4. 地下水の水質

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観測井はプラパダン、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　トリリニアーダイヤグラム

水質分析結果をトリリニアダイヤグラムにプロットした。ダイヤ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：$Ca(HCO_3)_2$　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III（V）→I→II(V)の経路を移行していく。プラパ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が多いがプラパダン帯水層に比べるとIIの領域が多い。ノンタブリ帯水層はIII,IV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　パターンダイヤグラム

プラパ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ンとバンコク西部に、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　ＪＩＣＡ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。プラパ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ＡＩＴ（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、プラパ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IV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、パヤタイ、パ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。

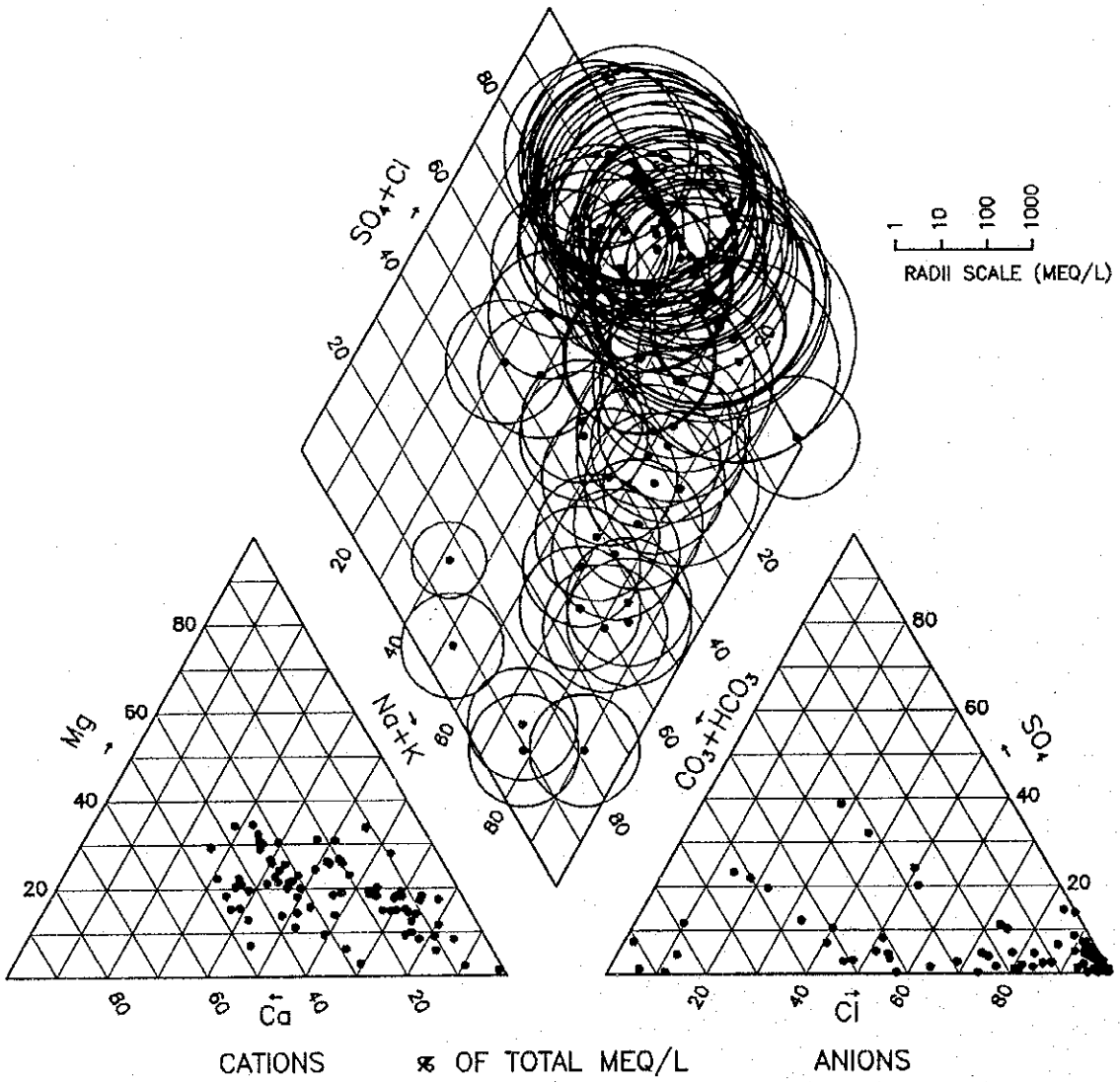
4．3　塩水化

塩水化の範囲は、プラパ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、サムットプラカンにかけての海岸部とチャオプラヤ川右岸に広がっている。また、ノンタブリ帯水層では、チャオプラヤ川河口からサムットサコン、サムットプ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)。

ＪＩＣＡ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、プラパ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、チャオプラヤ河口から数百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	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	108	48	272	192	192	153	94	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	22-Feb-93	23-Mar-93	08-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	7.96	8.57	7.85	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	27.6	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)	1160	1540	975	1500	1180	749	1860	28400	981	865	858	783	1450	21900	477	488	560	1570	767	3000
Calcium Ion (ppm)	4.20	5.15	6.34	1.50	15.92	55.40	99.80	1519.70	24.13	27.13	26.10	30.50	71.20	76.50	40.21	45.00	39.60	21.70	11.70	41.80
Magnesium Ion (ppm)	0.79	0.27	0.31	0.03	3.10	6.78	24.21	39.75	4.43	5.49	6.06	21.38	15.06	122.60	14.18	15.19	3.85	51.49	22.00	131.45
Sodium Ion (ppm)	22.10	552.98	134.77	177.19	414.80	323.94	202.22	1910.40	46.40	303.14	110.63	95.22	212.78	329.70	29.44	37.57	50.63	180.58	190.16	236.70
Potassium Ion (ppm)	4.13	1.69	1.32	1.67	2.36	2.00	3.16	40.76	2.77	2.08	1.86	1.47	2.41	45.19	17.69	7.03	4.87	6.75	6.64	9.93
Manganese Ion (ppm)	0.17	ND	ND	0.16	0.17	0.06	0.45	196.73	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 (pmm)	0.56	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	209.80	173.20	28.10	90.30	179.30	201.30	206.20	195.40	242.20	146.40	151.26	168.40	153.70	205.00	174.50
Sulfate Ion (ppm)	69.60	326.00	34.50	69.30	85.10	35.60	161.00	403.00	38.05	70.70	60.14	46.21	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	1.60	0.13	0.10	2.23	0.02	<0.02	0.17	0.07	0.13	6.60	ND	0.07	0.01	0.10	0.21	0.43
Chloride Ion (ppm)	193.0	47.5	69.5	263.7	205.5	40.1	332.7	9686.4	203.0	80.7	78.3	34.2	210.4	7631.7	10.8	7.6	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	1.60	1.20	1.80	0.60	<0.3	1.60	1.30	<0.3	ND	ND	0.09
Iodide Ion (ppm)	0.17	0.58	0.17	0.46	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	0.06
Nitrate Ion (ppm)	12.00	0.15	1.70	2.41	0.88	1.41	0.10	14.78	<1	<1	2.74	2.88	ND	7.73	<1	1.97	0.92	0.85	0.82	ND
Nitrite Ion (ppm)	40.80	5.30	NIL	NIL	10.40	NIL	NIL	20.80	<6	<6	8.90	11.80	20.80	26.10	ND	<6	10.20	11.90	8.90	11.90

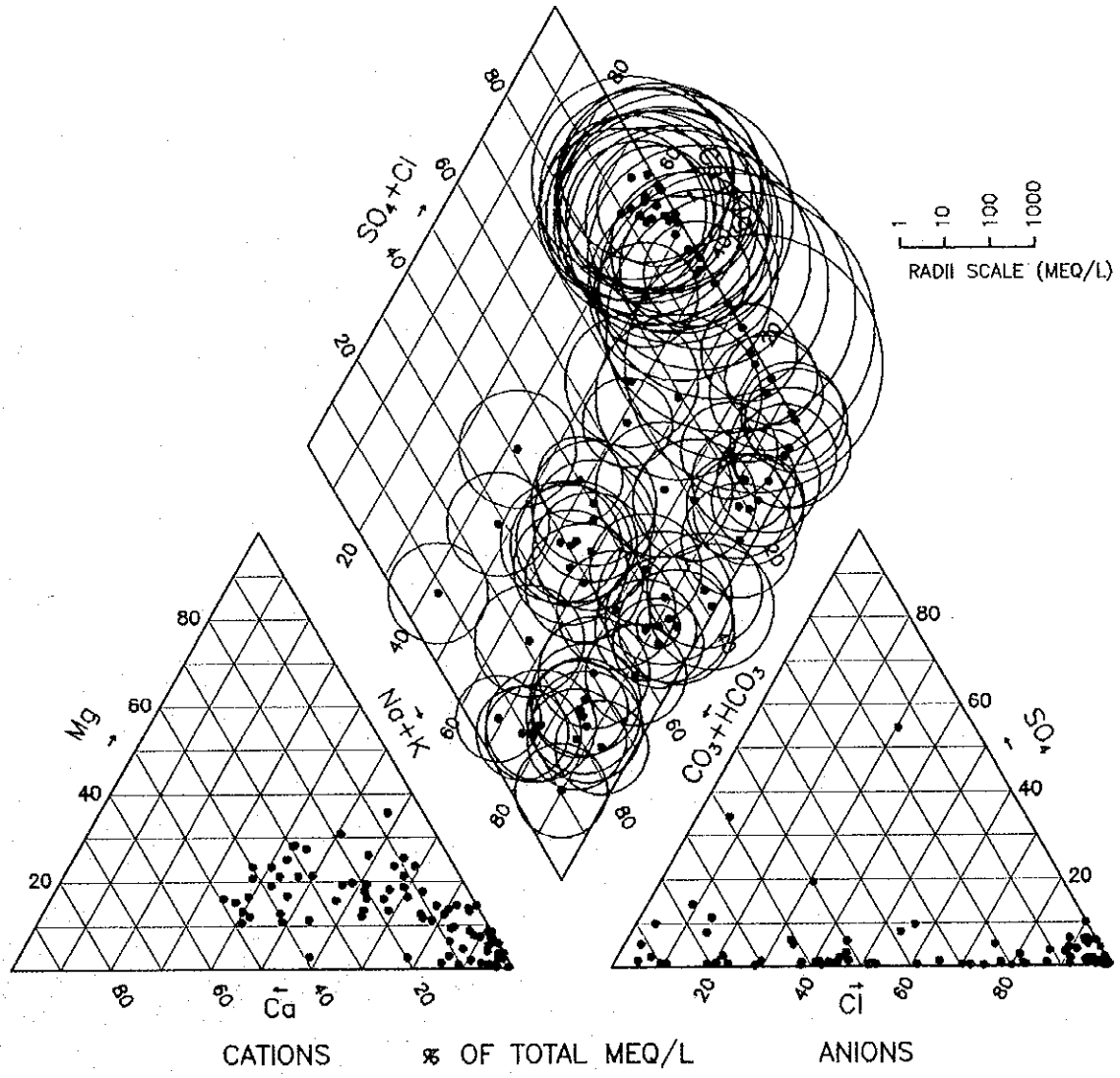


(Water samples were collected by the Study Team in 1993.)

図 4.1.1	プラパダン帯水層のトリリニアーダイアグラム

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.

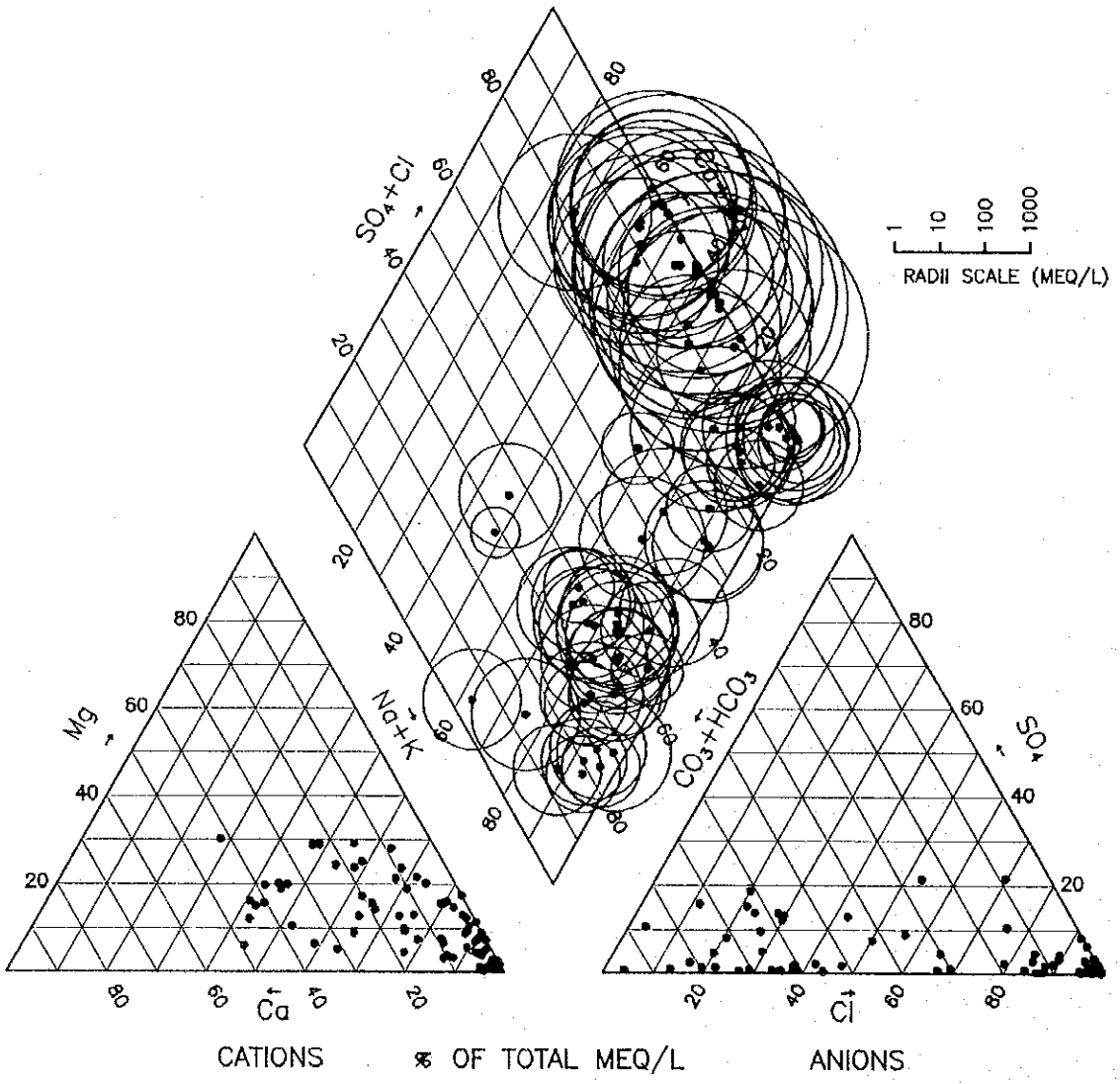


(Water samples were collected by the Study Team in 1993.)

図 4.1.2	ナコンルアン帯水層のトリリニアーダイアグラム

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.

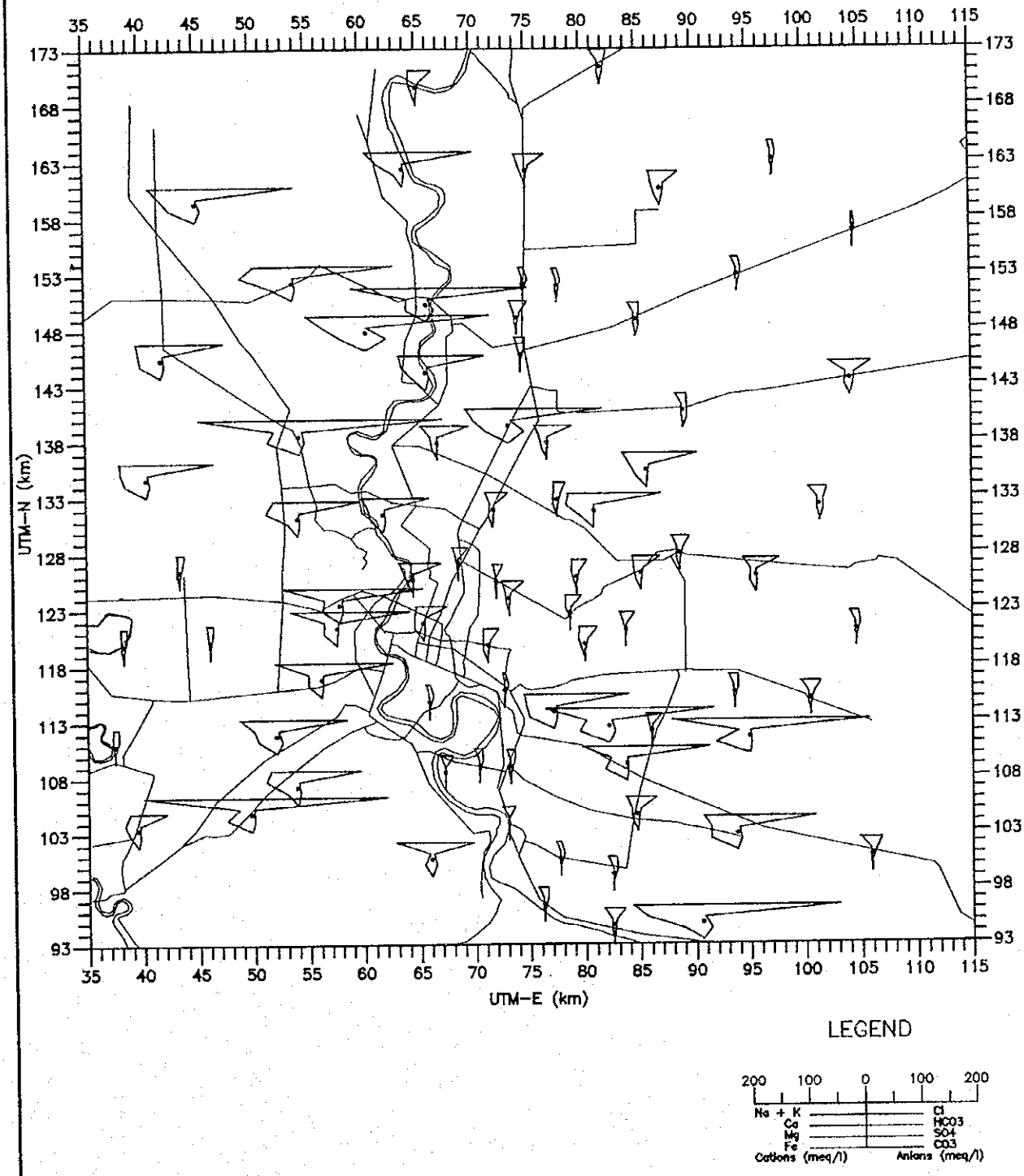


(Water samples were collected by the Study Team in 1993.)

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

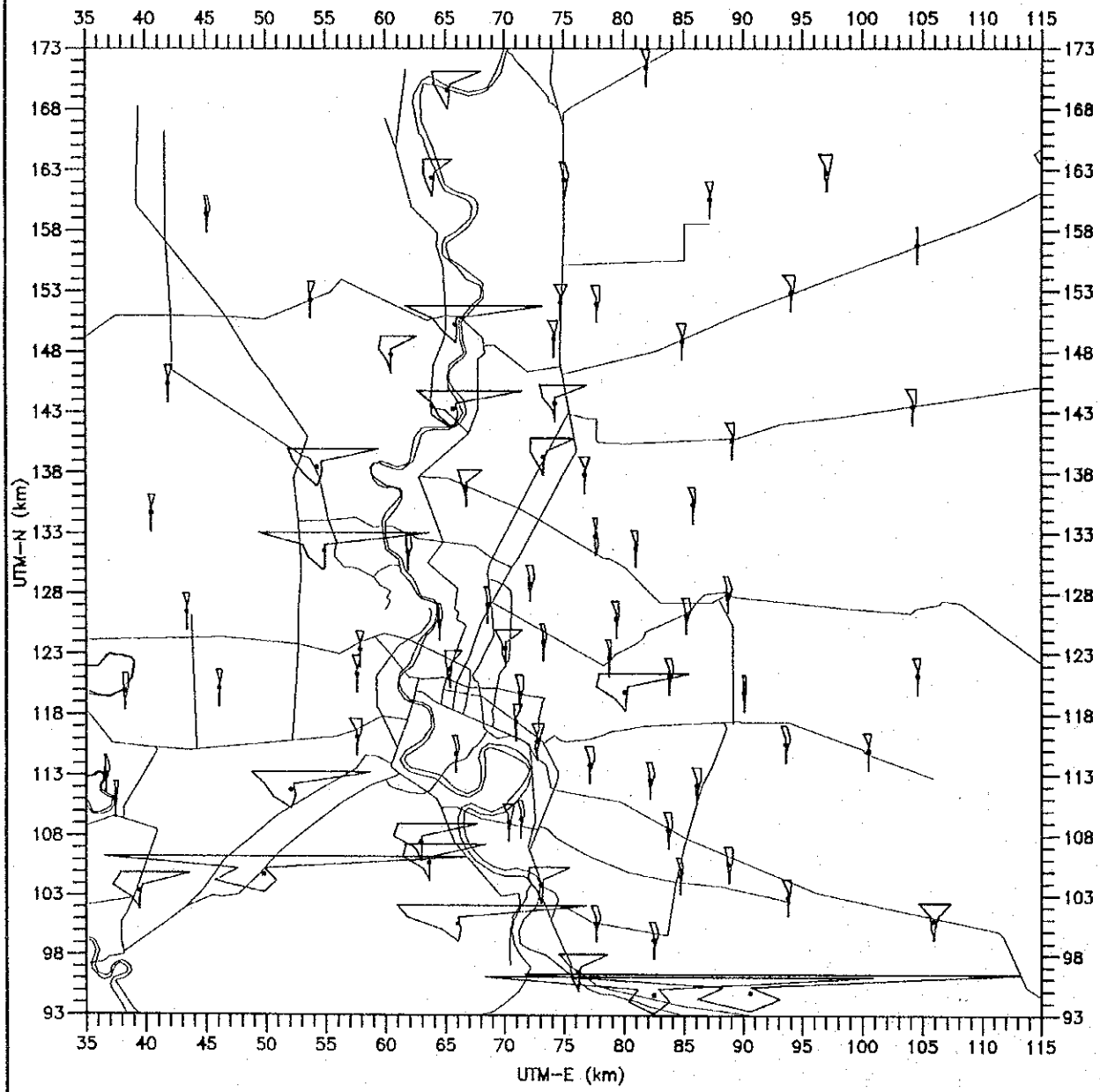
THE STUDY ON MANAGEMENT OF GROUNDWATER AND LAND SUBSIDENCE IN THE BANGKOK METROPOLITAN AREA AND ITS VICINITY

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



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

図 4.2.1	プラパ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.

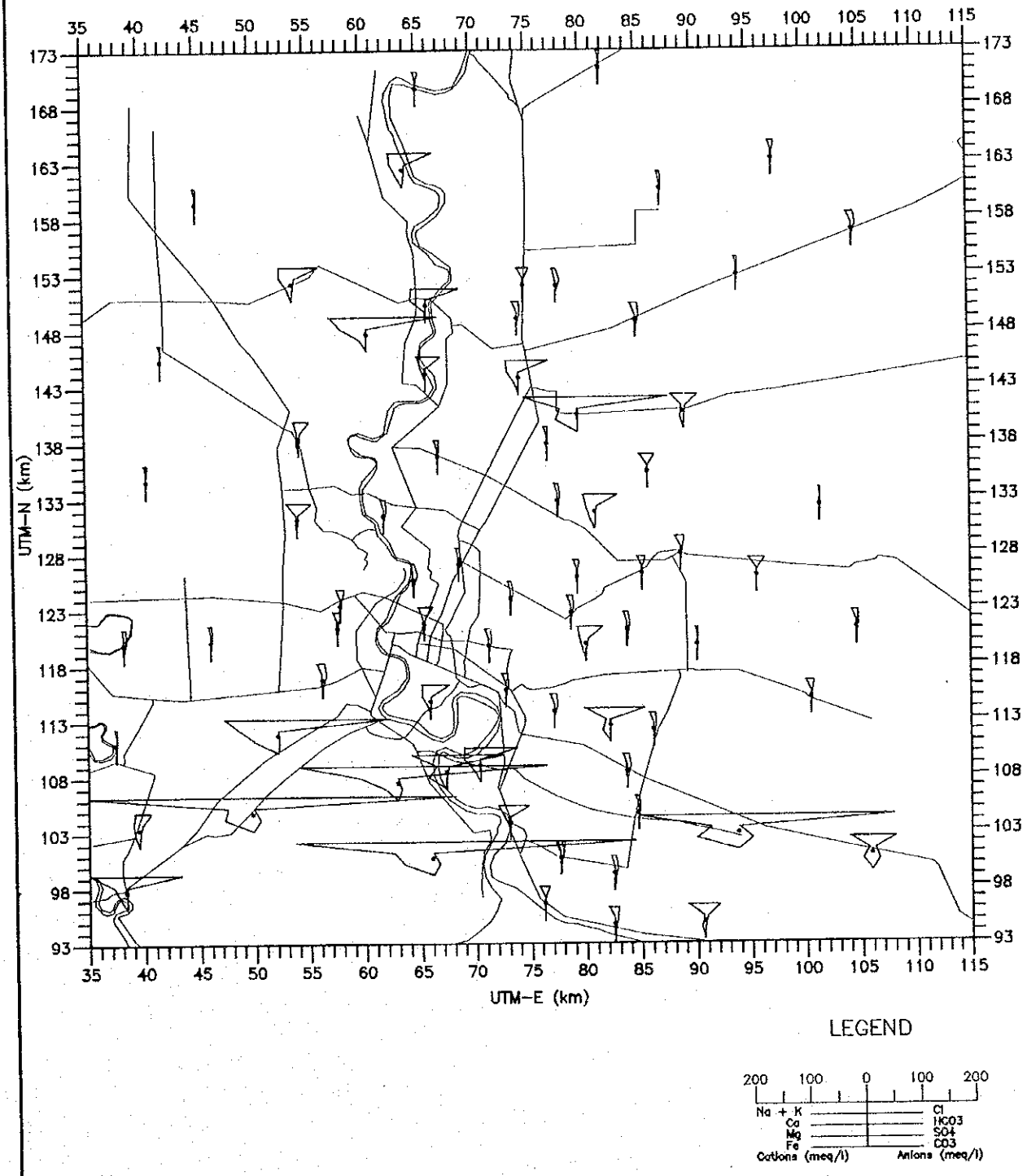


(Water samples were collected by the Study Team in 1993.)

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.

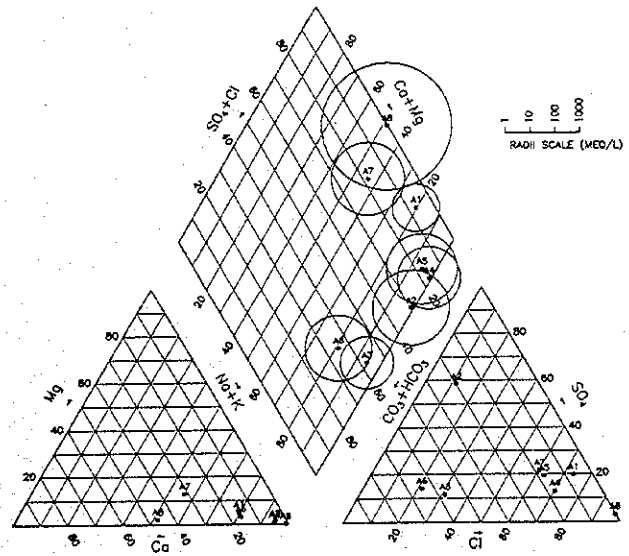


(Water samples were collected by the Study Team in 1993.)

図 4.2.3	ノンタブリ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

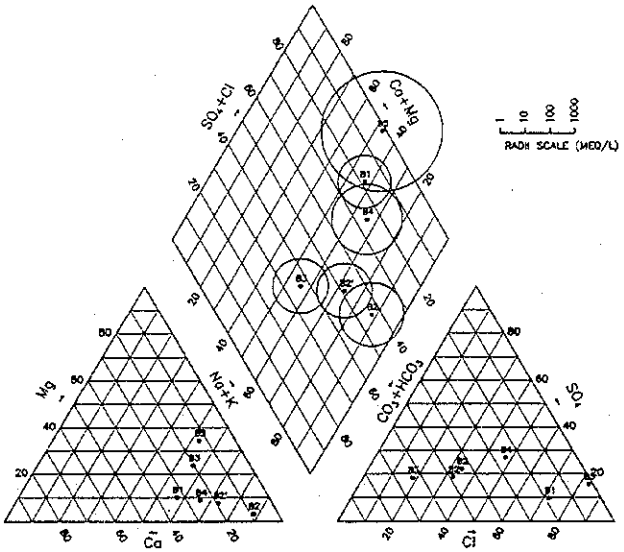
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA) | KOKUSAI KOGYO CO., LTD.



CATIONS % OF TOTAL MEQ/L ANIONS

Label	Well No.	Well Depth (m)	Aquifer	Sampling Date
A1	A-1	574	PK	20-07-1993
A2	A-2	437	PT	27-05-1993
A3	A-3	360	SK	23-05-1993
A4	A-4	302	SK	29-05-1993
A5	A-5	215	NB	07-06-1993
A6	A-6	145	NL	05-06-1993
A7	A-7	108	PD	09-06-1993
A8	A-8	48	BK	02-06-1993

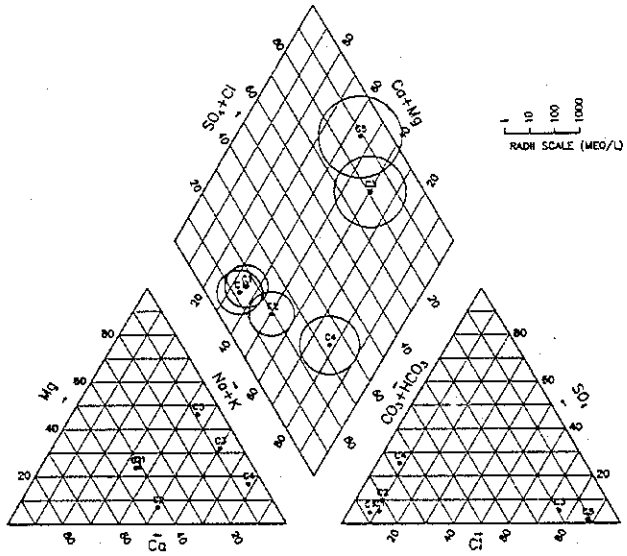
SITE - A



CATIONS % OF TOTAL MEQ/L ANIONS

Label	Well No.	Well Depth (m)	Aquifer	Sampling Date
B1	B-1	272	NB	22-02-1993
B2	B-2	192	NL	25-03-1993
B2'	B-2	192	NL	08-05-1993
B3	B-3	153	NL	23-04-1993
B4	B-4	94	PD	29-04-1993
B5	B-5	47	BK	29-04-1993

SITE - B



CATIONS % OF TOTAL MEQ/L ANIONS

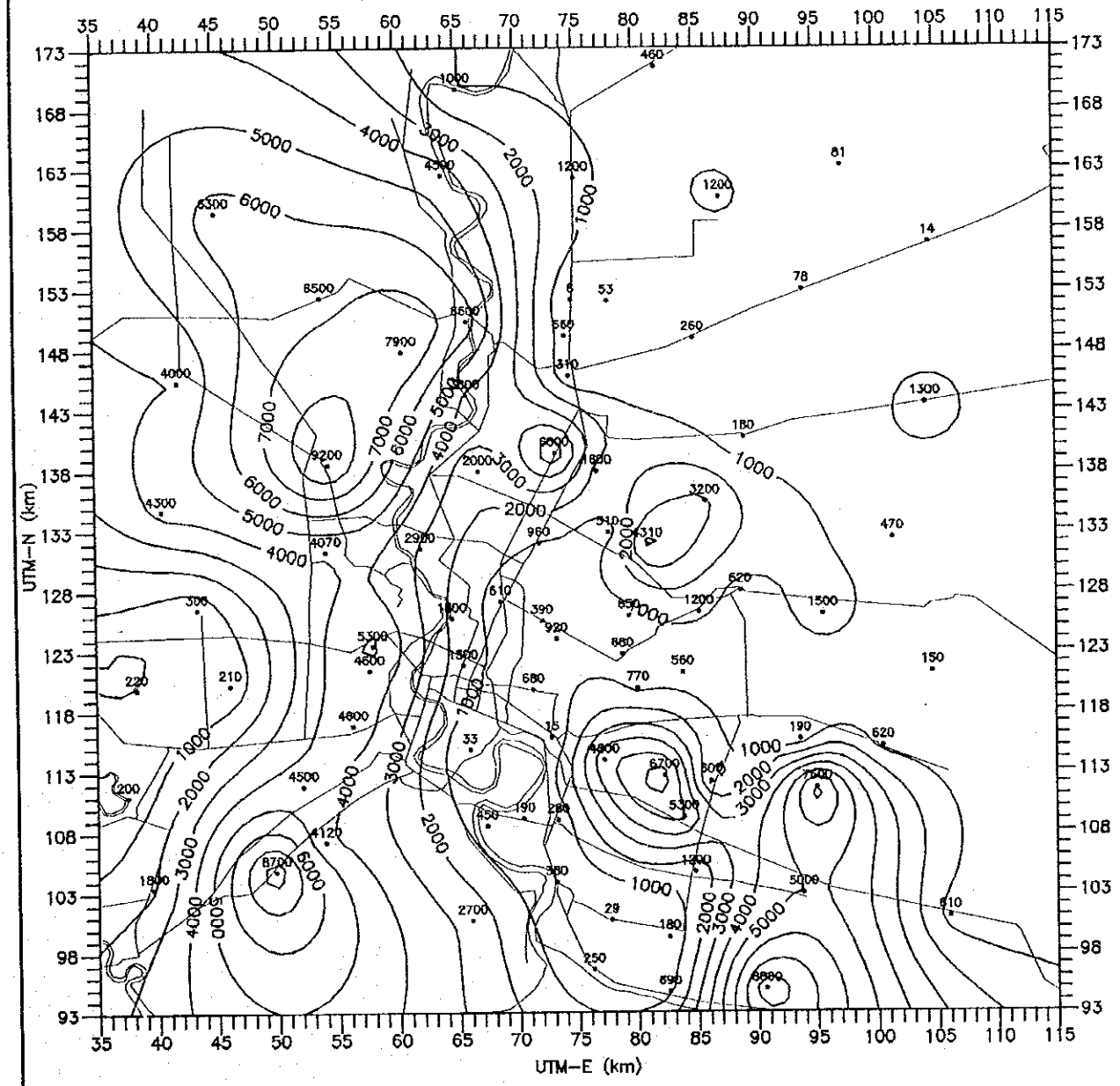
Label	Well No.	Well Depth (m)	Aquifer	Sampling Date
C1	C-1	320	SK	15-03-1993
C1'	C-1	320	SK	08-05-1993
C2	C-2	212	NB	29-05-1993
C3	C-3	140	NL	20-06-1993
C4	C-4	105	PD	16-06-1993
C5	C-5	78	PD	23-06-1993

SITE - C

図 4.3	JICAモニタリング井地下水のトリリニアーダイアグラム

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.



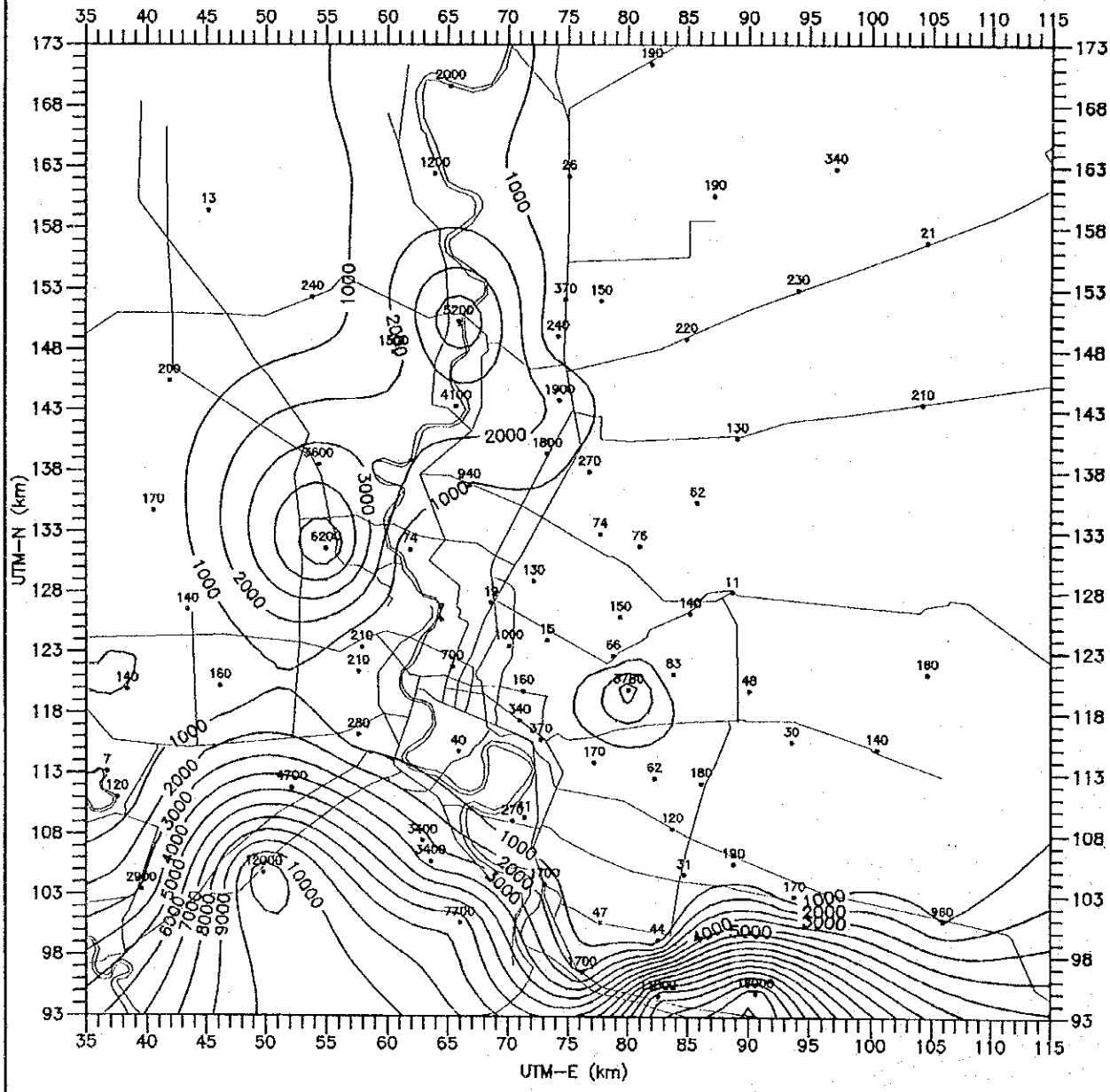
LEGEND

——— 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	プラパ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.



LEGEND

LINE OF EQUAL Cl^- CONCENTRATION (mg/L)

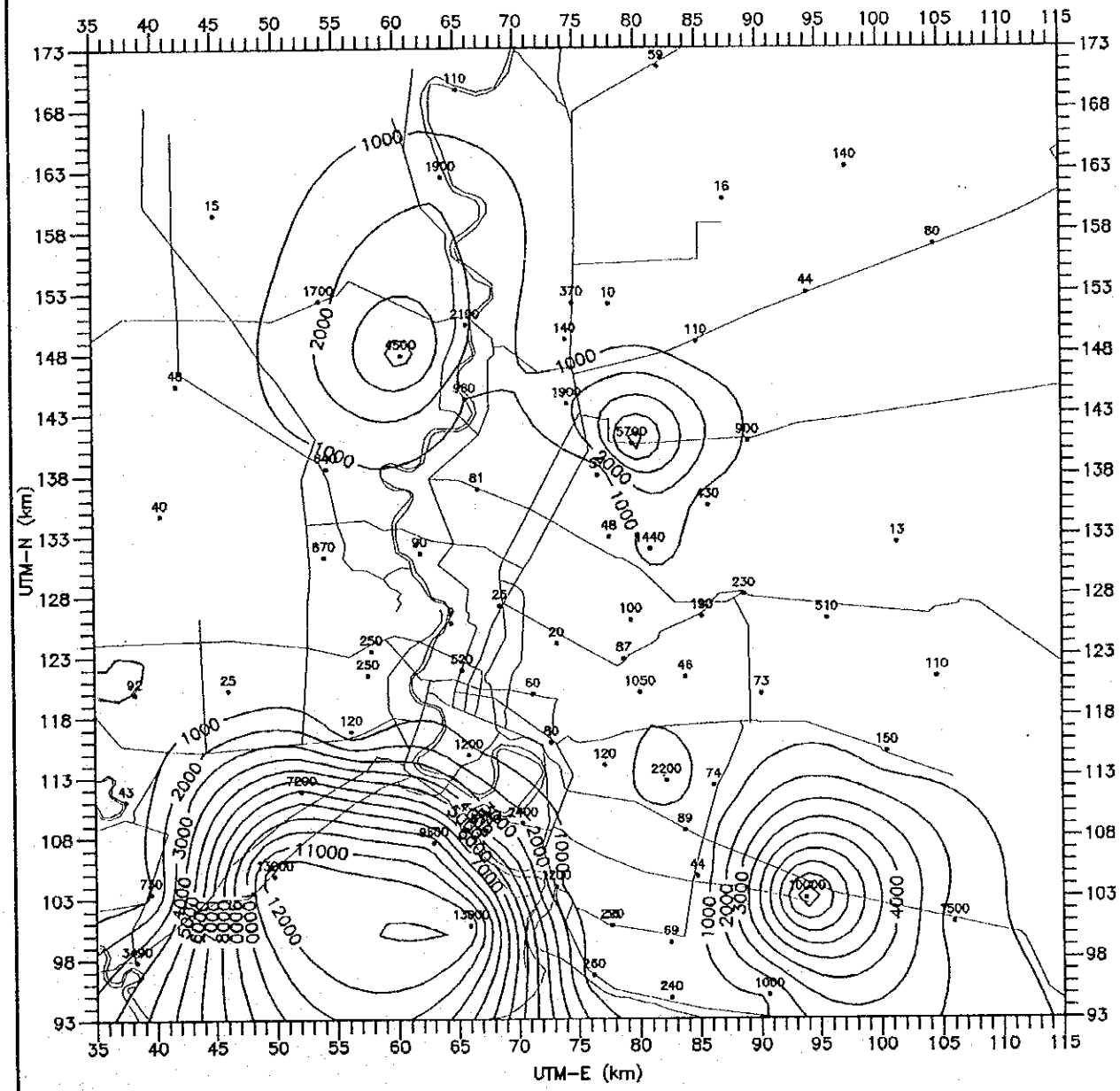
1500 DMR MONITORING WELL WITH Cl^- CONCENTRATION (mg/L)

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

図 4.4.2	ナコンルア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.



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 4.4.3	ノンタブリ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. 地下水揚水量

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%がプラパダ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、パ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、パトムタニの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、次いでプラパダン帯水層、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1,481,061m³/dayである。この内訳は、民間深井戸、1,121,305m³/day,公共用井戸、359,756m³/dayとなっている。

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、パ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。

地下水揚水量が集中している郡は、サムットプラカン、プラパダン、クロンルアン、バンプリの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 1,117,028 m3/dayから 1992年の 1,481,061 m3/dayへ 132.6%増加した。

表5.1 調査地域の1992年揚水量の県別内訳

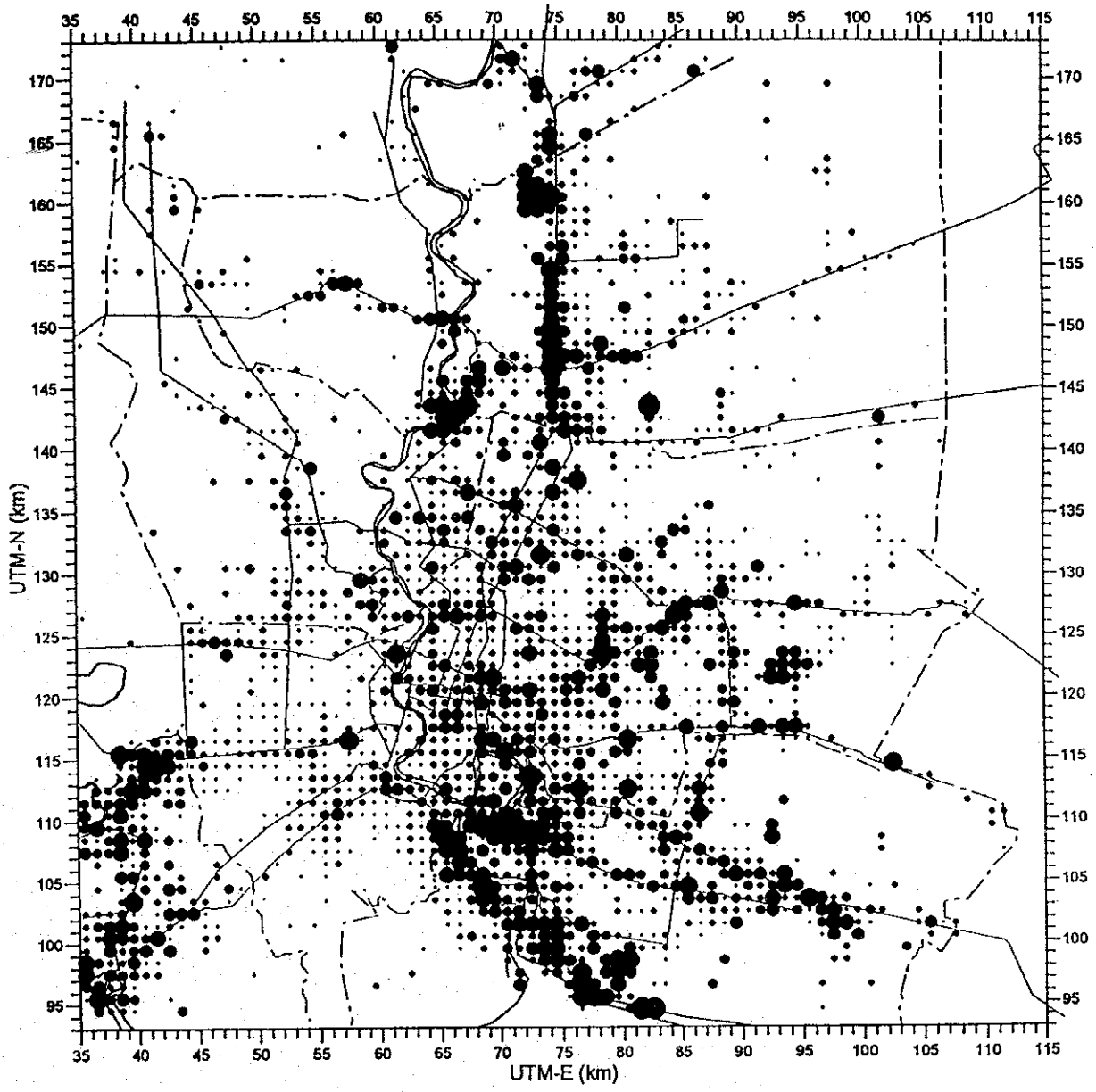
Changwat	Type of User	Private Total	DMR	PWD	MWA	PWA	DOH	ARD	IEAT	Public Total	Combined Total
Bangkok	Domestic	141,628	2,516	4,110	79,937	0	0	0	0	86,563	228,191
	Institutional	34,318								0	34,318
	Commercial	42,867								0	42,867
	Industrial	134,755							18,476	18,476	153,231
	TOTAL	353,568	2,516	4,110	79,937	0	0	0	18,476	105,039	458,607
Nonthaburi	Domestic	22,542	750	20,300	5,197	0	0	0		26,247	48,789
	Institutional	2,211								0	2,211
	Commercial	2,270								0	2,270
	Industrial	16,186							0	0	16,186
	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							28,600	28,600	185,955
	TOTAL	217,061	2,391	19,765	0	19,487	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							29,127	29,127	351,861
	TOTAL	387,310	2,699	33,945	20,892	0	0	0	29,127	86,663	473,973
Samut Sakhon	Domestic	10,609	459	43,510	0	9,871	0	0	0	53,840	64,449
	Institutional	1,676								0	1,676
	Commercial	4,550								0	4,550
	Industrial	83,556								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	14,169							400	400	14,569
	TOTAL	19,766	3,375	10,810	0	956	0	118	400	15,659	35,425
Nakhon Pathom	Domestic		1632	0	0	211	136	0	0	1,979	1,979
	Institutional									0	0
	Commercial									0	0
	Industrial									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	0	0	0	0	0	0	0	47,944
	Commercial	77,036	0	0	0	0	0	0	0	0	77,036
	Industrial	728,755	0	0	0	0	0	0	76,603	76,603	805,358
	TOTAL	1,121,305	13,908	132,440	106,026	30,525	136	118	76,603	359,756	1,481,061

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	566,283	540,192	491,247	504,187	483,409	439,486	409,567	435,201	458,729
Nonthaburi	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	289,979
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	24,467	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
Nonthaburi	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	1,212,818	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．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南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

<u>プラパダン帯水層</u>

プラパ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ンタニに広がり、局所的に-30m以下の低下の目玉が現れている（図6.3)。

<u>ナコンルアン帯水層</u>

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)。

<u>ノンタブリ帯水層</u>

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年にはパトムタニ、サムットサコン、サムットプ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）、ＡＩＴ（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ＤＭＲ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（プラパダン帯水層）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（パクナム帯水層）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　ＡＩＴ（サイトＢ）

地下水位はＢ－１（ノンタブリ帯水層）、Ｂ２及びＢ－３（ともにナコンルアン帯水層）、Ｂ－４（プラパダン帯水層）、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（ノンタブリ帯水層）、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（ともにプラパダン帯水層）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の沈下量は（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

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の測量にもとづき地盤沈下状況を見てみる。

６．３．１　主な水準点の沈下量

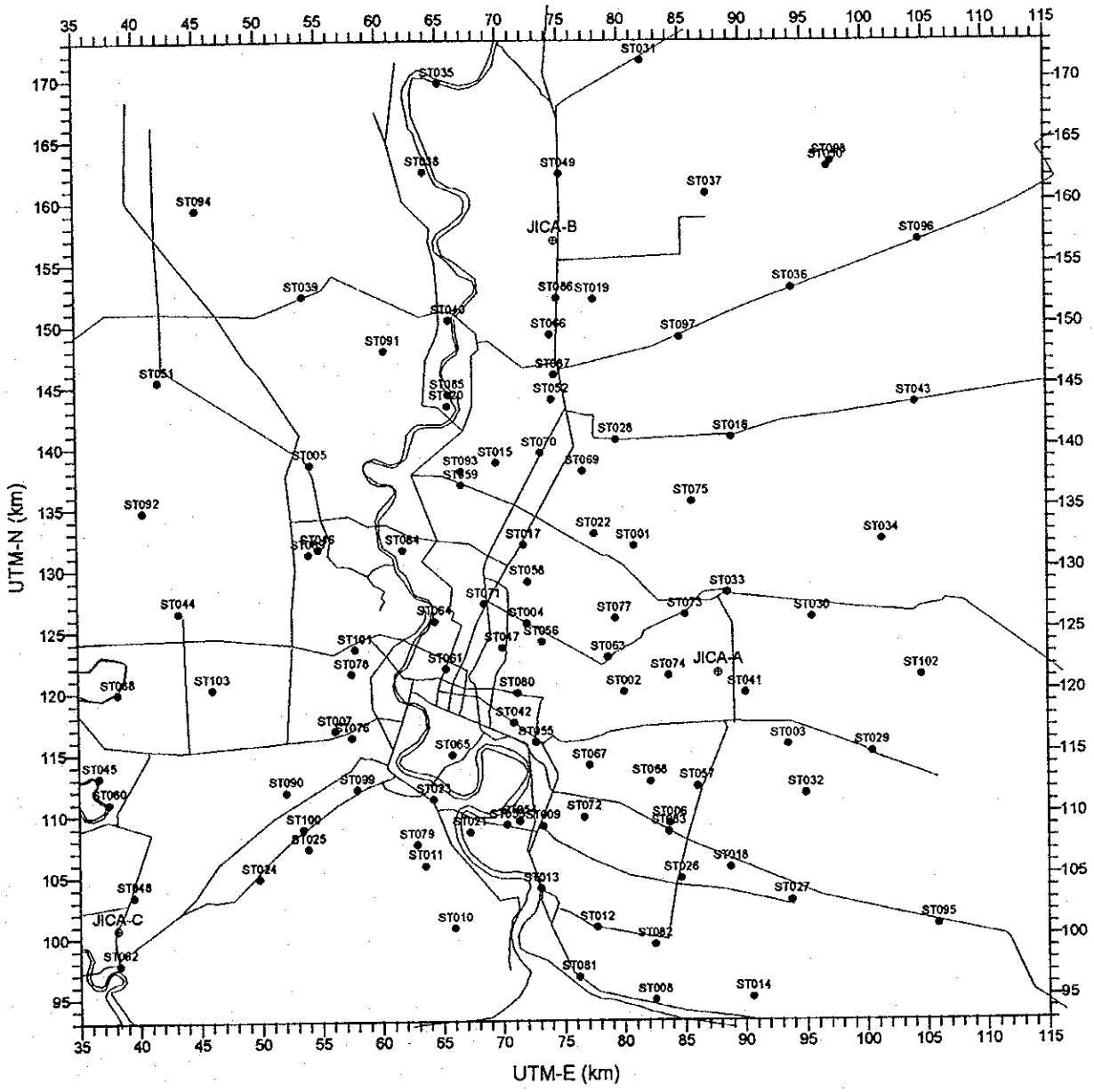
バンコク中心部のAIT-14のCI-1(深度1m)水準点の沈下量は1980年から1993年の13年間で648.4mmに達している。また、チュラロンコン大学構内のAIT-08のCI-1水準点は13年間で225mmである。バンコク北部のパトムタニのAIT-25では、1986年以降8年間で75mmを示すが、1990年と1993年にリバウンドしている（図6.10)。

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年以降はサムットプ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。サムットプラカン、サムットサコン、バンコク東部、パ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。

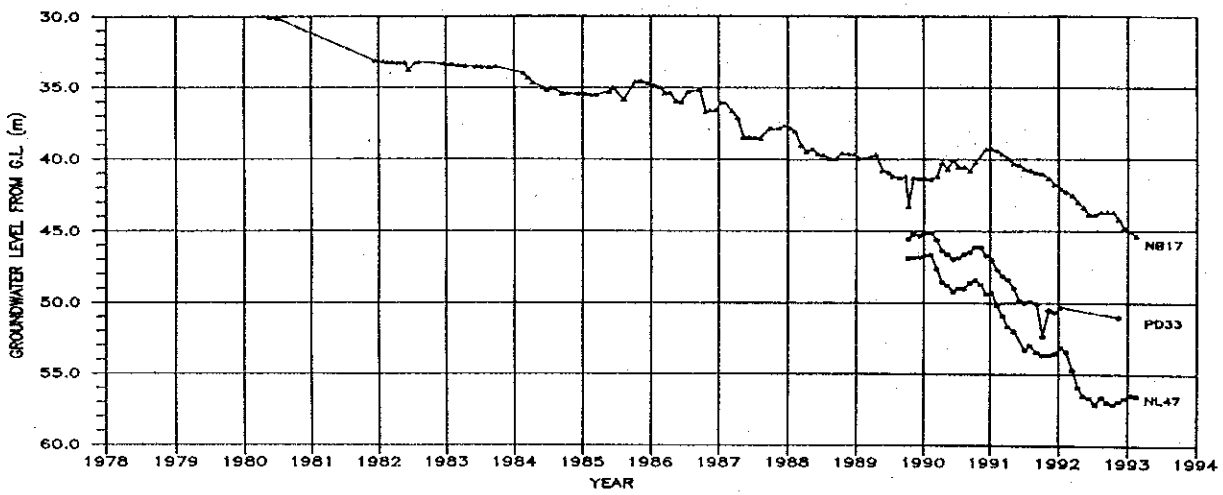


LEGEND

⊕ Location of JICA monitoring station

• Location of DMR monitoring station with station No.

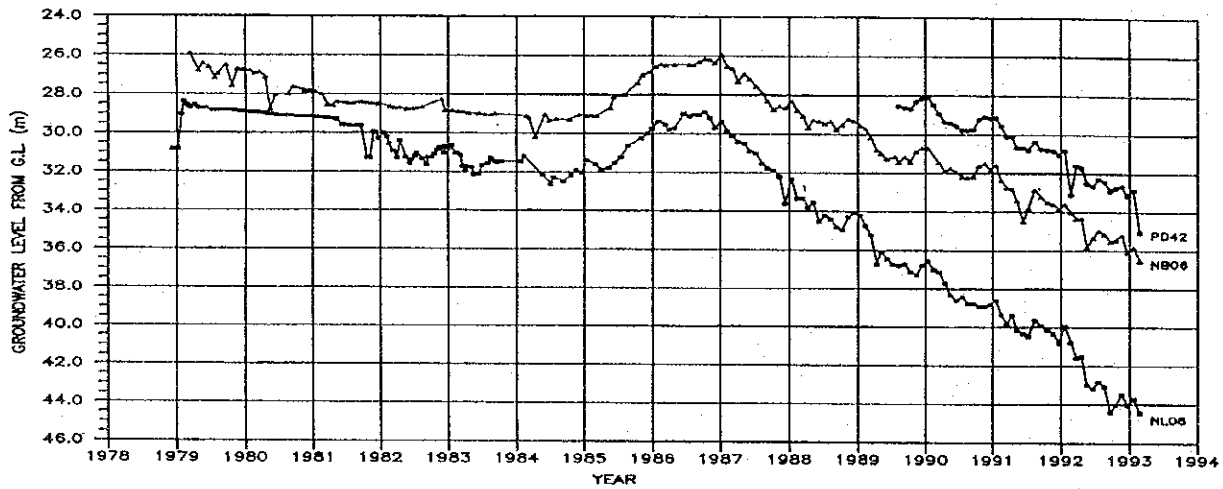
図6.1	DMR 観測井の位置図
THE STUDY ON MANAGEMENT OF GROUNDWATER AND LAND SUBSIDENCE IN THE BANGKOK METROPOLITAN AREA AND ITS VICINITY	
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)	KOKUSAI KOGYO CO., LTD.



LOCATION : Wat Bamrung Run
Tambon : Khlong Sam Prawet
Amphoe : Lat Krabang
Changwat : Bangkok
UTM Grid : 901198

SCREEN DEPTH
PD33 : 104.0–110.0m
NL47 : 147.0–153.0m
NB17 : 183.0–189.0m

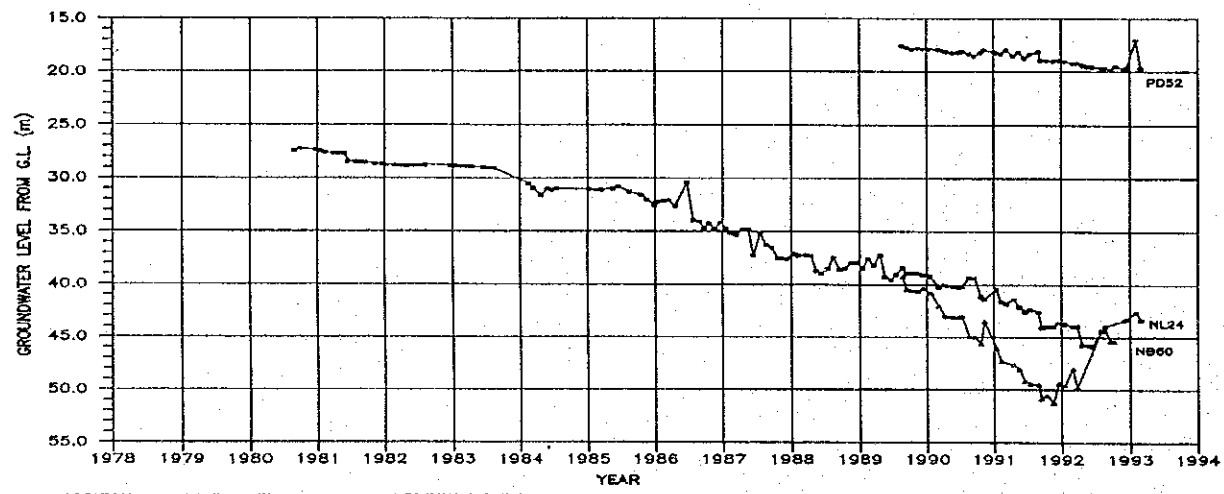
STATION No. 41



LOCATION : Wat Kla Cha-um
Tambon : Khlong Song
Amphoe : Khlong Luang
Changwat : Pathum Thani
UTM Grid : 778520

SCREEN DEPTH
PD42 : 107.0–113.0m
NL06 : 122.3–128.3m
NB06 : 186.2–192.2m

STATION No. 19



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

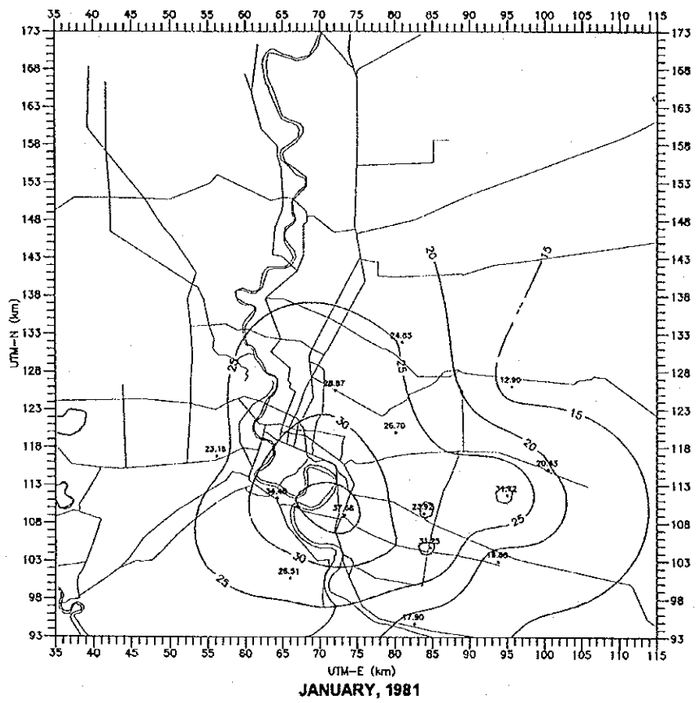
SCREEN DEPTH
PD52 : 77.0–83.0m
NL24 : 134.0–149.0m
NB60 : 221.0–227.0m

STATION No. 48

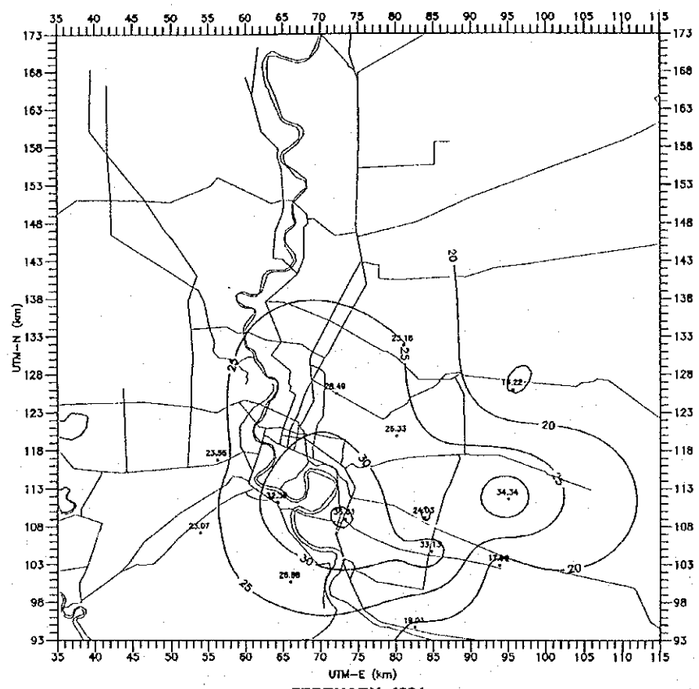
図 6.2	地下水位の経年変化

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

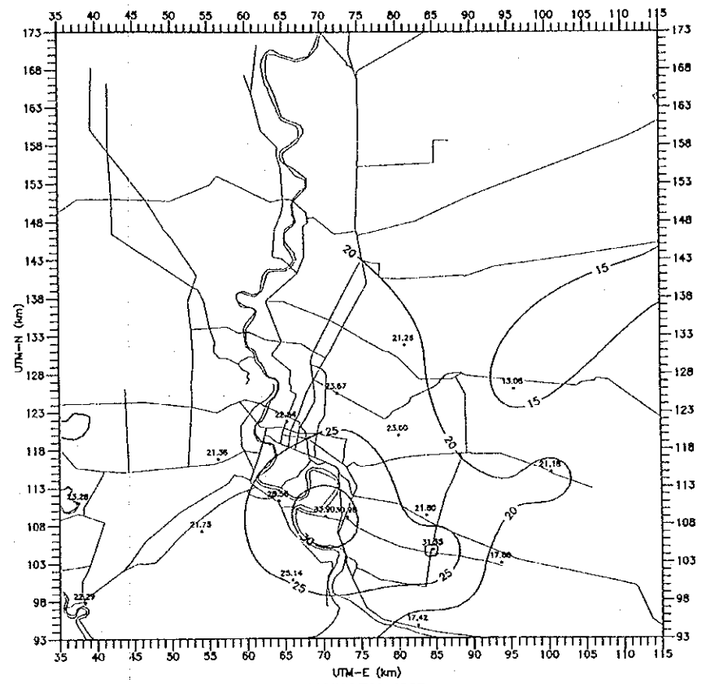
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA) | KOKUSAI KOGYO CO., LTD.



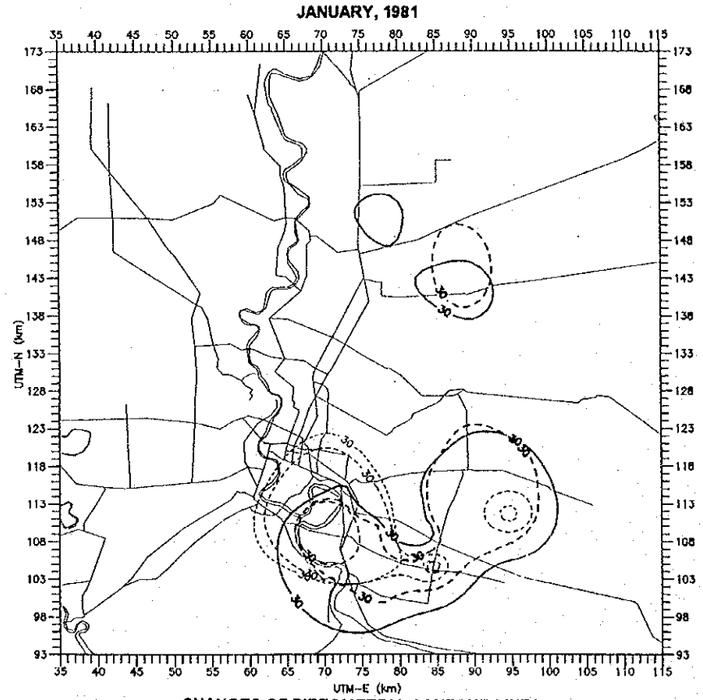
JANUARY, 1981



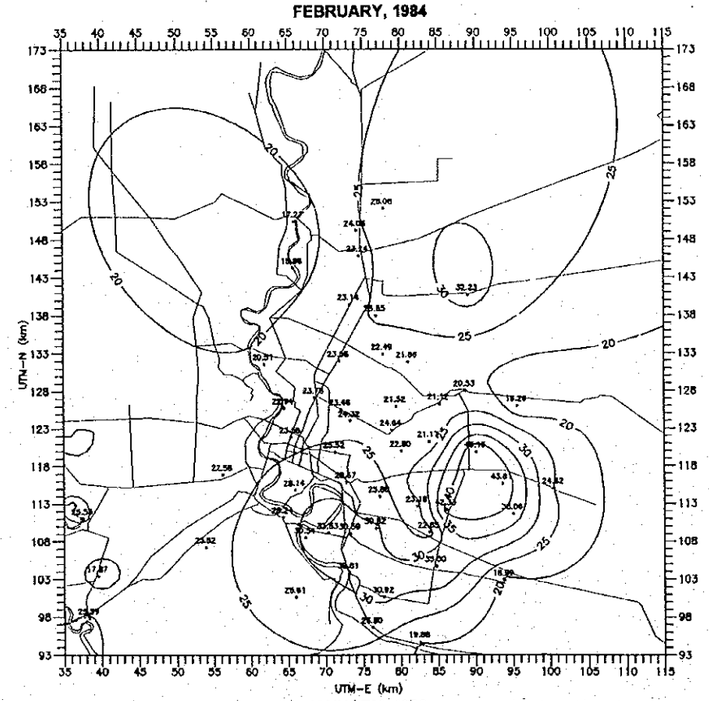
FEBRUARY, 1984



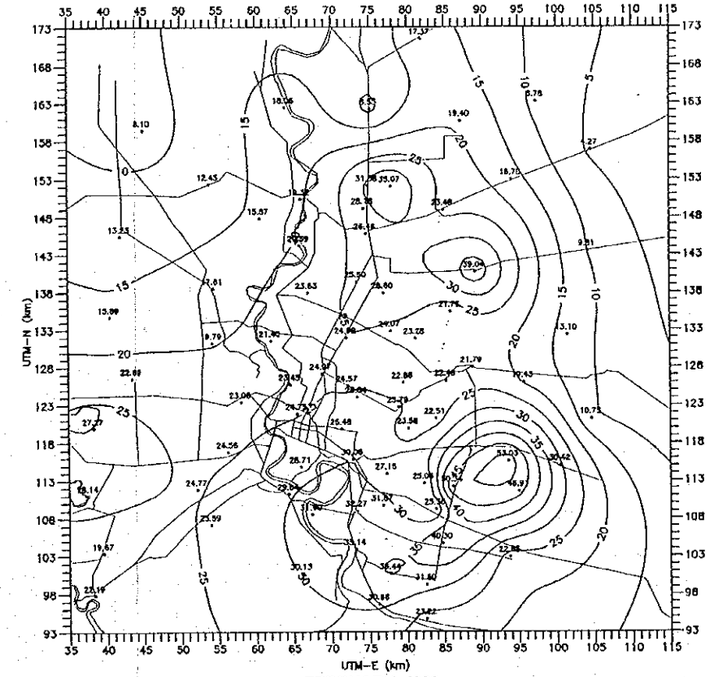
JANUARY, 1987



CHANGES OF PIEZOMETRIC CONTOUR LINES



JANUARY, 1990



FEBRUARY, 1993

LEGEND

- 30mbgs CONTOUR LINE IN JAN. 1981
- 30mbgs CONTOUR LINE IN FEB. 1984
- 30mbgs CONTOUR LINE IN JAN. 1987
- 30mbgs CONTOUR LINE IN JAN. 1990
- 30mbgs CONTOUR LINE IN FEB. 1993

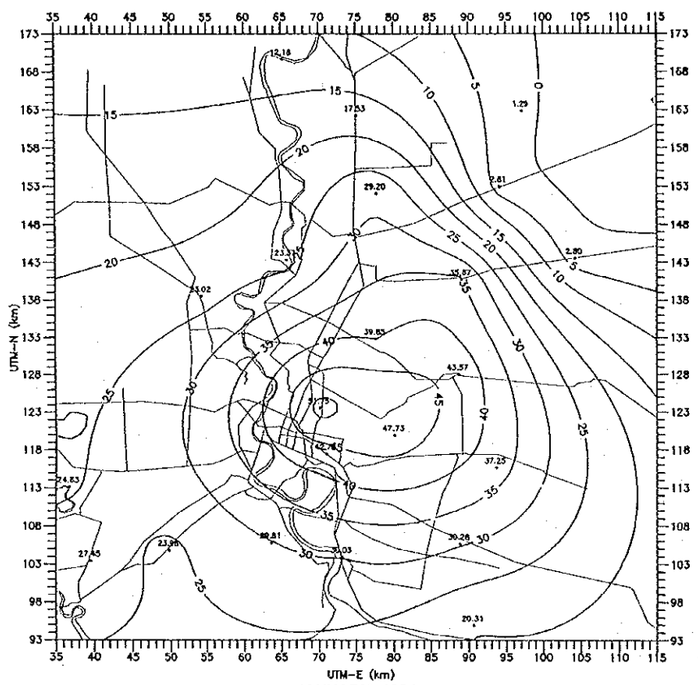
(mbgs : m below ground surface)

LEGEND

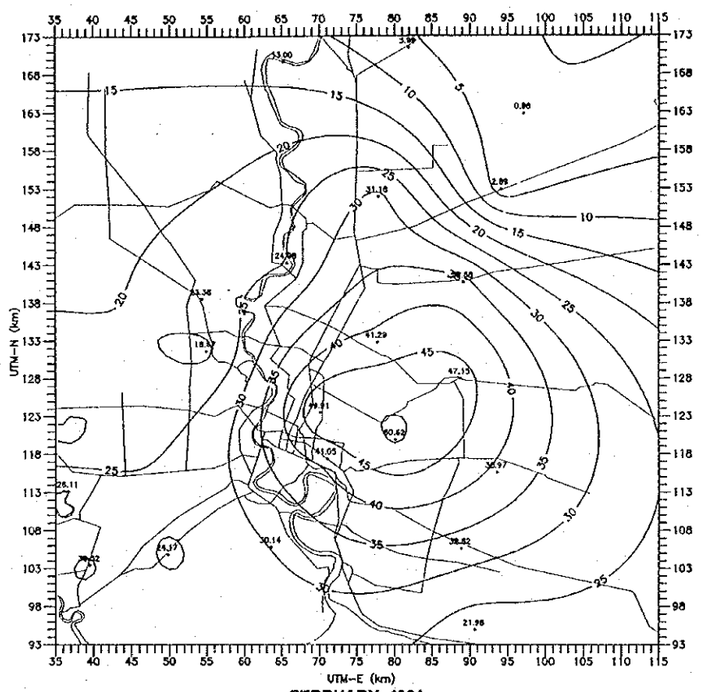
- LINE OF EQUAL PIEZOMETRIC LEVEL (m below ground surface)
- 25.00 DMR MONITORING WELL WITH PIEZOMETRIC LEVEL (m below ground surface)

図 6.3 プラパダン帯水層の地下水位分布の変化

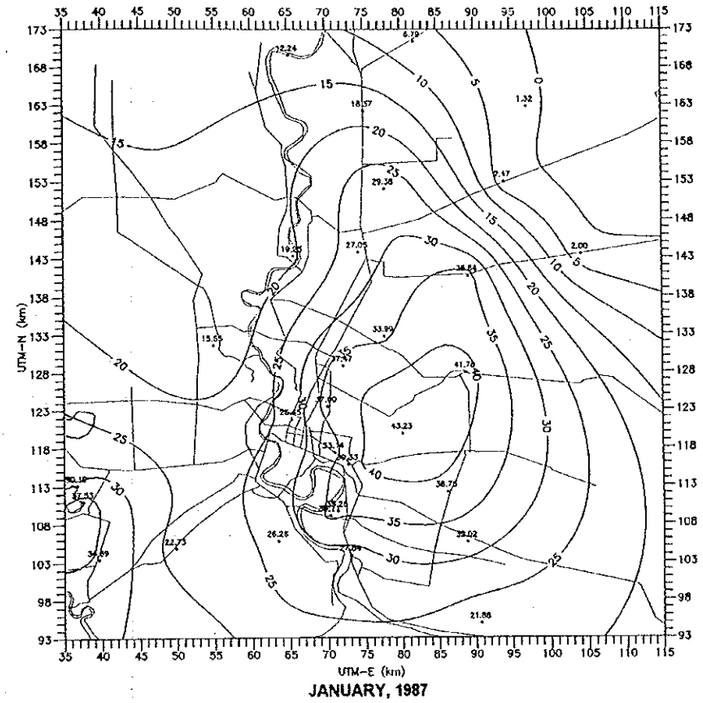
Figure 6.1.3	PIEZOMETRIC LEVEL OF PHRA PRADAENG AQUIFER
THE STUDY ON MANAGEMENT OF GROUNDWATER AND LAND SUBSIDENCE IN THE BANGKOK METROPOLITAN AREA AND ITS VICINITY	
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)	KOKUSAI KOGYO CO., LTD.



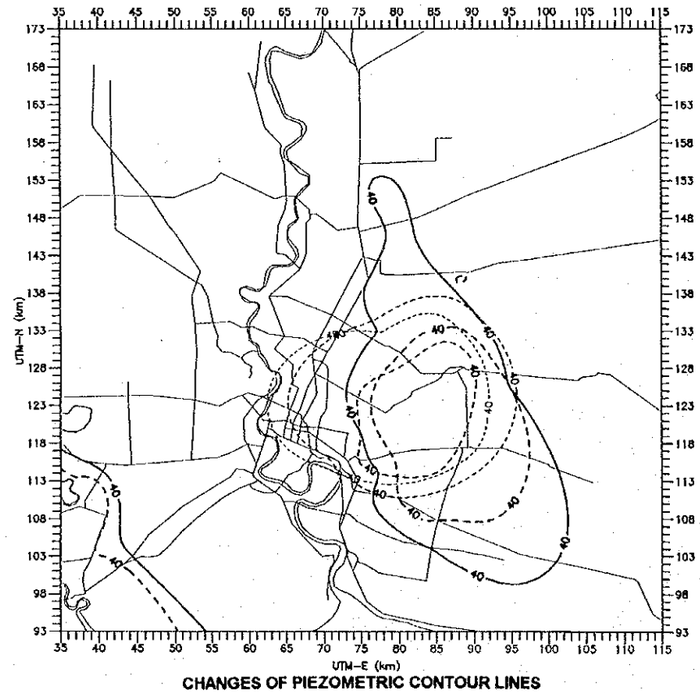
JANUARY, 1981



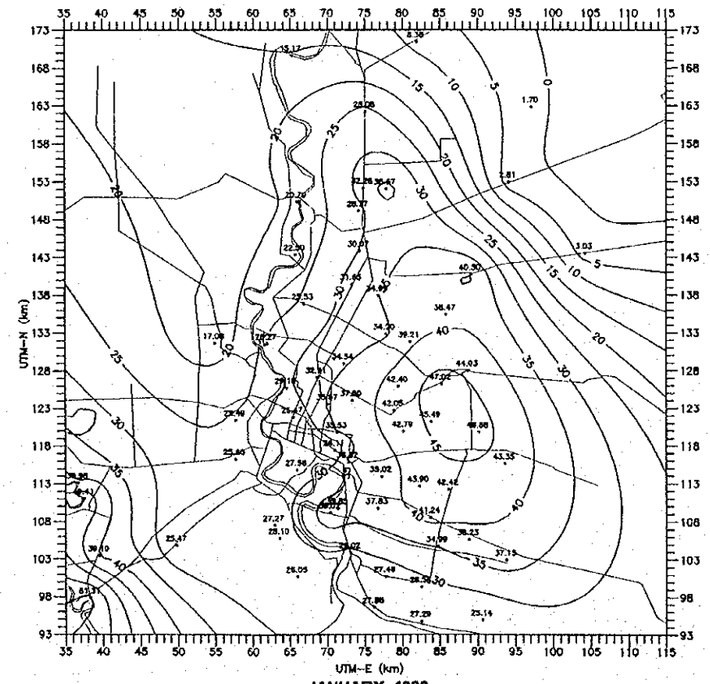
FEBRUARY, 1984



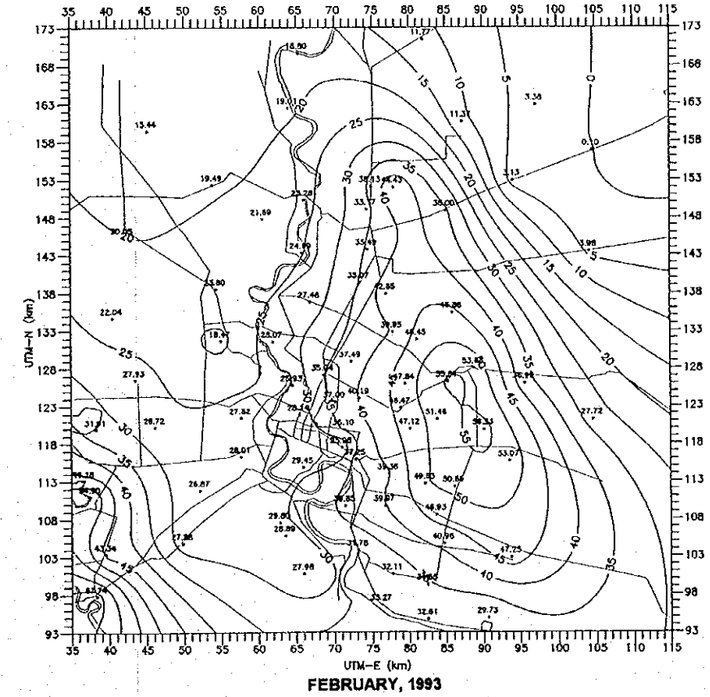
JANUARY, 1987



CHANGES OF PIEZOMETRIC CONTOUR LINES



JANUARY, 1990



FEBRUARY, 1993

LEGEND

- 40mbgs CONTOUR LINE IN JAN. 1981
- 40mbgs CONTOUR LINE IN FEB. 1984
- 40mbgs CONTOUR LINE IN JAN. 1987
- 40mbgs CONTOUR LINE IN JAN. 1990
- 40mbgs CONTOUR LINE IN FEB. 1993

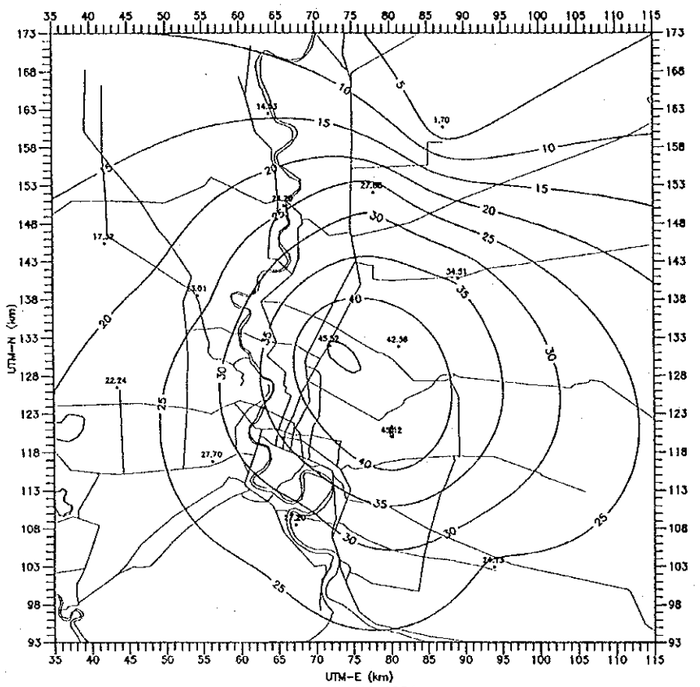
(mbgs : m below ground surface)

LEGEND

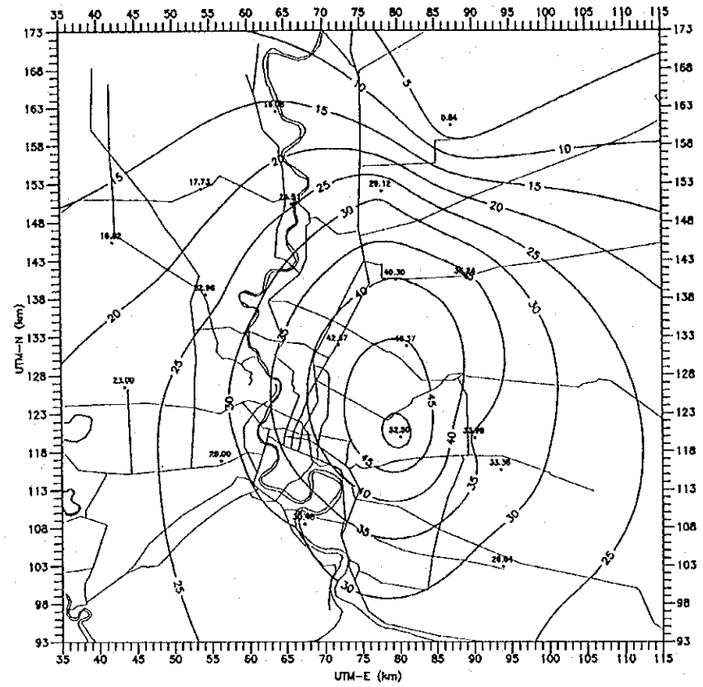
- LINE OF EQUAL PIEZOMETRIC LEVEL (m below ground surface)
- 25.00 DMR MONITORING WELL WITH PIEZOMETRIC LEVEL (m below ground surface)

図 6.4 ナコンルアン帯水層の地下水位分布の変化

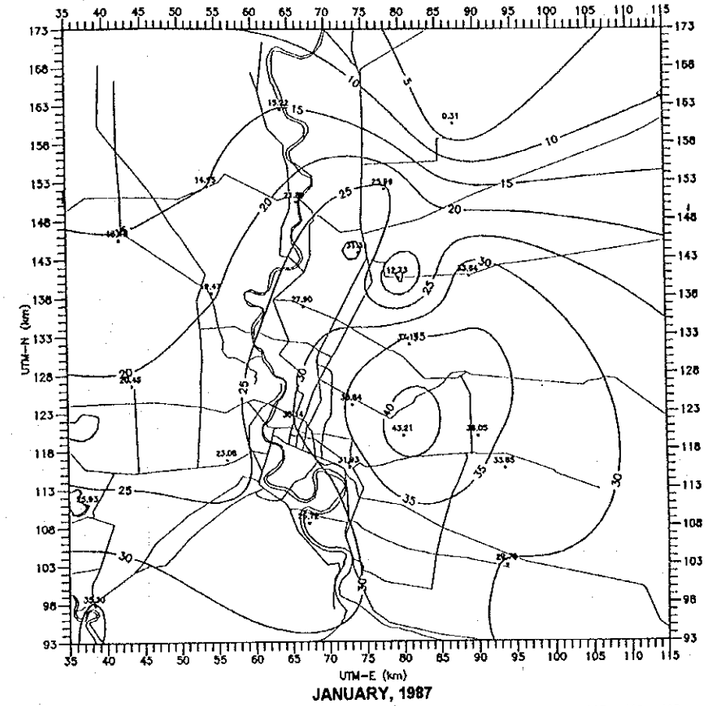
Figure 6.1.5	PIEZOMETRIC LEVEL OF NAKHON LUANG AQUIFER
THE STUDY ON MANAGEMENT OF GROUNDWATER AND LAND SUBSIDENCE IN THE BANGKOK METROPOLITAN AREA AND ITS VICINITY	
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)	KOKUSAI KOGYO CO., LTD.



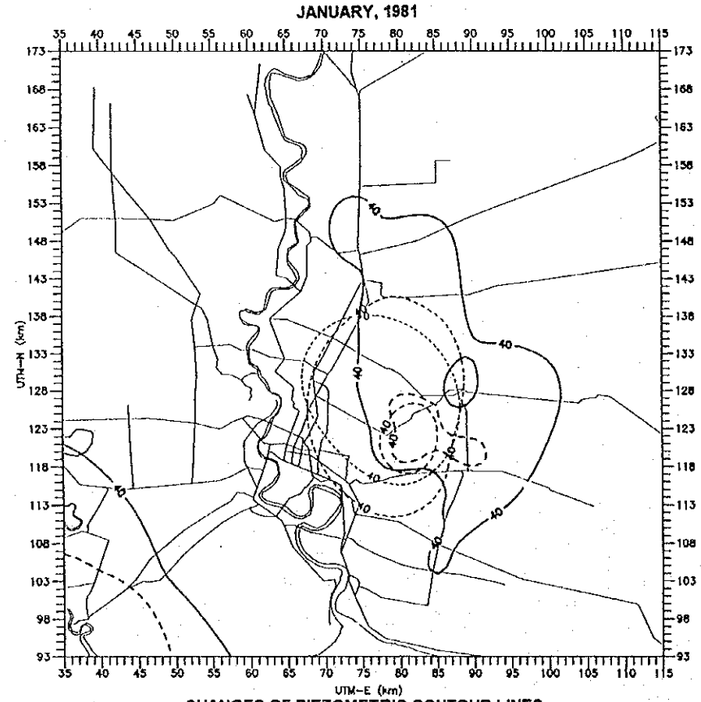
JANUARY, 1981



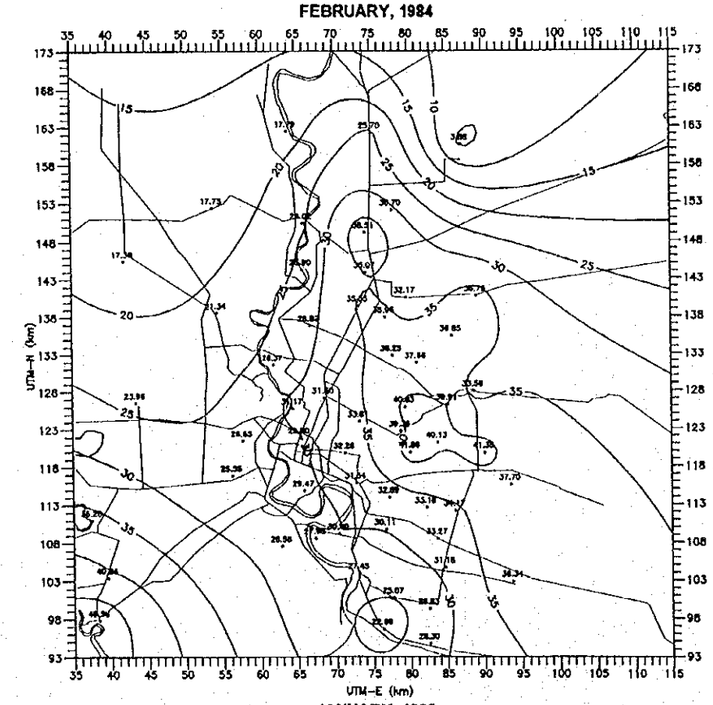
FEBRUARY, 1984



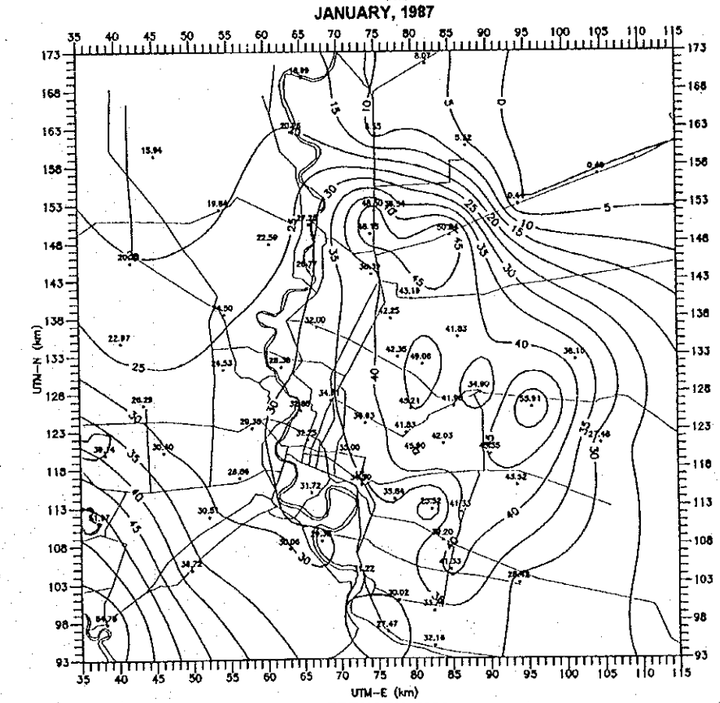
JANUARY, 1987



CHANGES OF PIEZOMETRIC CONTOUR LINES



JANUARY, 1990



FEBRUARY, 1993

LEGEND

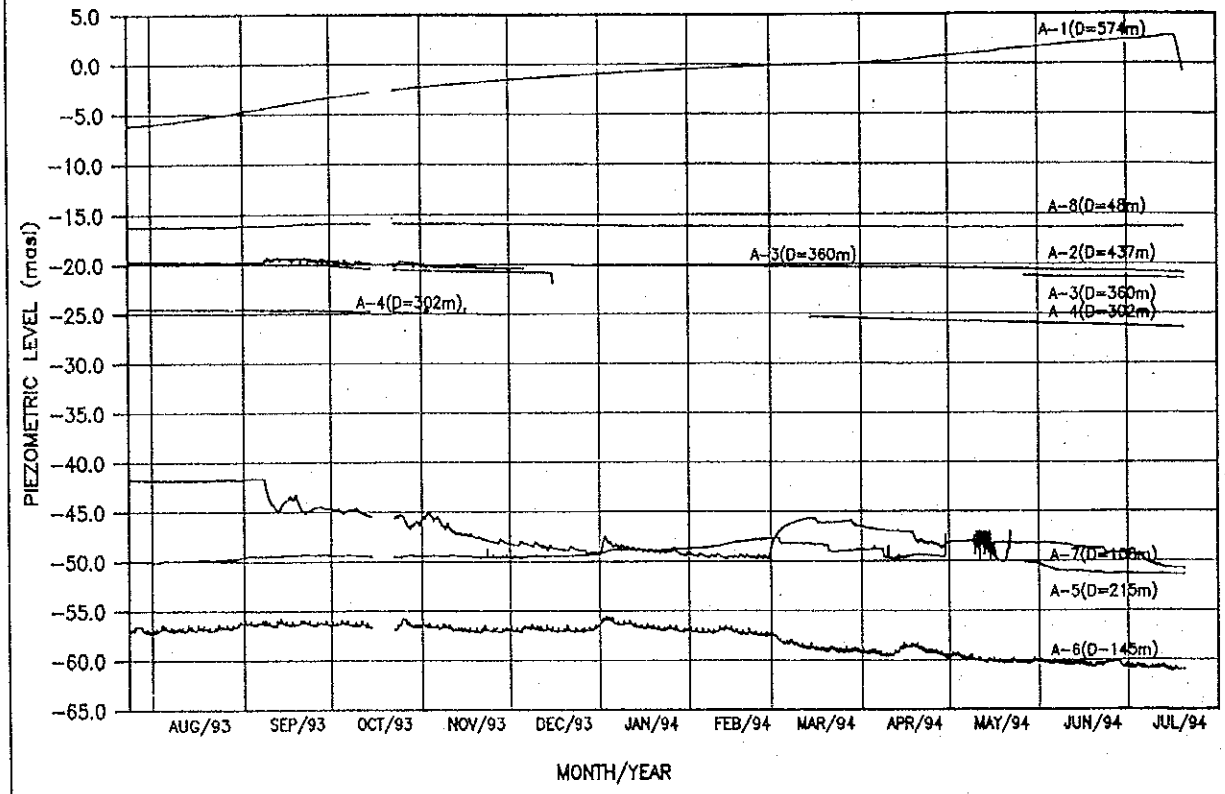
- 40mbgs CONTOUR LINE IN JAN. 1981
- 40mbgs CONTOUR LINE IN FEB. 1984
- 40mbgs CONTOUR LINE IN JAN. 1987
- 40mbgs CONTOUR LINE IN JAN. 1990
- 40mbgs CONTOUR LINE IN FEB. 1993 (mbgs : m below ground surface)

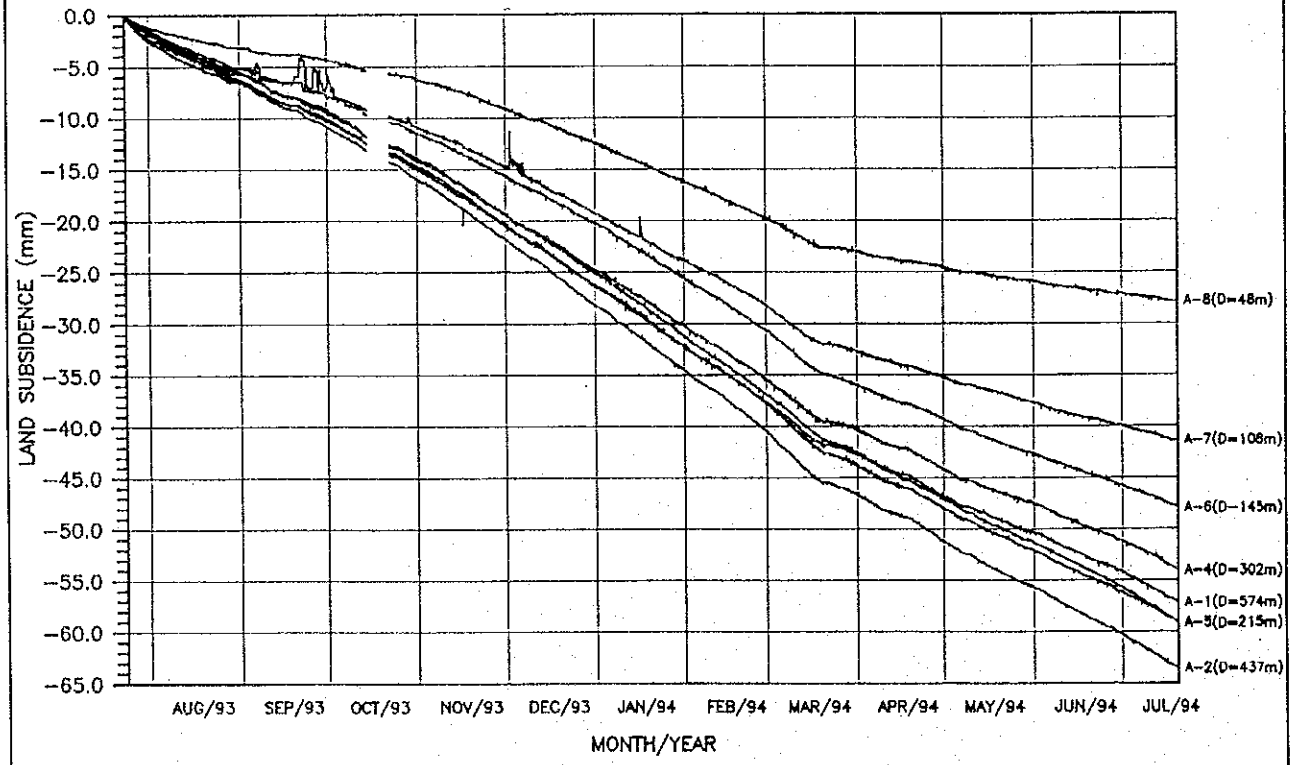
LEGEND

- LINE OF EQUAL PIEZOMETRIC LEVEL (m below ground surface)
- 25.00 DMR MONITORING WELL WITH PIEZOMETRIC LEVEL (m below ground surface)

図 6.5 ノンタブリ帯水層の地下水位分布の変化

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.



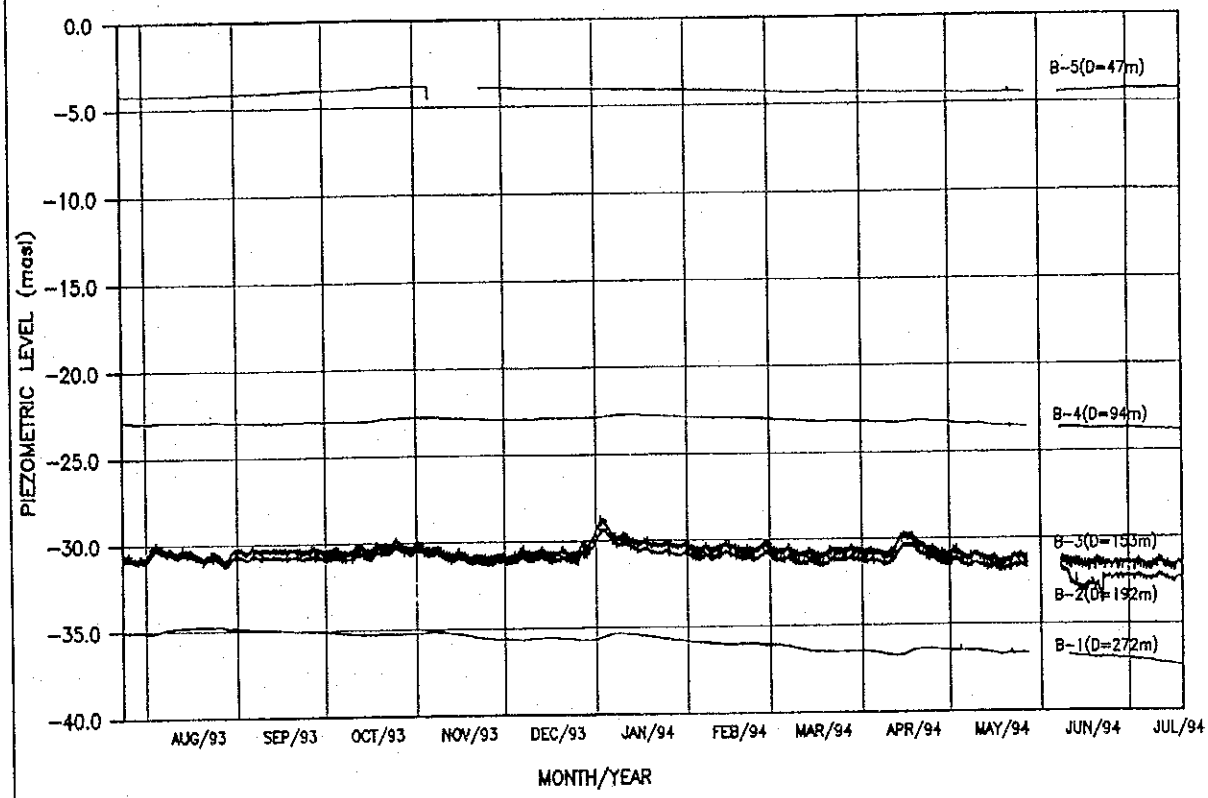


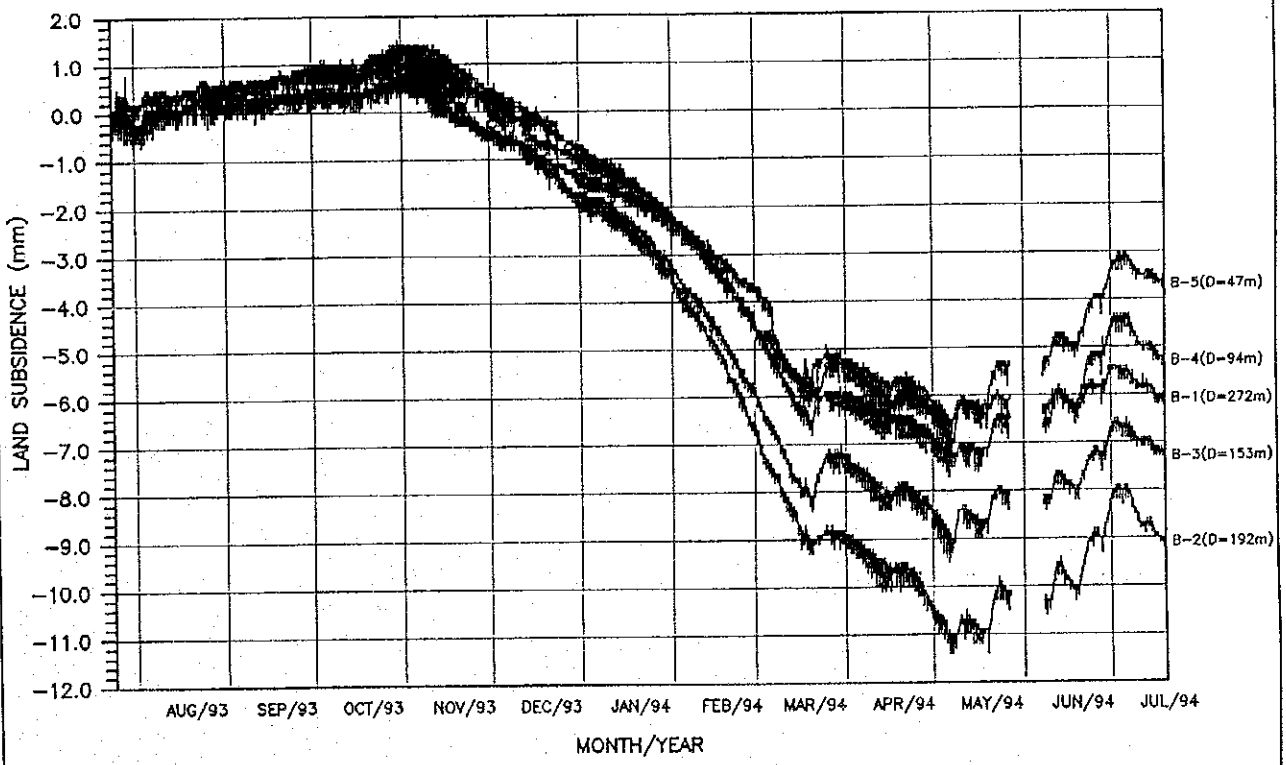
WELL NO.: JICA A-1 to A-8
LOCATION: LAT KRABANG
UTM GRID: 879215

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 SUBSIDENCE IN THE BANGKOK METROPOLITAN AREA AND ITS VICINITY

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



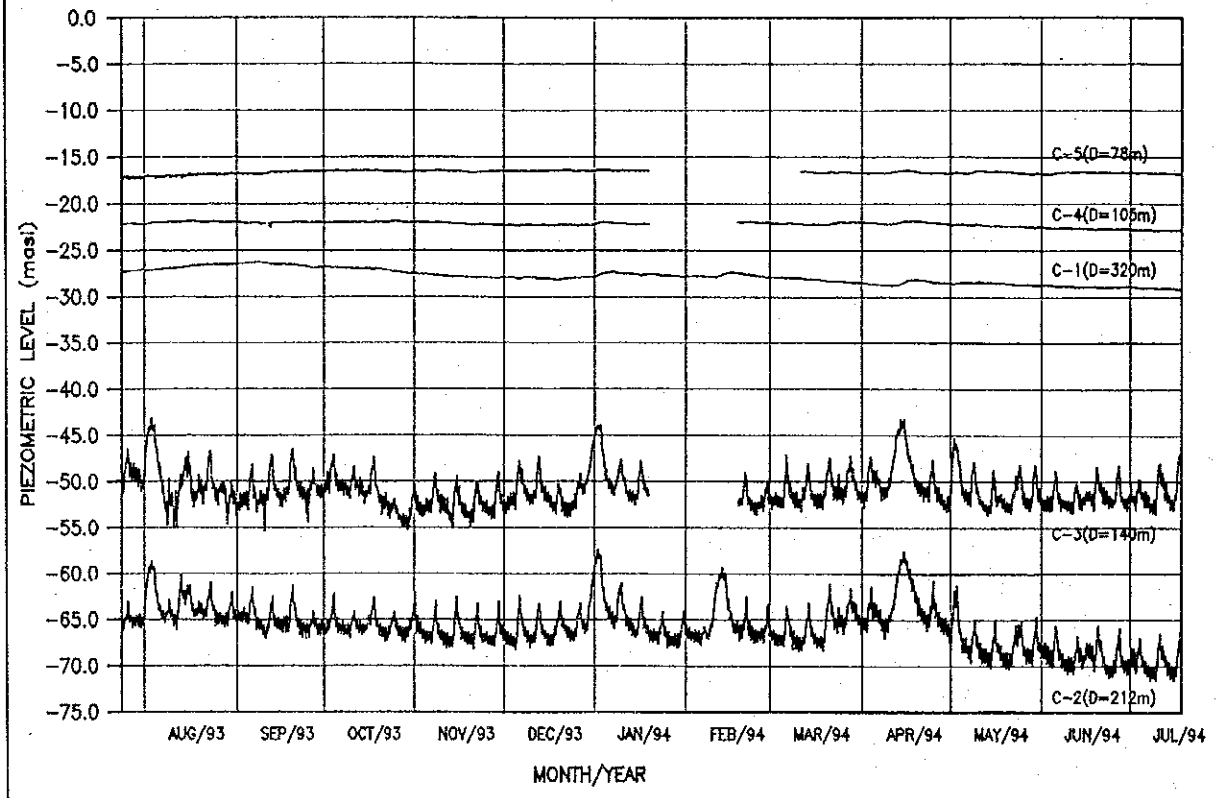


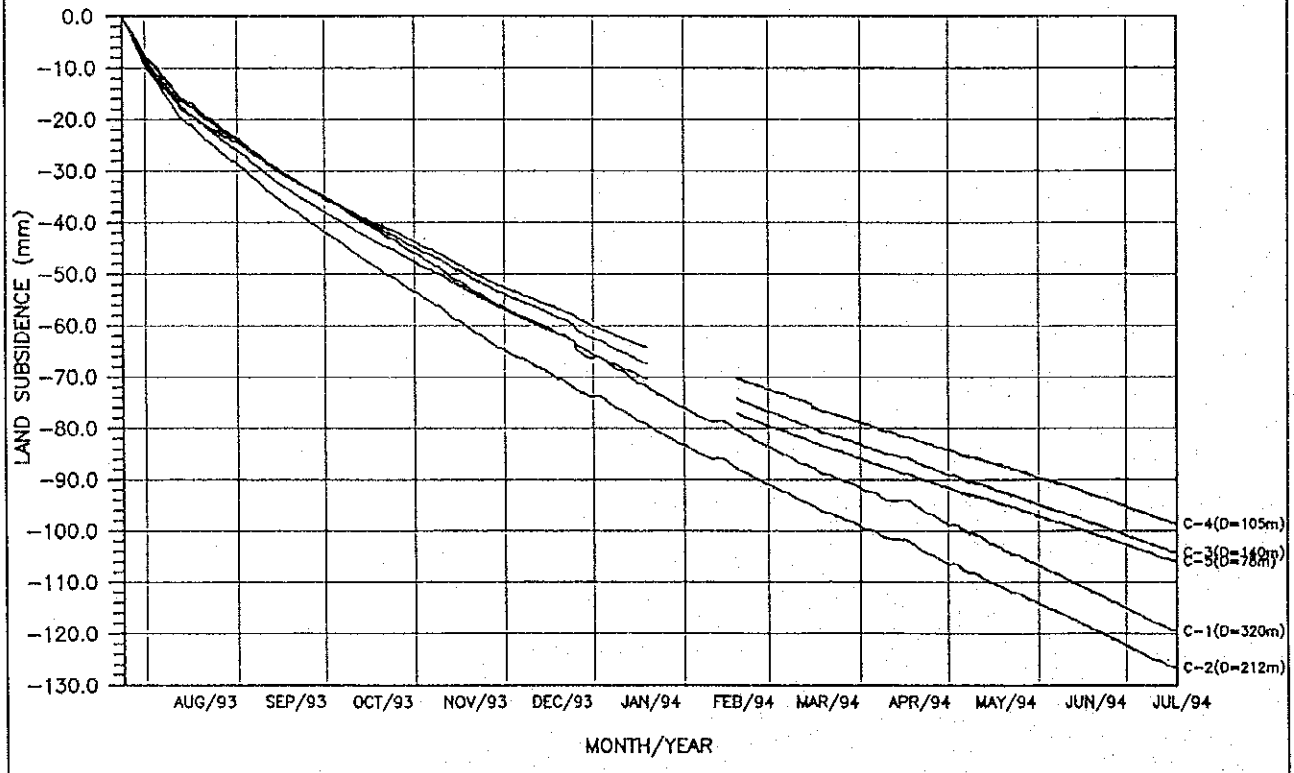
WELL NO.: JICA B-1 to B-5
LOCATION: AIT
UTM GRID: 746568

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

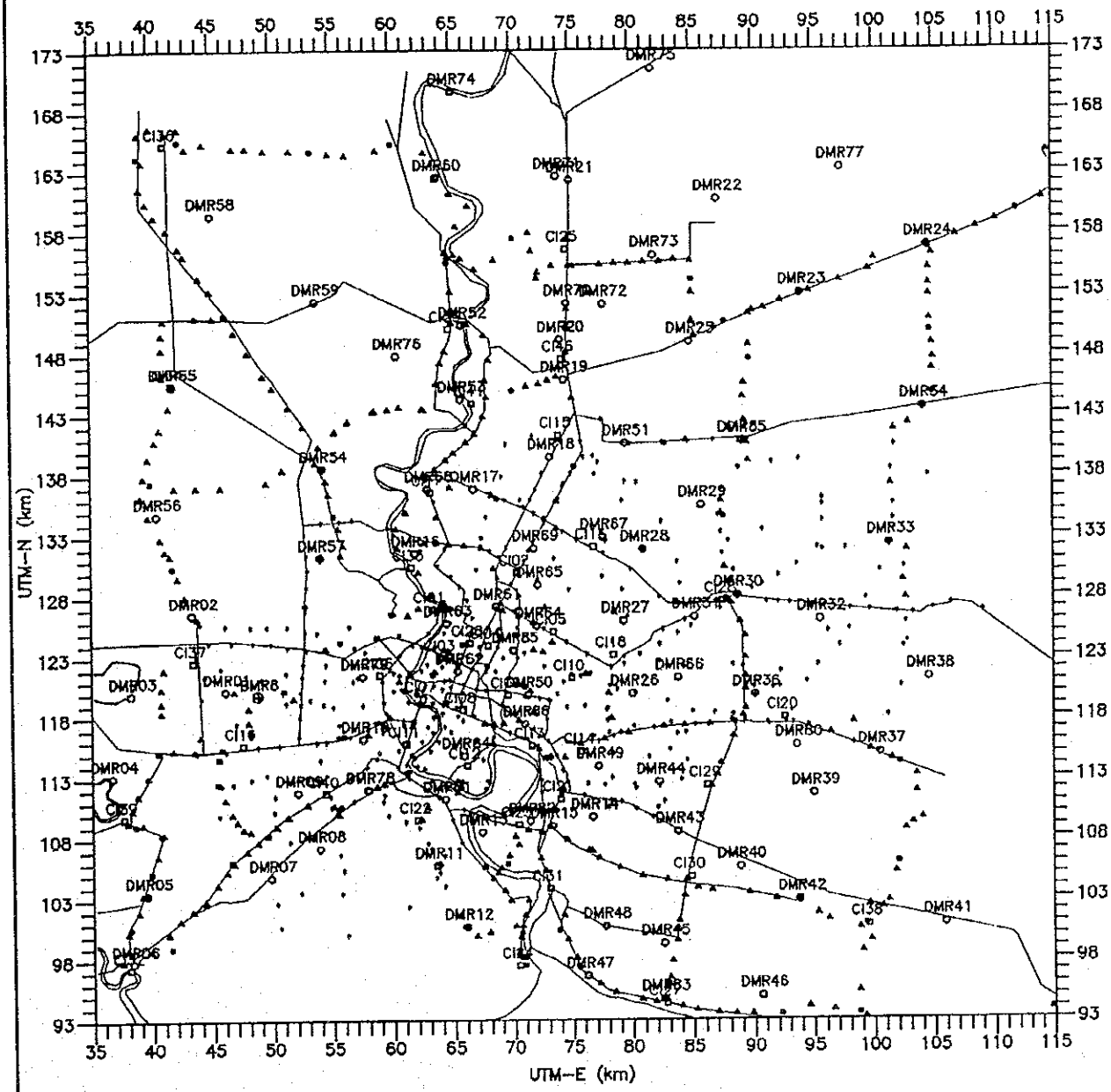
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA) | KOKUSAI KOGYO CO., LTD.





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

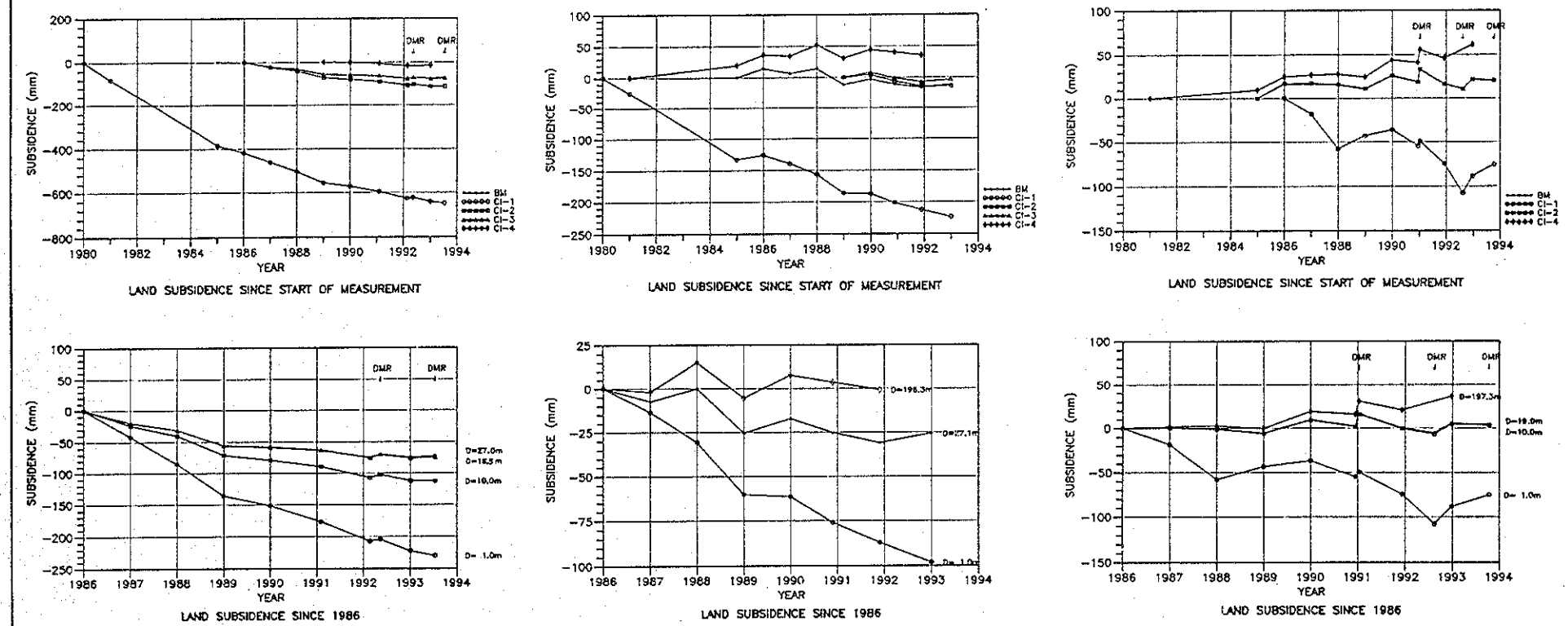
図 6.8	サイトCの地下水位と地盤沈下観測結果
THE STUDY ON MANAGEMENT OF GROUNDWATER AND LAND SUBSIDENCE IN THE BANGKOK METROPOLITAN AREA AND ITS VICINITY	
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)	KOKUSAI KOGYO CO., LTD.



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.



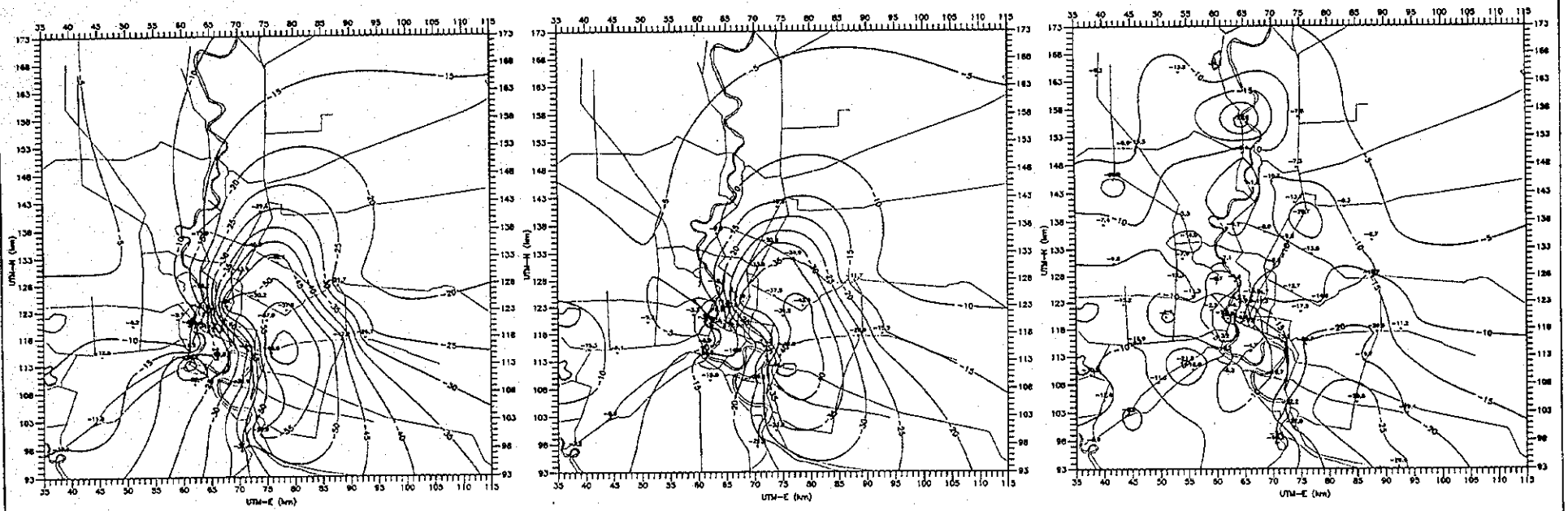
a) AIT14 STATION

b) AIT08 STATION

c) AIT25 STATION

(DMR: Measured by DMR)

図 6.10	主な水準点の地盤沈下量
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.



FROM 1980 TO 1992

FROM 1980 TO 1986

FROM 1986 TO 1992

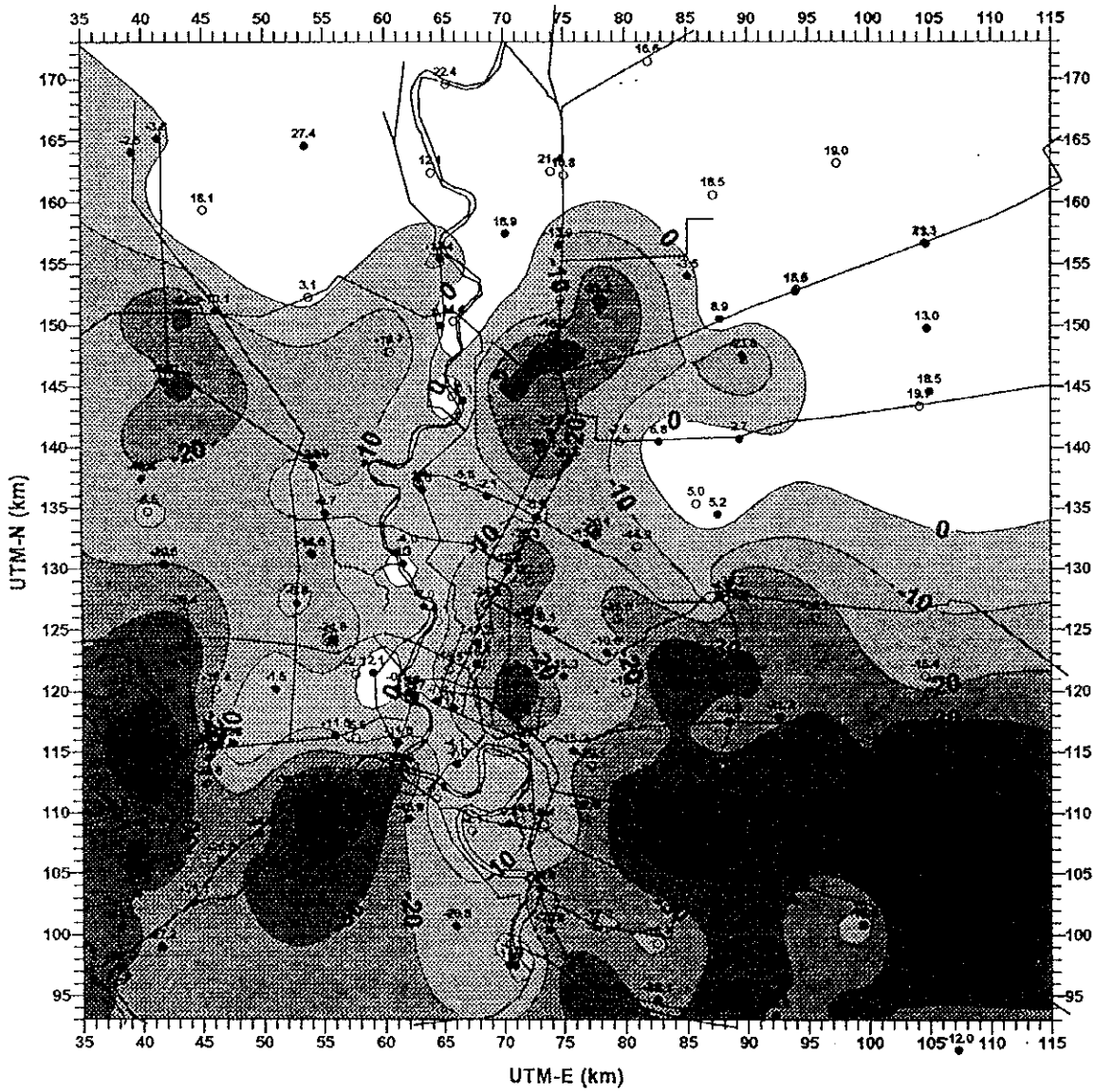
LEGEND

LINE OF EQUAL LAND SUBSIDENCE (cm/12years)

-20.0 LAND SUBSIDENCE STATION OR BENCHMARK WITH LAND SUBSIDENCE (cm/12years)

(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.



LAND SUBSIDENCE (mm/year)

○ DMR Benchmarks (1m depth)

● RTSD Benchmarks (1m depth)

図 6.12	1m深度水準点の沈下量分布（1992年－1993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．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	MOCDENSE	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パ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。

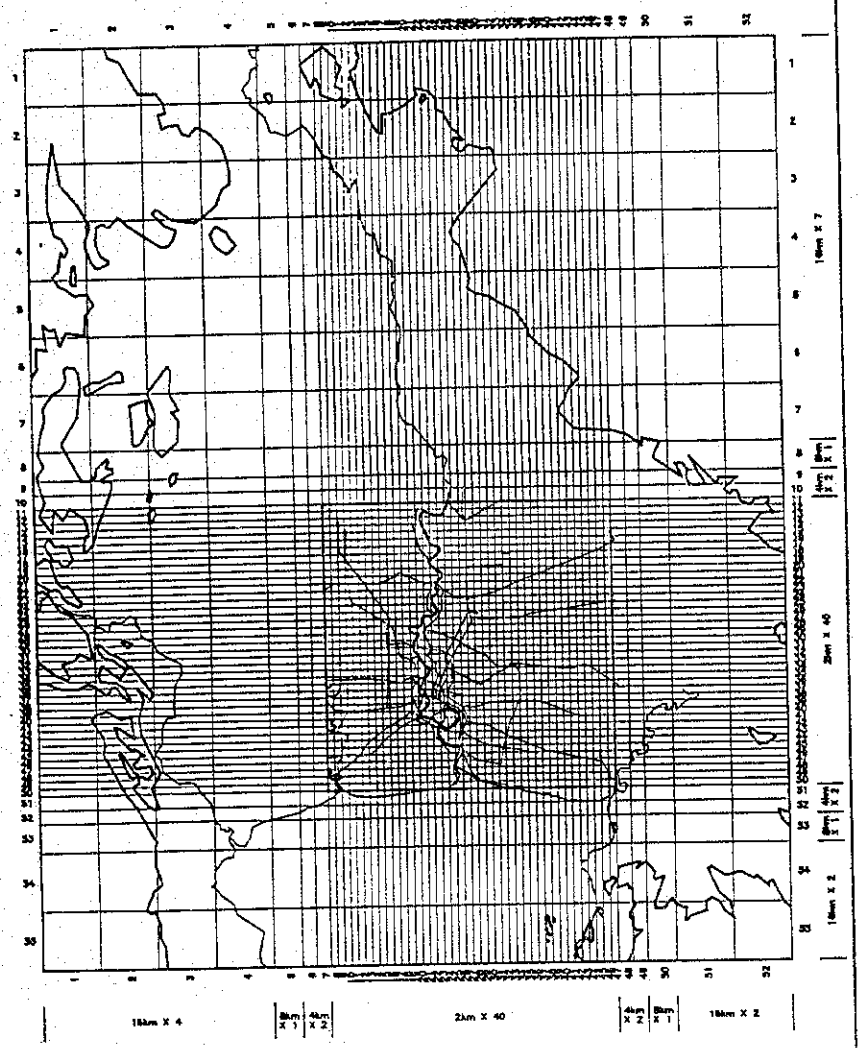
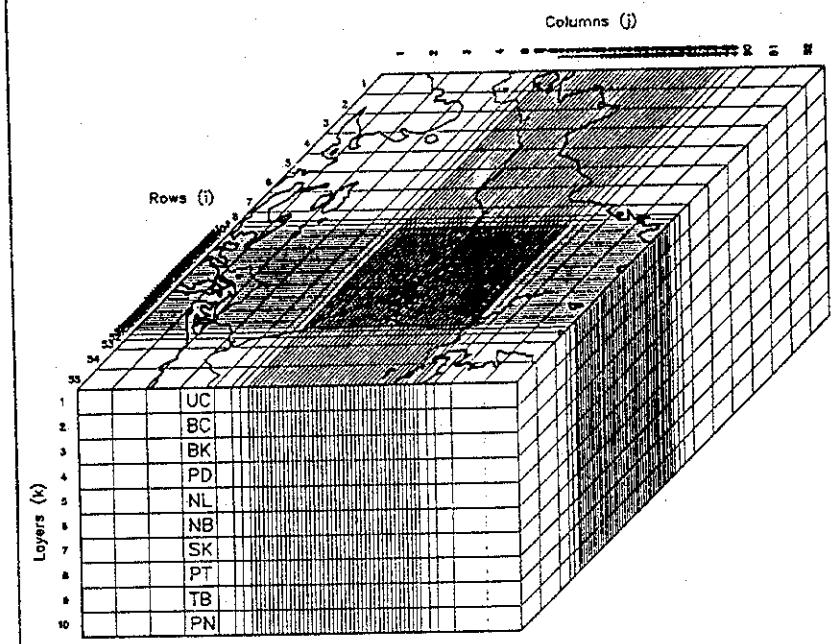


図 7.1.1 3次元地下水モデルのグリッド

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.



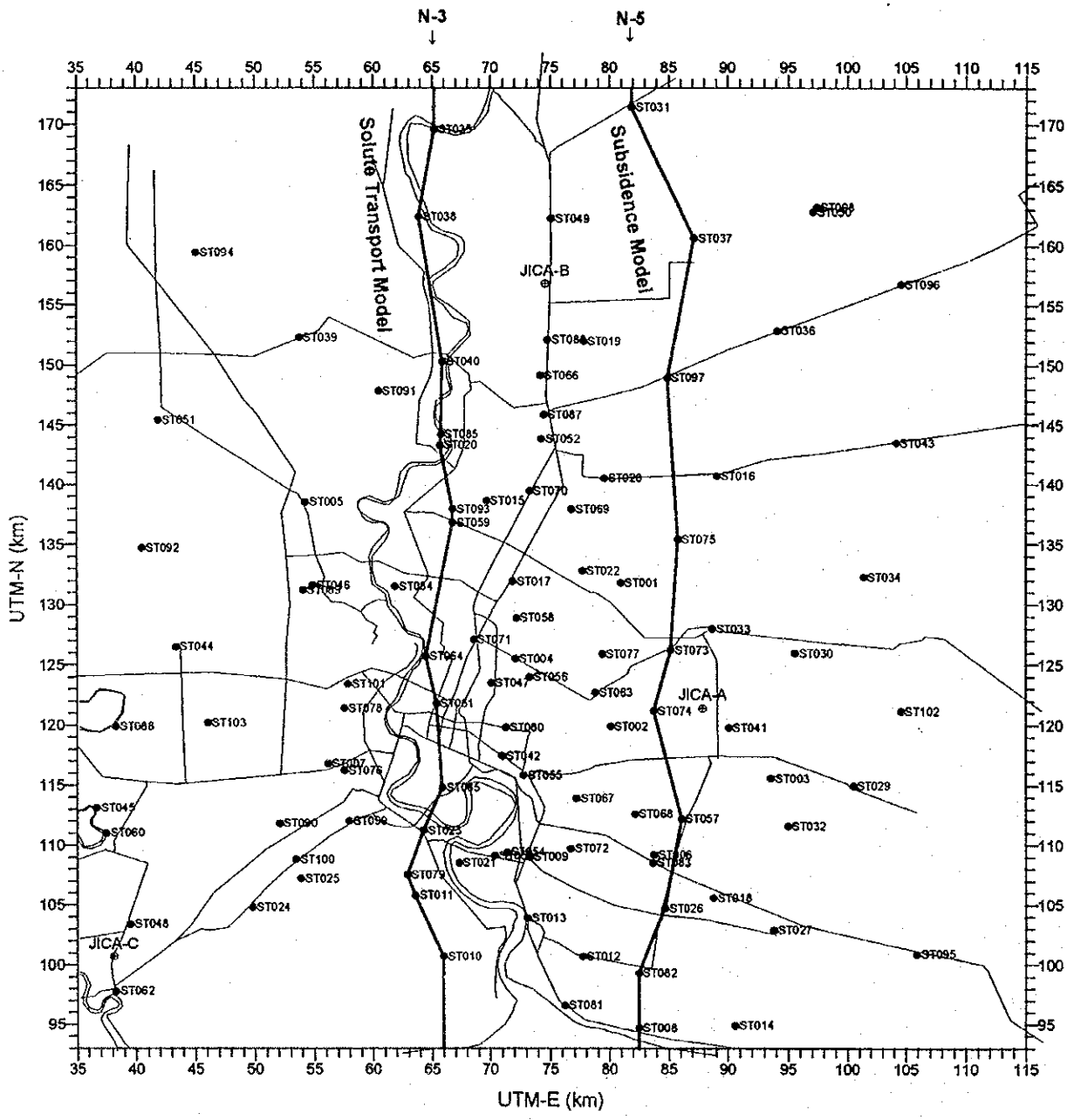
AQUIFER UNITS

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.



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.

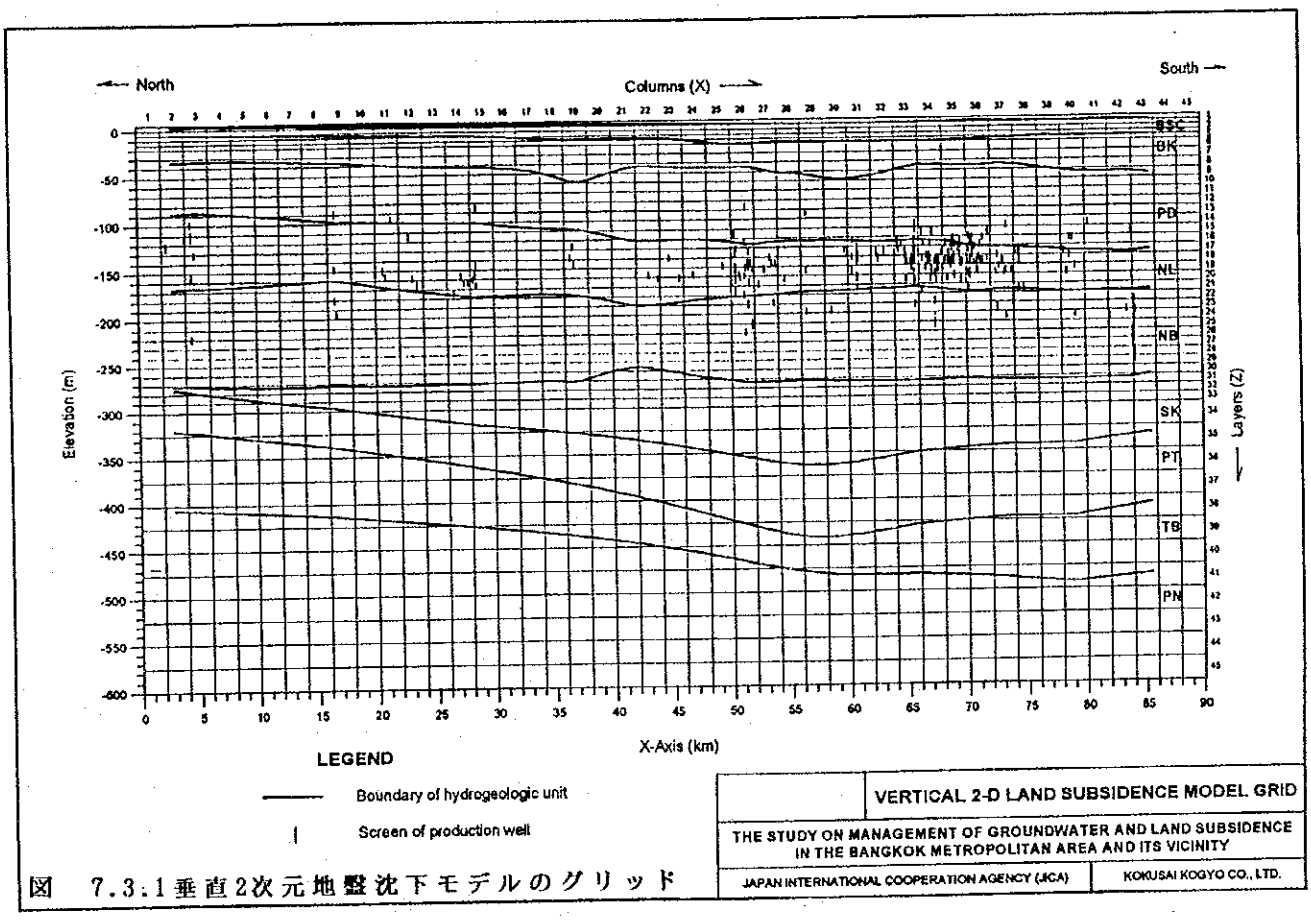


図　7.3.1 垂直2次元地盤沈下モデルのグリッド

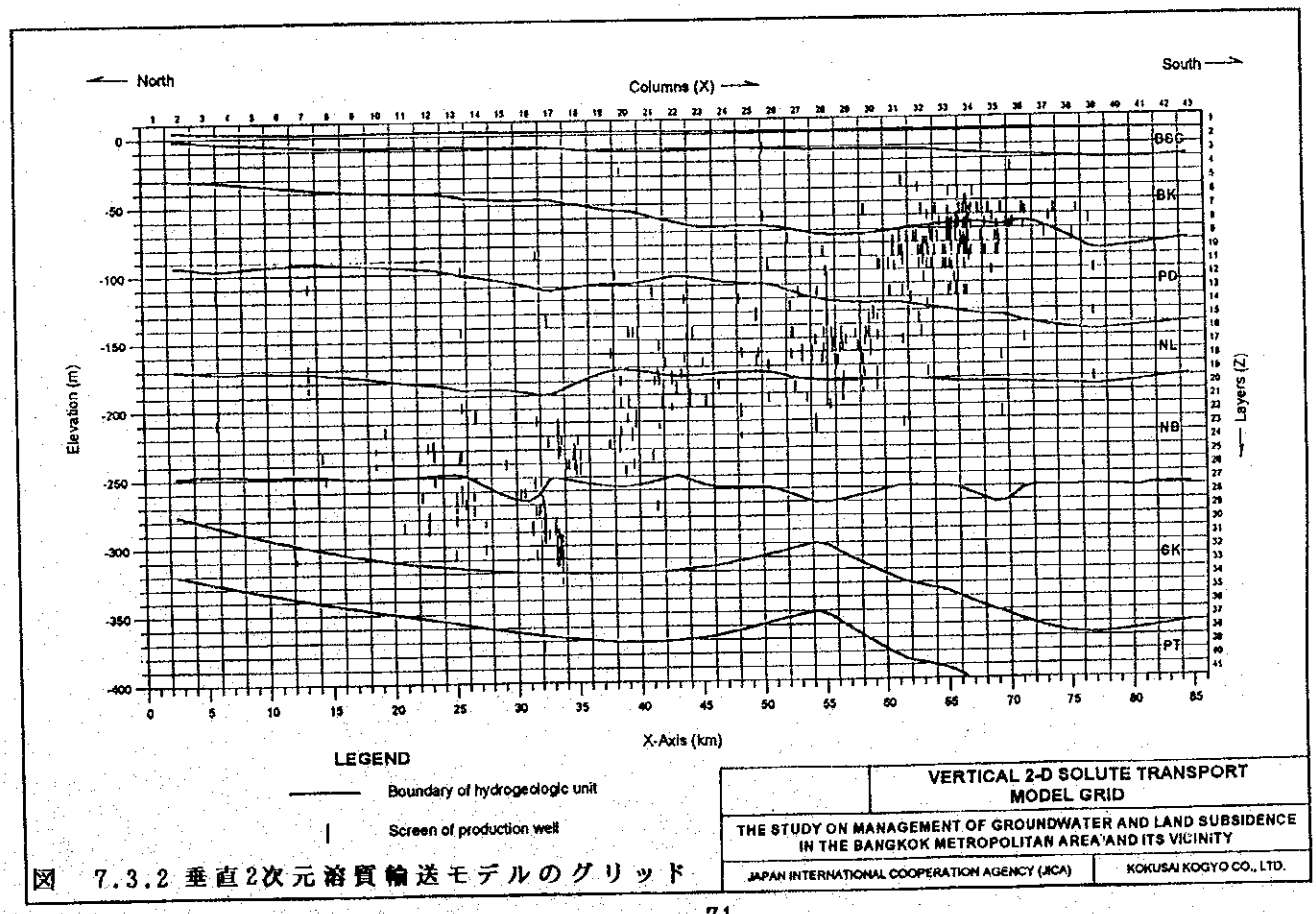
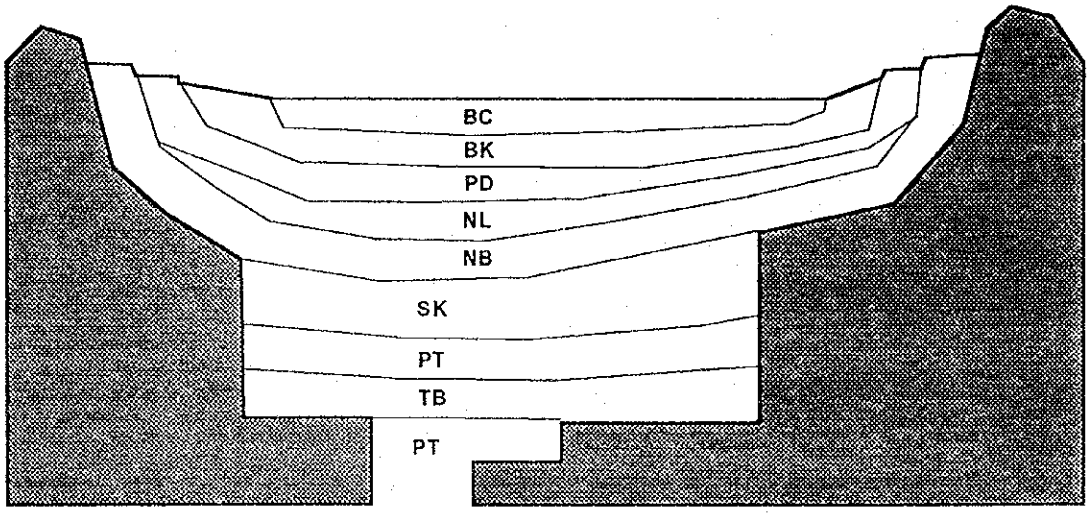
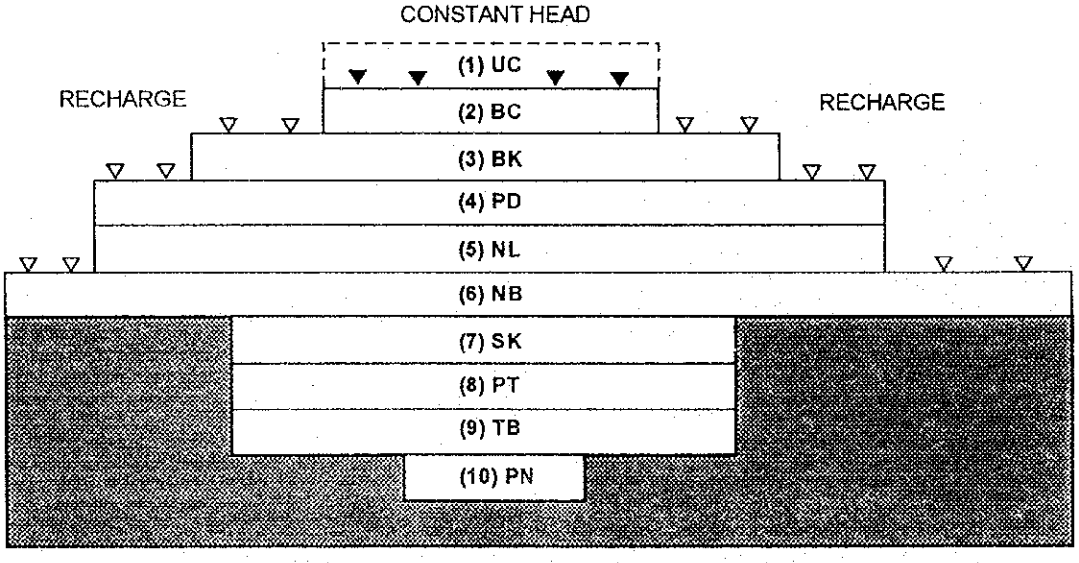


図　7.3.2 垂直2次元溶質輸送モデルのグリッド



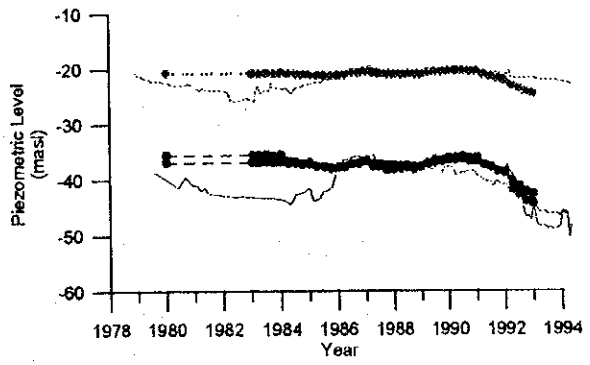
(a) Schematic Profile of Bangkok Aquifer System



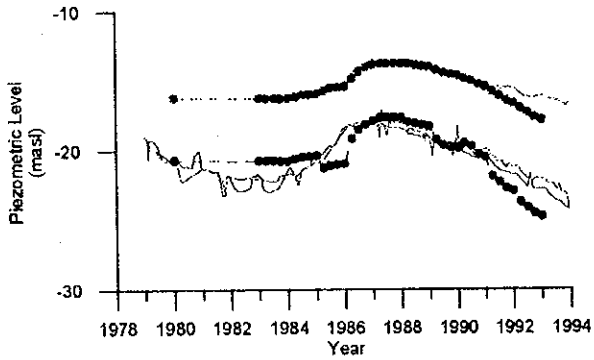
(b) 3-D Groundwater Model Applied to Bangkok Aquifer System

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

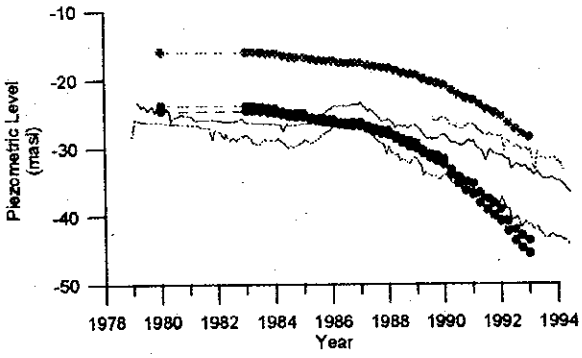
	CONCEPT OF 3-D MODEL APPLIED TO BANGKOK AQUIFER SYSTEM	
THE STUDY ON MANAGEMENT OF GROUNDWATER AND LAND SUBSIDENCE IN THE BANGKOK METROPOLITAN AREA AND ITS VICINITY		
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)		KOKUSAI KOGYO CO., LTD.



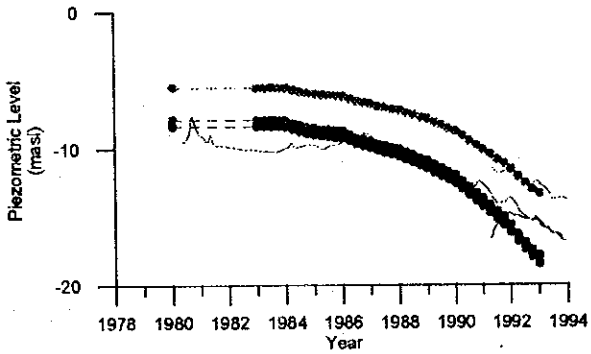
ST001 (X=81.0, Y=131.8)



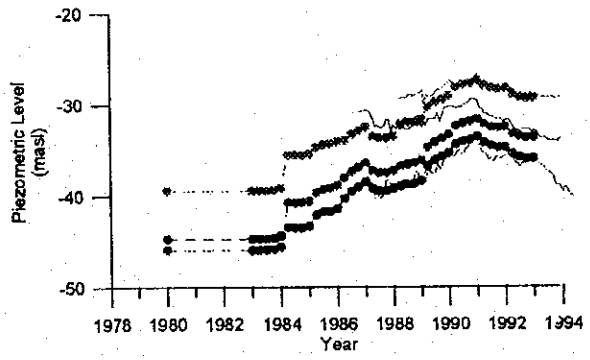
ST005 (X=54.3, Y=138.5)



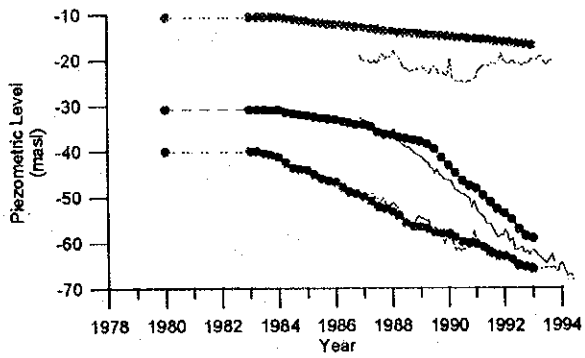
ST019 (X=77.8, Y=152.0)



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

図 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.