8. 地盤沈下の予測

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、MAW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リ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　5A

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、サムットプラカン、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　5B

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　５Ｃ

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プラカン、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%（年率約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)。

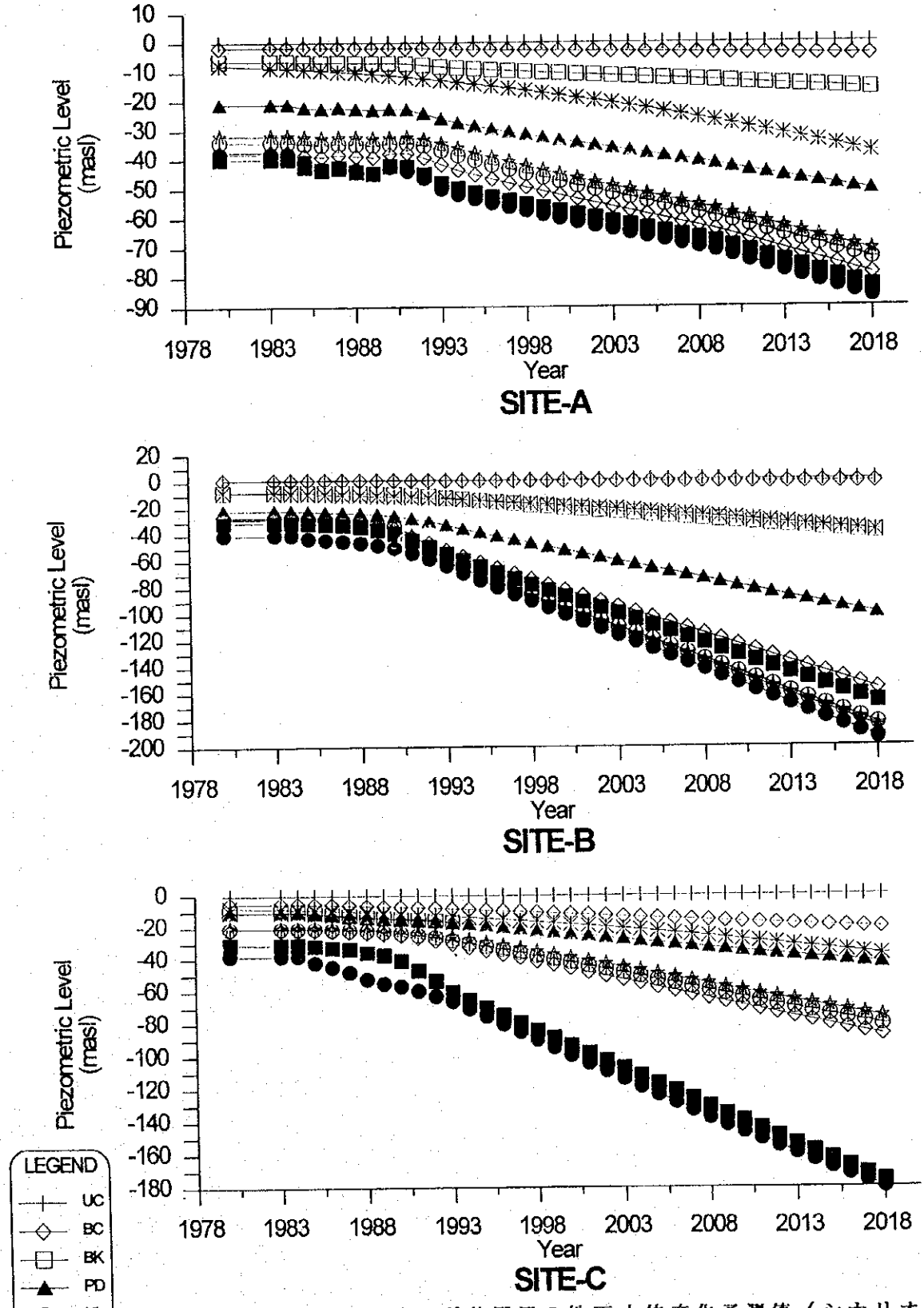


図　8.1.1 JICAモニタリング井周辺の地下水位変化予測値（シナリオ１）

	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.

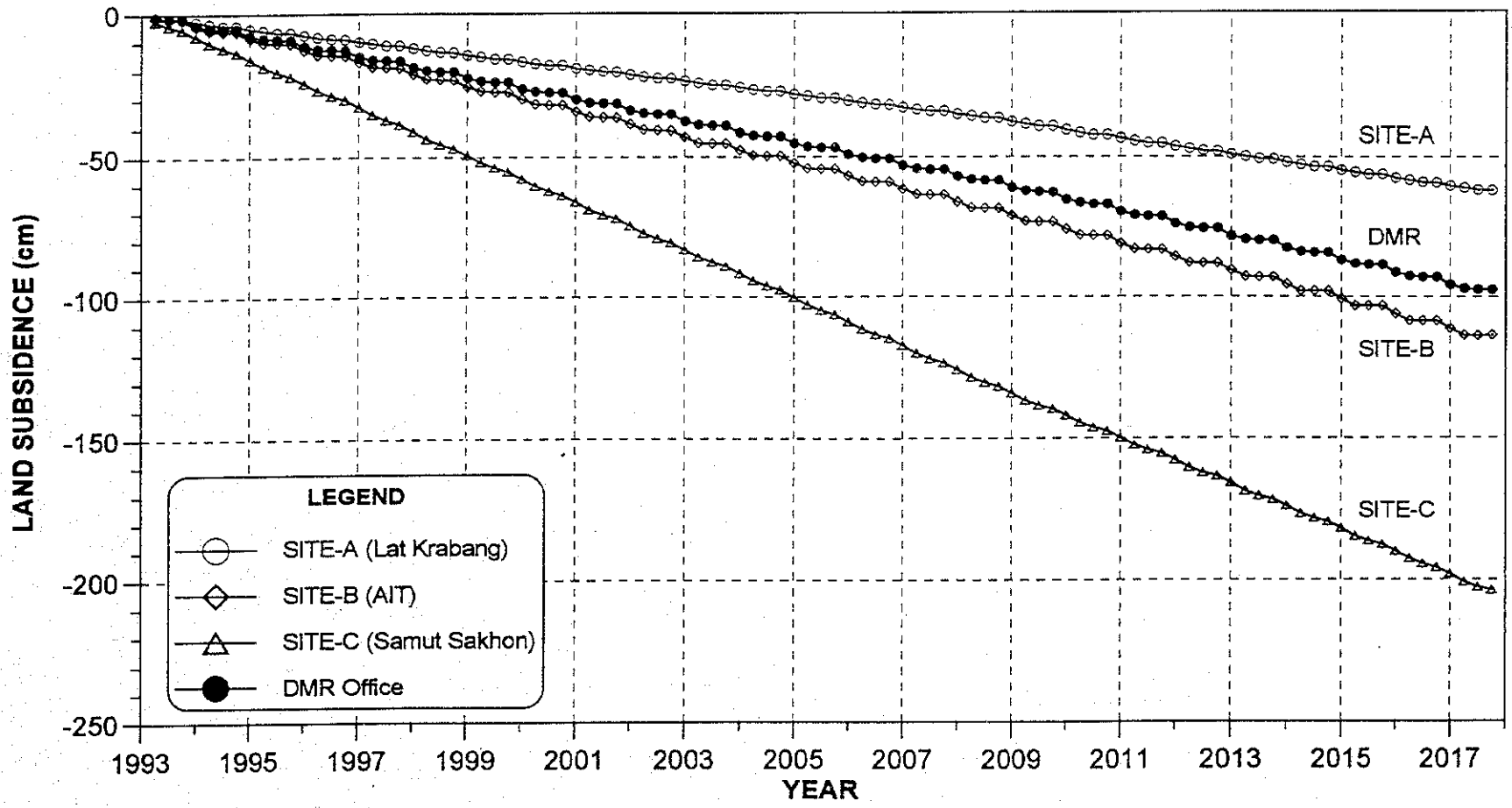
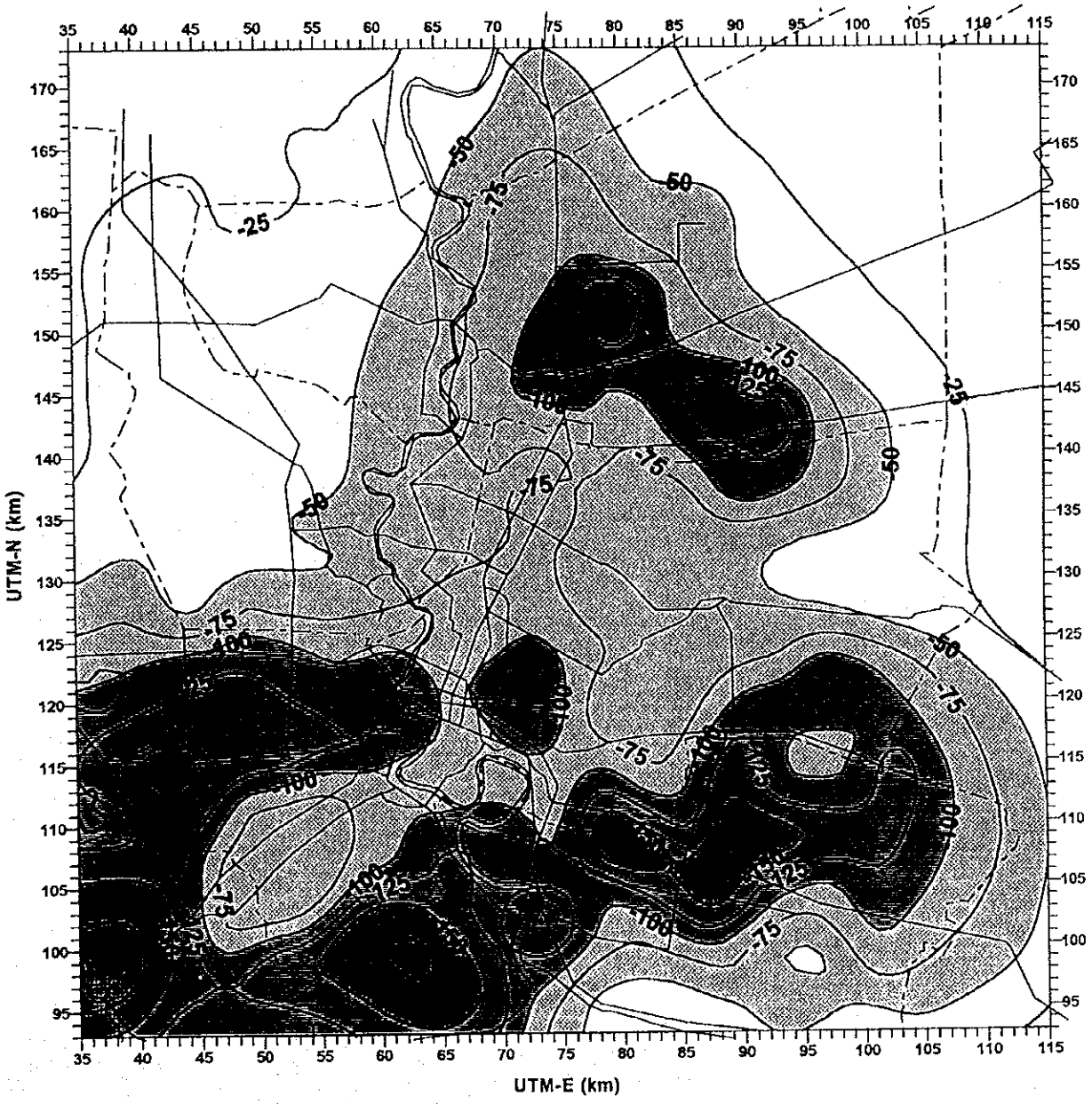


図 8.1.2

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.

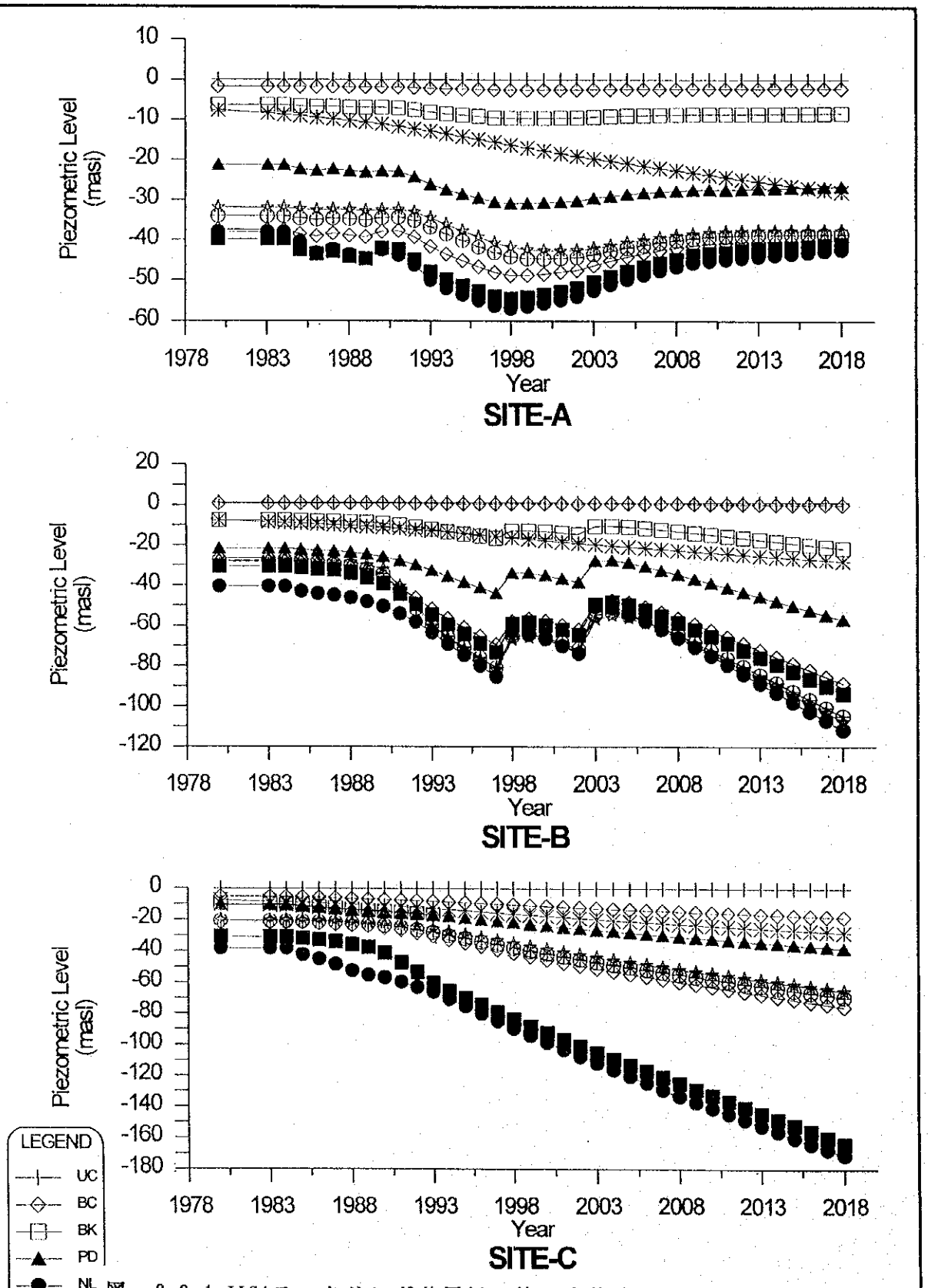


図 8.2.1 JICAモニタリング井周辺の地下水位変化予測値（シナリオ2）

	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.

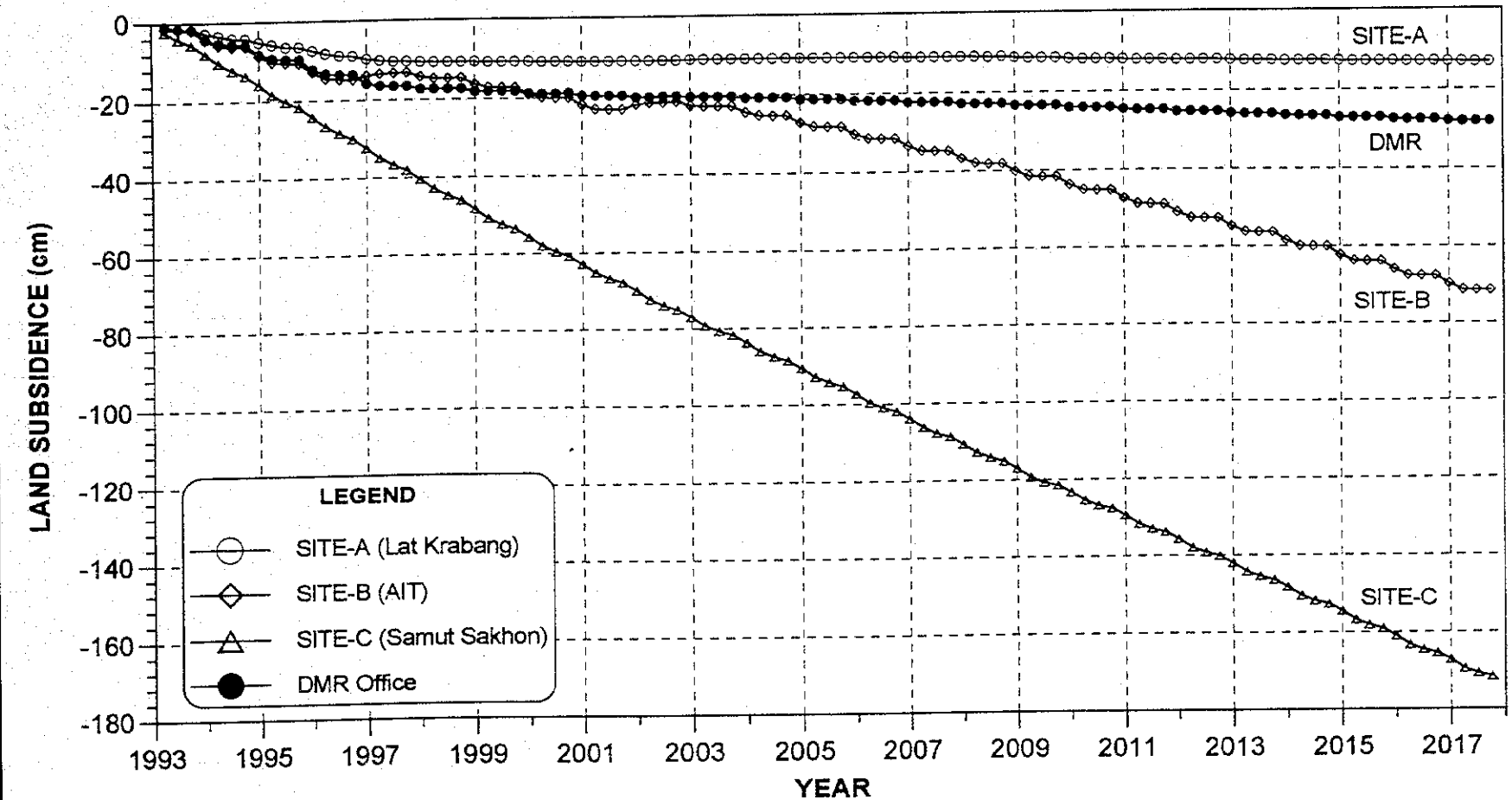
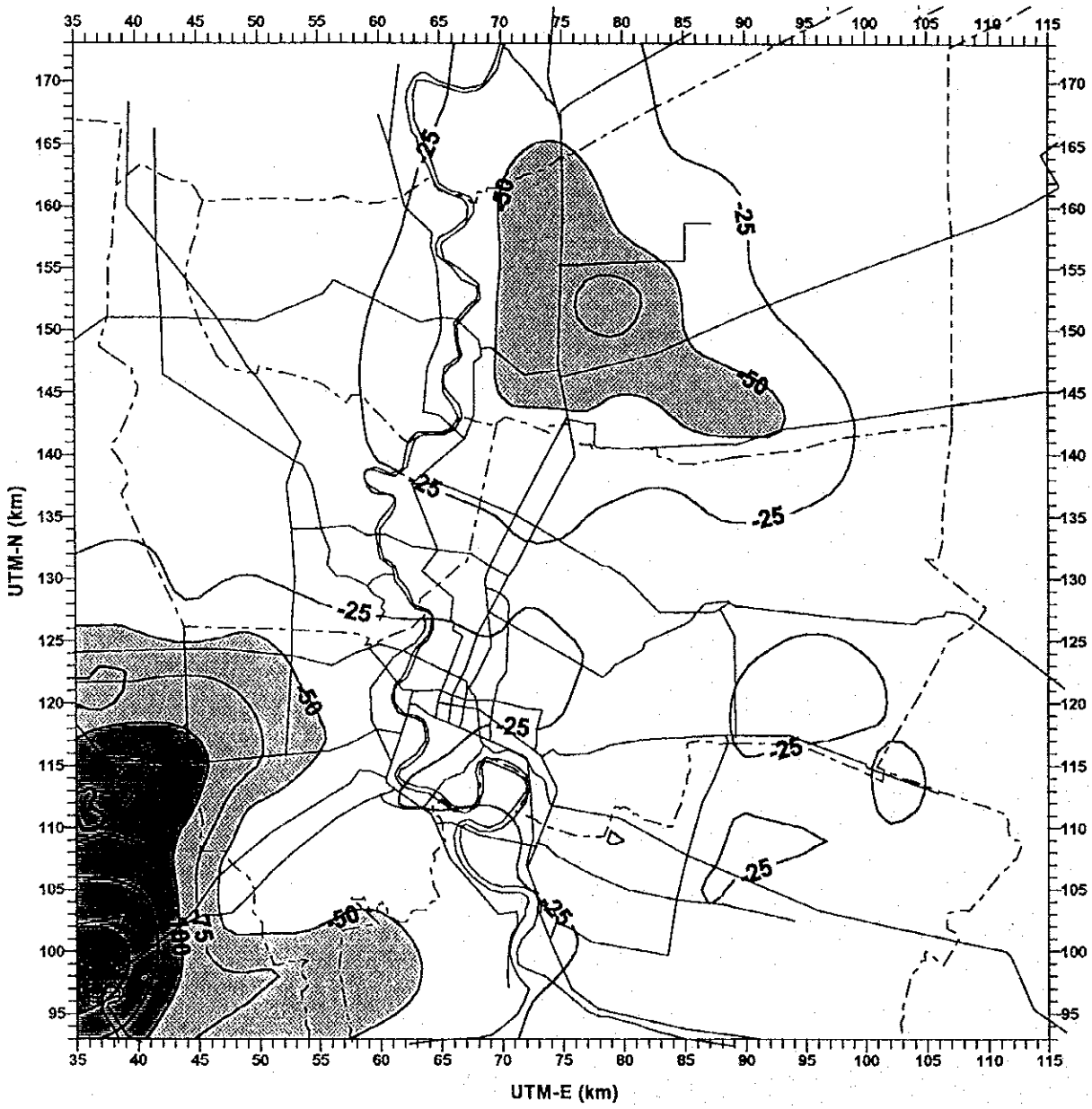


Figure 7.2.75	SIMULATED LAND SUBSIDENCE (FUTURE SCENARIO 2)
THE STUDY ON MANAGEMENT OF GROUNDWATER AND LAND SUBSIDENCE IN THE BANGKOK METROPOLITAN AREA AND ITS VICINITY	
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)	KOKUSAI KOGYO CO., LTD.

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.

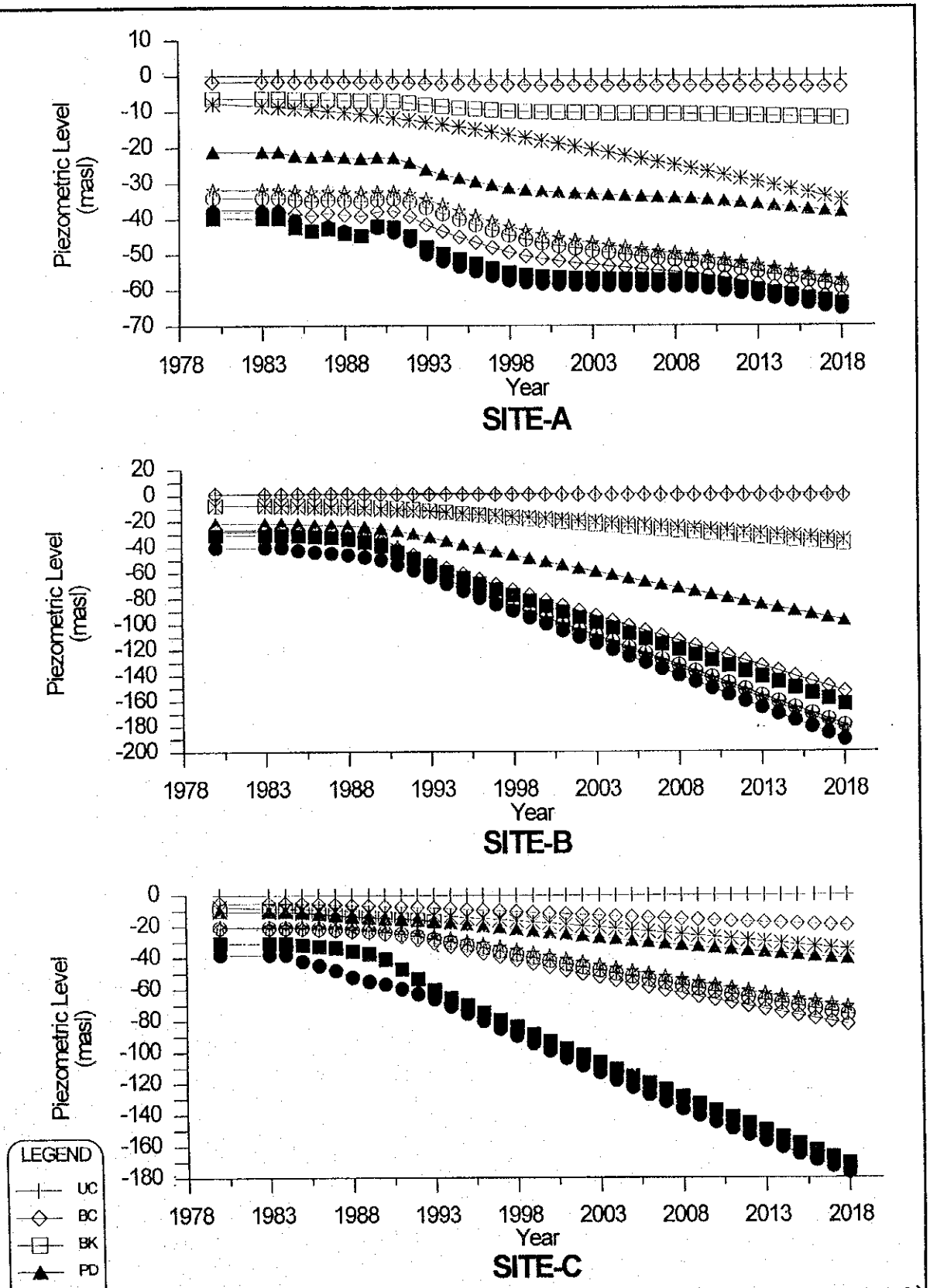


図 8.3.1 JICAモニタリング井周辺の地下水位変化予測値（シナリオ3）

	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.

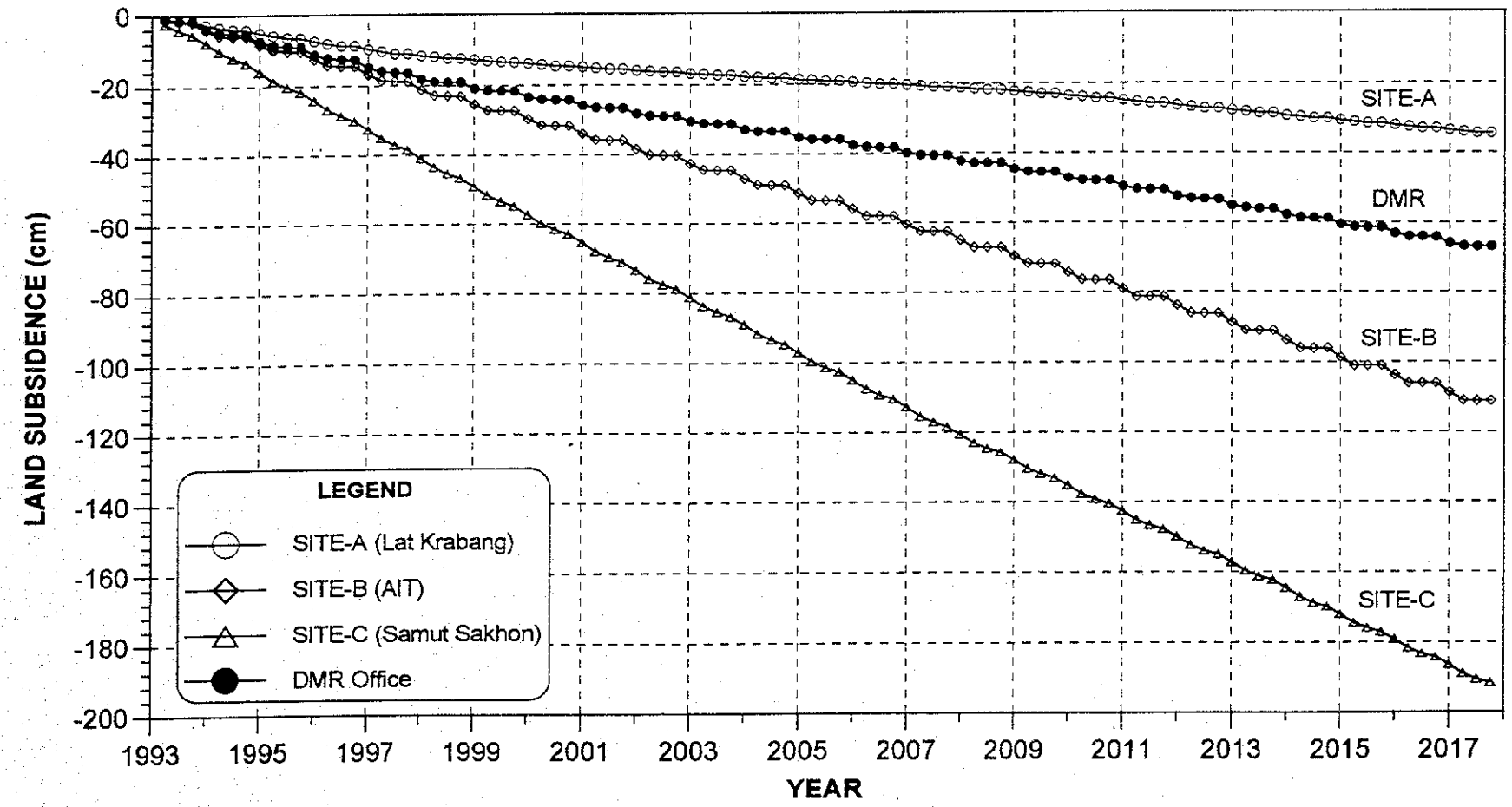
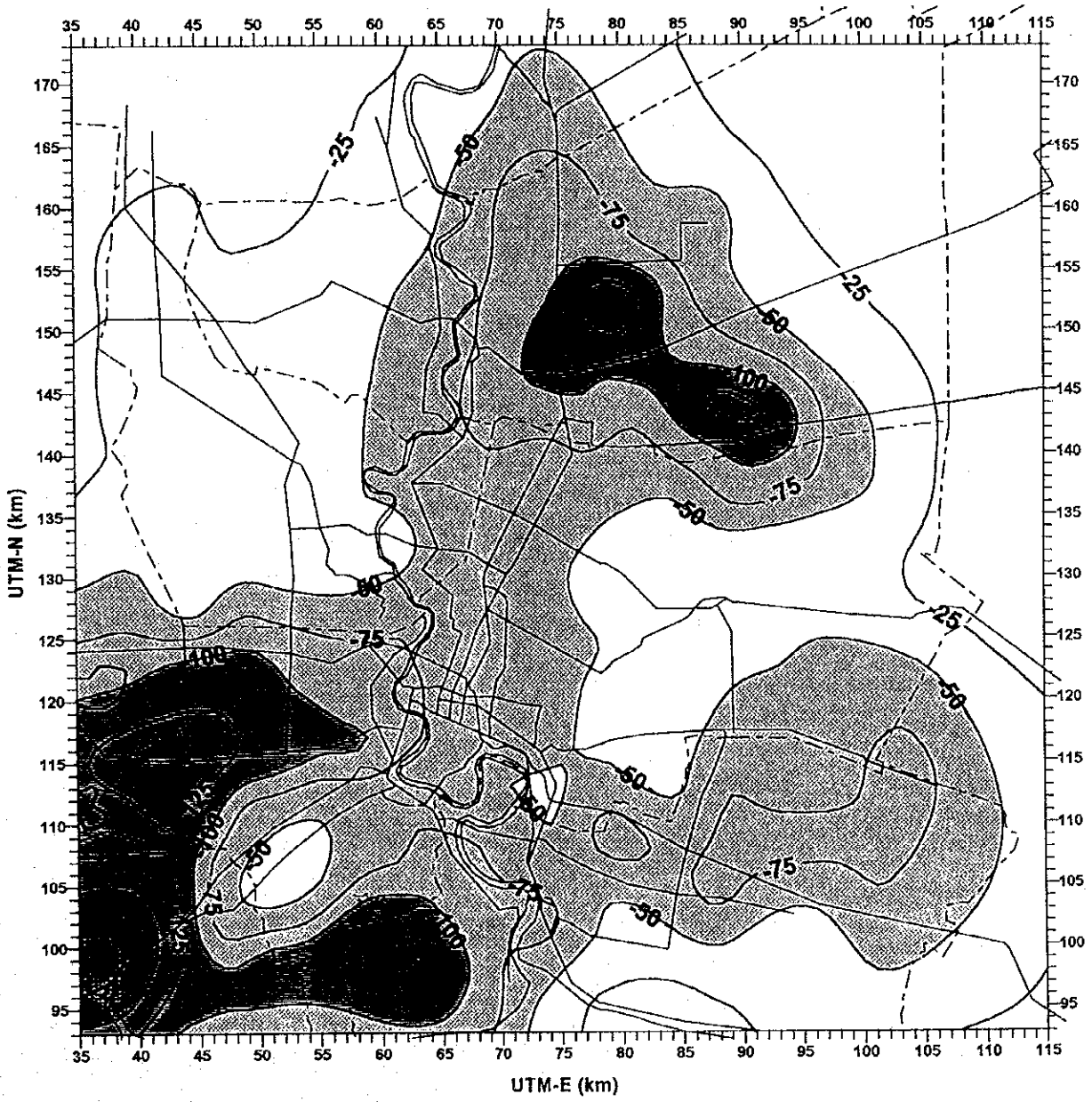


図 8.3.2 JICAモニタリング井周辺の地盤沈下予測値（シナリオ3）

	SIMULATED LAND SUBSIDENCE (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.



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.

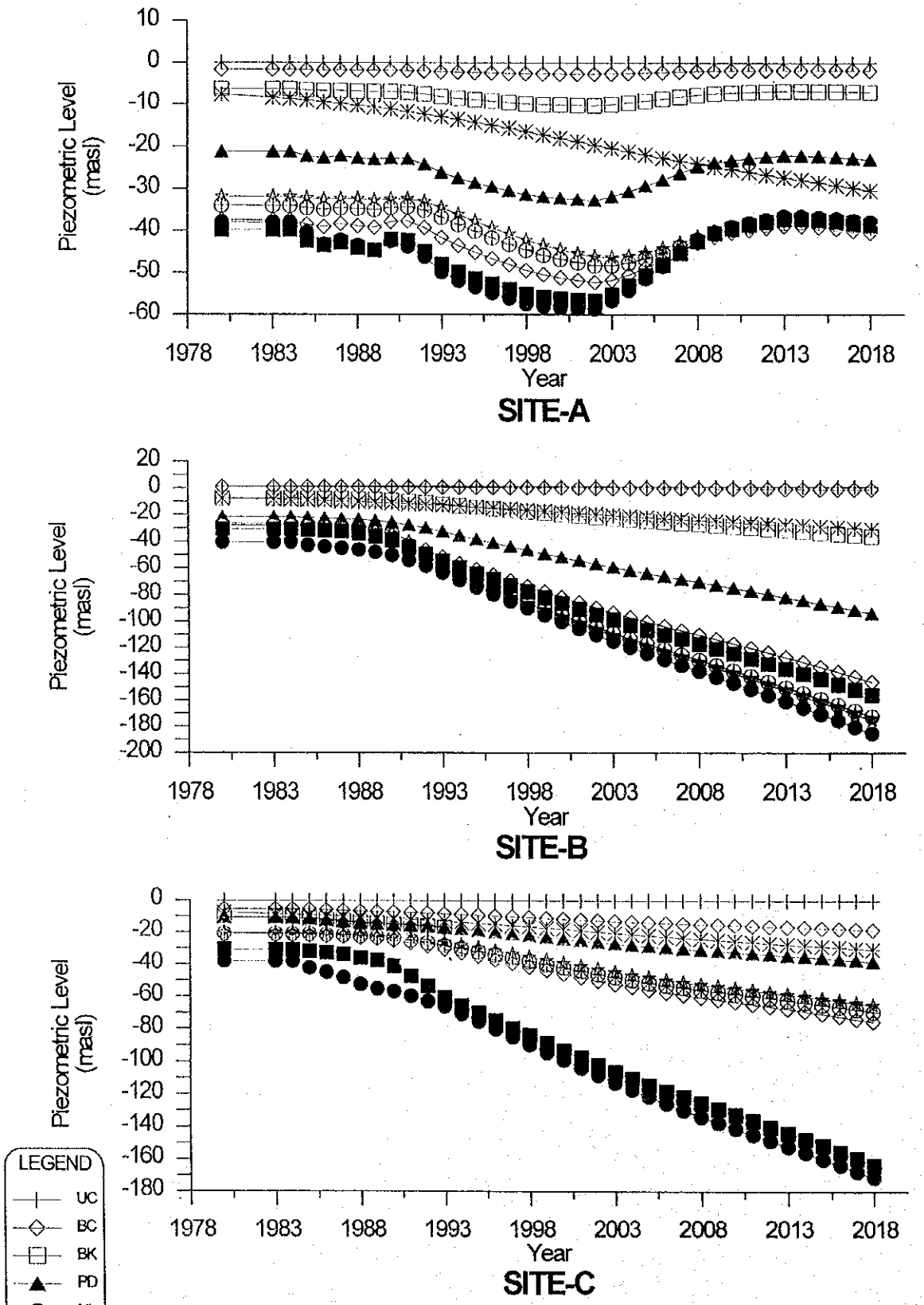


図 8.4.1 JICAモニタリング井周辺の地下水位変化予測値（シナリオ4）

	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.

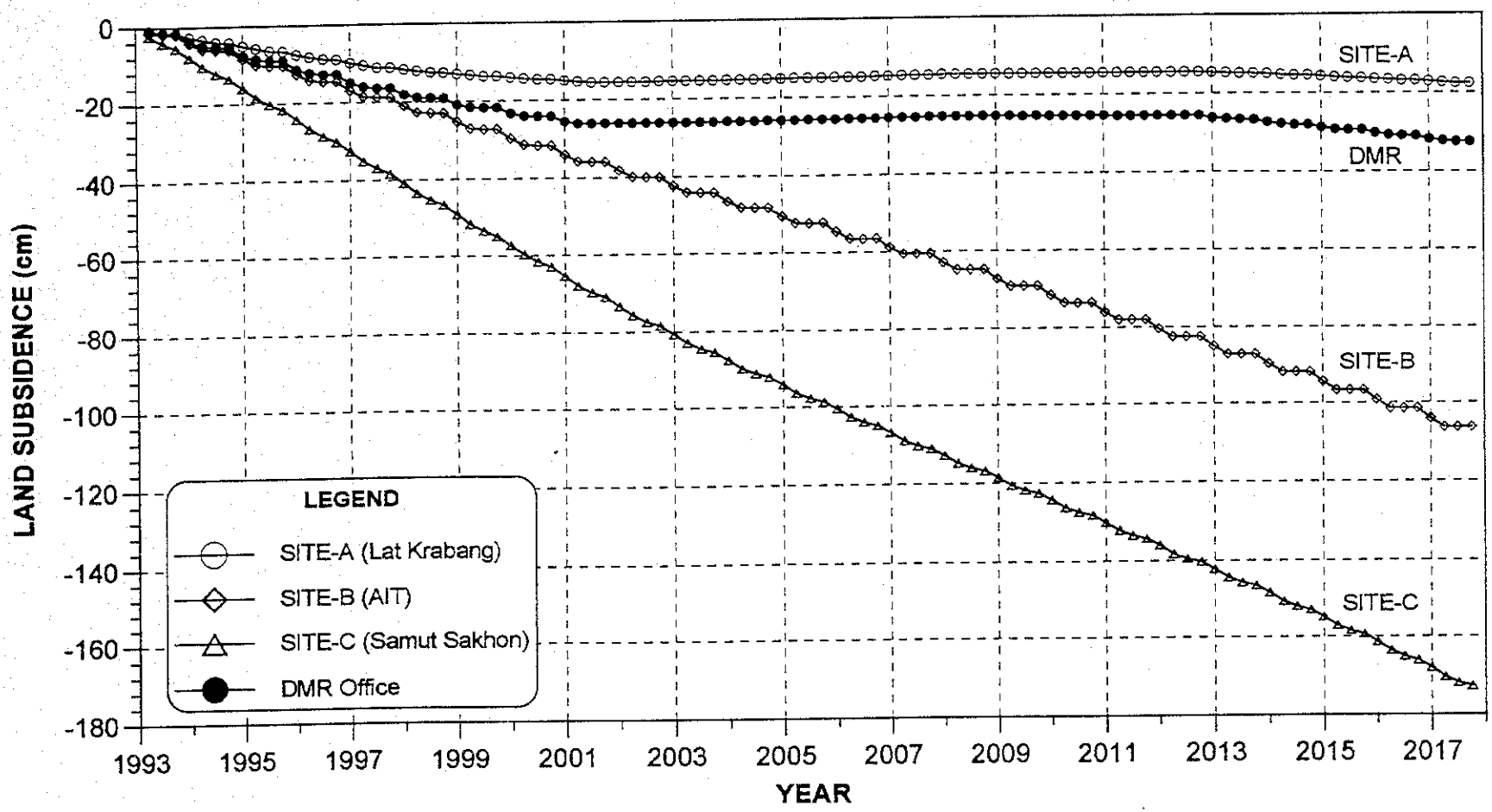
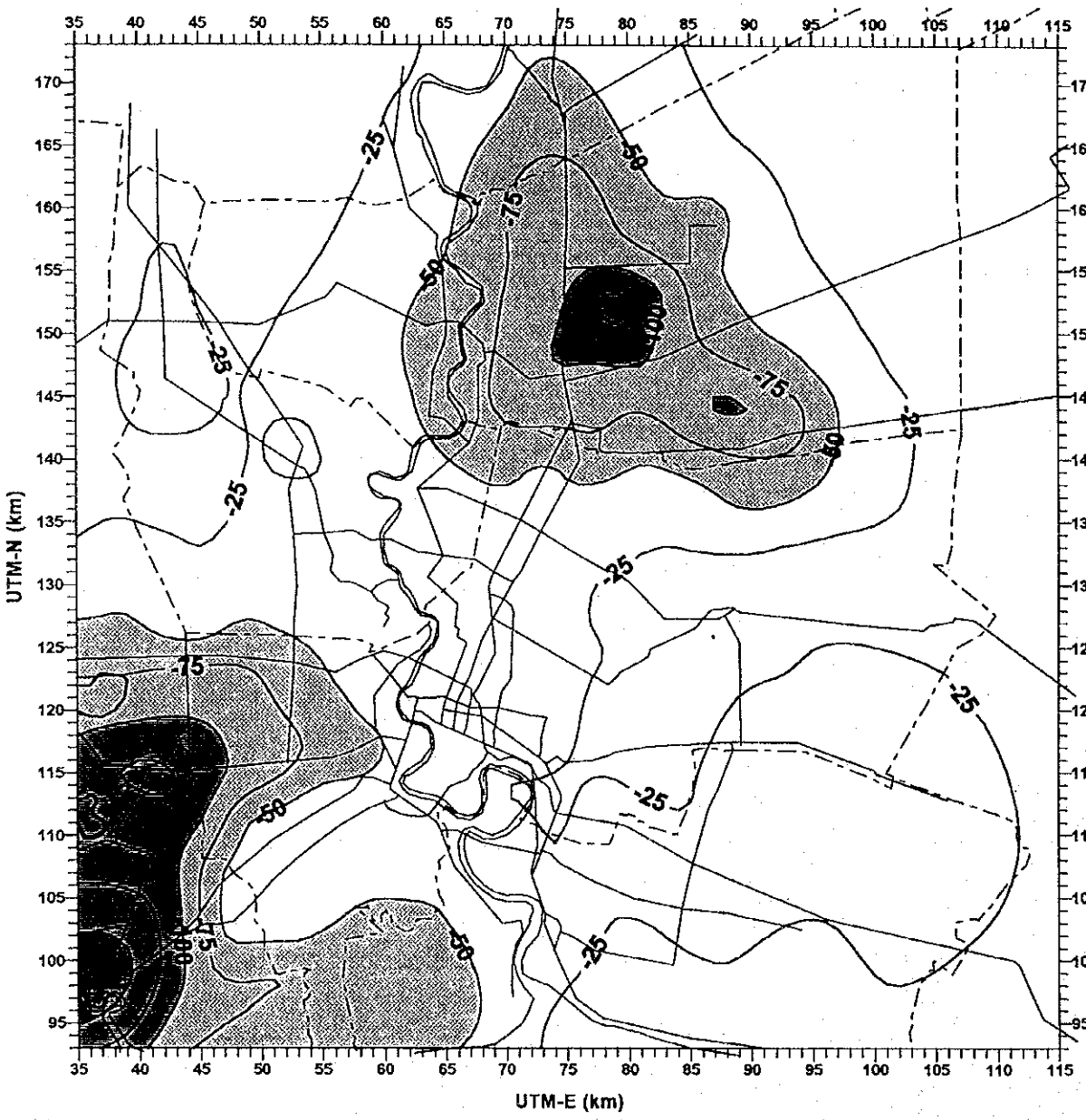


図 8.4.2 JICAモニタリング井周辺の地盤沈下予測値（シナリオ4）

	SIMULATED LAND SUBSIDENCE (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.



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

図　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.

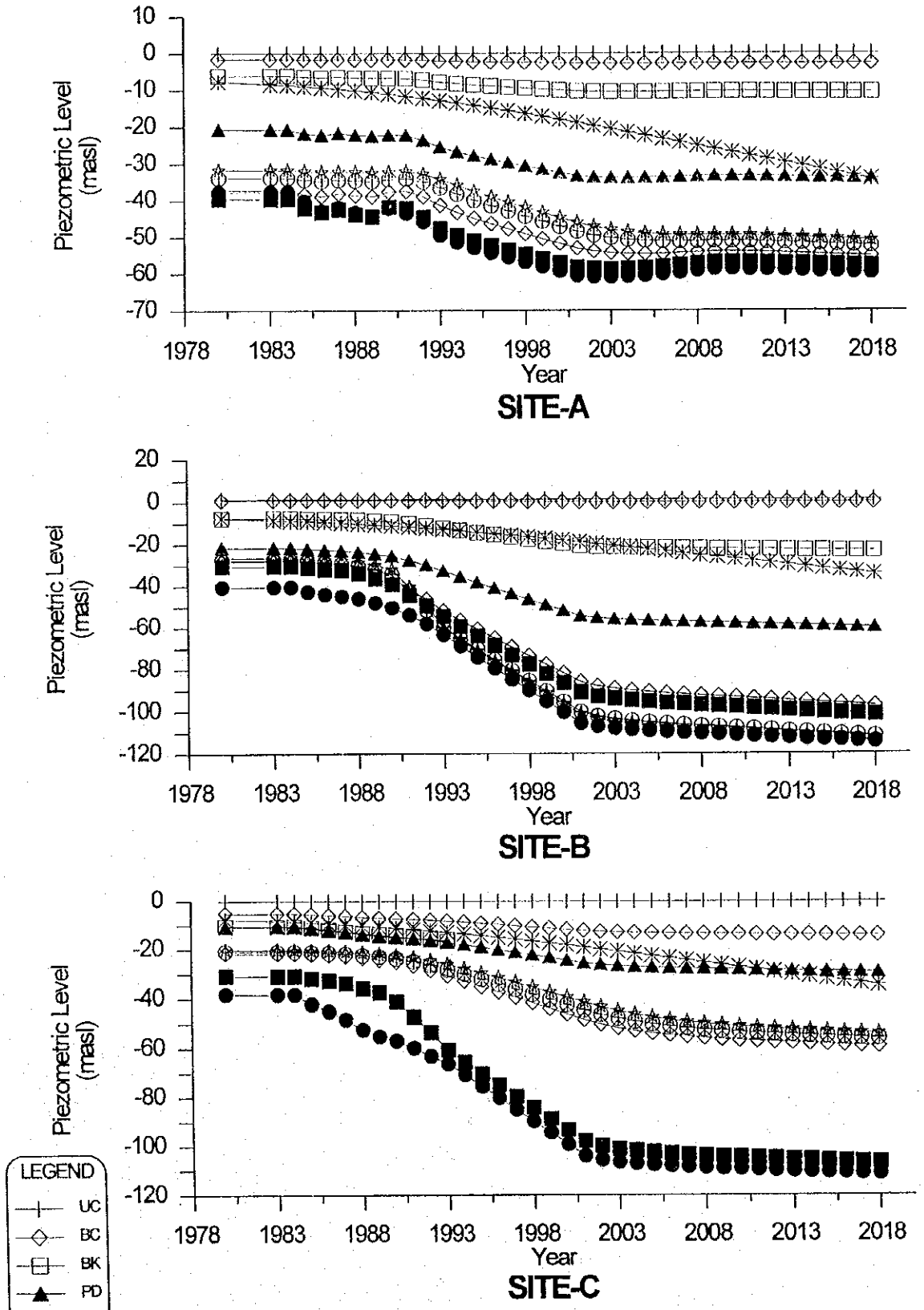


図　8.5.1 JICAモニタリング井周辺の地下水位変化予測値（シナリオ5A）

	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.

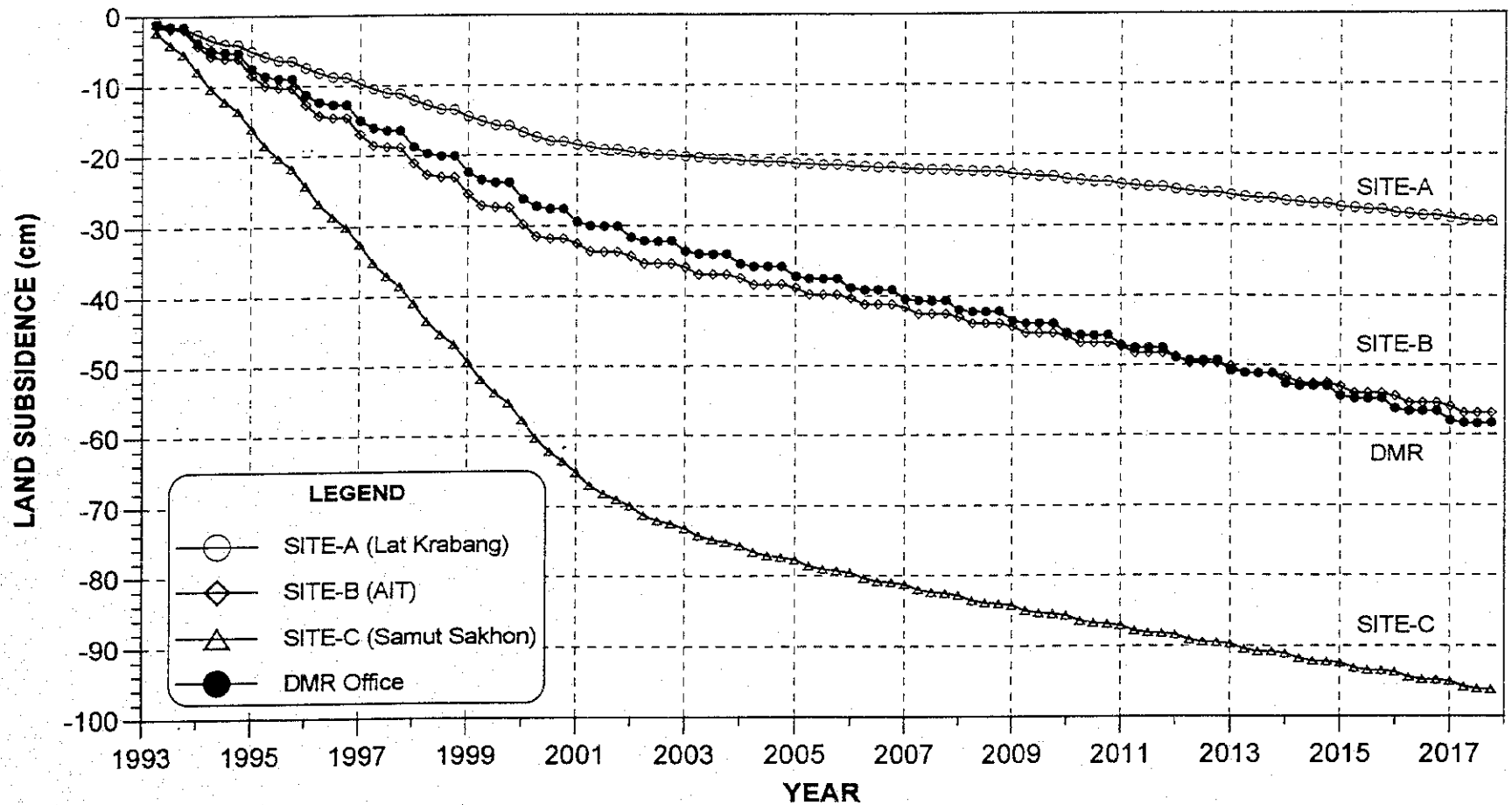
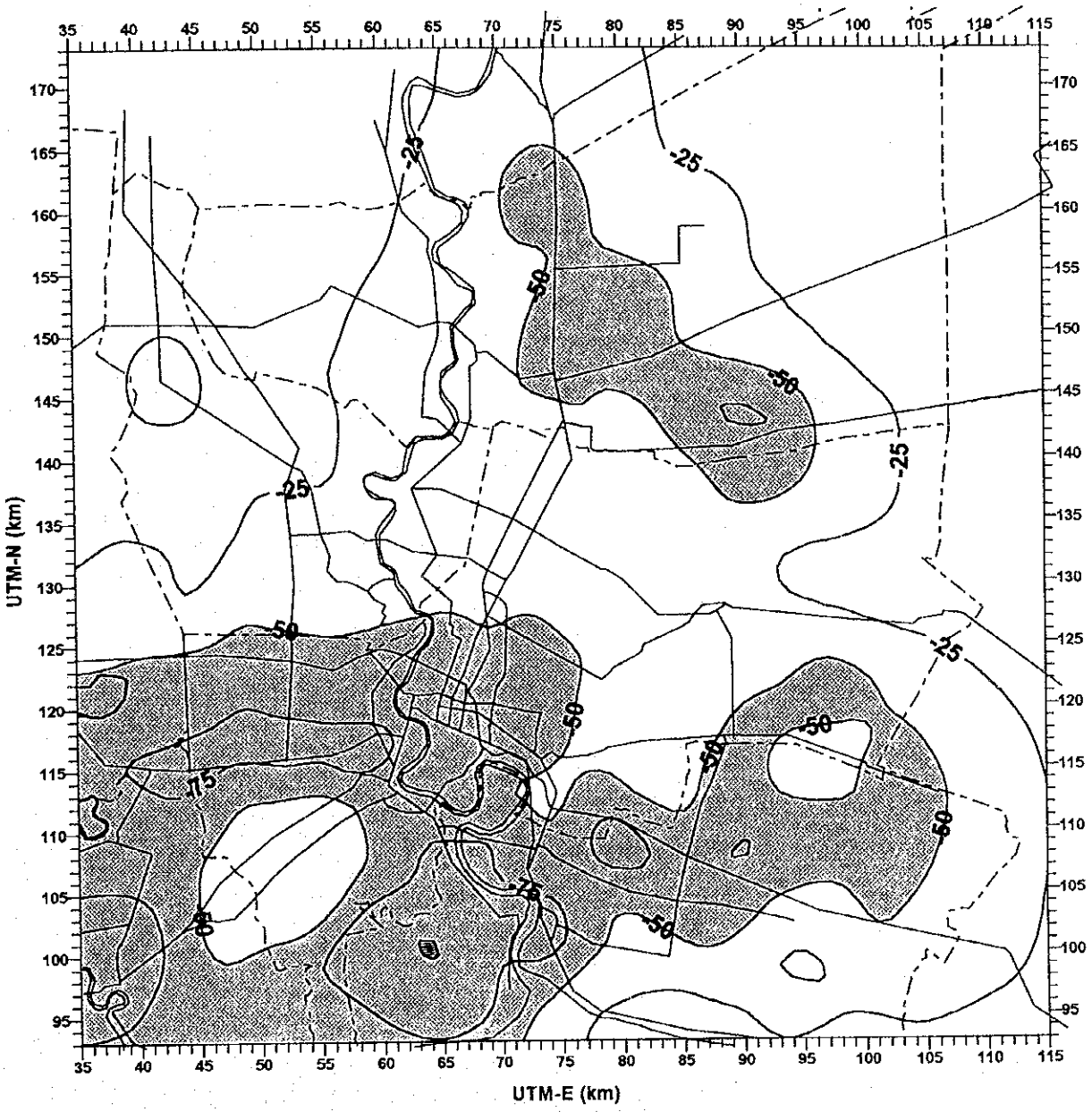


図 8.5.2 JICAモニタリング井周辺の地盤沈下予測値（シナリオ5A）

	SIMULATED LAND SUBSIDENCE (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.



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.

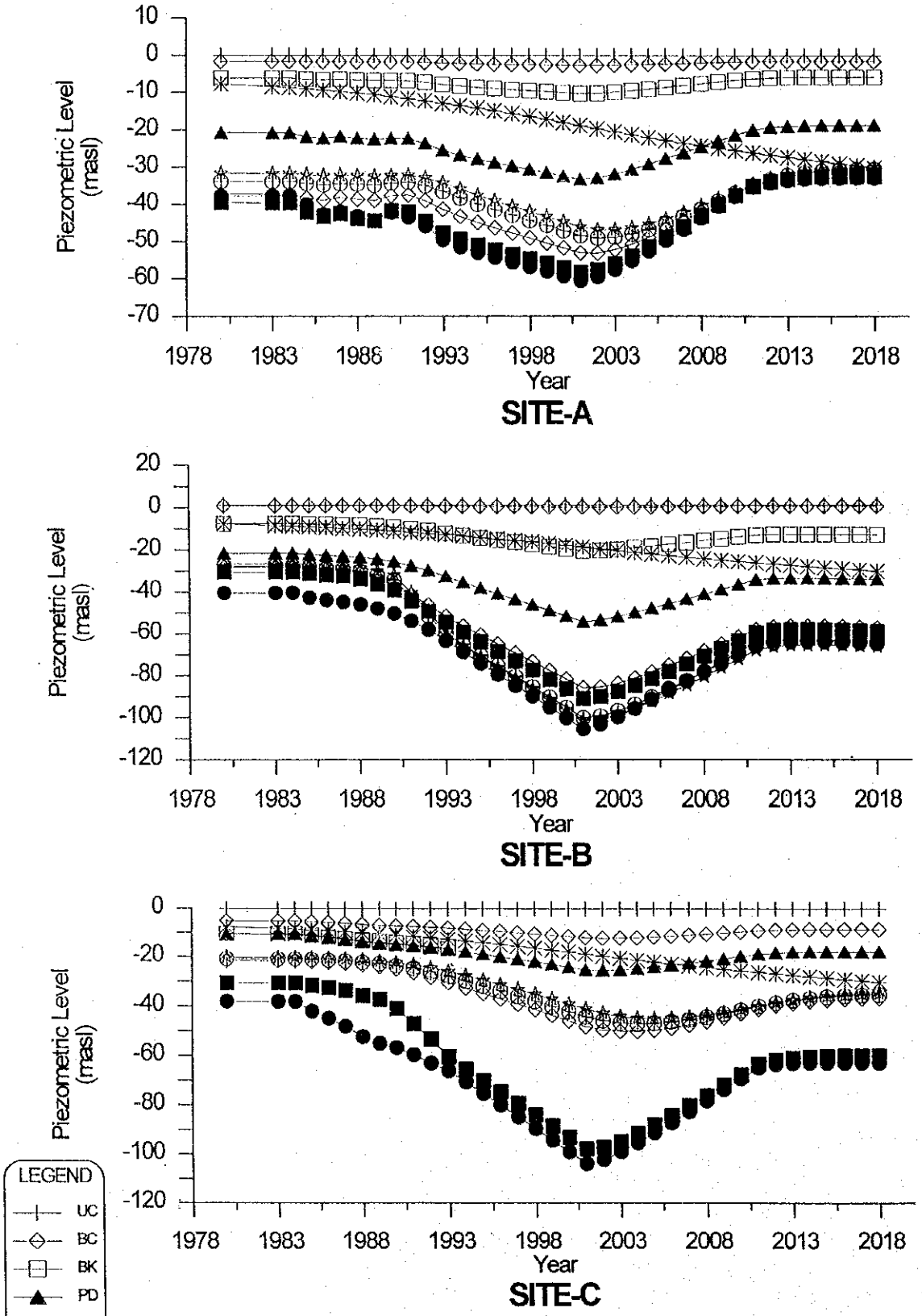


図8.6.1　JICAモニタリング井周辺の地下水位変化予測（シナリオ5B）

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.

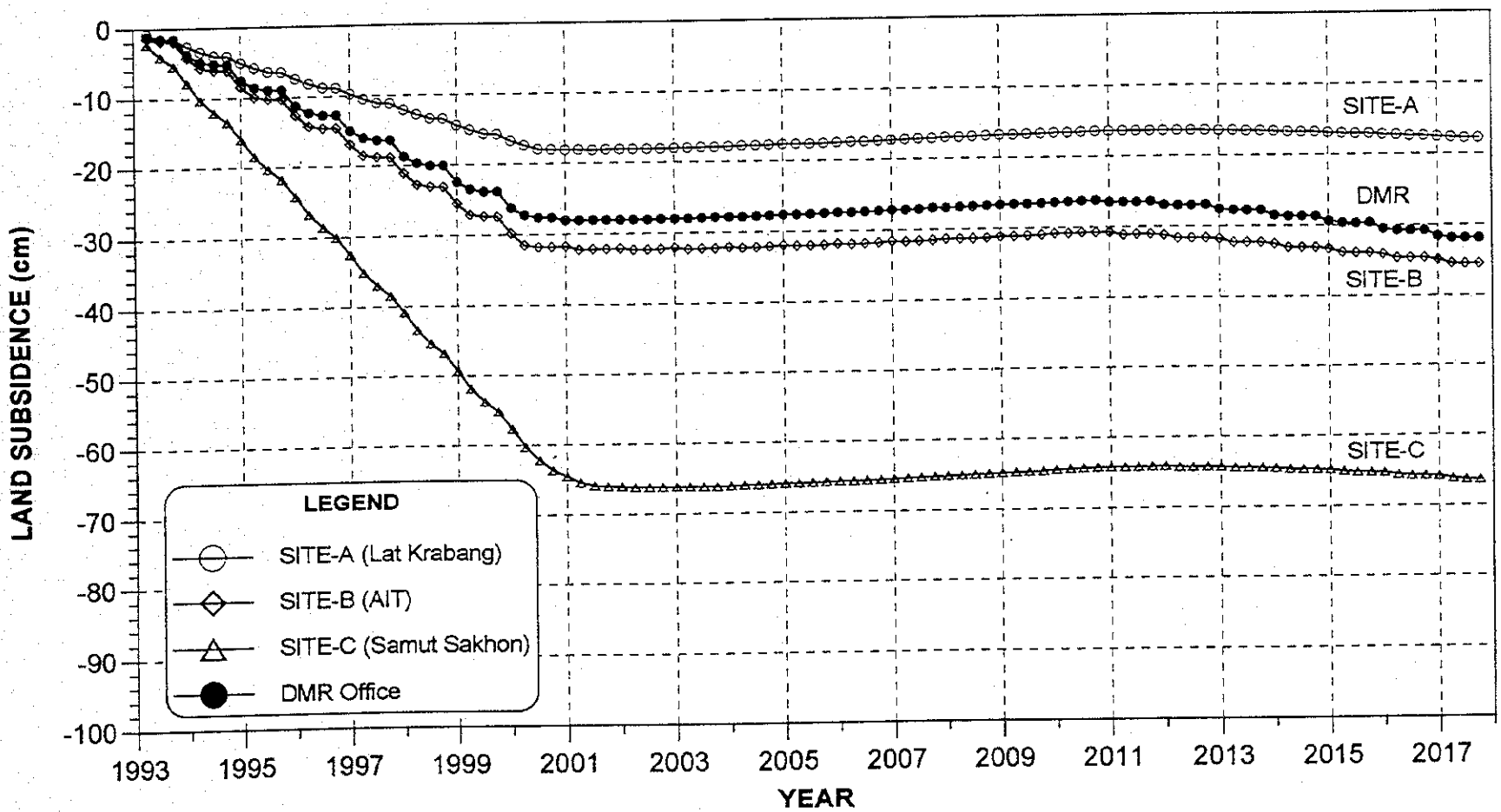
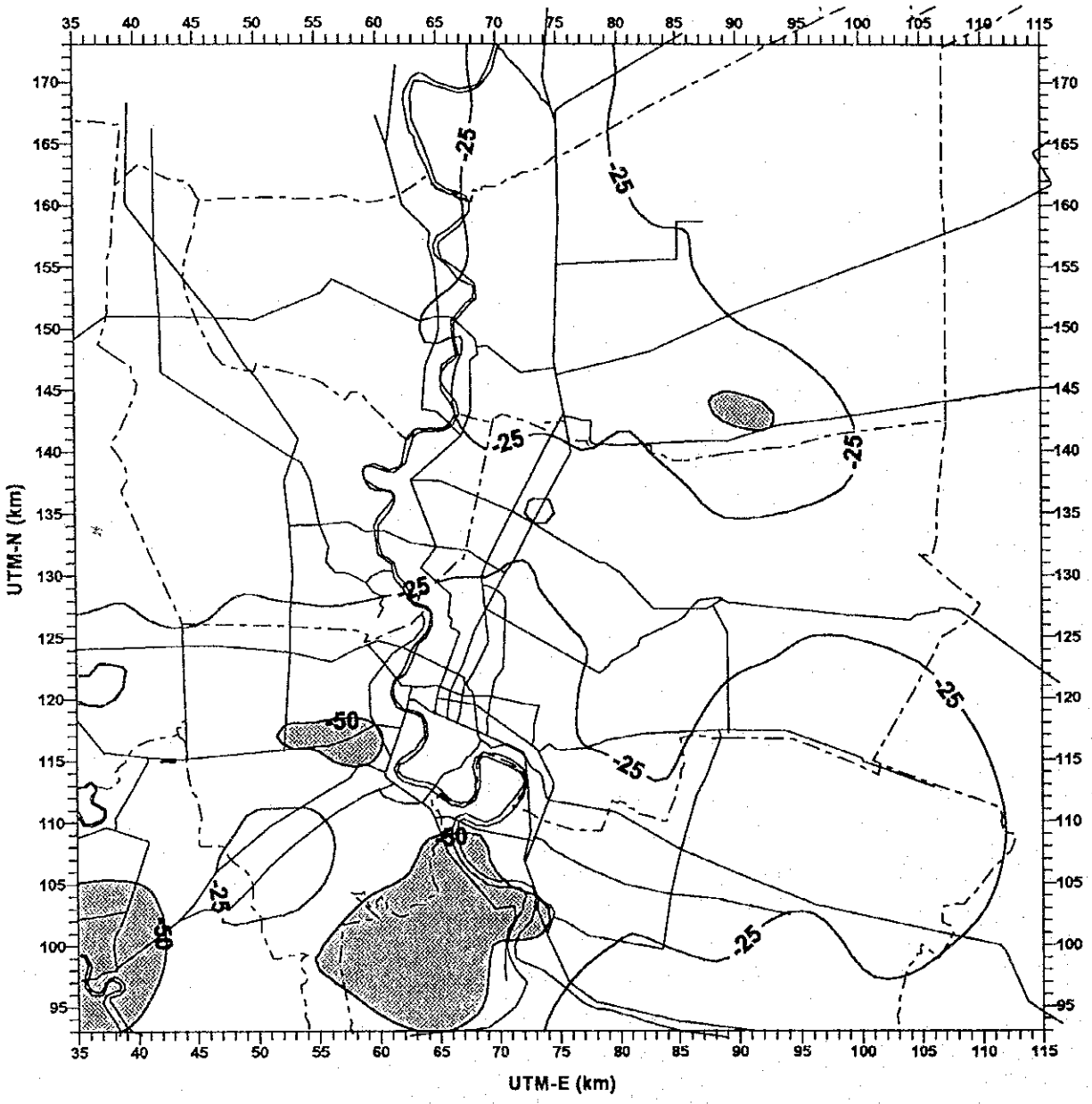


図8.6.2　JICAモニタリング井周辺の地盤沈下予測値（シナリオ5B）

	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.

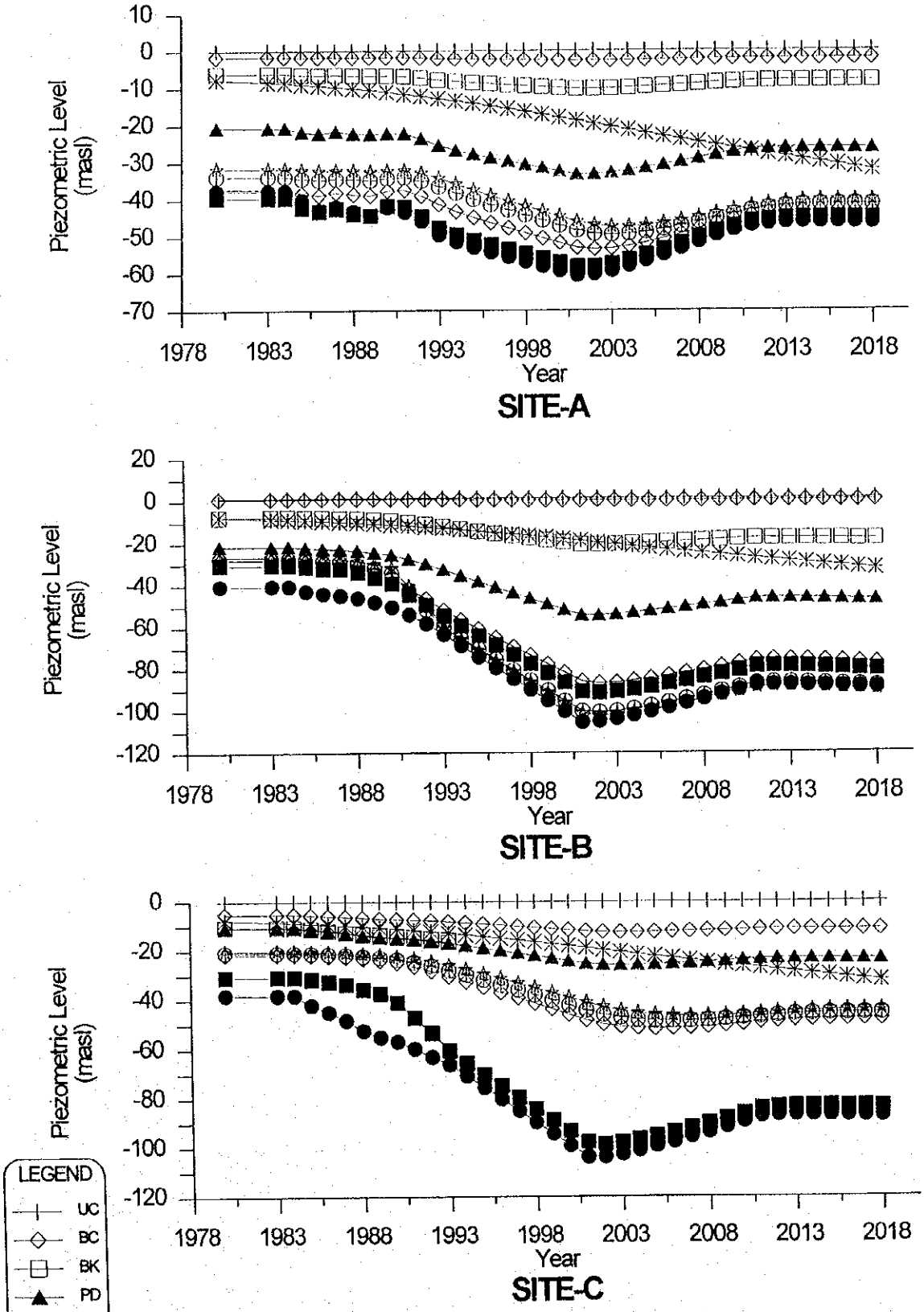


図8.7.1　JICAモニタリング井周辺の地下水位変化予測（シナリオ5C）

	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.

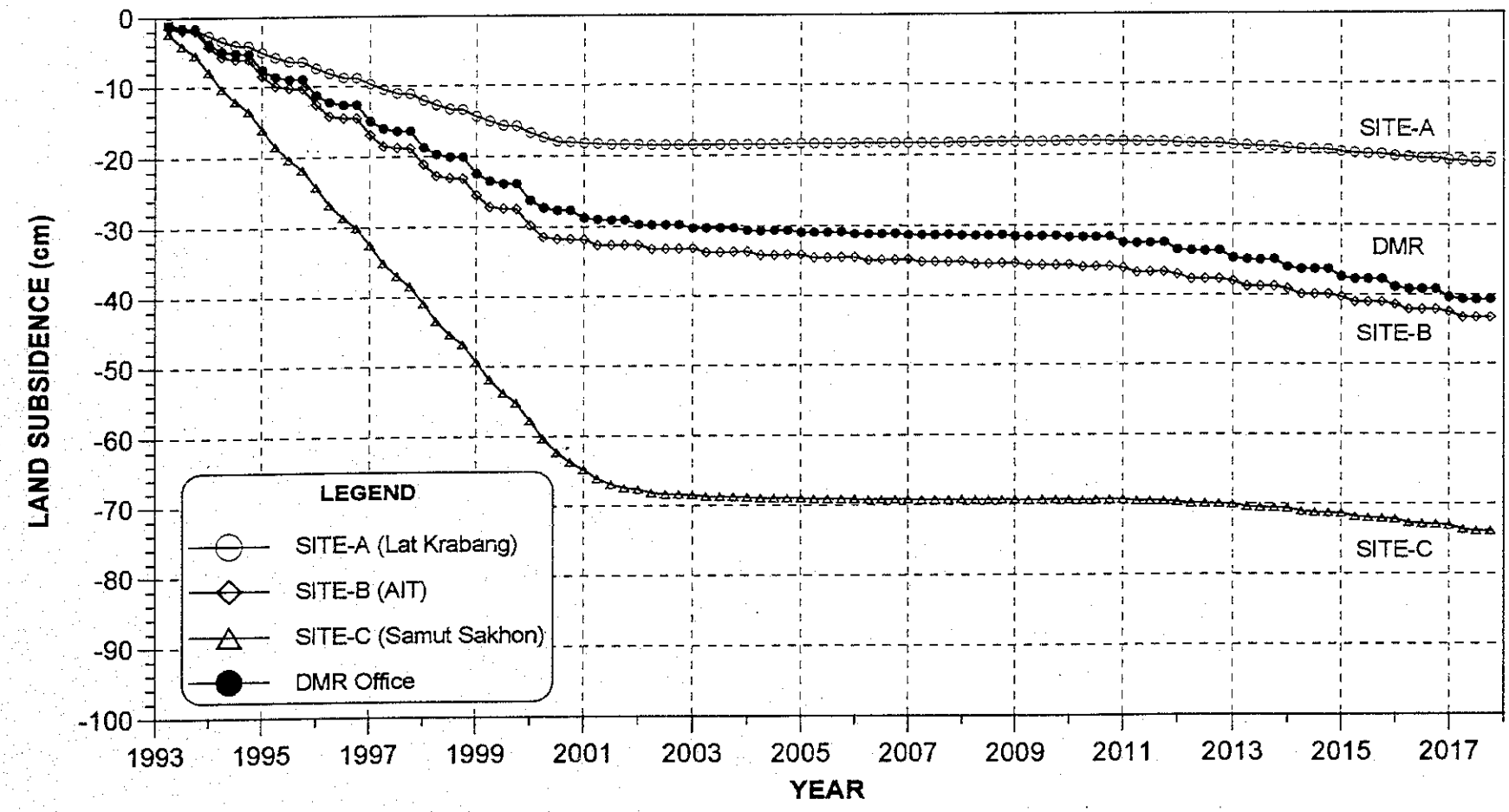
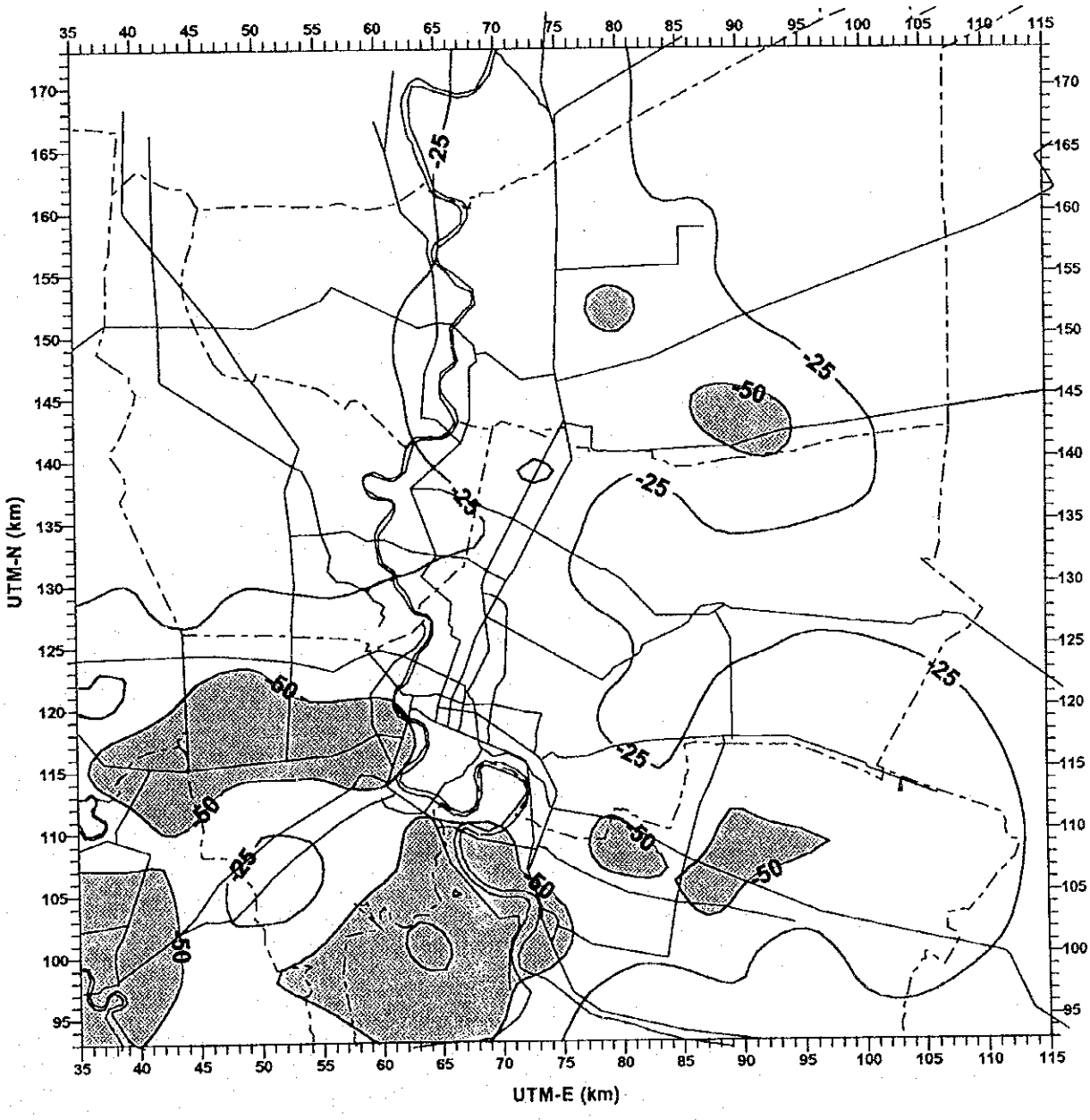


図8.7.2　JICAモニタリング井周辺の地盤沈下予測値（シナリオ5C）

	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.

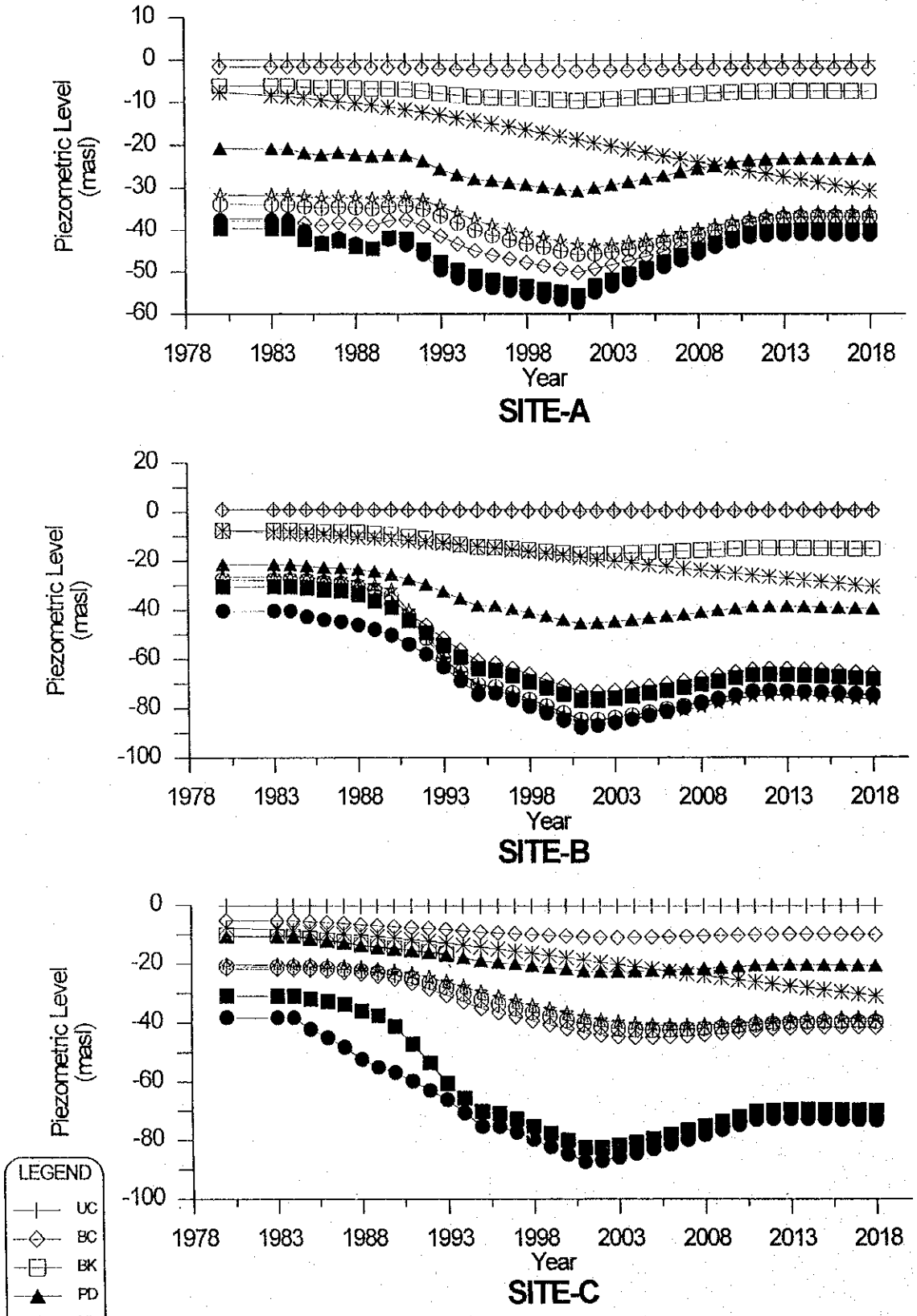


図8.8.1　JICAモニタリング井周辺の地下水位変化予測（シナリオ6）

	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.

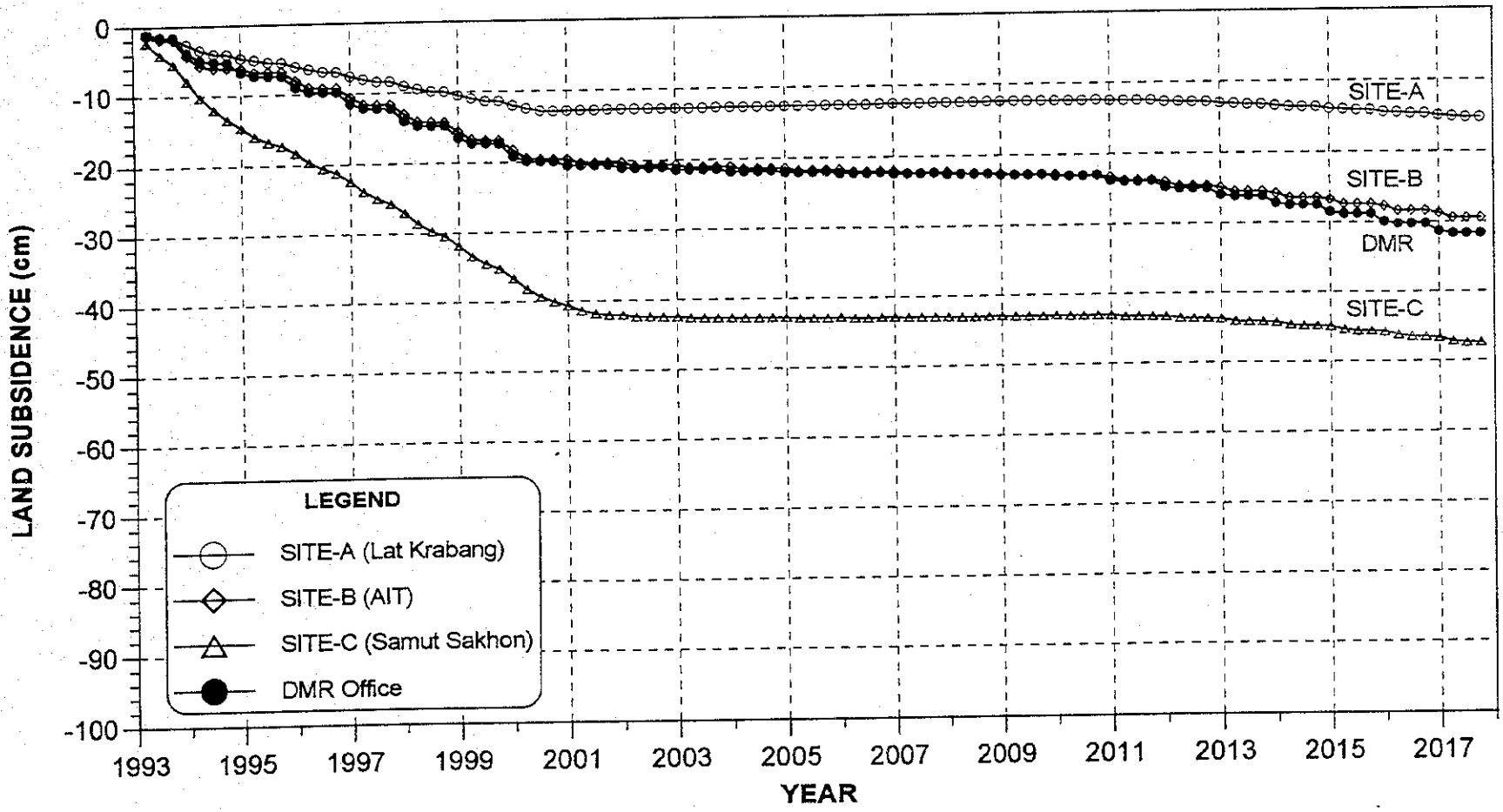
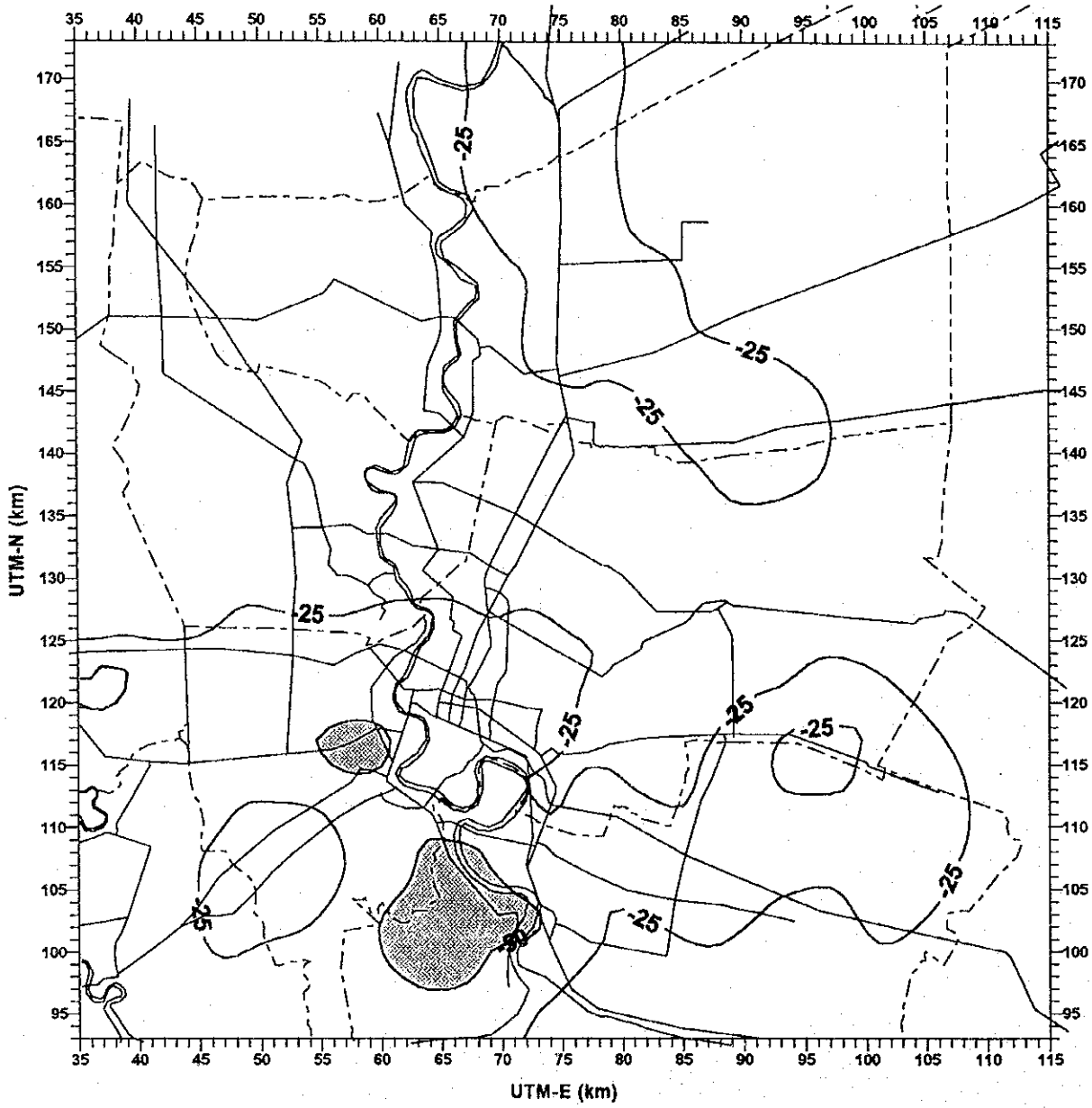


図8.8.2　JICAモニタリング井周辺の地盤沈下予測値（シナリオ6）

	SIMULATED LAND SUBSIDENCE (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.



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.

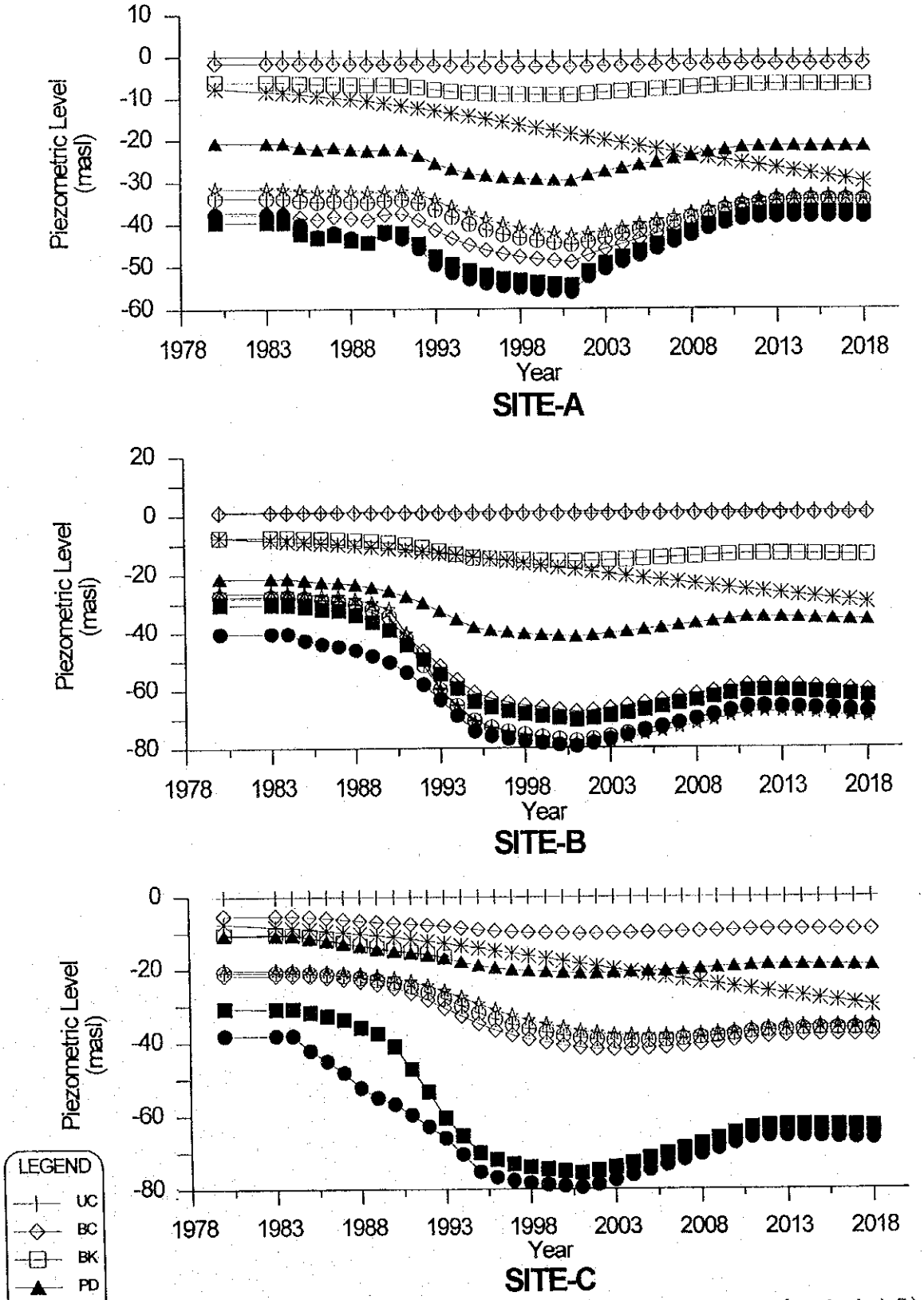


図8.9.1　JICAモニタリング井周辺の地下水位変化予測（シナリオ7）

	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.

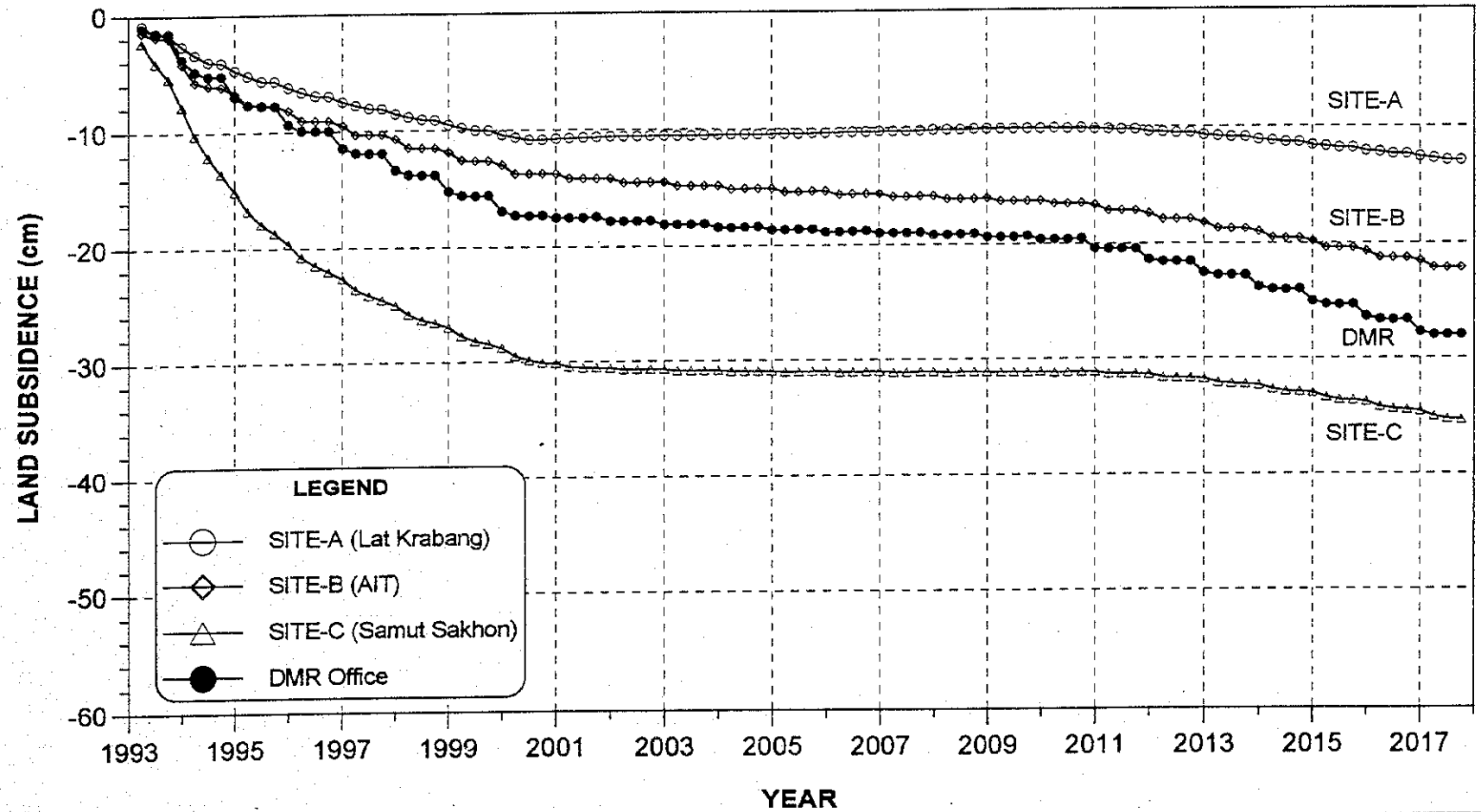
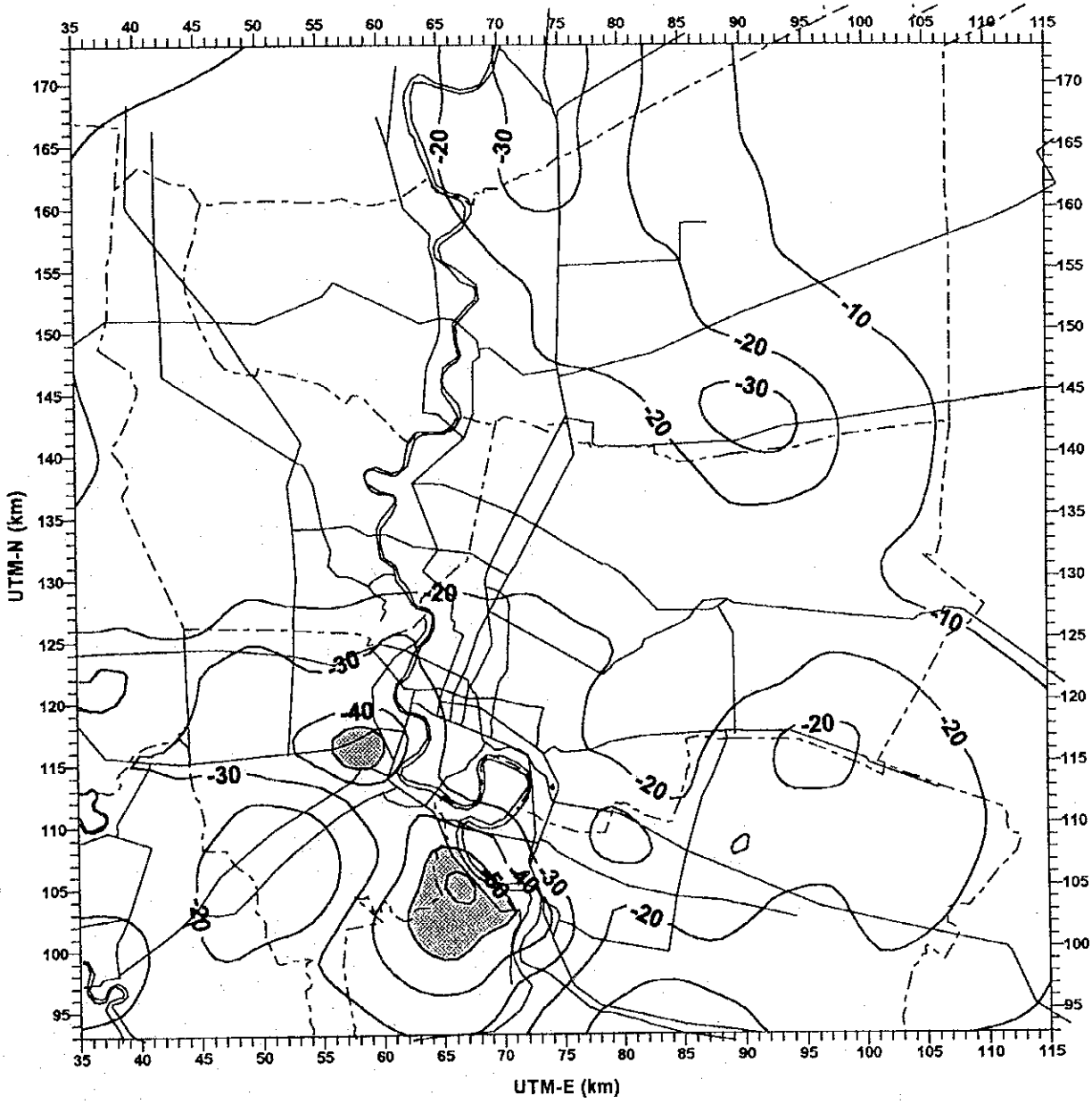


図8.9.2　JICAモニタリング井周辺の地盤沈下予測値（シナリオ7）

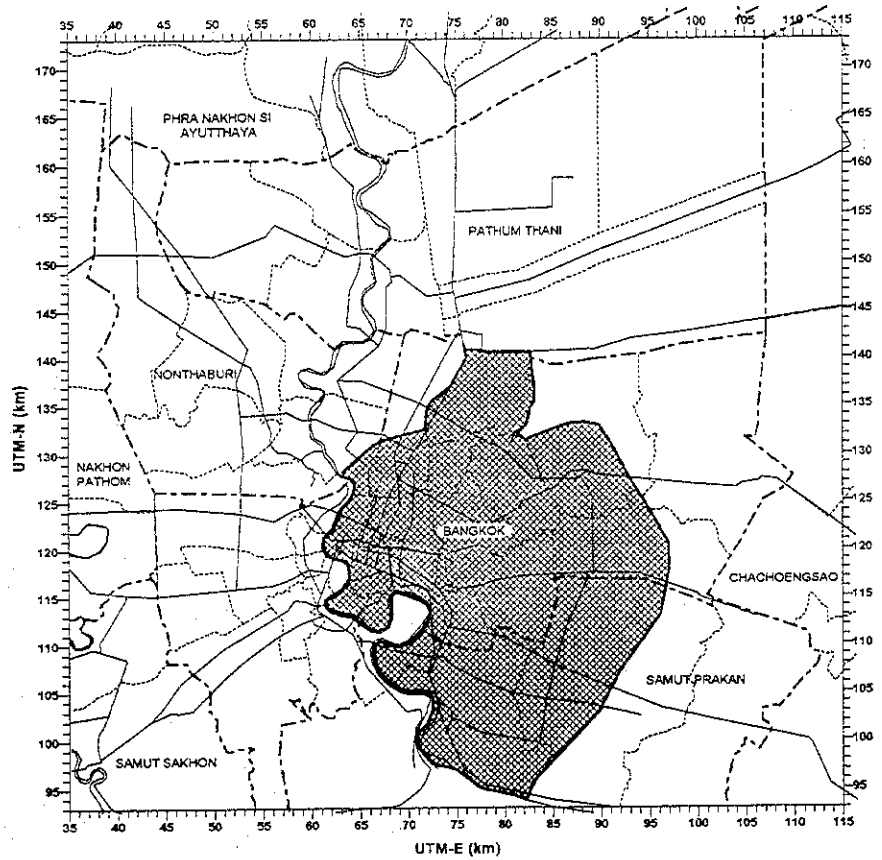
	SIMULATED LAND SUBSIDENCE (FUTURE SCENARIO 7)
THE STUDY ON MANAGEMENT OF GROUNDWATER AND LAND SUBSIDENCE IN THE BANGKOK METROPOLITAN AREA AND ITS VICINITY	
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)	KOKUSAI KOGYO CO., LTD.



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

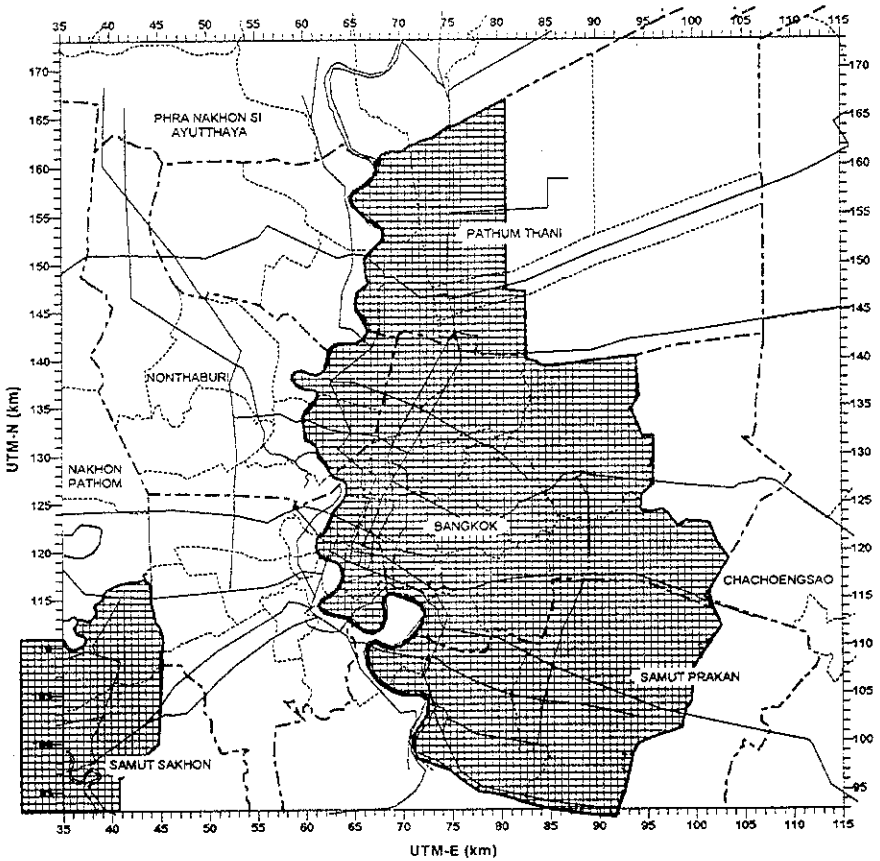
Changwat Boundary

Amphoe Boundary

図 8.10.1	現行の揚水規制地域

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.



PROPOSED NEW CRITICAL ZONE

Changwat Boundary

Amphoe Boundary

図 8.10.2	提案される揚水規制地域の拡大

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. 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と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6,600百万バーツ（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43,700百万バーツ（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ると、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m3/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。

地下水揚水の組み合わせは多数あるが、９つのシナリオのシミュレーション結果にもとづけば、シナリオ６（2000年 179万m3/day及び 2005年 162万m3/day）を地盤沈下からみた暫定許容揚水量とすることが出来る。

10. 地下水盆管理

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。図一は従来の規制地域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パトムタニ、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パ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づ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

地下水揚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がチャオプ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、プラパダン、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プ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。

11. 結論と勧告

１１．結論と勧告

１１．１　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とおりである。

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。

１１．１．１　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。

１１．１．２　地下水位

プラパダン、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プラカン、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。年間低下量はプラパダン帯水層で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。

１１．１．３　地盤沈下

バンコク、サムットプラカン、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。サムットプ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。

１１．１．４　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プ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。プラパ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、ノンタブリ帯水層では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。

11．1．9　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。

11．2　勧告

11．2．1　地下水管理計画

（1）規制地域の拡大

ラットクラバン、パトムタニ、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、パトムタニ、サムットサコン及びサムットプラカン地域に、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ずけている。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ろう。

（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ているが、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。

11．2．2　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、テレビ、ラジオなど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1m³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、評価する必要があろう。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）技術小委員会の強化

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、現行の技術小委員会の役割強化することを勧める。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。

JICA