

## Ⅱ－1 大阪地域における地下水および地盤沈下の現状

明石工業高等専門学校 鍋島康之  
地域地盤環境研究所 長屋淳一

### 1. はじめに

大阪平野における地下水変動は、戦前および昭和 30 年代の二度にわたり過剰な地下水汲み上げによる大規模で広域的な地下水低下が発生し、これに伴う地盤沈下が大きな社会問題となった。その後、1960 年代より法律・条例に基づく揚水規制により地下水位は上昇に転じ、2000 年代には過剰揚水による水位低下が発生する以前の水位まで回復し、地盤沈下も沈静化してきている。しかし、地下水位が上昇したことにより、地下構造物の浮力による浮き上がり問題や地下工事において水圧の増加に伴う出水事故などの新たな問題が発生するとともに、最新の地下水位・地盤沈下の資料では僅かではあるが地下水位が低下し、地盤沈下が増加する傾向を示している。ここでは、現在までの地下水位ならびに地盤沈下の経緯と現在の状況について紹介する。

### 2. 大阪地域における地下水位と地盤沈下

まず、図 2.1 は大阪府下の代表的な観測井について昭和 40 年（1965 年）以降の経年的な地下水位の変遷<sup>1)</sup>を示したものである。全体的な傾向としては地下水揚水規制により地下水位は順調に回復基調にあり、現在でも地下水位が上昇する傾向を示している。豊中の観測井では地下水位がほぼ平衡状態に達しているようにも見受けられるが、その他の地域における地下水位は、上昇速度には差が見られるが、依然として地下水位が上昇している。一方、地盤沈下<sup>1)</sup>についても、図 2.2 に示すように 1980 年以降、地盤沈下が沈静化している状況であり、逆に近年の地下水位の上昇による影響とも考えられる地盤の隆起が岸和田市や大東市など一部の地域において確認されている。また、大阪府下における地下水揚水<sup>2)</sup>は図 2.3 に示すように平成 17 年度で約 22 万 m<sup>3</sup>/日であり、平成 7 年以降は 30 万 m<sup>3</sup>/日以下の揚水量で推移している。この揚水量は昭和 40 年当時の揚水量と比較すると 4 分の 1 程度であり、図 2.1 および図 2.2 の大阪府下の地下水位の回復状況や地盤沈下の沈静化の状況から判断すると、現在の 20 万 m<sup>3</sup>/日程度の揚水量は少なく、今後、揚水量を増加することが可能ではないかと考えられ、適正揚水による地下水有効活用の可能性が示される結果となった。

大阪市内の観測データ<sup>3)</sup>を詳細に検討すると、1990 年代に実施された地下工事（地下水位低下工法）に伴う大規模揚水により地下水位が低下し、これに伴う沈下が発生している状況がわかる<sup>4)</sup>。しかし、その後、水位低下による地盤沈下が懸念される地下工事では、土留め壁による遮水工法が用いられるようになり、地下水位は再び回復し、2000 年代には大阪市内では OP（大阪湾平均海水面）±0 m 付近の高い地下水位が維持された状態にある。地盤沈下も地下水位の回復とともに沈静化しており、2000 年代には若干沈下傾向にあるが、その沈下速度は 2cm/年以下に抑えられている。しかし、大阪市都市環境局環境部で実施されている水準測量によると、平成 15 年度（2003 年）の結果では 212 点の 2 年間の最大沈下量は 0.89cm でほとんど地盤沈下はなかったが、平成 18 年度大阪市環境白書<sup>5)</sup>のデータによると、図 2.4 に示すように平成 15 年度の水準測量よりも沈下している地盤が多く、特に年間 2cm 以上の沈下を記録した地点が 7ヶ所見られ、わずかではあるが地盤沈下が進行している。

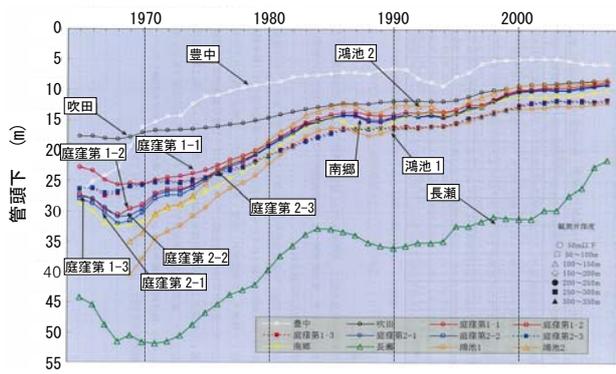


図 2.1 大阪府下の地下水位の変遷<sup>1)</sup>

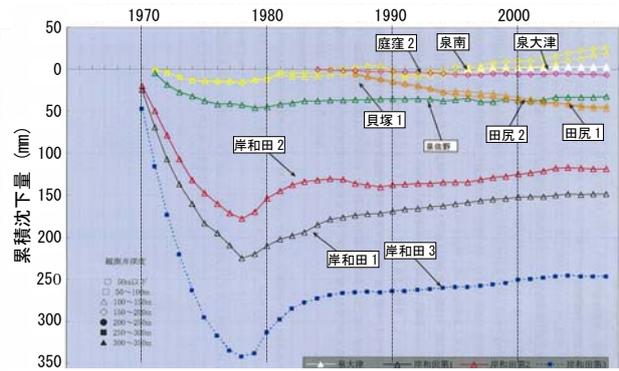


図 2.2 大阪府下の地盤沈下の推移<sup>1)</sup>

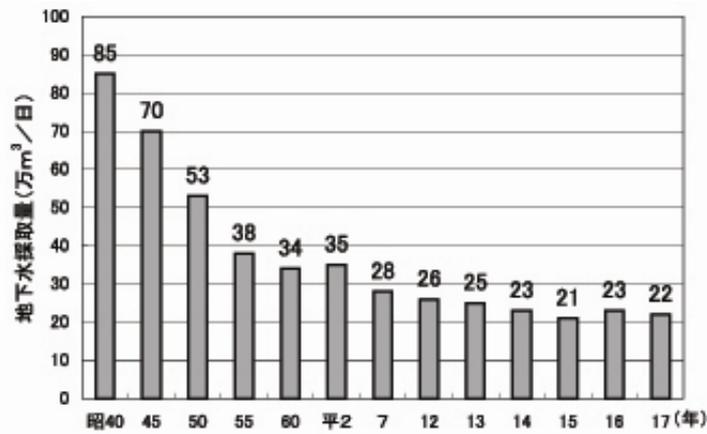


図 2.3 大阪府下における地下水揚水の状況<sup>2)</sup>

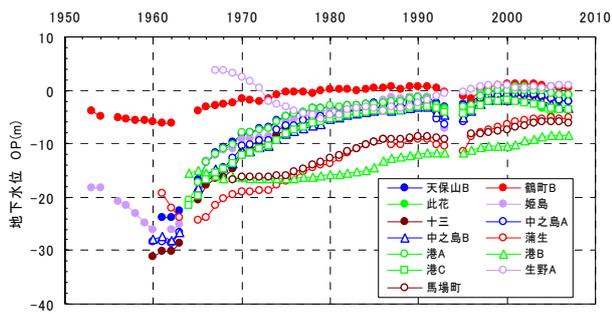


図 2.1 大阪市内の地下水位の変遷<sup>3)</sup>

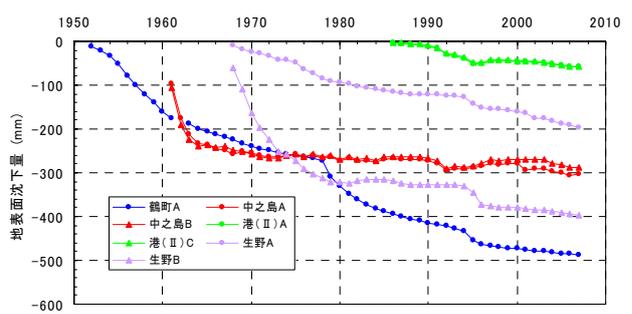


図 2.2 大阪市内の地盤沈下の推移<sup>3)</sup>

平成15年度

区分	観測 水準 点数	水準点の年間変動量分布					変動量 (cm)	所在地(市町区)
		+1cm 以上	+1cm 未満	変動 なし	-1cm 未満	-1cm 以上		
北	13		5		8	-0.25	海部町1-40 (中-7)	
福島	5				5	-0.23	海部町1-4 (国-232(Ⅲ))	
福島	6		1		5	-0.25	海部町18-1-10 (国-10695(Ⅱ))	
此花	15		1		12	-0.89	梅町1-1-11 (西-17(Ⅳ))	
中央	9		5	1	3	+0.22	大塚城3 (中-28)	
西	10		2		8	-0.36	九条町4-7-38 (国-231(Ⅲ))	
港	15		5		9	-0.75	船場3-2 (西-61)	
大正	12		2	1	9	-0.78	船場2-2 (西-39)	
天王寺	3		3			+0.32	南河原町4 (中-43(Ⅱ))	
米津	6		5	1		+0.37	敷地西1-2-12 (中-41(Ⅲ))	
西河川	13		2		10	-0.89	西堀1-1 (北-28(Ⅲ))	
淀川	11		2		9	-0.74	西中島7-8-5 (北-13)	
瀬田川	13		7	1	5	-0.77	東中島2-1-7 (北-40)	
東成	5		2		3	-0.22	大今里1-17-10 (東-26)	
生野	10		6		3	+0.56	谷町南3-1-39 (東-49(Ⅱ))	
旭	6		4		2	-0.33	大宮3-1-37 (東-2)	
城東	10		3		5	+0.63	中央3-8 (東-27)	
鶴見	8		2		6	-0.46	橋本5-13-71 (東-50)	
阿倍野	4		4			+0.59	王将町4-1 (南-18(Ⅱ))	
住之江	8		4		4	-0.80	南船場1-4-1 (南-66)	
住吉	6		6			+0.54	南船場山3-10 (南-25(Ⅱ))	
天王寺	6		6			+0.75	今川15-7 (南-63)	
平野	10	3	6			+1.12	長吉長原2-6-55 (南-40)	
西成	8		3		3	+0.28	玉出中1-10 (南-32(Ⅱ)) 玉出東1-6-3 (南-645)	
計	212	3	86	4	109	0		
%		1	43	2	54	0		

平成17年度

区分	観測 水準 点数	水準点の年間変動量分布					変動量 (cm)	所在地(市町区)
		-2cm 以上	-1cm 以上	-1cm 未満	変動 なし	+1cm 未満		
北	14		4	9	1	-1.29	中之島1-1 (中-51(Ⅱ))	
福島	5			5		-0.87	海部町14-1-15 (東-8)	
福島	6		2	3	1	-1.22	吉野5-9 (中-45(Ⅱ))	
此花	15	6	8		1	-2.76	島本5-1 (西-60(Ⅳ))	
中央	9			7	2	-0.25	谷町6-1-7 (中-29(Ⅱ))	
西	10		5	4	1	-1.47	九条南4-7 (国-231(Ⅲ))	
港	15		15			-1.85	田中3-1 (西-54(Ⅳ))	
大正	12	1	11			-2.12	船場2-2 (西-39)	
天王寺	3		3			-0.54	南河原町4 (中-43(Ⅱ))	
浪速	6		1	5		-1.04	立花2-1 (中-60(Ⅱ))	
西河川	13		10	3		-1.45	船場4-1-14 (国-10696(Ⅱ))	
淀川	11			11		-0.76	十三元今里3-1 (北-16(Ⅱ))	
瀬田川	13			13		-0.92	船場3-1-11 (国-228-1(Ⅱ))	
東成	5			5		-0.37	中央4-8 (東-13)	
生野	10			9	1	-0.98	船場4-1-11 (東-35)	
旭	6			6		-0.56	大宮3-1 (東-2)	
城東	10		1	8	1	-1.17	古市1-2-20 (東-1(Ⅱ))	
鶴見	8			8		-0.81	船場1-6 (国-10746(Ⅱ))	
阿倍野	4			4		-0.75	加町1-4 (南-9(Ⅱ))	
住之江	8		3	4	1	-1.83	南船場1-4 (南-66)	
住吉	6			6		-0.64	万代東3-1 (南-26(Ⅱ))	
天王寺	6			6		-0.53	船場4-1-10 (南-12)	
平野	10			5	5	-0.33	加藤南1-9 (南-39)	
西成	8			6	2	-0.94	清守2-7 (南-68(Ⅱ))	
計	213	7	63	127	10	6		
%		3	30	60	5	3		

図 2.4 大阪市内における地盤沈下の現状<sup>5)</sup>

<参考文献>

- 1) 大阪府環境[農林水産部環境管理室環境保全課：大阪府地盤沈下・地下水位観年報 平成 19 年, 2007.
- 2) 平成 18 年度大阪府環境白書 詳細データ編 6.地盤環境関係データ, 大阪府環境情報センター, 2006.
- 3) 大阪市環境局環境保全部：大阪市内地盤沈下・地下水位観測結果報告書, 2008.
- 4) 橋本 正, 飯田智之, 宇野尚雄, 神谷浩二：大阪平野の地下水位変動の特徴とその影響要因, 地下水地盤環境に関するシンポジウム 2000 発表論文集, pp.65~78, 2000.
- 5) 大阪市都市環境局環境部環境活動推進担当：平成 18 年度版大阪市環境白書 第 4 節 地盤環境, pp.66~69, 2006.

## Ⅱ－２ 地下水管理事例

明石工業高等専門学校 鍋島康之  
地域地盤環境研究所 金山政民  
(株)日建設計シビル 田中尚人

### 1. 国内における地下水管理事例

わが国における地下水管理は工業揚水法とビル用水法のいわゆる用水二法にもとづいた揚水規制に始まり、地盤沈下を抑制することが主眼であった。この結果、地盤沈下の抑制については一定の成果をあげており、近年では一部の地域を除いて地盤沈下の報告は減少している。しかし、現行の地下水管理は地盤沈下対策にのみ主眼がおかれ、地下水を取りまく社会環境の変化とともに新たな課題が生じてきている。このため、最近では健全な水循環の一部としての地下水を考える視点や水供給全体をみる視点が必要とされている。

環境省では毎年各都道府県及び政令指定都市から情報提供を受け、地盤沈下の状況や地下水の利用状況等の取りまとめを行っており、「全国地盤環境情報ディレクトリ」としてホームページ（平成17年度：[http://www.env.go.jp/water/jiban/dir\\_h17/index.html](http://www.env.go.jp/water/jiban/dir_h17/index.html)）で情報提供されている。ここでは、国内における地下水の利水と管理についての取り組みについて、いくつか具体的な例を取り上げ、どのような地下水管理が行われているかについてまとめる。そして、最後にわが国における地下水管理の今後の方向性についてまとめる。

#### 1. 1 福井県大野市<sup>1)</sup>

福井県大野市の地下水揚水量は昭和58年で1339万 $m^3$ であったのをピークに年々減少傾向がみられ、平成元年の1000万 $m^3$ 以降はほぼ横ばい（平成13年で956万 $m^3$ ）で推移している。水道用水は昭和55年以降約400万 $m^3$ 前後で一定の水準であるが、工業用水は昭和55年の800万 $m^3$ から平成13年405万 $m^3$ と約半減している。平成13年時点での全地下水使用量は水道用42%、工業用43%、建築物（業務用）8%、農業用5%、融雪用2%となっている。また上水道普及率は、平成13年度末で10.6%、簡易水道を含めると36.1%であり、いまだ生活用水の大部分を地下水に依存する形となっている。大野市は872.3 $km^2$ の面積のうち約9割を山地、残りが大野盆地の平野より構成されている。しかし、土地利用の変化により年々涵養域の減少が見られ、市街地の面積は昭和20年代に比べ約2倍に増加した。また田畑においても耕地面積が減少するとともに転作面積が増加傾向となり、それに付随した圃場整備事業による用排水路の整備が進められてきた。こうした土地利用の変化や農業基盤の整備による地下水涵養機能の低下については、さまざまな影響（地下水位低下に伴う井戸涸れや湧水の枯渇、地盤沈下）が指摘されている。

このような背景を持つ大野市では平成17年12月に持続的な地下水の保全と利用の調和を基本理念とした「大野市地下水保全管理計画」を策定し、施策の実現へむけての行政、産業界、市民の役割の認識及び上流域と下流域の積極的な連携による地下水保全への取り組みを求めている。地下水保全対策に必要な財源は「受益者負担の原則」を踏まえ、市民に負担協力を求めることとしている。なお本計画では地下水を以下のように捉えている。

- (1) 地域特有の地質，自然の水循環と人為的な水循環の巧みな組み合わせによって成り立っている貴重な水資源であること
- (2) 決して無限にあるものではないこと
- (3) 地域共有の貴重な資源であること

地下水の保全目標は，地下水位，水質，地盤沈下の防止についてそれぞれ短期（平成 17～21 年度）・中期（平成 22～31 年度）・最終の 3 段階に分けて設定している。最終的な保全目標水位は，名水百選にも選ばれた「御清水観測井」，「春日公園観測井」，「菖蒲池（浅）観測井」を基準観測井として昭和 50 年代の水位を目標として具体的な数値を設定している。これらの目標達成に向けては，地下水状況などの監視，地下水量の保全施策，地下水質の保全施策，地盤沈下の防止施策，地下水保全活動支援・啓発，開発行為などに対する指針の 6 項目を重要な柱としている。また，生活用水の多くを地下水に依存して状況からも地下水位の低下が市民生活へ多大な影響を及ぼすという観点から，観測井水位による地下水注意報・警報の発令，井戸涸れや地下水汚染が発生した場合の対応，防災対策としての上水道設置等の整備に努めていくとしている。

## 1. 2 富山県<sup>2)</sup>

富山県では塩水化等の地下水障害がみられた富山地域，高岡地域を対象に，昭和 51 年 3 月に地下水の採取を規制する「地下水の採取に関する条例」が制定された。平成 4 年 5 月には全国初となる県内の平野部全域を対象とした「地下水指針」を策定し，地下水保全対策として開発行為に対する事前指導や地下水利用の合理化（適正揚水量の設定），節水などの各種施策を県民，事業者，市町村の協力のもと推進してきた。その後，平成 11 年 3 月の指針の改定では「冬期間の地下水位低下対策」を新たな施策と位置づけ，「消雪設備維持管理マニュアル」の作成や普及・啓発，冬期間の安全水位に関する調査研究に努めてきた。また平成 18 年 3 月には都市化の進展や水田の減少に伴う地下水涵養量の減少や冬季における地下水位の低下の状況に適切に対応するため，取り組み目標に「地下水の創水」を新たに盛り込んだ地下水指針の見直しが行われ，地下水の涵養に関する取り組みでは山間部を含めた県下全域を対象地域としている。

指針では“豊かで清らかな地下水の確保”を目指すべき環境像とし，その目標達成のためには地下水の保全（地下水の採取に伴う地下水障害の防止）と地下水の創水（地下水涵養による健全な水循環の確保）の適切なバランスが重要であるとしている。地下水の保全については，適正揚水量と冬期間の安全水位について数値目標を掲げている。

### (1) 適正揚水量

「塩水化の進行や大幅な地下水位の低下等の地下水障害を生じさせない揚水量で地域の特性や住民の意向などの社会的条件を考慮した量」と定義し，シミュレーション手法により得られた限界揚水量に地域特性を勘案した地域係数を乗じたものとして算出されている。県下平野部の 17 地下水区毎に設定した適性揚水量が，実際の地下水揚水量が上回らないことを指標として設定している。

### (2) 冬期間の安全水位

平成 13 年～16 年度にかけて学識経験者や関係行政機関で構成する富山県冬期間地下水位低下対策推進委員会で調査・研究を行い，管理指標となる安全水位の検討を行った。安全水位を「年間 1cm 以上の地盤沈下や塩水化による地下水障害を生じないと確認された水位」とし，富山地域 2 箇所（奥田北観測井，蓮町観測井）高岡・射水地域 2 箇所（作道観測井，能町観測井）での観測を実施している。

地下水の創水についてはまだ取り組みを始めたばかりでもあることから，まず水循環系の健全性や地下水との関わりを整理するとともに水循環系の現状を踏まえて取り組みの具体的方向を定めた上で指標の設定をすとしている。県は長期的な展望に立ち，地下水条例による規制，開発事業におけ

る配慮，地下水の節水・利用の合理化，冬期間の地下水位低下対策，地下水障害等の監視体制の整備，水循環系の健全性の確保，地下水の涵養，調査・研究の推進，事業者における自主的対策の推進，地下水の保全と創水に係る意識の高揚を主な施策として総合的，計画的に展開することとし，そのための県民・NPO，事業者，行政それぞれの役割を明示している。推進体制としては必要に応じ富山県環境審議会に意見を求めるとともに，指針をより効果的に推進するために行政及び関係団体で「富山県地下水保全・適正利用推進会議」を開催するとしている。

### 1. 3 熊本市<sup>3), 4), 5)</sup>

熊本市は古くから「水の都」と呼ばれているほど水が豊富で，67万市民が使う水道用水，工業用水・都市活動用水（ビル，病院，ホテルなど建築物用）の全てを地下水で賄っている。また農業用水の一部についても地下水が利用されている。しかし，熊本市の地下水は涵養地域の農作地や草地が宅地や道路への転換（都市化），また水田の減反による地下水の涵養能力の低下などにより長期的な減少傾向にある。地下水涵養量は昭和60年頃の約72000万 $m^3$ から平成10年度の約66600万 $m^3$ と減少している。そこで昭和61年からは地下水観測井戸を設置し，地下水位の監視を行っている。その結果代表的な観測井である水前寺や白川中流域での地下水位は長期的な低下傾向がみられ，水前寺・江津湖の湧水量もここ10年間で約50万 $m^3$ /日から約40万 $m^3$ /日と約20%減少していることがわかった。また，地下水の水質については昭和50年代後半にトリクロエチレン等有機塩素系化合物による局所的な地下水汚染が確認されたが，市内全域での定期的なモニタリング及び汚染地域に対する監視や浄化対策により汚染物質の濃度低下と汚染範囲の縮小に効果を挙げている。一方，近年肥料や家畜排せつ物を原因とする硝酸性窒素汚染が見受けられるようになってきており，適時適量の施肥対策を実施している。

熊本市では昭和51年市議会により「地下水保全都市宣言」が決議され，昭和52年に地下水の採取管理を主な目的とした「熊本市地下水保全条例」が制定された。以降は産業構造等の変化等もあり，地下水採取量自体は減少傾向にある。しかし生活用水自体の地下水採取量は横ばい（約8400万 $m^3$ ）で，平成14年度で全地下水採取量（約12000万 $m^3$ ）に占める生活用水の割合は約72%（工業用水が約8%，農業用水が約10%）である。また，平成16年3月には熊本市地下水量保全プランが策定され，地下水採取量の抑制には生活用水の削減が重要であること，地下水涵養量増進のためには白川中流域が重要であるとしている。また市民・事業者・行政の役割分担を明確にし，“豊かな水を守り伝える”を基本目標として3つの基本方針（水のムダを省く，水をつくり出す，水の源を大切にす）を決め目標年次を平成20年度とし，年間地下水涵養量増加量，年間地下水揚水量削減量，一人一日あたりの生活用水使用量についてそれぞれ目標値を定めている。プランの評価・見直しは毎年行い，評価にあたっては節水推進パートナーシップ会議（仮称）において，評価結果等を説明し市民意見を聞く機会を設けることとしている。さらに，平成17年11月には，水質保全，水量保全，節水，地下水管理等，地下水を保全する上で取り組むべき内容を総合的に明らかにした条例に改正する必要があるとして法律の専門家や事業者代表，市民代表等からなる「熊本市地下水保全条例見直し専門委員会」を設置され，平成19年3月には専門委員会の審議を踏まえた条例見直しに関する提言がなされた。これらの提言を受けて熊本市は現在「熊本市地下水保全条例（素案）」を作成し，市民からの意見を広く募っている。

広域的な地下水の保全対策として，熊本市は熊本県と都市圏14市町村で構成された「熊本地域地下水保全対策会議」が昭和61年10月に設立され，平成3年からは「（財）熊本地下水基金」による助成等も行われている。平成7年2月には地下水利用者（地下水採取業者，農業等の関係団体及び県と都市圏14市町村）を中心として「熊本地域地下水保全活用協議会」が設立され，地下水利用者間の連

携強化に努めている。平成 8 年 3 月には熊本地域の地下水の質・量の総合的な保全と管理を目的に熊本県と熊本市は共同で、「熊本地域地下水保全総合管理計画」を制定した。平成 19 年 10 月に開催された熊本地域地下水保全対策会議（議長：潮谷義子知事）では熊本都市圏の水源となっている地下水を保全するための地下水管理計画を策定する方針を決め、概ね 20 年後を目途とした年間涵養量や節水などの目標値や施策、住民や事業者の役割を明記するとしている。またこれとは別に 5 年間の具体的な年次目標を定めた「行動計画」を平成 19 年度に策定することとしている。

#### 1. 4 千葉市<sup>6)</sup>

千葉市では工場排水等による地下水汚染や地盤沈下が発生するとともに、都市化の進展に伴いかん養域が減少し湧水の枯渇が懸念されている。千葉市内 16 ヶ所の観測井による地下水位での観測結果によると、昭和 60 年代頃までは上昇傾向にあった地下水位が一部に低下がみられたものの、近年ではほぼ横ばい傾向が続いている。土地利用状況を見ると、宅地等の割合は増加傾向にある一方、農地や林地は減少傾向を示している。地下水利用状況を見ると、1 日あたり地下水揚水量が昭和 47 年の 163000m<sup>3</sup>であったものが近年では約 40000m<sup>3</sup>と約 4 分の 1 に減少している。用途別にみると、農業用が昭和 47 年からほぼ 20000m<sup>3</sup>で推移しているのに対し、水道用、工業用は減少しており、特に工業用は昭和 47 年の約 80000m<sup>3</sup>から平成 15 年の約 10000m<sup>3</sup>と約 8 分の 1 と大きく減少している。地盤沈下は昭和 50 年頃までは年間 10cm 程度の沈下が各地で見られたものの、その後は概ね 5mm～10mm 程度で推移している。地下水の水質は有機塩素系化合物・六価クロム・砒素・硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素による汚染が顕在化してきており、砒素は地層・地質に由来する自然要因、硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素は生活排水や農業廃水に由来するものと考えられている。

平成 18 年に策定された千葉市地下水保全計画は、「千葉市環境基本条例」の基本理念や「千葉市環境基本計画」で目指す環境像に基づき、「市民共有の財産である地下水の恩恵を享受し、将来に継承していく」ことを目的として平成 22 年度を目標年度と定め、基本方針には、良好な地下水質の保全、豊かな地下水量の確保、地下水保全に向けた様々な活動の推進の 3 項目を掲げている。良好な地下水質の保全については地下水環境基準値のクリアを目標とし、豊かな地下水量の確保については雨水の浸透・地下水のかん養能力を平成 2 年度のレベルを維持すること、緑地等の整備を積極的に行うこと、地盤沈下を 1 年で 2cm 以下、あるいは長期にわたる継続的な地盤沈下を生じさせないなどとなっている。そして、地下水保全については市民、事業者、土地所有者、行政、NGO、研究機関それぞれの役割について提示し（市民の地下水保全活動への参加、雨水浸透施設の設置、施設内の緑化、排水処理施設設置、水循環に対する調査研究 など）その積極的な参加を促すとともに、近隣自治体と情報を交換しながら良好な地下水質・豊かな地下水量の確保を目指すとしている。

#### 1. 5 地下水管理の今後の方向性<sup>7)</sup>

わが国の地下水管理は先に述べたように地盤沈下対策に主眼をおいたものであり、その制度は一定の成果を収めており、一部の地域で依然として注意が必要ではあるが、全国的に見れば地盤沈下は沈静化傾向にある。しかし、地下水利用技術の進歩や地下水位上昇に伴う地下水利用ニーズの発生など地盤環境を取りまく社会環境が変化するとともに、水循環に対する関心が高まり、現行制度では十分に対応し切れていない状況が生じてきている。この様な状況の中で地下水の保全を図りつつ、地下水障害を防止し、貴重な水資源である地下水の有効利用を図るために水循環の視点から総合的な地下水管理制度を設けることが必要とされている。

## 2. 海外における地下水管理事例

地下水管理の問題はわが国だけでなく、世界中の様々な地域で問題化してきている。先進地域であるアメリカ合衆国ではカリフォルニア州、テキサス州およびアリゾナ州において地域の実情に応じた地下水管理組織が設けられており、地下水盆や地域単位で地下水管理がされている<sup>7)</sup>。また、アジア地域では地下水管理は人々の社会活動・経済活動に大きな関わりがある。例えば、ベトナムのハノイ市ではほぼ全ての水道水の水源を地下水に依存しており、ホーチミン市でも約 55%を地下水に依存している。また、インドネシアのバンドン市、中国の天津市などアジアの多くの都市で地下水は重要な水源となっている<sup>8)</sup>。

しかしながら、アジア地域では都市化・工業化に伴う急激な水需要の増大を背景に地下水が大量に揚水され、地下水位の低下、地盤沈下、地下水汚染の問題が顕在化してきており、都市域における持続的な地下水の利用は大都市部における深刻な問題となっている。ここでは、地下水管理の先駆的な事例として、英国ロンドンにおける事例とタイのバンコクにおける事例について紹介する。

### 2. 1 ロンドンにおける事例<sup>9), 10), 11), 12)</sup>

都市域における地下水位制御事例について調査した結果、英国ロンドンにおける広域地下水位制御が参考になるため、広域地下水位モニタリングと地下水管理について述べる。図 2.1 に示すようにロンドンの地形はちょうど盆地のような形状になっており、テムズ川が一番低い場所を流れている。ロンドン下部には石灰岩の帯水層上に砂や粘土の層が堆積しており、大部分は図 2.2 のように有名なロンドンクレイが分布している。帯水層の地下水は North Down や Chilterns から供給され、何千年もかけてロンドンまで到達すると言われている。19 世紀、ロンドンの地下水は産業用として大量に汲み上げられていたが、1960 年代には産業構造の変化とともに揚水量が減少し、地下水位が徐々に上昇してきており、地下水位の平均上昇速度はロンドン北西で非常に速く、年間 1.5m 水位が上昇している。このような地下水位の上昇により、トンネルや地下構造物に浮力が作用し、浮き上がり対策が急務となっている。一方で、地下水位が上昇したことによるトンネルや地下構造物への浸水・漏水が問題となる。一例として、ロンドン市内のトンネルから 1 日あたり 30000m<sup>3</sup> の水が汲み上げられており、Victoria 駅だけで 1 日 4500m<sup>3</sup> の水を汲み上げている。また、地下水位の上昇により粘土が飽和し、地盤の支持力低下が生じることが懸念されている。このため、1993 年に Thames Water 社と London Underground and the Environment Agency が GARDIT (General Aquifer Research, Development and Investigation Team) を設立した。ロンドンの地下水位を低下させるために、一日あたり 5000 万リットルの揚水を行うことを企画し、Thames Water 社が揚水量の 90%を請け負い、2005 年には 4500 万リットルの揚水を達成している。図 2.3 はロンドン広域の地下水位を観測するために設置された観測井の分布である。既存の観測井の他に広域的な揚水を行うために新に観測井が設置された。このため、図 2.4 に示すように広範囲における地下水位分布の観測が可能となり、揚水箇所や揚水量についての検討が可能となっている。図 2.5 は 1990 年から 2005 年にかけての揚水量の変遷を示している。GARDIT では Phase 1 ~4 までの段階毎に地下水揚水を増加させている。また、GARDIT では単に揚水を行うだけでなく、地下水位を適正に制御するため、地下水のサーチャージも行っており、図 2.6 に示すように 1997 年から揚水と合わせてサーチャージも行われている。

この様に、ロンドンの地下水制御事例はロンドン固有の地質条件等に依存する部分もあるが、都市部における地下水位制御事例としては非常に参考になる内容を含んでいる。

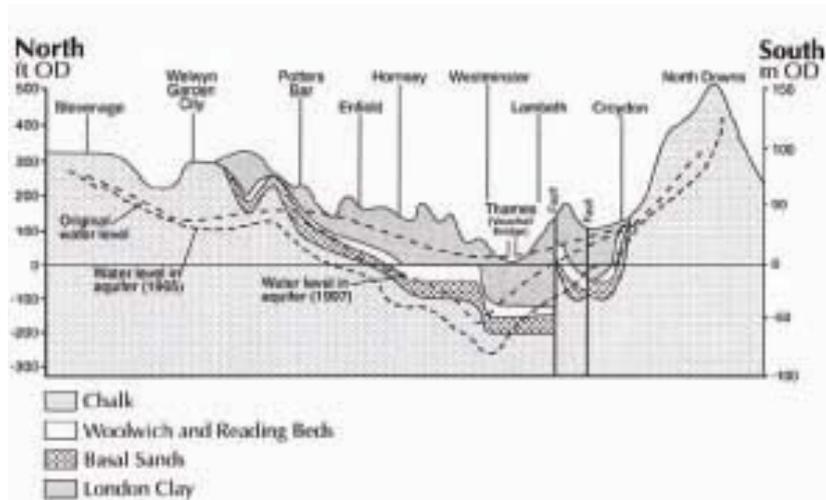


図 2.1 ロンドンの地質構造<sup>1,2)</sup>

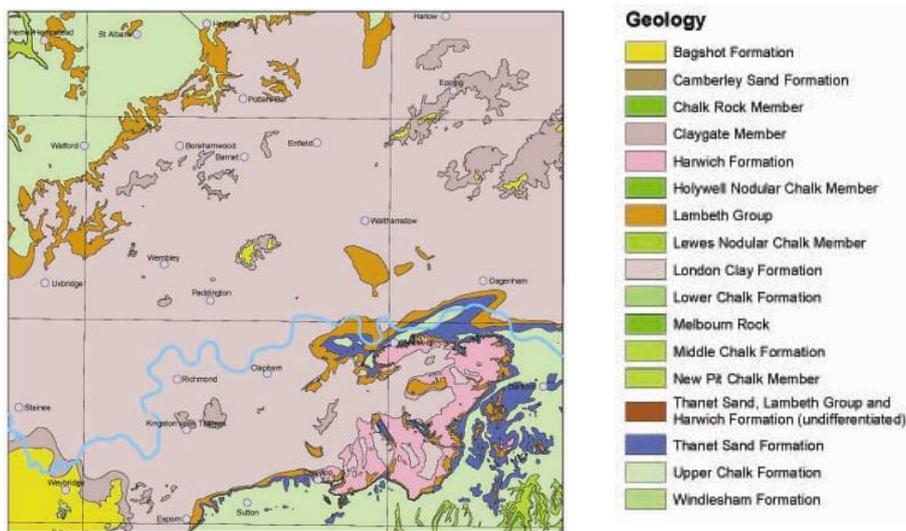


図 2.2 ロンドンの地質分布<sup>1,2)</sup>

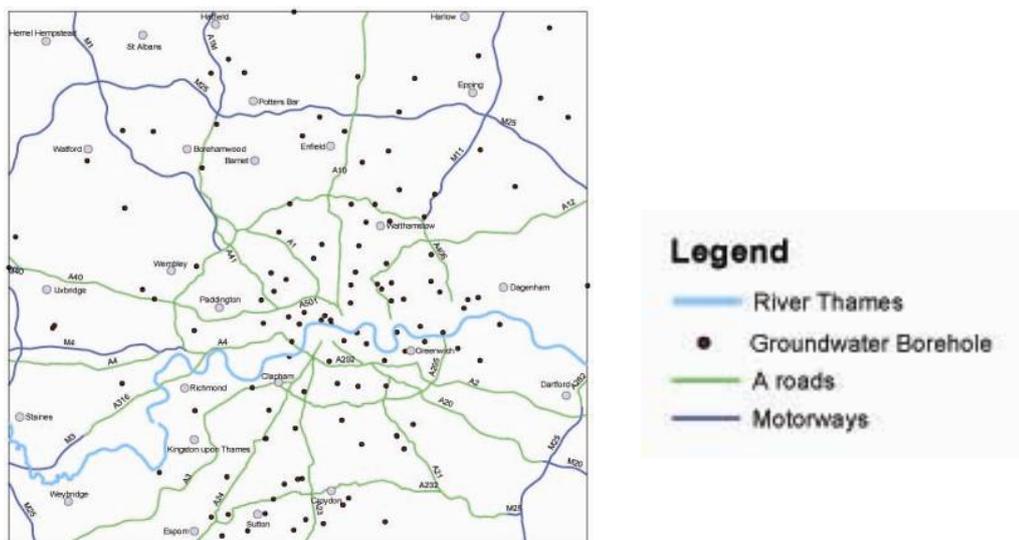


図 2.3 ロンドン周辺の観測井分布<sup>1,2)</sup>

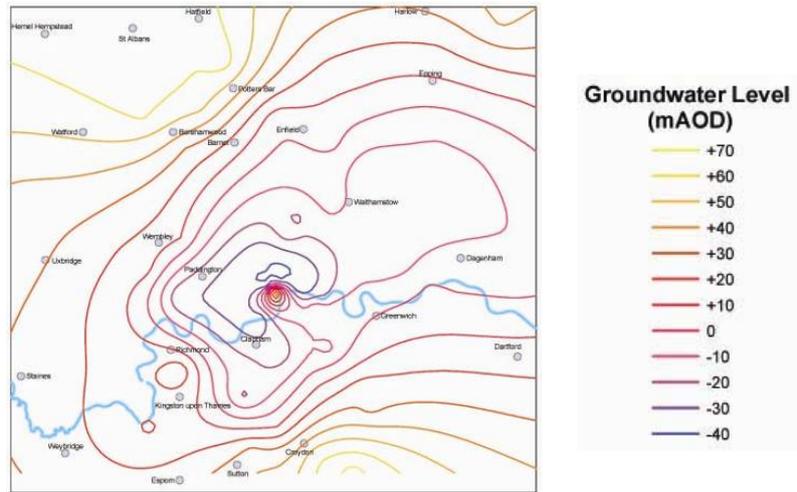


図 2.4 ロンドン周辺の地下水位分布 (2005 年 1 月) <sup>1 2)</sup>

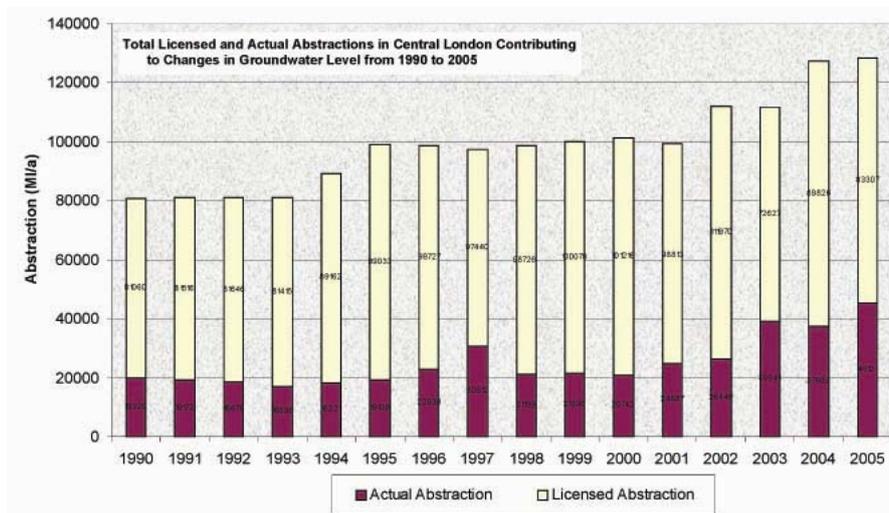


図 2.5 地下水揚水量の変遷 <sup>1 2)</sup>

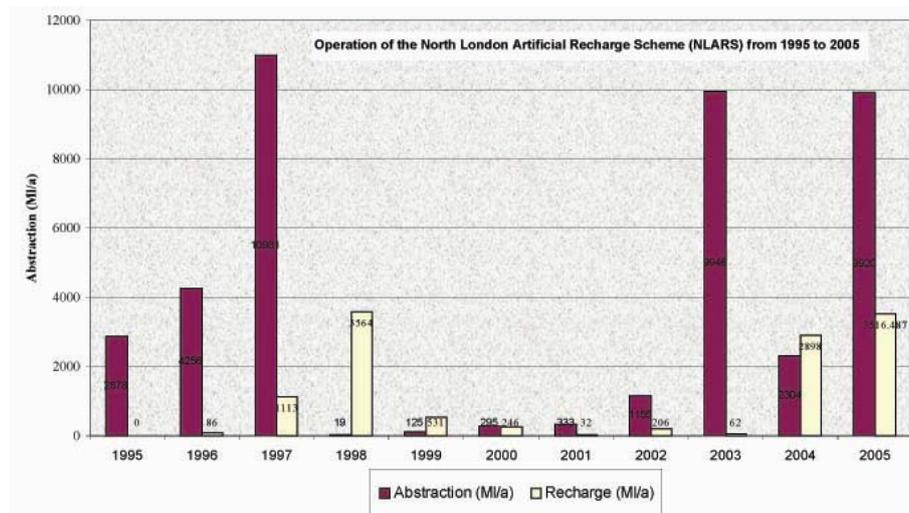


図 2.6 揚水量とサーチャージ量の変遷 <sup>1 2)</sup>

## 2. 2 バンコクにおける事例<sup>8)</sup>

バンコクおよびその周辺では 1650 年半ばから地下水の利用が急増し、1954 年にバンコクを含む 3 県で 8300m<sup>3</sup>/日であった揚水量が、1976 年には約 937000m<sup>3</sup>/日まで急増した。当初は表流水を補完する水道源として利用されていたが、1960 年代後半以降は工業用を中心とする揚水量が増加した。現在においてもバンコクにおける地下水利用の 60%程度は工業用である。このような急激かつ過度の地下水揚水は日本と同じく地下水位の定価と地盤沈下を引き起こし、1978 年から 1981 年に行われた調査では地下水位の低下は累積で 40~50cm、地盤沈下は平均 5cm/年、特に沈下が著しい地域では 10cm/年の沈下が観測された。

バンコクの地下水保全対策も日本と同じく地盤沈下減少の社会問題化を契機に制定された地下水法 (Groundwater Act, 1976) に始まり、天然資源環境省地下水資源局のもとに公水として地下水が管理されている。バンコクにおける地下水保全政策は以下の 4 点である。

- (1) 地下水利用ライセンス制による地下水揚水量の把握
- (2) 地下水利用への課金による揚水量削減
- (3) 首都圏水道公社による吸水地域拡大による地下水代替水の供給
- (4) 首都圏水道公社による地下水利用の表流水への転換

上記の地下水保全政策にもとづいて、地下水揚水規制の強化、規制地域の拡大、首都圏水道公社の供給量ならびに供給地域の拡大、地下水料金の段階的な引き上げ(2004 年には地下水保全料金の追加)などを行った。図 2.7 はバンコクの地下水揚水量と水道供給および地下水利用料金の推移を示している。地下水利用はピーク時の 464000 (1980 年) から 6500 (2003 年) まで減少している。この結果、2000 年以降地盤沈下は沈静化する傾向を見せているが、バンコク周辺では 2.5cm/年 (2003 年) 程度の沈下が現在でも観測されている。

バンコクでの地下水保全政策は経済的手法の導入による地下水需要の削減という手法を用いており、地下水の持続的な利用という都市部の水資源管理への先駆的な事例として有益なものである。

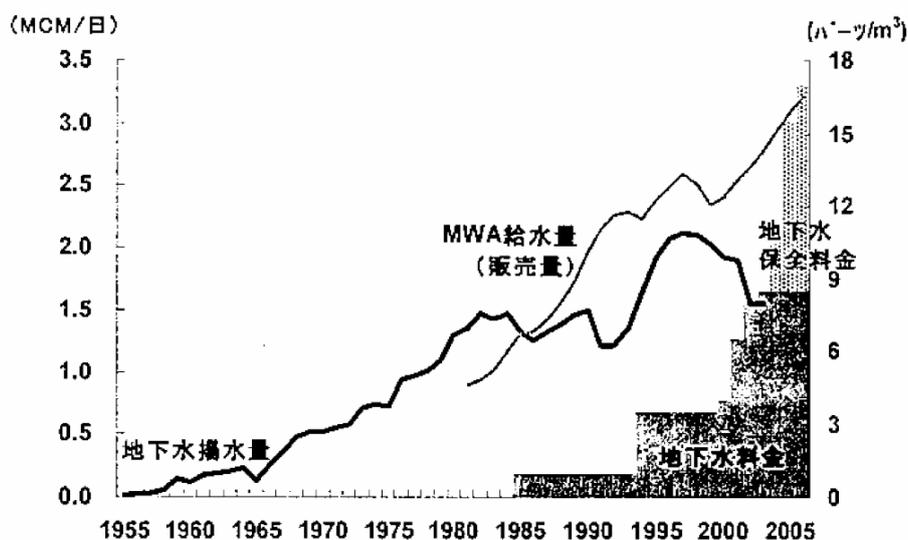


図2.7 バンコクの地下水揚水量と水道供給および地下水利用料金の推移<sup>8)</sup>

<参考文献>

- 1) 大野市市民福祉部生活環境課：大野市地下水保全管理計画～持続的な地下水の保全と利用の調和を目指して～，2005.
- 2) 富山県：富山県地下水指針概要版，2006.
- 3) 熊本市：熊本市地下水量保全プラン～豊かな水を守り伝えるために～，2004.
- 4) 熊本市水保全課：平成17年度熊本市水保全年報，2005.
- 5) 西日本新聞朝刊：県と14市町村熊本都市圏の地下水保全を長期管理計画策定へ，2007年10月25日付.
- 6) 千葉市：千葉市地下水保全計画，2006.
- 7) 日本技研コンサルタント：平成19年度地盤沈下対策再評価検討調査報告書，2008.
- 8) 片岡八東：アジアの地下水管理政策—大阪とバンコクの事例—，21世紀COE「都市空間の持続再生学の創出」環境マネジメントグループ戦略研究公開シンポジウム「ひとが変える都市の地下水」，pp.137～142，2007.
- 9) [http://www.thames-water.com/en\\_gb/Downloads/PDFs/PBS\\_Central\\_London\\_Rising\\_Groundwater\\_584kb.pdf#search='GARDIT london groundwater'](http://www.thames-water.com/en_gb/Downloads/PDFs/PBS_Central_London_Rising_Groundwater_584kb.pdf#search='GARDIT london groundwater') (英文).
- 10) <http://www.groundwateruk.org/html/issues9.htm> (英文).
- 11) <http://www.london.gov.uk/assembly/envmtgs/2001/envjul10/minutes/envmtgjul10item2.pdf#search='GARDIT london groundwater'> (英文).
- 12) [http://www.environment-agency.gov.uk/commondata/acrobat/gw\\_report\\_june2007\\_1831580.pdf#search='GARDIT london groundwater'](http://www.environment-agency.gov.uk/commondata/acrobat/gw_report_june2007_1831580.pdf#search='GARDIT london groundwater') (英文).