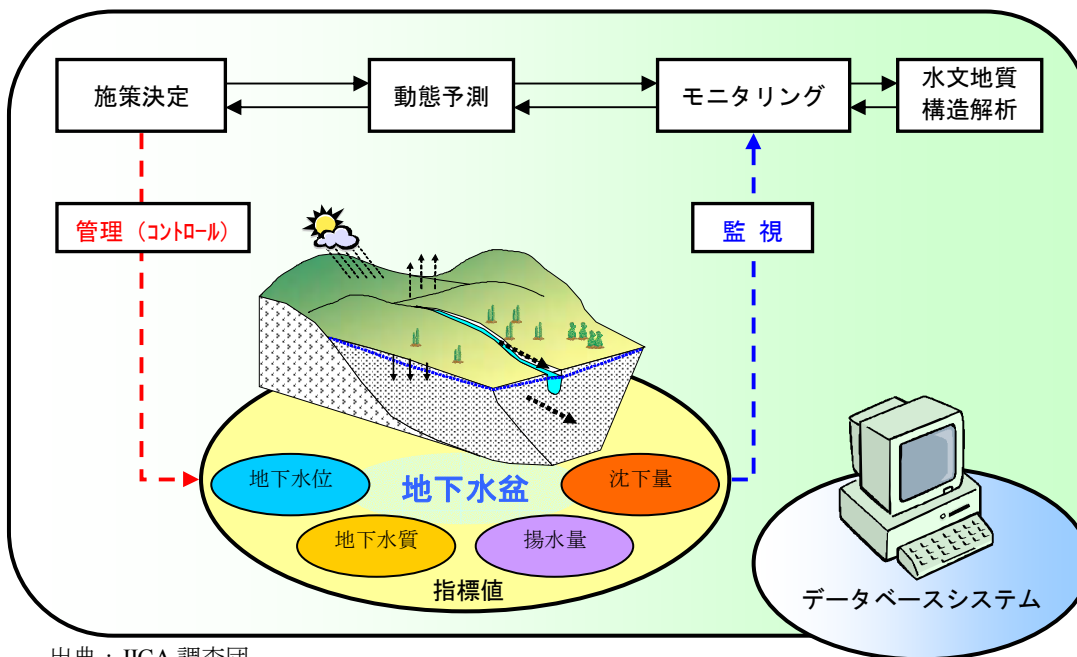


第3章 地下水管理指標値の検討

3.1 地下水盆の管理

3.1.1 地下水管理手法

図 3.1.1 には地下水管理の一般的手法を図示した。地下水管理を構成する要素としては、「水文地質構造解析」、「モニタリングシステム」、「地下水の動態予測」、「施策決定・コントロール」といった項目がある。



出典：JICA 調査団

図 3.1.1 地下水管理システムと指標値

またこうした一連のシステムを統合管理する「データベースシステム」が加わる場合もある。図中の各項目の具体的な内容を表 3.1.1 にまとめる。

表 3.1.1 地下水管理システムの構成項目

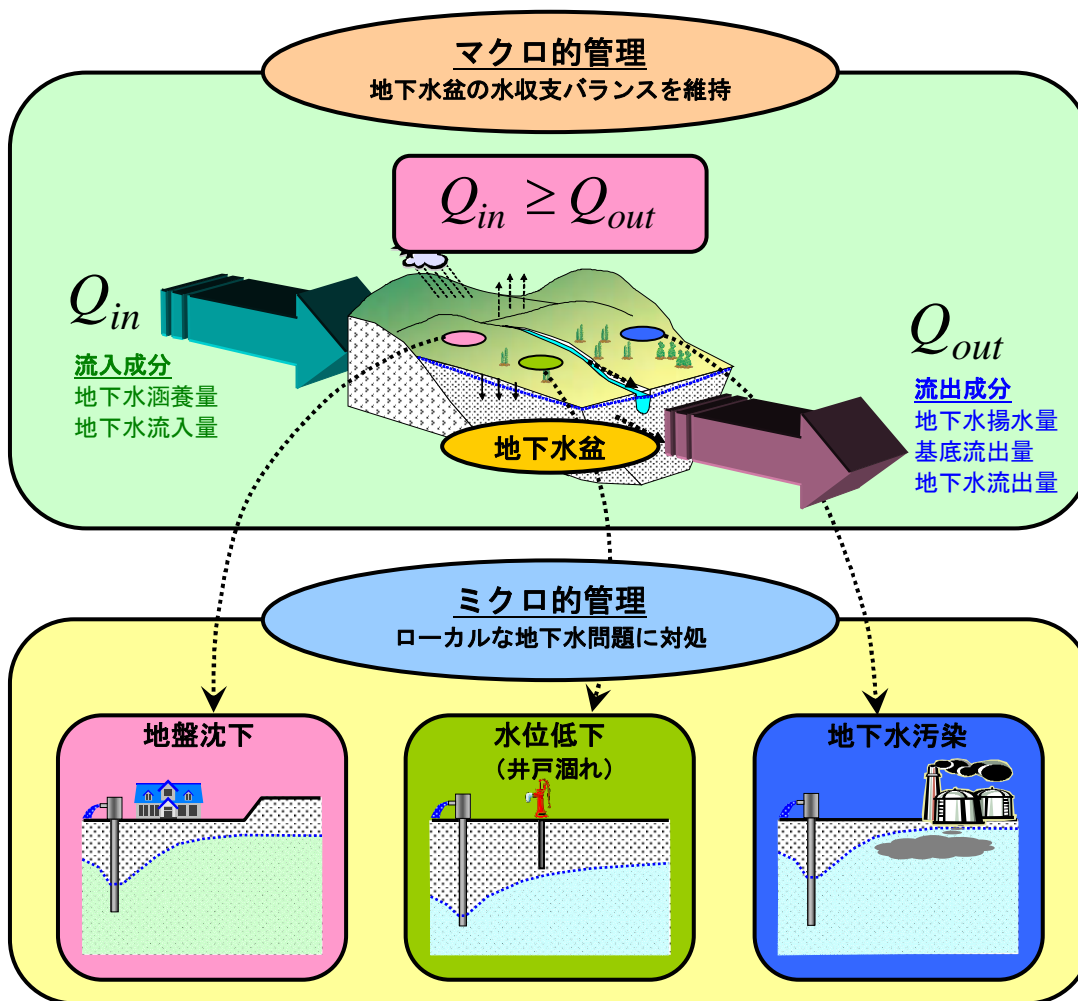
項目	内容
水文地質総合解析	地表、地下地質調査や井戸資料、地下水位、地下水水質資料を活用して帯水層構造を把握する。
モニタリング	地下水位、地盤沈下量、揚水量、水質などがモニタリング項目としてあげられる。
動態予測	モニタリング結果に基づいて地下水盆の動態を予測し、施策決定の基礎資料とする。予測の手段には数値シミュレーションやモニタリングデータに基づく方法などがある。動態予測は繰り返し見直しをし、その精度を高めていく必要がある。
施策決定	モニタリングおよび予測結果に基づき、地下水盆をコントロールする施策を決定する。施策決定の基準は「許容揚水量」や「制限水位」などがある。
データベースシステム	モニタリング情報を整理・活用するためにデータベースシステムの導入が必要となる。データを長期間にわたって蓄積することが重要である。

出典：JICA 調査団

3.1.2 地下水のマクロ的管理とミクロ的管理

先に述べたとおり地下水盆を管理していく上で地下水位、地盤沈下量、揚水量、水質といった項目が利用可能な指標値として想定される。日本では、地下水管理が地下水の過剰な汲み上げに伴い発生した地盤沈下の防止を大きな目標としているため、管理指標値としては「地下水位」及び「地盤沈下量」が多くの場合で用いられている。一方でこうした指標値は地下水盆内の局地的な事象を示すものであり、地下水盆全体の地下水収支を管理する指標値ではない。地下水盆の管理システムとしては、地下水収支のバランスを管理する「地下水盆全体のマクロ的管理」と、地盤沈下や水質汚染といった「局所的な事象を管理するミクロ的管理」とが統合されたものが理想型であると考えられる。今回調査対象地域である太子河流域内ではこれまでの調査の結果、地下水収支のバランスが崩れている地域と、地下水収支のバランスは維持されているが、局所的な地下水位の低下といった問題が存在する地域の両者が確認され、前者には「マクロ的管理」と「ミクロ的管理」が、また後者には「ミクロ的管理」の導入が必要であると考えられる。

「マクロ的管理」と「ミクロ的管理」とでは管理を行う上での指標値も異なる。図 3.1.2 には「マクロ的管理」と「ミクロ的管理」の関係を図示した。また、表 3.1.2 には「マクロ的管理」と「ミクロ的管理」の特徴をまとめた。



出典：JICA 調査団 図 3.1.2 地下水のマクロ的管理とミクロ的管理の関係

表 3.1.2 地下水のマクロ的管理とミクロ的管理の特徴

	マクロ的管理	ミクロ的管理
目的	地下水盆全体の地下水収支のバランスを維持させる。収支がマイナスになると地下水資源の枯渇につながる	地下水盆内における局所的な地下水位低下や地盤沈下及び地下水の汚染などを防止する。
管理方法	右記の方法と同様であるが、地下水盆全体での開発可能量と、現状の採取量とを比較して後者が前者を超えないよう揚水量を管理する。	日本の地下水保護条例などでは地下水揚水井戸のサイズを基準とした許可制により過剰な地下水採取を防止する方法が一般的。
監視方法	モニタリング井戸を設置して地下水位の変化をモニタリングし、地下水位の恒常的な低下の有無を監視する。 また得られた結果に基づき地下水シミュレーションにより長期的予測をした上で管理指標の見直しなどを行う。	モニタリング井戸を設置して地下水位や地盤沈下量及び水質の変化を監視する方法が一般的である。
備考	ミクロ的管理に比べて高度な技術が求められる。長期的視点での地下水開発計画を立案する上で不可欠であり、地下水の「規制」よりも「利用」に重きをおいている。	(短期的視点での) 対処療法的な管理方法であるが、管理の仕組みがシンプルであり、マクロ的管理に比べ容易である。地下水の「利用」よりも「規制」に重きをおいている。

出典：JICA 調査団

3.1.3 太子河流域における地下水問題

これまで実施してきた調査を通じて明らかになった太子河流域における地下水問題を表 3.1.3 に示す。

表 3.1.3 太子河流域の地下水問題

地域並びにブロック	地下水位低下	地下水汚染
太子河上流部 (本溪市)	特に問題は生じていない	工場排水による地下水汚染のおそれがある
ブロック 1 (瀋陽市、灯塔市)	瀋陽市南部地区に面積 78km ² に及ぶ地下水位低下域 (漏斗地区) が存在	人為的排泄物などによる硝酸性窒素汚染の疑いがある
ブロック 2 (遼陽県)	遼陽市遼陽県に面積 310km ² に及ぶ地下水位低下域 (漏斗地区) が存在 地下水収支がマイナスである可能性がある 地下水位は最大で地表下 23m 程度低下	人為的排泄物などによる硝酸性窒素汚染の疑いがある 特に灌漑区からの水質の悪い表流水の伏流による汚染が進行している
ブロック 3 (鞍山市区)	千山区寧元慎付近に面積 73km ² に及ぶ地下水位低下域 (漏斗地区) が存在	人為的排泄物などによる硝酸性窒素汚染の疑いがある
ブロック 4 (海城市)	鞍山市海城区水源地付近に面積 32km ² に及ぶ地下水位低下域 (漏斗地区) が存在 地下水位は最大で地表下 10m 程度低下	人為的排泄物などによる硝酸性窒素汚染の疑いがある

出典：JICA 調査団

上記のなかでブロック 2 の「地下水収支のマイナス化」はマクロ的管理の対象事項であると考えられ、残る事項はミクロ的管理の対象事項であると考えられる。

3.2 地下水管理指標値の検討

3.2.1 マクロ的地下水管理指標値

(1) 持続可能な地下水揚水量

マクロ的地下水管理を行う上で最も重要な事項は「地下水収支」を把握し、地下水の枯渇を招かず長期間にわたって開発が可能となるような地下水揚水量 (持続可能な地下水揚水量) を求

めることである。この持続可能な地下水揚水量は地下水開発を行う上での最大揚水可能量とも考えられる（但し後述するように実際にはこの最大揚水可能量の範囲内で、経済的な要件や自然環境への影響などを加味した許容揚水量を求める必要がある）。持続可能な揚水量の基本は地下水収支の均衡であり、これは地下水涵養量を基準として、長期的にこの涵養量を超えないことが基本となる。

(2) 水収支と持続可能な地下水揚水量

地下水を「持続的」にくみ上げるためには、「1年（1水文年）を通じての水収支が平衡を保ち、地下水の恒常的低下を生じない」状態を確保する必要がある。たとえば、地下水開発が実施される前の自然状態（あるいは一定規模の地下水開発が実施され、同等量の地下水利用が継続されている状態）ならば、一定の気象水文環境の下では水収支が平衡に保たれる。すなわち、1年（1水文期間）内では、地下水位の変化（季節的な変動）はあるが、開始時と終了時の水位は同一になるので、水収支は一定とみなすことができる（初期平衡状態）。新たな地下水開発が始まり、一定の揚水（井戸の配置、揚水量が一定）をある期間続けると、その揚水量に対応して新しい平衡状態に達する（2次平衡状態）（図 3.2.1 参照）。この2次平衡に達した状態で、地下水障害が発生しないか、あるいは許容範囲内にあれば、この揚水は持続可能なくみ上げといえる。

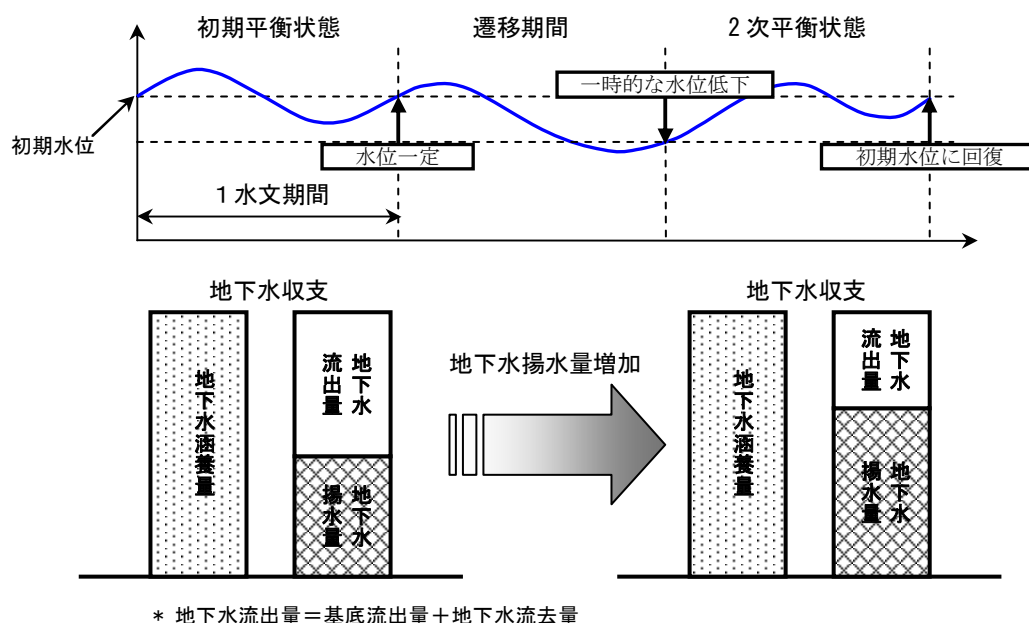


図 3.2.1 揚水量変化と水収支の均衡 出典：JICA 調査団

図 3.2.2 には第 2 次現地調査で算定した太子河平野部のブロック毎地下水収支について、流入成分と流出成分に分けて示した。

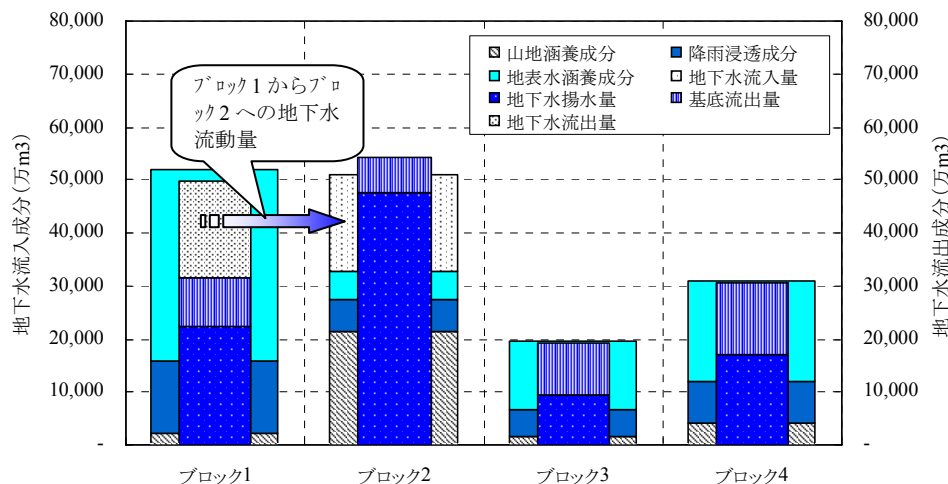


図 3.2.2 ブロック別水収支の流入・流出成分

図の通り、ブロック 1、3 及び 4 では地下水収支は均衡し、涵養量に対して地下水揚水量と地下水流出成分とがそれぞれ半分程度を占めている。一方、ブロック 2 では地下水収支の均衡も崩れ、地下水涵養量（含むブロック 1 からの地下水流入量）に対して地下水揚水量が 85%も占め、地下水流出成分はわずか 15%程度という偏った構成になっている。

図 3.2.3 には「遼寧省水資源公報」から得た 1995 年から 2004 年までの鞍山市および遼陽市の地下水用水量と遼陽市首山鎮周辺の地下水位低下域（漏斗地区）の面積の推移を示した。

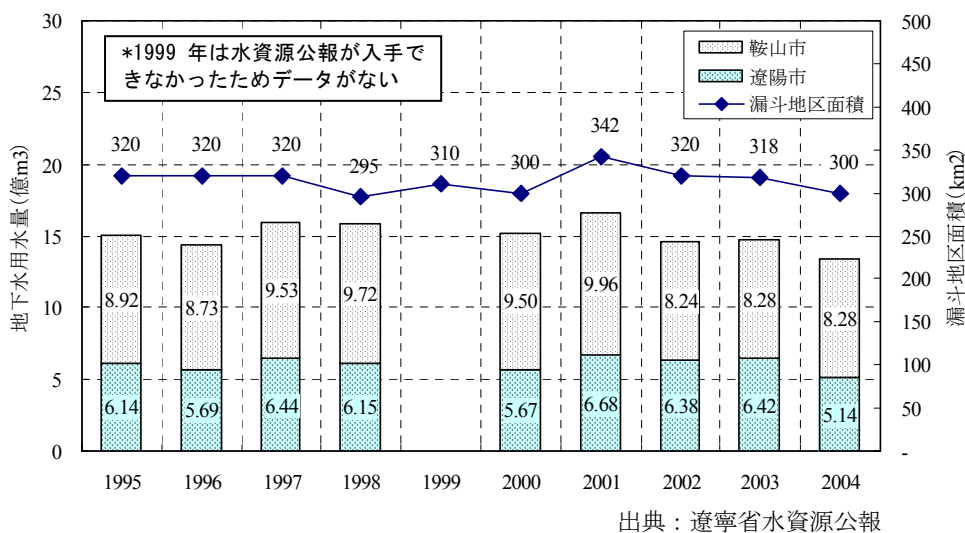


図 3.2.3 鞍山市および遼陽市の地下水用水量と漏斗地区面積の推移

図から、低下域の面積は 320km²程度のレベルで推移しており、現在は水収支の平衡状態（2次平衡状態）へ収束しているものと考えられる。一方で 2001 年には揚水量の急増に伴い低下域面積も大きく拡大しており、依然として同地区の地下水収支は不安定な状態である。

将来的な地下水利用を考えるうえで、ブロック 1、3 及び 4 では現在の地下水収支の均衡を保ちながら、現況の地下水流出成分の規模を維持した水循環系の健全化に配慮した開発が望ましい。

一方でブロック2では第一段階では地下水収支の均衡をはかるための揚水量削減を行ったうえで、さらなる地下水揚水量の削減により可能な限り水循環系の改善をはかるような地下水利用を進めていく必要がある。

(3) ブロック毎長期的地下水位予測モデル

各ブロック内での地下水の貯留量変化を再現したモデルを使用して、長期的な降雨パターンを入力して長期間にわたる地下水位の変動（貯留量変化）を推定することで（水収支が均衡するという「自然涵養要件」を満たすような）持続的に開発可能な地下水揚水量の検討を行った。使用したモデルの概要を以下に示す。

- i) 検討は20年間の月別地下水貯留量変化を算定し、恒常的な地下水位の低下が生じるかどうかを確認した
- ii) 降水量データは1984年～2003年までの太子河流域内の観測データをもとに小流域毎にティーン分割で算定されたものを使用した
- iii) 各ブロックの降水量は（ブロックに含まれる）小流域毎の降水量をブロック内に占める面積比率（小流域面積/ブロック面積）に従って比例配分した
- iv) 地下水涵養量は2003年の地下水涵養量と2003年の降水量（iiiで算定したもの）との比率を求めこの比率を入力降水量データに乗じて算定した
- v) 基底流出量は2003年の基底流出量と2003年の地下水涵養量との比率を求めこれを（入力降水量データから得られる）地下水涵養量に乗じて算定した
- vi) ブロック1からブロック2への地下水流入量は2003年の地下水流入量と2003年の（ブロック2の）地下水涵養量との比率を求めこれを地下水涵養量に乗じて算定した
- vii) 地下水涵養量から地下水揚水量と基底流出量を引いた値（ブロック1,2では地下水流入・流出量が考慮される）が貯留変化量となるが、この値を帯水層分布域面積で除した後、有効空隙率（0.1を使用）で除して地下水位変化として表現した

(4) 現状（2003年）の揚水量の持続性の検討

上述したモデルを用いて2003年の地下水揚水量を継続した場合の貯留量変化を算定した。結果を図3.2.4に示す。

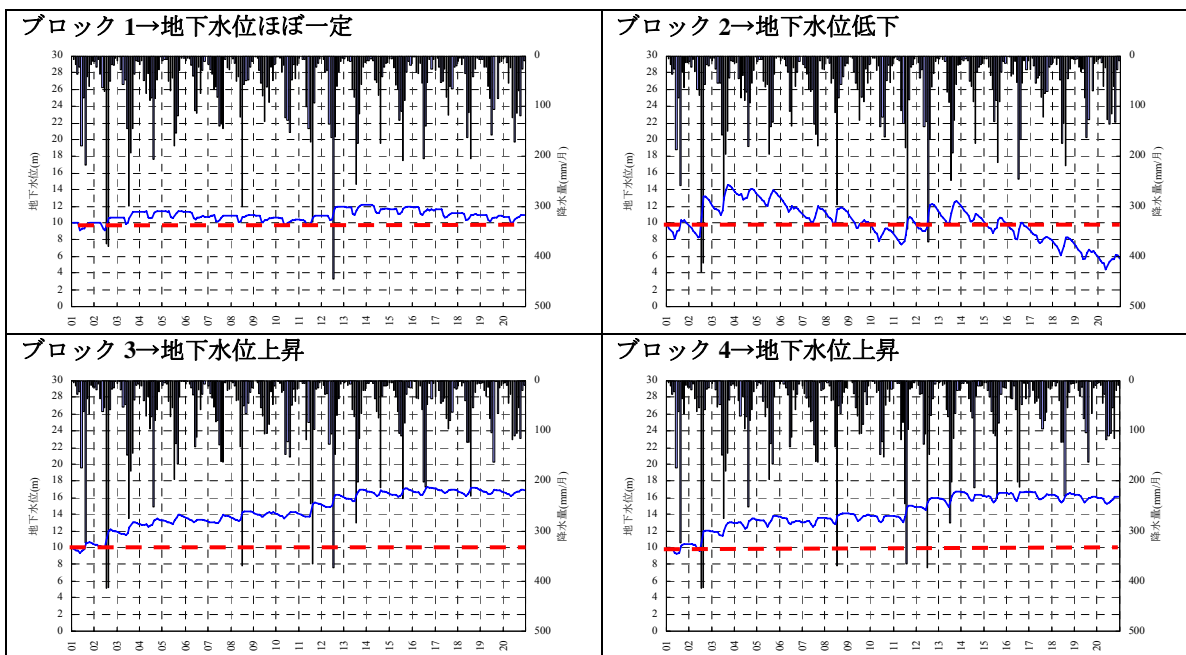


図 3.2.4 貯留量変化算定結果(2003年揚水量維持) 出典：JICA 調査団

図 3.2.4 よりブロック 2 では現在の揚水量を継続すると地下水位も継続的に低下していくことがわかる。これは地下水の貯留量が減少し続けていくことを示している。従ってブロック 2 での地下水揚水量は持続的な開発が不可能な量であるといえる。

一方ブロック 1 では地下水位はほぼ横ばい、ブロック 3 及び 4 では地下水位は上昇している。これは地下水の貯留量が増加し続けていくことを示している。従ってこれらブロックでの地下水揚水量は持続的な開発が可能な量であるといえる。

(2) で述べたとおり、地下水収支のバランスが維持されている場合は、地下水揚水量の増加に応じて地下水流出成分との調整がはかられ、地下水位は初期水位に保たれるような平衡状態に推移するものと考えられる。従って、ブロック 3 及び 4 では本検討では地下水位の上昇となっているが、実際は基底流出量の増加に資することになると考えられる。

(5) 持続可能な最大地下水揚水量の検討

同様のモデルを用いて 20 年間揚水を継続しても地下水位が初期水位に保たれるような地下水揚水量の最大値を算定した。ただし、ブロック 1 ではブロック 2 への地下水流入量は 2003 年水準を、また、ブロック 3 及び 4 では基底流出量は 2003 年水準をそれぞれ維持するものと仮定している（基底流出量を減少させることで持続可能な最大地下水揚水量の上積みは可能であるが、ここでは表流水資源量は 2003 年水準の維持を基本とし、基底流出量の減少は考慮していない）。検討結果を図 3.2.5 に示す。

図から、ブロック 1,3,4 では現在の水準からそれぞれ 3%,20%及び 16%増加した揚水量でも恒常的な地下水位の低下を招かずに開発が可能であると思われる。一方でブロック 2 では恒常的な地下水位の低下を招かないためには揚水量を 4%程度削減する必要がある。表 3.2.1 には得られた持続可能な最大地下水揚水量の値を示す。

表 3.2.1 持続可能な最大地下水揚水量

ブロック	2003 年年間揚水量 (万 m ³)	最大地下水揚水量 (万 m ³)
1	22,334	23,004
2	47,416	45,520
3	9,319	11,183
4	16,970	19,685

出典：JICA 調査団

上記の最大地下水開発量は今後太子河流域内で地下水管理を進める上で最低限遵守すべき地下水揚水量となる。そうして、この揚水量の範囲内で各地域における経済的、社会的な要件に応じた許容揚水量を定めて実際の地下水管理を行っていくことになる。

付属 S-77

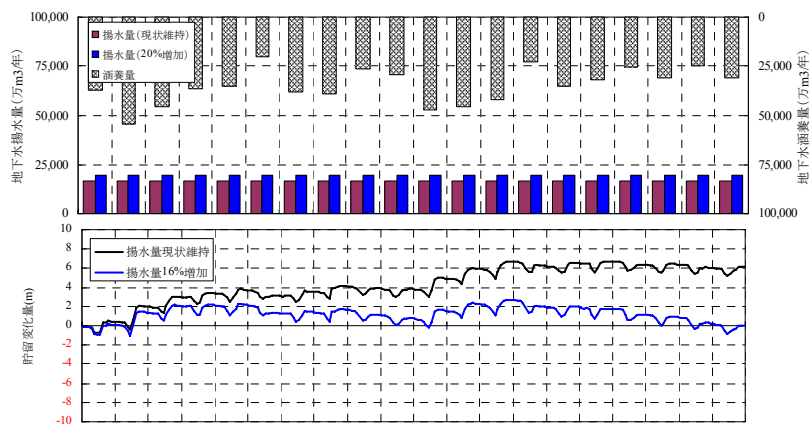
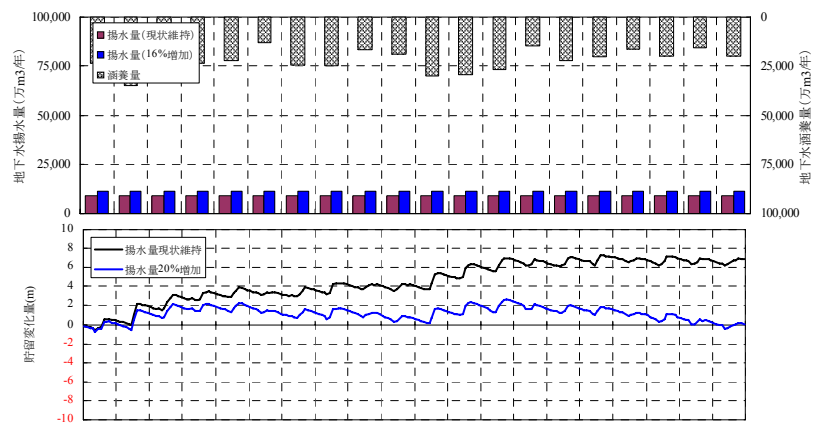
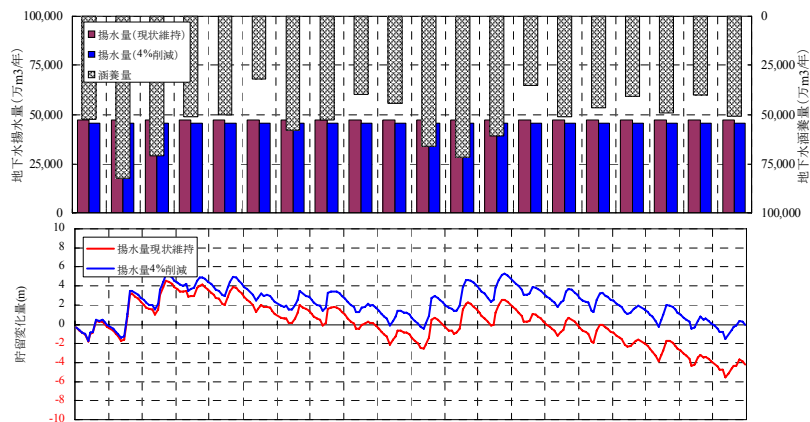
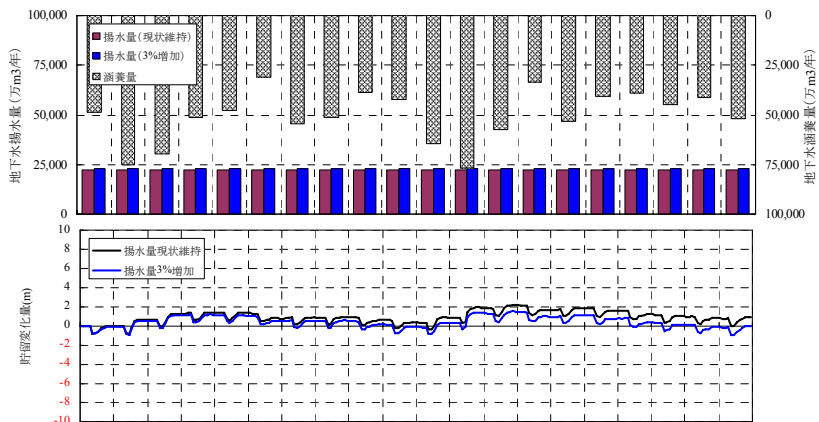


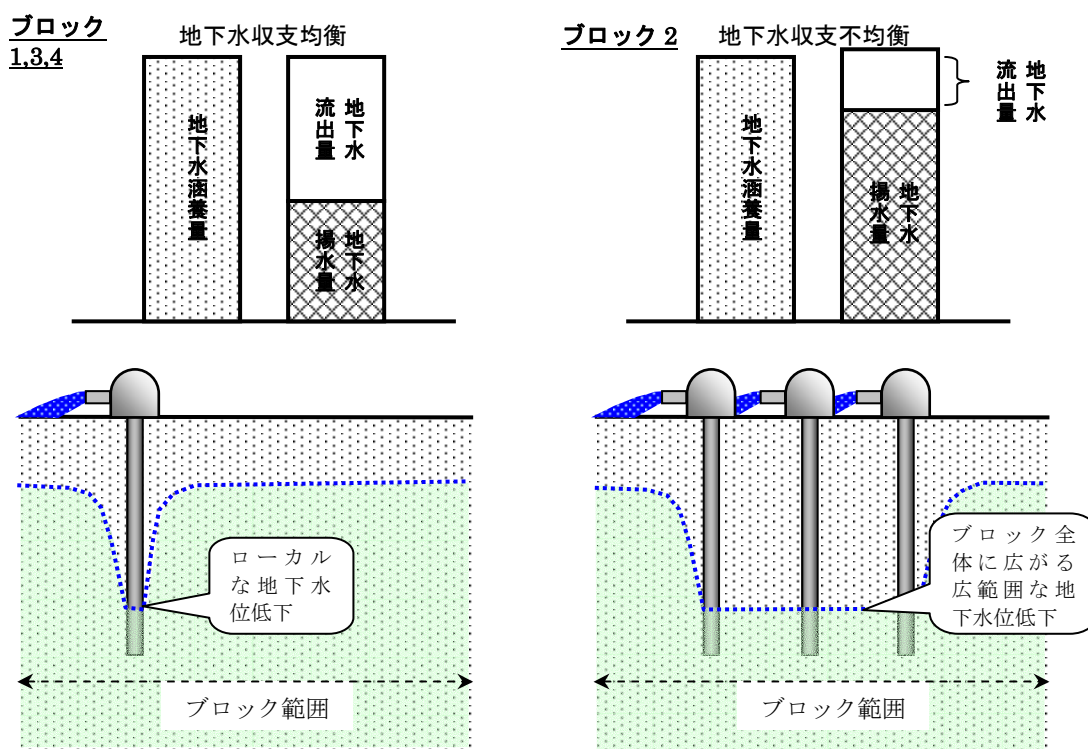
図 3.2.5 貯留量変化算定結果(持続可能な最大揚水量)

出典：JICA 調査団

(6) 地下水収支と地下水位低下問題の関係

先に示したとおり、太子河流域の平野部帯水層分布域には4箇所の地下水位低下域(漏斗地区)が存在する。これらは過剰な地下水の揚水により引き起こされたものであると考えられる。4箇所の地下水位低下域がそれぞれ存在する水収支算定ブロックの水収支はブロック2を除いた地域では全て黒字になっており、また(地下水涵養量に対する)地下水揚水量と地下水流出量の割合もほぼ同等になっている。

一方でブロック2では過剰な地下水揚水量のために地下水流出量の割合が大幅に低下した偏った水収支状態にある。また、地下水位低下域の面積もブロック1、3及び4では30~70km²程度であるのに対して、ブロック2ではおよそ300km²と一桁大きなものとなっており、この地区では地下水位の低下がブロック全体に広がっており、同地区内の水収支の偏りがこの大規模な地下水位低下を引き起こしていると考えられる(図3.2.6参照)。従ってブロック2以外では現在生じている地下水低下問題は、後述するミクロ的地下水管理によってコントロール可能であると考えられるが、ブロック2に関してはまずはマクロ的地下水管理の範囲でも対処したうえで地下水位低下域の削減に取り組んでいく必要があると考える。



出典：JICA 調査団

図 3.2.6 ブロック間の水収支と地下水位低下

(7) ブロック2の地下水位低下域(漏斗地区)改善策

ブロック2の地下水位低下域を削減するためには水収支状況を他のブロックと同レベルまで改善させることが求められる。表3.2.2には各ブロックについて(4)の項で用いた揚水量を持続可能な最大揚水量とした20年間の地下水貯留量変化の検討結果から得られた水収支計算結果(20年平均値)に基づき、地下水揚水量が地下水流入成分に占める割合を示した。

表 3.2.2 地下水揚水量が流入成分に占める割合(単位:万 m³)

ブロック	流入成分：Qin			流出成分：Qout				揚水量/Qin (%)
	地下水涵養量	地下水流入量	合計	地下水揚水量	基底流出量	地下水流出量	合計	
ブロック1	50,611	0	50,611	23,004	8,913	18,642	50,559	45%
ブロック2	33,606	18,642	52,249	45,520	6,797	0	52,317	87%
ブロック3	22,347	0	22,347	11,183	11,122	0	22,305	50%
ブロック4	35,040	0	35,040	19,685	15,399	0	35,084	56%

出典:JICA 調査団

表から、ブロック 2 以外の地域では地下水流入成分に占める地下水揚水量の割合は 40～50%程度であることがわかる。一方ブロック 2 では同割合は 87%と他の地域に比べて非常に大きな値となっていることがわかる。ここで、ブロック 2 の現状を他のブロックと同等まで改善させるためには地下水揚水量が地下水涵養量に占める割合を 50%程度にまで削減させる必要がある。従って、2003 年の時点で 474,160 千 m³ の地下水揚水量を地下水涵養量の 50%の値である 261,244 千 m³程度にまで約 200,000 千 m³程度削減させる必要がある（およそ 45%の削減）。

(8) 許容揚水量

上述した検討結果からは水収支が均衡するという地下水を開発する上で最低限遵守すべき条件である「自然涵養要件」を満たす揚水可能量（最大採取可能量）が得られたが、その他にも下記するような「社会環境・経済的な持続性」を考慮した「許容揚水量」を定めて実際の地下水管理を行っていくことになる。表 3.2.3 には太子河流域内において上記要件に関して考慮すべき項目を示した。

- 開発に伴う経済性が確保されるという「経済要件」
- ほかの水利権に抵触しないという「法律要件」
- 地盤沈下や水質悪化を生じさせないという「地質環境要件」
- 市民生活の快適性を損なわないという「親水環境要件」

表 3.2.3 地下水利用量の社会環境・経済的な持続性に関する要件

要件	内容
経済要件	➤ 農業・工業・生活用水に地下水が多用されており、(代替水源が確保されない限り) 揚水量の削減はこれら利用者の生産性に影響する
	➤ 地下水位の低下により揚水設備(ポンプ)の規模が大きくなり維持管理費用(電気料金やディーゼルオイル料金など)が増大する
法律要件	➤ 地下水揚水量が増加すると基底流出量の減少につながり地表水流量に影響を及ぼす
	➤ 地下水位低下(漏斗現象)により既存井戸のなかには揚水が不可能になるものが生じる
	➤ 地下水位低下(漏斗現象)により水田からの漏水が増大し、農業用水取水量が増大する
地質環境要件	➤ 地下水位低下により(汚染された)表流水の伏流量が増大し地下水水質が悪化する
親水環境要件	➤ 地下水揚水量が増加すると基底流出量の減少につながり断流の発生にもつながる

出典:JICA 調査団

上記項目に関しては後述するミクロ的管理指標にその内容を反映させた上で、許容揚水量を定めて適切な地下水管理を進めていく必要がある。

3.2.2 ミクロ的地下水管理指標値

(1) ミクロ的地下水管理における地下水保全対策フロー

ミクロ的地下水管理では、各地域で生じた（または生じるであろう）地下水問題に対して個別に対応していく必要がある。図 3.2.7 にミクロ的地下水管理における地下水保全対策のフロー図を示す。日本での地下水管理は基本的に図のようなミクロ的地下水管理手法に従っており、主に地盤沈下防止を目的として各種の規制策が施されている。

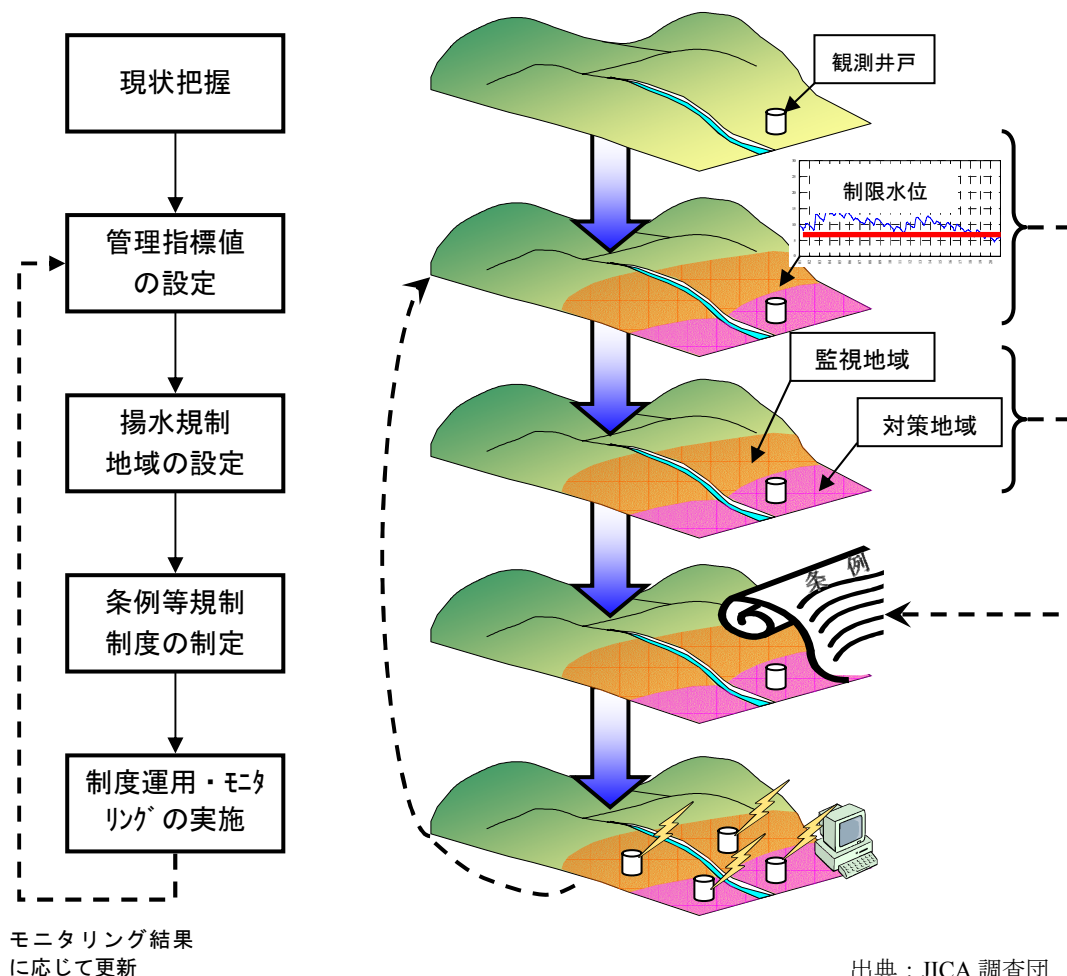


図 3.2.7 ミクロ的地下水管理における地下水保全対策フロー

(2) 太子河流域の地下水問題に関する現状把握

これまでに述べてきたとおり、太子河流域内には様々な地下水問題が生じている。本調査では、地下水位低下の程度が最も大きく、またすでに実施した地下水収支に関する検討結果で地下水収支がマイナスであると算定された遼陽県首山鎮周辺において地下水位および地下水取水量に関するモニタリングを実施し、当該地域で発生している地下水問題の詳細を確認している（第4章で詳述）。特に遼陽県首山鎮周辺地域（地下水収支算定区域でのブロック2）では大幅な地下水位低下により既存井戸が涸れ、表流水の伏流量増加による地下水汚染が進行している。その他の地

下水収支算定区域でのブロック全てでもブロック 2 に比較して規模は小さいが同様の地下水位低下地域が存在し同様な問題が生じていると考えられる。従って、太子河流域内でのミクロ的地下水管理の対象となる地下水問題としてはこの地下水位低下域（漏斗地区）の発生であり、この問題の解消が将来の地下水利用を進める上での大きな目標であるといえる。

(3) 地下水管理目標揚水量原単位

先に算定した持続可能な地下水開発可能量に基づき、当該量を帯水層分布面積で除することで単位面積あたりの持続可能な開発可能量が求まる。この単位開発可能量はミクロ的地下水管理を行う上での管理目標値として活用することで、より効率的な地下水管理を行うことが可能となる。

ここでは、まず地下水収支のバランスが保たれているブロック 1、3 及び 4 について、20 年間の地下水貯留量変化の検討結果から得られた水収支結果から得られる地下水涵養量と、持続可能な地下水開発可能量との比率を算定し、帯水層面積で除した単位開発可能量を求めた。結果を表 3.2.4 に示す。

表 3.2.4 単位面積当たりの地下水開発可能量(ブロック 1,3,4)

ブロック	涵養量 (万 m ³)	持続可能 最大用水量 (万 m ³)	帯水層面積 (km ²)	単位開発可能量 (万 m ³ /km ² /年)
1	50,611	23,004	1,477	15.57
3	22,347	11,183	559	20.01
4	35,040	19,685	876	22.47

出典：JICA 調査団

一方で地下水収支のバランスが崩れているブロック 2 については、地下水の枯渇を招かない持続可能な用水量を算定したが、一方で現在同地区に生じている広範囲な地下水位低下の回復に資するためにはさらなる地下水開発量の削減が求められる。ここでは、ブロック 2 の目標用水量を 2 段階に設定し、第一段階は地下水枯渇を招かない最大開発可能量、第二段階は地下水位低下の回復に資するための最終目標揚水量（地下水涵養量の 50%）とした。表 3.2.5 にはブロック 2 に関する段階別の単位開発可能量を示す。

表 3.2.5 単位面積当たりの地下水開発可能量(ブロック 2)

段階	涵養量 (万 m ³)	持続可能 最大用水量 (万 m ³)	帯水層面積 (km ²)	単位開発可能量 (万 m ³ /km ² /年)
ステップ 1	52,249	45,520	932	48.84
ステップ 2		26,124		28.03

出典：JICA 調査団

(4) 単位開発可能量と地下水位低下

図 3.2.8 にはジェイコブの非平衡式（下式）を用いて各ブロックにおける単位開発可能量を 1 年間継続した場合の井戸からの距離ごとの地下水位低下量の算定結果を示す。

$$s = \frac{2.3Q}{4\pi T} \log \frac{2.25Tt}{r^2 S}$$

s :地下水位低下量、 Q :揚水量
 T :透水量係数、 t :時間
 r :井戸からの距離、 S :貯留係数

算定では透水量係数は 86m²/day（飽和透水係数 0.001cm/sec、帯水層厚 100m）、貯留係数は 0.1 としている

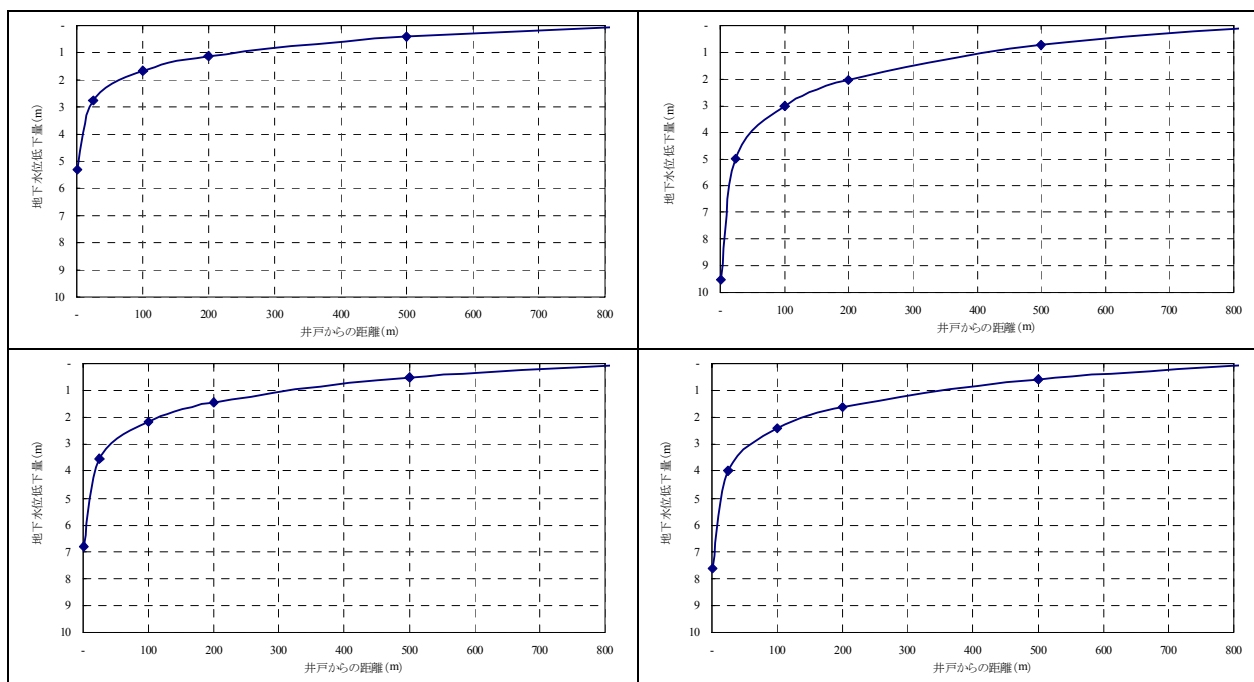


図 3.2.8 単位開発可能量と地下水位低下

出典：JICA 調査団

図 3.2.8 より単位開発可能量で揚水を行った場合でも井戸から 500m の地点での地下水位低下量は 1m 以下となっている。従って、 1km^2 毎に単位開発可能量以下の揚水量で地下水開発を行う場合、井戸相互の干渉は 1~2m 程度の範囲内におさまり、広範囲にわたる地下水位低下（漏斗現象）は生じないことになる。

3.2.3 指標値を用いた地下水管理の実例

(1) 地下水揚水量の詳細把握

地下水管理を行ううえで、現状の地下水揚水量を詳細に把握することが最も肝要である。そのため、可能な限り全ての井戸の配置および取水量等の井戸情報を把握する必要がある。具体的には行政担当機関により井戸聞き取り調査を行って詳細な井戸台帳を作成する。ここで、本来は取水許可の取得が義務づけられていない井戸についても現状の把握のために情報の取得を試みる。

(2) 地下水盆の水収支バランスの確認

収集した地下水揚水量について地下水盆別に総揚水量を集計し、マクロ的管理指標値を下回っているかどうか確認する。

(3) 単位開発可能量を用いた過剰揚水地区の抽出

まずは対象地域を 1km^2 メッシュに区分して 1km^2 当たりの揚水可能量単位と実際の揚水量との比較を行う。そして 1km^2 メッシュ毎の単位開発可能量に対する比率をもとめ、単位開発可能量を超えた地区に関しては、単位開発可能量との比較により削減必要量を算定する。

(4) 揚水井戸の再配置計画

井戸の配置を変更可能な箇所については、井戸の再配置計画を立案する。この場合も先の単位開発可能量を基準として、 1km^2 メッシュ当たりの開発量が基準値を上回らないようにする。

(5) 揚水量削減策の実施

地下水揚水量削減対象地域として区分された箇所については、単位揚水量との差異の大きさに従って数段階程度のレベル分けを行う。こうして区分した対策レベルの高いものから削減対策を実施していく。特に水資源費の追加徴収による節水対策は上記対策レベルの高いものにはより高い費用となるよう傾斜をつけることでより効果的な節水を目指す。

(6) 新規揚水許可

上記地下水揚水量の削減に比して、単位揚水可能量に未だ達していない箇所については引き続き取水許可を発行して地下水開発を行う。ここで、現在は用水原単位に従って発給されている取水許可を、揚水可能単位との比較によって発行していくことで過剰な地下水揚水を防ぎ、持続可能な地下水開発を行うことが可能となる。具体的には許可申請取水量と各メッシュの余剰開発可能量とを比較し、申請量が余剰開発可能量以下であれば申請量を許可し、申請量が余剰開発量を上回っていた場合は余剰開発量までを許可する。

(7) 継続的なモニタリングの実施

地下水位および地下水揚水量に関しては継続的なモニタリングを実施する。地下水位に関しては可能な限り対象地区内にまんべんなく観測井戸を配置するのが望ましい。揚水量については全量の把握は物理的に不可能であるが、可能な限り調査のもれの無いよう努める。

(8) モニタリング結果の反映

モニタリングの結果地下水位の低下が確認された箇所に関しては、過剰な揚水が行われている可能性があるため、未確認の井戸の有無などを確認するために詳細な現地調査を行う必要がある。

第4章 地下水利用実態モニタリング

4.1 モニタリングの概要

4.1.1 目的

太子河流域では用水量の50%以上を地下水に依存しており、流域内の大規模な地下水開発地域では地下水位が広域にわたって低下している。特に遼陽市首山水源地周辺には広範囲な地下水位の低下域(300km²にもおよぶ)が存在し、一部井戸では地下水位の継続的な低下も見られ、地下水涵養量を超えた地下水開発が行われている可能性がある。また、この地下水位低下域では周辺の既存井戸(農業用および生活用)の井戸涸れといった問題も生じており、将来的な地下水利用を考える上で多くの問題を含有している地域であるといえる。

一方でこれまでの調査では地下水の過剰採取に伴う周辺への影響の実態に関する情報や実際の井戸揚水量に関するデータは得られていない。

本調査はこの首山水源地周辺の地下水位低下域における地下水利用およびその利用にともなう周辺域への影響の実態をモニタリングすることを目的として実施した。

4.1.2 調査実施方法

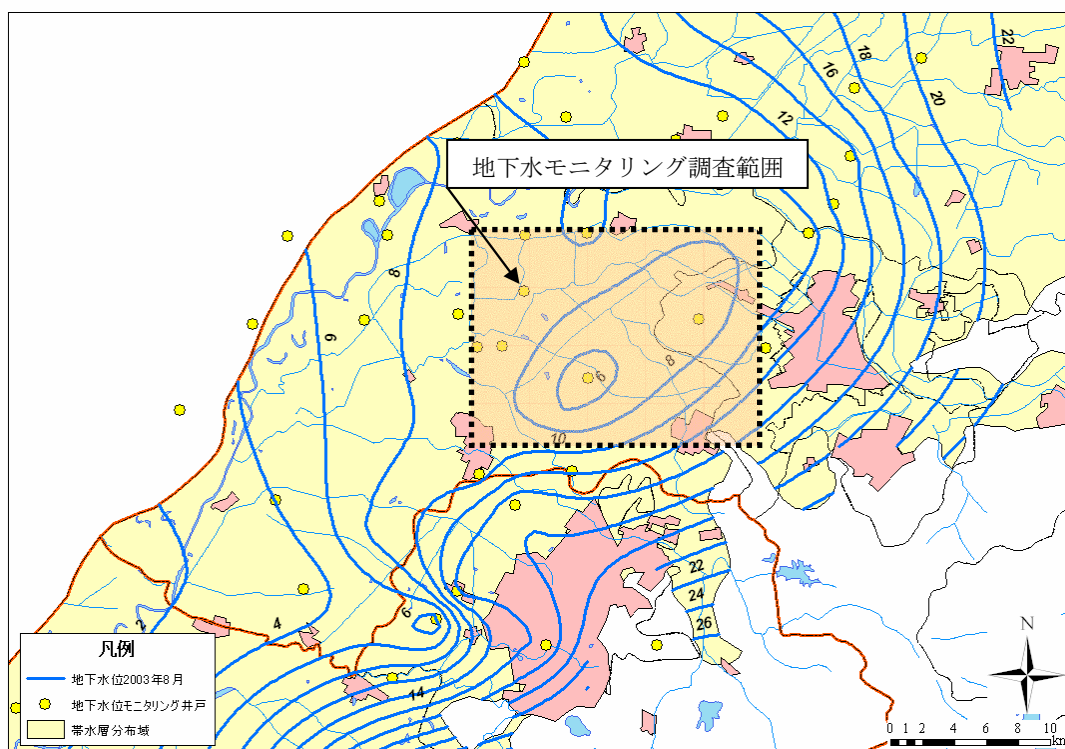
地下水利用実態モニタリングは「地下水揚水量モニタリング」と「地下水位低下状況モニタリング」の2項目からなる。各項目の調査実施方法を以下に示す。

(1) 地下水揚水量モニタリング

本調査では遼陽市首山水源地及び周辺の大規模揚水者(年間揚水量10万m³以上を目安とする)の地下水揚水量をモニタリングする。揚水量データは遼陽市水利局水資源管理処を通じて遼陽市財務局所有の2004年7月から2005年6月までの月別揚水量データを入手した。また、水資源処が管理している揚水井戸の位置に関する情報も入手し、漏斗地区の状況の詳細な分析に活用する。

(2) 地下水位低下状況モニタリング

調査は対象地域(約300km²、図4.1.1参照)を1km×1km程度のメッシュに分割し、各メッシュ内から1箇所を目途に既存井戸(主に農村家庭が所有する生活用井戸)を選定し、その井戸の地下水位を測定する(合計200箇所程度を目安とする)。測定の際には井戸所有者から地下水位低下による影響などについて聞き取りも行う。井戸調査に際しては井戸の位置情報をGPSを用いて取得する。



出典：JICA 調査団

図 4.1.1 地下水モニタリング対象地域位置図

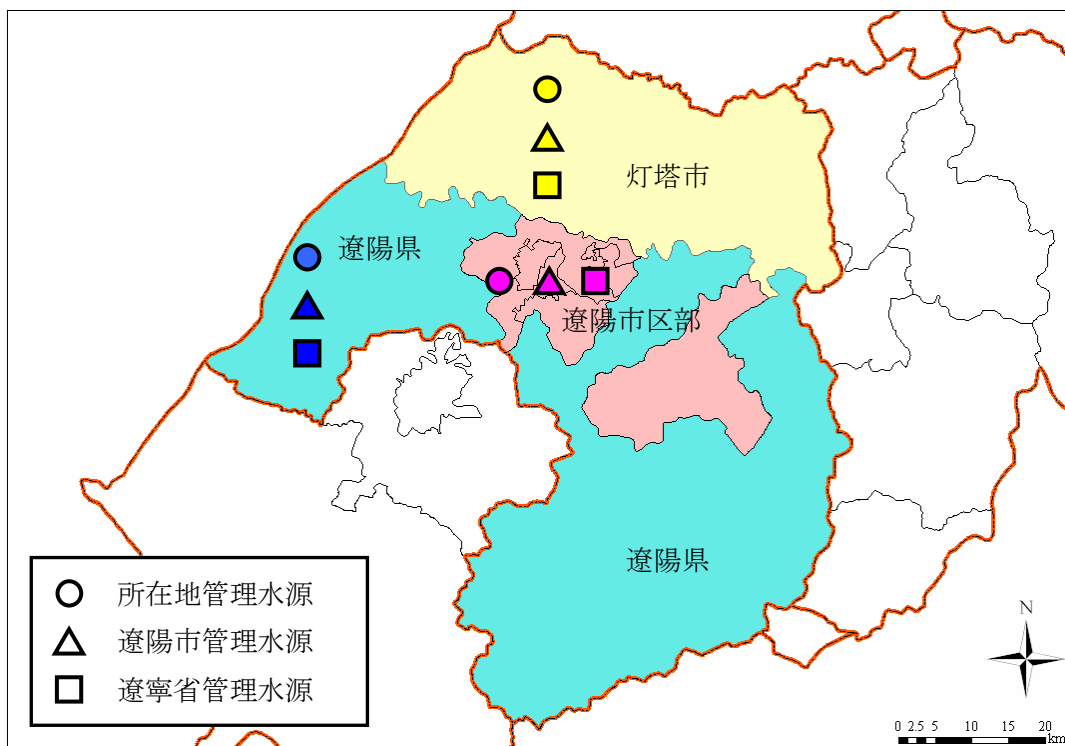
4.2 調査の結果

4.2.1 地下水揚水量モニタリング

(1) 遼陽市の地下水管理体制

地下水管理を行う上では二つの重要な項目、「取水許可申請の審査」及び「水資源費の徴収」があり、取水許可申請の審査は「遼寧省取水許可制度実施細則」に示されているとおり地下水揚水量の多寡に応じて省・市・県の水行政管理部門が担当する。そしてその取水許可を与えた行政機関が管理を担当することになる。一方、水資源費の徴収は、取水許可証を所有する企業・機関が位置する行政機関が担当することとなっている。

遼陽市の行政区分は区部（白塔区、文徑区、太子河区、宏偉区、弓長嶺区）、遼陽県、灯塔市（県レベル市）からなるが（図 4.2.1 参照）、今回地下水揚水量データを入手した遼陽市水資源管理処では上記行政区のうち区部内の地下水管理のみ行っており、その他の箇所に関しては遼陽県および灯塔市の水行政管理部門が行い、遼陽市水資源管理処はこれら機関を「指導」という立場にある。ただし、水源地が遼陽県および灯塔市に存在しても取水許可の時点で省または市の審査を受けているものは、省または市が管理しており、またこの場合の水資源費の徴収は遼陽市水資源処が行っている。



辽陽市水資源費徴収体制

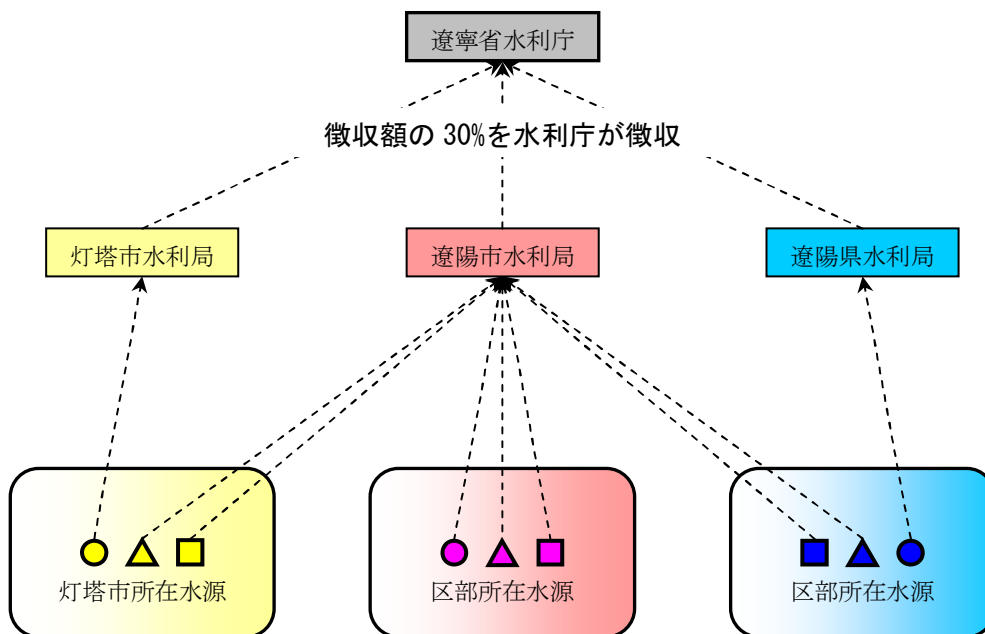


図 4.2.1 辽陽市の地下水管理と水資源費徴収体制 出典：JICA 調査団

水資源費は利用者からの申告データに基づいて算定・徴収される。また、この申告データは井戸毎ではなく、取水許可を得ている事業体単位の総量である。水資源費の徴収は毎月行われている。徴収された水資源費のうち30%は省が徴収しており、残る70%が各市・県の財政収入となる。

さらに、辽陽市の地下水用水量の25%を占めている農業用地下水に関しては、特例として支払

いを免除されている。そのため実際の揚水量に関するデータは存在していない。その他、農村生活・家畜・医療機関・学校・造林・小型発電に係る用水も水資源費は免除されているため、実質的には工業用水と都市生活用水に関する地下水利用に対してのみ水資源費が徴収されており、揚水量データもこれら取水に関するもののみ存在している。

(2) 収集した揚水量データの概要

遼陽市水資源管理処を通じて遼陽市財務局所有の地下水揚水量データのうち年間 10 万 m³ (274m³/日) 以上の箇所について月別のデータを入手した。結果を表 4.2.1 に示す。同処管理の地下水利用者の内 2004 年 7 月から 2005 年 6 月までの 1 年間の地下水揚水量が 10 万 m³ を超えたのは 18 箇所であった。

内訳は、工業用水に用いているのが 8 箇所、生活用水に用いているのが 7 箇所、そして暖房用に用いているのが 3 箇所であった。表に収集したデータの一覧を示す。ただし、各利用者とも井戸を多数所有している場合が多いが、取水量データはあくまでそれら所有井戸の総量データのみ存在し、井戸毎の揚水量は水資源処でも把握していない。これは、取水許可の発行時にも井戸毎の許可ではなく、利用者（企業・水道公社など）毎に許可証を発行しているために、利用量データも利用者単位で管理されている。

表 4.2.1 揚水量データ収集箇所

No.	登録者名	所在地	用途	年間揚水量* (万 m ³ /年)	日揚水量 (万 m ³ /日)
1	鞍鋼新鋼鉄公司	鞍山市	工業・生活	12,937	35
2	鞍山市自來水公司	遼陽市	生活	3,240	9
3	遼陽市自來水公司	遼陽市	生活	667	2
4	鞍鋼第二發電場	鞍山市	工業	617	2
5	遼陽県自來水公司	遼陽県	生活	240	1
6	遼陽鉄合金場	遼陽市	工業	72	0.2
7	瀋陽鐵路分局水電段	遼陽市	生活	22	0.1
8	第一汽車製造場遼陽 彈簧場	遼陽市	工業	32	0.1
9	郵電新村	遼陽市	地熱供暖	30	0.1
10	遼寧信息総業技術学 院	遼陽市	生活	29	0.1
11	遼寧中澤東一針織公 司	遼陽市	工業	21	0.1
12	遼陽鶴程房地產開發 公司	遼陽市	地熱供暖	20	0.1
13	遼寧無線電一場	遼陽市	工業	18	0.05
14	遼寧建築工程学校	遼陽市	生活	18	0.05
15	遼陽炭素場	遼陽市	工業	17	0.05
16	遼陽卑酒場	遼陽市	工業	15	0.04
17	遼陽移動通信公司	遼陽市	地熱供暖	15	0.04
18	遼陽賓館	遼陽市	生活	12	0.03

出典:遼陽市水利局水資源処

*2004 年 7 月から 2005 年 6 月の揚水量

(3) 月別揚水量データ

収集した月別の揚水量データを図 4.2.2 に示す。

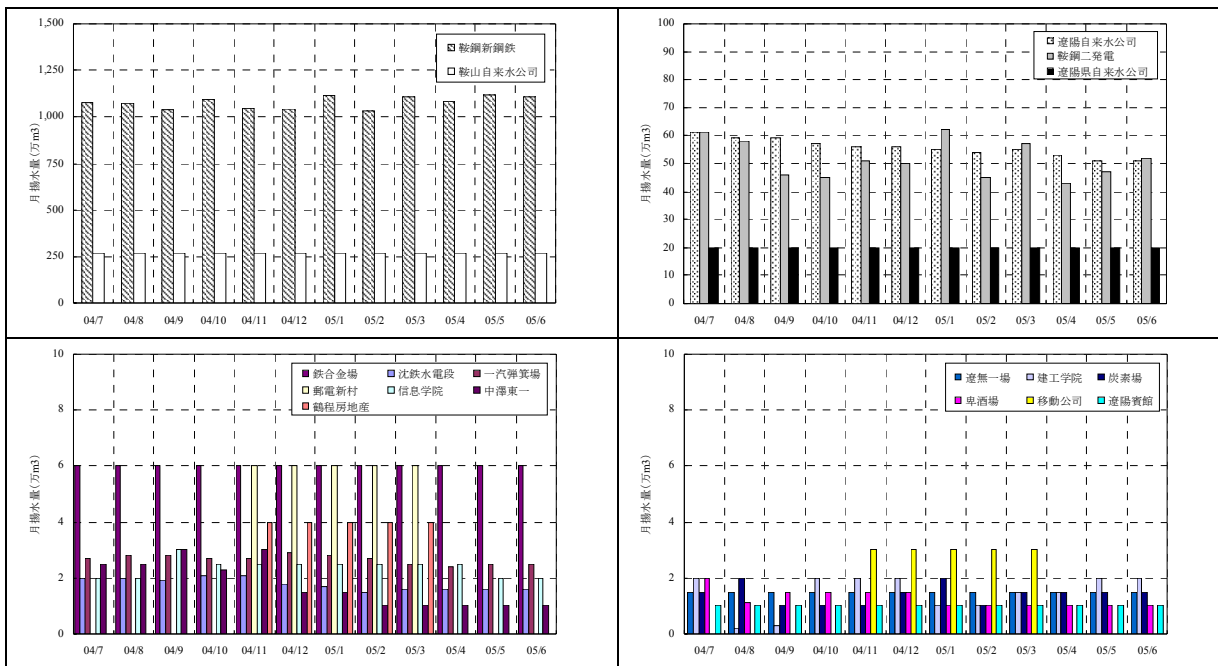


図 4.2.2 収集した月別揚水量 出典：遼陽市水資源処

図の通り、暖房供給用の箇所を除く全ての箇所は工業用および生活用水であるため、月別の揚水量はほぼ一定の量となっており、季節的な変動は確認できない。

(4) 取水許可量との比較

取水許可量データが得られた箇所について取水許可量と今回収集した揚水量データとを照らし合わせたところ、ほとんどの箇所（鞍鋼第二発電場及び遼陽市自来水公司を除いた全箇所）で実際の揚水量が取水許可量を下回っていた（表 4.2.2 参照）。格差が最も大きい箇所では実際の揚水量が取水許可量の 1/3 程度の箇所も存在している。その他の箇所でもおよそ 60%程度の値となっている箇所が多い。

表 4.2.2 揚水量データと取水許可量

No.	登録者名	取水許可量 (万 m ³ /年)	年間揚水量* (万 m ³ /年)
1	鞍鋼新鋼鐵公司	21,462	12,937
2	鞍山市自来水公司	5,475	3,240
3	遼陽市自来水公司	300	667
4	鞍鋼第二發電場	500	617
5	遼陽県自来水公司		240
6	遼陽鉄合金場	210	72
7	瀋陽鐵路分局水電段	32.4	22
8	第一汽車製造場遼陽彈簧場	90	32
9	郵電新村		30
10	遼寧信息総業技術学院	48	29
11	遼寧中澤東一針織公司	175	21
12	遼陽鶴程房地產開發公司	29	20
13	遼寧無線電一場	50	18
14	遼寧建築工程学校	30	18
15	遼陽炭素場	54	17
16	遼陽卑酒場	120	15
17	遼陽移動通信公司		15
18	遼陽賓館		12

出典：遼陽市水資源処

(5) モニタリング地点井戸分布状況

揚水量モニタリングデータを入手した箇所について、水源井戸の位置データに関する情報も収集した。ただし、井戸本数が多数ある箇所についてはそれぞれの井戸の正確な位置情報に関するデータは得られず、井戸分布範囲に関する情報のみが得られた（表 4.2.3 参照）。

図 4.2.3 には得られた水源井戸の位置情報を整理したものを示す。

表 4.2.3 主要取水者所有井戸の分布範囲

No.	登録者名	範囲 (km ²)	井戸本数	年間揚水量 (万 m ³ /年)	単位面積揚水量 (万 m ³ /km ² /年)
1	鞍鋼新鋼鉄公司	85	67	12,937	152
2	鞍山市自來水公司	28	59	3,240	117
3	遼陽市自來水公司	15	17	667	44
4	鞍鋼第二發電場	0.7	9	617	857

出典：遼陽市水資源処

図 4.2.4 には地下水揚水量モニタリング結果に基づく 1km²メッシュ別の単位面積当たり地下水揚水量分布図を示す。先に行った検討ではブロック 2 に関して、将来的に持続的に地下水開発を行うための指標値として表 4.2.4 に示す単位面積 (1km²) あたりの開発可能揚水量を算定している。

表 4.2.4 ブロック 2 における単位面積当たりの地下水開発可能量

段階	単位開発可能量 (万 m ³ /km ² /年)
ステップ 1	48.84
ステップ 2	28.03

出典：JICA 調査団



出典：遼陽市水資源処

図 4.2.3 主要地下水揚水者所有井戸位置図

図 4.2.4 によると同地区で地下水開発が行われている箇所ほとんどで、単位面積あたりの年間地下水開発量は 100 万 m^3 を超えており、現在マイナスである地下水収支を改善し地下水の枯渇を招かない最大開発可能量である 48.84 万 m^3 を大幅に超えた開発が行われていることがわかる。今回作成した図を用いることで今後地下水管理を行っていく上で、管理指標値と現在の揚水量とを比較し、どの箇所について、どの程度地下水揚水量を削減させるかを検討するうえでの参考データとして活用することができる。

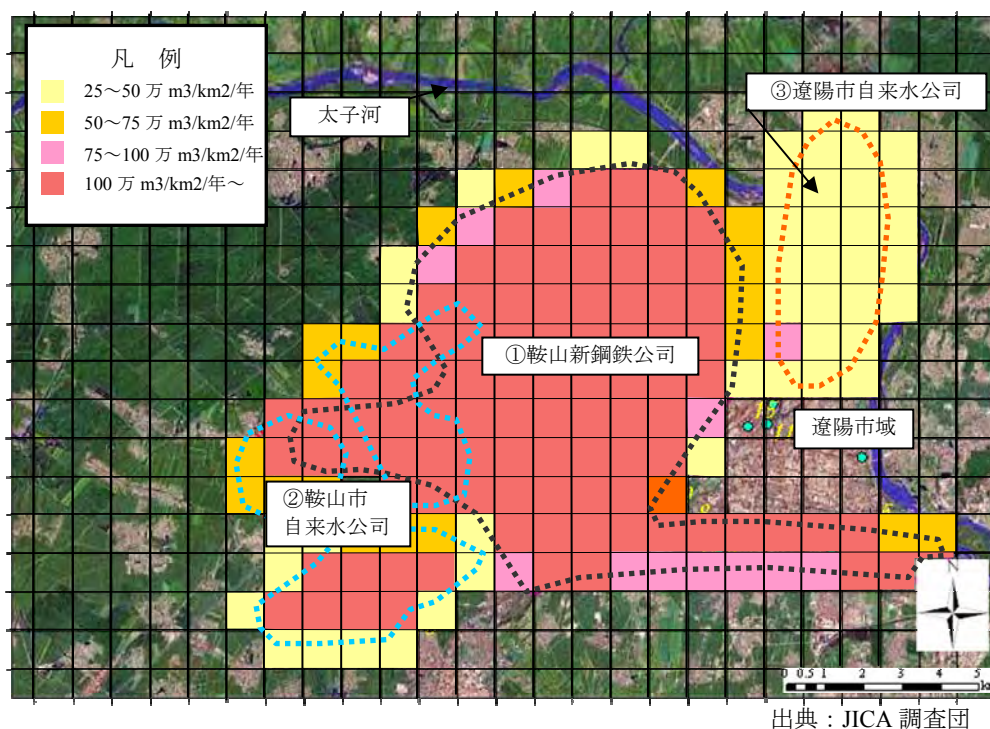


図 4.2.4 主要取水者井戸範囲と単位面積当たりの揚水量分布図

(6) 調査から明らかになった問題点

地下水揚水量モニタリングの結果から下記する問題点が明らかになった。

- 地下水揚水量は井戸毎のデータではなく取水許可を取得した企業単位の合計揚水量しか存在しないために井戸単位の地下水管理を行うことが不可能である
- 揚水量データは利用者の自己申請であり実際の揚水量が明らかでない
- 主要な地下水利用者である農業用地下水揚水量が水資源費の徴収を免除されているために、実際の揚水量を把握することが不可能である
- 水資源費の徴収が市・県・県級市別々で行われており、市レベルでの統一管理が行われていない

4.2.2 地下水位低下状況モニタリング

(1) 調査結果の概要

現地調査により訪問した井戸は合計 204 箇所となった。訪問井戸の主な諸元（深度、地下水位、直径及び建設年）を図 4.2.5 にまとめた。また、図 4.2.6 には地下水位モニタリング井戸の位置図を示した。

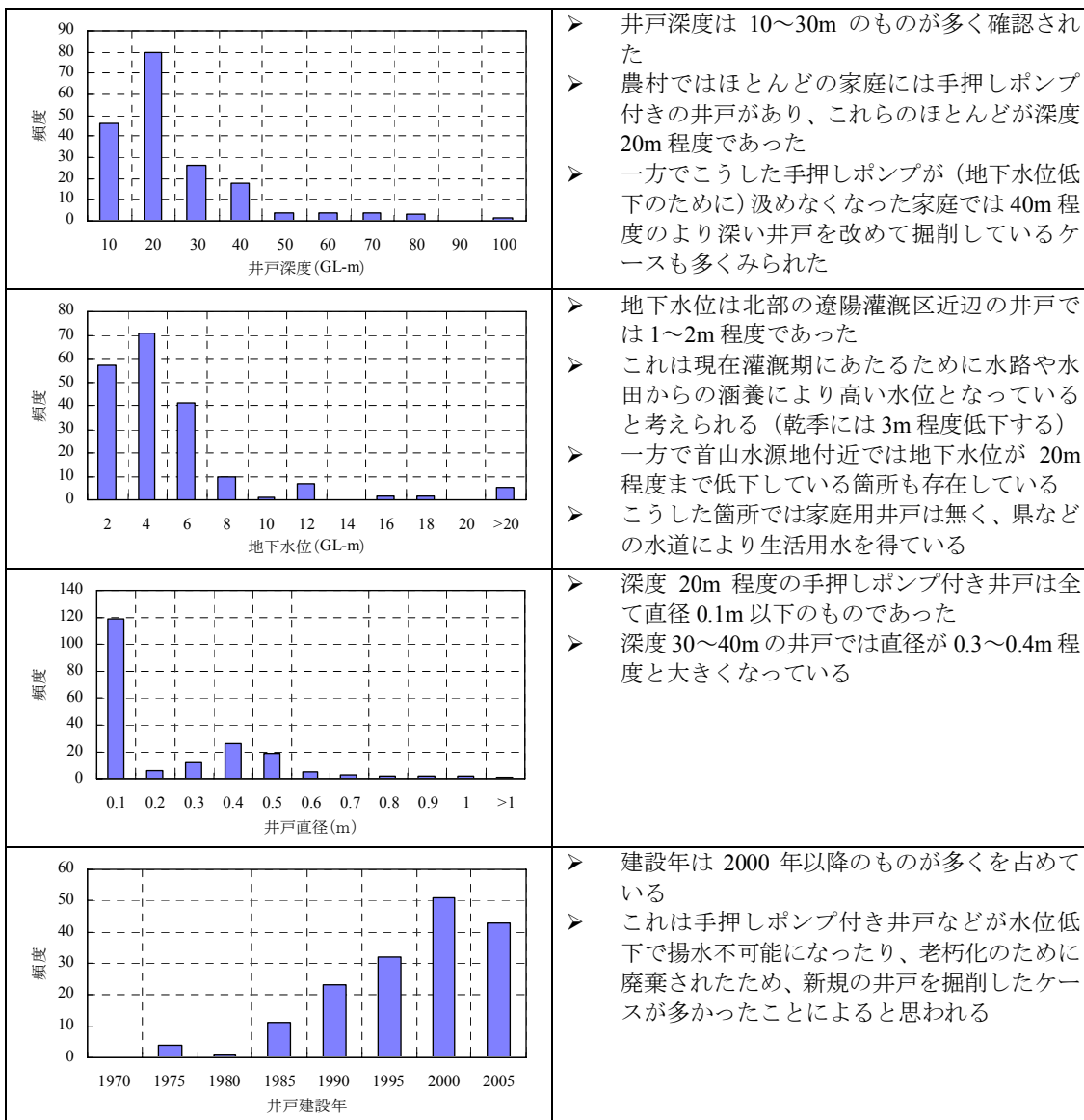
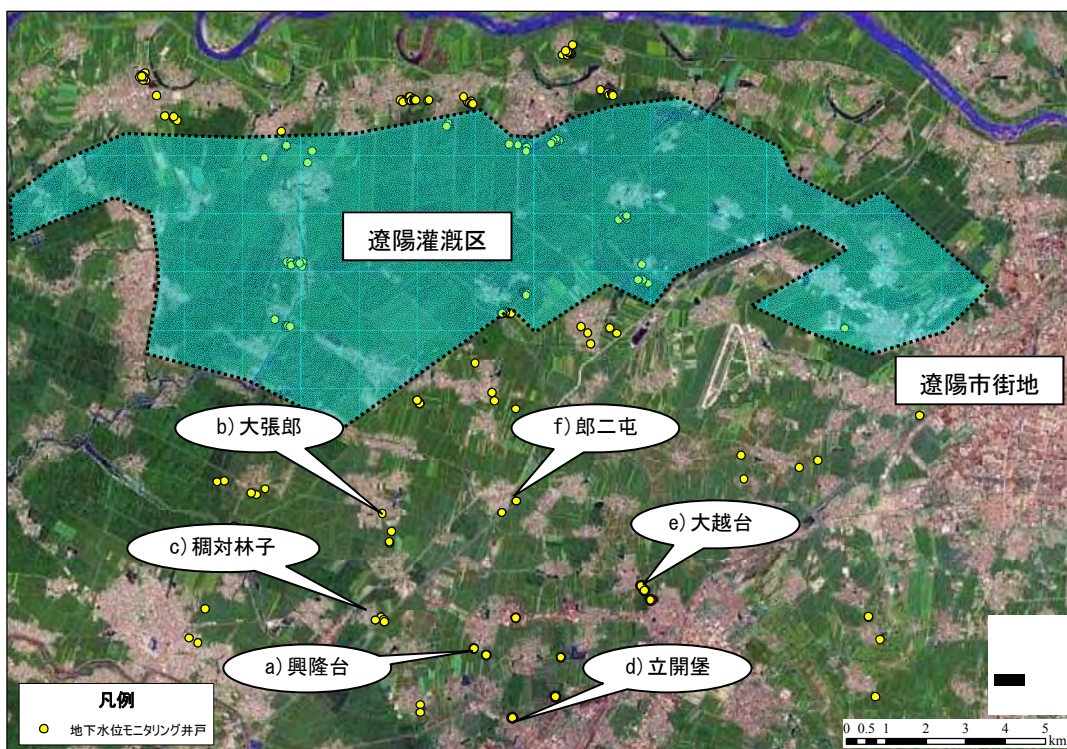


図 4.2.5 地下水位モニタリング結果の概要

出典：JICA 調査団



出典：JICA 調査団

図 4.2.6 地下水位モニタリング井戸位置図

(2) 聞き取り調査結果

調査対象地域の中でも地下水位低下量が最も大きいと想定された地域において、地下水位低下に伴う影響の有無や、現在の地下水利用状況などについて聞き取り調査を行った。調査実施村落は図 4.2.6 に示したとおりである。結果を以下に示す。

(a) 興隆台村

- 同村にはすでに上水道が敷設されており各戸全てで手押しポンプ井戸や大口径の浅井戸は所有していない
- 現地における聞き取り調査の結果合計 3 箇所の井戸を確認し、水位計測を実施した

地下水位の測定を行った井戸の概要は以下の通り。

	<p>井戸深度：33m 地下水位：16.3m 建設年：1997年 用途：生活用全般</p>		<p>井戸深度：34m 地下水位：15.5m 建設年：2004年 用途：生活用全般</p>
	<p>井戸深度：不明 地下水位：16.0m 建設年：1994年 用途：生活用全般</p>		

(b) 大張郎村

- 同村にはかつて各戸に手押しポンプ付きの井戸（井戸深度 17～18m 程度）が敷設されていたが、10 年ほど前から（地下水位低下のため）これら井戸から得られる水量が減少してきた
- 現在ではこれら手押しポンプ井戸のほとんどが使用されておらず、生活用水確保のために同村で独自に水道水源開発（深度 44m の深井戸、建設費は 2,600 元とのこと）を行い各戸に送水している（人口 2,800 人）
- その他（多くの水を必要とする）農業や畜産業を営んでいる村民は、独自に水源開発をし、地下水を得ている
- ただし乾季には（地下水位の低下のため）同村の水源井戸から得られる水量は減少し必要な水量を得るためには通常は 1 日 2 時間であるポンプの稼働時間を 2 倍の 4 時間稼働させなければならない
- 同村の水源井戸は取水許可証は得ておらず、従って水資源費も支払っていない
- 水利用者からはポンプ稼働にかかる電気代として年間 35 元/戸程度を徴収している（一部村からの補助金も拠出している）
- ただし近年地下水の水質が悪化してきており、村民は付近の工場排水からの地下水汚染を疑っている
- 今年水利庁の資金で同村に新たな水道水源用井戸開発を行う計画があるとのことであった
- 現地における聞き取り調査の結果合計 4 箇所の井戸を確認し、水位計測を実施した



地下水位の測定を行った井戸の概要は以下の通り。

	<p>井戸深度：20m 地下水位：12.0m 建設年：2000 年 用途：生活用全般</p>		<p>井戸深度：72m 地下水位：7.4m 建設年：1993 年 用途：生活用全般</p>
	<p>井戸深度：44m 地下水位：7.7m 建設年：2005 年 用途：畜産業用、生活用全般 水質悪い（黄褐色）</p>		<p>井戸深度：70m 地下水位：6.5m 建設年：1990 年 用途：村への上水供給用</p>

(c) 稠対林子村

- 同村もかつては各戸に手押しポンプ井戸が敷設されていたが 3 年ほど前より（水位の低下により）地下水が汲めなくなってしまう
- そのため生活用水確保のために各戸で独自の水源開発を行っている（井戸深度 50m 程度の深井戸を掘削、3,000 元程度）
- ポンプ稼働にかかる電気代は月 2 元程度とのこと（単価は 0.5 元/時/kW 程度とのこと）
- 同村ではかつては地下水を利用した灌漑農業を行っていたが、地下水位の低下により地下水揚水にかかるコスト（電気代）が増大したため、現在では天水農業（トウモロコシ）のみを行っている
- 井戸所有者の話では乾季には揚水可能な水量が減少するとのことである
- 現地における聞き取り調査の結果合計 4 箇所の井戸を確認し、水位計測を実施した

地下水位の測定を行った井戸の概要は以下の通り。

	<p>井戸深度：50m 地下水位：10.9m 建設年：2003年 用途：生活用全般</p>		<p>井戸深度：不明 地下水位：10.7m 建設年：2003年 用途：生活用全般</p>
	<p>井戸深度：40m 地下水位：10.9m 建設年：2003年 用途：生活用全般</p>		<p>井戸深度：34m 地下水位：11.0m 建設年：2001年 用途：生活用全般</p>

(d) 立開堡村

- 同村にはすでに上水道が敷設されているが、約 20 年前には各戸で手押しポンプ井戸を所有して生活用水を得ていた
- 同村にある上水道は鞍山鋼鉄公司により敷設されたものである
- 同村では天水によるトウモロコシ栽培を広く行っているが、地下水を用いた水稲栽培も行っており、水稲栽培用の地下水揚水井戸を 2 箇所訪問し、下記する情報を得た



[井戸 A]

- ・ 灌漑面積は 200 ムー（約 13 ha）で、井戸揚水量は 210 m³/時（58 lit/秒）である
- ・ 井戸の揚水記録は存在していないが、井戸管理者からの聞き取りでは代かき時期（4 月中旬～5 月中旬）にはほぼ毎日 24 時間ポンプを稼働させているとのこと
- ・ 代かき以降は 9 月まで毎日 10 時間程度ポンプを稼働させている
- ・ ポンプ稼働にかかる電気代は 1 年間で約 30,000 元（電気代単価は 0.6 元/時/kW）である
- ・ ここで栽培されている水稲は村の農民の自給用に栽培されているものである
- ・ この井戸は取水許可は取得していない

[井戸 B]

- ・ 灌漑面積は 300 ムー（20 ha）であり、2 本の井戸で地下水を揚水している（揚水量は目視のみで確認→およそ 20～25 lit/秒程度）
- ・ ポンプ稼働時間は井戸 A と同様であり、ポンプ稼働に係る電気代は 1 ムーあたり年間 150 元とのことであった
- ・ ここで栽培した米を売って得る利益は 1 ムーあたり年間 100 元とのことであった
- ・ この井戸は取水許可は取得していない

- 現地における聞き取り調査の結果合計 3 箇所の井戸を確認し、水位計測を実施した地下水位の測定を行った井戸の概要は以下の通り。

	<p>井戸深度：60m 地下水位：23.6m 建設年：1999年 用途：灌漑用 *測定時揚水中</p>		<p>井戸深度：60m 地下水位：21.7m 建設年：1994年 用途：灌漑用 *測定時揚水中</p>
	<p>井戸深度：不明 地下水位：16.8m 建設年：不明 用途：不使用 廃棄井戸</p>		

(e) 大越台村


- 同村にはすでに上水道が敷設されている
- 浴場といった多量に水を使う業者は上記上水道の他に独自に水源開発（深度 40m 程度の深井戸）を行い業務用地下水を得ている
- ただし今回訪問した自家用井戸は取水許可は取得していない
- 同村付近には遼陽県の水道公社があり、今回その事務所を訪れ下記する情報を得た
 - ・ 同公社では現在新規の水源開発を行っている（80m 程度の深井戸 4 本程度→内 1 本について今回調査で測水）
 - ・ 現在 5 本程度（直接水源井戸の確認はさせてもらえなかった）の井戸で地下水を揚水し県内に供水している
 - ・ 新規水源から揚水する地下水の浄水処理施設などを現在建設中である（今年 9 月頃完成予定）
- 現地における聞き取り調査の結果合計 3 箇所の井戸を確認し、水位計測を実施した

地下水位の測定を行った井戸の概要は以下の通り。

	井戸深度：80m 地下水位：20.8m 建設年：2005 年 用途：遼陽県水道公社用水源		井戸深度：31m 地下水位：20.4m 建設年：2000 年 用途：生活用全般
	井戸深度：不明 地下水位：20.6m 建設年：不明 用途：業務用（浴場）		

(f) 郎二屯村

- 同村にはすでに上水道が敷設されているが、約 20 年前には各戸で手押しポンプ井戸を所有して生活用水を得ていた
 - 一部未だ敷設されていない箇所や業務用に多くの水を必要とする箇所では独自に水源開発（深度 40m 程度の深井戸）を行い業務用地下水を得ている
 - 現地における聞き取り調査の結果合計 3 箇所の井戸を確認し、水位計測を実施した
- 地下水位の測定を行った井戸の概要は以下の通り。

	井戸深度：30m 地下水位：11.4m 建設年：1999 年 用途：家畜用		井戸深度：33m 地下水位：12.0m 建設年：2005 年 用途：生活用全般
---	--	--	--

(3) まとめ

図 4.2.7 には地下水位モニタリング結果に基づき作成した地下水位等高線図を示す。また、聞き取り調査を通じて判明した地下水位低下域（漏斗地区）の現状および問題点などを表 4.2.4 にまとめた。図 4.2.8 には当該地域の地下水位低下前後の水利用状況変遷に関する模式図を示した。

表 4.2.4 地下水位低下状況モニタリングのまとめ

地域	地下水位状況	確認した問題など	備考
遼陽灌漑区 周辺	<ul style="list-style-type: none"> 灌漑区内では2m程度 灌漑区南端部では5～7m程度 	<ul style="list-style-type: none"> 灌漑用水の過剰な地下漏出 地下水への表流水流入（伏流）による地下水水質の悪化 	<ul style="list-style-type: none"> 域内に鞍鋼水源井戸が存在している 灌漑区は過剰取水量相当分として鞍鋼から年間200万円の補助（補償）金を得ている
遼陽灌漑区 ～首山間	<ul style="list-style-type: none"> 7～12m程度 	<ul style="list-style-type: none"> 水位低下により手押しポンプでの生活用水確保が困難 生活用水は村の小規模上水道又は各戸での深井戸により確保 ポンプ稼働にかかる電気代の負担が大きく十分な水量の確保が困難（特に乾季） 地下水を用いた灌漑農業は電気代のコストが大きいため実施が困難 地下水への表流水流入（伏流）による地下水水質の悪化 	<ul style="list-style-type: none"> 大張郎村では水利庁資金による水道水源（深井戸）開発の計画がある
首山水源地 近傍	<ul style="list-style-type: none"> 15～22m程度 	<ul style="list-style-type: none"> 水位低下により手押しポンプでの生活用水確保は不可能 生活用水の確保は県の大規模上水道又は鞍鋼敷設の上水道により確保 地下水を用いた灌漑農業は電気代のコストが大きいため実施が困難 	<ul style="list-style-type: none"> 鞍鋼が周辺村落への上水道整備も手がけている

出典：JICA 調査団

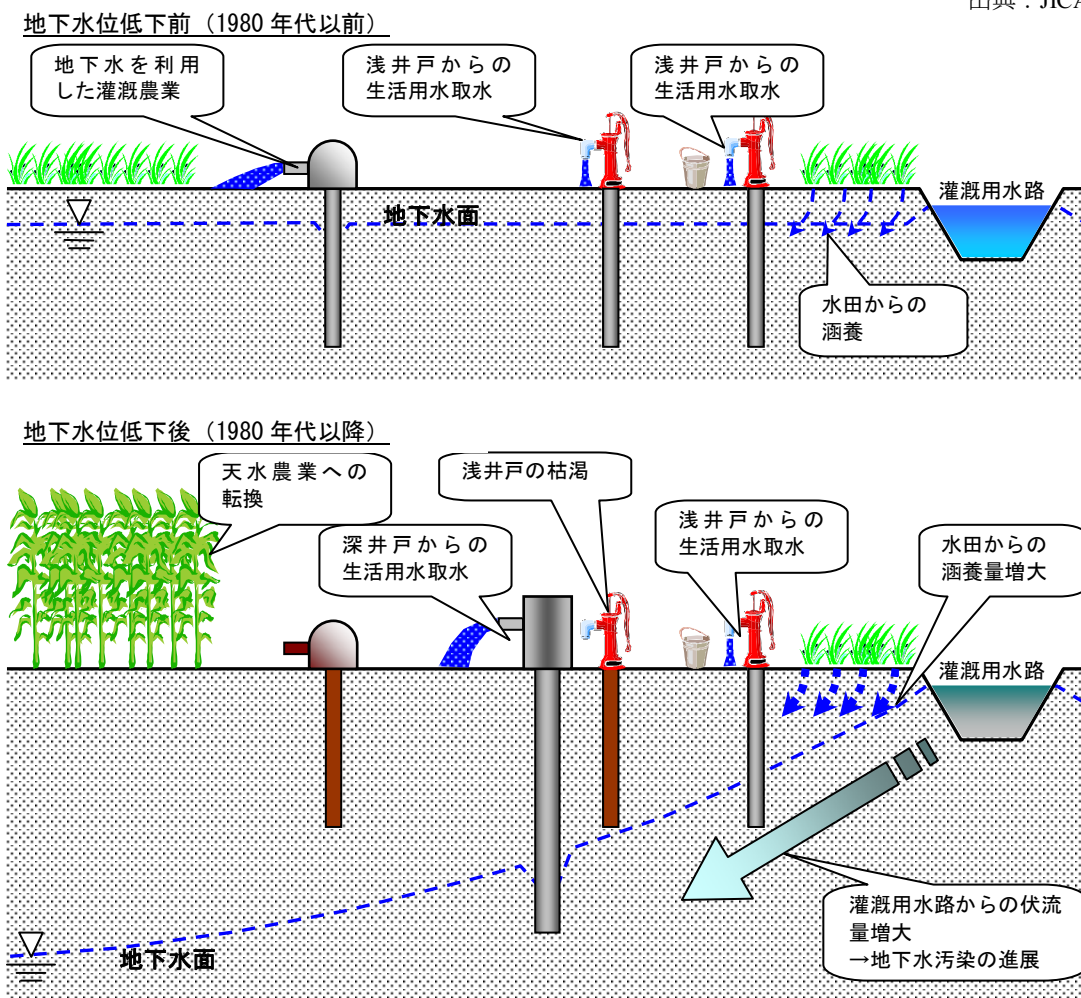
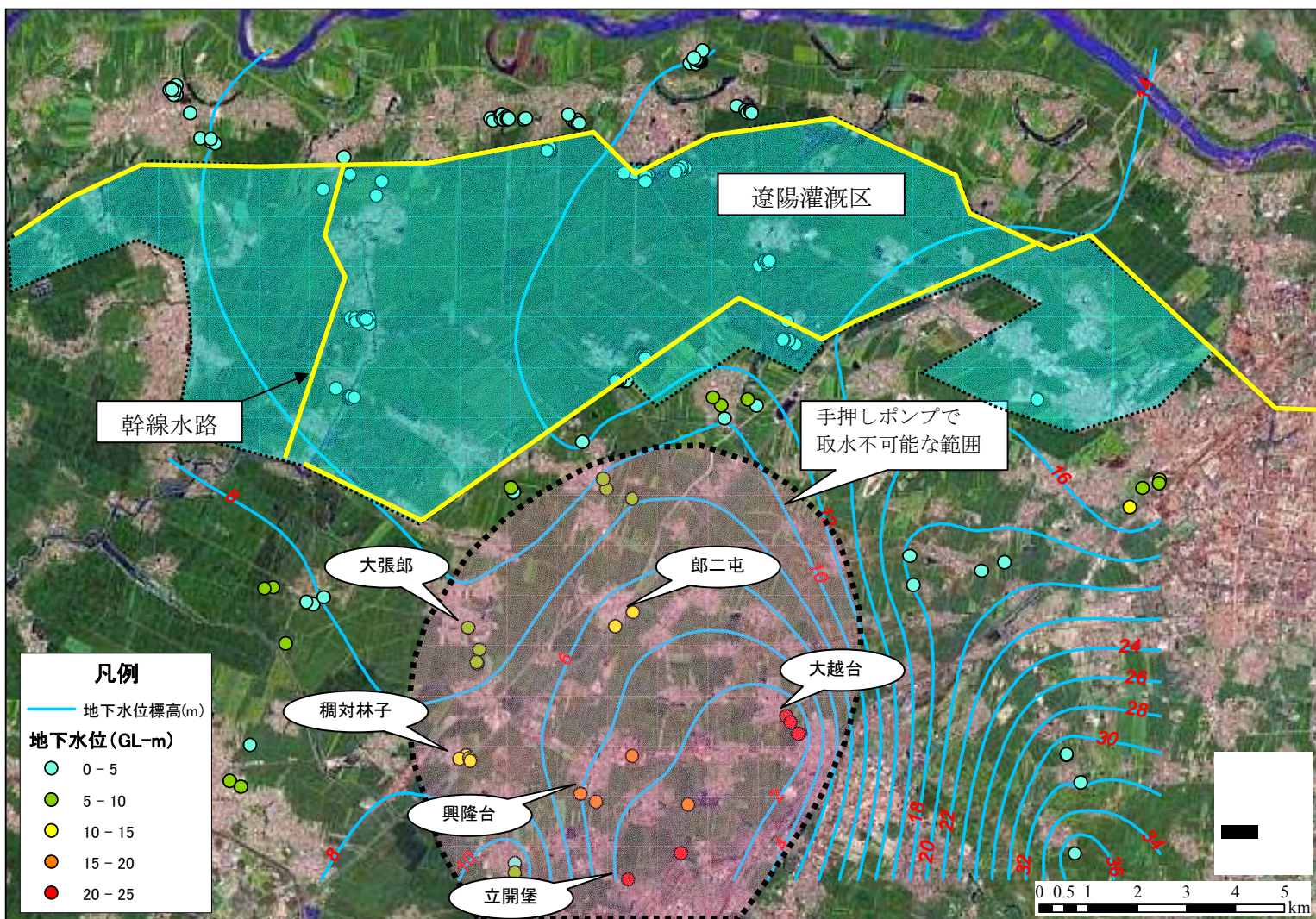


図 4.2.8 地下水位低下前後における地下水利用状況模式図 出典：JICA 調査団



出典：JICA 調査団

図 4.2.7 地下水位等高線図

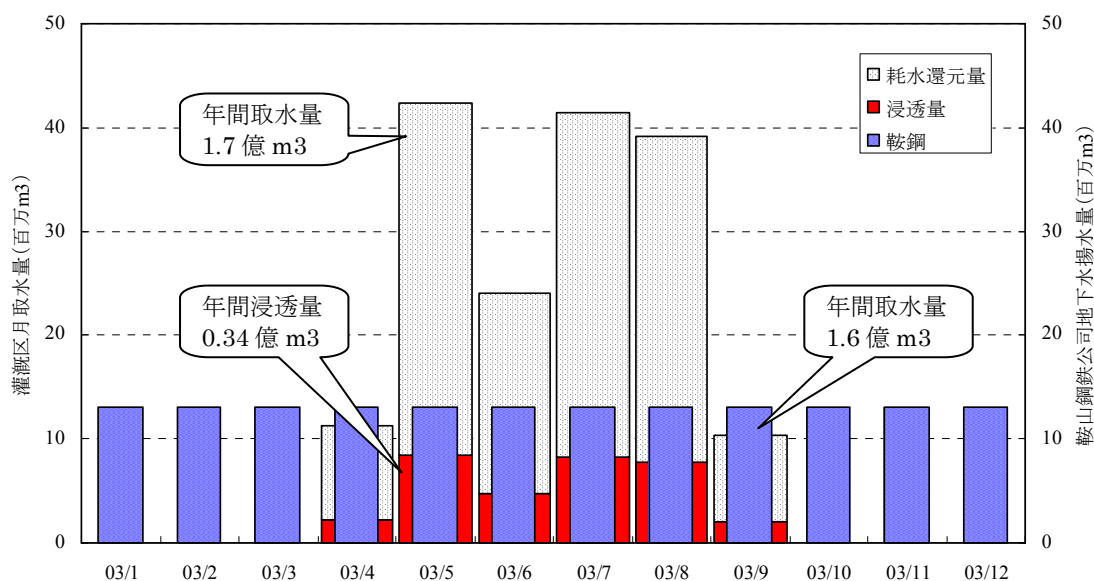
地下水位低下による周辺への影響としては、既存井戸による生活用水確保が困難、灌漑用水の過剰な漏出及び地下水質の悪化といった事項が明らかになった。こうした悪影響に対して、同地域における主要な地下水利用者である鞍山鋼鉄公司是農業用水過剰取水量に対する補償金の支払いや、生活用代替水源の手当といった対応を行っている。こうした対応により水量の点では現在の所考えられるが、こうした水利用が続く限り（水質の悪い表流水の伏流により）地下水質は悪化の一途をたどることが懸念される。

4.2.3 モニタリング調査のまとめ

(1) 遼陽灌漑区からの浸透量と地下水揚水量の関係

図 4.2.9 には 2003 年統計データに基づく月別の遼陽灌漑区の取水量及び、取水量から算定した想定地下浸透量と鞍山鋼鉄の地下水揚水量を示す。なお、想定地下浸透量は取水量の 20%として算定している¹。

図 4.2.10 には図-4.2.9 で示した鞍山鋼鉄の地下水揚水量について、同社の揚水井戸総計 67 本のうち遼陽灌漑区内に位置する 24 本（36%）に相当する取水量を算定したものを示す。ここでの揚水量は鞍山鋼鉄の総用水量に 36%を乗じた値である。



出典:水資源公報

図 4.2.9 遼陽灌漑区浸透量と鞍山鋼鉄地下水揚水量(2003 年統計データ)

¹ 灌漑用水量と地下水浸透量の比率に関する日本の事例として、農林水産省、群馬県及び福井県における算定結果（それぞれ 17%、24%、20%）を入手しその平均値 20%を採用した。

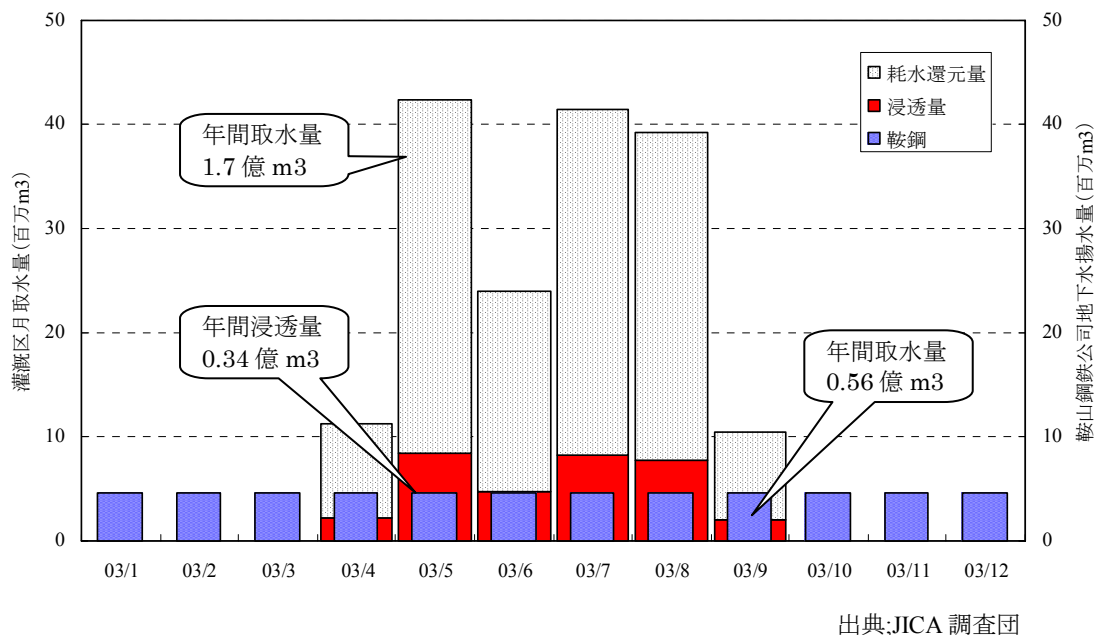


図 4.2.10 遼陽灌漑区浸透量と灌漑区内鞍山鋼鉄地下水揚水量(2003 年統計データ)

鞍山鋼鉄の地下水取水は遼陽灌漑区内から同灌漑区南東部にかけての地域で行われており、遼陽灌漑区では鞍山鋼鉄の地下水過剰取水による地下水位低下への対応として、本来の灌漑取水量より多く太子河より取水し水路に導水することで地下水涵養量の増加に寄与している。遼陽灌漑区担当者の説明では、本来は1億トンの年間必要灌漑水量に加え、その50%にあたる0.5億トンの水量を過剰に取水し地下水涵養に充てているとのことであった。

図 4.2.10 に示すとおり、遼陽灌漑区での地下浸透量は雨季(5月～8月)には同地区内での鞍山鋼鉄による地下水揚水量を上回っているが、乾季には灌漑区では水路への取水が停止するため地下浸透量はゼロとなる。今回実施した地下水位低下状況モニタリング結果から得られた地下水位等高線図でも、同灌漑区内では地下水位の低下は解消されており、これは灌漑区からの地下浸透量が揚水量を上回っていることを示していると考えられる。

一方で地下水モニタリングにおける聞き取り調査の結果、遼陽灌漑区内の個人所有井戸でも乾季になると以前より生じている地下水位低下(漏斗現象)は発生するとのことであり、遼陽灌漑区からの地下浸透による効果は雨季の間にのみ止まり、地下水位低下問題の根本的な解決には寄与していないことが窺える。

しかしながら、同地区における灌漑区からの実際の浸透量に関しては現場での観測データなどは存在せず、灌漑用水と地下浸透および地下水揚水に関する詳細な水循環状況に関しては依然として不明な点も多い。こうした点に関しては水循環モデルを用いた検討を行うなどして、より定量的な水収支を明らかにする必要がある。

(2) 漏斗現象の抜本的対策の必要性

今回の地下水モニタリング実施時は雨季に相当し、地下水涵養量(上流からおよび降雨浸透によるものなど)も年間で最も大きい時期であり、また地下水位低下域(漏斗地区)の北部に位置

する遼陽灌漑区では水稻栽培のための灌漑が行われており、水路や圃場を通じた地下水涵養が促進するために漏斗地区範囲も減少していたと考えられる。

一方、現地での聞き取り調査の結果、および既存の地下水位データ等から乾季には地下水涵養量も減少し、灌漑区においては取水が停止し、雨季での豊富な地下水涵養源が失われることで漏斗地区範囲は大幅に拡大すると考えられる（図 4.2.11 参照）。

今回の調査結果から遼陽灌漑区を通じた地下水涵養は雨季にはある程度漏斗地区面積の減少に寄与していることが明らかになった。しかしながら、この地下水涵養により漏斗地区範囲は 4 月から 9 月までの灌漑期に一時的に減少するだけであり、漏斗現象を根本的に解決するには至っていない。

これまでも述べたとおり、漏斗現象の解決には地下水揚水量を削減させることが第一であり、現在進行していると思われる地下水水質の悪化に歯止めをかけるためにも早急な地下水揚水量の削減が求められる。

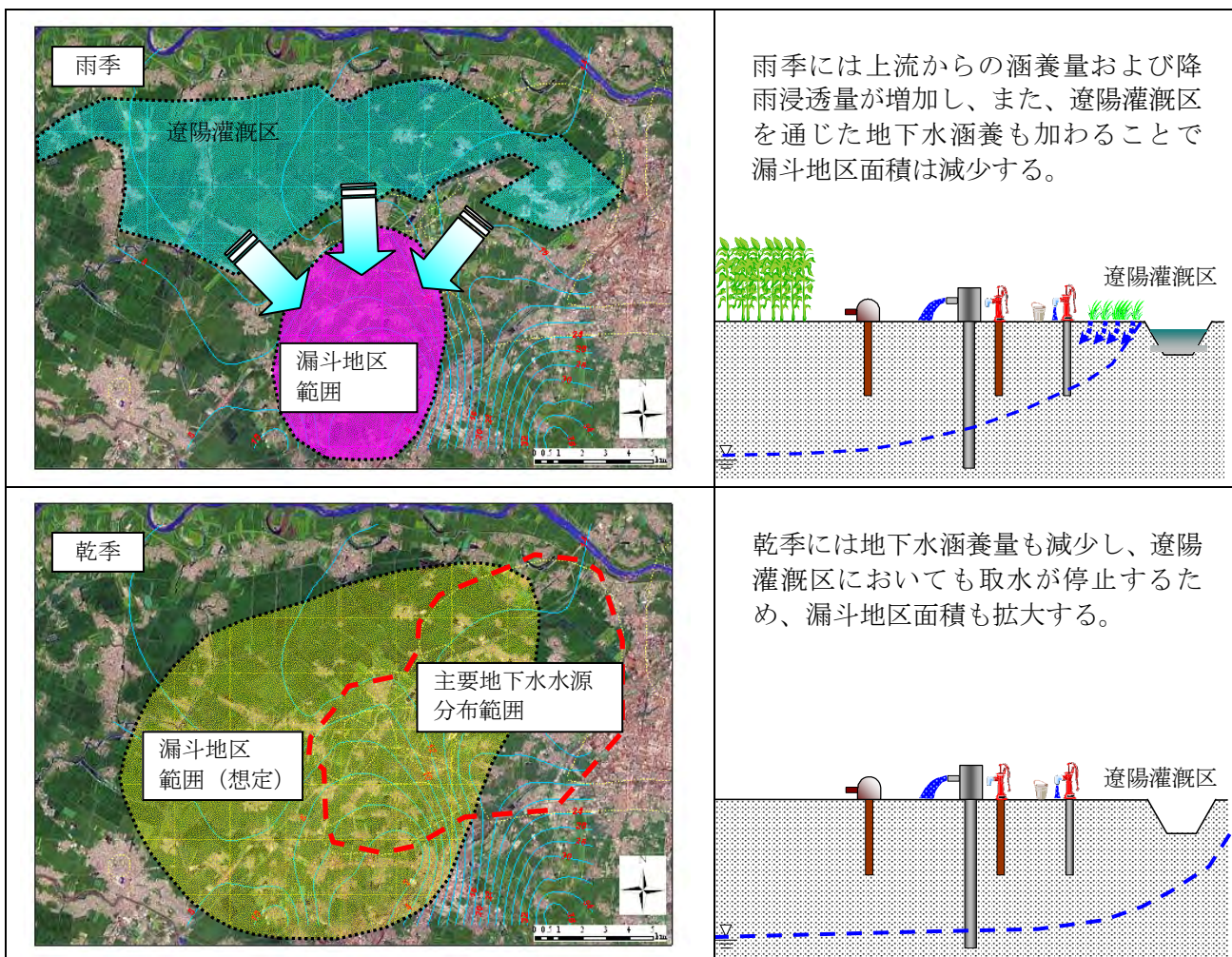


図 4.2.11 雨季と乾季の漏斗地区面積の変化状況模式図

出典：JICA 調査団