

# 付属報告書-5

## 地下水

## 中華人民共和国 水利権制度整備

## 最終報告書

## 第5巻

## カテゴリー3 モデル地区におけるケーススタディー

## 付属報告書-5

## 地下水

目次

	頁
<b>第1章 調査の概要</b> .....	付属 5-1
1.1 調査の目的 .....	付属 5-1
1.2 調査の期間 .....	付属 5-1
1.3 調査の内容 .....	付属 5-1
<b>第2章 地下水賦存状況に関する検討</b> .....	付属 5-2
2.1 太子河流域の地下水に関する現状把握.....	付属 5-2
2.2 地下水関連データの収集・整理.....	付属 5-3
2.3 地下水賦存量と地下水収支の検討.....	付属 5-57
<b>第3章 地下水管理指標値の検討</b> .....	付属 5-70
3.1 地下水盆の管理.....	付属 5-70
3.2 地下水管理指標値の検討.....	付属 5-72
<b>第4章 地下水利用実態モニタリング</b> .....	付属 5-84
4.1 モニタリングの概要.....	付属 5-84
4.2 調査の結果.....	付属 5-85
<b>第5章 地下水管理に係る法制度の検討</b> .....	付属 5-101
5.1 日本の地下水管理法制度について.....	付属 5-101
5.2 遼寧省の地下水管理法制度について.....	付属 5-109
5.3 日本と中国の地下水管理制度の比較.....	付属 5-119
5.4 用水類別原単位と取水許可量.....	付属 5-124
5.5 地下水管理に係る法制度改定案.....	付属 5-126
5.6 地下水管理制度の改善スケジュール (案) .....	付属 5-132
<b>第6章 地下水管理に関わるパイロットプロジェクト(案)</b> .....	付属 5-134
6.1 遼陽市首山漏斗地区地下水管理指標構築事業.....	付属 5-134

## 図表目次

### 表

		頁
表 1.2.1	地下水担当団員の現地調査実施期間.....	付属 5-1
表 1.3.1	調査実施内容一覧.....	付属 5-1
表 2.1.1	収集対象データ一覧.....	付属 5-3
表 2.2.1	収集データ一覧.....	付属 5-4
表 2.2.2	井戸台帳収集データとデータ例.....	付属 5-8
表 2.2.3	各市別の井戸本数と年間揚水量.....	付属 5-10
表 2.2.4	業種分類一覧.....	付属 5-13
表 2.2.5	業種別地下水年間揚水量.....	付属 5-15
表 2.2.6	水資源管理年報からの太子河流域内用水量.....	付属 5-20
表 2.2.7	地下水揚水量の水資源管理年報データと井戸台帳データの比較.....	付属 5-22
表 2.2.8	地下水位モニタリング井戸一覧.....	付属 5-24
表 2.2.9	地下水揚水量地域別集計結果.....	付属 5-39
表 2.2.10	地下水水質モニタリング井戸一覧.....	付属 5-41
表 2.2.11	収集した地下水水質分析項目.....	付属 5-41
表 2.2.12	地下水水質モニタリングデータ.....	付属 5-43
表 2.2.13	中国地下水水質基準.....	付属 5-48
表 2.2.14	砒化度の値とサンプルの種別.....	付属 5-50
表 2.3.1	水資源管理年報からの地下水年間使用量.....	付属 5-59
表 2.3.2	ブロック毎の地下水収支算定結果.....	付属 5-63
表 3.1.1	地下水管理システムの構成項目.....	付属 5-70
表 3.1.2	地下水のマクロ的管理とミクロ的管理の特徴.....	付属 5-72
表 3.1.3	太子河流域の地下水問題.....	付属 5-72
表 3.2.1	持続可能な最大地下水揚水量.....	付属 5-76
表 3.2.2	地下水揚水量が流入成分に占める割合.....	付属 5-79
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.....	付属 5-79
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）.....	付属 5-81
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）.....	付属 5-81
表 4.2.1	揚水量データ収集箇所.....	付属 5-87
表 4.2.2	揚水量データと取水許可量.....	付属 5-88
表 4.2.3	主要取水者所有井戸の分布範囲.....	付属 5-89
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.....	付属 5-89
表 4.2.4	地下水位低下状況モニタリングのまとめ.....	付属 5-96

表 5.1.1	日本の地下水揚水規制に関する法律.....	付属5-102
表 5.1.2	地下水揚水規制に関連法制度.....	付属5-102
表 5.1.3	地盤沈下防止等対策要綱における対策地域.....	付属5-103
表 5.1.4	地方自治体の地下水採取規制整備状況.....	付属5-103
表 5.1.5	都道府県の地下水採取規制にかかる条例.....	付属5-104
表 5.1.6	地方自治体の地下水採取規制整備状況.....	付属5-105
表 5.1.7	地下水採取規制対象基準.....	付属5-105
表 5.1.8	日本の一般的な地下水保全条例の条文内容例.....	付属5-106
表 5.1.9	地下水採取規制での井戸設置時申請内容.....	付属5-107
表 5.1.10	熊本県地下水保全条例中の地下水汚染防止に係る条文例.....	付属5-108
表 5.2.1	取水許可証取得対象外取水条件.....	付属5-109
表 5.2.2	取水許可証審査条件.....	付属5-109
表 5.2.3	取水許可証申請内容.....	付属5-111
表 5.2.4	水資源費一覧.....	付属5-112
表 5.2.5	超過採取者の水資源費一覧.....	付属5-112
表 5.2.6	太子河流域の地下水保護区.....	付属5-113
表 5.2.7	対策目標年の内容.....	付属5-113
表 5.2.8	保護区区分の内容.....	付属5-114
表 5.2.9	節水対策の内容.....	付属5-114
表 5.2.10	代替水源の一覧.....	付属5-115
表 5.2.11	大規模導水計画.....	付属5-115
表 5.2.12	汚水処理場建設計画.....	付属5-115
表 5.2.13	各地下水保護区の対策内容.....	付属5-116
表 5.2.14	地下水資源保護条例条文概要.....	付属5-117
表 5.2.15	太子河流域における地下水管理.....	付属5-118
表 5.3.1	都道府県の地下水採取規制にかかる条例.....	付属5-121
表 5.4.1	取水許可申請書に記載する用水源単位関連項目.....	付属5-124
表 5.4.2	取水許可申請書への記載状況.....	付属5-124
表 5.4.3	取水許可申請書への記載内容（抜粋）.....	付属5-125
表 5.4.4	取水許可申請書載内容変更（案）.....	付属5-126
表 5.5.1	取水許可制度実施規則改定（案）.....	付属5-130
表 5.5.2	各市地下水資源保護条例（案）.....	付属5-131
表 6.1.1	水路流量・地下水観測施設数量.....	付属5-138
表 6.1.2	水循環モデル解析に使用するデータ例.....	付属5-139
表 6.1.3	水循環モデル解析結果と管理制度への活用.....	付属5-139
表 6.1.4	水資源費追加徴収対象揚水量試算結果.....	付属5-140

表 6.1.5	水資源費追加徴収額試算結果.....	付属 5-140
表 6.1.6	実施主体と関係機関.....	付属 5-141
表 6.1.7	実施期間.....	付属 5-141
表 6.1.8	概算事業費.....	付属 5-142
表 6.1.9	パイロットプロジェクトの PDM.....	付属 5-143
表 6.1.10	パイロットプロジェクトの詳細実施計画（案） .....	付属 5-144



	頁
图 2.2.1 太子河流域地質図.....	付属 5-5
图 2.2.2 太子河流域水理地質横断図.....	付属 5-6
图 2.2.3 太子河流域水理地質構造概念図.....	付属 5-7
图 2.2.4 太子河流域流動機構概念図.....	付属 5-7
图 2.2.5 井戸本数と年間揚水量.....	付属 5-9
图 2.2.6 工業用地下水の業種別揚水量・事業者数及び井戸本数.....	付属 5-12
图 2.2.7 各市毎の井戸深度分布.....	付属 5-17
图 2.2.8 井戸深度分布と年間揚水量の関係.....	付属 5-16
图 2.2.9 深度毎の井戸 1 本あたりの年間揚水量.....	付属 5-16
图 2.2.10 井戸設置年代毎の井戸本数の分布.....	付属 5-18
图 2.2.11 井戸設置年代毎の年間揚水量の分布.....	付属 5-18
图 2.2.12 各市毎の井戸設置年の分布.....	付属 5-19
图 2.2.13 水資源管理年報による各市毎の用水量と地下水供給量.....	付属 5-21
图 2.2.14 地下水揚水量の水資源管理年報データと井戸台帳データの比較.....	付属 5-22
图 2.2.15 太子河流域内地下水位モニタリング井戸位置図.....	付属 5-25
图 2.2.16 (a)地下水位変動図（本溪市及び瀋陽市観測井戸）.....	付属 5-27
图 2.2.16 (b)地下水位変動図（遼陽市観測井戸）.....	付属 5-28
图 2.2.16 (c)地下水位変動図（鞍山市観測井戸）.....	付属 5-29
图 2.2.16 (d)地下水位変動図（鞍山市観測井戸）.....	付属 5-30
图 2.2.17 多降雨時応答型.....	付属 5-26
图 2.2.18 降雨自然応答型.....	付属 5-31
图 2.2.19 初夏期水位低下型.....	付属 5-32
图 2.2.20 常時水位低下型.....	付属 5-32
图 2.2.21 地下水位変動量分布図.....	付属 5-34
图 2.2.22 地下水位変動パターンの地域分布.....	付属 5-35
图 2.2.23 地下水位等高線図.....	付属 5-37
图 2.2.24 地下水位変動量と地下水位等高線図.....	付属 5-38
图 2.2.25 太子河流域内地下水水質モニタリング井戸位置図.....	付属 5-42
图 2.2.26 水質分析データの地下水水質基準類別頻度.....	付属 5-47
图 2.2.27 硝酸イオン分析値分布図.....	付属 5-49
图 2.2.28 水質の経年変化.....	付属 5-50
图 2.2.29 砒化度の分析値ヒストグラム.....	付属 5-51
图 2.2.30 ヘキサダイアグラム分布図.....	付属 5-52

図 2.2.31	トリリニアダイアグラム.....	付属 5-53
図 2.2.32	I、II型に分類されたサンプルのヘキサダイアグラム.....	付属 5-54
図 2.2.33	ヘキサダイアグラムと地下水位等高線図.....	付属 5-55
図 2.3.1	水循環系の模式図.....	付属 5-57
図 2.3.2	太子河流域の水循環系の模式図.....	付属 5-58
図 2.3.3	唐馬寨観測所河川流量観測結果.....	付属 5-60
図 2.3.4	本溪観測所河川流量観測結果.....	付属 5-60
図 2.3.5	太子河流域年間地下水収支図.....	付属 5-61
図 2.3.6	帯水層分布域と小流域分割.....	付属 5-62
図 2.3.7	地下水収支算定ブロック.....	付属 5-63
図 2.3.8	ブロック毎の地下水収支算定結果.....	付属 5-64
図 2.3.9	ブロック間地下水流動検討に関する仮定条件.....	付属 5-64
図 2.3.10	ブロック間地下水流動検討結果.....	付属 5-66
図 2.3.11(1)	ブロック間地下水流動検討用入力データ (ブロック 1).....	付属 5-65
図 2.3.11(2)	ブロック間地下水流動検討用入力データ (ブロック 2).....	付属 5-67
図 2.3.11(3)	ブロック間地下水流動検討用入力データ (ブロック 3).....	付属 5-67
図 2.3.11(4)	ブロック間地下水流動検討用入力データ (ブロック 4).....	付属 5-67
図 2.3.12(1)	地下水位再現結果 (ブロック 1).....	付属 5-68
図 2.3.12(2)	地下水位再現結果 (ブロック 2).....	付属 5-68
図 2.3.12(3)	地下水位再現結果 (ブロック 3).....	付属 5-69
図 2.3.12(4)	地下水位再現結果 (ブロック 4).....	付属 5-69
図 3.1.1	地下水管理システムと指標値.....	付属 5-70
図 3.1.2	地下水のマクロ的管理とミクロ的管理の関係.....	付属 5-71
図 3.2.1	揚水量変化と水収支の均衡.....	付属 5-73
図 3.2.2	ブロック別水収支の流入・流出成分.....	付属 5-74
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.....	付属 5-74
図 3.2.4	貯留量変化算定結果 (2003年揚水量維持).....	付属 5-75
図 3.2.5	貯留量変化算定結果 (持続可能な最大揚水量).....	付属 5-77
図 3.2.6	ブロック間の水収支と地下水位低下.....	付属 5-78
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.....	付属 5-80
図 3.2.8	単位開発可能量と地下水位低下.....	付属 5-82
図 4.1.1	地下水モニタリング対象地域位置図.....	付属 5-85
図 4.2.1	遼陽市の地下水管理と水資源費徴収体制.....	付属 5-86
図 4.2.2	収集した月別揚水量.....	付属 5-88
図 4.2.3	主要地下水揚水者所有井戸位置図.....	付属 5-89
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.....	付属 5-90
図 4.2.5	地下水位モニタリング結果の概要.....	付属 5-91

図 4.2.6	地下水位モニタリング井戸位置図.....	付属 5-92
図 4.2.7	地下水位等高線図.....	付属 5-97
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.....	付属 5-96
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）.....	付属 5-98
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）.....	付属 5-99
図 4.2.11	雨季と乾季の漏斗地区面積の変化状況模式図.....	付属 5-100
図 5.1.1	東京都の地下水変化と地盤沈下の例.....	付属 5-101
図 5.2.1	地下水を水源とした取水許可証申請の流れ.....	付属 5-110
図 5.2.2	水文地質調査の流れ.....	付属 5-112
図 5.2.3	太子河流域における地下水水位・水質モニタリング井戸位置図.....	付属 5-118
図 5.3.1	日本と遼寧省の地下水管理体制の比較.....	付属 5-119
図 5.4.1	年間生産量と取水許可量.....	付属 5-125
図 5.4.2	遼寧省用水定額と取水許可量の用水定額.....	付属 5-125
図 5.5.1	井戸管理体制への移行案.....	付属 5-127
図 5.5.2	地下水管理制度改善案.....	付属 5-129
図 5.6.1	遼陽市地下水管理制度改善スケジュール案.....	付属 5-133
図 6.1.1	パイロットプロジェクト実施地域.....	付属 5-135
図 6.1.2	パイロットプロジェクトの構成.....	付属 5-135
図 6.1.3	太子河流域における既存の雨量・流量観測施設位置図.....	付属 5-137
図 6.1.4	太子河流域における既存の地下水観測施設位置図.....	付属 5-137
図 6.1.5	水路流量・地下水観測施設設置位置図.....	付属 5-138
図 6.1.6	水循環モデル解析の流れ.....	付属 5-139

## 第1章 調査の概要

### 1.1 調査の目的

「カテゴリー3 モデル地区におけるケーススタディ」は、モデル流域である遼寧省太子河流域における水資源ポテンシャル、水収支および水需給バランスの検討を行い、同流域に適した水利権制度整備の検討に資することを目的として各種セクター毎の調査を行うものである。「地下水」セクターに関しては上記目的に関連して、モデル流域における地下水資源ポテンシャルの評価および地下水収支バランスの検討を行い、最終的に地下水管理目標の設定ならびに地下水管理システムに関する提言を行うことを目的として調査を行った。

### 1.2 調査の期間

地下水担当団員の現地調査実施期間は表 1.2.1 に示す通りである。

表 1.2.1 地下水担当団員の現地調査実施期間

年度 年月	平成 16 年度						平成 17 年度								
	2004 年						2005 年								
	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9
第一次現地調査		■													
第二次現地調査							■	■	■						
第三次現地調査												■	■	■	■

出典：JICA 調査団

### 1.3 調査の内容

現地調査毎の実施内容は以下に示すとおりである。

表 1.3.1 調査実施内容一覧

調査項目	項目	実施内容
第一次現地調査	地下水関連データの確認	<ul style="list-style-type: none"> <li>地下水関連データの整備状況確認</li> <li>地下水関連データの収集項目の選定</li> </ul>
第二次現地調査	地下水関連データの収集・整理	<ul style="list-style-type: none"> <li>井戸台帳の収集・整理</li> <li>地下水位・水質モニタリングデータの収集・整理</li> <li>水理地質データの収集・整理</li> </ul>
	地下水関連データの分析	<ul style="list-style-type: none"> <li>地下水開発状況の整理</li> <li>地下水位等高線図・変動図作成</li> <li>地下水水質分布図作成</li> </ul>
	地下水賦存量の検討	<ul style="list-style-type: none"> <li>地下水涵養量の推定</li> <li>地下水収支の検討</li> </ul>
第三次現地調査	地下水管理に係る検討	<ul style="list-style-type: none"> <li>地下水取水量モニタリング</li> <li>地下水漏斗地区の現状把握</li> <li>地下水管理指標値の検討</li> <li>地下水管理・モニタリングシステムの提案</li> <li>アカデミックペーパー（条例案）の作成</li> </ul>

出典：JICA 調査団

## 第2章 地下水賦存状況に関する検討

### 2.1 太子河流域の地下水に関する現状把握

#### 2.1.1 第1次現地調査の概要

モデル地区におけるケーススタディでは、まずは調査対象流域内の地下水賦存状況、地下水開発状況並びに地下水開発に伴う環境への影響の有無などを把握したうえで、地下水資源ポテンシャルの評価および地下水収支バランスの検討を行う必要があった。そこで、本調査では「地下水関連データの収集」を実施し、上記検討に資する基本的な情報を得ることとした。第一次現地調査では、モデル地区における地下水関連データの所在確認と収集データ項目の選定などを行った。

#### 2.1.2 調査対象地域

地下水関連データ収集の対象地域は遼寧省太子河本川と支川を含む「太子河流域全体」を基準とした。ただし、太子河流域を含む広域の地下水位分布状況を把握する必要があること、ならびに地下水関連データは省内各市単位で管理していることから（一部省管理データもある）、太子河が流下している撫順、本溪、瀋陽、遼陽、鞍山の各市をデータ収集対象範囲とした。

#### 2.1.3 地下水関連データの確認

現地調査を通じて遼寧省水利庁の担当者から、主に同省における地下水管理に関する聞き取りを行ったところ、以下に示す事項が明らかになった。

##### ①地下水動態モニタリング管理について

- 1979年より地下水動態モニタリング管理を開始したが、近年モニタリング用の井戸数の減少や、モニタリング井戸配置の不合理といった問題が生じてきている
- そこで、1999年に「地下水モニタリング井戸ネットワーク計画」を策定した。これにより、モニタリング井戸配置の不合理を修正するとともに井戸数も増加させるなどの方策がとられた。その後、本モニタリング体制は問題なく運用されている
- 地下水モニタリング箇所は546箇所ですべて全省をカバーしているが、平地部の方が観測密度は大きい
- モニタリング井戸は全て観測専用用の井戸である
- 都市部については都市建設部門が管理しており、本ネットワークには含まれていない
- 観測項目は主に地下水位（546箇所）で、一部水質（111箇所→毎年渇水期に一度測定）も観測している
- 地下水位の観測頻度は、毎日観測している箇所が121箇所、5日に1回観測している箇所が425箇所である
- モニタリングは省内各市の水文分局が行っており、結果の概要を水利庁が取得することで省内全体の現状を把握している
- モニタリングデータは各市の水文分局が紙ベースで保管している

## ②地下水取水許可・管理について

- ▶ 地下水の取水に際しては、(使用希望者からの) 利用申請を審査・許可するというシステムにより利用量の管理を行っている。
- ▶ 同体制は 1997 年より開始され、省内の自治体および企業が所有する井戸の整理を行い、無許可で稼働していた井戸などについても(改めて) 許可を発行するなどしている。
- ▶ 地下水取水許可の許可基準は地下水揚水量である
- ▶ 申請された揚水量の多寡に応じて、大きいものは省が、小さいものは市・県が許可をしている
- ▶ 都市部の大規模地下水開発水源地の井戸も上記に従って許可を得ている(揚水量は大きいため省が許可をしている)
- ▶ 取水許可にかかるデータは上記に応じて各市、省がそれぞれ紙ベースで管理している

上記聞き取り調査の結果から地下水関連データは、遼寧省水利庁が行っている地下水動態モニタリングネットワークでの水位・水質モニタリングデータ、および地下水取水許可制度を通じて管理されている取水許可井戸データなどから情報を得ることが確認できた。そこで現地で収集するデータとして表 2.1.1 に示す項目を選定した。

表 2.1.1 収集対象データ一覧

データ種別	仕 様
水理地質関連データ	既往の井戸・ボーリング孔に関する地質データを収集し、水理地質断面図を作成する。
井戸台帳	省、市保有の取水許可井戸に関する情報を収集し井戸台帳を作成する。
地下水位連続観測データ	省、市保有の地下水モニタリングデータから地下水位データを収集する。モニタリング井戸は調査対象 5 市(撫順、本溪、瀋陽、遼陽、鞍山市)にあるものを抽出する。
地下水水質データ	省、市保有の地下水モニタリングデータから水質データを収集する。モニタリング井戸は調査対象 5 市(撫順、本溪、瀋陽、遼陽、鞍山市)にあるものを抽出する。

出典：JICA 調査団

## 2.2 地下水関連データの収集・整理

### 2.2.1 第 2 次現地調査の概要

第 2 次現地調査では第 1 次現地調査で選定した地下水関連データの収集・整理とこれらデータの分析による地下水賦存状況、地下水開発状況並びに地下水開発に伴う環境への影響の有無などを把握し、地下水資源ポテンシャルの評価および地下水収支バランスの検討を行った。

### 2.2.2 収集データの内容

現地で収集したデータの一覧を表 2.2.1 に示す。

表 2.2.1 収集データ一覧

データ種別	最終的に収集・整理を行ったデータの内容・数量・期間等
水理地質関連データ	太子河流域内の 74 箇所 の 既往地質調査ボーリングデータを収集。本データをもとに太子河流域の地質断面図を作成。
井戸台帳	遼寧省内各市（撫順、本溪、瀋陽、遼陽、鞍山）管理の井戸台帳データの内、太子河流域内のデータを収集（計 3,245 本）
地下水位連続観測データ	遼寧省水利庁による地下水モニタリングネットワークのなかから太子河流域内の 114 本の井戸の地下水位変動データを収集。収集期間は 68 本が 2 年間（2002～2003 年）、46 本が 1 年間（2003 年）。
地下水水質データ	遼寧省水利庁による地下水モニタリングネットワークのなかから太子河流域内の 31 本の井戸の地下水水質変動データを収集。収集期間は 27 箇所が 2000～2003 年の 4 年間分（1 年に 1 分析）、4 箇所が 2002～2003 年の 2 年間分。

出典：JICA 調査団

### 2.2.3 収集データの整理・分析

#### (1) 太子河流域の水理地質構造（水理地質関連データの分析）

収集した水理地質関連データおよび別途入手した遼寧省の地質図に基づき太子河流域の水理地質状況の整理・分析を行った。

##### (a) 地質概要

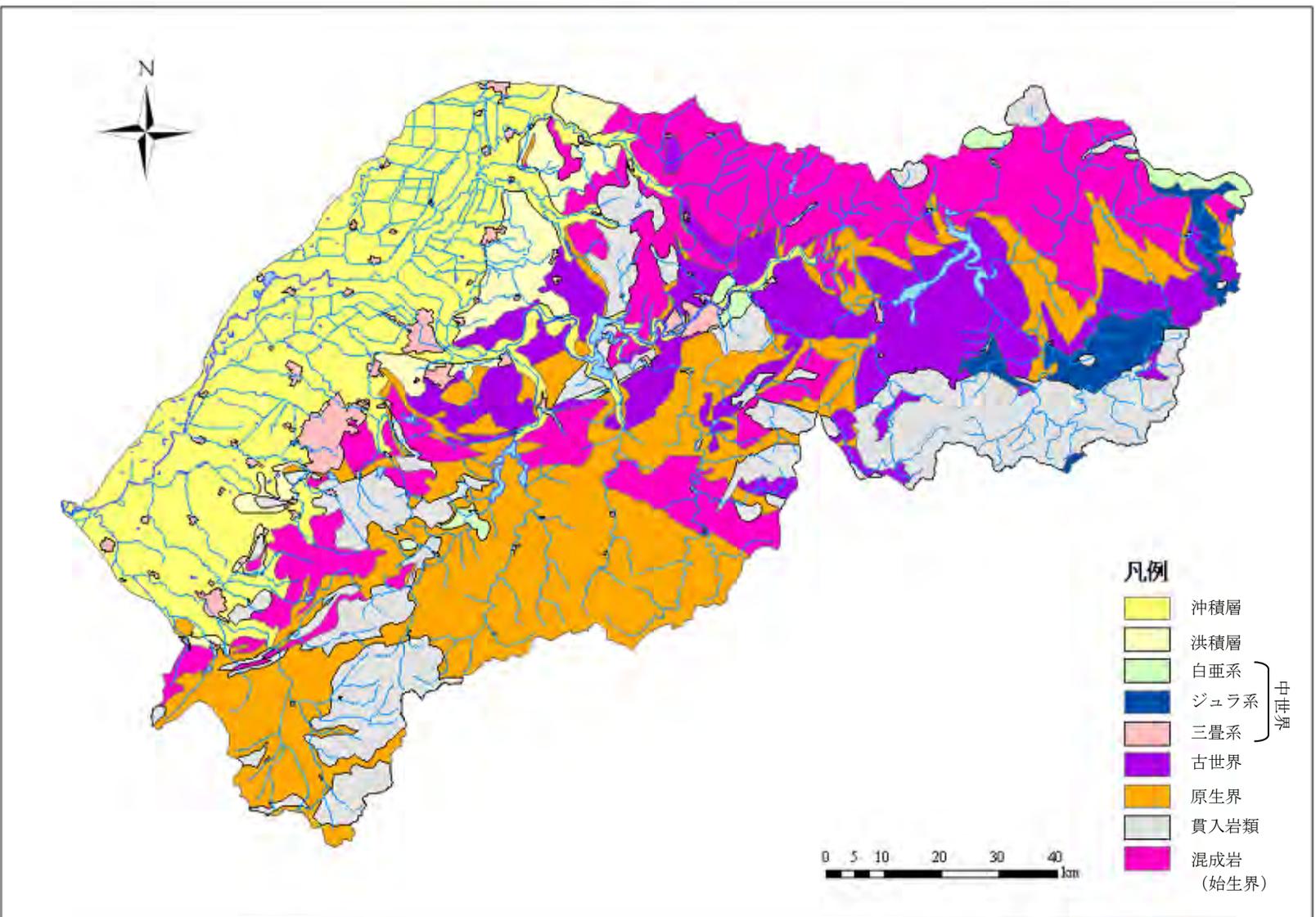
図 2.2.1 に既往の地質図（出典：遼寧省地質図,遼寧省地質鉱山局,1982 年）に基づき作成した太子河流域の地質図を示す。図に示すとおり、太子河流域は地形的に大きく東側の山丘部と西側の平野部とに区分される。西側の平野部には新生代第四紀、洪積世（約 200 万年～1 万年前）・沖積世（約 1 万年前～現在）の堆積物が分布しており、これら堆積物は主に砂礫、粘土、シルトなどで構成されている。

一方東側の山丘部には始生代の変成岩類及び混成花崗岩類（前震旦系,約 31 億年前）を基盤岩として、上部原生代の石英砂岩、粘板岩、泥灰岩、頁岩からなる地層（震旦系,約 8～5.7 億年前）が不整合で覆っている。また、太子河沿いには古生代の石灰岩を主体とする地層（カンブリア系、オルドビス系,約 4.4～5.7 億年前）が分布している。また南部には広く中生代の火成岩類が分布している。

##### (b) 水理地質構造

図 2.2.1 で示した通り、太子河流域では平野部の第四紀の堆積物が主要な帯水層となっている。ただし、山丘部の古生代の石灰岩も洞穴中に地下水を有しているが、太子河沿いに限った分布に止まっている。

今回調査では太子河流域の主要な帯水層が分布する下流域平野部について既往のボーリング柱状図（74 箇所；国土資源庁が所有）に基づき水理地質断面図を作成した。図 2.2.2 には水理地質横断面図を示した。図に示す通り、太子河平野部の第四紀沖積層は主に砂層からなり、間に粘性土層が狭在している。沖積層の層厚は最も深い箇所でも 300m 程度となっている。帯水層は沖積層中の砂層であり、不透水層である粘性土層の分布によって不圧または被圧地下水となっているものと思われる。



出典：遼寧省区域地質志 (遼寧省地質鈔産局)

图 2.2.1 太子河流域地質图

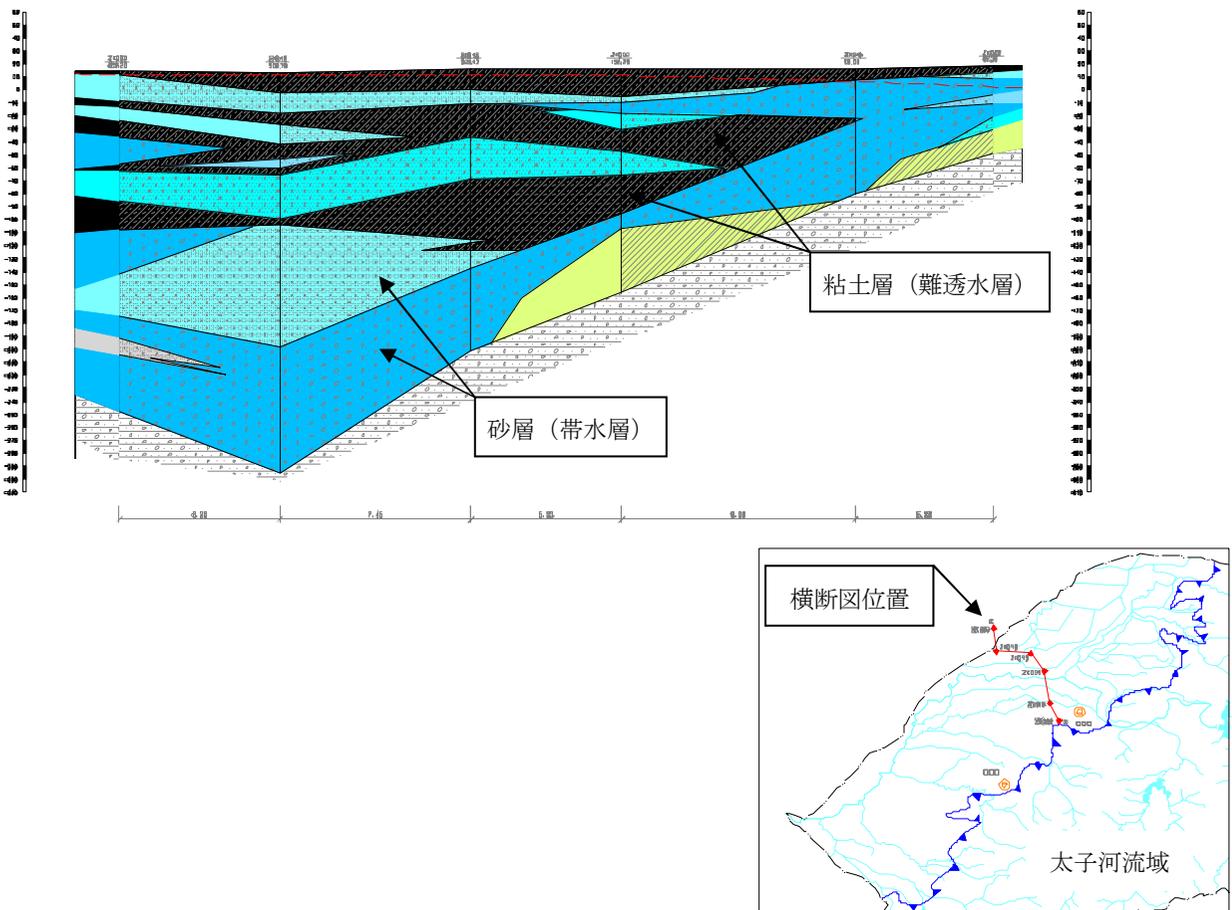


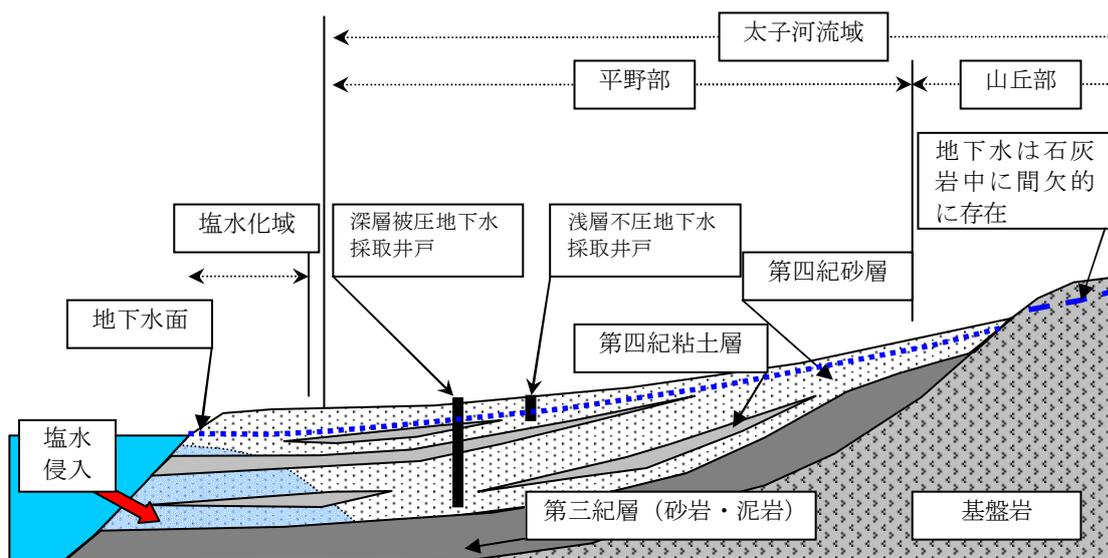
图 2.2.2 太子河流域水理地質横断面图

出典：JICA 調査団

(c) 地下水流動機構

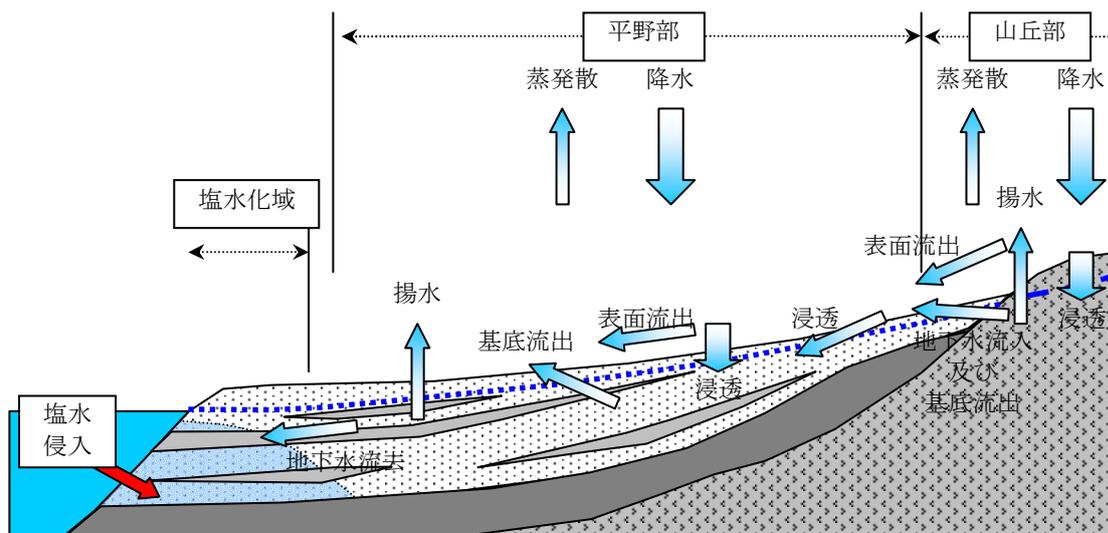
図 2.2.3 には太子河流域の水理地質構造概念図を示した。また、図 2.2.4 にはこの水理地質構造概念図に基づいた太子河流域の流動機構概念図を示した。

両図に示した通り、太子河流域では涵養域である山丘部で降雨の一部が浸透し、これら浸透成分は山丘部河谷に分布する第四紀層に流入し、平野部地下水の涵養に寄与する。また、平野部では降雨の直接浸透成分や、河川からの伏流成分が主な地下水の涵養源となっている。



出典：JICA 調査団

図 2.2.3 太子河流域水理地質構造概念図



出典：JICA 調査団

図 2.2.4 太子河流域流動機構概念図

## (2) 井戸台帳データの分析結果

収集した太子河流域内の5市（撫順市、本溪市、瀋陽市、遼陽市、鞍山市）が地下水管理に資するために所有している井戸台帳データの分析を行った。ただし、台帳データのうち、データ項目に不備がある（表 2.2.2 に示した項目がほとんど記載されていない）ものは今回は収集していない。その結果、今回収集したデータは全井戸データの約 60%程度に止まっている。

## (a) 井戸台帳データの概要

表 2.2.2 には収集した井戸台帳のデータ項目とデータ例を示した。

表 2.2.2 井戸台帳収集データとデータ例

項目	内容	データ例
登記番号	各市所有の井戸台帳登記番号	2722
登記単位	登記上の井戸所有（利用）者	苏家屯区陈相镇柳匠村
取水工程名称	井戸タイプ、井戸用途など	柳匠村农业水源
取水地点	地下水を実際に利用している箇所名	苏家屯区陈相镇柳匠村
年取水総量	年間揚水量（取水許可申請時点の申請水量であり 2003 年の実際の揚水量ではない）	5.5 万 m <sup>3</sup>
水源井号	井戸番号（登記上一箇所であっても井戸が複数存在する場合、各井戸の番号を記載）	1
詳細水源地点	水源井戸の所在地	村西
井戸設置日	井戸建設年月日	1990 年 5 月 10 日
井戸深度	井戸の深度	45m
井戸孔径	井戸の孔径	0.5m
地下水類型	不圧地下水又は被圧地下水の区分	不圧地下水
採取帯水層	採取地層名やスクリーン深度	浅層地下水
採取深度	ポンプの設置深度	22m
地下水位	静水位（揚水していない時の水位）	12.5m
ポンプ型番	揚水に用いているポンプの型番	12JQ140-3
取水能力	井戸の取水能力	0.038(m <sup>3</sup> /s)

出典：JICA 調査団

データは各市の水利局水資源処より収集した。これら井戸台帳データは紙ベースで保管されており、電子化されている市はなかった。これら井戸台帳に記載のデータは最新のデータであり、データ内容は取水許可申請時に記載されたものである。また、別途実施した取水許可証データの収集結果から井戸台帳データに記載のない井戸データが 52 箇所分（186 井戸）あったため、このデータも併せて整理することとした（最終的な井戸本数は台帳データの 3,245 本に 186 本を加えた 3,431 本である）。

## (b) 用途別地下水利用状況の整理

## ① 全体の傾向

収集した井戸台帳データに基づき、各井戸の用途を登記上の利用者名称などから農業用水、工業用水、生活用水の3種類に分類し、用途別の地下水利用状況を各市別に整理した。

図 2.2.5 に井戸本数と年間揚水量の集計結果を示した。ただしここでは水道公社（自来水公司）の井戸は全て生活用水に分類している。

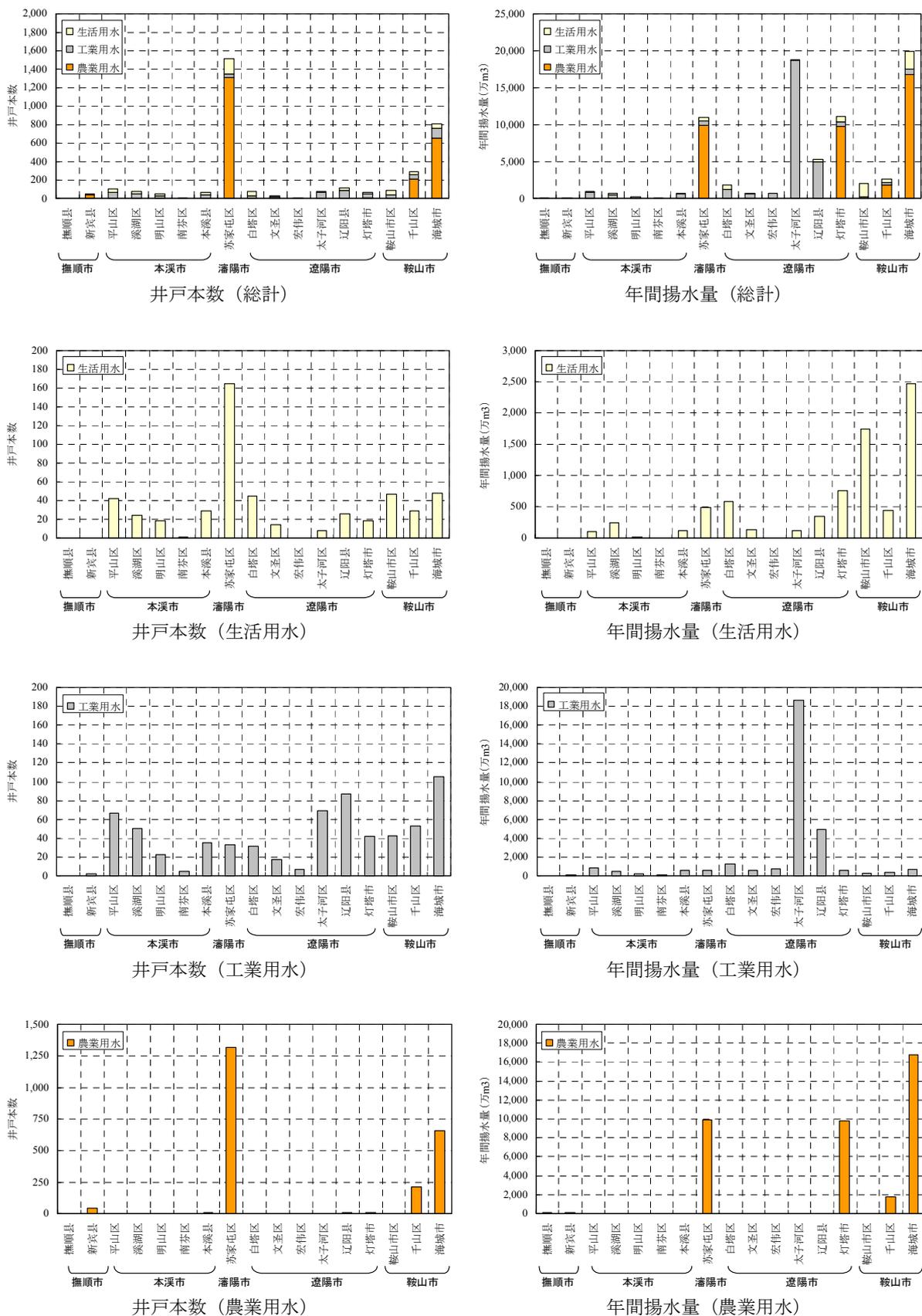


图 2.2.5 井戸本数と年間揚水量

出典：JICA 調査団

また、表 2.2.3 には各市別に井戸本数と年間揚水量の値を示した。

表 2.2.3 各市別の井戸本数と年間揚水量

市	区・県	合計	農業用水	工業用水	生活用水
撫順市	撫順県	75(3)	75(3)	0(0)	0(0)
	新賓県	168(44)	108(42)	60(2)	0(0)
	小計	243(47)	183(45) 75%	60(2) 25%	0(0) 0%
本溪市	平山区	938(108)	0(0)	841(66)	98(42)
	溪湖区	750(76)	3(2)	502(50)	245(24)
	明山区	254(44)	4(3)	233(23)	17(18)
	南芬区	66(6)	0(0)	66(5)	0(1)
	本溪县	685(68)	35(4)	541(35)	109(29)
	小計	2,693(302)	42(9) 2%	2,182(179) 81%	469(114) 17%
瀋陽市	蘇家屯区	10,931(1,513)	9,877(1,315)	572(33)	482(165)
	小計	10,931(1,513)	9,877(1,315) 91%	572(33) 5%	482(165) 4%
遼陽市	白塔区	1,788(76)	0(0)	1,196(31)	592(45)
	文聖区	728(31)	0(0)	604(17)	124(14)
	宏伟区	735(7)	0(0)	735(7)	0(0)
	太子河区	18,824(77)	0(0)	18,712(69)	112(8)
	遼陽県	5,266(117)	1(4)	4,926(87)	339(26)
	灯塔市	11,171(67)	9,806(7)	606(42)	759(18)
	小計	38,513(375)	9,807(11) 25%	26,780(253) 70%	1,926(111) 5%
鞍山市	鞍山市区	1,993(90)	0(0)	248(43)	1,746(47)
	千山区	2,600(294)	1,791(212)	362(53)	447(29)
	海城市	19,976(810)	16,809(657)	699(105)	2,468(48)
	小計	24,569(1,194)	18,600(869) 76%	1,309(201) 5%	4,660(124) 19%
総計		76,949(3,431)	38,509(2,249) 50%	30,902(668) 40%	7,538(514) 10%

出典：JICA 調査団 \*カッコ内が井戸本数の値（揚水量の単位は万 m<sup>3</sup>）

図 2.2.5 及び表 2.2.3 から以下の事項が確認できる。

#### [5 市総計値の比較]

- 5 市の総計では井戸本数は農業用が最も多く、次いで工業用、生活用の順となっている
- また、年間揚水量も農業用が最も多く全体の 50%を占めており、次いで工業用（40%）、生活用（10%）の順となっている
- 年間揚水量を井戸本数で除して井戸 1 本当たりの揚水量を求めると、農業用で 17 万 m<sup>3</sup>/本（38,509÷2,249）、工業用で 46 万 m<sup>3</sup>/本（30,902÷668）、そして生活用で 15 万 m<sup>3</sup>/本（7,538÷514）となり、工業用井戸は農業用・生活用の井戸に比して一本あたりの揚水量が多いことがわかる

#### [各市の比較]

- 井戸本数は瀋陽市が最も大きく、次いで鞍山市、遼陽市、本溪市、撫順市の順となっている
- 一方年間揚水量は遼陽市が最も大きく、次いで鞍山市、瀋陽市、本溪市、撫順市の順となっている

- 用途別の年間揚水量でみると撫順市、瀋陽市及び鞍山市では農業用が最も多く、本溪市、遼陽市では工業用が最も多い

[各区・県の比較]

- 農業用の年間揚水量では鞍山市海城市が最も大きく全体農業用揚水量の 40%程度を占める
- 工業用の年間揚水量では遼陽市太子河区が最も大きく全体工業用揚水量の 60%程度を占める
- 生活用の年間揚水量では鞍山市海城市が最も大きく全体工業用揚水量の 30%程度を占める

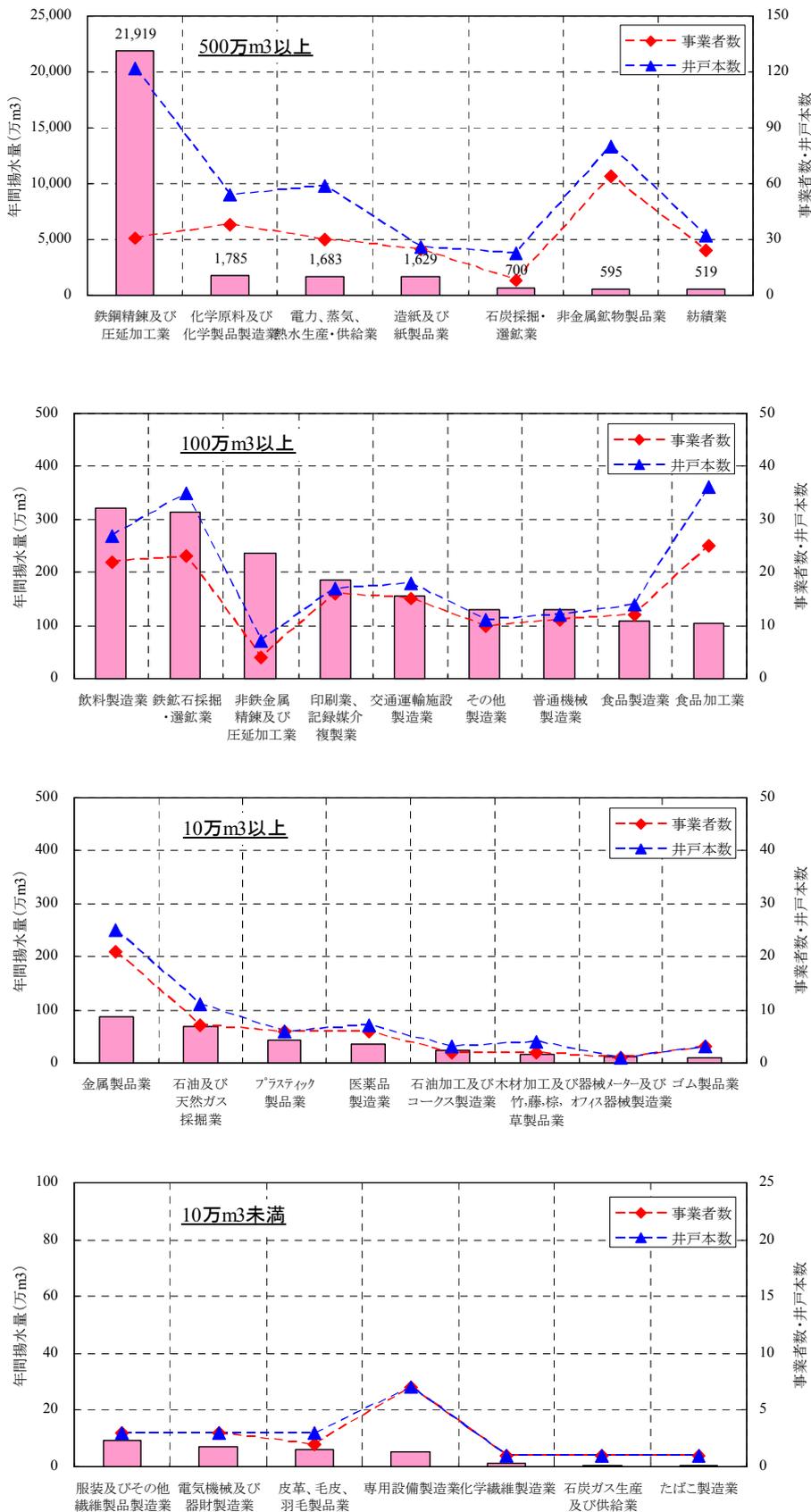
## ② 産業（業種）別使用量の整理

業種別の地下水利用状況を確認するために、井戸台帳データに記載のある井戸所有者名に基づき各井戸データを業種別に分類し整理を行った。業種分類は、「遼寧省地方基準 業種用水原単位（DB21/T1237-2003）」にある業種分類に従って行った。

図 2.2.6 には業種別のなかの工業について、年間揚水量、事業者数及び井戸本数を示した。また、表 2.2.4 に業種分類の一覧表を示す。表 2.2.4 に分類結果に基づいた業種別の地下水年間揚水量の一覧を示した。

図 2.2.6 より工業用水のなかでは鉄鋼精錬及び圧延加工業が約 2.2 億  $m^3$  と工業用水全体（約 3.1 億  $m^3$ ）のほぼ 70%にあたる量を使用していることがわかる。また、同産業は 30 ほどの事業者が他の産業に比べて多くの井戸を所有して地下水を揚水している傾向も確認できる。この鉄鋼産業用地下水の主な消費者は鞍山鋼鉄公司であるが水源は遼陽市の首山水源地である。

同産業以外では、基本的に年間揚水量と事業者数及び井戸本数は同様の割合で分布しているが、非金属鉱物製品業、金属製品業及び専用設備製造業では揚水量に比べて事業者数が多く井戸 1 箇所あたりの使用量が少ないことを示し、一方で非鉄金属精錬及び圧延加工業では揚水量に比べて事業者数が少なくなっており、井戸 1 箇所あたりの使用量が多いことを示している。



出典：JICA 調査団

図 2.2.6 工業用地下水の業種別揚水量・事業者数及び井戸本数

表 2.2.4 業種分類一覽

大分類	中分類	名称
A：農林牧漁業	01	農業
	02	林業
	03	牧畜業
	04	漁業
B：工業	01	石炭採掘・選鉱業（煤炭采选业）
	02	石油及び天然ガス採掘業（石油和天然气开采业）
	03	鉄鉱石採掘・選鉱業（黑色金属矿采选业）
	04	非鉄金属採掘・選鉱業（有色金属矿采选业）
	05	食品加工業（食品加工业）
	06	食品製造業（食品制造业）
	07	飲料製造業（饮料制造业）
	08	煙草加工業（烟草加工业）
	09	紡績業（纺织业）
	10	服装及びその他繊維製品製造業（服装及其他纤维制品制造业）
	11	皮革、毛皮、羽毛製品業（皮革、毛皮、羽绒及其制品业）
	12	木材加工及び竹、藤、棕、草製品業（木材加工及竹、藤、棕、草制品业）
	13	家具製造業（家具制造业）
	14	造紙及び紙製品業（造纸及纸制品业）
	15	印刷業、コピー業（印刷业、记录媒介的复制）
	16	教育体育用品製造業（文教体育用品制造业）
	17	石油加工及びコークス製造業（石油加工及炼焦业）
	18	化学原料及び化学製品製造業（化学原料及化学制品制造业）
	19	医薬品製造業（医药制造业）
	20	化学繊維製造業（化学纤维制造业）
	21	ゴム製品業（橡胶制品业）
	22	プラスチック製品業（塑料制品业）
	23	非金属鉱物製品業（非金属矿物制品业）
	24	鉄鋼精錬及び圧延加工業（黑色金属冶炼及压延加工业）
	25	非鉄金属精錬及び圧延加工業（有色金属冶炼及压延加工业）
	26	金属製品業（金属制品业）
	27	普通機械製造業（普通机械制造业）
	28	専用設備製造業（专用设备制造业）
	29	交通運輸施設製造業（交通运输设备制造业）
	30	電気機械及び器材製造業（电气机械及器材制造业）
	31	電子及び通信設備製造業（电子及通信设备制造业）
	32	器械メーター及びオフィス器械製造業（仪器仪表及文化、办公用机械制造业）
	33	その他製造業（其他制造业）
	34	電力、蒸気、熱水生産供給業（电力、蒸汽、热水的生产 and 供应业）
	35	石炭ガス生産及び供給業（煤气生产和供应业）

出典：遼寧省地方基準 業種用水原単位

表 2.2.4 業種分類一覧(続き)

大分類	中分類	名称
C: 建築業	01	土木建築業 (土木工程建筑业)
D: 都市公共用水	01	小売業 (零售业)
	02	飲食業 (餐饮业)
	03	公共施設サービス業 (公共设施服务业)
	04	住民サービス業 (居民服务业)
	05	旅館業 (旅馆业)
	06	娯楽サービス業 (娱乐服务业)
	07	その他社会サービス業其他社会服务业
	08	衛生 (卫生)
	09	体育 (体育)
	10	教育 (教育)
	11	科学研究及び総合技術サービス業 (科学研究和综合技术服务业)
	12	国家機関及び社会团体 (国家机关及社会团体)
E: 住民生活用水	01	都市住民生活用水 (城镇居民生活用水定额)
	02	農村住民生活用水 (农村居民生活用水定额)

出典: 遼寧省地方基準 業種用水原単位

表 2.2.5 業種別地下水年間揚水量

大分類	中分類	年間揚水量 (万m <sup>3</sup> )	事業者数	井戸本数
工業 合計：30,836万m <sup>3</sup>	鉄鋼精錬及び圧延加工業	21,919	31	122
	化学原料及び化学製品製造業	1,785	38	54
	電力、蒸気、熱水生産・供給業	1,683	30	59
	造紙及び紙製品業	1,629	25	26
	石炭採掘・選鉱業	700	8	23
	非金属鉱物製品業	595	64	80
	紡績業	519	24	32
	飲料製造業	322	22	27
	鉄鉱石採掘・選鉱業	313	23	35
	非鉄金属精錬及び圧延加工業	235	4	7
	印刷業、記録媒介複製業	186	16	17
	交通運輸施設製造業	155	15	18
	その他製造業	129	10	11
	普通機械製造業	129	11	12
	食品製造業	107	12	14
	食品加工業	103	25	36
	金属製品業	87	21	25
	石油及び天然ガス採掘業	68	7	11
	プラスチック製品業	43	6	6
	医薬品製造業	36	6	7
	石油加工及びコークス製造業	24	2	3
	木材加工及び竹、藤、棕、草製品業	17	2	4
	器械・ター及びワイヤ器械製造業	12	1	1
	ゴム製品業	10	3	3
	服装及びその他繊維製品製造業	9	3	3
	電気機械及び器財製造業	7	3	3
	皮革、毛皮、羽毛製品業	6	2	3
	専用設備製造業	5	7	7
	化学繊維製造業	1	1	1
石炭ガス生産及び供給業	1	1	1	
たばこ製造業	0	1	1	
建築業 合計：66万m <sup>3</sup>	土木建築業	66	12	16
都市公共用水 及び住民生活用水 合計：1,322万m <sup>3</sup>	国家機関及び社会团体	582	68	94
	教育	212	12	21
	小売業	148	13	18
	衛生	117	7	9
	サービス業	80	74	77
	旅館業	54	16	17
	娯楽サービス業	52	8	8
	体育	26	1	7
	科学研究及び総合技術サービス業	25	1	5
	公共施設サービス業	24	6	9
	飲食業	1	3	3
住民生活用水 合計：6,216万m <sup>3</sup>	都市住民生活用水	5,697	91	164
	農村住民生活用水	519	13	82
農、林、牧、漁業 合計：38,509万m <sup>3</sup>	農業	38,357	355	2194
	畜牧業	115	46	47
	林業	35	4	4
	漁業	2	2	4

出典：JICA 調査団

(c) 井戸深度の整理

図 2.2.7 には井戸台帳データに基づいた各市区県毎の井戸深度の分布を示した。図から 5 市総計では深度 30~40m までの井戸が最も多く存在しており、また深度 60m までの井戸で全井戸総数の約 80%を占めていることがわかる。

既述の通り太子河流域では下流の平野部に分布する第四紀堆積物が主要な帯水層となっており、この平野部が主な地下水開発の対象であることから、この平野部の深度 60m までに（開発対象として経済的に採算性の良い）良質な帯水層が存在していることがわかる。

各市毎の分布をみると、本溪市は他の市に比べて 100m 以上の深井戸が多く存在している。本溪市は太子河流域でも東側の山丘部に位置していることから、深部の亀裂系存在箇所賦存している岩盤地下水を開発する必要があるため、深井戸が多く存在しているものと思われる。また、撫順市は井戸台帳に記載のあった井戸はほぼ全てが牧畜用の井戸であり、これらは全て 10m 以浅の浅井戸であるため、井戸本数のほとんどが 10m 以浅に集中している。

瀋陽市、遼陽市及び鞍山市は多くの井戸が平野部に存在し、井戸深度の分布も類似しており、これら各市の分布傾向が太子河全体の井戸深度分布に寄与していることがわかる。図 2.2.8 には井戸深度と年間揚水量の関係を示した。

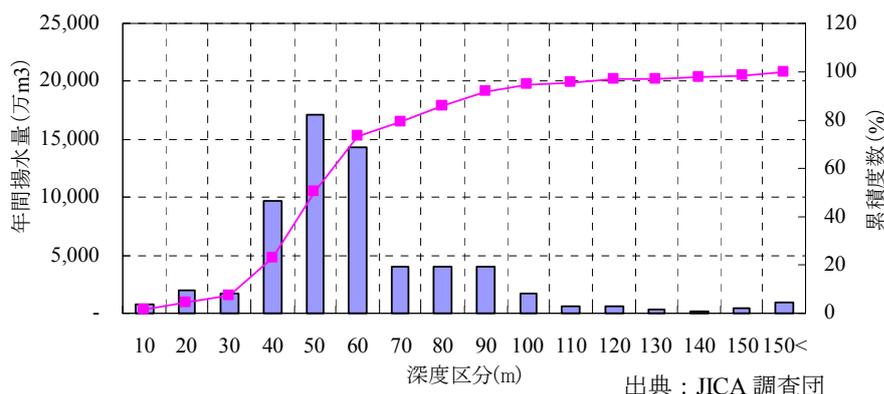


図 2.2.8 井戸深度分布と年間揚水量の関係

図 2.2.7 及び 2.2.8 から、深度毎の年間揚水量は井戸の深度毎の本数の分布にほぼ従っていることがわかる。図 2.2.9 には深度毎に年間揚水量を井戸本数で除して井戸 1 本あたりの年間揚水量の分布を示した。

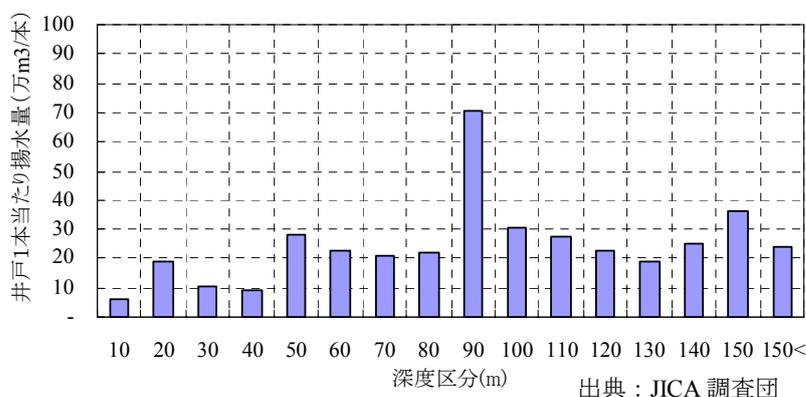
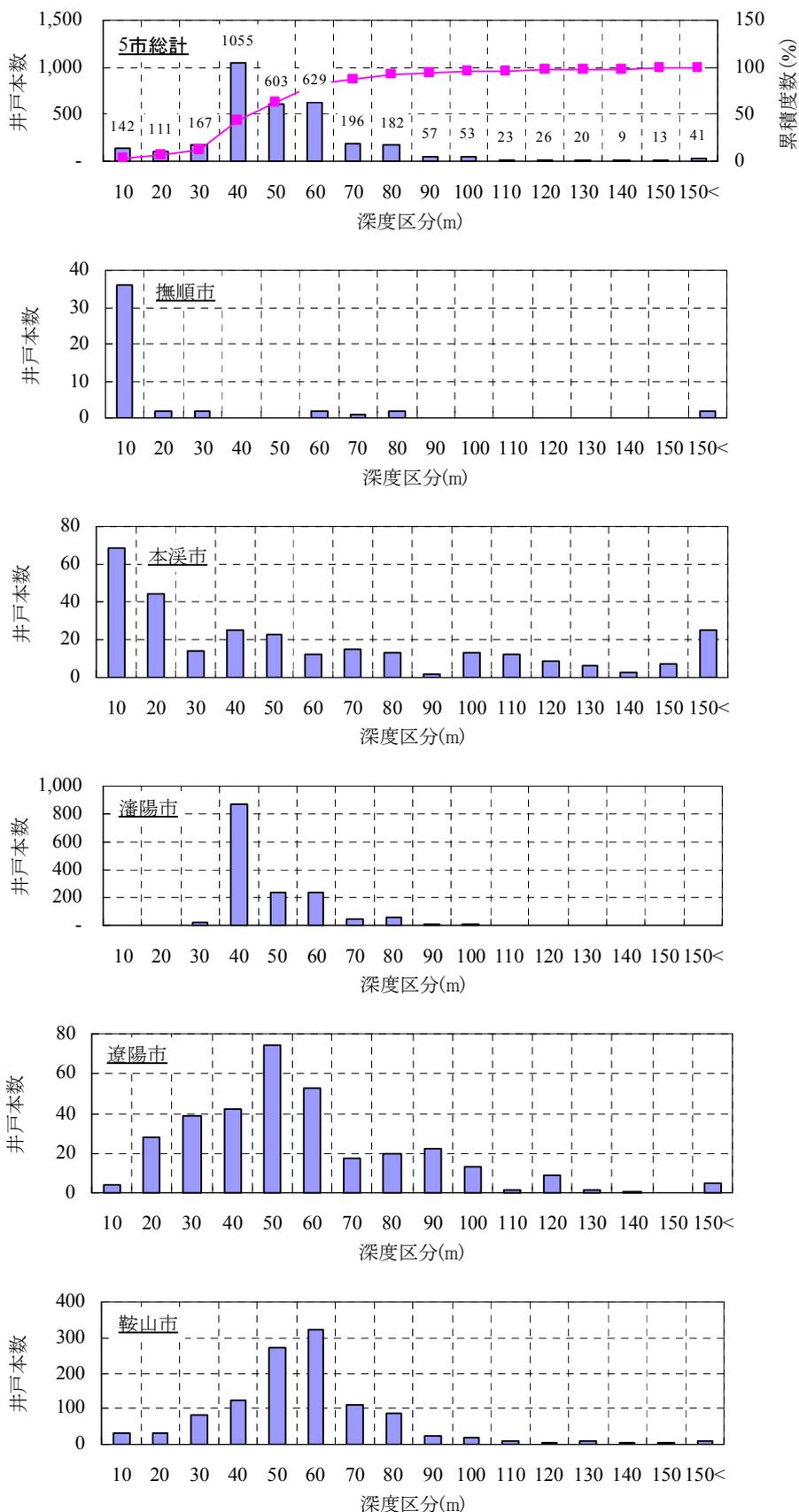


図 2.2.9 深度毎の井戸 1 本あたりの年間揚水量



出典：JICA 調査団  
 図 2.2.7 各市毎の井戸深度分布

図 2.2.9 から、深度 40m までの区間は 10 万 m<sup>3</sup>/本程度の値であり、深度 50m 以上では 20～30 万 m<sup>3</sup>/本程度の値となっている。ただし、深度 80～90m の区間のみ 70 万 m<sup>3</sup>/本と他の区間に比べて大きい値となっている。

(d) 地下水開発の年度別変化の整理

図 2.2.10、2.2.11 には井戸設置年代毎の井戸本数及び年間揚水量の推移を示した。1980 年代以降井戸本数が急激に増加し、これに従い年間揚水量も急激に増加していることがわかる。2000 年代以降は 2004 年までの 4 年間でおよそ 500 本の井戸が設置されているが、年間揚水量は 3,000 万 m<sup>3</sup> に止まっており、地下水開発の伸びは 1990 年代をピークにある程度抑制されている。

図 2.2.12 には井戸台帳データに基づいた各市区県毎の井戸設置年度の分布を示した。なお、井戸設置年度は 1984 年以前については一つのカテゴリーにまとめて示してある。

図からも 1990 年代をピークに地下水開発の伸びが低減しているという傾向が確認できる。

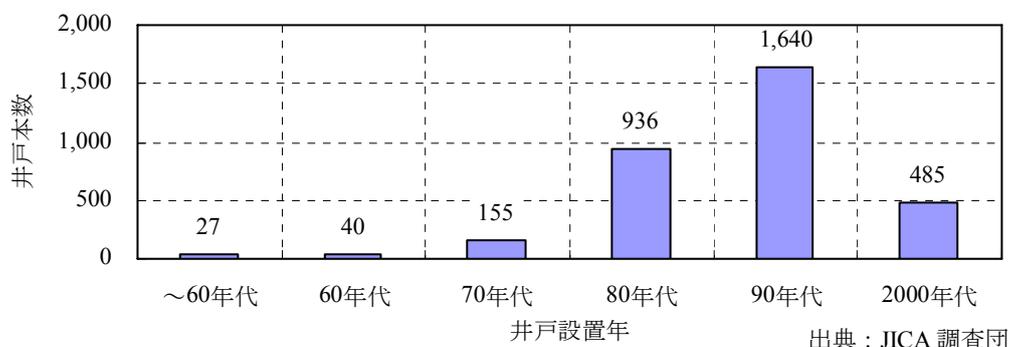


図 2.2.10 井戸設置年代毎の井戸本数の分布

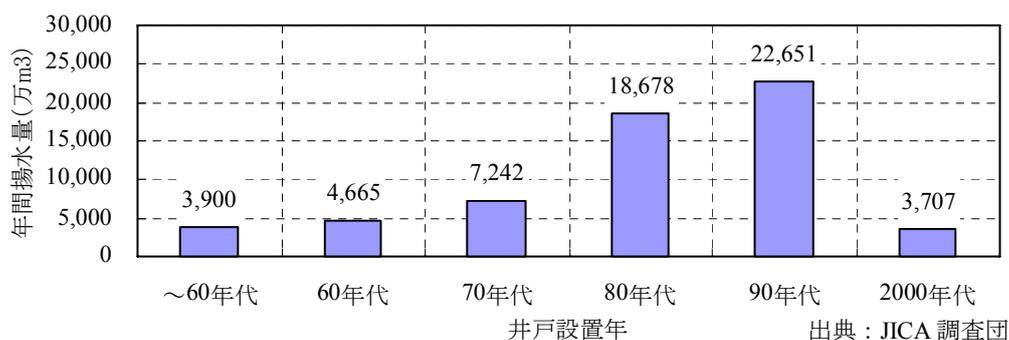
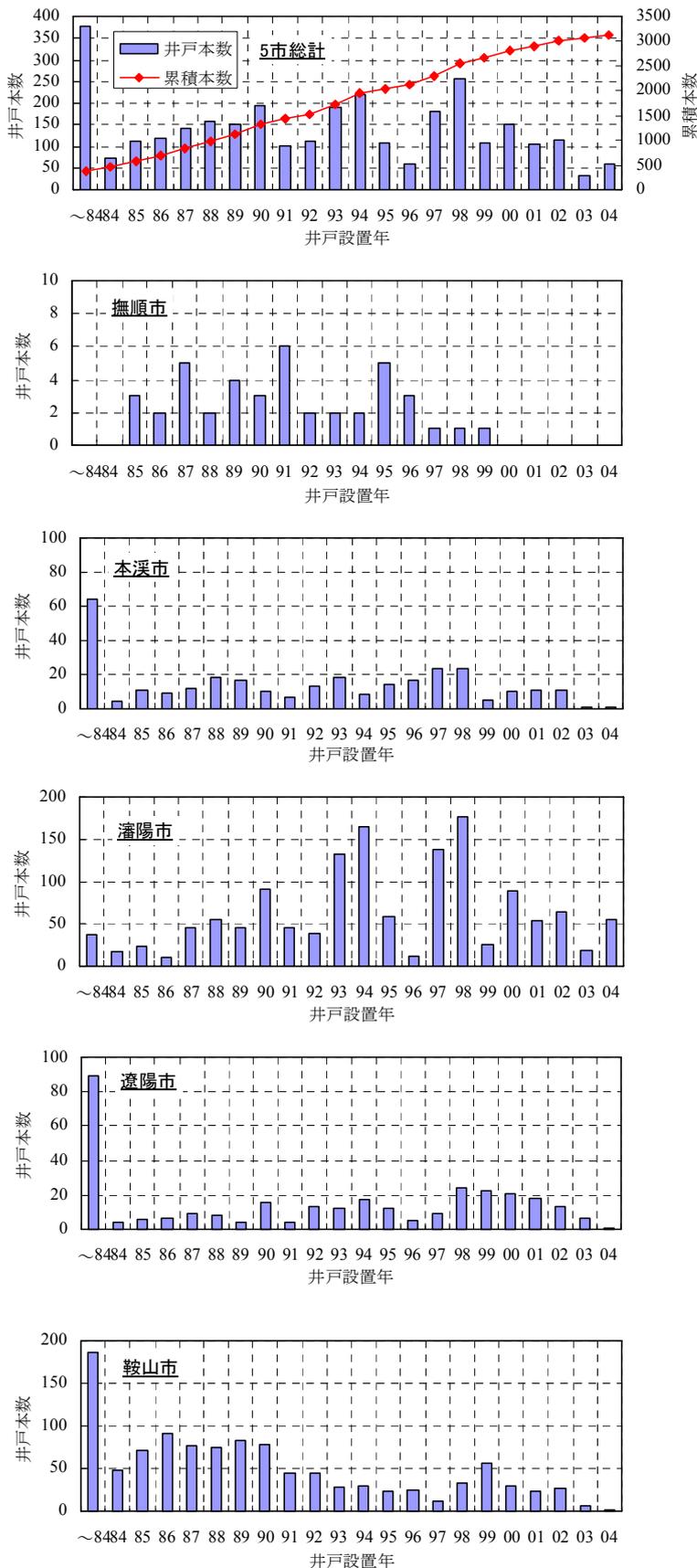


図 2.2.11 井戸設置年代毎の年間揚水量の分布



出典：JICA 調査団

図 2.2.12 各市毎の井戸設置年の分布

(e) 遼寧省水利庁発行資料に基づく地下水揚水量データの整理

① 水資源管理年報データの整理

今回収集した井戸台帳データは、太子河流域内 5 市の所有する井戸台帳データの全てを網羅していないため、流域内の全地下水揚水量を把握することは困難であった。

そこで、遼寧省水利庁が発行している統計資料から太子河流域内の全地下水揚水量を求めることとした。

遼寧省水利庁では 2002 年より「水資源管理年報」という統計資料を発行しており、本資料中には遼寧省内各市の水利用量がとりまとめられている。同資料では各市内の用水量を河川流域毎に集計しており、ここでは 2003 年度の同資料を用いて各市の太子河流域内の用水量データを抽出した。表 2.2.6 には水資源管理年報からの太子河流域内用水量データを示す。表中の地下水と記載のある箇所の数値は当該用水量のなかの地下水から供給されている成分の量である。

表 2.2.6 水資源管理年報からの太子河流域内用水量(万 m<sup>3</sup>)

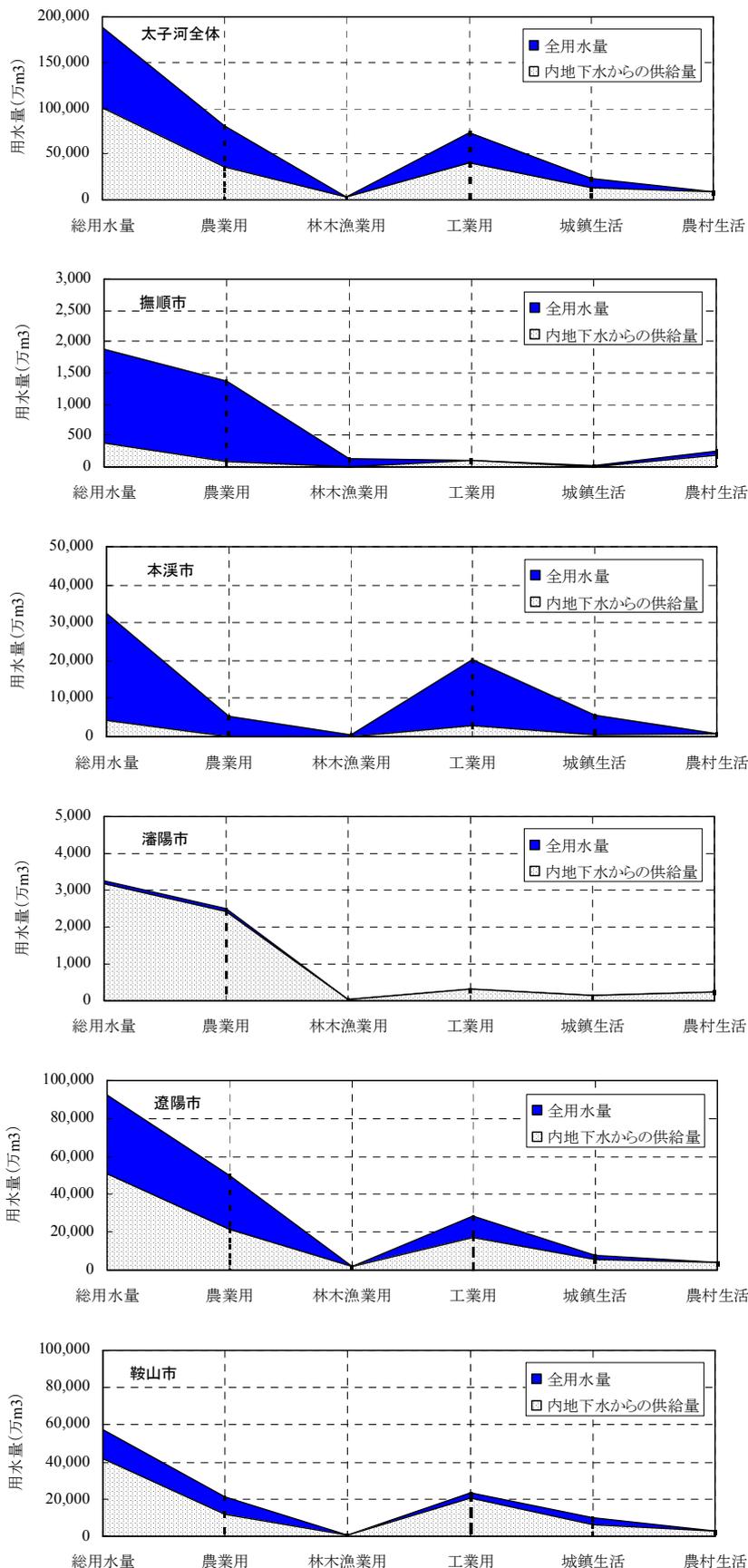
流域	総用水量		内 訳									
			農業用		林木漁業用		工業用		都市生活用		農村生活用	
	用水量	地下水	用水量	地下水	用水量	地下水	用水量	地下水	用水量	地下水	用水量	地下水
太子河全体	188,133 (100%)	100,434	80,453 (43%)	36,166	3,500 (2%)	2,696	72,736 (39%)	40,958	23,059 (12%)	12,525	8,385 (4%)	8,089
撫順市	1,878 (100%)	371	1,365 (73%)	84	135 (7%)	0	112 (6%)	97	20 (1%)	0	246 (13%)	190
本溪市	32,515 (100%)	4,024	5,320 (16%)	26	514 (2%)	30	20,107 (62%)	2,837	5,718 (18%)	515	856 (3%)	616
瀋陽市	3,242 (100%)	3,167	2,516 (78%)	2,441	21 (1%)	21	321 (10%)	321	141 (4%)	141	243 (7%)	243
遼陽市	92,697 (100%)	50,923	50,174 (54%)	21,455	2,105 (2%)	2,105	28,580 (31%)	17,476	7,568 (8%)	5,617	4,270 (5%)	4,270
鞍山市	57,801 (100%)	41,949	21,078 (36%)	12,160	725 (1%)	540	23,616 (41%)	20,227	9,612 (17%)	6,252	2,770 (5%)	2,770

出典：水資源管理年報（遼寧省水利庁,2004 年）

図 2.2.13 には表 2.2.6 に基づき各市別の用水量と地下水からの供給量の関係を示した。表 2.2.6 から、太子河流域内での総用水量の大きさは遼陽市、鞍山市、本溪市、瀋陽市、撫順市の順となっており、また用水量全体のおよそ半分は地下水から供給されており、工業用と農業用で用水量のほぼ 80%以上を占めていることがわかる。

用途別では農業用が最も多く 43%を占めており、次いで工業用が 39%、都市・農村生活用が 16%、林木漁業用が 2%の順となっている。

図 2.2.13 からは撫順市、本溪市では用水量に占める地下水の割合は小さいが、残る瀋陽市、遼陽市及び鞍山市は用水量に占める地下水の割合は大きく、瀋陽市では 90%以上、遼陽市では 50%程度、そして鞍山市では 70%程度となっていることがわかる。



出典：水資源管理年報（遼寧省水利庁,2004年）

図 2.2.13 水資源管理年報による各市毎の用水量と地下水供給量

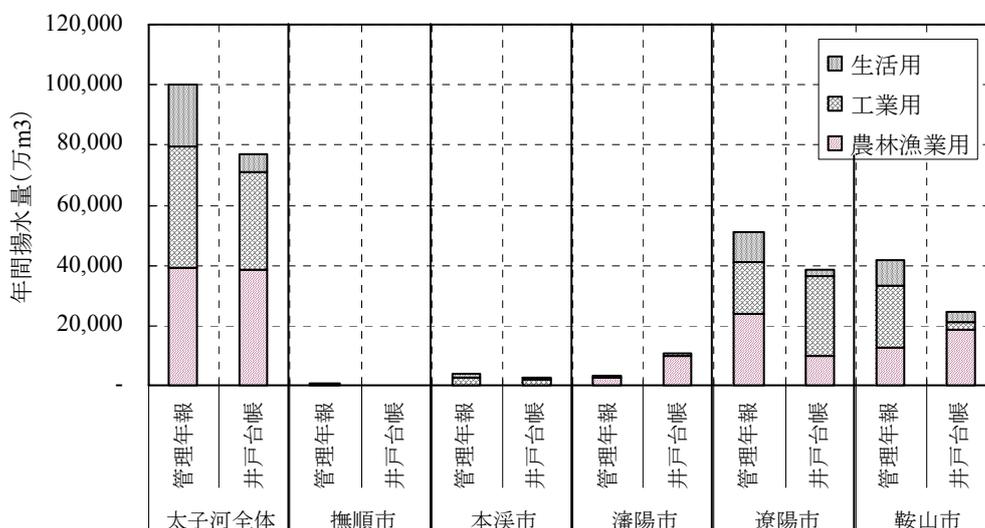
② 井戸台帳データとの比較

表 2.2.7 および図 2.2.14 には水資源管理年報から得られた地下水利用量データと井戸台帳データから得られたデータを比較して示した。井戸台帳からのデータは、水道公社の水供給データを用いて分類を行った結果（表 2.2.7 の値）を用いている。

表 2.2.7 地下水揚水量の水資源管理年報データと井戸台帳データの比較(万 m<sup>3</sup>)

流域	水資源管理年報				井戸台帳データ			
	総計	農林漁業用	工業用	生活用	総計	農林漁業用	工業用	生活用
太子河	100,434	3,862	40,958	20,614	76,949	38,509	32,266	6,174
撫順市	371	84	97	190	243	183	60	0
本溪市	4,024	56	2,837	1,131	2,693	42	2,182	469
瀋陽市	3,167	2,462	321	384	10,931	9,877	572	482
遼陽市	50,923	23,560	17,476	9,887	38,513	9,807	26,944	1,762
鞍山市	41,949	12,700	20,227	9,022	24,569	18,600	2,509	3,460

出典：水資源管理年報（遼寧省水利庁,2004年）及び JICA 調査団



出典：水資源管理年報（遼寧省水利庁,2004年）及び JICA 調査団

図 2.2.14 地下水揚水量の水資源管理年報データと井戸台帳データの比較

表 2.2.7 および図 2.2.14 から、水資源管理年報データと井戸台帳データから得られる地下水揚水量の値には乖離があることがわかる。乖離の理由としては、以下の理由が考えられる。

- 年間地下水揚水量の総量について水資源管理年報からの値に比べ井戸台帳データから得られる値の方が小さくなっているが、これは収集した井戸台帳データが流域内の全ての揚水井戸データをカバーしていないためであると考えられる
- 瀋陽市および鞍山市の農業用水量について井戸台帳データから得られる値の方が大きい、これは農業用の地下水揚水はその年の気象状況に寄って（降水量の多寡に従って）変動するため、井戸台帳に記載の取水申請時の揚水量を下回る場合が生じたものと考えられる

- 遼陽市の工業用水量が井戸台帳データの方が大きいですが、これは遼陽市に水源を有する首山水源地からの大規模な地下水揚水が鞍山市の鉄鋼コンビナートに主に供給されているために、管理年報上ではこの首山水源地からの揚水量を鞍山市の工業揚水量にカウントしているためと考えられる
- 鞍山市の工業用水量が管理年報の値に比べて極端に小さくなっているのは上記と同様の理由であると考えられる

これまで述べてきたとおり、井戸台帳データは太子河流域内の全ての井戸データをカバーしておらず、また揚水量データも取水許可申請時の値であることから、地下水賦存量や地下水収支などの検討を行う際には水資源管理年報の値を太子河流域内の実際の地下水揚水量として取り扱うこととする。

#### (f) 井戸台帳データ分析結果のまとめ

井戸台帳データの分析結果のまとめを以下に示す。

- 太子河流域内の 5 市（撫順市、本溪市、瀋陽市、遼陽市及び鞍山市）が所有する井戸台帳データから 3,245 本の井戸に関するデータを収集した
- 上記に加えて別途収集した井戸取水許可証データのなかで井戸台帳データと重複のない 186 本の井戸データをあわせた 3,431 本の井戸データについて分析を行った
- 年間揚水量は 5 市の総計では 76,949 万  $m^3$  であり、その内訳は農業用が最も多く全体の 50%を占めており、次いで工業用（40%）、生活用（10%）の順であった
- 年間揚水量は遼陽市が最も大きく、次いで鞍山市、瀋陽市、本溪市、撫順市の順となっているが、上位 3 市だけで太子河全体の揚水量の 96%を占めている
- 用途別の年間揚水量でみると撫順市、瀋陽市及び鞍山市では農業用が最も多く、本溪市、遼陽市では工業用が最も多い
- 年間揚水量データを所有者名称に基づき産業別に分類したところ、工業用では鉄鋼精錬及び圧延加工業が約 2.2 億  $m^3$  と工業用水全体（約 3.1 億  $m^3$ ）のほぼ 70%にあたる量を占めていた
- 井戸深度の分布を整理した結果、深度 30～40m までの井戸が最も多く存在しており、また深度 60m までの井戸で全井戸総数の約 80%を占めていた
- 井戸本数及び揚水量データを井戸設置年度毎に整理した結果、1980 年代以降に井戸本数が急激に増加し、これに従い年間揚水量も急激に増加していることがわかった
- 一方井戸本数、年間揚水量ともに 1990 年代にピークを迎えた後、2000 年代以降はその伸びは抑制傾向にある
- 水利庁発行の水資源管理年報に記載のある年間地下水揚水量と井戸台帳データから得られる値を比較した結果両者の値には乖離がみられたが、井戸台帳データは太子河流域内の全ての井戸データを網羅していないことから、今後の検討では管理年報の値を使用することとした

(3) 地下水位モニタリングデータの分析

収集した太子河流域内の5市（撫順市、本溪市、瀋陽市、遼陽市、鞍山市）に位置する地下水位モニタリング井戸の地下水位変動データの分析を行った。

(a) 地下水位モニタリングデータの概要

「地下水モニタリング井戸ネットワーク」のなかの太子河流域内 114 箇所について地下水位の変動データを収集した。114 箇所のうち 68 箇所については 2002 年から 2003 年の 2 年間分、残る 46 箇所については 2003 年の 1 年間分のデータを収集した。地下水位の観測は 5 日間に 1 回行っており、1 年間で 72 回ほど測定を行っている。

測定データは井戸の地表面標高から地下水水深を差し引いた値（地下水位標高値）に変換している。

表 2.2.8 にはモニタリング井戸の一覧表を示した。また、図 2.2.15 にはモニタリング井戸の位置図を示した。

表 2.2.8 地下水位モニタリング井戸一覧

市名	井戸数	井戸番号		井戸深度（判明分のみ）
		2002 年～2003 年	2003 年のみ	
本溪市	9 箇所	SW027～SW035 (9 箇所)	—	0～10m (5 本) SW014,SW019,SW022,SW041 ,SW061
瀋陽市	7 箇所	SW002～SW006, SW045 (6 箇所)	SW001 (1 箇所)	10～20m (20 本) SW002,SW005,SW006,SW008,SW009, SW016,SW017,SW018,SW113,SW020, SW023,SW043,SW044,SW056,SW057, SW059,SW060,SW064,SW066,SW067
遼陽市	49 箇所	SW036～SW072, SW097～SW104, SW106～SW110, SW114 (35 箇所)	SW097～SW104, SW106～SW110, SW114 (14 箇所)	20～30m (6 本) SW109,SW110,SW112,SW038,SW040, SW106
鞍山市	49 箇所	SW007～SW026, SW068 (21 箇所)	SW073～SW096,SW0105, SW111～SW113 (28 箇所)	30～50m (7 本) SW046,SW097,SW098,SW101,SW100, SW107,SW108
合計	114 箇所	71 箇所	43 箇所	50m～ (5 本) SW099,SW102,SW104,SW105,SW111

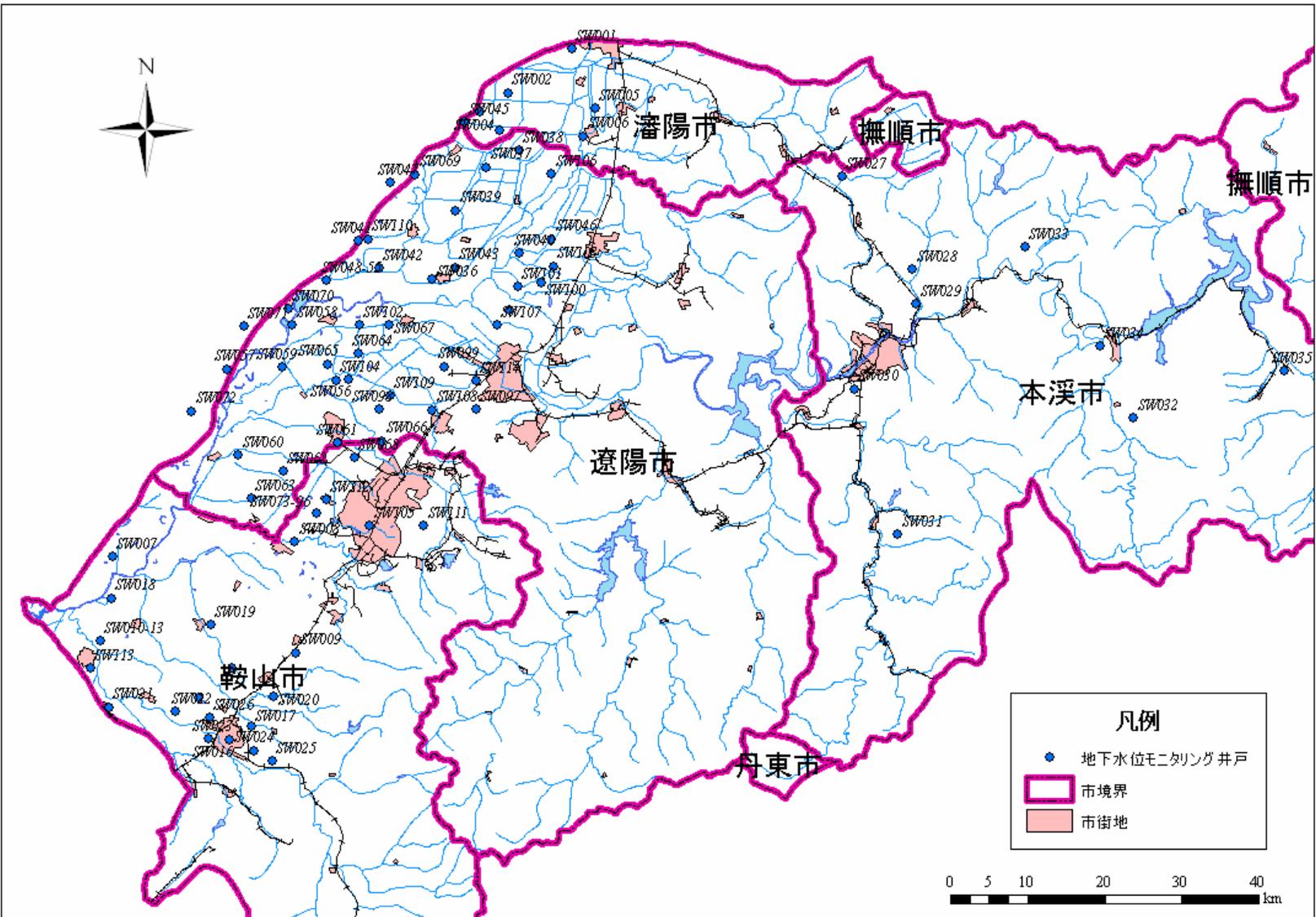
出典： JICA 調査団

表 2.2.8 のとおり、太子河流域内の地下水位モニタリング井戸のほとんどは遼陽市及び鞍山市に分布している。モニタリング井戸の深度は判明した限りでは 50m 以浅のものが多くなっている。

図 2.2.15 に示したとおり、太子河流域の平野部（遼陽市、鞍山市）では深度 50m 程度の井戸がほとんどであり、地下水開発は 50m 程度までの帯水層を主に対象としていることから、モニタリング井戸もこの 50m 以浅の帯水層を対象として設置されているものと思われる。

(b) 地下水位の時系列変動状況

図 2.2.16 には地下水位モニタリングデータに基づき、月平均地下水位を近傍の降水量観測データとあわせて示す。降水量観測データは、本溪市では小市観測所のデータを、瀋陽市では陳相屯観測所のデータを、遼陽市では遼陽観測所のデータを、そして鞍山市では海城観測所のデータを用いた。



出典： JICA 調査団

図 2.2.15 太子河流域内地下水モニタリング井戸位置図

① 地下水位変動の特徴

地下水位モニタリングデータから得られる地下水位の時系列変動は下記するような大きく4つのパターンに分類できる。

I：多降雨時応答型

図2.2.17に同型の例を示す。本型は本溪市のモニタリング孔観測データなどで確認される。この型では降雨がある程度（100mm程度）を超えた場合に地下水位がこれに応答して上昇するが、その後また上昇前の水位まで低下するというパターンを示す。

この型が確認された本溪市では主に岩盤亀裂系内の地下水が開発されている。本溪市に設置された地下水位モニタリング井戸の深度等の情報が得られないため、観測された水位がどのような帯水層内のものであるかは明らかではないが、モニタリング井戸はある程度深い深度の帯水層に設置されており、まとまった降雨があった場合のみ降雨浸透が深部まで達して地下水位が上昇するが、まとまった降雨の無い場合は降雨浸透が深部まで達せず、地下水位はほとんど変動しないものと想定される。

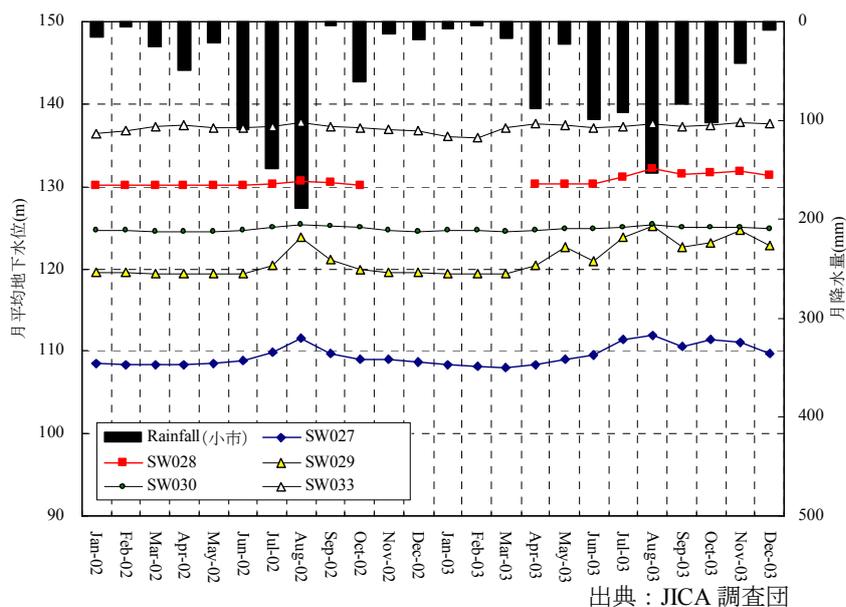
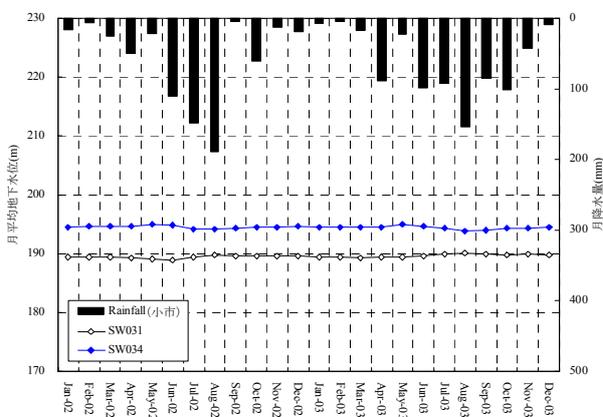
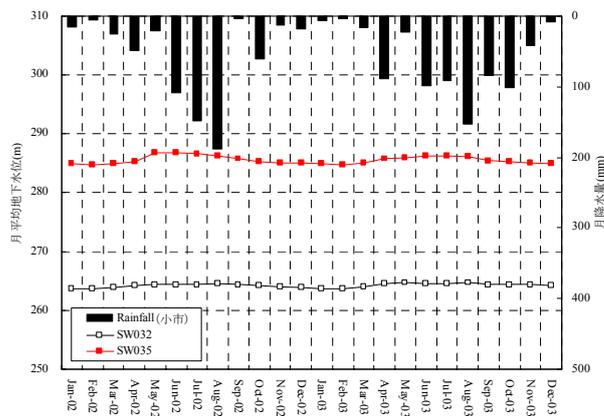
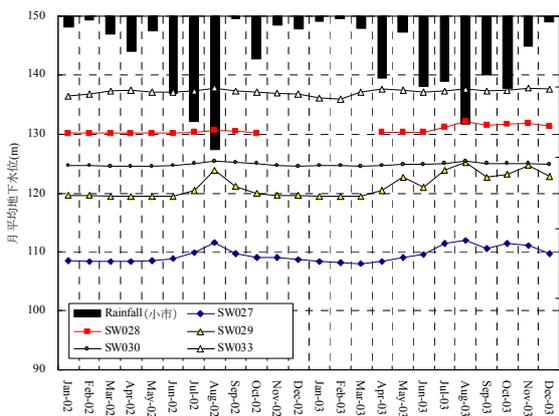
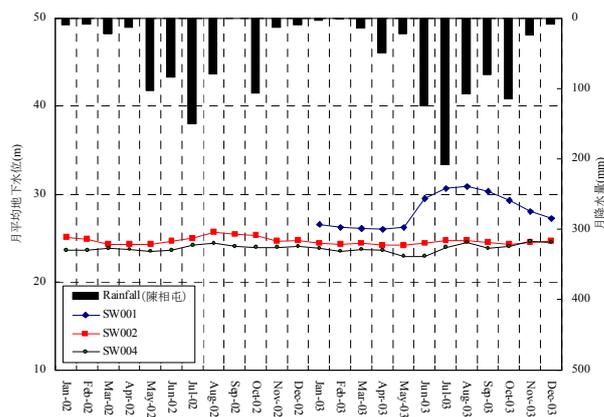
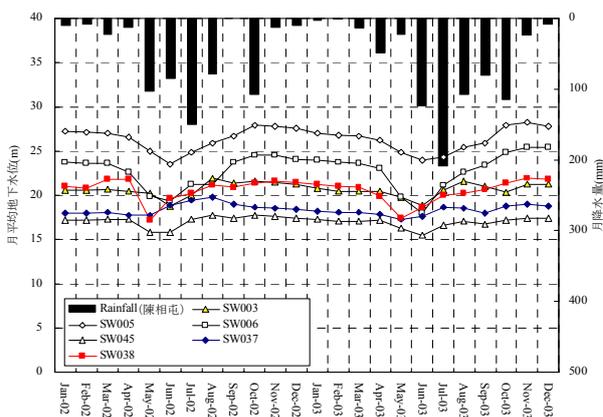


図 2.2.17 多降雨時応答型

### 本溪市モニタリング井戸観測データ



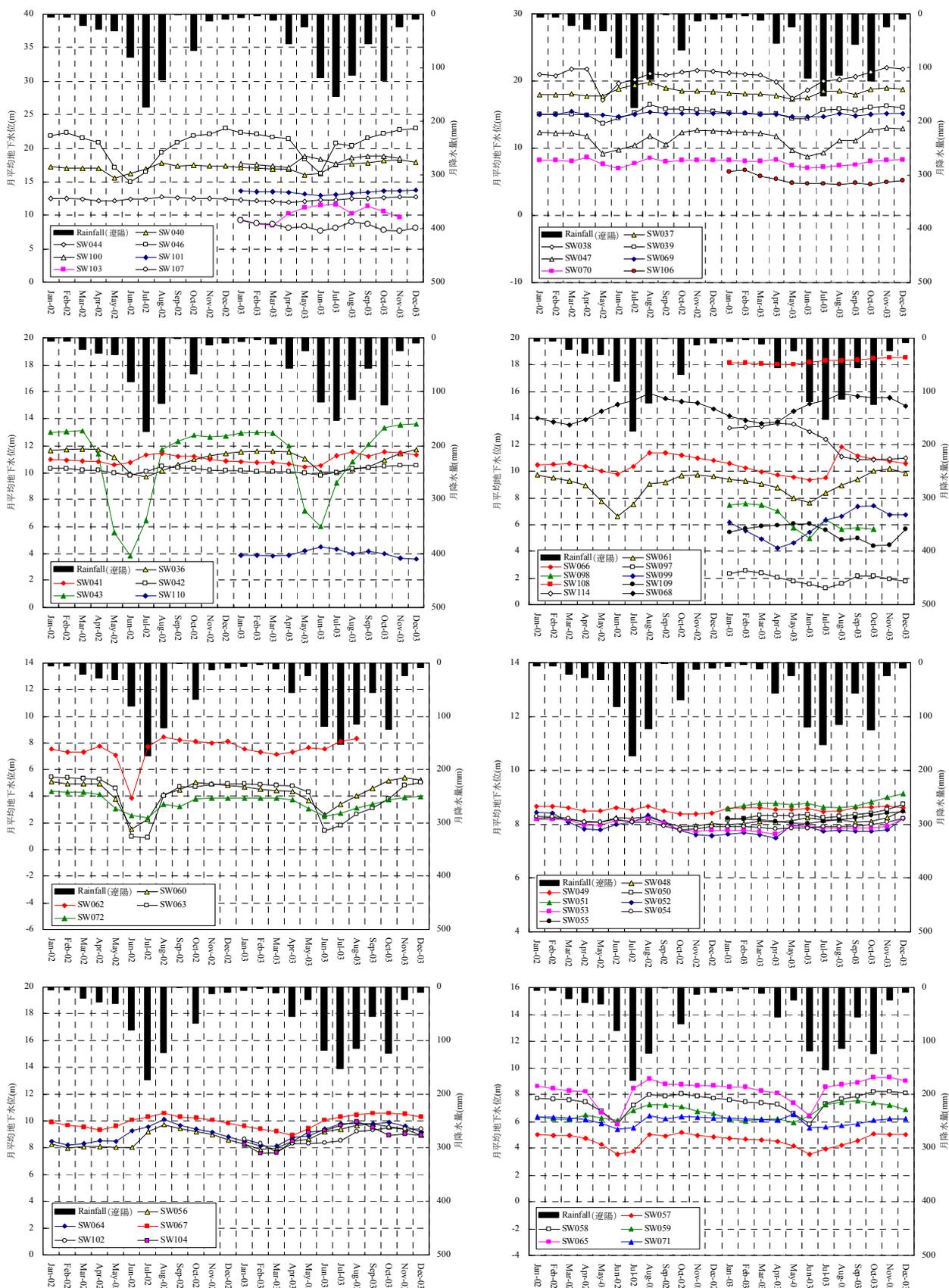
### 瀋陽市モニタリング井戸データ



出典：JICA 調査団

図 2.2.16(a) 地下水位変動図(本溪市及び瀋陽市観測井戸)

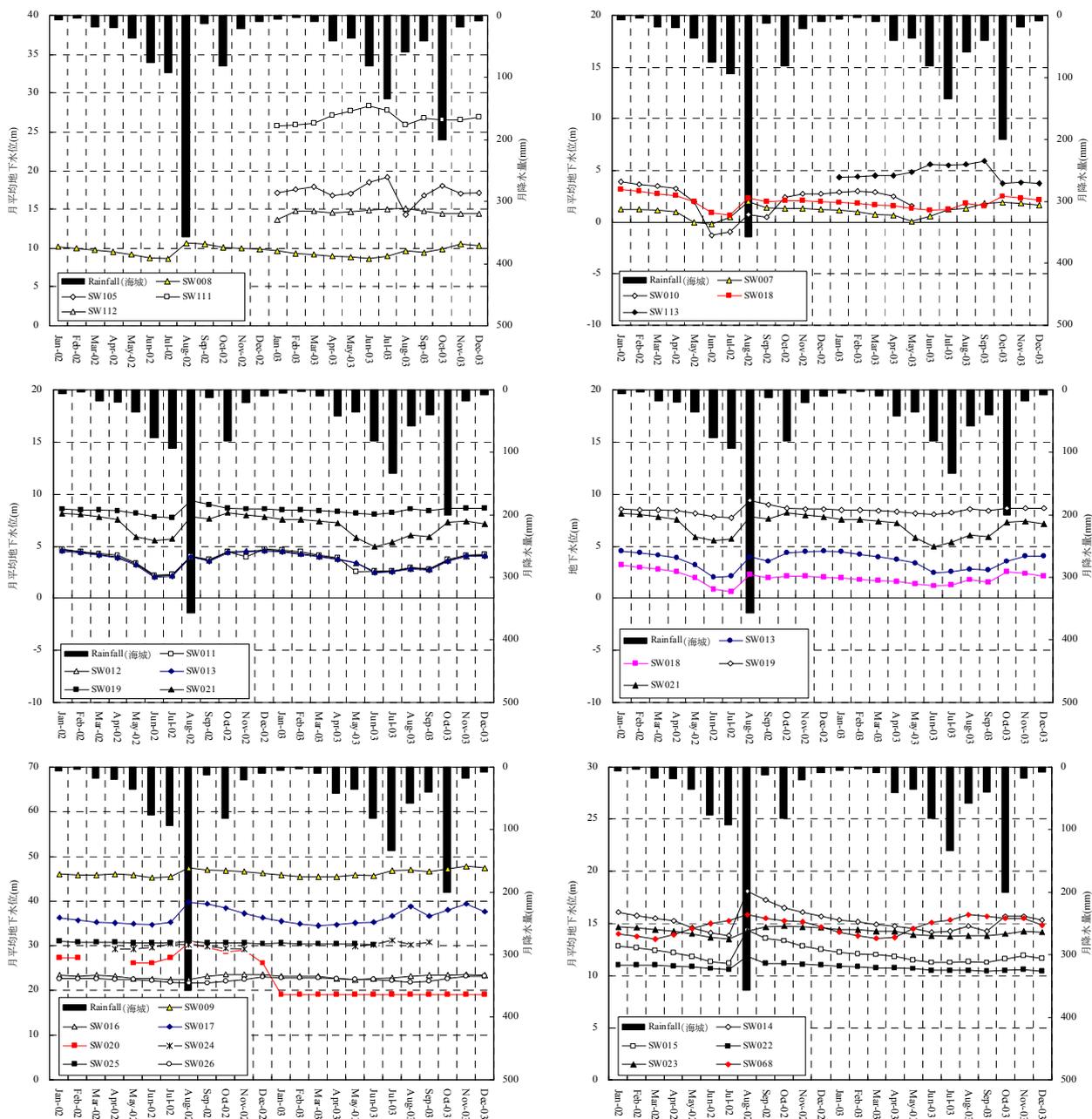
遼陽市モニタリング井戸観測データ



出典：JICA 調査団

図 2.2.16(b) 地下水水位変動図(遼陽市観測井戸)

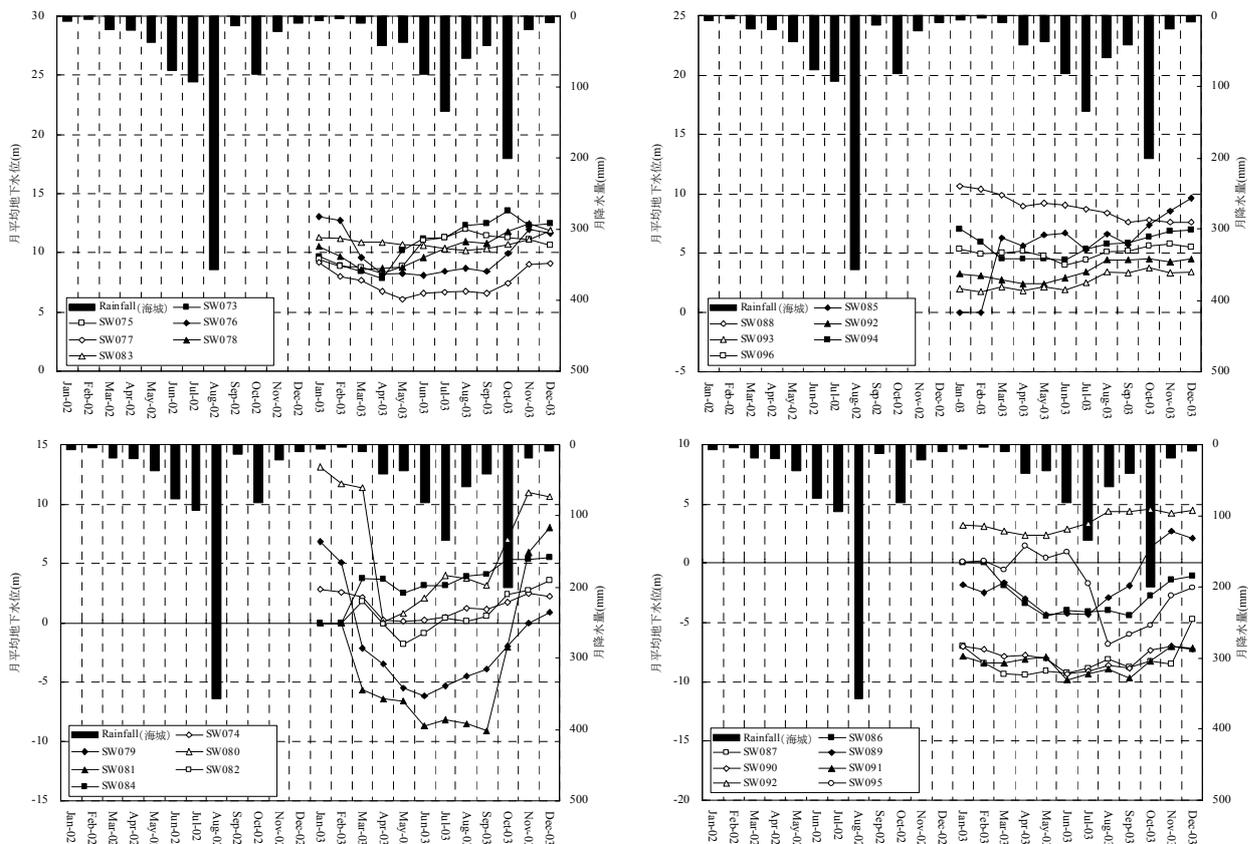
鞍山市モニタリング井戸観測データ (1)



出典：JICA 調査団

図 2.2.16(c) 地下水水位変動図(鞍山市観測井戸)

鞍山市モニタリング井戸観測データ (2)



出典：JICA 調査団

図 2.2.16(d) 地下水位変動図(鞍山市観測井戸)

### II：降雨自然応答型

図 2.2.18 に同型の例を示す。本型は遼陽市のモニタリング孔（SW-56,64,67,102,104 孔,SW-48～55 孔）観測データなどで確認される。この型では地下水位は通年に渡って降雨の多寡に応じた変動パターンを示す。従い、地下水位は降雨の最も多い 7 月～8 月に最も高くなり、降雨の少ない 2～3 月に最も低くなる。この型では降雨に関係のない地下水位の変動は確認されないため、周辺での地下水開発の影響がないものと思われる。

この型は太子河流域内の主要な帯水層の分布する平野部における基本となる（最も自然な）地下水位変動パターンであるといえる。

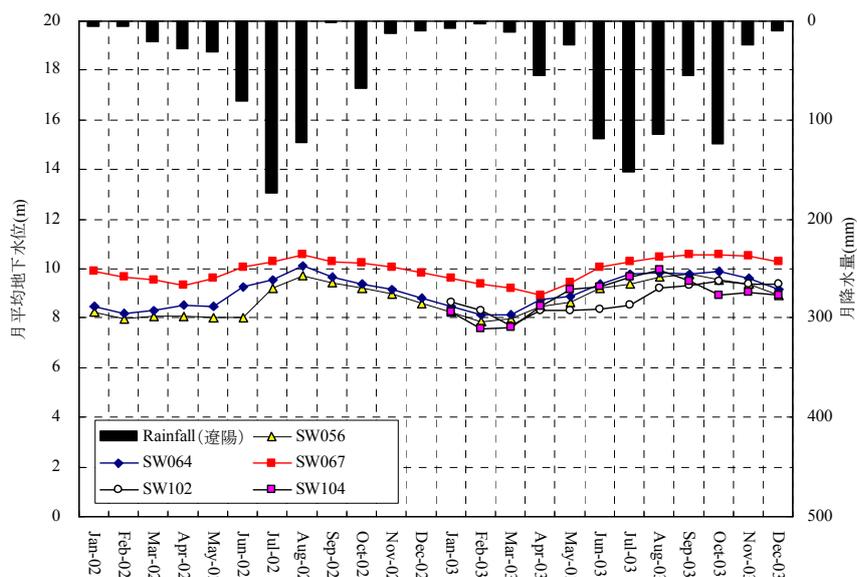
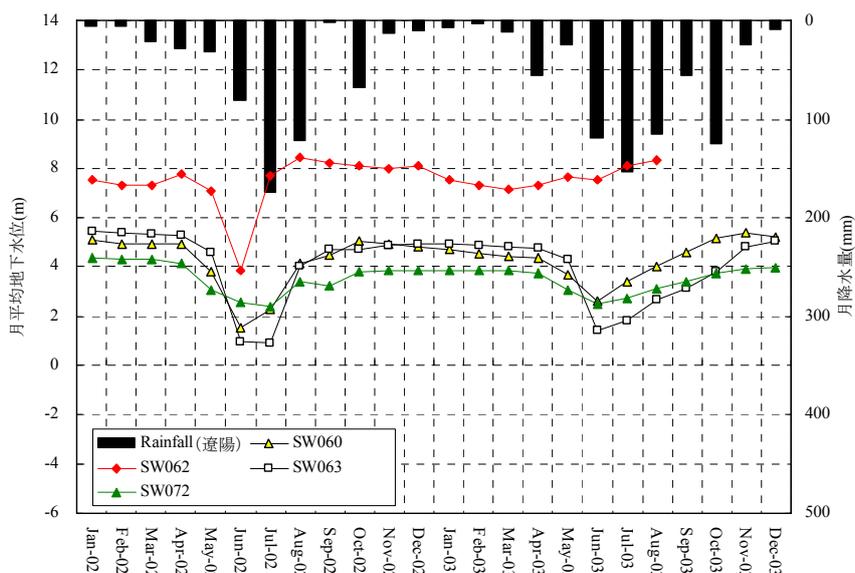


図 2.2.18 降雨自然応答型

### III：初夏期水位低下型

図 2.2.19 に同型の例を示す。本型は瀋陽市、遼陽市及び鞍山市のモニタリング孔観測データで数多く確認される。本型の特徴は、1 月から 4 月までは II 型と同様に降雨に応じた変動を示すが、5 月以降 7 月まで急激な地下水位の低下を示すというものである。この地下水位の低下は大きなもので 9m 程度となっているが、多くは 3～4m 程度となっている。

こうして低下した水位は 8 月以降回復にむかい、12 月にはほぼ 1 月の水位にまで達する。この特徴的な水位変動は、水位の低下が稲作の代かき時と合致することから、農業用の地下水揚水に伴うものであると考えられる。前節でも示したとおり、太子河流域では地下水の全揚水量の 40%程度が農業用に使用されており、この型の地下水位変動が太子河平野部で広く観察されることを裏付けている。

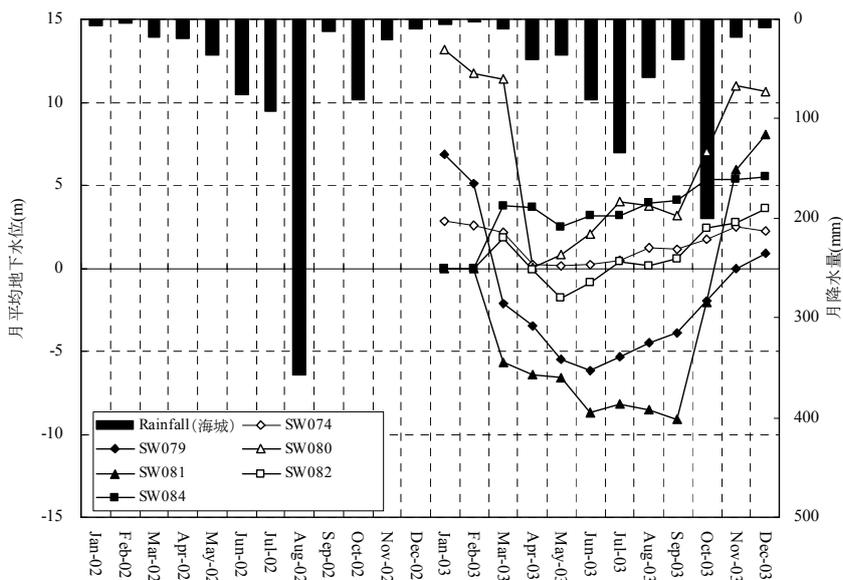


出典：JICA 調査団

図 2.2.19 初夏期水位低下型

IV：常時水位低下型

図 2.2.20 に同型の例を示す。本型は遼陽市のモニタリング孔観測データ（SW-73-96 孔）で確認される。これらモニタリング井戸は全て鞍山市中心部の鞍山鉄鋼コンビナート付近に設置されているものである。従い、地下水位変動もこの地域の工業用地下水揚水の影響を強くうけていると思われる。ここでは地下水位は3月以降10月頃まで常に低下したままであるが、冬季には水位は上昇している。工業用水は季節に関係なくほぼ同量の揚水が行われていると考えられるため、冬季の水位上昇は融雪水の流入といった外部要因によるものと考えられる。



出典：JICA 調査団

図 2.2.20 常時水位低下型

地下水位の変動はタイプⅣを除いては基本的に水位が低下した場合でも12月の水位は1月と同レベルにまで回復している。しかしながら、一部のモニタリング井戸では12月の水位が1月の水位にまで回復していない。

全114箇所のモニタリング井戸の内、2003年の年間地下水位変動量の値が得られた101箇所のうち、27箇所で地下水位変動量がマイナスとなっており、残る74箇所で変動量はプラスとなっていた。変動量は、マイナスとなった箇所のなかではSW-79孔の-6mが最大（平均値：-0.9m）であり、プラスとなった箇所のなかではSW-89孔の3.9mが最大であった（平均値：0.7m）。

図2.2.21には2003年地下水位モニタリング井戸観測データについて12月の水位と1月の水位の変動量分布図を示す。図中で井戸位置の重複した箇所（SW-10～13、SW-48～55及びSW-73～96）については平均値を用いてプロットしている。

## ② 地域毎の地下水位変動の特徴

図2.2.22には前節で示した地下水位モニタリングデータの4つのパターンを全てのモニタリング井戸に適用した結果を示す。図中で井戸位置の重複した箇所（SW-10～13、SW-48～55及びSW-73～96）については全て同様のタイプを示していたため、それぞれ1箇所として取り扱っている。

図からタイプⅢを示すモニタリング井戸は流域内に広く分布していることがわかる。一方、タイプⅠは本溪市と鞍山市の海城市にのみ確認される。タイプⅡも流域内に広く確認されるが、分布域は遼陽市西側の太子河付近と鞍山市の市街地付近に集中している。タイプⅢは鞍山市の市街地付近にのみ分布している。

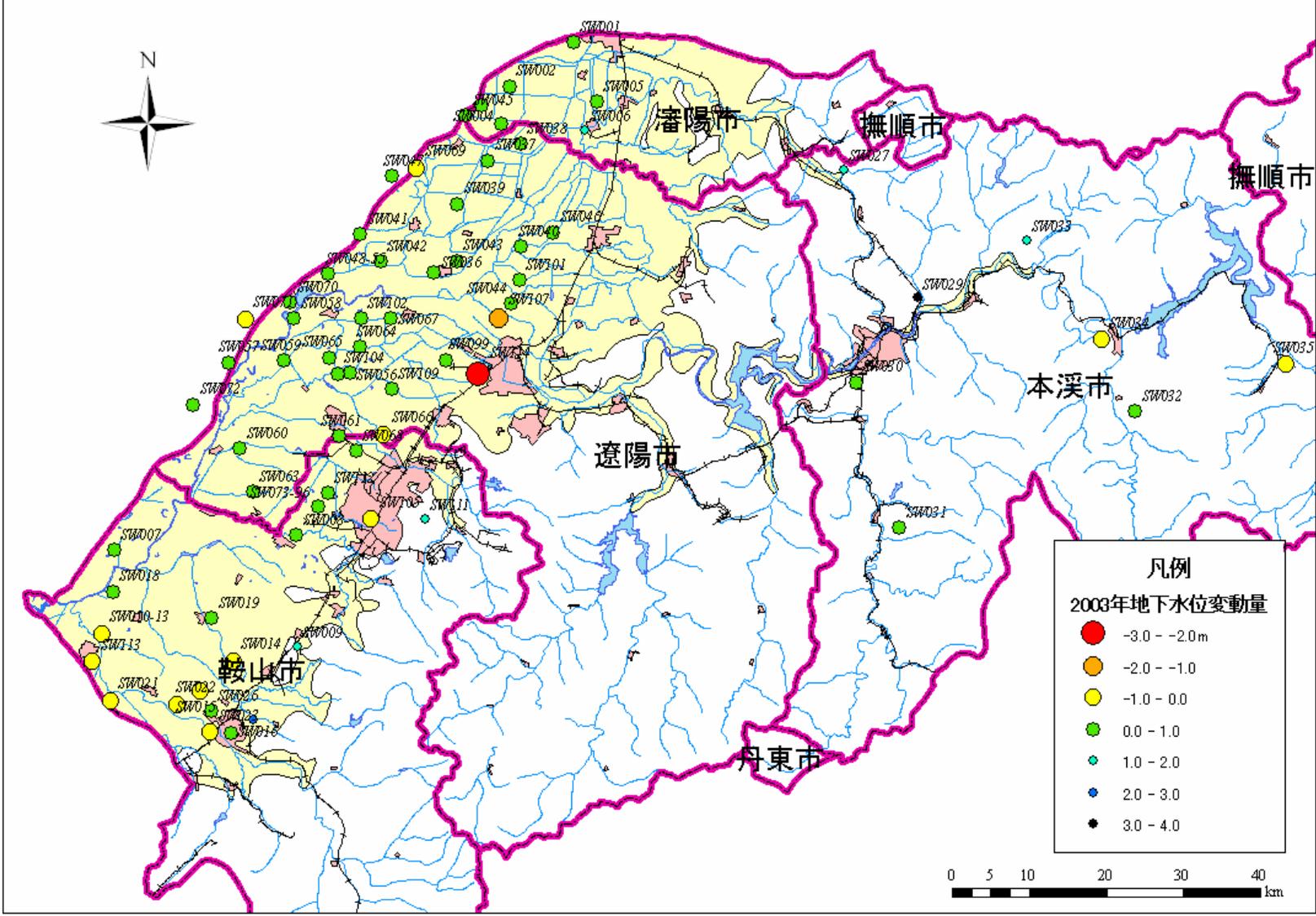


図 2.2.21 地下水位變動量分布図

出典：JICA 調査団

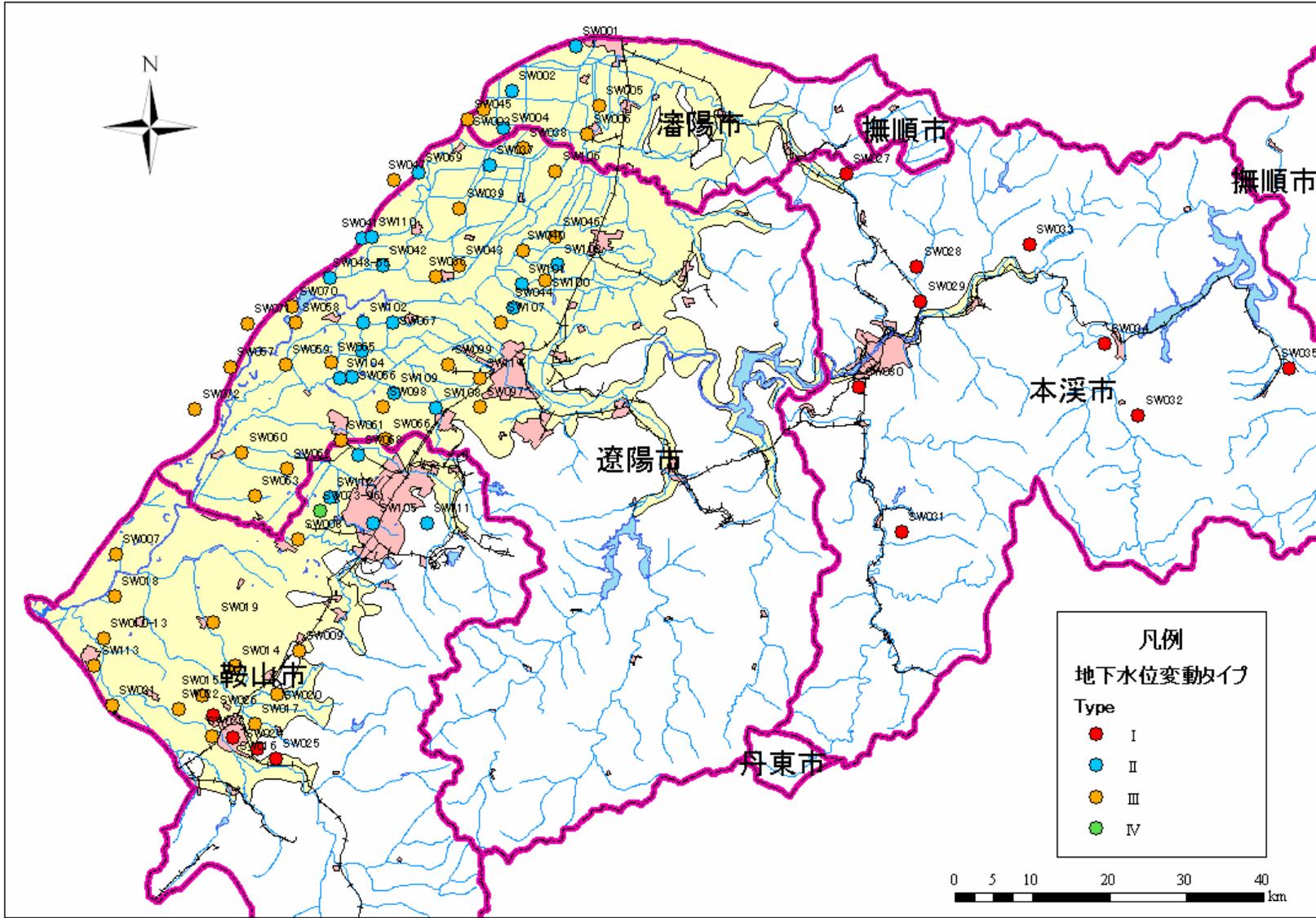


図 2.2.22 地下水水位変動パターンの地域分布

出典：JICA 調査団

## (c) 地下水位平面分布

図 2.2.23 には地下水位モニタリングデータに基づき、月平均水位を用いて作成した地下水位等高線図を示す。図中には 2003 年の乾季（2 月）と雨季（8 月）の月平均水位を同時に示している。等高線図の作成に際しては、平野部の帯水層分布域のみを対象とし、域外の本溪市モニタリング井戸は除外している。また、井戸位置が重複している箇所（SW-10～13、SW-48～55 及び SW-73～96）については平均値を使用し、周辺の水位と比較して特異な値を有する箇所（SW-20、SW-106、SW-108、SW-110）は除外した。

図 2.2.23 からは以下のような事項が確認できる。

- 上流部（瀋陽市南部～遼陽市）では地下水は北東から南西方向に流動している
- 中流から下流部では地下水は南東の山岳部から北西の平野部方向に流動している
- 中流の遼陽市を中心に地下水位の大幅に低下したエリアがあり、周囲の地下水は当該エリアに向けて流入している
- 上記地下水位低下部では地下水位はほぼ水平になっており、下流に向けた地下水の流動はほとんどないものと考えられる
- 鞍山市市街地西側にも地下水位の低下した地域がある
- 8 月の 10m のコンターライン上に局地的な水位の高まりが確認できる

図 2.2.24 には 2003 年の地下水位モニタリング結果から得られた地下水位の変動量（1 月と 12 月の地下水位の差異）分布図に 2003 年 8 月の地下水位等高線図を重ね合わせたものを示す。

図 2.2.21 で確認される地下水位変動量がマイナスとなっている地域は、地下水位等高線図での地下水位低下箇所と合致している。

地下水位が低下している箇所は地下水揚水量が地下水涵養量を上回っている箇所であると考えられる。

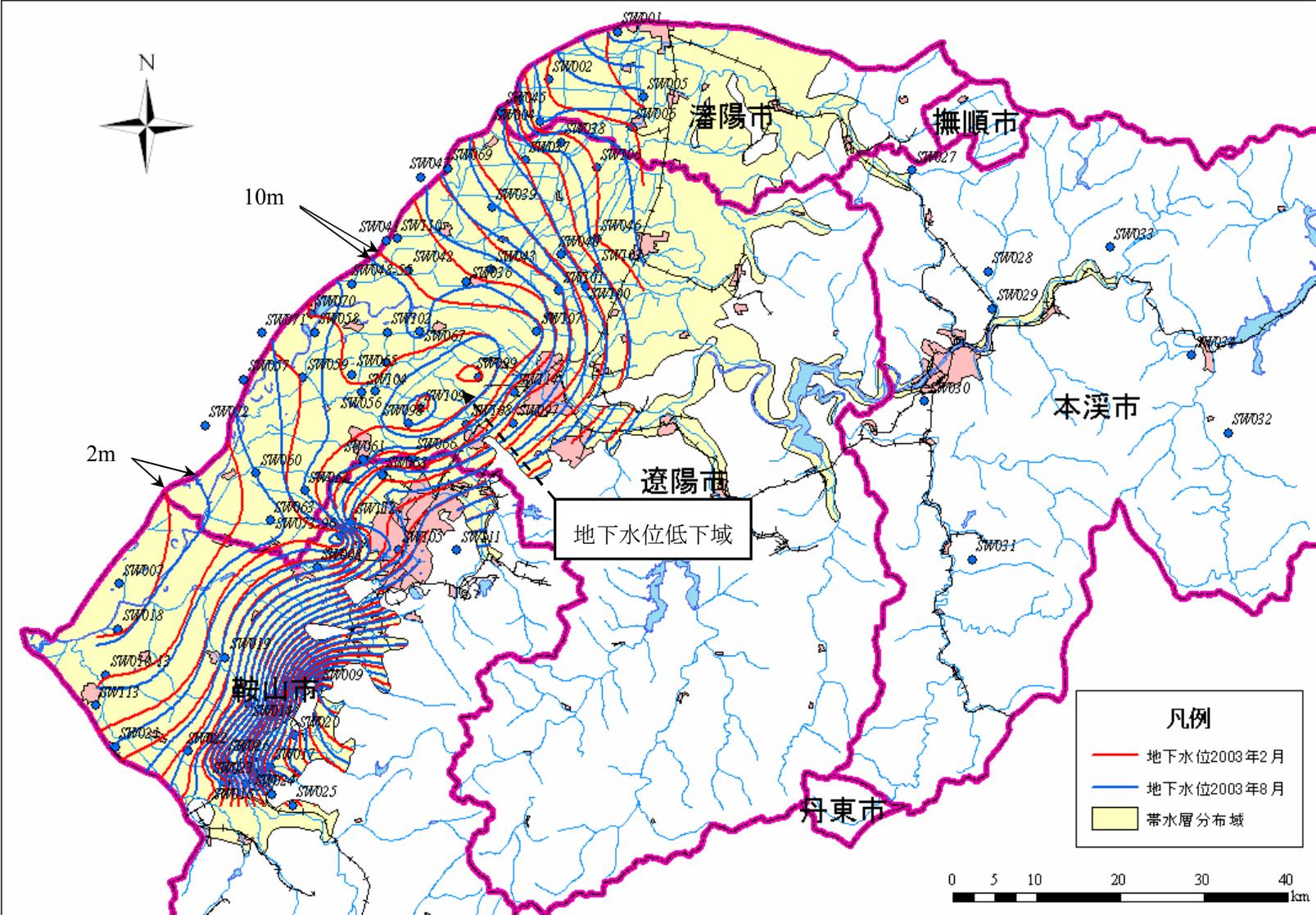


図 2.2.23 地下水水位等高線図(コンターは 2m 間隔)

出典：JICA 調査団

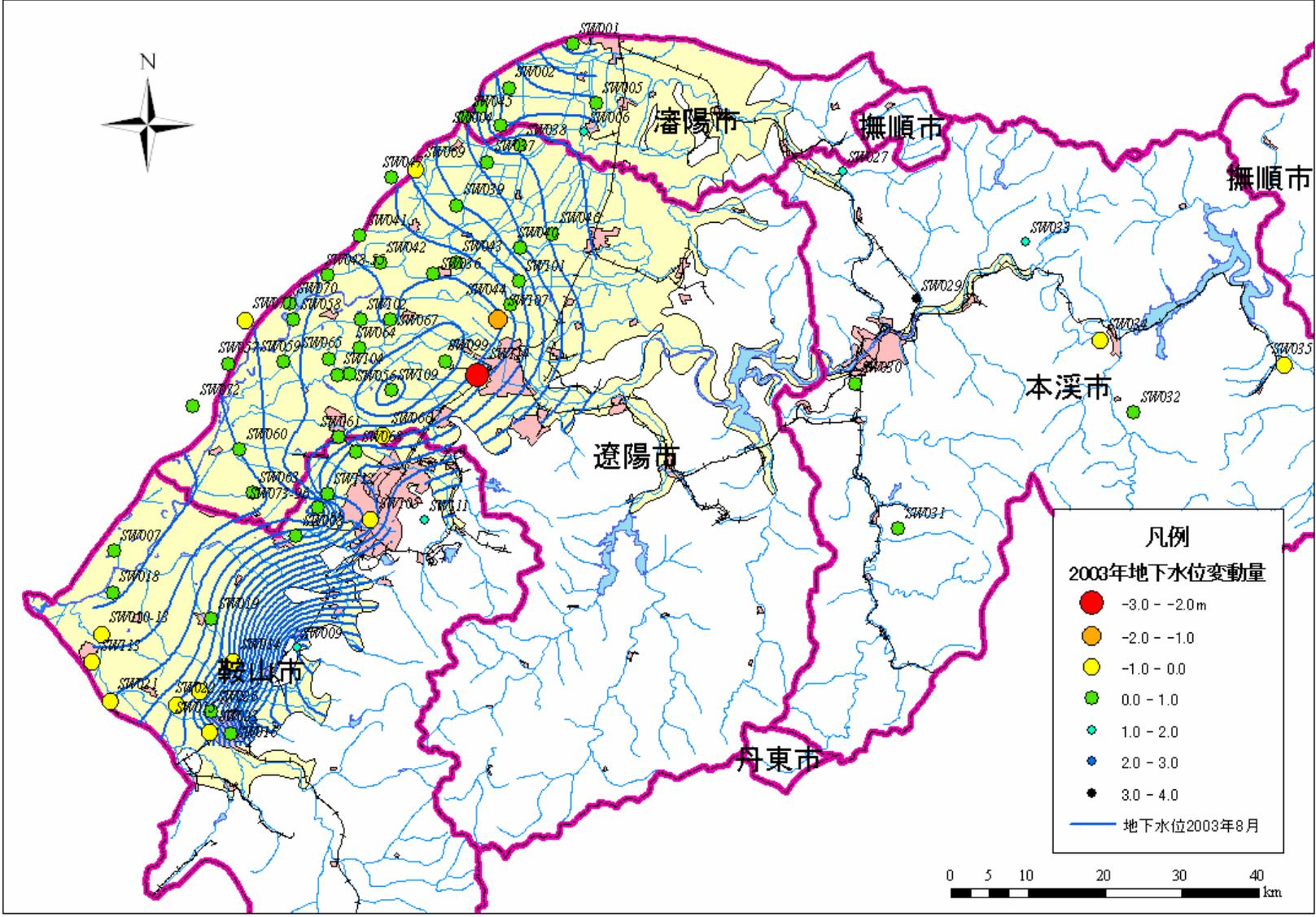


圖 2.2.24 地下水水位變動量と地下水水位等高線図

出典：JICA調査団

表 2.2.9 には 2003 年度の水資源管理年報に基づき太子河流域内の地下水揚水量について地域毎に集計したものを示す。

表 2.2.9 地下水揚水量地域別集計結果(万 m<sup>3</sup>)

	総用水量	農業用	工業	生活用
<b>総計</b>	<b>100,434</b>	<b>38,862</b>	<b>40,958</b>	<b>20,614</b>
<b>撫順市</b>	<b>371</b>	<b>84</b>	<b>97</b>	<b>190</b>
撫順県	24	14	0	10
新賓県	347	70	97	180
<b>本溪市</b>	<b>4,024</b>	<b>56</b>	<b>2,837</b>	<b>1,131</b>
本溪县	1,051	0	703	348
開發区	115	0	75	40
明山区	179	0	149	30
南芬区	509	26	294	189
平山区	1,367	0	936	431
溪湖区	802	30	679	93
<b>瀋陽市</b>	<b>3,167</b>	<b>2,462</b>	<b>321</b>	<b>384</b>
苏家屯区	3,167	2,462	321	384
<b>遼陽市</b>	<b>50,923</b>	<b>23,560</b>	<b>17,476</b>	<b>9,887</b>
城区	14,234	0	11,800	2,434
灯塔市	19,167	14,540	1,740	2,887
弓長峰区	1,303	470	397	436
宏伟区	530	140	310	80
遼陽県	10,190	5,280	1,180	3,730
太子河区	5,499	3,130	2,049	320
<b>鞍山市</b>	<b>41,949</b>	<b>12,700</b>	<b>20,227</b>	<b>9,022</b>
鞍鋼	15,660	0	15,660	0
海城	16,970	10,920	2,085	3,965
千山区	2,820	1,780	220	820
市区	6,499	0	2,262	4,237

出典：水資源管理年報（遼寧省水利庁,2004年）

地下水水位等高線図で地下水水位が大きく低下している地域の周辺には遼陽市市区と鞍山市市区があり、表 2.2.9 中の地域では遼陽市の灯塔市以外の地域と、鞍山市の鞍鋼地域が含まれ、これら地域の年間揚水量は約 47,000 万 m<sup>3</sup> と、流域全体のほぼ半分程度を占めており、こうした地域の地下水揚水量が過剰採取になっていると推察される。

#### (d) 地下水水位モニタリングデータの分析結果のまとめ

地下水水位モニタリングデータの分析結果のまとめを以下に示す。

- 地下水水位モニタリングデータから得られる地下水水位の時系列変動はⅠ：多降雨時応答型、Ⅱ：降雨自然応答型、Ⅲ：初夏期水位低下型及びⅣ：常時水位低下型の 4 つのパターンに分類できた
- 太子河流域内のモニタリング井戸の観測データではタイプⅢの初夏期水位低下型が瀋陽市、遼陽市および鞍山市にわたる広い範囲で確認された
- タイプⅢに次いでタイプⅡの降雨自然応答型が多く確認されたが、分布域は限定的であった

- タイプⅢの地下水位変動型は水位の低下時期が稲作栽培の代かき時期と一致していることから周辺の農業用地下水揚水の影響を受けていると思われる
- タイプⅠは本溪市のモニタリング井戸（及び鞍山市海城市の一部）でのみ確認された
- タイプⅣは鞍山市の鉄鋼コンビナート周辺域のモニタリング井戸でのみ確認された
- 年間の地下水位変動量はデータの確認できた101箇所の内27箇所の井戸でマイナスの値を示し、74箇所でプラスの値を示した
- 地下水位等高線図を作成し地下水位の平面分布を確認したところ、上流部（瀋陽市南部～遼陽市）では北東から南西方向への、中流から下流部では南東の山岳部から北西の平野部方向への地下水の流れが確認できた
- 一方、遼陽市付近に地下水位が大幅に低下している地域が確認され、同地域では地下水位の動水勾配は非常に小さくなっており、下流に向けた地下水の流動はほとんどないものと考えられる
- 上記低下地域は地下水位の年間変動量がマイナスとなっている箇所の分布とほぼ一致した
- 地下水揚水量データと照らし合わせた結果この地下水位低下箇所の付近では流域全体の半分にもおよぶ地下水が揚水されており、この地域では地下水が過剰に揚水されているという現状が推定された

(4) 地下水水質モニタリングデータの分析

収集した太子河流域内の5市（撫順市、本溪市、瀋陽市、遼陽市、鞍山市）に位置する地下水水質モニタリング井戸の水質データの分析を行った。

(a) 地下水水質モニタリングデータの概要

「地下水モニタリング井戸ネットワーク」のなかの太子河流域内31箇所について地下水水質データを収集した。31箇所のうち27箇所については2000年から2003年の4年間分、残る4本については2002年から2003年の2年間分のデータを収集した。地下水水質のサンプリング・分析は1年間に1回行っている。

表 2.2.10 にはモニタリング井戸の一覧表を示した。また、図 2.2.25 にはモニタリング井戸の位置図を示した。

表 2.2.10 地下水水質モニタリング井戸一覧

市名	井戸数	井戸番号	
		2000年～2003年	2002～2003年のみ
本溪市	4箇所	SZ014～SZ017 (4箇所)	—
瀋陽市	3箇所	SZ001～SZ003 (3箇所)	—
遼陽市	15箇所	SZ004～SZ008, SZ018～SZ021, SZ24,26, (11箇所)	SZ028～SZ031 (4箇所)
鞍山市	9箇所	SZ009～SZ013, SZ022,23,25,27 (9箇所)	—
合計	31箇所	27箇所	4箇所

出典：JICA 調査団

表 2.2.11 には収集した水質分析項目を示す。

表 2.2.11 収集した地下水水質分析項目

物理項目 (5項目)	水温, 臭気, 味覚, 色度, 透明度,
化学項目 (20項目)	CO <sub>2</sub> (遊離, 浸食性), pH, Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup> , K <sup>+</sup> , Na <sup>+</sup> , Cl <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , 欝化度, 総硬度, 総アルカリ度, NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , Fe <sup>2+</sup> , Fe <sup>3+</sup> , NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , SiO <sub>2</sub>

出典：JICA 調査団

(b) 地下水水質モニタリングデータ

収集した地下水水質モニタリングデータについて主要な化学項目のデータを表 2.2.12 に示す。

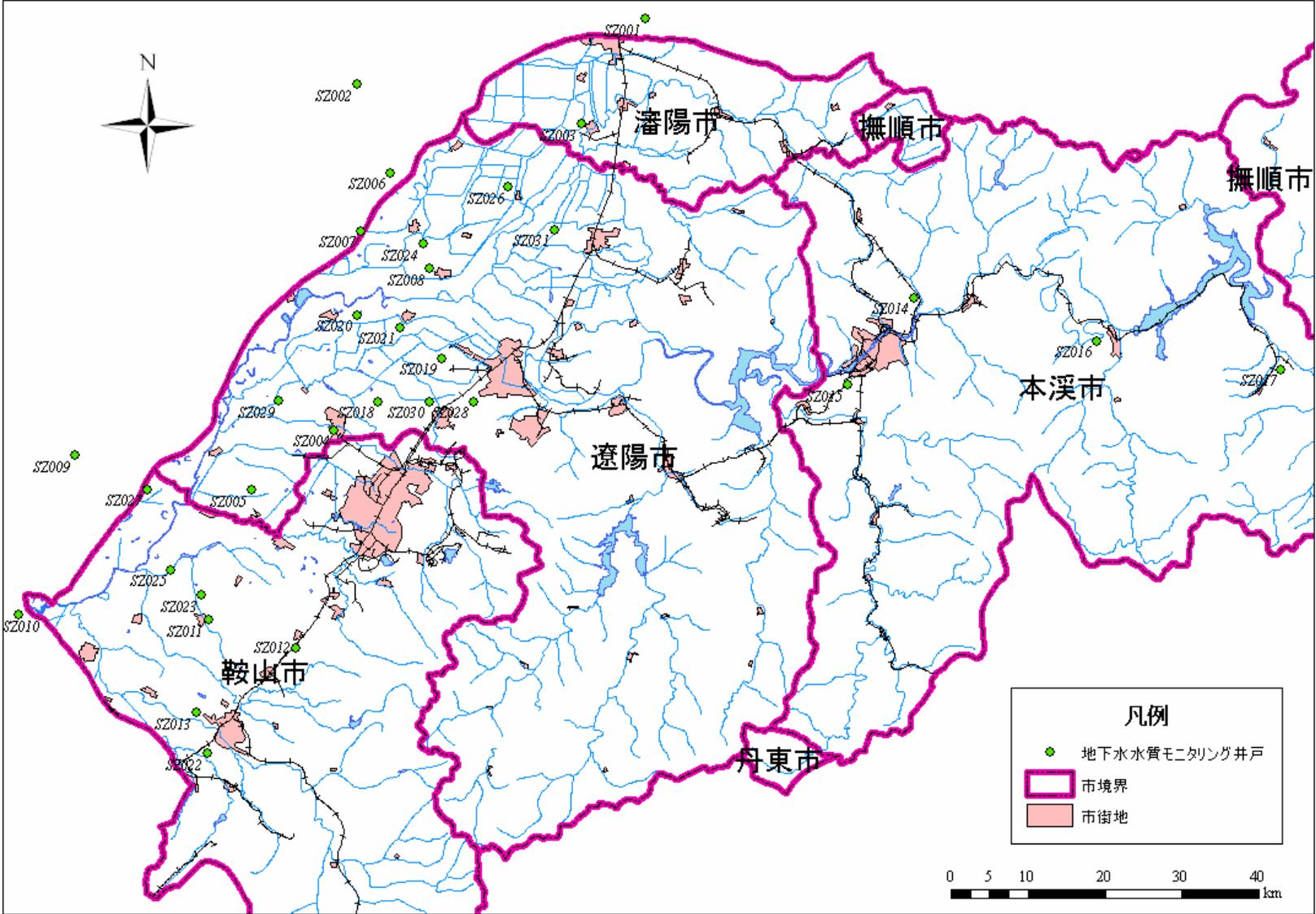


図 2.2.25 太子河流域内地下水水質モニタリング井戸位置図

出典：JICA調査団

表 2.2.12(a) 地下水水質モニタリングデータ(2000年)

No.	pH	鈣化度 mg/l	総硬度 mg/l	アルカリ度 mg/l	Na <sup>+</sup> mg/l	K <sup>+</sup> mg/l	Ca <sup>2+</sup> mg/l	Mg <sup>2+</sup> mg/l	Cl <sup>-</sup> mg/l	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/l	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg/l	遊離 CO <sub>2</sub> mg/l	浸食性 CO <sub>2</sub> mg/l	Fe <sup>2+</sup> mg/l	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> mg/l	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/l	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> mg/l	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> mg/l	SiO <sub>2</sub> mg/l
SZ001	6.6	333	176	78	29.8		52.9	10.5	46.9	94.3	85.9	55.0	37.4	<DL	0.01	6.08	0.61	0.11	39.2
SZ002	6.8	1,080	693	286	97.9		179.0	58.9	239.0	348.0	170.0	87.7	13.9	0.82	0.25	29.5	0.44	0.02	18.6
SZ003	6.7	264	129	89	23.4		40.9	6.3	27.8	108.0	58.2	30.6	23.2	0.11	<DL	2.11	0.38	0.08	31.2
SZ004	7.2	1,580	684	335	129.0		145.0	77.9	121.0	406.0	392.0	42.5	2.6	0.04	<DL	78.4	<DL	0.13	25.4
SZ005	7.3	540	242	274	17.0		63.2	20.1	10.5	333.0	0	28.6	1.6	0.42	<DL	5.49	0.73	0.69	30.1
SZ006	7.2	2,130	1,087	372	36.5		381.0	32.1	206.0	453.0	514.0	56.3	4.5	0.05	<DL	4.70	1.35	0.09	16.9
SZ007	6.7	778	344	56	23.8		79.4	35.2	169.0	67.7	86.7	19.0	4.1	<DL	0.01	26.6	0.46	0.01	27.1
SZ008	7.2	611	295	120	1.80		83.4	20.9	65.0	146.0	66.7	16.3	10.5	<DL	<DL	39.2	<DL	0.02	18.6
SZ009	6.9	923	6,748	3,465	96.0		128.0	51.1	176.0	205.0	232.0	44.6	12.2	<DL	1.00	181.0	0.51	0.03	27.2
SZ010	6.9	405	2,674	1,900	52.3		22.3	9.8	8.6	229.0	6.1	18.8	3.0	0.06	<DL	3.72	0.90	1.28	35.0
SZ011	7.1	987	2,407	1,236	53.3		231.0	19.1	164.0	293.0	92.2	36.4	0	<DL	0.05	757.0	<DL	0.07	23.2
SZ012	7.0	737	954	678	28.0		161.0	50.3	316.0	130.0	50.6	23.5	5.3	<DL	0.02	266.0	0.07	0.04	25.9
SZ013	7.0	835	858	441	32.0		135.0	54.8	119.0	214.0	219.0	36.4	8.3	<DL	0.03	598.0	0.11	0.07	31.4
SZ014	7.3	592	340	242	12.5		103.0	19.9	26.1	293.0	36.5	48.4	2.9	0	0	60.5	0.15	0.03	11.9
SZ015	7.1	578	306	157	12.2		73.7	29.3	34.0	191.0	94.0	36.3	1.7	0	0.05	62.6	0.09	0.16	15.1
SZ016	7.6	220	109	92	5.0		33.7	6.1	3.7	112.0	56.5	6.6	0.6	0	0	3.02	0.94	0.02	6.60
SZ017	7.6	165	74	47	1.5		21.6	4.9	5.7	57.4	24.0	5.5	3.8	0	0	9.68	0.43	0	11.5
SZ018	7.0	260	177		23.9	1.0	64.6	3.9	145.7		7.0	1.4	0			0			
SZ019	7.5	242	118		30.0	10.5	32.9	8.6	106.8		13.2	3.1	0			4.9			
SZ020	6.9	422	270		33.7	0.0	72.6	21.5	178.5		5.4	28.6	0			1.1			
SZ021	6.9	692	388		40.5	0.0	125.9	17.8	48.1		86.7	18.1	0			9.5			
SZ022	5.8	1,021	606		54.5	2.2	141.1	61.7	123.7		188.8	10.5	0			208.8			
SZ023	6.3	395	222		15.1	0.0	69.4	11.8	48.8		34.8	3.4	0			43.2			
SZ024	7.1	667	336		63.0	0.0	115.6	11.6	128.0		54.2	4.2	0			19.6			
SZ025	7.9	166	44		28.8	7.2	14.2	2.2	30.1		6.2	2.8	0			0.5			
SZ026	6.5	401	187		30.5	0.0	62.0	7.8	49.5		21.7	3.1	0			3.5			
SZ027	6.6	323	145		17.9	0.0	43.6	8.8	7.8		3.9	9.6	0			0			
SZ028																			
SZ029																			
SZ030																			
SZ031																			

出典：JICA 調査団

表 2.2.12(b) 地下水水質モニタリングデータ(2001年)

No.	pH	鈹化度 mg/l	総硬度 mg/l	アルカリ度 mg/l	Na <sup>+</sup> mg/l	K <sup>+</sup> mg/l	Ca <sup>2+</sup> mg/l	Mg <sup>2+</sup> mg/l	Cl <sup>-</sup> mg/l	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/l	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg/l	遊離 CO <sub>2</sub> mg/l	浸食性 CO <sub>2</sub> mg/l	Fe <sup>2+</sup> mg/l	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> mg/l	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/l	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> mg/l	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> mg/l	SiO <sub>2</sub> mg/l
SZ001	7.3	493	220	133	32.5		74.5	8.0	54.6	162.0	61.9	15.6	3.0	0.44	<DL	37.3	0.26	<DL	40.4
SZ002	6.8	1,283	682	317	105.0		173.0	60.3	273.0	386.0	175.0	105.0	9.2	1.99	0.14	28.6	0.11	<DL	22.6
SZ003	6.8	247	105	86	36.1		30.5	7.1	39.7	105.0	26.2	11.2	8.7	9.28	<DL	1.51	0.33	0.75	12.3
SZ004	7.1	1,530	678	331	71.0		189.0	49.7	105.0	404.0	290.0	54.8	0	0.10	0.06	157.0	0.50	0.41	20.9
SZ005	7.6	622	333	267	3.00		97.9	21.4	42.8	324.0	12.9	11.4	0	0.08	<DL	2.61	0.86	0.58	24.4
SZ006	6.9	2,320	1,221	451	7.80		391.0	58.2	206.0	548.0	370.0	91.0	0	0.02	<DL	327.0	0.77	0.13	10.2
SZ007	6.5	447	317	67	10.0		69.5	34.6	120.0	81.5	73.3	45.0	43.7	0.54	0.30	70.9	1.40	0.06	24.9
SZ008	7.0	947	465	146	19.2		128.0	35.5	60.0	178.0	261.0	29.9	26.5	0.01	<DL	136.0	<DL	0.04	15.8
SZ009	6.9	901	413	158	107.0		67.3	59.2	97.4	193.0	289.0	38.4	18.9	<DL	0.10	159.0	0.46	0.10	29.8
SZ010	8.2	359	96	193	56.3		23.2	9.2	8.1	234.0	1.3	16.3	3.0	<DL	0.03	2.12	0.67	1.10	38.2
SZ011	7.0	1,040	523	254	45.0		123.0	52.1	106.0	271.0	150.0	0	0	<DL	0.04	146.0	<DL	0.11	24.3
SZ012	7.1	1,100	668	99	62.5		179.0	53.5	305.0	120.0	183.0	16.1	2.9	<DL	0.03	123.0	0.07	0.03	32.1
SZ013	6.8	1,160	582	174	62.5		130.0	62.0	98.3	211.0	327.0	19.8	1.0	<DL	0.08	192.0	<DL	0.22	41.5
SZ014	7.0	718	376	267	5.30		128.0	13.3	35.4	324.0	82.1	33.8	1.1	<DL	0.02	76.1	<DL	0.04	9.70
SZ015	7.1	558	281	132	2.00		76.8	21.3	29.7	160.0	85.8	16.9	6.2	<DL	<DL	89.4	0.34	0.16	12.0
SZ016	6.9	359	204	163	3.50		64.6	10.1	16.8	198.0	33.7	28.4	16.3	<DL	<DL	18.4	0.09	0.02	7.60
SZ017	7.1	144	53	40	2.20		18.9	1.3	6.7	48.2	13.7	8.90	6.7	<DL	<DL	10.4	<DL	0.01	7.90
SZ018	7.2	260	167		19.6	3.1	61.3	3.3	142.6		5.4	2.8	0			10.3			
SZ019	7.7	212	114		19.0	8.6	28.9	10.1	100.3		10.8	7.1	0			1.6			
SZ020	7.4	371	241		22.0	2.3	61.3	21.4	157.2		6.9	22.1	0			0			
SZ021	8.6	570	329		23.2	3.1	106.9	15.0	57.6		72.3	0.0	8.4			10.3			
SZ022	8.3	1,192	705		77.4	8.0	163.0	72.4	148.3		225.4	0.0	4.8			84.4			
SZ023	8.0	417	238		22.4	3.1	77.7	10.7	72.2		23.8	3.7	0			68.2			
SZ024	8.1	685	346		66.8	3.1	117.5	12.8	145.1		63.1	0.0	3.0			0			
SZ025	7.8	118	23		18.8	8.0	5.8	2.1	21.3		11.5	2.8	0			8.7			
SZ026	8.2	662	384		38.7	3.8	105.0	29.6	96.0		86.9	0.0	3.0			121.8			
SZ027	8.3	348	147		18.2	3.1	42.7	9.7	7.8		3.8	0.0	3.0			11.7			
SZ028																			
SZ029																			
SZ030																			
SZ031																			

出典：JICA 調査団

表 2.2.12(c) 地下水水質モニタリングデータ(2002年)

No.	pH	鈹化度 mg/l	総硬度 mg/l	アルカリ度 mg/l	Na <sup>+</sup> mg/l	K <sup>+</sup> mg/l	Ca <sup>2+</sup> mg/l	Mg <sup>2+</sup> mg/l	Cl <sup>-</sup> mg/l	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/l	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg/l	遊離 CO <sub>2</sub> mg/l	浸食性 CO <sub>2</sub> mg/l	Fe <sup>2+</sup> mg/l	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> mg/l	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/l	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> mg/l	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> mg/l	SiO <sub>2</sub> mg/l
SZ001	7.4	833	376	146	61.5		110.0	24.6	100.0	178.0	172.0	19.0	10.2	0.06	0.26	105.0	0.50	0.09	44.0
SZ002	6.9	1,500	655	234	128.0		206.0	33.4	300.0	286.0	258.0	66.0	17.5	0.14	0.49	60.2	1.17	0.01	22.0
SZ003	7.4	294	127	82	25.8		38.5	7.3	28.0	99.2	48.1	8.90	6.60	0.01	<DL	5.58	0.23	0.10	33.6
SZ004	7.1	1,550	677	360	158.0		177.0	56.5	115.0	437.0	334.0	56.0	0	0.01	0.04	200.0	<DL	0.18	24.4
SZ005	7.3	682	329	276	44.8		108.0	14.4	29.0	336.0	119.0	26.4	0	0.23	0.05	9.17	0.95	0.27	32.9
SZ006	7.1	1,630	999	503	52.5		323.0	46.2	195.0	612.0	237.0	72.3	0	<DL	0.02	189.0	0.67	0.04	16.2
SZ007	6.8	392	171	67	33.0		36.7	19.1	87.0	80.9	45.2	34.3	28.6	0.25	0.08	28.1	0.45	0.04	24.5
SZ008	7.0	921	415	166	10.5		115.0	30.6	54.0	202.0	103.0	28.2	14.8	0.01	0.09	164.0	0.12	0.03	21.6
SZ009	6.6	1,310	7,498	5,327	105.0		168.0	68.0	174.0	219.0	240.0	87.2	8.40	<DL	0.02	224.0	<DL	0.07	17.9
SZ010	7.4	354	6,748	3,465	51.0		21.6	11.2	8.1	228.0	<DL	22.2	1.60	0.06	<DL	2.31	0.78	0.69	22.3
SZ011	7.1	1,320	2,674	1,900	16.0		240.0	40.8	146.0	330.0	121.0	44.5	0	<DL	0.03	271.0	<DL	0.10	14.4
SZ012	7.0	1,150	2,407	1,236	25.0		176.0	51.5	287.0	133.0	66.7	25.2	10.4	<DL	<DL	212.0	0.07	0.03	20.3
SZ013	6.9	1,190	954	678	43.0		158.0	68.0	137.0	285.0	215.0	62.0	16.5	<DL	<DL	181.0	0.15	0.05	20.6
SZ014	7.2	776	428	258	1.50		142.0	17.1	28.9	313.0	85.6	38.7	4.20	<DL	0.10	69.5	0.11	0.04	32.5
SZ015	7.0	482	251	122	4.20		70.8	17.8	21.2	147.0	72.6	42.0	18.3	<DL	<DL	66.7	0.22	0.24	40.8
SZ016	7.3	468	252	190	8.80		76.2	15.0	28.9	231.0	48.5	23.0	2.40	<DL	<DL	18.8	0.05	0.03	29.2
SZ017	7.1	161	86	52	5.50		27.4	4.2	7.7	62.9	17.0	9.90	5.20	<DL	<DL	10.6	<DL	0.02	26.7
SZ018	7.1	273	188		20.4	2.0	70.8	2.7	153.6	20.1	3.0	5.7	0.0			0.0			
SZ019	7.5	209	115		27.1	2.0	31.5	8.8	109.5	25.1	5.1	2.8				0.0			
SZ020	6.9	402	269		24.8	2.0	70.8	22.1	187.1	86.0	9.3	17.8	0.0			0.0			
SZ021	7.2	560	327		21.0	0.0	106.2	15.0	56.5	295.0	66.2	12.7	0.0			0.0			
SZ022	7.3	1,005	659		46.6	2.0	157.5	64.4	146.2		201.1	11.3	0.0			62.2			
SZ023	7.3	380	262		7.4	0.0	83.9	12.7	84.7		5.9	11.9				47.3			
SZ024	7.3	638	376		43.4	0.0	127.8	13.7	137.7		31.4	11.9	0.0			0.0			
SZ025	7.3	509	317		18.2	0.0	90.3	22.3	47.3		89.9	9.1	0.0			44.3			
SZ026	7.3	890	586		23.0	0.0	159.3	45.6	95.3		127.7	9.1	0.0			307.0			
SZ027	7.4	303	146		16.0	0.0	43.5	9.0	7.8		4.2	10.8	0.0			0.0			
SZ028	7.1	516	304		27.8	2.0	90.8	18.8	52.6	192.1	115.4	12.2	0.0			16.9			
SZ029	7.0	388	238		30.0	0.0	58.4	22.4	100.6	69.0	68.3	8.5	0.0			38.9			
SZ030	7.3	260	107		43.0	3.1	30.8	7.3	53.0	37.7	83.1	7.1	0.0			2.0			
SZ031	8.3	86	27		18.2	0.0	7.1	2.4	28.2		3.8	0.0	3.7			0.0			

出典：JICA 調査団

表 2.2.12(d) 地下水水質モニタリングデータ(2003年)

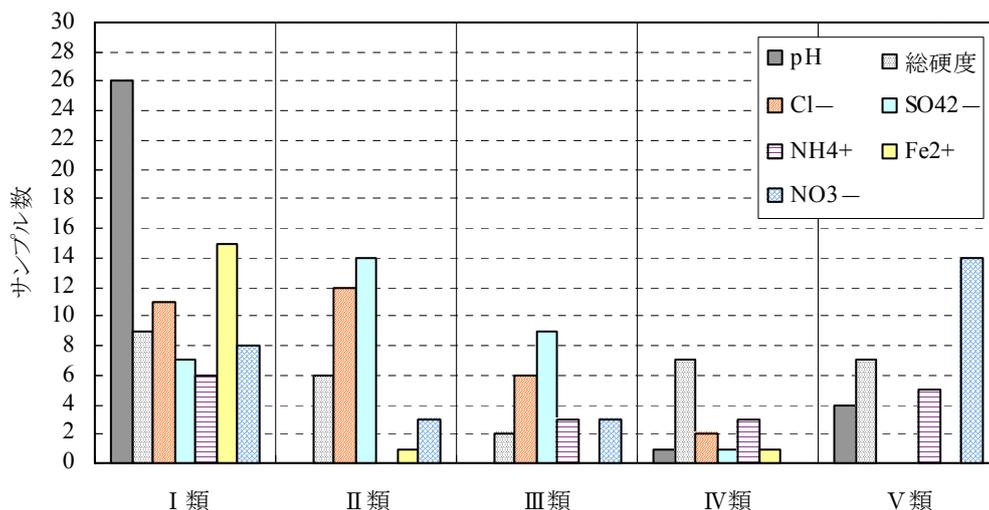
No.	pH	鈹化度 mg/l	総硬度 mg/l	アルカリ度 mg/l	Na <sup>+</sup> mg/l	K <sup>+</sup> mg/l	Ca <sup>2+</sup> mg/l	Mg <sup>2+</sup> mg/l	Cl <sup>-</sup> mg/l	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/l	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg/l	遊離 CO <sub>2</sub> mg/l	浸食性 CO <sub>2</sub> mg/l	Fe <sup>2+</sup> mg/l	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> mg/l	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/l	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> mg/l	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> mg/l	SiO <sub>2</sub> mg/l
SZ001	7.1	828	365	118	79.3		114.0	19.4	162.0	144.0	151.0	45.8	35.9	0.06			0	0.22	17.0
SZ002	7.0	1,327	567	247	112.0		154.0	44.0	210.0	300.0	172.0	76.8	21.8	0.45			1.14	0.04	9.6
SZ003	7.0	288	132	86	29.4		41.0	7.2	25.8	105.0	67.5	35.7	29.9	<DL			0.33	0.18	15.9
SZ004	7.1	1,490	643	351	167.0		172.0	51.5	117.0	426.0	333.0	49.0	0.70	<DL	0.07	183.0	0.21	0.21	35.5
SZ005	7.5	627	288	245	50.2		99.9	9.2	27.0	298.0	96.6	20.8	0	<DL	0.03	3.19	0.67	0.26	40.9
SZ006	7.0	1,960	1,047	498	28.5		347.0	43.3	190.0	606.0	250.0	99.3	0	<DL	0.01	210.0	0.08	0.04	20.7
SZ007	6.5	564	229	59	45.2		50.1	25.2	124.0	71.4	75.1	37.0	36.8	<DL	0.07	39.2	1.08	0.03	38.2
SZ008	7.4	641	335	169	22.0		94.2	24.1	36.5	206.0	77.7	20.3	16.7	<DL	0.03	132.0	<DL	0.02	34.5
SZ009	6.5	36	632	254	136.0		93.0	96.2	167.0	308.0	197.0	26.6	11.8	0.11	0.15	202.0	0.69	0.17	19.0
SZ010	7.3	9	112	199	50.5		24.8	12.2	9.9	242.0	<DL	4.50	2.10	0.08	0.02	3.25	0.99	0.39	20.9
SZ011	6.8	40	723	242	136.0		257.0	19.7	168.0	294.0	150.0	18.1	0	<DL	0.05	361.0	0.08	0.09	13.0
SZ012	6.8	18	338	81	58.5		91.4	26.5	97.1	98.2	114.0	7.00	6.40	<DL	0.01	159.0	<DL	0.03	17.4
SZ013	6.5	31	653	258	62.5		140.0	72.4	149.0	314.0	212.0	38.1	10.6	<DL	0.05	128.0	0.28	0.07	17.3
SZ014	7.3	661	437	258	32.2		150.0	14.7	24.3	314.0	89.2	27.2	1.20	<DL	<DL	88.3	<DL	0.02	2.95
SZ015	7	554	385	147	4.80		127.0	15.7	54.4	180.0	128.0	37.1	13.3	<DL	<DL	88.7	0.05	0.14	3.73
SZ016	7.5	378	213	168	0.50		68.0	10.6	6.8	203.0	38.8	15.1	1.20	<DL	<DL	7.70	<DL	0.01	2.59
SZ017	7.2	238	165	78	2.00		54.4	7.0	24.3	95.3	32.0	9.84	3.48	<DL	0.04	8.09	<DL	0.02	3.00
SZ018	9.2	258	115		42.1	1.6	44.4	1.1	115.3	16.8	29.7	0.0	7.4			0			
SZ019	7.4	330	107		60.4	10.0	29.4	8.2	111.9	24.3	84.8	2.3	0.0			0.5			
SZ020	9.4	298	69		69.0	10.4	23.3	2.6	86.0	14.5	72.6	0.0	20.0			0			
SZ021	7.2	571	316		27.6	1.0	99.0	16.8	59.2	295.6	71.9	7.4	0.0			0			
SZ022	6.8	1,180	625		110.4	6.4	134.7	70.2	172.1	308.4	230.3	8.8	0.0			140.8			
SZ023	6.9	528	241		33.8	0.0	90.3	15.9	109.8	119.4	53.7	4.0	0.0			92.4			
SZ024	7.0	1,115	533		123.1	4.0	166.0	28.7	275.3	337.4	176.2	11.0	0.0			4.4			
SZ025	9.3	165	33		37.7	2.4	4.1	5.5	19.6	42.9	41.2	0.0	11.4			0			
SZ026	6.8	765	400		63.2	0.0	103.4	34.5	80.9	81.2	162.9	6.5	0.0			232.8			
SZ027	6.9	369	142		38.6	1.0	39.6	10.4	9.6	202.9	44.7	9.9	0.0			0			
SZ028	6.9	1,161	493		151.0	16.0	117.9	48.1	290.8	318.8	172.7	7.6	0.0			45.4			
SZ029	7.0	324	151		27.6	0.0	42.2	11.0	9.6	151.9	81.3	5.9	0.0			0			
SZ030	5.8	243	95		38.8	2.4	28.4	5.7	52.3	18.6	96.3	13.6	0.0			0			
SZ031	9.2	106	15		25.3	3.0	4.9	0.7	20.3	24.3	20.2	0.0	2.3			5.2			

出典：JICA 調査団

(c) 中国地下水水質基準との比較

表 2.2.13 に中国地下水水質基準（GB/T14848-93、1993-12-30 実施）を示した。今回収集した分析項目のなかで本基準に記載のある項目としては、pH、総硬度、Cl<sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>、Fe<sup>2+</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>の7項目である。

図 2.2.26 には 2003 年のモニタリングデータについて上記水質基準における類別分類結果を示す（pH についてはⅢ類を下回るものは全てⅠ類とした）。



出典：JICA 調査団

図 2.2.26 水質分析データの地下水水質基準類別頻度

図 2.2.26 から硝酸イオン（NO<sub>3</sub><sup>-</sup>）については分析箇所のおよそ半分がⅤ類に分類されており、またアンモニウムイオン（NH<sub>4</sub><sup>+</sup>）も 5 サンプルがⅤ類に分類されており、肥料又は尿尿などによる汚染の可能性が示唆される。ただしサンプル採取深度が 10m 程度と浅いことから、観測孔への表層からの汚濁物混入の可能性も考えられる。総硬度も半数程度がⅣ類～Ⅴ類に分類されている。

図 2.2.27 には硝酸イオンの濃度分布図を示した。図から、遼陽市および鞍山市に値が大きい箇所を確認できるが、特段の規則性は確認できない。

表 2.2.13 中国地下水水質基準

I類	地下水の化学組成としては天然由来の含有量を下回っており、各種の用途に適応可能である。
II類	地下水の化学組成としては天然由来の含有量程度であり、各種の用途に適応可能である。
III類	人体への健康被害を生じさせない範囲の値であり、主に集中式の生活飲用水水源及び工業、農業用水に適応可能である。
IV類	農業と工業用水への利用を主とし適切に処理された後に生活飲用水として利用可能である。
V類	飲用に不適であり、その他の用水として目的別に利用可能である。

番号	項目	I類	II類	III類	IV類	V類
1	色(度)	≤5	≤5	≤15	≤25	>25
2	臭気	無	無	無	無	有
3	濁度(度)	≤3	≤3	≤3	≤10	>10
4	肉眼浮遊物	無	無	無	無	有
5	pH	6.5~8.5			5.5~6.5, 8.5~9.0	<5.5,>9.0
6	総硬度(CaCO <sub>3</sub> )(mg/L)	≤150	≤300	≤450	≤550	>550
7	TDS(mg/L)	≤300	≤500	≤1000	≤2000	>2000
8	硫酸塩(mg/L)	≤50	≤150	≤250	≤350	>350
9	塩化物(Cl)(mg/L)	≤50	≤150	≤250	≤350	>350
10	鉄(Fe)(mg/L)	≤0.1	≤0.2	≤0.3	≤1.5	>1.5
11	マンガン(Mn)(mg/L)	≤0.05	≤0.05	≤0.1	≤1.0	>1.0
12	銅(Cu)(mg/L)	≤0.01	≤0.05	≤1.0	≤1.5	>1.5
13	亜鉛(Zn)(mg/L)	≤0.05	≤0.5	≤1.0	≤5.0	>5.0
14	モリブデン(Mo)(mg/L)	≤0.001	≤0.01	≤0.1	≤0.5	>0.5
15	コバルト(Co)(mg/L)	≤0.005	≤0.05	≤0.05	≤1.0	>1.0
16	揮発性フェノール類(mg/L)	0.001	0.001	0.002	≤0.01	0.01
17	陽イオン合成洗剤(mg/L)	無検出	≤0.1	≤0.3	≤0.3	>0.3
18	高マンガン酸塩指数(mg/L)	≤1.0	≤2.0	≤3.0	≤10	>10
19	硝酸性窒素(mg/L)	≤2.0	≤5.0	≤20	≤30	>30
20	亜硝酸性窒素(mg/L)	≤0.001	≤0.01	≤0.02	≤0.1	0.1
21	アンモニア(NH <sub>4</sub> )(mg/L)	≤0.02	≤0.02	≤0.2	≤0.5	>0.5
22	フッ化物(F)(mg/L)	≤1.0	≤1.0	≤1.0	≤2.0	>2.0
23	ヨウ化物(mg/L)	≤0.1	≤0.1	≤0.2	≤1.0	>1.0
24	シアン化合物(mg/L)	≤0.001	≤0.01	≤0.05	≤0.1	>0.1
25	水銀(Hg)(mg/L)	≤0.00005	≤0.0005	≤0.001	≤0.001	>0.001
26	ヒ素(As)(mg/L)	≤0.005	≤0.01	≤0.05	≤0.05	>0.05
27	セレン(Se)(mg/L)	≤0.01	≤0.01	≤0.01	≤0.1	>0.1
28	カドミウム(Cd)(mg/L)	≤0.0001	≤0.001	≤0.01	≤0.01	>0.01
29	六価クロム(Cr <sup>6+</sup> )(mg/L)	≤0.005	≤0.01	≤0.05	≤0.1	>0.1
30	鉛(Pb)(mg/L)	≤0.005	≤0.01	≤0.05	≤0.1	>0.1
31	ベリリウム(Be)(mg/L)	≤0.00002	≤0.0001	≤0.0002	≤0.001	>0.001
32	バリウム(Ba)(mg/L)	≤0.01	≤0.1	≤1.0	≤4.0	>4.0
33	ニッケル(Ni)(mg/L)	≤0.005	≤0.05	≤0.05	≤0.1	>0.1
34	DDT(μg/L)	無検出	≤0.005	≤1.0	≤1.0	>1.0
35	BHC(μg/L)	≤0.005	≤0.05	≤5.0	≤5.0	>5.0
36	総大腸菌群(個/L)	≤3.0	≤3.0	≤3.0	≤100	>100
37	細菌総数(個/mL)	≤100	≤100	≤100	≤1000	>1000
38	総α放射線(Bq/L)	≤0.1	≤0.1	≤0.1	>0.1	>0.1
39	総β放射線(Bq/L)	≤0.1	≤1.0	≤1.0	>1.0	>1.0

出典：中国地下水質料基準（GB/T14848-93）

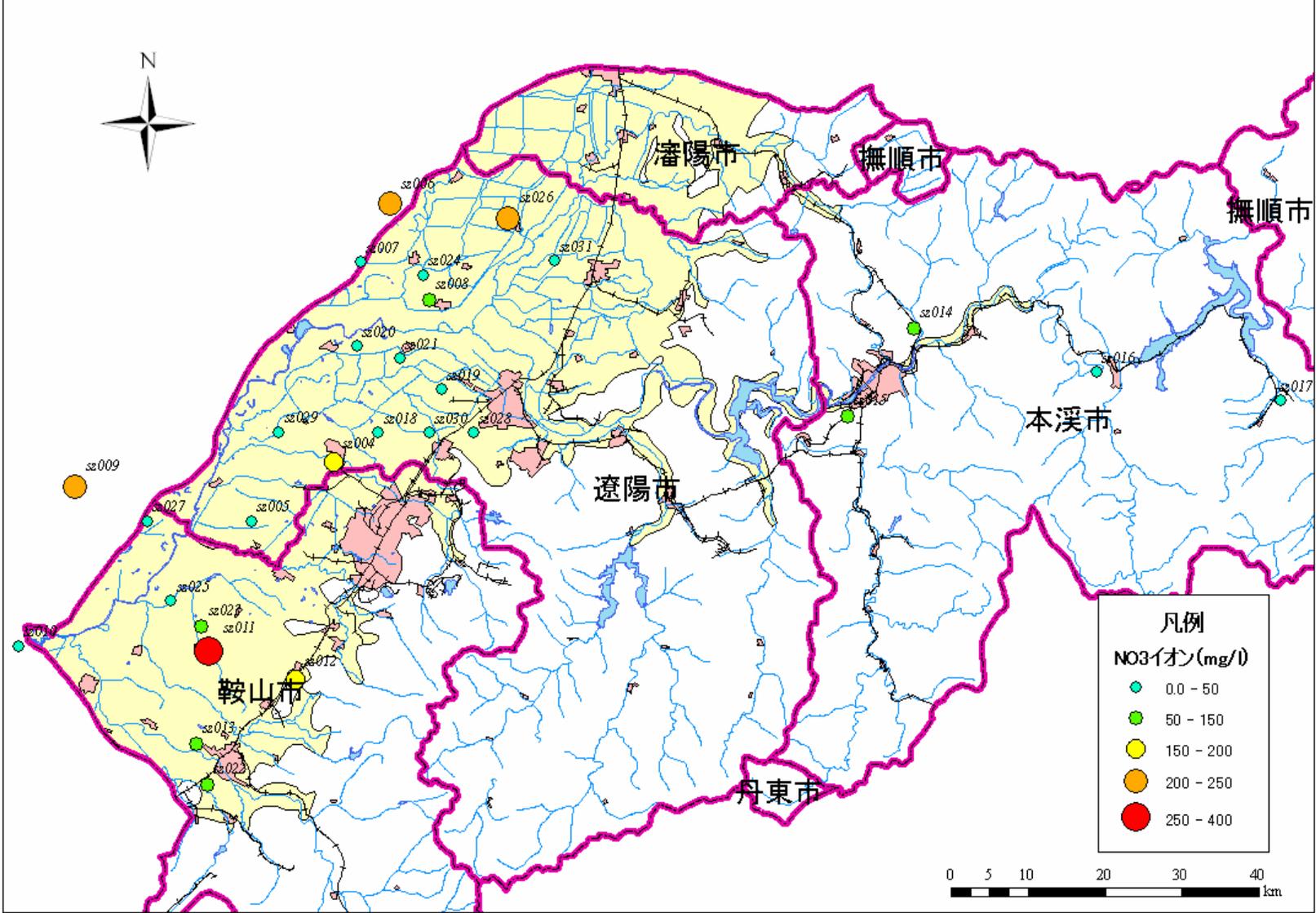
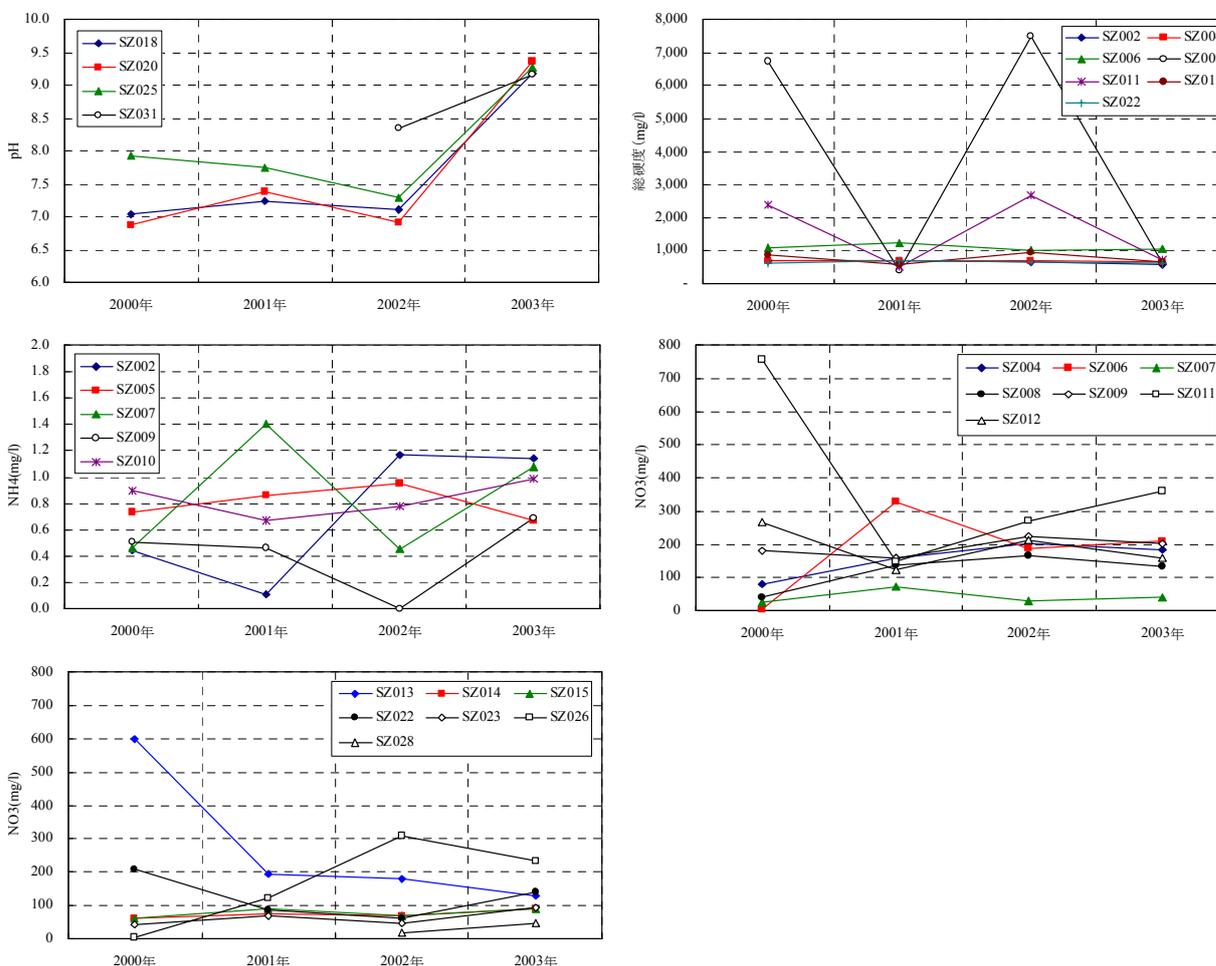


図 2.2.27 硝酸イオン分析値分布図

出典：JICA調査団

(d) 水質分析値の経年変化

図 2.2.28 には図 2.2.26 で示した中国地下水水質基準に含まれていた水質分析値のなかでV類にあたる数値を有していた pH、総硬度、アンモニアイオンおよび硝酸イオンについて 2000年から 2003 年までの経年変化を示す。



出典：JICA 調査団

図 2.2.28 水質の経年変化

図 2.2.28 から pH は 2002 年までは同様の値で推移しているが 2003 年に全てのサンプルで上昇傾向にあることがわかる。一方その他の項目については明らかな傾向は確認できない。

(e) 砒化度

砒化度は水中の塩分濃度の指標値であり、表 2.2.14 に示すように測定値からサンプルの種別を分類できる。

表 2.2.14 砒化度の値とサンプルの種別

種別	砒化度 (mg/l)
淡水	1,000 未満
弱鹹水	1,000～3,000
鹹水	3,000～10,000
強鹹水	10,000～50,000
塩水	50,000 より大きい

出典：JICA 調査団

図 2.2.29 には 2003 年モニタリングデータの砒化度分析値のヒストグラムを示した。

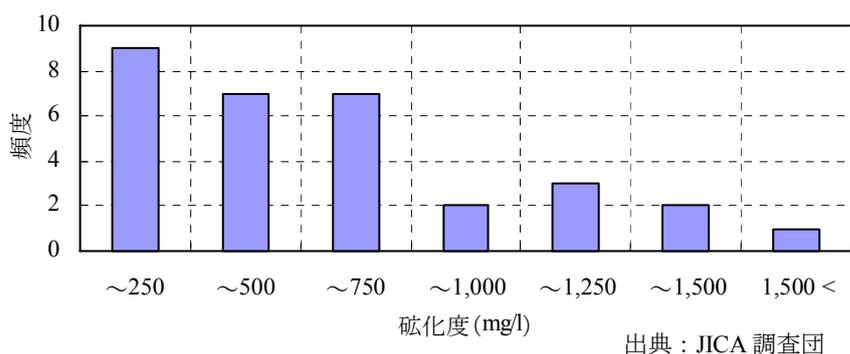


図 2.2.29 砒化度の分析値ヒストグラム

図 2.2.29 から 6 サンプル (SZ002, SZ004, SZ006, SZ0022, SZ0024 及び SZ0028) が 1,000 (mg/l) 以上の値を示していることがわかるが、地域的な偏りもなく、数値も 1,500 (mg/l) 程度と海水の値 (塩分濃度：35,000 mg/l 程度) に比べ小さい値であることから、地下水の塩水化といった障害は生じていないと考えられる。

(f) 収集データのダイアグラム表示

① ヘキサダイアグラム

主要イオン項目 (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) 分析結果をもとにヘキサダイアグラム (Stiff ダイアグラム) を作成し、地域毎の水質組成のパターンを確認した。作成には作成に必要なデータの得られた SZ001~SZ005, SZ007, Sz010, SZ0018~SZ0031 の分析値を使用した。図 2.2.30 に 2003 年の分析値に基づき作成したヘキサダイアグラムの分布図を示す。

河川水などの伏流・混入の可能性が低いと考えられる太子河上流部の水質パターン (SZ001 に見られるような形状) が同地域での地下水水質のオリジナルパターンであると推察される。下流部でパターン形状が上流部のものと異なるものは、河川水の伏流・混入などの可能性が推定される。

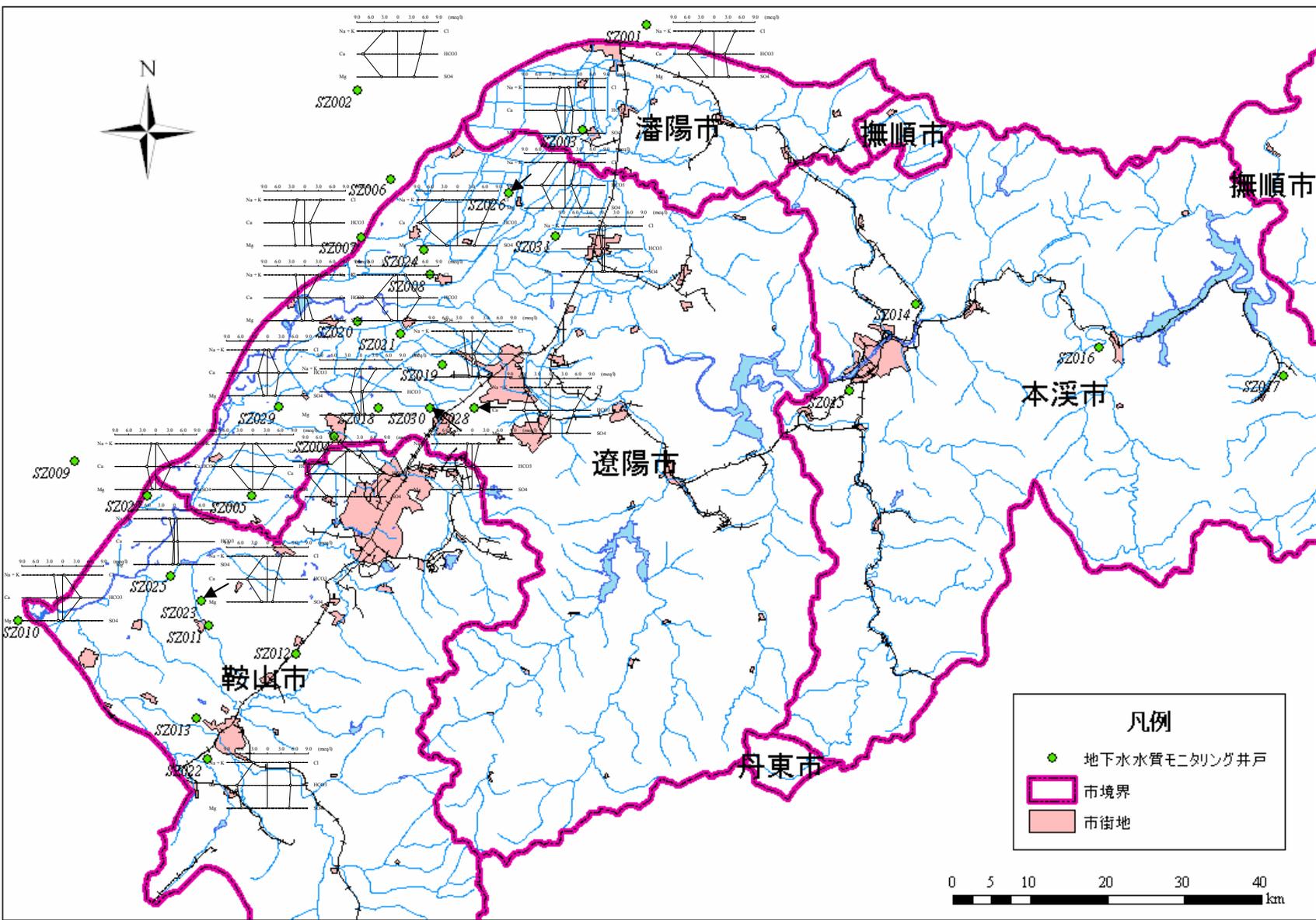


図 2.2.30 ヘキサダイアグラム分布図

出典：JICA 調査団

## ② トリリニアダイアグラム

主要イオン項目（Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>）の2003年分析結果をもとにトリリニアダイアグラム（Piper ダイアグラム）を作成し、水質組成の区分を行った。作成には作成に必要なデータの得られたSZ001～SZ005, SZ007, SZ010, SZ0018～SZ0031の分析値を使用した。図2.2.31に作成したトリリニアダイアグラムを示す。

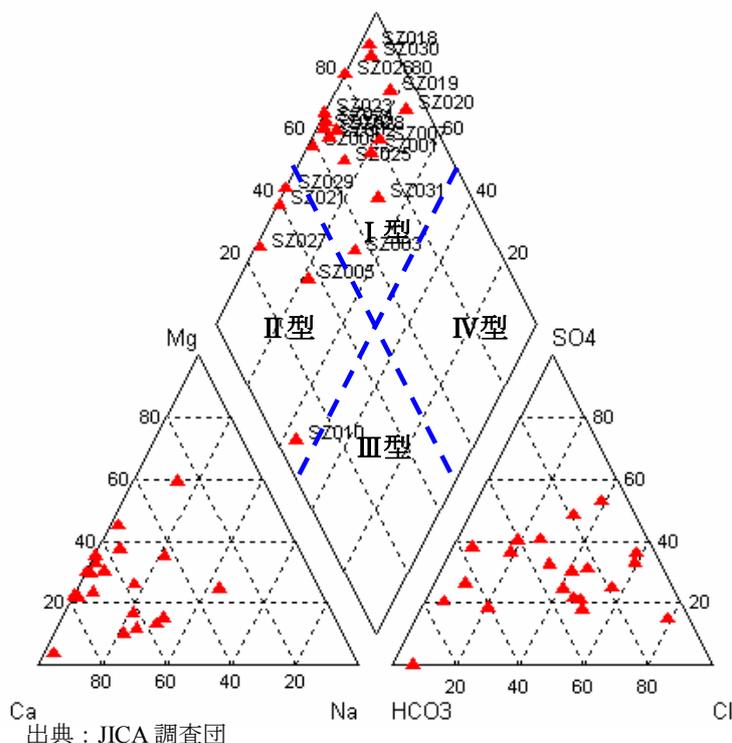


図 2.2.31 トリリニアダイアグラム

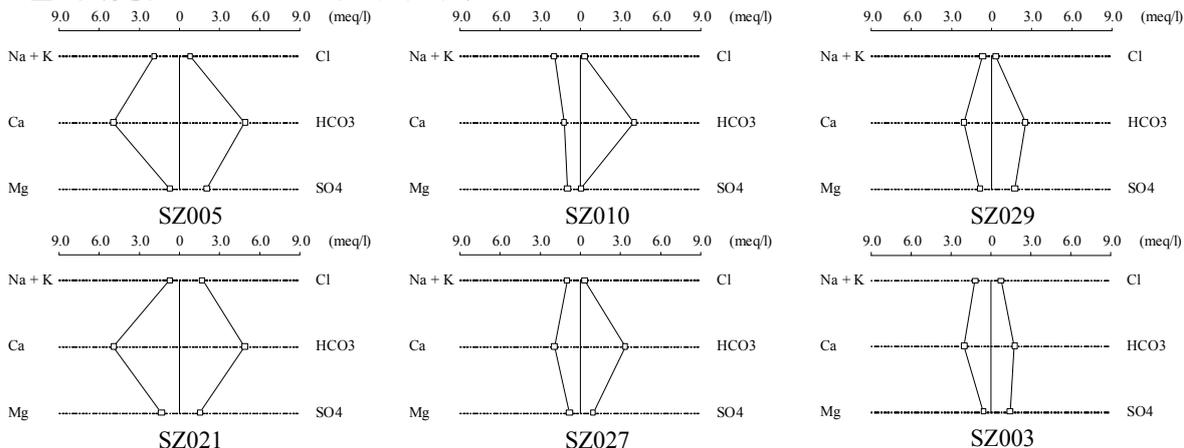
トリリニアダイアグラムでは図中に示したように、プロットされる領域により分析値を4つの型に区分することができる。Iはアルカリ土類非炭酸塩型とよばれ、温泉水に特徴的な型、IIはアルカリ土類炭酸塩型とよばれ、河川水や浅い地下水に特徴的な型、IIIはアルカリ炭酸塩型とよばれ、深層地下水に特徴的な型、そしてIVはアルカリ非炭酸塩型とよばれ、温泉水や油田塩水に特徴的な型である。

図から、SZ005, SZ010, SZ029, SZ021 および SZ027 の3サンプルはII型に分類され、これらを除いた他のサンプルは全てI型に区分されている。

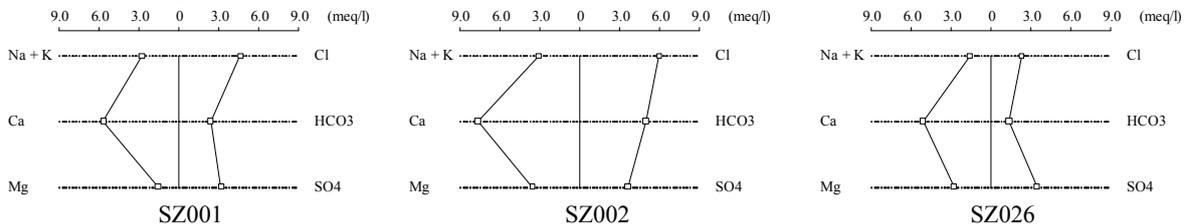
II型に分類された3箇所は全て太子河近傍に位置しており、河川水成分混入の可能性が示唆される。

図2.2.32には上記のII型に分類されたサンプルのヘキサダイアグラムを示す（参考にI型に分類されているがII型の領域に近接した位置にプロットされたSZ003も同時に示す）。また図中にはI型に分類されたサンプルのなかで典型的な形状を示すものも示した。

II型に区分されたサンプルのヘキサダイアグラム



I型に区分されたサンプルのヘキサダイアグラム

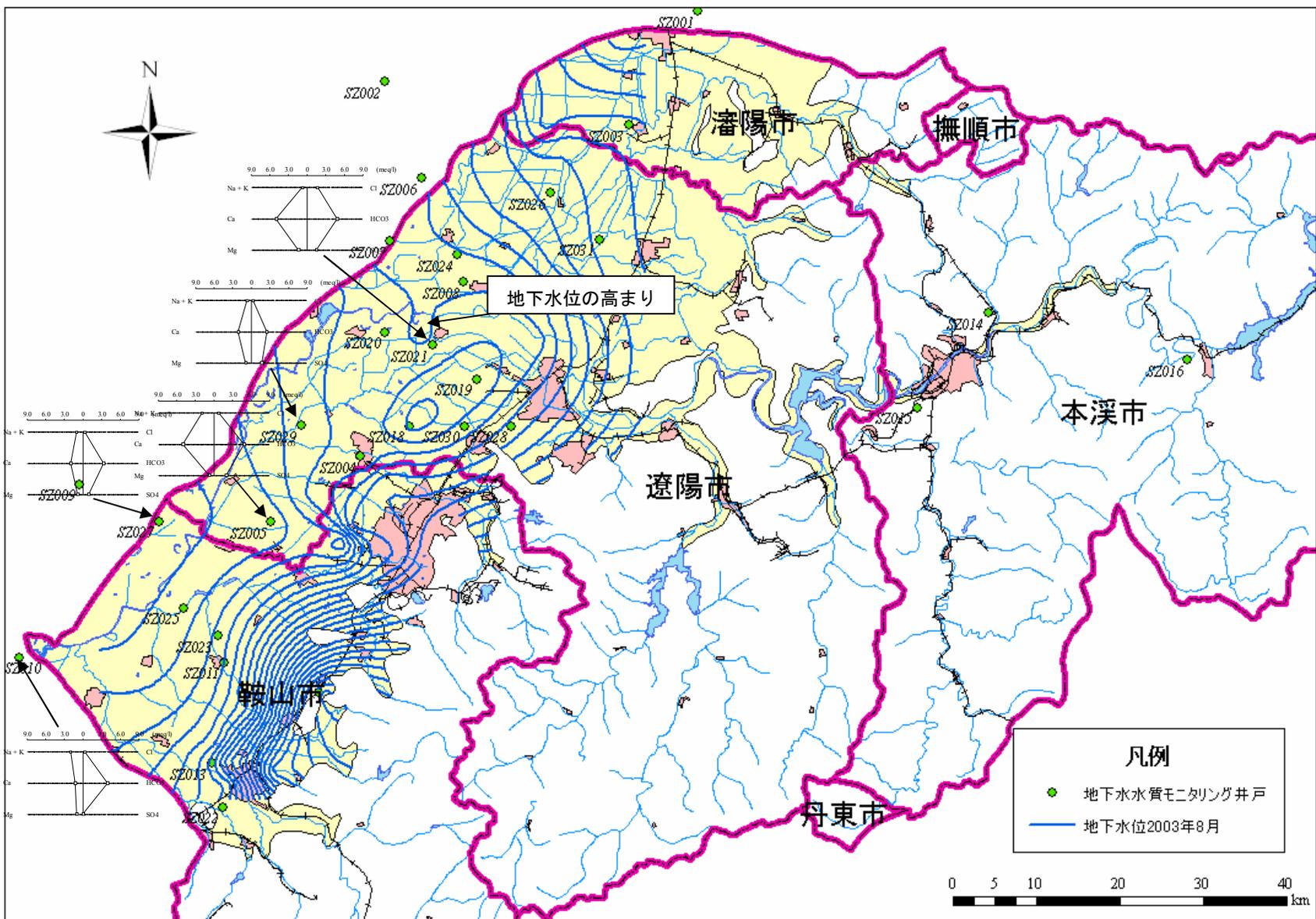


出典：JICA 調査団

図 2.2.32 I、II型に分類されたサンプルのヘキサダイアグラム

上記のなかでII型に分類されたサンプルのヘキサダイアグラムは総じて類似の菱形形状を示しているが、I型に分類されたサンプルのダイアグラム形状は総じて矢印形状を示している。

図 2.2.33 は上記のII型に分類されたサンプルのヘキサダイアグラムを2003年8月の地下水位等高線図上に示したものである。図から特にSZ021地点では地下水位の高まりが生じている箇所と合致しており、本箇所では河川水が伏流している箇所であることが推察される。また太子河の河口付近でも河川水の伏流が生じていることがわかる。



## (g) 地下水水質モニタリングデータの分析結果のまとめ

地下水水質モニタリングデータの分析結果のまとめを以下に示す。

- 今回収集した分析項目のなかで中国地下水水質基準（GB/T14848-93、1993-12-30 実施）を分析値のなかの pH、総硬度、Cl<sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>、Fe<sup>2+</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>に適用した結果、硝酸イオン（NO<sub>3</sub><sup>-</sup>）については分析箇所のお半がV類に分類されており、またアンモニアイオン（NH<sub>4</sub><sup>+</sup>）も 5 サンプルがV類に分類された
- また、総硬度も半数程度がIV類～V類に分類された
- 硝酸イオンの値が高いことから肥料又は尿尿などによる汚染の可能性が示唆されるが、サンプル採取深度が 10m 程度と浅いことから、観測孔への表層からの汚濁物混入の可能性も考えられる
- 2003 年の分析値が地下水水質基準のV類に区分されたサンプルについて 2000 年からの経年変化をプロットしたところ、特段の傾向は確認できなかった
- 塩分濃度の指標値である砒化度の数値は最大で 1,500mg/l 程度の値であり、地下水の塩水化を示唆する値は確認されなかった
- 収集データのダイアグラム表示により水質組成のパターン区分を試みた結果、河川水の伏流が想定される箇所が確認できた

### 2.3 地下水賦存量と地下水収支の検討

#### 2.3.1 地下水涵養量の推定

##### (1) 水収支の考え方

図 2.3.1 には一般的な水循環系の模式図と、系を構成する要素を示した。水収支は物質の質量保存則を水に適用したものであり、次式のように簡潔にあらわすことができる。

$$(\text{貯留量の変化}) = (\text{流入}) - (\text{流出})$$

流出、流入の各要素を考えた場合、次の水収支式が成立する（注：河川及び地下水流入のない閉じた収支域を想定）。

$$\Delta S = P - E - Q$$

$\Delta S$  : 貯留変化量

$P$  : 降水量

$E$  : 蒸発散量

$Q$  : 流出量 =  $Q_{rout}$  (河川流出量) +  $Q_{gout}$  (地下水流出量)

なお、年単位の定常的な水収支を計算するときには、貯留変化量  $\Delta S = 0$  となる。

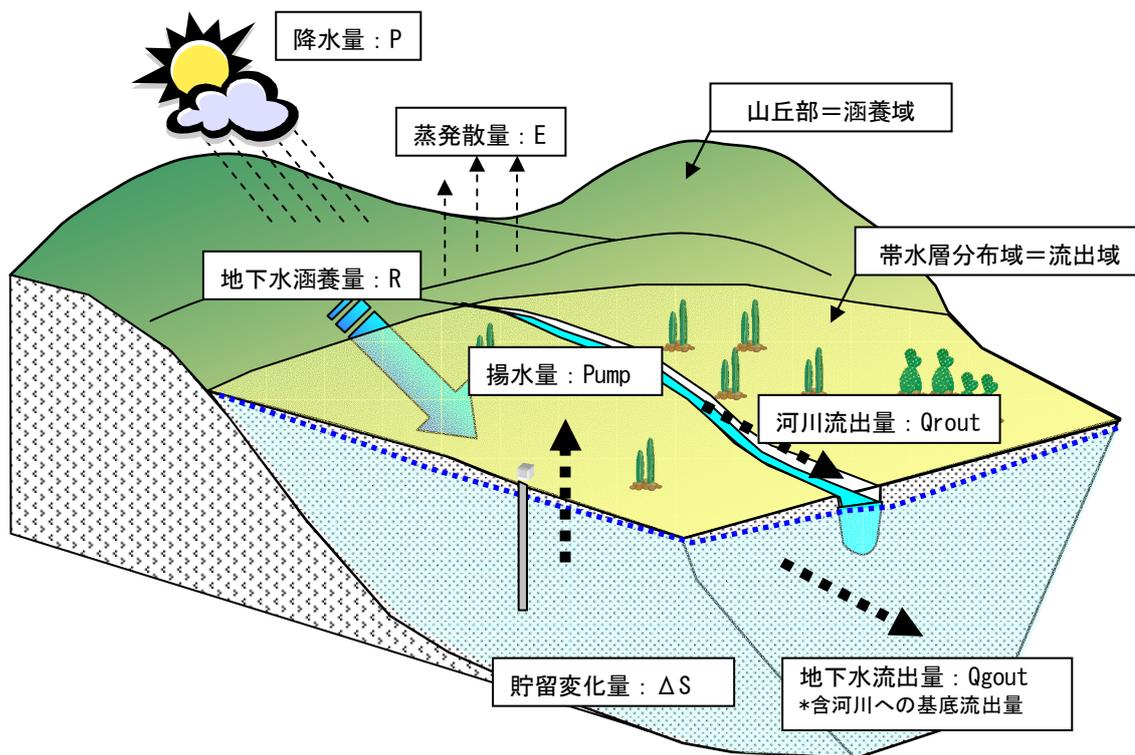


図 2.3.1 水循環系の模式図

出典：JICA 調査団

また、帯水層内の水収支は下式のようなになる（貯留変化量  $\Delta S=0$  と想定した場合）。

$$R = Pump + Q_{gout}$$

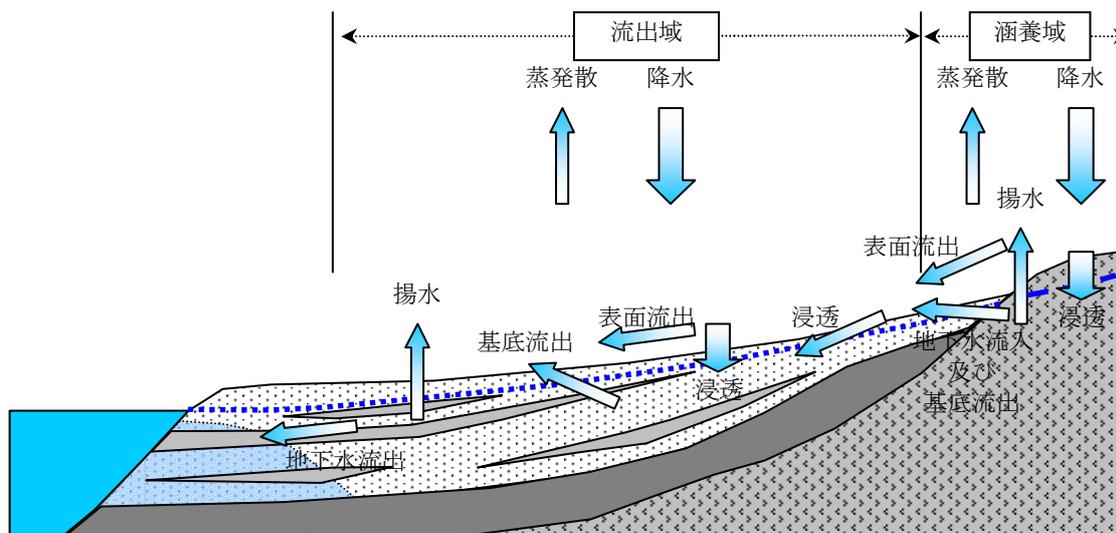
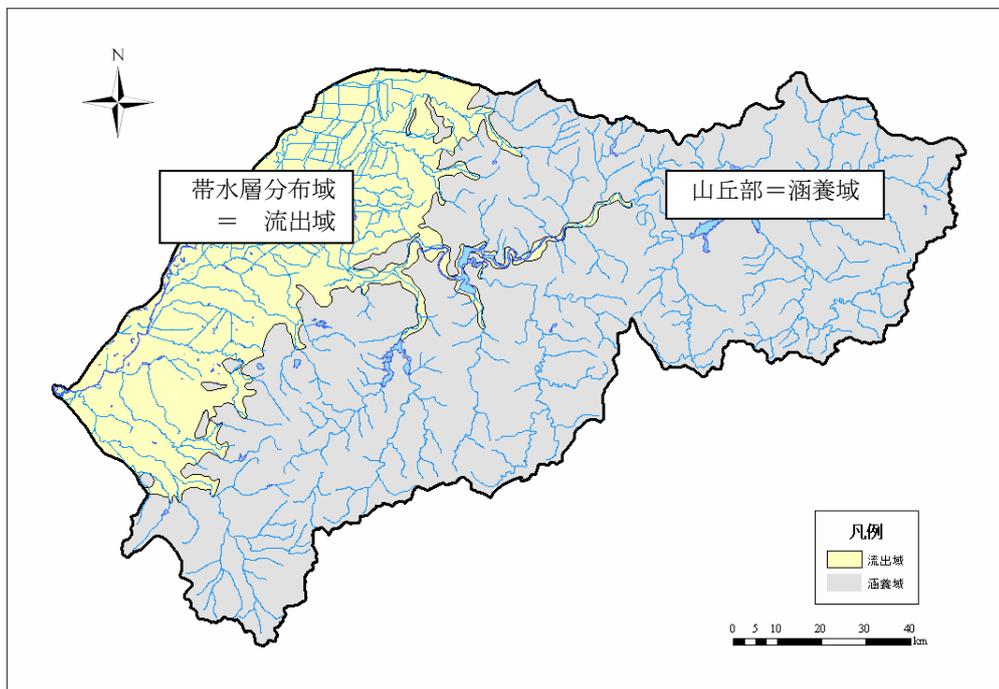
$R$  : 地下水涵養量

$Pump$  : 揚水量

$Q_{gout}$  : 地下水流出量

(2) 太子河流域の水循環系

図 2.3.2 に太子河流域の水循環系想定図を示す。図に示す通り、太子河流域東側の山丘部が涵養域にあたり、西側平野部の帯水層分布域が流出域となる。



出典：JICA 調査団

図 2.3.2 太子河流域の水循環系の模式図

## (3) 地下水涵養量の推定

平野部帯水層分布域における地下水涵養量の推定は以下の方法で行った。

- i) 算定は、既述の地下水収支式； $R = Pump + Q_{gout}$  を用いる（貯留変化量もゼロとする）
- ii) 地下水流出量  $Q_{gout}$  は帯水層から流域外への地下水流去量と、河川への基底流出量からなるが、作成した地下水位等高線図（図 2.2.24）から河口部から流域外への地下水流去量は無いものとする
- iii) 基底流出量は別途収集した河川流量観測データを使用する
- iv) 地下水揚水量  $Pump$  は水利庁発行の統計資料「水資源管理年報」での 2003 年の値を使用する
- v) 地下水揚水量は平野部の瀋陽市、遼陽市および鞍山市での使用量を使用し、撫順市、本溪市の使用量は基本的に山丘部からの揚水であるとする

算定結果を以下に示す。

## [地下水揚水量]

「水資源管理年報」による 2003 年瀋陽市、遼陽市および鞍山市の年間地下水揚水量は 96,039 万  $m^3$  である。残る撫順市および本溪市の年間地下水揚水量は 4,395 万  $m^3$  である（表 2.3.1 参照）。

表 2.3.1 水資源管理年報からの地下水年間使用量(万  $m^3$ )

区域	水資源管理年報			
	総計	農林漁業用	工業用	生活用
太子河全流域	100,434	3,8862	40,958	20,614
山丘部使用量 (A+B)	4,395	140	2,934	1,321
A:撫順市	371	84	97	190
B:本溪市	4,024	56	2,837	1,131
平野部使用量 (C+D+E)	96,039	38,722	38,024	19,293
C:瀋陽市	3,167	2,462	321	384
D:遼陽市	50,923	23,560	17,476	9,887
E:鞍山市	41,949	12,700	20,227	9,022

出典：水資源管理年報（遼寧省水利庁,2004 年）

## [基底流出量]

図 2.3.3 には太子河下流の唐馬寨観測所（11,203  $km^2$ ）の河川流量観測結果を示す。図から基底流量としては  $10m^3/sec$ （=31,536 万  $m^3/年$ ）であることがわかる。この値を太子河流域面積（13,883  $km^2$ ）に換算すると、 $12.39m^3/sec$ （=39,080 万  $m^3/年$ ）となる。

## [地下水涵養量]

得られた地下水揚水量（=96,039 万  $m^3$ ）に基底流出量（=39,080 万  $m^3/年$ ）を加えた値 **135,119 万  $m^3/年$**  が 2003 年の年間地下水涵養量となる。

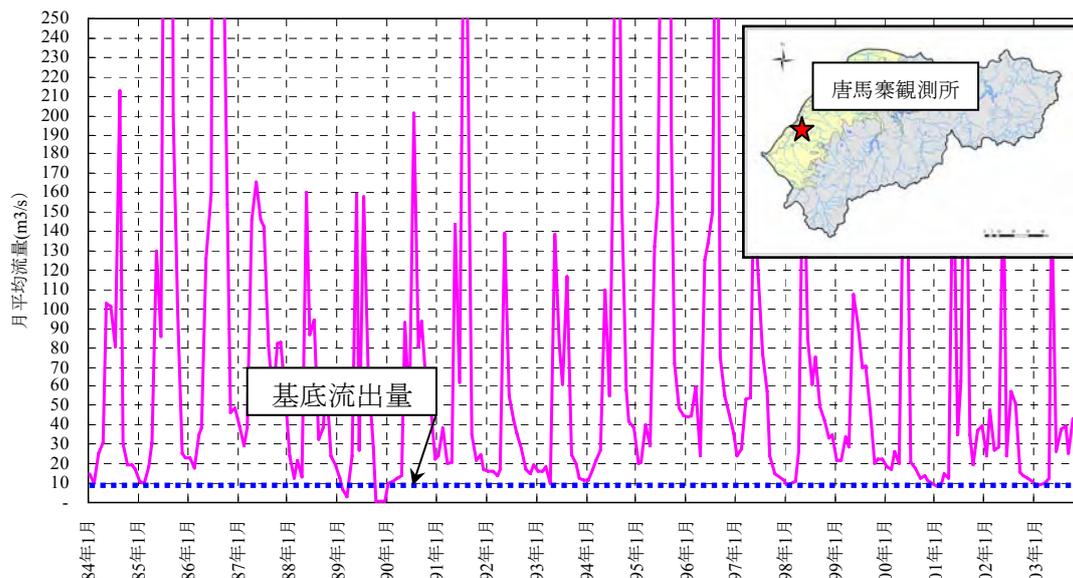


図 2.3.3 唐馬寨観測所河川流量観測結果

出典：JICA 調査団

[山丘部地下水涵養量]

撫順市および本溪市は山丘部において地下水開発を行っている。ここでは同様の手法で山丘部の地下水涵養量を推定した。地下水揚水量は撫順市および本溪市の年間地下水揚水量 4,395 万 m<sup>3</sup> である。基底流出量は本溪観測所（流域面積＝4,324 km<sup>2</sup>）の河川流量観測データから推定した（図 2.3.4 参照）。ここでは、1990 年代後半で基底流量が大きくなっているが、これは観音閣ダム放流による影響と思われる。従ってここでは基底流量としては 1980 年代の値を参考にし、約 4m<sup>3</sup>/sec（＝12,614m<sup>3</sup>/年）とした。この値を太子河流域の山丘部面積（＝10,049 km<sup>2</sup>）に換算すると 29,316 万 m<sup>3</sup>/年となる。この基底流出量は山丘部と平野部との接合部である箇所（河谷の沖積堆積物層）に地下水流入すると考える。山丘部の地下水涵養量は得られた地下水揚水量（＝4,324 万 m<sup>3</sup>）に基底流出量（＝29,316 万 m<sup>3</sup>/年）を加えた値 **33,711 万 m<sup>3</sup>/年** となる。

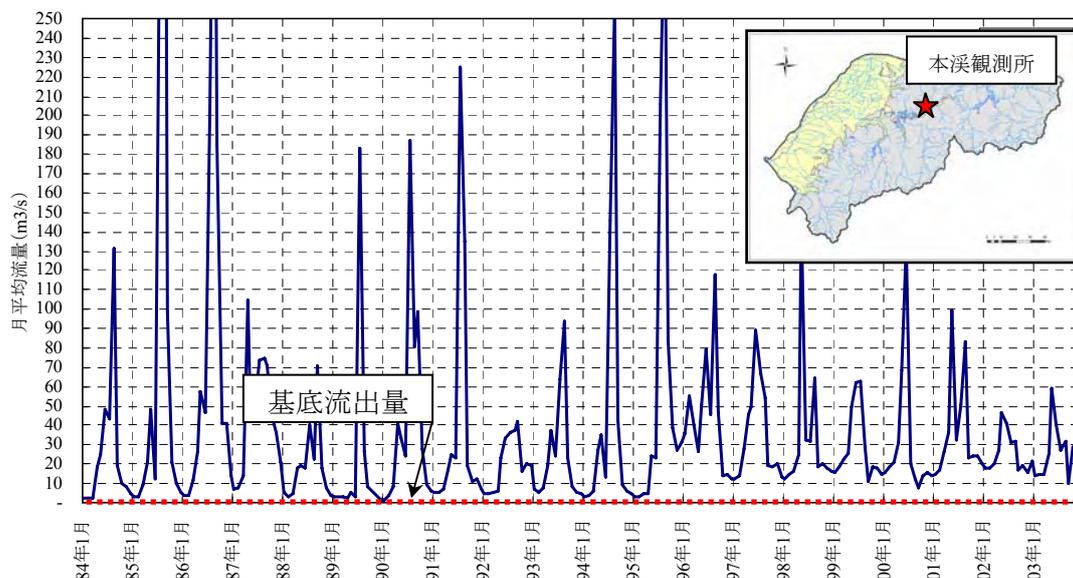


図 2.3.4 本溪観測所河川流量観測結果

出典：JICA 調査団

#### (4) 流域地下水収支

図 2.3.5 には得られた地下水涵養量に基づき、太子河流域の地下水収支を示す。

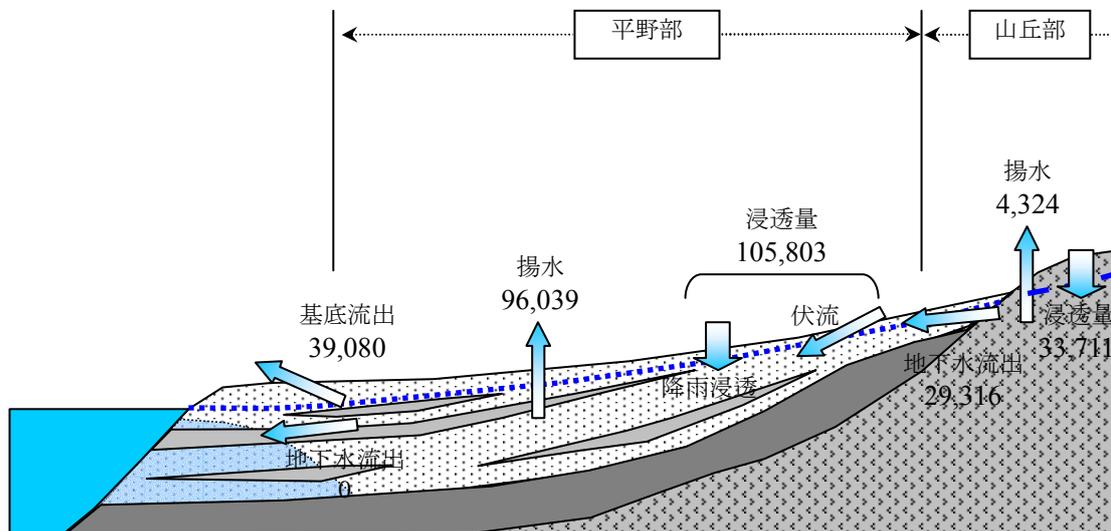


図 2.3.5 太子河流域年間地下水収支図(万 m<sup>3</sup>) 出典：JICA 調査団

図 2.3.5 から流域全体での地下水涵養量は、山丘部浸透量 (=33,711 万 m<sup>3</sup>) に平野部浸透量 (=105,803 万 m<sup>3</sup>) を加えた値 (=139,514 万 m<sup>3</sup>) となる。

#### 2.3.2 エリア別地下水収支の検討

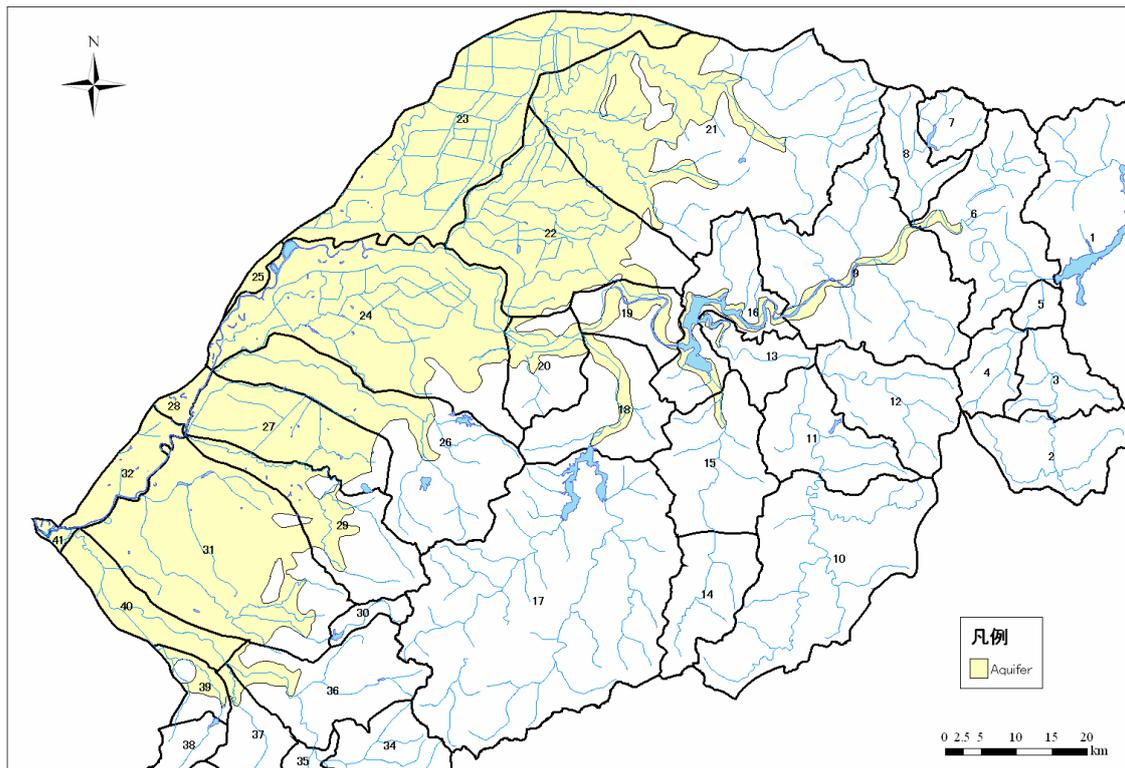
先に算出した流域地下水収支に関して平野部帯水層分布域についてより詳細なエリア別の地下水収支を算出した。算出は以下の流れで行った。

- i) 各小流域毎に地下水涵養量を算定
- ii) 水資源管理公報から太子河流域内 5 市について県・区毎の地下水揚水量を整理
- iii) 得られた地下水位等高線図に基づき、地下水収支算定ブロックを設定
- iv) 各ブロック毎に地下水涵養量と地下水揚水量とを比較
- v) 各ブロック間の地下水流動量を検討し、最終的なエリア別地下水収支を算定

以下上記項目について詳述する。

##### (1) 各小流域毎の地下水涵養量算定

図 2.3.6 に帯水層（更新世、完新世の堆積層）分布域と小流域区分を示す。



出典：JICA 調査団

図 2.3.6 帯水層分布域と小流域分割

各流域毎の地下水涵養量の算定は以下の手順で行った。

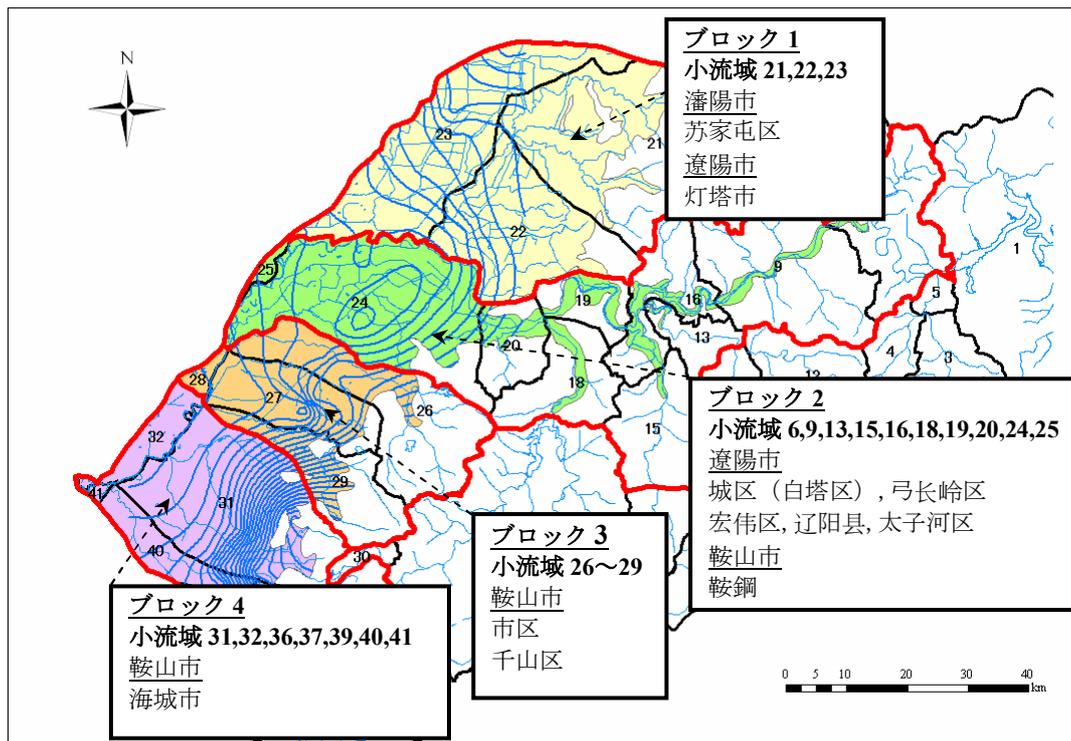
- 各流域毎に小流域面積に占める帯水層の割合（パーセンテージ）を算定
- 求めた割合に従い、すでに求めた平野部全体の地下水涵養量（13.5 億 m<sup>3</sup>）を比例配分する

(2) 県・区毎の地下水揚水量を整理

表 2.3.1 に示したとおり「2003 年遼寧省水資源管理公報」より各県・区別の太子河流域内地下水揚水量の値を得た。

(3) 得られた地下水位等高線図に基づき、地下水収支算定ブロックを設定

地下水等高線図から判明した地下水流動機構に基づき帯水層分布域について地下水収支算定ブロックを設定した。図 2.3.7 にブロック区分を示す。



出典：JICA 調査団

図 2.3.7 地下水収支算定ブロック

ブロックの分割理由は以下の通りである。

- ブロック 1 ではブロック 2 に向かった一つの大きな地下水の流れが存在する
- ブロック 2 では山丘部からの地下水流動とブロック 1 からの地下水流動が合流するが、その後下流への地下水の流れはなくなり一つの閉じた流動系を形成している
- ブロック 3 及びブロック 4 とともに、それぞれ南東から北西に向かった閉じた地下水流動系を形成している

(4) 各ブロック毎に地下水涵養量と地下水揚水量とを比較

表 2.3.2 及び図 2.3.8 には各ブロック毎の地下水涵養量と地下水揚水量の集計結果を示す。

表 2.3.2 ブロック毎の地下水収支算定結果(万 m<sup>3</sup>)

ブロック	地下水涵養量：R	地下水揚水量：P	収支：R-P
1	小流域 21,22,23 瀋陽市：苏家屯区 遼陽市：灯塔市		
	51,930	22,334	+29,596
2	小流域 6,9,13,15,16, 18,19,20,24,25 遼陽市：城区（白塔区），弓长岭区 宏伟区，辽阳县，太子河区 鞍山市：鞍鋼		
	32,746	47,416	-14,670
3	小流域 26~29 鞍山市：市区， 千山区		
	19,643	9,319	+10,324
4	小流域 31,32,36,37, 39,40,41 鞍山市：海城市		
	30,801	16,970	+13,831

出典：水資源管理年報（遼寧省水利庁,2004 年）  
及び JICA 調査団

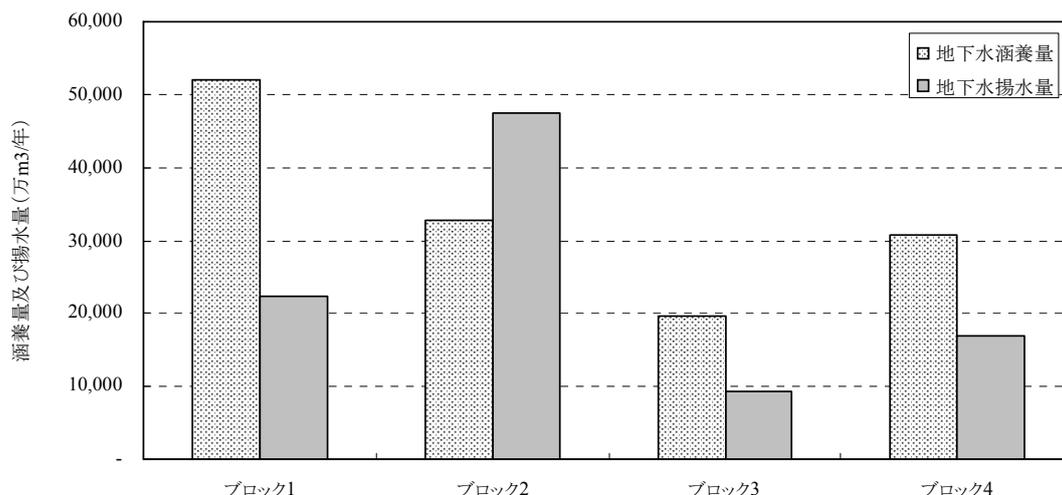


図 2.3.8 ブロック毎の地下水収支算定結果 出典：水資源管理年報 (遼寧省水利庁, 2004 年) 及び JICA 調査団

図表から、ブロック 2 では地下水揚水量は地下水涵養量を上回っており、地下水収支はマイナスになっていることがわかる。一方他のブロックはプラスになっている。

(5) 各ブロック間の地下水流動に関する検討

前項で算定したブロック間の地下水収支ではブロック間の地下水流動や河川への地下水流出 (基底流出) などを考慮していない。そこで、図 2.3.9 に示す仮定条件を設定して各ブロック間の地下水流動に関する検討を行った。

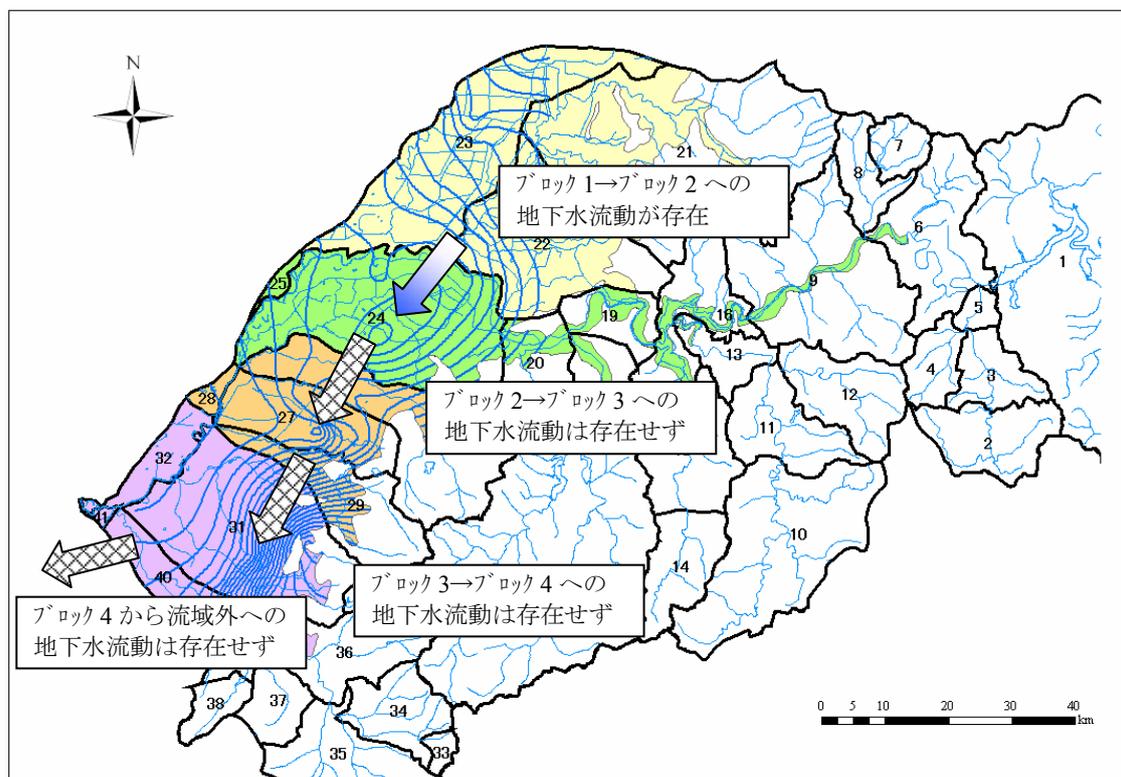


図 2.3.9 ブロック間地下水流動検討に関する仮定条件 出典： JICA 調査団

ブロック1～ブロック2への流動量はダルシーの法則に従い、2003年8月の地下水位等高線図から得られる動水勾配、水理地質断面図から得られる帯水層厚および透水係数の一般値を使用して算定した。河川への基底流出量は河川流量観測結果を参照した。図2.3.10に算定結果を示す。

図2.3.10から、ブロック2ではブロック1からの地下水流入による補給があるものの、基底流出量を考慮すると最終的に地下水収支はマイナスとなった。その他のブロックでは地下水収支はプラスとなった。

(6) ブロック間水収支の検証

こうして算定した各ブロック間の地下水収支について、簡便なモデルを用いて月別の地下水の貯留量変化(=地下水位変化)をシミュレートし実際の観測地下水位を再現することによって検証を試みた。

a) 地下水位のシミュレート方法

地下水位のシミュレートは以下の方法で行った。

- i) 地下水涵養量は各ブロックの年間涵養量を月降水量の分布に従って配分した
- ii) 地下水揚水量は工業用水および生活用水はブロック毎の年間揚水量を毎月等量配分した
- iii) 農業用水は年間揚水量を耕作時期にあわせた配分比率(農業用水として別途算定)に従い配分し、最終的には実測水位にあうよう配分比率を調整した
- iv) 基底流出量は地下水涵養量と同様に月降水量の分布に従って配分した
- v) 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が貯留変化量となるが、この値を流域面積で除した後、有効空率(0.05~0.1を使用)で除して地下水位を求めた

b) 入力データ

図2.3.11には上記方法によって得られた各ブロック毎の入力データを示す。

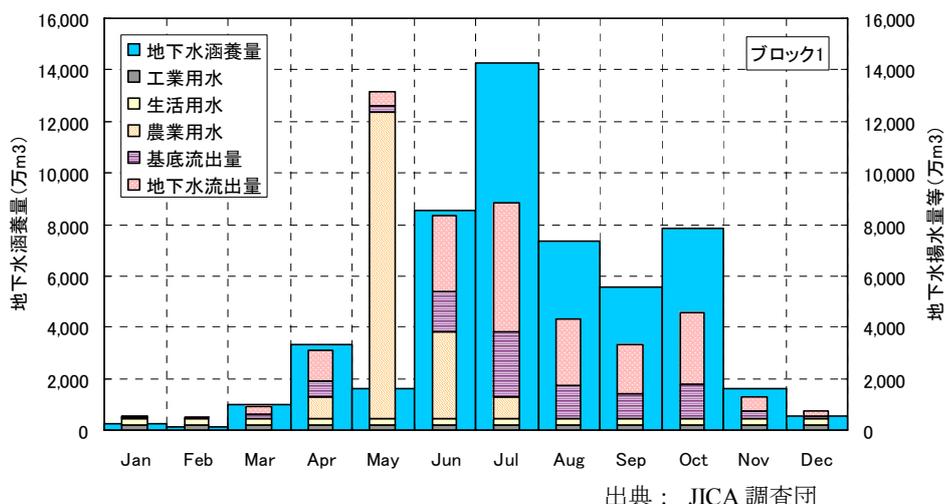
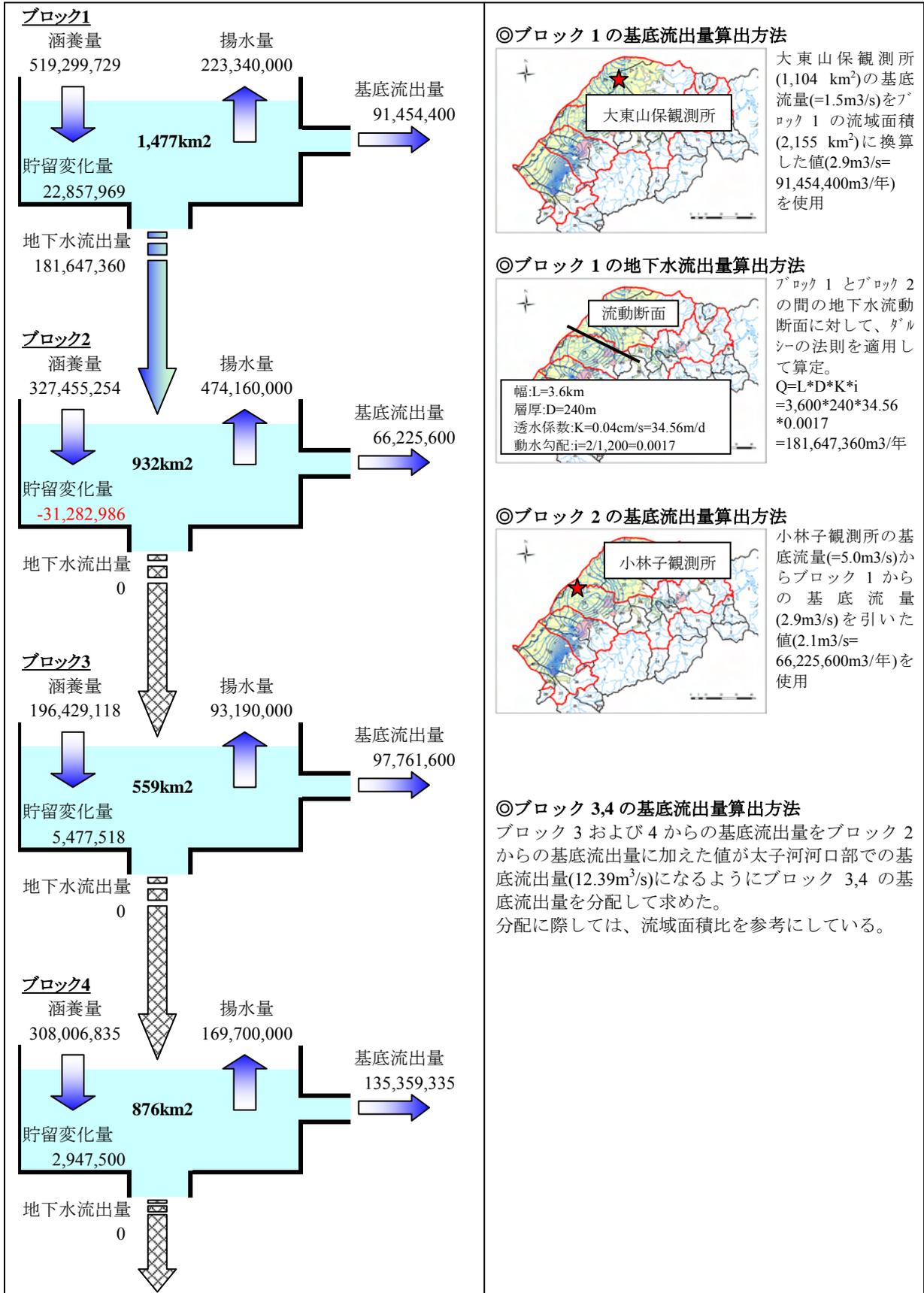
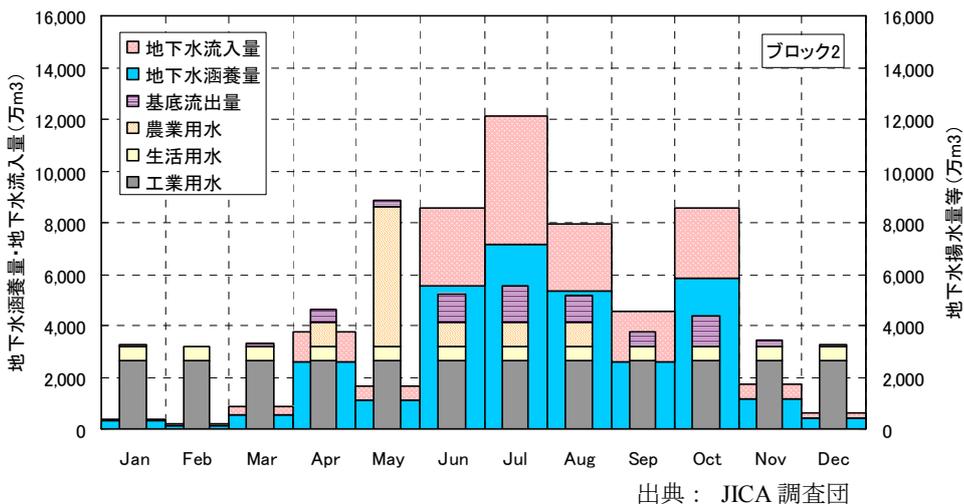


図 2.3.11(1) ブロック間地下水流動検討用入力データ(ブロック1)

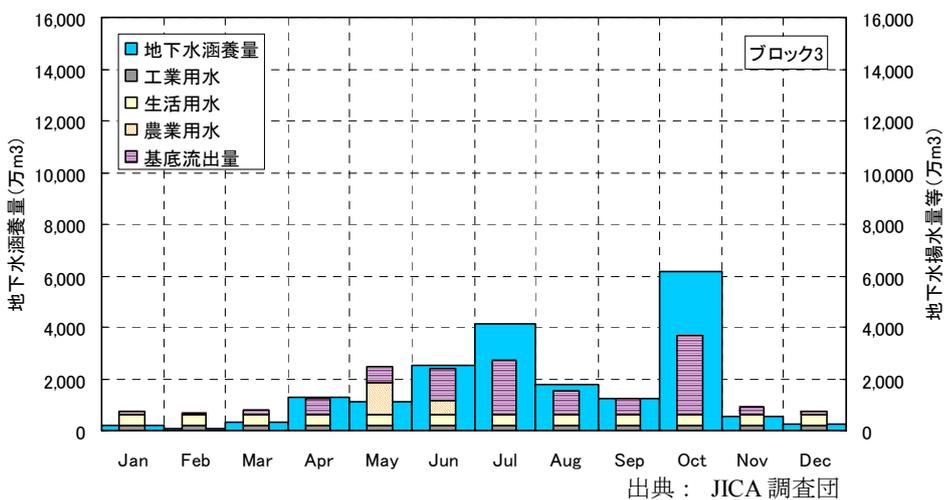


出典： JICA 調査団

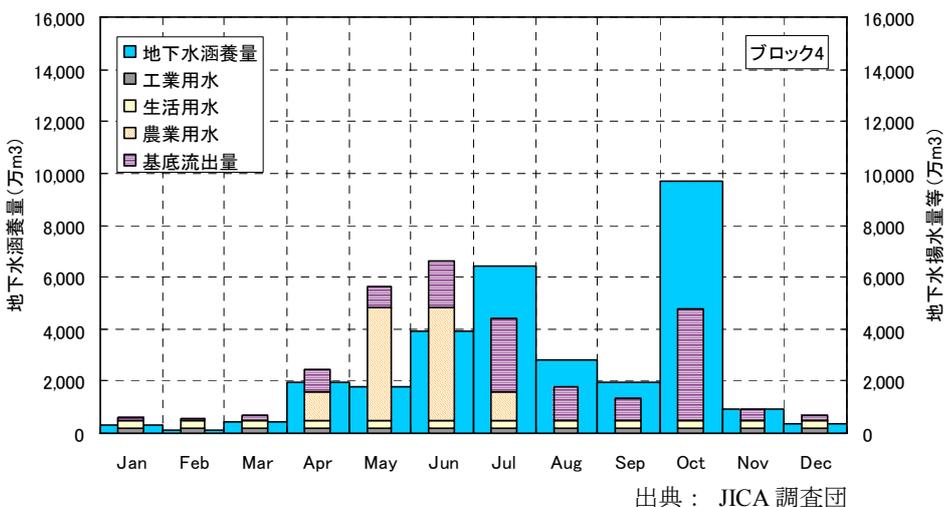
図 2.3.10 ブロック間地下水流動検討結果



出典： JICA 調査団  
 図 2.3.11(2) ブロック間地下水流動検討用入カデータ(ブロック 2)



出典： JICA 調査団  
 図 2.3.11(3) ブロック間地下水流動検討用入カデータ(ブロック 3)



出典： JICA 調査団  
 図 2.3.11(4) ブロック間地下水流動検討用入カデータ(ブロック 4)

c) 地下水位シミュレート結果

図 2.3.12 に地下水位のシミュレート結果を示す。図中には再現に用いた当該ブロック中に存在する地下水位モニタリング井戸の観測水位を示す。

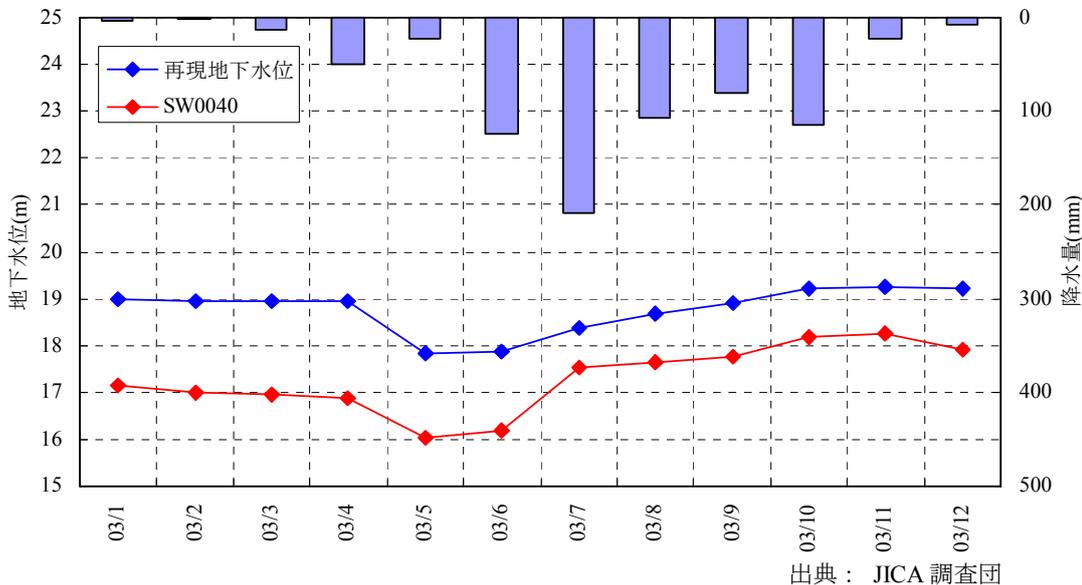


図 2.3.12(1) 地下水位再現結果(ブロック 1)

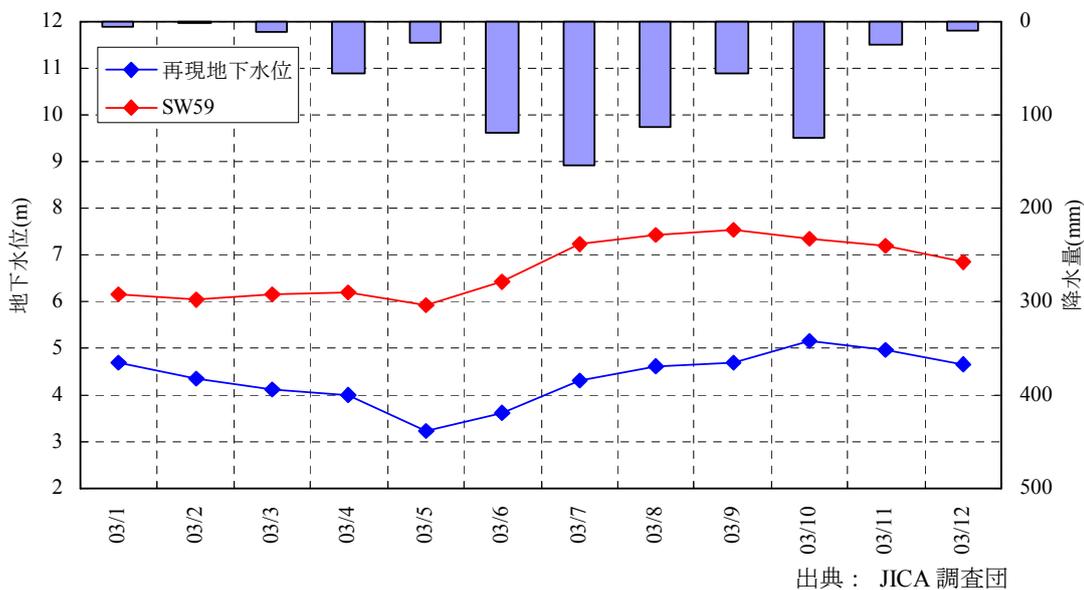


図 2.3.12(2) 地下水位再現結果(ブロック 2)

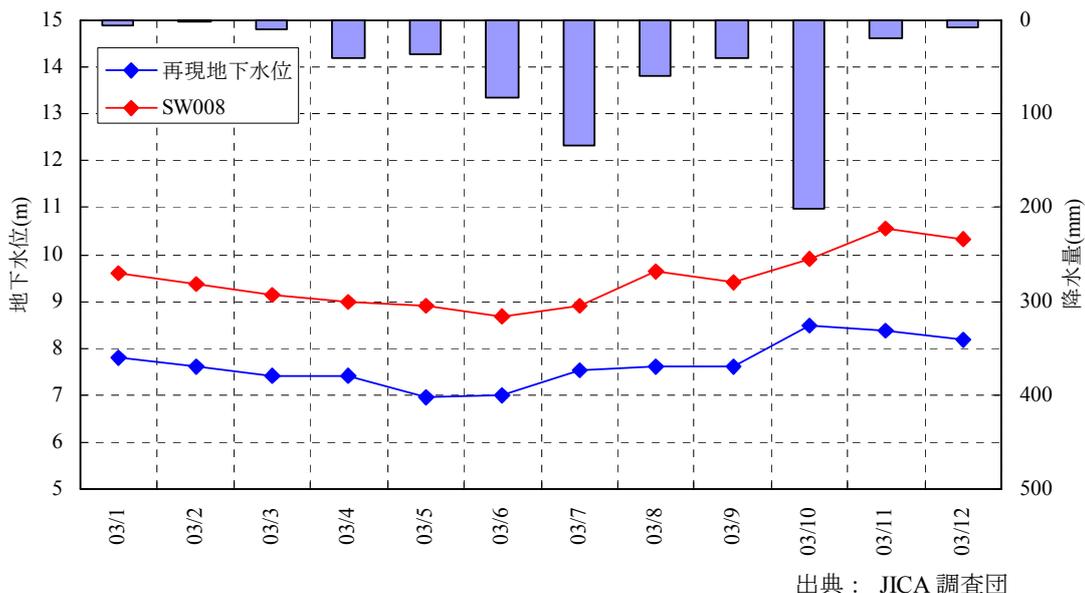


図 2.3.12(3) 地下水位再現結果(ブロック 3)

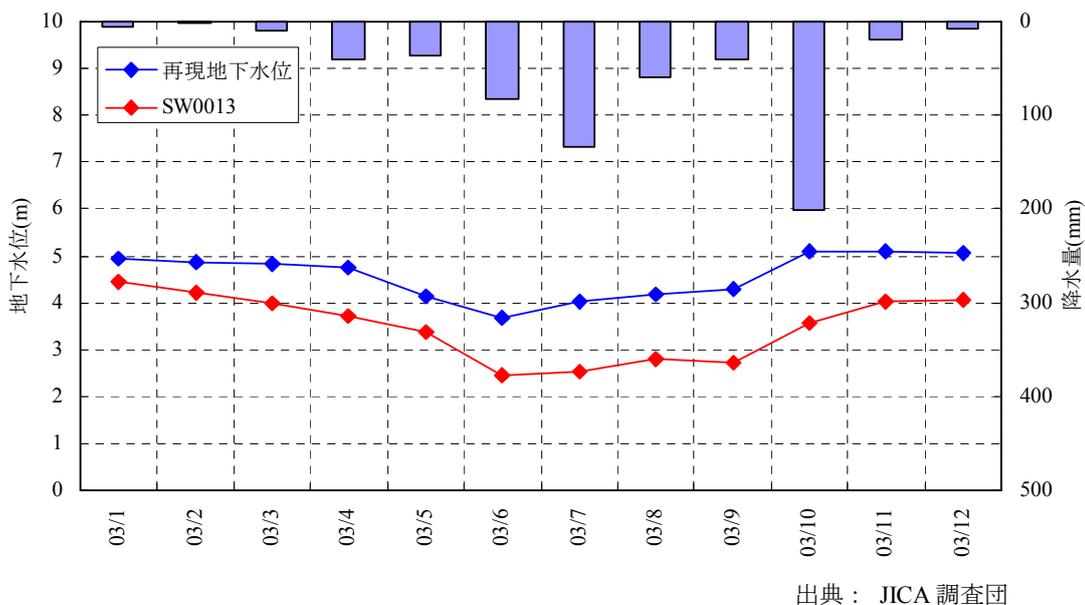


図 2.3.12(4) 地下水位再現結果(ブロック 4)

図のとおり、各ブロックについてシミュレートした地下水位はブロック内のモニタリング井戸観測地下水位と同等のものが得られた。