社会開発調査部報告書

No. 42

国際協力事業団

中華人民共和国水利部

中国
内蒙古自治区托克托県
地下水開発計画調査

最終報告書
要約

1999年3月

JICA LIBRARY
J 1149822 [7]

住鉱コンサルタント株式会社
八千代エンジニヤリング株式会社

社調
S C
99－049

国際協力事業団

中華人民共和国水利部

中国
内蒙古自治区托克托県
地下水開発計画調査

最終報告書
要約

1999年3月

住鉱コンサルタント株式会社
八千代エンジニヤリング株式会社

1149822 [7]

序　文

日本国政府は、中華人民共和国政府の要請に基づき、同国の内蒙古自治区托克托県地下水開発計画にかかる調査を行うことを決定し、国際協力事業団がこの調査を実施いたしました。

当事業団は、平成９年３月から平成１１年３月までの間３回にわたり、住鉱コンサルタント株式会社の篠田晃一氏を団長として、同社および八千代エンジニヤリング株式会社から構成される調査団を現地に派遣しました。

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

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

終わりに、本調査にご協力とご支援をいただいた関係各位に対し、心より感謝申しげます。

平成　11　年　3　月

国際協力事業団

総裁　　藤田公郎

中華人民共和国地質図集 1971

調査地域位置図

N
永聖域郷
伍什家郷
黒城郷
南的力図 894
(東雲寿 877)
(朱什牧 329)
高富宮 150
(古紅岱 373)
(新大宮 248)
永聖域 1124
(什力格図 2153)
(水泉 219)
(満水井 117)
(新地聚 116)
(山麓宮 106)
西黒沙図 229
東黒沙図 214
(太水宮 98)
格聚 218
(南郭堰宮 494)
小宮子 179
肥扎日 263
(剛嶺宮 206)
紅房湾 439
黄家宮 255
(維俊宮 279)
(大庫倫 429)
(西大格達 415)
(東大格達 364)
伏士窩 658
(大北窩 1157)
舞旺庄 585
御家窩 434
何宝宮 332
(荒地窩 386)
主力漢 533
新河 1007
(小井壕 407)
(雑家聚 264)
小北窩 634
樹林 216
伍什家
(異茂 207)
高火窩 495
什拉乌素壕 1322
白武宮 435
(鉄匠宮 644)
宮地宮 359
哈達図壕 1623
什家壕 112
(北杜家壕 350)
南杜家壕 275
(高家西湾 360)
(鮑家西湾 202)
小伍什家 314
苗通宮 77
何富召 107
節根格 192
西火窩 54
(山西庫倫 177)
北一間房 428
南一間房 178
(南島窪営 26)
(三連利 199)
(油房宮 166)
(沙格洞 122)
(新庫倫 261)
(田丙宮 55)
(東庫倫 162)
小揚三窩 55
(新旺鎮 188)
合同宮 381
大揚三窩 89
(鉄房 144)
(北門 869)
(丁党家宮 266)
(上馬士窩 315)
黒城 3430
下馬士窩 687
(沙坡窩 575)
通倫呼郷格 64
大路畔 179
銅上 148
半湾 106
五倶牛湾 204
伍家宮 436
(黒水泉 2534)
乃同 431
王玉宮 531
西家窩 321
南宮子 133
(鮑合窩 100)
(鉄匠窩 194)
(剛嶺宮 354)
(庫倫図 122)
手頂窩 205
凡　例
(村落名)　調査対象村落
●　改水施設未整備村落
村落名　改水施設あるも水質不良村落
□　井戸建設予定村落
←　送水計画経路（1期施工）
←‥‥　送水計画経路（2期施工）
村落名 3430　2010年推定村落人口
←‥‥‥　既存給水施設
0　5　10km

給水施設計画図

中国内蒙古自治区托克托県地下水開発計画調査

調査期間：1997年 3月 ～ 1999年 3月
受入機関：水利部牧区水利科学研究所

概　要

1. 背景

中国内蒙古自治区托克托県（総面積1.398.7km²、人口17.7万人）は大陸内陸部の高原地帯にあり、降水量が少なく地表水も限られており、水不足がこの地域の発展を妨げている。最貧県に属する同県は、経済的に非常に厳しく、国家計画の第８次、第９次５カ年計画にも深層地下水の開発利用が組み入れられていたにも係わらず、資金不足から充分な調査は未だ行われていない。

また、同県は地表水、地下水に含まれる濃度の高いフッ素、ヒ素に起因する風土病の発生率が高く、加えて、現在利用されている地下水は、一部を除いて浅い地層より得られたものであり、生活排水、牧畜等の排水の影響も受けている。このように、事態は深刻であり、地下水の開発利用と水環境の整備は、この地区の経済発展と住民生活の改善に大きく資するものである。ついてはこれら問題解決のために、安全かつ安定的な地下水の利用可能量等の詳細な調査を実施する必要があった。

２．目的

本調査の目的は次の3項目である。

1)　内蒙古自治区托克托県の３郷（永聖域郷、伍什家郷及び黒城郷）において、地下水資源開発の可能性を調査する。
2)　安定的かつ安全な飲料水を供給するため、地下水による水供給計画を策定する。
3)　本件調査を通じて、中国側カウンターパートに技術移転を行う。

３．調査対象地域

本調査の調査対象地域は、内蒙古自治区托克托県の３郷（永聖域郷、伍什家郷及び黒城郷，面積計 556Km²）、対象村落数は中国側との協議で最終的に４３か村となった。

４．計画の概要

調査地域の地下水賦存状況は、調査地域の中央部を北北東―南南西に伸びる伏在断層によって２分される。この断層の北側では、下部更新統が深層被圧帯水層を形成し、南側では白亜系の砂岩・泥岩互層が深層被圧帯水層となっている。これら帯水層の水質は、前者の帯水層地域は南東端の一部を除きほぼ全面的にヒ素、フッ素に汚染され、飲料水としては不適で、永聖城郷及び伍什家郷の大部分がこの地域に含まれる。これに対し後者の帯水層の水質は良好で、黒城郷がこの地域に含まれる。

以上の水理特性から、永聖域郷及び伍什家郷では、飲用水として安全な地下水水源の賦存は、地域的に極めて限定されており、かつ、既に改水事業が実施された村落についても水質改善の必要性が高く、この２つの郷における給水計画の基本は次のように要約される。

1) 飲用水として安全な地下水水源の賦存地域から、不適な地下水の地域へ送水する等、広域的な対応の計画と成る。
2) 広域的な給水計画では、計画対象村落として選定された４３村落のみを対象とした計画は現実的でなく、３郷内の全村落を対象とする計画が妥当と考える。

4-1 基本方針

(1) 目標年を2010年とする。
(2) 給水施設建設対象村落は３郷内の給水施設未建設村と、給水施設建設村落での水質の悪い村落とする。
(3) 計画給水率は、2010年で100％ 給水を目標とする。
(4) ３郷の將来人口は42,700とする。

(5) 給水計画原単位は50L/人・日とする。
(6) ３郷合計の年間給水量は約780,000M³/年となる。
(7) 給水水質基準は農村生活飲用水衛生基準、準則３級を適用し、フッ素(F)、ヒ素(As)についてはそれぞれ1,5mg/L、0.05mg/Lとする。

4-2 計画内容
(1) 給水方式
計画目標年２０１０年での給水方式は、原則として、村落内に良質な水質の水源がある場合には、村落毎に独立した給水系統の各戸給水施設の設置。一方、村落内に安全な水が確保できない場合には、外部からの導水を考慮する（広域送水幹線網）。ただし、運営・維持管理の組織面の理由から、外部導水の場合も同一の郷内に水源を求める。

(2) 村落給水計画及び水源
各郷の概略施設計画での計画対象村落は、給水施設未設置村と、施設はあり当面水量・水質に問題ないが（若干の水質汚染が生じている場合も有る）計画目標年までには水質悪化あるいは水量不足のため、新水源から導水の必要となる可能性の高い村で、その数と位置は表―１と給水施設計画図に示す。

表―１　対象村落数、掘削井戸数及び2010年人口

郷名	対象村落数	掘削井戸数	2010年人口　(人)
永聖域郷	１９　(2)	―	7,３０３
伍什家郷	２７(１６)	2	１０,５９９
黒城郷	１６(１１)	8	6,４０１
合計	６２(２９)	１０	２４,３０３

＊(　) 内は給水施設設置村数、内数

永聖域郷
全ての地域が主要伏在断層の北部に含まれ、郷南東部、新地梁村の近辺を除く地域では水質基準を満たす水源は得られない。水源は新地梁村生産井（可能揚水量１,０００m³/日,最終揚水量５００m³/日）を使用する。新地梁村に送水センターを設置し、５系統の送水幹線による全村落への送水とする。

伍什家郷
主要伏在断層の北部では、水質基準を満たす水源は得られない。一部の浅層地下水を利用する既存給水施設では、将来の水質悪化の恐れもあり広域的な水源確保の対応が必要である。水源は伍什家郷内の主要伏在断層の南部に胚胎する白亜系帯水層を対象とする。
既存の世銀開発計画である一間房系統の完成に加え、南一間房付近と南島窪営に新たに水源井戸を設置し、それぞれ、郷西部地域及び北部地域へ３系統の送水幹線を通じ、全村落への導水とする。灌漑用水を用いた代案は比較検討の結果、今回の給水計画では、郷内で水源が確保される地下水利用案が経済的であると判断された。計画案は地下水開発＋送水ポンプシステムとする。

黒城郷
全域が伏在断層南部に位置し、飲用水水質基準を満たす白亜系帯水層が開発対象となる。
南部の張全営、黒水泉及び乃同周辺は給水施設の整備が完了しているが、黒城あるいは合同営等の浅層地下水を利用する一部の既存給水施設では、現在水質悪化が進み、水質改善の必要が生じている。本郷では基本的に運営、維持管理の容易な独立系の給水施設を計画する。一部の人口の少ない村落では井戸掘削費用との比較で２～３か村の共同利用を考慮する。新規井戸掘削８ヶ所およびそれに伴う水源共同施設が計画される。

(3) 給水施設
1) 広域送水幹線網
① 水源用深井戸　②送水ポンプ　③送水幹線　④中継ポンプ

2)村落内給水施設

① 水源用深井戸 ②送水ポンプ ③圧力タンク ④ポンプ建屋 ⑤各戸給水用配管網

5．必要な事業費

表--2 給水施設毎事業費 単位（千元）

郷名	1期施工			2期施工			合計		
	広域	村落	小計	広域	村落	小計	広域	村落	小計
永聖域	1,536	91	1,627	1,361	—	1,361	2,897	91	2 988
伍什家	9,359	1,375	10,734	484	—	484	9,843	1,375	11,218
黒城	3,443	444	3,887	617	—	617	4,060	444	4,504
合計							16,800	1,910	18,710

6．運営・維持管理計画

農村給水事業を円滑にするために、監督機能と運転機能を強化する組織整備を行う必要がある。また組織整備のための要員育成が早急に始められるべきである。

監督組織として、県の水利局・改水項目弁公室・衛生局（防疫站）が主体となり、運転組織に対する技術的指導と財政的支援を行う必要がある。必要な機能としては主に料金設定、運転修理等に関する基準作成と運営の監督、運転要員訓練及び施設建設・更新にかかわる技術・財政支援である。運転組織としては、郷毎に農村供水公司を設立し管理小組により実施される各村落系統の運転・日常点検等を指導支援するとともに、広域送水系統については直接運転を行うことを提案する。

施設建設後の運転・維持管理費は水道料金収入により賄われるべきである。さらに小規模で経済的に貧しい村落の負担を軽減するため、公司の費用、広域施設の運転・維持管理費および村落内施設の修理積立金は、郷全体の均一料金で負担されることが望ましい。しかし、村落内給水の運転費は使用量を管理するため村落毎に設定し徴収することとしたい。

水道料金は、三郷で施設内容が異なり、1.3～1.7元/人・月と推計され、ほぼ全村落で住民の負担が可能であると考えられる。

7．評価

7-1 経済・財務分析

(1)経済評価

本計画の事業効果を経済便益として定量化することは難しいが、給水施設が新たに整備され、衛生的な水が供給されることによる水汲み労働時間の軽減、疾病の減少による医療費の減少および生産の増大は、事業の経済費用を上回るものと評価できる。また副次的効果として、雇用の増大、生活のアニメティの向上等が期待できる。

(2)財務評価

これまでの村落内の水源による給水と異なり、広域での水源確保・送水の必要性が生じたことにより、施設建設の費用が増大し、建設費のほぼ全額補助がなければ計画事業は財務的に成立しない。しかし政府補助を前提とすれば、本計画で設定された水道料金は、住民の負担が可能であり、施設の維持管理の実施が財務的に可能なものとなっている

7-2 社会評価

(1)住民のニーズ・対象地域の特性との適合性

水質と水因性疾病の関連について住民の理解は高く、また給水事業を望む住民の比率も高いことから、施設は住民の要望にそったものとなっている。また対象地域では家畜、家禽の放し飼いが多いがこれにより水源（井戸）が汚染されないような計画となっている。

(2)実現の可能性

1)事業用地は、主に村落内の共用地が使用されており、用地確保は比較的容易である。

2)担当行政機関である托克托県水利局および衛生局は、農村給水の維持管理面についてはまだ体制が充分に整備されていない。このため運営組織計画において管理・指導・監督・支援する

ために必要な組織が実現可能性を考慮して立てられている。また衛生改善のため衛生教育委員会の設立が提言されている。

(3)持続可能性

料金設定については、料金の一部をすでに給水されている村落を含めて、郷レベルでの一律料金制が提言されており、料金支払い能力の低い世帯・村落での事業実施可能性を高めるよう配慮されている。

(4)便益分配の公平性,社会的不利益の最小化についても評価されている。

7-3 環境・技術評価

1)環境

環境への影響は、地下水開発による飲用水供給事業であることから、「揚水による地下水源への影響」と「給水による生活汚水の発生」が指摘される。その何れについても、影響が軽微であることが確認された。

2)水源開発

—安全な水の確保

良好な水質の白亜系帯水層の賦存が地域的に特定され、永聖域、伍什家郷ではその安全な水の得られる開発可能な地域が明確化された。全て村落内で処置することはできないが、郷内での補完が可能となった。

—持続的開発

計画給水量と農業利用を含む揚水量を用い、長期的揚水による地下水位の低下及び水質への影響が、シュミレーションにより検討され、持続的な開発が可能であることが確認された。

3)給水計画／給水施設計画

—安全な水の供給

調査対象地域内では、給水施設が未整備で不衛生な水使用の村落がまだかなりある。また、多くの地域で、地下水にフッ素が高濃度で含まれ、その中毒症状が発生している。これらに対し、本計画では飲用水水質基準を満たす安全な水が、郷内の全住民に供給されることになる。

—適正技術

計画された給水施設が持続的に運営維持されて行くためには、計画対象地域の社会・経済条件及び技術的水準に見合った適正技術の適用が重要である。本計画では日常的な維持管理は村民の手で実施されることになり、この点が給水施設設計において考慮されており、これらの事項は以下の通りである。

- 維持管理の容易な極めて簡単な給水機構の採用
- 凍結防止対策
- 運転員が農業を兼ねることを考慮し、農作業前後のみの給水時間
- 公共水栓の採用

8 提言

次の２項目について提言する。

(1)水質監視の継続

(2)広域調査の実施

中華人民共和国内蒙古自治区托克托県地下水開発計画調査
最終報告書
要　　約

目　　次

序　文
調査地域位置図
給水施設計画図
概　要

第１章 調査の概要 …… 1-1
1.1 調査の背景 …… 1-1
1.2 調査の目的 …… 1-1
1.3 調査対象地域 …… 1-1
1.4 調査の内容 …… 1-2

第２章 調査地域の概要 …… 2-1
2.1 水文・水質/地形・地質 …… 2-1
2.1.1 広域の水文・地質 …… 2-1
2.1.2 汚染に関する考察 …… 2-14
2.1.3 地下水開発への提言 …… 2-18
2.1.4 調査地域の地形・地質 …… 2-20
2.1.5 調査地域の地質構造 …… 2-21
2.2 社会・経済状況 …… 2-22
2.2.1 対象地域における社会経済の概況 …… 2-22
2.2.2 調査対象村落における社会経済の概況 …… 2-25
2.3 村落給水と保健衛生の現況 …… 2-28
2.3.1 改水事業 …… 2-28
2.3.2 給水事業内容 …… 2-30
2.3.3 水因性疾病 …… 2-31
2.4 調査地域における地下水賦存状況 …… 2-33
2.4.1 水文地質構造の検討 …… 2-33
2.4.2 地下水賦存量の量的検討 …… 2-39
2.4.3 地下水賦存量の質的検討 …… 2-41

第３章　開発計画の概要 …… 3- 1
３．１　開発諸元 …… 3- 1
３．２　地下水開発計画 …… 3- 3
３．３　村落給水計画 …… 3- 6
３．４　施設計画 …… 3- 8
３．５　維持管理/運営組織計画 …… 3-13
３．５．１　維持管理計画 …… 3-13
３．５．２　運営組織計画 …… 3-14
３．６　衛生改善計画 …… 3-18
３．７　事業費 …… 3-19
３．８　投資計画 …… 3-20

第４章　事業評価と実施計画 …… 4- 1
４．１　事業評価 …… 4- 1
４．１．１　経済・財務評価 …… 4- 1
４．１．２　社会評価 …… 4- 3
４．１．３　環境・技術評価 …… 4- 5
４．２　実施計画 …… 4- 6
４．２．１　優先事業 …… 4- 6
４．２．２　財務概要 …… 4- 7
４．２．３　計画の実施 …… 4- 7

第５章　提言 …… 5- 1

付図・付表一覧

付　図

図２.１-１　呼包平原地勢図 …… 2-3
図２.１-２　呼包平原の水理地質模式断面図 …… 2-5
図２.１-３　呼包平原の地下水ヒ素汚染地域 …… 2-7
図２.１-４　調査地域周辺の山区 …… 2-8
図２.１-５　呼包平原の地下水フッ素汚染地域 …… 2-9
図２.１-６　岩芯試料採取試掘井位置図 …… 2-10
図２.１-７　岩芯試料採取深度図 …… 2-11
図２.２-１　内蒙古自治区行政図 …… 2-22
図２.４-１　各層の透水係数 …… 2-33
図２.４-２　調査対象地域模式水文地質断面図 …… 2-34
図２.４-３　調査地域の水文地盤図 …… 2-35
図２.４-４　浅層不圧地下水水位等高線 …… 2-37
図２.４-５　深層被圧地下水水位等高線 …… 2-37
図２.４-６　托克托県の月別平均降水量と蒸発量 …… 2-38
図２.４-７　深層被圧地下水の流動模式図 …… 2-38
図２.４-８　帯水層構造模式断面図 …… 2-39
図２.４-９　地下水の現況水収支模式図 …… 2-40
図２.４-10　深層被圧地下水のフッ素濃度分布図 …… 2-42
図２.４-11　深層被圧地下水のヒ素濃度分布図 …… 2-43
図２.４-12　水質分布と既往の地下水開発から決定される地下水開発候補地域 …… 2-44
図３.２-１　地下水開発地点 …… 3-4
図３.４-１　施設フロー …… 3-8
図３.４-２　永聖域郷給水施設計画図 …… 3-9
図３.４-３　伍什家郷給水施設計画図 …… 3-10
図３.４-４　黒城郷給水施設計画図 …… 3-11
図３.４-５　丁党家営村給水施設配置図 …… 3-12
図３.５-１　農村給水の運営組織 …… 3-16
図４.２-１　年次計画 …… 4-8

付　表

表２.２-１　呼和浩特市の経済指数 …… 2-23
表２.２-２　托克托県の経済指数 …… 2-23
表２.２-３　托克托県統計 …… 2-24
表２.２-４　調査対象村落の世帯数・家族数 …… 2-25
表２.２-５　一戸当たりの耕地面積と主要農作物生産高 …… 2-25
表２.２-６　平均世帯収入 …… 2-26
表２.２-７　１人当たりの支出 …… 2-26
表２.３-１　調査対象三郷の農村改水事業の実施状況 …… 2-29
表２.３-２　調査対象村での農村改水事業の実施状況 …… 2-29
表２.３-３　国家基準 GB11730 農村生活飲用水量衛生標準 …… 2-30
表２.４-１　地下水解析のための帯水層区分 …… 2-39
表２.４-２　水質を考慮しない場合の調査地域の地下水開発可能量算定結果 …… 2-40
表２.４-３　調査地域における水質を考慮した深層地下水開発可能量 …… 2-45
表３.１-１　調査対象３郷の将来人口および給水量 …… 3-1
表３.２-１　地下水開発地点と開発量 …… 3-3
表３.２-２　生産井の構造諸元 …… 3-5
表３.４-１　対象村落数 …… 3-8
表３.５-１　各郷１人当たりの運転・維持管理費の概算 …… 3-17
表３.５-２　各郷の水道料金 …… 3-17
表３.７-１　積算事業費集計 …… 3-20
表３.８-１　投資計画 …… 3-21
表４.１-１　３郷のＮＰＶ …… 4-1
表４.１-２　水道料金の感度分析―ＮＰＶ …… 4-1
表４.２-１　１次、２次整備対象村数 …… 4-6
表４.２-２　年次計画 …… 4-9

第１章　調査の概要

1　調査の概要

1．1　調査の背景

中国内蒙古自治区托克托県（総面積 1.398.7km^2,人口 17.7 万人）は大陸内陸部の高原地帯にあり、降水量が少なく地表水も限られており、水不足がこの地域の発展を妨げている。最貧県に属する同県は、経済的に非常に厳しく、国家計画の第８次、第９次５カ年計画にも深層地下水の開発利用が組み入れられていたにも係わらず資金不足から充分な調査は未だ行われていない。

また、同県は地表水、地下水に含まれる濃度の高いフッ素、ヒ素に起因する風土病の発生率が高く、患者の数は 27､000 人に達し、そのうち 5､000 人は重いフッ素病であり、ヒ素患者は 1､800 人に及んでいる。加えて、現在利用されている地下水は浅い地層より得られたものであり、生活排水、牧畜等の排水の影響も受けている。その影響は住民のみならず農作物、牧草、家畜にまで及び事態は深刻であり、地下水の開発利用と水環境の整備は、この地区の経済発展と住民生活の改善に大きく資するものである。ついては、これら問題解決のために安全かつ安定的な深層地下水の利用可能量等の詳細な調査を実施する必要がある。

このような背景のもとに托克托県の内、３郷（黒城郷、伍什家郷及び永聖域郷、）を対象として地下水開発可能性を調査し、地下水開発計画を策定するよう中国側より要請があった。

これを受けて国際協力事業団（以下、JICA と言う）は 1996 年 10 月に事前調査団を派遣し、同月 28 日に実施細目及び協議議事録を署名・交換した。この実施細目に基づき、JICA は調査団を編成し、1997 年３月から 99 年３月まで調査を実施した。

なお、この地方のヒ素に起因する疾病には、「内蒙古地方病防治研究所」（呼和浩特市）日本のＮＧＯ「アジアヒ素ネットワーク」が早くからその現状調査に取り組み、前者は 1993 年「内蒙古ヒ素中毒の健康調査、飲料水等環境中のヒ素分析」等として調査結果の報告を行っている。また「アジアヒ素ネットワーク」はその関係者が同じく 1993 年、現地を視察したのが内蒙古のヒ素中毒症にかかわる最初となり、以後、托克托県調査地の西北部河套平野で活動を行っている。

1．2　調査の目的

本調査の目的は次の３項目である。

1）　内蒙古自治区托克托県の３郷（黒城郷、伍什家郷及び永聖域郷）において、地下水資源開発可能性を調査する。

2）　安定的かつ安全に飲料水を供給するため、地下水による水供給計画を策定する。

3）　本件調査を通じて、中国側カウンターパートに技術移転を行う。

1．3　調査対象地域

本調査の調査対象地域は、内蒙古自治区托克托県の３郷（黒城郷、伍什家郷及び永聖域郷、面積は計 556Km^2）とし対象村落数は約４３か村とする。

1．4　調査の内容

調査は、計画対象地域における現地調査と、日本国内における国内作業からなり、現地調査は1997年3月～1997年10月の第1次調査および1998年5月～1998年9月の第2次調査からなる。

現地調査における調査主要項目及び内容は以下のとおりである。

第1次現地調査 は既存資料・情報の収集とその解析、および現地再委託業務の結果を基に、現地の現況を把握し、第2次現地調査の細目策定のための資料とする。

—水理地質調査（既存資料の収集・解析）
—試掘調査（観測井3本・揚水試験井3本計6本、総延長計 1200m 及び付随する基礎調査（揚水試験、水質分析等、現地再委託）
—水質調査・分析（既存分析資料収集および既存井戸 50 ヶ所と観測井 3 ヶ所の分析、現地再委託）
—給水現況調査　（既存井戸・給水施設の現況等聞き込みおよび資料調査）
—村落実態調査（水利用・生活実態／住民意識、43ヶ村、1034戸、現地再委託）
—水因性疾病調査（1023世帯）
—社会経済等調査（既存資料の収集及び聞き込み・解析）
—初期環境評価

第2次現地調査は地下水賦存量調査を中心として地下水開発計画の策定に必要なデータ・情報を得ると共に、給水施設の運営維持管理に係る留意点の抽出を図る。

—試掘調査（試掘井7本、総延長計 1,862.39m 及び付随する基礎調査、現地再委託）
—給水試行事業の実施（給水施設の建設8個所と施設間の送水幹線、現地再委託）
—水需要予測、計画諸元策定

また、国内作業は次の内容からなる。第1次作業では第1次現地調査結果のとりまとめと、それをもとに第2次現地調査の細目策定を主眼とする。第2次作業では、第1次現地調査結果をもとに調査対象地域の給水計画策定と、その実施後の維持管理の方法・組織等を検討・立案する。

国内作業の主な項目は次の通りである。

第1次国内作業

—社会分析
—水理地質解析（既存収集資料並びに観測井掘削結果の解析による）
—水理地質図、水収支解析（水収支シミュレーション解析）

第2次国内作業

—地下水賦存量の評価（水質評価、開発可能量の算定）
—地下水開発計画

—給水計画の策定（水需要予測、計画、諸元、代案検討、給水計画）
—地下水管理・給水施設モニタリング計画
　給水施設概略設計、事業費積算
　維持管理。組織計画
—衛生改善計画
—経済・財務分析
—事業評価

第２章　調査地域の概要

2　調査地域の概要

2．1　水文･水質/地形･地質

2．1．1　広域の水文･水質

（1）水文地質の概要

調査対象地域は北方、東方、南方をそれぞれ内蒙古高原(陰山山脈が南縁部を構成する)、蛮汗山地、馬蘭高原に囲まれ、西方を黄河を介して鄂尓多斯高原に画された盆地のほぼ中央に位置する。この盆地は“呼包平原”と呼ばれ、東西 140km、南北 70km、広さ 9,800km^2 に及び、そのうち調査対象地域の面積は約 550 km^2 である。呼包平原に対して盆地壁の山々は“山区”と呼ばれる(図２．１－１)。

平原の南北中央から北側に偏った地域を平原随一の大黒河が東から西に横断し、平原の西端部で黄河に合流する。表流水は５～８月の限られた期間に南北および東の山区から大黒河に集中するが、年間平均降雨量 350mm、年間平均蒸発量 1,800mm という気象条件は、平原を潤すには充分ではない。

地下水は南北および東の山区で涵養され、既存の資料によると表流水の流れと類似する経路の方向に流動する。浅層地下水と深層地下水に大別され、浅層地下水は第四紀の更新世晩期ないし完新世の地層(上部更新統 Q3-4、)を帯水層として賦存し、深層地下水は更新世中期の地層(下部更新統 Q2)と白亜紀の地層(白亜系 K1)、一部第三紀の地層(第三系 N2)を帯水層として賦存する。 それらのうち白亜紀の地層(白亜系 K1)、更新世中期の地層(下部更新統 Q2)、一部の第三紀の地層 (第三系 N2)を記載の順序で優先して地下水開発の対象とする。対象村落で対象とする帯水層は地溝の構造(地史)と村落が存在する位置の関係によって決定する必要がある(間接的に地下水の水質が決定される)。呼包平原の水理地質模式断面図を図２．１－２に示す。

（2）　地下水のヒ素汚染の傾向

呼包平原のヒ素汚染地域は、１地域が 5km x 10km ～ 8km x 30km 程度の規模で、呼包平原の南北方向ほぼ中央を東西方向に約 100km に亘って配列し、その数は７地域以上に及ぶ(図２．１－３)。それらのうち、最東部の汚染地域の広がりが調査対象地域の北部に及んでいる。これらの汚染の程度は 130ppb 程度、全国愛国衛生運動委員会と衛生部により定められた農村生活飲料水衛生基準値の 2.6 倍である。呼包平原の地下水のヒ素汚染は後背地の地質や周辺環境のヒ素含有量の関係で、一義的(定性的)に地史(地質)と地質構造に規制されて生じており、二義的に汚染物質の“蓄積機構”が関連して高濃度化していると考えられる。

全国愛国衛生運動委員会(1990)[1]は、地質鉱産部環境地質研究所(1992)[2]記載の未固結層(Unconsolidated soil) が分布する地域（銀川･河套平原）を、地下水の強いヒ素汚染地域としている。それらは西北西－東南東方向に配列する（フフホト市街地の南東方、包頭市街

地の北西方、銀川市の北方）。

呼包平原も地質鉱産部環境地質研究所(1992)の未固結層の分布地域に属し、東西方向に配列するヒ素汚染地域の、最東部地域の広がりが調査地域の永聖域郷(東雲寿)と伍什家郷(陳俊営)周辺に及んでいる（これらは全国愛国衛生運動委員会<1990>[i]に示されていない)。

呼包平原や河套平原の未固結層分布域の中心部は、かつて黄河の氾濫原或いは湖沼であったとされる地域である。これらの未固結層分布地域の北方外縁を構成する“山区(図２．１－１)”には、変成岩や変成鉱化帯、熱水鉱化帯が点在する(Tan Huijing ほか，1992[3]、陳紀明 ほか，1996[4])。

このことから、呼包平原の地下水のヒ素汚染は、山区に分布する変成岩、変成鉱化帯、熱水鉱化帯の分布やそれらが削剥、運搬されて堆積した平原の氾濫原堆積物、特に黒色細粒未固結層の分布などに関連して分布すると考えられる。

全国愛国衛生運動委員会(1990)に示されていない東雲寿、陳俊営などの地下水のヒ素汚染地域は、白亜紀以後晩期更新世ないし完新世のある次期まで湖沼の最深部であったとされている地域である。中期更新世の早い時期までは拡大の傾向にあったこの湖沼は中期更新世の中期以降縮小に転じている。

呼包平原の中でこの湖沼の最深部から北方の近隣に位置する地域は、地質時代を通して常に北方山区の変成岩帯から砕屑物を供給されてきているため、地層の組成に影響されてヒ素汚染を受ける可能性が高い。

しかし、これらの地域と北方の大青山(陰山山脈の一山系)に挟まれる扇状地地域では、地下水のヒ素汚染に関する報告はない。その理由は扇状地の地層が中礫から大礫に至る砕屑物で構成されるため、地下水流動速度が速くヒ素の溶出濃度が小さいこと、あるいは地下水流動量が多量であるため地層のヒ素そのものが既に溶脱され、付近の地層に問題となるほどのヒ素が残留していないことなどが考えられる。

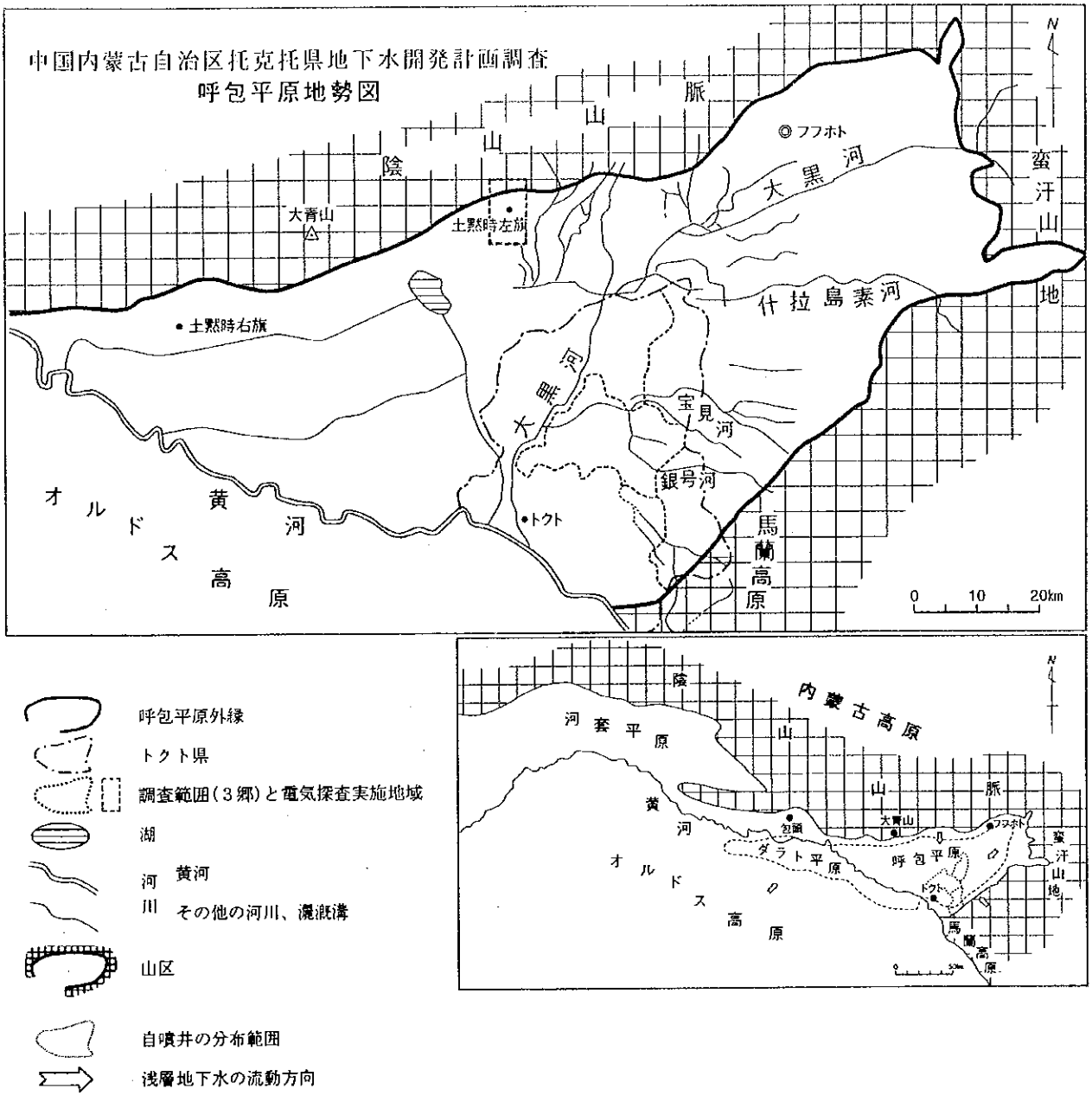


図2．1—1　　呼包平原地勢図

（3）地下水のフッ素汚染の傾向

フッ素汚染地域は、3km x 40 km の規模で調査対象地域外西方のヒ素汚染地区に小規模に見られる。しかし主たるフッ素汚染地域はこれとは別に調査対象地域全域を覆う形で30km x 50km の範囲に及びヒ素汚染地域と異なった分布をしている(図２．１－５)。調査で観測された汚染の程度は最も高い地区で 8ppm 程度である。地下水の汚染の程度と、後背地の地質や周辺環境のフッ素含有量の関係で、汚染は一義(定性)的に地史と地質構造に規制されて生じており、二義的に汚染物質の“蓄積機構”が関連して生じていると考えられる。

（4）岩芯詳細試験

岩芯詳細試験は地下水の汚染元素あるいは汚染物質がどのような形で存在するか確認し、汚染の機構を解明するとともに適切な地下水開発計画の策定に資する目的で実施した。

試験に供する試料は地下水汚染の解明を目的とする観点から、水質が良好でない“地溝”内部の試掘井を対象とし、第一次現地調査で掘削した試掘井の岩芯から、高ヒ素濃度、高フッ素濃度の部分を後述のようにそれぞれ２試料抽出した。

高ヒ素濃度試料には第一次現地作業で行なったヒ素含有量試験でヒ素濃度が高かった試料を、高フッ素濃度試料には、フッ素の含有量試験を実施していないためフッ素の溶出量が高かった試料を抽出した。

試験の内容はＸ線回折分析(XRD)及びＸ線マイクロアナライザー分析(EPMA)とし、事前に予察チェックとして高ヒ素汚染、高フッ素汚染を代表するそれぞれ１試料について透過電子顕微鏡観察(TEM)を行なった。

１）岩芯詳細試験の試料

試料は “地溝”内部のＪＷ－１井およびＪＷ－２井を対象井として次のように抽出した。

郷名	村落名	試掘井	試料番号	採取深度 m	選定目的	含有量	溶出量	
						ヒ素 mg/kg	ヒ素 mg/kg	フッ素 mg/kg
永聖域	朱什拉	JW-1	JW-1_1	8.00	高フッ素試料	9.05	0.031	330
			JW-1_8	150.00	高ヒ素試料	26.18	0.356	70
伍什家	荒地窰	JW-2	JW-2_2	58.00	高ヒ素試料	24.01	0.464	150
			JW-2_5	99.50	高フッ素試料	25.89	0.179	200

これらの試掘井の位置は図２．１－６のとおり、岩芯試料採取深度は図２．１－７のとおりである。

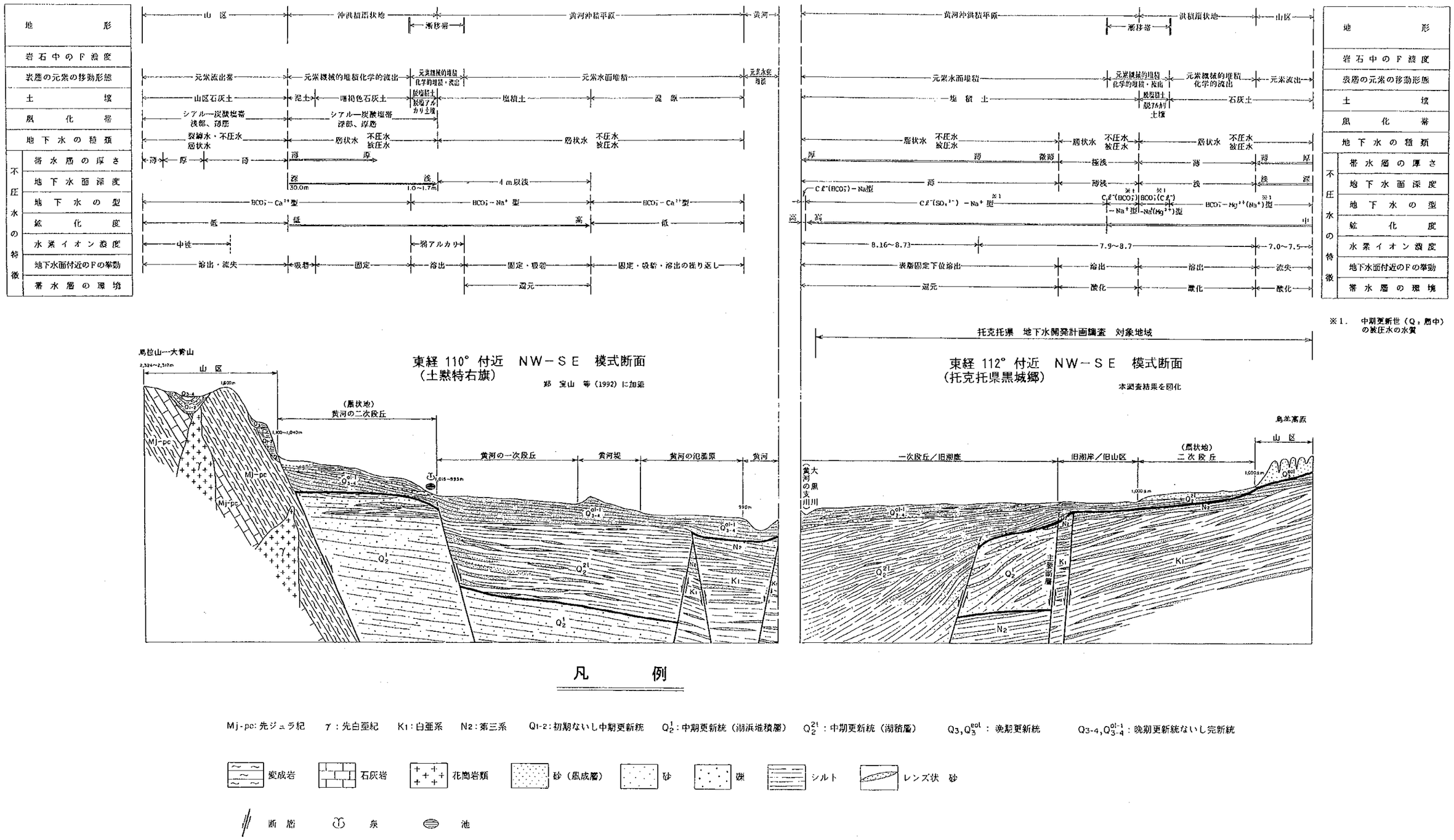
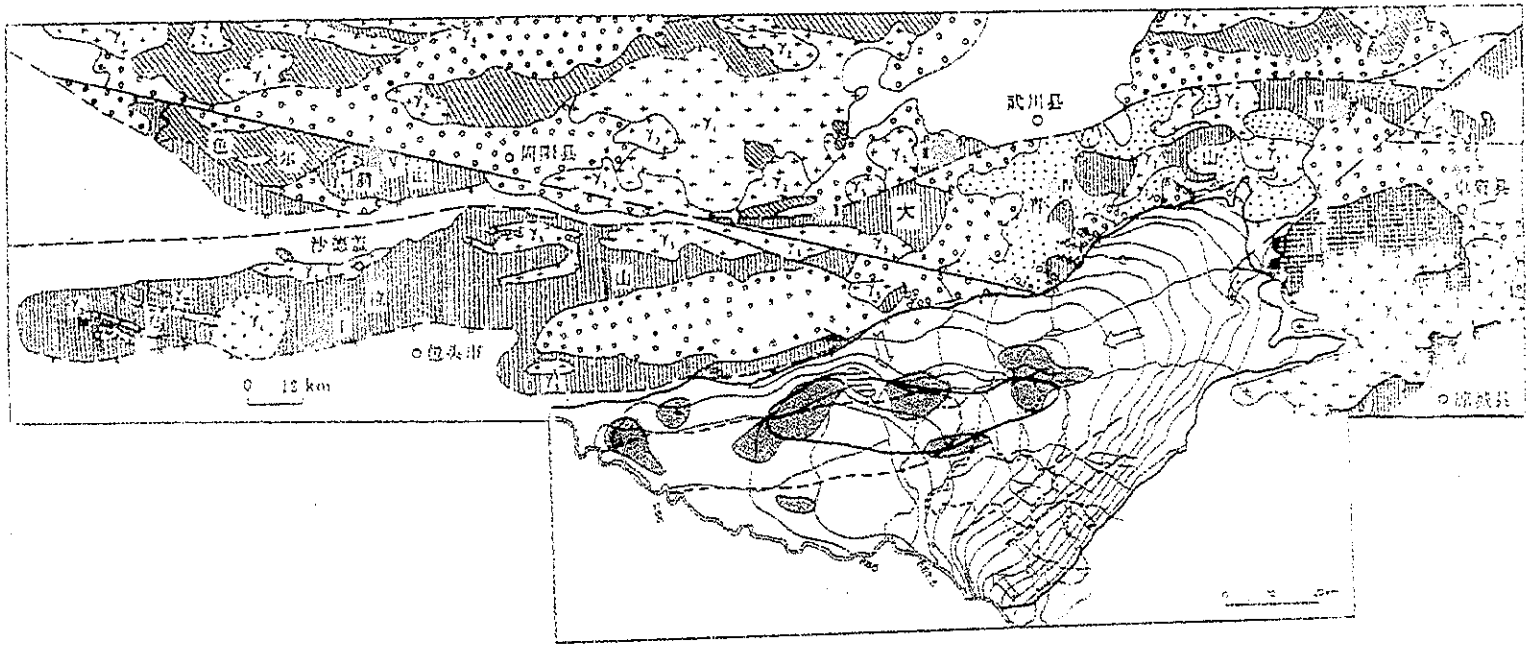
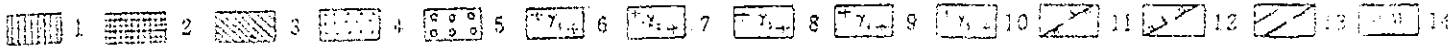


図2．1—2　呼包平原の水理地質模式断面図

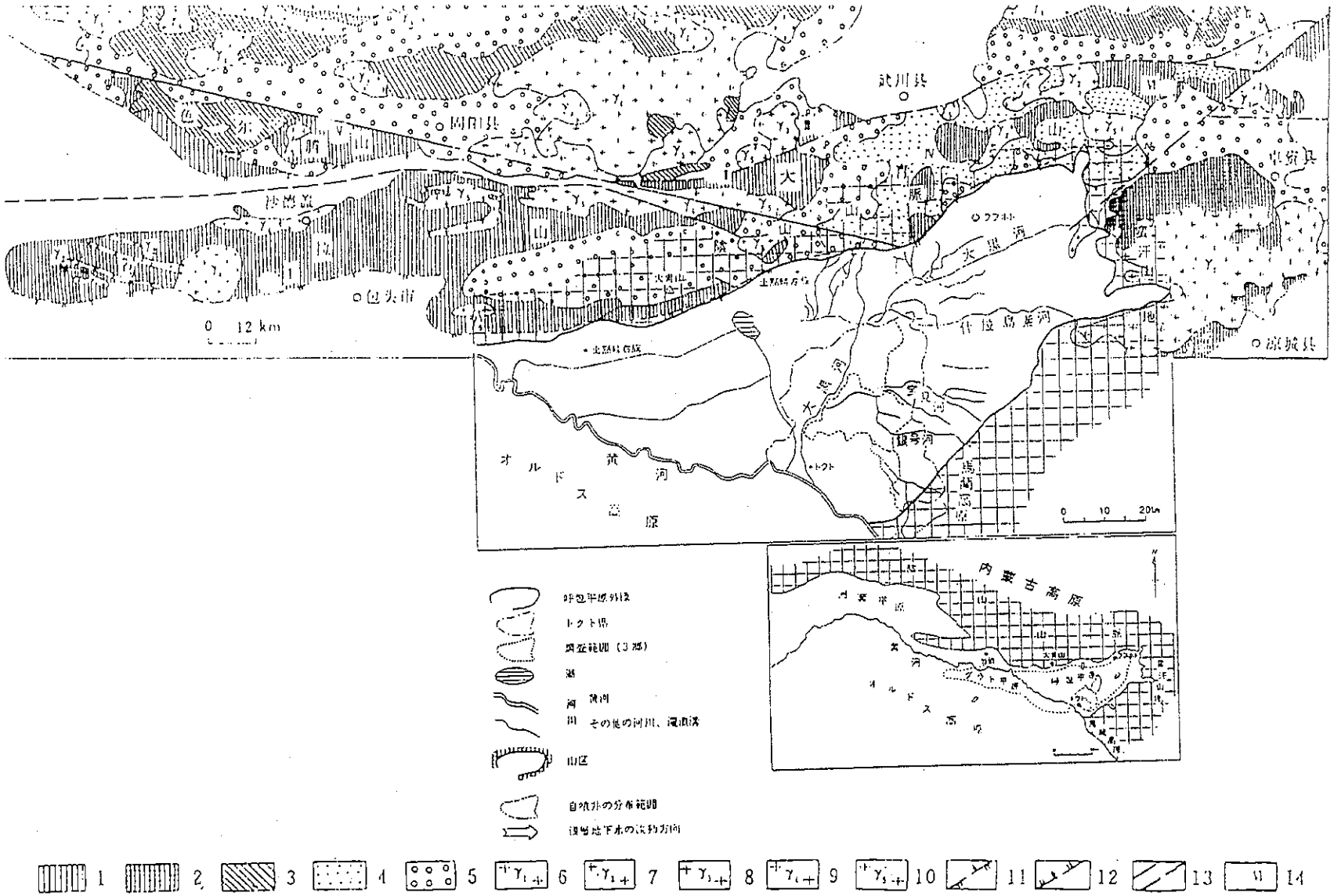




马拉山一大青山周边概略地質

1—太古宇乌拉山群;2—太古宇集宁群;3—中元古界;4—下—中元古界二道洼群—马家店群;5—中生代地层;6—太古宙花岗岩;7—元古宙花岗岩;8—早古生代岩浆岩;9—晚古生代岩浆岩;10—中生代岩浆岩;11—正断层;12—逆断层;13—断裂及推测断裂;14—金矿床。Ⅰ—乌拉山金矿;Ⅱ—后石花金矿;Ⅲ—乌铁沟金矿;Ⅳ—摩天岭金矿;Ⅴ—十八顷滩金矿;Ⅵ—大西沟金矿点

図２．１－３　呼包平原の地下水ヒ素汚染地域



馬拉山－大青山地域概略地質

1－太古宇乌拉山群；2－太古宇集宁群；3－中元古界；4－下－中元古界二道洼群－马家店群；5－中生代地层；6－太古宙岩浆岩；7－元古宙岩浆岩；8－早古生代岩浆岩；9－晚古生代岩浆岩；10－中生代岩浆岩；11－正断层；12－逆断层；13－断裂及推测断裂；14－金矿床。Ⅰ－乌拉山金矿；Ⅱ－后石花金矿；Ⅲ－东伙房金矿；Ⅳ－摩天岭金矿；Ⅴ－十八倾壕金矿；Ⅵ－大西沟金矿点

図２．１－４　　調査地域周辺の山区

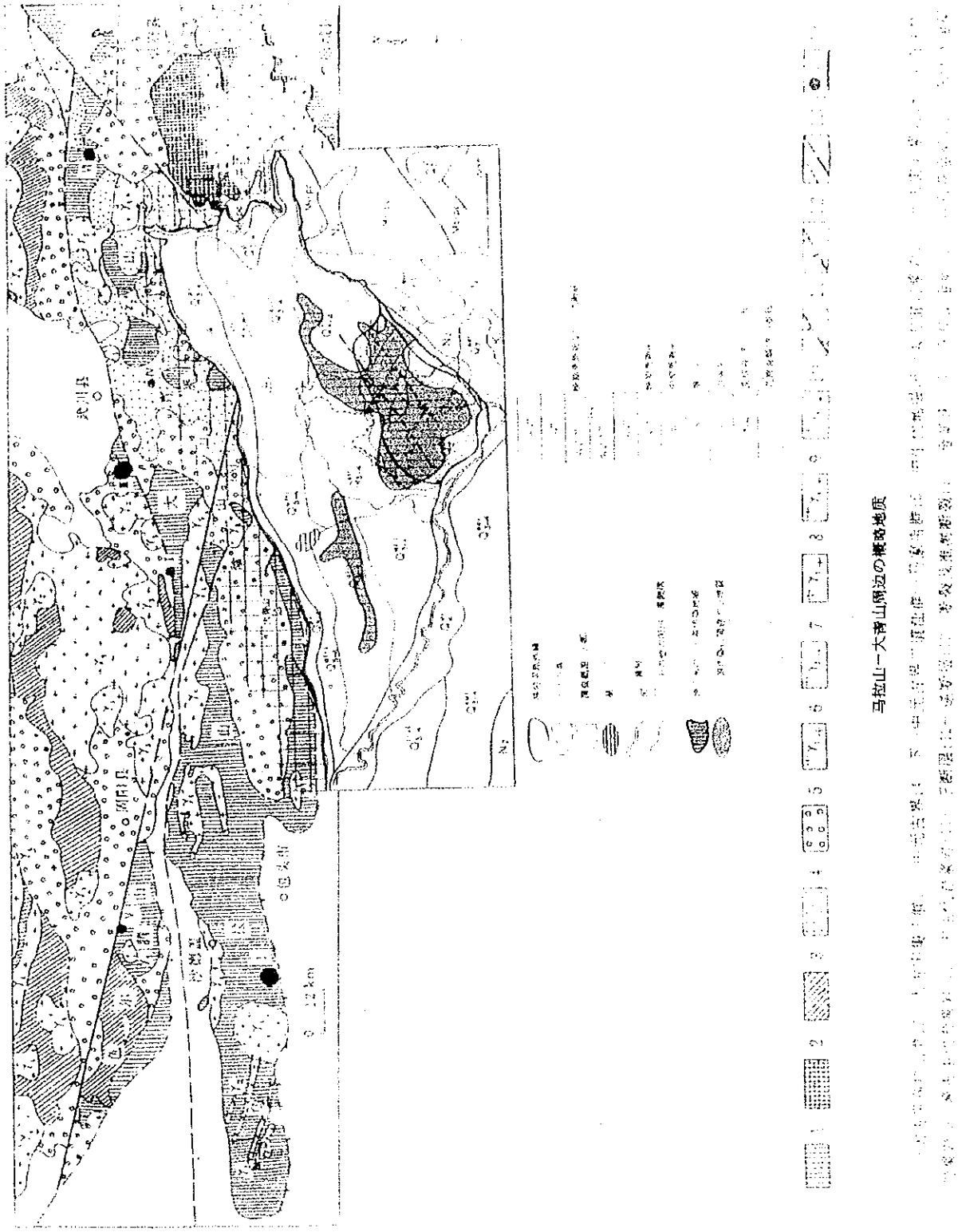


図２．１－５　呼包平原の地下水フッ素汚染地域

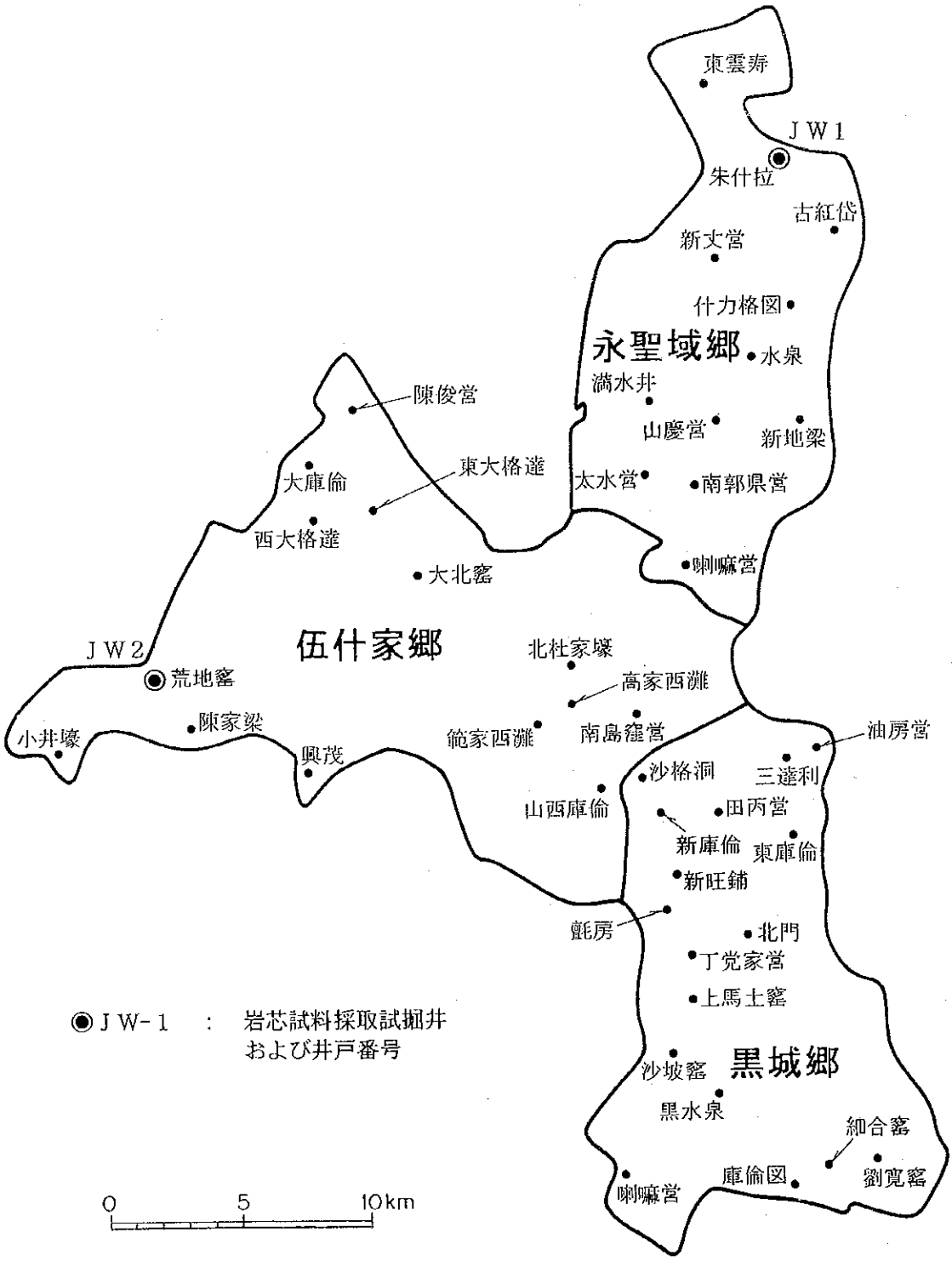


図2．1－6　岩芯試料採取試掘井位置図

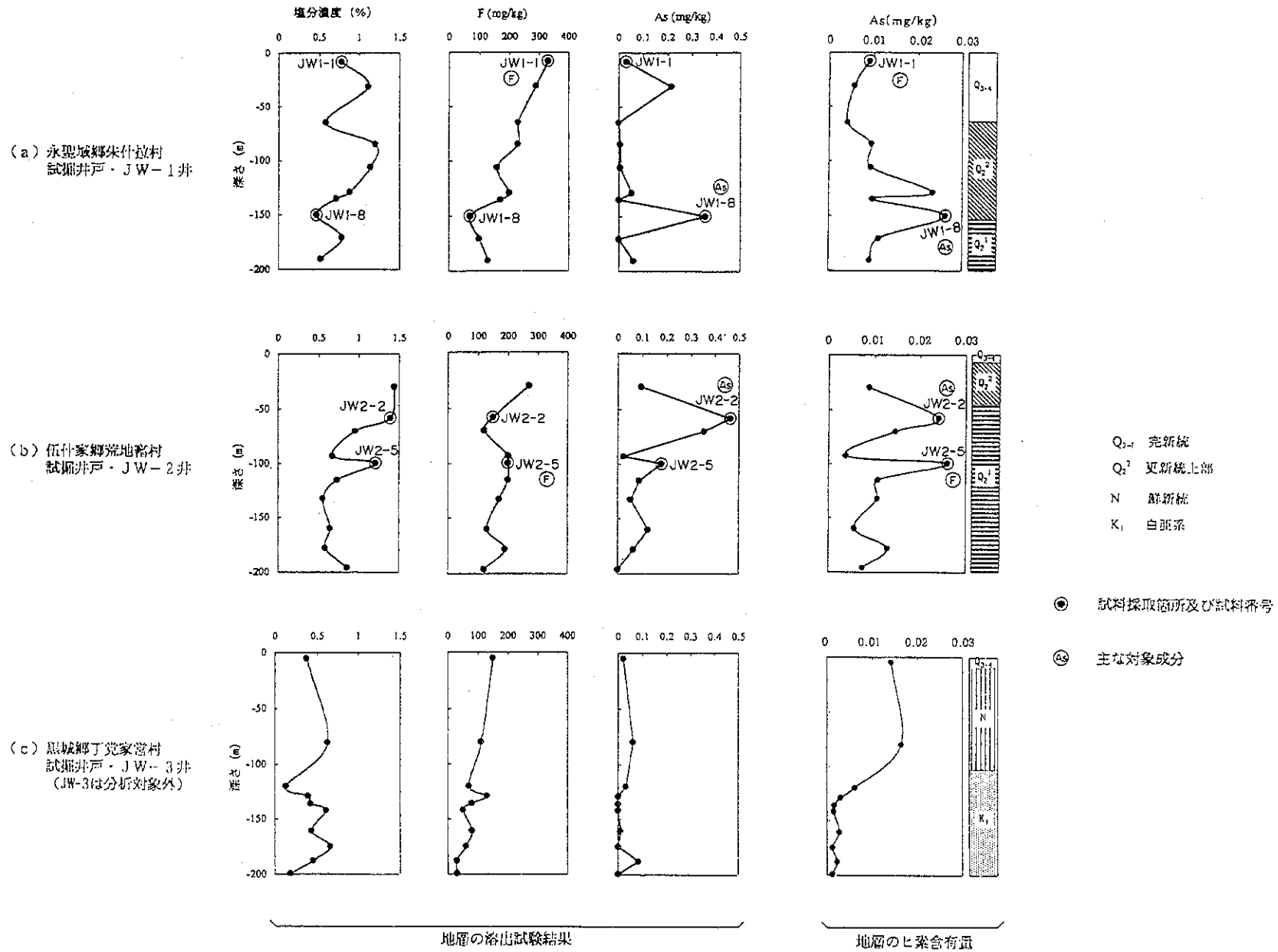


図２．１－７　岩芯試料採取深度図

2）岩芯詳細試験（ＸＲＤ）

(a)　Ｘ線回折分析(ＸＲＤ)結果

a) 高ヒ素濃度試料

① ＪＷ－１_８試料

主要構成鉱物として石英、長石、方解石が認められ、フィロ珪酸塩鉱物として雲母、カオリン鉱物、緑泥石が認められる。定方位分析では同様の鉱物のほかスメクタイトが認められる。

② ＪＷ－２_２試料

主要構成鉱物として石英、長石、方解石が認められ、フィロ珪酸塩鉱物として雲母、カオリン鉱物、緑泥石が認められる。定方位分析では同様の鉱物のほかスメクタイトが認められる。

b) 高フッ素濃度試料

① ＪＷ－１_１試料

主要構成鉱物として石英、長石、方解石が認められ、フィロ珪酸塩鉱物として雲母、カオリン鉱物、緑泥石が認められる。定方位分析では同様の鉱物のほかスメクタイトが認められる。

② ＪＷ－２_５試料

主要構成鉱物として石英、長石、方解石が認められ、フィロ珪酸塩鉱物として雲母、カオリン鉱物、緑泥石が認められる。定方位分析では同様の鉱物のほかスメクタイトが認められる。

高ヒ素濃度試料、高フッ素濃度試料ともにＸ線回折分析では類似の結果が得られ、得意な結晶性鉱物は検出されなかった。すなわち、不定方位試料で主要構成鉱物として石英、長石、方解石が認められる。フィロ珪酸塩鉱物として雲母、カオリン鉱物、緑泥石が認められ、定方位分析では同様の鉱物のほかスメクタイトが認められる。

これらの鉱物はつぎのような性質を有する。

石英、長石は一般的な造岩鉱物、方解石は続成作用や乾燥により形成されたものである。フィロ珪酸塩鉱物は一般に粘土鉱物といわれる層状を呈する珪酸塩鉱物である。層間にア

ルカリイオン、アルカリ土類イオンや水分子が入り、この性質によって、緑泥石は風化作用や続成作用でスメクタイト類のひとつであるモンモリロナイト鉱物に変化し、珪酸塩層間に Mg が固定される条件下でモンモリロナイト鉱物は緑泥石鉱物に変わる。

雲母もこれと類似の性質をもち、風化作用や続成作用によって雲母からモンモリロナイトへ、モンモリロナイトから雲母へと変化する。

スメクタイトはモンモリロナイト鉱物をはじめとする 2:1 型の層状珪酸塩粘土鉱物で、層間に水分子のほか極めて多くの有機物分子を吸着し粘土－有機複合体をつくる。

試料が以上のように通常の造岩鉱物や続成作用、風化作用で形成される鉱物からなり金属鉱物等が顕著なピークを示さないことや、X 線回折分析で検出された鉱物の性質が 3.1.1 ～ 3.3.4 項で述べた地溝構造や湖沼環境、その後の環境変化などを裏付けることから、調査地域の地下水汚染には、層状フィロ珪酸塩粘土鉱物の層間に有機物分子が吸着した粘土－有機複合体の存在が大きな影響を与えていると考えられ、地溝構造域で掘削された試掘井の岩芯に見られる“へどろ(淤泥)”や有機質粘土、微弱な亜硫酸ガス性臭気などがこのことを示していると考えられる。

(b)　X線マイクロアナライザー分析結果（ＥＰＭＡ）

ヒ素及びフッ素が結合しやく、調査地域の地域環境から両元素との関連性が推定される As、Fe、S、F、Si、Ca、P、K の 8 成分を分析対象元素としてマッピングを行ない、資料集K資料にまとめた。

a) 高ヒ素濃度試料

① ＪＷ－１_８試料

走査領域全域の As のカウントレベルは高いがフッ素のカウントレベルは非常に低い。As と P 間に明瞭な正の相関性がみられ、As(P)と F 間に微弱な正の相関性が見られる。

② ＪＷ－２_２試料

走査領域全域の As のカウントレベルは高いがフッ素のカウントレベルは低い。As と P 間、As(P)と F 間に明瞭な正の相関性がみられ、As(P,F)と Ca 間、As と Fe 間に負の相関性が、F と K 間に微弱な負の相関性が見られる。

b) 高フッ素濃度試料

① ＪＷ－１_１試料

走査領域全域の As のカウントレベルは非常に高くフッ素のカウントレベルも高い。As と P 間、As(P)と F 間に明瞭な正の相関性がみられ、As(P,F)と S 間に弱い負の相関性が、F と K 間に微弱な負の相関性が見られる。

② ＪＷ－２_５試料

走査領域全域の As のカウントレベルは高くフッ素のカウントレベルはやや高い。As と P 間、As(P)と F 間に明瞭な正の相関性がみられ、As(P)と Fe 間に弱い正の相関性が見られ,F(P)と Ca 間、F と K 間、As と Fe 間に負の相関性がみられる。

顕著な傾向は、高ヒ素濃度試料、高フッ素濃度試料ともに As と F 間、As と P 間、F と P 間に顕著な正の相関性が見られることである。P のカウントレベルが非常に高く、ついで As、F の順序である。これらのことから本分析で対象にした成分からりん灰石の存在が推定される。

As と S 間および As と Fe 間には負の相関性が見られ、調査地域の地下水のヒ素汚染に鶏冠石(realger: AsS)、雄黄(orpiment: As_2S_3)、硫砒鉄鉱(arsenopyrite: FeAsS)の存否は大きな意味を持たない。

F と Ca には負の相関性が見られ、調査地域の地下水汚染に螢石(CaF_2)の存否は大きな意味を持たない。

りん灰石は $Ca_5(PO_4)_3(F,Cl,OH)$と表わされ、F＞Cl,OH のものをフッ素りん灰石と総称し、通常りん灰石と呼ぶ場合フッ素りん灰石を意味する。P は As、V、Si と置換される。りん灰石はほとんどの火成岩、変成岩中に副成分鉱物としてきわめてふつうに産し、淡水や海水からの沈澱物としても堆積岩中に産する。堆積性のりん灰石には非常に微細でほとんど非晶質のものがあり、このため X 線回折分析でりん灰石が検出されにくい可能性がある。腕足類の殻は OH＞F,Cl の水酸りん灰石であるが、結晶性が低いため Ca→P など種々の置換を行ない、Ca→P の置換の場合低い Ca/P 値を呈する。JW-2_2 試料や JW-2_5 試料に P と Ca 間に負の相関性が見られるのはこの置換による可能性が考えられる。腕足類の水酸りん灰石の OH 基は次第に F に置換されるため、各地質時代に湖岸環境であった地域で比較する場合には、古い時代の湖岸の地層ほど F に富む可能性がある。

X線マイクロアナライザー分析では、岩芯詳細試験試料の As、F はりん灰石起源として解釈でき、りん灰石の供給は後背地からの供給としても、地層堆積中或いはその後の湖沼環境としての堆積条件からも行われた可能性が考えられる。

フッ素汚染に関しては、X線回折分析で雲母が普遍的に検出され、試掘井の岩芯に雲母が存在することや、既存の資料から地下水のフッ素汚染地域の分布が Q_2^2 層に関連していると解析できることから、Q_2^2 層堆積時の条件や堆積以後の続成作用や乾燥･風化作用によって雲母（$X_{0.5\sim1}Y_{2\sim3}Z_4O_{10}(OH_2)$）の OH 基の一部が F に置換されて生じている可能性が考えられる。しかし、雲母の主要成分である K、Fe、Si と F 間に正の相関性は認められていないため今後の検討を要する。

２．１．２　汚染に関する考察

１）ヒ素汚染

試掘井(JW-1，2、4)の岩芯(地質)で 20～30ppb のヒ素が検出され、これらの溶出の程度は 0.4～0.5mg/kg 程度である。岩芯は黒色泥質相、多数の貝殻片、黒色繊維などを含み、試掘井からはメタンガス、希薄な硫化水素臭、高いヒ素濃度などが観察されている。湖沼の中心部の堆積物を指示する泥質堆積物やメタンガスの存在は地溝帯の中心部付近が還元性の環境であることを示しており、浅湖環境時の貝類、水草等の存在は酸化環境を、炭化物である黒色繊維は還元性の環境を示している。

試験井(JW-2 および 3)の岩芯詳細試験では、呼包平原の地層にはスメクタイトを始めとするフィロ珪酸塩鉱物が存在し、地層を構成する粒子にはヒ素(As)とフッ素(F)の存在、ヒ素とリン(P)の存在に正の相関性、ヒ素と鉄（F）およびヒ素と硫黄（S）の存在に負の相関性が認められる。

試掘井の岩芯の状況からスメクタイトは粘土－有機複合体であることが明らかであり、X線マイクロアナライザー分析で対象にした成分からは調査地域の地下水のヒ素汚染に鶏冠石(realger: AsS)、雄黄(orpiment: As_2S_3)、硫砒鉄鉱(arsenopyrite: FeAsS)の存否は大きな意味を持たず、りん灰石（$Ca_5(PO_4)_3(F,Cl,OH)$）の P が As に置換されたものが関連する可能性が考えられる。しかし周辺の地質状況や岩芯詳細試験の結果からはそのままでは地下水のヒ素汚染の原因とは考えられない。調査地域の地下水のヒ素汚染には “へどろ(淤泥)”、有機質粘土、微弱な亜硫酸ガス性臭気等の存在(試掘井)や、粘土－有機複合体の存在(X線回折分析)で示される還元環境と、貝殻片、黒色繊維の存在(試掘井)で示される酸化環境の環境変化に原因するヒ素の“蓄積作用”が働いていると思われる。

JE-2_2 試料ではX線マイクロアナライザー分析に先だって予備的に行った透過電子顕微鏡観察で黄鉄鉱中にヒ素のピークが認められた。調査地域では一般にヒ素と鉄（F）およびヒ素と硫黄（S）の存在に負の相関性が認められるので、この傾向には時代性（地層）あるいは局地性があると思われるが、このような状況はつぎのような環境で形成されたと考えられる。

無機質のヒ素は還元環境で溶液中から晶出或いは吸着し、酸化環境で水中に溶解或いは遊離しやすい性質を有するため、永い還元環境時にヒ素鉱物やヒ素イオンの晶出/吸着が継続されその後の酸化環境時に溶解/遊離が生じると汚染の程度が大きくなる。水中の還元環境では嫌気性のバクテリアがメタンガスや硫黄を発生させ、鉄は第一鉄イオンとして存在する。鉄は還元環境では硫黄と結合し硫化鉄が生成する。この時ヒ素は黄鉄鉱などの結晶中に取り込まれる

以上の考察の内容はつぎのような呼包平原の地史に関する考察に適合する。

“呼包平原の地下水盆を規制する地溝構造(図２．１－２)は白亜紀以前に形成され、白亜紀には地溝は既に湖沼化していた。湖沼の最深部は時代によって南北に移動を繰返しながら、更新世中期からは縮小に転じて完新世に至って縮小の程度を増している。現在の哈素海(湖: 5km x 8km)はその名残と考えられ、完新世時代の湖の北西端に位置する。これらの時代の間、湖沼の最深部は完新世早期まで常に沈降帯の中央部(湖沼最深部)より北西方にずれており、最大沈降量は 1,000m を超える。[5] ”

地溝の沈降は白亜紀以前に始まり、当初の南壁は白亜紀以前の地質であったが第四紀更新世早期の終わり頃には第三紀の地層であった可能性が高い。更新世早期の或る時期に南壁の南側に新しい断層が生じ、以後沈降域が南側にわずかに広がっている。しかし、沈降の程度は従来の南壁以北が大きく、更新世晩期前には湖沼の最深部付近が最大の沈降量になっている。沈降に伴い、低地には後背地(山区)から絶えず砕削物が供給されている。

砕削物は全沈降期間を通じて、常に山区のそれぞれの地域の地質条件を反映して供給され、低地のそれぞれの部分にその地質条件を反映して堆積している。このことは後背地のひとつである北方山区が変成岩地帯であることと関連して、呼包平原の地下水のヒ素汚染が永い地史上の時間を介して、北方山地の地質条件に一義(定性)的な影響を受けていることを示す。

しかし、変成岩地帯の各岩石のヒ素含有量は 0.2～2.4ppm 程度であり、蛇紋石化橄欖岩のヒ素含有量でも 5.5ppm 程度である。これらの岩石からの溶出で、数 ppm という地下水汚染が広範囲に生ずるとは考え難い。

このようにして一義的に取込まれた呼包平原の地下水のヒ素は、二義的に“蓄積作用”が作用して生じている。蓄積に最も寄与しているのは呼包平原の地溝帯に形成された湖沼と湖沼堆積物、生態系環境が示す還元環境であると考えられる。

1） フッ素汚染

呼包平原を覆う第四紀の地層は雲母片、貝殻片、黒色植物繊維、メタンガスや希薄な硫化水素ガスなどを伴う。調査地域西部で掘削した試掘井(JW-2)は地下水のフッ素濃度が高く、岩芯は雲母や暗色鉱物などを多量に伴う。

北方山区は先カンブリア紀から白亜紀の堆積岩および炭酸塩岩中に塩基性、酸性の火成岩が迸入している。堆積岩中に迸入する火成岩は一般に周囲を変成岩化し、迸入岩と変成岩の接触帯に蛍石(CaF_2), りん灰石($Ca_5(PO_4)_3(F,Cl, OH)$)類のフッ素鉱物や雲母類などの変成鉱物類を形成し、りん灰石の Ca が F と置換されたフッ素りん灰石$(Ca,F)Ca_4(PO_4)_8$ なども形成される。

岩芯詳細試験ではフッ素(F)とりん(P)の存在に顕著な正の相関性が見られ、フッ素とカルシウム(Ca)の存在に負の相関性が見られることから、調査地域の地下水のフッ素汚染には蛍石(fluorite: CaF_2)の存否は大きな意味を持たず、りん灰石の存在が大きく寄与していると考えられる。

山区の基盤岩地域は変成岩、塩基性岩、火山岩、富フッ素花崗岩、炭酸塩岩などフッ素を含む地質を伴い、呼包平原の粘土質砂層なども比較的多量にフッ素を伴う。

これらの地質地帯に存在する水のフッ素含有量はつぎのとおりである。

地質	Bond(1945)		
	水中フッ素含有量		資料数
	範囲	平均値	
花崗岩	0 – 9.0	1.4	78
白雲岩	0 – 0.3	0.02	21
炭酸塩	0.7 –	8.7	7
玄武岩	0 – 0.5	0.1	44
安山岩	-	-	-
砂岩	0 – 2.7	0.1	69

調査地域周辺の小河川の河川水には 0.25 ～ 1.35ppm のフッ素が含まれ、トクト県付近の黄河水のフッ素濃度は 0.32ppm(1980)である。世界河川平均では 0.1 ～ 0.2ppm 程度といわれている。

河川名		フッ素含有量 mg/l	試料数	主要地質
大青山区	美岱溝	0.60 –	3	変成岩
	水涧溝	0.72	1	変成岩、
	五当溝	0.78 –	7	変成岩、

降雨中にも 0.1ppm 程度のフッ素が含まれる。

変成岩地帯には一般に次のような雲母類が形成され、変成岩の風化により分離されて単独の結晶片として存在したり微細片化して粘土鉱物として存在する。岩芯詳細試験の X 線マイクロアナライザー分析で K、Fe、Si と F 間に正の相関性は認められないが、X線回折分析試料も普遍的に雲母類を含んでいるため、地下水のフッ素汚染への雲母の関与を完全には否定できない。

雲母の一般的化学式は $X_{0.5\sim1}Y_{2\sim3}Z_4O_{10}(OH)_2$ のように記載され、つぎのような種類がある。

雲母類の理想的化学式

①. 白雲母(muscovite) : $K(Li,Fe,Al)_3(AlSi_3O_{10})(OH)_2$

②. ｿｰﾀﾞ雲母(paragonite) : $K(Li,Fe,Al)_3(AlSi_3O_{10})(OH)_2$

③. 金雲母(phlogopite) : $K(Li,Fe,Al)_3(AlSi_3O_{10})(OH)_2$

④. 黒雲母(biotite) : $K(Li,Fe,Al)_3(AlSi_3O_{10})(OH)_2$

⑤. 鱗雲母(lepidolite) : $K(Li,Al)_3(AlSi_3O_{10})(OH)_2$

⑥. ﾁﾝﾜﾙﾄﾞ雲母(zinnwaldite) : $K(Li,Fe,Al)_3(AlSi_3O_{10})(OH)_2$

⑦. 真珠雲母(margarite) : $CaAl_2(Al_2Si_2O_{10})(OH)_2$

雲母中のOH基は風化作用により一部がFに置換されフッ素雲母($X_{0.5\sim1}Y_{2\sim3}Z_4O_{10}(OH,F)_2$)に変化する。

呼包平原の地下水のフッ素汚染は主にQ_2^2層の層準で高く、地質環境が地下水のフッ素汚染に関連していることを示すが、総合的には地下水のフッ素汚染は前述ような要素に、地下水が流動する過程の地球化学的な影響や降雨量350mm/年、蒸発量1,800mm/年という気象条件などが錯綜して生じていると考えられる。

調査地域の地下水は呼包平原に降る降水や大黒河の河川水が浸透したもののほか、山区の降水、山区からの表流水が浸透したものである。山区の表流水は麓の扇状地の扇頂部で浸透して地下水となって流動を始める。流動の過程で地下水はカルシウムに富んでくるが、扇状地は粗粒物質で形成されているため地下水が流動する間に,、不飽和帯を介して地下水は蒸発を始め扇状地表面には炭酸塩が晶出する。地下水中のフッ素は炭酸塩の結晶中に取り込まれるため扇状地では地下水のフッ素の問題は生じにくい。

地下水は流動を続け、扇状地の扇端部ではpH値がアルカリ成分寄りに変化する。炭酸塩に取り込まれているフッ素はアルカリ寄りの成分で溶出するため、扇状地先端部から平原寄りの地域でフッ素汚染の問題が生じ始める。これらの問題は地下水面の上下動変化でも生ずる[6]。

平原では流動速度が低下し滞留時間が永くなるため、地層からのフッ素の溶出がより永く行われフッ素濃度が高くなる。この間に有機質物の分解により還元環境になるとpH値がアルカリ成分寄りに変化し結晶中に取り込まれるフッ素が溶出する。

呼包平原の地下水のフッ素汚染は一元的な原因で説明されるものではなく、山区から平原に至るこのような過程で諸要素が錯綜して生じていると考えられる。

2．1．3　地下水開発への提言

一般に地層や河川には浄化能力があるが、河川は現在地層を形成しつつある堆積箇所と考えることができ、この表現は“地層には浄化能力がある”と言い表わすことができる。しかし河川は地表環境の変化の影響を受けやすいため、河川水の水質は不安定である。これに対して帯水層と呼ばれる地層から得られる地下水は、地層が外界と隔絶しているため水質は比較的安定しており衛生的でもある。このことが地下水利用の利点であり、水処理のための経済力のない貧困層の給水に有利である。

地層は砕屑物の供給地と堆積箇所の地殻運動に関連して形成され、そのため地層は“地質構造”と堆積環境を反映して形成される。地層中に賦存する地下水の水質もまたこれらの地質環境の要素に左右される。火成岩や変成岩に関連する地質や地下水でも同様であり、“地質構造”と堆積環境を無視した地下水開発はあり得ない。

地下水開発後の地下水管理面では水質管理が重要な課題である。そのため地下水利用計画の内容を十分に検討する必要があるばかりでなく、定期的な水位・水質監測、住民の保健衛生上の監測、地表の環境変化の監測などが重要である。

このような諸環境や保健衛生が関連する地下水開発上の問題は、多面的要素が組合わさ

れて生じているため、地下水開発には開発に伴う帯水層情報の蓄積、各行政機関間の協力、各科学分野間の協力、長期の調査や監測、各分野間の研究資料の有効利用などが必要である。

---

1 全国愛国衛生運動委員会, 1990 : 中国生活飲用水地図集 1 : 12,000,000

2 地質鉱産部環境地質研究所, 1992 : 中国環境地質分区図 1 : 6,000,000

3 Tan Huijing ほか, 1992 : Mineral Resources Maps of China 1 : 5,000,000

4 陳 紀明 ほか, 1996 : 内蒙古烏拉山－大青山緑岩型金鉱床地質

5 内蒙古自治区水文地質工程地質隊, 1985 : 内蒙古自治区呼包平原水文地質工程地質環境水文地質総合監察報告書

6 郑 宝山 ほか, 1992 : 地方性氟素及工業氟汚染研究

2．1．4　調査地域の地形・地質

（1）地形・地質

1）調査地域の地形

托克托（トクト）県は黄河の左岸に広がる呼包平原と呼ばれる平地に位置する。この平原は土黙特（トムト）川平野とも呼ばれ、克托県はこの平原の南東端に位置している。

2）調査地域の水系

調査地域の北西側境界を恒常河川である大黒河が流れ、調査地域内には降雨時にのみ生ずる季節河川のみが存在する。これらの季節河川水は東方の山地に源を発し、西流しながら地下浸透あるいは農業用取水により平原地域内で尻無し川となる。

3）調査地域の地質

地質は下位から白亜系、新第三紀鮮新統、第四紀更新統、第四紀完新統で構成される。白亜系と新第三系の関係、新第三系と第四系の関係は不整合である。

(a) 白亜系

白亜系は調査地域の地表には分布せず、地溝帯の南壁以南の地下に分布する。砂岩、泥岩の互層よりなり、固結の程度は高い。砂岩の一部は礫質である。黄河の河岸では砂岩中に部分的に溶出による空洞が認められる。層厚は 200m 以上である。

(b) 新第三紀鮮新統

新第三紀鮮新統は調査地域の東南端、黒城郷の東端の山地を形成している。新第三紀鮮新統は主として、軟質な黄褐色のシルト岩、細砂岩、泥岩よりなり、一部礫層や泥灰質の結核を含む。これらの地層は、全体に層理が不明瞭で塊状の産状を呈し、一部に斜交葉理構造が認めらものがあり水成の堆積岩であることを示している。調査地域の新第三紀鮮新統の層厚は最大 150m 程度、平均 20m ないし 50m 程度である。

(c) 第四紀更新統

第四紀更新統は調査地域の南部を広く覆い、山前斜面および丘陵地と平原の一部に分布する。第四紀更新統は上部層と下部層に分けられ、下部層は未固結粘土・シルト層より成り砂層を随所に挟在する、上部層は未固結粘土・シルト層および泥炭層より成り砂層をわずかに含む。下部層の層厚は不明であるが、200m 以上と推定される。上部層の層厚は 50m ないし 100m 程度である。

(d) 第四期完新統

第四期完新統は調査地域の北側に広く分布し、平坦な平原を形成している。主として未固結砂、シルト・粘土より成る。第四紀完新統は北西側へ層厚を増し、調査地域の北西端で50m程度と予想される。

2．1．5 調査地域の地質構造

呼包平原は構造性の陥没地帯でいわゆる地溝帯を形成している。この地溝を第四系が埋積し、現在の呼包平原が形成されている。陥没の最深部は調査地域外北西方にあり、その総沈降量は不明瞭であるが1,000m以上とされている。

調査地域の中央部をこの地溝帯の南壁を構成する断層が北東－南西方向に横断する。断層は第四系に覆われ伏在断層として確認されている。地溝の南壁は複数の断層で構成され、階段状に南東側から北西に向かって沈降している。これらの断層のうち現在２，３の断層が構造上重要視されており、地質構造上最も重要な意味を有する断層は、本調査の各種図面に示される２本の断層のうち北西側の断層である。この断層の北西側では調査地域内の基盤岩（新第三系、白亜系）の沈降量は300m以上に達し、南東側では基盤岩の深度は50mないし100m程度である。

基盤岩自体は緩く北西方向に傾斜し、第四系は極めて水平に堆積しているが、わずかに北西方向に傾斜する。

２．２　社会・経済状況

２．２．１　対象地域における社会経済の概況

（１）内蒙古自治区とその行政組織

調査対象地域の呼和浩特市托克托県の位置する内蒙古自治区は、総面積 118 万ｋｍ2 、広さでは中国第３番目の自治区である。一方、人口は、全国の１２％強を占める面積に比して少なく、1995 年の資料で 2,284 万人、全国の 1.9%である。内蒙古自治区は、３地区級市及び９つの盟から成り、地区級市及び盟は 18 の県・ 12 の県級市・ 51 の旗及び３つの自治旗に分かれる。県の下には、郷と鎮があり、その下に行政村がある。同様に、牧畜地である旗・自治旗の構成は、郷・鎮に相当する蘇木（ｿﾑ）、行政村に相当するカチャから成っている。下図は内蒙古自治区の行政組織図である。村民委員会及び居民委員会は全村民によって選ばれた村長・助役等によって構成される最小行政単位である。

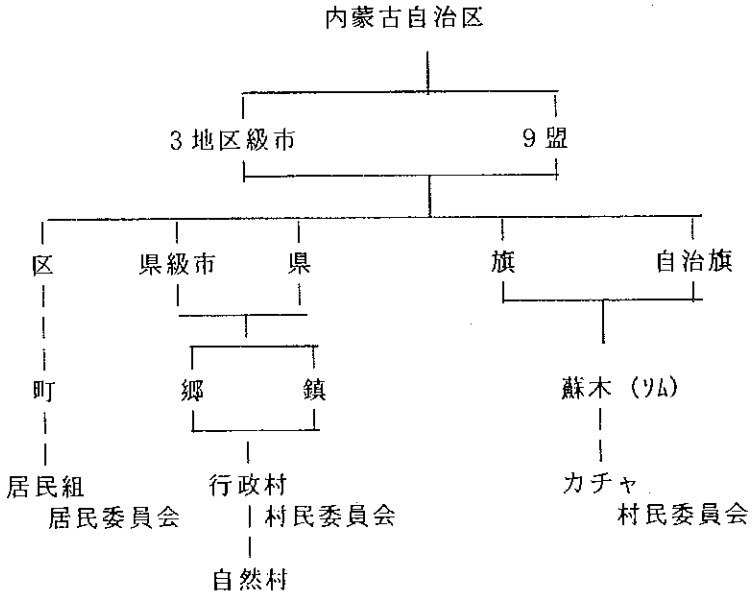


図２．２－１　内蒙古自治区行政図

（2）呼和浩特市と托克托県

自治区の首都である呼和浩特市は、総面積 17,259m２、人口 177.5 万人で、３市街区（新城・玉泉・回民）、１郊外区、４県（和林格爾県・武川県・清水河県・托克托県）および１旗からなっている。

托克托県は自治区の西南部に位置し、面積は 1,416km2 で、県内には、９郷２鎮の下部行政組織がある。総人口は 1995 年の統計で約 18 万 6 千人である。工農業総生産は 1987 年に 5,526 万元（工業 2,545 万元、農業 2,981 万元）であったのが、表２．１－２托克托県統計に示されるように、1995 年には、68,856 万元（工業 24,945 万元、農業 43,911 万元）となっている。

表２．２－１　呼和浩特市の経済指数

	単位	1993 年	1994 年	1995 年
総人口（年末）	万人	173.2	175.7	177.5
農業総生産	万元	99,015	110,858	120,258
工業総生産	万元	702,226	949,430	913,453
農工業総生産	万元	801,241	1,060,288	1,033,717
都市住民１人当り年収	元	1,981	2,735	3,008
実質農工業総生産（注１）	万元	693,115	737,302	611,246
実質成長率　（注２）	%p.a.	－－	＋6.4	－17.1
消費者物価上昇率（注３）	%p.a.	＋15.6	＋24.4	＋17.6

注１：　基準年＝1992 年；呼和浩特市「住民消費価格指数」による。
注２：　「実質農工業総生産」の前年比伸び率。
注３：　呼和浩特市「住民消費価格指数」。
参考：　直近の人民元為替相場　827.96 元／100USD；15.97 円／元　（1998 年 1 月 15 日現在）

表２．２－２ 托克托県の経済指数

	単位	1993 年	1994 年	1995 年
実質国内総生産　（注１）	万元	30,554	37,305	40,715
実質成長率　（注２）	%p.a.	＋28.8	＋22.1	＋ 9.1
消費者物価上昇率（注３）	%p.a.	＋15.6	＋24.4	＋17.6

注１：　基準年＝1992 年；呼和浩特市「住民消費価格指数」による。
注２：　「実質国内総生産」の前年比伸び率。
注３：　呼和浩特市「住民消費価格指数」。

托克托県の各種統計を表２．２－３に示す。

表２．２－３ 托克托県 統計

	単位	1991年	1992年	1993年	1994年	1995年
総面積	平方㎞	1,417	1,417	1,417	1,417	1,417
総人口（年末）	万人	17.53	17.70	17.83	18.49	18.64
郷人口（年末）	万人	14.93	15.07	13.77	15.10	15.20
国内総生産	万元	15,202	23,734	35,320	53,647	68,856
１人当り国民総生産	元	867	1,341	1,981	2,901	3,694
農業総生産	万元	11,318	11,570	17,857	30,631	43,911
農作物	万元	7,846	7,936	12,417	20,271	27,449
牧　畜	万元	2,342	2,410	4,432	9,139	14,884
家畜総数	万頭	17.05	12.06	14.68	18.33	21.12
大型家畜	万頭	2.36	2.21	2.69	3.08	3.71
豚	万頭	3.37	2.72	3.27	4.47	5.42
羊	万頭	11.32	7.13	8.72	10.78	11.99
工業企業数	個	889	761	1,457	1,671	1,542
従業員総数	人	6,700	6,700	14,100	13,900	14,200
工業生産高	万元	8,600	13,191	26,999	47,826	73,566
道路総延長	ｋｍ	368	388	380	373	373
郷鎮企業数	個	4,125	4,819	6,522	8,961	11,020
郷鎮企業従業員数	人	13,000	18,011	19,000	27,900	39,000
地方財政収入	万元	1,023	1,474	2,543	1,572	2,025
地方財政支出	万元	2,780	3,644	4,448	4,834	5,972
住民貯蓄残高	万元	4,966	6,584	8,567	13,458	12,951
城鎮民貯蓄残高	万元	2,698	3,431	4,293	7,912	8,063
村　民 貯蓄残高	万元	2,268	3,153	4,274	5,546	4,888
自然科学技術者数	人	479	510	510	533	535
農業技術者数	人	150	136	145	158	166
医療機関数	個	23	24	24	26	26
ベッド数	個	173	215	194	217	217
医師数	人	265	306	362	355	357
住民１人当り消費額	元	513	614	772	1,036	1,377
農牧民１人当り純収入	元	588	703	853	1,027	1,228

２．２．２　調査対象村落における社会経済の概況

（１）人口・世帯数・家族数

村落実態調査における村長からの聞き取りデータを集計した対象村落の人口・世帯数は表２．２－４のとおりである。表から明らかなように、改水事業が規模の大きな村落から行われている（改水事業が行われていない村落の平均人口は既に行われている村落の１／３以下である）。各郷での１村落当たりの人口と世帯数は、永聖域郷、伍什家郷、黒城郷の順で、４４４人、３１６人、３５２人、および１１５戸、８０戸、９１戸となっている。世帯当たりの家族数は改水事業の有無、郷による差異はほとんど見られない。

表２．２－４　調査対象村落の世帯数・家族数

	合計	改水事業有り	改水事業無し
１村落当たり平均人口（人／村）＊	366	727	209
１村落当たり平均世帯数（戸／村）＊	94	188	53
１世帯当たり人数（人／戸）＊	3.89	3.88	3.92

（注）＊該当する村落の単純平均

（２）農業生産・収入・家計支出

調査対象世帯の９９％が農業に従事している。一戸当たりの耕地面積・主要作物生産は表２．２－５に示されるとおりである。

表２．２－５　一戸当たりの耕地面積と主要農作物生産高

郷名	耕地面積 (ha/戸)	生産高 (kg/戸)					
		小麦	トウモロコシ	ジャガイモ	向日葵	糜黍類	豆類
全体	10.4	243	1,483	1,870	569	452	153
永聖域	11.8	116	1,550	2,023	454	829	95
伍什家	11.1	559	1,640	1,476	603	308	63
黒城	8.8	73	1,306	2,086	623	304	269

（注）該当する村落の単純平均

世帯収入については、非常に大きくばらついており、各村落での平均値にも大きなバラツキがある。郷毎の平均値を見ると、それぞれの収入構造に特色があることが分かる（表２．２－６）。また、調査対象村落は農村であるにもかかわらず、農業外収入（季節労働の賃金、家族からの送金、農業従事者以外の所得等）がかなりの割合を占めている。永聖域郷では副業収入が非常に高い。世帯収入の面についても，改水事業が既に行われている村落の平均の方がかなり高い（改水事業を行っていない村落平均の約１．３倍）。

表２．２－６　平均世帯収入

（単位：元／戸・年）

郷名／改水事業有無	農作物販売収入	副業収入（家畜等）	その他収入（農業外）	総収入
全体	1,387	912	613	2,912
永聖城	421	2,260	364	3,045
伍什家	990	585	904	2,478
黒城	2,396	231	549	3,176
［改水事業有り］	1,447	1,241	718	3,407
［改水事業無し］	1,361	770	567	2,698

（注）該当する村落の単純平均

一人当たりの年間支出（農産物の自家消費金銭換算分を含む，表２．２－７）について、改水事業が行われていない村落の総支出は既に行われている村落の８７％であるが，医薬・医療費は改水事業が行われていない村落の方が高い。改水始業が行われていない村落の水光熱費は既に行われている村落の同費の７３％である。この差（約２元／人・月）には水道料金の有無等が関連している可能性もあるが、改水事業を既に行っている村落の方が収入・支出ともに大きいことによる他水光熱費の差の影響も大きいと思われる。

表２．２－７　一人当たりの支出

（単位：元／人・年、借金額・貯蓄額は元／人）

郷名／改水事業有無	総支出	飲食費	水光熱費	医薬医療費	借金額	貯蓄額
全体	1,679	935	75	72	384	7
(%)	(100%)	(56%)	(4%)	(4%)		
［改水事業有り］	1,843	978	93	67	341	1
［改水事業無し］	1,608	916	68	74	403	9

（注）１：該当する村落の単純平均
２：総支出，飲食費は自家消費金額換算分を含む。

（３）自治活動の現況

対象地域においては行政村・自然村のそれぞれのレベルで道路、灌漑施設、保健施設、学校等の維持修繕等の自治活動が行われており、活動に伴う村民の費用・役務負担は習慣化されていると見られる。

（４）水利用の現況と衛生状況

改水事業が行われていない村落の水源のほとんどが浅井戸である。井戸を各戸専用・共用で使う村落はほぼ半々である。１村を除き村民はその水質に不満足である。また、水因性疾病についての認識度も非常に高い（特に水質に問題のある永聖城郷・伍什家郷では９０％以上の村民が水質による疾病について認識している）。

浅井戸を水源とする場合は（特に各戸専用の井戸を水源とする場合は）、家庭用水の確保について時間的には問題が少ないが、川・小川を水源としている村落も極少数ながら存

在し、これらの村落では飲料水の確保に各世帯日々３０分以上かけている。

改水事業が行われた村落においても５％の世帯には給水が行われていない。集落または住居が離れすぎている、生活困難のため接続費が負担できなかった、複数世帯が同居しているといったことが主な理由である。世帯訪問調査では「必要性を感じなかった」といった回答もある。

家庭用水の溜め置きについては、ほぼ全ての世帯で蓋付きの瓶が使われているが、水を汲むとき以外にも蓋をしていない例も多く見られた。また，数多くの世帯で，瓶の底に沈殿物が見られたり，瓶の汚れによる水質の悪化が認められた。

瓶の衛生状態，人畜の糞尿による等による水質悪化の問題の解決には施設整備等の必要もあるが、適切な衛生教育の果たす役割も大きいと考えられる。

（５）給水事業実施の可能性

上述のとおり調査対象村落では、公共施設建設・維持修繕のための村民による費用負担・役務提供が行われることは日常的である。行政村長・自然村長からの聞き取りによれば、未改水村落での建設用地確保、ポンプの電源確保、役務提供、煉瓦等の材料提供についての可能性は、ほぼ全村落で高いとのことである。

改水事業が行われていない村落（３０ヶ村）における世帯訪問調査においても村落平均で、井戸掘削・幹線敷設等において５～１５人・日／戸、支線敷設・各戸への接続のためにも同程度の役務負担が可能であるとの回答が得られている。負担可能費用についてはそれぞれ２０～１００元／戸（全く拠出できないが８村落）、２０～３００元／戸（全く拠出できない村落はなし）の拠出が可能であると回答であった。費用負担について同一村落平均で両者を比較しても支線敷設・各戸への接続費用負担可能額の方がかなり高く、各戸接続への要望が高いことが窺える。

なお、役務提供時期は冬季農閑期（１０～１１月および７・８月）の希望が非常に多い。

（６）持続的維持管理の可能性

改水事業が既に行われている村落の維持管理において、ポンプの修理費用不足、修理時の給水停止の問題が１／３の村落で発生している。

改水事業が既に行われている村落においては０．２～１．０元／人・月の料金徴収が行われている。徴収率はほとんどの村で１００％であるが、８０％という村も１ヶ村ある。修理代金については別途徴収している村落も多い。改水事業の会計を見ると累積赤字を抱えているところが多く、最高赤字額は５万元（２ヶ村）である。未改水の村落の世帯による料金支払い可能（意志）額平均は０．６５元／人・月である。

改水事業が行われている村落で水質監視の有無、水質の専門家による点検の有無を問う質問に対し、有りと答えたのはそれぞれ４件、３件しかなかった。また、会計簿の有無に関する質問に、有りと答えたのは２／３に留まった。

（7）社会分析

給水計画立案時，社会的に見て配慮・反映されるべき主要事項は以下のとおり。

1）行政による維持管理支援体制の強化

これまで改水事業が行われた村落では運転・維持は各系統毎（村落毎）に行われているため，水源（水量・水質）管理はあまり行われておらず，料金設定も各村まちまちに行われ，ポンプ等の故障時には給水を停止せざるを得ないといった問題が生じている。こうした点から，揚水量・水位・水質等の記録指導，記録解析，施設・設備点検指導，大規模修理についての技術的・財政的支援等を行う行政側の体制整備が必要である。

2）井戸・ポンプ建屋の家畜家禽等による汚染防止

対象地域の村落では家畜・家禽が放し飼いをされている例が多い。このため，井戸・ポンプ建屋・公共栓等の施設計画の際には家畜・家禽による汚染防止対策は不可欠である。

3）貧困世帯・村落の費用負担・料金支払い能力を考慮した給水計画

既に改水事業が実施された村落でも給水されていない世帯がある。その中には建設時の費用負担，料金支払いが困難なため給水事業に参加できなかった例もある。今後の給水事業は比較的貧困な村落を対象としていくことになるが，そうした中で貧困世帯も含めて全世帯が給水事業に参加できるような計画とする必要がある。

4）水利用・衛生教育の強化

給水事業による効果を増大・持続させるためにも，衛生教育の果たす役割は大きい。

2.3　村落給水と保健衛生の現況

2．3．1　改水事業

本調査の調査対象地域における地下水開発計画では、地域の社会・経済特性が全面的に農業・牧畜を主体としており、「農村における飲料水／家畜用水」が開発の対象となる。中国における農村での給水施設整備事業は、水質改善と水量の確保の意味を含め、「農村改水事業」と呼ばれ、中央政府の組織である中央愛国衛生運動委員会の主導により全国規模で実施されている。このため、自治区政府、市政府、県政府の各行政段階に、愛国衛生運動委員会の下部組織である改水項目弁公室が設置され、事業実施にあたっている。

内蒙古自治区における農村給水事業は、国家政策にともない 1990 年から 1995 年の期間に整備が進んだ。自治区人口 22.8 百万人の内の農村人口 14.1 百万人に対し、8.8 百万人、約 62%が改水事業の恩恵を受けている。1996 年からの５カ年計画では、未整備人口 5.2 百万人に全て給水するとする目標を立てている。このうち第２次世銀融資事業により 1.3 百万人が整備されたのを受け、残りの 3.8 百万人に対する事業を意味する「３８０項目計画」が

自治区水利庁により策定されている。

調査対象地域の托克托県における農村村落での生活用水・家畜用水給水のための事業は、１９７９年ごろまでの呼和浩特市水利局と托克托県水利局により進められた、井戸掘削、集中（公共）水栓を基本とし管路を伴わない整備が第一段階と考えられる。その後、全国規模の衛生部、愛国衛生運動委員会改水弁公室を中心とし、農村での管路配水を基本とする給水事業の法制度の整備に伴う、本格的な改水事業が第二段階として、８２年頃から９５年まで実施されてきた。９２年からは世銀資金による改水事業（現在は第２期）が始まり、９６年までに、托克托県の農村人口１６万人の内、既に１１万人が整備を受けている。これを村落の数で示せば、全県１２０の行政村の内、８４行政村において改水事業が実施されたことになる。第三段階としては、第二段階で取り残された、財政的、規模的に条件の悪い村落への給水施設の整備が課題となるが、前述したように内蒙古自治区政府は、３８０項目計画と称する２０００年までに１００％の自治区内給水達成の目標を掲げ推進しており、托克托県でも未整備村落人口（５万人程度）への対応が課題となっている。

これを調査対象三郷における改水事業で見れば、永聖域、伍什家、及び黒城の三郷では、１９８２年からの改水事業の成果として農民人口約３万９千人に対し、７５％の２万９千人が管路による深層地下水の各戸給水を受けており、この実施率は托克托県の平均とほぼ等しい状況である（表２．３－１）。一方、本地下水開発計画調査の対象村落として、三郷から選ばれた、４３村は当然のことながら事業実施率は低く、人口比で６０％程度の達成率となっている。特に伍什家郷は４０％と低い数字である。三郷全体で、施設計画対象となる全く給水事業が行われていない村落数は３０村、１６００戸で計画対象人口は約６０００人である（表２．３－２）。

表　２．３－１　調査対象三郷の農村改水事業の実施状況

郷名	全　体			改水事業実施村			人口比率
	村数	人口	戸数	村数	人口	戸数	%
永聖域郷	22	9,875	2,549	13	8,007	2,036	81.1
伍什家郷	43	14,986	3,820	24	10,129	2,561	67.6
黒城郷	34	14,100	3,695	16	11,300	3,015	80.1
合計	99	38,961	10,064	53	29,436	7,612	75.6

表　２．３－２　調査対象村での農村改水事業の実施状況

郷名	調査対象村			改水事業実施村			人口比率
	村数	人口	戸数	村数	人口	戸数	%
永聖域郷	12	5,323	1,416	5	3,851	1,015	72.3
伍什家郷	14	4,377	1,120	4	1,879	478	42.9
黒城郷	17	5,987	1,546	4	3,680	986	61.5
合計	43	15,687	4,082	13	9,410	2,479	60.0

２．３．２　給水事業内容

中国における農村改水事業については、中央政府の組織である、衛生部及び全国愛国衛生運動委員会の主導で全国規模で実施されており、事業計画・実施のための標準図書及び国家基準の整備が行われている。

（１）給水事業内容

国家基準として、１９８９年に、農村における給水事業のための計画給水量が独自に規定され、衛生部の名前で発布されている。規定は全国の気候区分により異なるが、本調査対象地域に適用される部分は以下のとおりである。

表２．３－３　国家基準　ＧＢ１１７３０　農村生活飲用水量衛生標準（単位：L/人日）

気候区分	給水条件	類型及び最高日生活用水量		
		集中給水栓方式	各戸給水栓方式	
			洗濯場なし	洗濯場・シャワー有り
I	計量・有料給水	２０－３５	３０－４０	４０－７０
I	無料給水		４０－６０	８５－１２０

（２）飲料水水質基準

農村改水事業用飲料水水質基準であり、愛国衛生運動委員会と衛生部の連名で発布されている。

－農村実施《農村生活飲用水衛生標準》準則（９１年）

（３）未改水事業村落の水利用

調査対象村落の内、改水事業を実施されていない村落は、３０ヶ村であり、人口及び戸数は、それぞれ、２３人～３７４人、６戸～９４戸の範囲となっている。これらの村は下記の改水事業実施村の数字からも明確に示されるように、地域内では小規模な村落に属し、村落実態調査によると各戸の収入額の低い貧しい村となっている。

これらの村では大半が浅井戸を生活用水の水源としており、井戸が村落で数本の場合と各戸に持っている場合とがある。これは浅井戸と言っても深さが数メートルから数十メートルと水理地質・水質条件が異なるためと考えられる。浅井戸の他、ごくまれに溜まり水、河川水から取水している場合もあるがいずれも、水運搬、水量及び水質の問題を抱えている。とくに、水質の問題は、フッ素による地下水汚染の範囲は広く、最低でも２５％以上の住民が病状を持っているとの結果であり、事態は深刻である。

落実態調査の結果から、生活用水（飲用、洗濯、その他）は一人一日あたり、平均で約２０リットルを使用している。一戸の平均家族数は４.１人なので一戸あたりで言えば一日

８０リットル強となる。また、ごく一般に、農家では畑作と同時に、牛、豚、馬、鶏等の家畜を自宅で飼っており家畜用水に各戸一日あたり、平均で１１０リットルを使用している。これらは改水事業村落とほぼ等しい結果となっている。

（４）改水事業実施村落の水利用

調査対象村落の内、既に改水事業を実施した村落は、１３ヶ村である。実施の時期は８７年から９６年までほぼ十年間に限られているが、施設内容は実施方法により、異なっている。すなわち、初期の防フツ改水事業では浅井戸＋薬品処理の方式をとっている例もある。また、自己の資金により独自の給水施設を持っている例もある。これらの１３ヶ村の人口及び戸数は、それぞれ、１１６人～2,２９０人、３５戸～６０９戸の範囲となっている。これらの村は調査対象村落の中では比較的大小規模な村落に属し、村落実態調査の結果では各戸の収入額が比較的大きく、住民負担に耐えらる豊かな村が多いことが明らかである。

これらの改水事業では原則的に深層の地下水を水源としており、すべて各戸給水方式の給水施設となっている。この結果、当然ながら、水量の確保と水運搬の労力削減に大きな効果を上げたことはいうまでもないが、村落実態調査の結果によれば、生活用水（飲用、洗濯、その他）は一人一日あたり、平均で約２０リットルを使用している。一戸の平均家族数は4.0人なので一戸あたりで言えば一日８０リットル前後となる。また、牛、豚、馬、鶏等の家畜のための用水に各戸一日あたり、平均で１１０リットルを使用している。

しかしながら、一方、フッ素汚染に関わる水質対策の問題では、一部の地域で、改善はされたが、まだ、飲料水基準を大きく上回る濃度となっていることに留意しなければならない。

２．３．３　水因性疾病

（１）托克托県の水因性疾病

内モンゴル自治区には、地下水に起因する深刻な水因性疾病としてフッ素中毒とヒ素中毒の２つがある。フッ素中毒の多発が最初に報告されたのは 1962 年のことで、それ以来、内モンゴルの地方病（風土病）として関心が向けられ、各地からフッ素によると思われる歯や骨の障害が報告されるようになった。1982 年に自治区人民政府が内モンゴル全域でフッ素汚染の総合調査を実施した結果、8600 余の井戸の 47%から中国の飲料水の基準値（1ppm）を超えるフッ素が検出され、フッ素中毒の病区は内モンゴルの 100 旗のうちの 73 旗におよぶことが明らかになり、190 万人の歯牙フッ素症（中国では「フッ斑牙」という）と 23 万人の骨フッ素症（中国では「フッ骨症」）の患者が確認された。今回の調査対象である托克托県永聖域、伍什家、黒城の３郷は、内モンゴルのフッ素中毒の病区の中で最も罹患率の高い地域に含まれている。

フッ素による疾病の調査が進む中で、1990 年に報告されたのが、内モンゴルにおけるヒ素中毒の発生であった。中国の飲料水中のヒ素の基準値（0.05ppm）を大幅に超える井戸水を飲んでいた住民に、ヒ素中毒の特徴的な症状である皮膚の角化症や色素異常が見つか

り、その後の調査で、3つの病区から約1800人の患者が発見された。病区ごとの患者数は、陰山山脈と黄河にはさまれた河套病区に1450人、呼和浩特と包頭の間によこたわる土默特病区に230人、ヒ素鉱山の近くにある赤峰病区に100人とされ、今回の調査対象となった永聖域郷と伍什家郷は、この中の土默特病区にきわめて接近した地域にあたる。一方内蒙古のヒ素中毒に関しては、日本のNGOである「アジアヒ素ネットワーク」も1993年来中国側の地方病防治研究所と共同し、五原県勝利村を中心とした調査・活動を続けており、本調査はそれらを踏まえたものとなっている。

以上のように、托克托県の3つの郷には、ほぼ全域にフッ素中毒患者が、一部にフッ素中毒とヒ素中毒の複合した患者が存在することが予測され、その症状や程度を正確に把握することは、地下水開発計画を策定するうえで重要な指針になるものと考えられた。

（2）水因性疾病調査の実施

水因性疾病に関する健康調査は、托克托県永聖域、伍什家、黒城3郷43か村の4082世帯のうち1000世帯を対象に実施することを目標とした。調査を担当したのは、内蒙古自治区地方病防治研究所の郭小娟医師を代表にする医師2人と助手4人で、1997年5月5日から8月22日までの間、2班に分かれて各集落を訪れ、「水因性疾病調査表」をもとに戸別訪問しながらおこなった。調査世帯は1023世帯で全体の25.1%、調査人数は2473人で人口の15.8%にのぼった。調査世帯の比率と調査人数の比率に10%近い差が生じたのは、現地の事情を考慮して戸別訪問方式を採用した結果、訪問時に不在だった家族の調査が抜け落ちてしまったからだと思われる。

また、戸別訪問方式の欠点を補うために、9月16、17日に郭小娟医師が学校を訪れて、視診による学童の歯牙調査をおこなった。

（3）調査の結果

今回の健康調査で判明したヒ素とフッ素中毒の発生状況は以下示すとおりである。

ヒ素中毒は軽度の患者が2人（0.1%）見つかっただけであったが、フッ素中毒は軽度347人（14.0%）、中等度954人（38.6%）、重度9人（0.4%）の合計1310人（53.0%）の患者が確認されて、調査対象にした3郷は住民の半数がフッ素中毒に罹患しているきわめて重大な患者発生地域であることが明白になった。郷別に有症率をみると、永聖域郷は53.3%、伍什家郷は62.7%、黒城郷は44.7%となり、フッ素の健康障害は伍什家が最も深刻で、ついで永聖域、黒城の順となることがわかった。

２．４．　調査地域における地下水賦存状況

２．４．１　水文地質構造の検討

（１）　調査地域の水文地質構成

図２．４－２に模式的な水文地質断面図を示し、また図２．４－３に調査地域の水文地質図を示す。

１）深層被圧帯水層

深層被圧帯水層は、主要伏在断層を境に、南側の白亜系帯水層の加圧層となっている。上部更新統は砂層を挟在する有機質泥層より成り、下位の下部更新統帯水層の加圧層となっている。

２）浅層不圧帯水層

浅帯不圧帯水層は調査地域全域に分布し、完新統および加圧層を形成する上部更新統と第三系の一部に形成されている。

３）帯水層の水理定数

各層の透水係数は、図２．４－１のようにまとめられる。

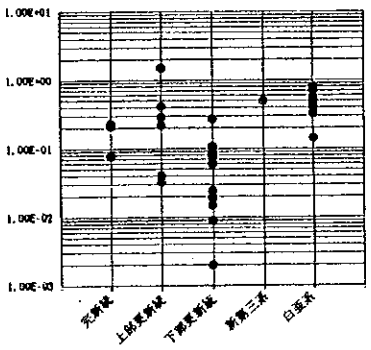


図２．４－１　各層の透水係数（単位：m/日）

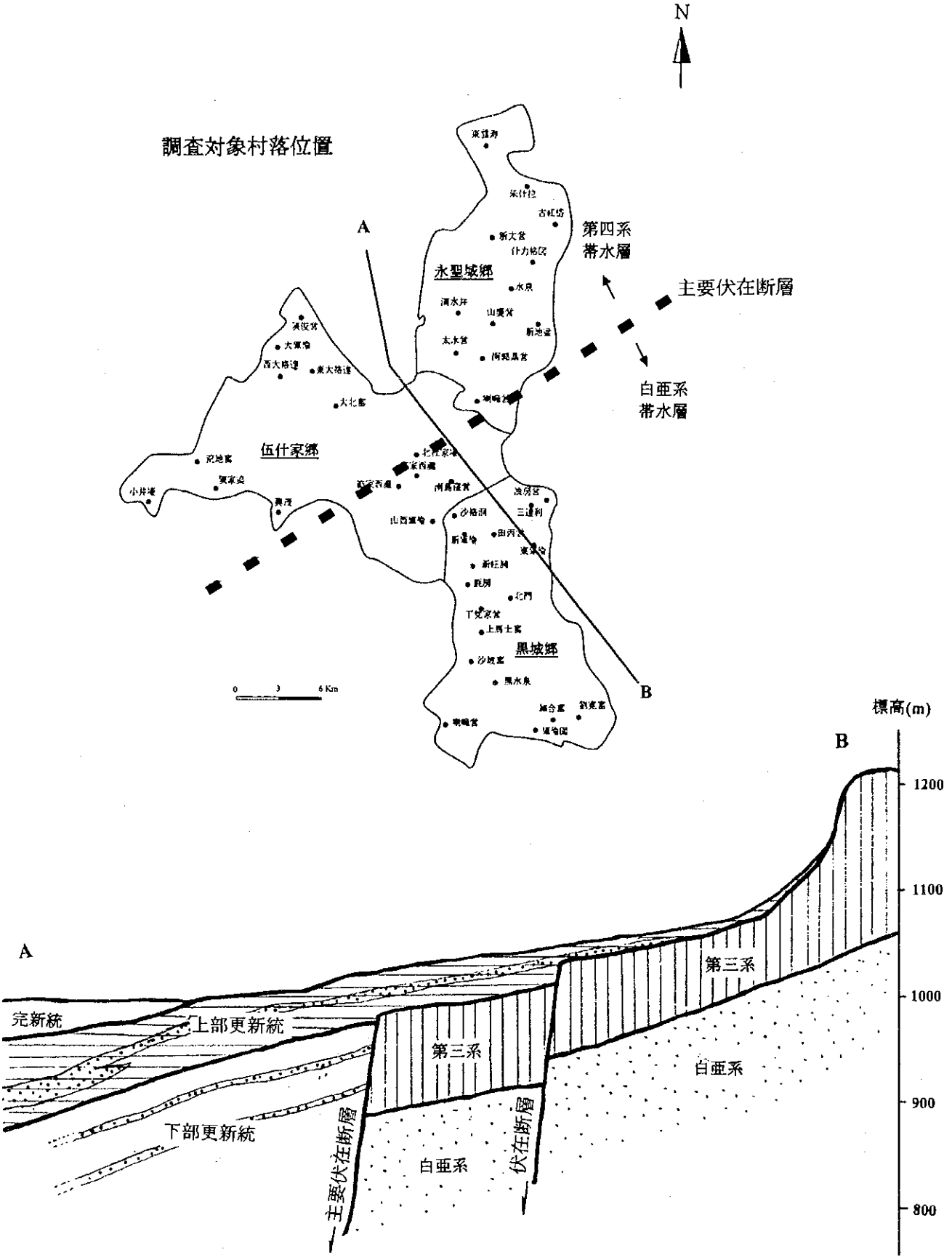
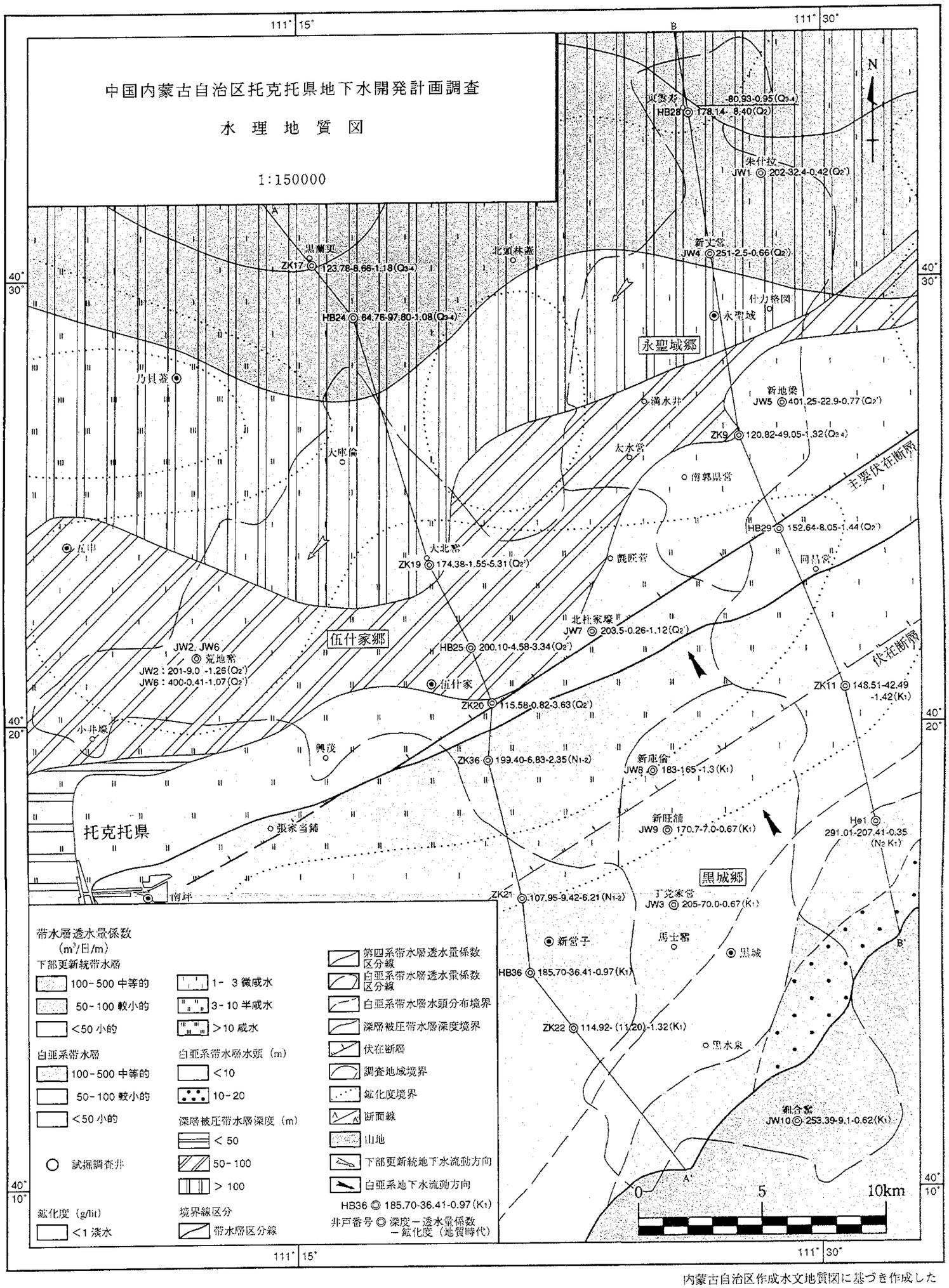


図２．４―２　　調査対象地域　模式水文地質断面図



内蒙古自治区作成水文地質図に基づき作成した

図2．4－3　調査地域の水文地質図

（3）地下水面

1） 浅層不圧地下水

図２．４－３に浅層不圧地下水位等高線を示す。この図に示されるように、浅層不圧地下水の水位等高線はほぼ地形面と並行し、地表からの降水涵養の影響を受けていることをうかがわせる。

2） 深層被圧地下水

図２．４－５に示される被圧地下水等高線は、1966 年から 1997 年当時の、開発以前の深層被圧地下水の水頭分布を示すものである。この図に示されるように、主要伏在断面層を境として、南側の白亜系被圧帯水層の地下水位面は、北側の平野部に向かって比較的急な勾配で傾斜しているが、断層北側の下部更新統被圧帯水層の地下水位面は南西方向に向かって、緩やかに傾斜している。

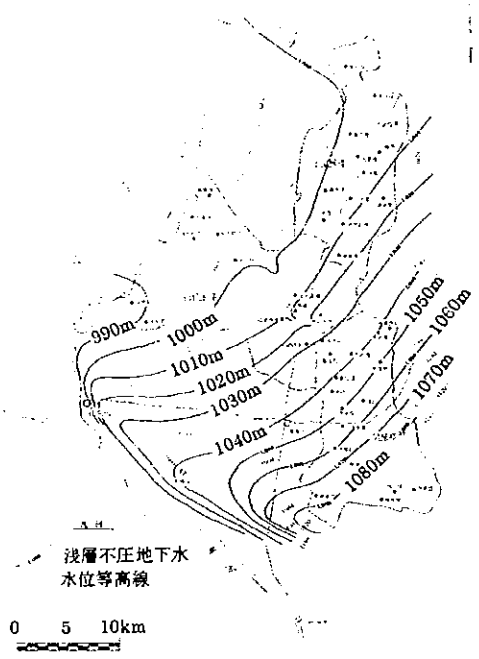


図２．４－４浅層不圧地下水水位等高線
（1997 年４月測定）

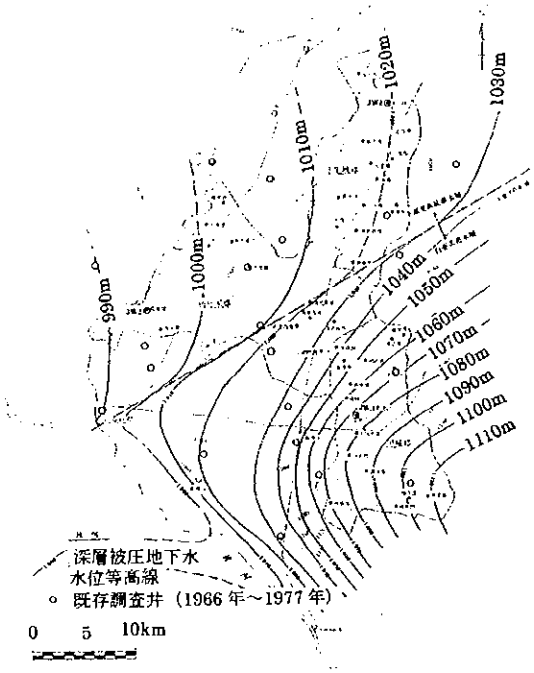


図２．４－５深層被圧地下水水位等高線
（1966 年～1967 年測定）

（4）涵養機構の検討

1）降水量、蒸発量

図２．４－６に、托克托県における月別平均降水量と蒸発量を示す。

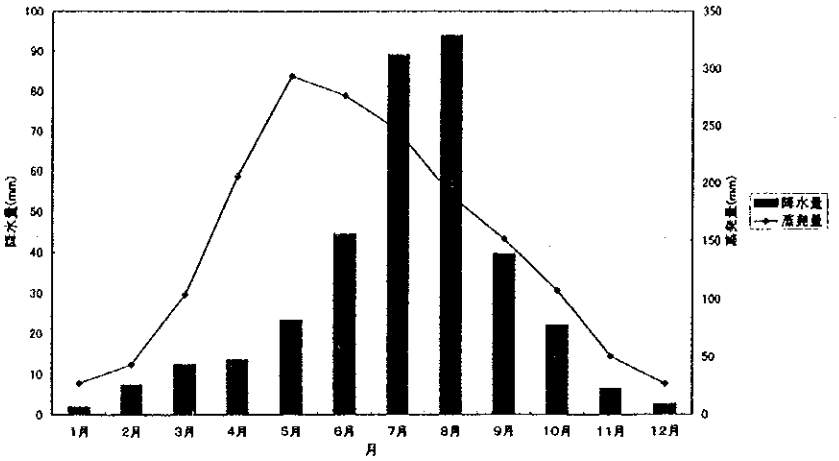


図２．４－６ 托克托県の月別平均降水量と蒸発量（1976 年～1996 年）

図２．４－６に示されるように、托克托県における降水量は夏季で多く、冬期で少ない。托克托県における平均年間降水量は、357mm である。また、平均年間蒸発量は、1,721mm であり、全ての月で蒸発量が平均降水量を大幅に上回っている。

２） 地下水の涵養機構

a. 浅層不圧地下水

調査地域の浅層不圧地下水は降水により涵養され、その量は降水量の 5%以下であろうと推定される。一方、浅層不圧地下水の水位は、下位の被圧地下水よりも低いことから、被圧地下水帯水層から漏水涵養を受けていることが想定される。

b. 深層被圧地下水

深層被圧地下水の年代測定の結果、１万年から２万年以前との結果が得られ、降水等からの新しい水の涵養を受けていない、古い地下水であると判定される。また、調査地域の深層被圧地下水には、次図に示すように、白亜系帯水層中を南側の山地から流入する流れと、主要伏在断層以北で下部更新統帯水層中を北東方向から流れてくる二つの流れが推定される。

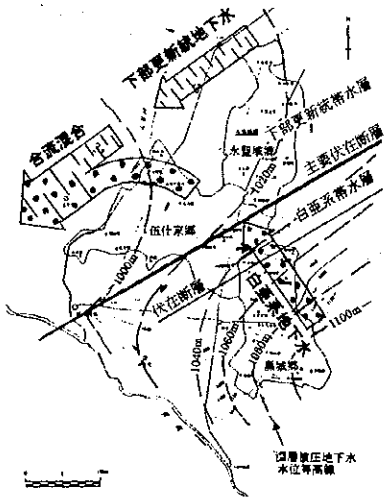


図２．４－７ 深層被圧地下水の流動模式図

2．4．2　地下水賦存量の量的検討

（5）　水文地質モデル

地下水解析に用いる水文地質モデルは、図2．4－8に示すように4層構造とした。表2．4－1に、地下水解析のために帯水層区分を示す。

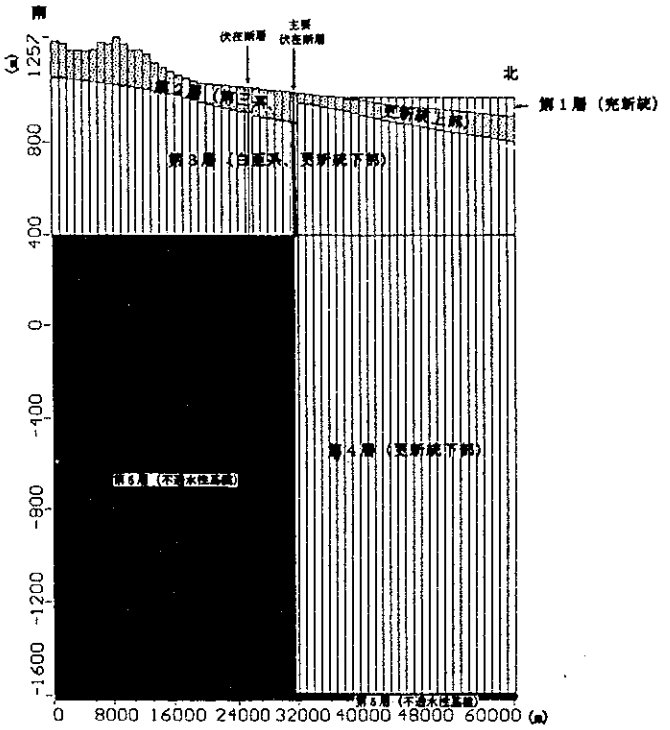


図2．4－8　帯水層構造模式断面図（調査地域中央部、南北方向）

表2．4－1　地下水解析のための帯水層区分

帯水層区分	地質区分	帯水層特性
第1層	完新統	浅層不圧帯水層
第2層	上部更新統、第三紀系	加圧層 (南部で浅層不圧帯水層を形成)
第3層	白亜系、下部更新統	深層被圧帯水層
第4層	下部更新統	深層被圧帯水層
第5層	三畳系、火成岩、変成岩等	不透水性基盤

（2）　地下水賦存量の量的評価

地下水浸透流解析の結果選られた地下水水収支に基づき、地下水の水質を考慮しない、地下水賦存量（地下水開発可能量）の量的評価を行なった。

1）地下水水収支の検討

地下水浸透流解析結果から、調査地域３郷全体での地下水涵養量の総量は、約 48MCM/年と算定された。現況の地下水水収支を、模式的に図２．４－９に示す。

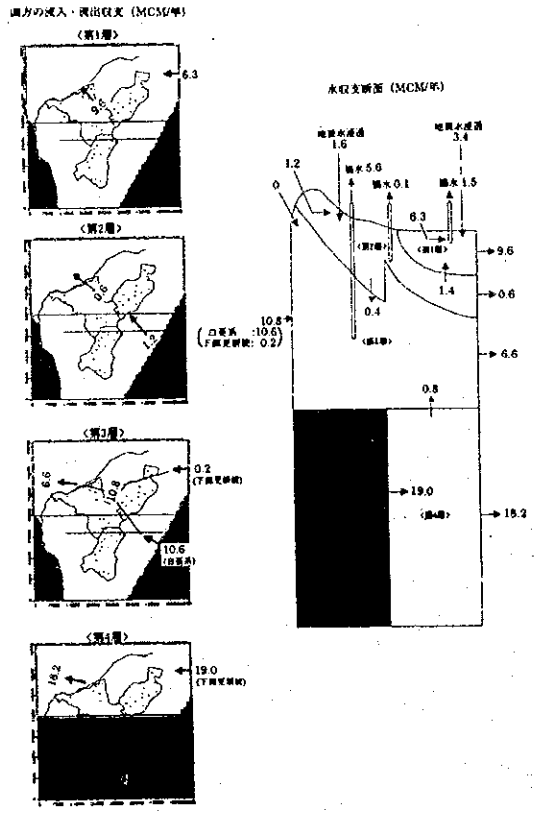


図２．４－９　地下水の現況水収支模式図

2）量的な面からの地下水開発可能量の検討

ここでは地下水の水質を考慮せずに、量的な観点に立って、その開発可能量を検討した。地下水の涵養量から想定される、地下水の開発可能量算定結果を、次の表に取りまとめる。

表２．４－２　水質を考慮しない場合の調査地域の地下水開発可能量算定結果

地下水	帯水層	地下水涵養量 (MCM/年)	涵養量に対する開発可能量の割合 (%)	地下水開発可能量 (MCM/年)	既往地下水開発量 (MCM/年)	将来の地下水開発可能量 (MCM/年)
浅層不圧地下水	第１層および第２層	15.0	40-50	6.0-7.5	1.6	4.4-5.9
深層被圧地下層	第３層白亜系帯水層	10.6	60-70	6.4-7.4	5.4	1.0-2.0
	第３層下部更新統帯水層	3.2	40-50	1.3-1.6	0.2	1.1-1.4
合計	－	28.8	－	13.7-1.5	7.2	6.5-9.3

２．４．３ 地下水賦存量の質的検討

地下水の水質を考慮した、地下水の開発可能量を検討した。その結果を次に示す。

（１） 地下水の水質分布

調査地域における地下水の水質の問題は、地下水に含まれるフッ素およびヒ素に集約される。つまり、浅層地下水のほとんどすべてがフッ素により汚染され飲料に適さないことが判明し、深層被圧地下水も、地域によってはフッ素およびヒ素濃度が高く、利用できない地域があることが明らかとなった。この状況を、図２．４－１０および図２．４－１１に示す。

（２） 地下水賦存量の質的評価

調査地域における、質的な面からの地下筋開発可能量は、以下のように推算される。

１） 主要伏在断層以南の白亜系地下水

a. 地下水開発地域

今度白亜系地下水を大規模に開発できる地域は、図２．４－１２に示すように、地下水開発がほとんど行なわれていない主要伏在断層沿いの南側の地域に限定される。従って、この地域での地下水開発量と水質の変化の関係を検討し、地下水の開発可能量を推算した。

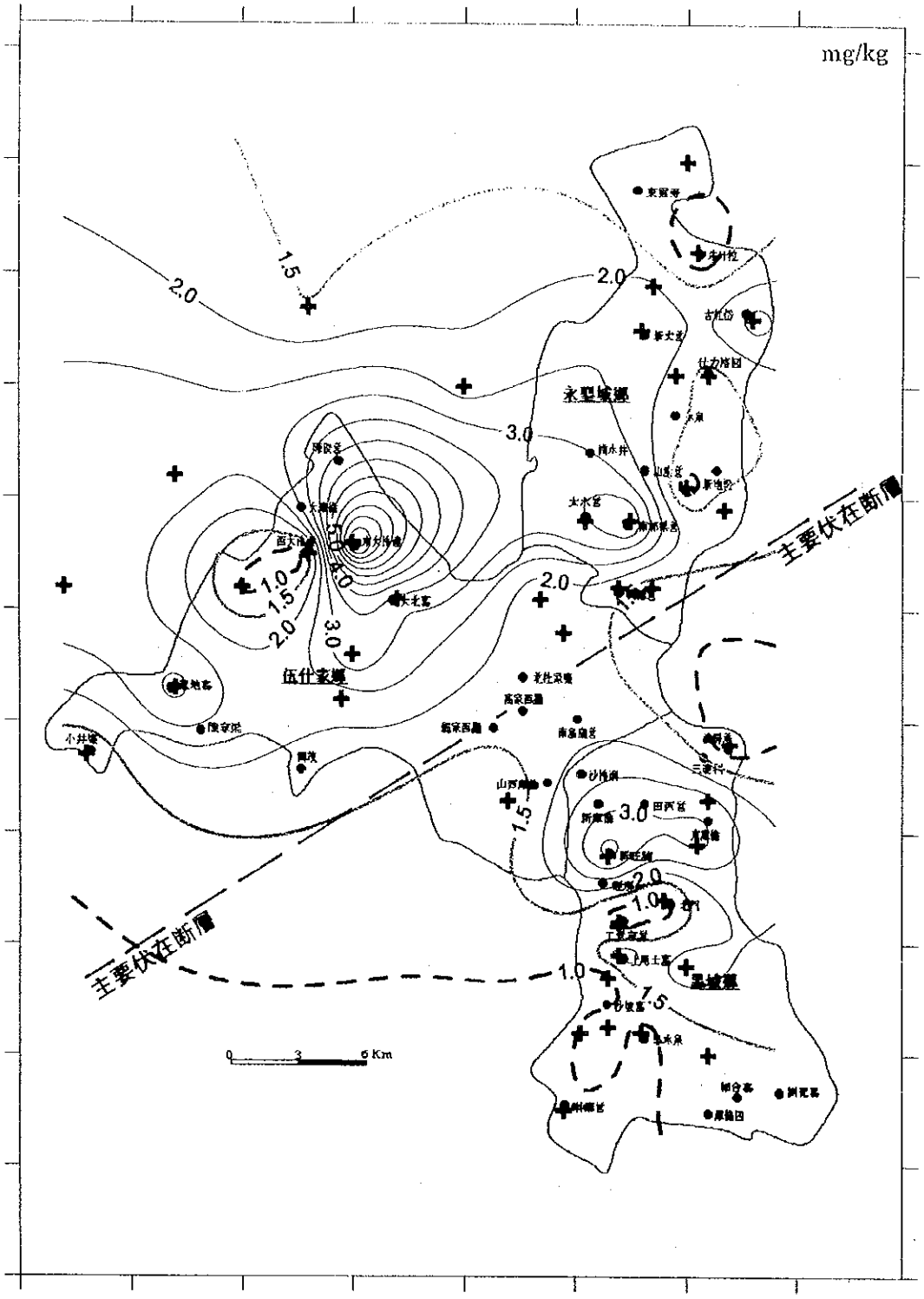


図２．４－１０　深層被圧地下水のフッ素濃度分布図

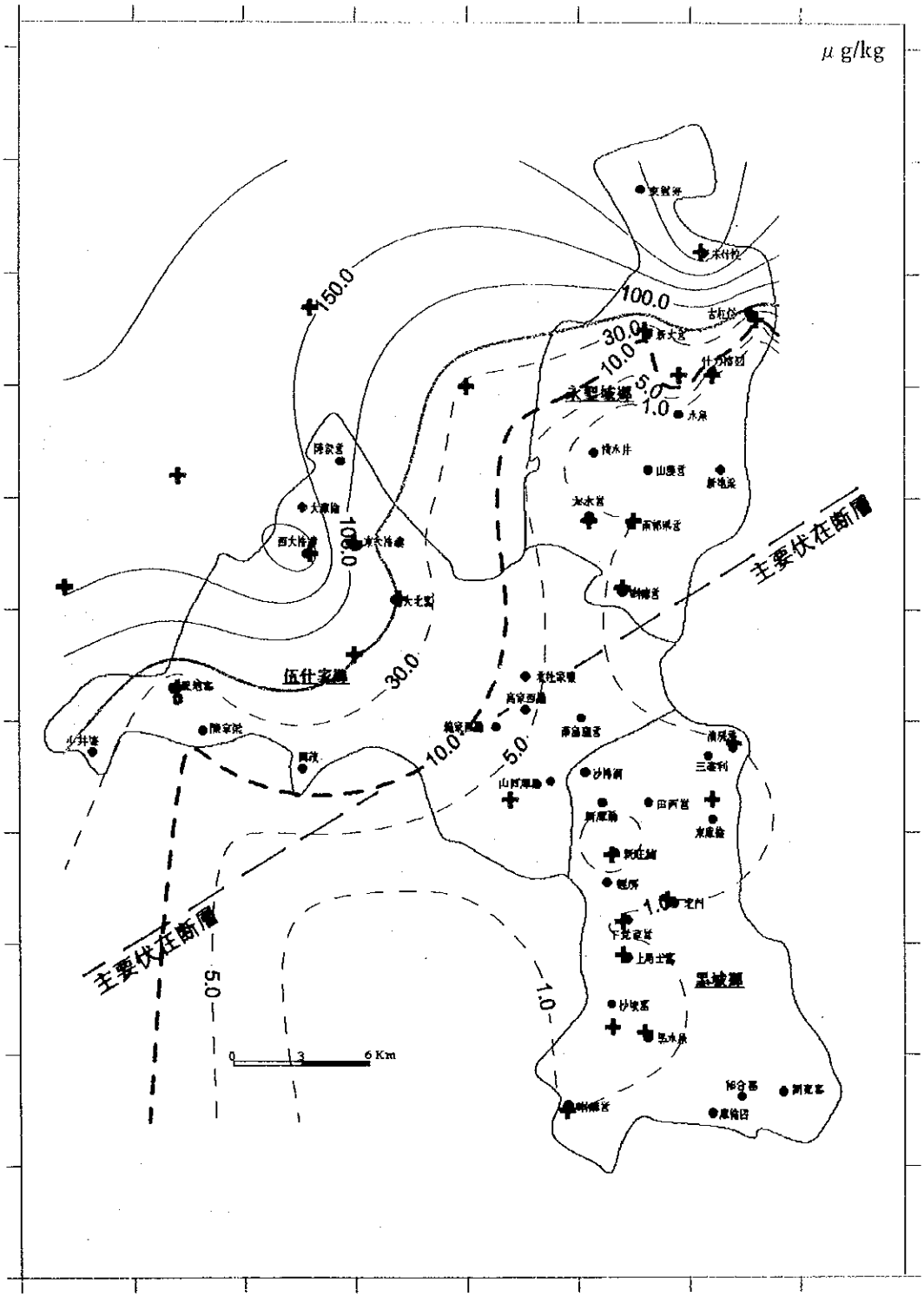


図２．４－１１　深層被圧地下水のヒ素濃度分布図

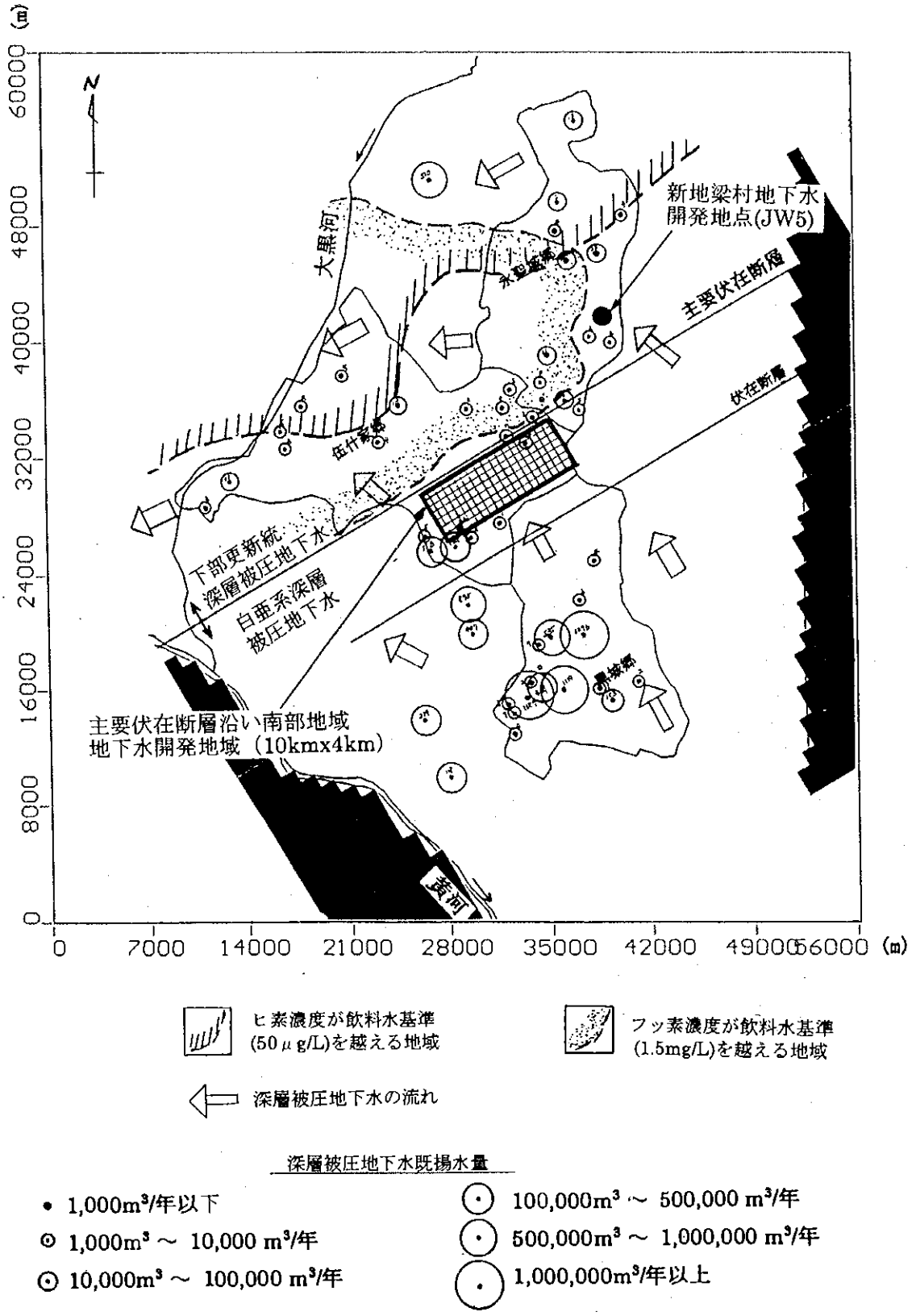


図２．４－１２　水質分布と既往の地下水開発から決定される地下水開発候補地域

b. 水質変化予測

地下水の移流・分散解析の結果から、1.8MCM/年程度の開発で、伏在断層沿いに大幅なフッ素濃度の上昇が予想された。このため、白亜系地下水の将来の開発可能量は、おおよし1MCM/年程度であろうと推算された。

白亜系帯水層の分布する主要断層以南地域は、ヒ素汚染地域から 10km 以上は慣れており、地下水開発に伴うヒ素の引き込みは発生しないものと予測された。

2）新地梁村付近の下部更新統地下水

a. 地下水開発地域

下部更新統地下水の中で、唯一開発が可能な地域は新地梁村一帯の地域である（図２．４－１２参照）。地下水開発を、ここに掘削した試堀調井（JW5）を利用して行なう条件で、揚水量と水質の変化の間系を検討し、JW5 での地下水開発可能量を推算した。

b. 水質変化予測

地下水の移流・分散解析の結果から、JW5 において下部更新統地下水を 0.7MCM/年開発したとしても、フッ素濃度の上昇はほとんど認められないが、井戸内水位が地表面下－64m にまで低下し、揚水効率が悪くなると予想された。従って、JW5 における地下水開発可能量は、おおよそ 0.5MCM/年程度であろうと推算された。

粒子追跡法で、JW5 での深層地下水揚水に伴う高ヒ素濃度地下水の引込みを検討した結果、0.7MCM/年の地下水開発を行った場合でも、新地梁村に向かう粒子の流れは認められず、高ヒ素濃度地下水の引き込みはないものと判定された。

水質を考慮した場合の、深層地下水の開発可能量を次の表に取りまめる。

表２．４—３　調査地域における水質を考慮した深層地下水開発可能量

地下水水質分布により限定される地下水開発地域	制限要因による開発可能量			開発可能量
	フッ素濃度	ヒ素濃度	井戸内水位	
主要伏在断層沿い南部の白亜系地下水分布地域	1.0MCM/年	制限要因とならない	制限要因とならない	1.0MCM/年
新地梁村一帯の下部更新地下水分布地域（試堀調査 JW5）	制限要因とならない	制限要因とならない	0.5MCM/年	0.5MCM/年
合　計	—	—	—	1.5MCM/年

地下水賦存量の量的検討で述べたように、水質を考慮しない場合の、将来の地下水可能量は 6.7MCM/年から 9.3MCM/年であることから、安全な地下水の開発可能量は、これの僅か 15%から 20%に過ぎず、調査地域では安全な地下水の量は非常に限られていると言える。

従って、生活用水として深層被圧地下水を持続的に利用していくためには、主要伏在断層以南や新地梁村一帯の水質が良好な地域における深層地下水開発を、生活用水の確保等の小規模なものにとどめ、灌漑等のための大規模な深層地下水開発は、今後制限していくべきであると考えられる。

第３章　開発計画の概要

3　開発計画の概要

3．1　開発諸元

地下水開発計画・給水計画策定のための計画諸元は以下に集約される。

（1）計画目標年

「2010 年を計画目標年とする。」

（2）給水施設建設対象村落

3郷内の給水施設未建設村及び給水施設建設村落で水質の悪い村落

（3）計画対象人口及び計画給水率

計画は、2010 年で 100%給水を目標とし、計画対象人口は三郷の将来予測人口を表3．1－1のとおりとする。各村落の将来人口及び戸数については、現村民数及び戸数にこれらの各郷での伸び率を適用し算出する。

表3．1－1　調査対象三郷将来人口及び給水量

郷	将来人口	日給水量	計画給水量	年間給水量
	(人)	(L/人・日)	(M3/日)	(M3/年)
永聖域	9,900	50	495	181,000
伍什家	17,200	50	860	314,000
黒城	15,600	50	780	285,000
3郷計	42,700		2,135	780,000

（4）地下水開発地区及び水源

永 聖 域 郷

試掘井調査により、新地梁に良質、水量豊富な水源井戸が確保されたので、これを水源とする。この水源井戸の揚水可能量は、2010 年の永聖域郷全域の飲用水需要を十分まかない得るものであり、ヒ素・フッ素の汚染水質分布の状況から、永聖域郷内では地下水水源として新地梁の近辺以外に考えられないため、集中管理のメリットを考慮し、年産井は1ヶ所のみとする。

伍 什 家 郷

主要断層南部の白亜系帯水層を地下水開発地区とする。永聖域郷新地梁村での試掘調査で判明した、第 4 系下部更新統における開発の可能性が伍什家郷内にもあるが、400m 級の深度を必要とし、水質改善の確実性が低いことから対象としない。

黒　城　郷

山間部を除き、全域で白亜系帯水層の使用が可能である。浅層地下水はフッ素汚染の可能性が高く、本調査での給水計画には使用を考慮しない。

（5）給水計画量

「計画給水原単位を 50L/人･日とする。」

国家基準 1989 年「農村生活飲用水量衛生標準」各戸給水栓方式の洗濯場・シャワー有り 40～70 L/人･日を適用する。

（6）給水水質基準

愛国衛生運動委員会と衛生部の連名で発布された、農村改水事業用の飲料水水質基準である≪農村生活飲用水衛生標准≫準則（91 年）3 級を適用する。調査地域で問題となっているフッ素及びヒ素の基準は以下のとおりである。

フッ素化合物（F）	1.5	mg/L
ヒ素（As）	0.05	mg/L

（7）給水方式

計画目標年 2010 年での給水方式は、原則として、村落内に水質の良好な水源がある場合には、村落毎に独立した給水系統の各戸給水施設を設置する。一方、村落内に安全な水が確保できない場合には、外部からの導水を考慮する。ただし、運営・維持管理の組織面の理由から、外部導水の場合も同一の郷内に水源を求める。

（8）水処理法

汚染地下水

フッ素・ヒ素汚染地下水を対象とした水処理は、高度処理となり、農村給水事業として現実的ではないため計画対象としない。

白亜系地下水

白亜系地下水は水質の問題はないので村落内もしくは 2～3km 以内での共同使用では、無処理で使用する。ただし、遠距離送水となる系統では、塩素注入による滅菌処理を考慮する。

3．2　地下水開発計画

（1）地下水開発地点と開発量

村落給水計画と給水試行事業に基づき、地下水開発地点と開発量を表3．2－1に示すように設定した。これらの地点の位置を図3．2－1に示す。

表3．2－1　地下水開発地点と開発量

開発地点		帯水層	開発量（千 m^3/年）
永聖域郷	新地梁村	下部更新統	180.0
伍什家郷	北杜家壕村	下部更新統	5.5
	南島窪村	白亜系	48.0
	南一間房村	白亜系	131.0
黒城郷	小揚三窰村	白亜系	3.0
	新庫倫村	白亜系	7.0
	新旺鋪村	白亜系	3.5
	油房営村	白亜系	7.0
	合同営村	白亜系	15.0
	丁党家営村	白亜系	7.5
	上馬士窰村	白亜系	18.5
	黒城村	白亜系	63.0
	道倫呼都格村	白亜系	1.0
	南営子村	白亜系	2.5
	細合窰村	白亜系	4.0
	劉寛窰村	白亜系	7.5
合計	16ヵ村	―	504.0

（2）地下水開発に伴う井戸内水位低下量と水質変化予測

各開発地点において、地下水開発を開始してから20年後の、地下水開発に伴うフッ素濃度変化予測と水位変化予測を行なった。この結果、開発から20年後においても、全ての開発地点で飲料水基準を上回るような地下水のフッ素濃度上昇は認められず、また、大幅な地下水位低下も発生しないものと予想された。従って、ここで策定された地下水開発計画で、持続的に深層地下水を開発できるものと判定された

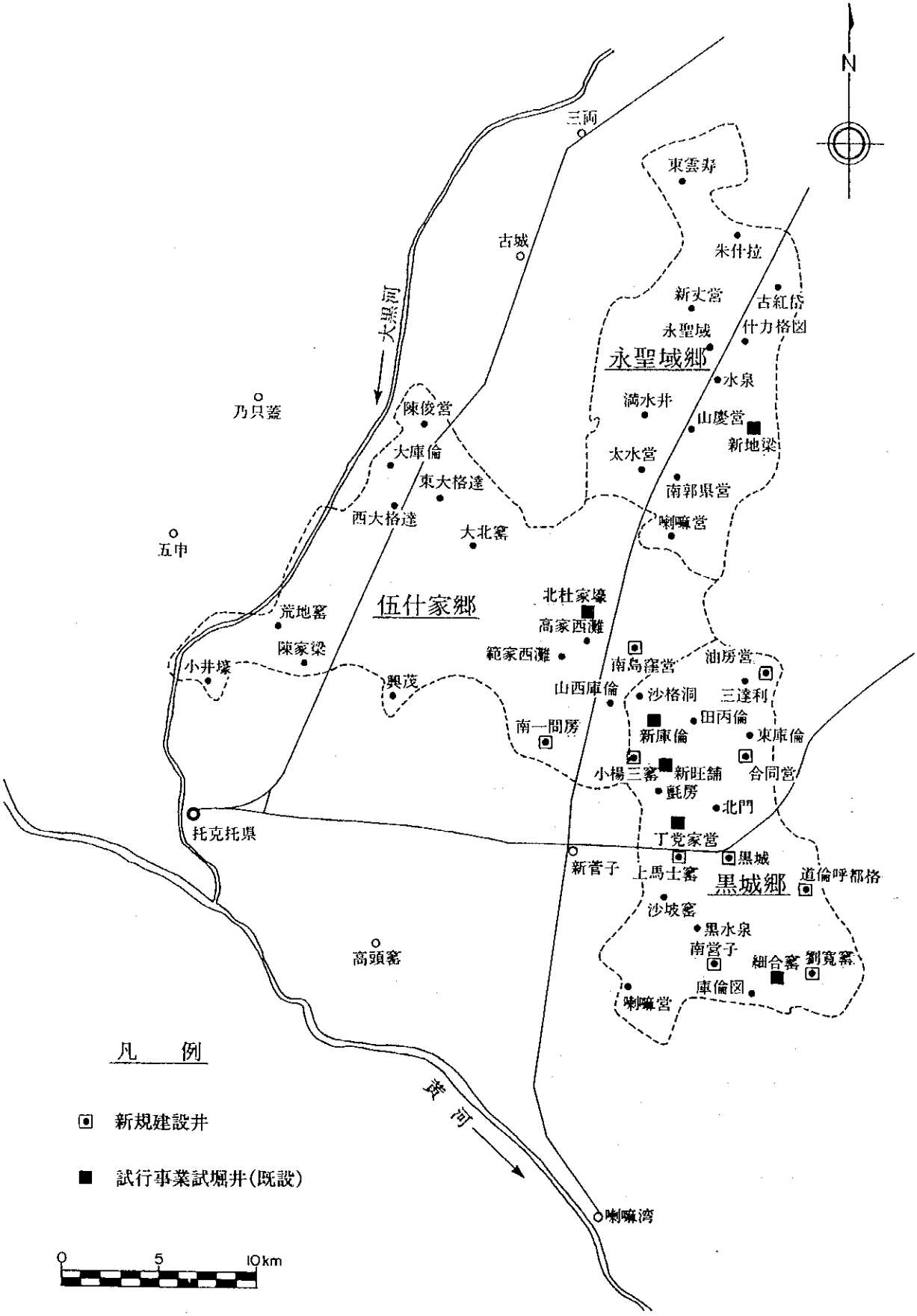


図3.2-1 地下水開発地点

（3）生産井の掘削数量と構造

村落給水計画のための生産井の構造諸元を、調査地域水文地質状況を考慮して、表３．２－２に示すように計画した。なお、生産井の掘削仕様は今回の調査で掘削した試掘調査井と基本的に同じとした。

表３．２—２　生産井の構造諸元

開発地点		帯水層	揚水量 (千m³/年)	計画井戸深度(m)	掘削口径(mm)	井壁管径(mm)	濾水管設置区間(m)	止水区間(m)
伍什家郷	南島窪村	白亜系	48.0	200	500	200	150-200	0-150
	南一間房村	白亜系	131.0	200	500	200	150-200	0-150
黒城郷	小揚三窰村	白亜系	3.0	200	500	200	150-200	0-150
	油房営村	白亜系	7.0	150	500	200	100-150	0-100
	合同営村	白亜系	15.0	150	500	200	100-150	0-100
	上馬士窰村	白亜系	18.5	150	500	200	100-150	0-100
	黒城村	白亜系	63.0	150	500	200	100-150	0-100
	道倫呼都格村	白亜系	1.0	170	500	200	120-170	0-120
	南営子村	白亜系	2.5	200	500	200	150-200	0-150
	劉寛窰村	白亜系	7.5	200	500	200	150-200	0-150
合計	10ヵ村	—	296.5	1,770	—	—	500	1,270

（4）地下水管理計画

1）地下水位管理

地下水源量の監視と、井戸内水位の低下による水中ポンプの故障を未然に防ぐことを目的として、生産井の水位観測を定期的に行なう。水位観測は、1 週間に 1 回程度を目途として行なう。

2）地下水の水質管理

住民の健康を守るために、地下水の水質を監視する。

現場水質測定は、水温、pH、酸化還元電位、電気伝導度の簡易分析項目を、1 月に 1 回現場で測定する。

ヒ素およびフッ素を含む中国の飲料水基準に基づく水質分析は、夏季と冬期の年 2 回、定期的に各生産井から採水して行う。

3．3　村落給水計画

（1）広域整備の必要性

2．4章で結論付けられたように、永聖域郷及び伍什家郷では飲用水として安全な水の地下水水源の賦存は地域的に極めて限定されており、かつ、既に改水事業が実施された村落についても水質改善の必要性が高く、この2つの郷における給水計画は広域的な対応を行わなければならないことが明確となった。　したがい、給水計画では、本調査で計画対象村落として当初指定された43の村落のみを対象とした計画は現実的でなく、調査対象三郷内の全村落を対象としたものとならざるを得ない。一方、広域整備の範囲としては、行政組織としての郷人民政府の役割は大きく、郷を越えない範囲での水源開発、送水設備整備が、維持・管理の組織面を考えた場合に適切と考えられるが、水理地質・水質調査の結果、それが可能との結論を得ている。

（2）永聖域郷

1）概　況

全ての地域が断層の北部に含まれ、新地梁の近辺を除く地域では水質基準を満たす水源は得られない。また、一部の浅層地下水を利用する既存給水施設では現状水質に問題がないが、将来の水質悪化の恐れもあり、広域的な水源確保の対応が必要である。

2）給水計画

水源は新地梁生産井（可能揚水量：1000m3/日、最終揚水量：500m3/日）を使用する。対象村落は、当面の給水には水質的、水量的に問題がない村落があり、それらの村落は整備の優先順位では考慮を要するが、計画目標年では水質悪化あるいは水量不足のため、全ての村落で新水源からの導水が必要となるものと考える。 概略施設計画の検討結果では、永聖域郷での給水施設として、新地梁に送水センターを設置し、5系統の送水幹線による全村落への導水が考えられる。

（3）伍什家郷

1）概　況

基本的に、主要断層北部の水質は極めて悪く、北部地域では村落内で水質基準を満たす水源は得られない。永聖域郷と同様、一部の浅層地下水を利用する既存給水施設では現状水質に問題かないが、将来の水質悪化の恐れもあり、広域的な水源確保の対応が必要である。

2）給水計画

水源は伍什家郷内の主要断層南部地域に賦存する白亜系帯水層を対象とする。また、水源の代案として、樹林を通過する灌漑用水を浄水処理することを前提として考慮する。計画対象村落は、永聖域郷と同様、当面の給水には水質的に水量的に問題がない村落があり、それらの村落は整備の優先順位では低くおさえられるが、計画目標年では、水質悪化あるいは水量不足が予想され、全ての村落で新水源からの導水が必要となるものと考えられる。概略施設計画の検討結果では、伍什家郷での給水施設として、既存の世銀の開発計画である一間房系統の完成に加え、南一間房付近と南島窪営に新たに水源井戸を設置し、それぞれ、郷西部地域及び郷北部地域へ、３系統の送水幹線を通じ、村落への導水が考えられる。

黄河灌漑用水を用いた浄水処理については、簡易な濁度処理を適用した水処理システムが代案として検討の価値があるとして地下水送水システムとの比較検討を行った。結果として、郷内で水源が確保される今回の給水計画では、地下水利用案が経済的であると判断され、計画案は地下水開発 + 送水ポンプシステムとした。

（4）黒城郷

1）概　況

黒城郷は、全域主要断層南部に位置し、飲用水水質基準を満たす白亜系帯水層が開発可能である。南部の張全営、黒水泉及乃同周辺は給水施設の整備が完了しているが、黒城あるいは合同営等の一部の浅層地下水を利用する既仔給水施設では現在、水質悪化が進み、水質改善の必要が生じている。

2）給水計画

基本的に運営/維持･管理の容易な独立系の給水施設を計画する。一部の人口の少ない村落では、井戸掘削費用との比較で、2～3 ヶ村の共同利用を考慮する。概略施設計画の検討結果では、黒城郷での給水施設として、新規井戸掘削 8 ヶ所及びそれに伴う水源共同利用施設が計画される。

３．４　施設計画

給水計画に基づき、調査地域の給水施設概略設計を作成する。一方、概略施設計画を用い、事業費の算定を行う。

（１）計画の対象

施設計画の対象となる村落は、調査対象三郷のうち、給水施設が未整備で水源確保とともに給水配管網建設の必要な村落と、村落内の給水施設は整備されており水質改善のための水源確保だけを必要とする村落があり、それらの内訳数、総数及び 2010 年の推定人口は表３．４―１にまとめられる。

表３.４―１　対象村落数

郷　名	村落数	給水配管網工事村落	水源改善工事村落	2010年人口
永聖域郷	１９	2	１７	7,303
伍什家郷	２７	１６	１１	10,599
黒城郷	１６	１１	5	6,401
合　　計	６２	２９	３３	24,303

（２）施設の構成

施設は、永聖域郷と伍什家郷での安全で衛生的な水の水源井戸から給水先の村落まで送水する広域送水幹線網と村落内給水配管網施設とに分けられる。

１）広域送水幹線網

水源から郷内の各村落へ送水する管渠網である。施設の構成は、水源用井戸、送水ポンプ、送水管幹線、中継ポンプ等からなる。調査地域では、1/20000 の縮尺の地形図が利用可能であり、それに基づく施設設計を実施した。その結果の送水幹線網の計画を次頁図３．４―２から図３．４―４に示す。３郷の合計で管渠延長は約 114km に達する。

送水施設の標準的な施設フローを図３．４―１に示す。

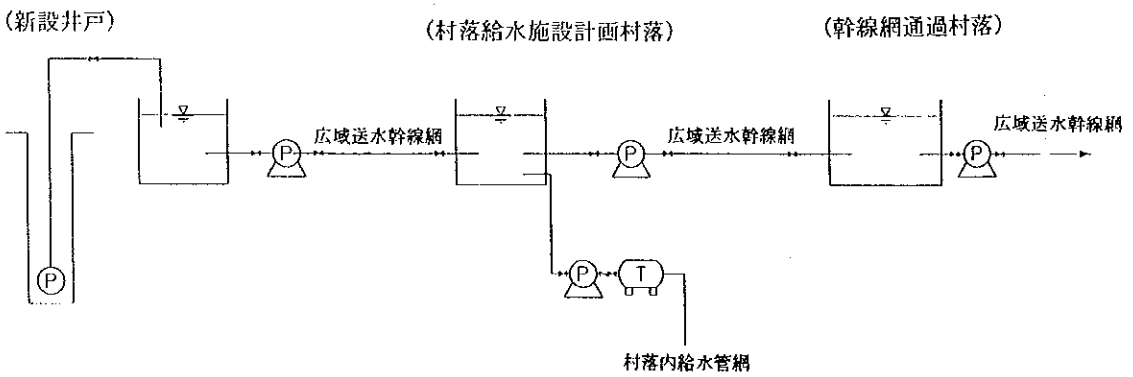


図３.４―１　施設フロー

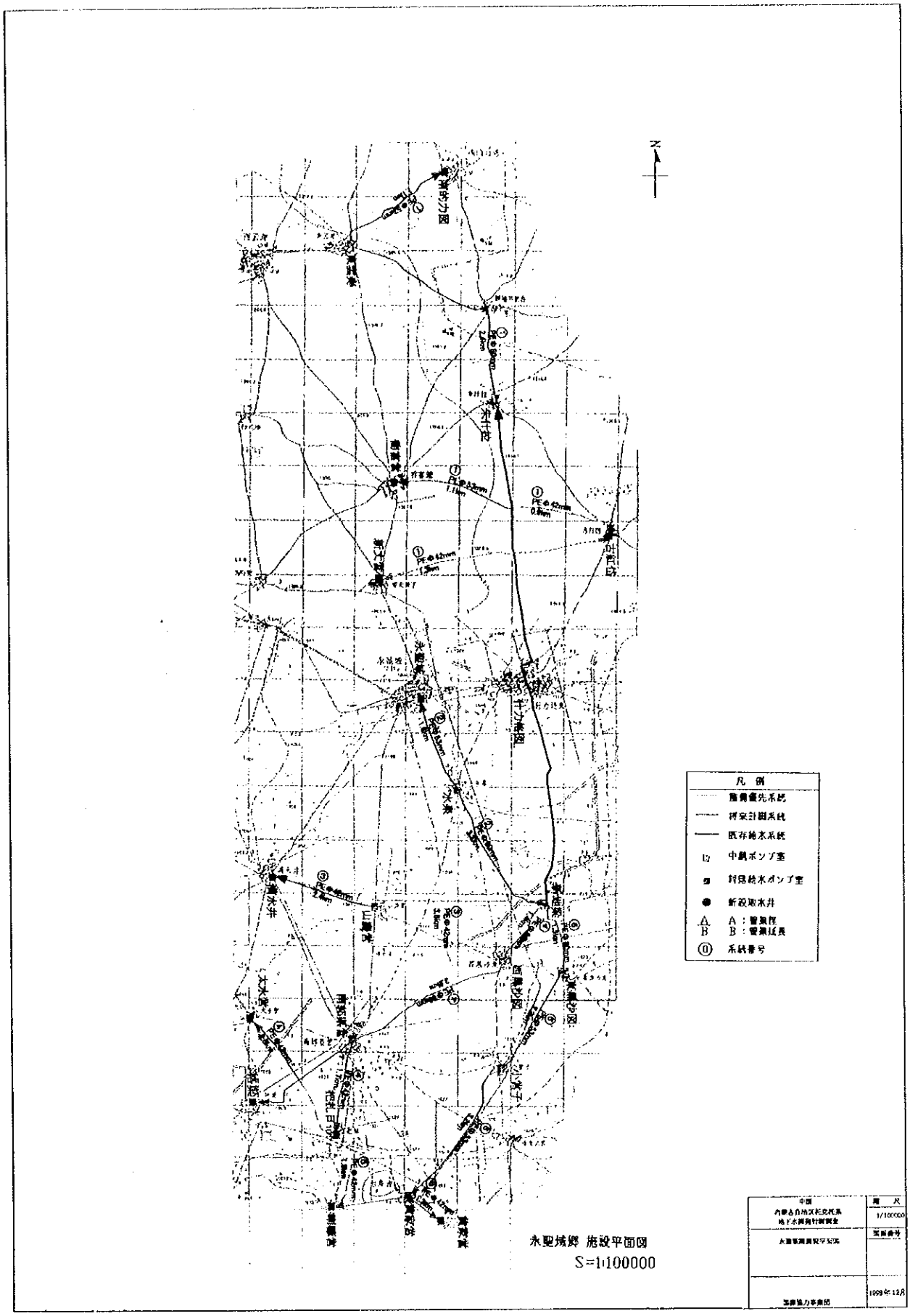


図3.4—2　永聖域郷給水施設計画図

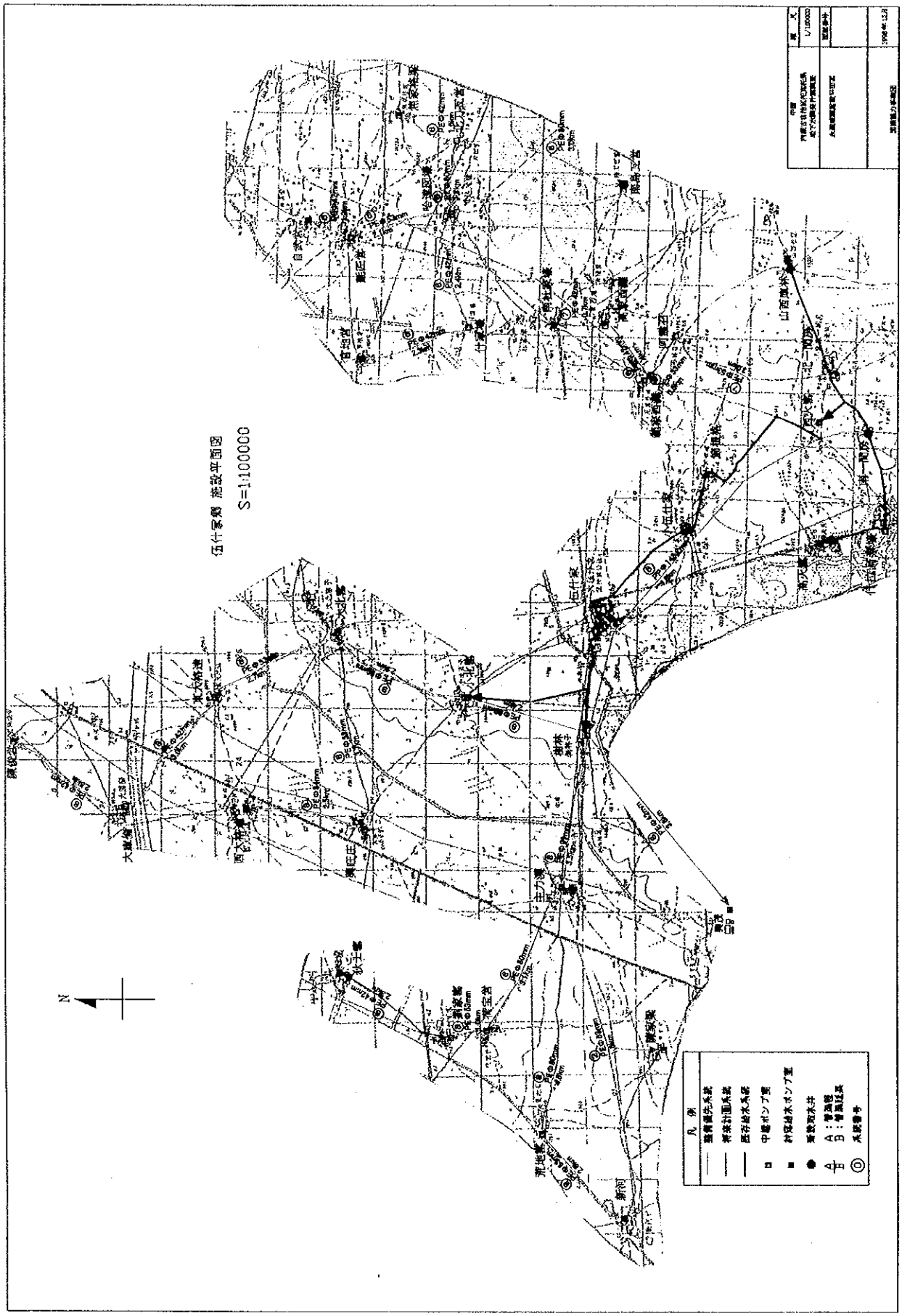


図3.4—3　伍什家郷給水施設計画図

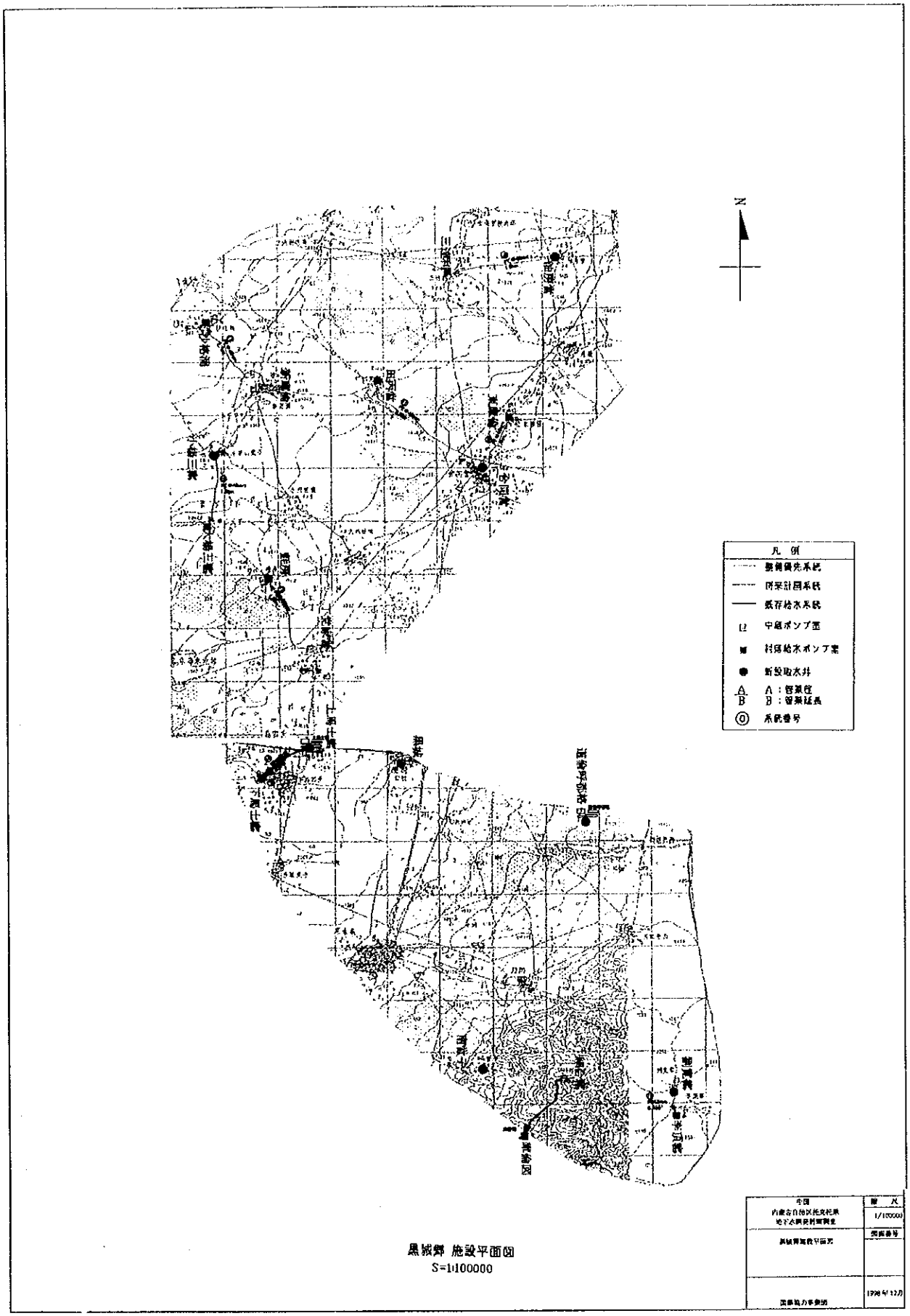


図３．４－４　黒城郷給水施設計画図

2）村落内給水施設

供水施設が未整備である村落を対象とし、村落内の水源井戸あるいは広域送水管網で送られてきた水を村落内各戸へ給水するための施設である。施設の構成要素は、送水ポンプ、圧力タンク、ポンプ建て屋、各戸給水用配管網からなる。

村落内給水施設の計画には、1/500 程度の縮尺の村落内での住宅配置、地形図が必要となるが、計画対象村落にはそれらがなく、実施段階で整備されることになる。したがい本計画では人口による標準的な計画条件を設定し、各村での施設計画を策定した。

施設計画で想定されている村落内給水施設は、パイロットスタディで地形図測量・設計・建設されたものと同様であり、丁党家営村での実施例を図３．４―５に示す。

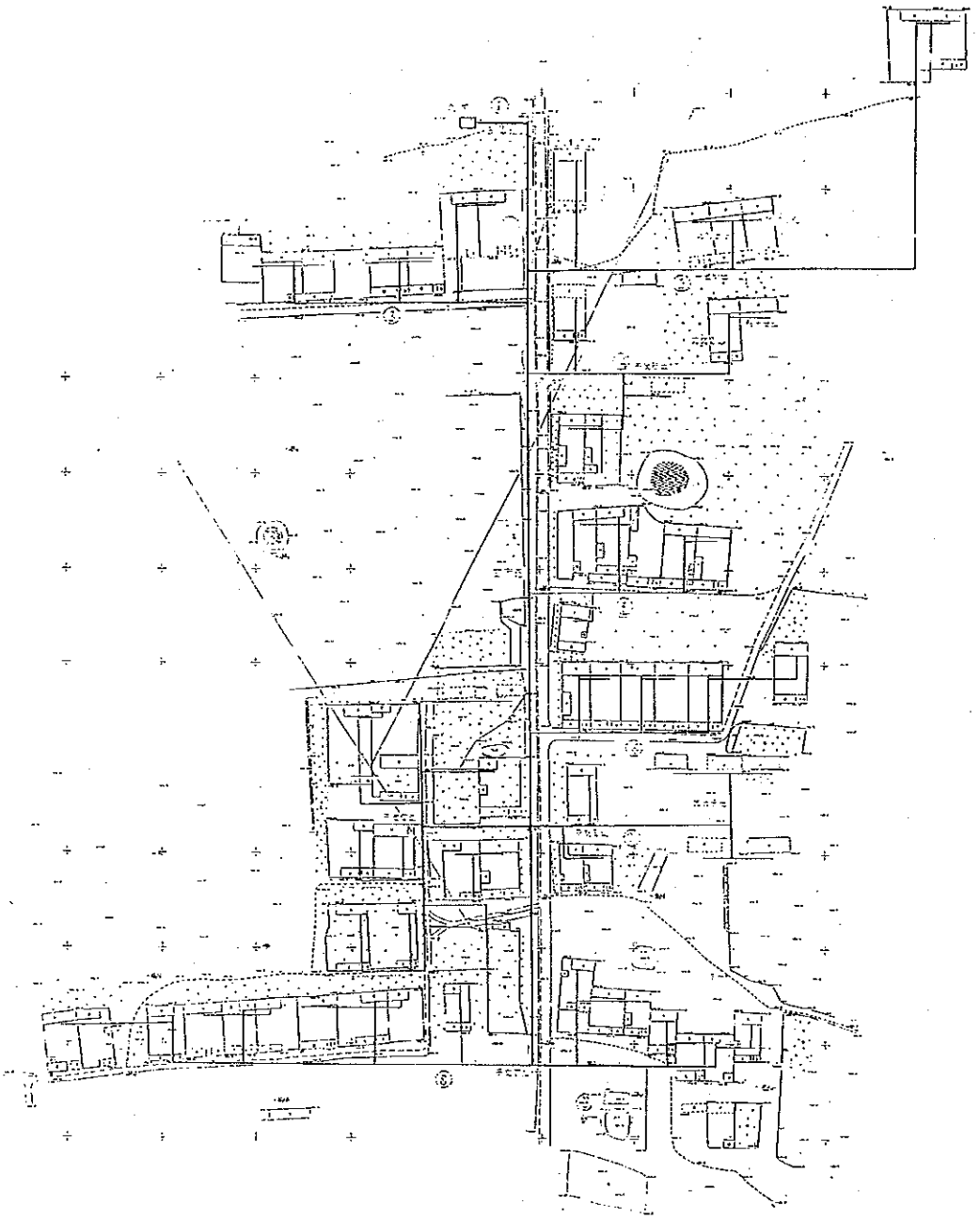


図３．４―５　丁党家営村給水施設配置図

３．５　維持管理／運営組織計画

３．５．１　維持管理計画

これまでの改水事業では、村民により構成された管理小組が組織化されている。しかしながら、これらは主に機器の運転操作を担当するものであり、維持・点検・修理等に関して十分に機能していないのが現状である。これは、組織自体が小規模で、さらに機器に関する専門的な知識に乏しいことに因る。

運営組織計画(3.5.2 項)で記述するが、維持管理組織として、各郷に設立を提案する公司をあてる。維持管理が目的とするところは、設備の要求条件を将来的にも確保することである。さらに、健康性、経済性、安全性等にも関係するもので、技術面での対応がなされなければ、これらの目的は達成できない。

日常は、各村の担当者が機器の運転を行うため、運転状況の確認は容易に行えるが、故障・定期点検といった場合には専門的な知識をもって対応ができる維持管理体制を各郷の公司により整えるものである。所要人員は、各郷の公司に専門技術者を２名程度配置し、郷内全ての対象となる施設の点検・修理を担当する。

（１）日常点検

施設機器の運転・休止操作は、原則的に毎日、運転者の操作によることになる。運転者は正常運転時の状況・運転音などを体験的に身につけ異常の早期発見が可能である。以下は、特に専門的な知識がない場合でも運転時毎の確認が可能なものである。

①ポンプ

・圧力計の数値は適切か。（ポンプ内、配管内の詰まり）

・ポンプモータの電流・電圧が定格数値以下であるか。（定格電圧の±10%以内での運転がされない場合、モータの焼損につながる)。

・運転音は正常か。不自然な振動はないか。（軸受けの損傷、軸継手の芯狂いの可能性）

・異常な個所からの水漏れがないか。

②圧力タンク

・目視による外観検査

・圧力計の確認

圧力容器に属し、取扱いを誤ると非常に危険な機械である。日常の運転状況での確認は上記の項目について実施し、定期点検での圧力検査の頻度を高めることが必要である。

③配管類

・異常な水漏れの有無

④貯水タンク（コンクリート製）

・清潔に保つ

機械類ではないため特に留意することはないが、常に内部を清潔に保つよう関係者全員が再認識すべきである。

⑤ポンプ室

各とびら、窓ガラス、天井などの破損は、冬期には水の凍結にもつながる重要な問題である。日常の運転の際に十分確認できるものであり、早期の対応が必要である。

上記の項目に関する点検結果は、運転記録簿への記入を義務付けることとし、異常時、その対応策を講じる時の資料として活用すべきものである。また、異常と判断した場合には、速やかに運転組織への連絡を行ない、早期に回復できるような対処法を徹底する必要がある。

（2）定期点検

原則として公司の専門技術者が担当すべき事項で、日常の項目に加える事項である。

①ポンプ

・軸受け油の交換

・グランドパッキン、またはメカニカルシール、パッキン類の交換

・部品交換後、一定期間をおいての各部増し締め

・適温を保っての運転が行なわれているか

・エア漏れの有無

②圧力タンク

・圧力試験

通常の使用期間中では実施できない内部検査をおこなう。また、外観検査も専門的な視野から実施する。

③配管類

・各継ぎ手の漏水の有無、パッキン等の交換

④その他

定期点検の際、専門技術者は各施設運転者の記載する運転記録簿を確認し、全体的な状況を把握すると同時に、運転者に対し必要な指導・助言を与え、日常点検の一層の充実に努めることも重要である。

３．５．２　運営組織計画

農村給水事業については、これまで給水の普及を目的として、施設整備（建設）に力点が置かれてきた。そのため運営維持についてはまだまだ未整備の点も多いため、今後の強化・改善が必要である。

（1）運営組織に関する原則

農村給水事業のみならず，公益事業の実施には監督機能と運転機能が必要である。通常、監督機能については行政側が担当し、運転機能については公司等財務的には独立した組織により担当されている。これらの機能は別々の組織により果たされることが健全な事業運営には不可欠である。

本給水計画においては対象村落の経済水準からも、あるいは運転機能の中心を担う村落組織、郷レベルの技術面・財政面の能力からも，施設設計・建設・施工管理を村落組織・郷レベルで実施するには困難があり、当面は監督機能を果たす行政側が実施すべきである。

（2）監督組織

農村給水事業を指導・支援する監督組織としては、県・市・自治区の水利局（庁）・衛生局（庁）・改水項目弁公室／愛国衛生運動委員会等の行政組織が適当である。担当すべき業務内容は下図に示されている。改水項目弁公室を母体として農村供水管理弁公室といった横断組織を設立することも提案できる。

水利局・改水項目弁公室双方ともに運転・維持の監督・指導・支援についての経験が充分とはいえないため、それぞれの上級機関の支援または現在都市給水を運営管理している機関の支援・協力も得て、運営管理の核となる要員を育成することが緊急の課題である。さらに、県レベルにより各郷の公司、各系統の管理小組が実際に使用可能な運営維持管理についてのマニュアルが整備される必要がある。

（3）運転組織

運転機能を担当する組織として、各郷に公司の設立を提案したい。公司の要員としては主任、技術員（点検修理担当２名、水質担当１名）、会計担当員（１名）の５名程度が適切と推量される。公司設立の母体としては各郷の水管理站である。公司設立に際しては技術者・管理者の増員もしくは異動が必要であり、要員訓練は早急に着手される必要がある。

公司は、各給水系統（村落レベル）で行われる運転、日常管理を指導・支援するとともに修理、定期的な巡回点検も行う。なお、広域給水システム（特に永聖域郷・伍什家郷）における揚水・送水系統の運転、日常管理については公司が直接実施する。

公司のもとに各給水系統にて、実際の運転をする組織（管理小組）は、これまでの改水事業・今回の試行事業でも各村落で円滑に組織化されている。しかしながら、村民組織である管理小組は運転・維持・点検・修理・会計等についての技術・知識に乏しいため、円滑な事業運営を実現するためには、マニュアル、記録記入のための様式類が監督組織により早急に整備される必要がある。

（4）衛生教育の組織

衛生教育のための組織としては郷レベルでの委員会の設置が提案できる。同委員会は各郷政府機関である衛生室（保健室）の他、学校および婦人会等の各組織の代表から成る。同委員会は少なくとも年１回は召集され、各組織の衛生教育活動の現況を報告しあい、翌年度の活動方針を発表し合った上で、調整し合うことが必要である。この委員会には農村供水管理

公司の水質担当員も出席することが望ましい。

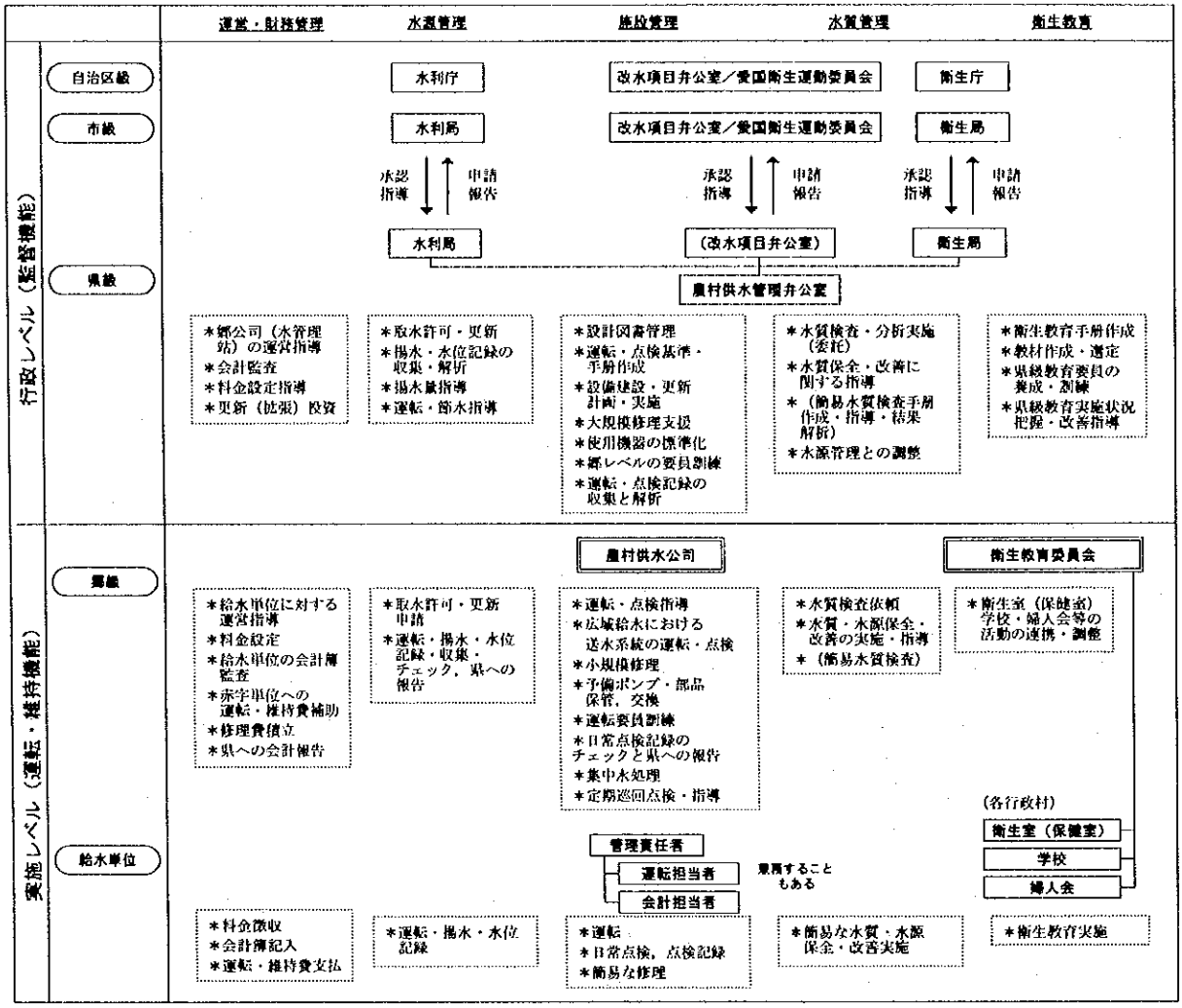


図　３．５－１　農村給水の運営組織

（５）料金設定

事業費積算および上記組織計画にもとづき村民一人当たりの運転維持管理費（減価償却は含めていない）を概算すると次表のとおりである。永聖域郷、伍什家郷においてはこれまでの村落単位の事業とは異なり、水源からの送水費が必要となるため、従来の費用と比べてかなり高いものとなる。

表　３．５－１　各郷一人当たりの運転・維持管理費の概算

（単位：元／人・月）

費目	永聖域郷	伍什家郷	黒城郷
公司（管理費）	0.2	0.1	0.1
送水費			
・運転費	0.5	0.6	0.2
・修理費積立	0.1	0.3	0.0
小　計	0.6	0.9	0.2
村落内給水費			
・運転費	0.5	0.5	0.8
・修理費積立	0.2	0.2	0.2
小　計	0.7	0.7	1.0
合　計	1.5	1.7	1.3

一般的に給水事業に対する料金の支払い可能額は収入の３～５％であるといわれている。対象地域ではフッ素・ヒ素に起因する疾病の発病率が高いことから安全な水に対してはニーズは高いと推量されため、支払い意志額は高いと考えられる。下表に見るとおり上記料金はいずれもが世帯収入の５％未満に収まっている。したがって、上記料金設定は郷毎の平均収入との対比においては無理のないものといえる。村落毎の平均で見ると上記料金が平均収入の５％を超える村落（平均収入の低い村落）が若干あるが、計画対象年である２０１０年においては一人当たりの収入が実質で約１．５倍になると予想されることから、上記水道料金が収入の５％を超えてしまう村落・世帯はかなり減少するものと推計される。伍什家郷では少数の村落で問題が残る可能性があるが、これらの村落では運転時間を短縮する等経費節減の工夫が必要である。

表　３．５－２　各郷の水道料金

指標	永聖域郷	伍什家郷	黒城郷
世帯収入（元／戸・年）（１９９７年）	3,045	2,478	3,176
一人当たりの収入（元／人・月）	66	52	68
一人当たりの収入の３％（元／人・月）	2.0	1.6	2.1
一人当たりの収入の５％（元／人・月）	3.3	2.6	3.4
水道料金の世帯収入に占める割合	2.4%	3.3%	1.9%
水道料金が家計の５％未満となる収入の下限値（元／人・月）	31	33	26
平均収入が上記下限値以下の村落数／調査対象村落数	１／１２	４／１４	２／１７

農村給水事業は公益事業ではあるが、運転・維持管理費用は受益者により、すなわち、水道料金で賄われることが望ましい。運転・維持管理費用は給水系統毎に異なるものの、原則的には均一な料金体系のもとで運営されることが好ましい。料金は平均費用により決定され，各地域（系統）での費用の差に対し、内部補填がおこなわれ、全体としての収支バランスが実現する。

この原則から考慮すれば、公司の管理費、送水費については郷内全村民で負担することが提案できる。しかしながら、村落内給水の運転費については、使用量・運転時間に比例し、

郷レベルで一律料金とすると各村・各世帯での運転時間・使用量を管理することが困難になる。したがって、この部分については系統毎に計算・設定・徴収（上表の数字は標準的なケース）する方が良いと考えられる。修理費積立金についても各郷毎で平均費用を料金として徴収し、運営されることが好ましい。平均費用に設備更新（井戸の再掘削，幹線管路の再敷設、ポンプ交換等）のための積立を含めるかは県の政策次第であるが、現況から考えれば更新時には県からの補助が好ましいと推測される。

修理費積立金については、各村で設定すると小規模の村（比較的貧困な村落であることが多い）では一人当たりの積立金が大きくなってしまうことが多く、郷レベルの一括積立が好ましい。当初は修理費は少なくて済むと思われるが、早い時期に公司により点検時または故障時のための予備ポンプ、予備部品を購入しておけば、既に改水事業が行われた村落で問題となっている不慮の故障際の操業停止を防止・短縮することが可能となる。修理費を全て積立金で全て負担するのは給水系統毎の細心の維持管理に対する意欲を削ぐ恐れもあるため、一部分は（例えば１００元を上限として）修理時に各系統に納めさせる必要がある。

３．６ 衛生改善計画

本開発事業の推進を踏まえ、対象村落における衛生環境の有り方について、検討すべき課題を抽出し、その改善を図る必要がある。

以下に水源水質の監視と、給水施設周辺の環境整備，及び住民の生活環境の衛生改善計画の概要について掲げる。

（１）住民の健康管理と医療体制の充実

当該村落の住民に対する水因性疾病調査結果により、地域により多少の差は見られたものの、全般に高い率で、主にフッ素に起因する疾病症に罹患している住民が存在することが明らかになっており、今後，郷村の医療機関及び行政組織の指導の基で、住民に対する定期的な健康診断等による健康管理が不可欠であり、地下水開発の進展に伴う住民の健康について、その推移を見守る必要がある。

（２）水源地域の環境保全と衛生的な施設管理計画の推進

給水施設とその周辺環境については、保安設備の充実と衛生的な管理保全に配慮した対策が求められるが、その一案として、施設周辺の環境美化対策が有る。即ち、樹木植栽等の整備を行い、衛生的な環境管理と共に、周辺住民参加型の環境保全運動を推進することにより、住民の環境の美化と保全に対する意識の高揚を図る。

（３）水質監視体制の充実

住民の生活用水としての水質の監視は重要であり、このための定期的な水質の分析測定は不可欠である。既に世銀や 380 計画により改水事業が実施されている村落では、郷村の指導の下で、測定機関である水管理站に水質検査を依頼する方針が設定されているが、経費に係わる予算や負担額などの事情で、必ずしも円滑に行われていないのが実状である。水質監視

の重要性については言うまでも無いが、住民に対する一層の理解と協力を求めると共に、行政府の支援と合わせ、水質監視体制の充実強化を図る必要が有る。

（4）生活環境の改善と対策の推進

生活環境の衛生改善の見地から、地域の生活慣習に配慮の上、日常的に排出される生活雑排水、ごみ、人畜の糞尿等の処理について、無害化処理や堆肥化等の現実的な対策を示し、処理施設の整備と合わせて、指導監督の推進強化を図る。

また、家庭衛生の改善啓蒙を図る必要が有り、住居内での衛生管理の改善も重要な課題としてある、即ち、飲料用水や厨房周辺の衛生的保全管理や、節水を伴う効率的な水利用と合わせて、手洗いや、うがい等の奨励、病虫害対策，トイレ環境の改善と清潔な維持管理、家畜などの飼育管理等、日常的な衛生環境保全の有り方について指導の充実を図る。

（5）衛生教育の強化と教育要員の育成

住民に対する衛生教育の強化推進により、この活動を通じて疾病に対する住民の意識の改善を図り、日常における衛生的な生活習慣の定着を推進する。

このためには、衛生教育にたずさわる要員の育成が必要である。現在、郷村に付属する衛生室に要員が配属されており、住民の教育、指導、監督に当たっているが、これらの要員に対しては、より専門的な知識についての学習や研修によるレベルアップが求められている。健康教育の推進、企画立案等より効果的な活動が展開できるよう、要員の資質向上が急務とされている、このために定期的な教育指導の実施が必要とされている。

３．７　事業費

概略設計に基づく工事数量及び現地調査における建設資材、機器価格費用を基に、本給水計画実施のための事業費を積算した。結果は、表３．７－１概算事業費に集計されているとおりである。ただ、村落内の給配水管網の積算では、概略計画の出来る縮尺の地形図がないため、工事数量を積算せず、本調査での村落実態調査、世銀改水事業、水利局の 380 項目事業等における総建設費と住民数を参考として、住民一人あたり 320 元の建設費を設定し事業費を算出している。

事業費では、永聖域郷及び伍什家郷で、村落内の給配水管網整備に比して、水源地から施設整備村落までの送水施設建設費用が多く必要となり、これまでの村落内での水源井戸による改水事業の方式をとれないことによる費用の増加が際だっている。

表３．７－１　概算事業費集計

単位（千元）

郷　名	1期施工			2期施工			合　計		
	広域	村落	小計	広域	村落	小計	広域	村落	小計
永聖域郷	1,536	91 (2村)	1,627	1,361	－	1,361	2,897	91	2,988
伍什家郷	9,359	1,375 (16村)	10,734	484	－	484	9,843	1,375	11,218
黒 城 郷	3,443	444 (11村)	3,887	617	－	617	4,060	444	4,504
合　　計							16,800	1,910	18,710

広域：広域送水幹線網
村落：村落内給水管網
(　)：対象村落数

３．８　投資計画

（１）策定方針

１）投資に対する住民負担金額を無理のない範囲で、最大現に見積る。

２）水道料金を無理のない範囲内で、最大限に見積り、維持管理費を全額賄い、なお余裕があれば、工事費に充当する。

３）投資総額に対する不足分は、政府補助金および外国よりの無償資金の拠出により賄う。

（２）投資概要

総額：　21,517 千元（約 323 百万円）：

広域送水幹線網工事費	16,800 千元
村落内給水管網工事費	1,910 千元
工事費系	18,710 千元
予備費（工事費の 10%）	1,871 千元
偶発費用（工事費の 5%）	936 千元

工事期間：10 年間

資金調達源：受益者が負担する水道料金および工事費
　　政府補助金および外国無償資金

（３）受益者負担金額

本調査団の昨年実施の村落実態調査によれば、給水施設建設費の各戸負担可能額は、修正平均を使用すると 121 元であるが、これに、現金収入の乏しい農家の役務提供可能日数 16.5

人日（永聖域郷 17.5 人日、伍什家郷 15.3 人日、黒城郷 173 人日）を見込むことができる。これを、呼和浩特市の最低賃金（時給１元）によって評価すると、必要人日の比率を 50%として、一戸当たり 66 元相当の役務提供が可能となる。給水試行事業の工事において役務提供の実績もあり、村民負担可能額を最大限に見込む方針により、現金拠出 121 元プラス役務提供 66 元計 187 元、総額 284 千元を財務計画に盛込むこととする。

つぎに、維持管理費を水道料金で賄うためには、１人当り月額永聖域郷 1.5 元、伍什家郷 1.7 元、黒城郷 1.3 元の水道料金徴収が最低必要である。この料率は、本調査団実施の村落実態調査による１人当り支払意志額、永聖域郷 0.615 元、伍什家郷 0.551 元、黒城郷 0.667 元、平均 0.611 元（0.2 元から 1.20 元まで）を大きく超過している。従って、水道料金から維持管理費以上の資金は生まれない。すなわち水道料金から工事費への拠出は全く期待できない状態である。

（４）その他の資金調達の可能性

托克托県政府の 380 計画関連補助金は、年間２百万元程度（本年 1.3 百万元、昨年２百万元）であり。同県内には９郷２鎮があり、本開発計画対象３郷は、その一部であるため予算から多くは期待できない。本財務計画では、現実的に考え、10 年間に村落内給水施設工事費（2,196.5 千元（予備費・偶発費用を含む））の 50% 1,098 千元を見込む。

（５）投資計画

受益者の工事費分担金 284 千元および地元政府関係補助金 1,098 千元の合計（1.38 百万元）は、総建設費（21.52 百万元）の 6.5%弱に留まる。資金不足は 20.14 百万元（約 302 百万円）に達する見込みである。住民に借入金返済および金利負担能力がないため、不足分については外国よりの無償資金供与に依存せざるをえない。

表３．８－１ 投資計画

単位：千元

	永聖域郷	伍什家郷	黒城郷	合　計
広域送水工事費	2,897.0	9,843.0	4,060.0	16,800.0
村落内工事費	91.0	1,375.0	444.0	1,910.0
小　計	2,988.0	11,218.0	4,504.0	18,710.0
予備費	298.8	1,121.8	450.4	1,871.0
偶発費用	149.4	560.9	225.2	935.5
総建設費	3,436.2	12,900.7	5,179.6	21,516.5
受益者負担金	13.5	207.9	62.8	284.2
政府補助金	52.3	790.6	255.3	1,098.2
外国無償資金	3,370.4	11,902.2	4,861.5	20,134.1
資金調達計	3,436.2	12,900.7	5,179.6	21,516.5
資金尻	0	0	0	0

第４章　事業評価と実施計画

4　事業評価と実施計画

4．1　事業評価

4．1．1　経済・財務評価

（1）ＮＰＶによる評価

本開発計画は、設備投資に対し無償の資金使用を前提としており、前提条件が満たされれば財務的に大きな問題はない。基本的に投資初年度より維持管理費とそれに見合う収入だけが財務的に問題となるだけである。

前章の投資計画による水道費１人当り月額 永聖域郷 1.5 元、伍什家郷 1.7 元、黒城郷 1.3 元の算定は、30 年間の NPV の合計値は それぞれ 164.8 千元、6.2 千元、57.5 千元となり、資金的に僅かに余裕があることを示し(表４．１－１)、妥当な設定である。

表４．１－１　３郷のＮＰＶ

単位：千元

	永聖域郷	伍什家郷	黒城郷
基本ｹｰｽのＮＰＶ	164.8	6.2	57.5

（2）　水道料金の感度分析

水道料金１人当り月額の変動と NPV の関係につき、 基本ｹｰｽより－20%，－10%，＋10%，＋20%４ｹｰｽについて、感度分析を行った。共通費が、１元／人・月を超える伍什家郷では、基本ｹｰｽでは財務的に余裕を示しているが、水道費の変動に最も敏感である。黒城郷は、年間の共通費が最も低いこともあり比較的安定している。永聖域郷は、３郷中料金の変動に対し最も安定している。

表４．１－２　　水道料金の感度分析－NPV（千元）

単位：千元

	－20%	－10%	基本ｹｰｽ	＋10%	＋20%
永聖域郷	55.5	110.2	164.8	219.4	274.0
伍什家郷	-248.2	-121.0	6.2	133.4	260.6
黒城郷	-22.9	17.3	57.5	97.7	137.9

（3）財務評価の結論

1） 水道施設を永続的に維持管理できる費用として、住民負担の可能額も十分考慮して設定された各郷毎の均一水道料金および投資分担金額は、村落実態調査の水準よりはやや高いが、負担する農民にも均一料金という点で弱者に有利であり、納得できる水準である。

2） 30 年間の純現在価値 NPV は、その間の現在価値に引き直した便益総額から同じ処理をした費用総額を差引いた額である。基本ｹｰｽにおいて、この数値が３郷ともﾌﾟﾗｽになっていることは、この計画が財務的に成り立つことを示している。

3） 徴収率 100%を前提としているが、各村落で分担して徴収するｼｽﾃﾑであるから、この前提は妥当である。ただし、感度分析によれば、徴収率 80%では３郷中２郷が採算割れになる予想であり、高徴収率の維持が重要である。

（4） 経済費用と経済便益

経済価格による建設費用は、付加価値税・営業税を控除した結果、総額 17.2 百万元と計算されたが、これに対し、飲用水の供給から特別の生産物が新たに産み出されるものではなく、本開発計画によって国家・社会に齎される便益は、次の通り定量化が困難なものである。

1） 直接効果として、定量化しうるものは少ないが、良質の飲用水をうる便益のほか、増加雇用（永聖域郷 1,426 千元、伍什家郷 1,469 千元、 黒城郷 392 千元　３郷合計 3,287 千元）、疾病の減少（本調査団が昨年実施した村落実態調査によれば、医薬医療費は、改水事業の有る家庭では、改水事業のなかった家庭より、年間１人当り７元少なく済んでいる。本開発事業による医療費節約の効果は、24 千人の 30 年間として概算５百万元）などの便益が生れる。

2） 副次的効果として、生産性の向上（ 休日のない水汲み労働から開放されること、手掘り井戸掘削の、対価のない労働を他に転用できることなど、農民の生産性は格段に向上する。）、女性の地位の向上、生活のアメニティの向上（ 良質の飲用水は、快適な生活の第一歩である。フッ素による疾病からの解放は、金銭で評価できない多大の便益であることは、論を俟たないが、フッ素によって、疾病まで至らない軽症の場合でも、例えば、黄変した歯を白色に変える美容整形に数千元を投ずる女性が呼和浩特市にいる由であり、アメニティの向上は多分に個人的・感性的なものであり金銭で計り得ないが、フッ素被害を除去することは想像以上に広範囲の住民に多大の便益を与えることは確実である。）、雇用機会の増大（機構の整モニタリング備・農村供水公司の設立など）、地域経済の活発化、所得配分の均等化（ 収入の不平等の是正、ひいては、貧困の減少に繋がる）、福祉の向上などの便益が生れる。

（5）経済評価の結論

本計画は定量化は困難であるものゝ、国民経済面および社会福祉面で多大な便益を生むも

のであり実施されるべきである。また、本計画と同等の便益をもたらす代替え事業は本計画と比較してより多くの費用がかゝると推計されることから、本計画は経済的に妥当なものであると評価できる。

４．１．２　社会評価

（１）住民ニーズ・対象地域の特性との適合性

本計画は、飲用水に含まれるフッ素、ヒ素による疾病罹患率が高い地域を対象に、良質の水を供給しようとするものである。村落実態調査で判明したとおり水質と水因性疾病の因果関係についての住民の認知度は非常に高く、給水事業を望む住民の比率は非常に高い。

今後の給水事業は比較的小規模な村落へと移行せざるを得ない中で、住民一人当たりの費用を抑える必要がある。このため、給水計画の立案にあたっては２～３ヶ村を１本の井戸掘削で行うか、もしくは各村に１本の井戸を掘削した方が費用を低くできるかが考慮されている。

対象村落では様々な家畜・家禽が放し飼いされている。このため、水源（井戸）が家畜・家禽により汚染されないような施設計画となっている。

（２）実現の可能性

事業用地の確保については、これまでの改水事業および今回の試行事業のいずれにおいても主に村落内の共用地が事業用地として選定・使用されている、したがって、用地確保の可能性は高い。また、村落実態調査での過去の例から見ても、事業用地が特定者の耕作地等にかかる場合は同等の用地（休耕地）の確保、あるいは金銭・農作物等で補償がなされていることから、用地取得により影響を受ける住民に対する補償は適切に行われるであろうと思慮される。

担当省庁である托克托県水利局および改水項目弁公室／衛生局は農村給水事業の建設経験はあるものの、運営面については、未だ体制が充分に整備されていない。このため運営組織計画において各給水系統および郷レベルでので行われる運転・維持を適切に管理・指導・監督・支援するための組織整備が提言されている。

衛生改善のためには行政組織である衛生局・衛生室等の指導の他に婦人会・学校との連動が不可欠である。運営組織計画においては、行政組織である衛生室の他に、学校・婦人会の代表から成る衛生教育委員会の設立が提言されている。

今後の給水事業拡張に際しては、比較的所得の低い村落・世帯を対象とすることとなる。こうした村落・世帯を対象に事業を実現するためには村民の負担可能性を考慮した事業化計画、料金設定は不可欠である。本給水計画においては水源施設・幹線までの概略設計設計に留まるため具体的には提案されていないが、詳細設計・事業実施段階では、各戸接続のための負担が困難な村落・世帯を考慮して、公共栓方式あるいは各戸接続／公共栓の併用を検討すべきであろう。また、金銭負担が困難な世帯・村落については役務の提供を促進する仕組み造りが必要である。今回の試行事業でも各戸接続のための金銭負担を減らすために役務提

供の活用が村長の斡旋により実現した。対象村落においては自治活動における役務の提供がしばしば行われているため、こうした施策を実現する素地は充分にある。

（3）便益分配の公平性

これまでの改水事業の例で見ても、少数民族である蒙古族等に対する差別は見られず、逆に調査対象村落の内、蒙古族の占める割合の最も多い村落では、既に改水事業が行われている。

既に改水事業が行われている村落内での未給水世帯で、貧困を理由とする事業への不参加の例があるが、この点については、上記２）で述べられている。今回の試行事業では、役務提供も困難な老齢世帯に対しての援助が、主に村長または村民委員会により工夫されている。

また、試行事業において公共栓方式が採用された村落での公共栓の位置選定にあたっては、各集落における水の運搬にかかる労働力が最小となるように考慮された。

（4）社会的不利益の最小化

水を売って生計を立てているグループは見あたらない。また、所得階層間での良質な水源へのアクセスの不公平さから生じるうる地域内の対立の回避については、上記３）で述べられている。

（5）持続可能性の向上

給水事業による便益の持続可能性の要点は水質管理、事業運営体制の確立および運転維持費を賄う料金徴収である。

良好な水質の飲用水を持続的に利用し続けるために重要な点は、使用量管理と水利用・衛生状況改善のための教育である。このためには村落における運転維持体制の確立とともに行政側の支援・指導・監督体制の整備が不可欠である。本計画では揚水量管理、水質モニタリング、運転維持および衛生改善の方法が提言されている。運転維持に関するもう１つの課題は村落での技術レベルの低さであるが、施設計画においては運転維持をしやすい設備選定が考慮され、運営組織計画では運転要員の訓練と運転維持を指導・監督する行政側の組織整備について述べられている。

村落実態調査で判明したとおり、調査対象村落における料金徴収率は非常に高い。したがって、料金徴収の課題は相対的に支払い能力の低い村落・世帯における料金設定である。そのため、運営計画ではすでに改水事業を行った村落を含めて、料金の１部について、郷内での単一設定と内部補填制度が提案されている。このことにより、現在運転維持管理上の最も大きな問題である機器故障時の操業停止が防止・短縮できる。

４．１．３　環境・技術評価

（1）環境

本計画による環境への影響は、地下水開発による飲用水供給事業であることから、「揚水

による地下水水源への影響」と「給水による生活汚水の発生」が指摘されている。

そのいずれについても、計画が散在する農村への飲用水給水としての開発であり、揚水量／排水量の絶対量は地域の地下水賦存量／許容量に比べ小さく、影響が軽微であることが確認された。

（2）水源開発

－ 安全な水の確保

調査地域の水理地質構造及び水質分布を含む帯水層の状況が明らかとなり、飲用水として利用可能な飲用水基準を満たす良好な水質の白亜系帯水層と砒素、フッ素の有害物質を高度に含む可能性の高い、上部更新統浅層帯水層及び下部更新統帯水層が地域的に特定された。

調査対象三郷のうち、永聖域、伍什家ではその安全な水が開発可能な地域は限定され全て村落内で処置する事はできないが、郷内での補完が可能である。

－ 持続的開発

本開発計画による地下水開発については、地域全体の計画給水量及び地下水の農業利用量に基づく揚水量を用い、長期的揚水による地下水位の低下及び水質への影響が、コンピュータシュミレーションによって検証され、持続的な開発が可能であることが確認された。

（3）給水計画／給水施設計画

－ 安全な水の供給

調査対象地域内では、給水施設が未整備で細菌性の汚染のある不衛生な水を使っている村落がかなり残っている。また、かなりの地域で村落内の地下水にフッ素が高濃度で含まれ、中毒症状等の水因性の疾病が発生している。これらに対し、本計画では、飲用水水質基準を満たす、安全な水が郷内の全村落・全住民に供給されることになる。

－ 適正技術

計画された給水施設が持続的に維持運営されて行くためには、計画対象地域の社会・経済条件及び技術的水準に見合った適正技術の適用が重要である。本計画では日常的な維持管理は村民の手で実施されることになり、この点が給水施設設計において考慮されており、それらの事項は以下のとおりである。

・ 維持管理の容易な極めて簡単な給水機構の採用

・ 凍結防止対策

・ 運転員が農業を兼ねることを考慮し、農作業前後のみの給水時間

・ 公共水栓の採用

４．２　実施計画

４．２．１　優先事業

本計画の実施における、計画事業のコンポーネントの優先順位は、事業内容が村落給水用施設建設のみであり、整備対象村落の建設着工の順位である。村落の給水整備状況及び地理的条件を以下のように整理し、実施計画を策定する

また本計画での村落給水施設の整備は、対象村落６４ヶ村、事業費で約１千８百万元（約３億円）の規模とそれ自身は大規模なものではないが、計画対象３郷は托克托県の１１郷鎮の一部であり、他の郷鎮でも同様の状況であるため、県全体の整備の進捗と合わせる必要がある。これまでの給水事業への財政投資の実績と今後の見通しから、第２次整備までを含む計画全体を１０年、第１次整備の優先事業を５年の実施計画とする。

（１）優先事業の選定条件

選定の基準は以下の通りである。

—改水事業の実施されていない村落を優先する。

—改水事業実施済み村落では、給水井戸水中のフッ素の濃度が高く水質改善の必要性が高い。

—水源から地理的に近い村落を優先する。

—水理地質的に水質の確保が難しい地域でも現在の水質が良い所は後に回す。

（２）第１次整備村落・第２次整備村落の選定

調査対象３郷の村落について、本計画での施設整備を優先事業の１次整備として実施する村落、後年度に２次整備として実施する村落及び整備が完了しており、本計画に含まれない村落を郷毎にまとめると表４．２．１のようである。

優先事業内での着工の順序については、村落の状況と共に送水システムの建設順序、すなわち、１）水源施設の建設、２）送水幹線の建設、３）村落内給水管網の建設の順序を考慮して決定することになる。

表４．２．１　１次、２次整備対象村数

郷　名	１次整備対象村	２次整備対象村	整備済み村
永聖域	13	6	3
伍什家	26	1	14
黒城	13	3	18
合計	52	10	35

４．２．２　財務概要

（１）投資概要

１）総額：　　21,517 千元（約 323 百万円）

広域送水幹線網工事費　16,800 千元、村落内給水管網工事費　1,910 千元

工事費計　18,710 千元

予備費（工事費の 10%）　1,871 千元、偶発費用（工事費の 5%）　936 千元

２）工事期間：10 年間 うち 整備優先事業 ５年間 2000 年－2004 年 工事費 16,248 千元

将来計画　５年間 2005 年－2009 年 工事費 2,462 千元

（２）給水施設概要

給水施設は、広域送水幹線網（永聖域郷、伍什家郷および黒城郷の一部）と村落内給水に分かれている。

４．２．３　計画の実施

１）広域送水幹線網工事

第１期施工中(2000 年より 2004 年までの５ヵ年間)に、広域送水幹線網の約８５％（永聖域郷の 53%、伍什家郷の 95%および黒城郷の 85%）を完成する。第２期施工(2005 年より 2009 年)によって、残部を完成する。 第１期工事総額：16,248 千元 （全工事費の 86.8%）、 第２期工事総額： 2,462 千元 （全工事費の 13.2%）

２）村落内給水管網工事

第１期工事内に総額 1,９１０ 千元を投資し、全 29 ヵ村の村落内給水施設を完成する予定である。

３）投資支出予定

2000 年から 2004 年まで毎年、3.7 百万元を、2005 年から 2009 年まで毎年、0.7 百万元を投資する予定である（図４．２－１、表４．２－２参照 ）。

実施項目	郷名	第1次整備対象					第2次整備対象村				
		1年	2年	3年	4年	5年	6年	7年	8年	9年	10年
水源開発	永聖域										
	伍什家	■	■								
	黒　城	■	■	■			■				
広域幹線送水網	永聖域	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
	伍什家	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	黒　城	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
村落給水	永聖域	■	■	■	■	■					
	伍什家	■	■	■	■	■					
	黒　城	■	■	■	■	■					
モニタリング		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
投資額		3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7

単位：百万元

図4．2－1　年次計画

表4．2－2　年次計画

単位：千元

	2000	2001	2002	2003	2004	小計	2005	2006	2007	2008	2009	小計	合計
	第 1 期 施 工						第 2 期 施 工						
永聖域郷													
広域送水幹線網工事	307.2	307.2	307.2	307.2	307.2	1,536.0	272.2	272.2	272.2	272.2	272.2	1,361.0	2,897.0
村落内給水管網工事	18.2	18.2	18.2	18.2	18.2	91.0						0.0	91.0
工事予備費・偶発費用	48.8	48.8	48.8	48.8	48.8	244.0	40.8	40.8	40.8	40.8	40.8	204.2	448.2
小計	374.2	374.2	374.2	374.2	374.2	1,871.0	313.0	313.0	313.0	313.0	313.0	1,565.2	3,436.2
伍什家郷													
広域送水幹線網工事	1,871.8	1,871.8	1,871.8	1,871.8	1,871.8	9,359.0	96.8	96.8	96.8	96.8	96.8	484.0	9,843.0
村落内給水管網工事	275.0	275.0	275.0	275.0	275.0	1,375.0						0.0	1,375.0
工事予備費・偶発費用	322.0	322.0	322.0	322.0	322.0	1,610.1	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	72.6	1,682.7
小計	2,468.8	2,468.8	2,468.8	2,468.8	2,468.8	12,344.1	111.3	111.3	111.3	111.3	111.3	556.6	12,900.7
黒城郷													
広域送水幹線網工事	688.6	688.6	688.6	688.6	688.6	3,443.0	123.4	123.4	123.4	123.4	123.4	617.0	4,060.0
村落内給水管網工事	88.8	88.8	88.8	88.8	88.8	444.0						0.0	444.0
工事予備費・偶発費用	116.6	116.6	116.6	116.6	116.6	583.1	18.5	18.5	18.5	18.5	18.5	92.6	675.6
小計	894.0	894.0	894.0	894.0	894.0	4,470.1	141.9	141.9	141.9	141.9	141.9	709.6	5,179.6
3郷合計													
広域送水幹線網工事	2,867.6	2,867.6	2,867.6	2,867.6	2,867.6	14,338.0	492.4	492.4	492.4	492.4	492.4	2,462.0	16,800.0
村落内給水管網工事	382.0	382.0	382.0	382.0	382.0	1,910.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1,910.0
工事予備費・偶発費用	487.4	487.4	487.4	487.4	487.4	2,437.2	73.9	73.9	73.9	73.9	73.9	369.3	2,806.5
合計	3,737.0	3,737.0	3,737.0	3,737.0	3,737.0	18,685.2	566.3	566.3	566.3	566.3	566.3	2,831.3	21,516.5

第5章　提　　言

5 提　言

（1）水質監視の継続

本調査で明らかとなったように、調査対象地域の地下水は一部の地域で飲用水基準を越える砒素・フッ素濃度となっている。また、これはかならずしも改水事業が実施されていない村落だけの問題ではなく、改水事業の実施済みの施設においても生じており、今後の改善の必要性が指摘されたところである。本調査においては、水質は地域的に帯水層により決まる（第三系、層白亜系帯水層の水質が良好）ものとの結論を得たが、現在、比較的水質が良好な場合にも、取水している帯水層によっては、経年的に水質の悪化が進むことも充分考えられる。したがい、改水事業を実施済みの給水施設について、改善の必要性及びその時期を判断するため、定期的な水質分析による監視を提言する。また、世界保健機構（WHO）の勧告値よりも高い設定が行われている現行の農村飲用水水質基準の水質項目については、改訂が策定計画期間中に起こる可能性があることにも留意を要する。

トクト県内の村落給水施設について、これまでも、その一部は県の防疫站で水質分析が行われている。しかし、それらの資料は水資源開発には活用されていないのが現状である。県政府内で、水利局、改水項目弁公室及び防疫站等の関係機関で共有できる資料として利用するための、総合的な水質監視の実施体制を確立する必要がある。

（2）広域調査の実施

本調査は、調査対象３郷の比較的限られた地域について、地質構造及び水質分布を含めた地下水の賦存状況が詳細に調査された。その結果によれば、これは当初から中国側においても理解されていたことであるが、水質汚染は調査地域に限らず周辺地域を含めた広域の問題として認められる。しかし広域の資料も限られたものであるため、今後の地域の開発計画策定に支障の生じる恐れがあり、調査範囲を拡大した調査の実施を提言する。広域調査の視点は二つ有り、それらは以下の通りである。

1）広域調査

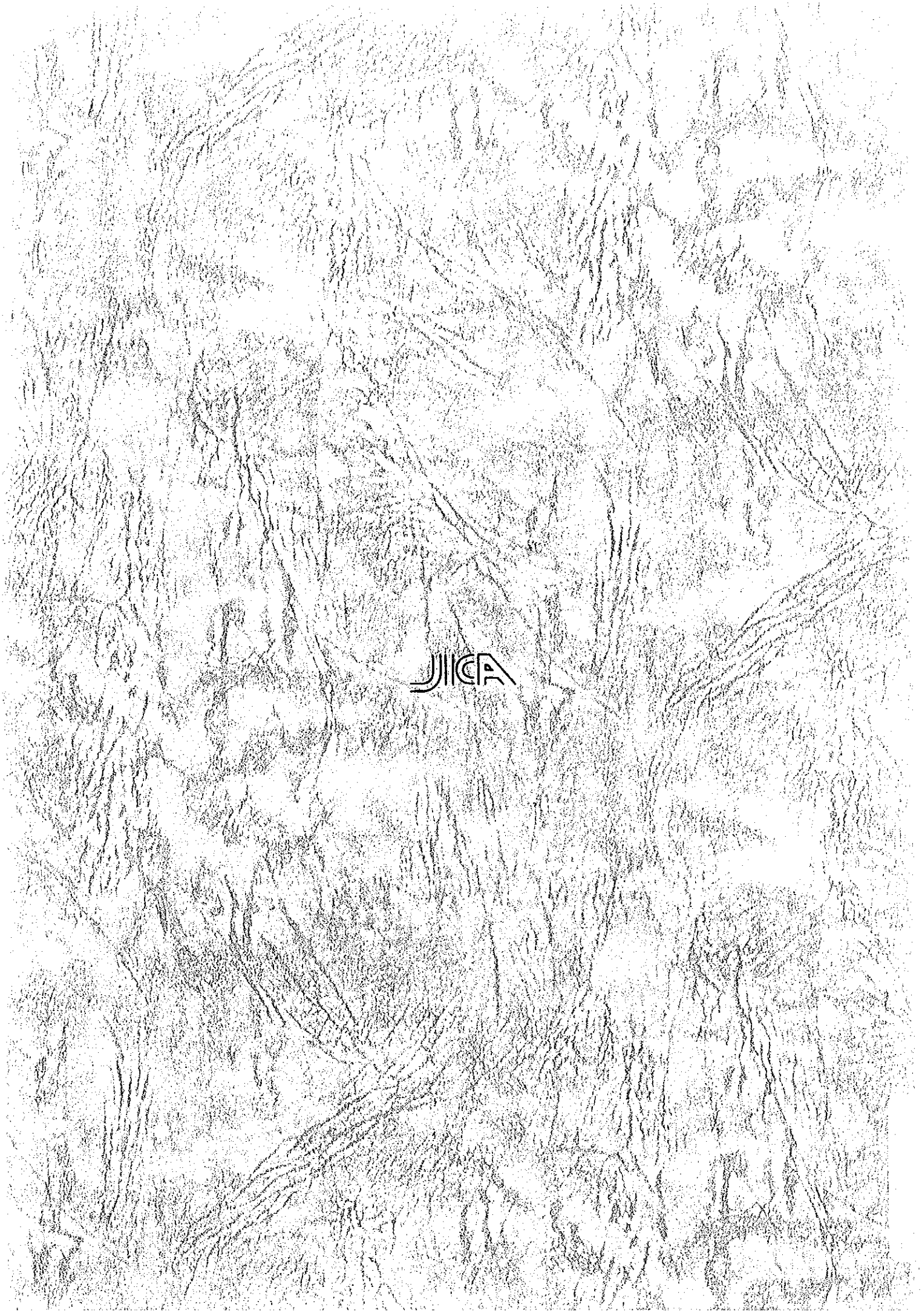
中国側の既往資料によると、黄河流域北岸での地下水のヒ素及びフッ素による水質汚染地域は、包頭市を中心としてその西に位置する河套平野（アジアヒ素ネットワークが活動している）と、東側の呼包平原が指摘されており、後者の呼包平原南部に今回の調査地が含まれる。このようにヒ素、フッ素汚染は非常に広範囲にわたって起きている現象である。

同じく中国側資料では、ヒ素の強い汚染地域は、呼包平原の中心部にほぼ７か所に分かれ散在する。今回調査で、この汚染地域は新しい地層の更新統の地域にほぼ限定されることが判明した。この更新統の厚い分布地域は地質構造的に地溝帯を形成する湖成層の堆積域とされる。ヒ素は泥質・有機質に富んだ部分に濃集する性質があるとされ、更新統の地下水にヒ素汚染の濃淡があるとしても、水質基準を満たす水質の飲用水を長期的に得ることは、特にフッ素汚染も加わればかなり困難と予想される。

今回調査では、調査地域が南端部に偏っていたため、比較的容易に水源（白亜系帯水層）を確保できたが、将来、呼包平原中央部を含む地域について、良質の飲用水の村落給水を考慮したとき、広域の水文地質情報から成る水理（地下水）構造の把握が是非必要であり、その意味で範囲を拡大した調査の実施を提言する。その範囲はほぼ呼包平原をカバーする範囲が必要と考えられる。

2）トクト県村落給水整備計画

トクト県政府が県内の村落給水施設の整備を考える場合、本調査の三郷だけではなく、１１郷鎮全体について改水事業実施済み村落を含めた水質改善を考慮する必要があり、(1)の水質監視の結果を踏まえた調査・整備計画を策定する。


JICA