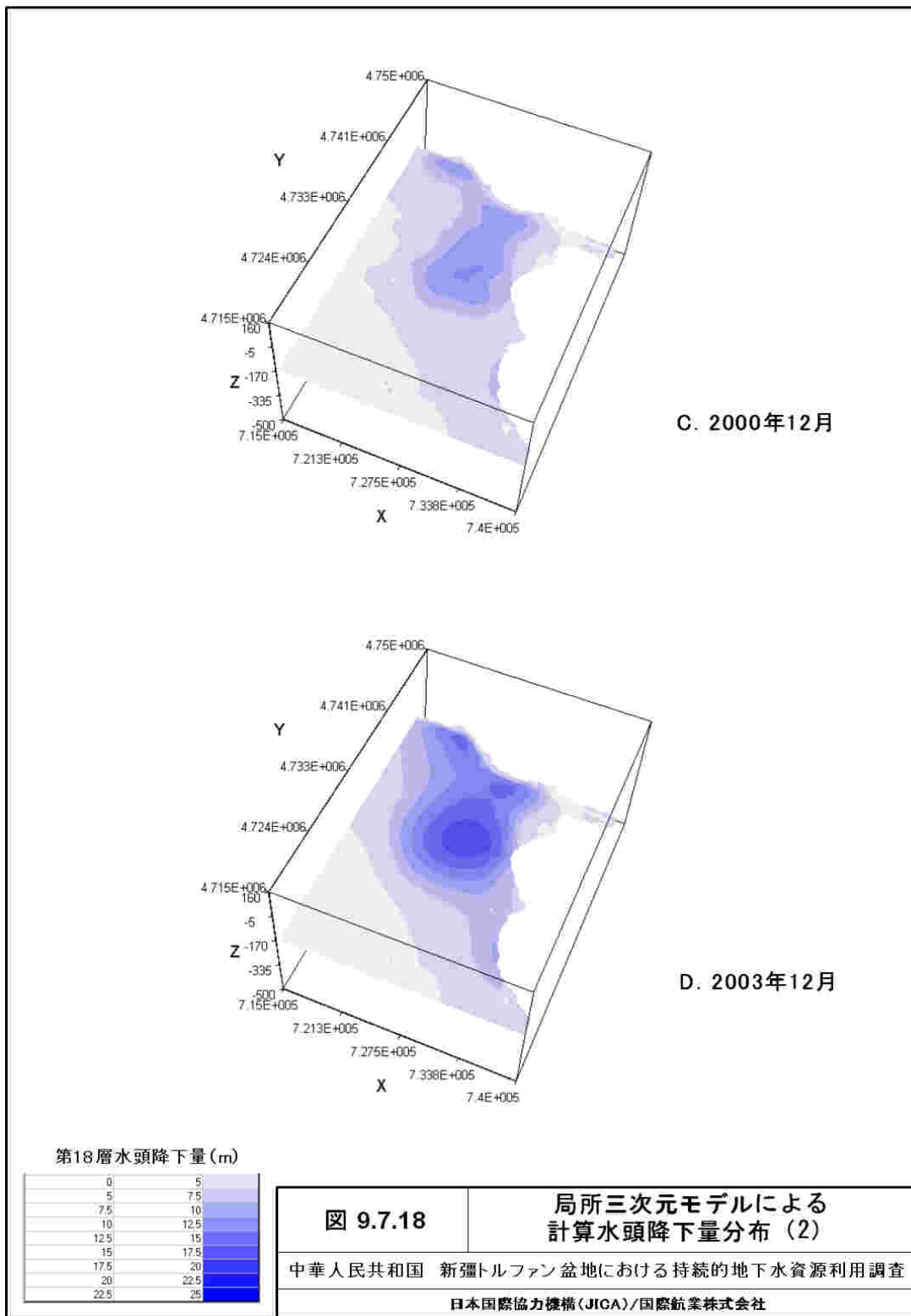












### 9.7.5 物質移動シミュレーション結果

トルファン盆地においては、トルファン市南部からアイディン湖付近を中心に水質の悪い地下水が分布している。また、トルファン市中心部南側にはカナートが分布しているが、カナートの水質は電気伝導等でみると必ずしも良好とは言えない状況にある。ただし、水質を悪化させている物質に拡散を伴う汚染物質の存在は認められていない。

そこで、地下水流動の上流側に位置して、人々の生活の中心であるトルファン市中心部付近で地下水に物質が進入した際の移流をシミュレーション手法で検討した。なお、検討のための条件は以下のように設定した。

- 物質の侵入位置：地下水流動シミュレーションのグリッドで JICA 観測井 TWSC の位置するグリッドを中心に 9 個のグリッド
- 物質の侵入高さ：地下水流動シミュレーションの第 15 層（物質が侵入する各グリッドの地表部に相当）
- 地下水流動：地下水流動シミュレーションの検証最終年である 2003 年の流れ

図 9.7.20 に、トルファン市中心部の JICA 観測井 TWSC 付近で地表部から地下水中に物質が進入した際の移流範囲を示す。

物質は三次元方向に移流するが、水平方向には 100 年間で約 15 km の距離を移動している。また、垂直方向には最大第 18 層まで到達するところもある。物質の移動速度は、地下水の流動速度に比較して遅いが、その影響は下流側の広範囲に及ぶ。また、地下水の水質を悪化させた結果は、その周囲の水質を悪化させるだけでなく何十年も後にカナートの水質にも影響を及ぼすものである。

カナートの保護とは流量の減少・枯渇だけを問題にするだけでなく、水質の維持・改善にも努めなければならない。そのためには、カナートの上流部での汚染物質の侵入を許すような開発行為や農業生産方法の変化等には、十分に留意しなければならない。そしてそれはまた、現在良好な水質状態にある深層地下水の保護にもつながるものである。

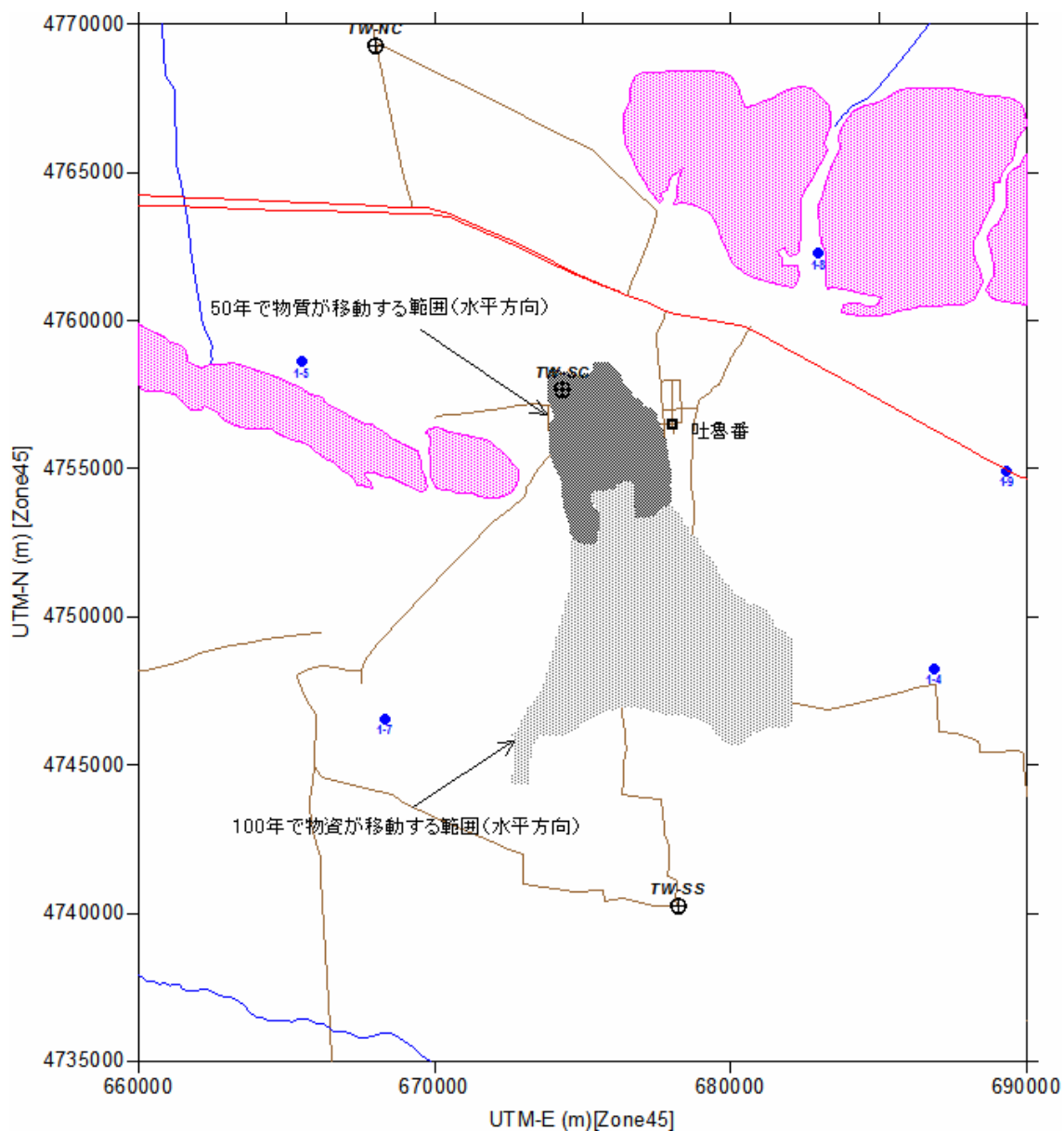


図 9.7.20 物質の移動範囲