

国際協力事業団

タイ国バンコク首都圏
地盤沈下・地下水管理計画調査

概要報告書

平成 7 年 2 月

国際航業株式会社



調査計画書	1.1
THE STUDY ON MANAGEMENT OF GROUNDWATER AND LAND SUBSIDENCE IN THE BANGKOK METROPOLITAN AREA AND VICINITY	
JAPAN INTERNATIONAL CO-OPERATION AGENCY	EXPLORATION OF

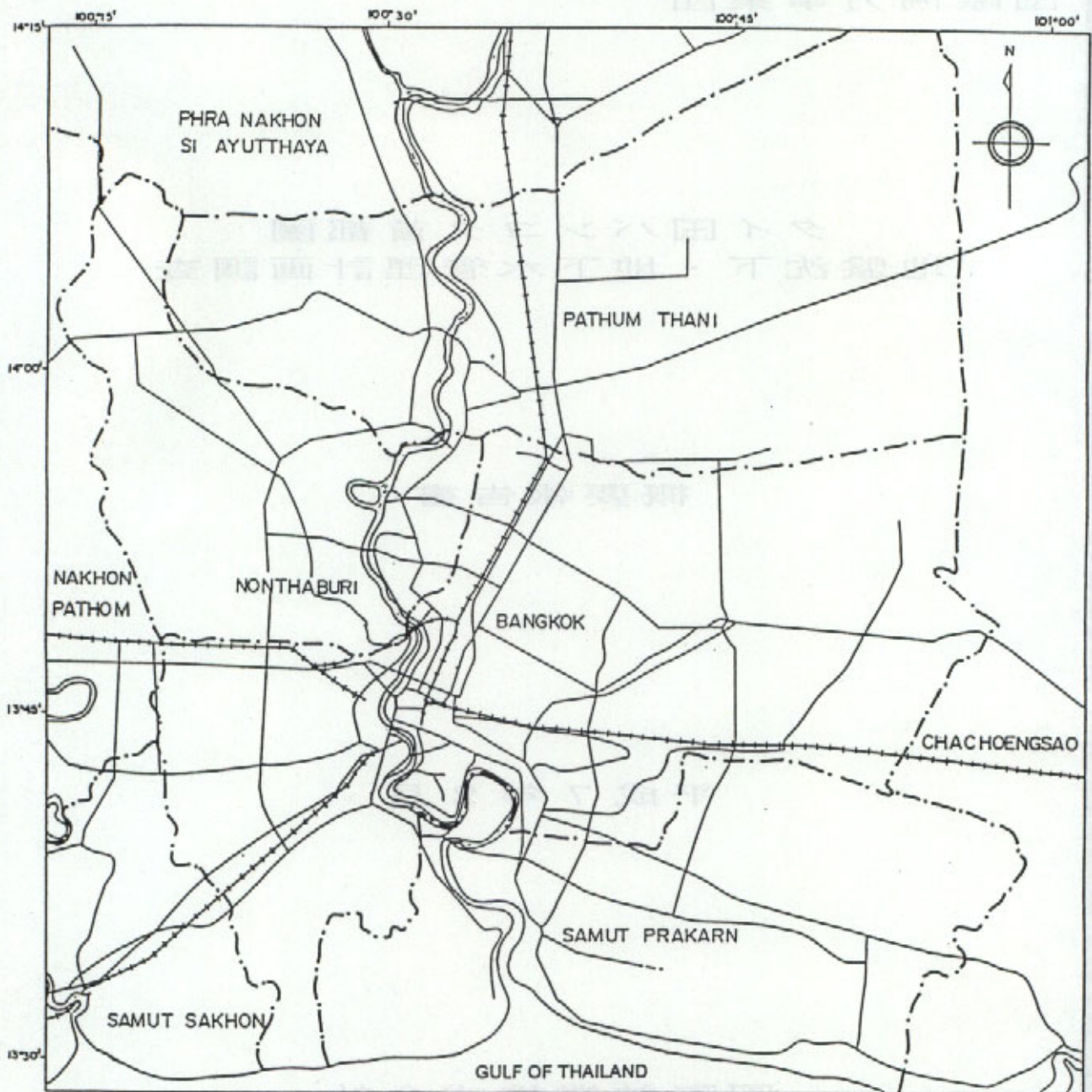


図 1.1

調査地域位置図

THE STUDY ON MANAGEMENT OF GROUNDWATER AND LAND SUBSIDENCE
IN THE BANGKOK METROPOLITAN AREA AND ITS VICINITY

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)

KOKUSAI KOGYO CO., LTD.

目次

1. 序論	1
1. 1 調査の背景	1
1. 2 調査の目的及び対象地域	2
1. 3 調査期間とフレーム	2
1. 4 カウンターパート機関	2
2. 調査地域の概要	4
2. 1 自然条件	4
2. 2 社会経済	5
2. 3 水供給	6
2. 4 バンコクの地盤沈下概要	7
3. 水文地質構造	21
3. 1 地形と地質	21
3. 2 コアボーリング	21
3. 3 基盤構造	23
3. 4 帯水層単元	23
3. 5 観測井の建設	23
4. 地下水の水質	33
4. 1 DMR 観測井の水質	33
4. 2 JICA 観測井の水質	34
4. 3 塩水化	34
5. 地下水の揚水量	46

5. 1	井戸台帳データベース	46
5. 2	1992年揚水量の集計	46
5. 3	経年揚水量	47
6.	地下水位と地盤沈下	
6. 1	DMR観測井	51
6. 2	JICA観測井	52
6. 3	DMR及びRTSD水準点	53
7.	地下水モデル	
7. 1	地下水モデルによるアプローチ	67
7. 2	モデル化の範囲とグリッド区分	67
7. 3	境界条件	68
7. 4	水文地質パラメーター	68
7. 5	モデルのキャリブレーション	68
8.	地盤沈下の予測	
	シナリオ 1	74
	シナリオ 2	74
	シナリオ 3	74
	シナリオ 4	75
	シナリオ 5 A	75
	シナリオ 5 B	75
	シナリオ 5 C	76
	シナリオ 6	76
	シナリオ 7	77

9. 許容揚水量の評価 106

揚水の査察

9.1 許容揚水量の概念 106

9.2 地盤沈下の影響 106

9.3 暫定許容揚水量 106

10. 地下水盆管理 108

10.1 当面の地下水管理行動 108

10.2 地盤沈下の総合対策 109

11. 結論と勧告 111

11.1 結論 111

11.2 勧告 113

1. 序論

1. 1 調査の背景

タイ王国の首都バンコクはチャオピヤ川下流の広大な沖積平野の末端に広がる東南アジア屈指の大都市である。その総人口はバンコク首都圏およびその周辺地域でおよそ820万人に達し、近年の急激な経済発展に伴って、道路・交通、上水、下水、ゴミなど都市問題がもはや放置できないほど深刻になってきている。

バンコク首都圏の水道は、首都圏水道公社(MWA)が運営・管理している。その水源の大半はチャオピヤ川下流サムレー地点で取水される河川水に依存しているが、急激な都市の膨張と工業化の進展に上水道施設の拡張が追いつかず、各地で上水道水源あるいは工業用水源として地下水利用が進められてきた。

しかし、無秩序な地下水開発と過剰揚水は、1970年代に入り首都圏各地で広域の地下水位低下と地盤沈下現象を発生させ、その累積沈下量は1978年から1987年の10年間で最大75cmにも達した。地盤沈下の被害は建物、道路、橋梁等の都市の諸施設に及ぶばかりでなく、沖積低平地特有の洪水災害を誘発させた。

こうした事態に対処するため、1980年代初頭に、工業省鉱物資源局(DMR)を中心とした政府機関とアジア工科大学(AIT)とが共同で調査を行い、その結果をもとに、1983年に「バンコク首都圏の地下水危機と地盤沈下対策」を閣議決定した。また、1985年には1977年制定の地下水法にもとずき、首都バンコクを含むチャオピヤ川下流6県を「地下水区」に指定し、私有井戸掘削の許可制と地下水使用料金の徴収を開始するとともに、地下水位と地盤沈下のモニタリングに力を注いできた。また一方で、MWAは所有する深井戸を順次廃止して表流水への水源転換を進めてきた。

しかしながら、こうした努力にもかかわらず、地下水位の低下と地盤沈下は首都バンコクの中心部では鈍化したものの、バンコク郊外の東部、西部及び北部の幹線道路沿いに広がる工業地帯を中心に、さらに一層激しさを増してきている。また、これに加えてバンコク首都圏南部および西部では、地下水の塩水化現象が進行している。

このような背景から、タイ国政府は日本国政府に対し、抜本的な地盤沈下抑制と地下水管理システムの確立を骨子とした「バンコク首都圏地盤沈下抑制計画調査」協力を1989年10月及び1990年3月、要請してきた。

この要請にもとずき、国際協力事業団は1992年2月に事前調査団を派遣し、

本格調査実施に係るSCOPE OF WORK (S/W)を締結した。

1. 2 調査の目的及び対象地域

1. 2. 1 目的

本調査の目的は以下の3点に要約される。

- 1 地下水管理システムの確立
- 2 地盤沈下及び地下水塩水化抑制基本計画の策定
- 3 調査を通じてのカウンターパートへの技術移転

1. 2. 2 対象地域

本調査の対象地域は以下の通りである(図1.1)。

BANGKOK, NONTAHBURI, SAMUT PRAKARN, PATHUM THANI及び CHACHOENGSAO, SAMUT SAKHON, NAKHON PATHOM, PHRA NAKHON SI AYUTTHAYAの一部

1. 3 調査期間とフレーム

調査は1992年7月から1995年3月までの33カ月間を、次の3つの段階に区分して実施した。

第1段階：基礎調査

資料の収集整理、水文地質調査、地下水利用実態調査、データベース設計、観測井掘削地点の選定。

第2段階：詳細調査

コアボーリング、観測井設置、コア分析・土質試験、水文地質調査、社会経済調査、水供給計画調査、データベース作成。観測井におけるモニタリング及び水質調査。

第3段階：解析・計画策定

シミュレーションによる地下水・地盤沈下予測、塩水移動予測。地盤沈下抑制計画及び地下水管理計画の立案。

1. 4 カウンターパート機関

タイ国工業省鉱物資源局(DMR)及び内務省公共事業局(PWD)がカウンターパート機関となり、調査団と共同で調査実施に当たった。調査メンバーは以下の通りである。

J I C A 調査団

鎌田 烈
 大森正一
 REYNALDO R.MEDINA
 浅野睦夫
 三浦吉尚
 高橋忠二郎
 柴崎直明
 喜納政治
 竹森英治
 高橋 一
 PRECHA CHUNTAKORN

総括・水文地質
 地質
 水文
 土質
 ボーリング管理
 ボーリング管理
 地下水・シミュレーション
 都市開発
 水需要計画
 社会経済
 地下水利用実態

D M R

VACHI RAMNARONG
 SOMKID BUAPENG
 SAMRIT CHUSANATHAS
 ARANYA FUANGSWASDI
 SUCHAI SHINPOOL-ANANT
 PAISAL LAKANANURAK
 ORANUJ LORPHENSRI
 SANGUANSAK SUNGKABUN

研究専門官, MGL PROJECT DIRECTOR
 地下水データセンター主任
 水文地質
 水文地質
 水文地質
 情報地質
 水文地質
 水文地質

P W D

NATHAWUTH USOMBOON
 POSIT NIPPITAWASIN
 ROONGROJ KIATPANICHKIT
 CHAIPORN SIRIPORNPIBUL

深井戸掘削・開発部主任
 水文地質
 水文地質
 水文地質

2. 調査地域の概要

2. 1 自然条件

2. 1. 1 地形

タイ国の地形は中央平野、西部、南部及び北部の高地、東北部の台地、東南部海岸平野、タイ半島部に大別される(図2.1)。中央平野は南はタイ湾から北はウタラディットまで延長約500km、東西幅100-200kmにわたって広がるタイ国随一の大平野である。この平野には北部山地からピン川、ヨム川、ナン川が流下し、平野中央のナコンサワンで合流してチャオブラヤ川となる。ナコンサワンでは平野の幅は狭まり、これを境に中央平野は上部平野と下部平野に分けられている。

下部平野は陸成及び海成堆積物からなる平野である。チャオブラヤ川はチャイナット付近でタチン川、ノイ川を分流しながら南下し、途中でバサック川を合流してタイ湾へ至る。下部平野の西側にはタチン川、東側にはバンパコン川が流れそれぞれタイ湾に注いでいる。

調査地域は、下部平野の末端に位置し、西及び東側をそれぞれタチン川とバンパコン川に画され、北はアユタヤ、南はタイ湾に面している。総面積はおよそ5,600km²の平野で、地形的には、扇状地、三角州、潮間帯からなる。平野の標高は0m-3mで、近年の地盤沈下により内陸部に標高0m以下の地帯が現れている(図2.2)。

2. 1. 2 気候

調査地域は熱帯モンスーン気候区に属し、1年は5月から11月までの雨期、12月から翌年4月までの乾期に2分される。降雨量の85%は雨期に集中するが、年間降雨量の平均は、バンコクで約1,500mm、調査地域全体では約1,300mmである。また月平均気温はバンコクで25.4-29.7℃、月最低気温及び最高気温はそれぞれ、20.6℃及び34.9℃となっている(図2.3)。

2. 1. 3 水文

調査地域の中央を流れるチャオブラヤ川は160,000km²の流域を有する大河川で、ナコンサワン地点での年平均流量は683.62m³/secである。下流のチャイナットにはチャオブラヤダムが建設されており、ダムの直下流の流量は336.1m³/secに減少する。チャイナットから下流では、チャオブラヤ川は幾つかの支川に別れるが、本流の流量はアユタヤ付近では358.02m³/secに増加する。しかしながら、河川流量の季節変動が大きく、アユタヤ付近では1月から8月までは495.8-835.5m³/se

cを示すのに対して、9月から10月にかけては1,000m³/secを越え、ときにアユタヤ付近の河道疎通能力1500m³/secを越える場合がある。このため、溢水により、低地部では、しばしば洪水が発生している(図2.4)。

2. 1. 4 地質と帯水層

タイ国の地質を概観すると、西部及び北部の山地及びタイ半島は先カンブリア紀層、古生層、中生層(三疊紀層)が分布し、東部及び南部の山地は中生層(三疊紀層)が分布する。また東北部の台地はジュラ紀以降白亜紀までの中生層が広く分布する。中央平野は主として新第三紀層と第四紀層からなる。

中央平野を埋める新第三紀及び第四紀堆積物の基盤はブロック化した地溝を形成しており、基盤までの深度は1,800m以上に達すると推定されている。新第三紀層の分布や性状については未だ明らかではないが、第四紀層は段丘堆積物、沖積層、ラテライト等から成る。

調査地域の地下地質と帯水層の分布については、多数の地質ボーリングや深井戸地質柱状図により解明が進められている。表層部はバンコク粘土層と呼ぶ軟弱な粘土層により広く覆われている。バンコク粘土層の下部には砂・れき・粘土からなる洪積層が分布する。主に、深井戸の電気検層結果にもとずき、平野地下の帯水層は次の8層に区分されている。

1. バンコク帯水層(50mゾーン)
2. プラバダン帯水層(100mゾーン)
3. ナコンルアン帯水層(150mゾーン)
4. ノンタブリ帯水層(200mゾーン)
5. サムコク帯水層(300mゾーン)
6. パヤタイ帯水層(350mゾーン)
7. トンブリ帯水層(450mゾーン)
8. パクナム帯水層(550mゾーン)

このうち、最も地下水の開発利用が進んでいるのは、プラバダン、ナコンルアン、ノンタブリの3帯水層である(図2.5)。

2. 2 社会・経済

2. 2. 1 経済発展

タイ国の過去10カ年の経済的発展は著しく、とくに1986年以降の国民総生産(GDP)は、製品輸出の増大、外国資本の流入、観光業の隆盛に支えられて高い

成長を示した。とくにこの3年間のGDPは平均10%以上の伸びを示している（表2.1）。

バンコク首都圏はタイ国経済のコアとなり、同国GDPの過半を占めるとともに、その成長率は年20%を越えている。しかし、こうしたバンコク首都圏への一極集中は地方との格差を拡大させ、人口の都市部への流入をもたらしている。一極集中の弊害は絶望的な道路渋滞や住宅、水道などの都市施設の不足、大気汚染・水質汚染などの環境問題となって現れてきている。

2. 2. 2 人口

1990年統計によればタイ国の人口は56,303千人で、このうちバンコク首都圏の人口は5,621千人である。また、調査地域に含まれる首都圏周辺地域7県の人口を加えると9,982千人に達する。バンコク首都圏では統計に現れない流入人口が多く、実際の人口は8,000千人を越えているものと思われる（表2.2）。

2. 2. 3 交通・輸送・電力

タイ国の陸上交通・輸送はハイウェイ及び一般道路で行われ、幹線道路はよく整備されている。しかし、バンコク首都圏では車の増加に道路の建設が追いつかず深刻な道路渋滞が起きており、今や都市活動に著しい弊害を与えている。車に代わる交通手段がほとんどないため、地下鉄・高架鉄道などの大量輸送システムの建設が急がれるところであるが、遅々として進んでいない。

バンコク首都圏ではほぼ100%、近県でも90%近い所帯に電力は供給されている。

2. 3 水供給

2. 3. 1 水供給組織

調査地域の内、バンコク都、サムットプラカン県、ノンタブリ県はMWAの水道管轄範囲である。また、それ以外の県は地方水道公社（PWA）が管轄しており上水道を供給している。しかし、MWAやPWAの水道のサービス地域外では地下水が利用されている。

水道サービス地域外の公共用水（役所、学校、病院など）は、地域振興局（ARD）、公共事業局（PWD）、鉱物資源局（DMR）、保健局（DOH）が深井戸を建設し、地下水を給水している。また、工業団地局（IEAT）は工業団地に給水するため独自に深井戸を建設し、地下水を取水している。

調査地域の大部分にはまだ上水道がないので、それらの地域の住宅、事務所、工場などの用水は深井戸から地下水を取水してまかなっている。これまで1万本以上に達する深井戸が掘削されているが、これらの民間井戸についてはDMRが掘削及び揚水の許認可を行っている。

2. 3. 2 MWA

MWAのサービスエリアは、責任範囲の全体面積3,195km²の約22%にあたる、710km²で、給水人口は560万人、給水率は78%である(1991年)。原水取水量は年間1,143.4百万m³(約313万m³/day)で、その97%はチャオプラヤ川から取水した河川水である。また残り約3%に当たる34百万m³(約9.3万m³/day)はMWA所有の41本の深井戸から取水している。MWAは1983年当時年間142.4百万m³(39万m³/day)の地下水を揚水していたが、地盤沈下対策のため、それ以降深井戸を順次廃止しつつある(図2.6、表2.3)。

2. 3. 3 PWA

調査地域内のパトムタニ県ではPWAが給水事業を行っている。1992年現在の給水サービスエリアの面積は180km²で、給水人口9.8万人、給水率は21%である。水源は地下水で、20本の深井戸により年間6.27百万m³を取水している。

2. 3. 4 民間井戸及び公共井戸

地下水法により登録された、調査地域内の民間及び公共深井戸の総数は約14,000本で、それらの総揚水量は約140万m³/dayに達すると推定される(第5章参照)。地下水法による許可水量に対し現在1m³あたり3.5パーツの水料金が課せられている。

2. 3. 5 IEAT

現在9つの工業団地に80本の深井戸があり、1992年の地下水揚水量は約33百万m³である(図2.7)。

2. 4 バンコクの地盤沈下概要

2. 4. 1 経緯

バンコクでは、1969年頃から、各地で井戸や建築物基礎の抜け上がり現象が見られるようになり、地盤沈下が発生していることが知られるようになった。地盤沈下の原因については1979年に開催されたセミナーにおいて、地下水の過

利揚水であることが広く認識されるようになり、DMRやAITによる地盤沈下調査が開始された。その後の水準測量によると、地盤沈下は、バンコク都内のラブラオ、バンカピ、フアマーク、ブラカノン、バンナ地域で激しく、年間沈下量は10cm以上に達していることが明らかとなった。また、これらの地盤沈下地域は地下水位の低下帯によく一致していることも明らかとなった。

2. 4. 2 地下水揚水量

バンコク首都圏では地下水は、MWAやPWAの水道用水源として利用される他、多数の民間深井戸により、生活用水・ビル用水・工業用水として利用されている。1978年施行の地下水法により井戸掘削と揚水は許可制となり、1985年から一部の井戸に量水計が設置されるようになったため、揚水量の実態が明らかになってきた。1980年代を見ると、民間井戸許可揚水量とMWAの揚水量の合計は112万m³/dayから148万m³/dayに増加した。

2. 4. 3 地下水位と地盤沈下

ブラバダン、ナコンルアン、ノンタブリなど主な帯水層の水位は、1960年代末から低下し始め70年代を通じて低下地帯が広がり、80年代の初めには40-50mに低下した。しかし、1985年頃から、地下水法の施行と地下水規制に伴ってバンコク中心部では地下水位の回復が見られるようになった。一方で、バンコク東部のラカバン、北部のバトムタニや西南部のサムットサコンでは、工場、住宅団地の進出に伴い、地下水揚水量が増加し、地下水位の低下が激しくなっている。

地盤沈下の水準測量はタイ王立測量局(RTSD)、バンコク首都圏庁(BMA)、DMRなどの機関が実施している。RTSDの測量によると1978年から1987年の10年間の最大沈下量は75cmに達した。過去の測量記録をもとにすると、バンコクでは過去45年間の最大沈下量は160cm以上と推定される。前述のように1980年代初めのバンコク中心部の年間沈下量は10cmを越えていたが、1985年以降地下水位の上昇とともに地盤沈下は2cm/yearに減少した。しかし、東部のバンブリ、南部のサムットブラカン、西南部のサムットサコンでは年間5cm以上を示し、急激な地盤沈下が進行している。

2. 4. 4 法制度

タイ政府は地下水の保全管理・地盤沈下対策を目的として1978年に地下水法を施行した。この法律のもとでは、井戸掘削、地下水の利用及び廃水の井戸注入は全て許可制となった。その後、法律により、バンコク都と周辺6県は全国に先駆け「地下水区」に指定され、この地域の民間深井戸は1985年以降地下水

の利用料金を徴収されるようになった。

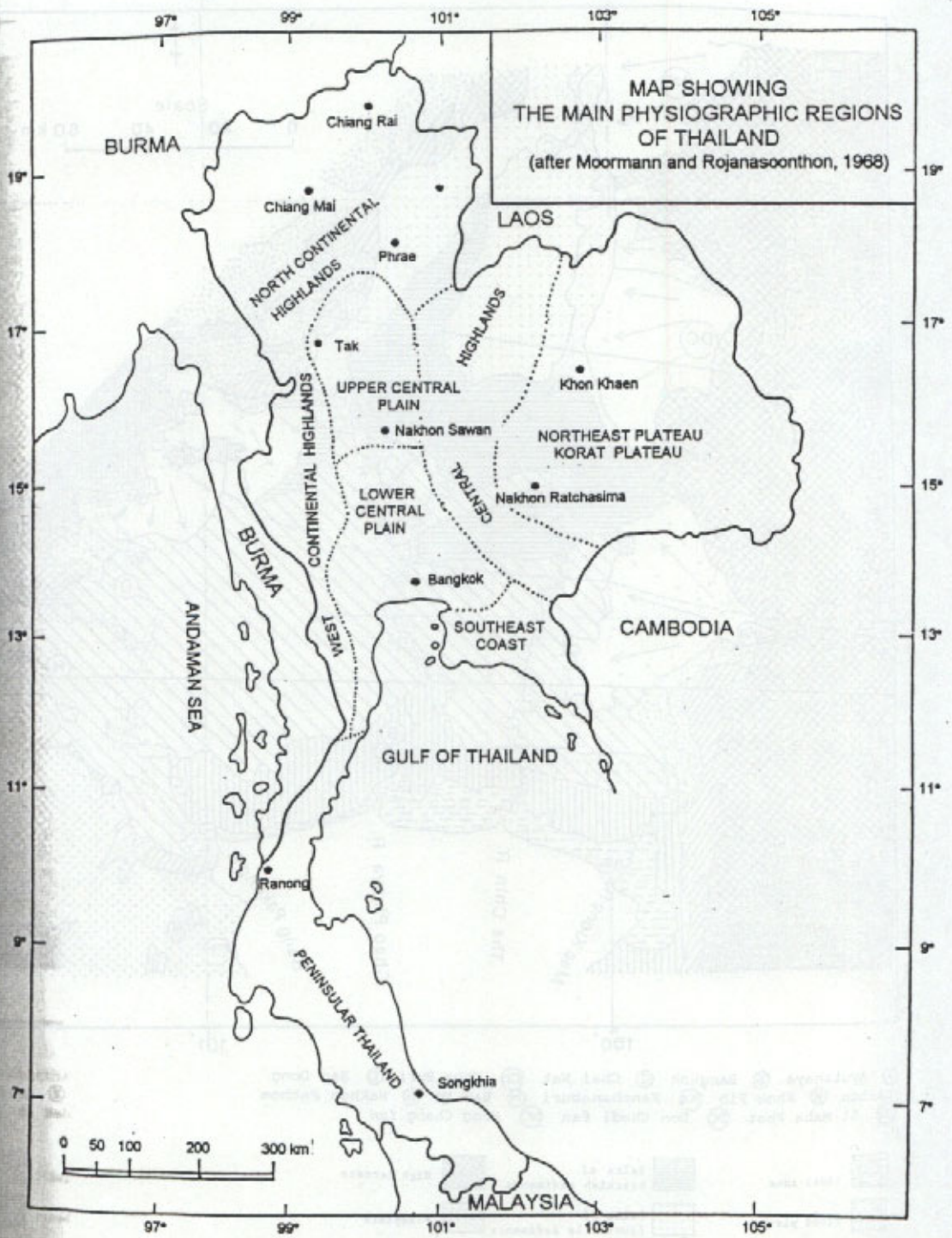
2. 4. 5 地下水危機と地盤沈下対策

D M RとA I Tが共同で行った地下水・地盤沈下対策調査にもとずき、タイ政府は1983年に「バンコク首都圏の地下水危機と地盤沈下の対策」を閣議決定した。この決定は、主要帯水層の地下水位回復と地盤沈下の緩和はかるため、地下水揚水量を規制するもので、具体的には、バンコク首都圏内を3地域の規制地域に区分し、規制地域毎に年次目標を定めてM W A深井戸を廃止するとともに民間井戸の揚水量増加を抑制して、地下水位の回復と地盤沈下を軽減させるものである(図2.8)。1983年以降1987年まで、バンコク中心部ではこの対策の効果が現れ、地下水位の回復と地盤沈下量の減少が認められた。しかし、バンコク首都圏では1987年以降かつてない経済成長ブームが起こり、水需要が著しく増大したため、バンコク郊外で地下水位低下と地盤沈下が激しくなっているのは前述の通りである。このため、早急な地下水規制・管理計画の見直しが必要になっている。

代
-5
バ
東
団
い

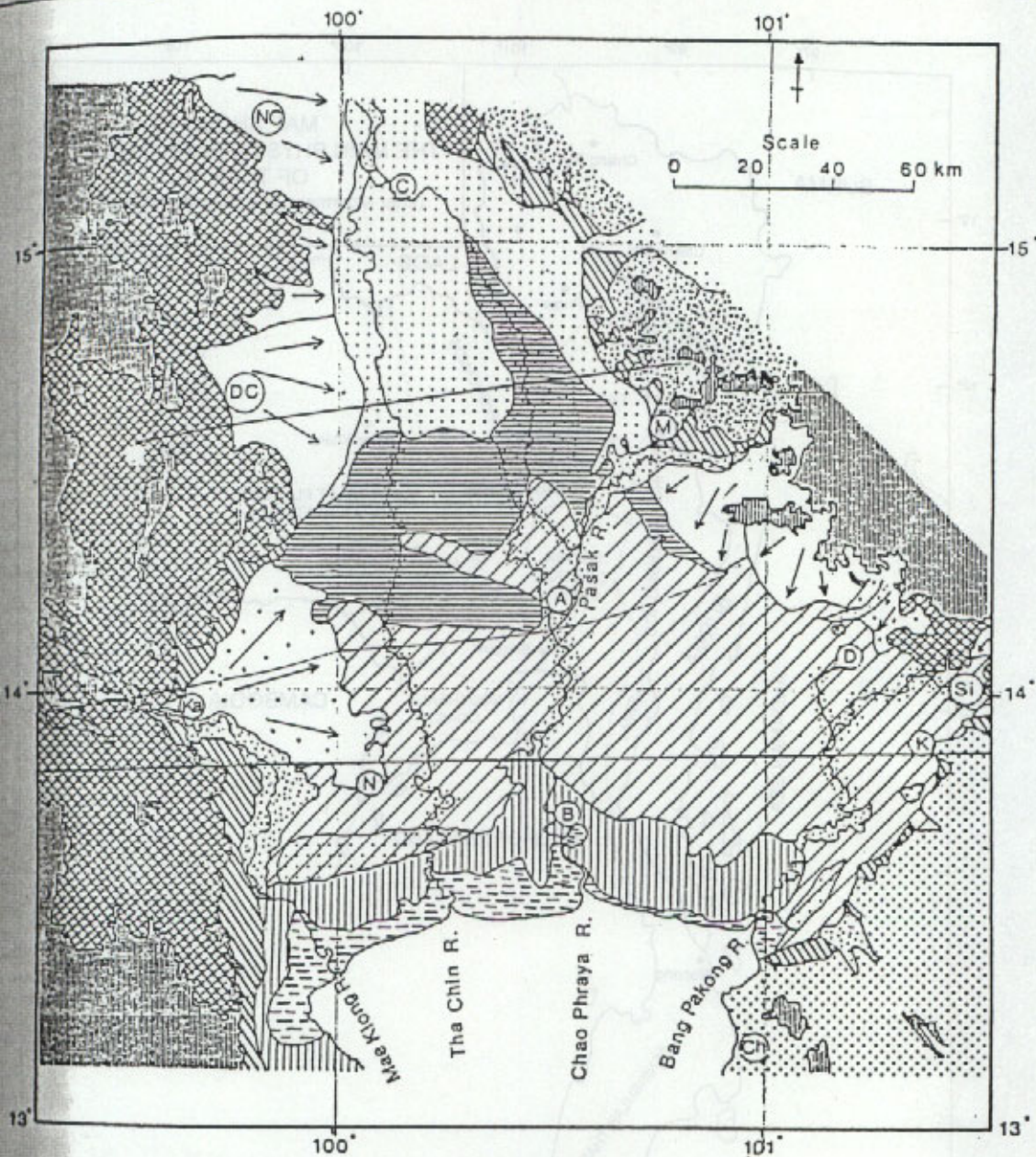
)、
9
と、
5に
8
部
以上

法
入
に
水



modified Thiramongkol, 1983

 2.1	タイ国の大地形区分
THE STUDY ON MANAGEMENT OF GROUNDWATER AND LAND SUBSIDENCE IN THE BANGKOK METROPOLITAN AREA AND ITS VICINITY	
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)	KOKUSAI KOGYO CO., LTD.



(A) Ayutthaya (B) Bangkok (C) Chai Nat (Ch) Chon Buri (D) Ban Dong
 Lakhon (K) Khok Pib (Ka) Kanchanaburi (M) Ban Mo (N) Nakhon Pathom
 (S) Si Maha Phot (DC) Don Chedi fan (NC) Nong Chang fan

- | | | |
|------------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| Tidal-zone | Delta of brackish sediments | High terrace |
| Flood plain | Delta of fluvial sediments | Peneplain |
| Barrier | Young alluvial fan | Structural terrace in marl |
| Tidal flat of marine clays | Old alluvial fan | Mountains and hills |
| Tidal flat of brackish clays | Middle terrace | |

After Narong Thiramongkol (1983)

2.2

下部中央平野の地形区分

THE STUDY ON MANAGEMENT OF GROUNDWATER AND LAND SUBSIDENCE
IN THE BANGKOK METROPOLITAN AREA AND ITS VICINITY

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)

KOKUSAI KOGYO CO., LTD.

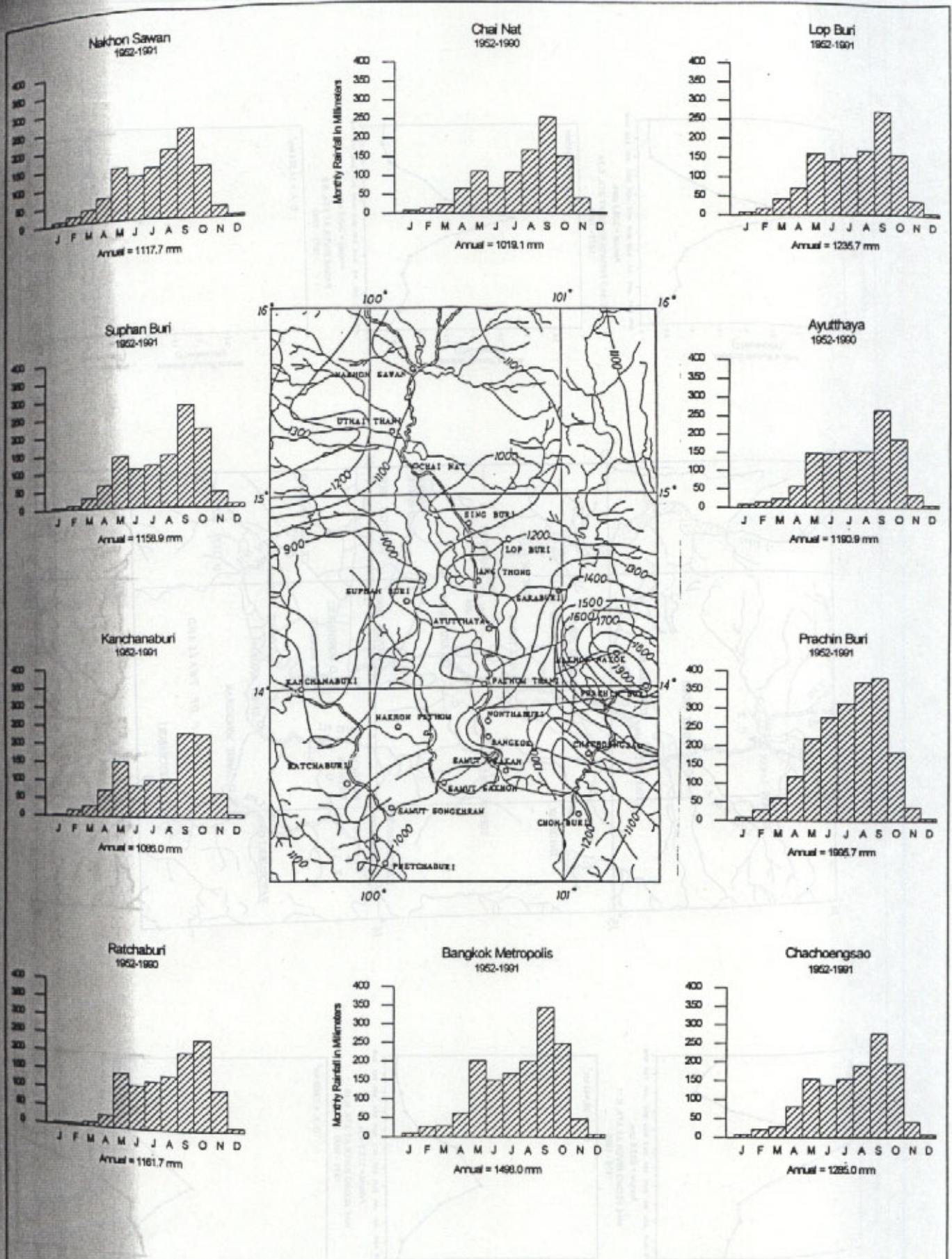
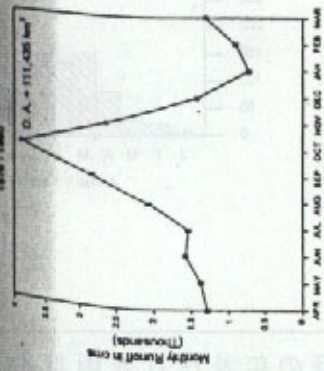


図 2.3 下部中央平野の年及び月降雨量分布

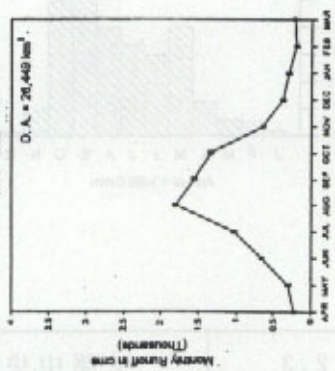
THE STUDY ON MANAGEMENT OF GROUNDWATER AND LAND SUBSIDENCE
IN THE BANGKOK METROPOLITAN AREA AND ITS VICINITY

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA) KOKUSAI KOGYO CO., LTD.

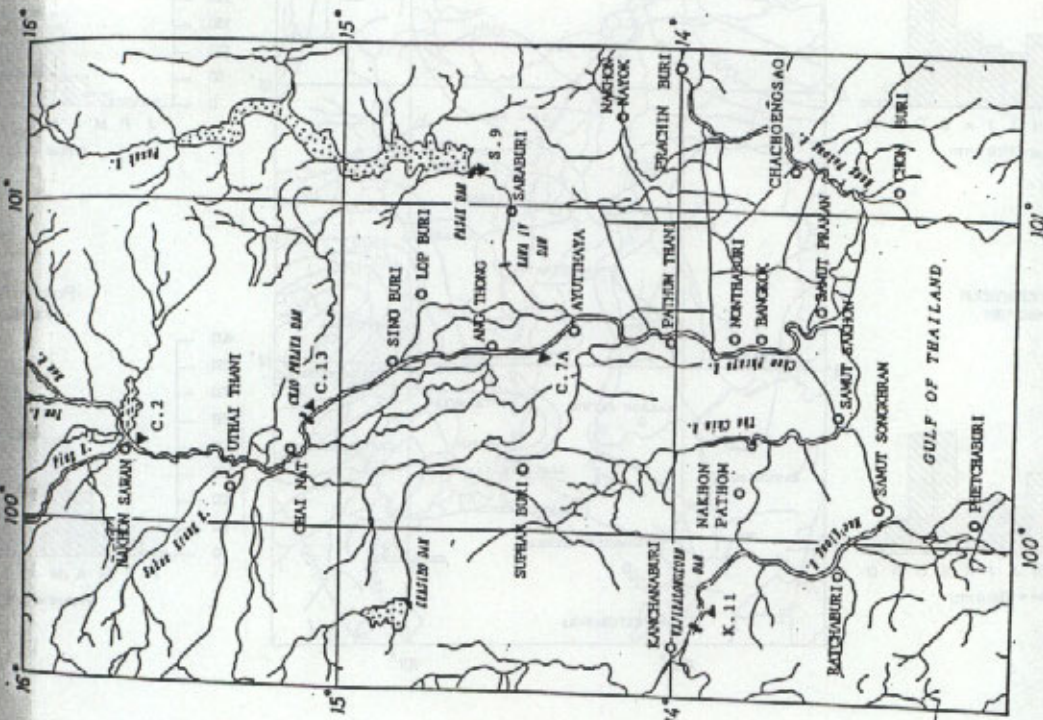
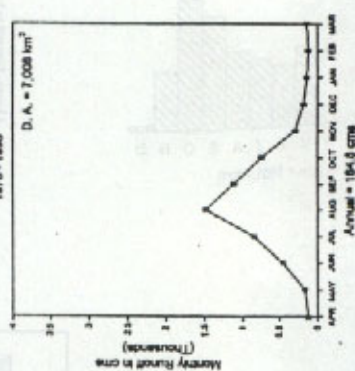
CHAO PHRAYA RIVER AT STA. C.2



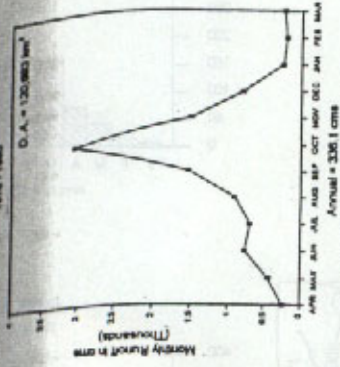
MAE KLONG RIVER AT STA. K.11



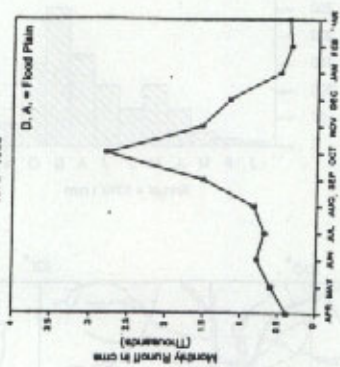
MAE KLONG RIVER AT STA. K.10



CHAO PHRAYA RIVER AT STA. C.13



CHAO PHRAYA RIVER AT STA. C.7A



PASAK RIVER AT STA. S.9

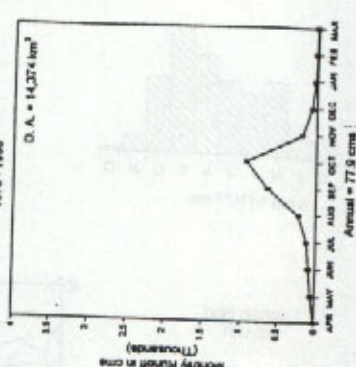


図 2.4

チャオプラヤ、バサック、メクロン川の
月流出量

THE STUDY ON MANAGEMENT OF GROUNDWATER AND LAND SUBSIDENCE
IN THE BANGKOK METROPOLITAN AREA AND ITS VICINITY

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)

KOKUSAI KOGYO CO., LTD.

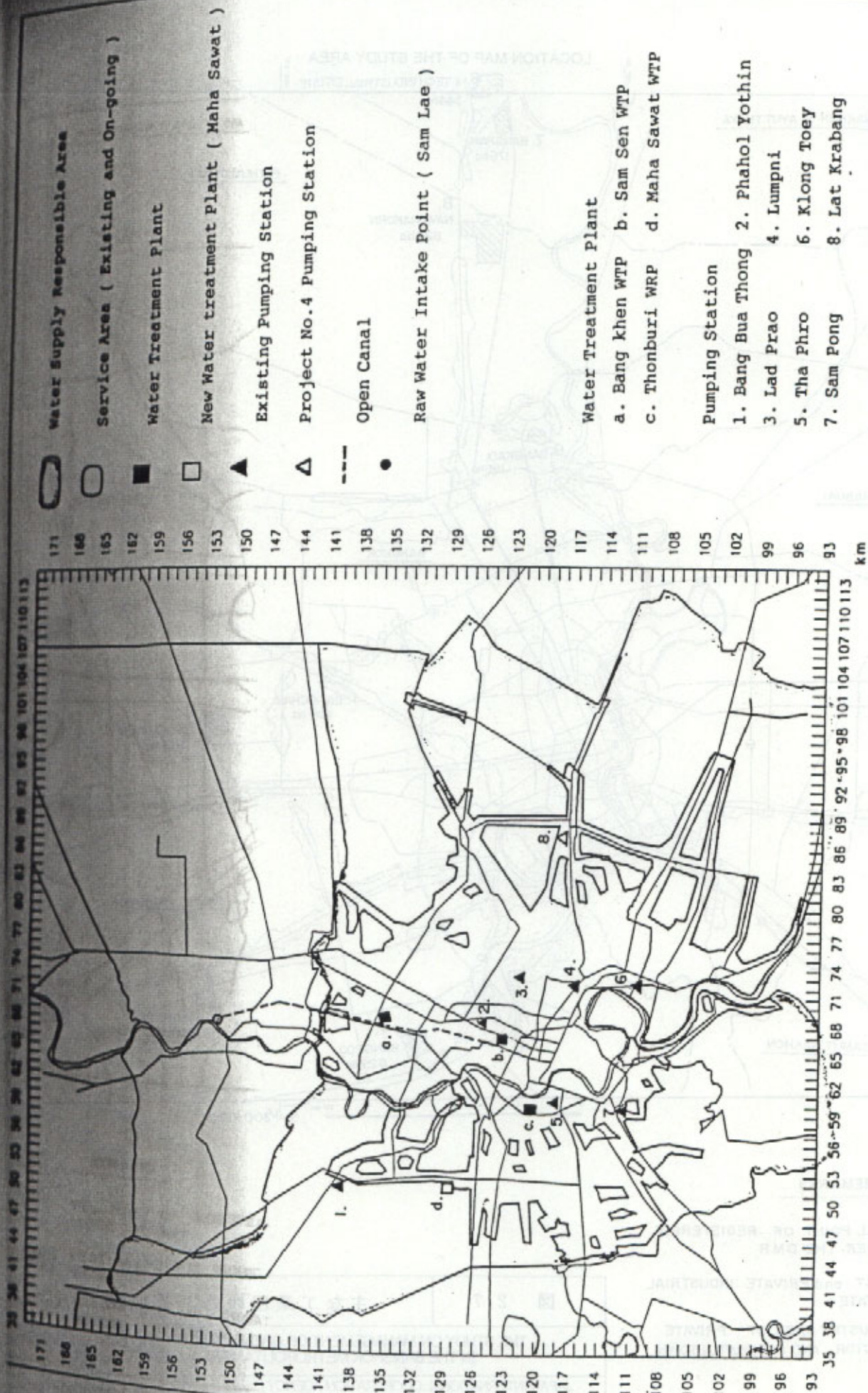


図 2.6

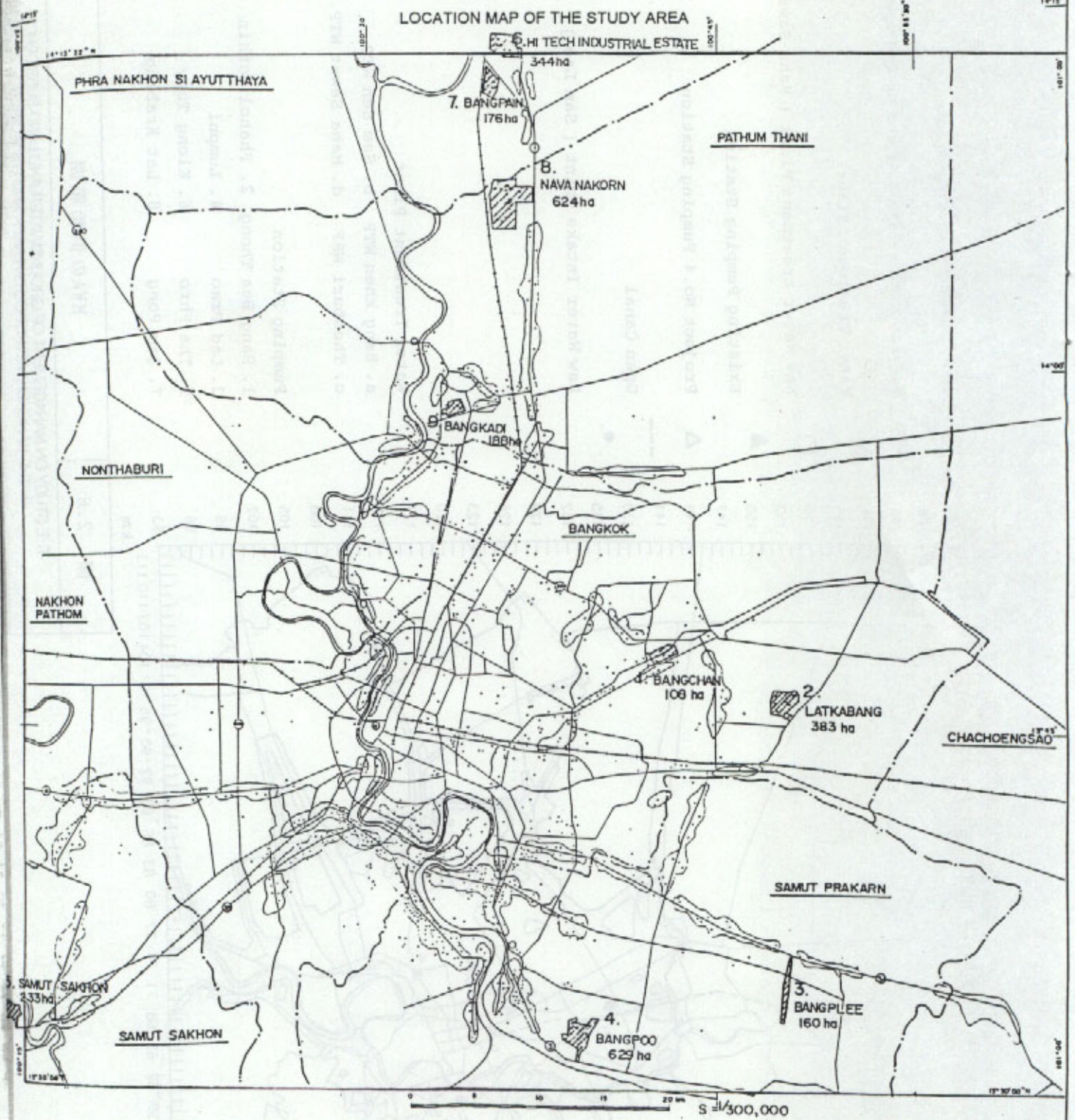
MWAの供給範囲

THE STUDY ON MANAGEMENT OF GROUNDWATER AND LAND SUBSIDENCE
IN THE BANGKOK METROPOLITAN AREA AND ITS VICINITY

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)

KOKUSAI KOGYO CO., LTD.

LOCATION MAP OF THE STUDY AREA



REMARKS

- WELL POINT OF REGISTERED UNDER THE DMR



-  IEAT and PRIVATE INDUSTRIAL ESTATE
-  INDUSTRY AREA OF PRIVATE SECTOR, AND RESIDENTIAL TOWN

図 2.7	主な工業団地と工業地域
THE STUDY ON MANAGEMENT OF GROUNDWATER AND LAND SUBSIDENCE IN THE BANGKOK METROPOLITAN AREA AND ITS VICINITY	
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)	KOKUSAI KOGYO CO., LTD.

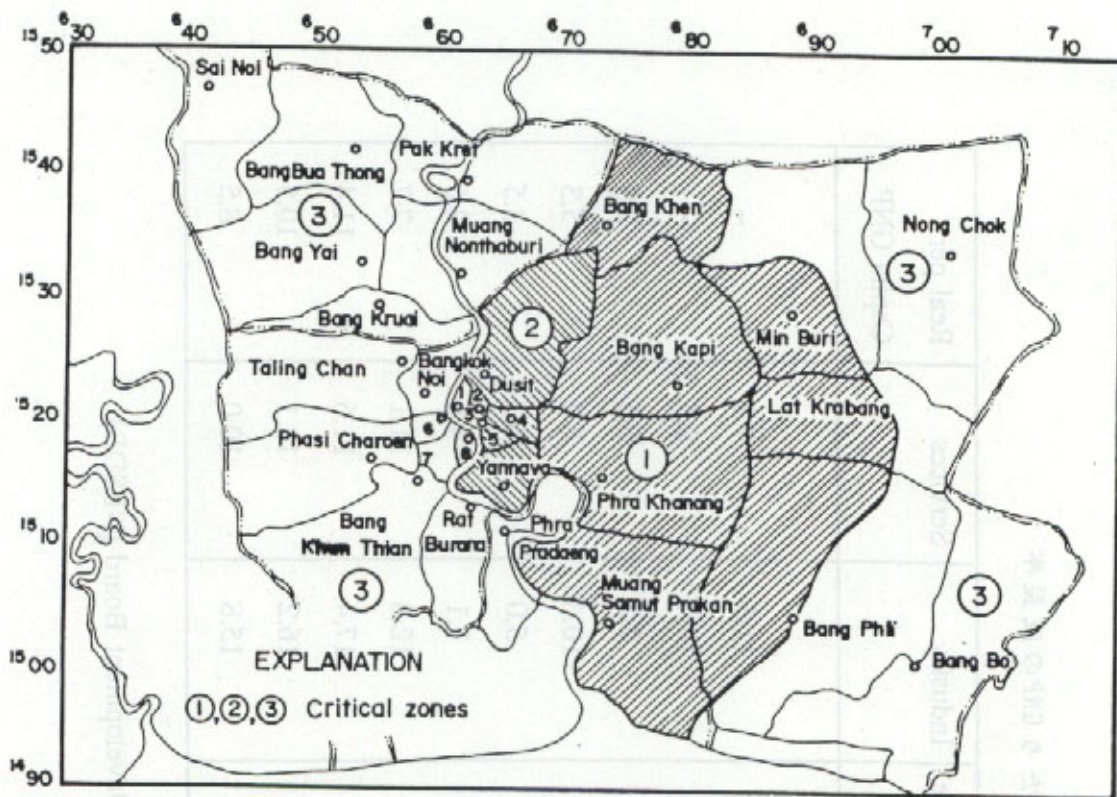


図 2.8 バンコク首都圏の現在の地下水規制地域

100	130	125	82	42	20	16	20	80	15
80	60	88	63	88	80 - 82	52 - 80	50 - 52	62 - 80	20 - 80
Year	Year	Year	Year	Year	Year	Year	Year	Year	Year

表 2.1 実質 GDP 及び 1 人あたり GNP の成長率

Year	Real GDP	Agriculture	Industry	Services	Real per Capita GNP
60 - 65	7.2	4.8	11.5	7.2	-
65 - 70	8.6	6.0	10.4	9.5	-
70 - 75	5.6	3.8	7.3	5.6	2.9
75 - 80	7.9	4.0	10.6	8.2	5.3
80 - 85	5.6	4.9	5.0	6.3	3.5
86	4.5	0.2	7.1	4.6	2.6
87	9.5	-0.2	12.8	11.1	7.7
88	13.2	10.2	17.4	11.6	11.4
89	12.0	6.6	16.2	11.1	10.5
90	10.0	-1.8	15.8	10.0	8.5

Source : National Economic and Social Development Board (NESDB)

表 2.2 調査地域の県別及び年別人口 1980-1991

PROVINCE	1980	1981	1982	1983	1984	1985	
WHOLE KINGDOM	44,824,540	47,375,002	48,846,927	49,515,094	50,583,105	51,795,651	
Bangkok	4,697,071	5,331,402	5,468,286	5,018,327	5,174,682	5,363,378	
Nonthaburi	369,777	403,809	422,392	456,588	478,199	504,424	
Pathum Thani	319,674	332,111	341,336	357,809	366,767	384,713	
Samut Prakarn	484,829	557,292	585,320	623,514	640,316	662,612	
Samut Sakhon	247,168	270,744	278,949	296,714	301,631	315,373	
Ayutthaya	602,021	626,590	631,285	630,799	637,845	652,977	
Nakhon Pathom	525,906	569,649	590,588	585,931	596,257	609,316	
Chachoengsao	445,000	498,092	507,422	503,184	510,308	525,717	
TOTAL	7,691,446	8,589,689	8,825,578	8,472,866	8,706,005	9,018,510	
PROVINCE	1986	1987	1988	1989	1990	1991	Av. Annual Grow. Rate 1980-1991
WHOLE KINGDOM	52,969,204	53,873,172	54,960,917	55,888,393	56,303,273	56,961,030	2.20
Bangkok	5,468,915	5,609,352	5,716,779	5,832,843	5,546,937	5,620,591	1.65
Nonthaburi	525,475	571,871	596,381	627,667	668,760	703,187	6.02
Pathum Thani	402,080	415,193	435,409	441,930	452,693	465,968	3.48
Samut Prakarn	689,631	741,905	789,060	829,412	854,883	882,164	5.59
Samut Sakhon	327,677	334,170	340,952	349,680	358,155	365,274	3.61
Ayutthaya	664,245	668,611	677,626	680,100	685,394	691,075	1.26
Nakhon Pathom	617,596	619,518	630,805	646,803	657,182	664,190	2.14
Chachoengsao	540,864	550,787	569,411	575,731	582,783	589,829	2.59
TOTAL	9,236,483	9,511,407	9,756,423	9,984,166	9,806,787	9,982,278	2.40

Source : Department of Local Administration

表 2.3

MWAの給水実績

Description	Unit	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991
A. Total Water Production (Include Groundwater) B + Water Loss + I	M. m3	624 .7	630 .3	626 .5	731 .2	801 .8	820 .8	841 .3	859 .6	934 .3	1049 .3	1109 .2
B. Water Sales 1)+2)	M. m3	334 .2	340 .8	360 .7	423 .4	477 .4	485 .0	523 .0	570 .3	628 .2	718 .7	781 .5
1) Residence	M. m3	191 .1	194 .6	205 .0	239 .4	280 .4	280 .0	305 .2	328 .5	328 .0	368 .4	391 .7
2) Business, Govt. Agencies	M. m3	143 .1	144 .3	162 .3	182 .7	195 .4	204 .0	216 .2	240 .3	298 .7	347 .9	377 .7
C. Water Sales %, B/A	%	53.5	54.2	59.0	57.9	59.5	59.1	62.2	66.4	67.4	68.5	70.5
D. Total Customers, No.	1000	423	445	468	520	602	660	721	790	867	949	1028
E. Population Responsible Area, Person	1000	6292 .5	6476 .0	6098 .4	6293 .2	6530 .4	6684 .0	6923 .2	7102 .2	7289 .9	7070 .6	7205 .9
F. Water Consumption Ratio, Q/Person/day	Q	148	142	148	163	178	169	172	172	164	188	190
G. Service Area	km2	315	330	350	390	430	475	520	580	625	680	710
H. Water Supply Ratio	%	56	58	62	64	66	68	70	74	75	76	78
I. Groundwater Supply Volume	M. m3	186 .2	163 .4	143 .4	130 .8	109 .9	71 .3	76 .7	72 .6	59 .3	28 .7	34 .2
J. Groundwater Supply Ratio, I/A	%	29.8	25.9	22.8	17.9	13.7	8.6	9.1	8.4	6.3	2.8	3.1

Source : MWA

M. m3 =Million m3

Note: MWA service area is BKK Metropolis, Nonthaburi and SamutPrakarn.

3. 水文地質構造

3. 1 地形と地質

下部中央平野の地形と地質の模式図を図3.1に示す。平野の西側と東側にはそれぞれ山地が広がり、山麓から平野にかけては高位及び中位段丘が分布する。また、山地から平野の出口にかけては現河川に沿って新旧の扇状地が発達している。平野はデルタと潮間帯からなり、平野上流のチャイナット周辺では陸水性堆積物、アユタヤ周辺では気水性堆積物からなるデルタが発達し、下流のバンコク首都圏地域は厚いバンコク粘土層に覆われたデルタと潮間帯が広がっている。バンコク粘土層 (soft clay) の¹⁴C年代は4千年から7千年前を示すことから沖積海進に伴う堆積物と考えられる。バンコク粘土層の下には基盤岩まで洪積層と鮮新層が500-1800mの厚さで堆積している。

3. 2 コアボーリング

地下地質を調査するため、下記の3地点でコアボーリングを行った。採取したコアは地質観察した後、微化石分析、¹⁴C年代測定、塩分分析及び土質試験を行った。

- サイトA: ラットクラバン 住宅局 (NHA) 敷地内 : 深度 600m
- サイトB: AIT 構内 : 深度 300m
- サイトC: サムットサコン ワット・クロン・クルー : 深度 325m

3. 2. 1 サイトA

深度600mまでの層相は16区分できる。また、コアボーリング終了後掘削した観測井 (深度550m) の物理検層結果と対比して帯水層を区分した結果は次の通りである。

水文地質区分	深度
バンコク粘土 (soft clay)	1.50- 17.20m
バンコク粘土 (stiff clay)	17.20- 20.30m
バンコク帯水層	20.30- 57.80m
ブラバダン帯水層	57.80-121.50m
ナコンルアン帯水層	121.50-178.28m
ノンタブリ帯水層	178.28-280.80m
サムコク帯水層	280.80-361.40m
パヤタイ帯水層	361.40-440.00m
トンプリ帯水層	440.00-482.00m

バクナム帯水層

482.00-600.00m+

3. 2. 2 サイト B

深度300mまでの層相は11区分出来る。観測井の物理検層結果と対比して、帯水層区分した結果は次の通りである。

水文地質区分	深度
バンコク粘土 (soft clay)	2.00- 9.00m
バンコク粘土 (stiff clay)	9.20- 15.80m
バンコク帯水層	15.80- 49.00m
ブラバダン帯水層	49.00- 126.25m
ナコンルアン帯水層	126.25- 193.40m
ノンタブリ帯水層	193.40- 281.13m
サムコク帯水層	281.13- 300.00m+

3. 2. 3 サイト C

深度300mまでの層相は13区分できる。観測井の物理検層結果と対比して、帯水層区分した結果は次の通りである。

水文地質区分	深度
バンコク粘土 (soft clay)	1.40- 14.50m
バンコク粘土 (stiff clay)	14.50- 19.45m
バンコク帯水層	19.45- 43.45m
ブラバダン帯水層	43.45-108.00m
ナコンルアン帯水層	108.00-170.00m
ノンタブリ帯水層	170.00-281.00m
サムコク帯水層	281.00-300.00m+

3. 2. 4 ^{14}C 年代

バンコク粘土層 (soft clay) の ^{14}C 年代は、サイト A 地点及びサイト B 地点で、 110 ± 100 年から $8,620 \pm 340$ 年を示し、沖積海進による堆積物であることが分かった。

3. 2. 5 微化石分析から見た堆積環境

バンコク粘土層に含まれるけい藻類は極めて少ない。また、有孔虫もあまり含まれていないが、これらの微化石の同定によると、粘土層は縁海 (marginal sea) の

堆積物と考えられる。

3. 2. 6 塩分濃度

コアの塩分濃度を室内分析した結果、サイトAでは深度30-90m, サイトBでは深度30m付近、サイトCでは、30-50mで高い値を示した。これらは、バンコク帯水層の塩水化現象を反映している。

3. 2. 7 土質試験

バンコク粘土層は地盤沈下の主原因となる被圧密層と考えられるので、シンウオールサンプラーにより不攪乱試料を採取して、物理試験と圧密試験を行った。また、深部の洪積粘土層も地下水位低下により圧密を受けると考えられるので、コアサンプルの物理試験と圧密試験（一部は高圧圧密試験）を行った。地盤沈下予測計算は、これら土質試験結果を使用した。

3. 3 基盤構造

既存資料と今回のコアボーリング結果を総合して、下部中央平野の基盤構造を推定すると図3.3のようである。調査地域では、チャオブラヤ川右岸側の基盤深度は深く、1000m以上と推定される。また、チャオブラヤ川河口の左岸側では500mより浅いことが確認されているが、サイトAの深度600mのボーリングでは基盤に到達していないため、左岸側全体では500-1000mの深度と推定される。

3. 4 帯水層単元

既存資料とコアボーリングの結果にもとずき、調査地域の帯水層の分布と構造を明らかにし、地下地質断面図及び帯水層等深線図を作成した。帯水層区分はDMRの定義に従って8層に区分した。図3.4に代表的な南北断面と図3.5.1から図3.5.3には主帯水層の等深線図を示す。

3. 5 観測井の建設

各帯水層の地下水位と地盤沈下を観測するため、コアボーリング地点に深度の異なる観測井を掘削した。各地点ごとの観測井数と深度は図3.6に示す。また観測井の構造は図3.7に示す。各観測井には水圧式水位計と地盤沈下計を設置した。なお、これらの観測井では揚水試験を行い、各帯水層の水理定数を把握した。

BK
CN
AY
N
S
KA
MK
IC
CP
BP

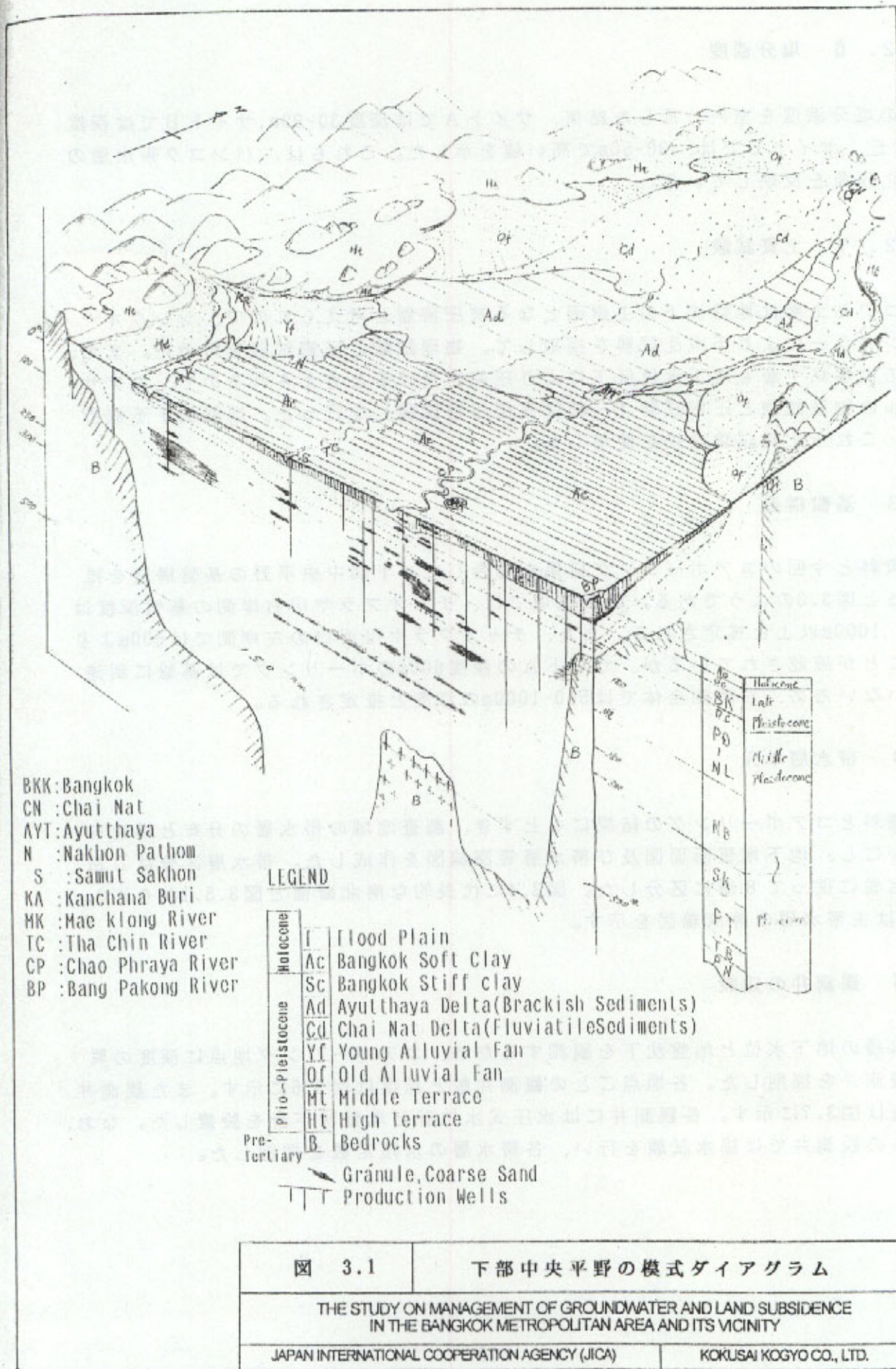


図 3.1

下部中央平野の模式ダイアグラム

THE STUDY ON MANAGEMENT OF GROUNDWATER AND LAND SUBSIDENCE
 IN THE BANGKOK METROPOLITAN AREA AND ITS VICINITY

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)

KOKUSAI KOGYO CO., LTD.

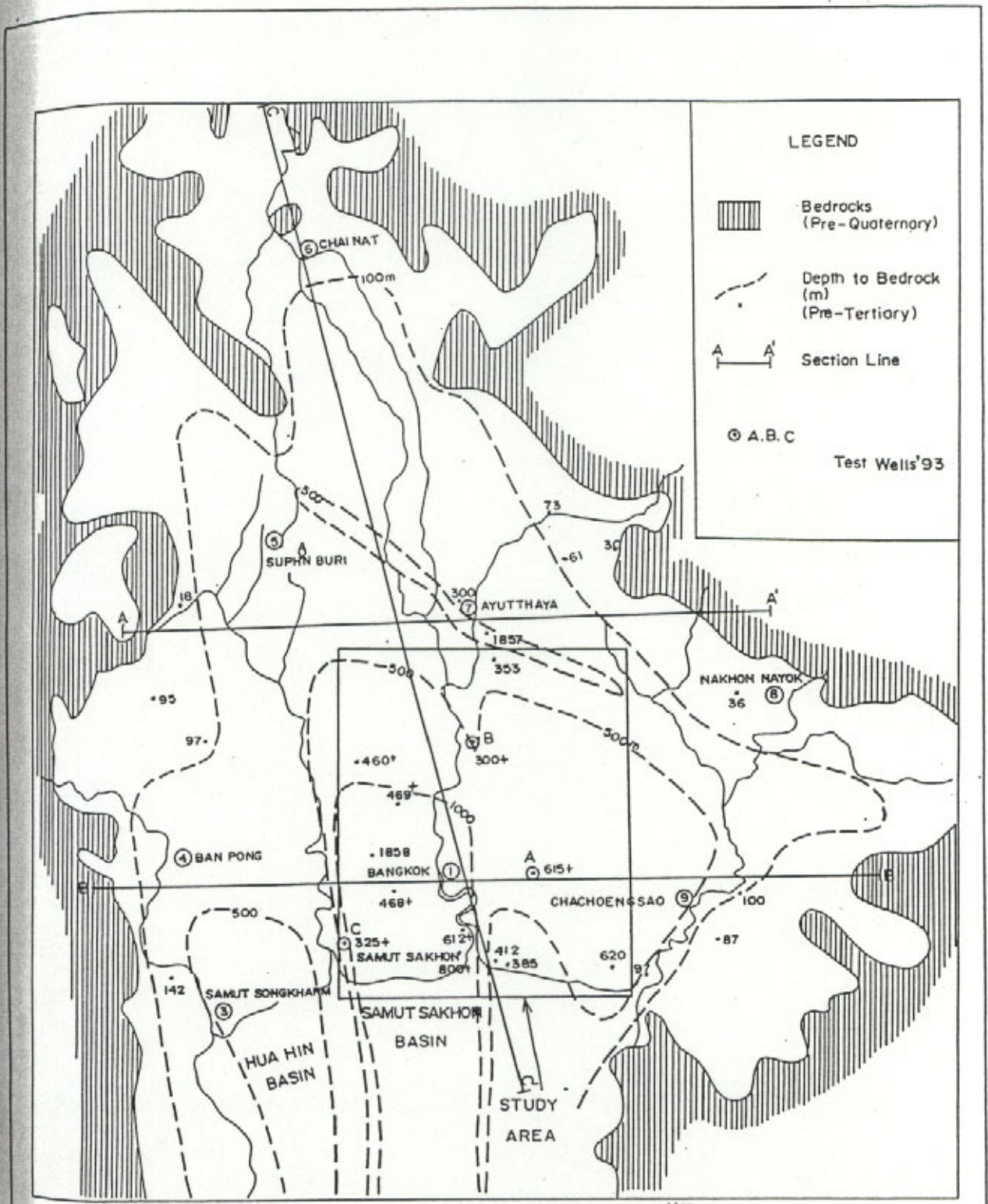


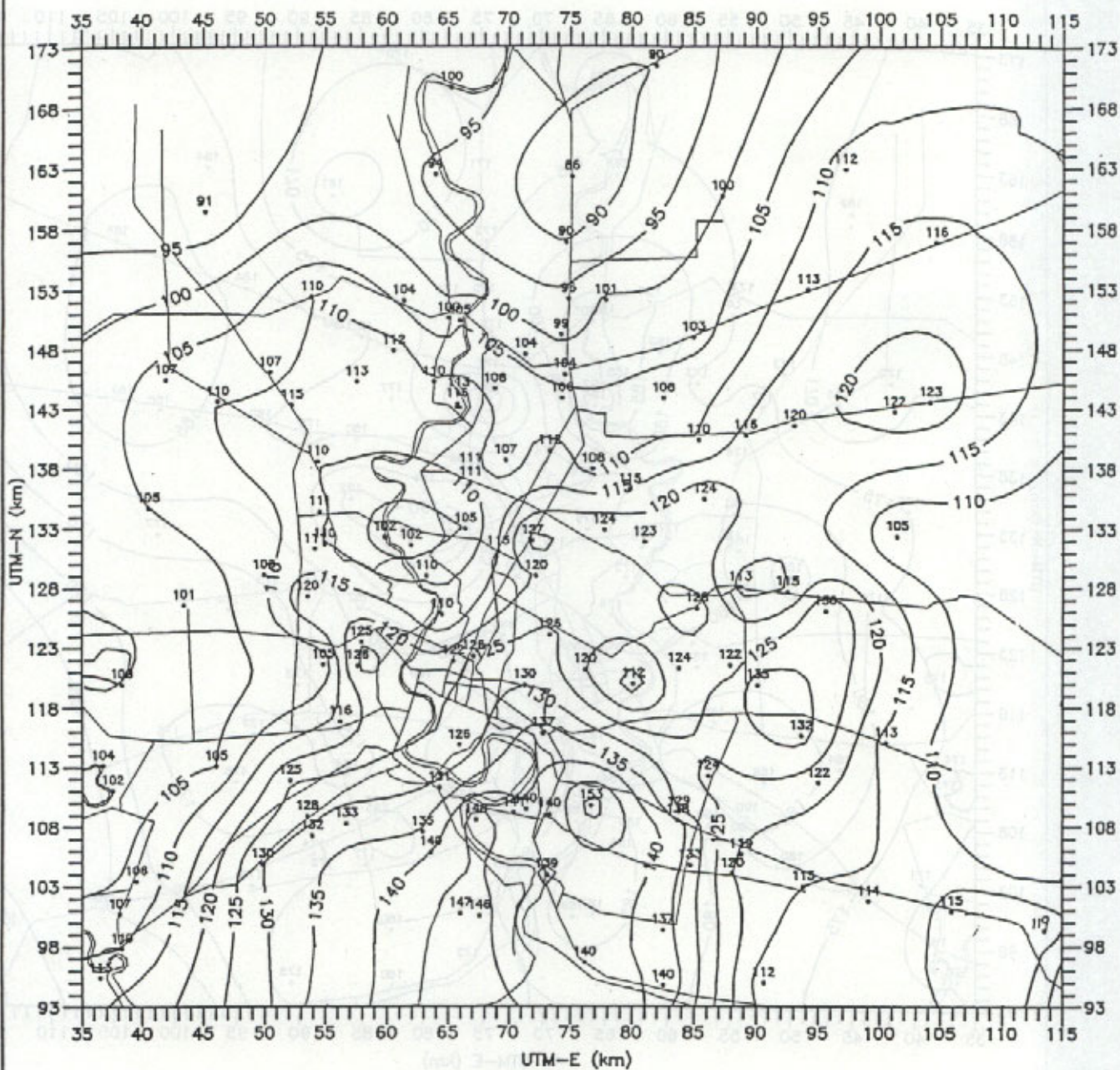
図 3.3

下部中央平野の堆積盆の構造

THE STUDY ON MANAGEMENT OF GROUNDWATER AND LAND SUBSIDENCE
IN THE BANGKOK METROPOLITAN AREA AND ITS VICINITY

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)

KOKUSAI KOGYO CO., LTD.



LEGEND

LEGEND

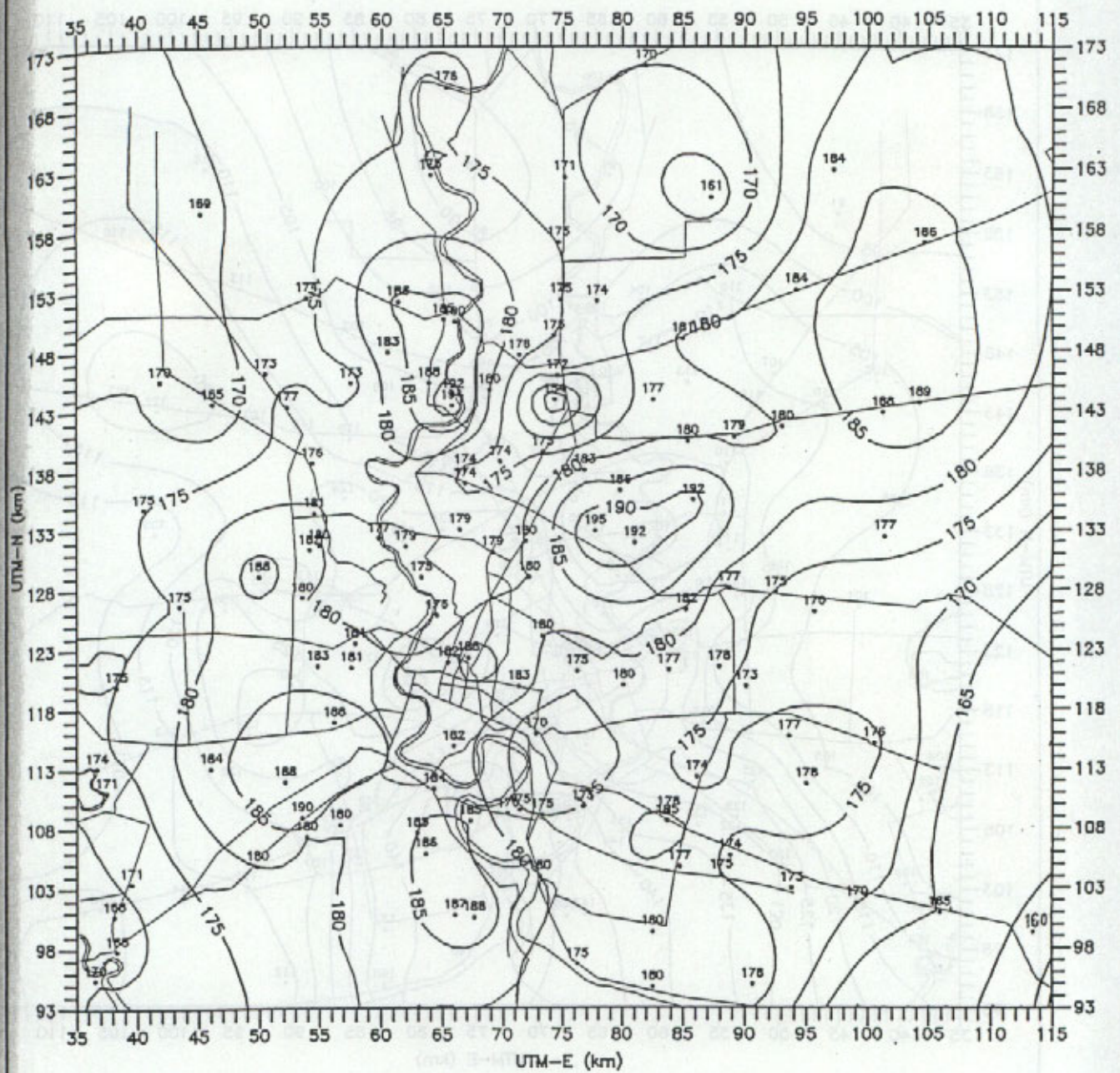
LINE OF EQUAL DEPTH TO AQUIFER BOTTOM
(m below ground surface)

INVESTIGATED WELL
WITH DEPTH TO AQUIFER BOTTOM
(m below ground surface)

LINE OF EQUAL DEPTH TO AQUIFER BOTTOM
(m below ground surface)

INVESTIGATED WELL
WITH DEPTH TO AQUIFER BOTTOM
(m below ground surface)

3.5.1	プラバダン帯水層の等深線
THE STUDY ON MANAGEMENT OF GROUNDWATER AND LAND SUBSIDENCE IN THE BANGKOK METROPOLITAN AREA AND ITS VICINITY	
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)	KOKUSAI KOGYO CO., LTD.



LEGEND

LEGEND

LINE OF EQUAL DEPTH TO AQUIFER BOTTOM
(m below ground surface)

INVESTIGATED WELL
WITH DEPTH TO AQUIFER BOTTOM
(m below ground surface)

—— LINE OF EQUAL DEPTH TO AQUIFER BOTTOM
(m below ground surface)

• 120 INVESTIGATED WELL
WITH DEPTH TO AQUIFER BOTTOM
(m below ground surface)

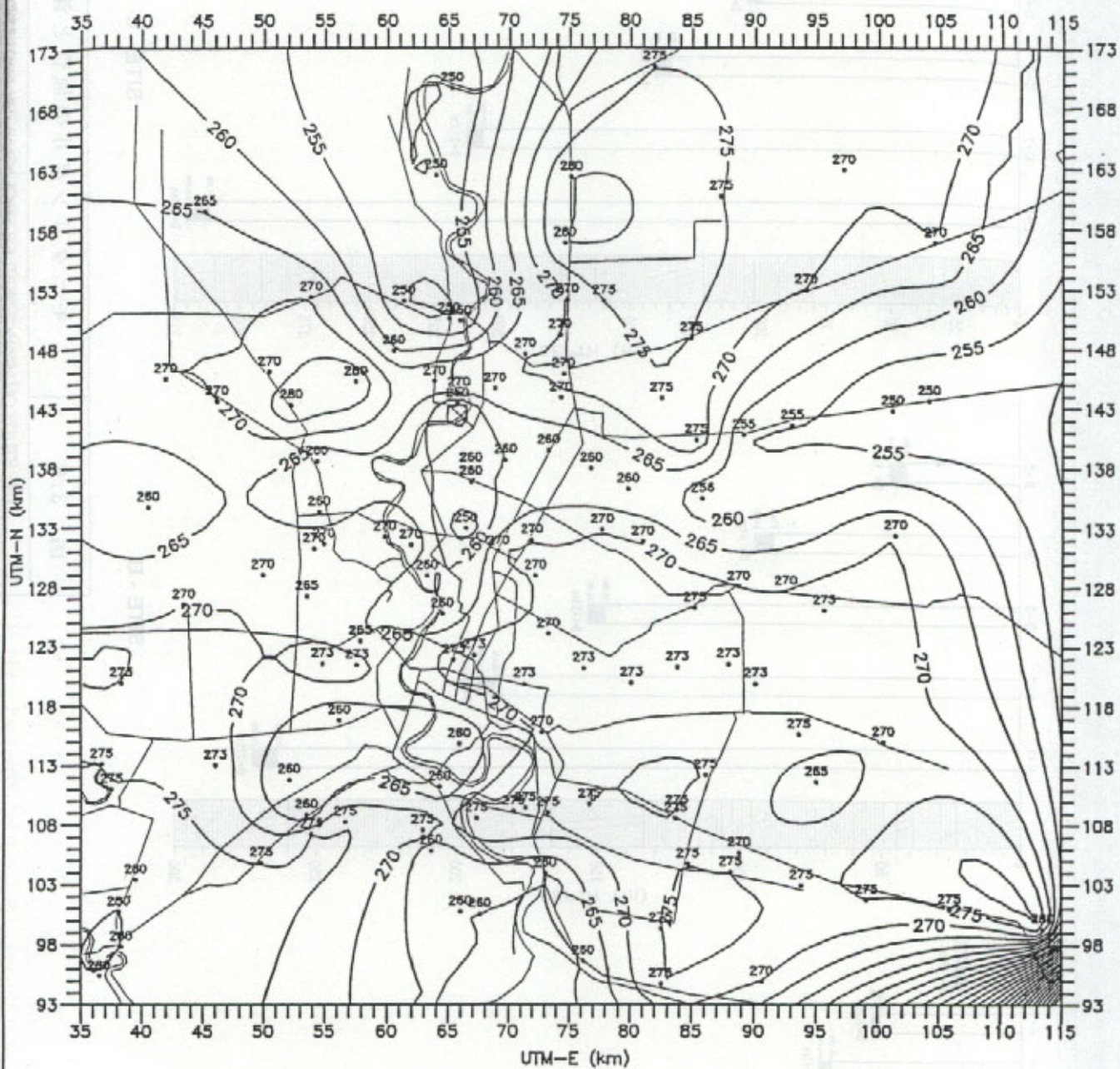
図 3.5.2

ナコンルアン帯水層の等深線

THE STUDY ON MANAGEMENT OF GROUNDWATER AND LAND SUBSIDENCE
IN THE BANGKOK METROPOLITAN AREA AND ITS VICINITY

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)

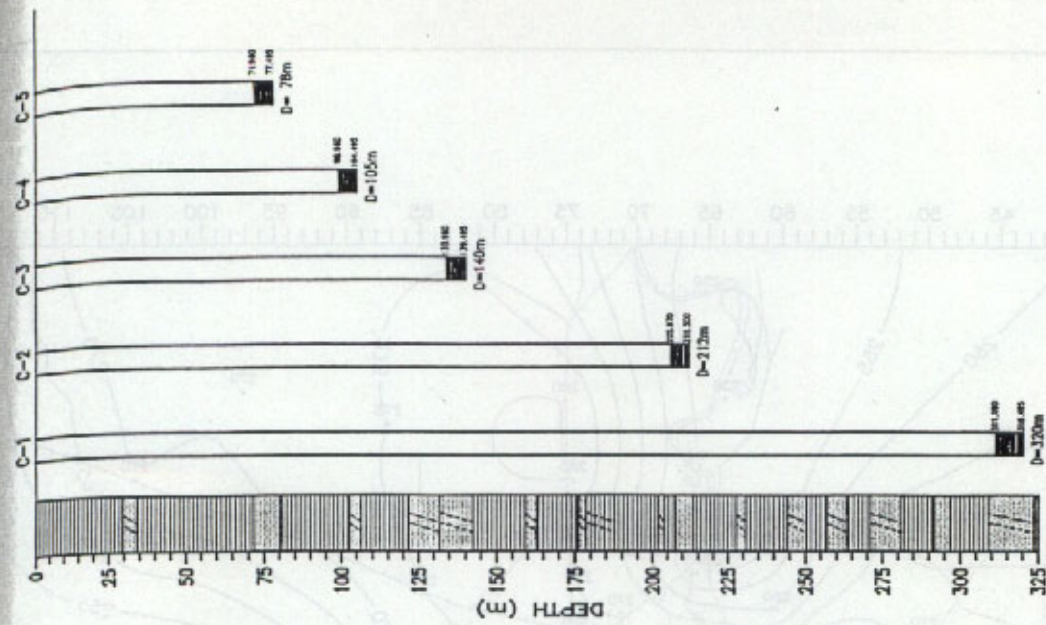
KOKUSAI KOGYO CO., LTD.



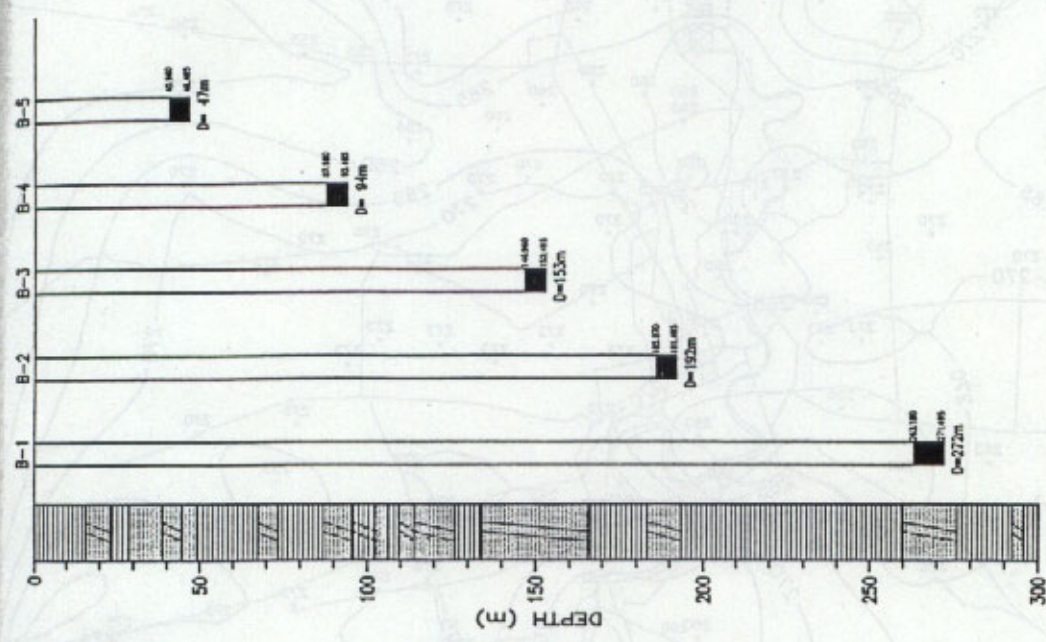
LEGEND

- LINE OF EQUAL DEPTH TO AQUIFER BOTTOM
(m below ground surface)
- 120 INVESTIGATED WELL
WITH DEPTH TO AQUIFER BOTTOM
(m below ground surface)

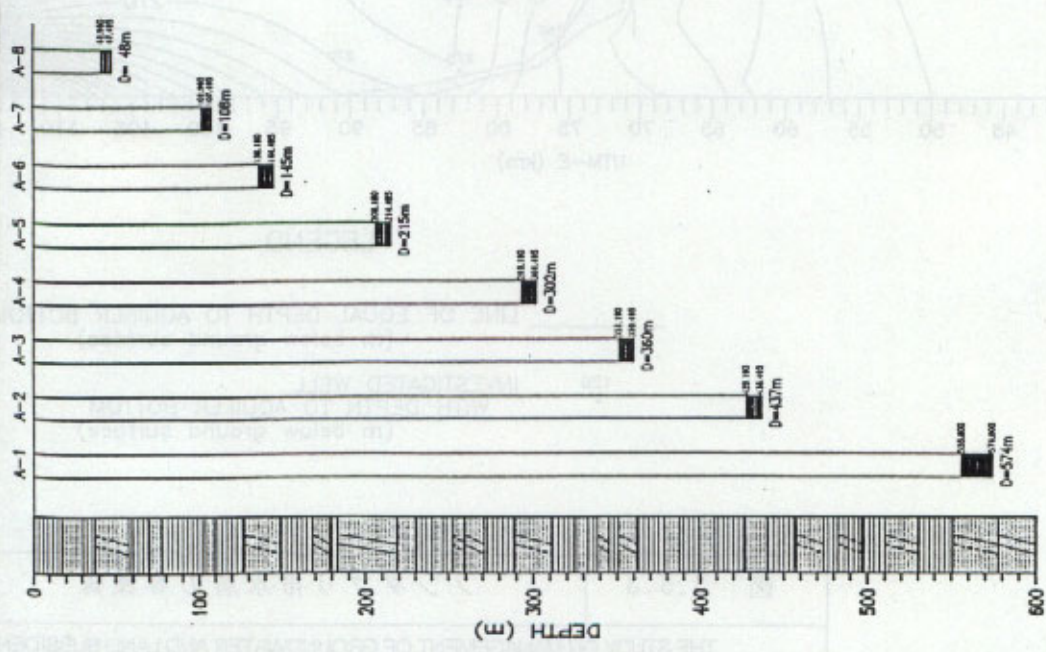
☒ 3.5.3	ノンタブリ帯水層の等深線
THE STUDY ON MANAGEMENT OF GROUNDWATER AND LAND SUBSIDENCE IN THE BANGKOK METROPOLITAN AREA AND ITS VICINITY	
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)	KOKUSAI KOGYO CO., LTD.



SITE - C



SITE - B



SITE - A

図 3.6

モニタリング井の地質と深度

THE STUDY ON MANAGEMENT OF GROUNDWATER AND LAND SUBSIDENCE
IN THE BANGKOK METROPOLITAN AREA AND ITS VICINITY

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)

KOKUSAI KOGYO CO., LTD.

4. 地下水の水質

4. 1 DMR観測井の水質

4. 1. 1 採水方法

DMRの237本の観測井と16本の生産井から地下水を採取し、室内で分析した。信頼できる分析試料を得るため、小型水中モーターポンプを使用して井内に滞留している地下水を1-2時間かけて排水した後、帯水層から流入した新鮮な地下水を採取した。揚水中は10分毎に、地下水位、揚水量、電気伝導度、pH及び水温を測定した。

4. 1. 2 水質分布

DMR観測井はブラバダン、ナコンルアン、ノンタブリの3つの帯水層の地下水位を測定しているので、水質分布もこれらの帯水層について述べる。

4. 1. 3 トリリニアダイアグラム

水質分析結果をトリリニアダイアグラムにプロットした。ダイアグラムの菱形座標図は次の5つの領域に区分される。

- 領域I : $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 型
- 領域II : NaHCO_3 型
- 領域III : CaSO_4 または CaCl_2 型
- 領域IV : Na_2SO_4 または NaCl 型
- 領域V : 中間型

地下水は、地層での滞留時間が長くなるにつれて水質が変化し、一般に、領域II I (V) \rightarrow I \rightarrow II (V) の経路を移行していく。ブラバダン帯水層のほとんどのサンプルは、III、IV、Vの領域に分布し、I、IIの領域に分布するサンプルは少ない。ナコンルアン帯水層のサンプルもIII、IV、Vが多いがブラバダン帯水層に比べるとI、IIの領域が多い。ノンタブリ帯水層はIII、VIのグループとII、Vのグループに別れる。普通の淡水はI、II、Vの領域にあるので、IVの領域の地下水は、海水または化石水の影響を受けていると考えられる(図4.1.1-4.1.3)。

4. 1. 4 バターンダイアグラム

ブラバダン帯水層の地下水は、(Na+K)に富むグループと(Na+K)とCaがほぼ等しいグループに別れる。前者はサムットプラカんとバンコク西部に、また後者はバン

コク北部に見られる。

海岸部のナコンルアン帯水層の地下水は (Na+K) と Cl に富み、海水起源と思われる。しかし、内陸部の地下水は (Na+K) と Ca に富むので、塩水の起源は異なるように思われる。

ノンタブリ帯水層のパターンダイヤグラムは、ナコンルアン帯水層とよく似ている。塩水化の機構もほぼ同じと思われる(図4.2.1-4.2.3)。

4. 2 J I C A 観測井の水質

観測井の揚水試験の際に採取した試料を分析した結果を、表4.1及び図4.3に示す。バンコク帯水層の地下水は塩分濃度が極めて高く、どの地点でもトリリニアダイヤグラム上はIVまたはIIIの領域にプロットされる。ブラバダン帯水層とノンタブリ帯水層の地下水は、ラットクラバン(サイトA)とA I T(サイトB)では、IVの領域に移行しているが、サムットサコン(サイトC)では、ブラバダン帯水層の深い部分はまだVの領域にあり、ノンタブリ帯水層はIの領域にある。ナコンルアン帯水層の地下水はサムットサコンではIVに移行しているが、その他の地域ではVからIVの領域にかけて分布している。深層のサムコク、バヤタイ、バクナム帯水層はラットクラバンではIVの領域にある。しかし、サムットサコンではサムコク帯水層の地下水はまだ淡水の領域Iにある。

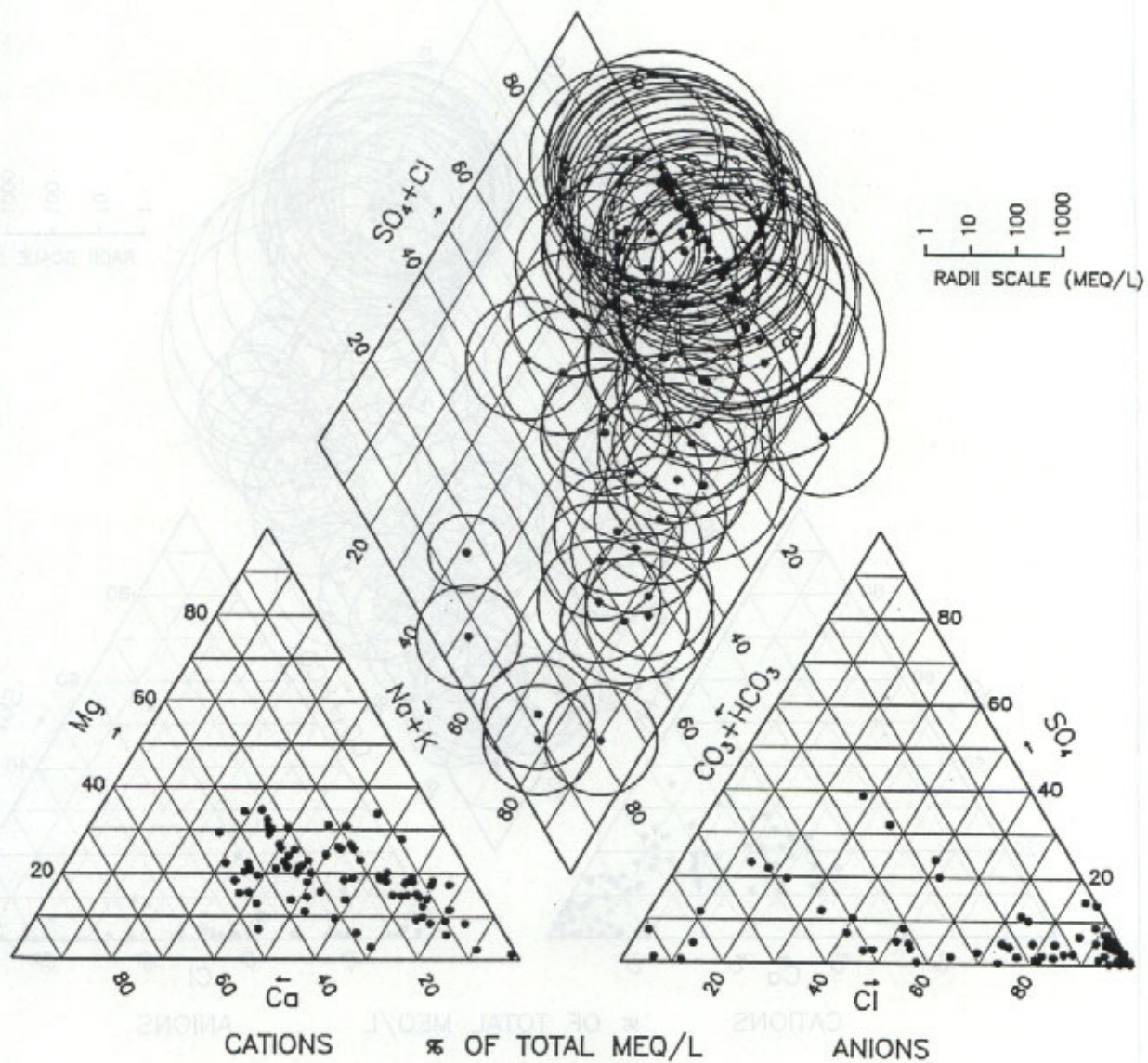
4. 3 塩水化

塩水化の範囲は、ブラバダン帯水層では調査地域の東側地域を除きほぼ全域に広がっている。一方、ナコンルアン帯水層では、サムットサコン、サムットブラカンにかけての海岸部とチャオブラヤ川右岸に広がっている。また、ノンタブリ帯水層では、チャオブラヤ川河口からサムットサコン、サムットブラカン及び内陸部のパトムタニの3地域で5,000mg/l以上の塩水化が発生している(図4.4.1-4.4.3)。

J I C A 観測井の帯水層別水質分布と併せ考察すると、調査地域の地下水の塩水化は、地下水位の低下に伴い、主として浅層のバンコク帯水層の化石塩水が下方漏水することにより発生しているものと考えられる。シャム湾の深度からみると、ブラバダンより深い帯水層が海底に露出する可能性のある地域は、チャオブラヤ河口から数百km離れている。また、バンコク帯水層以下の地層は海岸部では厚いバンコク粘土に覆われており、海水が直接帯水層に侵入する可能性は少ない。

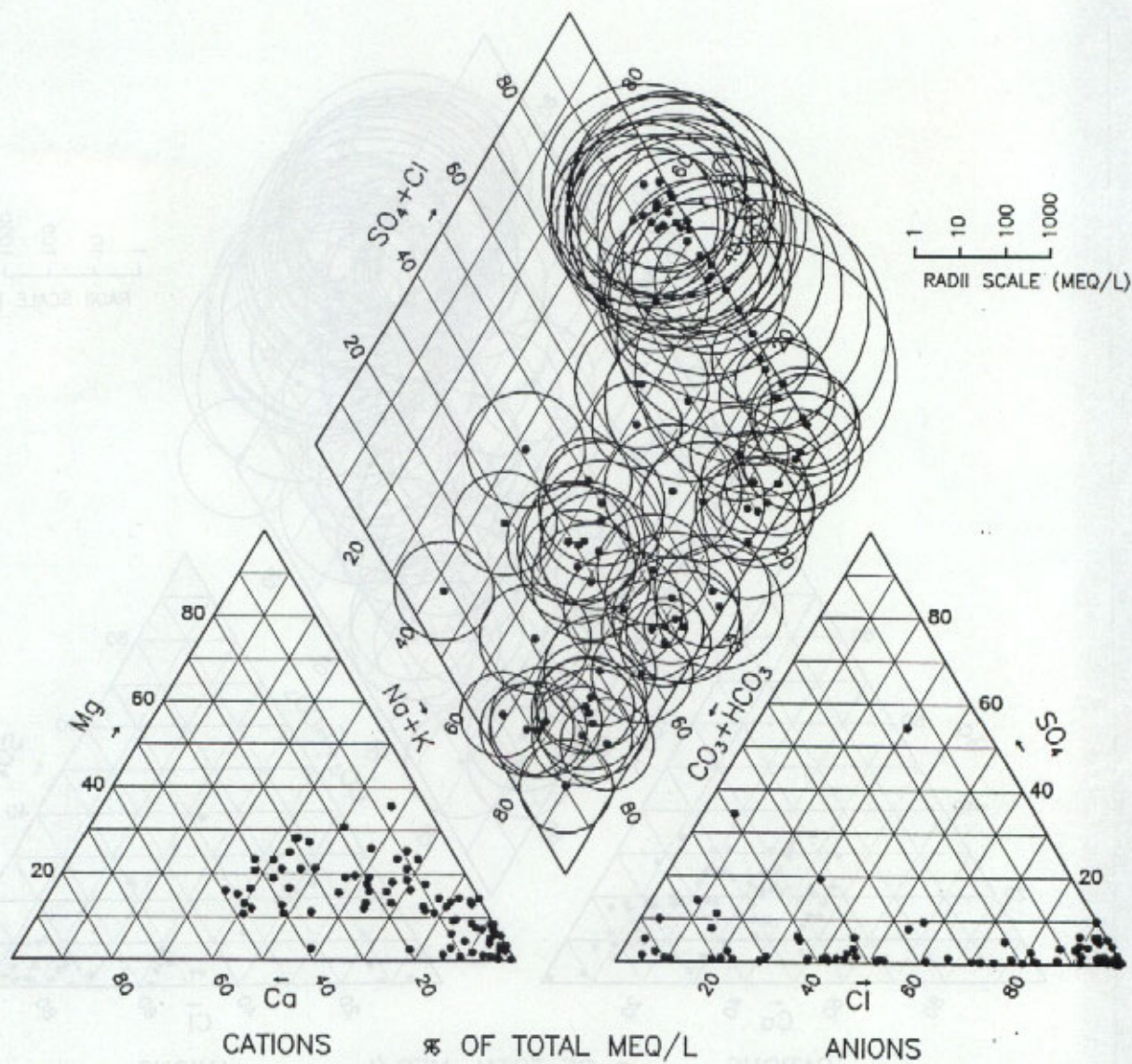
表 4.1 JICAモニタリング井地下水の水質分析結果

Well No.	A-1	A-2	A-3	A-4	A-5	A-6	A-7	A-8	A-8	B-1	B-2	B-2	B-3	B-4	B-5	C-1	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5
Well Depth (m)	574	437	215	302	215	145	106	48	272	192	192	153	84	47	320	320	212	140	105	78	
Sampling Date	20-Jul-93	27-May-93	23-May-93	29-May-93	07-Jun-93	05-Jun-93	09-Jun-93	02-Jun-93	23-Feb-93	23-Mar-93	05-May-93	23-Apr-93	29-Apr-93	29-Apr-93	15-Mar-93	08-May-93	29-Jun-93	20-Jun-93	18-Jun-93	23-Jun-93	
pH	9.04	8.45	8.13	7.86	8.57	7.65	7.55	5.87	7.88	7.71	7.60	7.64	7.59	6.35	7.50	7.34	7.45	7.89	7.89	7.48	
Temperature (deg.C)		39.0	28.0	36.0	30.6	26.7	27.9	30.0	39.0	35.0	34.4	33.3	33.3	31.7	40.0	40.5	37.7	37.6	30.8	29.1	
Electric Conductivity (us/cm)	1190	1540	975	1500	1180	749	1890	28400	981	865	783	1450	21900	477	488	488	560	1570	787	3000	
Calcium Ion (ppm)	4.20	5.15	6.34	1.30	15.92	55.40	89.30	1519.70	24.13	27.13	26.10	30.50	71.20	76.50	40.21	45.00	39.80	21.70	11.70	41.80	
Magnesium Ion (ppm)	0.79	0.27	0.31	0.03	3.10	8.76	24.21	39.75	4.43	5.49	6.06	21.36	15.06	122.60	14.18	16.19	3.95	51.49	22.00	131.45	
Sodium Ion (ppm)	22.10	552.98	134.77	177.19	414.60	323.94	202.22	1910.40	48.40	303.14	110.83	95.22	212.78	329.70	29.44	37.57	50.83	180.53	160.18	236.70	
Potassium Ion (ppm)	4.13	1.89	1.32	1.87	2.36	2.00	3.18	40.76	2.77	2.08	1.86	1.47	2.41	45.19	17.89	7.03	4.87	8.75	6.84	9.83	
Manganese Ion (ppm)	0.17	ND	ND	0.16	0.17	0.06	0.45	198.73	0.02	<0.02	0.06	0.06	0.35	1.22	<0.02	0.06	0.07	ND	<0.02	0.67	
Ammonium Ion (ppm)	0.58	ND	ND	ND	ND	ND	ND	1.74	ND	ND	0.25	0.17	0.17	1.54	ND	0.08	0.22	ND	ND	0.22	
Bicarbonate Ion (ppm)	31.70	212.30	222.00	119.60	100.00	209.50	173.20	28.10	90.30	179.30	201.30	206.20	195.40	242.20	146.40	151.28	168.40	153.70	205.00	174.50	
Sulfate Ion (ppm)	69.80	326.00	34.50	89.30	85.10	36.60	161.00	403.00	58.05	70.70	80.14	48.21	162.30	1923.00	7.24	6.33	16.00	34.30	61.40	17.84	
Iron Ion (ppm)	1.64	0.12	0.16	0.17	1.80	0.13	0.10	2.23	0.02	<0.02	0.17	0.07	0.13	8.60	ND	0.07	0.01	0.10	0.21	0.43	
Chloride Ion (ppm)	163.0	47.5	69.5	293.7	206.5	40.1	332.7	9638.4	203.0	80.7	70.3	34.2	210.4	7631.7	10.8	7.8	11.5	347.3	14.4	792.5	
Bromide Ion (ppm)	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	1.09	1.10	1.80	1.20	1.80	0.80	<0.3	1.80	1.30	<0.3	ND	ND	0.09	
Iodide Ion (ppm)	0.17	0.58	0.17	0.48	0.39	<0.1	ND	0.14	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	0.20	0.50	<0.2	<0.2	0.10	1.35	0.26	0.08	
Nitrate Ion (ppm)	12.00	0.15	1.70	2.41	0.88	1.41	0.10	14.78	<1	2.74	2.88	ND	7.73	<1	1.97	0.92	0.85	0.62	0.62	ND	
Nitrite Ion (ppm)	40.80	5.30	NIL	NIL	10.40	NIL	NIL	20.80	<8	8.90	11.80	20.90	26.10	<6	10.20	11.90	6.90	11.90	6.90	11.90	



(Water samples were collected by the Study Team in 1993.)

☒ 4.1.1	プラバダン帯水層のトリリニア- ダイアグラム
THE STUDY ON MANAGEMENT OF GROUNDWATER AND LAND SUBSIDENCE IN THE BANGKOK METROPOLITAN AREA AND ITS VICINITY	
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)	KOKUSAI KOGYO CO., LTD.



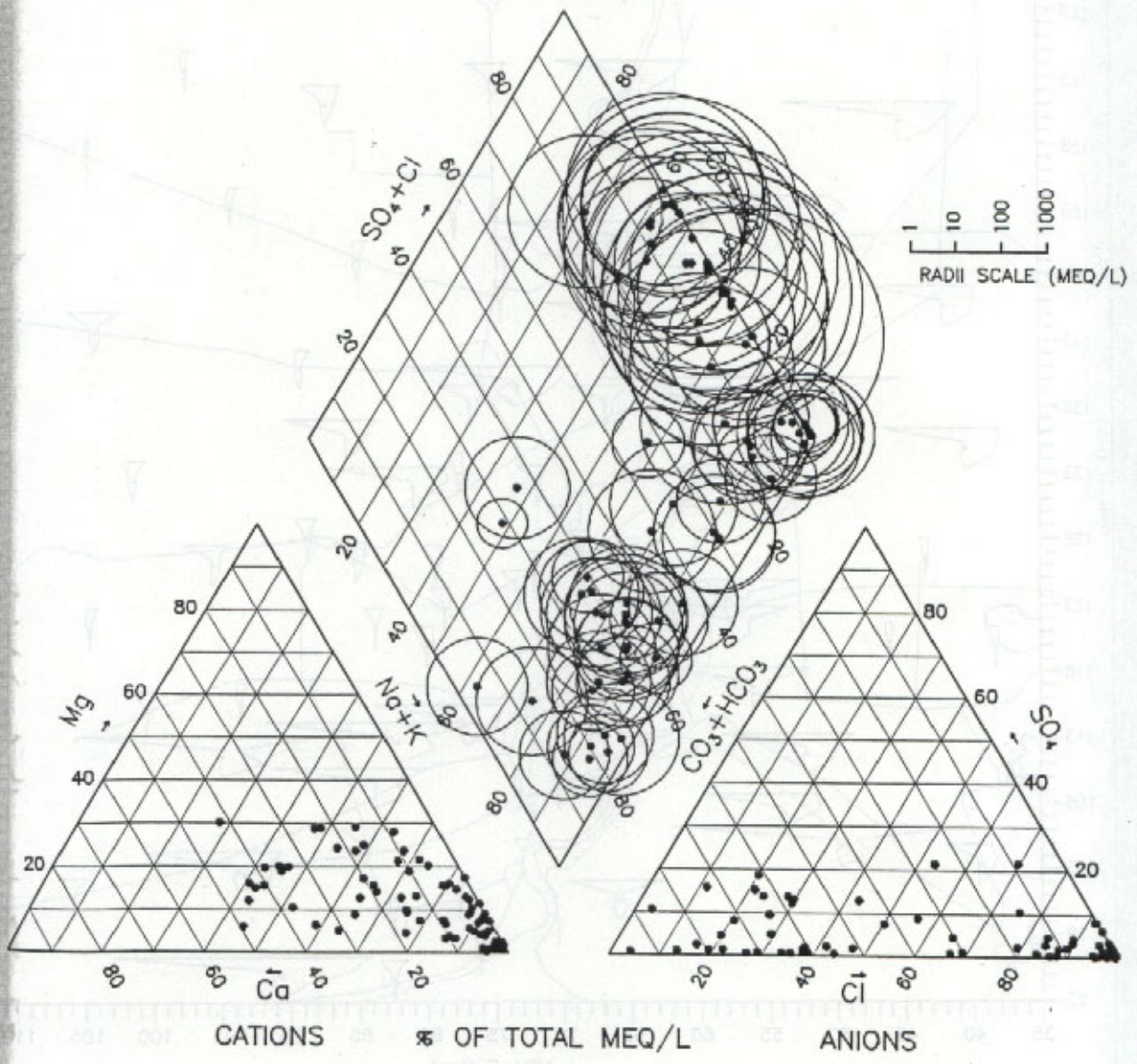
(Water samples were collected by the Study Team in 1993.)

図 4.1.2 ナコンルアン帯水層のトリリニア-ダイアグラム

THE STUDY ON MANAGEMENT OF GROUNDWATER AND LAND SUBSIDENCE IN THE BANGKOK METROPOLITAN AREA AND ITS VICINITY

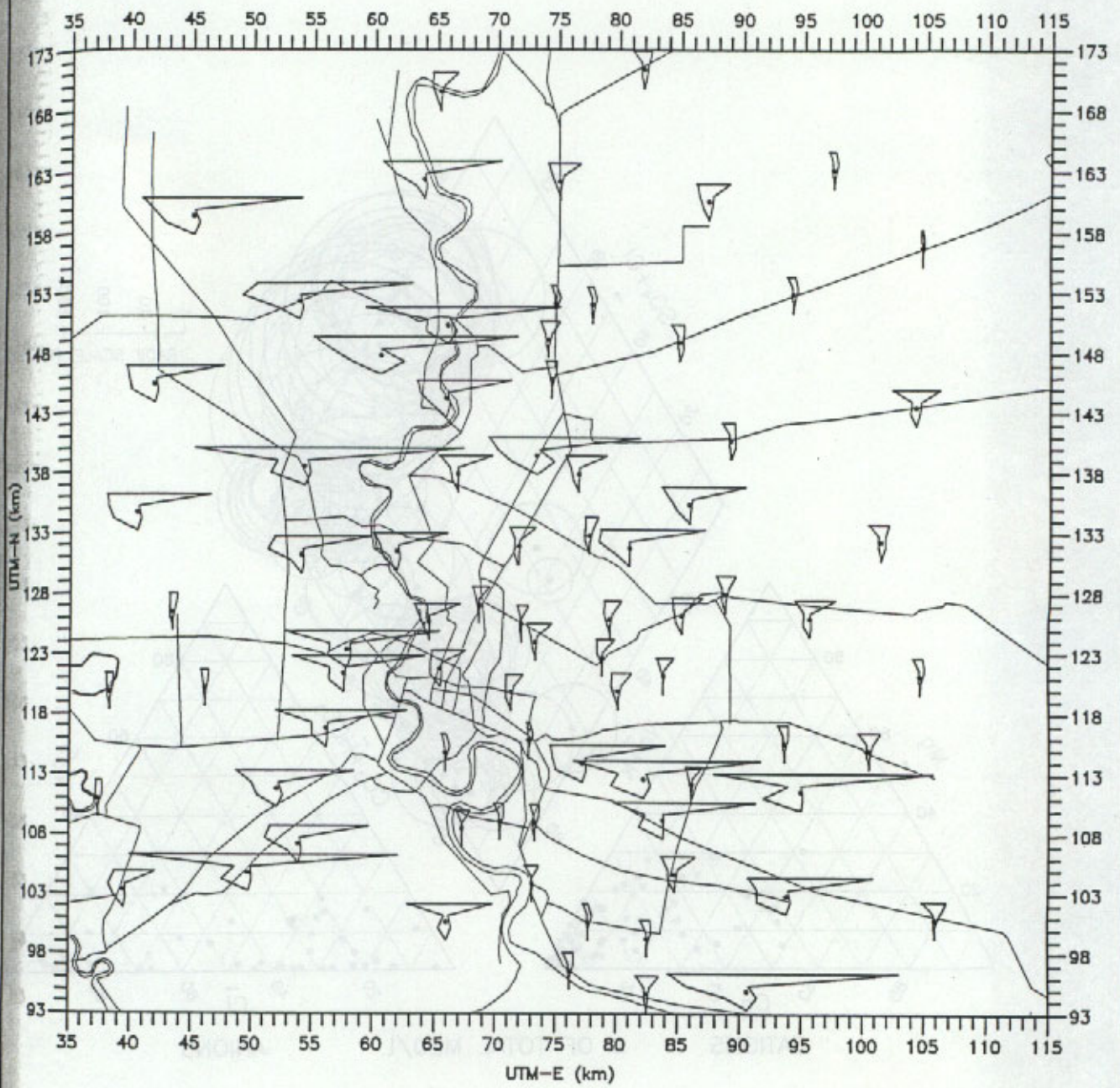
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)

KOKUSAI KOGYO CO., LTD.

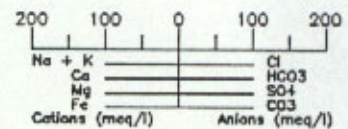


(Water samples were collected by the Study Team in 1993.)

図 4.1.3	ノンタブリ帯水層のトリリニアードイアグラム
THE STUDY ON MANAGEMENT OF GROUNDWATER AND LAND SUBSIDENCE IN THE BANGKOK METROPOLITAN AREA AND ITS VICINITY	
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)	KOKUSAI KOGYO CO., LTD.



LEGEND



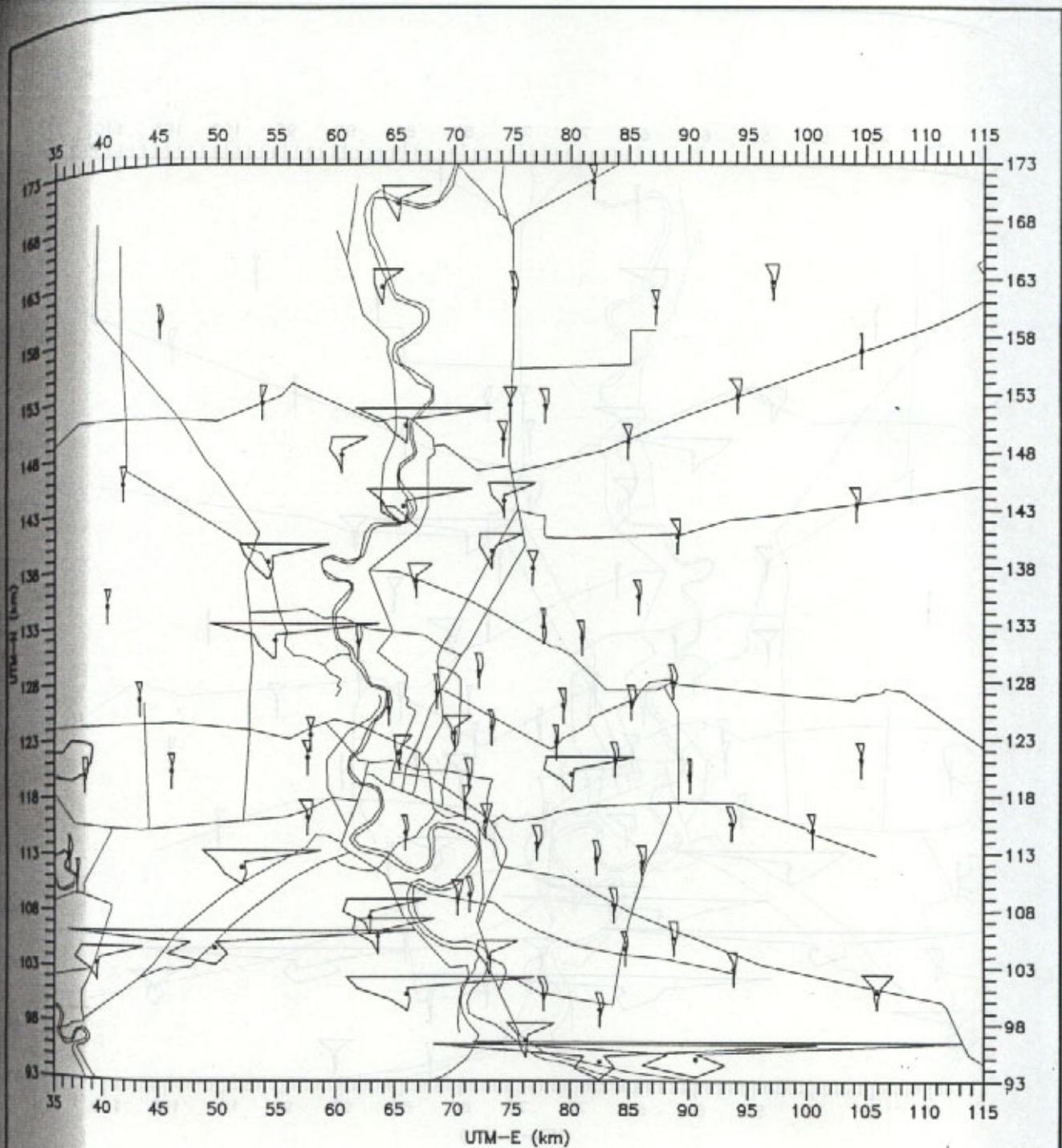
(Water samples were collected by the Study Team in 1993.)

図 4.2.1 プラバダン帯水層のパターンダイアグラム

THE STUDY ON MANAGEMENT OF GROUNDWATER AND LAND SUBSIDENCE
IN THE BANGKOK METROPOLITAN AREA AND ITS VICINITY

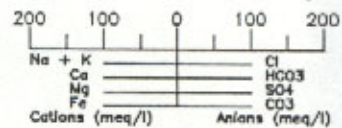
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)

KOKUSAI KOGYO CO., LTD.



LEGEND

LEGEND



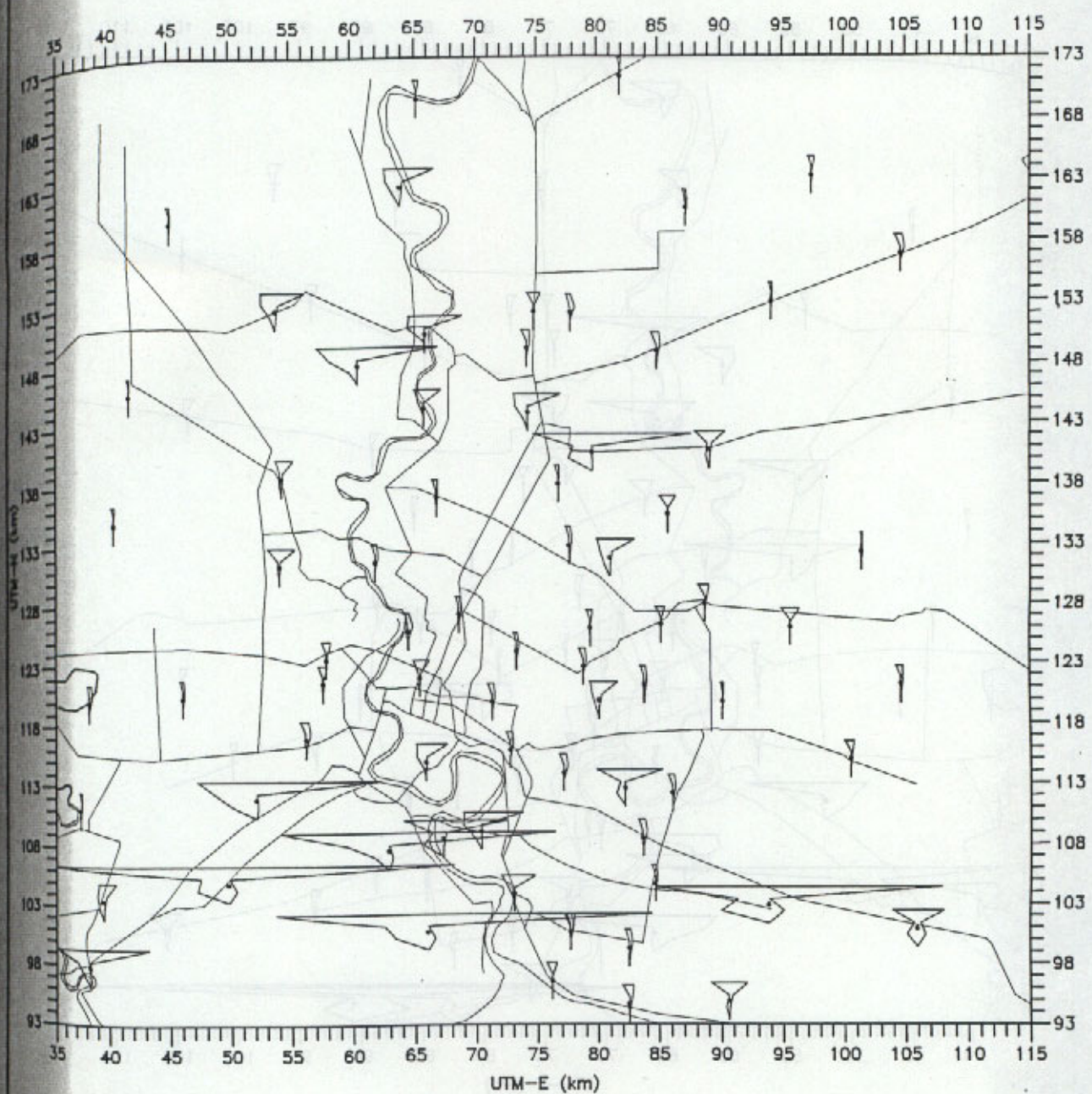
(Water samples were collected by the Study Team in 1993.)

図 4.2.2 ナコンルアン帯水層のパターンダイアグラム

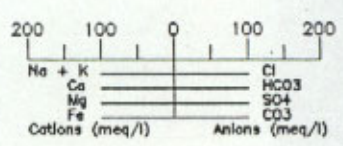
THE STUDY ON MANAGEMENT OF GROUNDWATER AND LAND SUBSIDENCE
IN THE BANGKOK METROPOLITAN AREA AND ITS VICINITY

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)

KOKUSAI KOGYO CO., LTD.



LEGEND



(Water samples were collected by the Study Team in 1993.)

図 4.2.3	ノンタブリ帯水層のバターンダイアグラム
THE STUDY ON MANAGEMENT OF GROUNDWATER AND LAND SUBSIDENCE IN THE BANGKOK METROPOLITAN AREA AND ITS VICINITY	
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)	KOKUSAI KOGYO CO., LTD.

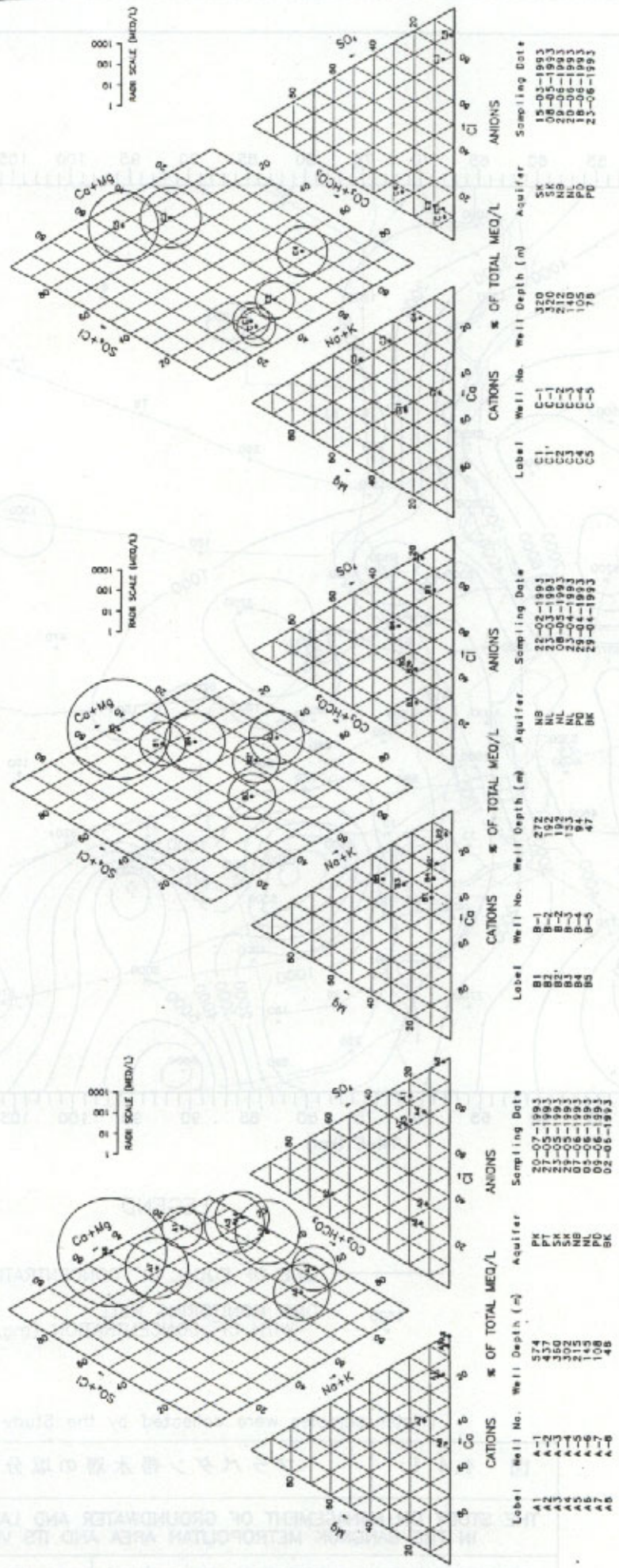
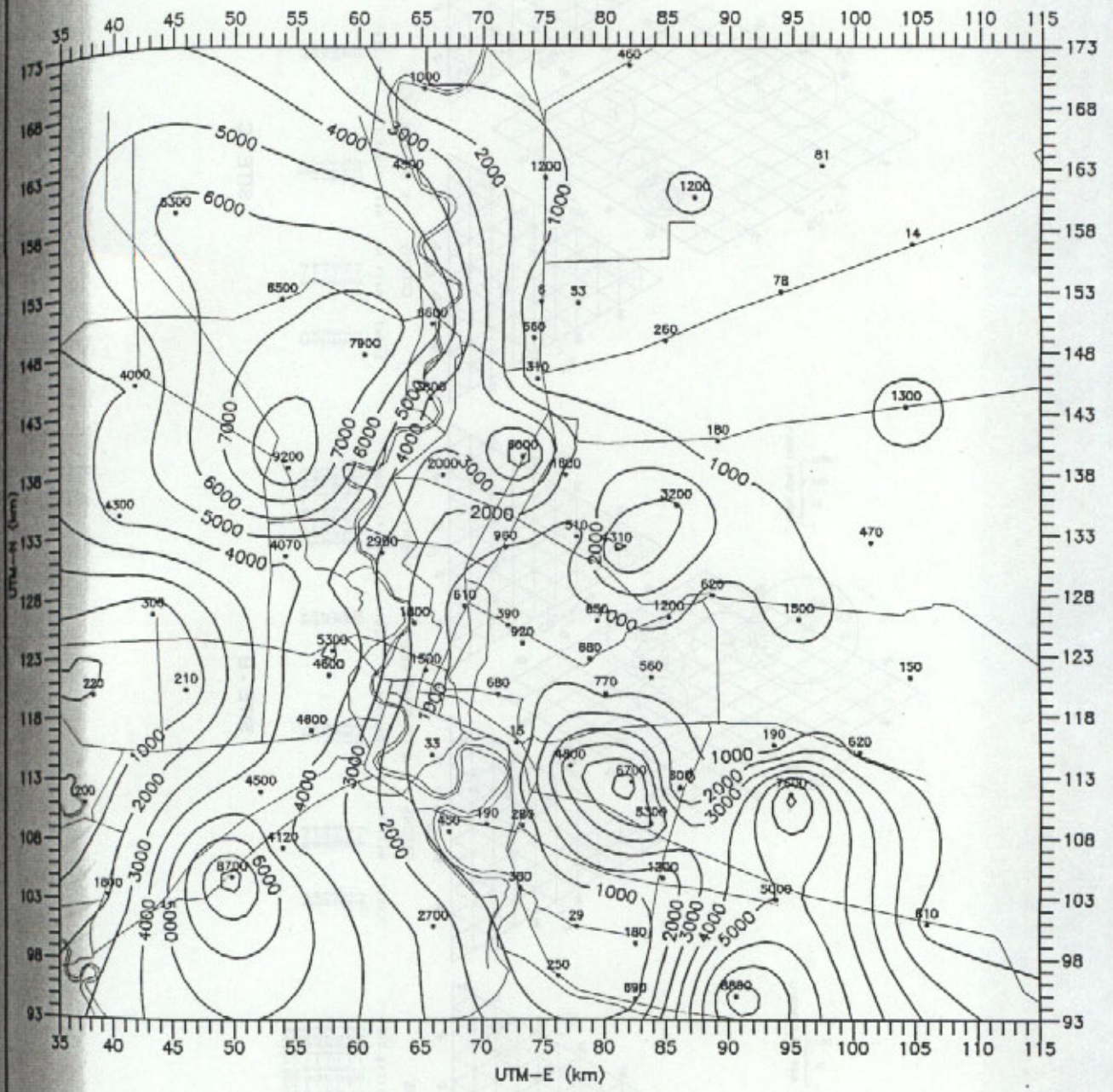


図 4.3 JICAモニタリング井地下水のトリリニアダイアグラム

THE STUDY ON MANAGEMENT OF GROUNDWATER AND LAND SUBSIDENCE IN THE BANGKOK METROPOLITAN AREA AND ITS VICINITY

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA) KOKUSAI KOGYO CO., LTD.



LEGEND

- LINE OF EQUAL Cl⁻ CONCENTRATION (mg/L)
- 1500 DMR MONITORING WELL WITH Cl⁻ CONCENTRATION (mg/L)

(Water samples were collected by the Study Team in 1993.)

図 4.4.1	プラバダン帯水層の塩分濃度分布
THE STUDY ON MANAGEMENT OF GROUNDWATER AND LAND SUBSIDENCE IN THE BANGKOK METROPOLITAN AREA AND ITS VICINITY	
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)	KOKUSAI KOGYO CO., LTD.

5. 地下水の揚水量

5.1 井戸台帳データベース

調査地域の地下水揚水量を把握するため、1992年度までにDMRに登録された民間深井戸とPWD, MWA, PWA, DOH, ARD, IEATなど政府機関により建設された公共深井戸の台帳を作成し、データベース化した。地下水の揚水量はこの井戸台帳を元に集計した。尚、データベースには井戸の所在地、所有者、用途、口径、深度、スクリーン位置、許可揚水量、地質・地下水データなど許可登録に当たって提出されたほとんど全ての情報が入力されている。

DMRに登録された民間深井戸の総数は調査地域関連の1都7県で11,222本で、このうち調査地域には10,772本がある。井戸はバンコクとサムットプラカンに多くその43%がナコンルアン帯水層から、29%がプラバタン帯水層から取水している。

DMRの井戸登録は、有効期間10年と定められているが、許可期間満了及び延長を考慮して、1992年時点で稼働中の井戸本数を推計すると4,141本である。

この4,141本の内、約51%は工業用水、34.1%が生活用水、11.2%が商業用水、3.5%が公共用水（学校、病院等）に利用されている。地域別には、工業用はサムットプラカンで最も多く、次いでサムットサコン、バンコクの順になっている。生活用水はバンコクが多く次いでサムットプラカン、バトムタニの順になっている。また、サムットサコンとノンタブリを除くと、ナコンルアン帯水層から取水する井戸が最も多い。

DMR登録外の政府関係機関の井戸は総数で1,416本あり、うち685本が調査地域内にある。1992年度に稼働していると推定される井戸は526本で地域的にはサムットプラカン、サムットサコン、バトムタニの3県が多い。また、帯水層別には、ナコンルアン帯水層が最も多く、次いでプラバタン帯水層、ノンタブリ帯水層の順となっている。

5.2 1992年揚水量の集計

井戸台帳データベースをもとに1992年における調査地域の地下水揚水量を推計すると1,481,061 m^3/day である。この内訳は、民間深井戸、1,121,305 m^3/day 、公共用井戸、359,756 m^3/day となっている（表5.1）。

民間井戸の揚水量を地域別に見ると、サムットプラカンとバンコクがそれぞれ34.1%と31.5%の高い割合を占めている。これに次いで、バトムタニとサムットサコンが大きな割合を示す。用途別に見ると、サムットプラカン、バンコク、サムット

サコンでは工業用水の割合が高い。また、バンコクは生活用水、商業用水の割合が他県よりも大きい。

公共用井戸の揚水量は地域別に見るとバンコクが最も多く、その揚水量の大部分はMWAにより占められている。バンコクに次いで、サムットプラカンとサムットサコンが大きな割合を占めているが、これらの県ではMWA, PWA, IEATなどの揚水量が多い。

全体揚水量：1,481,061m³/dayの内訳を用途別に見ると、生活用水：550,723m³/day、公共用水：47,944m³/day、商業用水：77,036m³/day、工業用水：805,358m³/dayとなっており、生活用水と工業用水がそれぞれ37.2%と54.4%を占めている(図5.1)。

地下水揚水量が集中している郡は、サムットプラカン、プラバダン、クロンルアン、バンブリの4郡で、その合計揚水量は459,304m³/dayで全体揚水量の31%を占めている。

5.3 経年揚水量

民間用深井戸の経年変化を、DMRへの登録から推計すると、調査地域全体では1983年の630,620m³/dayから1992年の1,121,305m³/dayへ177.8%増加した。1987年以前の増加率は、5%以下に抑制されていたが、1987年以降のタイ国経済のブームで増加率は7.5%に上昇した。地域別に見ると規制によりバンコクの増加率が最も低く131%であるが他県はすべて150%以上になっている。

公共用井戸では、規制によりMWAは1983年から1990年まで深井戸廃止プログラムを進めてきたため、全体的には減少している。しかし、MWAの記録によると1991年から1993年にかけて地下水揚水量が再び上昇している。

民間用と公共用深井戸を合わせた地下水揚水量は、調査地域全体で1983年の1,170,280 m³/dayから1992年の1,481,061 m³/dayへ132.6%増加した(表5.2)。

割合
部分
量が
3/d
3/d
る(図
ルア
を占
198
7年
ム最
ムを
1年か
1,1

表5.1 調査地域の1992年揚水量の果別内訳

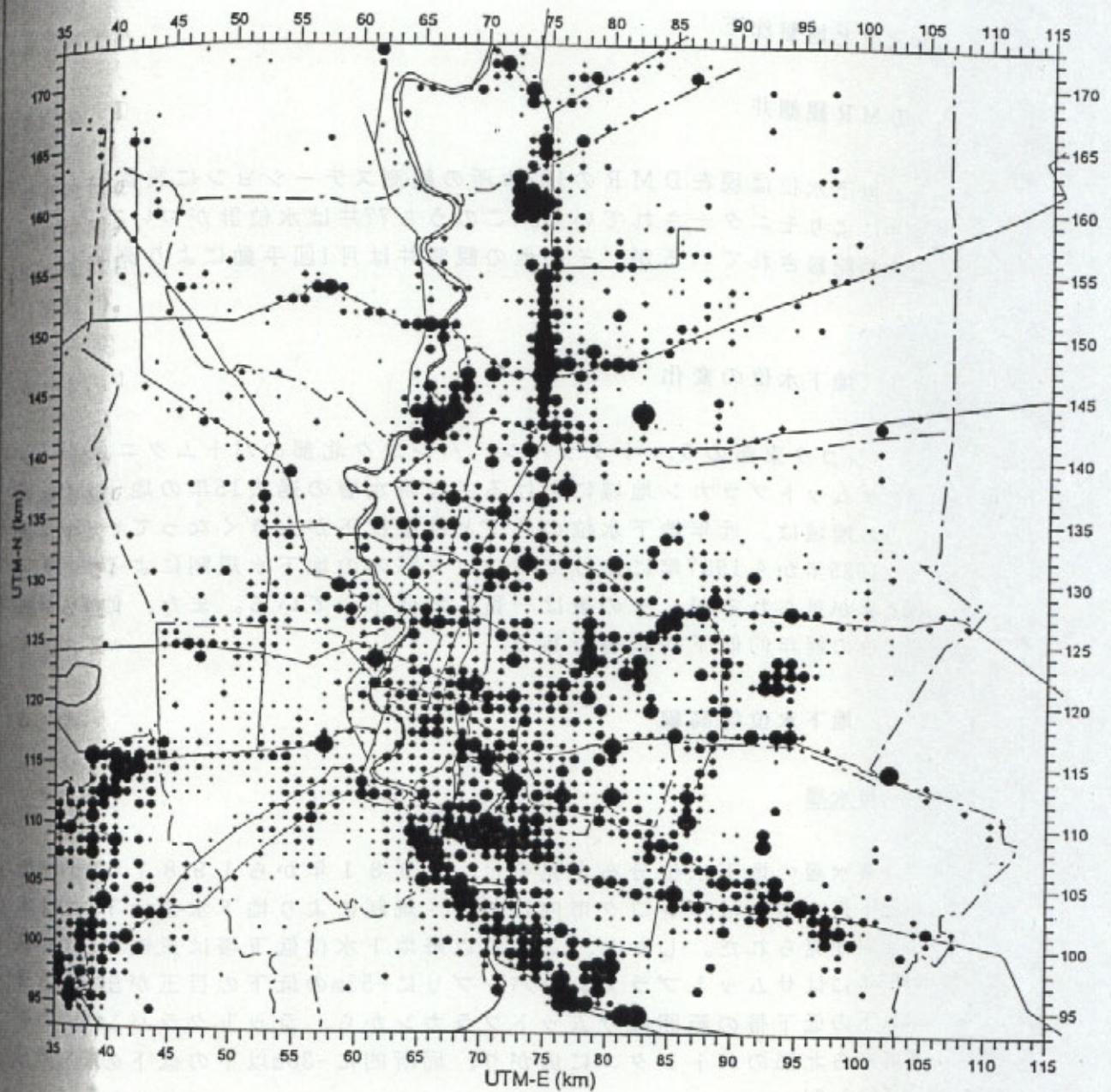
Changwat	Type of User	Private Total	DMR	PWD	MWA	PWA	DOH	ARD	IEAT	Public Total	Combined Total
Bangkok	Domestic	141,628	2,516	4,110	79,937	0	0	0	0	86,563	228,191
	Institutional	34,318								0	34,318
	Commercial	42,867								0	42,867
	Industrial	134,755	2,516	4,110	79,937	0	0	0	18,476	18,476	153,231
	TOTAL	353,568	750	20,300	5,197	0	0	0	18,476	105,039	458,607
Nonthaburi	Domestic	22,542								26,247	48,789
	Institutional	2,211								0	2,211
	Commercial	2,270								0	2,270
	Industrial	16,186	750	20,300	5,197	0	0	0	0	0	18,186
	TOTAL	43,209	750	20,300	5,197	0	0	0	0	26,247	69,456
Pathum Thani	Domestic	41,902	2,391	19,765	0	19,487	0	0		41,643	83,545
	Institutional	5,373								0	5,373
	Commercial	12,431								0	12,431
	Industrial	157,355	2,391	19,765	0	19,487	0	0	28,600	28,600	185,955
	TOTAL	217,061	2,699	33,945	20,892	0	0	0	28,600	70,243	287,304
Samut Prakan	Domestic	47,020	2,699	33,945	20,892	0	0	0	0	57,536	104,556
	Institutional	4,300								0	4,300
	Commercial	13,256								0	13,256
	Industrial	322,734	2,699	33,945	20,892	0	0	0	29,127	29,127	351,861
	TOTAL	387,310	459	43,510	0	9,871	0	0	29,127	86,663	473,973
Samut Sakhon	Domestic	10,609								53,840	64,449
	Institutional	1,676								0	1,676
	Commercial	4,550								0	4,550
	Industrial	83,556	459	43,510	0	9,871	0	0	0	0	83,556
	TOTAL	100,391	459	43,510	0	9,871	0	0	0	53,840	154,231
Ayutthaya	Domestic	3,869	3,375	10,810	0	956	0	118		15,259	19,128
	Institutional	66								0	66
	Commercial	1,662								0	1,662
	Industrial	14,189	3,375	10,810	0	956	0	118	400	400	14,569
	TOTAL	19,766	1,632	10,810	0	211	0	0	400	15,659	35,425
Nakhon Pathom	Domestic	1632								1,979	1,979
	Institutional									0	0
	Commercial									0	0
	Industrial		1,632	0	0	211	136	0	0	0	0
	TOTAL	0	1,632	0	0	211	136	0	0	1,979	1,979
Chachoengsao	Domestic	86								86	86
	Institutional									0	0
	Commercial									0	0
	Industrial									0	0
	TOTAL	0	86	0	0	0	0	0	0	86	86
Study Area	Domestic	267,570	13,908	132,440	106,026	30,525	136	118	0	283,153	550,723
	Institutional	47,944								0	47,944
	Commercial	77,036								0	77,036
	Industrial	728,755								0	728,755
	TOTAL	1,121,305	13,908	132,440	106,026	30,525	136	118	0	283,153	1,404,458

Note: No private well was inventoried in Nakhon Pathom and Chachoengsao.
UNITS: PUMPAGE IN CUBIC METERS PER DAY (CMD)

表 5.2 調査地域の経年揚水量推定(1983-1992)

Changwat	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992
Bangkok	595,922	566,263	540,192	491,247	504,187	483,409	439,486	409,567	435,201	458,729
Nonhaburi	81,191	88,060	77,369	46,210	49,296	52,163	56,427	62,422	66,940	69,729
Pathum Thani	96,888	105,918	115,955	125,360	137,731	159,293	196,442	223,842	263,734	269,979
Samut Prakan	269,940	308,389	327,221	330,583	353,731	368,664	382,223	421,692	460,615	474,118
Samut Sakhon	89,145	104,795	117,434	129,061	144,421	156,876	172,497	186,303	205,009	220,611
Ayutthaya	121,149	133,866	139,696	154,469	173,394	185,921	195,609	208,334	238,179	249,583
Nakhon Pathom	22,568	23,294	23,282	24,457	24,036	24,206	25,988	27,554	29,096	31,478
Chachoengsao	697	992	1,387	2,171	2,545	2,901	3,092	3,787	4,559	5,367
WHOLE AREA	1,277,499	1,331,597	1,342,536	1,303,567	1,389,340	1,433,434	1,471,765	1,543,501	1,703,334	1,799,596
Bangkok	595,799	566,160	540,069	491,124	504,065	483,286	439,362	409,445	435,078	458,607
Nonhaburi	80,918	87,788	77,096	45,936	49,022	51,889	56,153	62,149	66,667	69,456
Pathum Thani	96,824	105,918	115,955	125,360	137,675	159,238	196,156	223,083	261,849	287,304
Samut Prakan	269,938	308,388	326,219	330,581	353,728	368,661	382,170	421,638	460,560	473,973
Samut Sakhon	61,470	69,234	77,246	85,377	94,516	102,518	115,533	128,542	144,165	154,231
Ayutthaya	10,717	12,182	14,470	17,250	17,167	18,475	21,743	25,950	32,042	35,425
Nakhon Pathom	1,362	1,362	1,471	1,638	1,629	1,624	1,624	1,756	1,863	1,979
Chachoengsao	0	5	66	66	66	66	77	77	86	86
STUDY AREA	1,117,028	1,151,037	1,152,592	1,097,332	1,157,868	1,185,757	1,212,816	1,272,640	1,402,310	1,481,061

UNITS: PUMPAGE IN CUBIC METERS PER DAY (CMD)



LEGEND

Groundwater Pumpage (m^3 /day)
per 1km x 1km grid

- 1 to 99
- 100 to 499
- 500 to 999
- 1,000 to 1,999
- 2,000 to 4,999
- 5,000 to 9,999
- More than 10,000

Total Pumpage in Study Area in 1992 = 1,481,061 m^3 /day

図 5.1	調査地域の1992年揚水量分布
THE STUDY ON MANAGEMENT OF GROUNDWATER AND LAND SUBSIDENCE IN THE BANGKOK METROPOLITAN AREA AND ITS VICINITY	
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)	KOKUSAI KOGYO CO., LTD.

6. 地下水位と地盤沈下

6.1 DMR観測井

調査地域の地下水位は現在DMRの103カ所の観測ステーションに設置された258本の観測井によりモニターされている。このうち77井は水位計がついており、地下水位は自動記録されているが、その他の観測井は月1回手動により測定している。(図6.1)。

6.1.1 地下水位の変化

図6.2に、バンコク東部のラットクラバン、バンコク北部のパトムタニ及びバンコク西部のサムットプラカン地域における主な帯水層の過去15年の地下水位変化を示す。この地域は、近年地下水位の低下と地盤沈下が大きくなっている。パトムタニでは1985年から1987年にかけてバンコク都内の地下水規制による影響で、地下水位上昇が見られるが、その後は一貫して低下している。また、他の2地域でも地下水位の経年的低下が顕著である。

6.2.2 地下水位等高線

ブラバダン帯水層

ブラバダン帯水層の地下水位分布を見ると、1981年から1987年までは地下水位の低下帯の中心はバンコク市内にあり、規制により地下水位低下の範囲は縮小する傾向が見られた。しかし、この年以降地下水位低下帯は東側に拡大して行き、1993年にはサムットプラカンのバンプリに-53mの低下の目玉が出現している。-20m以下の低下帯の範囲はサムットプラカンから、ラットクラバンを経てバンコク東北から北部のパトムタニに広がり、局所的に-30m以下の低下の目玉が現れている(図6.3)。

ナコンルアン帯水層

ナコンルアン帯水層の地下水位は1980年代の初めはバンコク中心部で-45m-50mに低下し、低下範囲も東部のラットクラバン地域まで広域に広がっていた。低下の中心部は年とともに東へ移動し、1994年の地下水位等高線を見ると、ラットクラバン地域の-60mの目玉を中心に南北にのびる楕円状の低下帯が現れている。バンコク中心部は現在この楕円状低下帯の西端に位置し、地下水位は-30mから35mを示している(図6.4)。

パトムタニ帯水層

ノンタブリ帯水層の地下水位分布も上記の2つの帯水層と同様な分布傾向を示している。1980年から1984年頃はバンコク中心部よりやや東側にあった低下の目玉は、次第に東側に移動して、1994年にはバトムタニ、サムットサコン、サムットブラカンを含めた広い範囲で、-40mから-50mの低下帯が現れている（図6.5）。

6. 2 JICA観測井

ラットクラバン（サイトA）、A I T（サイトB）及びサムットサコン（サイトC）に建設したモニタリングステーションでは1993年7月から地下水位と地盤沈下を観測している。これらの地盤沈下観測井は、各帯水層の地下水位と層別沈下量を測定できる。測定記録は連続的にチャートに記録されると同時に、1時間毎のデータが磁気カードに収録される。1カ月に1回回収された磁気カードと記録紙はD M Rに持ち帰り、整理・解析される。

6. 2. 1 ラットクラバン（サイトA）

地下水位は、A-6（ナコンルアン帯水層）で最も低く、1994年7月には-63mを示した。観測開始以来の低下量は1年間で約5mである。これに次いで、A-5（ノンタブリ帯水層）、A-7（プラバダン帯水層）の水位が低く、ともに-50m以下になっている。深層のA-2, 3, 4（パヤタイ、サムコク、サムコク帯水層）の地下水位は浅層の帯水層より高く、-20mから-27mである。また、最も深いA-1（バクナム帯水層）の水位は地表面標高（約0.4m）と同じで、軽微な自噴状態にある。

地盤沈下量は観測開始後1年で、A-2観測井（深度437m）では約6.5cmを記録した。この値は、盛り土の圧密沈下量を考慮して評価しなければならないが、概ね近傍の水準点の沈下量と同じである。深度別に沈下量をみると、最も深い観測井が必ずしも最大沈下量を記録していない。これは、観測井地点毎の地質や盛り土の微妙な差異が現れたものと考えられる。しかし、大まかに見て、A-8観測井（深度48m）の沈下量を、バンコク粘土層を含めた浅層沈下量とすると、それは全体沈下量の約40%をしめ、残りの60%はそれより深層で発生していることになる（図6.6）。

6. 2. 2 A I T（サイトB）

地下水位はB-1（ノンタブリ帯水層）、B-2及びB-3（ともにナコンルアン帯水層）、B-4（プラバダン帯水層）、B-5（バンコク帯水層）の順に高くなる。B-1では-37m、またB-2, B-3では-32mに低下している。B-2, B-3では1日周期と1週間周期の地下水変動が観察される。これは、近傍の工

業用井戸の影響と思われる。

地盤沈下量は小さく、最大値でも観測開始以来1.1cmを示すに過ぎない。しかも、1994年5月以降リバウンドの傾向がある。1日の周期で規則正しく収縮と膨張を繰り返しているが、これは地下水位の変動に対応している（図6.7）。

6. 2. 3 サムットサコン（サイトC）

地下水位はC-2（ノントブリ帯水層）、C-3（ナコンルアン帯水層）の順に低く、それぞれ-71mと-53mを示している（1994年7月）。これらの地下水は、周辺の工業用井戸の影響を受け日変動、週変動が規則正しく現れている。浅層のC-4、C-5（ともにプラバダン帯水層）と最も深いC-1（サムコク帯水層）の地下水位は-17mから-29mで、日変動や週変動は現れていない。

地盤沈下はC-2（212m）で、1年間に12.6cmを示している。最も小さい値を示すC-4（105m）で約10cmである。最も深い観測井のC-1（320m）の沈下量は、約12cmである。また、最も浅い観測井のC-5（78m）は、10.6cmを示している。このことから、沈下の大部分は浅層で発生していると推察される。また、この観測ステーションは低湿地にあり、建設時に盛り土をしているので、これの圧密沈下を考慮しながら、今後の沈下をモニターしていく必要がある（図6.8）。

6. 2. 4 水準点

各観測ステーションの地表面沈下量を測定するため、水準点を設置した。地表面の沈下と表層数mの沈下を把握するため、水準点の基礎をそれぞれ、地表面下約1.0mに置いたものと、さらにその下に長さ3.0mのパイルを打ち込んだものとの、2種類の水準点を作成した。これらの、水準点の標高は、周辺のDMR水準点を出発点として1級水準測量を行い決定した。水準測量は1993年7月及び1994年6月の2回実施した。基準となるDMR水準点の1994年の測量結果が公表されていないので、1年間の水準測量結果の比較は今後の課題である。

6. 2. 5 間隙水圧測定

ラットクラバン（サイトA）において、深度50mまでに5箇所、間隙水圧計を埋設して粘土層の間隙水圧を測定（月1回）している。間隙水圧は深度15mまで、ほぼ静水圧分布であるが、それ以深では静水圧よりも低く、深度25mと34mではそれぞれ0.8kgf/cm²と1.8kgf/cm²程度の値を示している。

6. 3 DMR及びRTSD水準点

向を示し
下の目玉
サムット
6.5)。

(サイト
地盤沈下
別沈下量
間毎のデ
録紙はD

-63mを示
-5 (ノン
0m以下に
水層)の
いA-1
状態にあ

を記録した。
概ね近傍
測井があり
土の観測井
は全体沈
る(図6.

ンルアン
順に高く
B-2,
近傍の工

調査地域にはDMR, RTSD, BMAほか関係機関により設置された水準点の総数は1,243箇所にのぼる(1992年)。これらの、水準点の中には破壊されたものや失われたものが含まれている(図6.9)。測量の基準日は関係機関で統一されておらず、測量回数もまちまちである。ここでは、RTSDとDMRの測量にもとずき地盤沈下状況を見てみる。

6. 3. 1 主な水準点の沈下量

バンコク中心部のAIT-14のCI-1(深度1m)水準点の沈下量は1980年から1993年の13年間で648.4mmに達している。また、チュラロンコン大学構内のAIT-08のCI-1水準点は13年間で225mmである。バンコク北部のバトムタニのAIT-25では、1986年以降8年間で75mmを示すが、1990年と1993年にリバウンドしている(図6.10)。

6. 3. 2 累積沈下量分布

図6.11に1980年から1992年までの12年間の累積沈下量分布(深度1m)を示す。沈下の目玉はバンコク市内にありその累積沈下量は62.6cmに達している。沈下地帯はこの目玉を中心にバンコク東部を南北に広がり、調査地域のほぼ全域が10cm以上沈下している。1986年以前と以降とに分けて沈下量分布を見ると、1986年以前はバンコク市内に沈下の目玉がある。しかし、1986年以降はサムットブラカンやラットクラバンなどバンコク東南部から東部の沈下量が6年間で20cm-25cmと大きいものに対して、バンコク市内は15cm以下になっている。

6. 3. 3 年間沈下量分布

図6.12に1992年から1993年の年間沈下量分布を示す。サムットブラカン、サムットサコン、バンコク東部、バトムタニでは年間沈下量は3cm以上で、局所的に4-5cmの沈下の目玉が発生している。これに対して、バンコク市内中心部では年間沈下量は1-2cmで、チャオプラヤ川沿いでは1cm以下である。

LEGEND

- Location of ICA monitoring station
- Location of DMR monitoring station with station ID

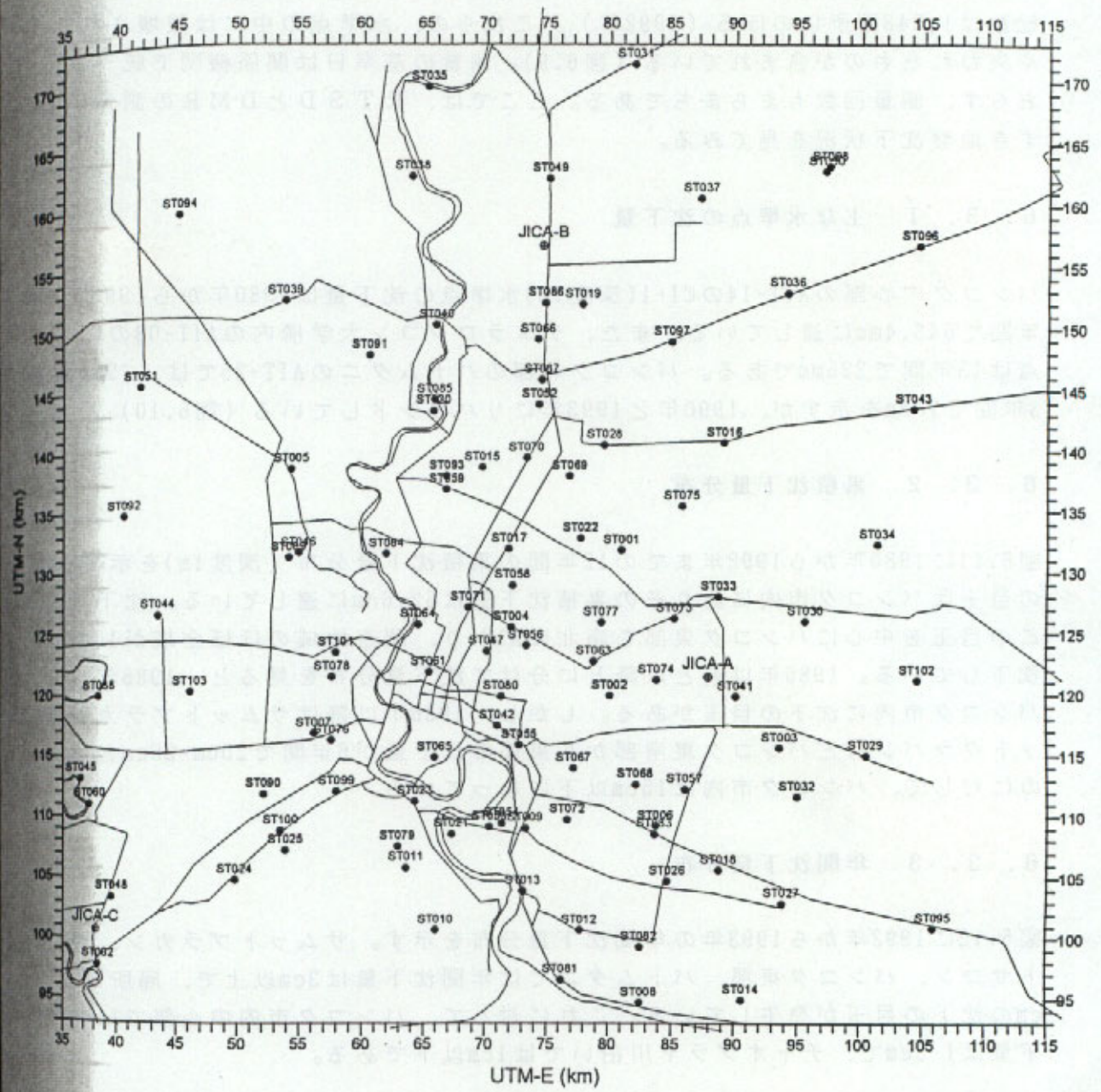
図 6.11	1980年～1992年の累積沈下量分布(深度1m)
THE STUDY ON MANAGEMENT OF GROUNDWATER AND LAND SUBSIDENCE IN THE BANGKOK METROPOLITAN AREA AND ITS VICINITY	
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)	

した水準点の
 壊されたもの
 統一されて
 測量にもと

1993年の13
 08のC1-1水準
 1986年以降
 10)。

を示す。沈下
 沈下地帯は
 が10cm以上
 1986年以前は
 ラカンやラ
 5cmと大きい

ン、サムッ
 局所的に4-5
 3では年間伏



LEGEND

- Location of JICA monitoring station
- Location of DMR monitoring station with station No.

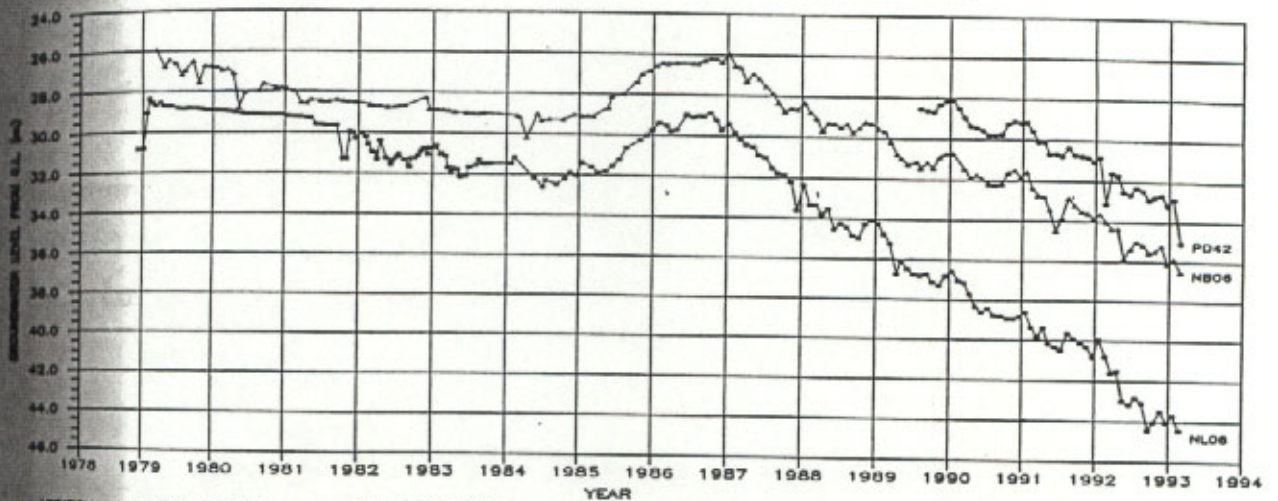
図 6.1	DMR 観測井の位置図
THE STUDY ON MANAGEMENT OF GROUNDWATER AND LAND SUBSIDENCE IN THE BANGKOK METROPOLITAN AREA AND ITS VICINITY	
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)	KOKUSAI KOGYO CO., LTD.



LOCATION : Wat Samrung Run
 Tambon : Khlong Sam Prawet
 Amphoe : Lat Krabang
 Changwat : Bangkok
 UTM Grid : 501198

SCREEN DEPTH
 PD33 : 105.0-110.0m
 NL47 : 147.0-153.0m
 NB17 : 185.0-189.0m

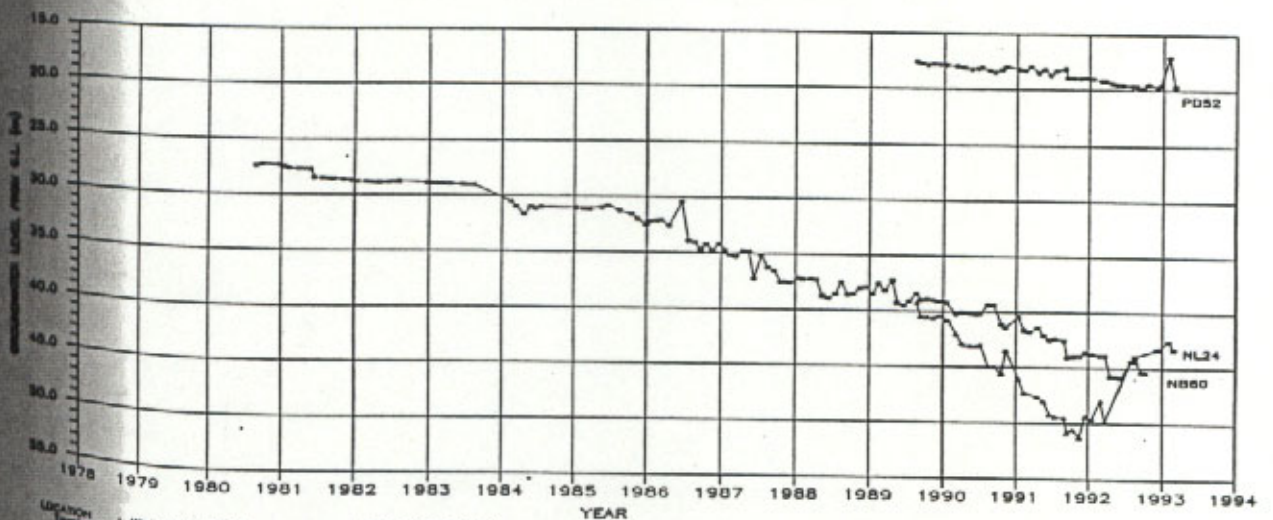
STATION No. 41



LOCATION : Wat Kila Cha-um
 Tambon : Khlong Song
 Amphoe : Khlong Luang
 Changwat : Pathum Thani
 UTM Grid : 776520

SCREEN DEPTH
 PD42 : 107.0-113.0m
 NL06 : 147.0-153.0m
 NB06 : 187.0-193.0m

STATION No. 19



LOCATION : Wat Bang Ping
 Tambon : Na Di
 Amphoe : Muang Samut Sakhon
 Changwat : Samut Sakhon
 UTM Grid : 395034

SCREEN DEPTH
 PD52 : 77.0-83.0m
 NL24 : 134.0-140.0m
 NB60 : 221.0-227.0m

STATION No. 48

図 6.2

地下水位の経年変化

THE STUDY ON MANAGEMENT OF GROUNDWATER AND LAND SUBSIDENCE
 IN THE BANGKOK METROPOLITAN AREA AND ITS VICINITY

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)

KOKUSAI KOGYO CO., LTD.

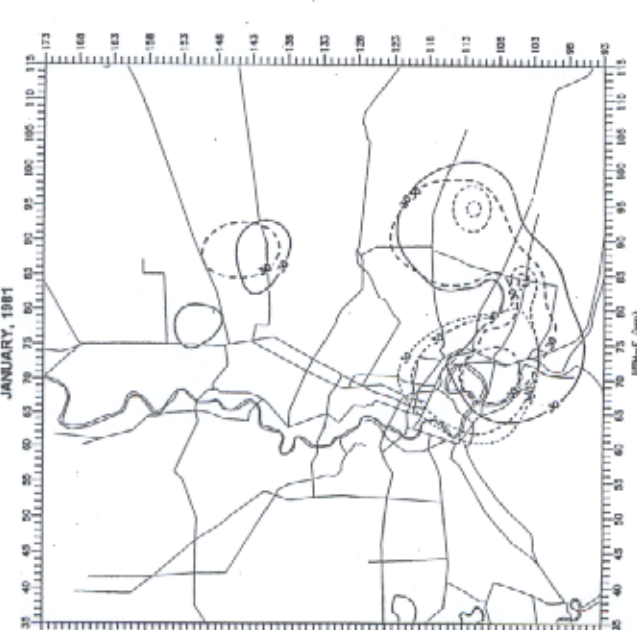
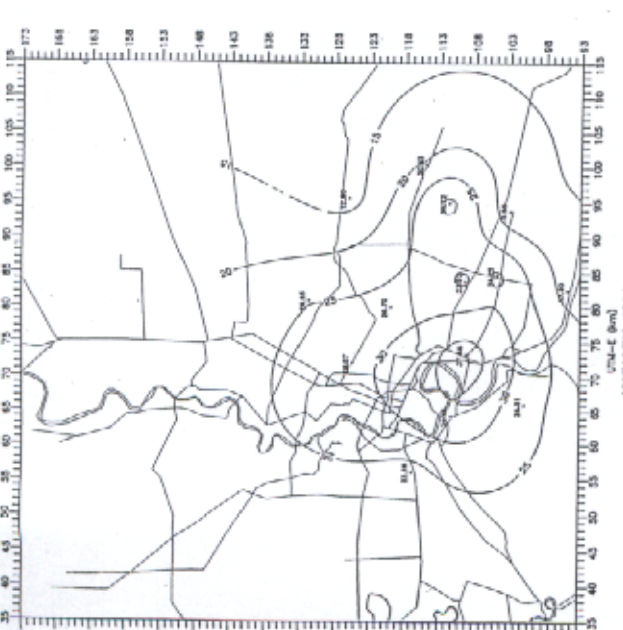
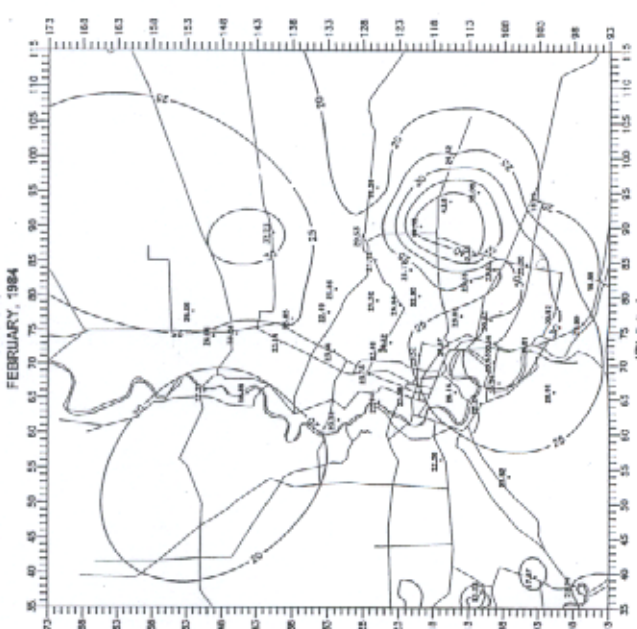
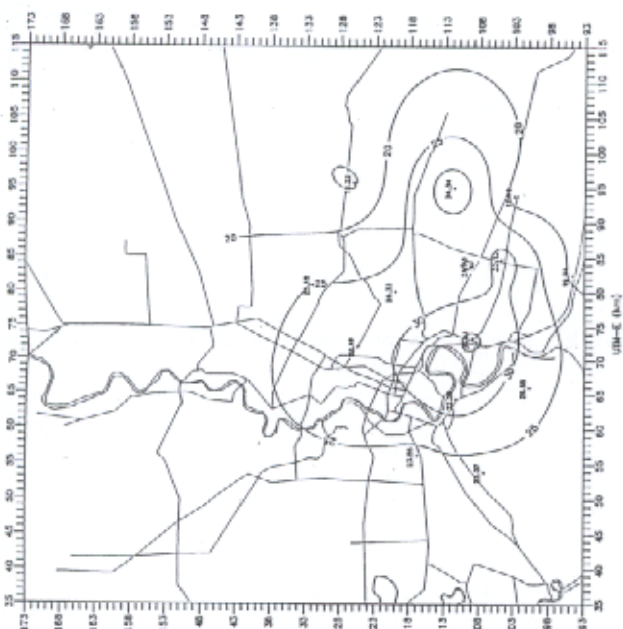
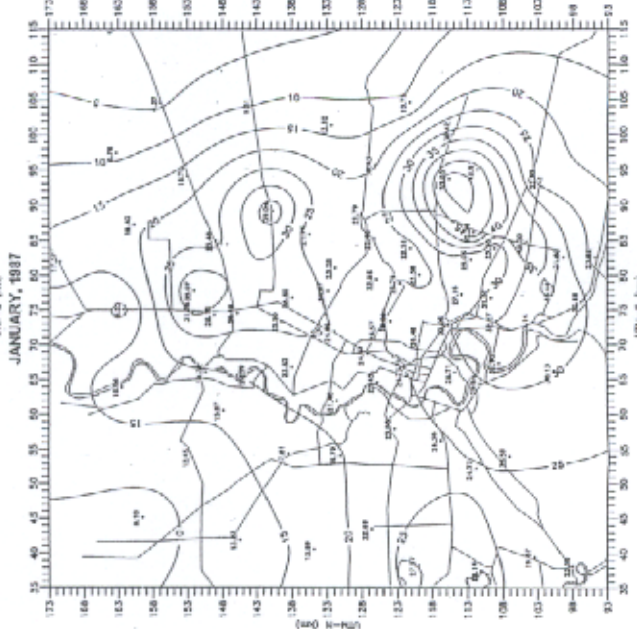
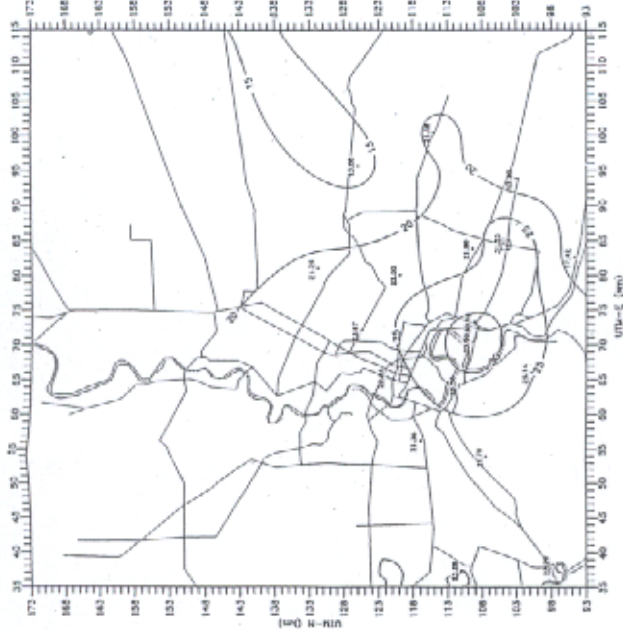


Figure 6.1.3
PIEZOMETRIC LEVEL OF
PHRA PRADAENG AQUIFER
THE STUDY ON MANAGEMENT OF GROUNDWATER AND LAND SUBSIDENCE
IN THE BANGKOK METROPOLITAN AREA AND ITS VICINITY
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA) KURUMAI KOGYO CO., LTD.

図 6.3
プラバタン帯水層の地下水位分布の変化

CHANGES OF PIEZOMETRIC CONTOUR LINES
LEGEND
----- 30mtpa CONTOUR LINE IN JAN. 1981
----- 30mtpa CONTOUR LINE IN FEB. 1984
----- 30mtpa CONTOUR LINE IN JAN. 1987
----- LINE OF EQUAL PIEZOMETRIC LEVEL (m below ground surface)
----- SURF. WATER LEVEL (m below ground surface)
----- RIVER

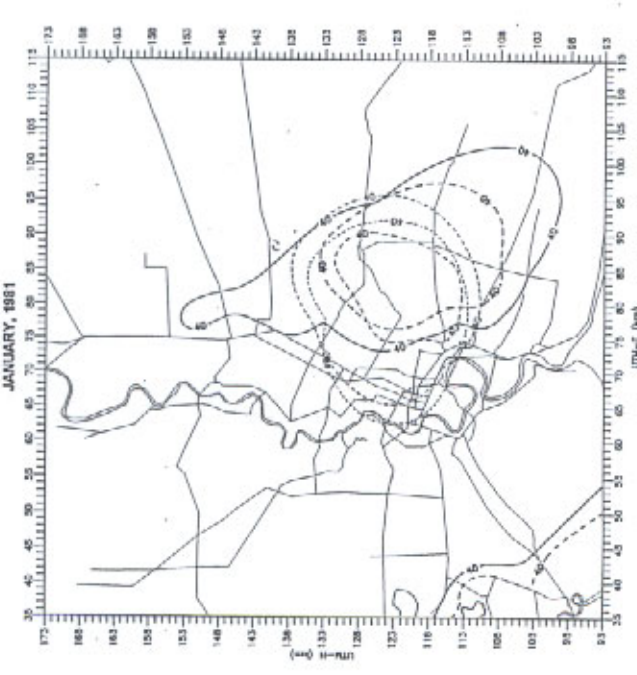
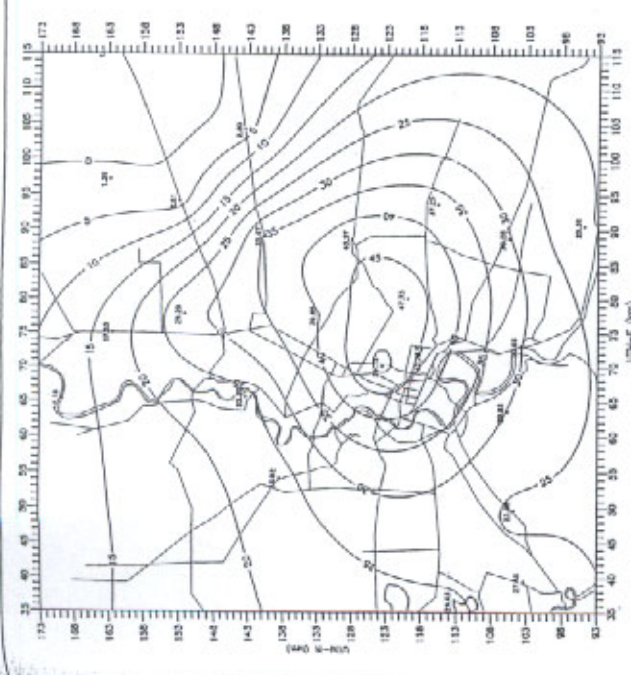
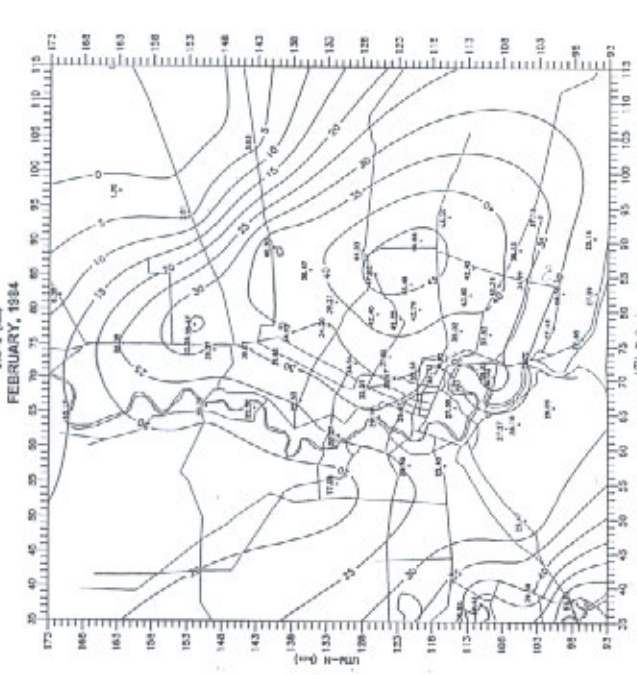
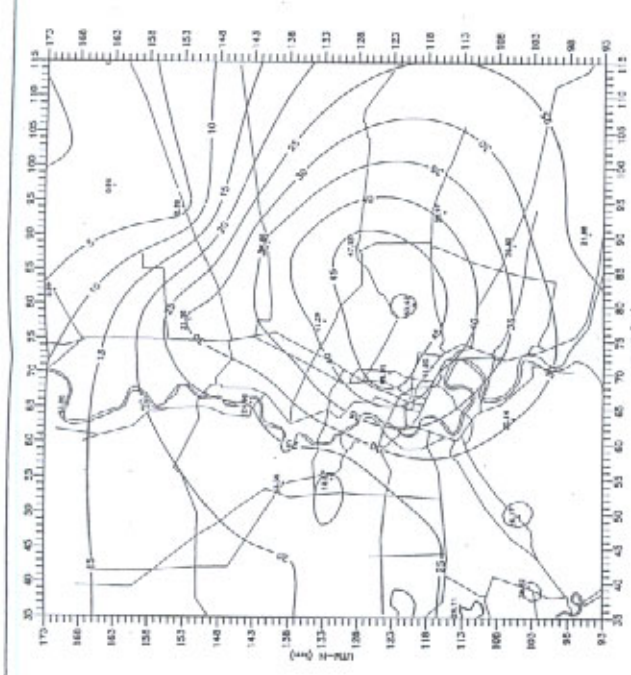
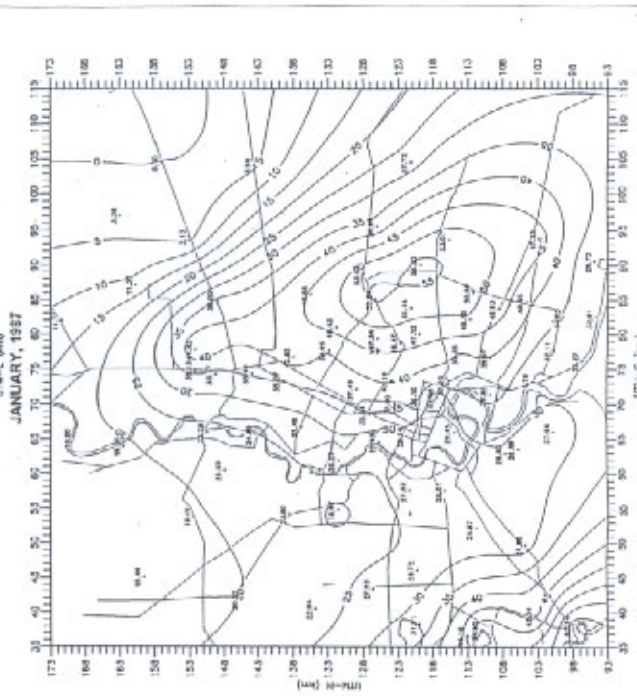
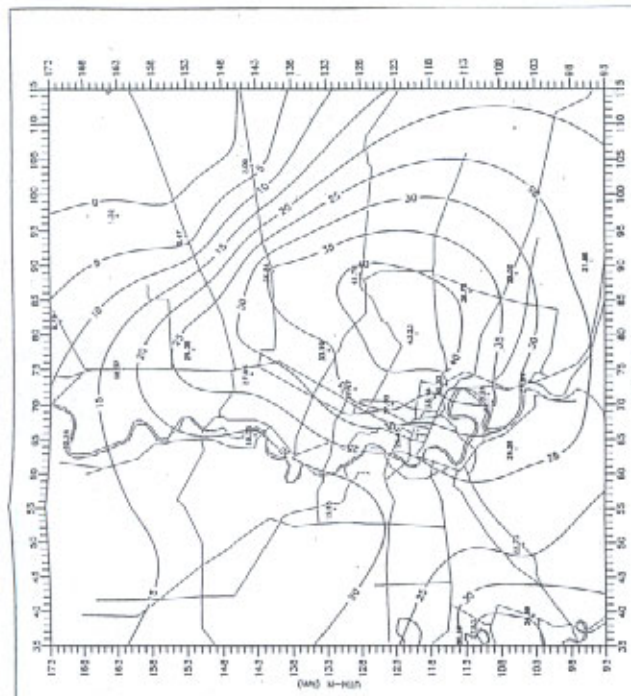


Figure 6.1.5
 PIEZOMETRIC LEVEL OF
 NAKHON LUANG AQUIFER
 THE STUDY ON MANAGEMENT OF GROUNDWATER AND LAND SUBSIDENCE
 IN THE BANGKOK METROPOLITAN AREA AND ITS VICINITY
 JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA) | KOKUSAI KOSYO CO., LTD.

図 6.4 ナコンルアン郡水層の地下水位分布の変化
 LEGEND
 LINE OF EMAL PIEZOMETRIC LEVEL
 OUR MONITORING WELL
 WITH PIEZOMETRIC LEVEL
 (m below ground surface)

CHANGES OF PIEZOMETRIC CONTOUR LINES
 LEGEND
 40mtp CONTOUR LINE IN JAN. 1981
 40mtp CONTOUR LINE IN JAN. 1983
 40mtp CONTOUR LINE IN FEB. 1984
 40mtp CONTOUR LINE IN JAN. 1987

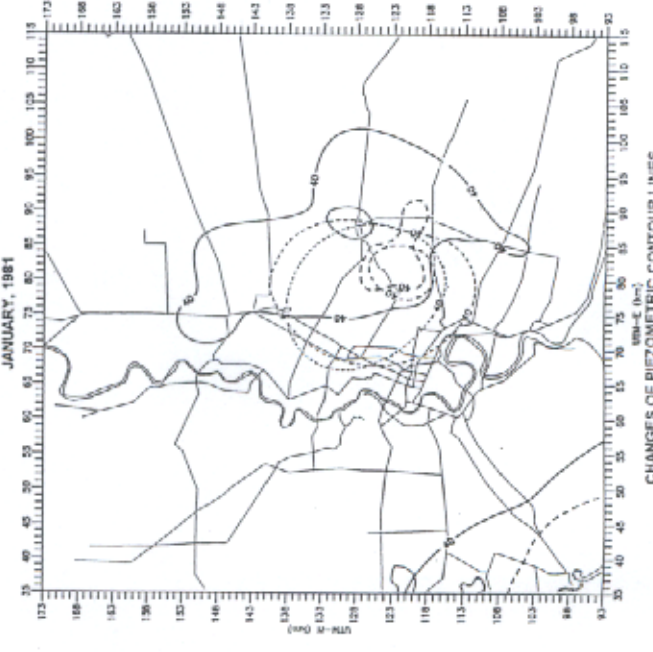
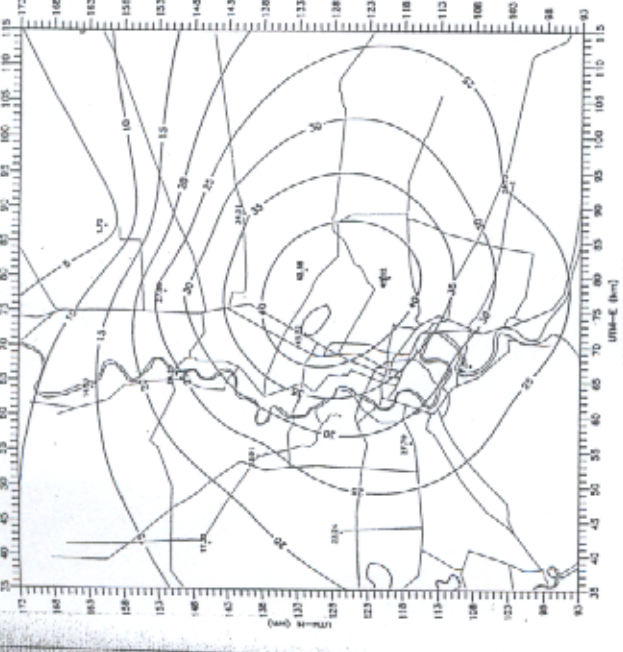
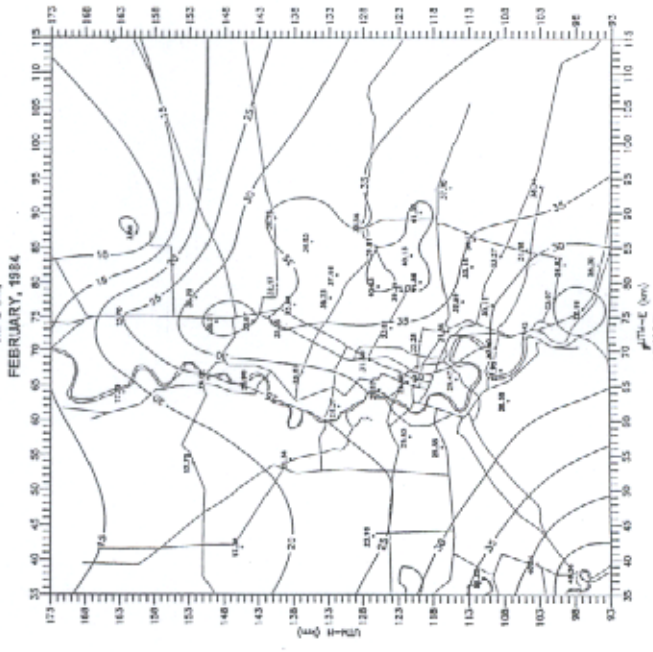
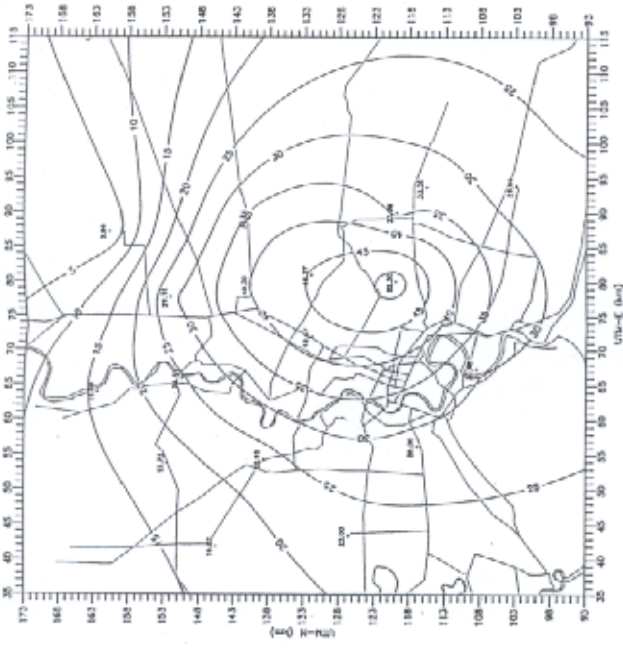
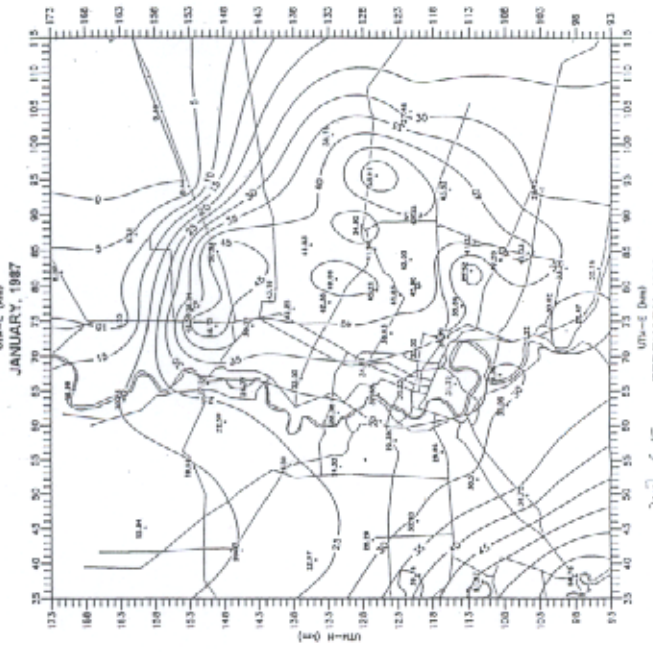
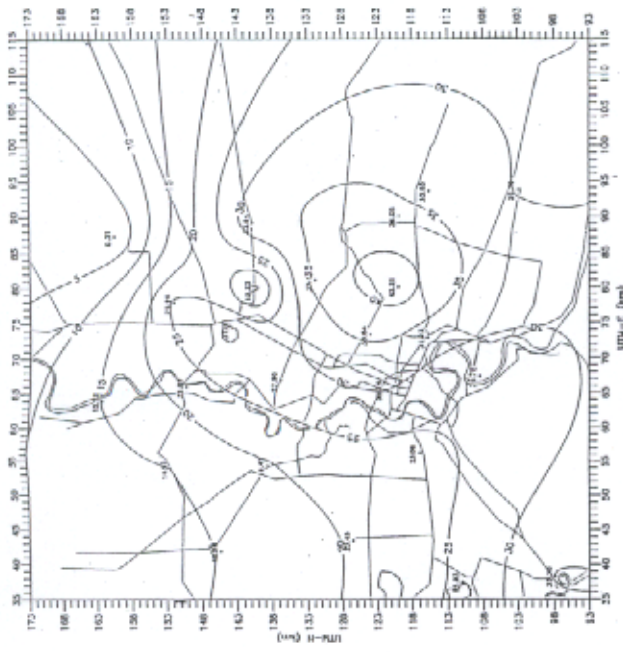


Figure 6.1.7

PIEZOMETRIC LEVEL OF
NONTHABURI AQUIFER

THE STUDY ON MANAGEMENT OF GROUNDWATER AND LAND SUBSIDENCE
IN THE BANGKOK METROPOLITAN AREA AND ITS VICINITY

JAPAN-INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA) KOKUSAI KOGYO CO., LTD.

Figure 6.1.8

LEGEND

- LINE OF EQUAL PIEZOMETRIC LEVEL
- DWF MONITORING WELL (in below ground surface)
- 12.50
- WITH PIEZOMETRIC LEVEL (in below ground surface)

Figure 6.1.9

LEGEND

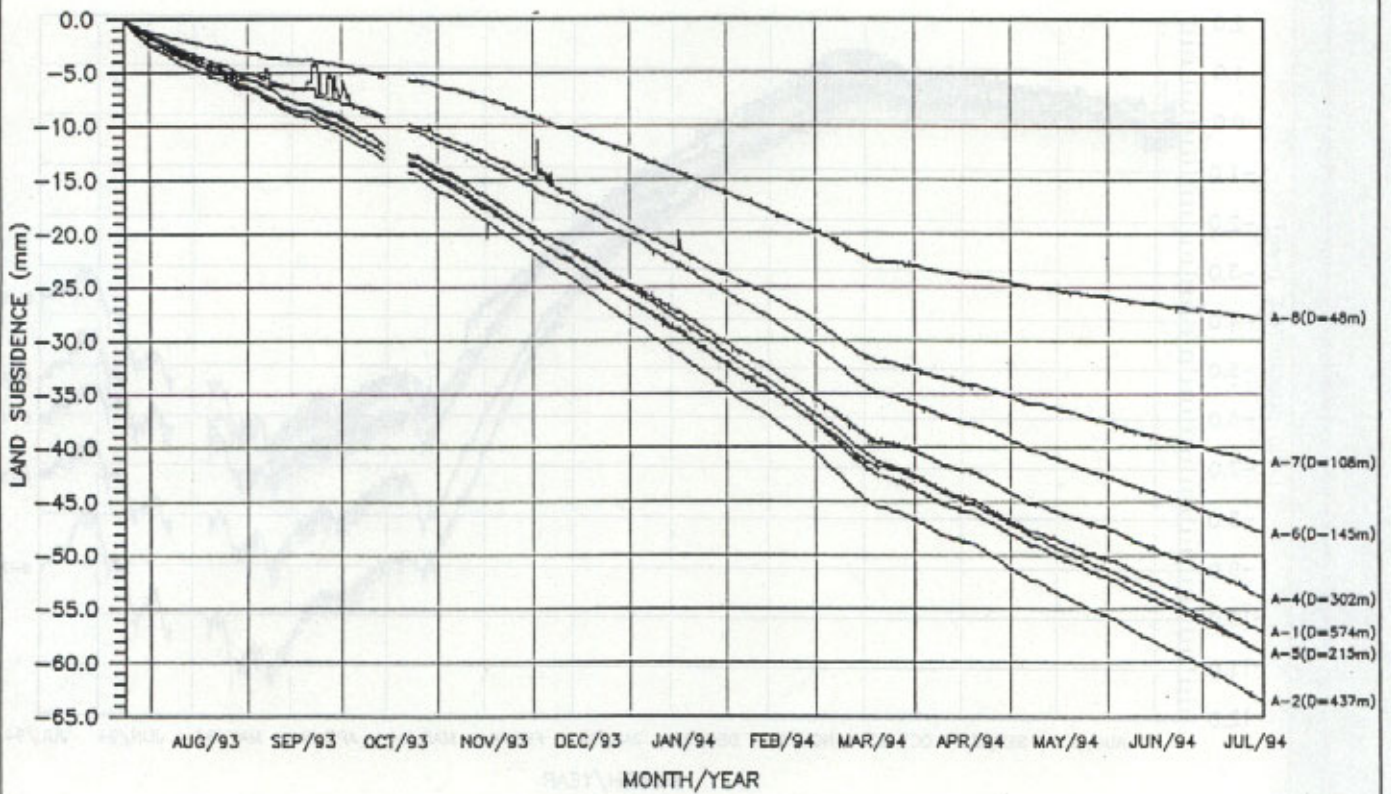
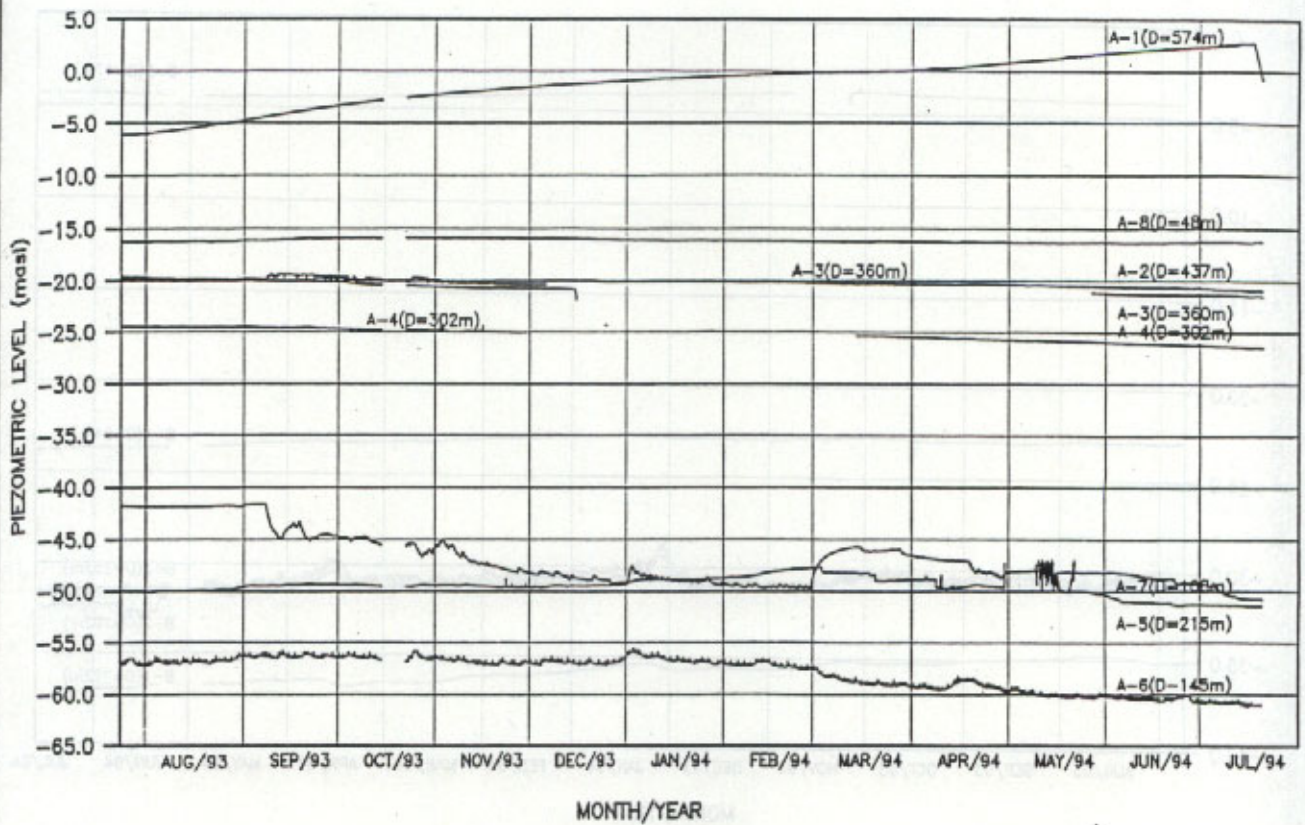
- 40days CONTOUR LINE IN JAN. 1981
- 40days CONTOUR LINE IN JAN. 1990
- 40days CONTOUR LINE IN FEB. 1984
- 40days CONTOUR LINE IN FEB. 1987
- 40days CONTOUR LINE IN JAN. 1987
- 40days CONTOUR LINE IN JAN. 1987

Figure 6.1.10

CHANGES OF PIEZOMETRIC CONTOUR LINES

- 40days CONTOUR LINE IN JAN. 1981
- 40days CONTOUR LINE IN JAN. 1990
- 40days CONTOUR LINE IN FEB. 1984
- 40days CONTOUR LINE IN FEB. 1987
- 40days CONTOUR LINE IN JAN. 1987
- 40days CONTOUR LINE IN JAN. 1987

図 6.5 ノンタブリ帯水層の地下水水位の地下水位分布の変化



WELL NO.: JICA A-1 to A-8
 LOCATION: LAT KRABANG
 UTM GRID: 879215

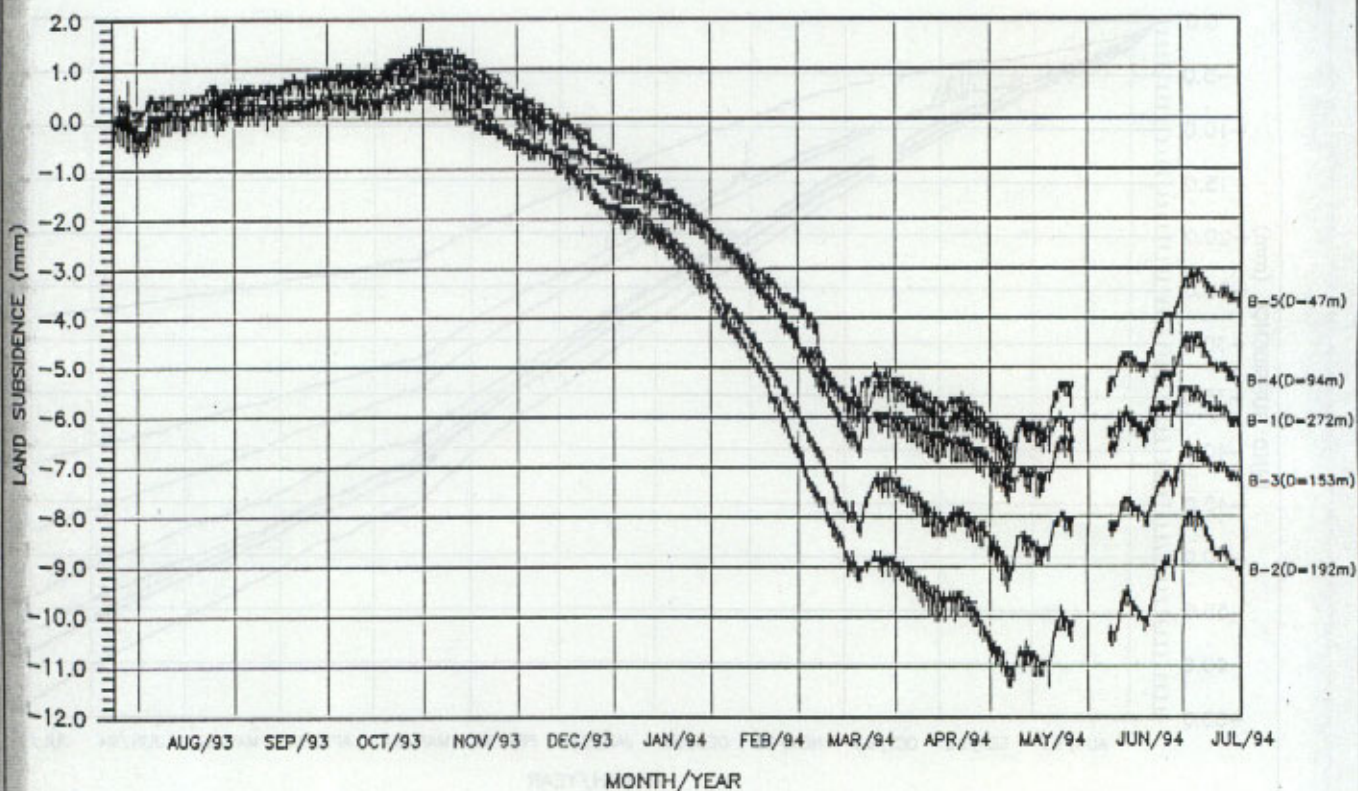
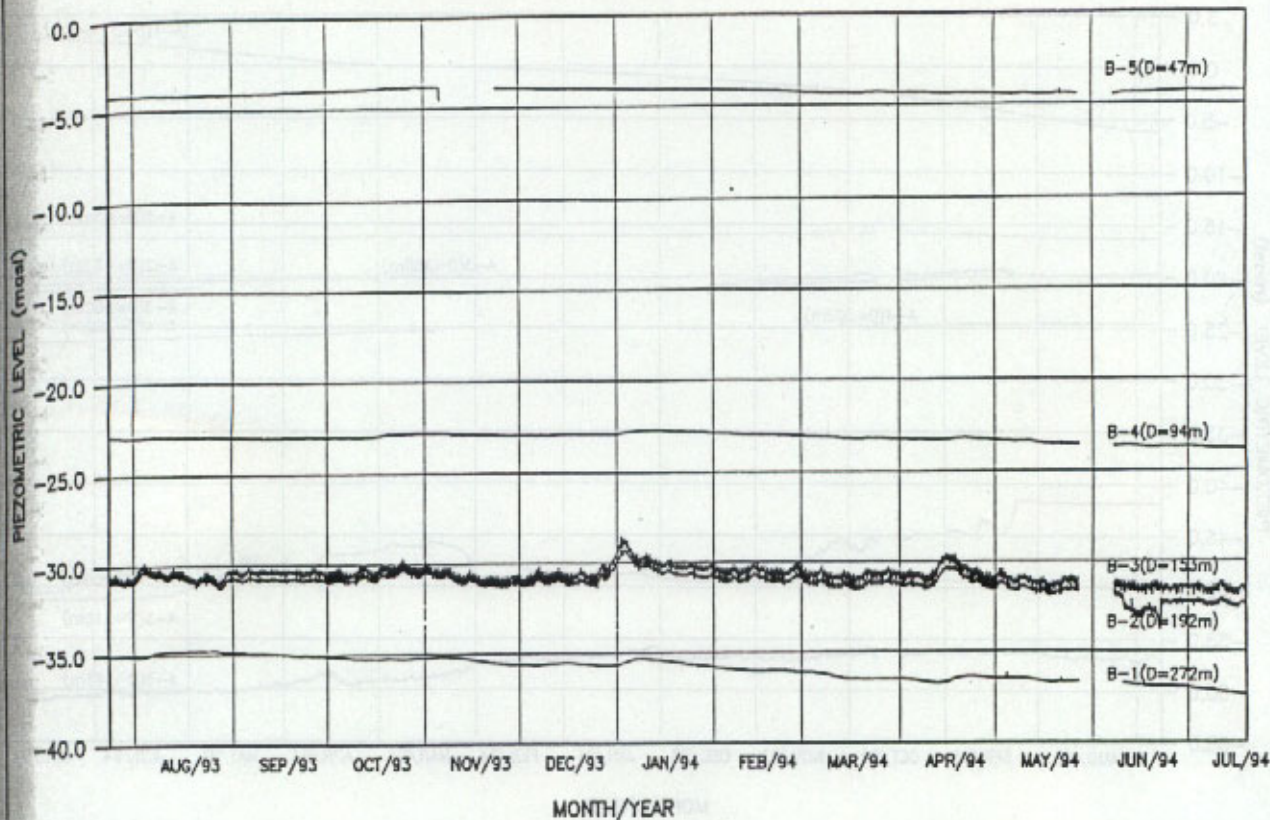
図 6.6

サイトAの地下水位と地盤沈下観測結果

THE STUDY ON MANAGEMENT OF GROUNDWATER AND LAND SUBSIDIENCE
 IN THE BANGKOK METROPOLITAN AREA AND ITS VICINITY

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)

KOKUSAI KOGYO CO., LTD.



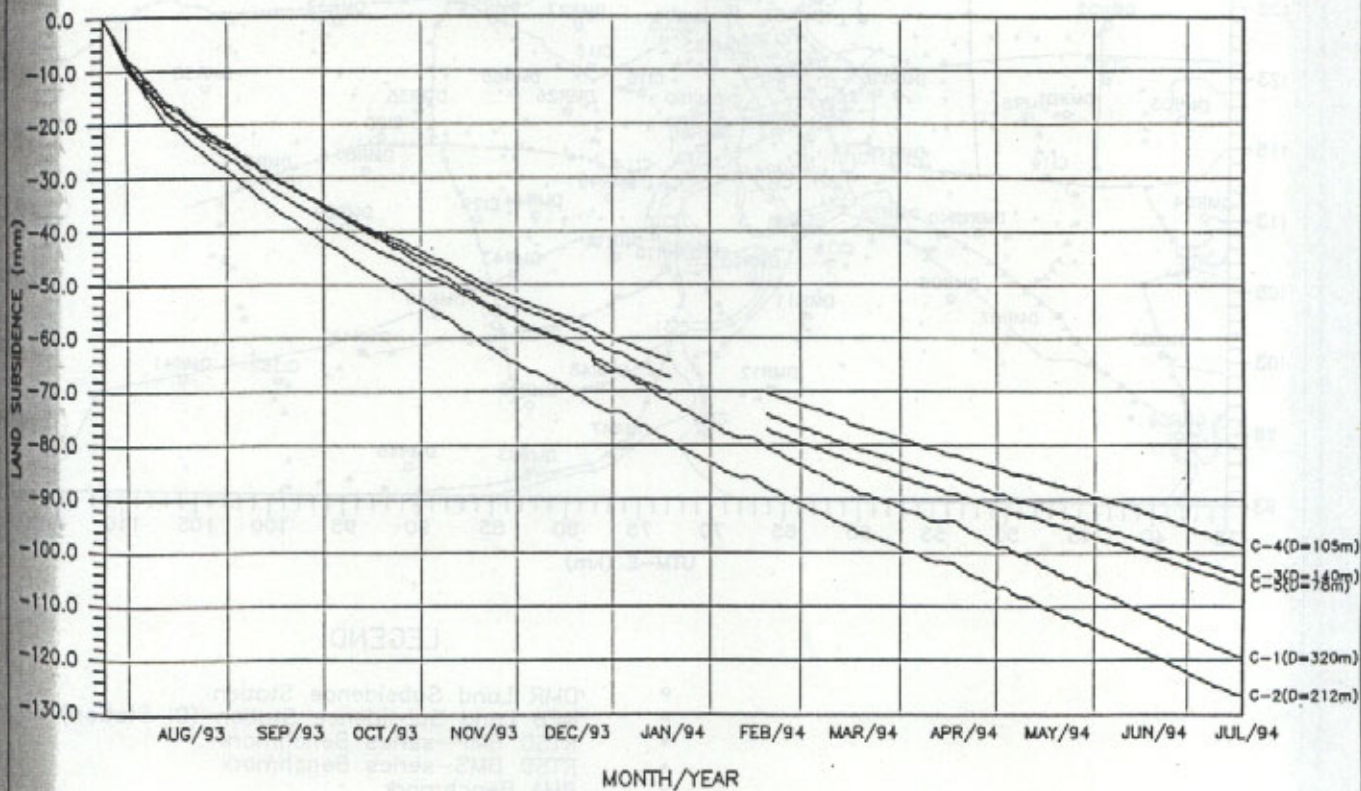
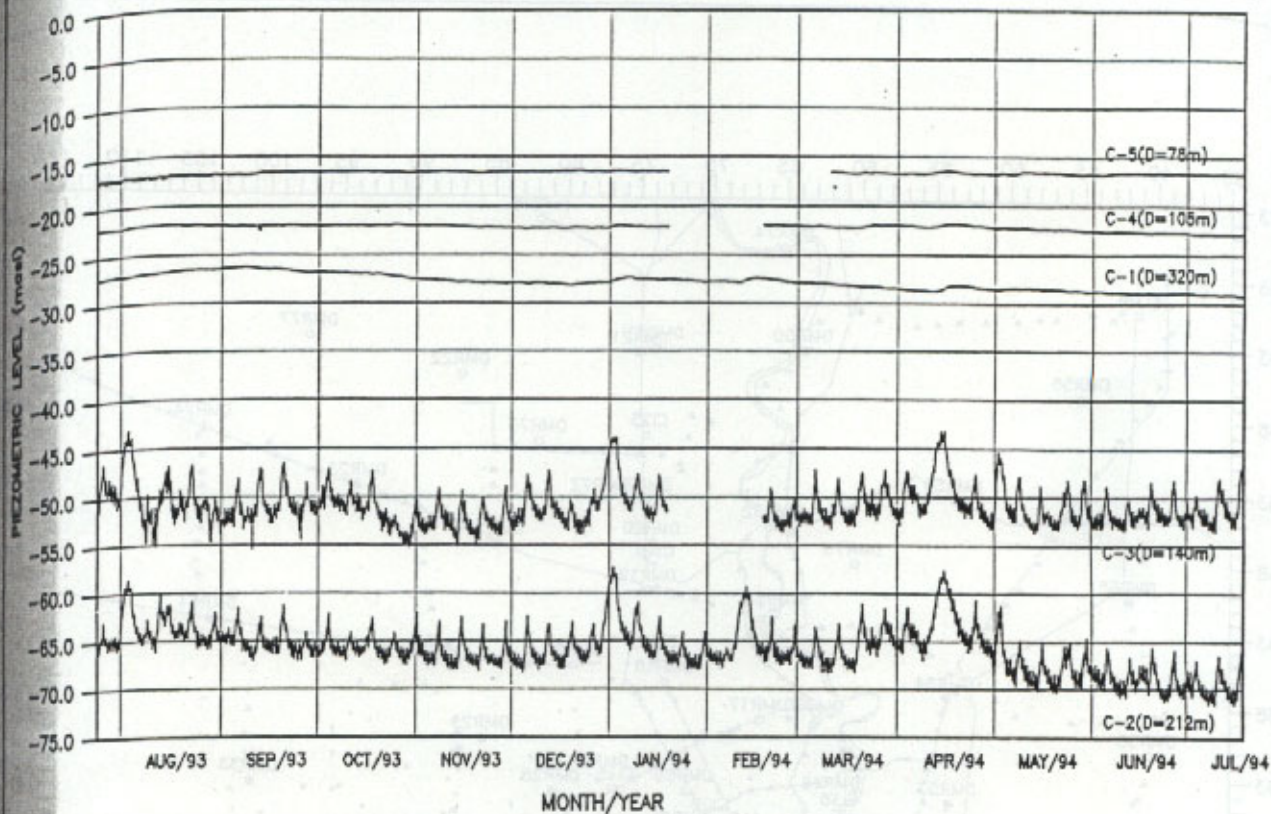
WELL NO.: JICA B-1 to B-5
 LOCATION: AIT
 UTM GRID: 746568

図 6.7 サイトBの地下水位と地盤沈下観測結果

THE STUDY ON MANAGEMENT OF GROUNDWATER AND LAND SUBSIDENCE
 IN THE BANGKOK METROPOLITAN AREA AND ITS VICINITY

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)

KOKUSAI KOGYO CO., LTD.



WELL NO.: JICA C-1 to C-5
LOCATION: SAMUT SAKHON
UTM GRID: 381007

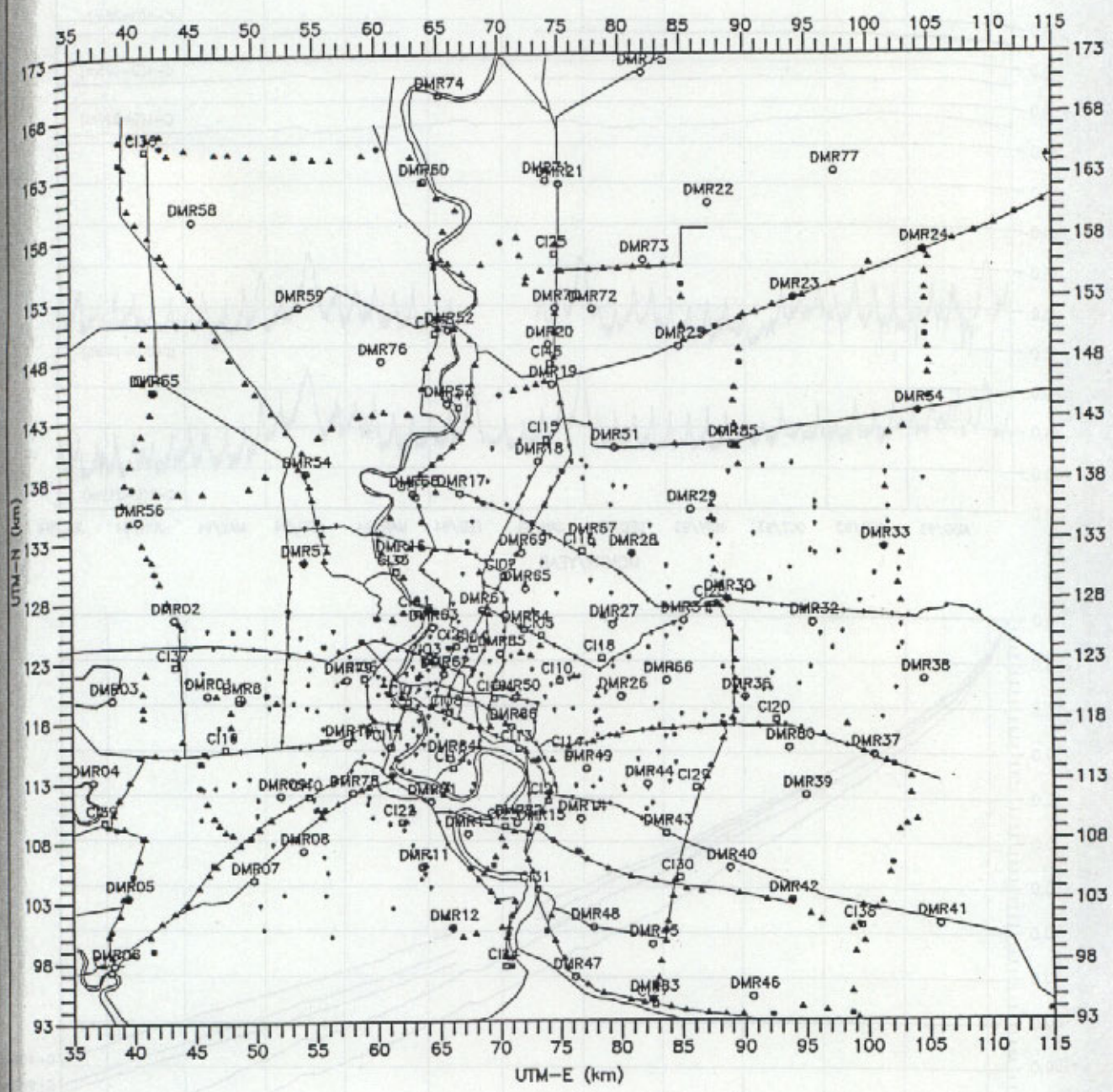
図 6.8

サイトCの地下水位と地盤沈下観測結果

THE STUDY ON MANAGEMENT OF GROUNDWATER AND LAND SUBSIDENCE
IN THE BANGKOK METROPOLITAN AREA AND ITS VICINITY

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)

KOKUSAI KOGYO CO., LTD.



LEGEND

- DMR Land Subsidence Station
- NEB Land Subsidence Station (CI Station)
- △ RTSD BMP-series Benchmark
- ▲ RTSD BMS-series Benchmark
- BMA Benchmark
- ⊗ RTSD BMR Benchmark

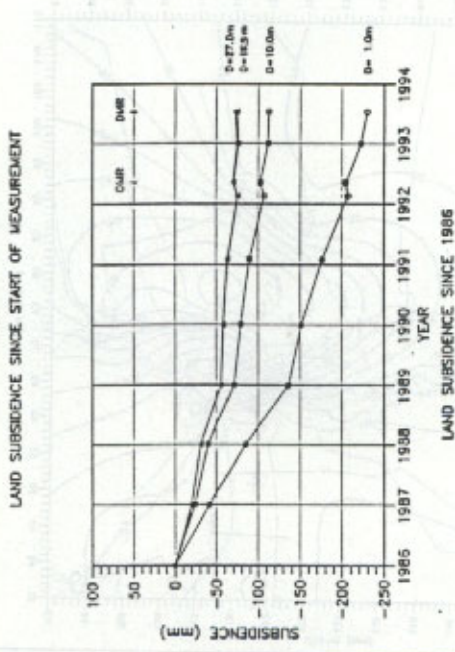
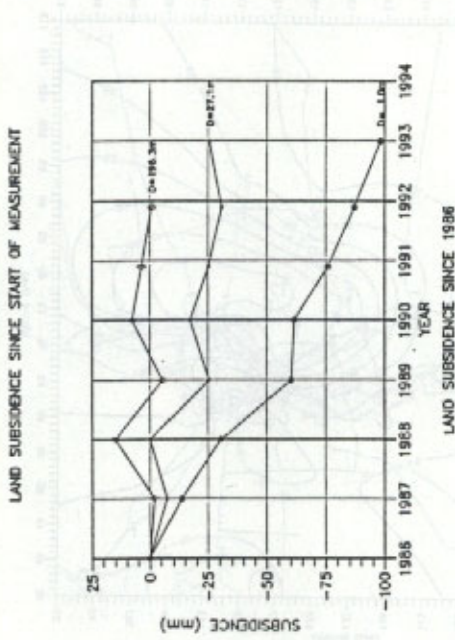
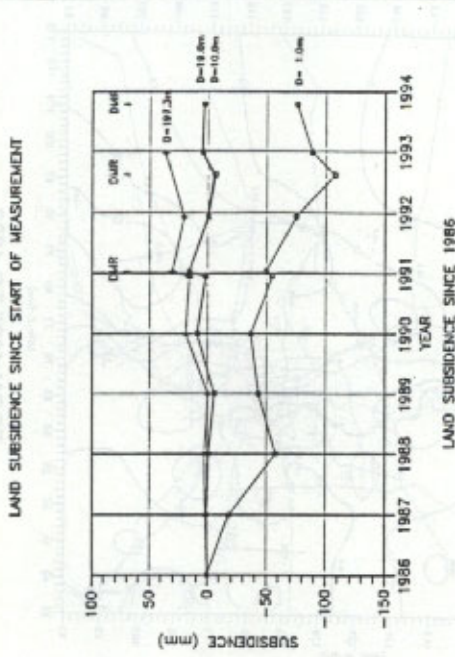
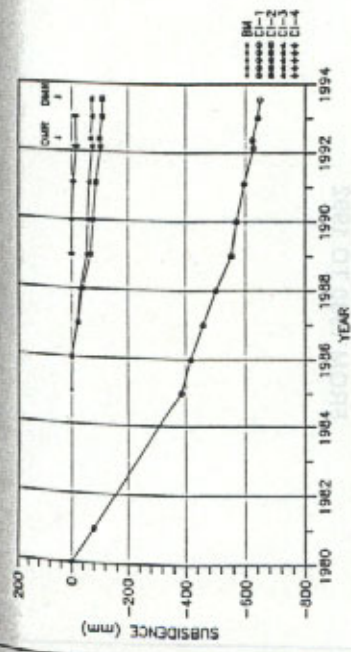
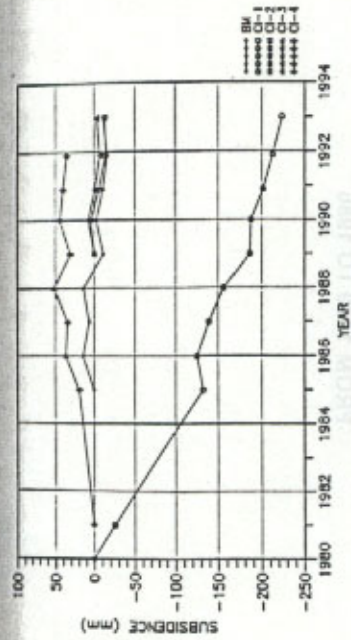
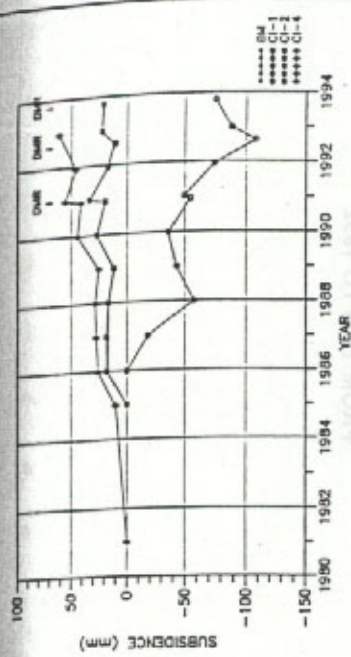
図 6.9

地盤沈下測量水準点の位置図

THE STUDY ON MANAGEMENT OF GROUNDWATER AND LAND SUBSIDENCE
IN THE BANGKOK METROPOLITAN AREA AND ITS VICINITY

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)

KOKUSAI KOGYO CO., LTD.



a) AIT14 STATION

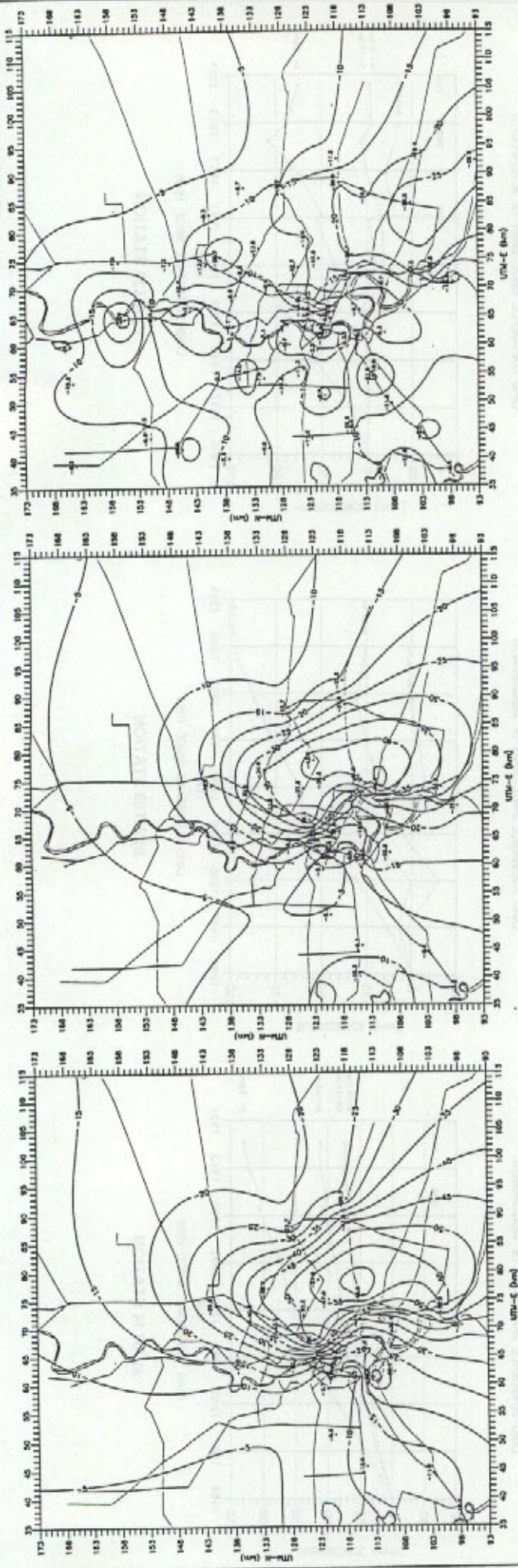
b) AIT08 STATION

c) AIT26 STATION

(DMR: Measured by DMR)

日本国際協力機構 (JICA)

図 6.11



FROM 1986 TO 1992

FROM 1980 TO 1986

FROM 1980 TO 1992

LEGEND

- LINE OF EQUAL LAND SUBSIDENCE (cm/12years)
- LAND SUBSIDENCE STATION OR BENCHMARK WITH LAND SUBSIDENCE (cm/12years)
- 20.0 (Negative sign represents subsidence.)

図 6.11 1m深度水準点の沈下量分布 (1980年—1992年)

THE STUDY ON MANAGEMENT OF GROUNDWATER AND LAND SUBSIDENCE IN THE BANGKOK METROPOLITAN AREA AND ITS VICINITY

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)

KOKUSAI KOGYO CO., LTD.

7. 地下水モデル

7. 1 地下水モデルによるアプローチ

地下水盆管理と地盤沈下対策を検討するため、調査地域の地下水流動と地盤沈下をシミュレート出来る地下水モデルを作成した。モデルは次の3種類である。

表 7.1 調査に使用した地下水モデル

モデル名	プログラム名	目的
3次元地下水流動・地盤沈下モデル	MODFLOW SUBPRO-1	3次元地下水流動と地盤沈下の解析
垂直2次元地下水流動・地盤沈下モデル	MODFLOW SUBPRO-2	断面2次元地下水流動と地盤沈下の解析
垂直2次元溶質輸送モデル	MOC DENSE	塩水移動の解析

7. 2 モデル化の範囲とグリッド区分

7. 2. 1 3次元地下水流動・地盤沈下モデル

地下水の広域流動をシミュレートするため、モデル化の範囲は地下水盆全域（下部中央平野の範囲）とした。グリッドは調査地域では2kmx2kmとした。また、調査地域外では2kmx4kmから16kmx16kmまでに変化させた。グリッドの総数は1層当たり2,860個である。また、調査地域のグリッド数は1,600個である（図7.1.1）。

帯水層はバンコク帯水層からバクナム帯水層までの8層とし、バンコク帯水層の上部にバンコク粘土層とその上位の不圧帯水層を加え、全部で10層に区分した（図7.1.2）。

7. 2. 2 垂直2次元地下水流動・地盤沈下モデル

本調査で作成した水文地質断面図（N-5）を使用して垂直断面モデルを作成した（図7.2）。この断面はサイトAの情報を利用でき、かつ、バンコク東部の地盤沈下地域を南北に縦断するのでモデル化の範囲として最適である。モデルの範囲は南北90km、深度は600mとした。グリッドの総数は2,025個である（図7.3.1）。

7. 2. 3 垂直2次元溶質輸送モデル

本調査で作成した水文地質断面図(N-3)を使用して垂直断面モデルを作成した。この断面はチャオプラヤ川右岸から海岸部までの塩水化地域を通過し、塩水化の機構を解析するのに最適な断面である(図7.2)。モデル化の範囲は南北86km深度400mまでとし1,763個のグリッドに区分した(図7.3.2)。

7. 3 境界条件

7. 3. 1 3次元地下水流動・地盤沈下モデル

水文地質断面図と構造図をもとに各帯水層の分布範囲を検討して、モデルの境界条件を決定した。モデル化の範囲外に帯水層が連続する場合は、一定水位を与え、その他の場合は閉鎖境界とした。また、シャム湾側では、各層とも、最も南側のセルに一定水位(海面標高)を与えた(図7.4)。

7. 3. 2 垂直2次元モデル(地下水流動・地盤沈下及び溶質輸送モデル)

最上部のセルは一定水位を与え、最下部のセルは閉鎖境界とした。また、両端は各層とも一定水位を与えた。

7. 4 水文地質パラメーター

シミュレーションモデルに入力するパラメーターは、各層の深度・層厚、空隙率、比貯留率、透水係数、漏水係数、初期被圧水頭、揚水量、かん養量である。これらのパラメータは地質解析、揚水試験解析、地下水位観測、揚水量集計結果等から求め、モデルに代入した。なお、溶出輸送モデルの初期条件は塩水ソースで35,000mg/lを与えた。

7. 5 モデルのキャリブレーション

3つの地下水モデルが実際の地下水位と地盤沈下や塩分濃度を再現できるようにモデルのキャリブレーションを行った。各モデルは最初の10年間は揚水量を一定として定常状態を再現した後、1983年から1992までの経年揚水量を代入して非定常状態を再現した。この過程で、計算地下水位と観測地下水位とが良い一致を示すように、比較的信頼性の乏しいパラメーターである漏水係数を修正した。また、経年揚水量については、バンコク市内中心部では揚水許可期限満了後も地下水揚水が続くとの仮定で計算すると実際の地下水位の状況がよく再現できた。図7.5に3次元地下水流動・地盤沈下モデルによる地下水位の計算結果と観測水位を対比して示す。

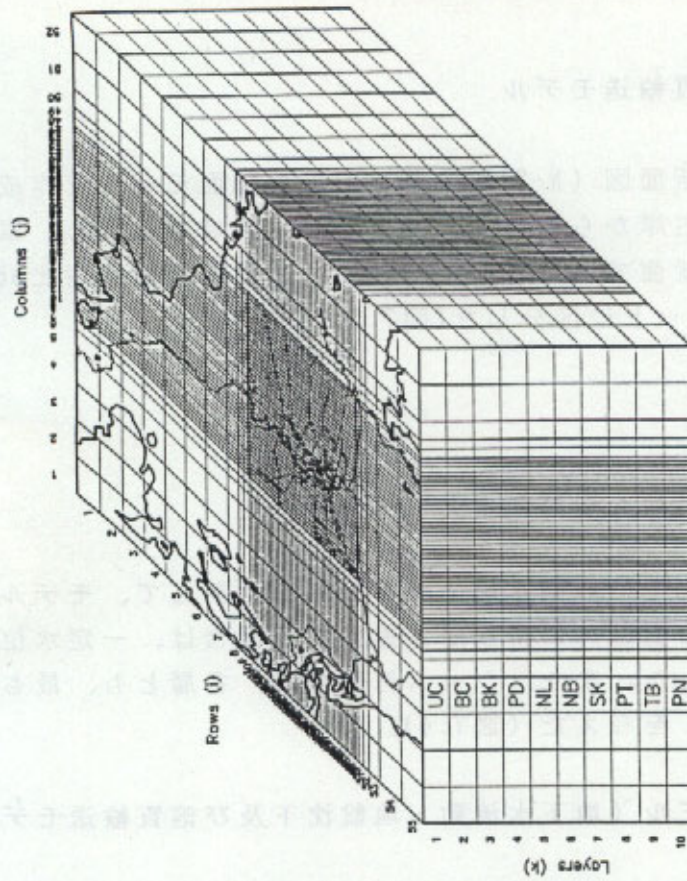
した。
水化の
深度

の境界
を与え、
南側の
モデル)

両端は

空隙率、
5。これ
結果等か
ースで35、

るように
置を一定
して非定
一致を示
た。また、
地下水層
、図7.5に
位を対比



AQUIFER UNITS

- UC: Unconfined (constant head)
- BC: Bangkok Soft Clay
- BK: Bangkok Aquifer
- PD: Phra Pradaeng Aquifer
- NL: Nakhon Luang Aquifer
- NB: Nonthaburi Aquifer
- SK: Sam Khok Aquifer
- PT: Phayathai Aquifer
- TB: Thonburi Aquifer
- PN: Pak Nam Aquifer

図 7.1.2 3次元地下水モデルの構造

THE STUDY ON MANAGEMENT OF GROUNDWATER AND LAND SUBSIDENCE
IN THE BANGKOK METROPOLITAN AREA AND ITS VICINITY

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)

KOKUSAI KOGYO CO., LTD.

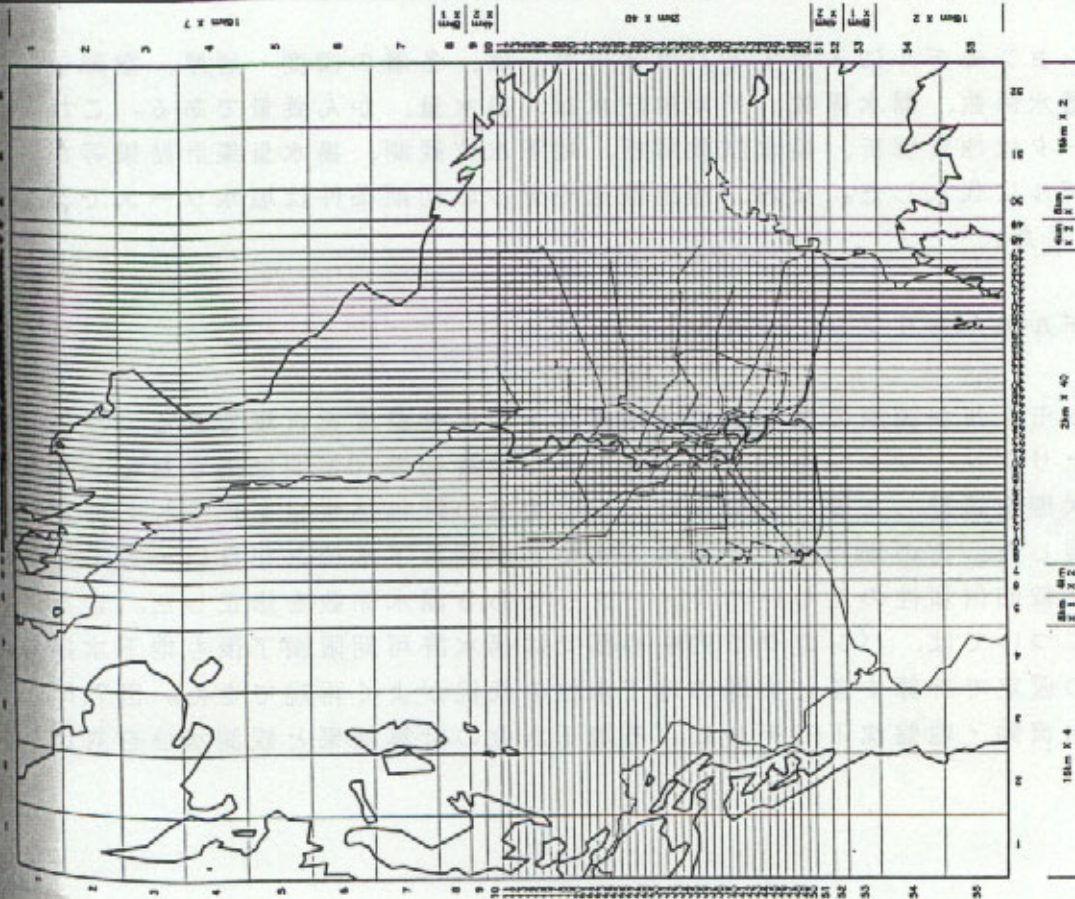
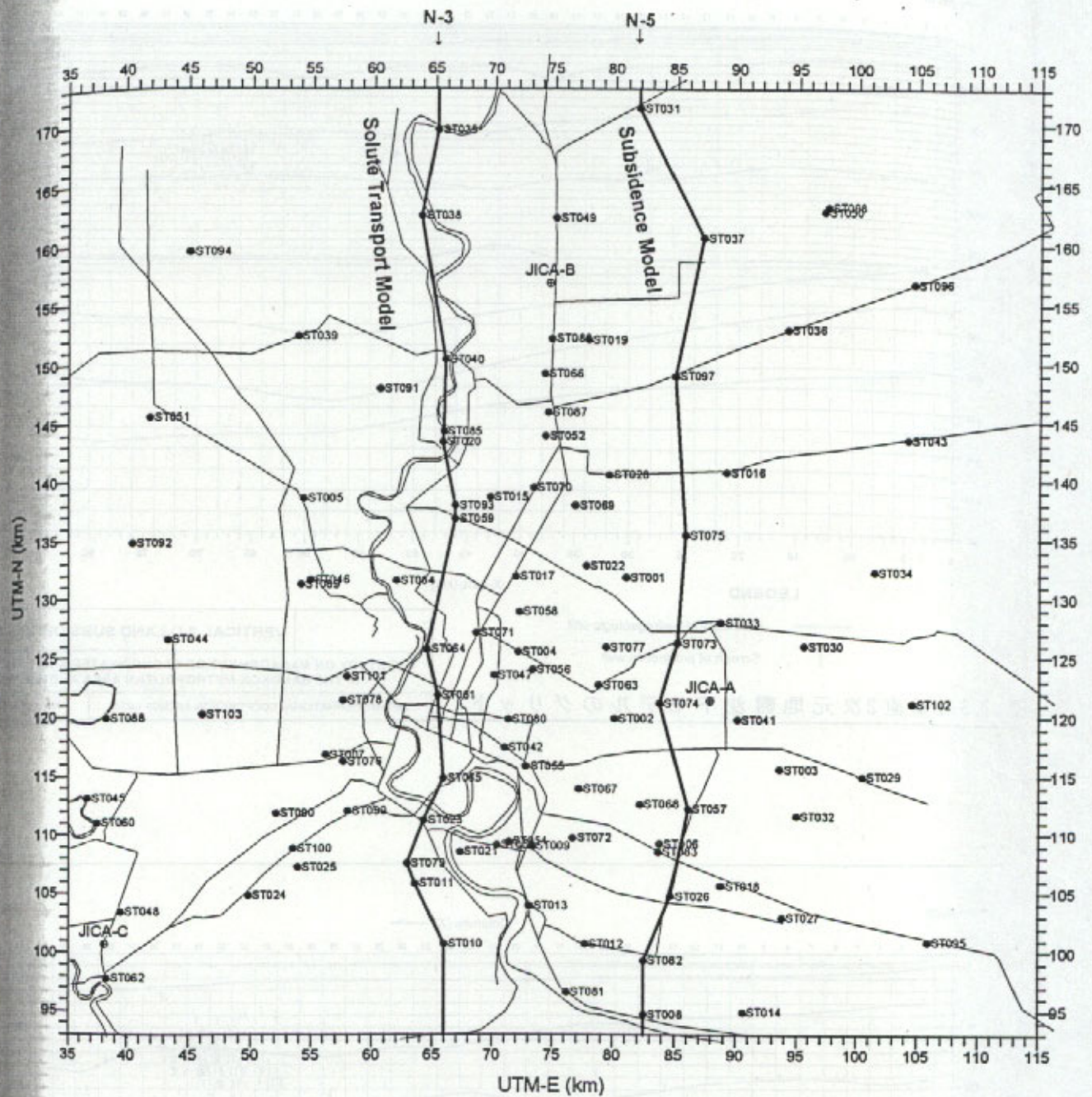


図 7.1.1 3次元地下水モデルのグリッド

THE STUDY ON MANAGEMENT OF GROUNDWATER AND LAND SUBSIDENCE
IN THE BANGKOK METROPOLITAN AREA AND ITS VICINITY

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)

KOKUSAI KOGYO CO., LTD.



LEGEND

- Location of Vertical Model
- N-3 Hydrogeologic Profile No.
- Location of JICA Monitoring Station
- Location of DMR Monitoring Station with Station No.

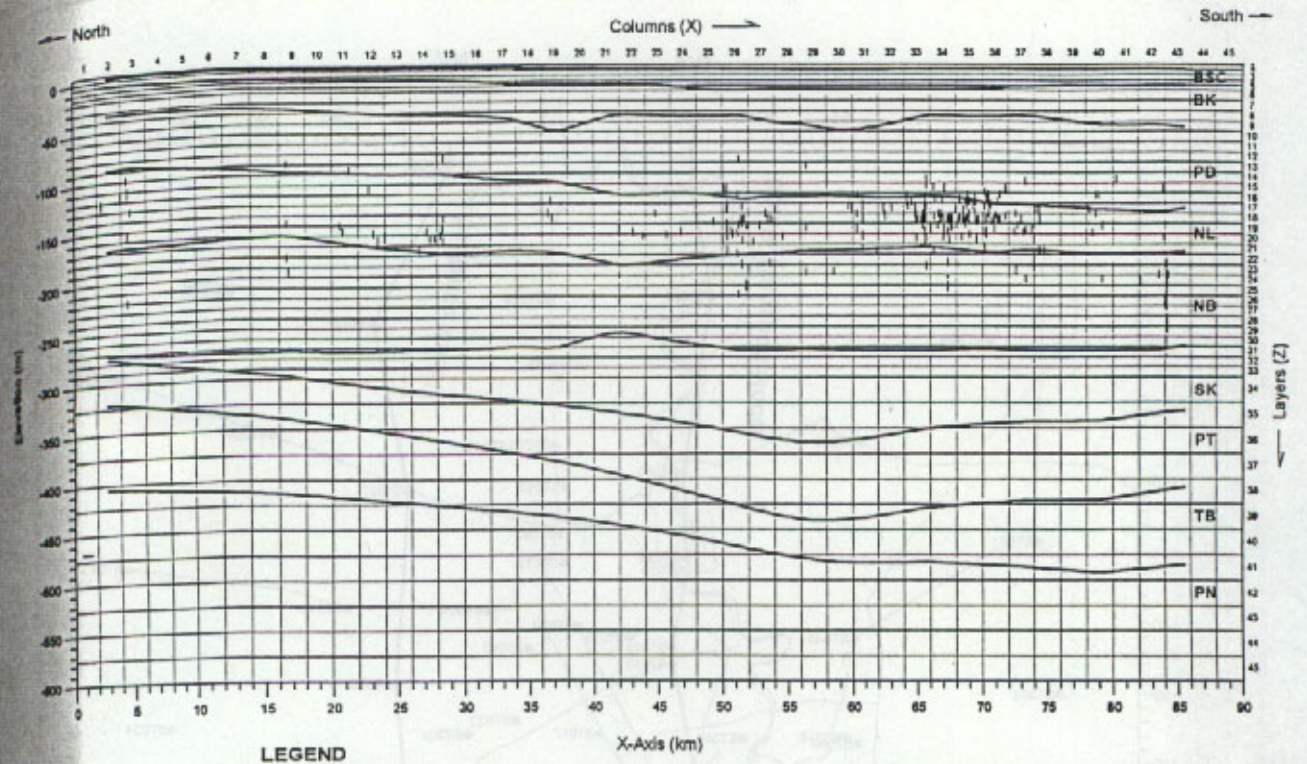
図 7.2

垂直2次元モデルの断面線位置

THE STUDY ON MANAGEMENT OF GROUNDWATER AND LAND SUBSIDENCE
IN THE BANGKOK METROPOLITAN AREA AND ITS VICINITY

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)

KOKUSAI KOGYO CO., LTD.



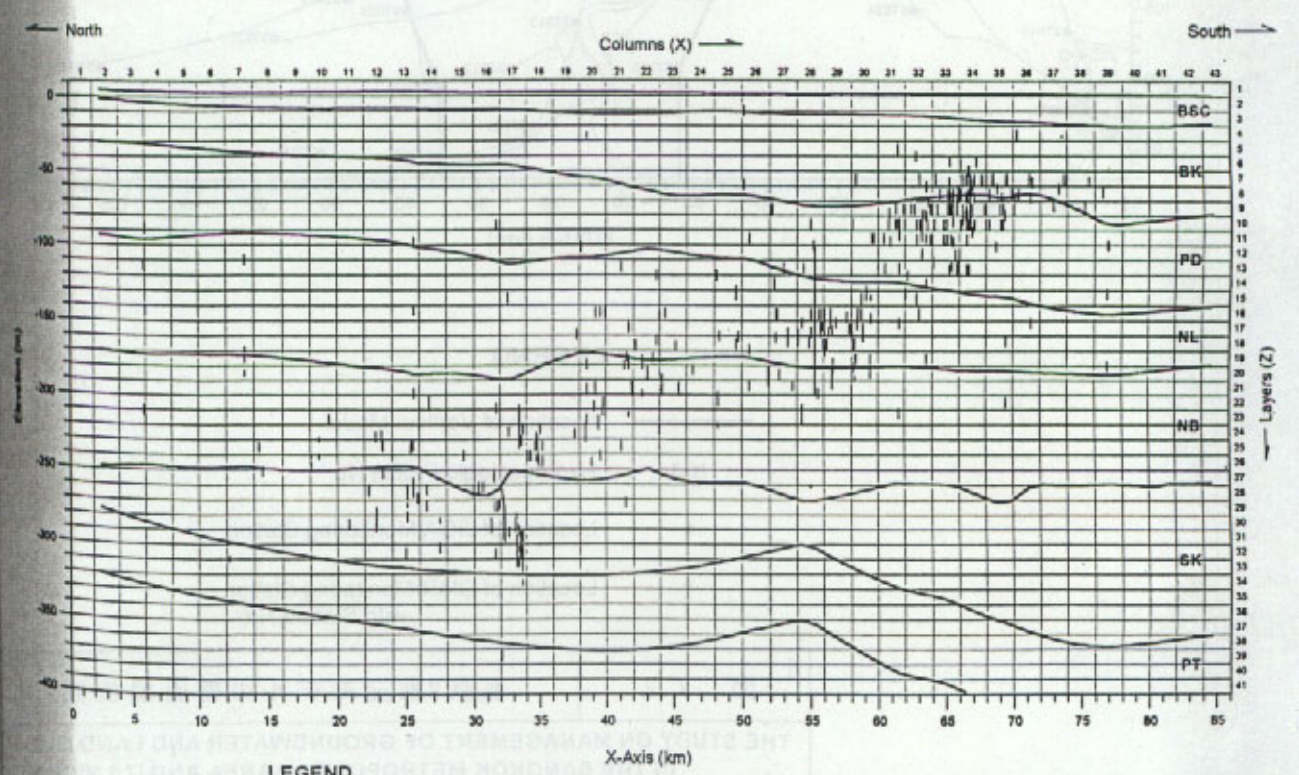
LEGEND

— Boundary of hydrogeologic unit

| Screen of production well

VERTICAL 2-D LAND SUBSIDENCE MODEL GRID	
THE STUDY ON MANAGEMENT OF GROUNDWATER AND LAND SUBSIDENCE IN THE BANGKOK METROPOLITAN AREA AND ITS VICINITY	
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)	KOKUSAI KOGYO CO., LTD.

7.3.1 垂直2次元地盤沈下モデルのグリッド



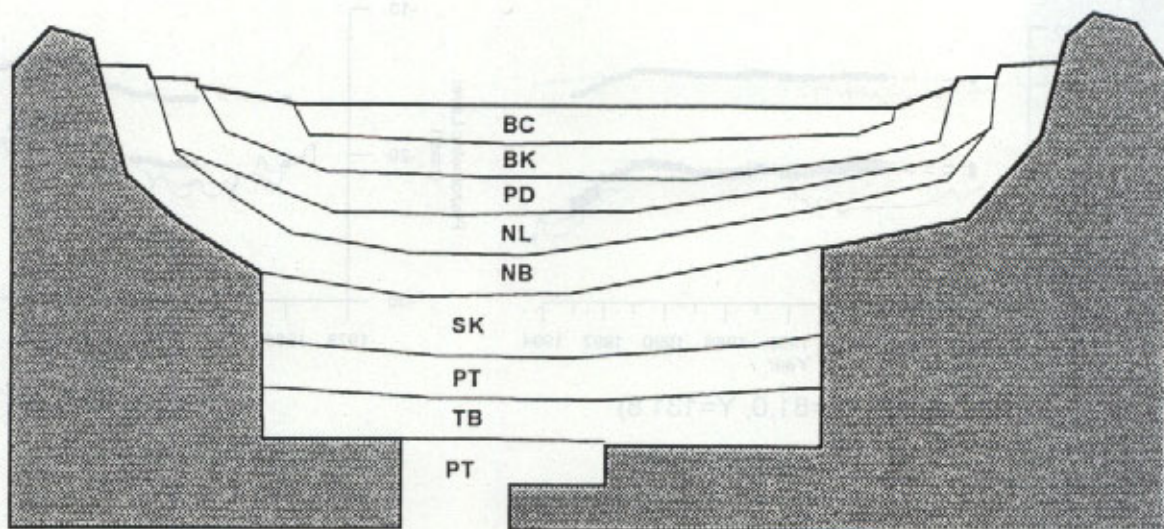
LEGEND

— Boundary of hydrogeologic unit

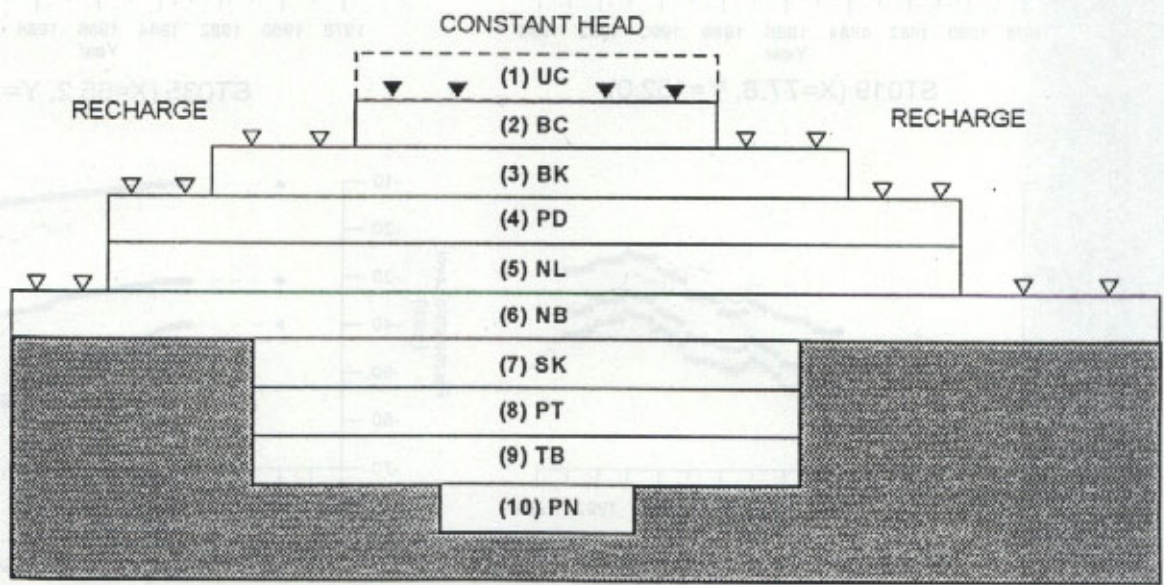
| Screen of production well

VERTICAL 2-D SOLUTE TRANSPORT MODEL GRID	
THE STUDY ON MANAGEMENT OF GROUNDWATER AND LAND SUBSIDENCE IN THE BANGKOK METROPOLITAN AREA AND ITS VICINITY	
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)	KOKUSAI KOGYO CO., LTD.

7.3.2 垂直2次元溶質輸送モデルのグリッド



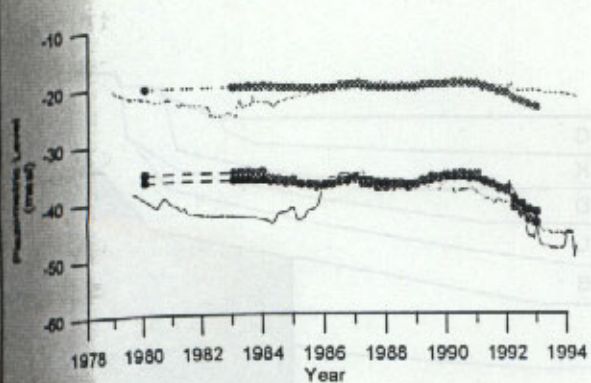
(a) Schematic Profile of Bangkok Aquifer System



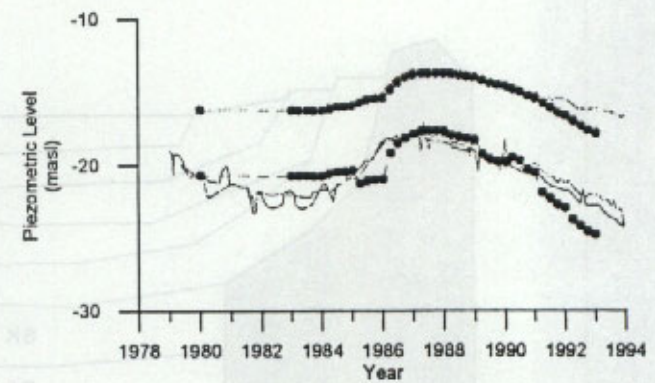
(b) 3-D Groundwater Model Applied to Bangkok Aquifer System

図 7.4 バンコク帯水層系に応用した3次元モデルの概念と境界条件

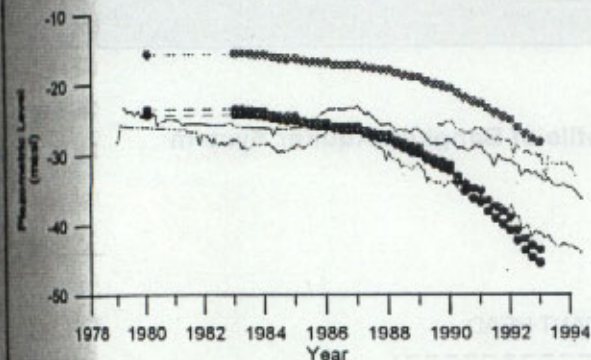
CONCEPT OF 3-D MODEL APPLIED TO BANGKOK AQUIFER SYSTEM	
THE STUDY ON MANAGEMENT OF GROUNDWATER AND LAND SUBSIDENCE IN THE BANGKOK METROPOLITAN AREA AND ITS VICINITY	
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)	KOKUSAI KOGYO CO., LTD.



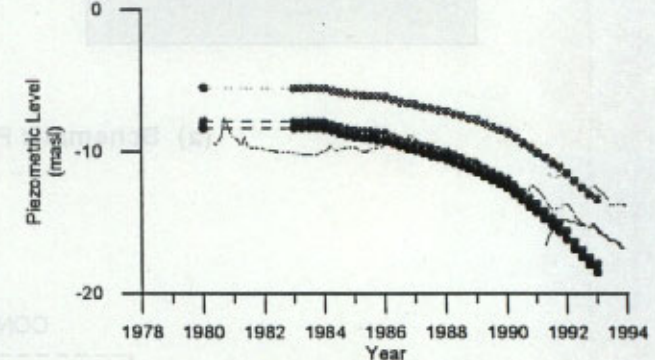
ST001 (X=81.0, Y=131.8)



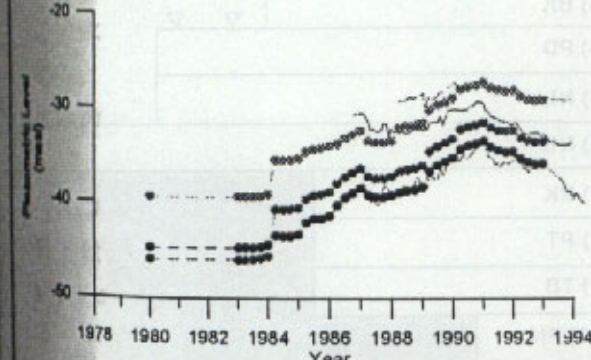
ST005 (X=54.3, Y=138.5)



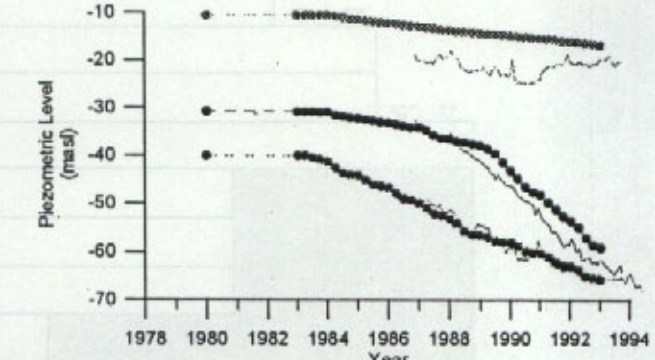
ST019 (X=77.8, Y=152.0)



ST035 (X=65.2, Y=169.6)



ST055 (X=72.8, Y=115.8)



ST062 (X=38.3, Y=97.8)

LEGEND

- Simulated PD
- Simulated NL
- Simulated NB
- Actual PD
- Actual NL
- Actual NB

 7.5	3次元地下水モデル計算値と実測値の比較 THE STUDY ON MANAGEMENT OF GROUNDWATER AND LAND SUBSIDENCE IN THE BANGKOK METROPOLITAN AREA AND ITS VICINITY
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)	
KOKUSAI KOGYO CO., LTD.	

8. 地盤沈下の予測

将来の地下水揚水量についての9つのシナリオをもとに、1993年から2017年までの25年間の地下水位と地盤沈下の予測を行った。

シナリオ 1

地下水揚水量は、MWA井戸を除いて1992年までのトレンドに沿って増加する。また、MAN井戸は2007年までに廃止され、IEATは計画の容量に達する。

このシナリオによれば、地下水位は調査地域全域で激しく低下する。主要帯水層の地下水位は、ラットクラバン、パトムタニ、サムットサコンのような揚水中心域で、2017年には-80mから-180mに低下する。

これに伴う地盤沈下はサムットサコンでは25年間で200cmを越え、全域が50cm以上沈下する。サムットプラカン、バンコク、パトムタニ、サムットサコン、及びナコンパトムの一部で100cm以上に達すると予測される(図8.1)。

シナリオ 2

MWA井戸は2007年までに廃止、パトムタニではPWA井戸が1997年から2001年までに段階的に廃止され、この地域の民間井戸は表流水に転換される。IEATは計画容量に達する。サムットサコン、アユタヤ、ナコムパトムはシナリオ1と同じである。

主帯水層のNL帯水層は1998年から2017にかけて、ラットクラバン地域で約15m回復する。しかし、その後再び低下する。サムットサコン地域は地表水の供給計画がないので、シナリオ1と同様に地下水位は-160mから-170mに低下する。

バンコク中心部の地盤沈下は1998年以降停止する。バンコク北部では1997年から沈下は緩やかになり、2003年にリバウンドが起きる。しかしそれ以降再び年間3cm程度の沈下が発生する。サムットサコンでは累計沈下量は25年間で170cmに達する。一方、バンコクとサムットプラカンは50cm以下である(図8.2)。

シナリオ 3

全ての用途の揚水量は現在の規制地域内において1997年以降、この年の揚水量のまま一定に保たれる。規制地域外ではシナリオ1と同じである。

現在の規制地域1及び2では地下水位は安定する。しかし、ラットクラバンやサムットサコンは、規制地域外のため地下水位は直線的に低下する。AIT近辺の地下

水位はパトムタニの揚水量増大に伴って2008年以降再び低下する。

1998年から2008年にかけて、バンコク中心部と北部の地盤沈下は緩やかになるが、2009年以降再び増加する。サムットサコンやラットクラバンの沈下は2017年まで続く。規制地域1及び2の大部分では2017年までに50cm以上沈下し、地域外のパトムタニとサムットサコンは100cmから175cm沈下する(図8.3)。

シナリオ 4

現在の規制地域1及び2では1997年以降は揚水量を一定とし、2002年から2007年までに50%へ、また2007年から2012年に35%へ段階的に削減する(図8.10)。規制地域3では2000年以降一定量とする。規制地域外ではシナリオ1に従う。

ラットクラバン周辺は2002年以降顕著な水位回復が起き、現在よりも高い水位になる。しかし、AIT周辺やサムットサコンでは2017年までにそれぞれ-187mと-170mに低下する。

地盤沈下はバンコク中心部と東部で2001年以降停止し軽微なりバウンドが発生する。しかし、規制地域外ではシナリオ1と同様な沈下が発生し、パトムタニやサムットサコンでは100cm以上の沈下が予測される(図8.4)。

シナリオ 5 A

1999年まではシナリオ1に従い揚水量は増加する。2000年からは、本調査で提案する新規制地域、すなわちバンコク、ノンタブリ、パトムタニ、サムットブラカン、サムットサコンでは2000年揚水量のまま一定とする(図8.10)。新規制地域外では、シナリオ1に従う。

地下水位は東のラットクラバン周辺では2000年から軽微な回復を始める。AIT周辺やサムットサコンでは2000年以降低下率が小さくなる。NL帯水層の地下水位は2017年にはラットクラバン周辺で-59m, AIT周辺では-114mまたサムットサコンでは-111mとなる。

地盤沈下はサムットサコンで2017年までに96cm,バンコク中心部で58cm,ラットクラバン周辺とAIT周辺ではそれぞれ最大30cm及び56cmに達する。パトムタニとサムットサコンでは100cm以上の沈下が発生する地域はなくなる。しかし、新規制地域内は広い範囲が50cm以上沈下する(図8.5)。

シナリオ 5 B

新
ま

地
-3

地
沈
m7
さ

シ

新
か
る

20
層
m、

地
下
1.
部

シ

新
率
削

19
付
帯
サ

地
は
0:

新規制地域の揚水量は2000年以降2010年までに50%に段階削減、2011年以降2017年までは一定。その他はシナリオ5Aと同じである。

地下水位は2001年以降顕著に回復する。NL帯水層の水位はラットクラバン周辺で-33m、AIT周辺で-65m、サムットサコン周辺で-62mと予測される。

地盤沈下は、2001年に停止しその後軽微なリバウンドが発生する。2017年の累計沈下量の最大はサムットサコン周辺で66cm、バンコク中心部で32cm、AIT付近で18cmである。サムットサコンを除く新規制地域の全域が沈下量50cm以下になると予測される(図8.6)。

シナリオ 5 C

新規制地域の揚水量は2000年以降2010年までに75%に段階削減する。また、2011年から2017年までは揚水量を一定とする。その他はシナリオ5A、5Bと同じである。

2000年から2010年の地下水位の回復は、シナリオ5Bより緩やかである。NL帯水層の地下水位は2001年にはラットクラバン、AIT、サムットサコンでそれぞれ-60m、-116m及び-103mに低下するが、2017年には-47m、-90m及び-88mに回復する。

地盤沈下はラットクラバン付近は2011年まで停止する。その他の地域では年間沈下量は0.5cm以下である。しかし、2011年から2017までの年間沈下量は0.5cmから1.0cmとなると予測される。50cm以上の沈下地域はサムットブラカン、バンコク西部、パトムタニの一部、サムットサコン中心部に残存する(図8.7)。

シナリオ 6

新規制地域では、1995年から2000年までの揚水量の増加率はシナリオ1の50%(年平均2.5%)とする。また、2001年から2010年までは2000年揚水量の75%まで段階削減しその後一定とする。新規制地域外ではシナリオ1と同じである。

1993年から2001年の地下水位低下量はシナリオ5Cより小さい。ラットクラバン付近のNL帯水層の地下水位は2001年には-57m、2017年には-41mである。同様にNL帯水層の地下水位はAIT周辺で2001年には-87mから2017年の-73mに、またサムットサコンでは-88mから-72mに回復する。

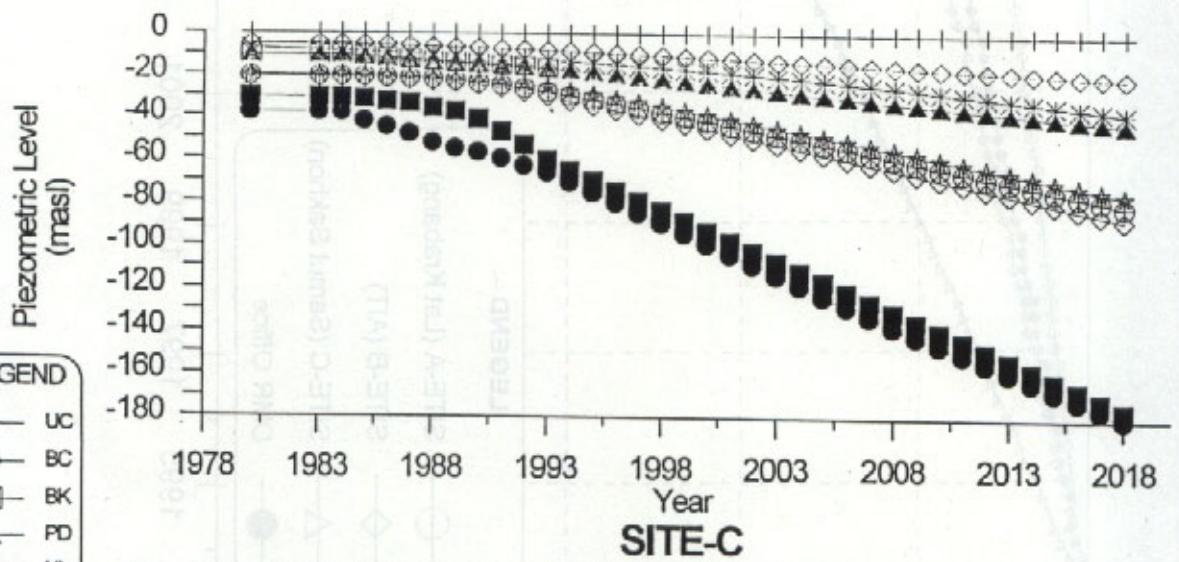
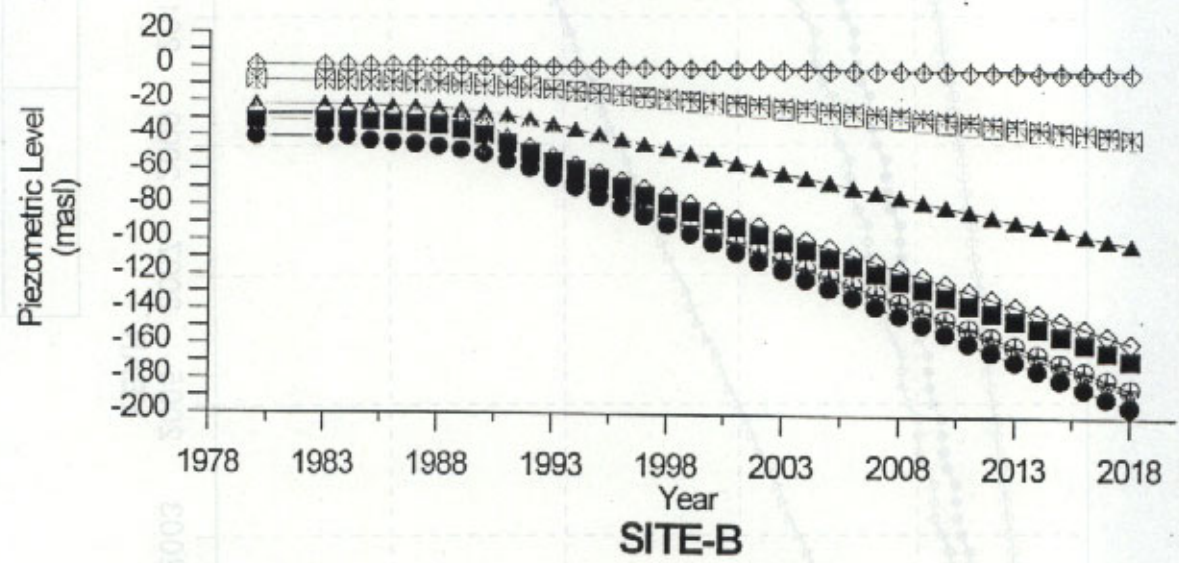
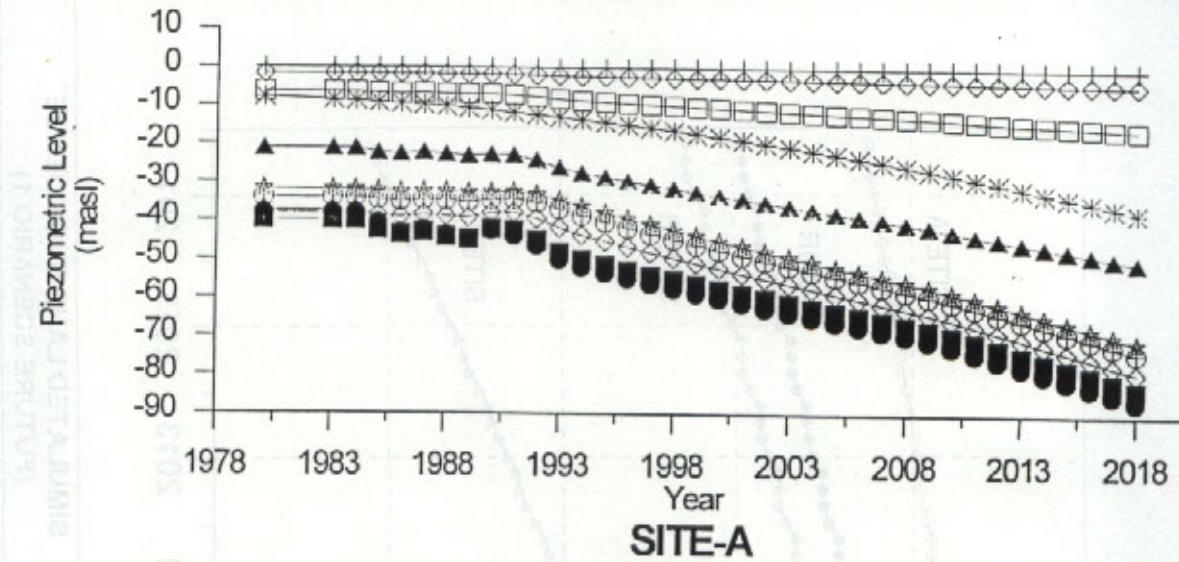
地盤沈下量もシナリオ5Cに比べ減少し、2017年のサムットサコンの累計沈下量は48cmとなる。また、ラットクラバン、AIT周辺、バンコク中心部の沈下量は2000年までに20cm以下に抑制される(図8.8)。

シナリオ 7

新規制地域では、1995年から2000年までの揚水量は1994年揚水量のまま一定とする。2000年から2010年までは2000年揚水量の75%に段階削減し、その後は一定とする。

2001年以降主要帯水層の地下水位は回復する。ラットクラバン周辺では2001年の-55mから2017年の-38mに、AITでは-80mから-68mに、サムットサコンでは-80mから-66mに回復する。

2001年までの地盤沈下量はシナリオ6に比べ減少する。サムットサコンでは2001年までの累計沈下量は31cm、2017年では36cmと予測される。新規制地域のほぼ全域で累積地盤沈下量は30cm以下に抑制される(図8.9)。



- LEGEND**
- UC
 - ◇ BC
 - BK
 - ▲ PB
 - NL
 - NB
 - ◇ SK
 - ⊕ PT
 - ★ TB
 - * PN

図 8.1.1 JICAモニタリング井周辺の地下水位変化予測値 (シナリオ1)

SIMULATED PIEZOMETRIC HEADS AT JICA MONITORING STATIONS (SCENARIO 1)	
THE STUDY ON MANAGEMENT OF GROUNDWATER AND LAND SUBSIDENCE IN THE BANGKOK METROPOLITAN AREA AND ITS VICINITY	
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)	KOKUSAI KOGYO CO., LTD.

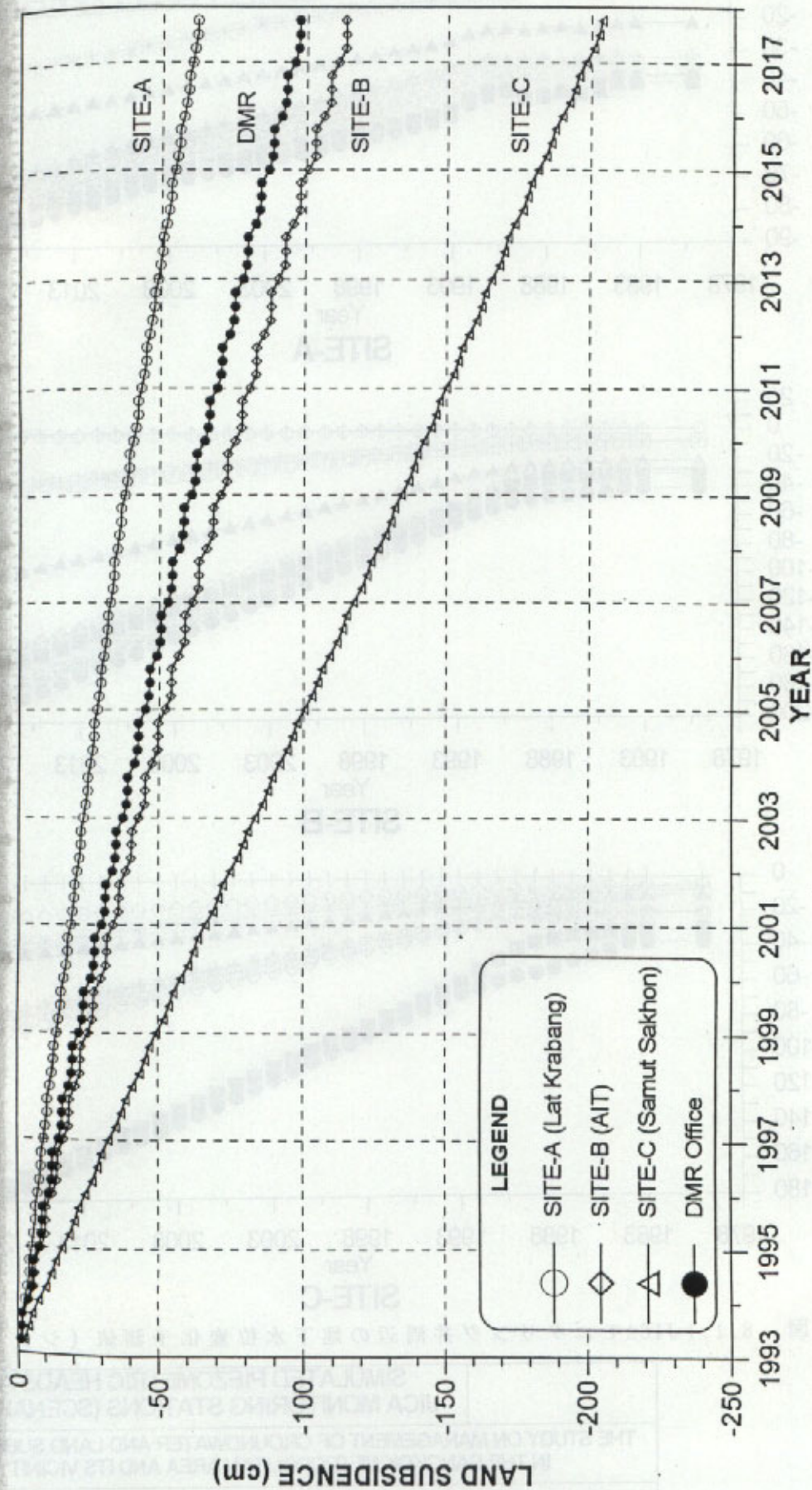


図 8.1.2

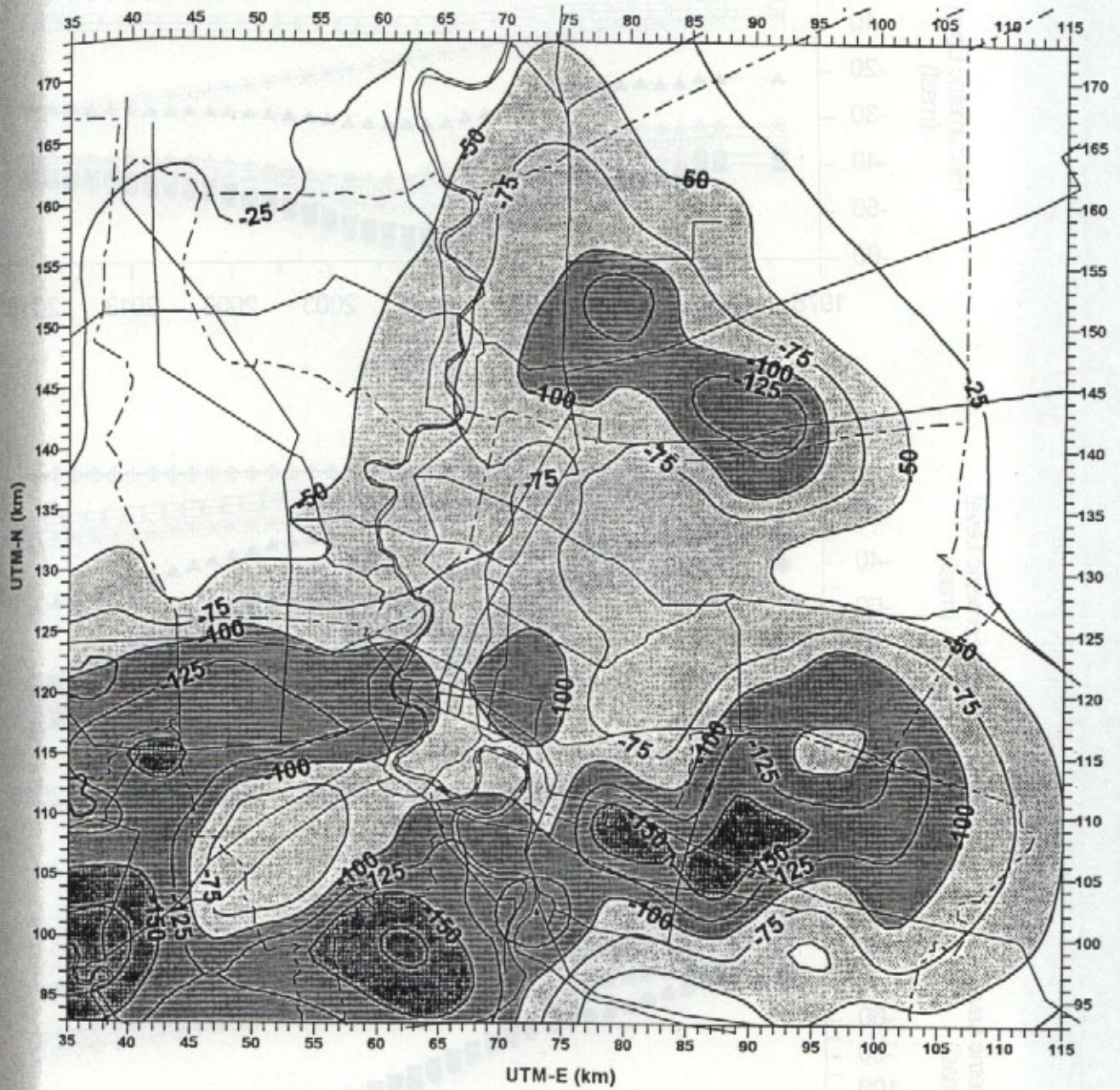
JICAモニタリング井周辺の地盤沈下予測値 (シナリオ 1)

SIMULATED LAND SUBSIDENCE*
(FUTURE SCENARIO 1)

THE STUDY ON MANAGEMENT OF GROUNDWATER AND LAND SUBSIDENCE
IN THE BANGKOK METROPOLITAN AREA AND ITS VICINITY

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)

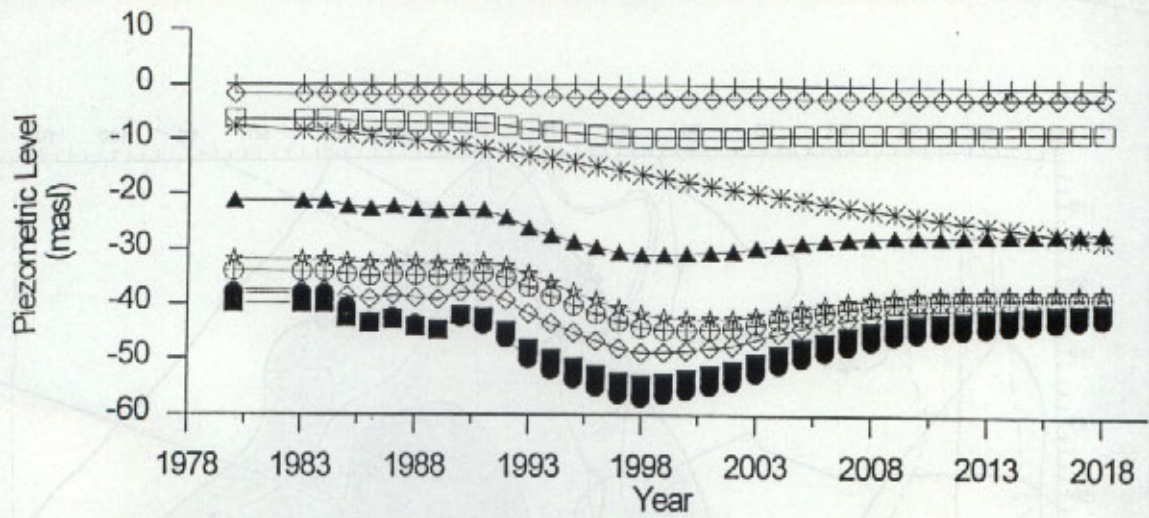
KOKUSAI KOGYO CO., LTD.



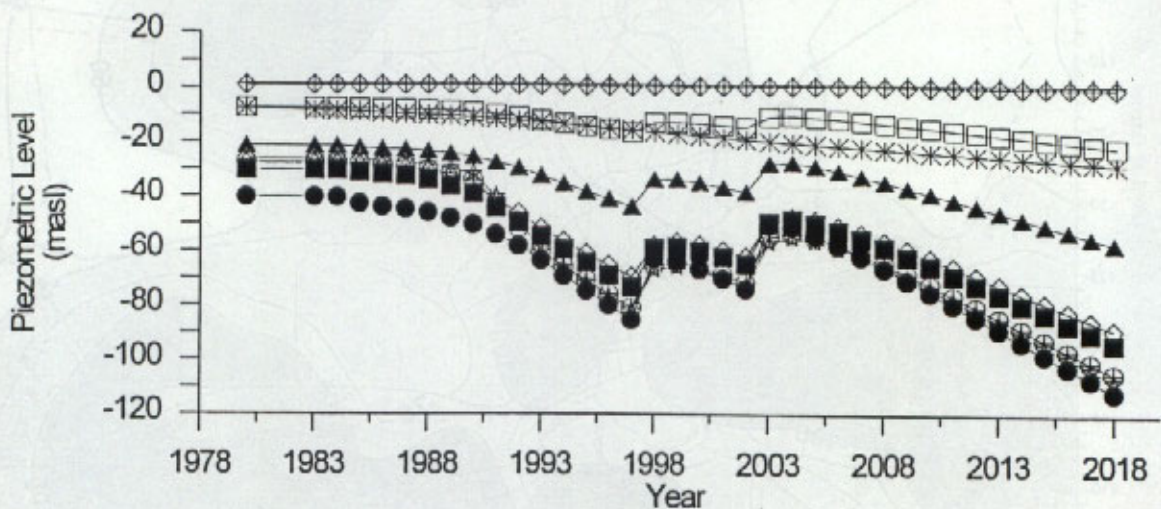
**SIMULATED LAND SUBSIDENCE (cm)
FROM 1993 TO 2017 (25 years)
BY FUTURE SCENARIO 1**

図 8.1.3 2017年における累積地盤沈下量分布予測 (シナリオ 1)

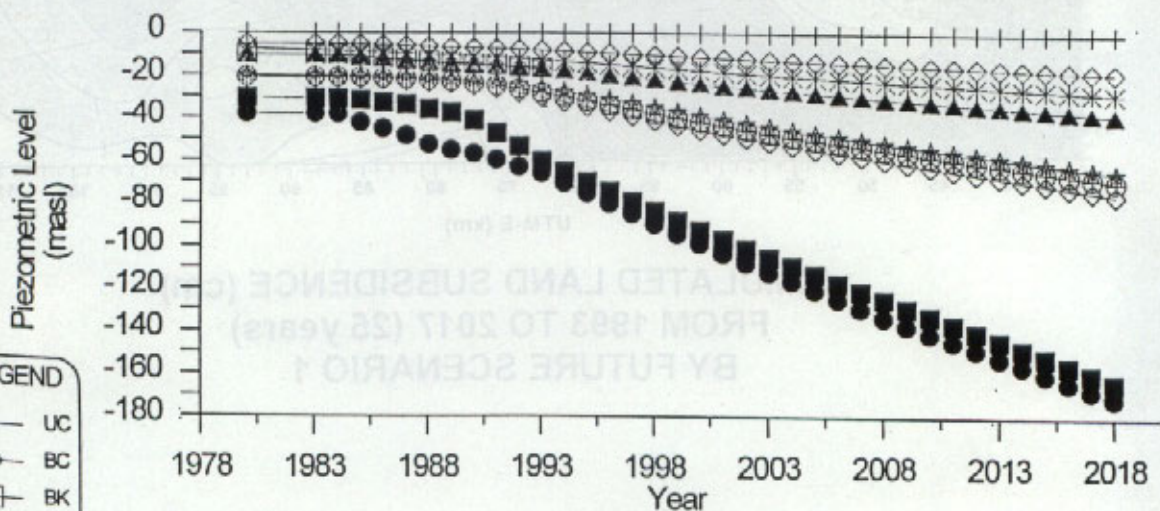
SIMULATED LAND SUBSIDENCE BY FUTURE SCENARIO 1	
THE STUDY ON MANAGEMENT OF GROUNDWATER AND LAND SUBSIDENCE IN THE BANGKOK METROPOLITAN AREA AND ITS VICINITY	
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)	KOKUSAI KOGYO CO., LTD.



SITE-A



SITE-B



SITE-C

- LEGEND
- UC
 - BC
 - BK
 - PD
 - NL
 - NB
 - SK
 - PT
 - TB
 - PN

図 8.2.1 JICAモニタリング井周辺の地下水位変化予測値 (シナリオ2)

SIMULATED PIEZOMETRIC HEADS AT JICA MONITORING STATIONS (SCENARIO 2)	
THE STUDY ON MANAGEMENT OF GROUNDWATER AND LAND SUBSIDENCE IN THE BANGKOK METROPOLITAN AREA AND ITS VICINITY	
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)	KOKUSAI KOGYO CO., LTD.

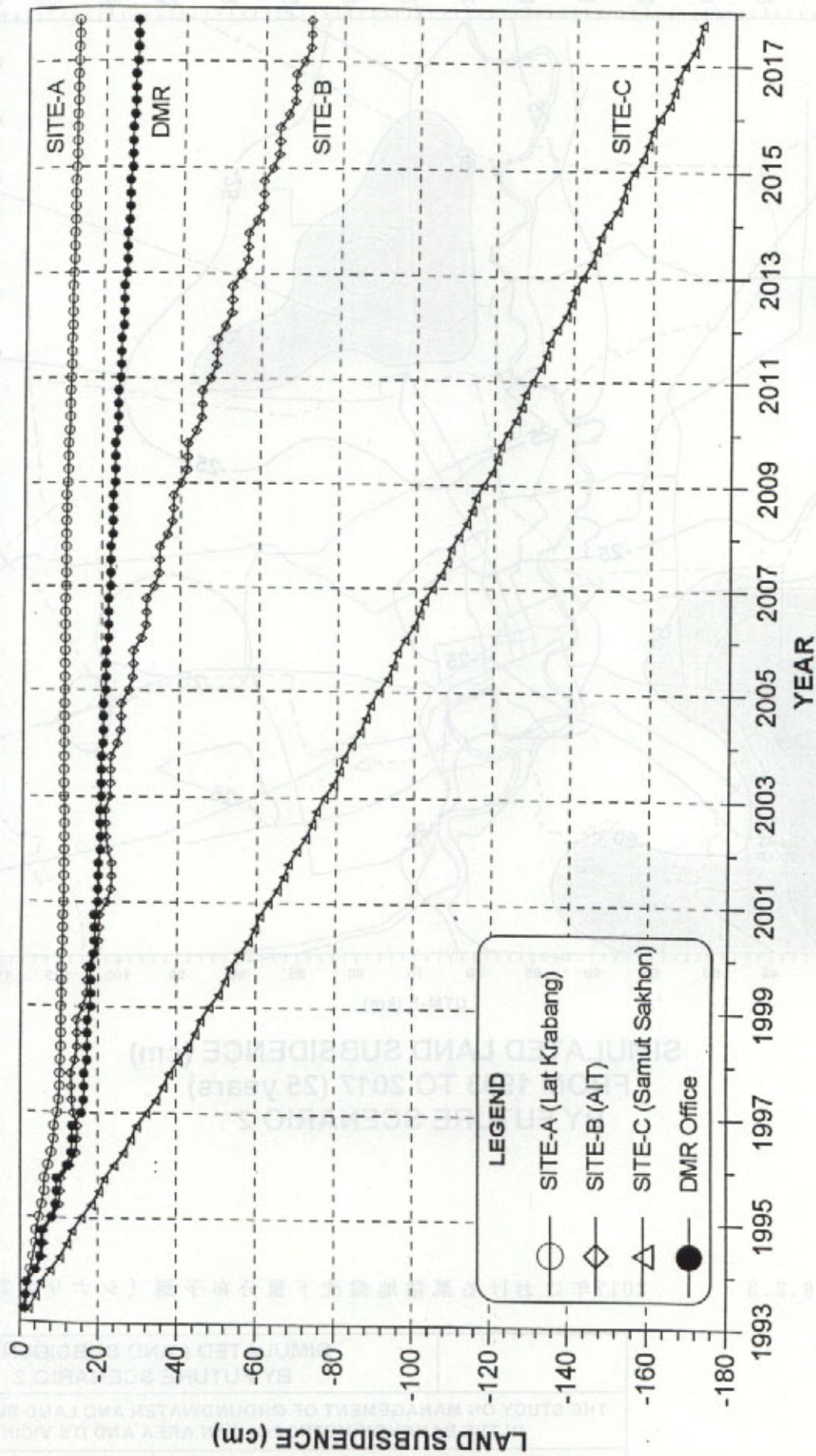
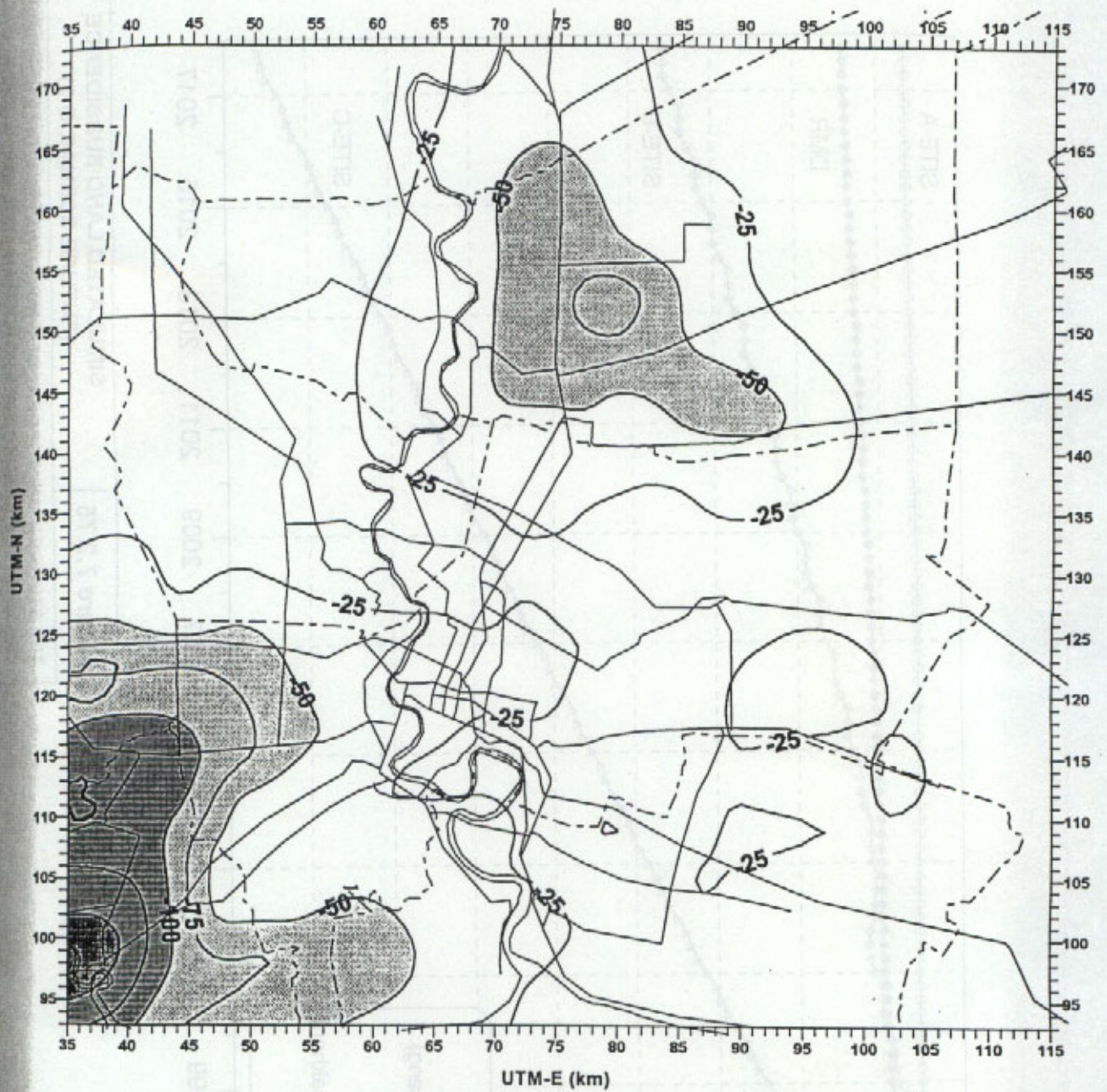


Figure 7.2.75 SIMULATED LAND SUBSIDENCE (FUTURE SCENARIO 2)

THE STUDY ON MANAGEMENT OF GROUNDWATER AND LAND SUBSIDENCE IN THE BANGKOK METROPOLITAN AREA AND ITS VICINITY
 JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA) KOKUSAI KOGYO CO., LTD.

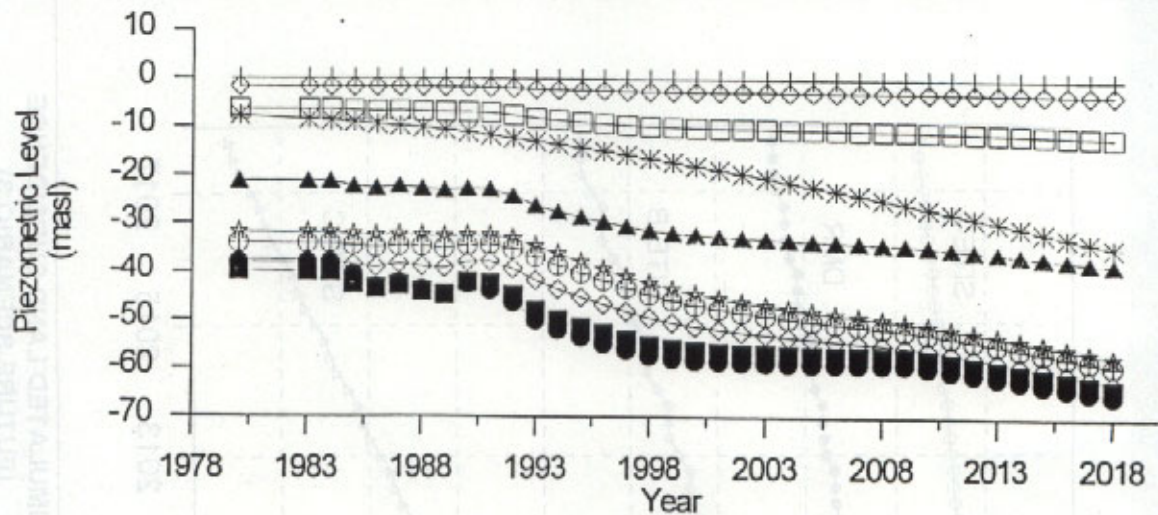
図 8.2.2 JICAモニタリング井周辺の地盤沈下予測値 (シナリオ 2)



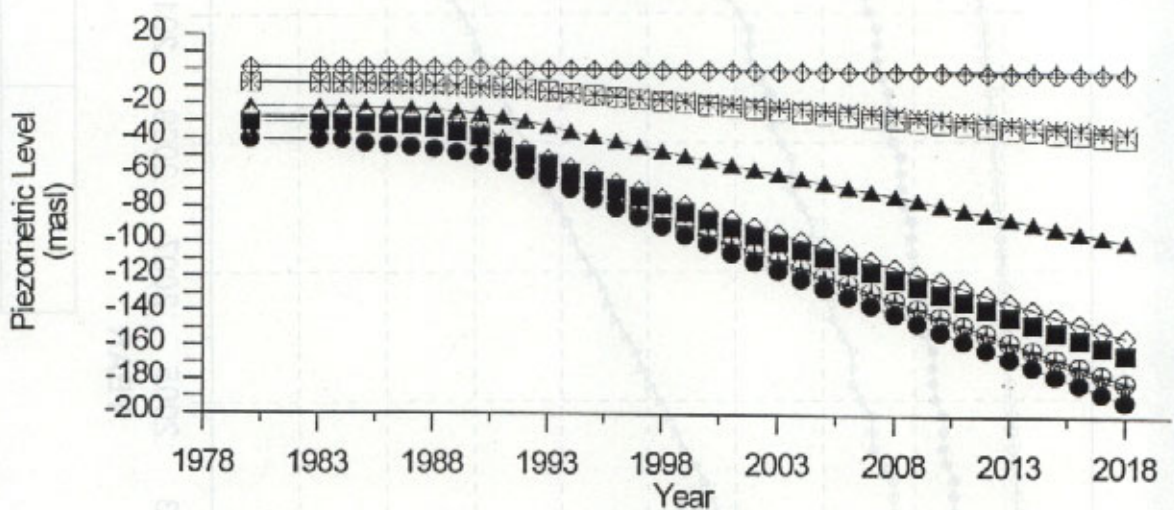
**SIMULATED LAND SUBSIDENCE (cm)
FROM 1993 TO 2017 (25 years)
BY FUTURE SCENARIO 2**

図 8.2.3 2017年における累積地盤沈下量分布予測 (シナリオ2)

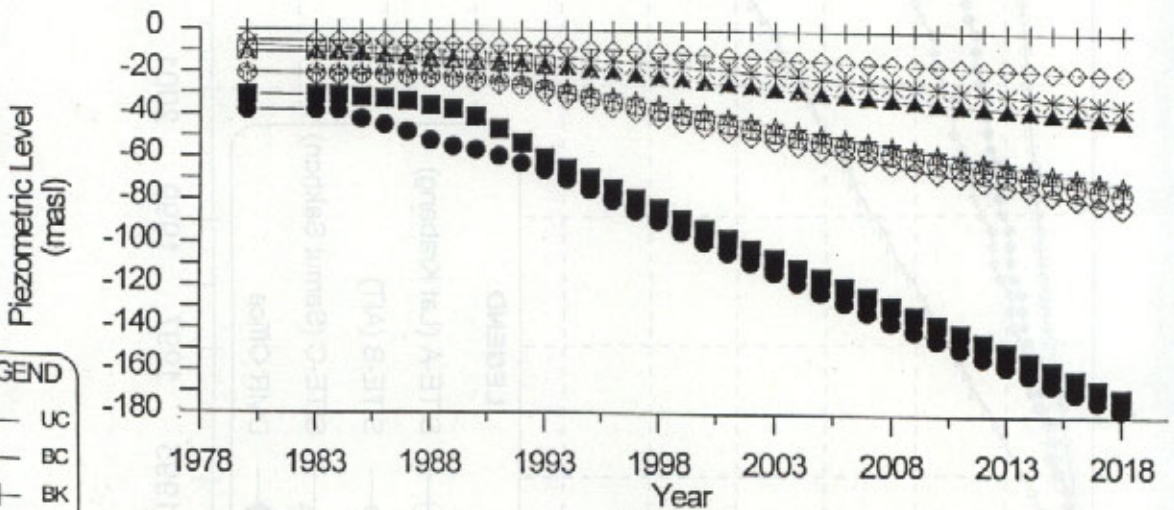
SIMULATED LAND SUBSIDENCE BY FUTURE SCENARIO 2	
THE STUDY ON MANAGEMENT OF GROUNDWATER AND LAND SUBSIDENCE IN THE BANGKOK METROPOLITAN AREA AND ITS VICINITY	
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)	KOKUSAI KOGYO CO., LTD.



SITE-A



SITE-B

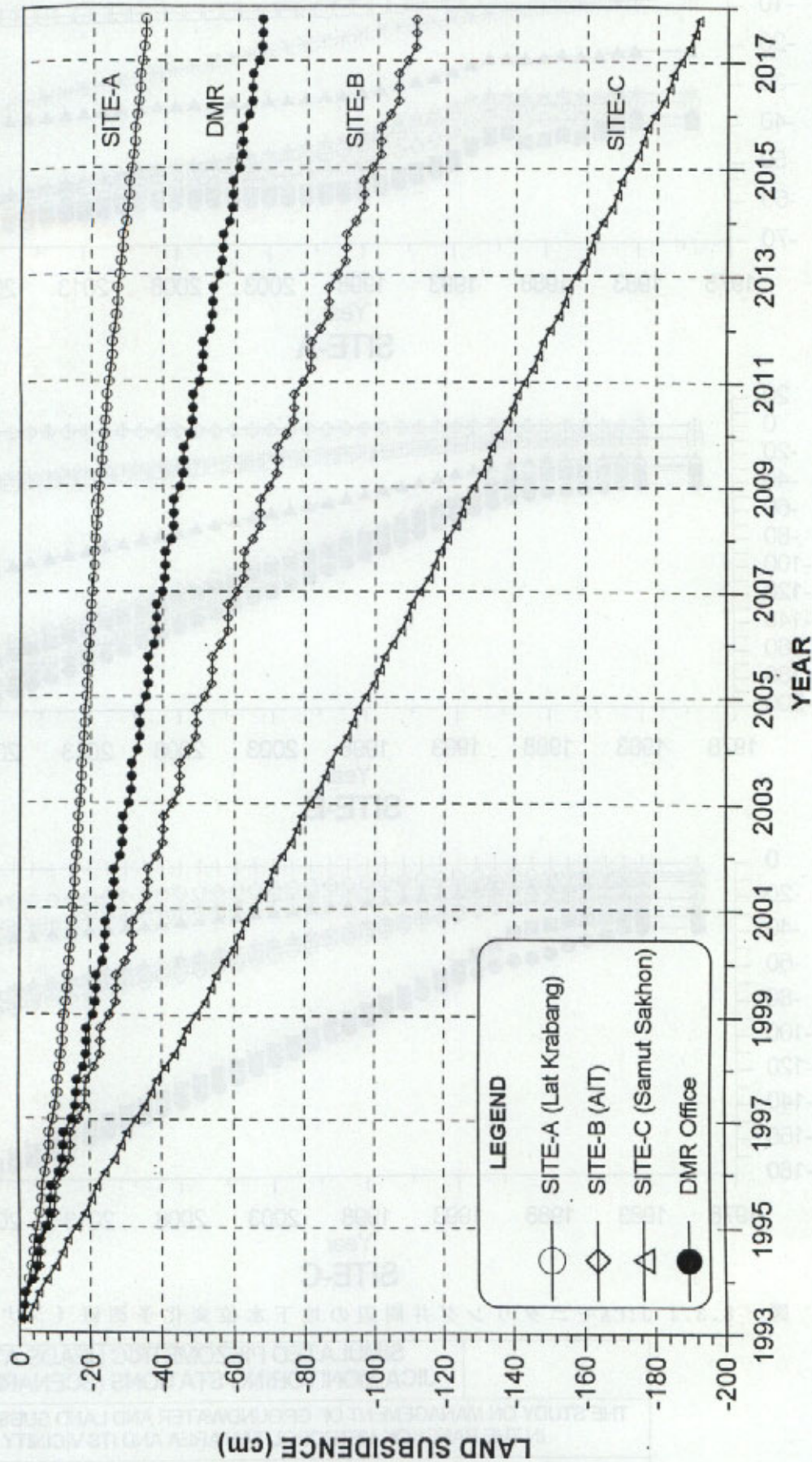


SITE-C

- LEGEND**
- +
 - ◇
 -
 - ▲
 -
 -
 - ◇
 - ⊕
 - ☆
 - *

図 8.3.1 JICAモニタリング井周辺の地下水位変化予測値 (シナリオ3)

SIMULATED PIEZOMETRIC HEADS AT JICA MONITORING STATIONS (SCENARIO 3)	
THE STUDY ON MANAGEMENT OF GROUNDWATER AND LAND SUBSIDENCE IN THE BANGKOK METROPOLITAN AREA AND ITS VICINITY	
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)	KOKUSAI KOGYO CO., LTD.

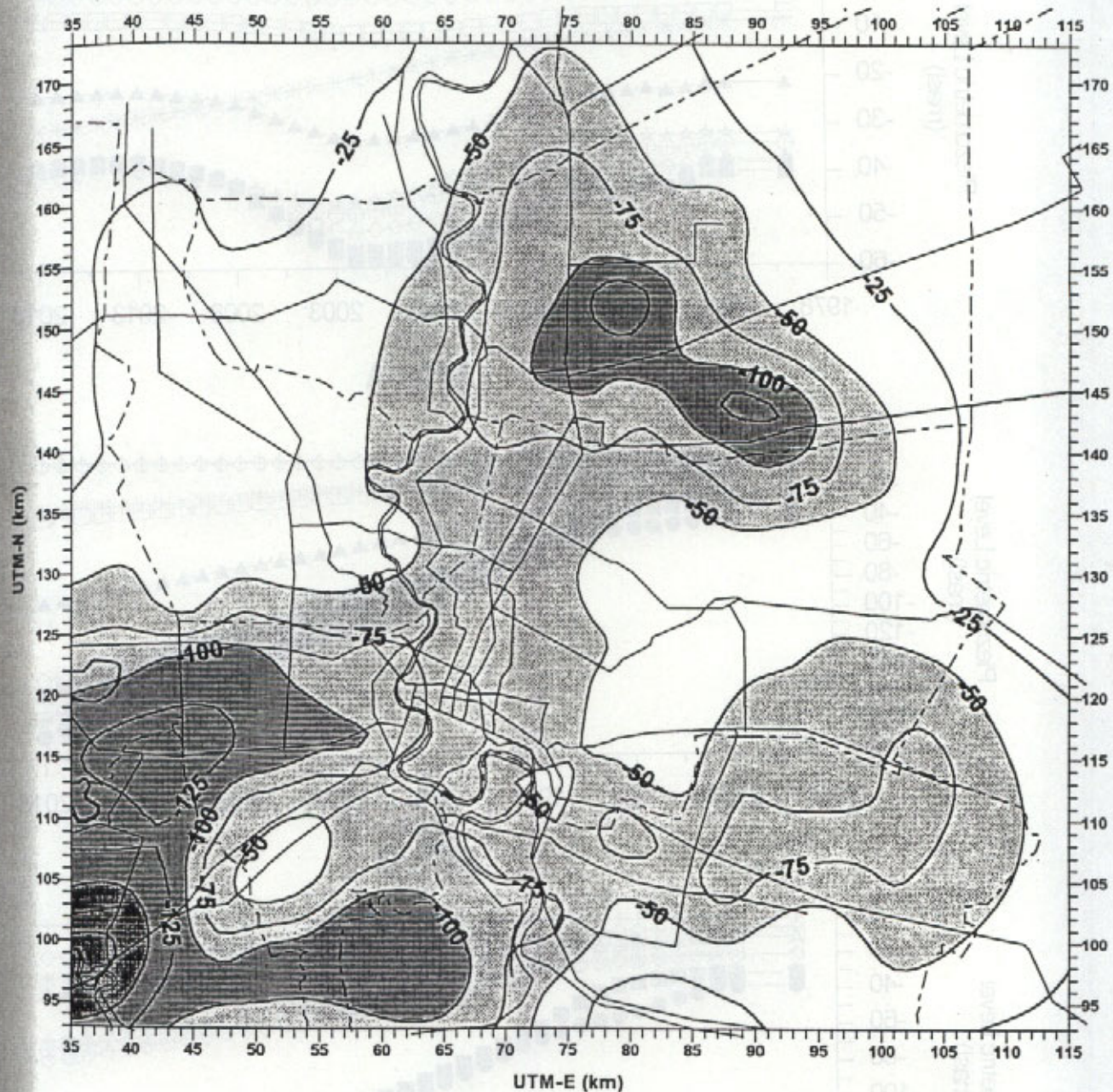


**SIMULATED LAND SUBSIDENCE
(FUTURE SCENARIO 3)**

**THE STUDY ON MANAGEMENT OF GROUNDWATER AND LAND SUBSIDENCE
IN THE BANGKOK METROPOLITAN AREA AND ITS VICINITY**

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA) KOKUSAI KOGYO CO., LTD.

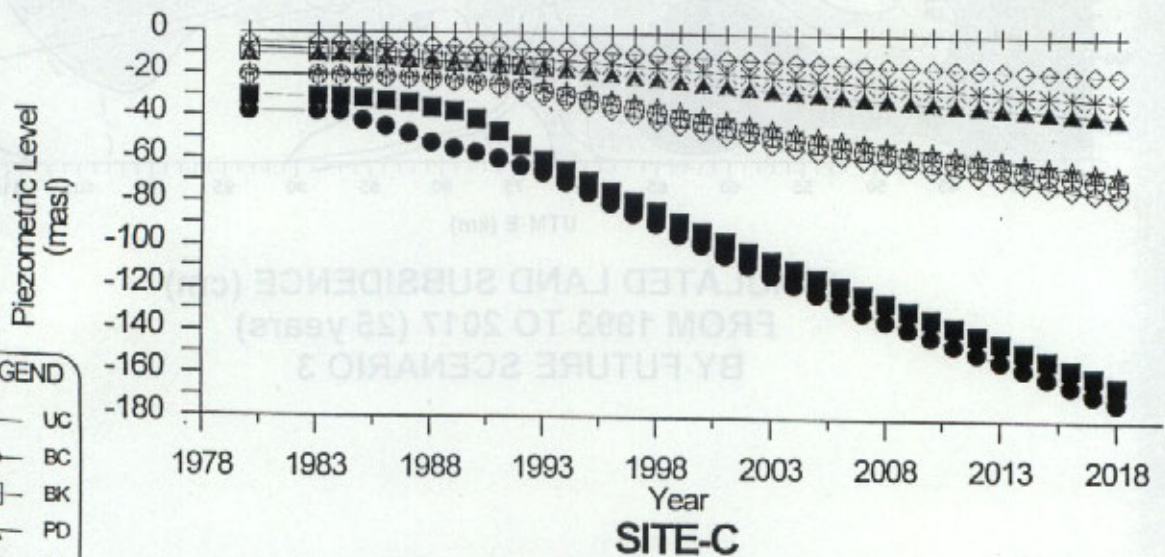
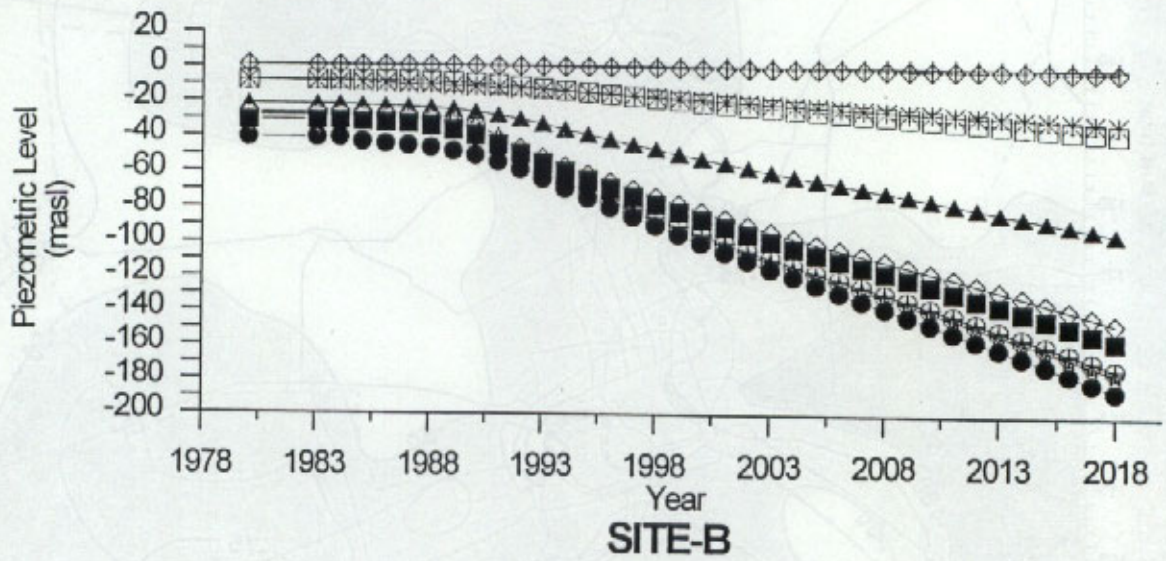
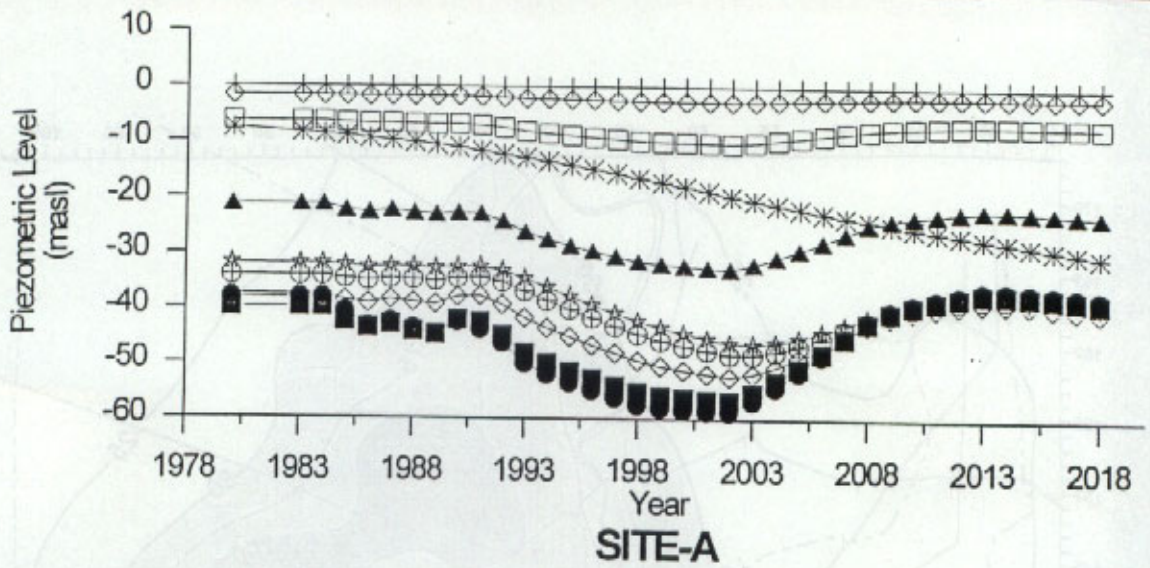
図 8.3.2 JICAモニタリング井周辺の地盤沈下予測値 (シナリオ3)



**SIMULATED LAND SUBSIDENCE (cm)
FROM 1993 TO 2017 (25 years)
BY FUTURE SCENARIO 3**

図 8.3.3 2017年における累積地盤沈下量分布予測 (シナリオ3)

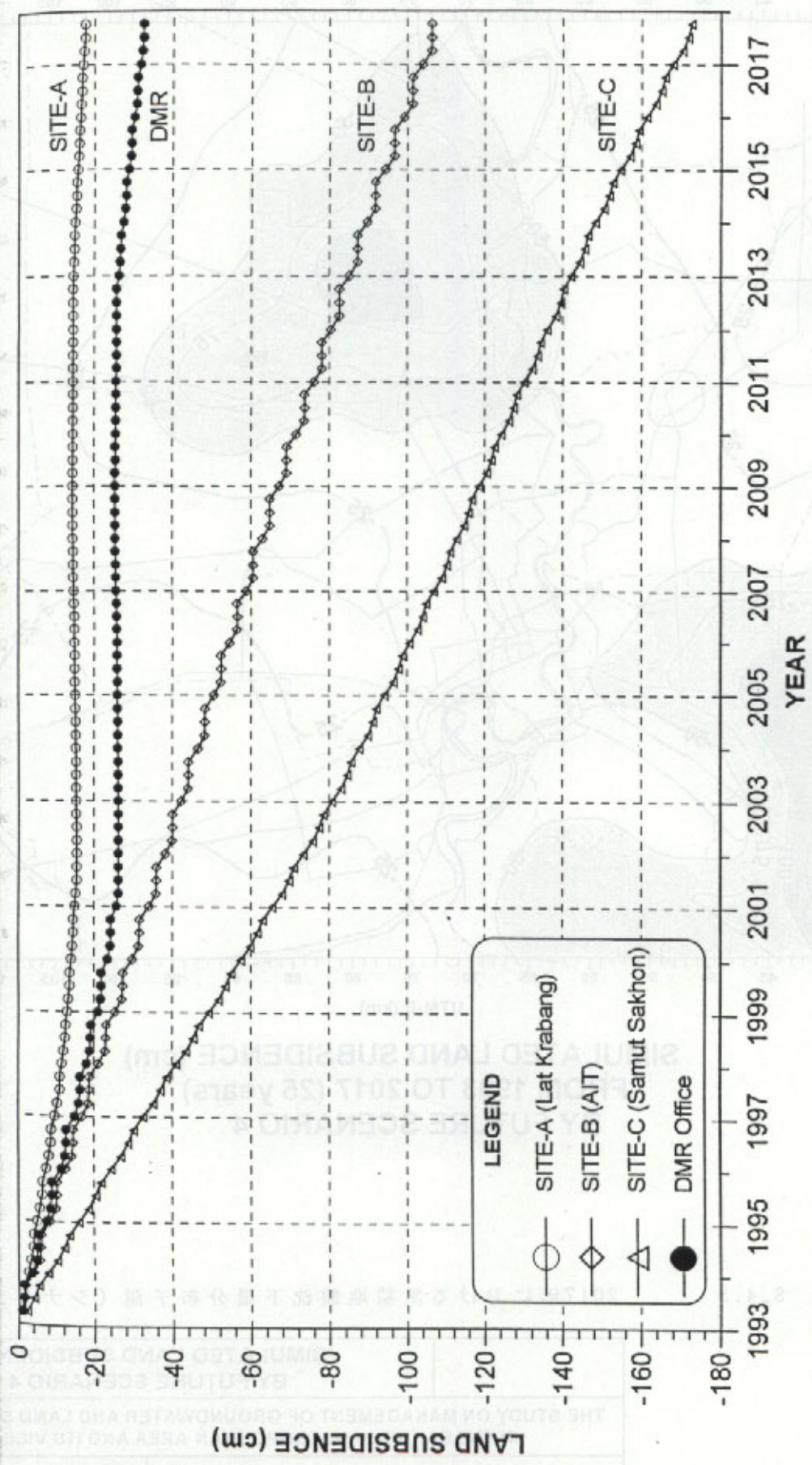
SIMULATED LAND SUBSIDENCE BY FUTURE SCENARIO 3	
THE STUDY ON MANAGEMENT OF GROUNDWATER AND LAND SUBSIDENCE IN THE BANGKOK METROPOLITAN AREA AND ITS VICINITY	
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)	KOKUSAI KOGYO CO., LTD.



- LEGEND**
- UC
 - BC
 - BK
 - PD
 - NL
 - NB
 - SK
 - PT
 - TB
 - PN

図 8.4.1 JICAモニタリング井周辺の地下水位変化予測値 (シナリオ4)

SIMULATED PIEZOMETRIC HEADS AT JICA MONITORING STATIONS (SCENARIO 4)	
THE STUDY ON MANAGEMENT OF GROUNDWATER AND LAND SUBSIDENCE IN THE BANGKOK METROPOLITAN AREA AND ITS VICINITY	
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)	KOKUSAI KOGYO CO., LTD.

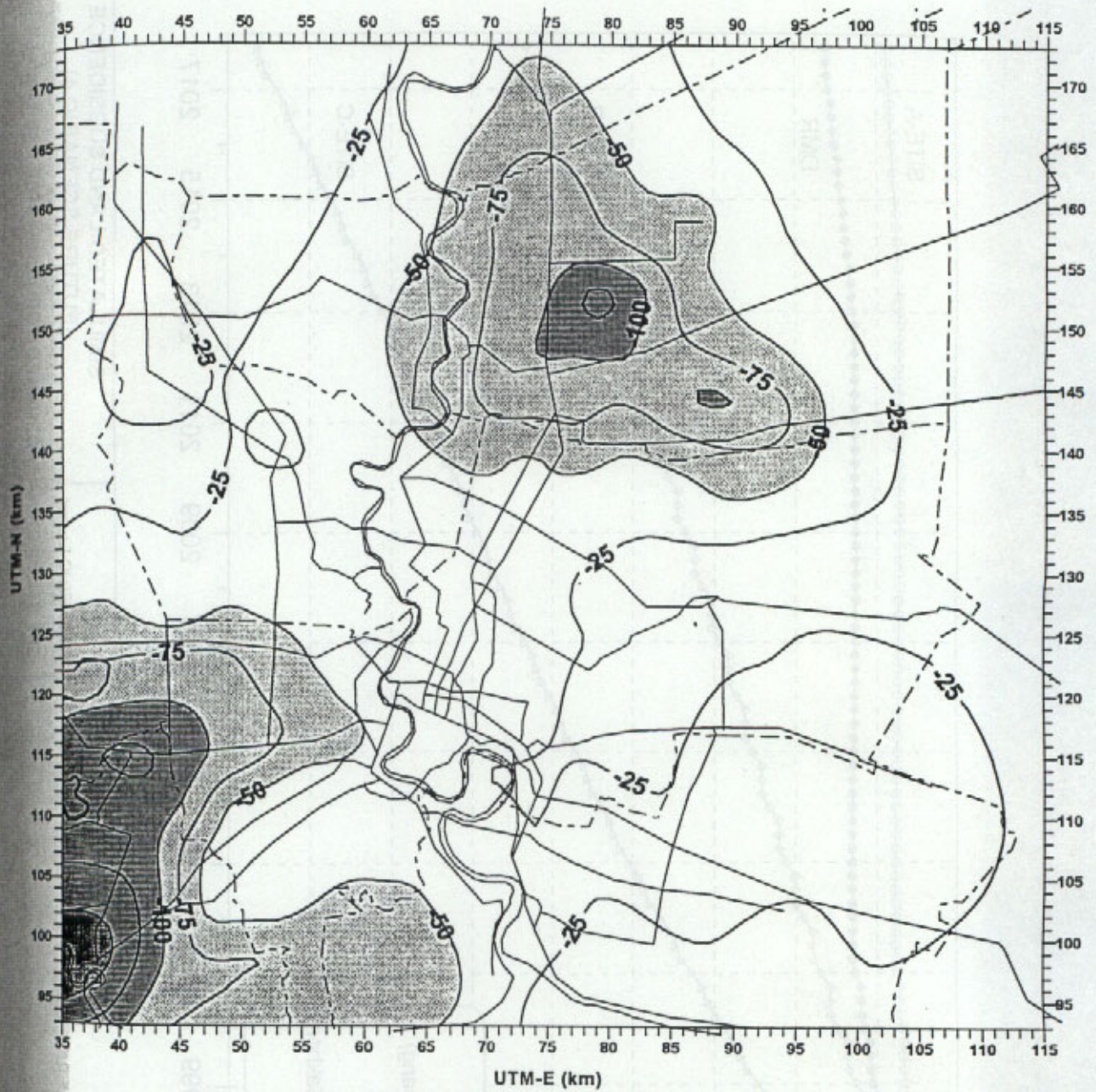


**SIMULATED LAND SUBSIDENCE
(FUTURE SCENARIO 4)**

**THE STUDY ON MANAGEMENT OF GROUNDWATER AND LAND SUBSIDENCE
IN THE BANGKOK METROPOLITAN AREA AND ITS VICINITY**

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA) KOKUSAI KOGYO CO., LTD.

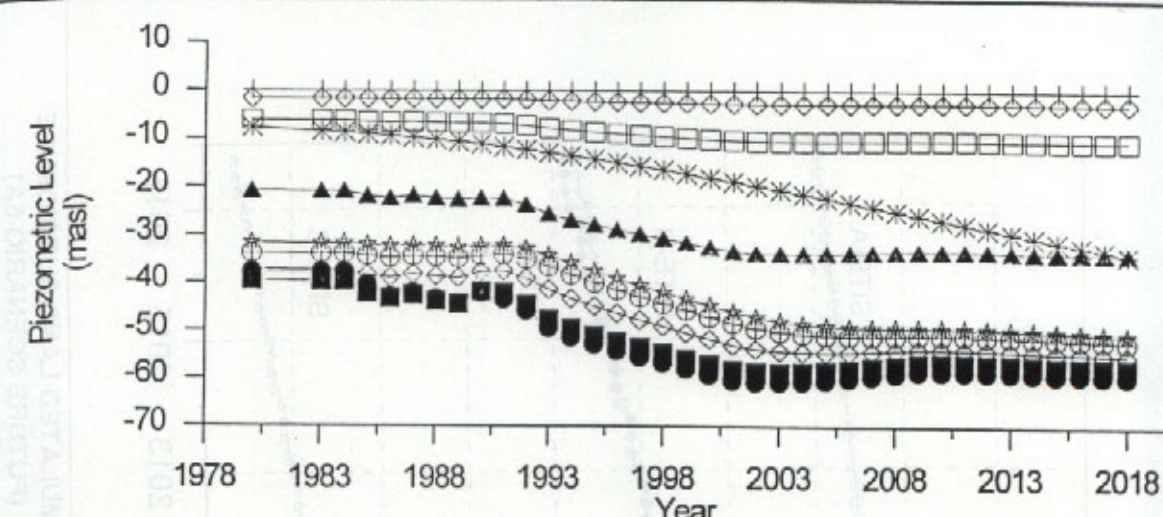
図 8.4.2 JICAモニタリング井周辺の地盤沈下予測値 (シナリオ4)



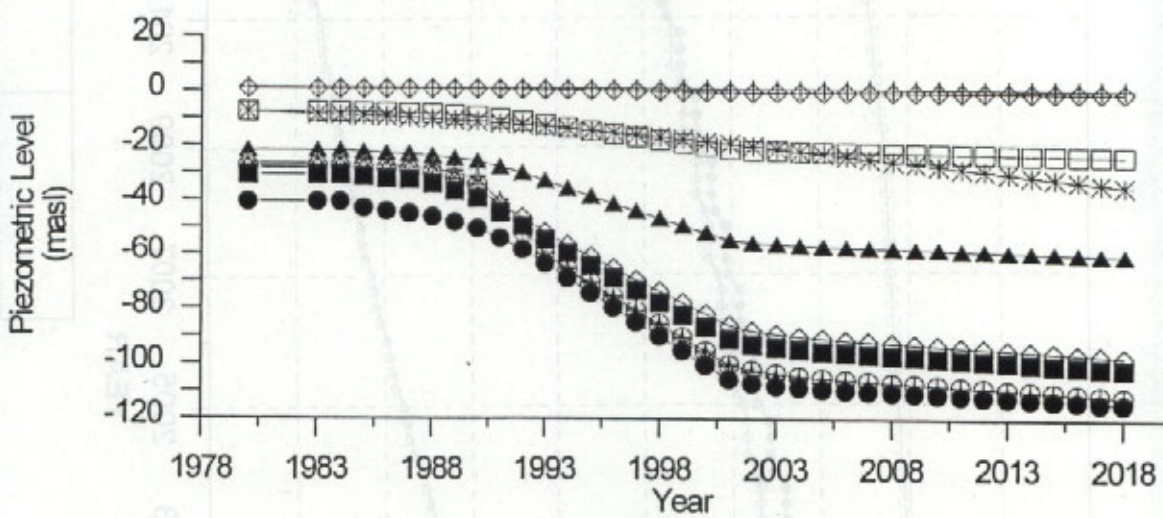
**SIMULATED LAND SUBSIDENCE (cm)
FROM 1993 TO 2017 (25 years)
BY FUTURE SCENARIO 4**

☒ 8.4.3 2017年における累積地盤沈下量分布予測 (シナリオ4)

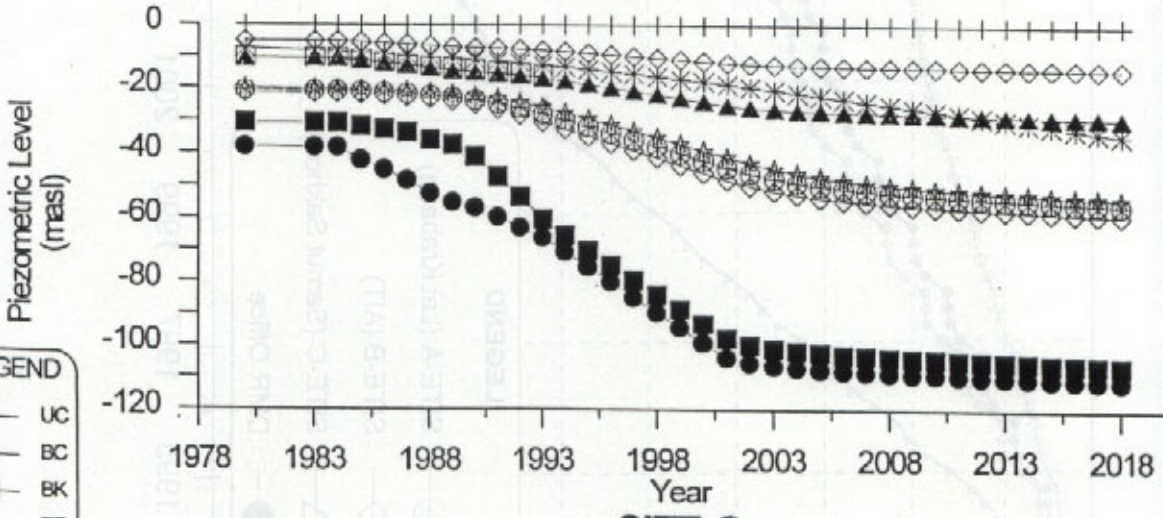
SIMULATED LAND SUBSIDENCE BY FUTURE SCENARIO 4	
THE STUDY ON MANAGEMENT OF GROUNDWATER AND LAND SUBSIDENCE IN THE BANGKOK METROPOLITAN AREA AND ITS VICINITY	
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)	KOKUSAI KOGYO CO., LTD.



SITE-A



SITE-B

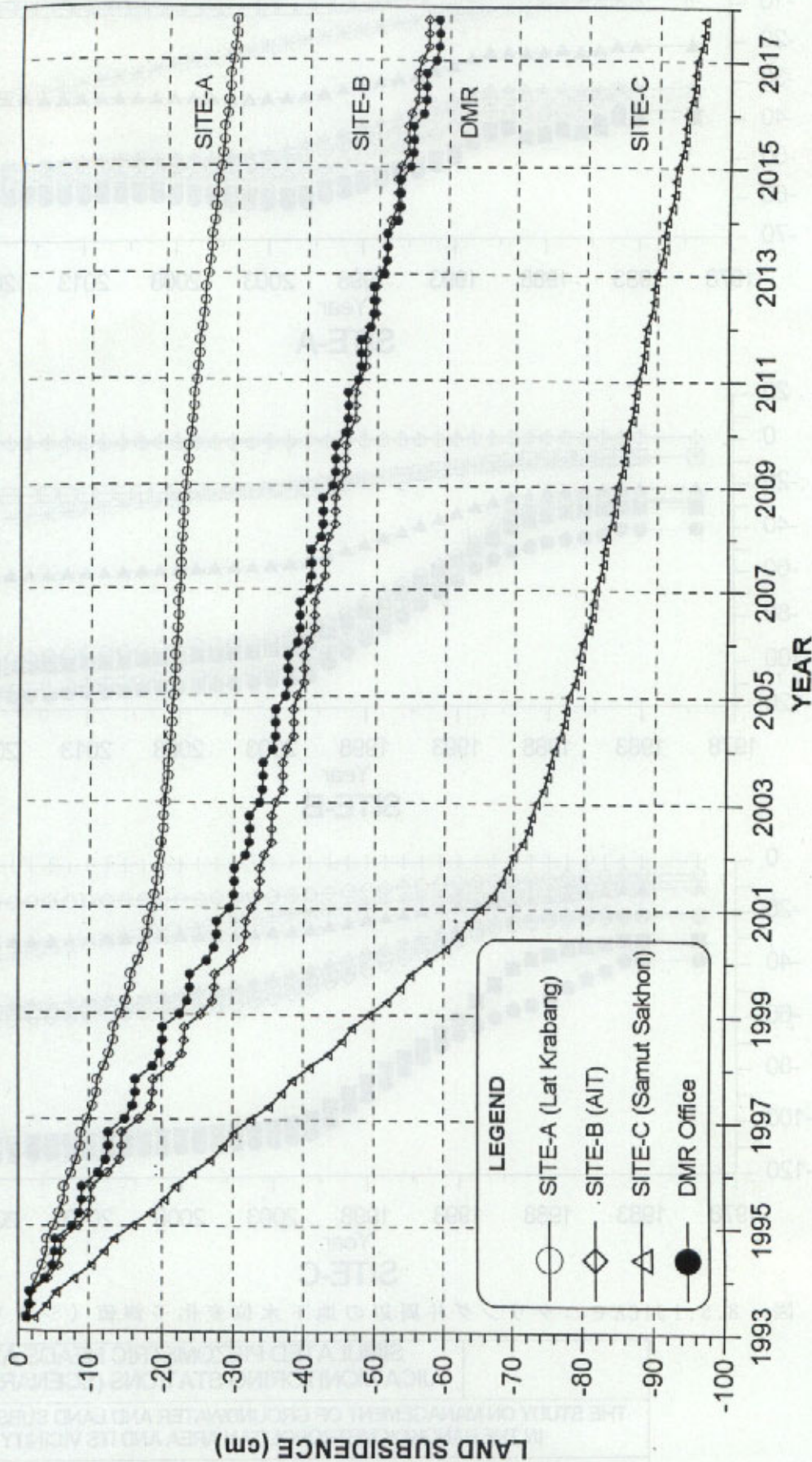


SITE-C

- LEGEND**
- UC
 - ◇ BC
 - BK
 - ▲ PD
 - NL
 - NB
 - ◇ SK
 - ⊕ PT
 - ☆ TB
 - * PN

図 8.5.1 JICAモニタリング井周辺の地下水位変化予測値 (シナリオ5A)

SIMULATED PIEZOMETRIC HEADS AT JICA MONITORING STATIONS (SCENARIO 5)	
THE STUDY ON MANAGEMENT OF GROUNDWATER AND LAND SUBSIDENCE IN THE BANGKOK METROPOLITAN AREA AND ITS VICINITY	
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)	KOKUSAI KOGYO CO., LTD.

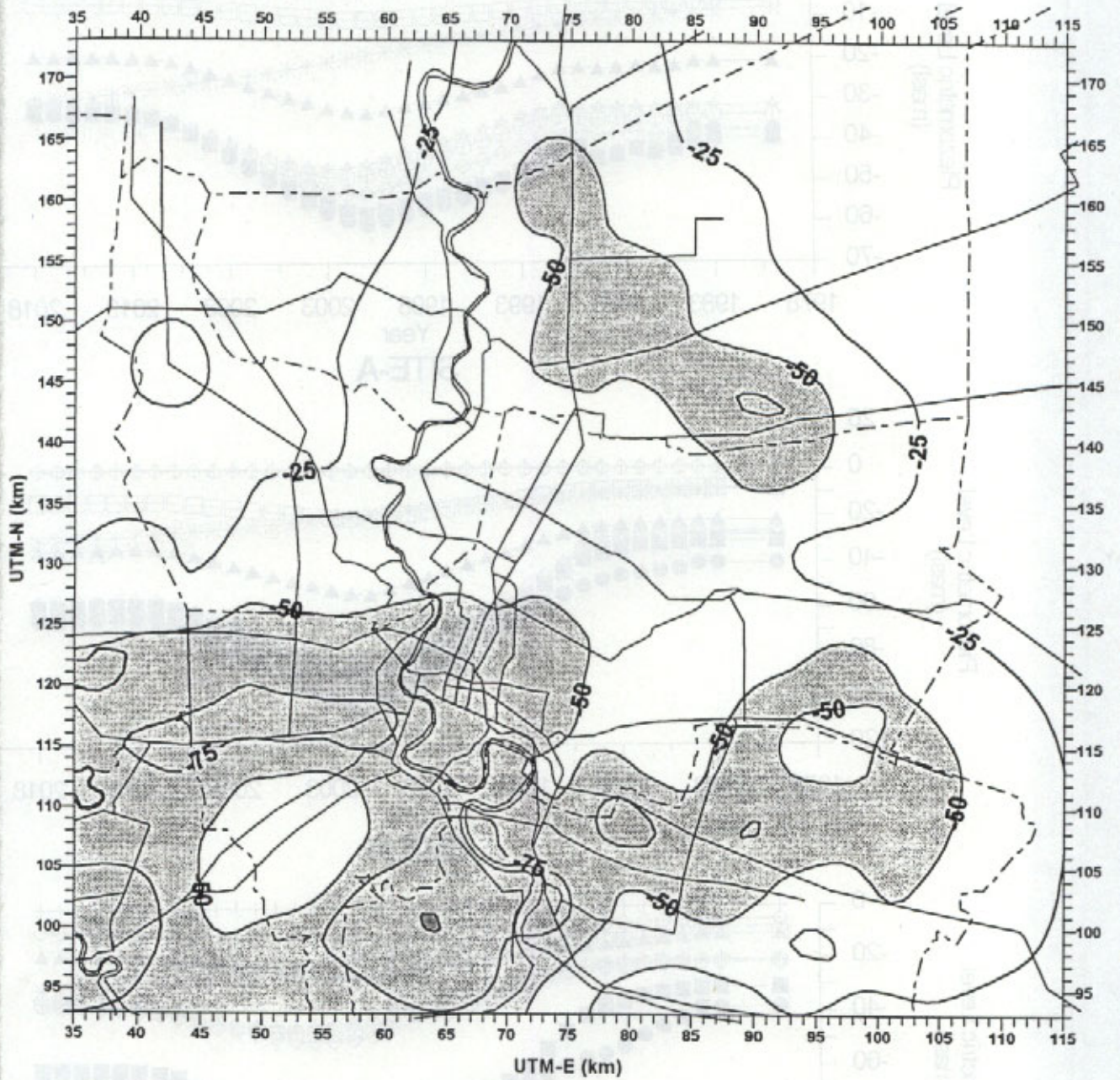


**SIMULATED LAND SUBSIDENCE
(FUTURE SCENARIO 5A)**

**THE STUDY ON MANAGEMENT OF GROUNDWATER AND LAND SUBSIDENCE
IN THE BANGKOK METROPOLITAN AREA AND ITS VICINITY**

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA) KOKUSAI KOGYO CO., LTD.

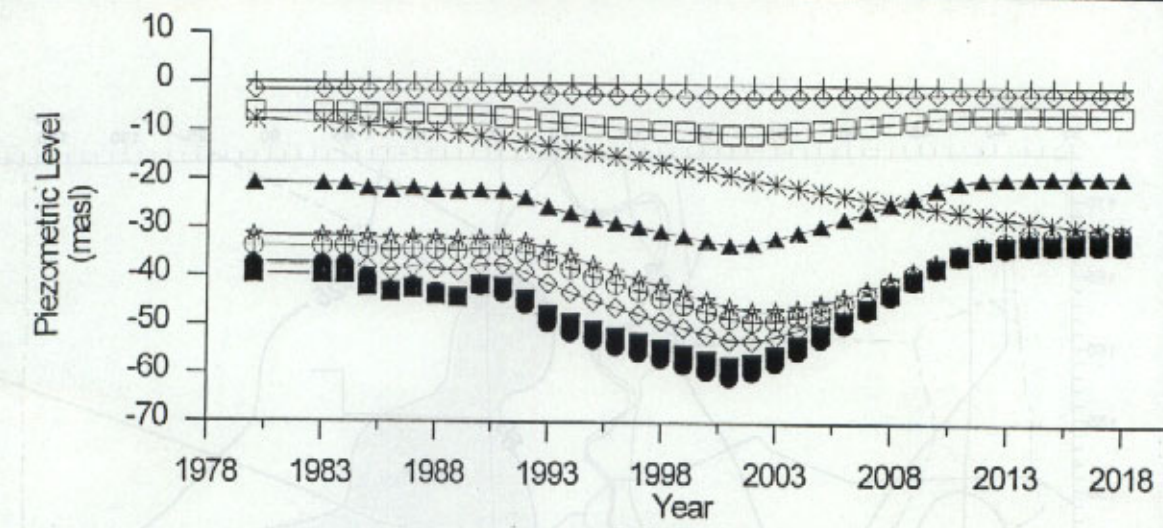
図 8.5.2 JICAモニタリング井周辺の地盤沈下予測値 (シナリオ 5A)



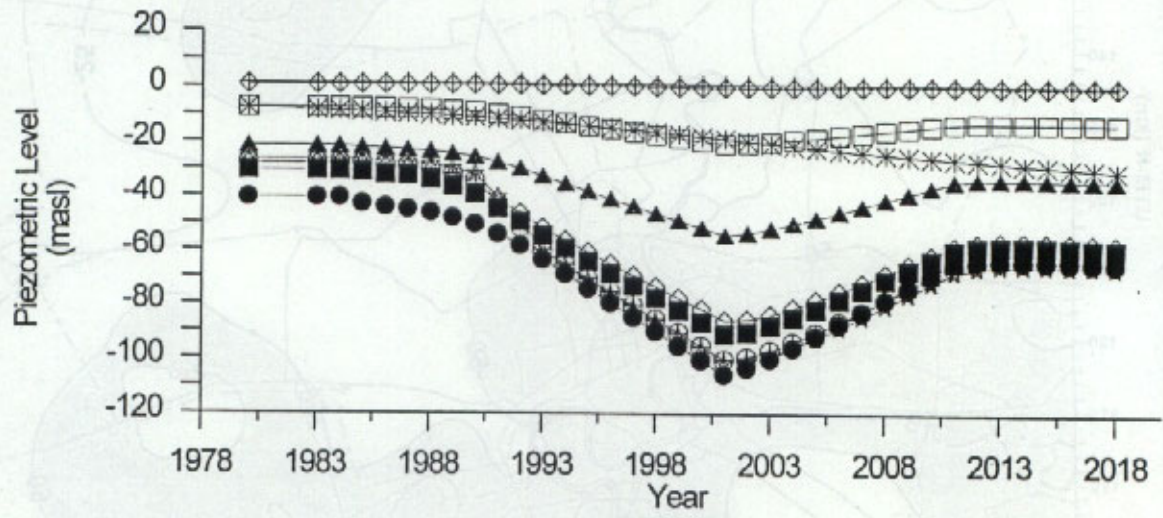
**SIMULATED LAND SUBSIDENCE (cm)
FROM 1993 TO 2017 (25 years)
BY FUTURE SCENARIO 5A**

図 8.5.3 2017年における累積地盤沈下量分布予測 (シナリオ5A)

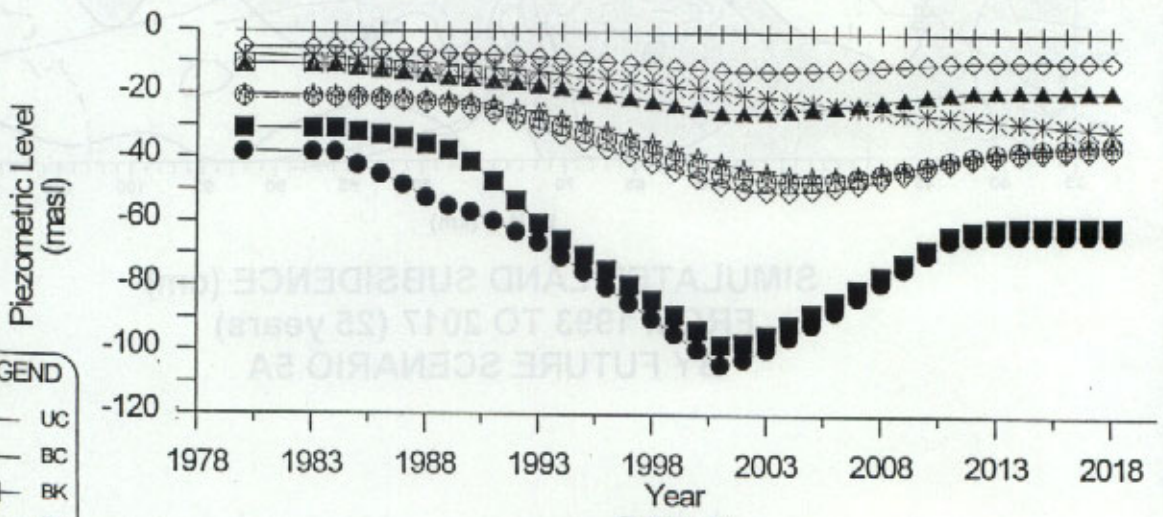
SIMULATED LAND SUBSIDENCE BY FUTURE SCENARIO 5A	
THE STUDY ON MANAGEMENT OF GROUNDWATER AND LAND SUBSIDENCE IN THE BANGKOK METROPOLITAN AREA AND ITS VICINITY	
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)	KOKUSAI KOGYO CO., LTD.



SITE-A



SITE-B



SITE-C

- LEGEND
- UC
 - BC
 - BK
 - PD
 - NL
 - NB
 - SK
 - PT
 - TB
 - PN

図 8.6.1 JICAモニタリング井周辺の地下水位変化予測 (シナリオ5B)

Figure 7.2.86	SIMULATED PIEZOMETRIC HEADS AT JICA MONITORING STATIONS (SCENARIO 5B)
THE STUDY ON MANAGEMENT OF GROUNDWATER AND LAND SUBSIDENCE IN THE BANGKOK METROPOLITAN AREA AND ITS VICINITY	
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)	KOKUSAI KOGYO CO., LTD.

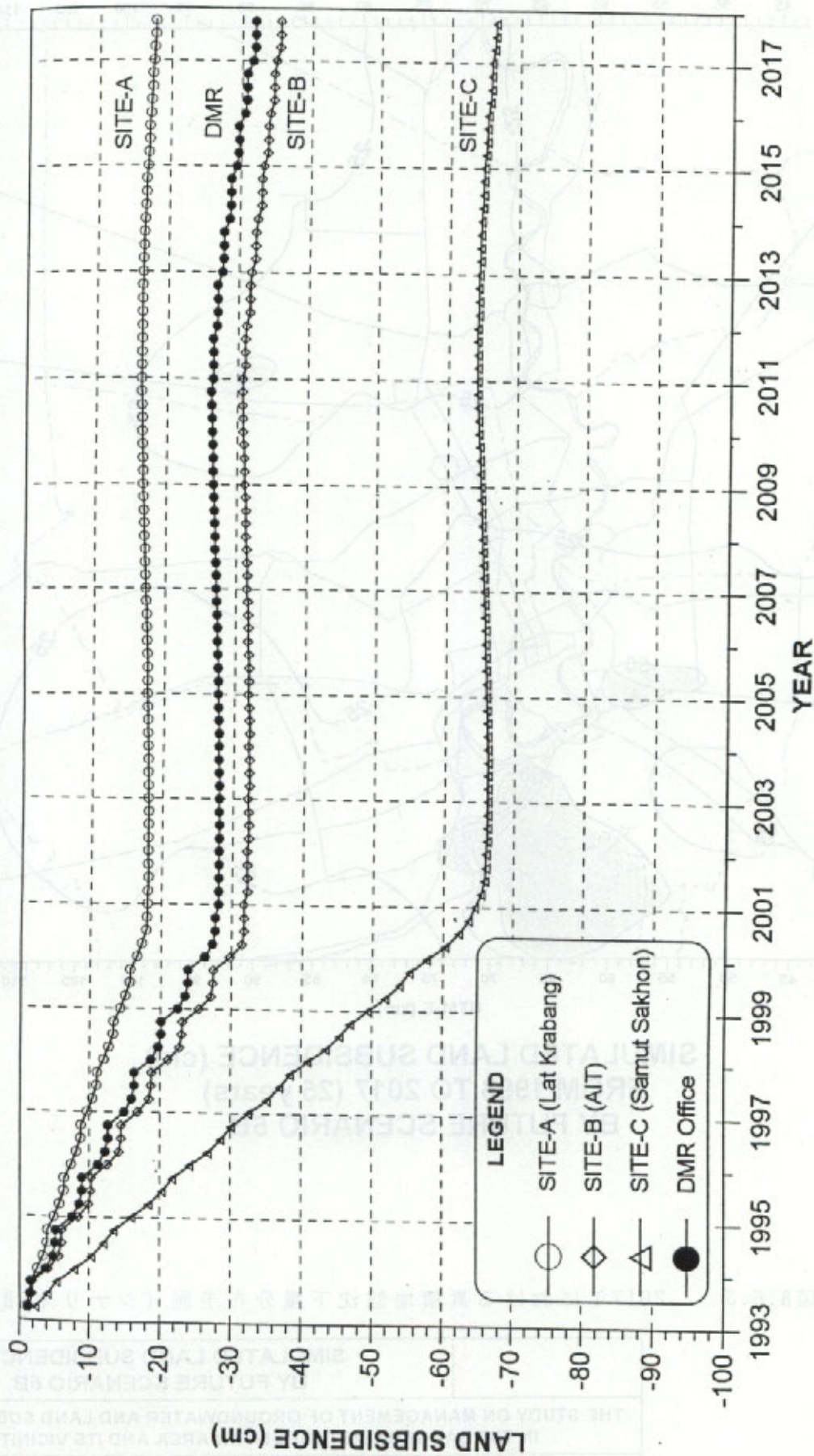


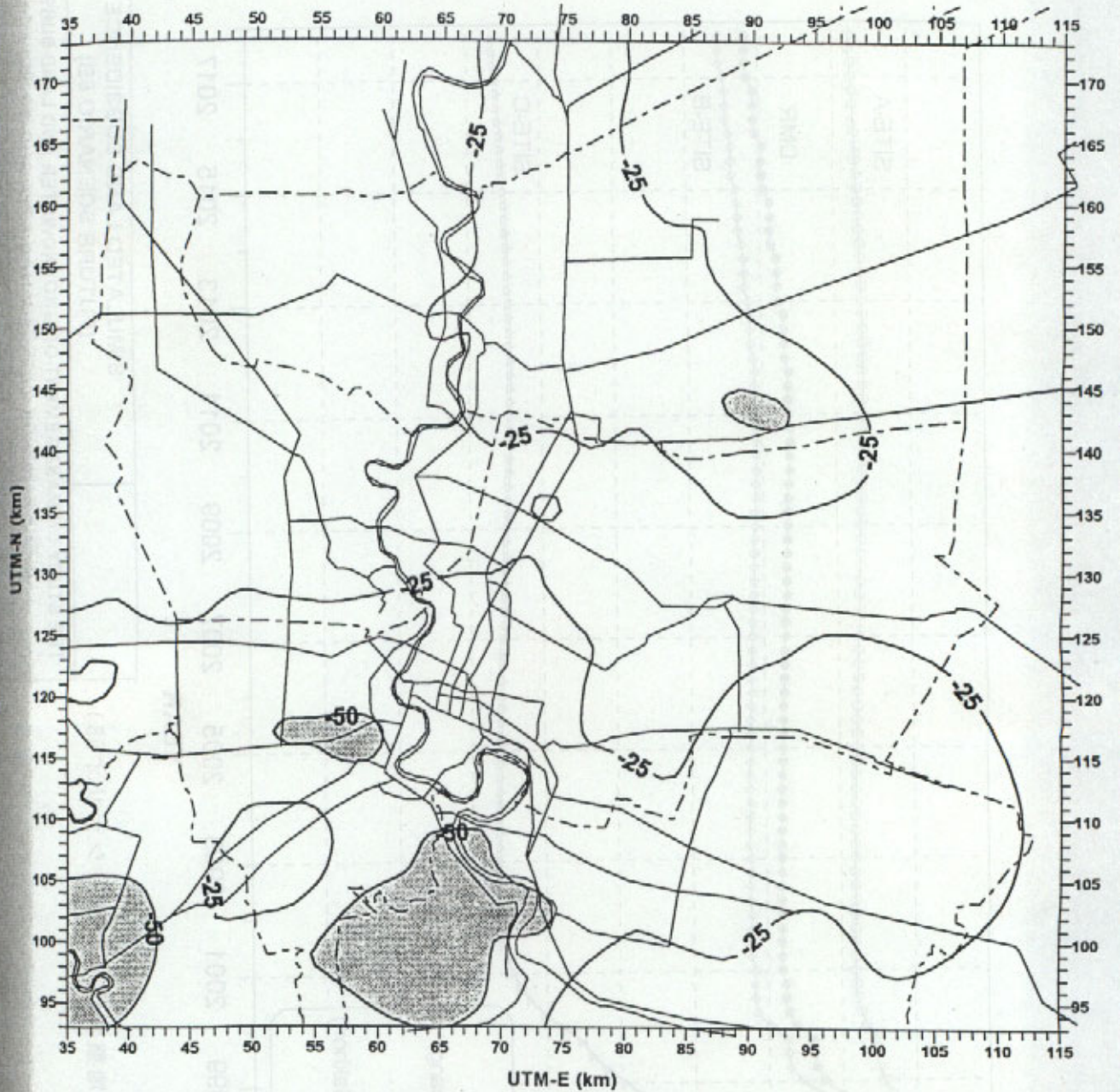
図 8.6.2 JICAモニタリング井周辺の地盤沈下予測値 (シナリオ 5B)

SIMULATED LAND SUBSIDENCE
(FUTURE SCENARIO 5B)

THE STUDY ON MANAGEMENT OF GROUNDWATER AND LAND SUBSIDENCE
IN THE BANGKOK METROPOLITAN AREA AND ITS VICINITY

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)

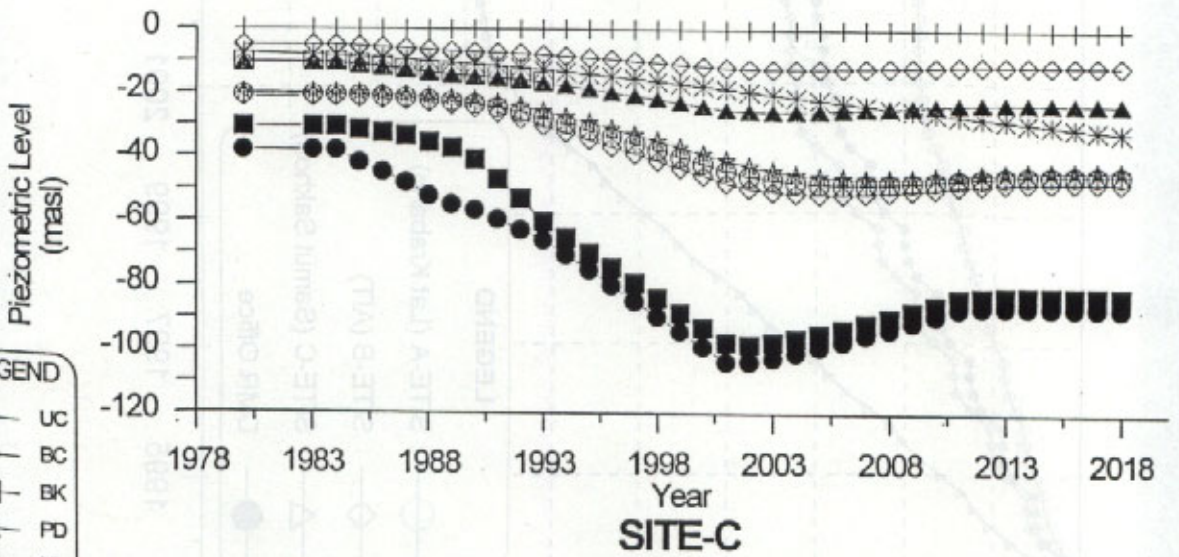
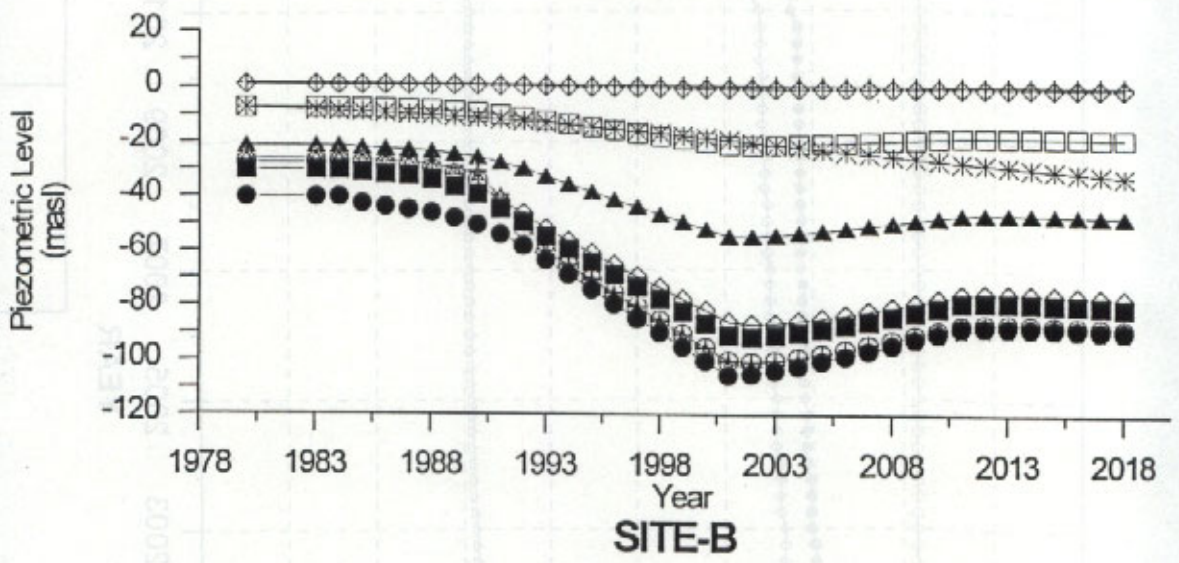
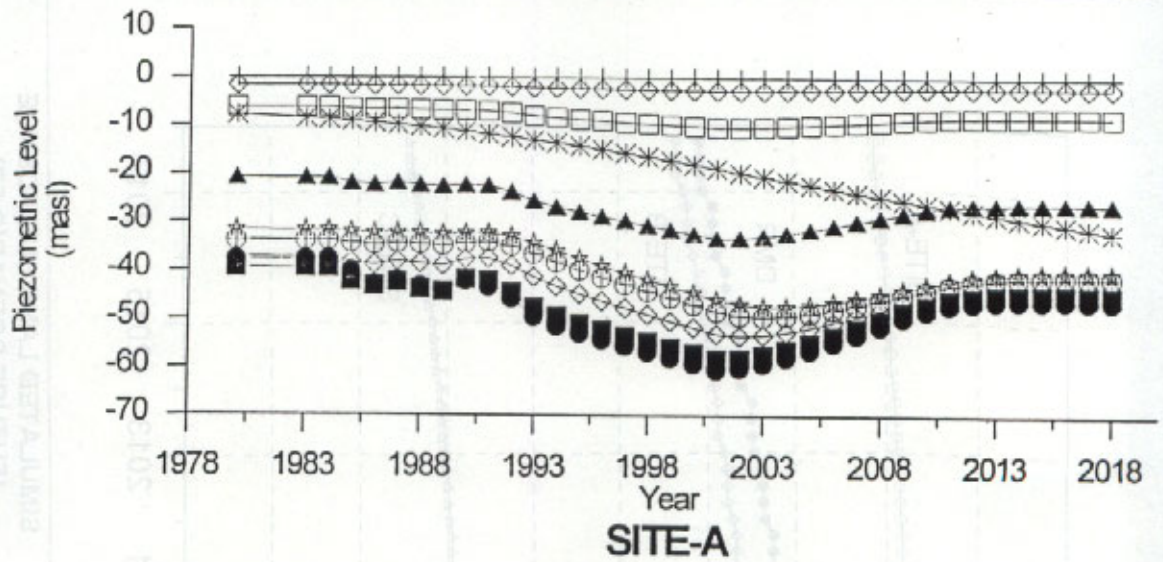
KOKUSAI KOGYO CO., LTD.



**SIMULATED LAND SUBSIDENCE (cm)
FROM 1993 TO 2017 (25 years)
BY FUTURE SCENARIO 5B**

図 8.6.3 2017年における累積地盤沈下量分布予測 (シナリオ5B)

SIMULATED LAND SUBSIDENCE BY FUTURE SCENARIO 5B	
THE STUDY ON MANAGEMENT OF GROUNDWATER AND LAND SUBSIDENCE IN THE BANGKOK METROPOLITAN AREA AND ITS VICINITY	
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)	KOKUSAI KOGYO CO., LTD.



- LEGEND**
- + SC
 - ◇ BC
 - BK
 - ▲ PD
 - ZL
 - ZB
 - ◇ SK
 - ⊕ PT
 - ☆ TB
 - * PN

図 8.7.1 JICAモニタリング井周辺の地下水位変化予測 (シナリオ 5C)

SIMULATED PIEZOMETRIC HEADS AT JICA MONITORING STATIONS (SCENARIO 5C)	
THE STUDY ON MANAGEMENT OF GROUNDWATER AND LAND SUBSIDENCE IN THE BANGKOK METROPOLITAN AREA AND ITS VICINITY	
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)	KOKUSAI KOGYO CO., LTD.

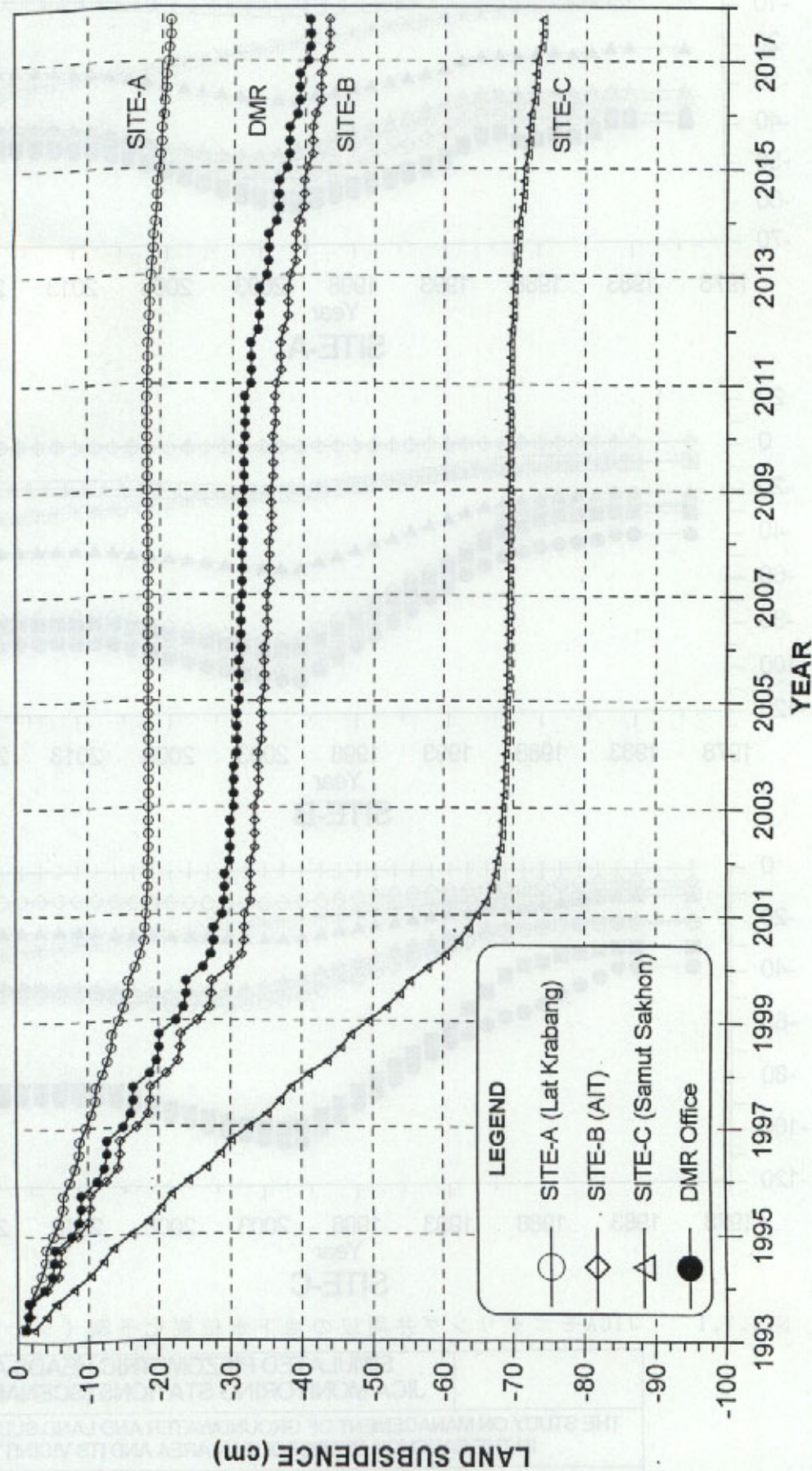
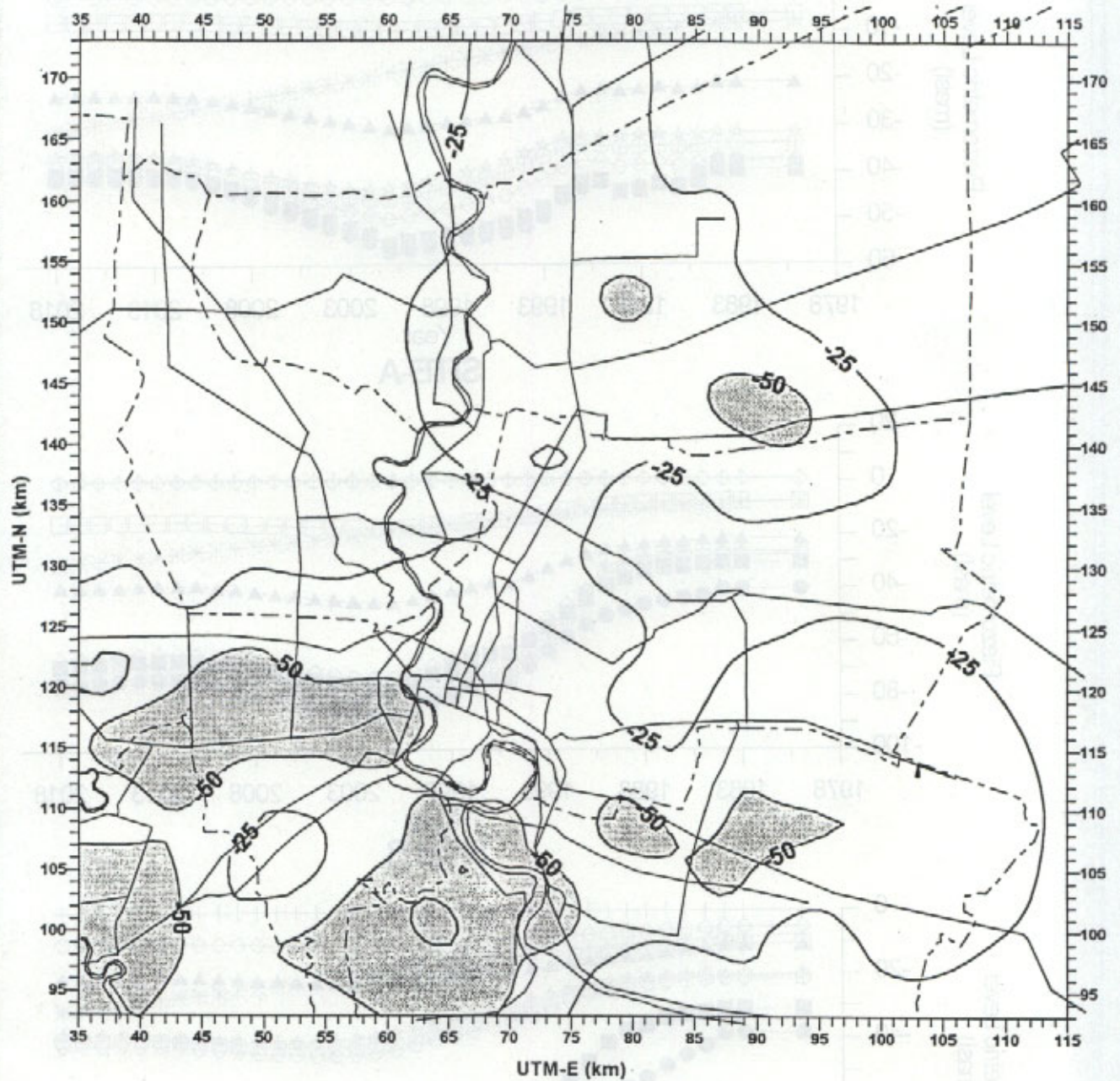


図 8.7.2 JICAモニタリング井周辺の地盤沈下予測値 (シナリオ 5C)

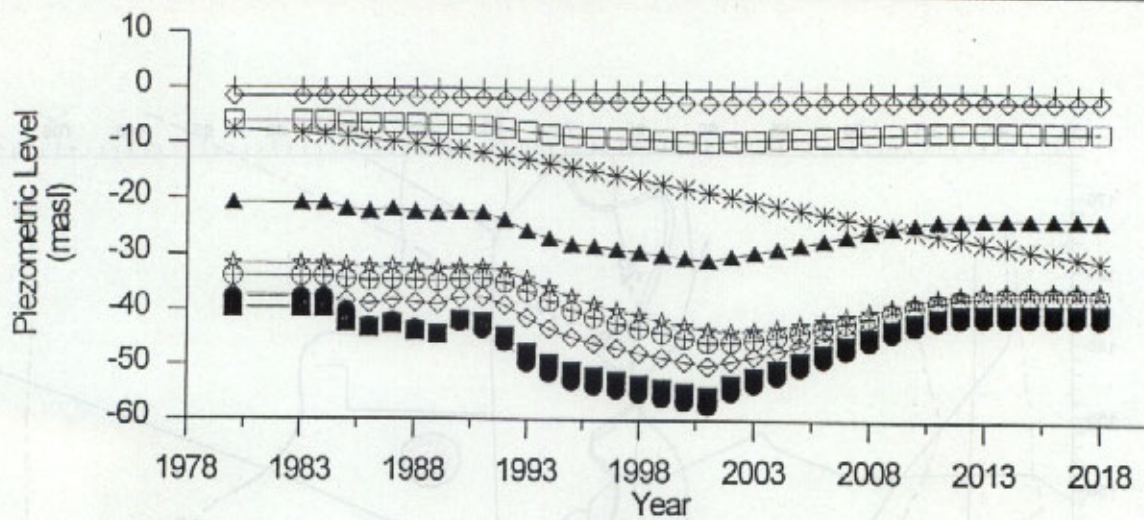
SIMULATED LAND SUBSIDENCE (FUTURE SCENARIO 5C)	
THE STUDY ON MANAGEMENT OF GROUNDWATER AND LAND SUBSIDENCE IN THE BANGKOK METROPOLITAN AREA AND ITS VICINITY	
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)	KOKUSAI KOGYO CO., LTD.



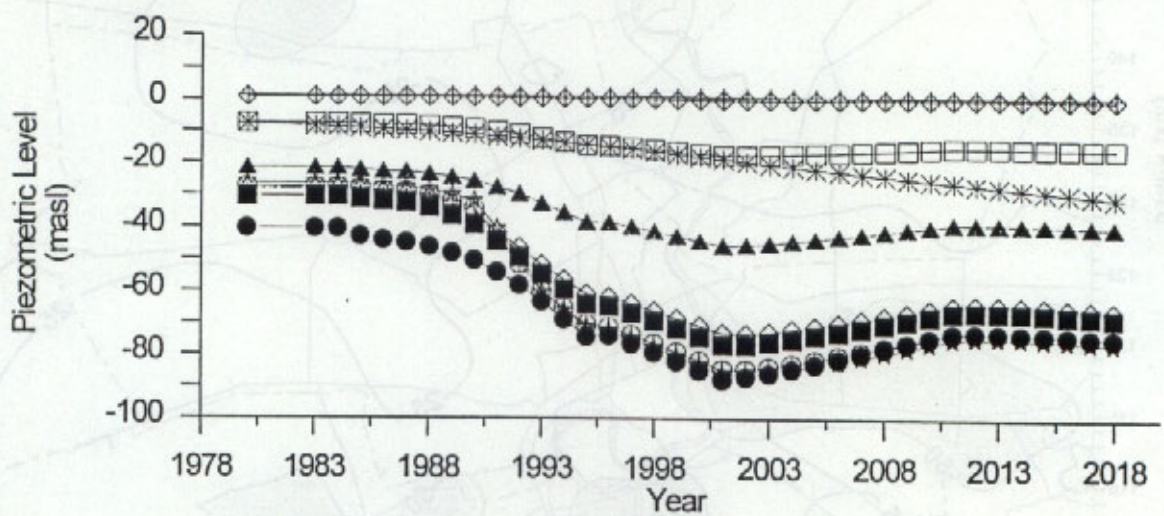
**SIMULATED LAND SUBSIDENCE (cm)
FROM 1993 TO 2017 (25 years)
BY FUTURE SCENARIO 5C**

図 8.7.3 2017年における累積地盤沈下量分布予測 (シナリオ 5C)

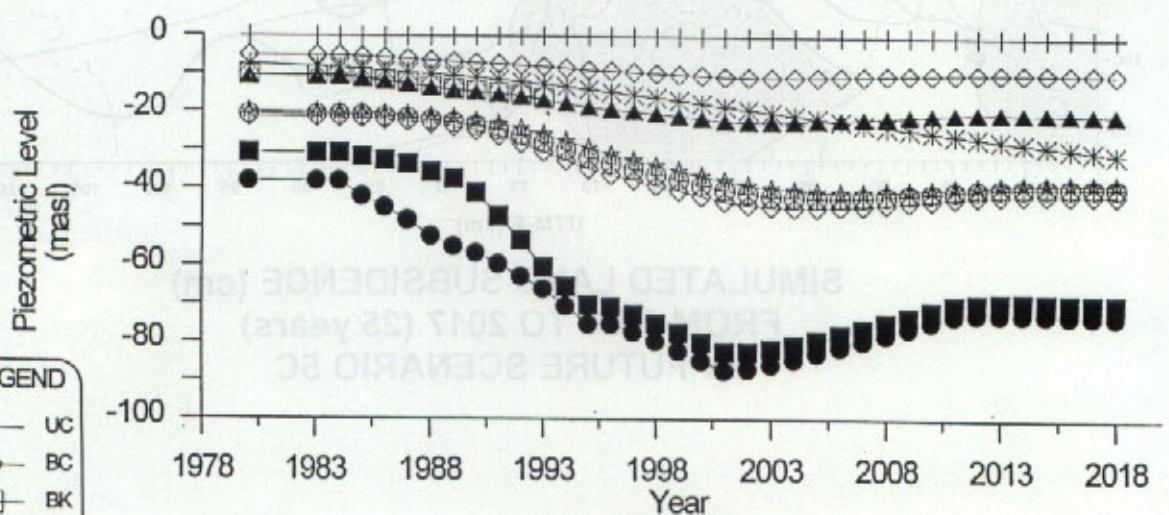
SIMULATED LAND SUBSIDENCE BY FUTURE SCENARIO 5C	
THE STUDY ON MANAGEMENT OF GROUNDWATER AND LAND SUBSIDENCE IN THE BANGKOK METROPOLITAN AREA AND ITS VICINITY	
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)	KOKUSAI KOGYO CO., LTD.



SITE-A



SITE-B



SITE-C

- LEGEND**
- UC
 - ◇ BC
 - BK
 - ▲ PD
 - NL
 - NB
 - ◇ SK
 - ⊕ PT
 - ☆ TB
 - * FN

図 8.8.1 JICAモニタリング井周辺の地下水位変化予測 (シナリオ6)

SIMULATED PIEZOMETRIC HEADS AT JICA MONITORING STATIONS (SCENARIO 6)	
THE STUDY ON MANAGEMENT OF GROUNDWATER AND LAND SUBSIDENCE IN THE BANGKOK METROPOLITAN AREA AND ITS VICINITY	
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)	KOKUSAI KOGYO CO., LTD.

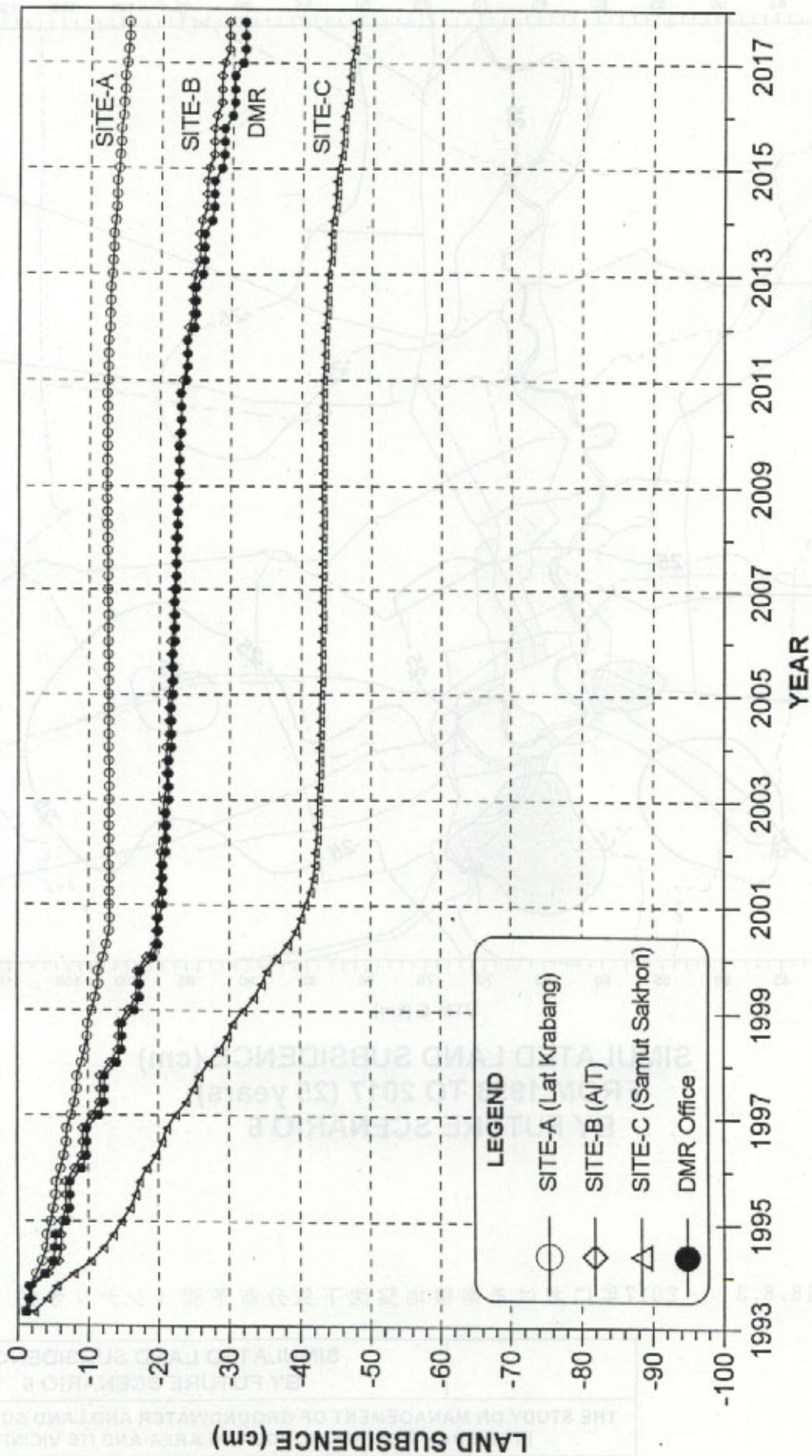
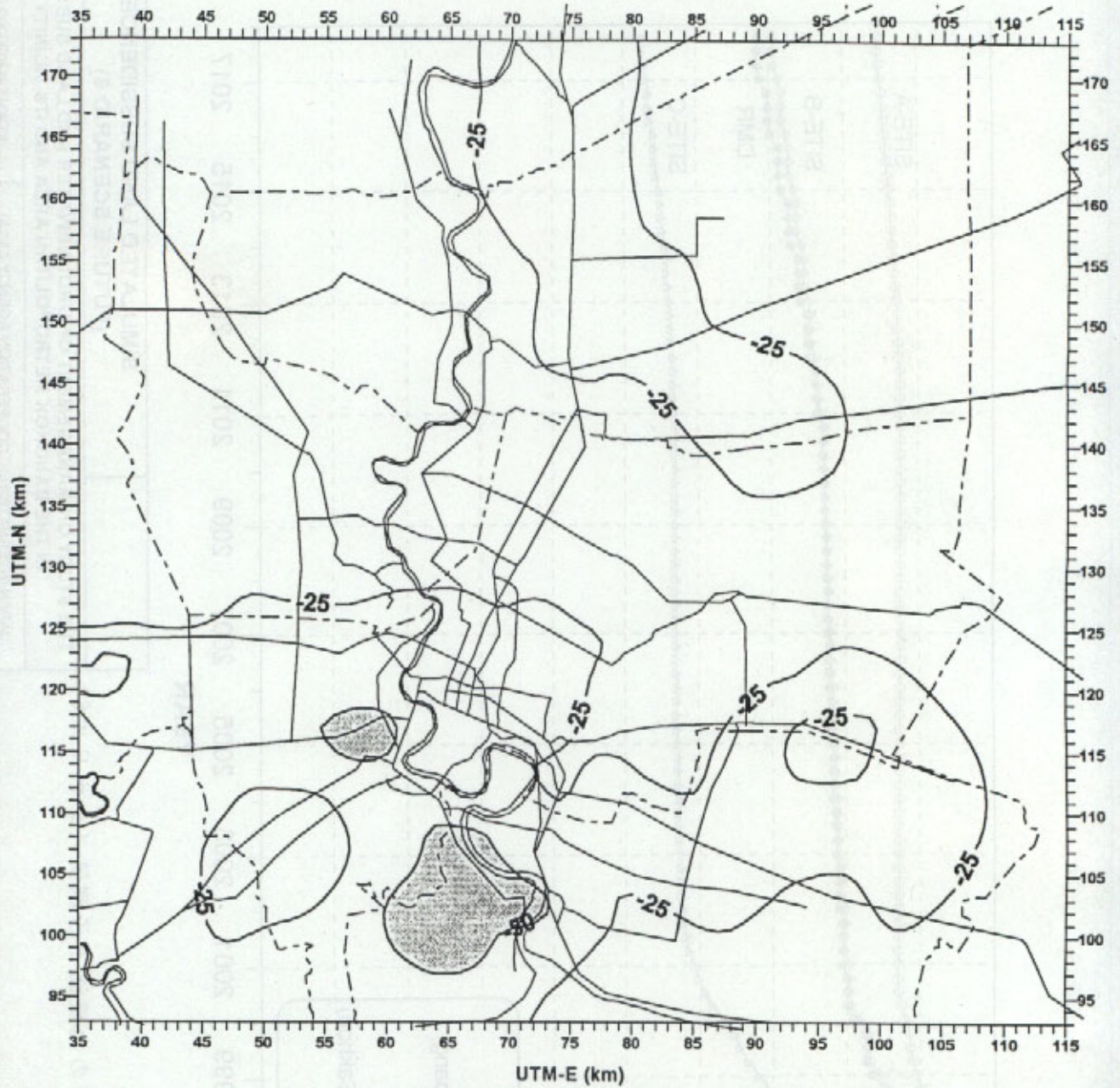


図 8.8.2 JICA モニタリング 井周辺の地盤沈下予測値 (シナリオ 6)



**SIMULATED LAND SUBSIDENCE (cm)
FROM 1993 TO 2017 (25 years)
BY FUTURE SCENARIO 6**

図8.8.3 2017年における累積地盤沈下量分布予測（シナリオ6）

SIMULATED LAND SUBSIDENCE BY FUTURE SCENARIO 6	
THE STUDY ON MANAGEMENT OF GROUNDWATER AND LAND SUBSIDENCE IN THE BANGKOK METROPOLITAN AREA AND ITS VICINITY	
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)	KOKUSAI KOGYO CO., LTD.

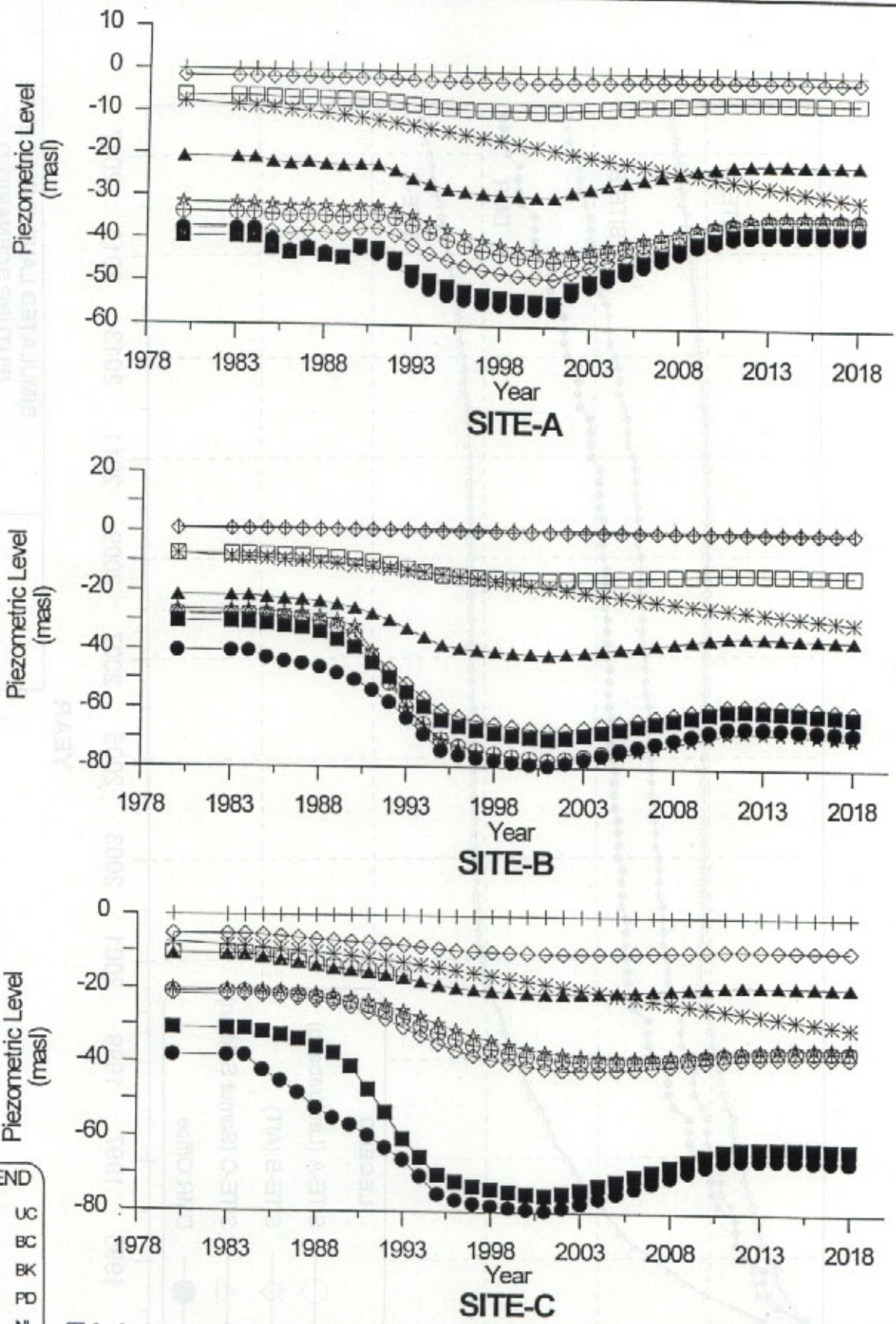


図 8.9.1 JICA モニタリング井周辺の地下水位変化予測 (シナリオ 7)

- LEGEND**
- +— UC
 - ◇— BC
 - BK
 - ▲— PD
 - NL
 - NB
 - ◇— SK
 - ⊕— PT
 - ☆— TB
 - *— PN

SIMULATED PIEZOMETRIC HEADS AT JICA MONITORING STATIONS (SCENARIO 7)	
THE STUDY ON MANAGEMENT OF GROUNDWATER AND LAND SUBSIDENCE IN THE BANGKOK METROPOLITAN AREA AND ITS VICINITY	
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)	KOKUSAI KOGYO CO., LTD.

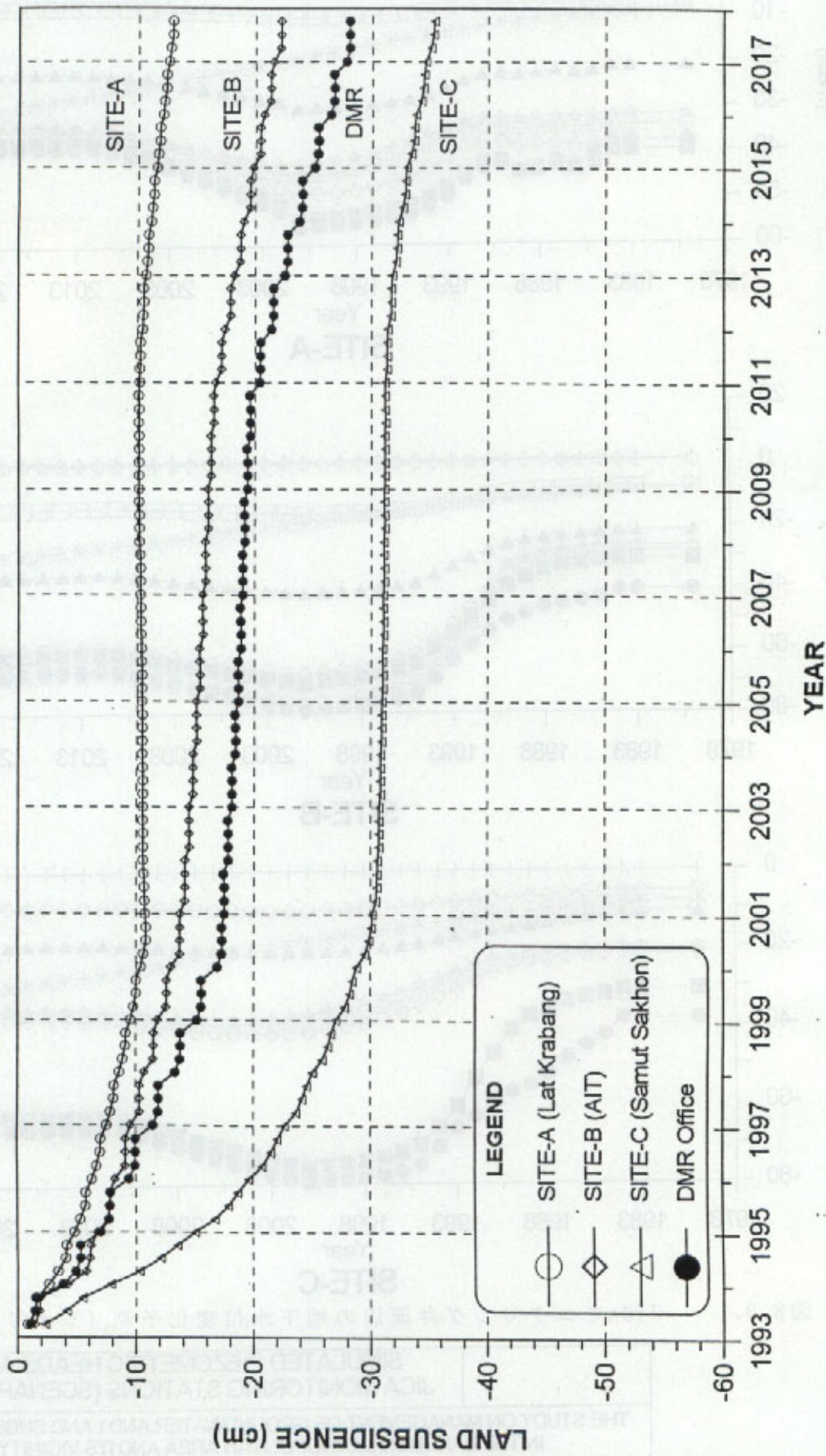
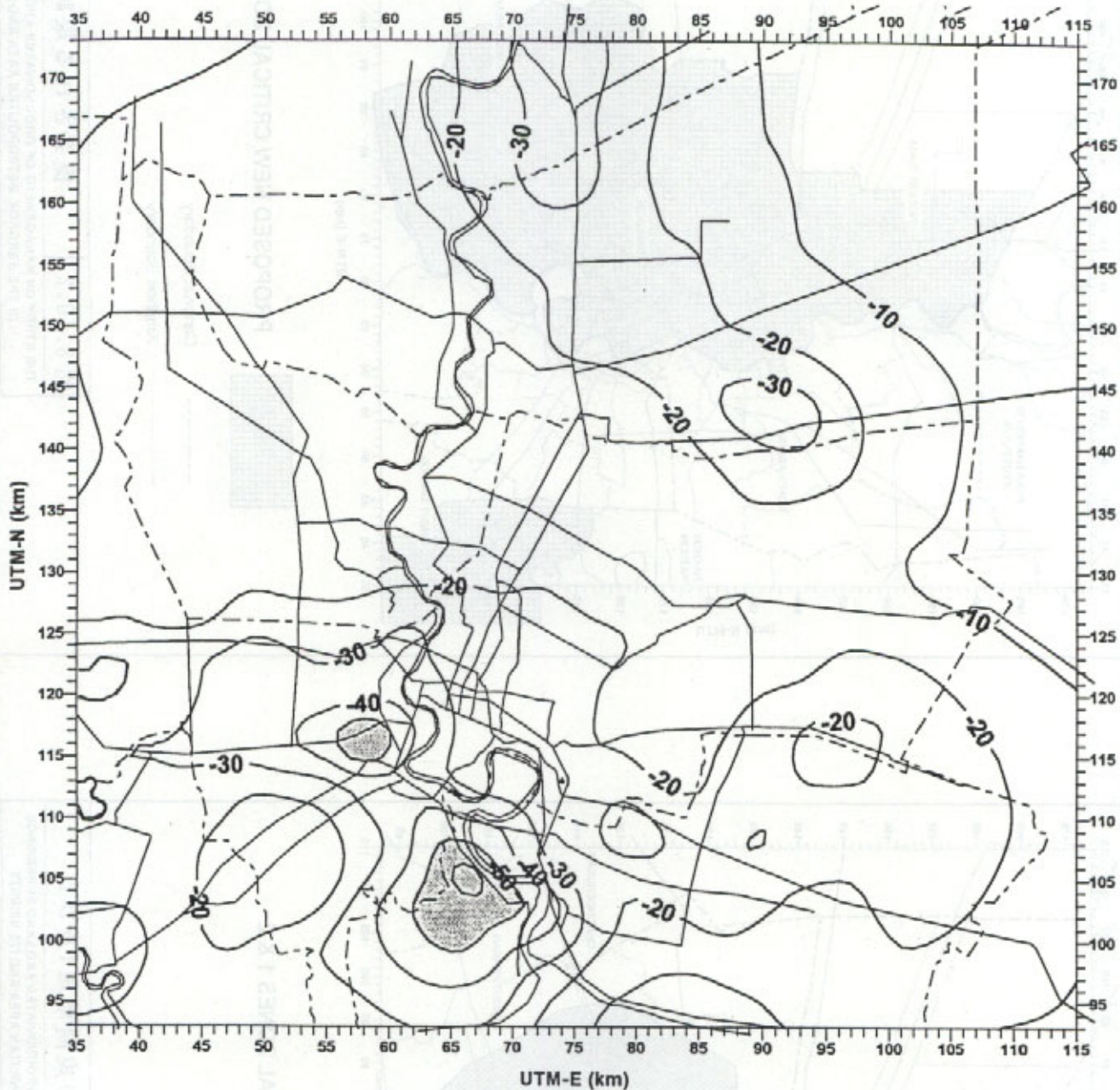


図8.9.2 JICAモニタリング井周辺の地盤沈下予測値 (シナリオ7)

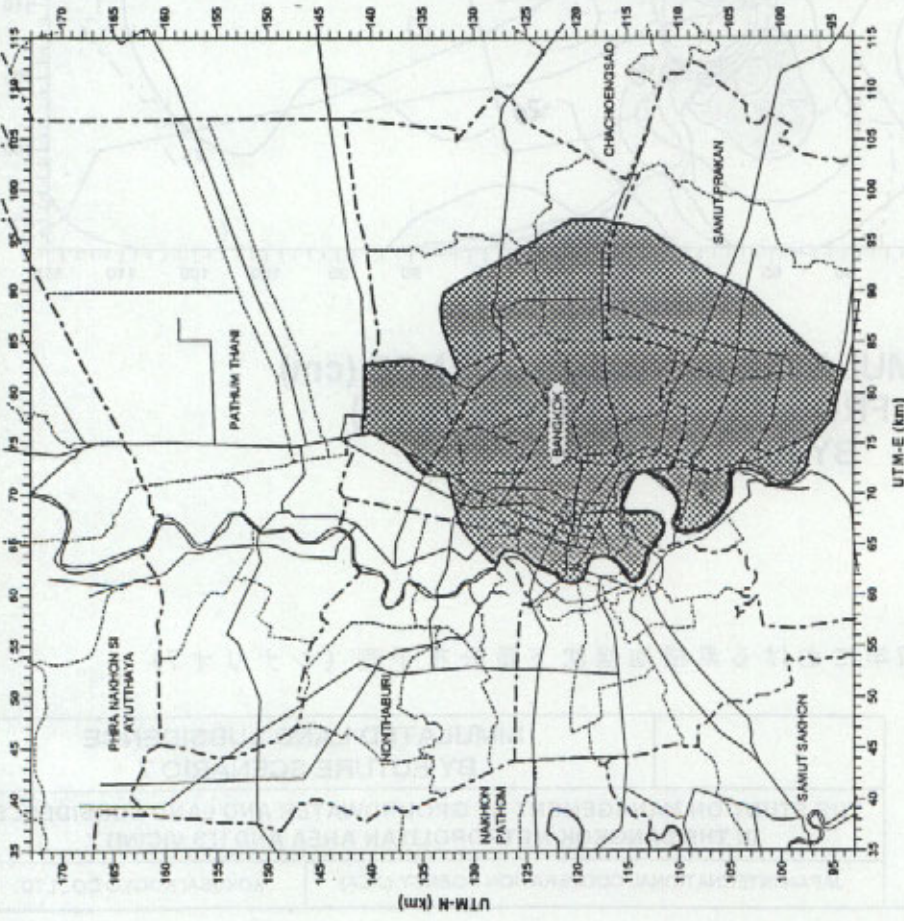
SIMULATED LAND SUBSIDENCE (FUTURE SCENARIO 7)	
THE STUDY ON MANAGEMENT OF GROUNDWATER AND LAND SUBSIDENCE IN THE BANGKOK METROPOLITAN AREA AND ITS VICINITY	
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)	KOKUSAI KOGYO CO., LTD.



**SIMULATED LAND SUBSIDENCE (cm)
FROM 1993 TO 2017 (25 years)
BY FUTURE SCENARIO 7**

図 8.9.3 2017年における累積地盤沈下量分布予測 (シナリオ7)

SIMULATED LAND SUBSIDENCE BY FUTURE SCENARIO 7	
THE STUDY ON MANAGEMENT OF GROUNDWATER AND LAND SUBSIDENCE IN THE BANGKOK METROPOLITAN AREA AND ITS VICINITY	
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)	KOKUSAI KOGYO CO., LTD.



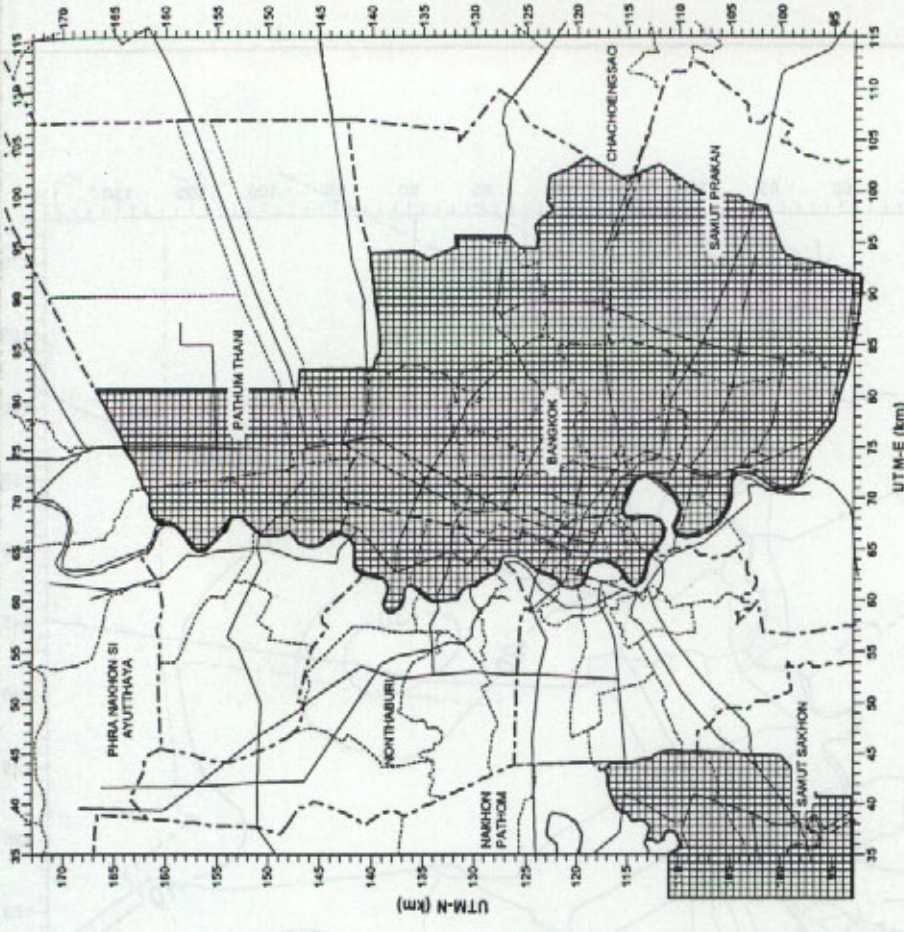
PRESENT CRITICAL ZONES 1 & 2

- Cangwat Boundary
- Amphoe Boundary

図 8.10.1 現在の規制地域1及び2

THE STUDY ON MANAGEMENT OF GROUNDWATER AND LAND SUBSIDENCE IN THE BANGKOK METROPOLITAN AREA AND ITS VICINITY

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA) KOKUSAI KOGYO CO., LTD.



PROPOSED NEW CRITICAL ZONE

- Cangwat Boundary
- Amphoe Boundary

図 8.10.2 提案される規制地域

THE STUDY ON MANAGEMENT OF GROUNDWATER AND LAND SUBSIDENCE IN THE BANGKOK METROPOLITAN AREA AND ITS VICINITY

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA) KOKUSAI KOGYO CO., LTD.

9. 許容揚水量の評価

9. 1 許容揚水量の概念

許容揚水量とは「その地域に生活する住民にとって、地下水を汲み上げることによって生ずる利益と、また生ずると思われる危険性を考え合わせて容認出来る地下水の汲み上げ量」である（水収支研究グループ、1976）。許容揚水量とはこのように相対的な、また社会的な概念であり、水収支と地下水利用の利益と不利益を考慮して評価する地下水盆からの揚水可能量でもある。

9. 2 地盤沈下の影響

地盤沈下に起因する被害は調査地域の至る所で観察される。地盤沈下は洪水や排水・下水の不良をさらに悪化させている。洪水面積は近年増加しており、とくに1983年の洪水は6,600百万パーツ（約264億円）に達する経済的被害をもたらした。

洪水防御及び排水対策事業は環境悪化防止のための社会的費用と考えられる。地盤沈下に伴う、建築物基礎の抜け上がりや、建物や道路のひび割れなどの被害は直接計算することが出来ないが、1993年の価格でこれらの事業に要した費用を概算すると43,700百万パーツ（約1748億円）に達する。

9. 3 暫定許容揚水量

地下水盆管理の目的は、バンコク首都圏地域の地盤沈下を防止しながら、地下水を持続的に利用していくことにある。したがって許容揚水量は、許容揚水の各要件を考慮しつつも、各要件の中では、地盤沈下を最重視して策定すべきである。

地下水モデルの応答を子細に検討すると、シナリオ6は2000年までの沈下量をシナリオ5Cによる予測値の約2/3にとどめ、かつ2017年までの累計沈下量を50cm以下に抑制できることが分かる。

シナリオ7は地盤沈下の抑制という点では9つのシナリオの中では最善の揚水量案であるが1995年から、揚水量を1994年の量に制限し、その後一定としなければならないので、実施は難しい。

もし、1993年から2017年までの累計沈下量50cmを許容しうるものと考えたと、シナリオ6は、9つのシナリオの中では最善の選択であろう。シミュレーションの応答を観察すると調査地域の揚水量を160万 m^3/day 程度とすると地盤沈下は緩やかになり、沈下量は1.0cm/year以下になる。

10. 地下水盆管理

10.1 当面の地下水管理行動

10.1.1 許容揚水量の目標設定

地下水盆管理は管理目標を適切に選定して行わなければならない。ここで管理目標となるのが「許容揚水量」である。

バンコク首都圏ではまだこれから長い期間、生活用水のみならず商業揚水や工業用水源を地下水に依存せざるを得ないので、地盤沈下を防止しながら持続的に地下水を利用していかなければならない。したがって、許容揚水量は地盤沈下を最も重要な要件として決定している。

3次元シミュレーションモデルの応答によればシナリオ6は地盤沈下の観点から許容しうると考えられる。しかし、シナリオ6は年率2.5%での、1995年から2000年までの揚水量増を容認している。これは経済成長を考慮すると避けがたいものと考えられる。従って、シナリオ6による、2000年 179万 m³/day及び 2005年 162万 m³/dayを地下水盆管理の暫定目標として提案する。

10.1.2 新しい規制地域と揚水規制

この目標に到達するためには新しく規制地域を指定することが必要である。図8.10(第8章参照)は従来の規制地域1及び2と、本調査が提案する新規制区域の範囲を示している。規制区域の細分については今後の検討を必要とする。

地下水の揚水規制は新規制地域において1995年度から始められなければならない。シナリオ6で設定したように2000年における揚水量目標は179万 m³/dayである。新規制地域における揚水許可申請は十分検討し、地域の総揚水量に照らして、許可水量を制限すべきである。2000年以降は2005年に162万 m³/day、2010年に149万 m³/dayを達成すべく総合的な地下水管理対策を推進するものとする。

10.1.3 モニタリング体制の拡充

揚水規制の効果をモニターするため、モニタリングネットワークはバトムタニ、ラットクラバン、サムットサコンなどにさらに拡大すべきである。各ステーションでは、バンコク帯水層からバクナム帯水層までを1セットにした地盤沈下観測井を建設する。

揚水量は管理目標設定の基礎となるので、長期的には全ての井戸に量水計をとり

つけ、これらの記録にもとずき揚水量を集計する。各政府関係機関の揚水量データは、地盤沈下や水質データとともに、DMRに構築したデータベースに格納する。

データベースとシミュレーションモデルは、地下水モニタリングシステムと連結運用し地下水盆管理の道具として使用する。また、今回策定した暫定許容揚水量は、将来、モニタリングデータと地下水モデルを応用し、それらの結果を解析して、再評価を行う。

10.2 地盤沈下の総合対策

10.2.1 代替水供給

地下水用水規制の実施に先立って、規制区域については代替水の供給システムが建設されなければならない。その手段はMWAのマスタープランではメクロン川の表流水開発である。また、バンコク北部のパトムタニではPWAがチャオブラヤ川サムコー地点での取水施設建設により供給能力を1995年に155,650 m³/day、また2001年に311,300m³/dayに拡張する計画である。これらの事業は予定通り、あるいは工期を早めて実施すべきである。

10.2.2 地下水利用の合理化

代替水供給事業の進捗を考慮すると、対策の全てをそれに依存するのは困難と思われる。従って節水及び水利用の合理化を推進する。

技術的方策

- 1) トイレ、水栓、洗濯機、浴室など水消費機器の改善による節水
- 2) 段階またはカスケード利用による給排水設備の再編成
- 3) 水処理施設の改良によるリサイクル

制度的方策

- 1) 啓蒙運動による水消費意識の向上
- 2) 水利用者への規制または減少勧告

10.2.3 人工地下水かん養

地下水の人工かん養は、地下水位を回復させ地盤沈下を減少させるための技術的手段であり、揚水規制、代替水供給等の対策と併せて実施する。

調査地域は多層被圧帯水層系を構成し、ブラバダン、ノンタブリ、ナコンルアンなどの主帯水層の地下水位は海面下50mから60mに低下している。これら帯水層への、かん養井戸からの直接注入により地下水位の回復と地盤沈下量の抑制が出来るものと期待できる。

雨期の余剰水は地下帯水層に蓄えることが可能である。かん養する水はチャオブラヤ川から取水可能であるが濁度のため処理をする必要がある。本格的な実施に先立って、パイロットかん養施設を建設してかん養計画の実施可能性を評価することが必要である。かん養計画は巨額の投資を必要とするので、技術的観点ばかりではなく、経済的あるいは法的観点から審査し、大スケールでの実施に当たっての検討資料を得るものとする。

10. 2. 4 価格政策

地下水は外部の社会的費用に比べると相対的に安い費用で、私的または商業的に利用されている。従って地下水の価格を公共水道で供給される表流水と同等の価格とする政策が必要である。

10. 2. 5 法的・制度的対策

地盤沈下の法的対策は1978年施行の地下水法がある。また、地下水法のもとで地下水委員会が組織され規制及び勧告について大臣が諮問している。委員会は良く組織され、機能している。また、法の下でDMRは地下水の利用、開発、保全、防御等の諸施策を遂行する立場にある。

地下水と地盤沈下のモニタリングに関して、地下水委員会の中に技術小委員会を設置することが望ましい。政府関係機関の資料はこの委員会において収集し、解析処理し、評価される。DMRは地下水に関するデータ及び情報センターとして機能させる。

1 1. 結論と勧告

1 1. 1 結論

1992年7月から1995年3月までの33カ月間で実施したバンコク首都圏地盤沈下・地下水管理計画調査の主要な成果は以下の通りである。

- 1 地下水データベースシステムの構築
- 2 地盤沈下観測施設の建設（ラットクラバン、AIT、サムットサコン）
- 3 地下水モデル作成と将来予測

データ収集とそれらの解析により、以下の結論が得られた。

1 1. 1. 1 地下水利用

バンコク首都圏では、地下水は工業用、商業用、生活用に使用するため被圧帯水層系から揚水されている。井戸台帳から推計すると1992年の調査地域の揚水量は148万m³/dayに達している。地下水揚水量は、バンコク中心部では規制により減少しているが、周辺地域のラットクラバン、パトムタニ、サムットサコンでは著しく増加している。

1 1. 1. 2 地下水位

ブラバダン、ナコンルアン、ノンタブリ等の主要な帯水層の水位は、バンコク東部からサムットブラカン、パトムタニ、サムットサコン地域にかけて海面下30mから60mに低下している。年間低下量はブラバダン帯水層で1.0mから2.0m、ナコンルアン帯水層で3.0mから5.0m、ノンタブリ帯水層で約3.0mである。バンコク中心部の地下水位は1986年以降回復したが、最近では周辺地域の揚水の影響を受けて再び低下している。

1 1. 1. 3 地盤沈下

バンコク、サムットブラカン、サムットサコン、パトムタニ及びノンタブリの一部では、年間20mm以上の地盤沈下が起きている。地下水位の激しく低下している地域では地盤沈下が大きい。サムットブラカンでは年間沈下量は50mmから60mmに達している。ミンブリとラットクラバンは年間40mmから55mm沈下している。また、パトムタニとサムットサコンでは、30mmから40mmの沈下量が観測された。一方、バンコク中心部の最近の沈下は緩やかになっている。

1 1. 1. 4 地下水の塩分濃度

地下水の塩分濃度の高い地域はサムットサコンからチャオブラヤ川沿いのパトムタニ地域とサムットプラカンの海岸地域である。プラバダン帯水層の塩分濃度は局部的に5,000mg/lを越えている。また、ナコンルアン帯水層では3,000mg/lから16,000mg/l、ノントブリ帯水層では2,400mg/lから13,000mg/lを示している。これらの地域では、実際的には井戸は廃棄されつつある。

11.1.5 モニタリング・ステーション

ラットクラバン（サイトA;観測井8本）、AIT(サイトB;観測井5本)及びサムットサコン（サイトC;観測井5本）に新しい地盤沈下モニタリングステーションを建設した。各観測井は深度の異なる帯水層の地下水位と地盤沈下を自動観測するようになっている。モニタリングの記録は本調査で作成したデータベースに入力し、処理される。これらのモニタリングステーションはDMRの既存観測施設と併せて地下水管理に利用できる。

11.1.6 地下水のモデル化

将来の地下水位と地盤沈下予測のため地下水・地盤沈下モデルを作成した。また、塩水侵入解析のため溶質輸送モデルも作成した。

地下水モデルにより、地下水位の低下帯に向かう水平及び垂直の地下水流動や、下向き及び上向きの漏水が粘土層からの絞り出しをもたらす状況が良く再現された。地盤沈下は漏水に伴い、主にバンコク粘土層で発生しているが深層部の粘土層もかなり地盤沈下に寄与している。

11.1.7 地下水位と地盤沈下の予測

較正された地下水・地盤沈下モデルを使用して、各将来揚水シナリオ案について、2017年までの地下水位と地盤沈下の予測を行った。

最悪のシナリオは、地下水揚水が最近のトレンドに沿って増加するもので、累計地盤沈下量は2017年には最大200cmに達し、地下水位は地下水盆全域で激しく低下するものと予測される。

一方、最善のシナリオは、地下水揚水量は1995年から新しく提案される規制地域で規制により減少するとするもので、2017年における累計地盤沈下量の最大値は約35cm、また地下水位は最も低いところで海面下-70mに低下すると予測される。

11.1.8 許容揚水量

許容揚水量は地盤沈下要件を重視して決定した。地盤沈下の観点から地下水・地盤沈下モデルの応答を検討すると、調査地域の許容揚水量は160万m³/dayと推定される。

1.1.1.9 地下水盆管理

本調査では、バンコク首都圏の地下水揚水の実態を考慮し、地下水盆管理の目標として暫定許容揚水量を決定した。この目標を達成するには、現在の規制地域の拡大と揚水規制が必要である。地下水盆管理を効果的に推進するため、地下水位、地盤沈下、水質のモニタリングデータは、データベースシステムと地下水モデルと結合して有機的に運用するものとする。

1.1.2 勧告

1.1.2.1 地下水管理計画

(1) 規制地域の拡大

ラットクラバン、バトムタニ、サムットサコン地域では地下水位の低下が激しく地盤沈下が進行している。現状のまま放置すると2017年には累計地盤沈下量は180cm以上、地下水位は海面下170mから190mに低下すると予測される。従って地盤沈下を抑制するため、現行の規制地域を上記の地域に拡大することを勧告する。

(2) 揚水規制

暫定許容揚水量の目標値は、2000年に179万m³/day、2005年に162万m³/dayを設定し、次のスケジュールに沿って揚水規制を行うことが望ましい。

1995年-2000年：年増加率2.5%以下に揚水規制

2000年-2010年：年削減率5.0%で段階的揚水削減

2010年-2017年：2000年揚水量のまま一定とする

(3) 新しいモニタリングステーションの建設

地下水規制の効果を評価するためには地下水位と地盤沈下のモニタリングが不可欠である。これらのモニタリングデータは、地下水盆の許容揚水量を再評価するための地下水モデルの改良にも役立てられる。モニタリングシステムは地下水盆管理の基本的な構成要素となるので、バトムタニ、サムットサコン及びサムットブラカン地域に、今後さらに、新しい地下水位・地盤沈下のモニタリングステー

ションを建設し、システムを拡充していくことが望まれる。

(4) 水準測量

地盤沈下水準点の測量は現在RTSD,BMA及びDMRがそれぞれ実施しているが、測量の基準日と測量回数については統一することが望ましい。このことにより、各機関から認定された地盤沈下等量線図を作成することが出来るものと考えられる。

(5) 量水計の設置

地下水盆管理において揚水量の推計は最も重要な作業である。本調査においては民間井戸の揚水量は井戸台帳データベースに格納された許可揚水量のデータと約2500本の量水計データから推定した。揚水量は許容揚水量算定の基礎となるものであるから、出来るだけ正確に推定する必要がある。現在、揚水許可申請の際、工業用と商業用については量水計の設置を義務づけている。しかし、今後は生活用についても量水計を設置させるものとする。

(6) データベースシステムの活用

DMRに構築したデータベースシステムは地下水位、地盤沈下、水質、井戸台帳などのデータを処理できるようになっている。これらのデータは将来も継続的に入力されなければならない。特に井戸台帳はDMRでの揚水許可登録と結合させて利用することが望ましい。

(7) 地下水モデルの改良

DMRに設置された地下水モデルは、将来、改良を必要とする。さらに正確な揚水量集計、データ収集と解析による正確な帯水層定数の把握、地下水位・地盤沈下・地下水質など観測データの解析により、モデルの精度と信頼性を高めなければならない。

(8) モデルの応用と許容揚水量

地下水モデルは、地下水データベースシステムとモニタリングシステムとともに、地下水位・地盤沈下・地下水質の予測と評価及び地下水盆の許容揚水量策定のための道具として利用されなければならない。許容揚水量は管理目標でありモニターの結果により再評価が必要である。将来は、その時点での地下水状況を見直し、さらに精度の高い目標を得るため、暫定揚水量の修正が必要となる。

(9) 水文地質調査

調査地域は、広大な地下水盆を構成する下部中央平野の南部に位置している。最近の都市化の方向はバンコク首都圏の北部と東部に向かっている。広域地下水盆の水文地質状況については、これまで幾つかの調査が行われ、DMRにデータが集まってきたが、まだ解明されていないことが多い。今後は長期的展望の上で下部中央平野全域の水文地質を調査していくことが望ましい。

1.1.2.2 総合的対策

(1) 代替水供給

揚水規制の実施に当たっては表流水による代替水源の確保が先決である。従って、MWAとPWAはそれぞれの水道拡張計画をスケジュール通り進めることが是非とも必要である。また、サムットサコン地域については工業用水道の建設を実施すべきである。水の欠乏は工業投資を減退させる要因となり、最終的には地域経済にも影響を与えると思われるので早急に実施すべきである。

(2) 水利用の合理化

節水のための様々な技術的対策を早急にとるべきである。工場及び事務所での技術的方策を検討するため、地下水利用合理化調査を行う必要がある。また出版物、メディアを通じて節水意識向上のキャンペーンを始めなければならない。

(3) 地下水の料金

地下水の料金は現在 1m^3 で3.5バーツ（約14円）である。この料金はMWAやPWAの水道料金と同じとし、従量制とするのが望ましい。現在、料金を徴収される区域は6つの地下水区だけであるが将来は他の地域にも拡張すべきであろう。

(4) 人工地下水かん養

地下水位の回復と地盤沈下抑制の一つの手段として、パイロット人工かん養井戸システムを建設することを勧める。様々な技術的問題はこのパイロット施設で調査し、評価する必要がある。パイロット施設での実験を通して大規模施設の建設に必要な技術的、経済的、法的問題点は明らかになるものと思われる。

(5) 技術小委員会の設立

地下水委員会が行う地下水状況の審査・評価について、技術的に助言を行うために、技術小委員会を地下水委員会内部に設置することを勧める。小委員会は関係

政府機関の技術スタッフより構成されるものとし、地下水・地盤沈下データの解析と評価を行い、技術的観点から地下水委員会に地下水政策決定の選択肢を提供する。

(6) 組織

DMRの地下水部とMGLプロジェクトはバンコク首都圏の地下水・地盤沈下の調査、観測、解析、評価の任務を担っている。これとは別に、DMRは大臣を代行し、地下水利用許可申請の調査及び審査を実施している。地下水部およびMGLプロジェクトの地下水管理における重要度を考慮すると、マンパワーの増強による組織強化が必要不可欠であり、実施が望まれる。