

第2部 地下水調査



第2部 地下水調査

第1章 水文地質

1.1 省別の地質状況

図 1.1 にヴェトナム北部地方の地質概要図を示す。タイグエン省北部の山地は、主にカンブリア紀からオルドビス紀の頁岩からなる。南部は三疊紀からジュラ紀の砂岩、頁岩、石灰岩が主体となる。タイグエン省の最南部は紅河デルタに属し、未固結の第四紀更新統および沖積層からなる。

ハノイでは、紅河デルタを構成する未固結の第四紀層が厚く分布する。第四紀層の下位には、第三紀鮮新統の堆積物が分布する。

ニンビン省では、主に三疊紀の石灰岩が山地を構成し、同じく三疊紀の砂岩や頁岩、マールが丘陵地を構成する。東部の低地は紅河デルタの最南部に位置し、未固結の第四紀層が表層を覆う。

タンホア省の丘陵部は、オルドビス紀から二疊紀の石灰岩からなり、内陸平野の中に独立丘状に露出している。西部および南西部の山地は、主に三疊紀の砂岩、頁岩、礫岩からなる。ただし、省北西部の山地は、花崗岩類や凝灰岩類からなる。タンホア省の海岸部は、マー川沿いを中心に未固結の第四紀層が分布する。

ハティン省では、西部の山地はオルドビス～デボン紀の砂岩や頁岩、礫岩、石灰岩等からなる。三疊紀の砂岩や頁岩、礫岩、石灰岩は、省の中央部に帯状に分布する。省東部～中央部の平野地下には、粘土層を主体とする新第三紀の堆積物が分布し、それを覆って未固結の砂礫層や砂層、粘土層からなる第四紀層が分布する。

1.2 水文地質学的特徴

調査対象コミューンの地下水は、表層部の未固結の第四紀層と基盤岩（主に石灰岩）中に存在する。第四紀層はほとんどの調査対象コミューンに分布するが、タイグエン省やニンビン省の一部、タンホア省の一部では層厚が小さい。タイグエン省の4箇所の試掘地点では、第四紀層の層厚は 12.8～18.6 m である。ニンビン省の Quang Son および Dong Phong コミューンでは、第四紀層の層厚は 2.0～9.4 m である。タンホア省 Van Thang コミューンでは、第四紀層の層厚は 6.0m である。

一方、ハノイの調査対象コミューンでは第四紀層が厚く分布しており、既存資料によると層厚は 80 m 程度である。ニンビン省 Yen Thang コミューンでは、石灰岩や砂岩、頁岩が一部の地域に露出するが、試掘地点での第四紀層の層厚は 44.0 m である。タンホア省中部～北部の対象コミューンでも第四紀層は比較的厚く分布し、試掘地点での層厚は 23.0～48.0 m である。ハティン省でも第四紀層は厚く分布し、3箇所の試掘地点での層厚は 28.0～68.4 m である。

第四紀層の礫層および砂層は一般に量的に良好な帯水層を形成している。ハノイでは少なくとも 2～3 層準、ニンビン省東部やタンホア省中部、ハティン省では 1～2 層準の砂礫層が認められる。ハノイでは、深度 20～40 m に分布する砂礫層が第 1 帯水層、深度 40～80 m に分布する砂礫層が第 2 帯水層（主帯水層）と区分されており、両者の間には層厚 3～37 m の粘性土層（加圧層）が分布する。タイグエン省の対象コミューンでも第四紀層の層厚が比較的小さいが、一部で砂層や礫層が分布し帯水層を形成している。

調査対象コミューンの基盤岩は、タイグエン省では石炭紀～二畳紀の石灰岩、砂岩、シルト岩、頁岩である。ニンビン省では主に三畳紀の石灰岩、タンホア省では三畳紀の石灰岩および砂岩、ハティン省では新第三紀の泥岩である。このうち良好な帯水層を形成しているのは、破碎質あるいはケーブ（鍾乳洞）の発達した石灰岩である。石灰岩でも、緻密で亀裂の少ないものや、破碎質でも粘土が充填するような石灰岩は、地下水の産出能力が小さいため帯水層として取り扱えない。砂岩や頁岩は、亀裂の多い破碎部で帯水層となりうるが、石灰岩に比べて地下水の産出量が少ない。ハティン省の新第三紀泥岩は、一部砂岩層が挟在するものの、難透水性の地層であるため、地下水を採取することが困難である。

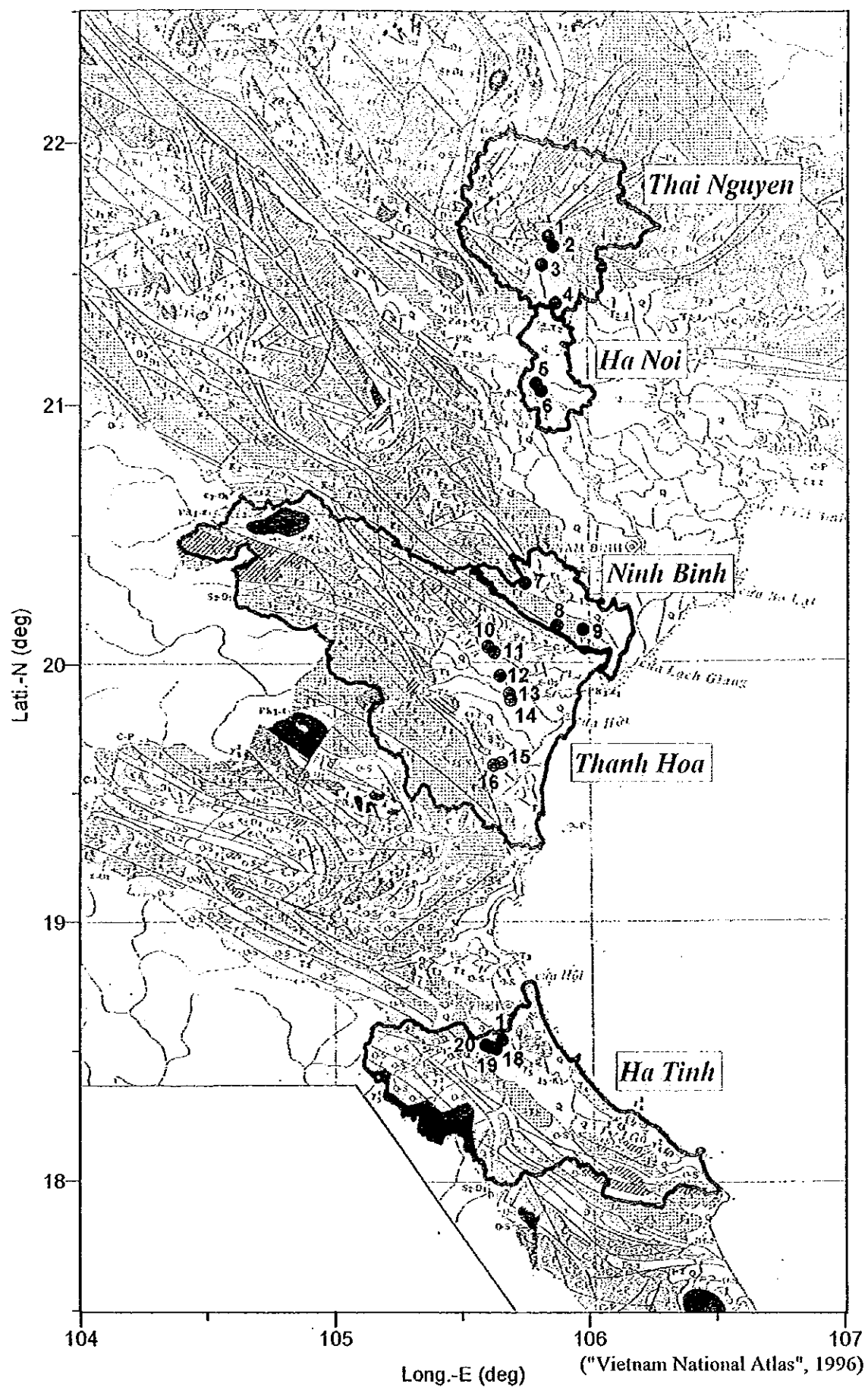


图1.1 Geological Map of the Study Area

第2章 地下水位

2.1 地下水位の分布

調査対象コミューンの既存井戸の地下水位は、1998 年 9～10 月（雨季の後半）の測定結果によると、平地部では地表面から 2 m 以内であることが多い（図 2.1 参照）。しかし、タイグエン省やニンビン省、タンホア省の丘陵部では、地形の起伏により地下水位が地表面から 4～10 m にあり、ニンビン省 Quang Son コミューンの西部では 10～14 m と深い。ハノイでは、周辺の地下水開発の影響で、浅井戸の地下水位が地表面から 6～10 m まで低下している。

ハノイの地下水位分布は、地域および帯水層により異なる。紅河沿いの地域では地下水位が高く、紅河の水位とほぼ同じであるが、紅河から離れてハノイ市中央部から南西部に行くに従い、地下水位が低くなる。また、浅い帯水層（第 1 帯水層）の地下水位よりも、深層の帯水層（第 2 帯水層、主帯水層）の地下水位のほうが低い。1991 年 5 月のデータでは、第 1 帯水層の地下水面はハノイ市中央部～南部を中心に低下しており、最も低い地下水位は標高 -6.5 m であった。一方、第 2 帯水層に設置された地下水観測井で測定された被圧水頭面は、第 1 帯水層の地下水面よりも低い。1991 年 5 月のデータでは、第 1 帯水層の地下水面と同様にコーン状に水頭面が低下しており、最低地下水頭はハノイ市南部で標高 -10.7 m であった。さらに、1991 年 5 月の第 2 帯水層（主帯水層）の動水位（揚水時の水位）は、標高 -25.0 m まで低下している（図 2.2）。ヴィエトナム地質鉱物局（1998）によると、第 2 帯水層の地下水頭低下域の最低水頭は 1992 年 1 月に標高 -20.64 m、被圧水頭が標高 -8 m 以下の面積は 42.74 km²、標高 -14 m 以下の面積が 4.77 km² であったのに対し、1997 年 12 月には、最低水頭が標高 -23.82 m、被圧水頭が標高 -8 m 以下の面積は 64.52 km²、標高 -14 m 以下の面積が 11.26 km² となっている。

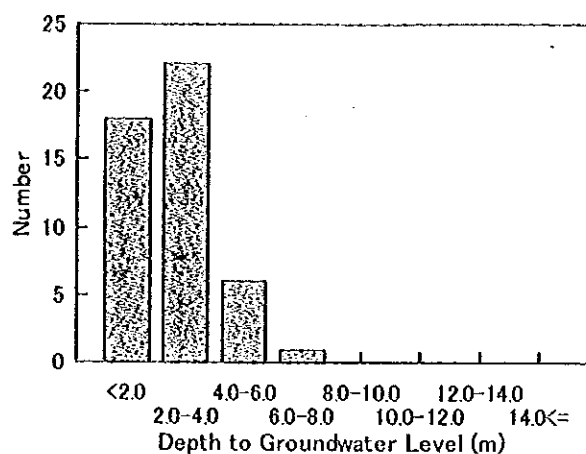
2.2 地下水位の変動

調査対象地域では、地下水の変動がモニターされているのはハノイ地域だけで、他の地域では地下水位が継続して測定されていない。本調査で掘削した試掘井戸には 12 箇所に自記水位計を設置したが、観測を開始したのが 1999 年 3～6 月であるので、1 水文年を通した記録が得られていない。

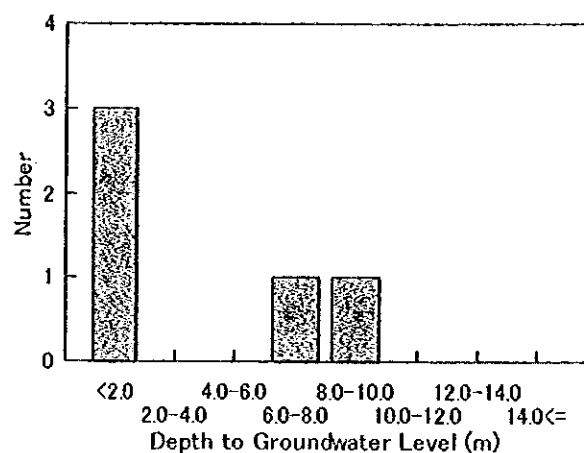
既存井戸調査での聞き取りによれば、地下水位は季節により変動し、浅井戸では乾季に水位低下による井戸枯れも発生している。また、河川に近いところでは、地下水位は河川水位の変動の影響を受けており、河川に近いほど水位変動幅が大きい傾向がある。

JICA-6 試掘井(ニンビン省Yen Thang)の自記水位計記録によると、地下水位は1999年3月から6月にかけて0.6 m上昇した。ここでは、潮汐の影響と思われる1日2サイクルの水位変動が見られる。日水位変動幅は30~70 cmである。JICA-7 試掘井(ニンビン省Dong Phong)の地下水位は、1999年5月から8月にかけて深度0.8から1.0 mと狭い範囲で変動しているが、降水や河川水位に対応していると思われる変動パターンは認められない。JICA-11 試掘井(タンホア省Van Thang)の地下水位は、1999年5月上旬から7月中旬にかけて、深度7.5 mから4.5 mまで緩やかに上昇し、その後8月中旬にかけて深度5.15 mまで緩やかに低下した。変動パターンを見ると、降水に対応するような鋭いピークは見られず、近くを流れるムック川の河川水位の影響を受けていると考えられる。

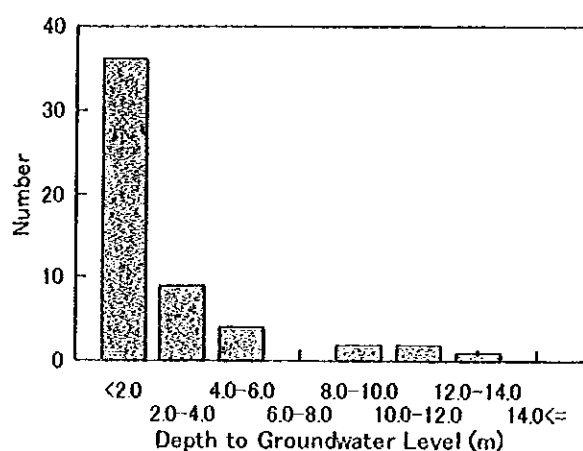
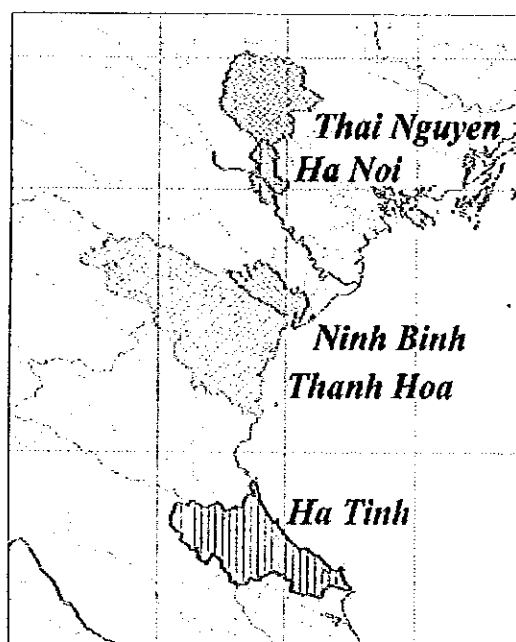
紅河デルタに設置された地下水観測井の1988年から1997年までの地下水位記録(工業省地質鉱物局、1998)によると、ハノイ地域の地下水位変動は、紅河沿いの地域および紅河左岸のハノイ市北部では、乾季に低下し雨季に上昇する比較的規則正しいパターンを示す。Dong Ngacコミューンの南西約2 kmに位置するTu Liem県Minh Khaiでは、第1帯水層、第2帯水層とも乾季・雨季の季節変動が良く現れている(図2.3参照)。しかし、第1帯水層の地下水位は1988年には標高2.8~6.7 mの間で変動していたが、1997年には標高2.0~4.8 mの間で変動しており、水位が徐々に低下している。同じ地点での第2帯水層の地下水頭は第1帯水層の水位より約4 m低く、1992年には標高-1.0~+1.0 mの間で変動していたが、1997年には標高-1.7~+0.2 mが変動範囲となっており、年々水位が低下している。Xuan Dinhコミューンの南西約2 kmに位置するCau Giay県Dich Vongでは、第1帯水層、第2帯水層とも地下水位変動に季節変化は認められず、年々地下水位が低下している。とくに、第1帯水層の地下水は、1992年初頭には標高-6 m付近にあったが、1995年半ばには-12 mまで低下し、そこからさらに急激に低下して1996年半ばには-15 mに達した。第2帯水層の地下水頭は、1992年半ばには標高-15 m付近にあったが、1997年には-16 m以下となっている。



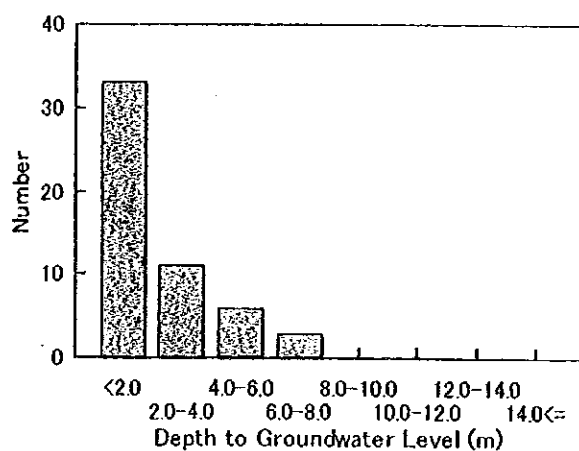
Thai Nguyen



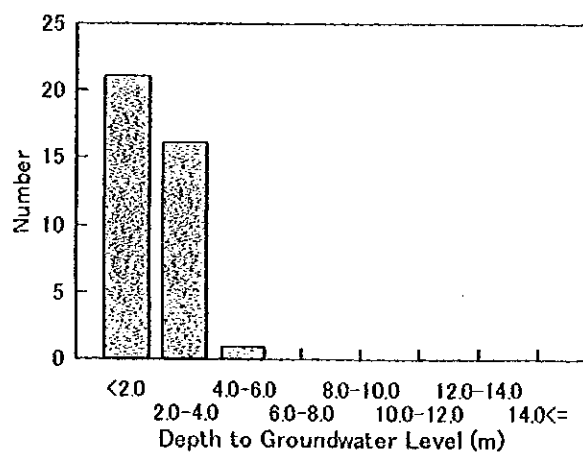
Ha Noi



Ninh Binh



Thanh Hoa



Ha Tinh

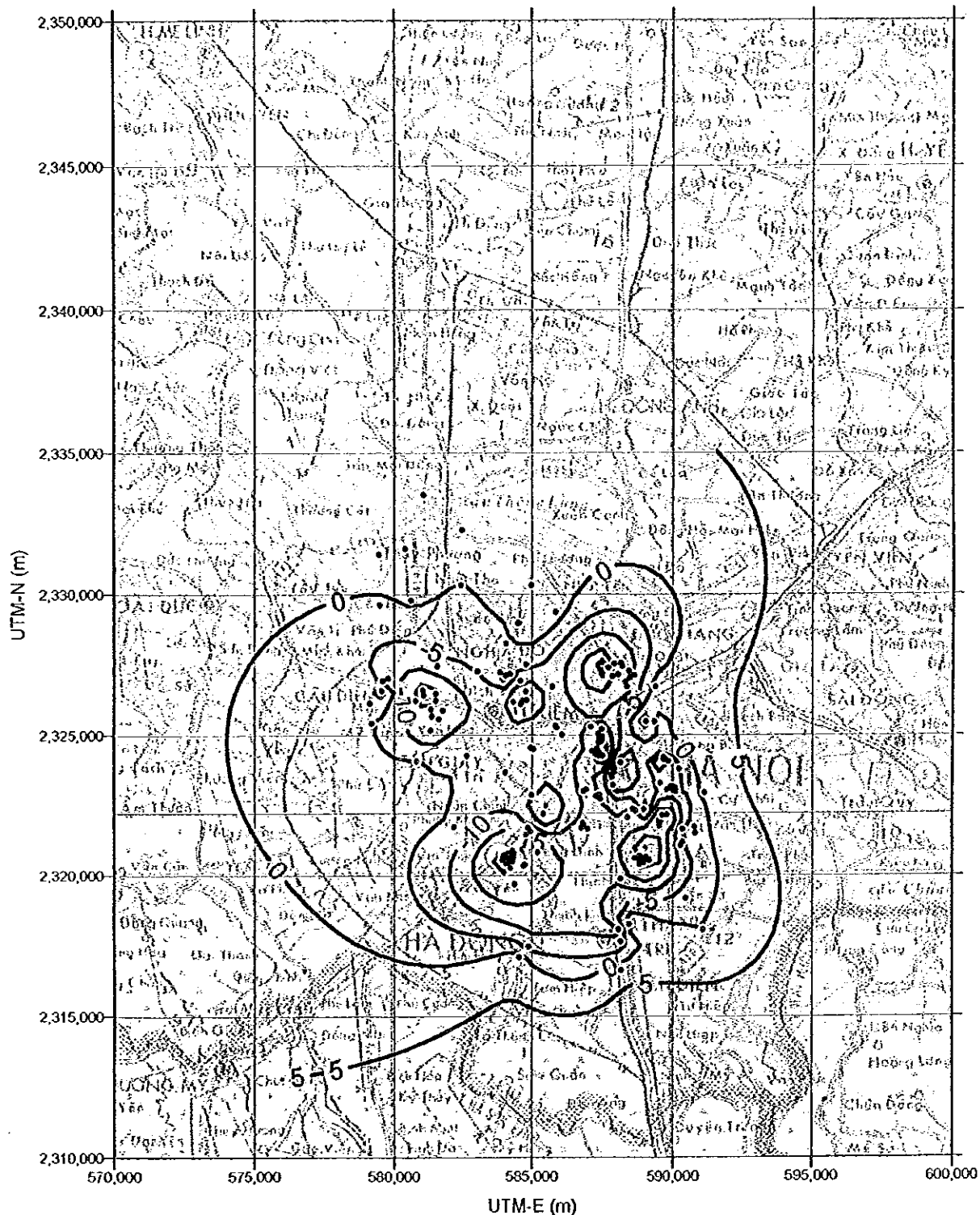
(Depths to groundwater levels from ground surface were measured at existing dug wells.)

2.1

Distribution of Depth to Groundwater Level from Ground Surface by Province

THE STUDY ON GROUNDWATER DEVELOPMENT IN THE RURAL PROVINCES OF NORTHERN PART IN THE SOCIALIST REPUBLIC OF VIETNAM

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)

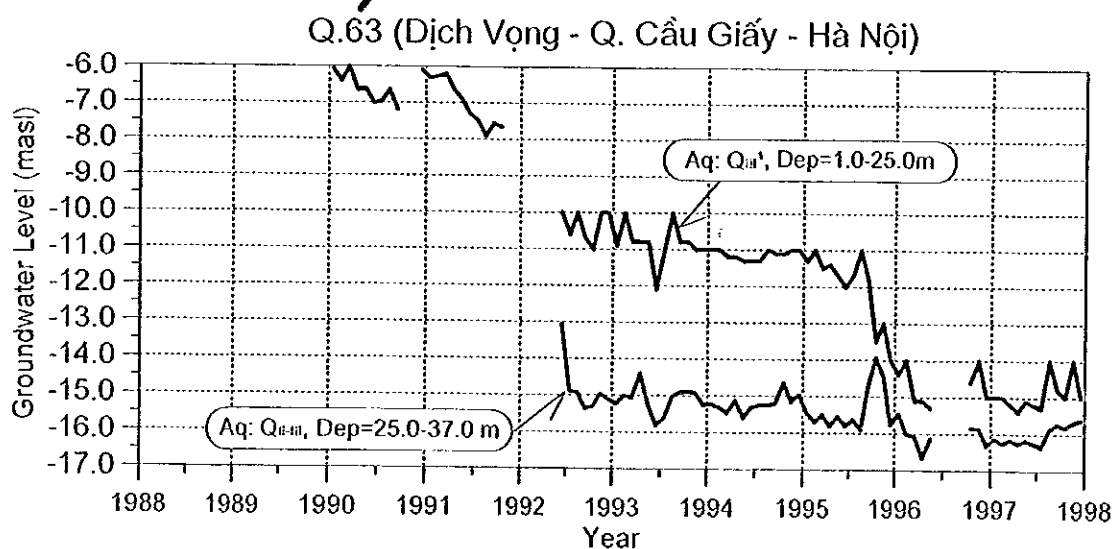
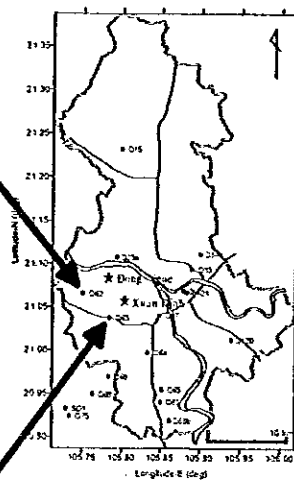
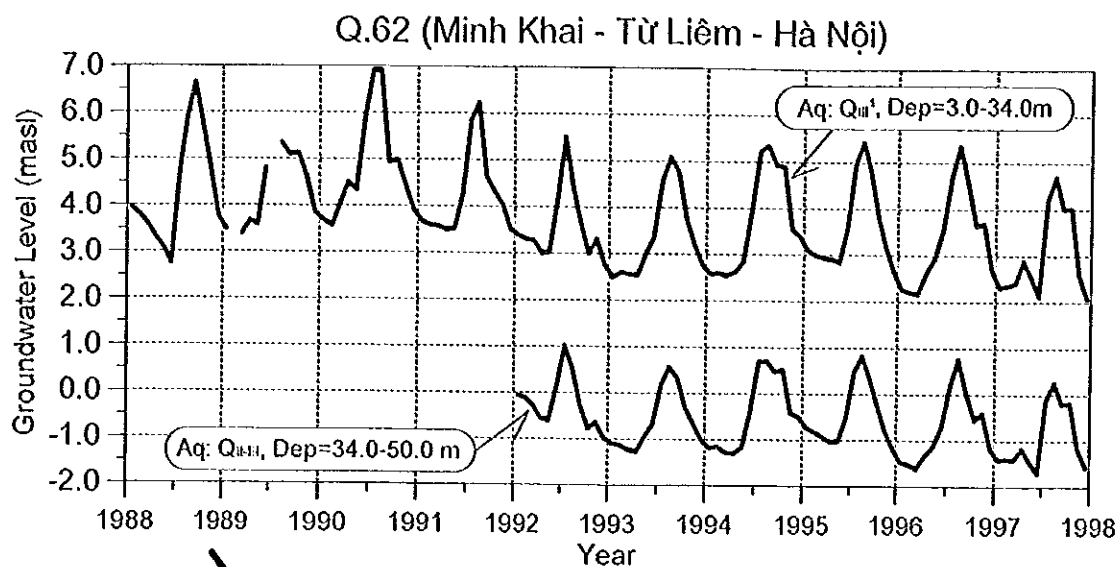


— -16 Equal Line of Piezometric Surface (masl)

• Observation Well and Observed Production Well

(Pure observation wells and observed production wells were used to draw dynamic piezometric surface.)

<p>2.2</p>	<p>Distribution of Dynamic Piezometric Surface in Hà Nội Area (May 1991)</p>
<p>THE STUDY ON GROUNDWATER DEVELOPMENT IN THE RURAL PROVINCES OF NORTHERN PART IN THE SOCIALIST REPUBLIC OF VIETNAM</p>	
<p>JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)</p>	



2.3

Changes in Groundwater Level
in Hà Nội Area (2)

THE STUDY ON GROUNDWATER DEVELOPMENT IN
THE RURAL PROVINCES OF NORTHERN PART IN
THE SOCIALIST REPUBLIC OF VIETNAM

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)

[Data Source: ĐẶC TRƯNG / ĐỘNG THÁI NƯỚC DƯỚI
ĐẤT VÙNG ĐỒNG BẰNG BẮC BỘ (1988-1997)]

第3章 地下水の水質

3.1 既存井戸の水質

地下水の水質調査では、各対象コミュニティで既存井戸 10 箇所以上について現地測定および室内水質分析を行った。室内分析総数は 213 サンプルである。また、試掘井戸の揚水試験時に水質サンプルを採取し、室内分析を行った。

調査対象コミュニティの浅井戸の水質は、地域により異なる特徴をもつ。電気伝導度や主要溶存イオン濃度をみると、タイグエン省やハノイの一部、ニンビン省の丘陵地、タンホア省の北部では比較的水質が良いが、ニンビン省の Yen Thang コミュニティやハティン省の 4 コミュニティ、タンホア省の中部～南部では電気伝導度や主要イオン濃度、蒸発残留物総量が高く、水質が悪い（図 3.1 参照）。pH は、タイグエン省のなかで、基盤岩の砂岩や頁岩が風化して形成された赤色土壌が分布する地域で特に低く、4.5～5.5 を示す。その他の地域でも、基盤の石灰岩中の地下水は中性～弱アルカリ性を示すのに対し、砂岩や頁岩中の地下水は酸性を示す傾向がある。また、ほとんどの浅井戸から大腸菌群が検出され、そのままでは飲用に適さないことが判明した。

鉄分濃度は、タイグエン省では低い、ハノイやニンビン省では一部高い地域が見られる（図 3.2 参照）。タンホア省やハティン省では、調査した既存井戸の大半がヴィエトナムの飲料水基準である 0.5 mg/l 以上を示し、2 mg/l 以上の高濃度の鉄分を含む地下水も 2～3 割の井戸で発見された。マンガン（ヴィエトナム飲料水基準＝0.1 mg/l）は、タイグエン省ではほとんど基準値以下であり、ニンビン省でも Yen Thang の 3 箇所基準値を越えているほかは問題がない。しかし、ハノイやタンホア省、ハティン省の既存井戸では基準値以上のマンガンを含む井戸が多く、とくにハティン省では半数以上の井戸水に基準値以上のマンガンが検出された。塩素イオン（基準値＝500 mg/l）は、タンホア省 Nong Cong タウンで基準値以上の井戸水が検出された。硫酸イオン（基準値＝400 mg/l）は、タイグエン省、ハノイ、ニンビン省ではすべて基準値を下回っているが、タンホア省やハティン省では基準値を上回る井戸水が検出されている。ナトリウムイオン（基準値＝200 mg/l）は、ハノイの一部、タンホア省の Van Thang コミュニティと Nong Cong タウン、ハティン省の Bui Xa と Trung Le コミュニティで基準値を上回る井戸水が検出された。

アンモニアやフッ素、ヒ素で基準値を上回る地下水はどこからも検出されなかった。

3.2 試掘井の水質

本調査で掘削した試掘井の水質については、JICA-1（タイグエン省Dong Bam）を除く14箇所サンプルを採取し室内分析を行った。図3.3にはトリリニアダイアグラムを、図3.4にはスティフダイアグラムを示す。ヴェトナムの飲料水基準をクリアする井戸は、14本中4本（タイグエン省2本、ニンビン省1本、タンホア省1本）しかなかった（表3.1参照）。

基準値と比較すると、pHはニンビン省Quang Son、ハティン省Trung LeでpHが低い。蒸発残留物総量（TDS）は、ニンビン省Yen Thang、タンホア省Thieu Do、ハティン省Duc YenおよびTrung Leで基準値（=1,000 mg/l）を上回った。マンガンはタイグエン省Hoa Thuong、ニンビン省Quang SonおよびYen Thang、タンホア省Van ThangおよびThieu Hung、ハティン省Duc YenおよびTrung Leで基準値を上回った。鉄分は、マンガンで基準値を越えた井戸すべてとタンホア省Vinh Thanhで基準値を上回った。塩素イオン濃度は、ニンビン省Yen Thang、ハティン省Duc YenおよびTrung Leで基準値を越えた。ナトリウムイオンは、塩素イオン濃度が基準値を超えた井戸すべてとタンホア省Van Thangで基準値を超えた。アンモニアイオンや硫酸イオン、フッ素、ヒ素で基準値を上回る試掘井はなかった。

3.3 ハノイ地域の水質

ハノイ地域の水質については、工業省地質鉱物局（1998）が1988年から1997年にかけて地下水観測井の水質を年2回（乾季と雨季）に測定している。また、JICA（1997）はハノイ上水道システムの水源地について、1990～1995年の水質分析結果をとりまとめている。

工業省地質鉱物局（1998）のデータによると、1997年後期（雨季）の鉄分濃度は、ハノイ市東部で3～10 mg/l、対象コミュニティのXuan Dinh・Dong Ngac地域で10～30 mg/lと推定される。ただし、このデータは観測井のなかのたまり水を分析していると思われるので、実際に揚水して利用されている水質とは異なる可能性がある。

JICA（ハノイ市上水道整備計画調査、1997）によると（図3.5参照）、Xuan Dinhの南西約4 kmにあるMai Dich井戸群（水源井17本）の鉄分濃度は、最大3.3 mg/l、平均0.7 mg/l、最小0.0 mg/lである。同様に、Xuan Dinhの南約2 kmにあるNgoc Ha井戸群（水源井11本）では、最大4.7 mg/l、平均1.6 mg/l、最小0.1 mg/lである。Xuan Dinhの南約8 kmにあるHa Dinh井戸群（水源井9本）では、最大19.7 mg/l、平均11.4 mg/l、最小6.7 mg/lと鉄分濃度が高い。これらはハノイの主要帯水層である第2帯水層のデータであるが、以上のデータから推定すると、対象コミュニティでも鉄分濃度が基準値（=0.5 mg/l）を上回っていると推定される。

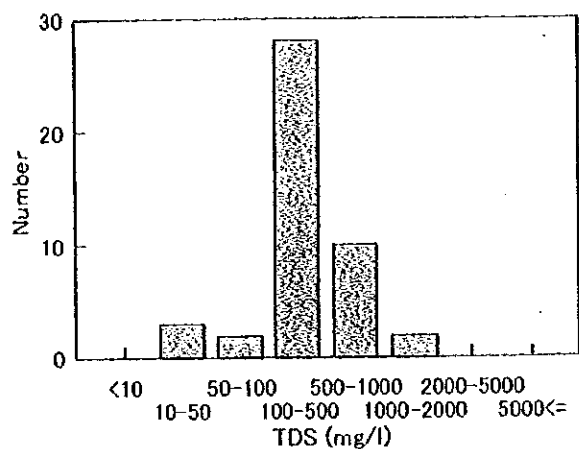
マンガンについても、対象コミュニティに最も近いNgoc Ha井戸群で最大 2.4 mg/l、平均 1.1 mg/l、最小 0.0 mg/lであり、平均値が基準値（=0.1 mg/l）を上回っている。また、他の井戸群でも平均値が基準値を超えていることから、対象コミュニティでも基準値を超えている可能性がある。

このほか、アンモニアイオンは、Ngoc Ha井戸群で最大 3.0 mg/l、平均 0.7 mg/l、Yen Phu井戸群で最大 20.0 mg/l、平均 2.8 mg/l、Ha Dinh井戸群では最大 20.0 mg/l、平均 12.8 mg/l、最低 4.0 mg/lもの高濃度が測定されている。アンモニアの基準値は 3.0 mg/lなので、対象コミュニティでも基準値を超えている可能性がある。しかし、井戸深度から考えると、井戸構造等の問題により、表層部の汚染水が局所的に井戸に引き込まれている可能性もある。JICA（1997）では、ハノイ上水道水源の井戸原水の設計値として、アンモニア濃度を 1.2 mg/lと設定している。

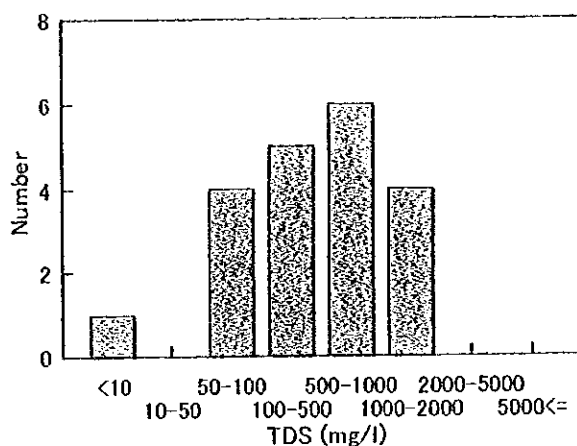
表3.1

Results of Laboratory Chemical Analysis of Groundwater Samples Taken from JICA Test Wells

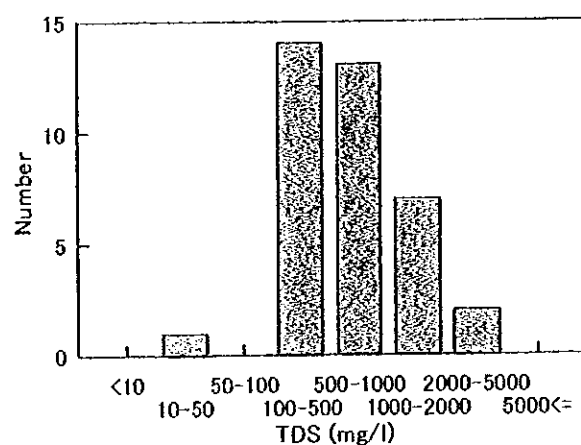
WHO Guideline Values for Drinking Water																
Vietnamese Drinking and Domestic Water Quality Standards for Ground Water (Pure Supply)																
1000 50,000 1,500 0.100 250.00 0.300 250.00 200.00 1,500 10.00																
6.5-8.5 pH																
Temp. Hardness EC TDS Redox potential DO Nitrate Nitrite Ammonium Manganese Sulfate Iron Chloride Bicarbonate Calcium Magnesium Sodium Potassium Arsenic Fluoride																
("C) (mg/L) (mg																



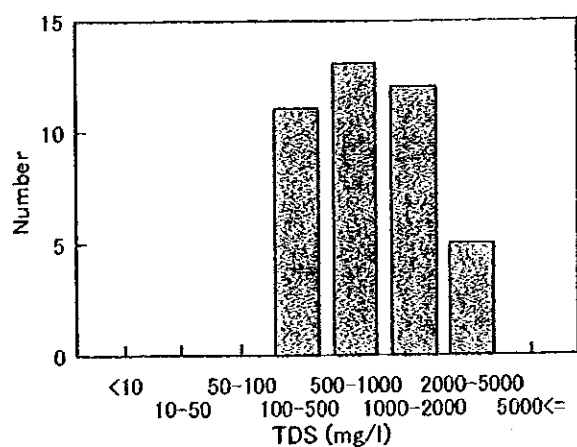
Thai Nguyen



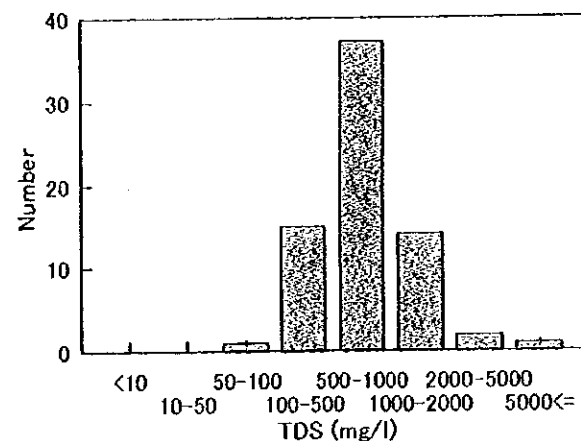
Ha Noi



Ninh Binh



Ha Tinh



Thanh Hoa

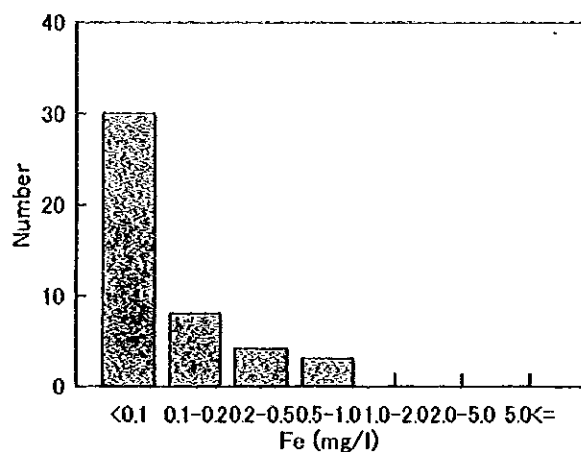
3.1

Distribution of TDS Values of Groundwater by Province

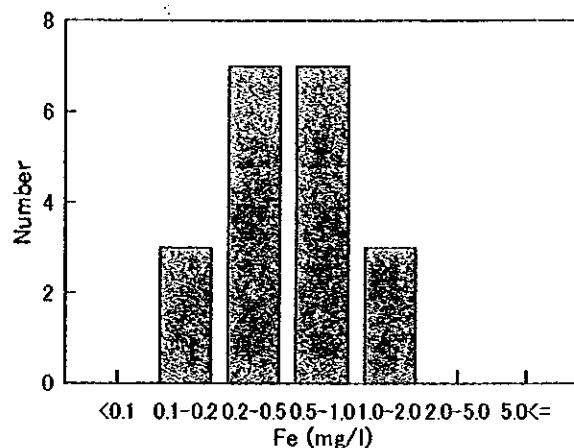
THE STUDY ON GROUNDWATER DEVELOPMENT IN THE RURAL PROVINCES OF NORTHERN PART IN THE SOCIALIST REPUBLIC OF VIETNAM

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)

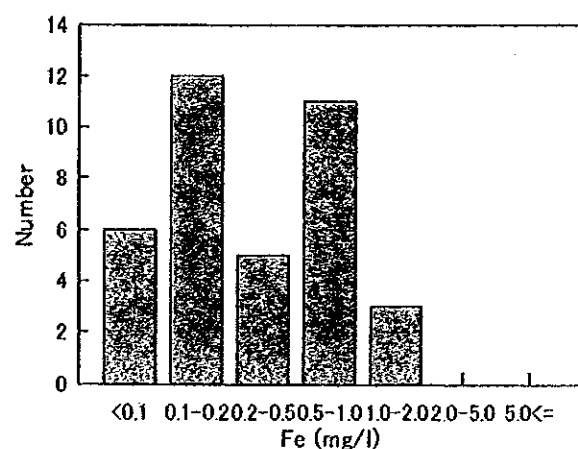
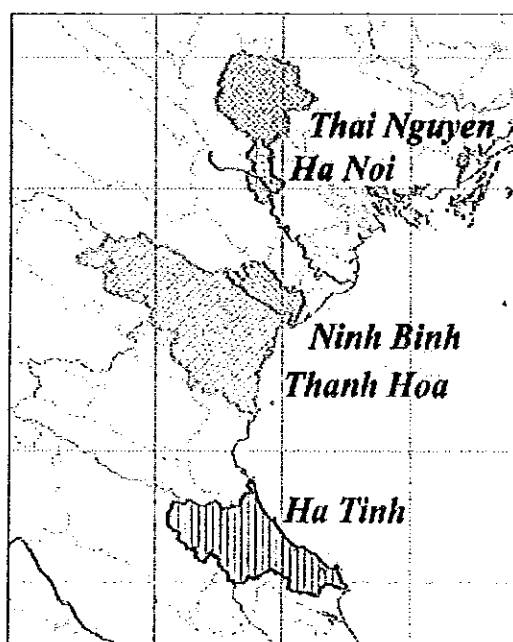
(Groundwater samples were collected from existing wells.)



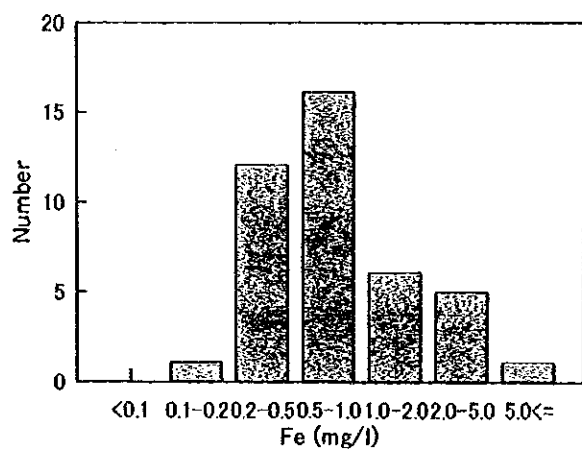
Thai Nguyen



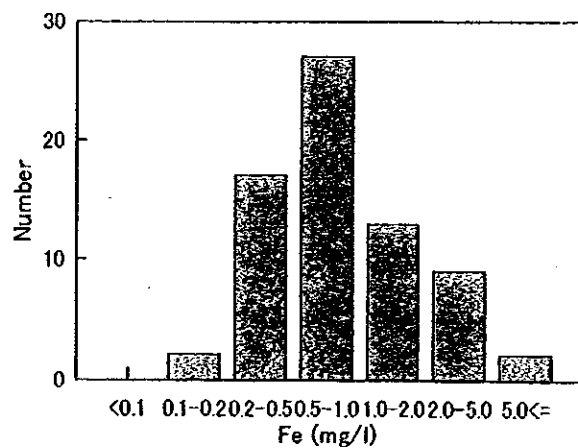
Ha Noi



Ninh Binh



Ha Tinh



Thanh Hoa

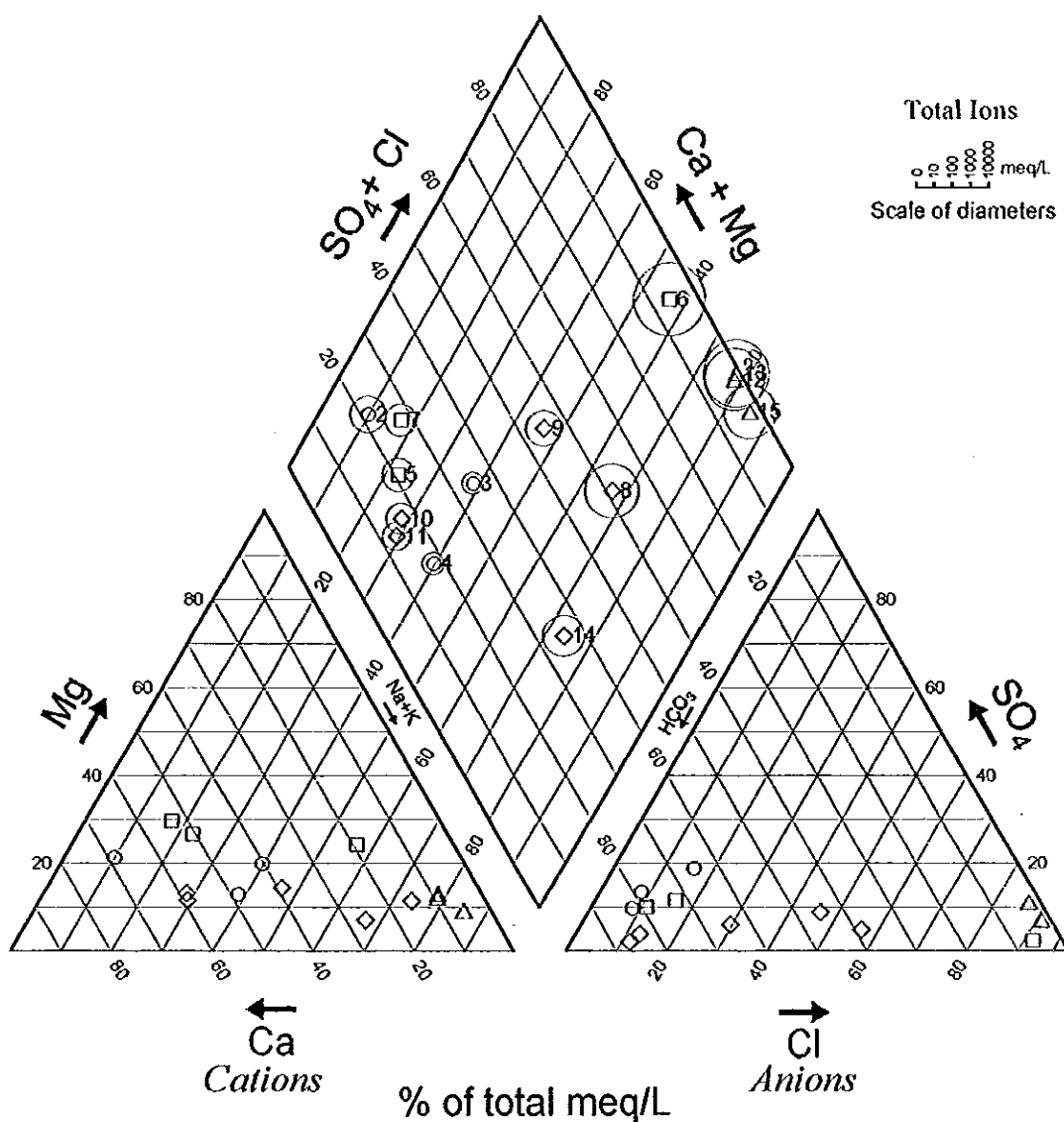
(Groundwater samples were collected from existing wells.)

3.2

Distribution of Fe Concentration of Groundwater by Province

THE STUDY ON GROUNDWATER DEVELOPMENT IN THE RURAL PROVINCES OF NORTHERN PART IN THE SOCIALIST REPUBLIC OF VIETNAM

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)



JICA Test Wells

- Thái Nguyên
- Ninh Bình
- ◇ Thanh Hóa
- △ Hà Tĩnh

3.3

TRILINEAR DIAGRAM OF GROUNDWATER
TAKEN FROM TEST WELLS

THE STUDY ON GROUNDWATER DEVELOPMENT IN
THE RURAL PROVINCES OF NORTHERN PART IN
THE SOCIALIST REPUBLIC OF VIETNAM

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)

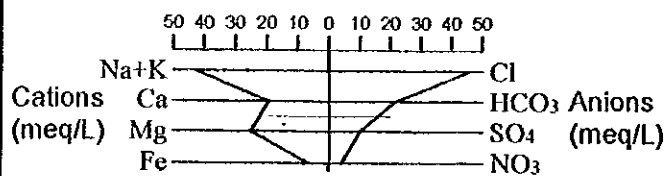
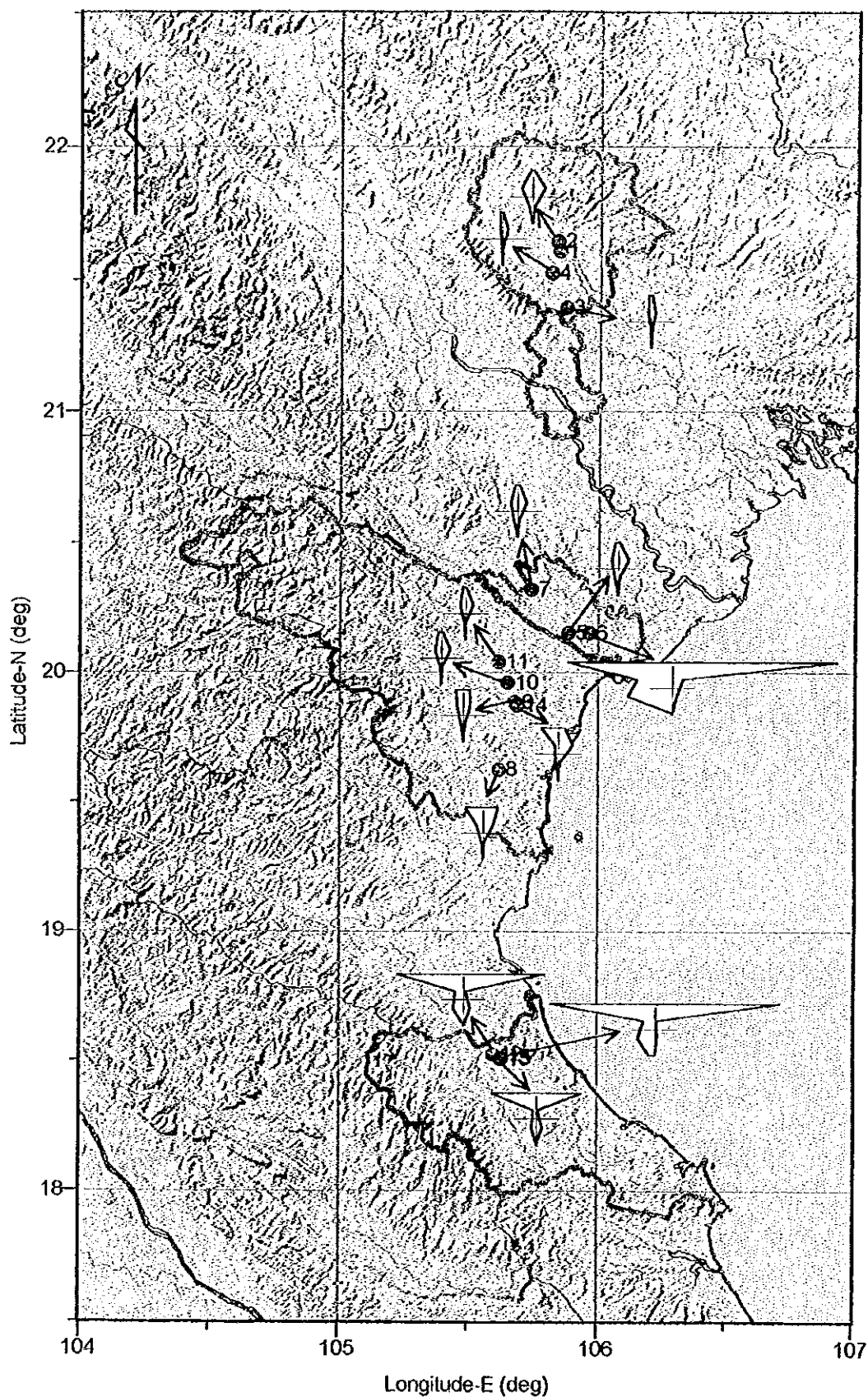


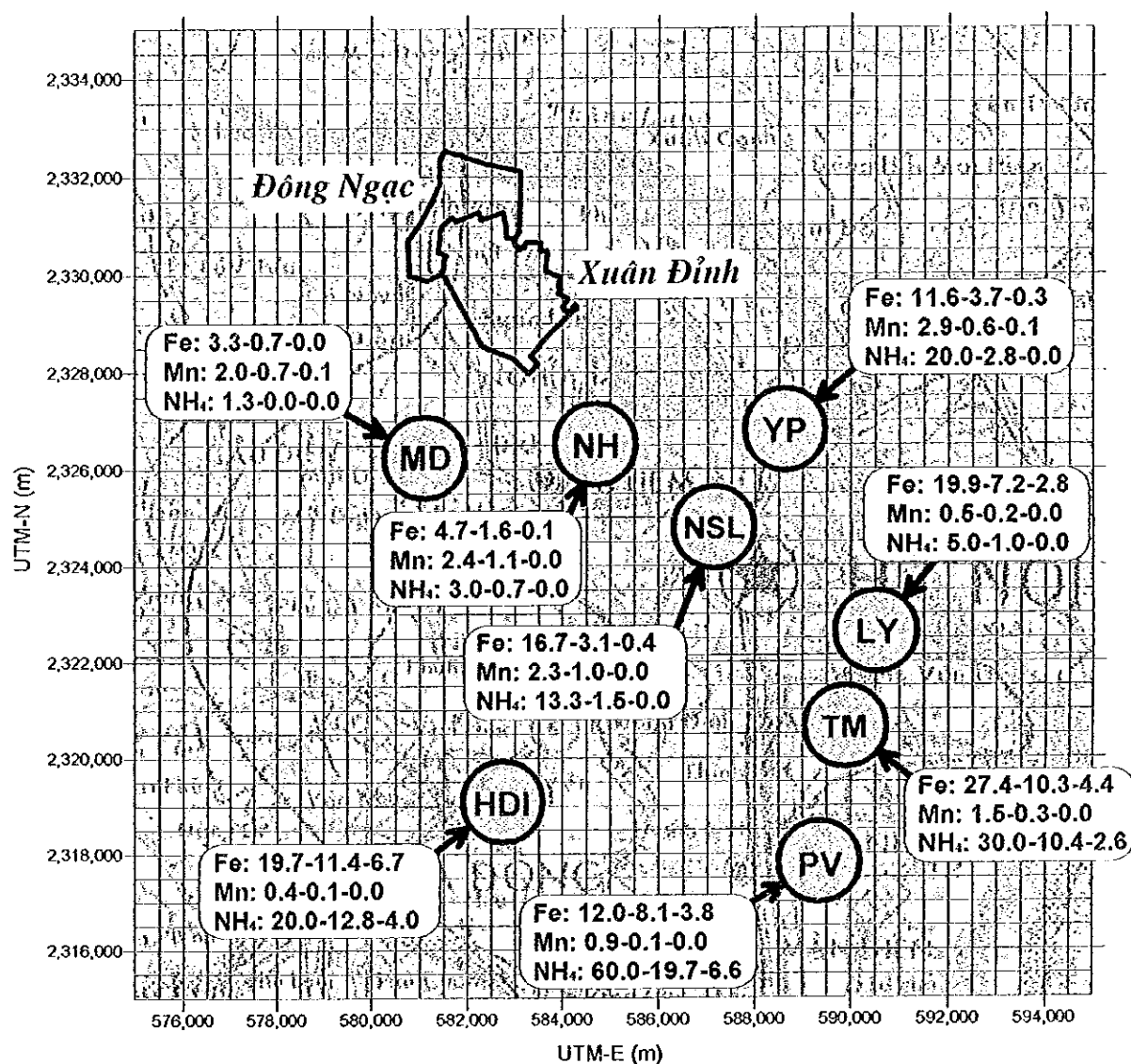
図3.4

Stiff Diagram of JICA Test Wells

THE STUDY ON GROUNDWATER DEVELOPMENT IN
THE RURAL PROVINCES OF NORTHERN PART IN
THE SOCIALIST REPUBLIC OF VIETNAM

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)

Groundwater Quality of Well Fields in Hà Nội Area



Water Quality of Production Wells by Well Field

Fe: Max-Avg-Min
Mn: Max-Avg-Min
NH₄: Max-Avg-Min

(Unit: mg/l)

Name of Well Field

MD: Mai Dich
NH: Ngoc Ha
YP: Yen Phu
NSL: Ngo Si Lien
LY: Luong Yen
TM: Tuong Mai
HDI: Ha Dinh
PV: Phap Van

[Data source: JICA (1997)]

3.5	Groundwater Quality of Well Fields in Hà Nội Area
THE STUDY ON GROUNDWATER DEVELOPMENT IN THE RURAL PROVINCES OF NORTHERN PART IN THE SOCIALIST REPUBLIC OF VIETNAM	
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)	

第4章 物理探査

4.1 物理探査の手法

調査対象コミューンの地下地質構造を推定し、試掘井掘削地点を選定するための基礎資料を得るために、以下の3種類の物理探査を実施した。

- 垂直電気探査 (VES)
- 比抵抗映像探査 (RIP)
- 超長波探査 (VLF)

垂直電気探査では、電極配置はシュランベルジャー法を採用した。外極の最大測線長 ($AB/2$) は、200 mとした。比抵抗映像探査では、ポール-ポール電極配置を採用し、1つの電流電極と1つの電位差電極を遠電極として最大測線長の最低5倍以上の距離に配置した。測線上には等間隔で測定電極を配置し、コントローラーで順々にもう1つの電流電極を設定して電位差を測定した。超長波探査は電磁探査法の1つで、軍事目的(潜水艦との交信用)で世界各地から発信されている15~30 kHzの超長波を利用して、地下浅層部の比抵抗コントラストを検出して地下構造の異常(基盤の破碎帯や岩相境界の分布等)を把握した。

各探査の地点および測線は、調査対象コミューンの水文地質現地踏査の結果をふまえて、ハノイを除く18コミューンの地下地質構造を把握するために必要な箇所に配置した。各探査の実施数量は、VESが212地点、RIPが15測線、VLFが18測線である。

4.2 解析結果

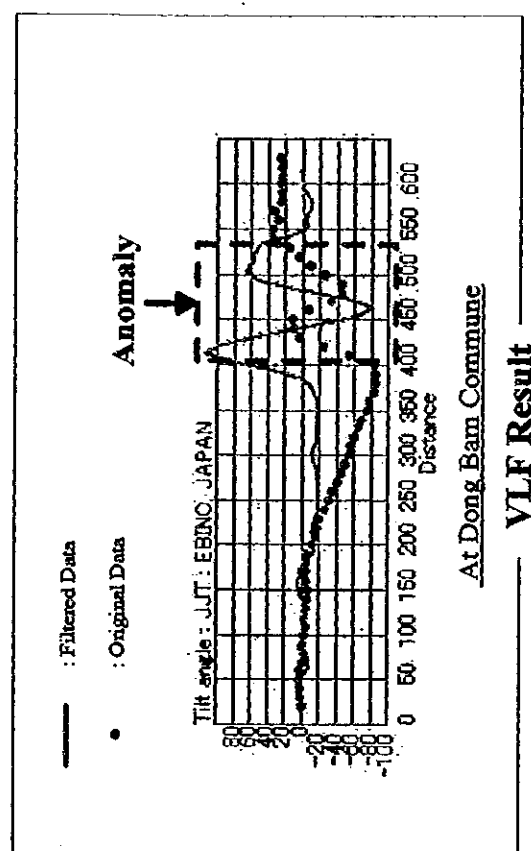
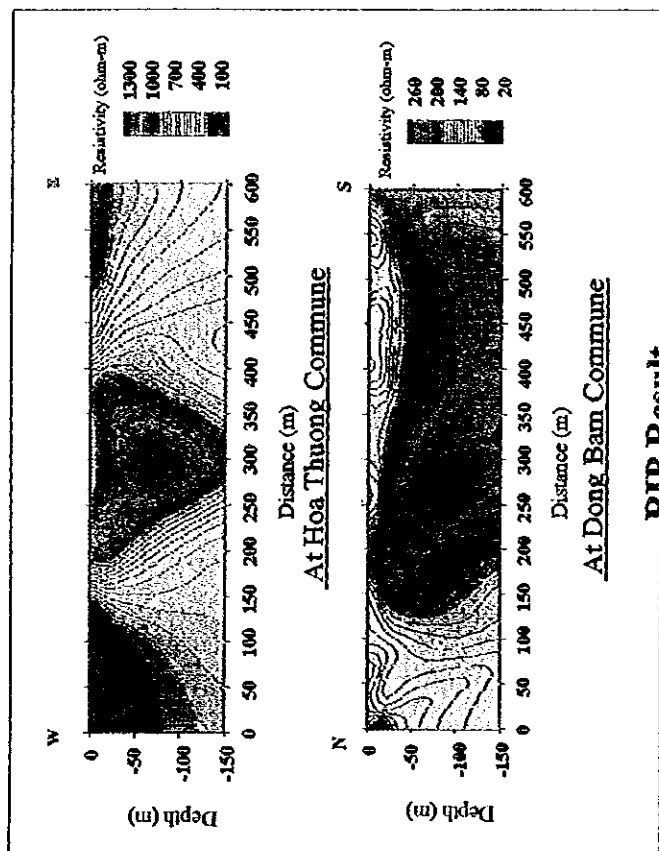
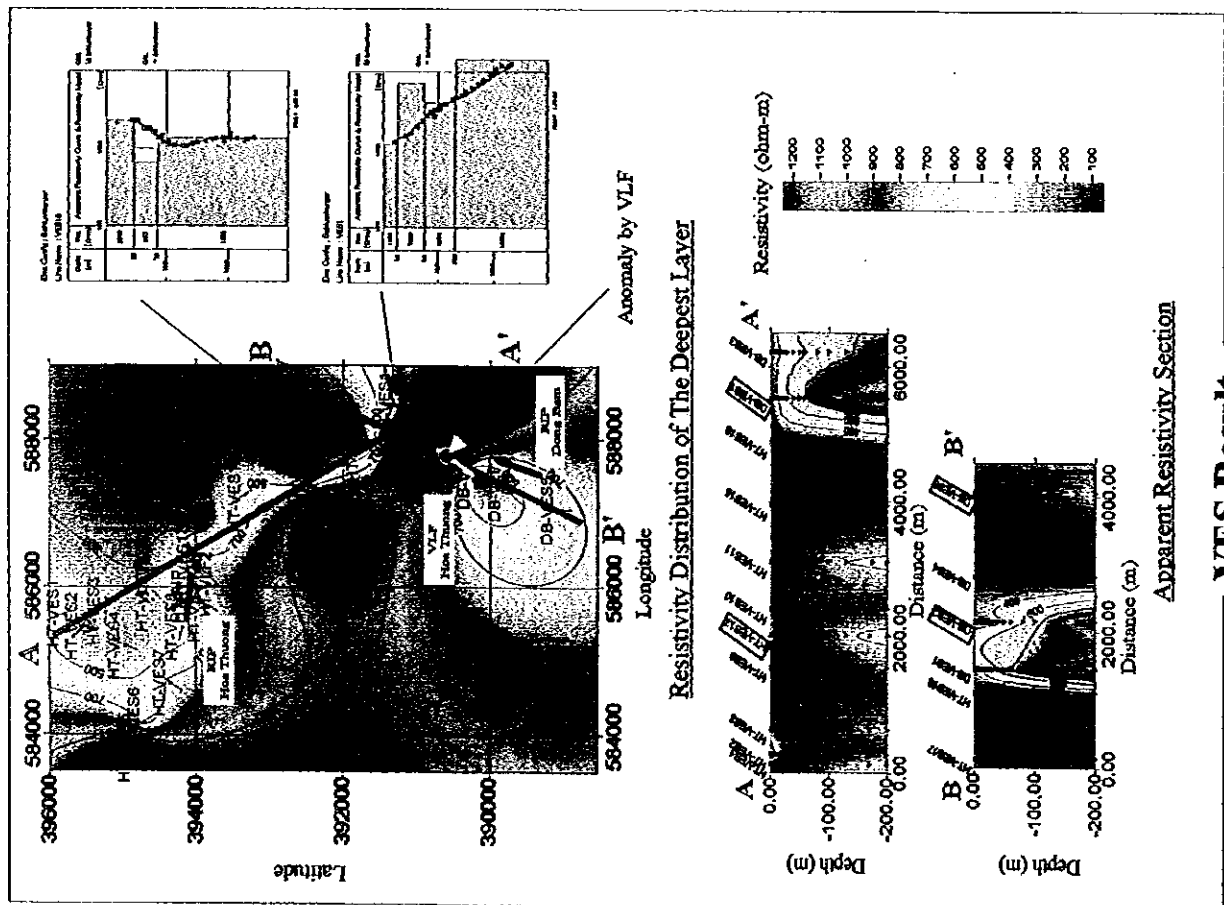
VESで得られた各地点の垂直比抵抗分布およびRIPで得られた測線沿いの詳細な比抵抗分布断面、さらに基盤岩分布地域でのVLF探査によるアノーマリー分布により、地下地質構造を推定した。

タイグエン省Hoa ThuongおよびDong Bamコミューンでは、基盤岩の比抵抗が、Hoa Thuongコミューンの北東部で低く、南西部で高いことが判明した(図4.1参照)。また、Dong Bamコミューンの南西部でも基盤の比抵抗値が低く、この地域では、NW-SE方向に基盤岩の高比抵抗ゾーンがあることが推定された。さらに、RIPの結果をみると、狭い範囲で基盤岩の比抵抗値が急変している部分が検出され、Dong BamでのNNE-SSW方向のVLFでは、基盤岩の比抵抗値の急変部分に明瞭なアノーマリーが認められた。水文地質踏査結果から、NW-SE方向の高比抵抗ゾーンは石灰岩、それ以外の低比抵抗ゾーンは砂岩および頁岩と推定され、その境界部は断層破碎帯になって

いる可能性が考えられた。そこで、石灰岩側の断層破碎帯を狙って試掘井2本を掘削したところ、いずれも破碎質の石灰岩（一部ケーブを含む）にあたり、日量 1,000 m³ を超える地下水を得ることができた。

こうした基盤岩の比抵抗値の急変は、ニンビン省Quang SonやDong Phong、タンホア省Vinh ThanhやThieu Hungで検出された。また、VLFによるアノーマリーは、タイグエン省のThinh DucとNam Tien、ニンビン省Dong Phong、Yen Thang、Quang Sonで発見された。

なお、ハティン省の対象コミュニティでは、全体に比抵抗値が低く、地下深部（地表から 60～100 m以深）においても比抵抗値が 20～60 Ω-mと低かった。試掘前には、地下地質が細粒堆積物で構成されているか、地下水の電気伝導度が高いことが予想された。試掘結果と対比すると、新第三紀の基盤は主に固結度の小さい粘土岩からなること、また、地下水の電気伝導度が高いことにより、比抵抗値が低いことが判明した。



The Result of Geophysical Survey

第5章 試掘井掘削

5.1 試掘井位置

調査対象 20 コミューンのうち、ハノイを除く 18 コミューンについて水文地質踏査や物理探査を実施し、13 コミューンで試掘位置を選定した。試掘作業は、フェーズⅠに 10 本、フェーズⅡに 3 本掘削したが、フェーズⅠの試掘調査中に、タンホア省とハティン省で水文地質状況を確認するために 1 本ずつ追加して試掘調査を行う必要が生じ、結果としてフェーズⅠに 12 本、フェーズⅡに 3 本の、合計 15 本の試掘井を掘削した。試掘井戸の位置を図 5.1 に、リストを表 5.1 に示す。

5.2 帯水層

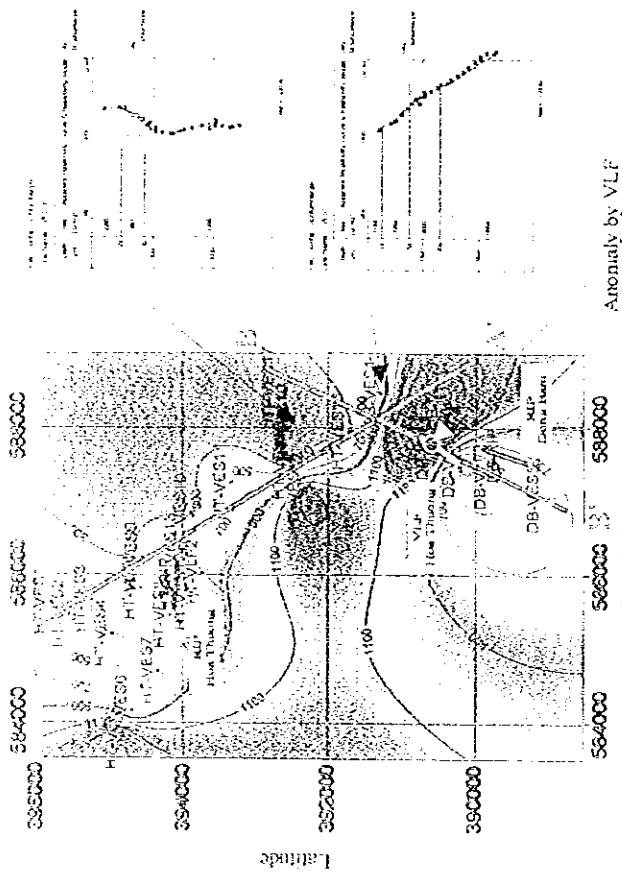
試掘作業は、スライムサンプルや掘削状況を細かくチェックしながら注意深く進めた。地質状況を判断して、掘り止め深度を決定した。掘削後、ただちに孔内物理検層を実施して、その結果と掘削地点周辺の水文地質状況を総合的に検討して帯水層深度を判断し、スクリーン深度およびケーシングプログラムを決定した。スクリーンは、井戸により 1 層から 3 層にセットした。

試掘地点の地質および帯水層の地質状況も、表 5.1 に示した。基盤岩のうち、石灰岩については、破碎質あるいはケーブの発達した箇所スクリーンを設置した。砂岩や頁岩については、破碎質や亀裂の多い部分にスクリーンを設置したが、地下水の産出量が少ないと思われる井戸については、第四紀の砂礫層中にもスクリーンを設置した。ハティン省では、第四紀層の下位に分布する新第三紀粘土岩層がほとんど地下水を産出しないと判断されたため、粘土岩層中に挟まれる砂岩層と第四紀層中の砂礫層にスクリーンを設置した。

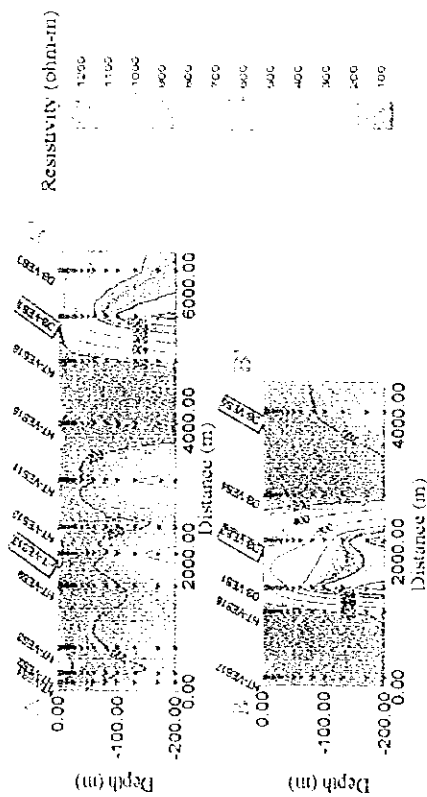
ケーシングやスクリーンパイプを挿入後、井戸仕上げをエアリフトポンプおよび水中モーターポンプを使用して行った。破碎質の石灰岩帯水層では、亀裂に風化粘土が挟在することがあり、そこでは井戸仕上げにかなり時間を要した。また、タイグエン省 Dong Bam では、井戸仕上げ開始後 2 日目に、井戸付近の地面が陥没したため、現場作業を中止して現場の復旧作業を行った。

5.3 地下水揚水量

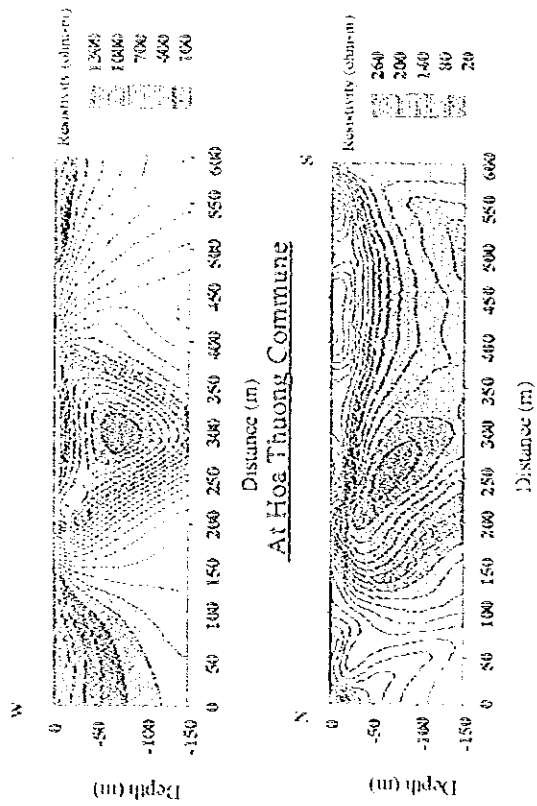
井戸仕上げ後、タイグエン省 Dong Bam を除く 14 井で揚水試験を行った。揚水試験には水中モーターポンプを使用し、原則として 4 段階（1 段階＝4 時間）の段階揚水試



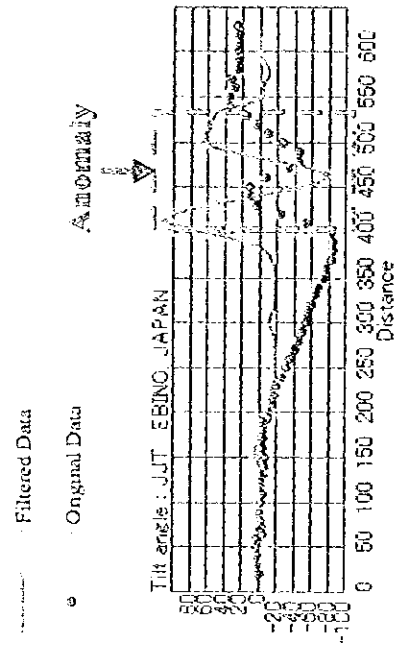
Resistivity Distribution of The Deepest Layer



VES Result



RIP Result



VLF Result

The Result of Geophysical Survey

第5章 試掘井掘削

5.1 試掘井位置

調査対象 20 ヶミューンの中で、ハティンを除く 18 ヶミューンで水文地質調査所
物理探査を実施し、13 ヶミューンで試掘位置を選定した。試掘作業は、タイ・ラオ国境
10 本、ラオス国境に 3 本掘削したが、タイ・ラオ国境試掘調査中、タイ・ラオ省（ハチ
ン）省で水文地質状況を確認するため 1 本井を追加して試掘調査を行う必要が生
じ、結果としてタイ・ラオ国境に 12 本、ラオス国境に 3 本、合計 15 本、試掘井を掘削
した。試掘井の位置を図 5.1 に、リストを表 5.1 に示す。

5.2 帯水層

試掘作業は、スクリュードリルと掘削状況を細かくモニタリングしながら注意深く進めた。
地質状況を把握して、掘り止め深度を決定した。掘削後、たまために孔内物理検層を実
施して、その結果と掘削地点周辺の水文地質状況を総合的に検討して帯水層深度を判
断し、スクリーニング深度およびケーシングサイズを決定した。スクリーニングは、井戸
により 1 層から 3 層にセットした。

試掘地点の地質および帯水層の地質状況を、表 5.1 に示した。基盤岩、すなわち、石灰岩
については、破碎質あるいはケーシングの発達した箇所はスクリーニングを設置した。砂岩や
頁岩については、破碎質や亀裂の多い部分にスクリーニングを設置したが、地下水の産出
量が少ないと思われる井戸については、第四紀の砂礫層中にのみスクリーニングを設置した。
ハティン省では、第四紀層の下位に分布する新第三紀粘土岩層がほとんど地下水を
出しないと判断されたため、粘土岩層中に挟まれる砂岩層を第四紀層中の砂礫層にス
クリーニングを設置した。

ケーシングやスクリーニングパイプを挿入後、井戸仕上りをエアリフトホースおよび水中
モーターホースを使用して行った。破碎質の石灰岩帯水層では、亀裂に泥化粘土が収
在することがあり、そこでは井戸仕上りにかかる時間を要した。また、タイ・ラオ国境省
Dong Bam では、井戸仕上り開始後 2 日目に、井戸付近の地面が陥没したため、現場
作業を中止して現場の復旧作業を行った。

5.3 地下水揚水量

井戸仕上り後、タイ・ラオ国境省 Dong Bam を除く 14 井で揚水試験を行った。揚水試験に
は水中モーターホースを使用し、原則として 4 段階（1 段階：1 時間）の段階揚水試

験を実施した。段階揚水試験結果を解析し、帯水層ロスと井戸ロスを産出するとともに、揚水量と水位降下量との関係を検討した。表 5.2 に段階揚水試験結果を示す。

帯水層ロス（B）は、透水性の低い砂岩や亀裂に粘土の充填した石灰岩帯水層で大きくなる傾向が認められた。井戸ロス（C）の値の範囲は大きい、井戸ロスが $1.0\text{E}-7 \sim 1.0\text{E}-8 \text{ day}^2/\text{m}^5$ と小さい井戸は、タイグエン省Hoa Thuong、ニンビン省Dong Phong、タンホア省Thieu HungおよびDinh Tuongである。一方、ニンビン省Quang SonおよびYen Thangの試験井では、井戸ロスが $1.0\text{E}-4 \sim 2.7\text{E}-4 \text{ day}^2/\text{m}^5$ と大きく、井戸構造やスクリーンの目詰まり等が原因と考えられた。段階揚水試験により得られた平均井戸効率が 90%以上の井戸はタイグエン省Thinh Ducとニンビン省Dong Phong、60%以下のものがタイグエン省Hoa Thuong、タンホア省Vinh Thanh、ハティン省Duc YenおよびTrung Leであった。

段階試験による最大揚水量が $1,000\text{m}^3/\text{day}$ 以上の井戸は、タイグエン省Hoa Thuong、ニンビン省Dong Phong、タンホア省Thieu Hung、Dinh Tuong、Vinh Thanh、Thieu Do、逆に $200\text{m}^3/\text{day}$ 以下と小さい井戸はタイグエン省Nam TienとThinh Ducである。

5.4 帯水層係数

段階試験による水位降下が回復後、連続揚水試験および回復試験を実施した。試験時間は、連続試験が 48 時間、回復試験が 12 時間である。連続試験結果はクーパーヤコブ法、タイス法（一部ハンタッシュ法）で解析し、回復試験結果は回復法で解析した。連続試験および回復試験の解析結果を表 5.3 に示す。

1) 透水量係数（T）

帯水層の産出能力を示す透水量係数は上記の 3 種類の方法で産出したが、いずれの解析方法でもほぼ同じ値が得られた。図 5.2 には、省別に整理した透水量係数の分布範囲を示す。省別に透水量係数の対数平均を求めると、タンホア省が最も大きく $201.5 \text{ m}^2/\text{day}$ 、次いでニンビン省が $69.7 \text{ m}^2/\text{day}$ であり、タイグエン省は $44.8 \text{ m}^2/\text{day}$ 、ハティン省は $11.1 \text{ m}^2/\text{day}$ である。

2) 透水係数（k）

帯水層の透水係数は、透水量係数をスクリーンの長さで除することにより求められる。省別の透水係数の分布範囲を図 5.3 に示す。省別の透水係数の対数平均値を求めると、タンホア省が最も大きく 7.68 m/day 、次いでタイグエン省が 2.23 m/day 、ニンビン省が 2.01 m/day 、ハティン省が最も小さく 0.49 m/day である。

3) 貯留係数（S）

貯留係数はクーパー・ヤコブ法とタイス法により求めた。得られた貯留係数は、透水量係数が大きいときに、一般的な被圧帯水層の貯留係数（ $1\text{E-}3 \sim 1\text{E-}4$ ）かなり小さな値となる。しかしながら、貯留係数が大きく変化しても、それが透水量係数の変化にあたえる影響は小さいことが知られている。

4) 透水量係数 (T) と比湧出量 (S_c) との関係

比湧出量は、揚水量を水位降下量で除することにより求められる。透水量係数と比湧出量との間には、おおまかに $T = 1.22 S_c$ という関係があることが知られている (Logan, 1964) が、それが井戸ロスや漏水、水文地質条件等により異なることも報告されている (Shibasaki, 1996)。

図 5.4 には、省別の $T - S_c$ 関係図を示す。タンホア省の比湧出量は $9.6 \sim 244.4 \text{ m}^2/\text{day}$ 、ニンビン省のそれは $4.2 \sim 197.0 \text{ m}^2/\text{day}$ であるが、いずれの $T - S_c$ プロットも $T = 1.22 S_c$ ラインの上側に位置する。タイグエン省の比湧出量は $10.1 \sim 259.5 \text{ m}^2/\text{day}$ であるが、その分布範囲は上記ラインに斜交しており、 S_c が大きいほどラインの下側にプロットされるようになる。ハティン省 Trung Le の JICA-13 井戸は、 T 、 S_c とも最も小さい。

図 5.5 には、帯水層の地質別に $T - S_c$ 関係を示す。それによると、帯水層の地質別に $T - S_c$ プロットの範囲が異なることがわかる。第四紀層が帯水層となっている井戸では、透水量係数が $30 \sim 1,000 \text{ m}^2/\text{day}$ と高い。石灰岩帯水層の場合、 T は $30 \sim 200 \text{ m}^2/\text{day}$ 、 S_c は $5 \sim 300 \text{ m}^2/\text{day}$ である。砂岩や粘土岩帯水層の場合、 T は $20 \sim 200 \text{ m}^2/\text{day}$ 、 S_c は $5 \sim 50 \text{ m}^2/\text{day}$ である。

表5.1 List of Test Wells Drilled by the Study

Test Well No.	Commune District Province	UTM-E (m)	UTM-N (m)	Drilling Depth (m)	Well Depth (m)	Screen Depth(s) (m)	Screen Length (m)	Geology	Bedrock Depth (m)	Aquifer Geology
JICA-1	Đồng Bầm Đồng Hỷ Thái Nguyên	587420	2389687	100	76	40 to 72	32.0	Quaternary/ Limestone	16.6	Limestone
JICA-2	Hoa Thượng Đồng Hỷ Thái Nguyên	586578	2393246	150	92	24 to 32 56 to 64 76 to 88	28.0	Quaternary/ Limestone/ Sandstone	12.8	Limestone
JICA-3	Nam Tiến Phổ Yên Thái Nguyên	590257	2366017	100	21.5	5.5 to 17.5	12.0	Quaternary/ Sandstone/ Siltstone	15.4	Quaternary gravel & Sandstone
JICA-4	Thịnh Đức Thị trấn Thái Nguyên Thái Nguyên	594201	2380475	100	88	8 to 16 52 to 60 68 to 84	32.0	Quaternary/ Claystone/ Sandstone	10.5	Quaternary gravel & Sandstone
JICA-5	Quang Sơn Thị trấn Tam Điệp Ninh Bình	592553	2226660	150	120	72 to 116	44.0	Quaternary/ Limestone	9.4	Limestone
JICA-6	Yên Thắng Yên Mô Ninh Bình	600941	2226665	150	136	76 to 84 92 to 104 124 to 132	28.0	Quaternary/ Limestone	44.0	Limestone
JICA-7	Đồng Phong Nho Quan Ninh Bình	577617	2246929	150	130	92 to 126	34.0	Top Soil/ Limestone	2.0	Limestone
JICA-8	Vạn Thắng Nông Cống Thanh Hoá	565030	2170060	150	150	99 to 119	20.0	Quaternary/ Sandstone with Siltstone	6.0	Sandstone
JICA-9	Thiếu Hùng Thiếu Hoà Thanh Hoá	571655	2199306	80	52	32 to 48	16.0	Quaternary/ Sandstone	48.0	Quaternary gravel
JICA-10	Định Tường Yên Định Thanh Hoá	568421	2207260	91.2	91.2	23.2 to 39.2 47.2 to 63.2	32.0	Quaternary/ Sandstone and Claystone	34.8	Quaternary gravel & Sandstone
JICA-11	Vinh Thành Vinh Lộc Thanh Hoá	564793	2216162	148	80	32 to 48 60 to 76	32.0	Quaternary/ Limestone	23.0	Limestone
JICA-12	Đức Yên Đức Thọ Hà Tĩnh	563705	2048152	106	104	20 to 28 84 to 100	24.0	Quaternary/ Neogene clay	28.0 *	Quaternary gravel & Neogene clay
JICA-13	Trung Lễ Đức Thọ Hà Tĩnh	566783	2046329	100	100	58 to 82	24.0	Quaternary/ Neogene clay	68.4 *	Quaternary gravel & Neogene clay
JICA-14	Thiếu Đô Thiếu Hoà Thanh Hoá	572185	2197515	70	68	18 to 50 58 to 64	38.0	Quaternary/ Limestone	33.5	Quaternary gravel & Limestone
JICA-15	Trung Lễ Đức Thọ Hà Tĩnh	567186	2046557	70	40	16 to 36	20.0	Quaternary/ Neogene clay	35.4	Quaternary gravel

* Depth to
Neogene clay

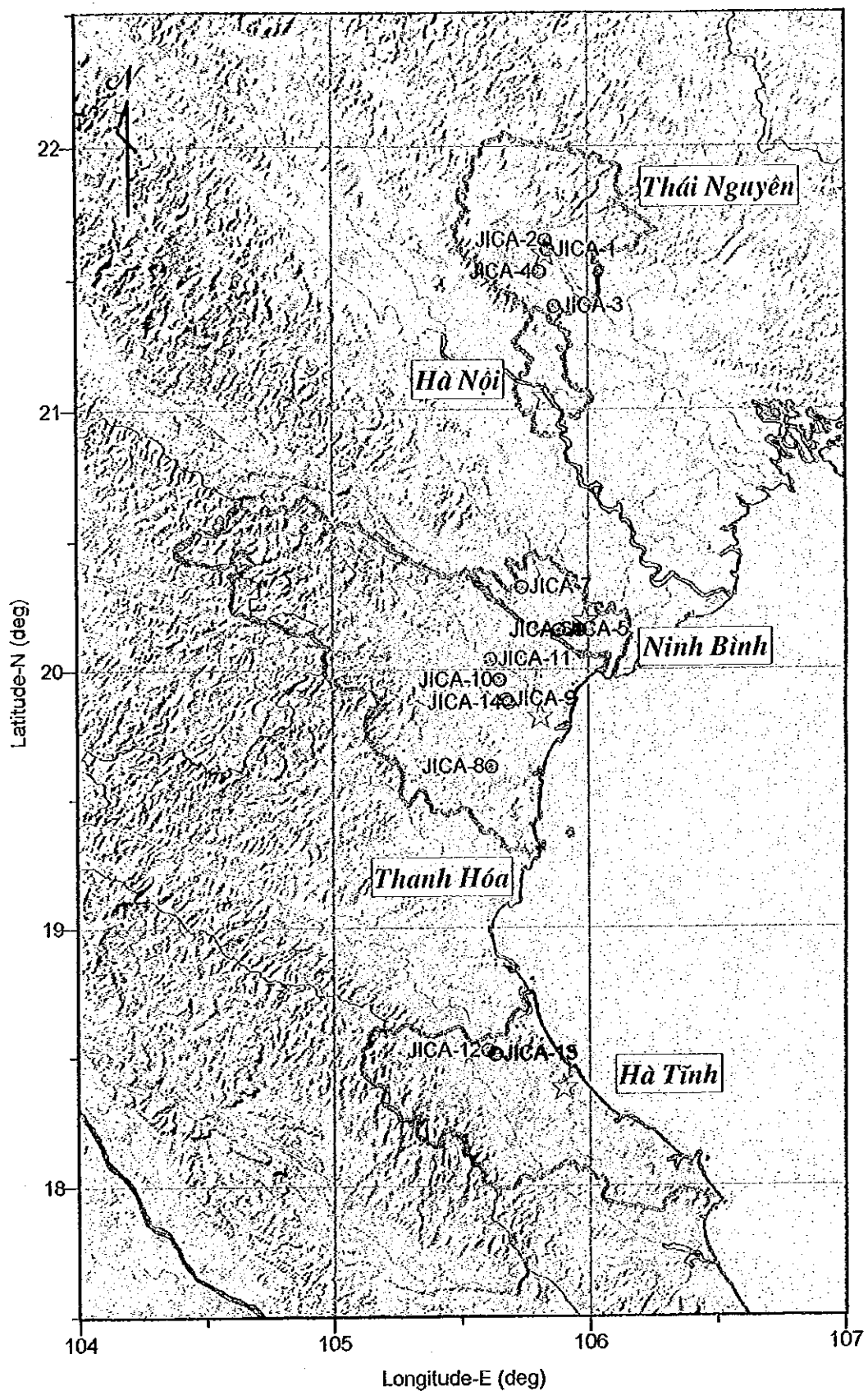
表5.2 Results of Step-Drawdown Test at JICA Test Wells

Test Well No.	Commune District Province	UTM-E (m)	UTM-N (m)	Drilling Depth (m)	Well Depth (m)	Screen Depth (m)	Step-Drawdown Test										Average Well Efficiency (%)
							Date(dd/mm/yy) Static Water Level (m below G.L.)	Q1(m ³ /day) a1(m) So1(m ³ /day)	Q2(m ³ /day) a2(m) So2(m ³ /day)	Q3(m ³ /day) a3(m) So3(m ³ /day)	Q4(m ³ /day) a4(m) So4(m ³ /day)	Aquifer Loss Coefficient B (d/m ²)	Well Loss Coefficient C (d/m ²)				
JICA-1	Đồng Bẩm Đồng Hỷ Thái Nguyên	587420	2389687	100	76	40 to 72	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
JICA-2	Hoà Thượng Đồng Hỷ Thái Nguyên	586578	2393846	150	92	24 to 32 56 to 64 76 to 88	03/06/1999 3.10	360.00 0.55 854.55	720.00 1.80 400.00	1090.00 2.21 488.69	1440.00 3.76 382.98	1.14E-03	9.62E-07	54.90			
JICA-3	Nam Tiến Phước Yên Thái Nguyên	590287	2386017	100	21.5	5.5 to 17.5	15/04/1999 1.50	69.12 1.75 39.50	138.24 3.66 37.77	-	-	2.42E-02	1.67E-05	93.49			
JICA-4	Thịnh Đức Thị trấn Thái Nguyên Thái Nguyên	584201	2380475	100	88	8 to 16 52 to 60 68 to 84	27/05/1999 2.00	43.20 4.37 9.99	94.18 9.50 9.81	146.88 14.72 9.98	188.35 18.80 10.02	1.02E-01	-9.59E-06	101.48			
JICA-5	Quang Sơn Thị trấn Tam Điệp Ninh Bình	592553	2228660	150	120	72 to 116	05/03/1999 10.80	86.40 8.00 10.80	172.80 15.20 11.37	250.20 21.90 11.84	345.60 43.00 8.04	7.44E-02	1.00E-04	78.20			
JICA-6	Yên Thắng Yên Mô Ninh Bình	600941	2228665	150	136	76 to 84 92 to 104 124 to 132	17/03/1999 1.23	57.60 10.87 5.30	115.20 22.89 5.03	172.80 35.77 4.83	230.40 54.97 4.19	1.89E-01	2.74E-04	81.77			
JICA-7	Đồng Phong Như Quan Ninh Bình	577617	2240829	150	130	92 to 126	23/03/1999 6.80	432.00 2.07 208.70	864.00 4.56 189.47	1296.00 6.48 200.00	1728.00 8.54 202.34	4.98E-03	4.01E-08	99.26			
JICA-8	Vạn Thắng Nông Cống Thanh Hoá	565030	2170050	150	150	99 to 119	05/02/1999 5.70	158.40 9.83 16.11	271.54 20.98 12.94	475.20 41.60 11.42	633.60 56.53 11.21	5.80E-02	5.48E-05	74.95			
JICA-9	Thị trấn Hưng Thị trấn Hoà Thanh Hoá	571655	2189306	90	52	32 to 48	10/02/1999 4.00	352.80 2.40 147.00	705.60 4.55 155.08	1058.40 7.12 148.05	1411.20 10.01 140.98	5.79E-03	9.14E-07	85.65			
JICA-10	Định Tường Yên Định Thanh Hoá	568421	2207260	91.2	91.2	23.2 to 39.2 47.2 to 63.2	10/04/1999 4.90	432.00 1.26 342.08	864.00 3.02 289.09	1296.00 4.92 263.41	1728.00 7.04 245.45	2.63E-03	8.73E-07	74.81			
JICA-11	Vĩnh Thành Vĩnh Lộc Thanh Hoá	564793	2216162	148	80	32 to 48 60 to 76	24/04/1999 7.55	362.00 1.20 194.82	724.40 4.90 149.88	1123.20 9.80 114.81	1512.00 14.27 105.96	3.85E-03	3.90E-06	54.39			
JICA-12	Đức Yên Đức Thọ Hà Tĩnh	563705	2048152	106	104	20 to 28 84 to 100	05/03/1999 2.90	108.00 1.36 79.41	216.00 3.24 50.87	324.00 6.11 53.03	432.00 9.27 46.60	9.36E-03	2.82E-05	57.50			
JICA-13	Trung Lễ Đức Thọ Hà Tĩnh	566783	2046320	100	100	58 to 82	08/04/1999 2.60	12.96 2.36 5.08	25.92 4.60 1.78	-	-	-	-	-	-	-	
JICA-14	Thị trấn Đô Thị trấn Hoà Thanh Hoá	572185	2197515	70	68	18 to 30 58 to 64	29/03/1999 2.85	475.20 2.08 228.46	950.40 4.21 225.75	1425.60 7.01 203.37	1900.80 13.07 139.05	3.00E-03	1.88E-06	59.75			
JICA-15	Trung Lễ Đức Thọ Hà Tĩnh	567186	2046557	70	40	16 to 36	01/04/1999 2.48	64.80 0.85 76.24	129.60 1.80 72.00	259.20 3.09 83.88	345.60 6.93 49.87	6.69E-03	6.51E-05	47.16			

表5.3 Results of Continuous Pumping Test and Recovery Test at JICA Test Wells

Test Well No.	Commune District Province	UTM-E (m)	UTM-N (m)	Drilling Depth (m)	Well Depth (m)	Screen Depth (m)	Screen Length (m)	Date (d-m-yy)	Static Water Level (m below G.L.)	Pumping Rate, Q (m ³ /day)	Final Drawdown, s (m)	Continuous Pumping Test				Recovery Test			
												T (m ² /day)	Specific Capacity, Sc (m ³ /day)	Drawdown, s (m)	Static Water Level, S (m)	T (m ³ /day)	Specific Capacity, Sc (m ³ /day)	Drawdown, s (m)	Recovery Test Method
JICA-1	Đông Bình Đông Mỹ Thái Nguyên	587420	2389087	100	76	40 to 72	32.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
JICA-2	Hoa Thượng Đông Mỹ Thái Nguyên	586578	2393646	150	92	24 to 32 66 to 64 76 to 88	28.0	04/06/1999	3.10	1440.00	5.55	170.00	255.46	5.55	3.01E-01	129.34	4.62E-00	1.37E-02	145.86
JICA-3	Nam Tiến Phổ Yên Thái Nguyên	590257	2366017	100	21.5	5.5 to 17.5	12.0	16/04/1999	1.50	138.24	4.75	29.10	29.10	4.75	7.09E-01	23.8	1.90E-00	8.48E-01	28.12
JICA-4	Thị trấn Thái Nguyên Thái Nguyên	584201	2380475	100	80	8 to 16 32 to 80 68 to 84	32.0	28/05/1999	2.00	188.35	18.58	10.14	10.14	18.58	3.71E-15	36.4	1.14E-00	1.93E-19	11.4
JICA-5	Quảng Sơn Thị trấn Tam Điệp Ninh Bình	592553	2228660	150	120	72 to 116	44.0	07/03/1999	10.80	345.60	42.60	8.11	8.11	42.60	2.19E-01	35.09	8.11E-01	7.79E-22	102.6
JICA-6	Yên Thành Yên Mô Ninh Bình	600941	2228665	150	136	76 to 84 92 to 104 124 to 132	28.0	18/03/1999	1.23	230.40	54.70	4.21	4.21	54.70	5.42E-18	17.59	6.28E-01	1.01E-20	54.85
JICA-7	Đông Phong Như Quan Ninh Bình	577617	2248929	150	130	92 to 126	34.0	24/05/1999	0.00	1728.00	8.77	197.04	197.04	8.77	8.82E-19	1096.31	3.22E-01	2.51E-25	627.8
JICA-8	Yên Thành Nông Công Thanh Hóa	565030	2170030	150	150	99 to 119	20.0	06/02/1999	5.00	613.16	63.58	9.64	9.64	63.58	1.69E-24	151.03	7.60E-00	2.78E-81	134.03
JICA-9	Thị trấn Hưng Thị trấn Hưng Thanh Hóa	571655	2199306	80	52	32 to 48	16.0	12/02/1999	4.00	1411.20	10.02	140.84	140.84	10.02	1.37E-03	672.37	4.20E-01	1.93E-22	895.18
JICA-10	Đình Tường Yên Định Thanh Hóa	508421	2207200	91.2	91.2	23.2 to 39.2 47.2 to 63.2	32.0	11/04/1999	4.50	1728.00	7.07	244.41	244.41	7.07	1.34E-10	799.31	2.37E-01	3.40E-12	601.7
JICA-11	Vĩnh Lộc Vĩnh Thành Thanh Hóa	584793	2216102	148	80	32 to 48 60 to 76	32.0	27/04/1999	7.55	1912.00	16.29	92.82	92.82	16.29	2.52E-01	90.56	2.52E-00	4.78E-01	77.76
JICA-12	Đức Yên Đức Thọ Hà Tĩnh	563705	2048132	106	104	29 to 28 84 to 100	24.0	06/03/1999	3.20	432.00	14.43	29.94	29.94	14.43	5.41E-02	54.18	2.20E-00	3.53E-03	61.79
JICA-13	Trung Lễ Đức Thọ Hà Tĩnh	586793	2048329	100	100	56 to 32	24.0	09/04/1999	2.80	25.02	22.76	1.14	1.14	22.76	1.59E-00	0.461	1.97E-02	1.59E-00	0.356
JICA-14	Thị trấn Thị trấn Thanh Hóa	577185	2197615	70	68	18 to 50 50 to 64	38.0	30/03/1999	2.05	1900.00	14.19	133.06	133.06	14.19	1.98E-02	140.07	3.89E-00	2.90E-02	144.07
JICA-15	Trung Lễ Đức Thọ Hà Tĩnh	587186	2046367	70	40	16 to 36	20.0	02/04/1999	2.40	299.20	9.75	38.40	38.40	9.75	2.67E-02	43.79	2.19E-00	2.40E-02	100.49

c. Hydraulic Resistance



● JICA Test Well

5.1

Location of JICA Test Wells

THE STUDY ON GROUNDWATER DEVELOPMENT IN
THE RURAL PROVINCES OF NORTHERN PART IN
THE SOCIALIST REPUBLIC OF VIETNAM

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)

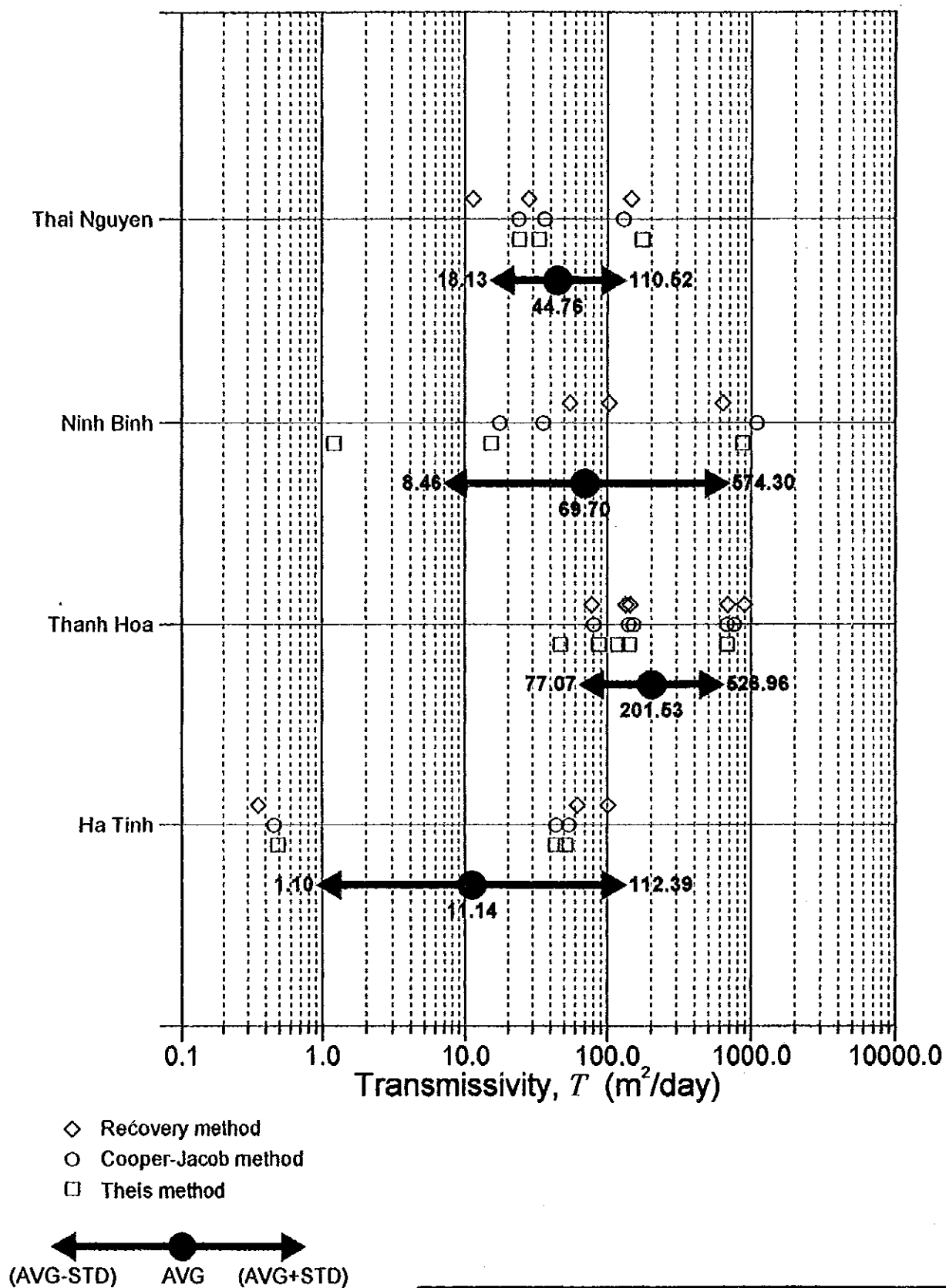


図5.2

STATISTICAL ANALYSIS OF
T DISTRIBUTION BY PROVINCE

THE STUDY ON GROUNDWATER DEVELOPMENT IN
THE RURAL PROVINCES OF NORTHERN PART IN
THE SOCIALIST REPUBLIC OF VIETNAM

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)

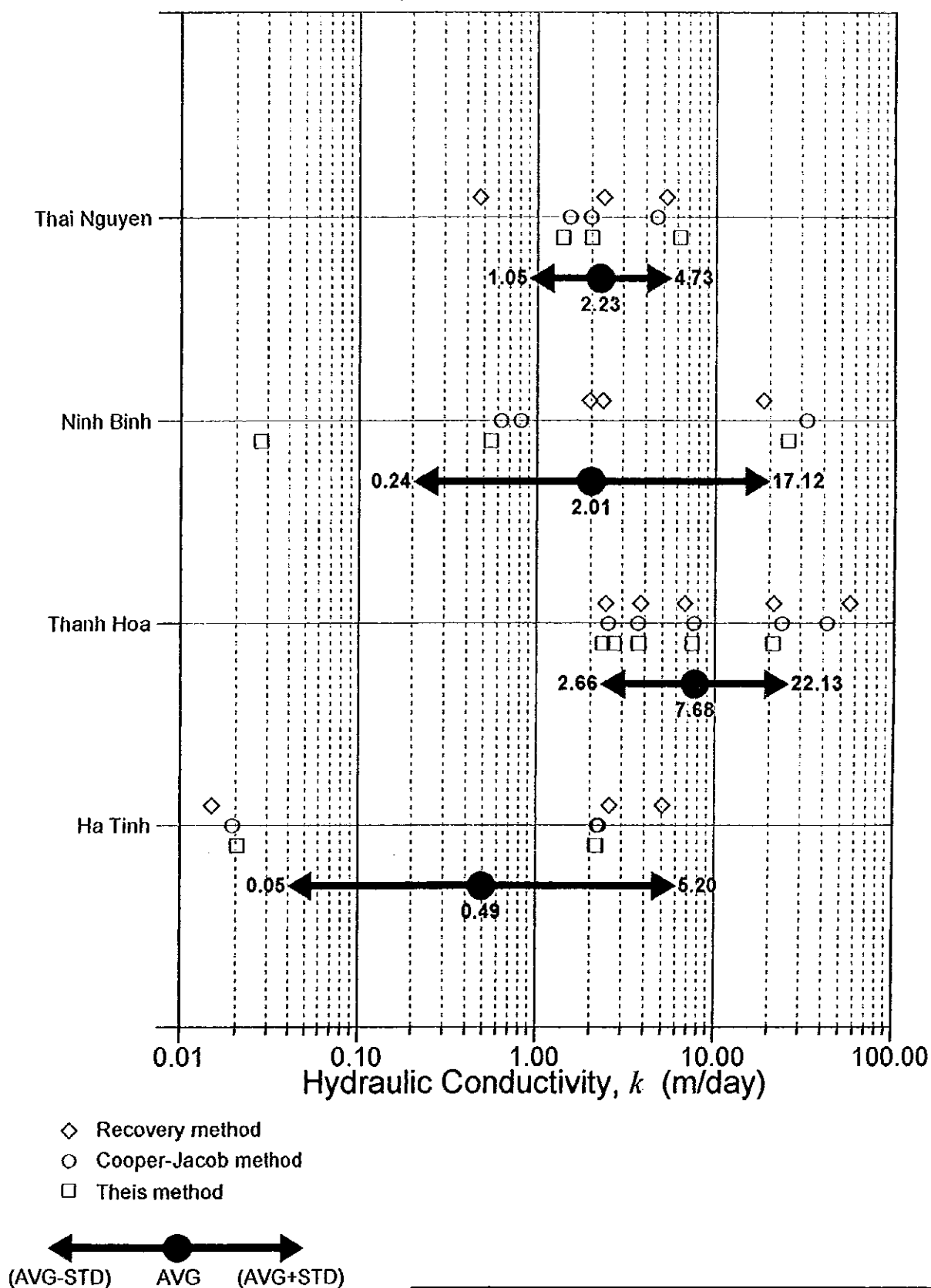
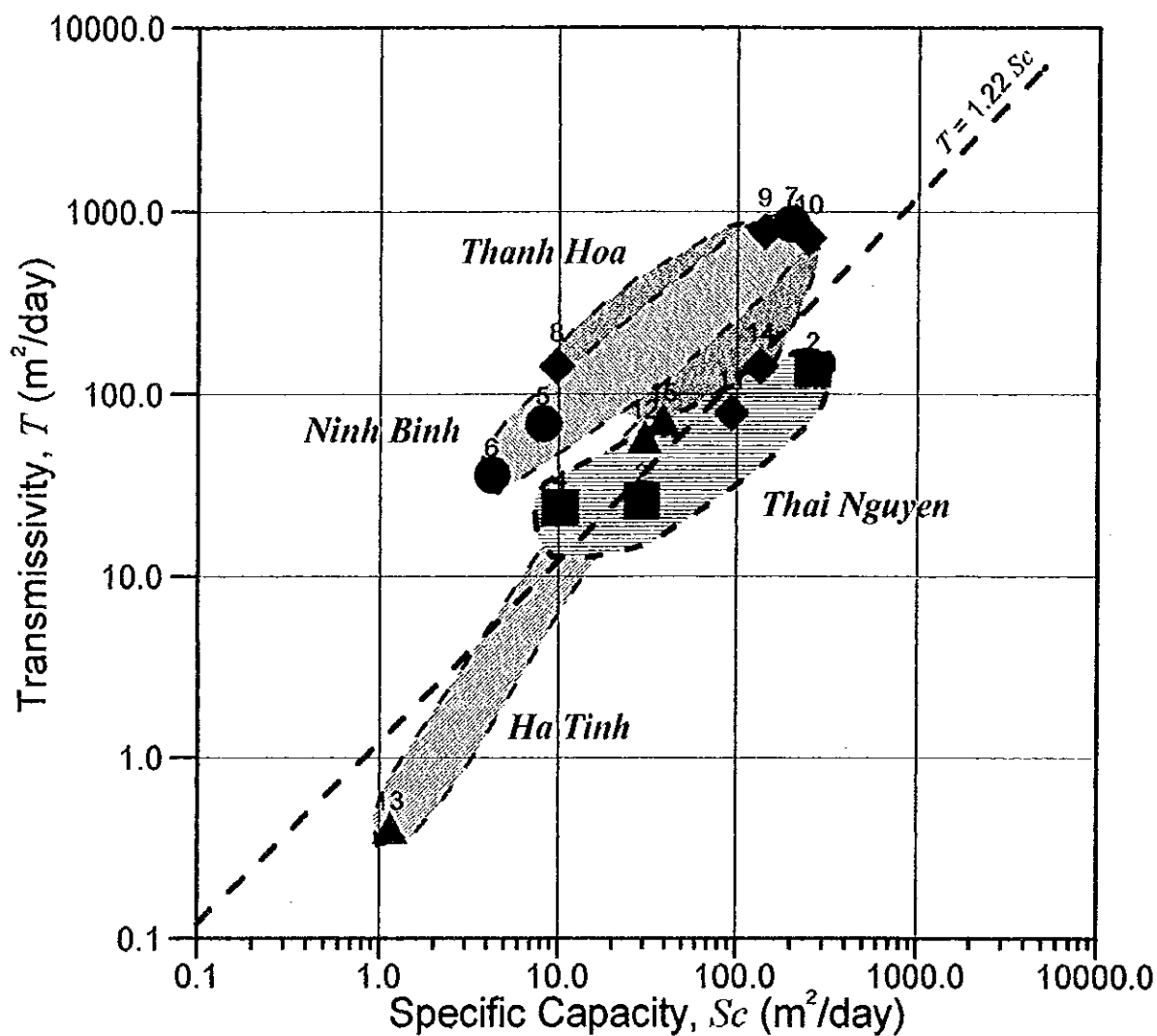


Fig. 5.3

**STATISTICAL ANALYSIS OF
 k DISTRIBUTION BY PROVINCE**

THE STUDY ON GROUNDWATER DEVELOPMENT IN
THE RURAL PROVINCES OF NORTHERN PART IN
THE SOCIALIST REPUBLIC OF VIETNAM

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)



Legend of Test Wells

- Thai Nguyen
- Ninh Binh
- ◆ Thanh Hoa
- ▲ Ha Tinh

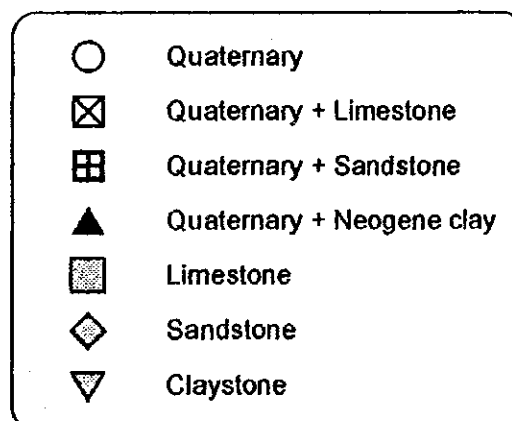
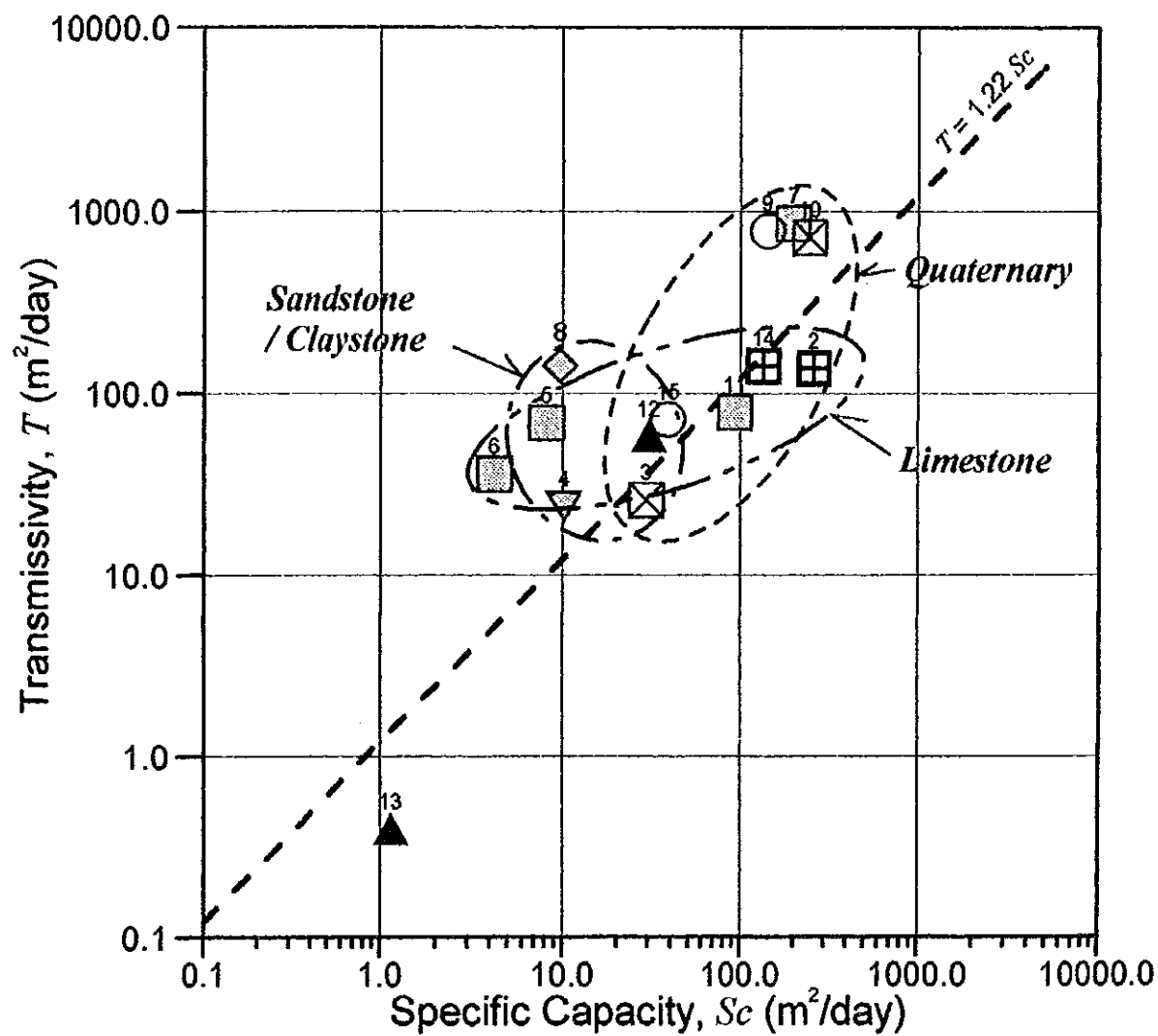
(with JICA Test Well No.)

図5.4

RELATIONSHIP BETWEEN T AND Sc FROM PUMPING TEST OF TEST WELLS

THE STUDY ON GROUNDWATER DEVELOPMENT IN
THE RURAL PROVINCES OF NORTHERN PART IN
THE SOCIALIST REPUBLIC OF VIETNAM

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)



(No.: JICA Test Well No.)

図5.5

**RELATIONSHIP BETWEEN T AND Sc
BY AQUIFER GEOLOGY**

THE STUDY ON GROUNDWATER DEVELOPMENT IN
THE RURAL PROVINCES OF NORTHERN PART IN
THE SOCIALIST REPUBLIC OF VIETNAM

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)

第6章 地下水資源の評価

6.1 水収支解析

1) 降水量

過去約 30 年の降水量データをみると、年平均降水量はハノイが最も少なく 1,683.8 mm、次いでタンホアが 1,728.8 mm、ニンビンが 1,860.6 mm、タイグエンが 2,049.7 mm、ハティンが最も多く 2,719.9 mm である。雨季は一般に 5 月から 10 月までであるが、過去約 30 年の月別平均雨量をみると、月別降水量のピークが北部で早く、南部で遅い傾向が認められる。月別降水量のピークは、タイグエンで 7 月 (402.2 mm)、ハノイで 8 月 (293.7 mm)、ニンビンとタンホアで 9 月 (381.8 mm および 387.1 mm)、ハティンで 10 月 (736.9 mm) である。

上記 5 地点の年間降水量をハーゼン法により確率用紙にプロットし、渇水年の確率年間降水量を求めた。それによると、10 年確率渇水年の降水量は、タンホアが最も少なく 1,180 mm/年、次いでハノイが 1,280 mm/年、ニンビンが 1,330 mm/年、タイグエンが 1,660 mm/年、ハティンが最も多く 1,905 mm/年である。また、50 年確率渇水年の降水量は、タンホアが最も少なく 1,040 mm/年、次いでニンビンが 1,100 mm/年、ハノイが 1,230 mm/年、タイグエンが 1,450 mm/年、ハティンが最も多く 1,700 mm/年である。したがって、渇水時には、ハノイよりもタンホアやニンビンの方が、降水量が少なくなる傾向がある。これに伴い、渇水時の年間地下水かん養量も、タンホアやニンビンで少ないと予想される。

なお、ハティンでは、平均年間降水量の約 60% が 9～11 月の 3 ヶ月間に降り、雨季前半の降水量は他地点よりも少ない。この 3 ヶ月間の降水量は南シナ海からの台風の来襲に左右され、最大降水量は 2,611.8 mm であるのに対し、最小降水量は 640.8 mm である。とくに 10 月の降水量は年により大きく変動し、最小降水量が 142.1 mm、最大降水量が 2,047.8 mm である。

2) 蒸発量

蒸発量は、上記 5 地点とも、2～3 月に小さく、5～7 月に高い。ハティンを除く 4 地点では、月別平均蒸発量のピークが 2 時期 (5～7 月と 10 月) 認められる。月別平均蒸発量の変動幅は、タイグエンとハノイで 60～100 mm/月、ニンビンとタンホアが 40～105 mm/月、ハティンが 25～135 mm/月となっており、南部ほど変動幅が大きくなる。年平均蒸発量はハノイが最も大きく 976.5 mm、次いでタイグエンが 956.9 mm、ニンビンが 851.6 mm、タンホアが 816.0 mm、ハティンが最も少なく 800.9 mm である。

3) 地表流出量

地表流出量は、一般に地形や植生、土壌、降水のパターン等により変化する。調査対象地区では地表流出量に関する詳しいデータがないが、「Viet Nam National Atlas (1996)」によれば、平均的な年間地表流出量は、タイグエン省で 400～600 mm、ハノイで 400 mm 程度、ニンビン省やタンホア省で 300 mm 程度、ハティン省で 400～800 mm と見積もられている。

4) 地下水かん養量

ある地域に降った降水量のうち、実蒸発や蒸散、地表流出等で失われる水量以外が、地表面から地下に浸透し、一部土壌水分として保持されるものの、地下水面に達して地下水かん養量となると考えられる。地下水かん養量は、一般に水収支式の各項目を実測あるいは推定することにより推定する。日降水量や日蒸発量の実測値があれば、地表流出の発生を推定したタンクモデル等により水収支を計算し、地下水涵養量を推定することも可能である。その場合、モデルを検証するために実測地下水位記録が必要となる。

調査対象地区では、試掘井で地下水位を自記水位計によりモニタリングを開始したが、まだ数ヶ月分のデータしか得られていない。また、同時期の降水量や蒸発量データはまだ公表されていない。したがって、現時点で地下水かん養量を具体的に検討することは困難である。

前述の「Viet Nam National Atlas (1996)」によれば、調査対象地区付近の地下水かん養量は、平均して年間 600 mm 程度としている。

なお、河川沿いの地域では、河川水位が周辺の地下水よりも高い場合、河川から地下水へのかん養が発生する。これを算出するためには、河川水位と地下水位との水位差や、河床堆積物や地層の透水係数等のデータが必要であるが、調査対象地域ではこうしたデータが得られていない。

6.2 最適揚水量

ハノイ地域を除く調査対象地区では、現時点では想定される飲料水供給のための地下水開発量は平均的な地下水かん養量に比べて小さく、水収支的観点からは必要水量を確保できるポテンシャルがあると判断される。しかし、実際には個々の井戸の帯水層能力や、許容量以上の水位低下や井戸干渉、地盤沈下、水質悪化等の地下水障害を発生させないための最適揚水量を検討する必要がある。

現時点では、ハノイ以外の調査対象地区については、これまでに大規模地下水開発が

行われていないため、各井戸が取水対象とする帯水層の能力や井戸構造により、持続的利用が可能な最適揚水量を検討する。この場合の「持続的利用が可能な揚水量」とは、ポンプにより持続的揚水を行っても、井戸内の水位が、ポンプ運転に必要なある一定の水位以下に低下しない揚水量、と定義することができる。

この最適揚水量および許容地下水位を、試験井の揚水試験結果から検討すると、表 6.1 のようになる。

表 6.1 試験井の最適揚水量と許容動水位

井戸名	コミューン名	最適揚水量 (m ³ /day)	許容動水位 (m below G.L.)
JICA-2	Hoa Thuong	1,000	10
JICA-3	Nam Tien	100	10
JICA-4	Thinh Duc	150	20
JICA-5	Quang Son	250	30
JICA-6	Yen Thang	120	30
JICA-7	Dong Phong	1,500	10
JICA-8	Van Thang	300	30
JICA-9	Thieu Hung	1,400	15
JICA-10	Dinh Tuong	1,700	15
JICA-11	Vinh Thanh	1,500	20
JICA-12	Duc Yen	250	10
JICA-13	Trung Le	10	10
JICA-14	Thieu Do	1,800	20
JICA-15	Trung Le	250	15