

持続可能な地下水の保全と利用に向けて

(地下水・地盤沈下検証結果報告書)

令和4年7月

東京都環境局

内容

はじめに.....	1
1. 東京の地形.....	3
引用文献.....	6
2. 東京の気候.....	7
2-1 気象条件	8
2-2 近年における気象変化	9
引用文献.....	10
3. 東京の人口.....	11
3-1 人口推移と水利用	11
(1) 上水道の整備	11
(2) 工業用水の整備	13
3-2 土地利用	14
引用文献.....	15
4. 東京の地質.....	17
引用文献.....	25
5. 東京の地下水.....	27
5-1 地下水とは	27
5-2 東京の地下水.....	29
(1) 東京の帯水層	29
(2) 不圧帯水層における地下水の流れ	30
(3) 被圧帯水層における地下水の流れ	31
引用文献.....	32
6. 東京の湧水.....	33
引用文献.....	36
7. 東京の地下水に関わる問題	37
7-1 地盤沈下の発生.....	37

(1) 地盤沈下の歴史	38
(2) 地盤沈下対策	40
コラム：地盤沈下対策や調査研究に従事された方々の記録	48
7-2 地盤沈下の損害への対策	52
7-3 湧水の枯渇	54
7-4 地下構造物の浮き上がり	55
引用文献.....	56
8. 東京の地下水と地盤の状況	57
8-1 モニタリング方法	58
(1) 地下水位観測	58
(2) 地盤変動量の調査	62
(3) 地下水揚水量の調査	63
8-2 東京全域のモニタリング結果.....	64
(1) 地下水位のモニタリング結果	64
(2) 地盤のモニタリング結果.....	65
(3) 地下水揚水量の状況	68
8-3 区部低地部におけるモニタリング結果	73
(1) 地下水位のモニタリング結果	74
(2) 地盤のモニタリング結果.....	75
(3) 地下水揚水量の状況	81
8-4 区部台地部におけるモニタリング結果	82
(1) 地下水位のモニタリング結果	83
(2) 地盤のモニタリング結果.....	84
(3) 地下水揚水量の状況	88
8-5 多摩台地部におけるモニタリング結果	89
(1) 地下水位のモニタリング結果	90
(2) 地盤のモニタリング結果.....	92
(3) 地下水揚水量の状況	97
引用文献.....	98
9. 地下水の実態把握に向けた調査研究	99
9-1 実態把握の位置づけ	99
9-2 地下水流動系の解明	100
(1) 主要無機溶存イオンによる流動経路の推定.....	102
(2) 水素・酸素安定同位体比による涵養地域の推定	103

(3) 地下水の滞留時間推定.....	104
(4) 本研究の調査対象	105
(5) 地下水の採水方法	106
(6) 現在までの取組状況	107
9-3 地下水の揚水等の影響予測	110
(1) 研究の背景と目的	110
(2) 研究の手法.....	111
(3) 現在までの取組状況	112
引用文献.....	116
10. 持続可能な地下水の保全と利用に向けて	117
10-1 東京の地下水位と地盤沈下の状況等に関する検証結果	118
(1) 東京の地下水位と地盤沈下の状況（8-2～8-5）	119
(2) 地下水の実態把握にむけた調査研究	119
(3) 考察.....	119
10-2 持続可能な地下水の保全と利用の実現に向けて	119
(1) 地下水実態把握の推進.....	119
(2) 「地下水ガバナンス」へ向けて	120
(3) その他（非常災害時における地下水利用）	121
10-3 終わりに.....	122

はじめに

東京都は、平成 17 年度から地下水対策検討委員会において、東京の地盤沈下と地下水の現状の検証を行い、その結果を 5 年ごとに公表してきました。

前回、平成 28 年度に公表した報告書「これからの地下水保全と適正利用に関する検討について」において、国や社会状況の変化を踏まえたより適正な地下水管理の方法を検討していくために、「今後の地下水方策の方向性」について整理しました。

また、「地下水の保全と適正利用」のあり方を議論する下地作りのためには、地下水の多様な実態を正しく把握する必要があることから、東京都は、平成 29 年度から学術機関との連携による共同研究を新たに開始しました。令和 3 年度の地下水対策検討委員会においては、これまでの検証に加え、これらの実態把握に向けた調査研究の進捗と成果について検証しました。(主な検証事項は次ページのとおり)

平成 26 年 7 月施行の水循環基本法において、地下水を含めた水を「公共性の高い国民共有の財産」として位置づけたことをはじめ、近年の地下水を含む水循環に関する状況は大きく変化しています。特に、国は水循環基本法の改正や水循環基本計画の改定などにより、地下水の保全と適正利用に向けて地下水マネジメントを推進していく必要があるとの認識に立っています。

東京都においても、今後も持続可能な地下水の保全と利用を目指していく必要があることから、本報告書では、将来的に目指す多様なステークホルダーが相互に協力する地下水ガバナンスのイメージを整理しています。

また、地下水については一般に知られていない点が多いことから、地下水の現況や課題、最新の研究成果である実態把握の内容について分かりやすく情報提供できるように、初めて「東京の地下水・地盤環境レポート」を作成しました。

<主要な検証事項>

地下水位と地盤沈下の状況

ここ数年の都内全域における地下水位[※]は全域的に上昇傾向ですが、上昇幅は小さくなっています。

また、現在では地盤沈下は落ち着いていますが、各地域における地層別（浅層、深層）の収縮・膨張についても検証を行いました。

地下水流動系の解明【地下水の実態把握に向けた調査研究】

地下水の涵養源や流動経路、滞留時間の解明に向けて、地下水中に溶け込んでいる様々な物質をトレーサーとして用い研究を行っています。これまでに東京都の保有する観測井等や河川水、降水の採水・分析を行い、これらのデータを解析し地下水の流動系の解明を行いました。

地下水の揚水等の影響予測【地下水の実態把握に向けた調査研究】

どこでどのくらい揚水をすると、どの地盤にどのくらいの影響が生じるかを予測する、信頼度の高いシミュレーションモデルの構築を目指しています。現在は、地盤沈下リスクを丁寧に評価すべき地域について、逆解析による地盤情報の推定を行い、一次元地盤沈下モデルを作成しました。

※地下水位：本報告書では「水理水頭」（一般的には、標高で表した水位）を指します。

1. 東京の地形

東京都の地形を西から東方向にみると、標高 2 千～数百mの「山地」(最高地点は雲取山 2,017m)、続いて、標高 350～55m程度の丘陵、標高 50～8m程度の台地(武蔵野台地)、標高約 8m以下の低地が分布しています。山地や丘陵は、尾根や谷の起伏に富みますが、台地や低地は比較的平坦な面からなります。

石神井川や野川などの台地上の河川は、大局的には東京湾に向かって西から東へ流れています。これに対して隅田川や荒川、江戸川などの低地に位置する川は、北から南に流れていることが特徴です(図 1-1 参照)。

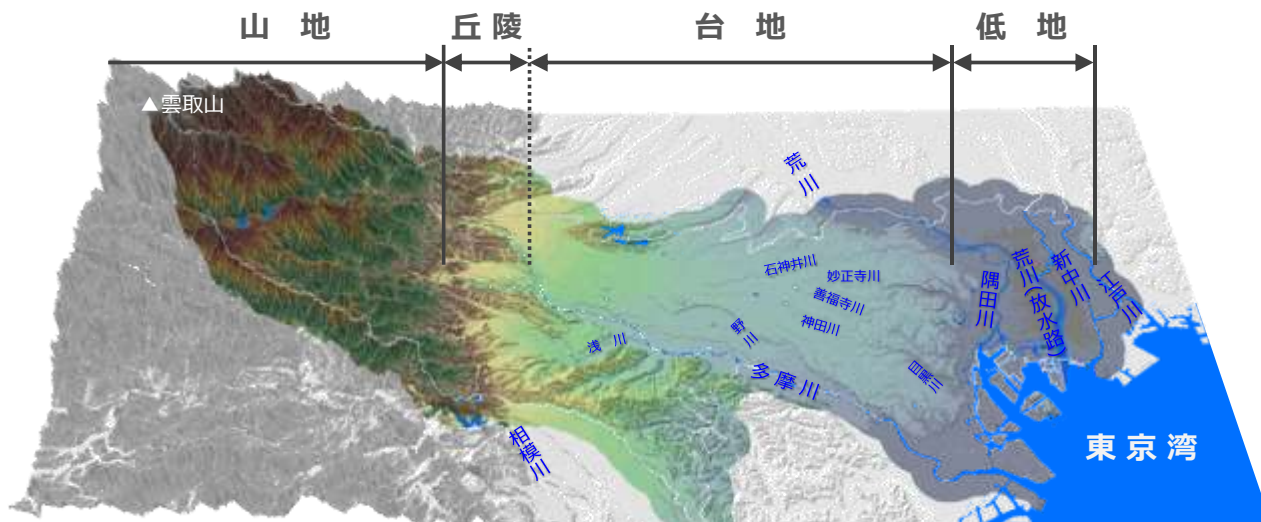


図 1-1 東京都の地形鳥瞰図

基盤地図情報 5m メッシュ標高データ^[1]を用いて作成

比較的平坦な台地も詳細に観察すると、平坦面(段丘面)と急崖(段丘崖)からなる階段状の地形を複数段確認することができます。武蔵野台地では、地形的に古い方から多摩面、下末吉面、武蔵野面、立川面と呼ばれる4つの河岸段丘が広がり、多摩川に向かって徐々に平坦面の標高が低くなっています(図 1-2～図 1-4 参照)。各段丘面を隔てる急崖のうち、特に立川崖線と国分寺崖線は湧水が多く、市街地の親水空間として、また野鳥などの生活空間として貴重な自然地となっています。



図 1-2 東京都全域の地形区分図

(一社)東京都地質調査業協会 技術ノート No.41^[2]に加筆



図 1-3 多摩川左岸に見られる段丘崖の地形鳥瞰図

基盤地図情報 5m メッシュ標高^[1]を用いて作成(縦スケールを 30 倍)

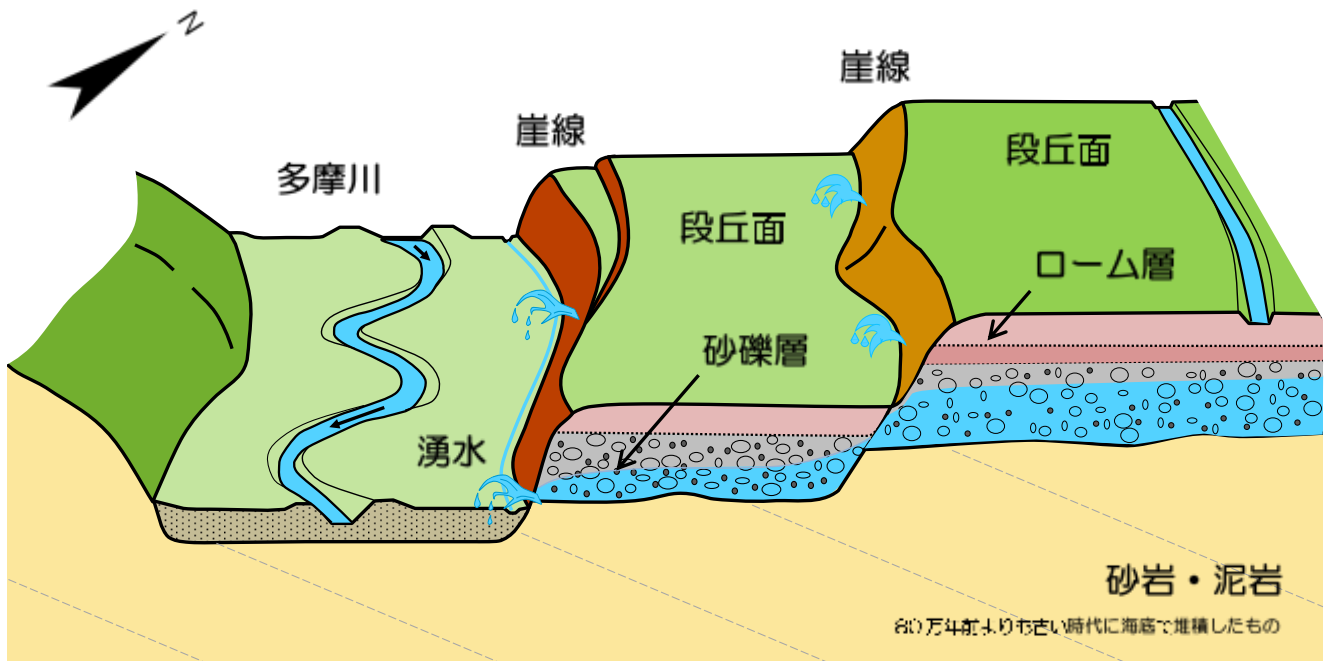


図 1-4 多摩川左岸の段丘面と断面図のイメージ

東京を含む広大な関東平野では、度重なる気候変動や海面の上昇・低下の繰り返しが起きました。東京の階段状の段丘は、このような海面変動と地殻変動が複雑に絡み合って、今から約10万年～2万年前頃にかけて形成されたものです。

①最終間氷期(12～13万年前)

現在よりも海水面が高く、東京は西側の山地のみが陸となっており、山地から河川を通じて運搬、供給された礫・砂・泥が、海底へと堆積していました。

②最終氷期(1.5～2万年前)

寒冷化に伴って気温と共に海水面が大きく低下して、現在よりも広範囲に陸が広がっていたと考えられています。古東京川では、この間に河川が地面を削り取り、深い谷が形成されました。

③後氷期(6000年前、縄文時代)

温暖化気候により海水面が上昇し、水面下では粒子の細かいシルトや粘土が、奥東京湾の過去の谷を埋めるように堆積しました。

④現在

縄文時代以降は海水面が低下して、水を含む軟らかい堆積物を主体に構成された低地も陸となり、現在の地形が形作られました。

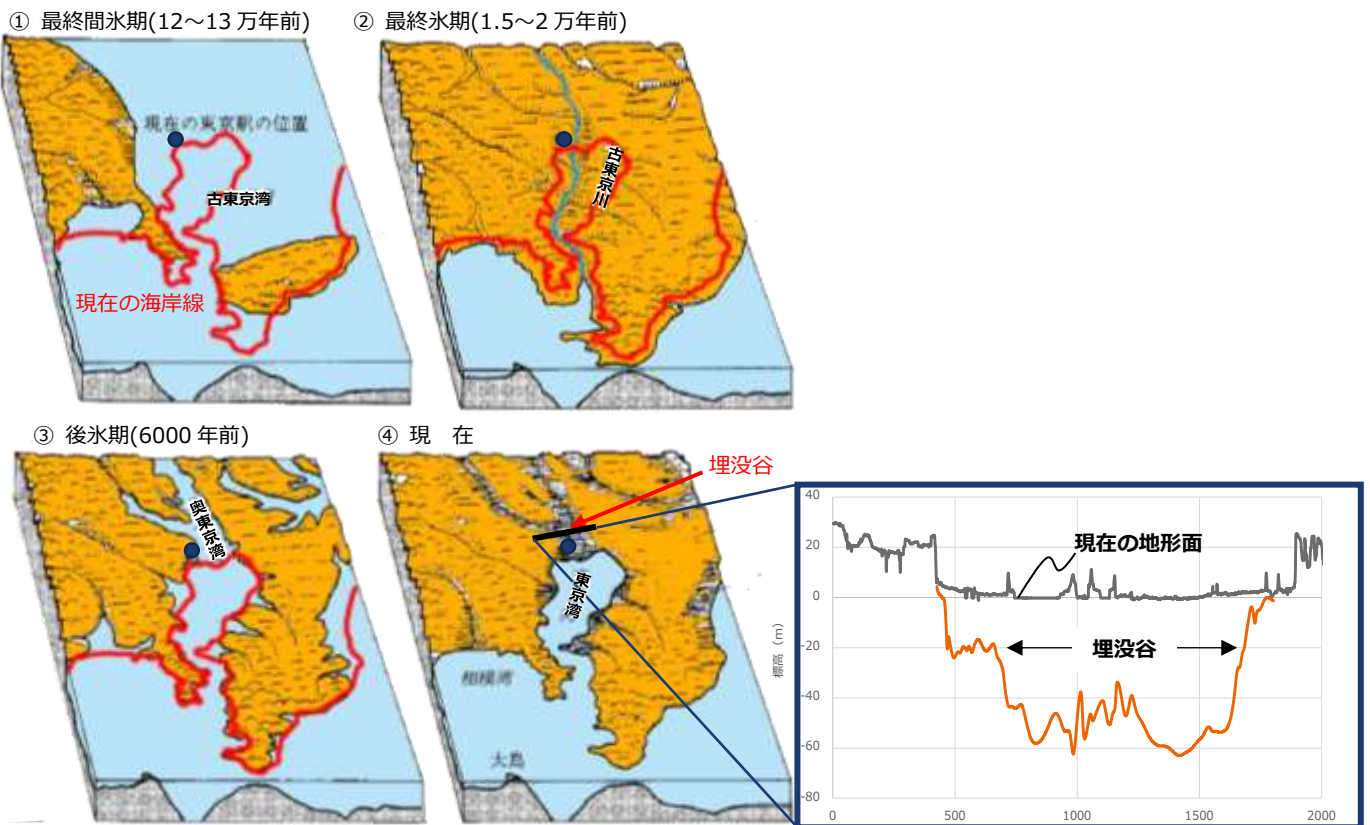


図 1-5 関東平野(南部)の地形変遷と埋没谷の分布

貝塚爽平「平野と海岸を読む(自然景観の読み方 5)」(1992) [3]に加筆

引用文献

- [1] 国土交通省 国土地理院, 基盤地図情報ダウンロードサービス, <https://fgd.gsi.go.jp/download/menu.php>.
- [2] 一般社団法人東京都地質調査業協会, 技術ノート No. 44, https://www.tokyo-geo.or.jp/technical_note/, 2011年.
- [3] 貝塚爽平, 平野と海岸を読む (自然景観の読み方 5), 岩波書店, 1992年.

2. 東京の気候

地球上の「水」は、目に見える海水や河川水だけでなく、海洋、地表が太陽エネルギーを受けて水が蒸発し、上空で冷やされて形成された雲や雨、雪などがあります。雨や雪は地表へと降り注ぎ、その一部は蒸発散によって大気へと還っていきます(図 2-1 参照)。樹木や地表から地下にしみ込んだ水は、地下水となって河川から再び海へ戻り、絶えず循環しています。このような地球規模での水の循環を「水循環(または水文循環)」といいます。このように、水資源はただ貯留(ストック)されているだけでなく、絶えず形を変えながら水循環のサイクルを流動(フロー)しています。人類が利用している水資源もこのサイクルの一部であり、健全で持続的な水利用には水循環のバランス(水収支)を保つことが重要となります。

水循環は気候と密接な関係にあり、降水量や気温などの変化が循環経路や循環速度に影響しています。水循環の把握や保全のためには、地域の気候への理解を深めることも大切です。

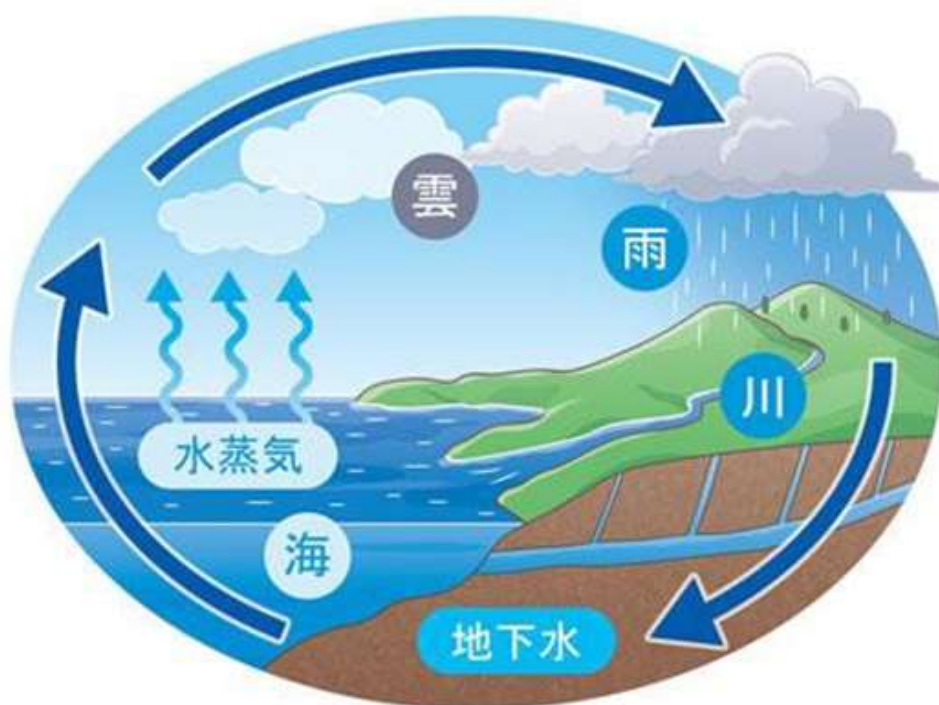


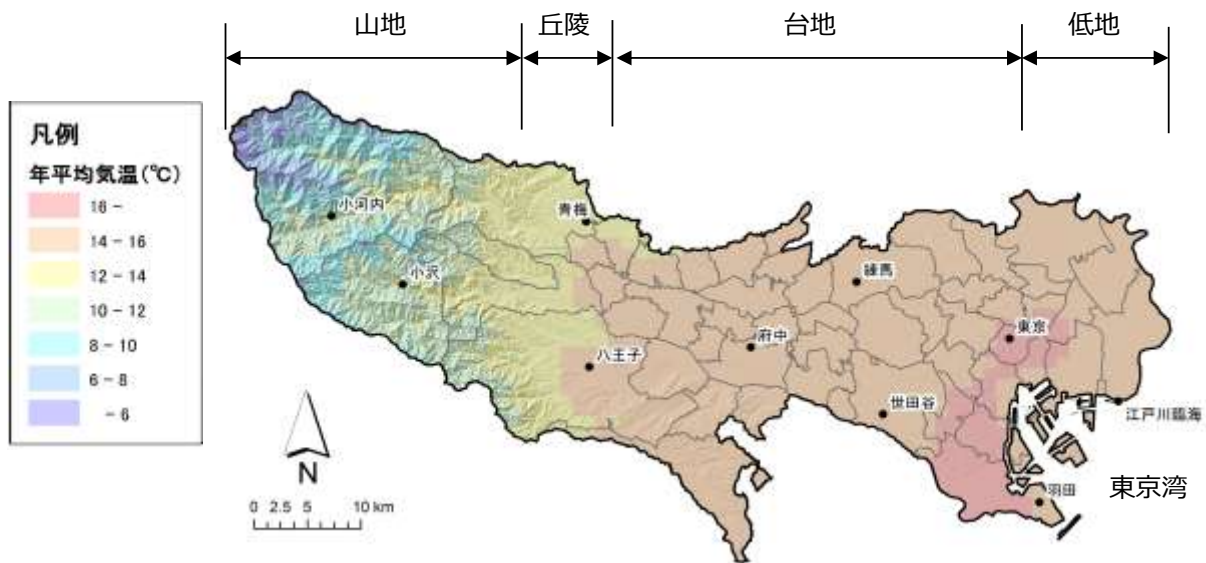
図 2-1 水循環の概念図

政府広報オンラインホームページ^[1]より

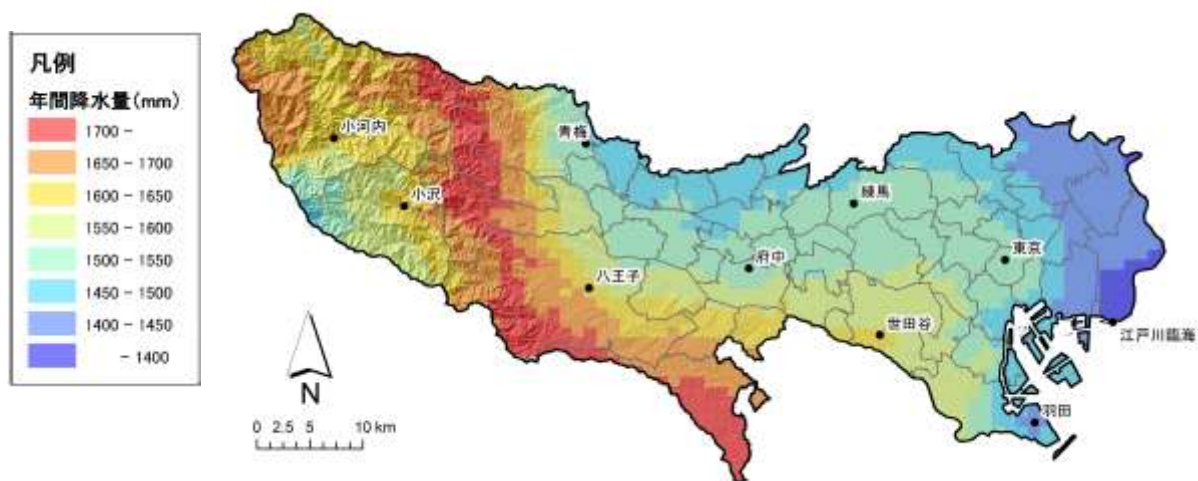
2-1 気象条件

東京都の年間平均気温は 6～16℃程度と幅があり、標高の高い山地で低く、台地・低地では高い傾向にあります。特に、東京湾沿岸の都心では、周辺よりも気温が高いヒートアイランド（都市温暖化）が生じていることが分かります(図 2-2 (a)参照)。

東京都の年間降水量は、1400mm～1700mm 程度であり、全体として山地・丘陵が多く、低地で少ない傾向にあります。特に、小沢や八王子付近の山地と丘陵の境界付近は、降水量の多い地域であることが分かります(図 2-2 (b)参照)。



(a)気温



(b)降水量

図 2-2 東京の気象特性

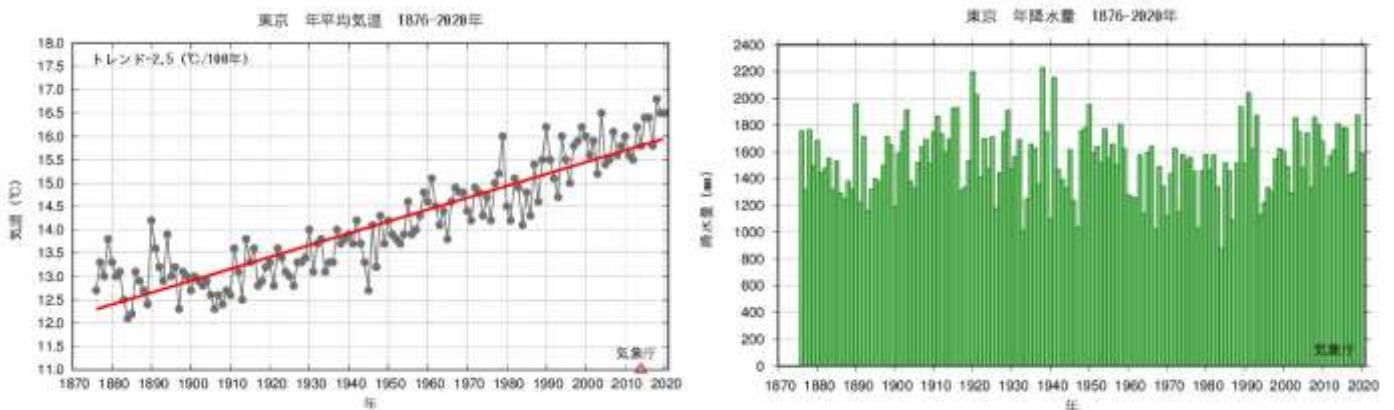
基盤地図情報メッシュ平年値 2010^[2]を用いて作成、地点名は気象庁アメダス観測所を示す

2-2 近年における気象変化

図 2-3 に示すとおり、東京の年平均気温は 100 年で 2.5℃上昇していますが、年間降水量は大きく変わっていません。一方で、平成 24 年(2012)年 11 月に学識経験者等からなる「中小河川における今後の整備のあり方検討委員会」が行った報告によると、都内に設置された観測所において、時間 50mm を超える降雨の発生率が増加傾向にあることが示されています(図 2-4 参照)。

また、時間 50mm を超える降雨の発生頻度は、特に都市温暖化傾向にある環状六号線から環状八号線付近で頻発しています(図 2-5 参照)。

局地的大雨(いわゆるゲリラ豪雨)の際には短時間で多量の雨水が降り注ぐため、地表面から浸み込みきれない雨水は河川や海へと直接流れてしまいます。今後局地的大雨の頻度が増すことで、地下水涵養量が減少してしまうため、将来的に湧水量の減少・枯渇や、水循環が大きく変化する可能性もあります。



※△：長期変化傾向(赤直線)を評価するにあたり、観測場所の移転による影響は補正されており、その前後でデータは均質であることを示す

図 2-3 東京の年平均気温と年降水量の推移

気候変動適応情報プラットフォーム^[3] 気象観測データ(気象庁提供)より

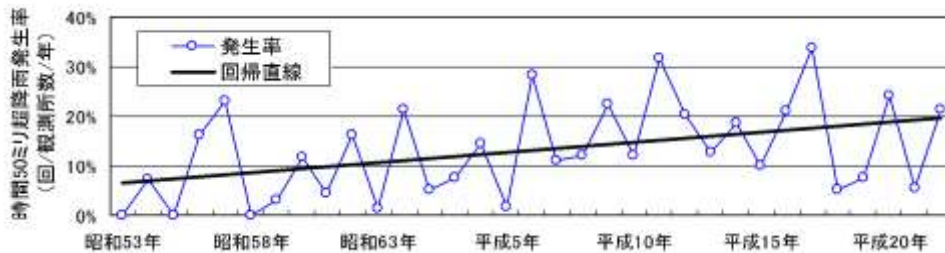
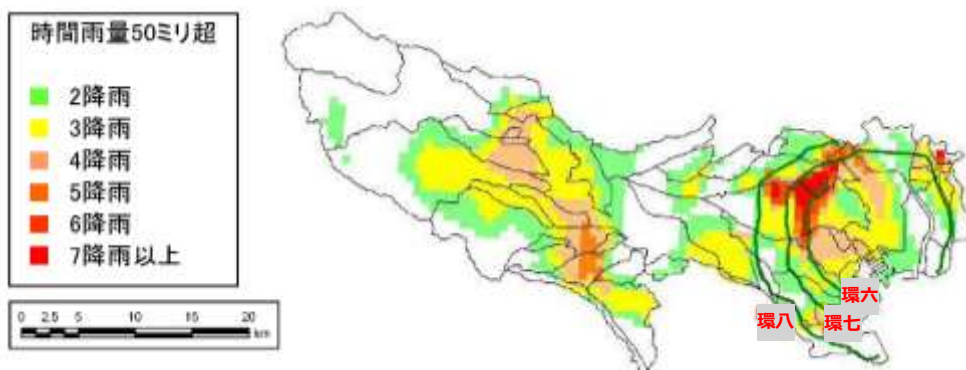


図 2-4 時間 50mm を超える降雨の発生率経年変化

「東京都内の中小河川における今後の整備のあり方について最終報告書」(2012)^[4]より



※凡例中の「降雨」とは、50mm/時間を超える降雨の発生回数のこと

図 2-5 時間 50mm を超える降雨の発生状況

「東京都内の中小河川における今後の整備のあり方について最終報告書」(2012)^[4]に一部加筆

引用文献

- [1] 内閣府大臣官房政府広報室, 政府広報オンライン 飲み水はどこから?使った水はどこへ?暮らしを支える「水循環」, <https://www.gov-online.go.jp/useful/article/201507/4.html>, 2021年.
- [2] 国土交通省 国土地理院, 基盤地図情報ダウンロードサービス, <https://fgd.gsi.go.jp/download/menu.php>.
- [3] 機構変動適応情報プラットフォーム (A-PLAT) , 気候変動の観測・予測データ 観測データ:気候 (東京都) , https://adaptation-platform.nies.go.jp/map/Tokyo/index_past.html.
- [4] 東京都建設局, 東京都内の中小河川における今後の整備のあり方について最終報告, https://www.kensetsu.metro.tokyo.lg.jp/jigyo/river/chusho_seibi/chusho_arikata/index_chusho_arikata.html, 2012年.

3. 東京の人口

3-1 人口推移と水利用

(1) 上水道の整備

東京の人口は、太平洋戦争の一時期を除いて増加傾向にあります(図 3-1 参照)。特に高度経済成長期には急激な人口増加に伴う水需要増加により、まずは安定した飲料水の確保を目的とした水源の確保と、上水道の整備が課題でした。

徳川家康が、天正 18 (1590) 年に江戸へ入府して以降は、多摩川水系の表流水が主な水道水源として用いられており、明治 31 (1898) 年には玉川上水の導水路を活用して、現在東京都庁が存在する場所に淀橋浄水場が完成し、この頃から東京の近代水道の歩みが始まりました。

戦後の復興期から高度経済成長期に入ると水道需給は逼迫し、これを補うように小河内ダムが昭和 32 (1957) 年に竣工しましたが、昭和 39 (1964) 年の東京オリンピック開催時には、既に多摩川水系における水源確保は限界を迎えてしまいました。この課題を解決するため、水道水源をより遠くの表流水に求めることで対応した結果、利根川を水源とする拡張事業が行われました。そのため現在の東京では、図 3-2 に示すように荒川水系や利根川水系の表流水を水道水源に利用している自治体が大半を占めています。一方で、図 3-2 の白抜きで示した市町村は東京都水道局の管轄外に当たり、主に市町村域の地下水や表流水を水道水源に利用しています。

東京都における 1 日の最大取水量の割合を水源別に整理したものを図 3-3 に示します。東京都の取水量の大半はダム放流水や表流水が占めていますが、現在でも伏流水や井戸水などの地下水も水道水源として利用されています。

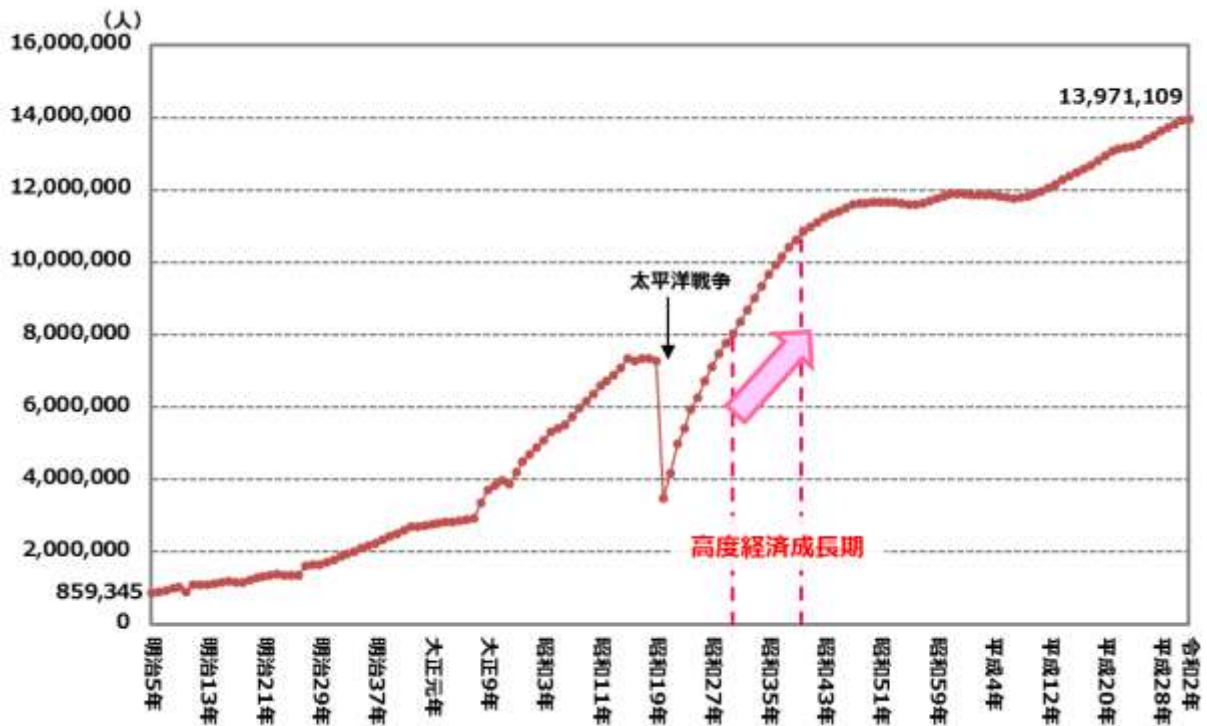


図 3-1 東京の人口の推移

東京都総務局総計部「東京都の統計」^[1]より

東京の水道水源と浄水場別給水区域

～暮らしと都市を結ぶ水道～

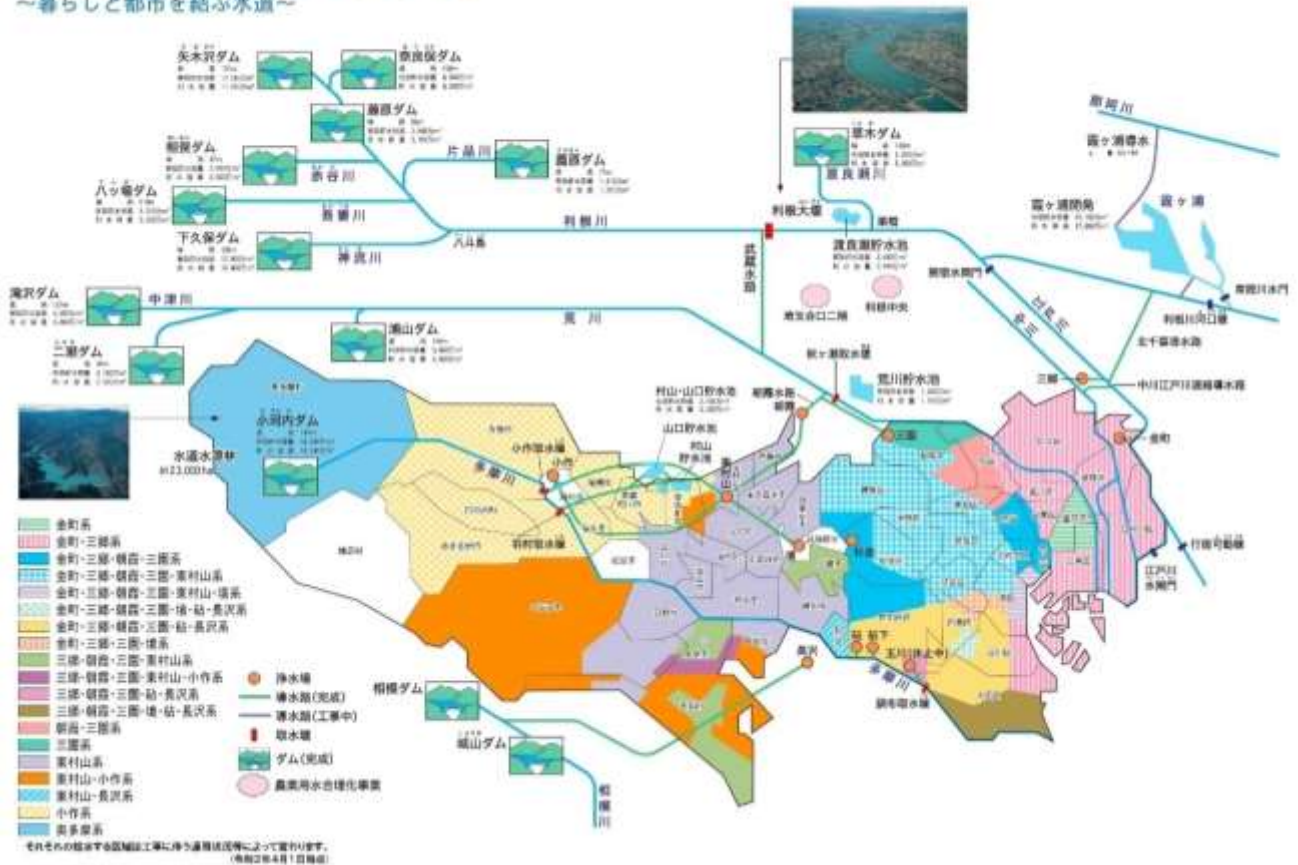


図 3-2 東京の水道水源と浄水場別給水区域

東京都水道局ホームページ^[2]より

現在でも水道水源として地下水を利用

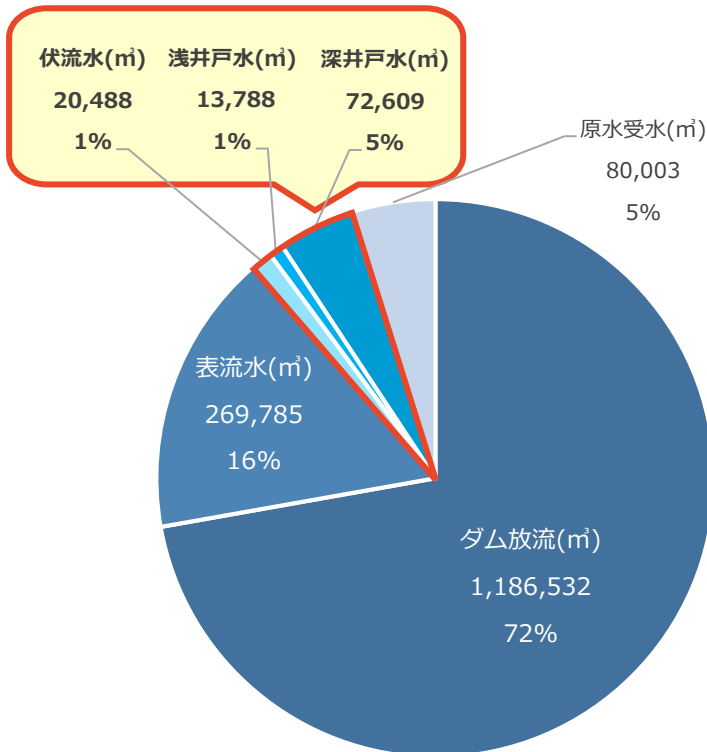


図 3-3 東京都の水道水源別計画 1 日最大取水量 (H30 年度)

日本水道協会水道統計編纂専門委員会「水道統計の経年分析 (平成 30 年度)」^[3]より

(2) 工業用水の整備

区部低地部では、16 世紀（江戸時代）から河道の付け替えとともに都市が発展しはじめ、特に高度経済成長期にかけて、急激に都市化が進行しました。都市化の過程では、土地の造成や干拓・埋立てによる陸地の拡大や、工業用水としての被圧地下水の利用や水溶性天然ガス採掘（かん水の汲み上げ）が盛んに行われました。

これら多量の地下水揚水の結果、広域的な地盤沈下を招いてしまったことから、地下水揚水規制の代替水を供給するための工業用水道事業が行われ、区部低地の大部分に配水されるようになりました。工業用水の供給とともに、地下水揚水規制の強化、揚水規制区域の拡大等が図られた結果、昭和 50 年代以降、都内全体の地下水揚水量は減少傾向にあり、地盤沈下も沈静化しています(図 3-4 参照)。

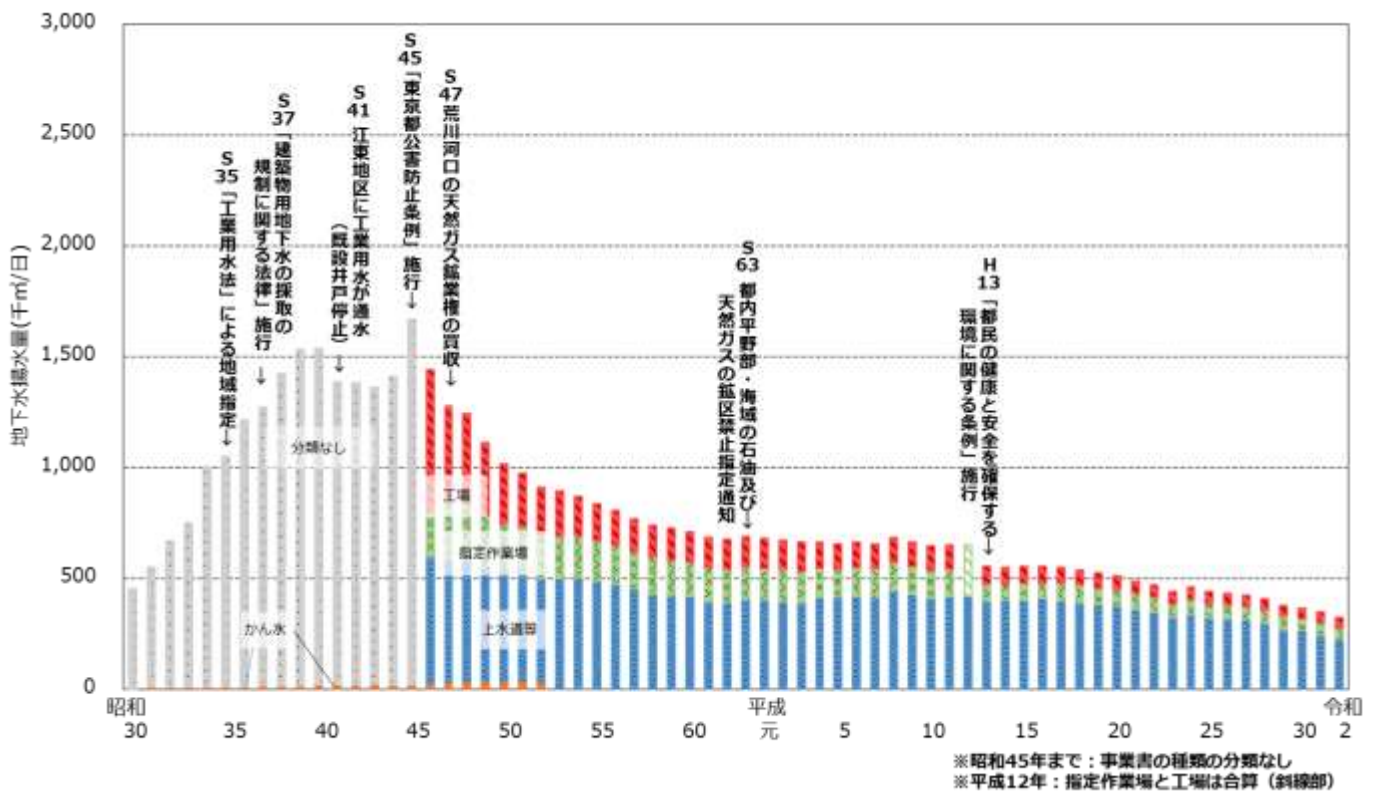


図 3-4 東京都における地下水揚水量の推移

南関東地方地盤沈下調査会「南関東地域地盤沈下調査対策誌」（昭和 49（1974）年）^[4]
 東京都公害局 「地下水収支調査報告書」（昭和 55（1980）年）^[5]
 遠藤毅「東京下町低地における“ゼロメートル地帯”展開と沈静化の歴史」（平成 13（2001）年）^[6]
 東京都環境局「令和 2 年 都内の地下水揚水の実態(地下水揚水量調査報告書)」（令和 4（2022）年）^[7]より作成

3-2 土地利用

明治 21(1888)年の東京都では、水はけのよい台地は畑、低地には田が広がっており、地形や土地の特性を生かした耕作が行われていました。この頃は、現在の皇居周辺のみならず市街地が密集していましたが、人口増加に伴って土地利用も大きく変化し、都市化が時代とともに西側へ広がっていきました。

都市化が進むと利便性は高まりますが、畑や緑地から家屋や舗装路へと変化して地面を流れる水量が増加し、地下に浸透する水量が減少するなど、水循環にも大きな変化を与えている可能性があります。

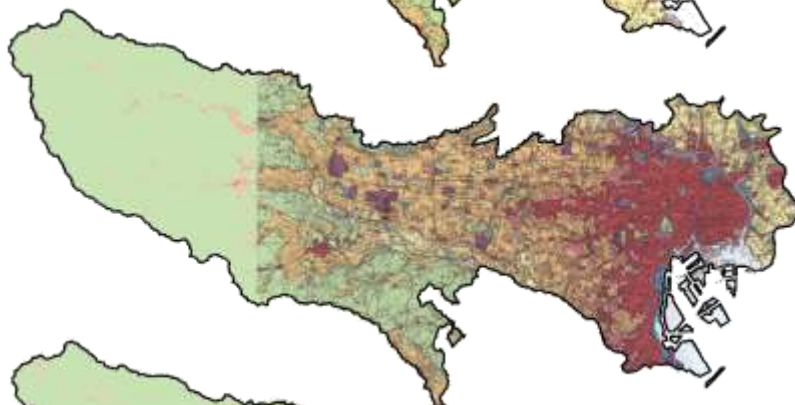
明治 21(1888)年



大正 3(1914)年



昭和 21(1946)年



昭和 50(1975)年

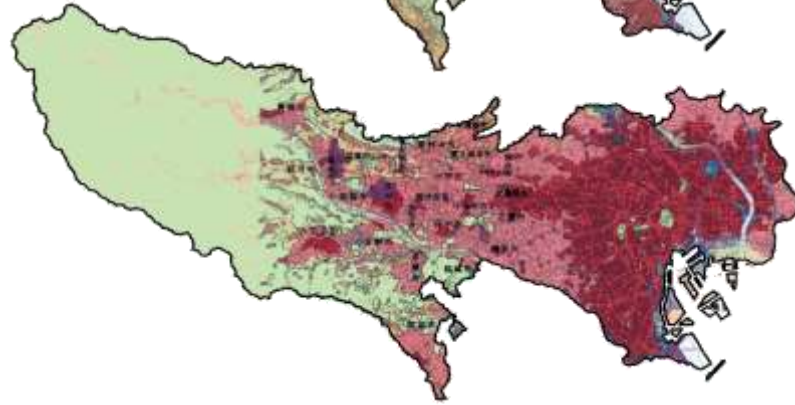


図 3-5 都市の発展経過と土地利用の変遷

国土地理院「地域計画アトラス 国土の現況とその歩み」^[8]では山地部が含まれていないため、土地利用細分メッシュ昭和 51 年(1976)^[9]を用いて補完し作成

引用文献

- [1] 東京都総務局統計部, 東京都の統計, <https://www.toukei.metro.tokyo.lg.jp/jugoki/ju-index.htm>.
- [2] 東京都水道局, 東京の水道水源と浄水場別給水区域,
<https://www.waterworks.metro.tokyo.lg.jp/suigen/map.html>.
- [3] 日本水道協会水道統計編纂専門委員会, 「水道統計の経年分析 (平成 30 年度)」, 2020 年.
- [4] 南関東地方地盤沈下調査会, 「南関東地域地盤沈下調査対策誌」, 1974 年.
- [5] 東京都公害局, 「地下水収支調査報告書」, 1980 年.
- [6] 遠藤毅, 「東京下町低地における“ゼロメートル地帯”展開と沈静化の歴史」, 2001 年.
- [7] 東京都環境局, 「令和 2 年 都内の地下水揚水の実態 (地下水揚水量調査報告書)」,
https://www.kankyo.metro.tokyo.lg.jp/water/groundwater/pumping_regulations/outline.files/r2_yousui.pdf, 2022 年.
- [8] 国土交通省 国土地理院, 「地域計画アトラス 国土の現況とその歩み」, <https://www.gsi.go.jp/atlas/kokudo-etsuran.html>.
- [9] 国土交通省 国土地理院, 国土数値情報ダウンロード,
<https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-L03-b.html>.

4. 東京の地質

図 4-1 は、区部低地部の地下を断面図として示したものです。最終氷期以前の地層によって台地が形作られており、最終氷期以降に堆積した新しい時代の地層（沖積層と呼ぶ）が、低地一帯付近に厚く堆積している様子が分かります。東京都を含む関東平野の地盤は長い年月をかけて様々な堆積物が幾重にも積み重なることで形成されています（図 4-2 参照）。古い地層ほど、繰り返し地殻変動や断層運動の影響も受けているため、地下深部では、地層の傾斜が急になっていると考えられています。

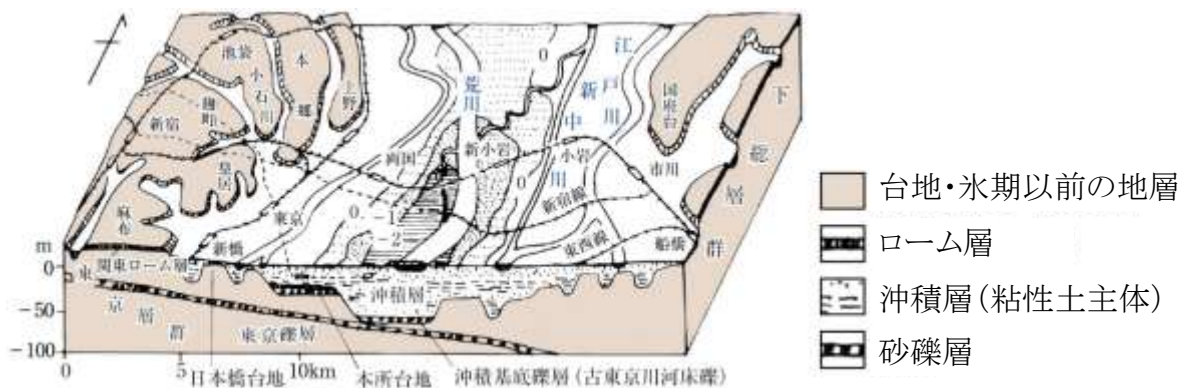


図 4-1 区部低地部の地形と地質構成

貝塚爽平「なぜ富士山はそこにあるのか」(1990)^[1]より引用、一部加筆

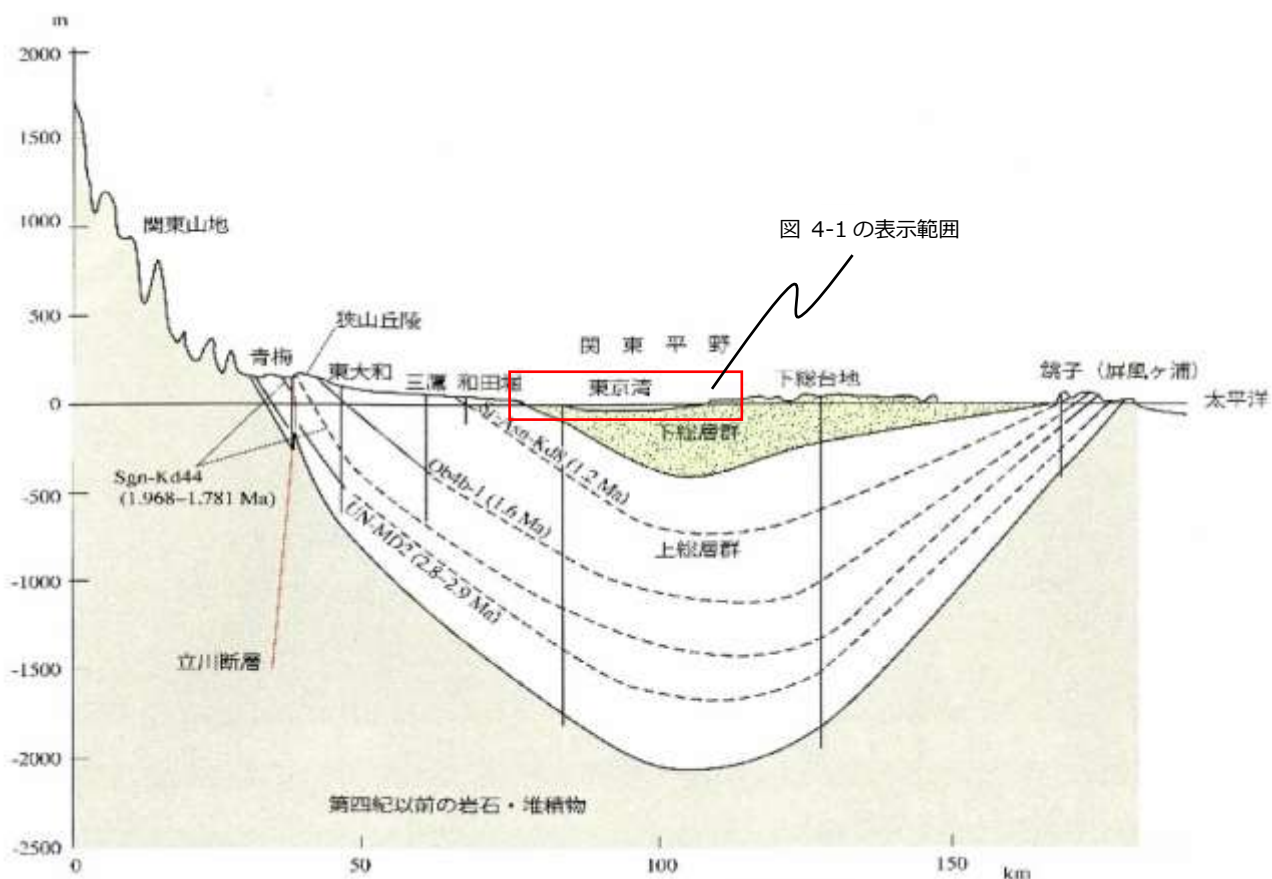


図 4-2 関東平野中央部付近における東西断面図

鈴木毅彦「上総層群のテフラから復元する東日本弧における巨大噴火史と関東平野の形成史」(2020)^[2]より引用、一部加筆・縮尺変更

ある地域に同じ種類の地層や岩石が分布する場合、「○○層」と名前を付けて呼びます。地層は実際に単独の地層からなる場合もありますが、「礫層、砂層、粘土層が繰り返し重なっている地層」のように、複数の地層が組み合わさっている場合もあります。地層の積み重なりやその順序のことを「層序」と呼び、ある特定地域に分布する全ての地層について、その厚さや特徴（層相・岩相）を、時代に沿って模式的に表現したものを「地質層序表」と呼んでいます。

図 4-3 では、時代とともに地層が堆積する環境も大きく異なり、おおよその時代にどんな地層が形成されたのかを知ることができます。令和 2 (2020) 年 1 月に、国際地質科学連合により認定された「チバニアン」という地質時代は、現在よりも 77.4 万年前から 12.9 万年前までの期間を指し、おおむね下総層群の形成時期と調和します。

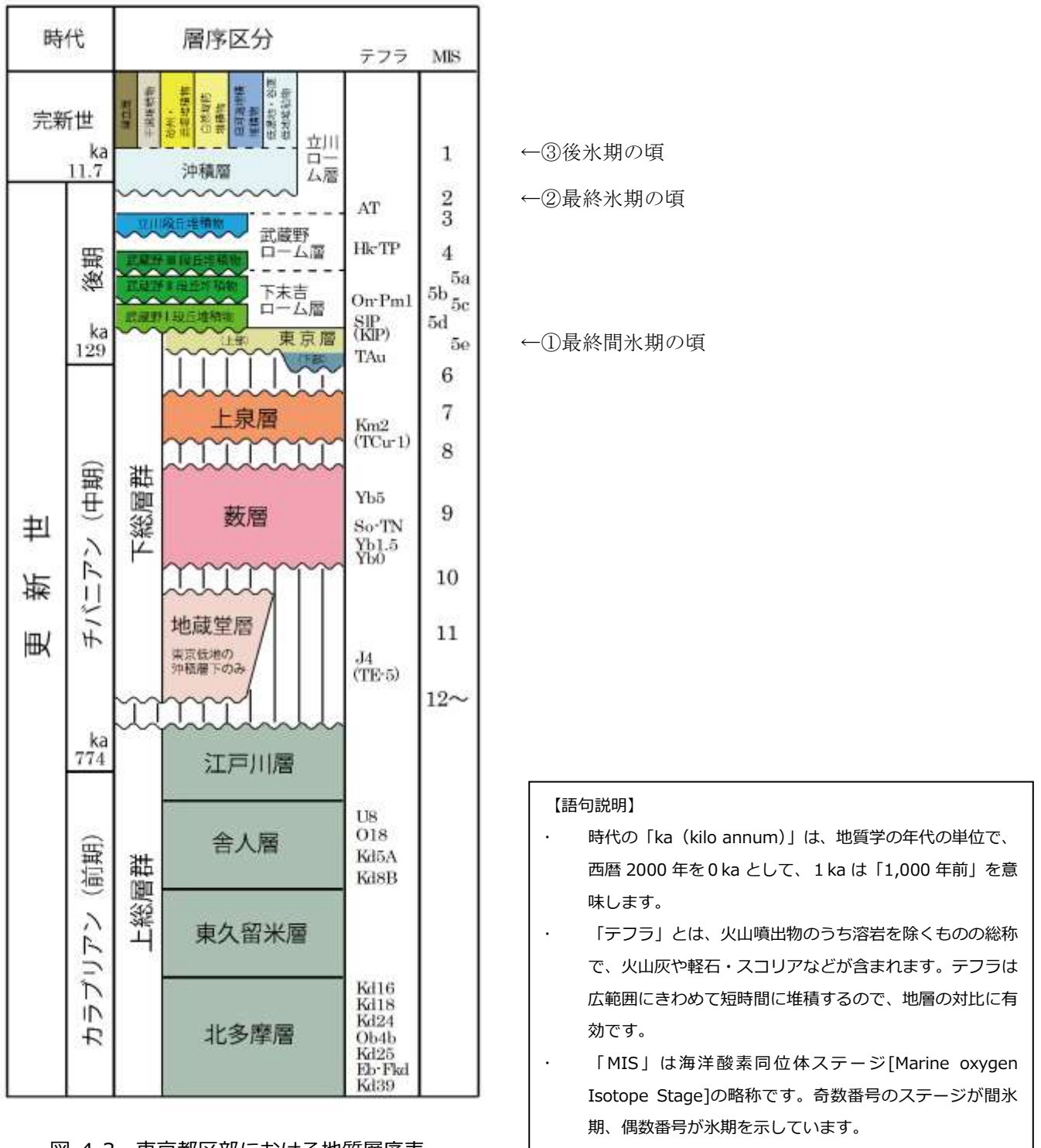


図 4-3 東京都区部における地質層序表

納谷友規ほか「都市域の地質地盤図「東京都区部」(説明書) (2021)^[3]より引用、一部加筆

図 4-4 に記した側線における想定断面図を、図 4-5 及び図 4-6 に示します。東京都における揚水井戸や地下水観測井は、「北多摩層」よりも上の地層を対象としています。これら上総層群や下総層群の地層が、東京都の広域にわたって各層が連続している様子がうかがえます。

このうち、低地一帯に広く分布する沖積層は、粘土質でもともと多く水を含んでいるため、柔らかく、地下水の過剰な揚水によって内部の水分が絞り出され、不可逆的な収縮を起こすことが分かっています。

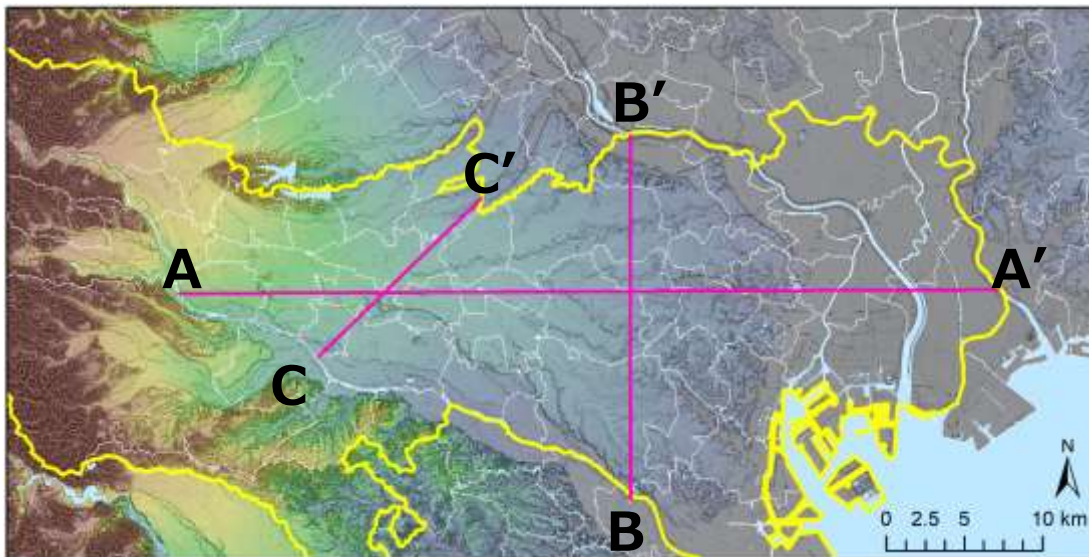


図 4-4 代表断面の側線位置図

基盤地図情報 5m メッシュ標高データ^[4]を用いて作成

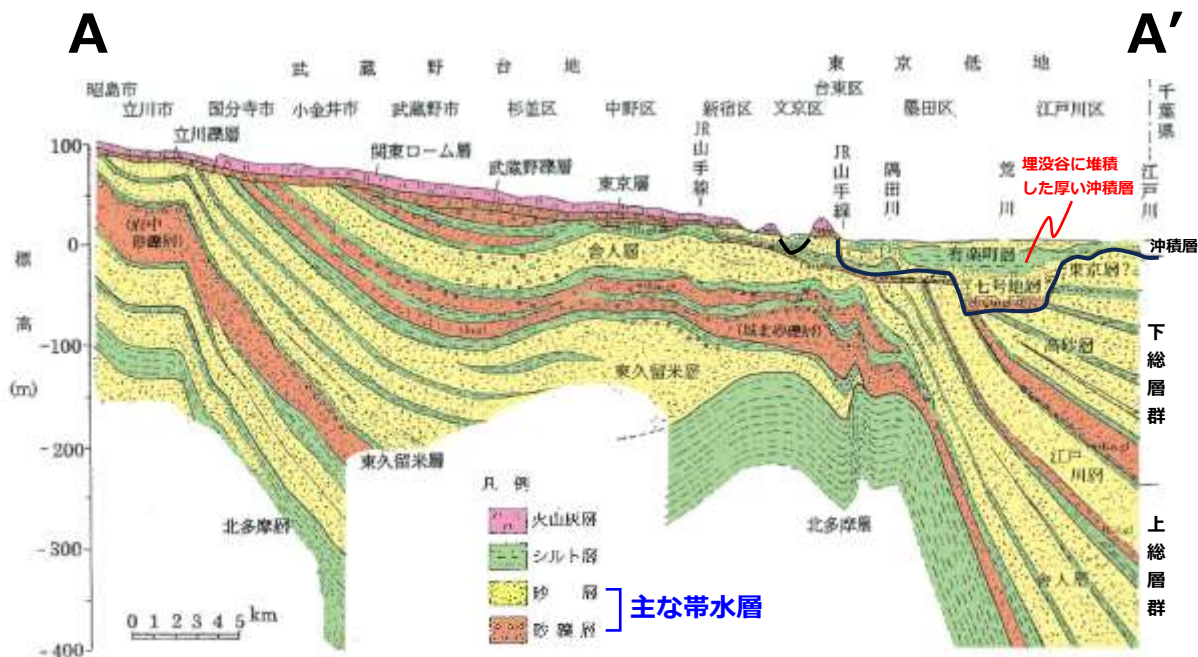


図 4-5 武蔵野台地～東京低地に至る東西断面図

遠藤毅「東京における深層地下水の研究-地下水利用の今後に向けて-」(2010)^[5]より引用、一部着色・加筆
断面図のうち、深部の白抜き箇所は調査データがなく未解明な部分

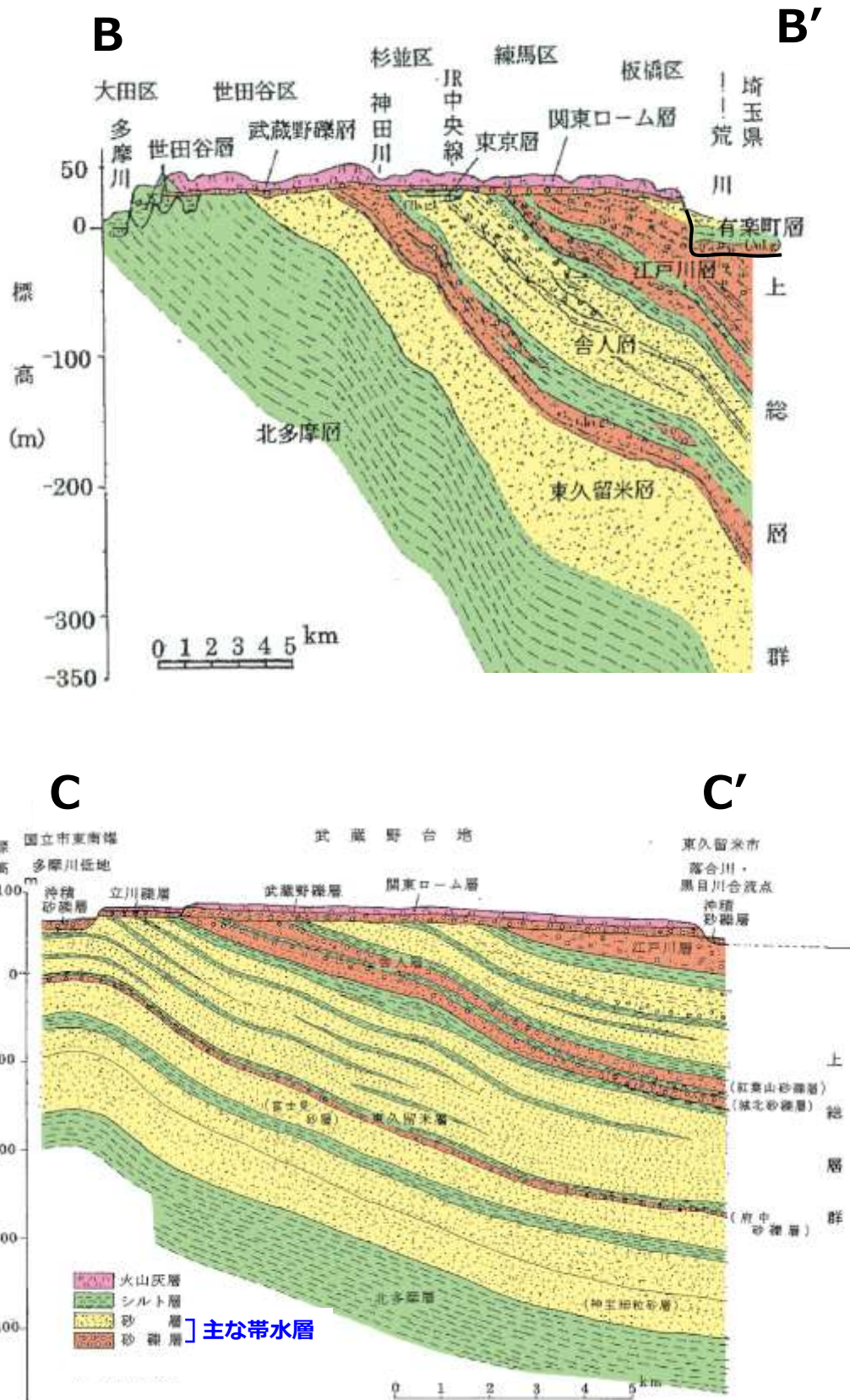


図 4-6 武蔵野台地～東京低地に至る南北断面図

遠藤毅「東京における深層地下水の研究-地下水利用の今後に向けて-」(2010)^[5]より引用、一部着色・加筆

図 4-5 及び図 4-6 の断面図で、最下部に当たる北多摩層は、シルトの中でも固結が進み、水を通しにくい性質があります。上総層群中の被圧地下水は、この北多摩層よりも浅い部分を主体に流れていると考えられています。この北多摩層は、稲城～世田谷～目黒付近で浅く、北に向かって徐々に上面深度が深くなり、足立～小岩付近では深度 500m にまで達していることが知られています。

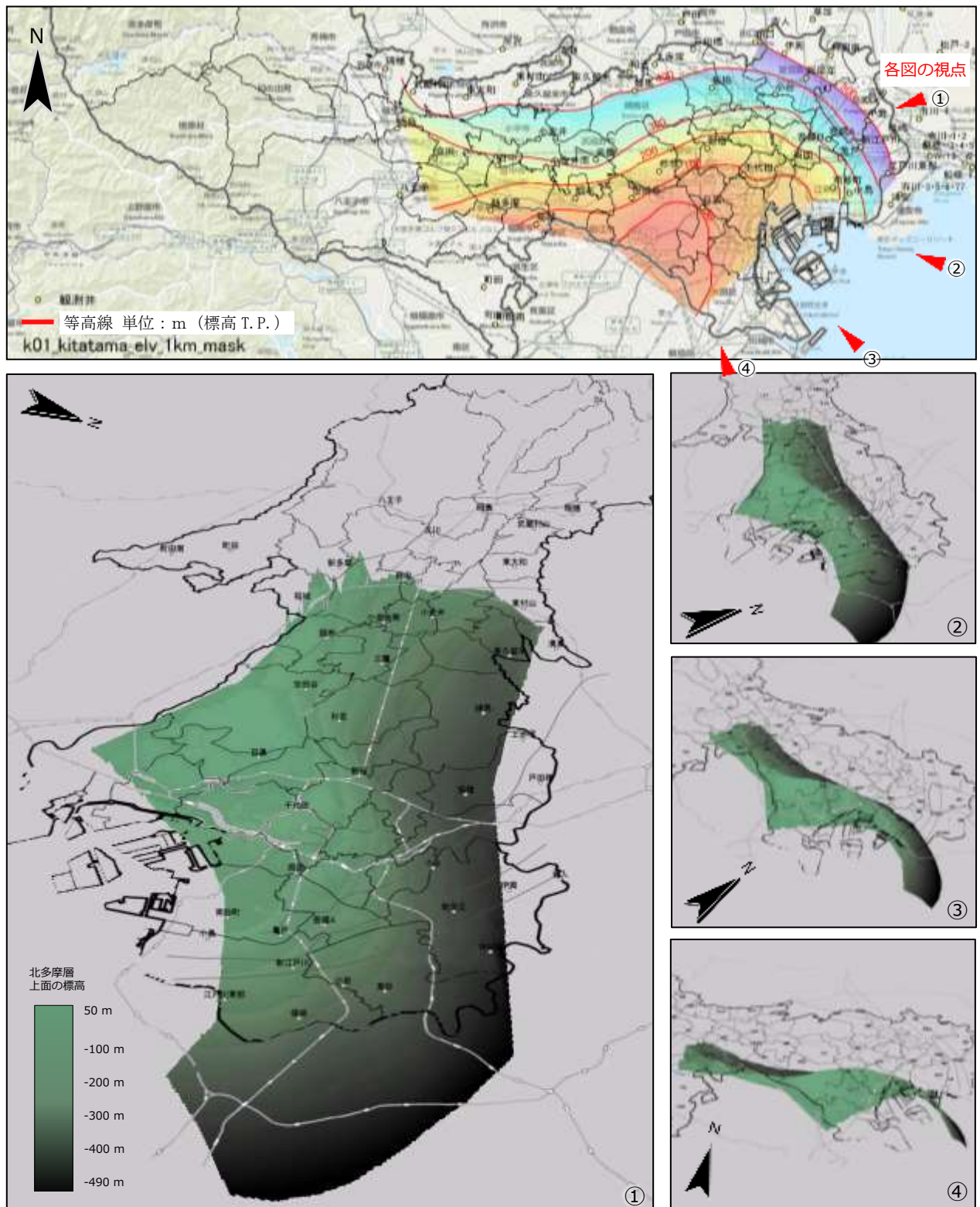


図 4-7 三次元地質モデルによる北多摩層の上面形状
 上段：平面的な分布、中段・下段：東～南方向からの鳥瞰（①～④）

遠藤毅「南関東地域における地下水問題の歴史と今後の課題-東京都を主体にして-」(2009)^[6]をもとに作成

また、舎人層基底に分布する城北砂礫層は、連続性に富んでおり非常に水を通しやすい特性から、被圧地下水の帯水層として着目されています。この城北砂礫層は、東大和～府中～調布付近で浅く、区部低地部では急激に深くなると考えられています。

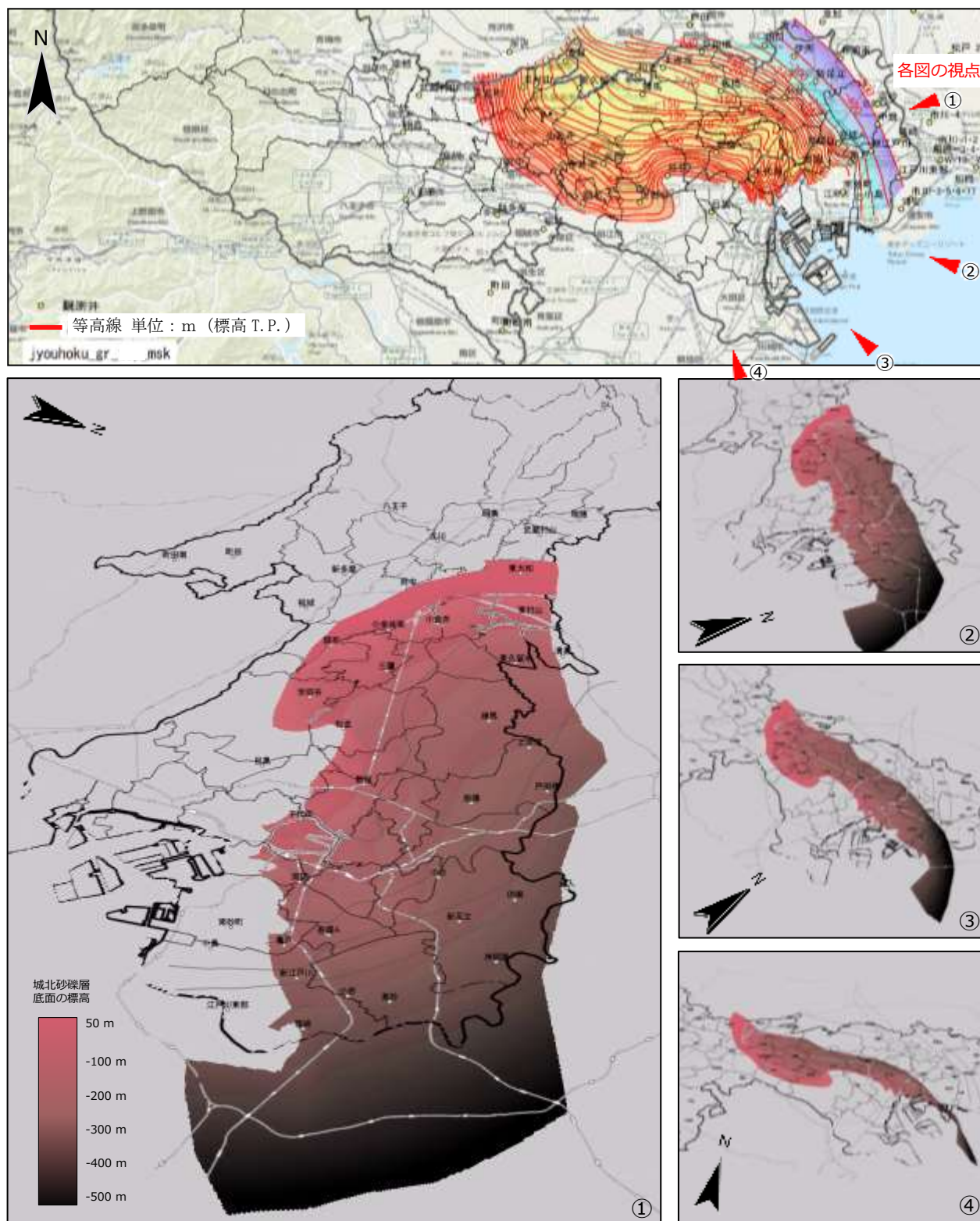


図 4-8 三次元地質モデルによる城北砂礫層の底面形状

上段：平面的な分布、中段・下段：東～南方向からの鳥瞰（①～④）

遠藤毅・川島眞一・川合将文「北多摩地区の地下地質」(1995)^[7]をもとに作成

区部低地部にはかつて、古東京川と呼ばれる幅広い谷が存在していました。最終氷河期以降にはこの谷に沖積層が厚く堆積しました。現在でも地下深部には埋没した谷があるため、主にボーリング調査等によって詳細な地形が明らかにされ、複数の段丘や、谷筋を読み取ることができます。



下図の視点

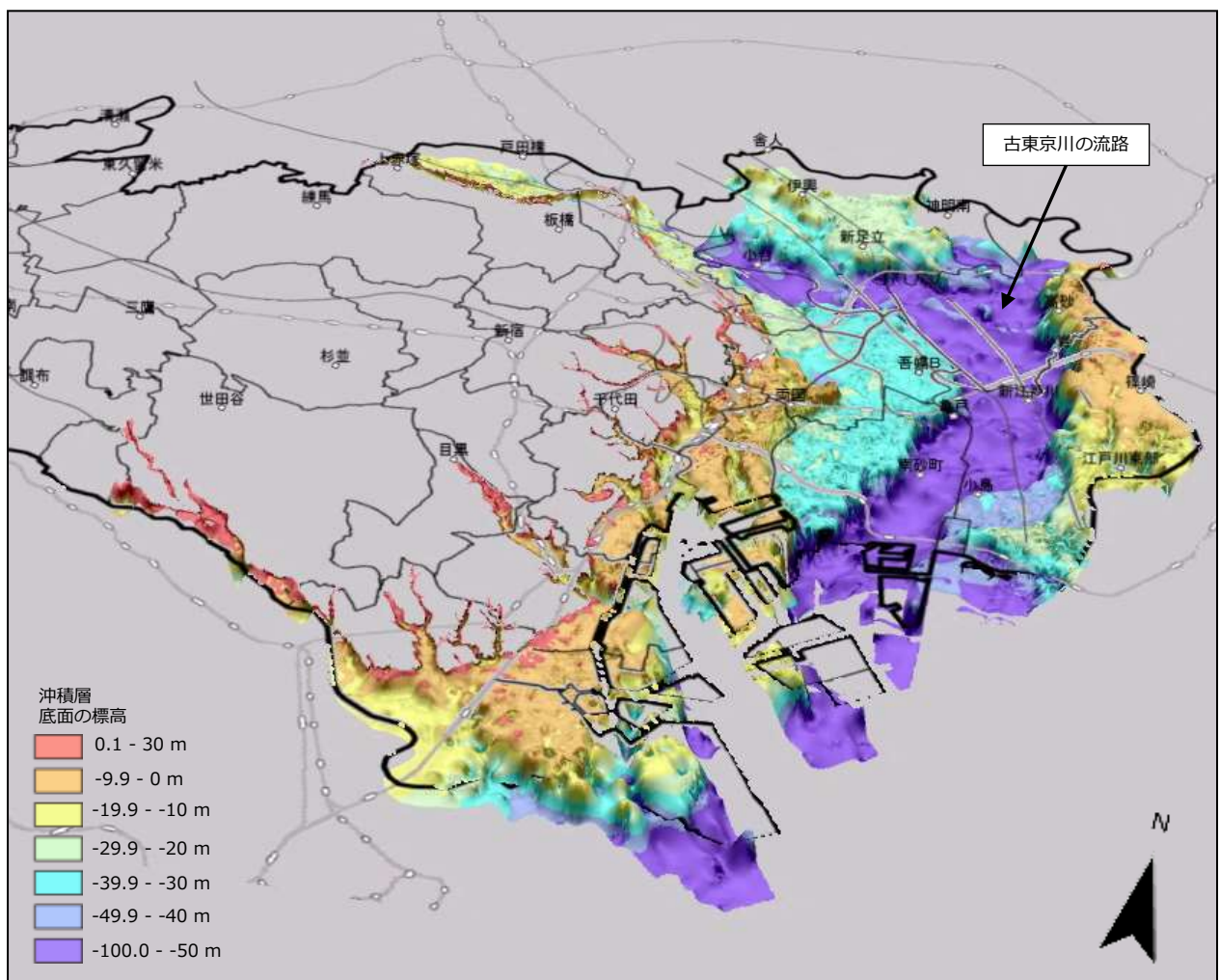


図 4-9 三次元地質モデルによる沖積層の底面形状

上段：平面的な分布、下段：南方向からの鳥瞰

納谷友規ほか「都市域の地質地盤図「東京都区部」(説明書)」(2021)^[3]をもとに作成

東京都において被圧地下水の流れを決める重要な地層として、水を通しにくい北多摩層の上面形状、地下水を育む城北砂礫層の底面形状、沖積層の底面形状（過剰揚水により大きく収縮した粘性土が堆積する以前の地形）の各層を三次元的に重ねると、図 4-10 の様になります。

北多摩層と城北砂礫層は全体として北側ないしは北東側に傾いており、北東側に向かうほど各面の標高が低くなっています。一方、沖積層の底面は複数の段丘面をとめないながら、古東京川と呼ばれるかつての河川に沿うように底面の標高は北から南へと低くなっていることが分かります。

一般的に地下水は、概ね帯水層（地下水を育む器）の形状に合わせて流れています。東京都の地下を形成する複数の地層のうち、3つの層に着目しただけでも、各面の傾きは異なり、地面から浸み込む場所や経路、流れつく先を明らかにするのは容易ではないことがお分かりいただけるかと思えます。

これら、複雑な帯水層を有する東京都全体の地下水流動を把握するために、現在東京都では学術機関との共同研究を行っており、これらの取組みについては第9章でご紹介いたします。

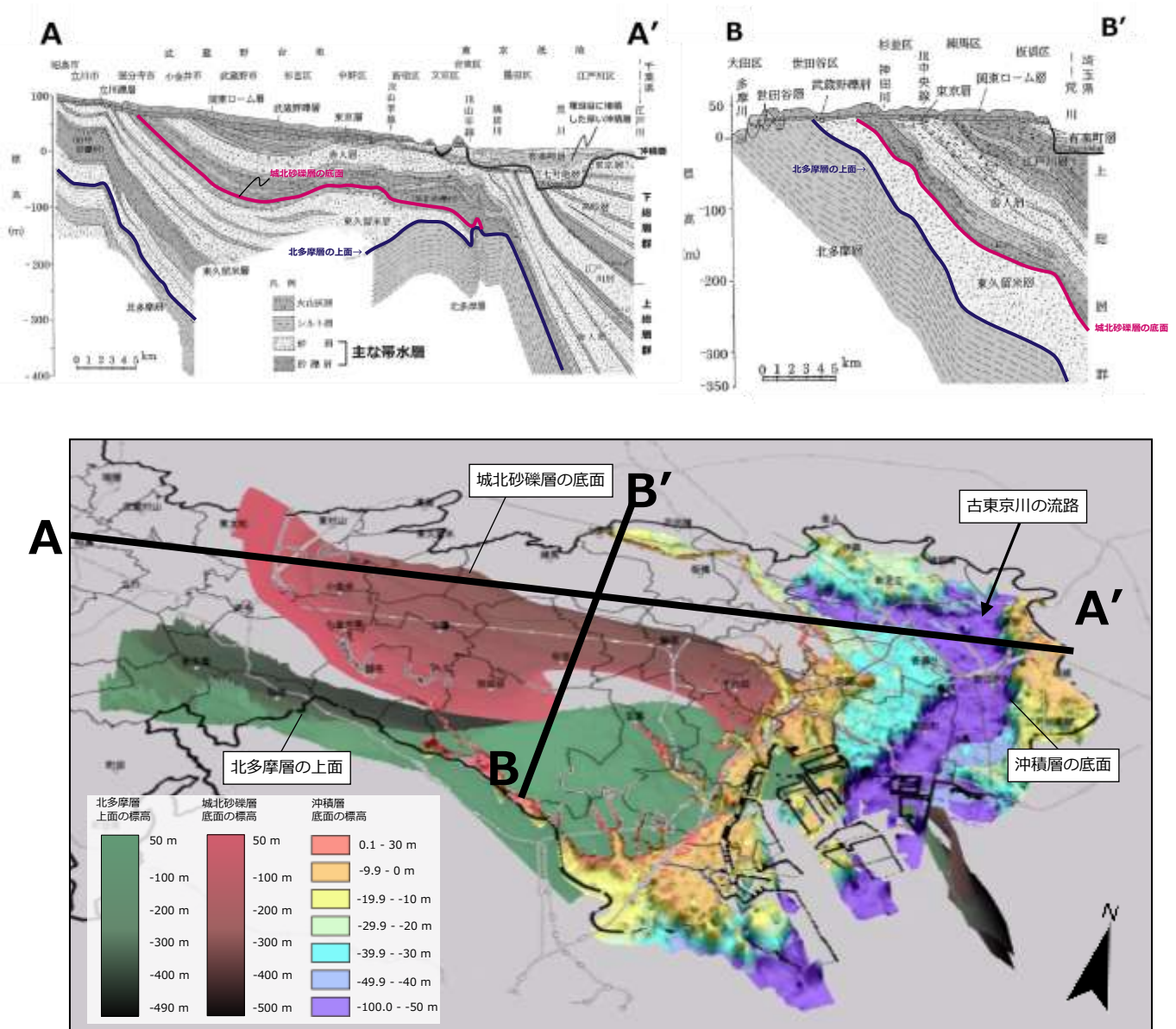


図 4-10 東京都の地下水の流れを決める重要な地層の三次元分布

遠藤毅(2009)^[6]、遠藤毅・川島真一・川合将文(1995)^[7]、納谷友規ほか(2021)^[3]をもとに作成
上段の断面図は図 4-5 及び図 4-6 を再掲。三次元化した北多摩層上面、城北砂礫層の底面、沖積層の底面を図示して表示

引用文献

- [1] 貝塚爽平, 「なぜ富士山はそこにあるのか」, 丸善株式会社, 1990 年.
- [2] 鈴木毅彦, 日本地質学会関東支部シンポジウム 「上総層群のテフラから復元する東北日本弧における巨大噴火史と関東平野の形成史」, 一般社団法人 日本応用地質学会 関東支部, 2020 年.
- [3] 納谷友規ほか, “「都市域の地質地盤図「東京都区部」(説明書)」,” 国立研究開発法人 産業技術総合研究所 (<https://gbank.gsj.jp/urbangeol/ja/explanation/index.html>), 2021 年.
- [4] 国土交通省 国土地理院, 基盤地図情報ダウンロードサービス, <https://fgd.gsi.go.jp/download/menu.php>.
- [5] 遠藤毅, 「東京における深層地下水の研究-地下水利用の今後に向けて-」, とうきゅう環境浄化財団 第3回地下水保全プロジェクトセミナー資料, 2010 年.
- [6] 遠藤毅, 平成 21 年度 特別講演およびシンポジウム予稿集 「南関東地域における地下水問題の歴史と今後の課題-東京都を主体にして」, 一般社団法人 日本応用地質学会, 2009 年.
- [7] 遠藤毅・川島眞一・川合将文, 「北多摩地区の地下地質 (応用地質 第 36 巻 4 号)」, 一般社団法人 日本応用地質学会, 1995 年.

5. 東京の地下水

5-1 地下水とは

地下水は地層中に含まれる礫・砂の隙間や、岩盤の割れ目を主体に流れています。地下水で満たされ、水の通りが良い地層を「帯水層」、粘土層などからなる水を通しにくい地層や、岩盤を「難透水層」と呼びます。

また、難透水層が上部に存在しない帯水層を「不圧帯水層」、不圧帯水層に含まれる地下水を「不圧地下水」と呼びます。不圧地下水は、地表からの雨水浸透や井戸等での揚水によって地下水位が変動しやすい特徴があり、また、不圧地下水の流速は後に説明する被圧地下水に比べて早く、台地の崖下や丘陵の谷間から湧水となって地表に湧出します。一方、上下を難透水層に挟まれており、地下水が大気圧以上の圧力を受けている状態にある帯水層を「被圧帯水層」、被圧帯水層に含まれる地下水を「被圧地下水」と呼びます。

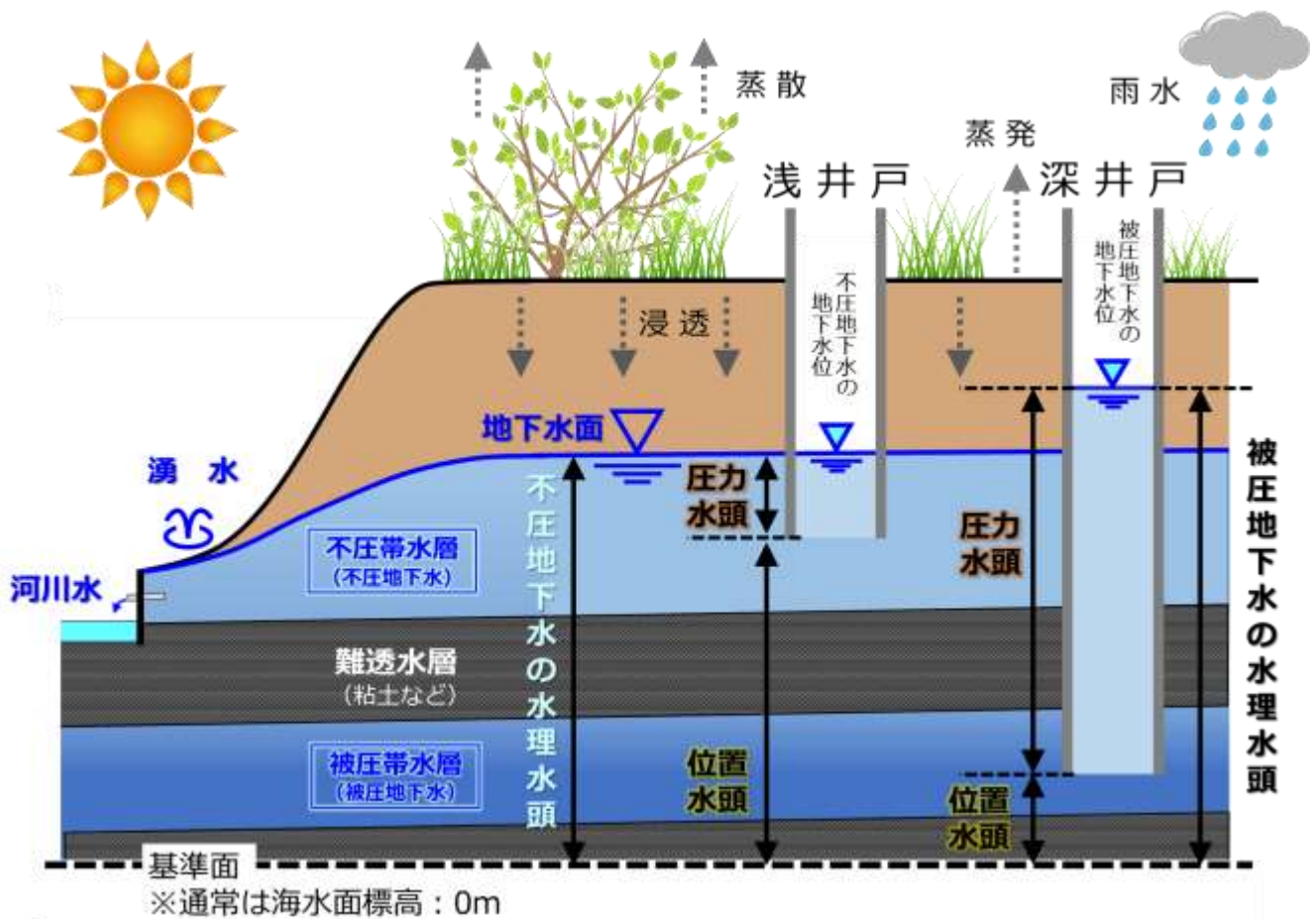


図 5-1 地下の地質構造と地下水流動の概念図

- 「地下水位」とは、井戸の中に現れる水面の位置を指し、標高 (T.P.) 又は地面からの深さ (GL マイナス) で表します。
- 「水理水頭」とは、任意の位置における水のエネルギー状態を水柱の高さに換算したもので、「位置水頭」と「圧力水頭」(及び「速度水頭」)の合計値で表します。井戸を掘った時に現れる地下水位は、その井戸の水理水頭に当たります。

本書では、「水理水頭」という表現は多くの方々になじみがないため、不圧地下水と被圧地下水いずれにおいても「地下水位」に統一して表現・記述しています。

水は「高い」ところから「低い」ところへと流れますが、この「高い」「低い」というのは単に位置だけの話ではなく、エネルギーの状態を指します。地下水のエネルギーは、「水頭」という言葉で表現され、位置水頭・圧力水頭・速度水頭に区別されます。地下水の流れる速度は極めて遅く、速度水頭は他の水頭に比べて無視できるほど小さいため、地下水のもつエネルギー（水理水頭）は、圧力水頭と位置水頭の和で表すことができます。

具体的には、図 5-1 に示すように、井戸の下端が位置水頭、井戸の下端から水面までの高さが圧力水頭に相当するので、その合算値となる井戸内の地下水位が水理水頭となります。

図 5-2 に示すように、複数地点で井戸内の地下水位を調査し、地下水位が同じ値の地点を線で結ぶと、地下水位等高線を書くことができます。地下水は、地下水位が「高い」ところから「低い」ところに向かって、地下水位等高線に直交するように流れます。

しかし、複数の井戸から地下水が揚水されているような都市域では、図 5-3 に示すように、水利用実態に応じて絶えず地下水位が変化するので、地下水の流れははととも複雑で、その実態を把握するには長期にわたる専門的な観測と研究が必要です。

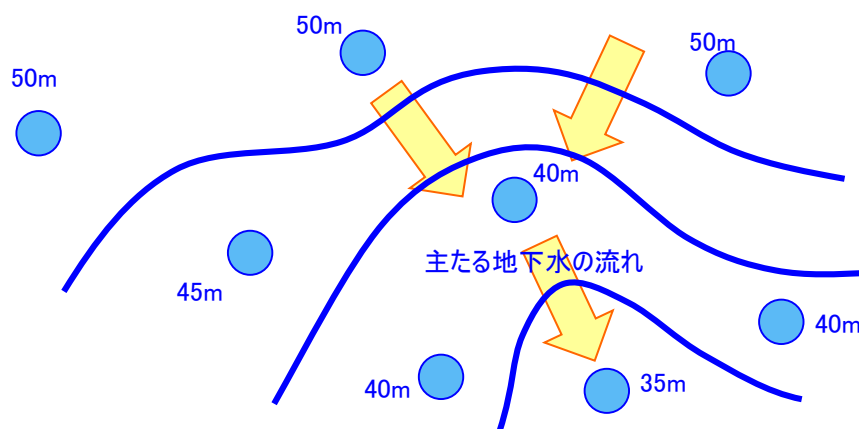


図 5-2 地下水位等高線から推定される地下水の流れ

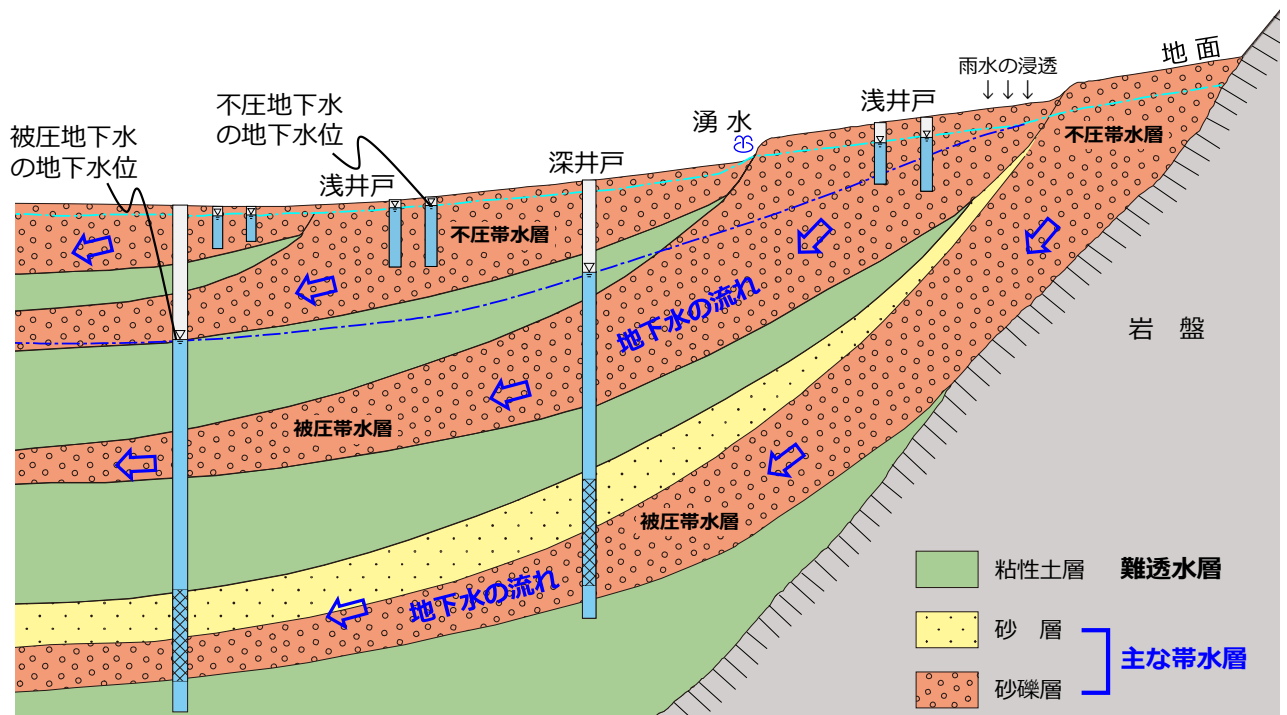


図 5-3 帯水層の地質構造と地下水流動の概念図

「日本の地下水」(1986) ^[1]をもとに作成、一部着色・加筆

5-2 東京の地下水

(1) 東京の帯水層

図 5-4 は、図 4-4 A-A' 線を深度方向に断面で表し、帯水層や難透水層を色分けしたものです。同図に示すように、東京都の地下水は、武蔵野台地の地下に分布する「武蔵野礫層」や「立川礫層」に代表される段丘砂礫層や、現河床砂礫といった不圧帯水層を流れる浅い地下水と、「上総層群」、「下総層群」、「七号地層」中に分布する難透水層によって加圧されている被圧帯水層中を流れる深い地下水に大別されます。

不圧帯水層を流れる浅い地下水では、圧力水頭が低いので、地下水位はほぼ位置水頭によって決まり、山地、丘陵地及び武蔵野台地に降った雨水は、立川礫層や武蔵野礫層などの水を通しやすい地面から地下に浸透し、帯水層の分布に沿って流動しながら、大局的には西から東方向に向かって流れていると考えられています。

一方、東京低地では、地表近くに「有楽町層」という厚い難透水層が分布しているため、地表から雨水や不圧地下水が直接的に浸透しにくいという特徴があります。

台地と低地における地下水流動系の実態を明らかにするため、東京都では、大学等と連携して、観測井の地下水位のほか、地下水の溶存物質を調べることで、地下水がどこで涵養され、どのような経路で流動し、どこに流出しているのか等の、調査研究を進めています(詳細は第 9 章にて後述)。

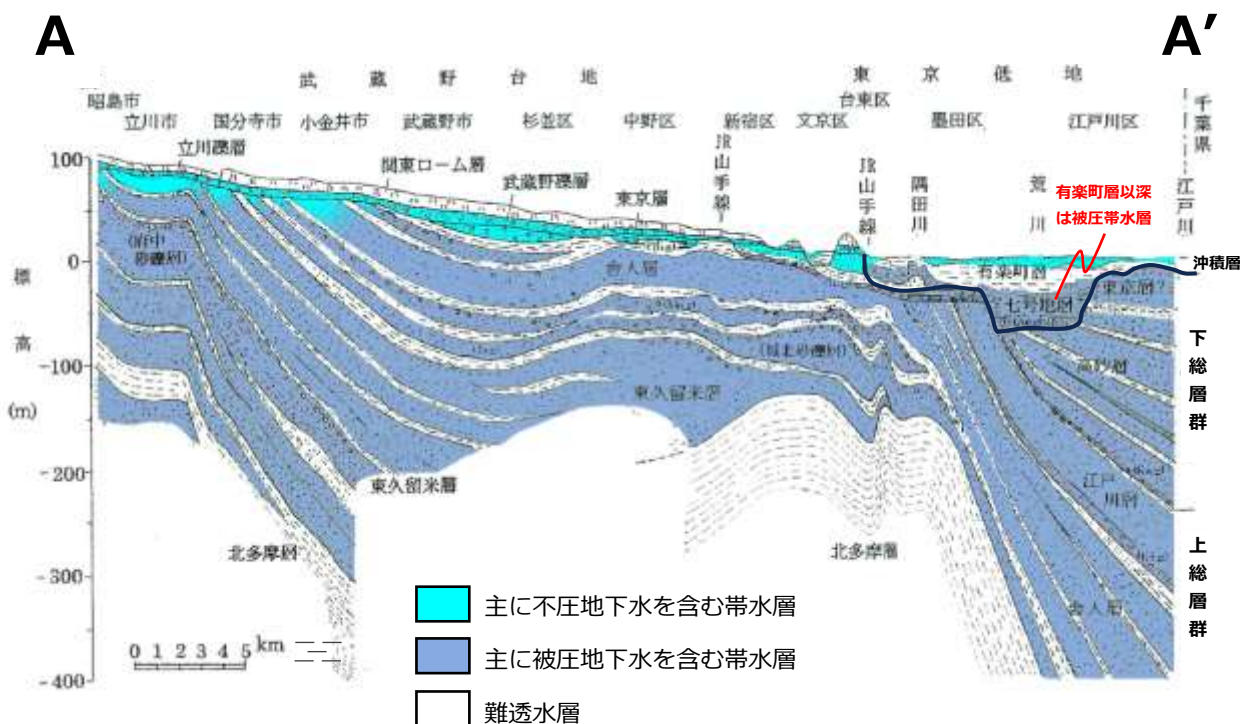


図 5-4 武蔵野台地～東京低地における帯水層区分の概念図

遠藤毅「東京における深層地下水の研究-地下水利用の今後に向けて-」(2010)^[2]より引用、一部着色・加筆

(2) 不圧帯水層における地下水の流れ

不圧帯水層を流れる地下水の一部は、段丘崖などから湧き水として湧出し河川水へと姿を変えるため、浅井戸や湧水の標高、河川水位の標高から地下水位等高線図を描くと、不圧地下水の流れを把握することができます。

図 5-2 でも説明したように、地下水は地下水位等高線と直交する向きに高い方から低い方へ流れるため、図 5-5 の地下水位等高線図から、武蔵野台地の不圧帯水層では地形に沿って西から東へと扇状に広がるように地下水が流れていると考えられます。

地下水位と地表の高さが等しい場所では、地下水が湧水として湧き出します。武蔵野台地では、昭和 30 年代半ばまでは井の頭池、善福寺池、三宝寺池など、扇状地の地形を反映した湧水群が存在していましたが、地下水位の低下により、いずれもほぼ枯渇してしまいました。現在、これらの池には被圧帯水層から汲み上げた井戸水が補給されています。

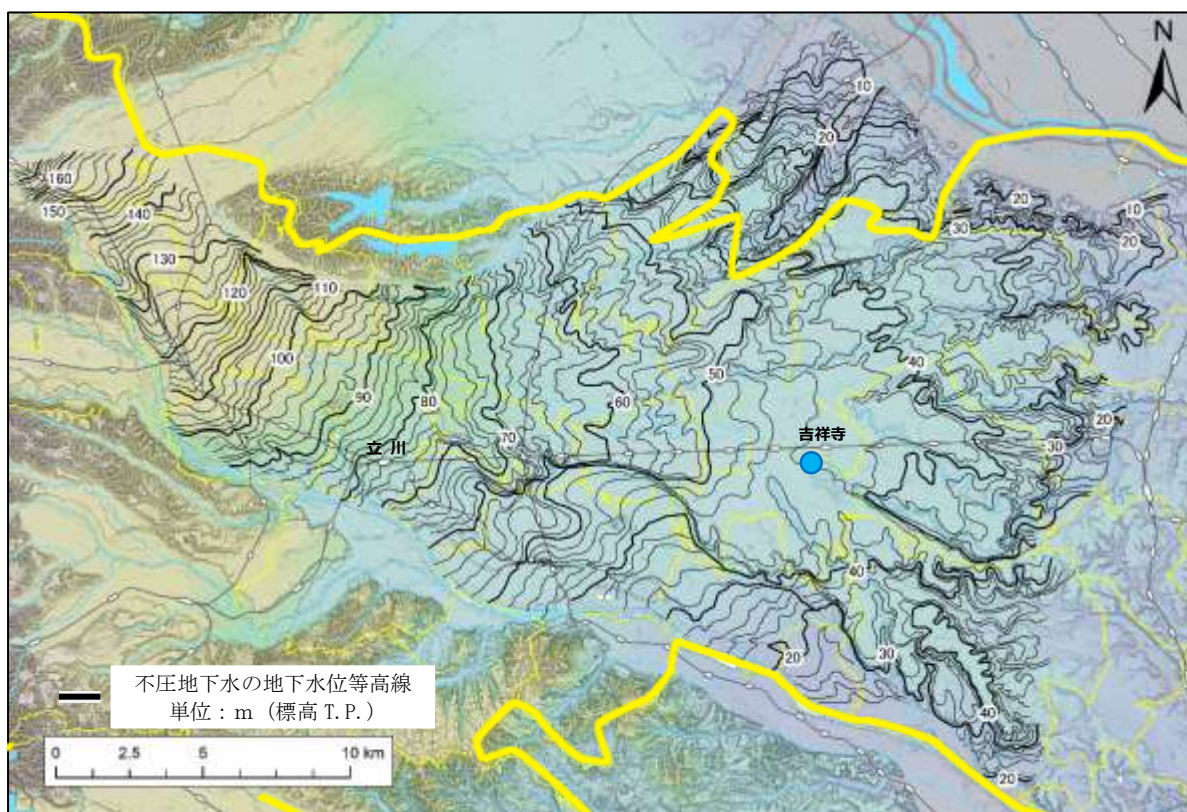


図 5-5 武蔵野台地における不圧地下水の地下水位等高線図 (S49.8 月)

市川正巳・榎根勇 「日本の水収支」(1978) ^[3] (細野義純作図の不圧地下水の地下水位等高線図)、
基盤地図情報 5m メッシュ標高データ ^[4]をもとに作成、

(3) 被圧帯水層における地下水の流れ

図 5-6 は、東京都の被圧帯水層における被圧地下水の平均的な地下水位等高線です。

本図では、図 5-5 の不圧地下水の流れとは少し異なり、全体に北東方向へと流れる様子が確認できます。これは、図 5-7 のように地層が北東側へと傾いていることや、三鷹市から練馬区にかけて谷筋があることと一致しており、武蔵野台地における被圧帯水層中の地下水は、大局的には帯水層の分布に影響を受けながら流れていると考えられます。

また、地下水の揚水等もこうした地下水の流動に影響していることが考えられます。

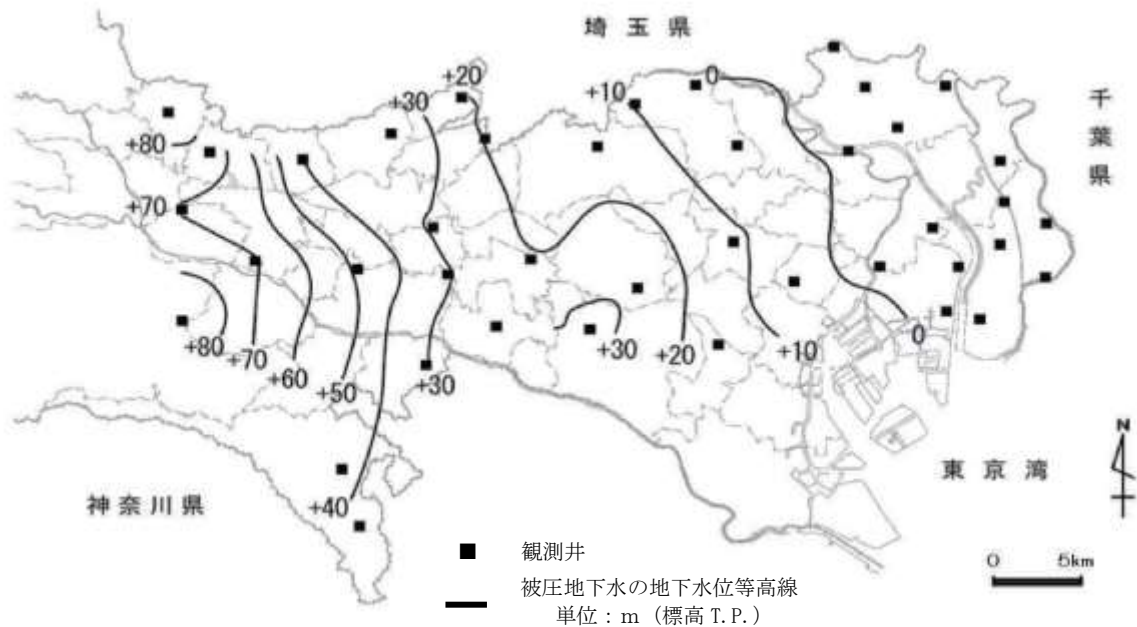


図 5-6 武蔵野台地における被圧地下水の地下水位等高線

東京都土木技術支援・人材育成センター「令和 2 年 地盤沈下調査報告書」^[5]より



図 5-7 被圧地下水を育む地層の傾き

新藤静夫「武蔵野台地の水文地質」(1968)^[6]より (「A5 層」と呼ばれる地層の底面標高分布図を着色表示)

引用文献

- [1] 農業用地下水研究グループ「日本の地下水」編集委員会編，「日本の地下水」，地球社，1986年.
- [2] 遠藤毅，「東京における深層地下水の研究-地下水利用の今後に向けて-」，とうきゅう環境浄化財団 第3回地下水保全プロジェクトセミナー資料，2010年.
- [3] 市川正巳・榎根勇，「日本の水収支」，古今書院，1978年.
- [4] 国土交通省 国土地理院，基盤地図情報ダウンロードサービス，<https://fgd.gsi.go.jp/download/menu.php>.
- [5] 東京都土木技術支援・人材育成センター，「令和2年 地盤沈下調査報告書」，<https://www.kensetsu.metro.tokyo.lg.jp/content/000053718.pdf>，2021年.
- [6] 新藤静夫，「武蔵野台地の水文地質（地学雑誌 77巻4号）」，公益財団法人 東京地学協会，1968年.

6. 東京の湧水

湧水は、昔から人々の暮らしと密接に関係しています。野川上流部、黒目川などの湧水周辺では、縄文時代の生活の跡である遺跡が多数発掘されています。また、三鷹市の井の頭池などは、江戸時代に神田上水へと導かれ、貴重な飲料水源として利用されていました。

湧水は社寺とも関係が深く、奈良時代の天平年間に建設された調布市の深大寺は水神と関わりがあり、国分寺市の史跡国分寺は豊富な湧水の場所に建立されたといわれています。湧水そのものが信仰の対象とされる場所も、世田谷区の等々力不動尊など都内に数多くあります。

現代においても周辺の自然環境とあいまって、湧水は人々に潤いと安らぎを与え、身近な生き物にふれあえる場として、都市において貴重なオアシスとなっています。

東京都環境局では、定期的に湧水調査を行っており、その結果を「湧水マップ～東京の湧水～^[1]」として、ホームページ等で公開しています。平成 30（2018）年度に実施した調査では、608 地点（区部 201 地点、市町村 407 地点）の湧水が確認されました（表 6-1 参照）。

表 6-1 湧水地点数の確認結果一覧

	平成 20 年度 (2008)	平成 25 年度 (2013)	平成 30 年度 (2018)
区部	270 地点	235 地点	201 地点
市町村	406 地点	381 地点	407 地点
合計	676 地点	616 地点	608 地点

※湧水地点数は、区市町村の協力のもと実施した調査の結果です。
調査時期や調査時の天候などにより、地点数が変化することがあります。



図 6-1 東京都内の代表的な湧水

左：国立市 ママ下湧水群、右：東久留米市 南沢湧水群

東京の湧水は、多摩川が作った武蔵野台地や、多摩川の支川である秋川、浅川流域に多く見られます。東京の湧水は、湧水地点周辺の地形や湧出形態から、「崖線タイプ」と「谷頭タイプ」の2種類に分類することができます(図 6-2 参照)。崖線タイプは、台地縁辺部や段丘崖の下端において、粘土層や岩盤等の難透水層の上位にあたる砂礫層やローム層から地下水が湧き出すものです。複数の段丘が隣接する野川付近では、図 6-3 に示すように非常に複雑な地下水の交流関係があることも知られています。

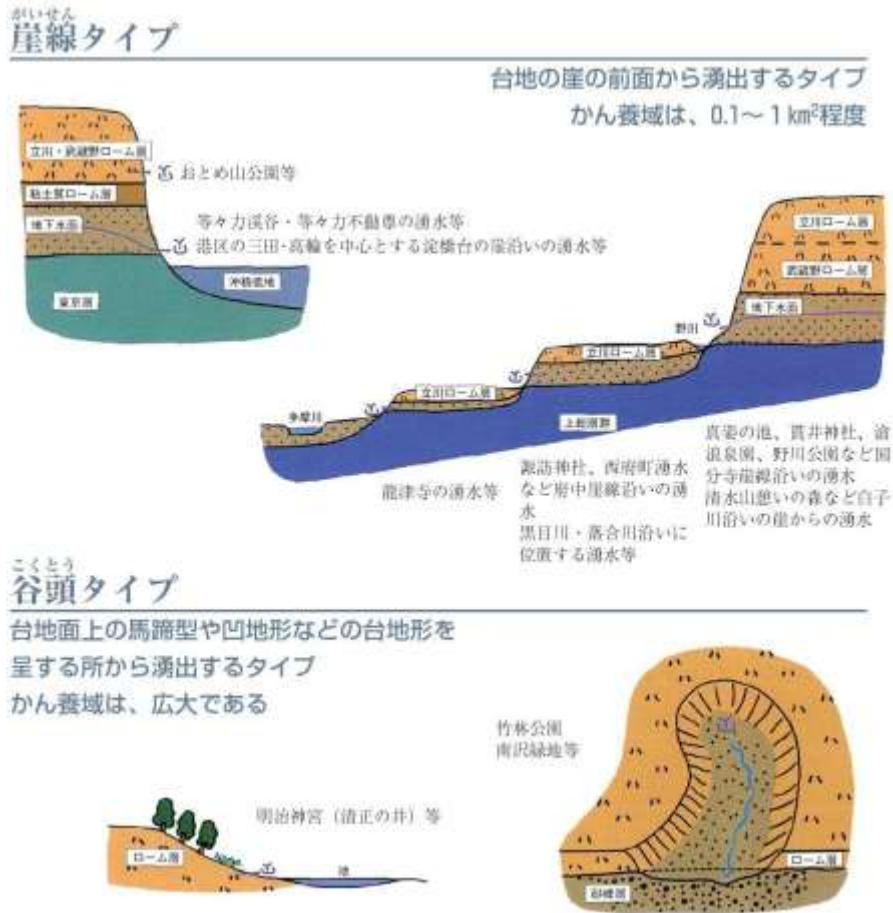
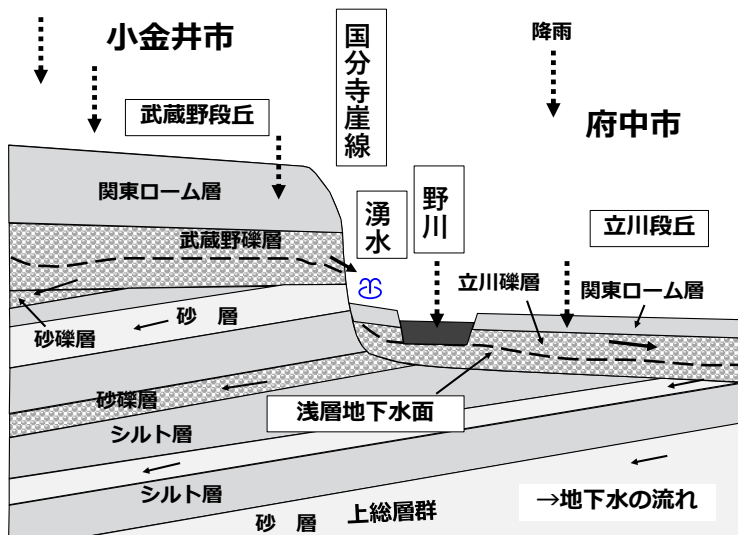


図 6-2 東京都に見られる湧水のタイプ

東京都環境局「湧水マップ～東京の湧水～」^[1]より



武蔵野段丘と立川段丘が隣り合う野川付近では、崖下から湧き出した湧水が河川水を経て、再び地下水として地下に浸透するような、複雑な流れがあることも知られています。

このように、地下水は水循環において、雨水と地表水(河川水、湖沼水、海水)をつなぐ重要な役割を担っています。

図 6-3 野川付近における地質断面

川合将文・川島眞一・国分邦紀「『河川の水量確保等に関する検討』の成果と課題」(2014)^[2]を参考に作成

谷頭タイプの湧水は、練馬区の区立大泉井頭公園の池、善福寺川は杉並区の善福寺池、石神井川は練馬区の石神井池や三宝寺池、神田川は武蔵野市の井の頭池など、都内の中小河川を上流側にたどった源流で見ることができます。

これらの池は武蔵野台地上に存在し、かつては湧水量も豊富で中小河川の水量を支える重要な水源でした。井の頭池には東京市で最初のプールが造られるなど、各地域に湧水と触れ合うことのできる環境が多くありました(図 6-4 参照)。しかし、武蔵野台地を中心とし、湧水地点や湧水量の減少が目立つようになりました。その要因として地形改変や、都市化による田畑や森林の減少、構造物による地下水流動阻害など、様々な事項が考えられています。

一方で、ボランティアの方々が、ゴミ掃除、河川への生活排水防止運動に地道に取り組んだ結果、子供たちが水遊びできるまでの水辺環境となったところもあります。図 6-5 に掲載した東久留米市の落合川では、かつて源流部にゴミが山積み、生活排水の流入があったことがうかがえます。東京都では、身近な自然環境としての湧水等を保護・回復するため、区市町村と連携して湧水保全に取り組んでおり、雨水を浸透する施策の推進や、湧水等の保護及び回復に関する普及啓発を進めています。

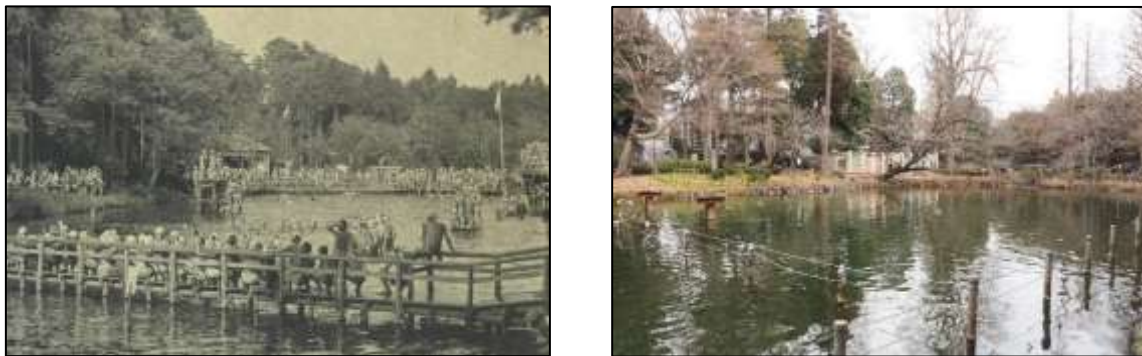


図 6-4 井之頭恩賜公園にかつてみられた天然の地下水プール

左：当時のプールの様子。豊富な地下水を利用してため冷たかったという（出典：東京都公園協会^[3]）。

右：かつて天然プールがあった井の頭池最下流の現在の様子



図 6-5 「平成の名水百選」に選定された落合川における昔と今

左・中：かつての源流部にはゴミが山積み、生活排水が流入していた

右：湧水の流れて遊ぶ子供たちと、川面に繁茂するナガエミクリ

左・中の写真は、東久留米市郷土資料室所蔵資料^[4]

引用文献

- [1] 東京都環境局, 「湧水マップ～東京の湧水～」,
https://www.kankyo.metro.tokyo.lg.jp/water/conservation/spring_water/spring_water.html, 2018 年.
- [2] 川合将文・川島眞一・国分邦紀, 「「河川の水量確保等に関する検討」の成果と課題」, 都土木技術支援・人材育成センター年報, 2014 年.
- [3] 公益財団法人東京都公園協会（東京グリーンアーカイブス） 所蔵資料, 東京市井の頭公園水泳場（絵はがき）, 撮影年代不明.
- [4] 東久留米市郷土資料室 所蔵資料.

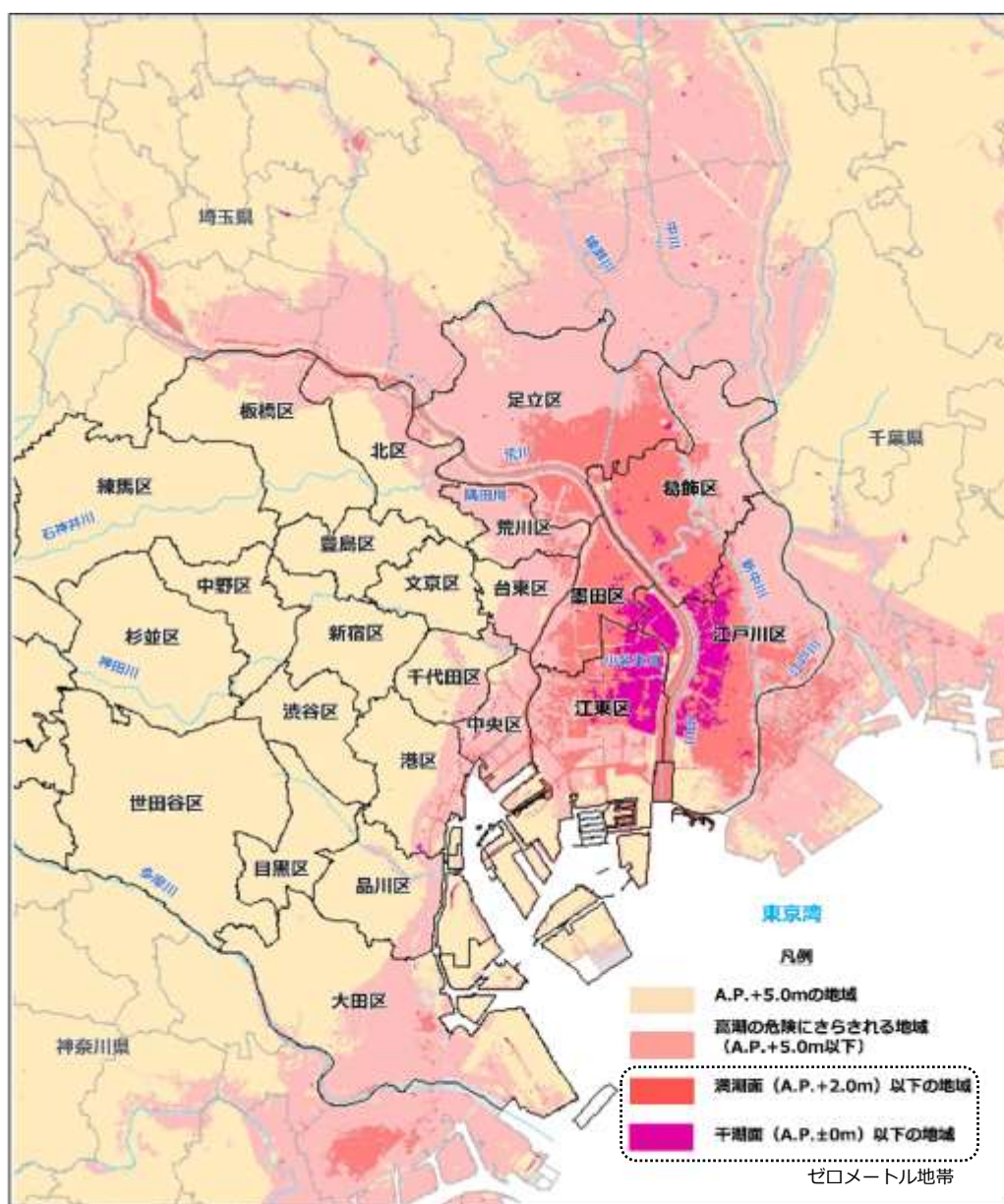
7. 東京の地下水に関わる問題

地下水や湧水は、身近な水源として生活用水や農業用水に利用されてきました。一方で、過剰な地下水揚水などによって、水循環や地盤に大きな影響を及ぼす要因ともなりました。以下には、かつて東京で起きた地下水に関わる問題や現在も引き続き抱える課題について示します。

7-1 地盤沈下の発生

かつての東京では、過剰揚水によって水循環のバランスを崩したことで大規模な地盤沈下が発生しました。地盤沈下が確認された当初は原因が不明とされ、抜本的な対策がなされるまでかなりの時間を要しました。

このため、地盤沈下は長期にわたって継続し、現在でも江東区や江戸川区を中心とした区部低地部にはゼロメートル地帯(土地の標高が満潮時の海面(A.P. +2.0m)以下の高さの地域)が 124km² にわたって分布しています(図 7-1 参照)。



※A.P. (Arakawa Peil) とは荒川工事基準面のことで、標高 (T.P.) 0mの時、A.P.+1.134mとなります。

図 7-1 ゼロメートル地帯

東京都建設局参考、基盤地図情報 5mメッシュ標高データ^[1]を用いて作成

(1) 地盤沈下の歴史

ア 地盤沈下の顕在化

東京は、明治時代に富国強兵・殖産産業の拠点として発展し、工場数が増加していきました。明治末期から大正期には、縦横に張り巡らされた運河沿いに工場群が軒を連ね、機械冷却を主体に多量の地下水が揚水されていました。同時期に地盤の高さを測る水準測量が開始されており、既に地盤沈下が進行していた可能性があります。明確に地盤が沈下していることが確認されたのは、大正 12(1923)年の関東大地震の後です。

関東大地震は、東京を中心に甚大な被害を及ぼしました。マグニチュード 7.9 の巨大地震によって、10 万人を超える死者、約 30 万戸の全壊・全焼家屋が発生しました。

また、多くの土地で地割れ、沈降、隆起などが認められたため、地震の影響を調査するために水準測量が積極的に行われるようになりました。この過程で、江東区での激しい地盤沈下が確認されましたが、当時は地震に伴う地殻変動の影響と考えられました。

ところがその後も地盤沈下は進行し、並行して井戸の枯渇などの地下水障害が相次いで顕在化していきました(図 7-2(a)参照)。このような中、昭和 9(1934)年に全国的に甚大な被害をもたらした室戸台風により、江東区は浸水被害を受けました。

昭和 10 年代に入ると、大阪の地盤沈下を調査・研究していた和達清夫氏(初代気象庁長官)が、人為的な地下水の揚水により地盤沈下が発生することを発表しました。これにより、東京の地盤沈下の原因が、地殻変動ではなく、工場等での大量の地下水の揚水であることがようやく分かってきました。しかしながら、当時の日本は軍国主義的な体制であり、工場の稼働を止めることなど許されなかったため、「地下水の過剰揚水による地盤沈下」という考え方は受け入れられませんでした。

その後、太平洋戦争が激化し産業活動が停止すると、低地・台地ともに広く地下水位の回復が確認され、地盤沈下も一時的に鎮静化しました。第二次世界大戦前後における水準測量は、地盤沈下の原因が地下水の過剰揚水であることを決定づけた意義ある測量成果であると言われています(図 7-2(b)、図 7-3 参照)。

イ 高度経済成長期と地盤沈下の加速

戦後の復興により過剰な揚水が始まると地下水位は急低下し、地盤沈下が再度発生します。昭和 30 年代以降の高度経済成長期には、経済発展のために工業部門も更に工場数を増やし、戦前よりも多くの水が必要となりました。そこで工場は戦前よりも大量の地下水を使用するようになり、区部低地部を中心に各地で地盤沈下が発生し、ピークに達しました。そしてついに、昭和 34(1959)年に江東区においてはじめて A. P. 0m(干潮面と同じ高さ)が計測され、完全ゼロメートル地帯が出現しました。さらに、昭和 43(1968)年には江戸川区西葛西の水準基標において、年間沈下量 23.89 cm が記録されました。この沈下量は、都内で計測された年間沈下量の最大値です(図 7-2(c)参照)。

ウ 揚水規制の開始

地盤沈下を抑止するため、昭和 30 年代には「工業用水法」「建築物用地下水の採取の規制に関する法律」が制定され厳しい規制がかけられました。

東京都においても、昭和 28(1953)年から「東京都地盤沈下対策審議会」を設置して地盤沈下対策の抜本的対策の検討を進めていきました。「東京都地盤沈下対策審議会」では、昭和 38(1963)年、昭和 41(1966)年、昭和 46(1971)年にそれぞれ答申を行いました。昭和 45(1970)年には、一都三県共同で地盤沈下の調査を行う「南関東地方地盤沈下調査会」を設置し、調査研究を開始しました。

こうした答申や調査結果を受けて、法規制の基準強化を国へ要請するとともに、法未規制地域については条例で規制を行うなど揚水規制を段階的に行い、地盤沈下を抑制していきました(図 7-2(d)～(f)参照)。

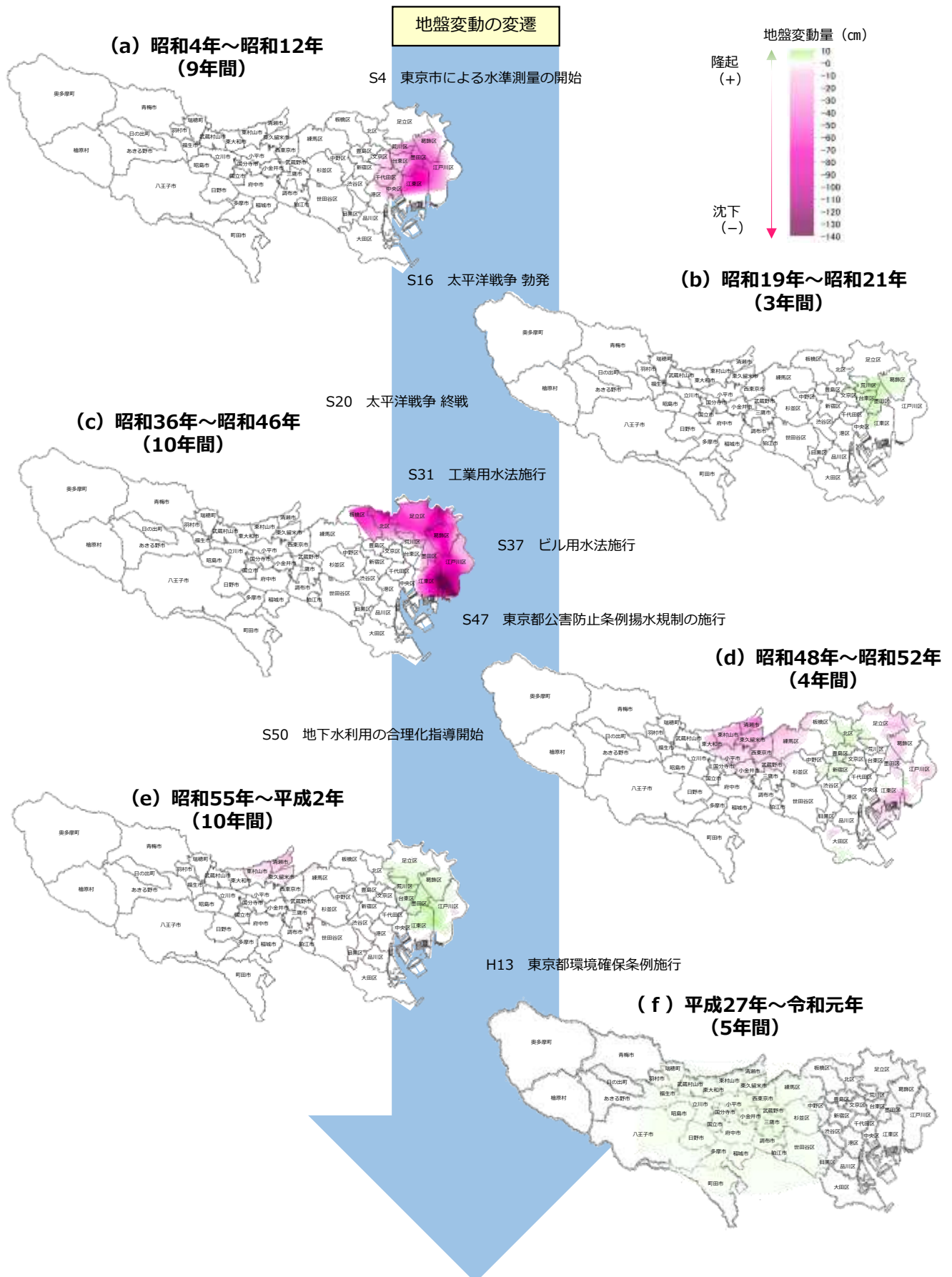


図 7-2 地盤変動の変遷

遠藤毅・川島眞一・川合将文「東京都下町低地における“ゼロメートル地帯”展開と沈静化の歴史」(2001)^[2]より
旧東京都土木技術センター、現東京都土木技術支援・人材育成センター「地盤沈下調査報告書」^[3]より

(2) 地盤沈下対策

ア 対策内容

地盤沈下が急速に進行していた東京都では、沈下を止めるため全庁をあげて表 7-1 のような様々な対策を実施しました。地盤沈下状況把握のためのモニタリング調査の拡充に始まり、代替水源の確保、地盤沈下に影響を及ぼす揚水の規制や停止など段階的に対策を実施してきました。また、工場や事業所を対象として、水使用方法を指導・検討することで地下水利用の削減に努めた合理化指導も実施しました。

次ページより、地盤沈下対策の詳細について示します。

表 7-1 地盤沈下の対策

対策	実施内容
① モニタリング調査の拡充	観測井の設置、拡充
② 代替水源の確保	工業用水道の敷設
③ 地下水揚水の規制	法律・条例に基づく揚水規制
④ 天然ガス採取の停止	鉱業権の買収、天然ガスかん水の揚水停止
⑤ 水使用の合理化指導	製造工程の改善指導

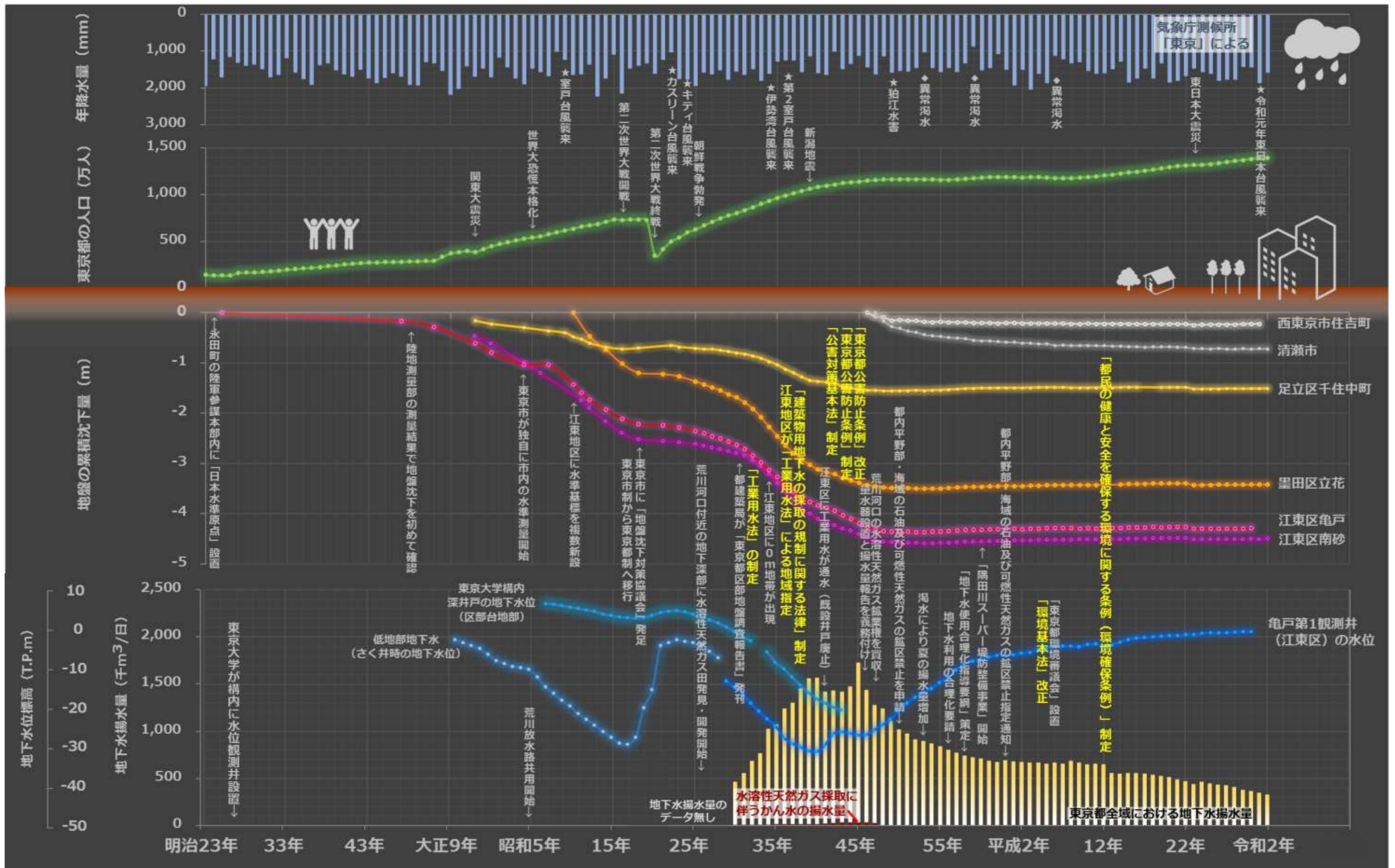


図 7-3 地盤沈下と対策の歴史年表

川島眞一・川合将文・遠藤毅「東京低地を中心とする地盤地下と調査、対策の年譜」(2008)^[4]、山口林造「東京大学構内深井戸の水位変化(1968年末まで)」(1969)^[5]より

① モニタリング調査の拡充

東京都内の地盤の高さを測る水準測量は、明治 25(1892)年に初めて現在の国土地理院によって実施され、東京都独自の水準測量は昭和 4(1929)年から実施を開始しました。水準測量の地点や頻度が増えるにつれ、東京都の地盤が低下していることが明確になっていきましたが、地盤沈下の原因が地殻変動と考えられていたため、地下水の状況をモニタリングすることは行われませんでした。

昭和 10 年代になると、地下水の揚水が地盤沈下の原因であることが徐々に分かってきましたが、戦争の影響などで地下水位観測井の設置は遅れました。江東区亀戸に都内で初めて地下水位の観測井が設置されたのは、昭和 27(1952)年のことです。

その後、地盤沈下の実態をとらえ、対策につなげるため、地下水位の観測井を増やしていき、現在は 42 地点 104 井で、地盤や地下水の状況を監視しています。

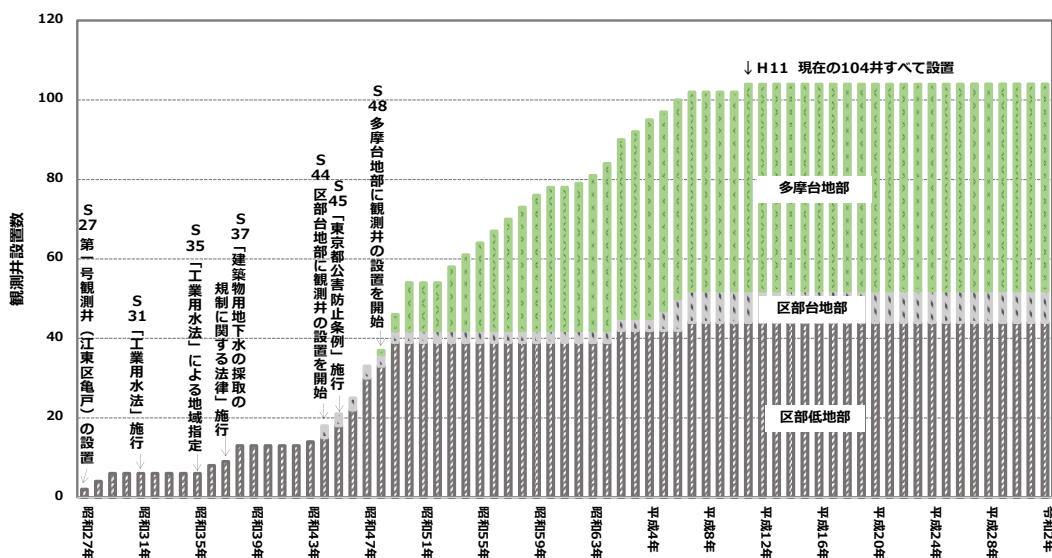


図 7-4 1年ごとの観測井設置数の推移

旧東京土木技術センター、現東京都土木技術支援・人材育成センター「地盤沈下調査報告書」^[3]より集計

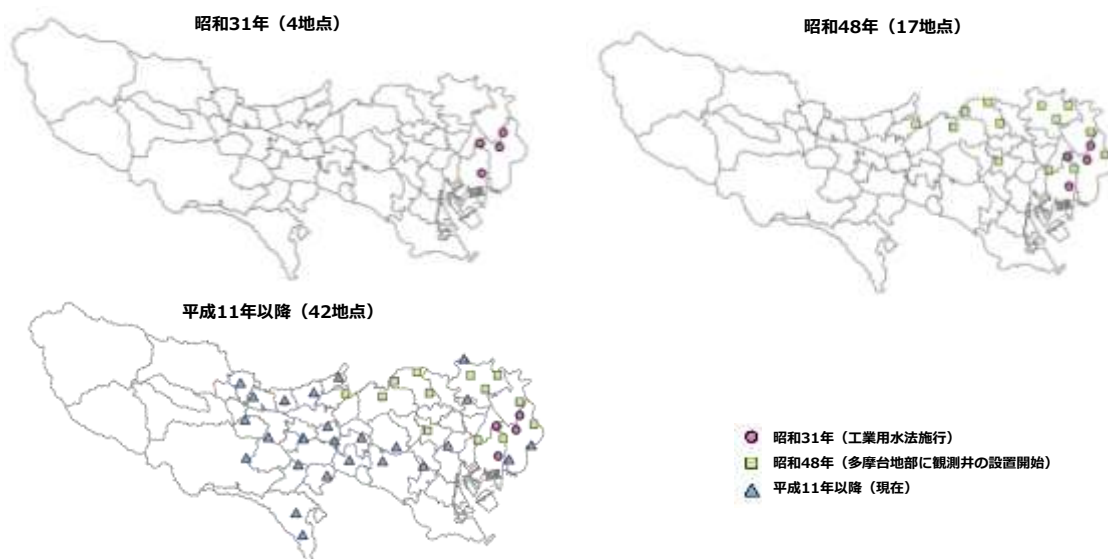


図 7-5 観測井の設置箇所 の 広がり

旧東京土木技術センター、現東京都土木技術支援・人材育成センター「地盤沈下調査報告書」^[3]より集計

② 代替水源の確保(工業用水道の敷設)

地盤沈下が進行していた昭和 20 年代後半、堤防のかさ上げ等の応急的な対応だけではなく、抜本的に地盤沈下そのものを止めるため、工場の地下水揚水を規制し、代わりに工業用水を供給すべきとの意見が関係者の間に出てきました。

また、地盤沈下は東京以外の工業都市でも見られ、代替水としての工業用水の供給を切望する声が全国的に高まっていきました。こうした背景のもと、国が昭和 31(1956)年に工業用水法、昭和 33(1958)年に工業用水道事業法を制定し、地下水揚水を規制し工業用水を供給する道が開かれたのです。

当時、東京の人口は著しく増加しその後も激化することが予想され、都民の生活用水を確保することさえ深刻な情勢にあったこと、水利権上の問題から工業用水の河川取水が望めず、東京都は下水処理水(再生水)の利用可能性について調査検討を進めました。再生水の水質で対応可能な業種が多かった江東地区では、再生水を原水とする大規模施設として国内初となる南千住浄水場と南砂町浄水場が昭和 39(1964)年度に完成し、工業用水の給水が開始されました。この江東地区工業用水道は、地盤沈下対策としてだけでなく、広域的な水の循環利用を推進したものとして注目を集めました。

一方、城北地区でも昭和 20 年代後半から工場の新設や増設が相次ぎ、揚水量は江東地区をしのぐ量となっていました。城北地区は化学系の工場が多く、良質な水を必要としていたため、工業用水の原水として再生水を利用することはできませんでした。しかし、昭和 39(1964)年の東京オリンピックに向け、水の確保を目的として利根川からの導水が決定していたことから、利根川の表流水を水源とする三園浄水場を建設し、昭和 46(1971)年から給水が開始されました。

給水開始後、揚水規制基準の強化や規制区域の拡大等の対策によって地盤沈下は沈静化に向かい、初期の目的は達成した一方、工場の移転や水使用の合理化により、工業用水の需要は昭和 49(1974)年度をピークに減少が続きました。浄水施設の統廃合に加え、洗車や水洗トイレ等の雑用用途への供給拡大も進めてきましたが、経営状況は厳しく、設備の老朽化による大規模更新時期も間近に迫る中、需要の増加が見通せないことから、令和 5(2023)年度末での工業用水道事業の廃止が決定しています(平成 30 年第 3 回都議会定例会にて)。

東京都水道局「東京近代水道百年史(通史、部門史)」(1999)より^[6]
東京都水道局ホームページより^[7]

③ 地下水揚水の規制

地盤沈下を止めるため、東京都では法律や条例に基づき地下水の揚水を規制してきました。地盤沈下の状況を踏まえ、規制区域の拡大や基準の強化を段階的に進め、揚水量の削減を図ってきました。

「工業用水法」は工業用に使用する井戸、「建築物用地下水の採取に関する法律」（ビル用水法）は4用途（冷暖房、洗車、水洗便所、公衆浴場）に使用する井戸をそれぞれ対象とし、規制基準を設けています。現在、「工業用水法」は8区、「ビル用水法」は23区が規制区域となっています。

また、地盤沈下を止めるためには法の対象外地域を含む広域的な揚水規制が必要との審議会答申を受け、東京都は独自に「東京都公害防止条例」により、多摩地域でも揚水規制を開始しました。その後公害防止条例を全面改正した「都民の健康と安全を確保する環境に関する条例」（環境確保条例）では、用途を全用途に拡大しています。

表 7-2 法律・条例による揚水規制の主な経緯

	工業用水法・ビル用水法	東京都条例
昭和 31 年 (1956)	工業用水法施行	
昭和 36 年 (1961)	工業用水法地域指定(江東地区)	
昭和 37 年 (1962)	ビル用水法施行	
昭和 38 年 (1963)	工業用水法地域指定(城北地区) ビル用水法地域指定(14 区)	
昭和 45 年 (1970)		東京都公害防止条例施行(4 月)・改正(11 月)
昭和 46 年 (1971)	工業用水法規制基準強化	改正条例(量水器設置)施行 ⇒揚水量報告義務化
昭和 47 年 (1972)	工業用水法地域指定(江戸川区東部) ビル用水法地域指定(9 区)・規制基 準強化(14 区)	改正条例(地域・構造基準)施行 ⇒多摩地域でも規制開始
平成 13 年 (2001)		環境確保条例施行 ⇒工業用、ビル用に限らず全用途を対象

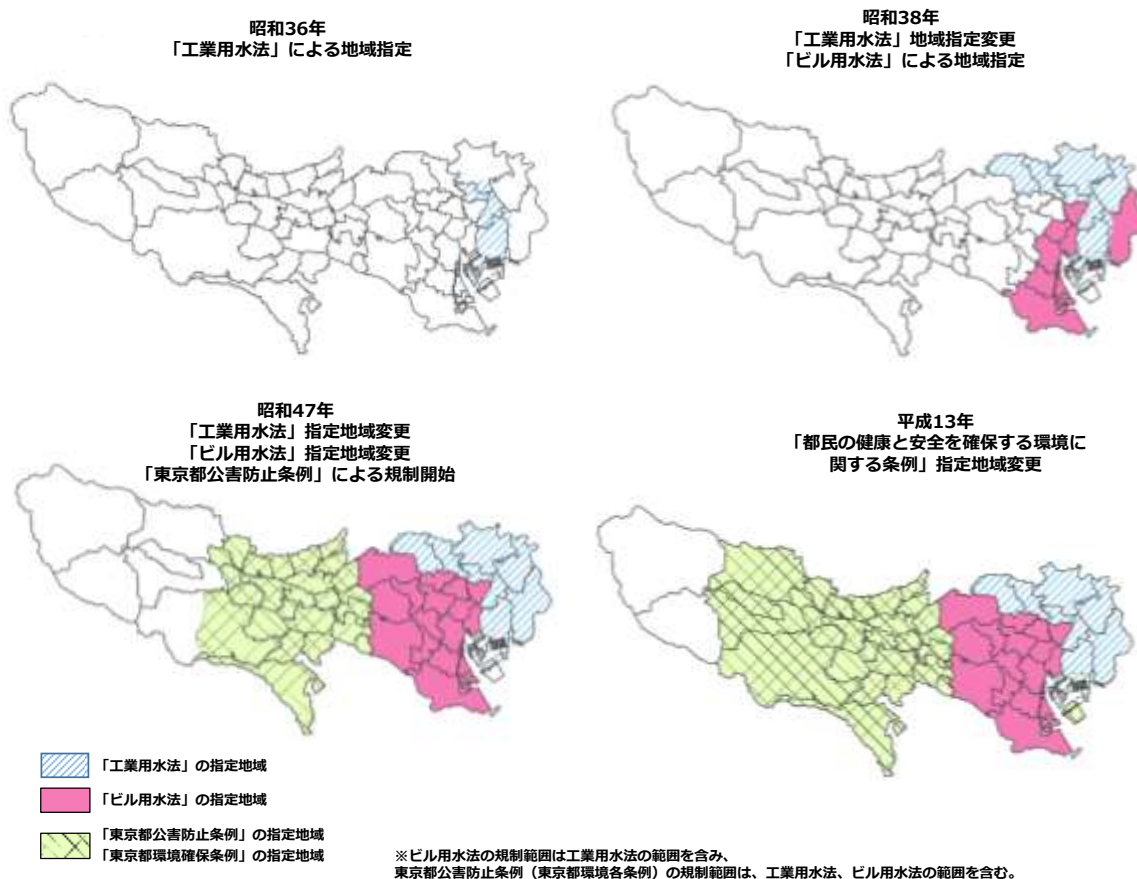


図 7-6 規制に係る法律、条例による揚水規制の指定と基準改正の変遷

遠藤毅「南関東地域における地下水問題の歴史と今後の課題-東京都を主体にして」(2009) ^[8]より作成

④ 天然ガス採取の停止

関東平野南部の地下では水溶性天然ガスが地下水中に溶け込んでおり(かん水)、東京都内では昭和26(1951)年から天然ガス開発が開始されました。当初からかん水の汲み上げによる地盤沈下の発生は懸念されていたものの、採取する地層が地下約600m以深の固い地盤であることや、因果関係を証明する決定的な報告は無いとして開発が促進され、昭和45、46(1970、1971)年には江東・江戸川地区で日量約3万³のかん水が汲み上げられるに至りました。その間、荒川河口域一体の地盤沈下は著しく進行し、年間20cm以上の沈下が見られるようになっており、一日も早い行政対応が求められました。

東京都は、国及びガス採取企業に対し汲み上げ量の削減を要請し、昭和47(1972)年7月から、国の指示に基づく企業による自主規制(25%削減)が開始されました。国に対し天然ガス鉱業権の取消しについても折衝していたものの、早急な処分が期待できなかったことから、東京都は同年12月、鉱業権を3億9千万円で買収し、ガス採取を完全に停止させました。

昭和50(1975)年には、新たに鉱区が設定されないよう、東京都は国の公害等調整委員会に対し天然ガスの鉱区設定禁止を申請しました。この申請は昭和63(1988)年に受理され、現在都内では天然ガスの採取は不可能となっています。

遠藤毅「南関東地域における地下水問題の歴史と今後の課題-東京都を主体にして」(2009) ^[8]、
石井ほか「荒川河口付近の地盤沈下について -天然ガス採取に関連して- (昭和48年度都土木技術研究所年報)」(1974) ^[9]、

OB ヒアリング回答文書より作文

⑤ 水使用の合理化指導

用水二法(工業用水法、ビル用水法)により地下水揚水の規制が進みましたが、東京都では地下水利用の代わりとなる新規水源の開発が滞り、代替水源の確保が困難になりました。そのため、地下水利用の削減手法として、独自に水利用の合理化指導の取組を実施しました。

まず、昭和 46(1971)年に改定された東京都公害防止条例にて、条例の対象となる工場・事業場は揚水量の報告が義務付けられ、個別の利用実態を把握し始めました。その報告に基づき、揚水量の減少勧告や施設等の改善勧告を行いました。十分な成果は得られなかったとして、要領や指導マニュアルを定め工場・事業場ごとに指導を実施しました(表 7-3 参照)。

水使用合理化指導では、製造工程の把握から、時には排水処理方法まで検討し、一つの工場に数年費やすこともありました。規模別で全体的な削減目標の計画が立てられ、進捗管理を行うことで、地下水利用の削減に貢献してきました(図 7-7 参照)。

表 7-3 水使用合理化指導 指導マニュアル

- ①水利用の概況の理解(行政の立入による現場把握)
- ②用途別使用水量の測定の指導(→工場から詳細な水利用現状資料の提出)
- ③水使用合理化の理解
- ④水使用合理化の勧告又は命令
- ⑤工場との折衝(→工場から改善計画提出)

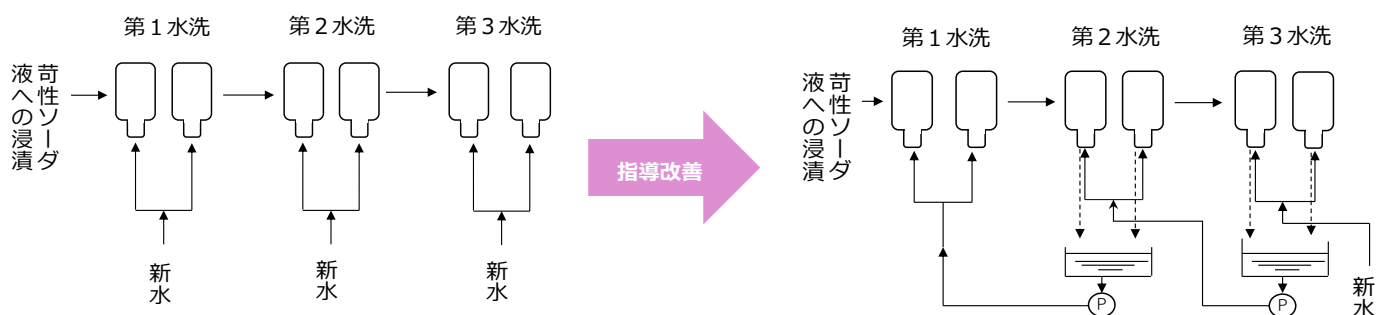


図 7-7 水使用合理化指導例(ビン洗浄施設の改善)

コラム：地盤沈下対策や調査研究に従事された方々の記録

昭和 40 年代は、江東区や江戸川区で年間 20 cm 以上の激しい地盤沈下がみられ、沈下範囲が多摩地区まで広がった時期です。この地盤沈下最盛期に地盤沈下対策に奔走していた元東京都職員から、当時の東京の状況や、課題解決における困難、次世代へのメッセージなどをヒアリングしました。

◆ヒアリングした都庁 OB(昭和 40 年代の職歴を併記)

- ・ W 氏：昭和 42 年～45 年 首都整備局総合計画課防災対策係
昭和 45 年～48 年 公害局規制指導部規制基準課地盤沈下係
昭和 48 年～49 年 公害局規制部特殊公害課地盤沈下対策係
- ・ F 氏：昭和 40 年～44 年 首都整備局総合計画課地盤沈下対策係
<昭和 44 年～46 年 練馬区企画室出向>
昭和 46 年～同 50 年 公害局水の循環利用方策係
- ・ E 氏：昭和 42 年に建設局土木技術研究所(※) 地象部地盤沈下研究室に配属され、地盤沈下対策に関する調査研究を開始。その後長期にわたり、東京の地形・地質、地下水の状況等に関する調査、研究に従事。

※現東京都土木技術支援・人材育成センター

Q. 昭和 40 年代の地下水の保全、利用を巡る世論について教えてください。

W 氏：梅雨、台風時の内水氾濫^{*}の発生や、年 10 数 cm もの地盤沈下状況の調査の発表などがあると、対策の遅れや、揚水規制の強化の必要性などを指摘するマスコミの論調が続いていた。一方、産業界からは地下水は有効に利用すべきとの根強い反対意見があった。

※大雨の際等に、地域の水はけが悪化し、建物や土地・道路が水につかってしまうこと

F 氏：当時、深層の地下水は、清澄な水資源として有効に活用すべきと考えられており、科学的な根拠や算出方法が見いだせるなら、有効な水資源として活用すべきであろうと言われていた。しかし、ひとたび沈下した地盤は、永久に復元不能であることを肝に銘じておく必要がある。

Q. 地盤沈下の被害実態について、当時のエピソード等を教えてください。

W 氏：橋の沈下により、船が川を航行できなくなる障害が見られた。また、低地でゼロメートル地帯が拡大しつつある最中で、局所的な内水氾濫などがあった。

F 氏：年間 16 cm 以上も沈下した地点が出現し、写真入りで新聞紙上に公表され話題になったこともあった。地下水を手押しポンプで汲み上げて家庭用水として使用していた井戸が、最終的に 1.5m 近く抜け上がり使用不能になる事例もあった。また、不同沈下によって、家屋内の障子やふすまが低いほうに偏り、閉めたたたんにすると動き出し、柱にぱちんと音を立てて戻ってしまう状況を見せつけられ、嘸然としたことを思い出す。その他、民家が傾き、住んでいる人たちにめまいなどの健康障害が発生して、生活できなくなった事例もあったと記憶している。とにかく、いろいろな障害が出ていた。

E 氏：建設局による水害経験・地盤沈下の都民の意識調査の調査結果に、当時の都民の危機意識が詳しくまとめられている。低地住民の半数近くが水害を経験しており、6 割以上が水害に危機感を持っていた。特に、“ゼロメートル地帯”の中心地である江東区や江戸川区では、住民の 9 割が水害の危機感・地盤沈下の危機感を持っていた。



図 7-8 当時の状況写真

左：昭和 35 年頃の都内河川 橋が沈下し、船舶の航行が困難になっている（上：綾瀬川 下：横十間川）
右：地盤沈下により抜け上がった井戸

Q. 一都三県による広域的な地盤沈下対策について教えてください。

F氏：当時、都市化の進展に伴って工業用のみならずビル用（冷房用等）の地下水の揚水量が急激に増え、地盤沈下に大きな影響を与えていた。地下深くの洪積層まで収縮しつつあったほか、東京のみならず千葉県、埼玉県及び神奈川県にまで地盤沈下の影響が出始めていた。そこで都県境を超えた広域的な地盤沈下に関する協議・検討の場が設けられた。

W氏：東京都は、南関東地方地盤沈下調査会の事務局を務めた。私は事務局の担当者として、具体的な対策立案のために専門調査員に調査研究を委託し、その成果を報告書にまとめた。また、関東地方知事会地盤沈下部会では、広域対策にかかわる施策、制度の調整、その進捗を政府に要望することなどにかかわった。なお、規制強化、対策促進は各自治体共通の課題であり、このような広域対策の協議において、自治体間で意見の大きな違いはなかった。

昭和 46 年南関東地方地盤沈下調査会が、南関東の地下水は、従来の定常的に水が補給されるとする「地下水脈循環説」を否定し、補給量が極めて少ない「水溜まり地下水盆説」を発表し、規制強化の動きに大きな影響を与えた。

Q. 調査会での検討や広域協議会での協議などを経て、公害防止条例の改正（規制地域拡大、構造基準設定）がなされました。これに際しての議論や苦労等についてご教授ください。

W氏：公害防止条例改正について、大きな反対はなく、議論がスムーズに進んだように記憶するが、下記のような背景があったからでは、と考えている。

条例は、法の規制地域を除いた地域を対象にしていたほか、既設井戸への適用は猶予していたこと。また、条例の構造基準は、法の規制基準に整合、準用しているが、同時期に法による規制地域の拡大、構造基準の強化の動きがあったこと、など。

E氏：公害防止条例の対象区域となる多摩地区は、井戸のストレーナーの構造基準を検討するための地質柱状図(地下の地層を深度ごとに整理した図面)が不十分だった。首都整備局のT係長と一緒にあちこち資料を探し回り、ずいぶん苦労して、資料作成したことを覚えている。

Q. 公害防止条例改正は、工業用水法改正による規制強化とほぼ同時期でした。この頃の国とのやり取りについて教えてください。

W氏：国は揚水規制の強化にはきわめて慎重、消極的であったように記憶している。規制強化の要望、要請に対して、合理的根拠(揚水と地盤沈下との因果関係が不明確)や、代替水の経済性の問題などを理由に、国の対応は遅かった。この結果、揚水規制強化の実施までには長い時間を要してしまった。

E氏：工業用水法の許可基準(井戸水を工業用に利用するための条件)の「地表面からストレーナーの位置」の妥当性について、地質資料を基に検討を行った。この結果、江東地区では実質的に地下水利用は期待できないことが分かった。一方、板橋、練馬等の城北地区及び足立区、葛飾区では、許可基準が帯水層の基底(最下端)よりもはるかに浅く、実質的には汲み放題となっていることが分かった。この結果をもとに、東京都は「実質的に地下水利用が不可能な帯水層深度」を設定し、通商産業省に法律改正を要請した。時期は定かでないが、東京通産局へ首都整備局のT係長と同行したことがある。この結果、昭和46(1971)年に、工業用水法が現在のように改正された。

Q. 都は、地盤沈下問題に対し、鉦区買収による天然ガス採取の禁止措置を執り行いました。これに際しての経緯等を教えてください。

W氏：昭和(1967)42年に東京都地盤沈下対策審議会は天然ガス開発と地盤沈下との関係調査の重要性について答申をしている。また、東京都土木技術研究所による調査結果でも、因果関係があることが示唆されていた。さらに、昭和46(1971)年に千葉県葛南地域における天然ガスの採取の禁止により地盤沈下が停止し、因果関係があることが実証されていた。

E氏：政党の中には“地盤沈下に関して東京都は被害者である。加害者であるガス会社に金を払うのは本末転倒、揚水を即時停止させ、逆に賠償金を払わせるべきだ”との意見があった。しかし、年間20cmの沈下は、ゼロメートル地帯の展開に拍車をかける。千葉県の前例もあり、“天然ガス採取の停止は東京都の急務である”と、鉦区買収が決定した。

W氏：買収額については、フォスコルド方式で算出し、3億9千万円とした。

E氏：この買収額だが、市川市・船橋市の天然ガスの鉦区買収額を参考にし、財政当局と交渉・設定した。この際、T係長と二人、夜遅くまで、ガス抗井柱状図を睨みながら作成した根拠資料で議会説明をし、買収額は承認された。

Q. 最後に、次世代へメッセージをお願いします。

F氏：地盤沈下は同じ揚水量でも、地下水脈の上流地区と下流地区とでは地盤沈下の程度が異なる。当時は、地下水脈の流れが全く把握されていなかった時代であり、地盤構造の把握すらも全く不十分な時代で、地盤沈下には様々な学説があった。究極的には、揚水量と地盤沈下量との相関性を把握して地盤沈下を生じさせない揚水政策を、行政が実現できるかが大きな課題として浮かび上がってきた時代だった。地下水の保全と利用の両立は、天然の循環資源である「水」を都民が、否日本人が、否全人類がいかに負のダメージを起こさず、スマートにコントロールするにかかっていると考える。

W氏：一度沈下した土地は元には戻らず、地盤沈下が再発すれば、ゼロメートル地帯は拡大する。沈下の再発防止、災害防止のために揚水規制の遵守、一層の水使用の節約、合理化に努めて欲しい。また、地盤沈下では他の公害のような健康被害はなく、現象(沈下)と被害(浸水被害)との関係や対策の効果が認識されにくい。これまでの対策を検証し、新たな施策の展開に活用すること、また地盤沈下を防災問題としてとらえ、環境・防災教育の普及啓発など地道な取組にも期待したい。

E氏：「地盤沈下を生じさせない安全揚水量を明確にし、過剰な地下水の揚水をさせない」。地盤沈下及び地下水管理部門に従事する職員が、常に悩むのはこの命題である。我々関係者は、この広い平野部一帯の(とらえどころのない)地下水について、“地域ごとの安全揚水量”、質ではなく量をどのように算出するのか考えあぐねている。一方、周囲は、この命題が何時解決するのかと期待している。遠い道のみではあるが、この命題解決の前にある課題を一つ一つ解決し、その終結に向けて、一步一步進むより方策は無い。

今回ご紹介した内容は、伺ったお話の一端となります。御協力いただきました皆様、誠にありがとうございました。

7-2 地盤沈下の損害への対策

地盤沈下の影響は様々なところでみられ、対策を行う必要がありました。その一例として、船舶の運航への影響やかさ上げ護岸が挙げられます。

図 7-9 に示すように、土地の標高が下がると河川にかかる橋も同時に沈下しますが、河川の水位は地盤沈下の影響は受けません。このため、地盤沈下が激しい地域では、橋と水面の隙間が小さくなり、船舶の運航が困難になりました。

また、護岸についても同様の理由で、地盤沈下が進行するごとに護岸のかさ上げが必要になりました。特に沈下の激しかった江東区を中心に流れる、小名木川(位置：図 7-1 参照)をはじめとする江東内部河川(荒川と墨田川に囲まれた土地＝江東デルタ地帯を流れる河川の総称)では、昭和 27(1952)年から 37(1962)年の間に 4 度も護岸のかさ上げを行う必要がありました(図 7-10 参照)。

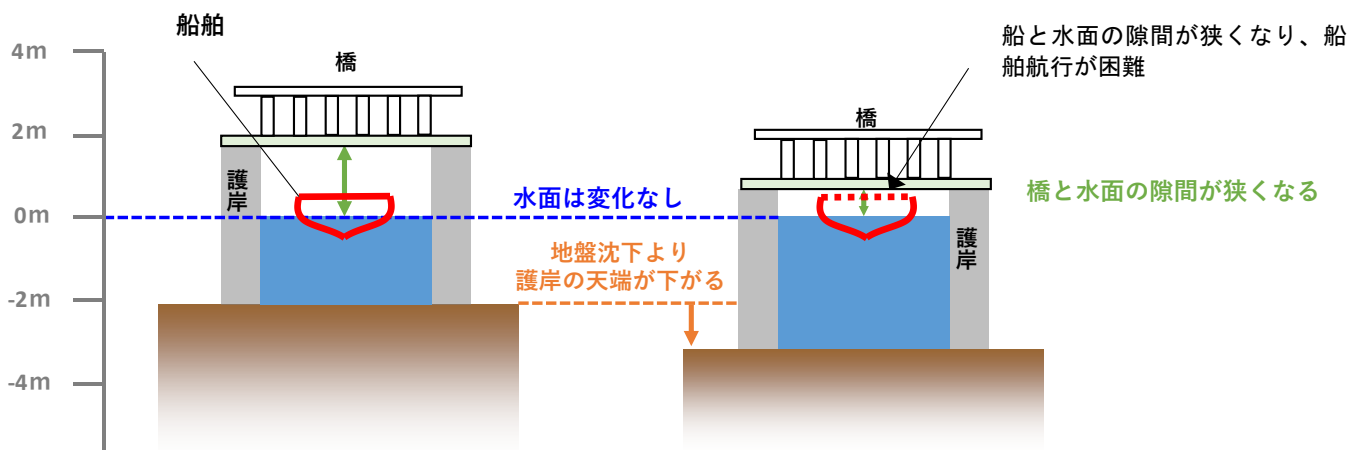


図 7-9 地盤沈下による船舶の運航への影響(イメージ図)

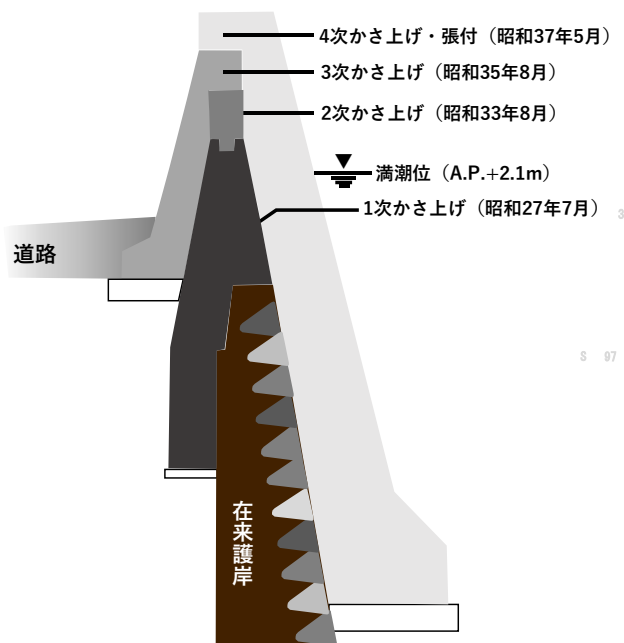


図 7-10 小名木川のかさ上げ護岸の変遷と旧護岸(東京都江東区北砂 5 丁目)

左図：江東区「町の記憶と展 浸水から親水への道のり」^[10]を参考に作成

河川の護岸整備以外にも、ゼロメートル地帯に暮らす人々の生命、財産を守るため、防潮堤などの海岸保全施設の建設や、さらにそれらの維持管理などに多くの費用が必要となります。昭和 32(1957)年度から 60(1985)年度までの公共資本投資額は、平成 21(2009)年度換算で 5,180 億円と試算されました(平成 22 年度地下水対策検討委員会のまとめより)。近年においても、首都直下型地震や頻発する豪雨災害への備えのため、維持管理費用が増加する傾向にあり、令和元年度には前年度より全体費用は減少しましたが、東部低地帯耐震・耐水対策事業費や高潮防御施設費は増加しています。

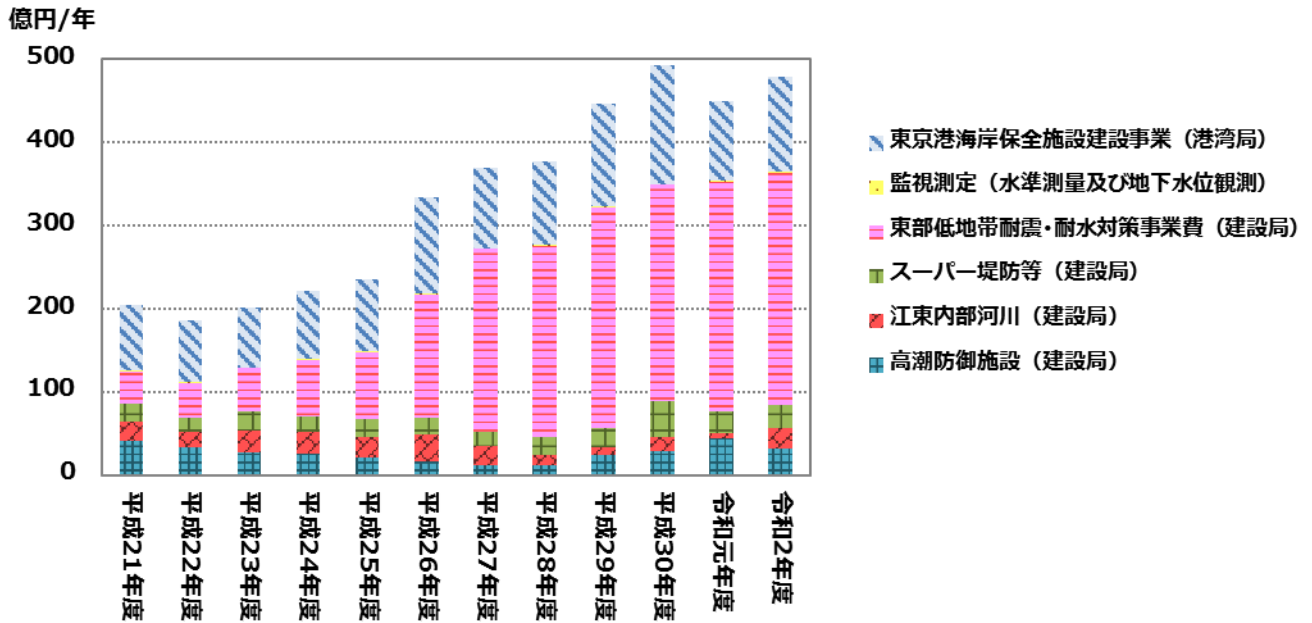


図 7-11 高潮等対策費用

7-3 湧水の枯渇

地下水位の低下は湧水の枯渇や減少とも関係があるといわれています。台地部で不圧地下水位が低下すると、湧水の出口となる帯水層に十分な地下水がなくなり、湧出しにくくなることで湧水が枯渇することがあります(図 7-12 参照)。都内では、昭和 30 年代の 3 大湧水地(井の頭池、三宝寺池、善福寺池)の枯渇がよく知られています。

不圧地下水位低下の主な原因は、都市化による地下浸透域の減少といわれていますが、多摩地域では、被圧地下水の過剰揚水による不圧地下水位の低下も一因である可能性も指摘されています(守田 2012^{[11])}。多摩地域では地質構造上、不圧帯水層と被圧帯水層が接している場所があり、被圧地下水が過剰に揚水されることで、浅層の地下水が深層へ浸透・涵養されるという現象も想定されています。

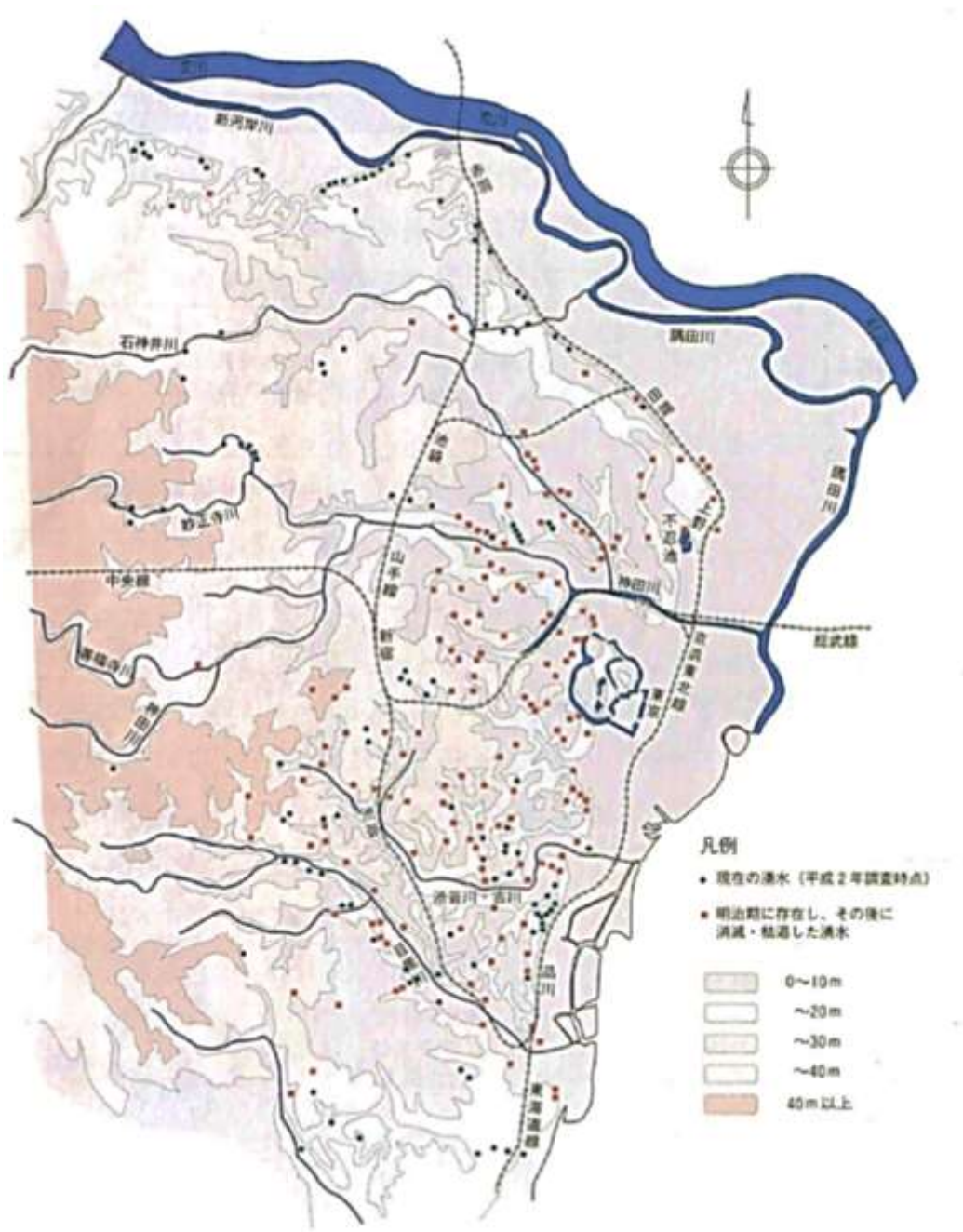


図 7-12 東京都における湧水の枯渇・消滅状況

東京都環境保全局「東京都水辺環境保全計画」(1993)^[12]より
 (図の出典: 東京都環境保全局「地下水実態調査報告書」(1992)“島野 原図”)

7-4 地下構造物の浮き上がり

地下水に関わる問題として、地下構造物の浮き上がりがあげられます。

地下の構造物には地下水の浮力が働くことがあります。そのため、地下の構造物はあらかじめ地下水による浮力を受けても大丈夫なように設計・建設されていますが、想定より大きな浮力が発生すると、構造物の浮き上がりや変形につながる可能性があります、問題として取り上げられています。

東京駅を通る総武快速線や上野駅を通る東北新幹線では、駅が地下にあり容積が大きく、かつ上部に重しとなる構造物がないという特殊な舟型の設計がされています。これらの地下駅は、過剰揚水により地下水位が低下していたところに建設されており、当時の地下水位で発生する浮力には、十分に耐えられるように設計されていました。しかし、地下駅の建設後、地下水の揚水規制により周辺の地下水位が上昇し、地下水の浮力により駅が浮き上がる可能性や、駅の床が損傷する可能性が生じてきました。

上野地下駅を例に、浮き上がりの状況と、その対策について説明します。

設計時には地下 38m の深さに地下水位がありましたが、完成時には地下水位は 20m 上昇し、地下 18m となっていました。その後も地下水位が上昇したため、平成 7(1995)年に 1 次対策として、鉄のおもり(カウンターウェイト)を置いて駅を重くする対策がとられています。この際設置されたおもりは 3 万 7000 トンに達します。

また、地下水位が急激に上昇した場合に地下水を汲み上げるための井戸が設置されました。

その後も地下水位が上昇したため、平成 16(2004)年に 2 次対策として、グラウンドアンカーで駅を地面に固定する対策がとられました。同様に、東京地下駅でもグラウンドアンカーによる対策がなされています。

現在まで地下水位の回復傾向は続いています、これらの対策により、いずれの駅も安全に利用できています。

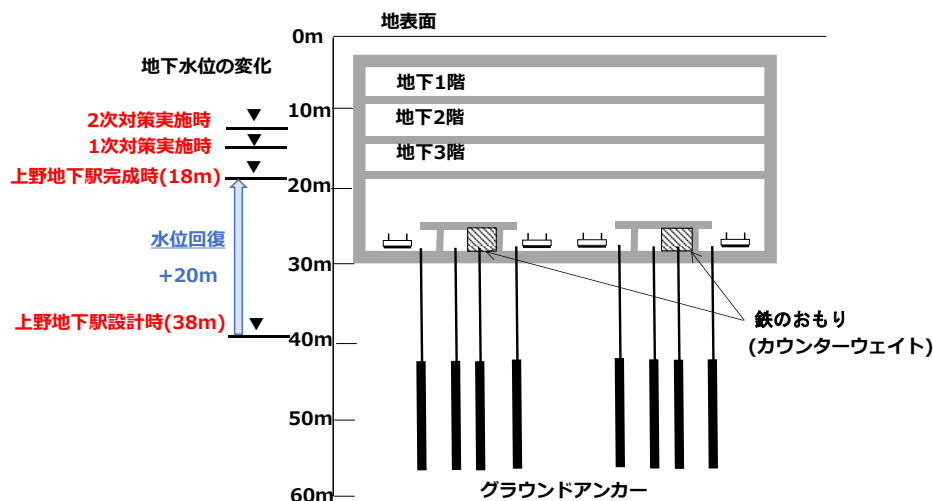


図 7-13 上野地下駅周辺の地下水位の変化と対策イメージ

公益社団法人 日本地下水学会「地下水・湧水の疑問 50 (みんなが知りたいシリーズ 13)」^[13]参考に作成

引用文献

- [1] 国土交通省 国土地理院, 基盤地図情報ダウンロードサービス, <https://fgd.gsi.go.jp/download/menu.php>.
- [2] 遠藤毅・川島眞一・川合将文, 「東京都下町低地における”ゼロメートル地帯”展開と沈静化の歴史」, 一般社団法人 日本応用地質学会, 2001年.
- [3] 東京都土木技術支援・人材育成センター, 「地盤沈下調査報告書」, <https://www.kensetsu.metro.tokyo.lg.jp/jigyo/tech/start/03-jyohou/chinka/chinka.html>.
- [4] 遠藤毅・川島眞一・川合将文, 「東京低地を中心とする地盤沈下と調査、対策の年譜」, 平成20年度都土木技術センター年報, 2008年.
- [5] 山口林造, 「東京大学構内深井戸の水位変化 - 1968年末まで - 」, 東京大学地震研究所, 1969年.
- [6] 東京都水道局, 「東京近代水道百年史(通史、部門史)」, 1999年.
- [7] 東京都水道局, 「工業用水道事業の廃止について」, <https://www.waterworks.metro.tokyo.lg.jp/suidojigyo/kosui/faq/haishi.html>.
- [8] 遠藤毅, 平成21年度 特別講演およびシンポジウム予稿集 「南関東地域における地下水問題の歴史と今後の課題-東京都を主体にして」, 一般社団法人 日本応用地質学会, 2009年.
- [9] 石井ほか, 「荒川河口付近の地盤沈下について -天然ガス採取に関連して-」, 昭和48年度都土木技術研究所年報, 1974年.
- [10] 江東区, 「まちの記憶と未来展 浸水から親水への道のり」, 江東区, 2021年. <https://www.city.koto.lg.jp/470601/machizukuri/kasenkoen/kasen/matinokioku.html>, 2020年.
- [11] 守田優, 地下水は語る一見えない資源の危機, 岩波新書, 2012.
- [12] 東京都環境保全局, 「東京都水辺環境保全計画」, 1993年.
- [13] 公益社団法人 日本地下水学会, 「地下水・湧水の疑問50(みんなが知りたいシリーズ13)」, 成山堂書店, 2020年.

8. 東京の地下水と地盤の状況

地下水の揚水規制により現在は地盤沈下が沈静化していますが、地下水や地盤の現状把握のために、現在まで継続的にモニタリングを実施しています。東京の各地に観測井を設け、地下水位や地盤の沈下量などの確認を行っています。

なお、モニタリング結果を検討するに当たり、東京の各地域を以下のように「区部低地部」、「区部台地部」、「多摩台地部」、「多摩山地部」に区分しています。

※地下水揚水量の集計結果は、多摩台地部と多摩山地部を併せて多摩地域とする。

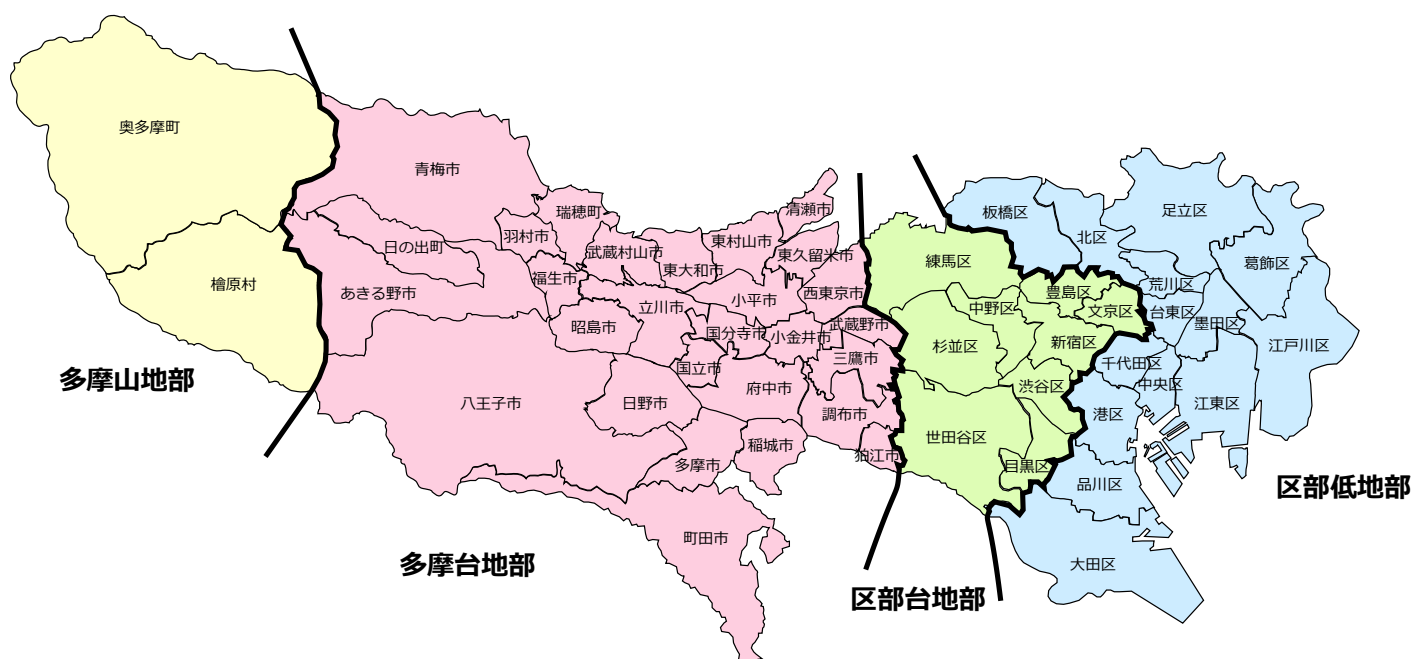
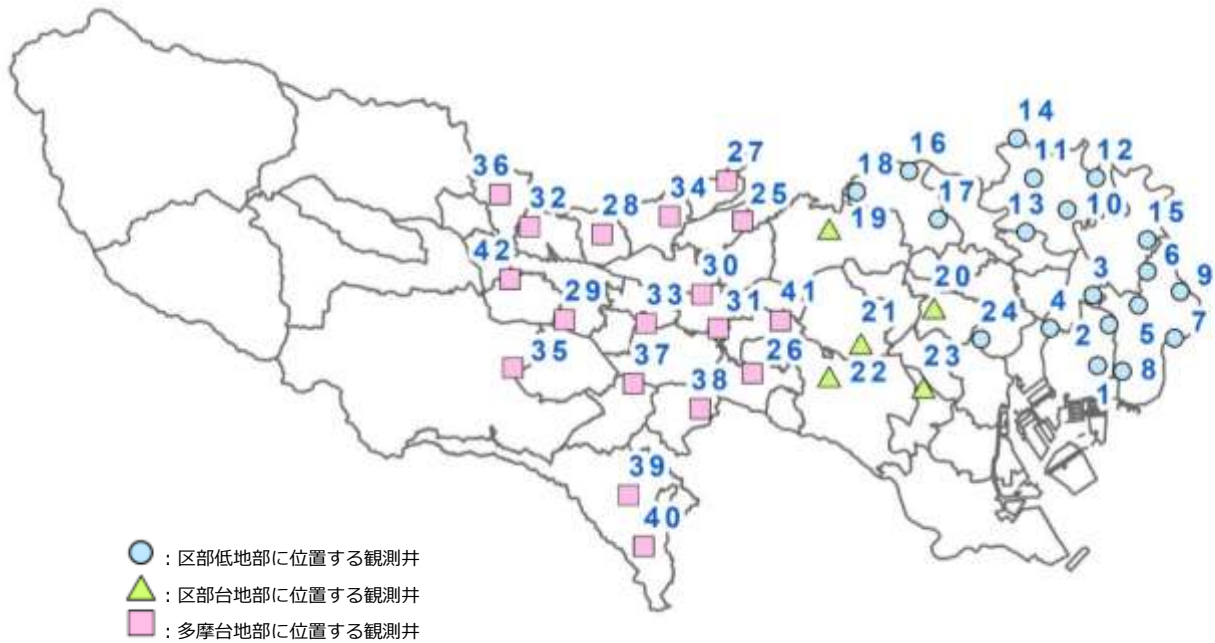


図 8-1 東京都の地域区分

8-1 モニタリング方法

(1) 地下水位観測

東京都には地下水位の変動を観測する井戸(観測井)が設置されています。現在、都内に 42 地点の観測所に深度の異なる 104 本の観測井があり、地下水位の連続的な観測を実施しています。



同一観測所に、深さの異なる複数(2~4)の観測井を設け、異なる帯水層の地下水位を観測している。

図 8-2 東京都の観測井位置図

国土数値情報 行政区域^[1]ポリゴンを使用して作成
旧東京都土木技術センター、現東京都土木技術支援・人材育成センター「地盤沈下調査報告書」^[2]参考

表 8-1a 観測井一覧表(区部)

●区部				(令和2年12月現在)								
地域	地点 No	整理 No	鉄管 No	観測井名	所在地	設置 年月	鉄管 深さ (m)	鉄管 の径 (cm)	ストレーナ の深さ (m)	周辺 地盤高 T.P.(m)		
江東区	1	1	研 15	南砂町 第1	南砂三丁目、南砂少年野球場東側脇	昭 29.5	70	20	65~ 70	-2.2		
		2	" 23	" 第2		" 36.3	130	20	125~ 130			
江東区	2	3	研 12	亀戸 第1	亀戸九丁目、江東区亀戸福祉園内	昭 27.6	61	20	56~ 61	-1.8		
		4	" 22	" 第2		" 35.6	144	20	139~ 144			
墨田区	3	5	研 13	吾 嬢 A	立花五丁目、下水道局吾嬢ポンプ所内	昭 28.5	47	20	42~ 47	-1.0		
		6	" 16	" B		" 30.6	115	20	108~ 115			
墨田区	4	7	研 65	両 国 第1 *	両国一丁目、隅田川両国橋下流左岸	昭 49.3	38	8	35~ 37	1.9		
		8	" 66	" 第2		" 49.3	126	20	76~ 87			
江戸川区	5	9	研 29	新江戸川第1(浅井戸)	松島二丁目、都立江戸川高校内南角	昭 38.12	71	5	2~ 10	-1.6		
		10	" 30	" 第2		昭 38.12	151	20	129~ 150			
		11	" 31	" 第3 *		" 41.12	450	10	313~ 346			
	江戸川区	6	12	研 28	小 岩	上一色三丁目、都五建江戸川北工区内	昭 38.8	56	20	47~ 55	2.5	
			13	研 38	江戸川東部第1		江戸川三丁目、八雲神社向側	昭 45.3	70	20		62~ 67
			14	" 39	" 第2			" 45.3	161	20		150~ 160
	15	" 40	" 第3 *	" 45.3	400	15		291~ 306				
	江戸川区	8	16	研 48	小 島 第1	西葛西二丁目、八幡神社向側	昭 47.3	40	8	37~ 40	0.1	
			17	" 49	" 第2		" 47.3	80	20	70~ 77		
			18	" 50	" 第3		" 47.3	150	20	123~ 134		
19			" 51	" 第4 *	" 47.3		270	15	212~ 229			
江戸川区	9	20	研 52	篠 崎 第1	上篠崎一丁目、都立篠崎公園北東角	昭 47.3	65	20	55~ 60	1.5		
		21	" 53	" 第2 *		" 47.3	265	15	250~ 260			
		22	" 54	" 第3 *		" 47.3	340	15	300~ 315			
足立区	10	23	研 32	新 足 立	中央本町一丁目、都立足立高校内南西角	昭 43.3	270	20	224~ 234	0.0		
		11	研 55	伊 興		昭 47.6	120	20	87~ 115			
	足立区	12	25	研 42	神 明 南 第1	神明南二丁目、足立区神明南材料置場内	昭 46.3	110	20	99~ 104	1.2	
			26	" 43	" 第2		" 46.3	180	20	170~ 177		
			27	" 44	" 第3 *		" 46.3	380	15	304~ 330		
	足立区	13	28	研 103	小 台 第1	小台一丁目、尾久橋高架下	平 2.3	50	20	40~ 45	1.5	
			29	" 104	" 第2		" 2.3	170	20	148~ 160		
			30	" 105	" 第3 *		" 2.3	300	15	212~ 234		
	足立区	14	31	浅 1	舎 人(浅井戸)	舎人六丁目、舎人いきいき公園北東角	昭 49.3	6	7	2~ 6	3.4	
			32	研 62	舎 人 第1		" 49.3	27	7	22~ 27		
33			" 63	" 第2 *	" 49.3		200	15	172~ 184			
34			" 64	" 第3 *	" 49.3		340	15	290~ 302			
葛飾区	15	35	研 41	高 砂	高砂四丁目、高砂北公園西側	昭 46.3	124	20	118~ 123	1.3		
板橋区	16	36	研 24	戸 田 橋 第1 *	舟渡四丁目、都土木技術支援・人材育成 センター戸田橋実験場内	昭 36.6	290	8	258~ 268	2.9		
		37	" 25	" 第2 *		" 36.10	113	8	103~ 113			
		38	" 26	" 第3		" 37.9	60	20	51~ 59			
板橋区	17	39	研 36	板 橋	富士見町、都営板橋富士見町アパート東側	昭 44.3	270	20	188~ 199	28.6		
		40	研 56	上 赤 塚 第1		赤塚三丁目、上赤塚公園北角	昭 48.3	150	20		111~ 122	
		41	" 57	" 第2 *			" 48.3	250	15		189~ 211	
42	" 58	" 第3 *	" 48.3	400	15		327~ 355					
練馬区	19	43	研 34	練 馬 第1	谷原四丁目、練馬区谷原材料置場内	昭 44.3	100	20	87~ 97	42.0		
44	" 35	" 第2	" 44.3	200		20	185~ 195					
新宿区	20	45	研 33	新 宿	百人町三丁目、百人町ふれあい公園南側	昭 44.1	130	20	114~ 125	32.9		
杉並区	21	46	浅 11	杉 並(浅井戸)	大宮二丁目、都立和田堀公園 グランド北側脇	平 5.3	10	20	4~ 8	37.1		
47	研 110	杉 並 *	" 5.3	180		15	115~ 143					
世田谷区	22	48	研 111	世 田 谷	粕谷一丁目、都立芦花公園南西側	平 6.3	130	20	87~ 109	41.2		
目黒区	23	49	浅 12	目 黒(浅井戸)	青葉台三丁目、大坂橋交差点付近	平 6.3	15	20	9~ 13	17.3		
50	研 112	目 黒	" 6.3	156		20	125~ 147					
千代田区	24	51	研 113	千 代 田 第1	紀尾井町、清水谷公園北角	平 7.3	33	20	19~ 28	15.1		
52	" 114	" 第2	" 7.3	113		20	92~ 109					

- (注) 1. 「観測井名」で、*印がついたものは二重管式観測井、(浅井戸)は不圧地下水観測井を表す。
2. 「鉄管深さ」および「ストレーナの深さ」は、いずれも設置時における地表面からの深さである。
3. 新江戸川第1は、浅層部から不圧地下水の流入があったため、平成15年3月、浅井戸に改修した。

表 8-1b 観測井一覧表(多摩地域)

●多摩地域

(令和2年12月現在)

地域	地点 No	整理 No	鉄管 No	観測井名	所在地	設置 年月	鉄管 深さ (m)	鉄管 の径 (cm)	ストレーナ の深さ (m)	周辺 地盤高 T.P.(m)
東久留米市	25	53	浅 2	東久留米(浅井戸)	神宝町一丁目、黒目川・落合川合流点付近	昭 49.3	5	20	4~ 5	39.8
		54	研 59	東久留米 第1		昭 48.2	92	20	85~ 90	
		55	〃 60	〃 第2		昭 49.3	175	20	158~ 169	
		56	〃 61	〃 第3 *		昭 49.3	441	15	393~ 417	
調布市	26	57	研 67	調 布 第1	調布ヶ丘三丁目、野川虎狛橋下流右岸	昭 50.3	26	20	20~ 25	33.9
		58	〃 68	〃 第2		昭 50.3	56	20	43~ 53	
		59	〃 69	〃 第3		昭 50.3	101	20	84~ 95	
		60	〃 70	〃 第4 *		昭 50.3	171	15	146~ 162	
清瀬市	27	61	浅 3	清 瀬(浅井戸)	中清戸四丁目、清瀬第八小学校南側脇	昭 50.3	10	20	7~ 9	44.2
		62	研 71	清 瀬 第1		昭 50.3	94	20	77~ 83	
		63	〃 72	〃 第2 *		昭 50.3	207	15	158~ 186	
		64	〃 73	〃 第3 *		昭 50.3	450	15	385~ 407	
東大和市	28	65	浅 4	東 大 和(浅井戸)	奈良橋三丁目、東大和第一中学校北東角	昭 53.3	12	20	9~ 11	97.2
		66	研 74	東 大 和 第1		昭 53.3	92	20	75~ 81	
		67	〃 75	〃 第2 *		昭 53.3	175	15	154~ 165	
		68	〃 76	〃 第3 *		昭 53.3	260	15	226~ 248	
立川市	29	69	浅 5	立 川(浅井戸)	富士見町三丁目、残堀川滝下付近	昭 54.3	8	20	5~ 7	75.0
		70	研 77	立 川 第1		昭 54.3	108	20	90~ 102	
		71	〃 78	〃 第2 *		昭 54.3	280	15	238~ 255	
小金井市	30	72	研 79	小 金 井 第1	桜町三丁目、都立小金井公園西門付近	昭 55.3	95	20	71~ 83	71.3
		73	〃 80	〃 第2 *		昭 55.3	162	15	140~ 151	
		74	〃 81	〃 第3 *		昭 55.3	296	15	243~ 259	
武蔵村山市	32	75	浅 10	小金井南(浅井戸)	東町五丁目、都立武蔵野公園内 野球場南東脇	平 4.3	10	20	3~ 8	46.8
		76	研 108	小金井南 第1		平 4.3	130	20	114~ 125	
		77	〃 109	〃 第2 *		平 4.3	210	15	167~ 189	
府中市	33	78	研 82	武蔵村山 第1	三ツ藤三丁目、山王森公園南角	昭 56.3	103	20	94~ 100	124.5
		79	〃 83	〃 第2 *		昭 56.3	189	15	164~ 175	
		80	〃 84	〃 第3 *		昭 56.3	280	15	254~ 265	
東村山市	34	81	研 85	府 中 第1	武蔵台二丁目、武蔵台小学校北東側	昭 57.3	34	20	28~ 33	69.0
		82	〃 86	〃 第2 *		昭 57.3	174	15	142~ 153	
		83	〃 87	〃 第3 *		昭 57.3	290	15	213~ 241	
八王子市	35	84	研 88	東 村 山 第1	久米川町二丁目、空堀川達磨坂橋下流左岸	昭 58.3	44	20	37~ 42	62.7
		85	〃 89	〃 第2 *		昭 58.3	201	15	170~ 181	
		86	〃 90	〃 第3 *		昭 58.3	294	15	257~ 273	
瑞穂町	36	87	浅 6	八 王 子(浅井戸)	大和田町二丁目、南多摩西部建設事務所 水防倉庫西側脇	昭 59.3	10	20	5~ 10	109.1
		88	研 91	八 王 子 第1		昭 59.3	105	20	88~ 100	
		89	〃 92	〃 第2 *		昭 59.3	220	15	148~ 175	
多摩市	37	90	研 93	瑞 穂 第1	箱根ヶ崎、西多摩建設事務所箱根ヶ崎 排水調整場南西角	昭 60.3	94	20	76~ 93	142.3
		91	〃 94	〃 第2 *		昭 60.3	180	15	142~ 169	
		92	浅 13	新 多 摩(浅井戸)		関戸三丁目、多摩中学校北西角	平 11.2	10	20	
93	研 115	新 多 摩	平 11.2	180	20		92~ 125			
94	研 96	稲 城 *	昭 62.3	220	15		189~ 211			
町田市	39	95	研 97	町 田 第1	野津田町、薬師池公園内 町田フォトサロン北東側	昭 63.3	100	20	72~ 84	61.8
		96	〃 98	〃 第2 *		昭 63.3	190	15	147~ 169	
		97	研 106	町 田 南 第1		高ヶ坂三丁目、高瀬第2公園西側脇	平 3.3	60	20	
98	〃 107	〃 第2 *	平 3.3	225	15		176~ 203			
99	浅 8	三 鷹(浅井戸)	牟礼四丁目、都立井の頭恩賜公園内 小鳥の森南西脇	平 元.3	15		20	10~ 15		
100	研 99	三 鷹 第1		平 元.3	118	20	97~ 113			
101	〃 100	〃 第2 *		平 元.3	260	15	178~ 233			
昭島市	42	102	浅 9	昭 島(浅井戸)	美堀町三丁目、昭島市エコ・パーク北西脇	平 2.3	13	20	8~ 13	119.3
		103	研 101	昭 島 第1		平 2.3	110	20	92~ 103	
		104	〃 102	〃 第2 *		平 2.3	236	15	187~ 210	

(注) 1. 「観測井名」で、*印がついたものは二重管式観測井、(浅井戸)は不圧地下水位観測井を表す。

2. 「鉄管深さ」および「ストレーナの深さ」は、いずれも設置時における地表面からの深さである。

地下水位は、観測井に取り付けてある水位計で観測しています。水位計にはフロートと呼ばれる浮きがついており、フロートが地下水面の高さに連動して上下することで、地下水位を観測しています。



図 8-3 南砂町地盤沈下観測所(江東区南砂三丁目 南砂少年野球上東側脇)

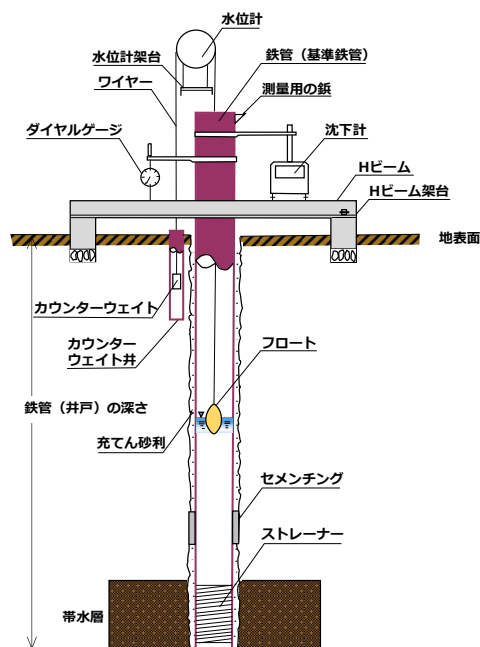


図 8-4 観測井の外観との模式図(単管式)

(2) 地盤変動量の調査

ア 累積沈下量の調査

地盤の高さ(標高)は、東京湾の平均海面を基準(標高 0m)として測られます(この観測方法を水準測量という)。東京湾平均海面の高さを地上に固定している日本水準原点(千代田区永田町、標高 24.3900m)から、各地域の地表面に設置されている鈎(水準点または水準基標という。)の高さの差を順次計測していくことにより、各水準基標の標高を算出します。

公共の水準測量は年に一度全国で実施されており、令和 2(2020)年度には、東京都は国土地理院と共に、都内に存在する水準基標 433 点を使用し測量延長 609km の 1 級水準測量を実施しています。

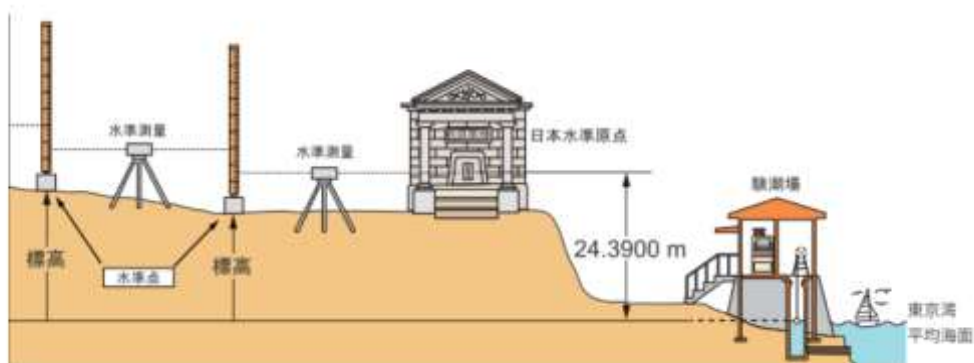


図 8-5 水準測量の原理

2 地点に標尺を立て、その間に水準儀を水平におき、2 つの目盛の差から高低差を求めます。

国土交通省 国土地理院^[3]より

イ 地層別変動量の調査

地盤変動量の調査は水準測量のほかに、観測井を用いて地層ごとの変化(収縮、膨張)を観測することができます。地層ごとの変化とは、「①地表面から管底までの地層の変動量」と「②観測井の管底以深の地層の変動量」の2つの変動量のことです。

2つの変動量の観測方法について図 8-6 で説明します。各観測井には沈下計が設置されており、管底までの地層で変動(収縮・膨張)が起きますと、この沈下計が変動をとらえます。この変動が「①地表面から管底までの地層の変動量」です。

また、観測井の管頭付近には測量用の鉞があり、管底以深の地層で変動(収縮・膨張)が起きますと、この鉞が連動して変動します。この鉞の変動測定値が「②観測井の管底以深の地層の変動量」です。①+②の変動量が、地層全体の変動量となります。

多くの観測所では、深さの異なる複数(2~4)の観測井(観測井群)により、地層間の変動量を計測しています。

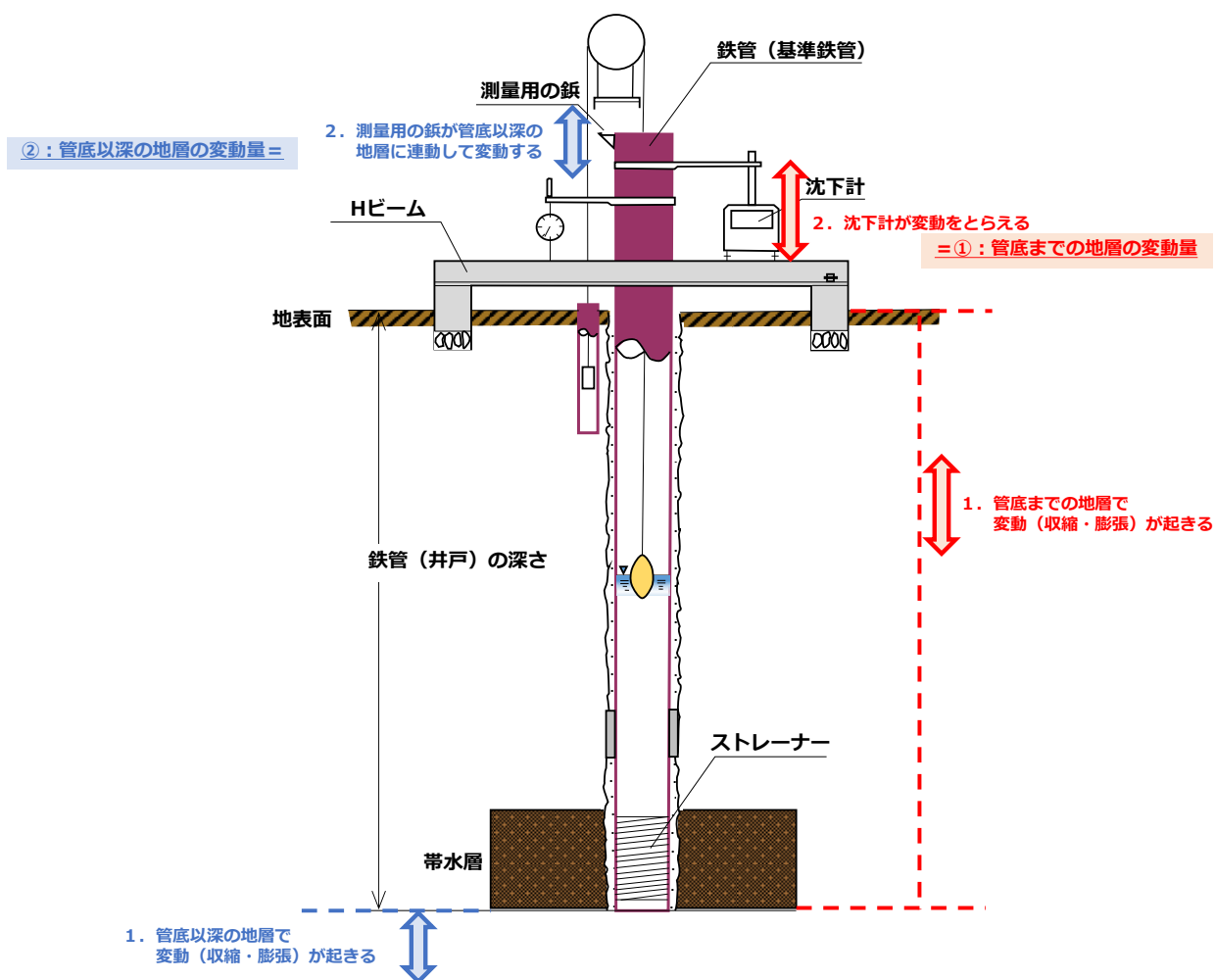


図 8-6 地層別変動量の観測方法(イメージ図)

(3) 地下水揚水量の調査

地下水揚水量の調査は、島しょ地域を除く東京都内全域で行っています。原則、動力を用いる全て揚水施設を対象とし、設置者には毎年1月1日から12月31日までの揚水量の測定及び報告を義務付けています。

東京都は、設置者が区市や東京都多摩環境事務所(町村部所管)に申請又は届け出た揚水施設の設置件数及び揚水量を用途別・業種別等に集計・解析し、結果を開示しています。

8-2 東京全域のモニタリング結果

(1) 地下水位のモニタリング結果

地下水位のモニタリング結果を図 8-7 に示します。東京ではかつて大量に地下水を揚水していたことから、特に区部低地部や区部台地部では昭和 46(1971)年頃にかけて地下水位が低下しました。しかし、段階的に地下水揚水の規制をかけてきたことで、地域によって差はありますが、現在では全域で地下水位は回復しています。昭和 46(1971)年頃の最低地下水位からの上昇量は、大きいところでは 50m 程度もあります。ここ数年の地下水位も全域的に上昇傾向ですが、上昇幅は小さくなっています。

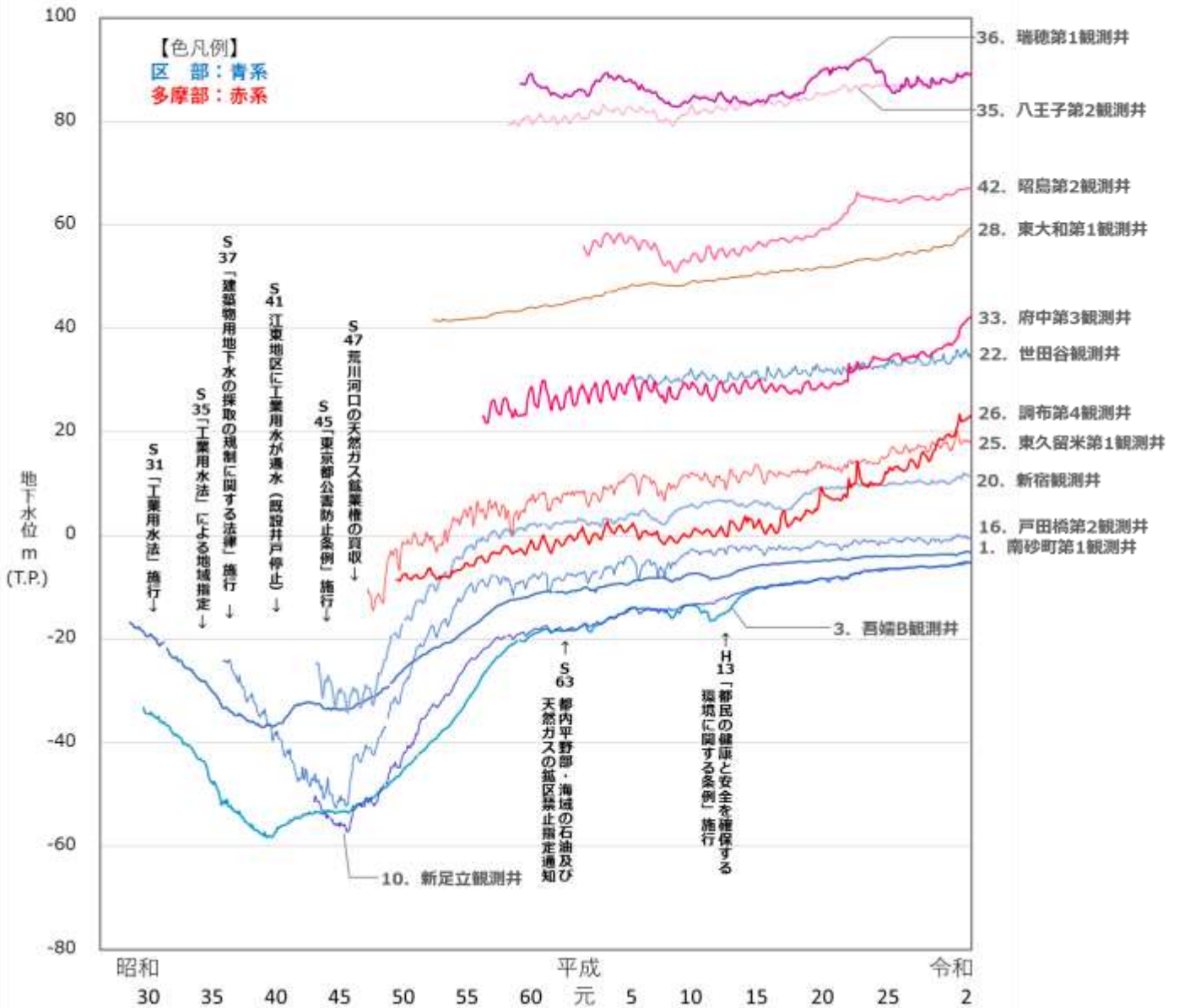


図 8-7 主な観測井の地下水位の推移

旧東京都土木技術センター、現東京都土木技術支援・人材育成センター「地盤沈下調査報告書」^[2]より作成

(2) 地盤のモニタリング結果

ア 累積沈下量の推移

主要な水準基標、観測井の累積沈下量を図 8-8 に示します。

かつて甚大な地盤沈下を経験した東京都ですが、最近では1年間に2 cm以上沈下している地域はありません。令和2(2020)年の調査結果では、都内の最大沈下量は区部低地部で1.02 cmでした。隆起状況については、都内の最大隆起量は多摩台地部で0.81 cmでした。この結果は近年と大きな変化はありません。

過去地盤沈下が顕著であった昭和36(1961)年～昭和46(1971)年(昭和43(1968)年には過去最大年間沈下量23.89 cmを観測)と比較すると、現在では明らかに地盤沈下は落ち着いています。

しかし、地盤沈下が沈静化して以降も、縮んだ地盤は元には戻っておらず、現在の地盤高は沈下したままです。

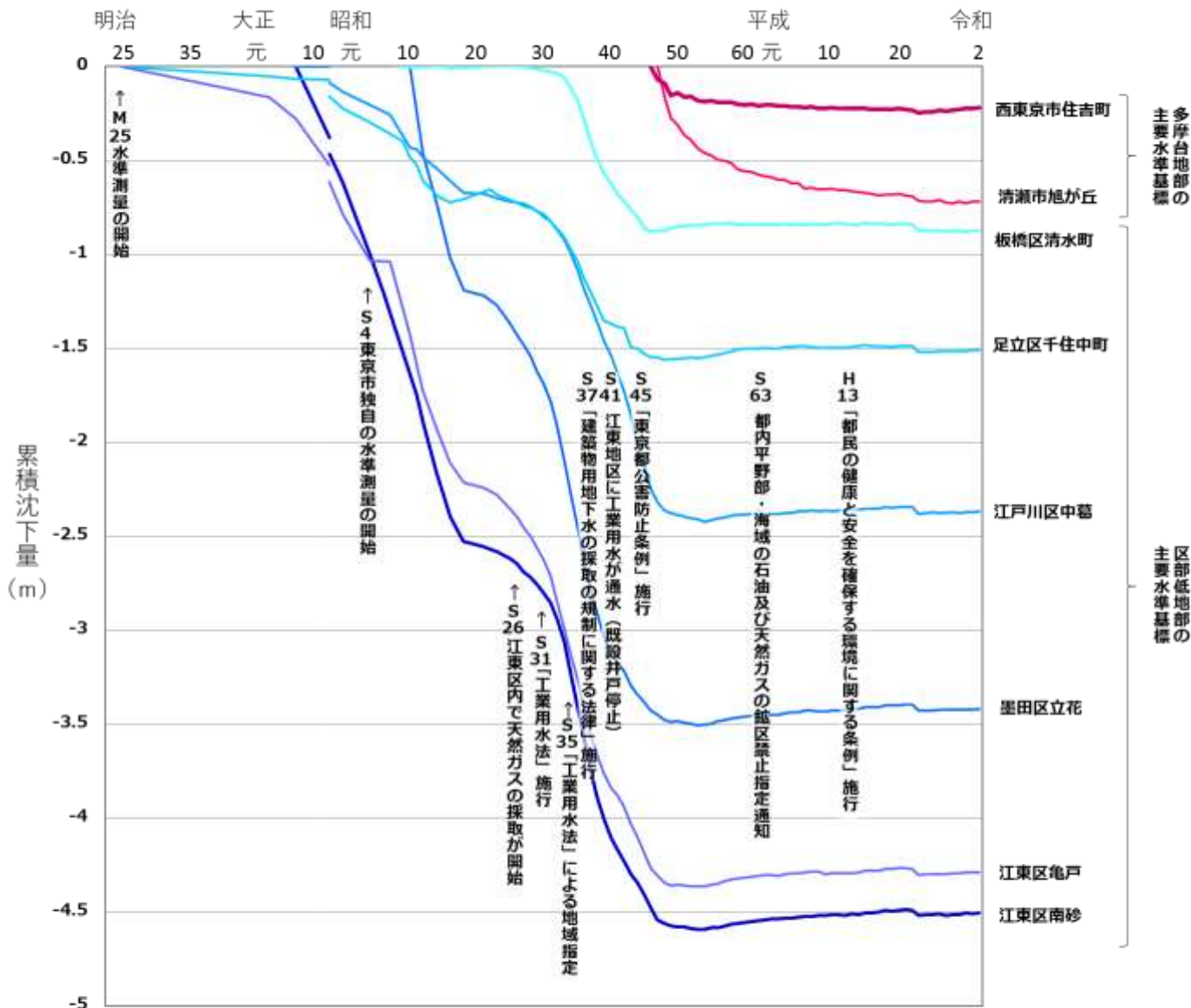


図 8-8 主要水準基標の累積沈下量

旧東京都土木技術センター、現東京都土木技術支援・人材育成センター「地盤沈下調査報告書」^[2]より作成

注：観測時からの累積沈下量のグラフであり、観測開始前の沈下量については不明であるため、地点間での比較をする場合は注意が必要。

イ 地層別変動量の推移

地層別変動の概念図や地盤と地下水位の推移を、江東区亀戸第1観測井を例として図8-9、図8-10に示します。観測井の管底までを浅層、管底以深を深層とします。浅層は沖積層という軟らかいシルトや粘土から構成され、深層には沖積層より時代の古い地層が分布しています。

亀戸第1観測井では、特に浅層の沖積層が著しく収縮し、観測開始から19年間で200cm程度沈下しました。一般的に、沖積層は収縮するとその厚みが元に戻ることはありません。昭和48(1973)年から地層全体では少しずつ隆起していますが、その内訳は、浅層部の収縮が続く一方で、深層部は膨張しているのが分かります。

- ◆昭和29(1954)年(観測開始)：管底まで沖積層 管底以深はシルト、砂、砂礫互層の更新統(更新世(25万～1万7000年前)にできた地層)
- ◆昭和48(1973)年(観測開始から19年)：浅層で104.9cmの収縮 深層で97.0cmの収縮
- ◆現在まで：深層ではわずかに隆起しているが、沖積層を主体とする浅層は収縮したままである。

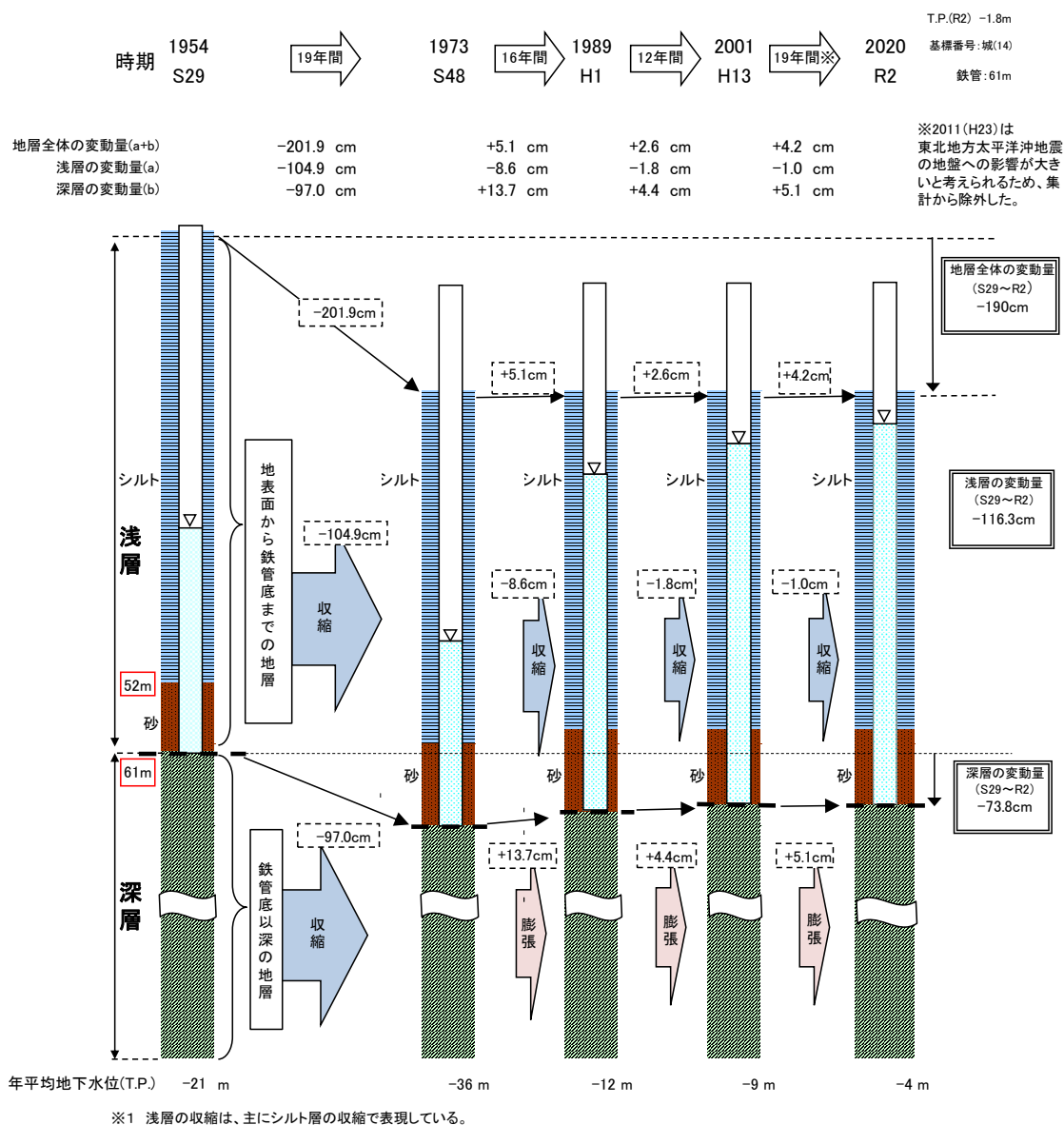


図8-9 観測井における地層別変動の概念図(江東区亀戸第1)

旧東京都土木技術センター、現東京都土木技術支援・人材育成センター「地盤沈下調査報告書」^[2]より作成

江東区亀戸第1 (ストレーナー深度 56-61 m、地盤高-1.8 m)

※H23は東北地方太平洋沖地震による地盤への影響が大きいため、地層変動量の集計から除外している。

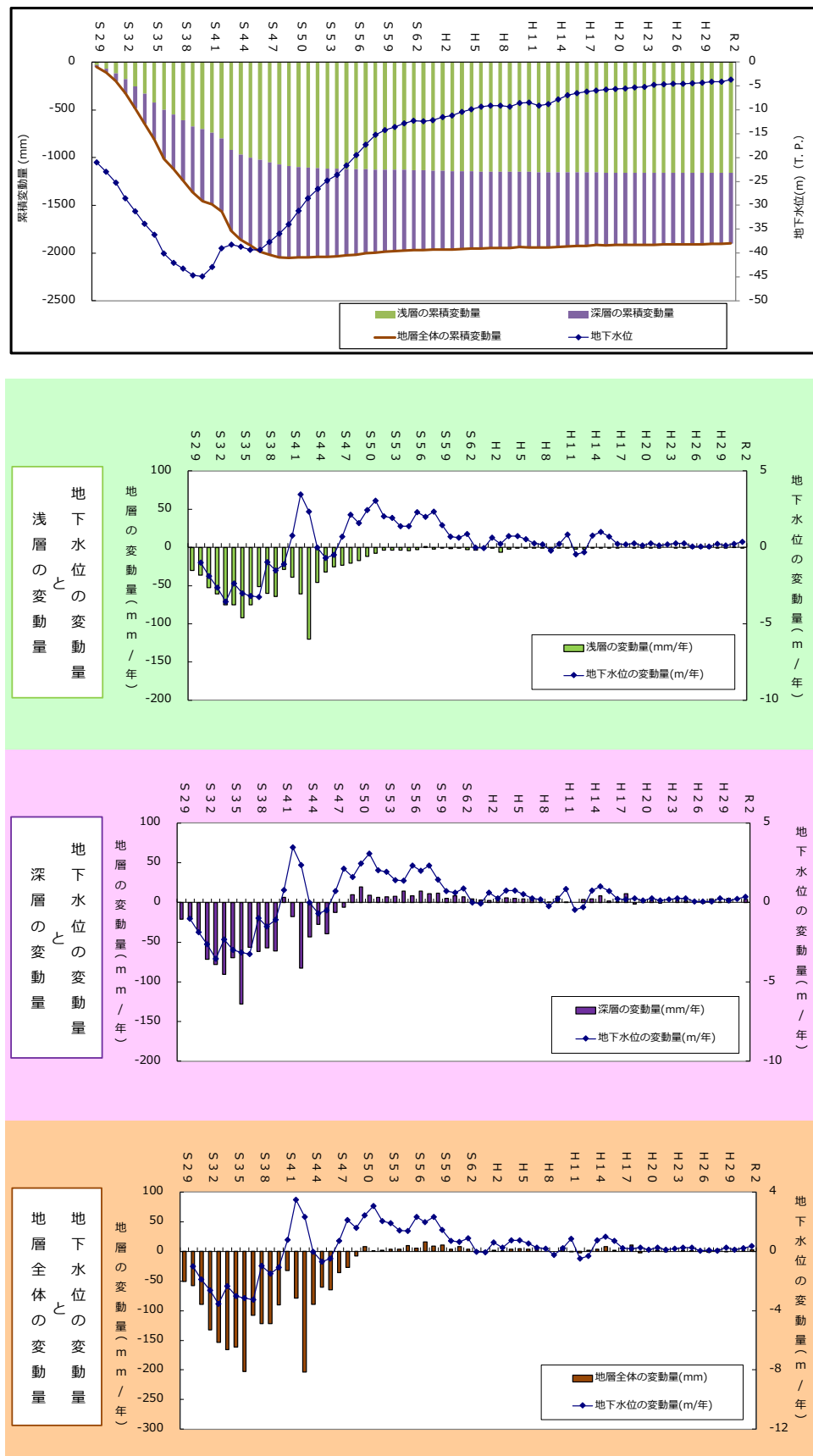


図 8-10 地盤と地下水位の推移(江東区亀戸第1 観測井)

旧東京都土木技術センター、現東京都土木技術支援・人材育成センター「地盤沈下調査報告書」^[2]より作成

(3) 地下水揚水量の状況

ア 揚水量の推移

事業所別の揚水量の推移を図 8-11 に示します。東京都の揚水量は、昭和 45（1970）年に公害防止条例が施行されたことにより減少傾向が続いており、昭和 60（1985）年には半分以下と急激に減少しました。それ以降は微減を続け、現在では昭和 45 年当時の約 23% となっています。

令和 2（2020）年の地下水揚水量の集計結果では、上水道等事業所の揚水量が約 70% を占めており、近年同様の割合で推移しています。

なお、平成 13（2001）年および平成 28（2016）年には、条例改正により報告対象施設は増加しています。

【事業所の種類】

- ・ 工場：環境確保条例別表第一に該当するもの
- ・ 指定作業場：同別表第二に該当するもの。ただし武蔵野市水道部は「上水道等」に区分する。
- ・ 上水道等：工場・指定作業場以外のもの。上水道用の揚水量が大部分であるので、「上水道等」とした。

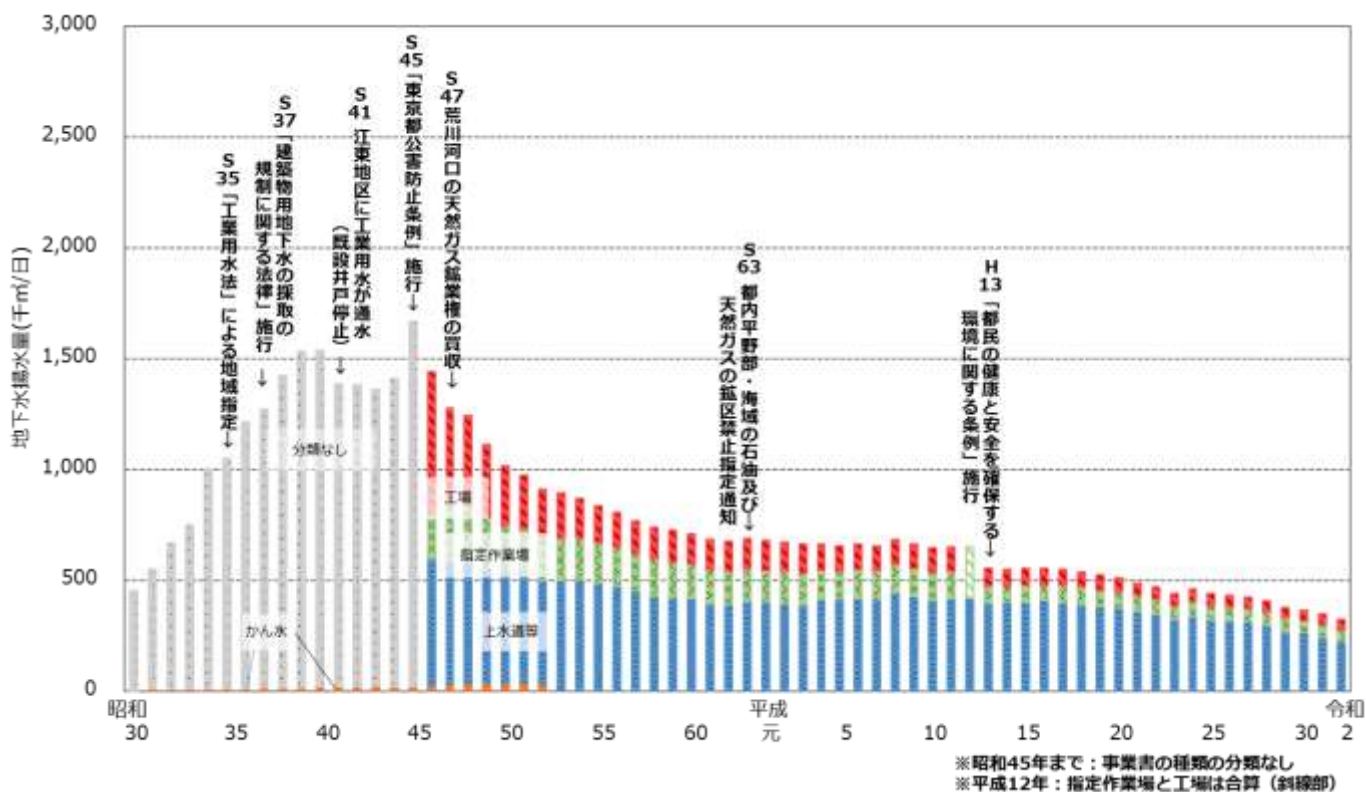


図 8-11 事業所別の都内揚水量の推移

南関東地方地盤沈下調査会「南関東地域地盤沈下調査対策誌」（昭和 49（1974）年）^[4]
 東京都公害局「地下水収支調査報告書」（昭和 55（1980）年）^[5]
 遠藤毅「東京下町低地における“ゼロメートル地帯”展開と沈静化の歴史」（平成 13（2001）年）^[6]
 東京都環境局「令和 2 年 都内の地下水揚水の実態（地下水揚水量調査報告書）」（令和 4（2022）年）^[7]より作成

図 8-12 では、揚水量の変遷を地域ごとに比較します。

かつては区部低地部での使用が多く割合を占めていましたが、揚水規制を経て東京都内の揚水量全体が減少して以降、その割合の大部分を多摩地域が占めるようになっていました。令和 2(2020)年の調査結果では、揚水量の 90%以上を多摩地域が占め、その多くを上水道等に利用しています。

また、区市町村ごとの地下水揚水量を面積で割った、単位面積あたりの揚水量を図 8-14 に示します。かつては工業用水として区部低地部での揚水量が多い傾向でしたが、現在は全体的に区部と比べて多摩地域で多くなっています。それらの地域は地下水を上水道に利用している地域であり、その揚水量は減少傾向にあります。

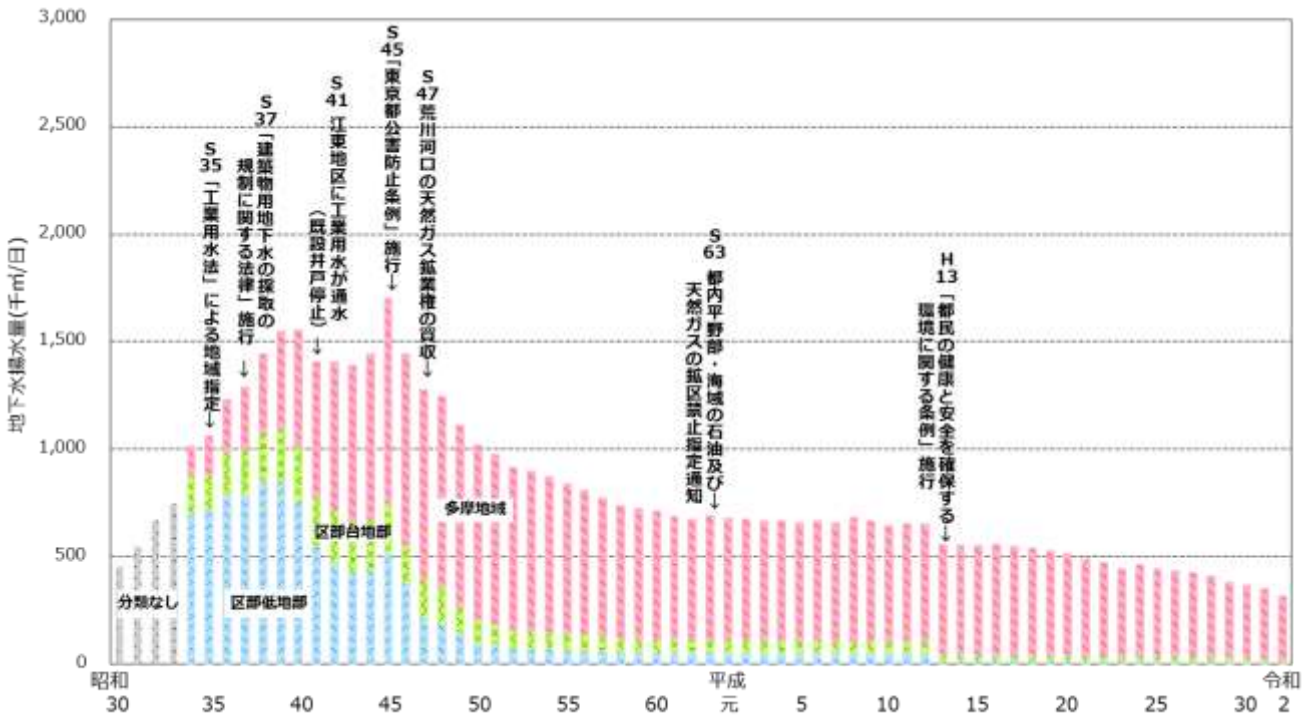


図 8-12 地域別の都内揚水量の推移

南関東地方地盤沈下調査会「南関東地域地盤沈下調査対策誌」(昭和 49 (1974) 年)^[4]
 東京都公署局「地下水収支調査報告書」(昭和 55 (1980) 年)^[5]
 東京都環境局「令和 2 年 都内の地下水揚水の実態(地下水揚水量調査報告書)」(令和 4 (2022) 年)^[7]より作成

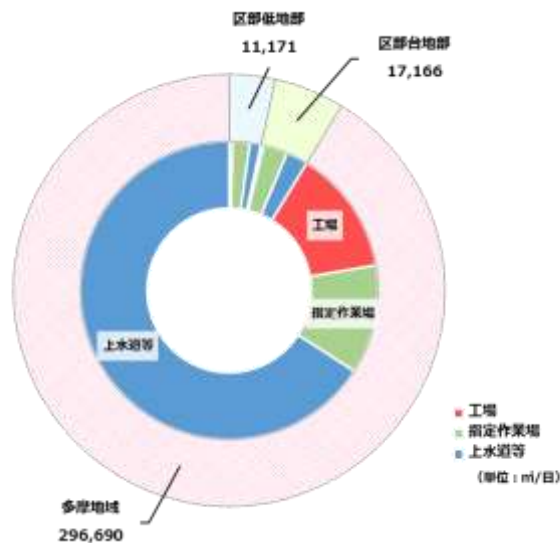


図 8-13 地域別の揚水量(令和 2 年)

東京都環境局「令和 2 年 都内の地下水揚水の実態(地下水揚水量調査報告書)」(令和 4 (2022) 年)^[7]より作成

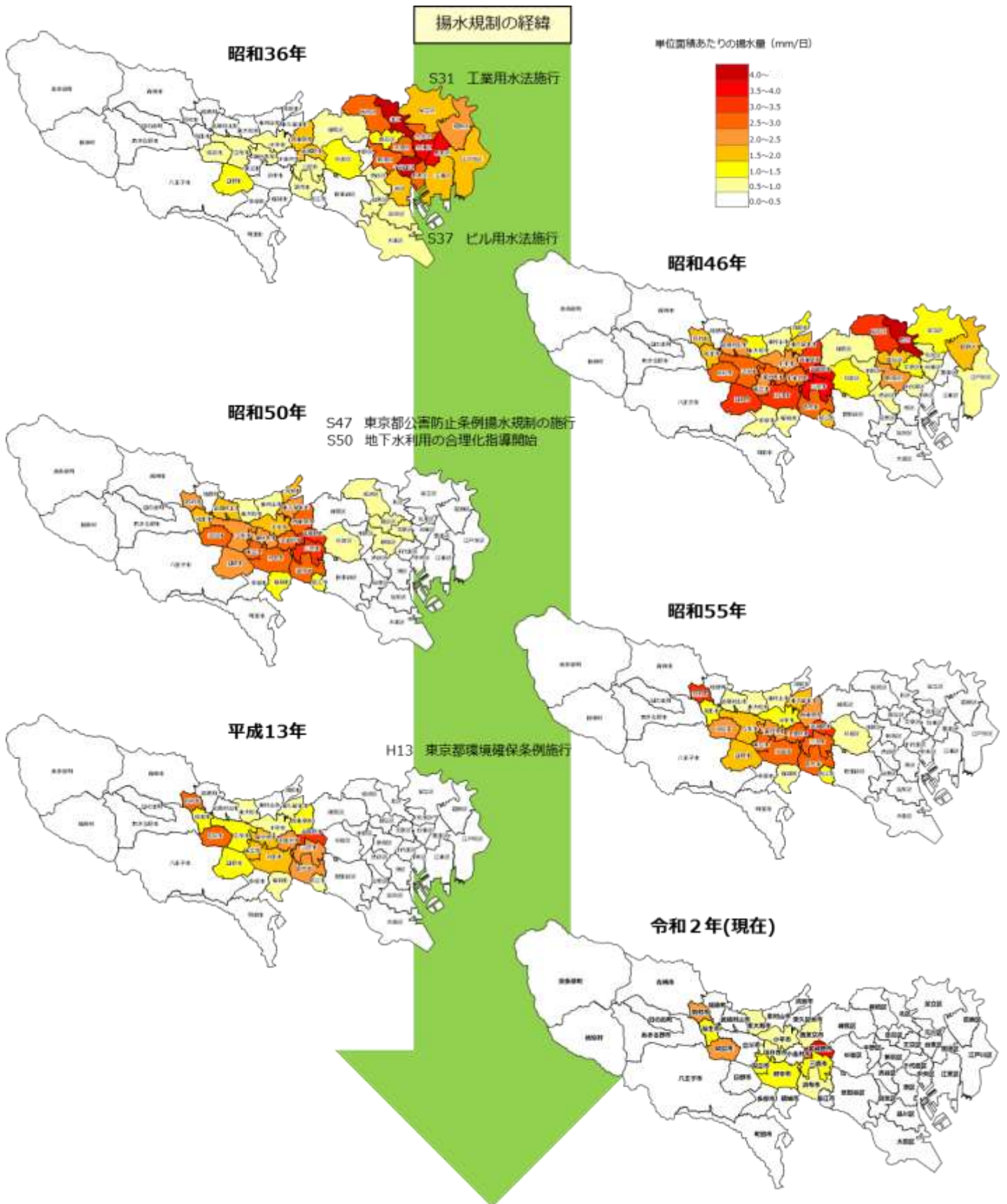


図 8-14 単位面積あたりの揚水量の変遷

南関東地方地盤沈下調査会「南関東地域地盤沈下調査対策誌」(昭和49(1974)年)^[4]
東京都環境局「令和2年 都内の地下水揚水の実態(地下水揚水量調査報告書)」(令和4(2022)年)^[7]より集計・作成

イ 揚水量の内訳

揚水量の内訳として、用途別区分を表 8-2 に示します。

平成 13(2001)年に環境確保条例が施行され、これまで「その他」としていた揚水量の占める割合が目立つようになり、より細分化して分類設定を見直しました。

表 8-2 揚水量の用途別区分

用 途	内 容	
1 製造工程用	製造工程に関する全ての用途に使用されるもの（洗浄や清掃等を含む。）	
2 冷却用	工場の設備や製品の冷却のために使用されるもの	
3 冷暖房用	空調用に使用されるもの	
4 水洗便所用	水洗便所用に使用されるもの（し尿浄化槽を含む。）	
5 洗車設備用	自動車の洗浄に使用されるもの	
6 公衆浴場用	公衆浴場に使用されるもの（サウナ風呂等の特殊浴場を含み、旅館、病院等の浴室用は除く。）	
7 その他	(1)飲料用	上水道事業、専用水道等（事業所の飲用、厨房用を含む。）
	(2)環境用水	池・水路等への補給水、農業用、植栽用、散水等地盤環境に還元されるもの
	(3)プール等	プール、シャワー、入浴に使用されるもの（手洗いを含む。）
	(4)洗濯	洗濯に使用されるもの（ランドリーを含む。）
	(5)排水・排ガス処理	排水処理・排ガス処理に使用されるもの（し尿処理用希釈水を含む。）
	(6)釣堀等	釣堀、生けす、動物飼育用に使用されるもの
	(7)地下水浄化	汚染地下水の浄化のために揚水されるもの
	(8)非常災害用	非常災害用井戸の維持管理で揚水されるもの
	(9)その他	農業用、上記のどれにも属さないもの

東京都環境局「令和 2 年 都内の地下水揚水の実態(地下水揚水量調査報告書)」（令和 4（2022）年）^[7]より

図 8-15 では用途別の内訳を地域ごとに比較します。

全体として多摩地域での揚水量が多くなっており、特に飲料用(上水道事業、専用水道等)や製造工程用での揚水が顕著です。

区部低地部や区部台地部での揚水量は多摩地域と比較すると少ないですが、区部低地部で特に公衆浴場用として、区部台地部では公衆浴場用、飲料用(上水道事業、専用水道等)、環境用水として地下水が揚水されています。

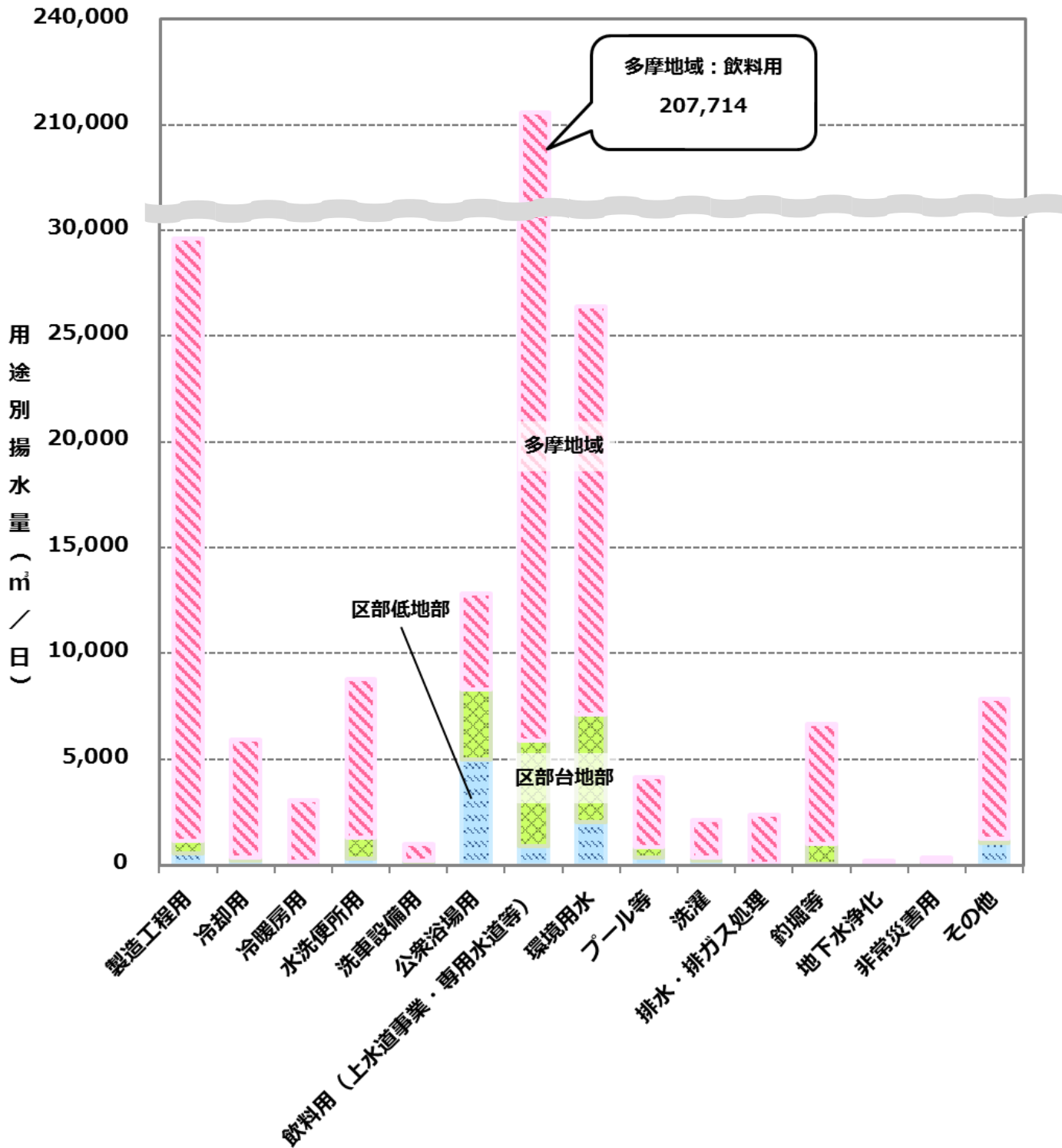


図 8-15 地域ごとの用途別揚水量(令和2年)

東京都環境局「令和2年 都内の地下水揚水の実態(地下水揚水量調査報告書)」(令和4(2022)年)^[7]より作成

8-3 区部低地部におけるモニタリング結果

この章では、区部低地部の地下水と地盤の状況について示します。

区部低地部は江東地区4区、城北地区4区、周辺6区の計14区で構成されています。観測井は図 8-17 のとおり、19箇所に設置されています。

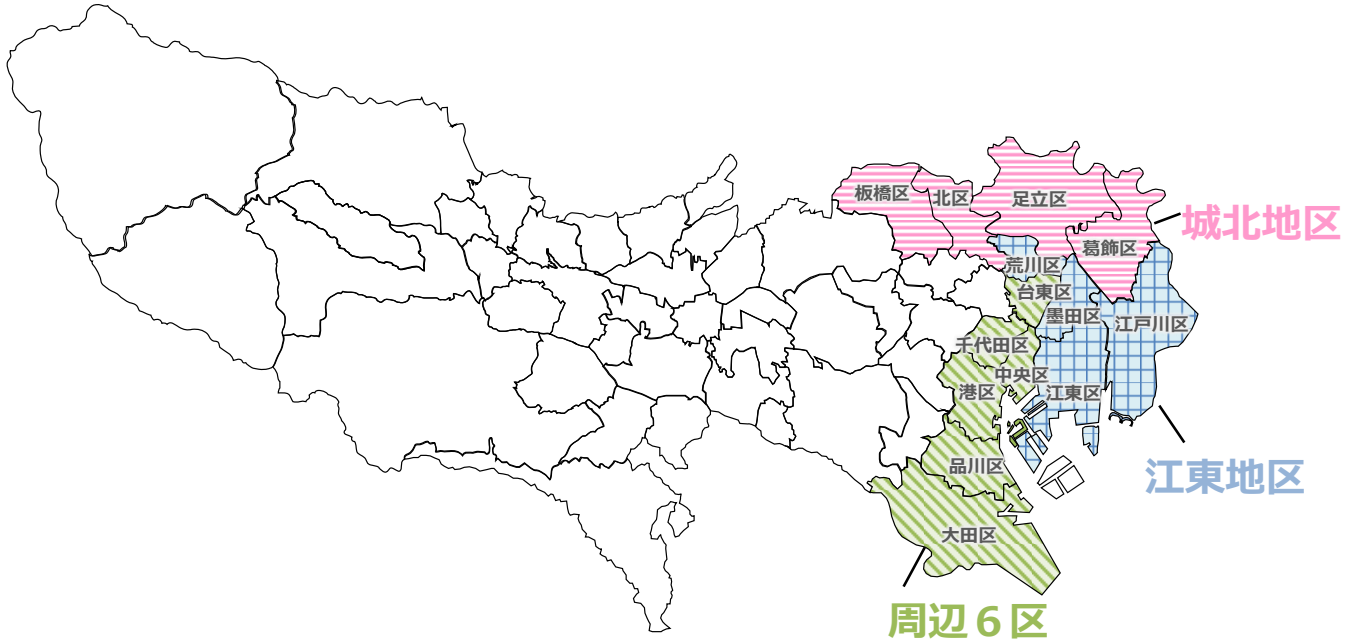
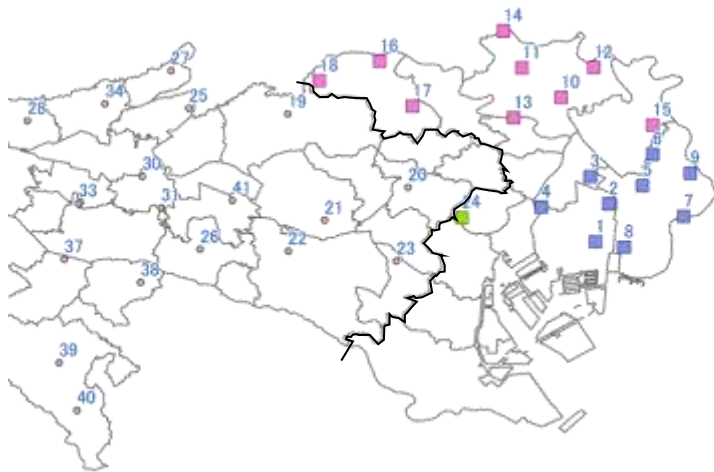


図 8-16 区部低地部の地区分



地区分	地点番号	観測地点名	地盤高 (T.P. m)
江東地区	1	南砂町	-2.2
	2	亀戸	-1.8
	3	吾嬬	-1.0
	4	両国	1.9
	5	新江戸川	-1.6
	6	小岩	2.5
	7	江戸川東部	1.3
	8	小島	0.1
	9	篠崎	1.5
城北地区	10	新足立	0.0
	11	伊興	3.4
	12	神明南	1.2
	13	小台	1.5
	14	舎人	3.4
	15	高砂	1.3
	16	戸田橋	2.9
	17	板橋	28.6
周辺6区	18	上赤塚	27.4
	24	千代田	15.1

図 8-17 区部低地部の観測井

旧東京都土木技術センター、現東京都土木技術支援・人材育成センター「地盤沈下調査報告書」^[2]より作成

(1) 地下水位のモニタリング結果

区部低地部のかつての地下水位の低下は顕著であり、昭和 46(1971)年頃の最低地下水位は現在より約 50 m低くなっている箇所もありました。昭和 45(1970)年に施行した東京都公害防止条例の揚水規制以降は、急激に地下水位は回復し、近年では微増傾向がみられています。

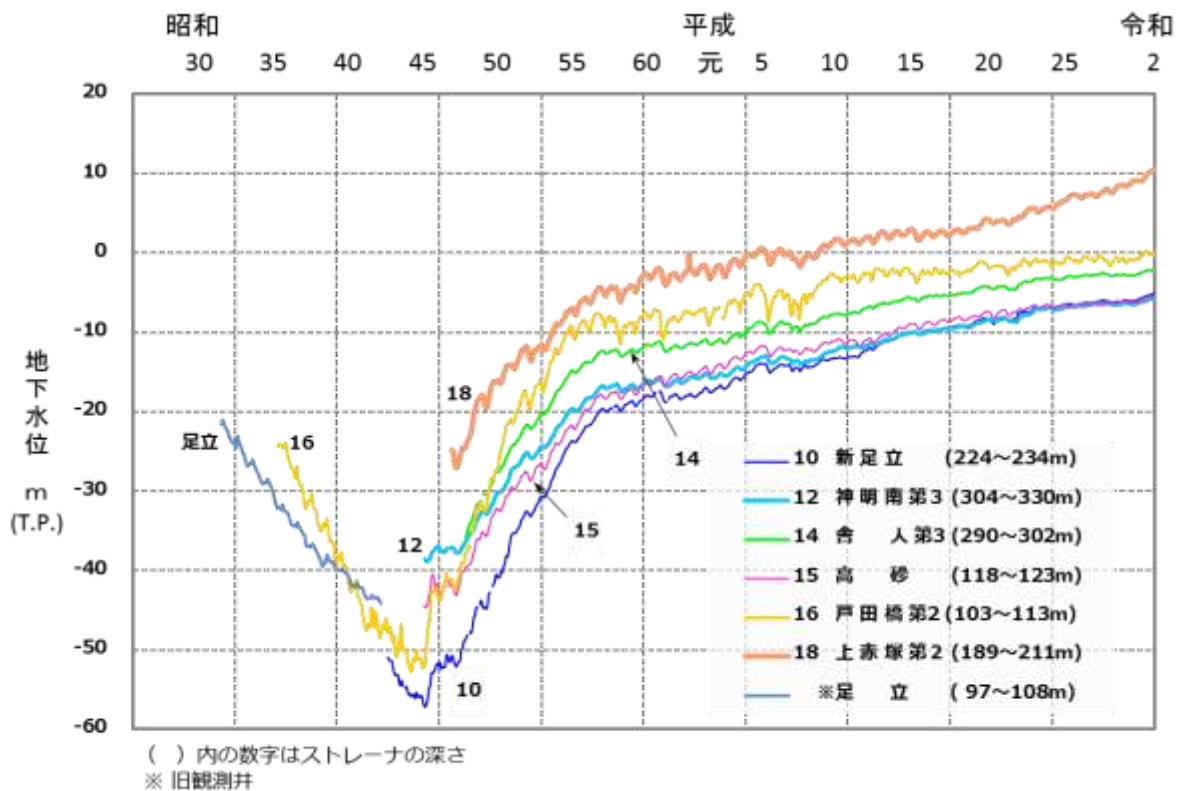
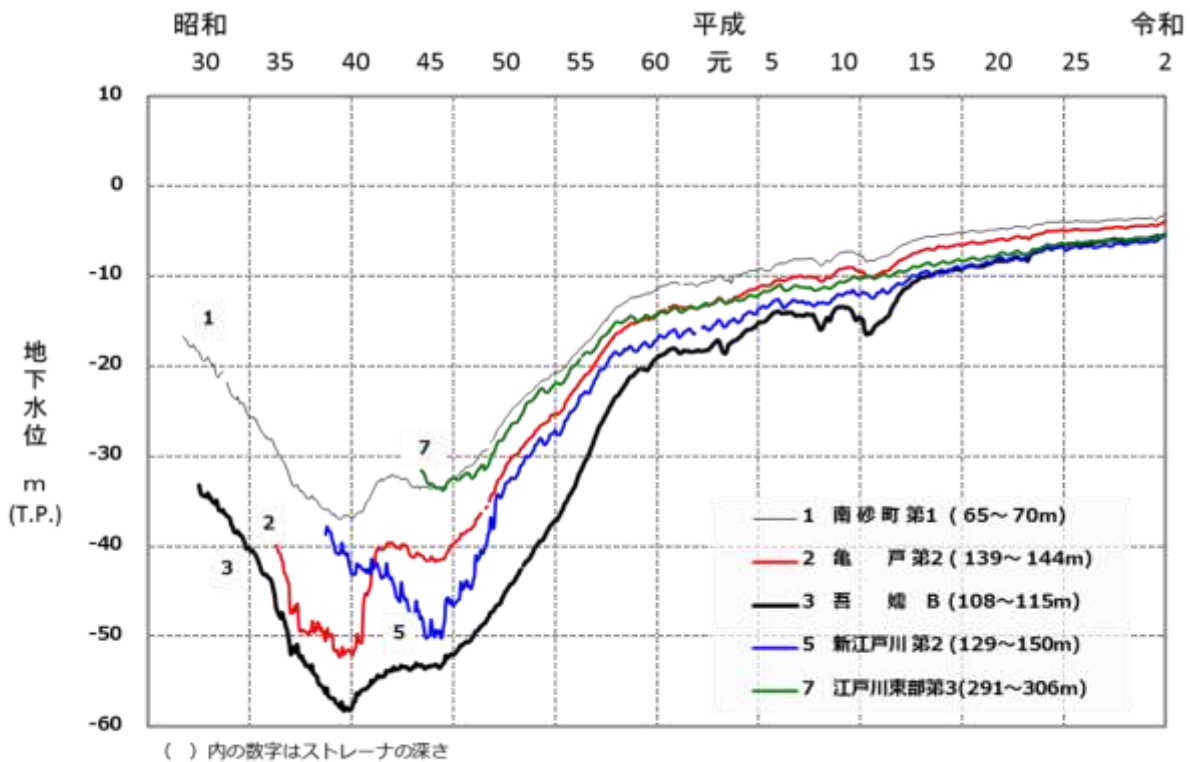


図 8-18 区部低地部の主要観測井の地下水位の変遷
(上：江東地区 下：城北地区)

旧東京都土木技術センター、現東京都土木技術支援・人材育成センター「地盤沈下調査報告書」^[2]より作成

(2) 地盤のモニタリング結果

ア 累積沈下量の推移

区部低地部はかつての地盤沈下でも最も被害が大きい地域でした。縮んだ地盤は元に戻らないため、沈下量が大きいところでは観測開始時から約 450 cm の沈下がみられます。

現在では、地下水揚水規制による地下水位の回復もあり、沈下はおさまっています。令和 2(2020)年の調査結果での最大沈下量は板橋区新河岸二丁目にある水準基標の 1.02 cm であり、これが都内の最大沈下量となっています。最大隆起量は江戸川区江戸川三丁目の 0.68 cm です。

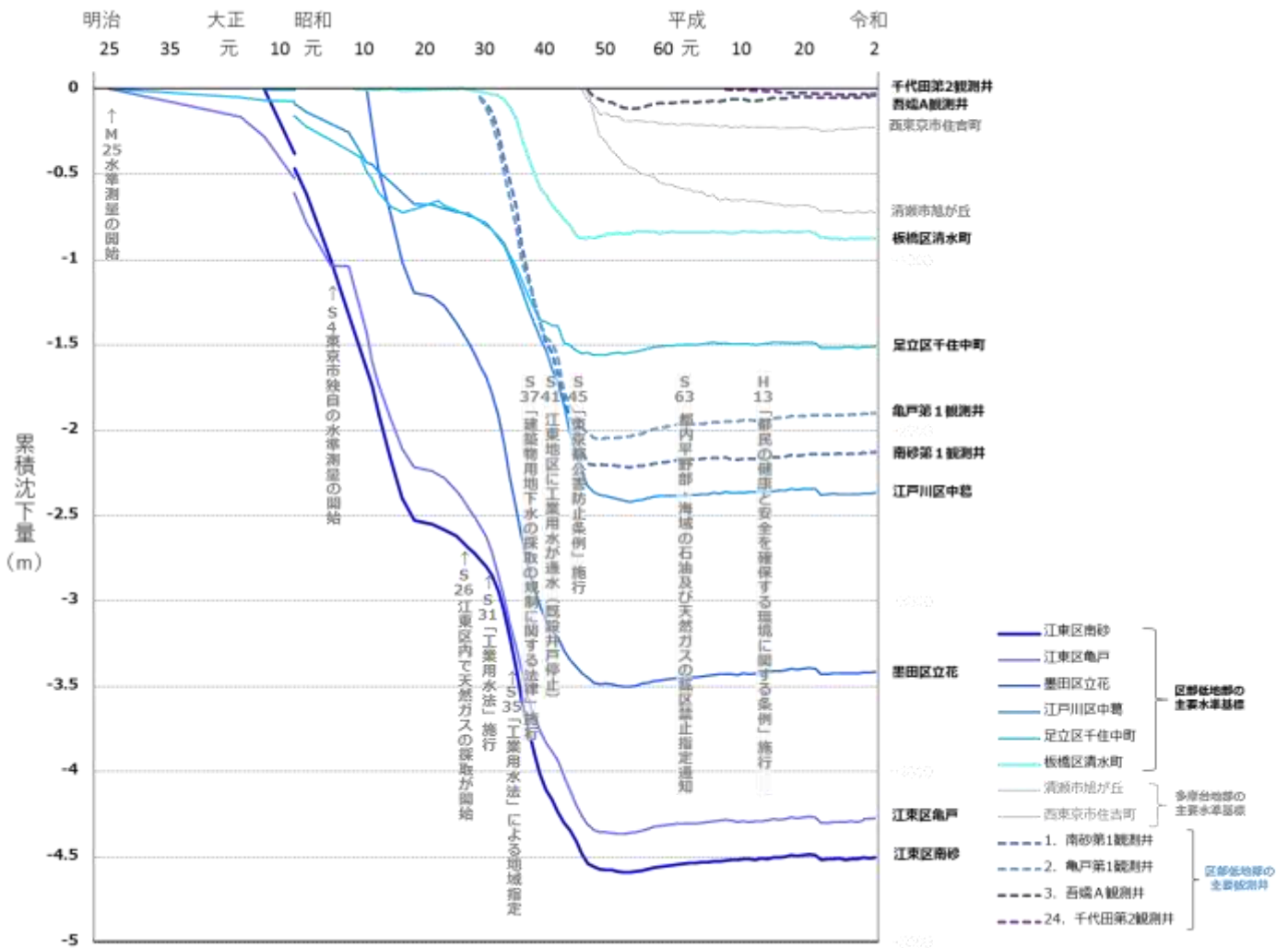


図 8-19 区部低地部の主要観測井と主要水準基標の累積沈下量

旧東京都土木技術センター、現東京都土木技術支援・人材育成センター「地盤沈下調査報告書」^[2]より作成

注：観測時からの累積沈下量のグラフであり、観測開始前の沈下量については不明であるため、地点間での比較をする場合は注意が必要

イ 地層別変動量の推移

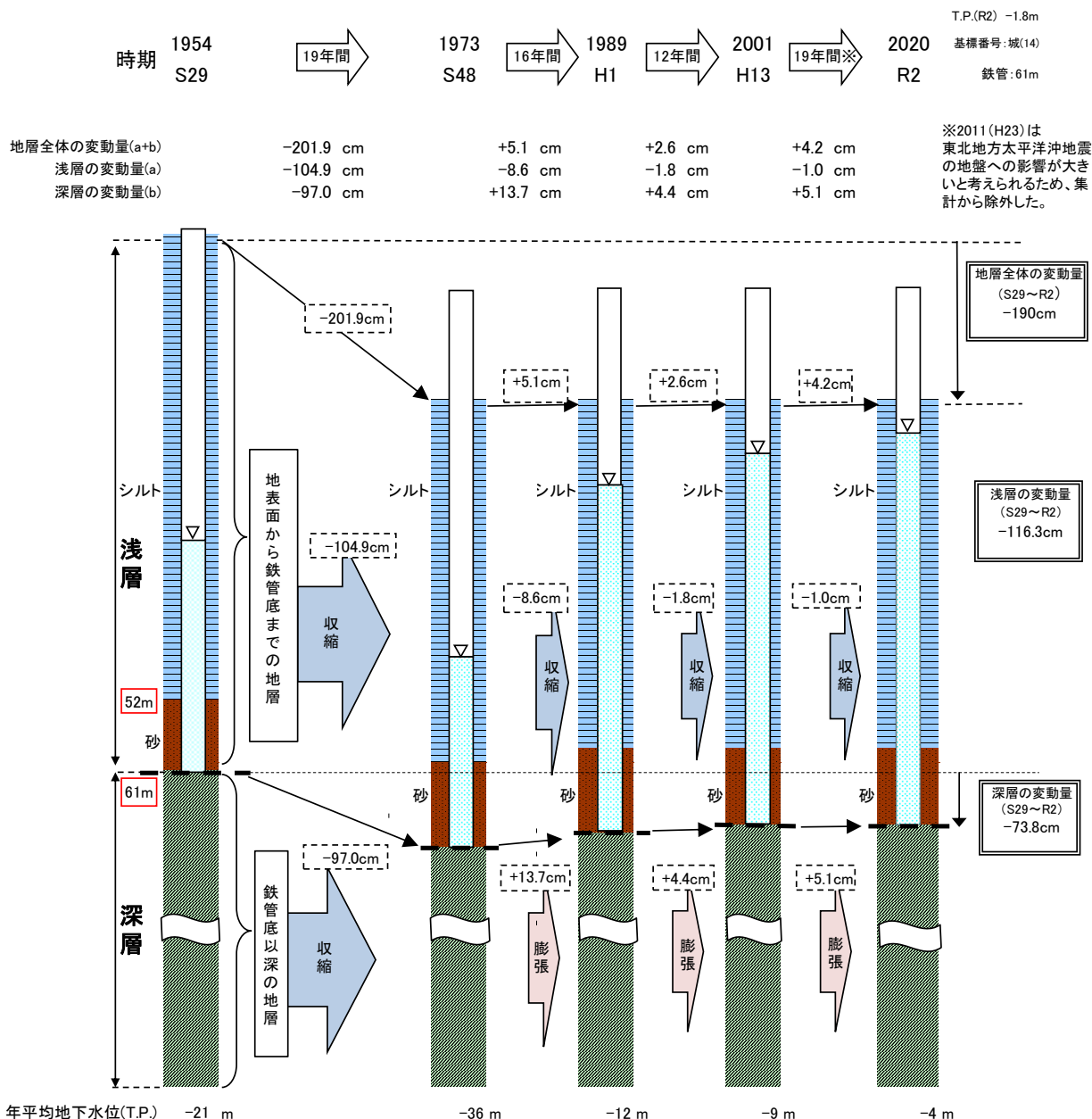
区部低地部の観測井は特に浅層が著しく収縮し、亀戸第1観測井では、観測開始から19年間で200cm程度沈下しています。区部低地部には地盤沈下が起こりやすい浅層の沖積層が厚く堆積しているため、特に累積沈下量が大きくなっています。

① 亀戸第1観測井【再掲】

◆昭和29(1954)年(観測開始)：管底まで沖積層 管底以深はシルト、砂、砂礫互層の更新統(更新世(258万~1万7000年前)にできた地層)

◆昭和48(1973)年(観測開始から19年)：浅層で104.9cmの収縮 深層で97.0cmの収縮

◆現在まで：深層ではわずかに隆起しているが、沖積層を主体とする浅層は収縮したままである。



※1 浅層の収縮は、主にシルト層の収縮で表現している。

※2 地質の概況は以下のとおりである。

浅層	0 m	~	52 m	シルト
	52 m	~	61 m	砂
深層	61 m以深			シルト、砂、砂礫の互層

図 8-20 観測井における地層別変動の概念図(江東区亀戸第1)【再掲】

旧東京都土木技術センター、現東京都土木技術支援・人材育成センター「地盤沈下調査報告書」^[2]より作成

江東区亀戸第1 (ストレーナー深度 56-61 m、地盤高-1.8 m)

※H23は東北地方太平洋沖地震による地盤への影響が大きいと考えられるため、地層変動量の集計から除外している。

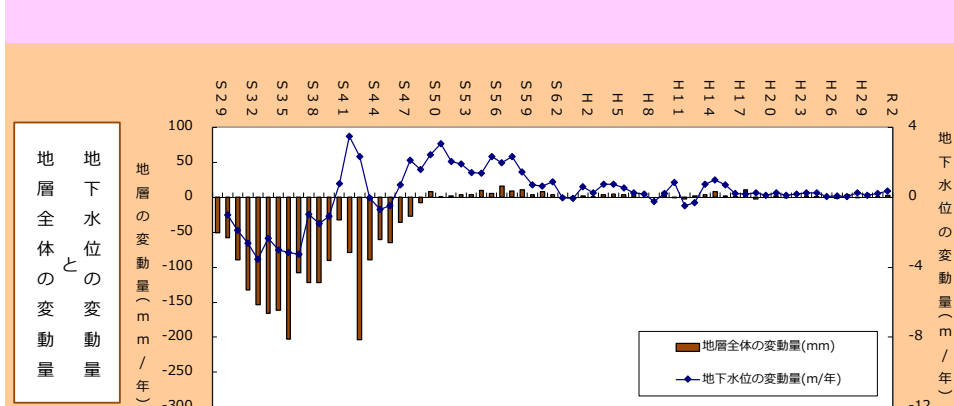
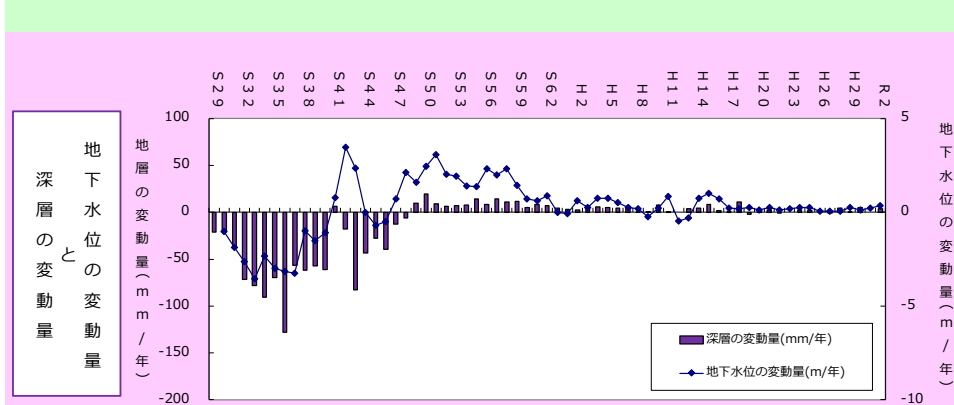
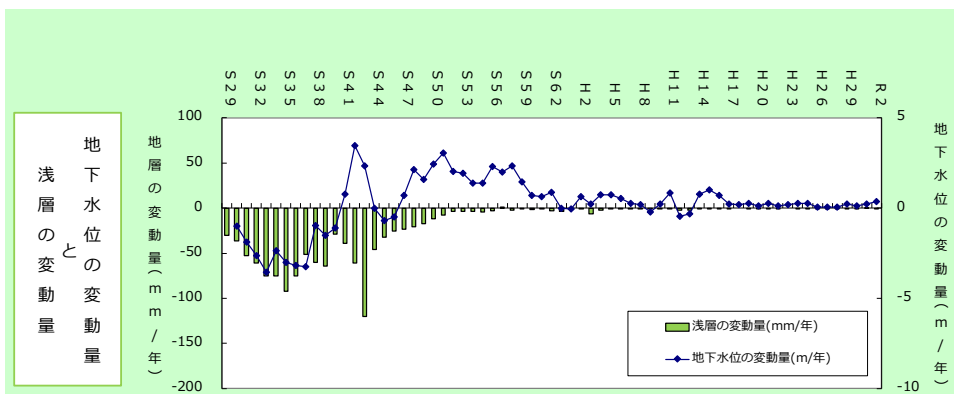
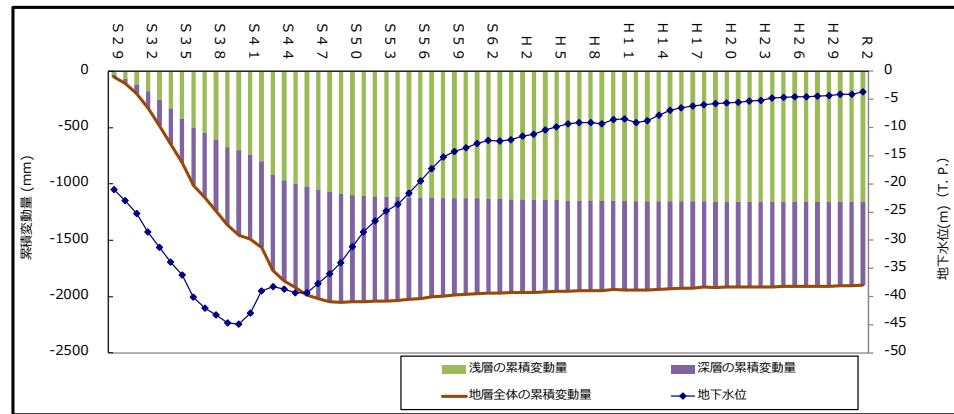


図 8-21 地盤と地下水位の推移(江東区亀戸第1観測井)【再掲】

旧東京都土木技術センター、現東京都土木技術支援・人材育成センター「地盤沈下調査報告書」^[2]より作成

② 南砂町第1観測井

江東区南砂町第1 (ストレーナー深度 65-70 m、地盤高-2.2 m)

※H23は東北地方太平洋沖地震による地盤への影響が大きいとされるため、地層変動量の集計から除外している。

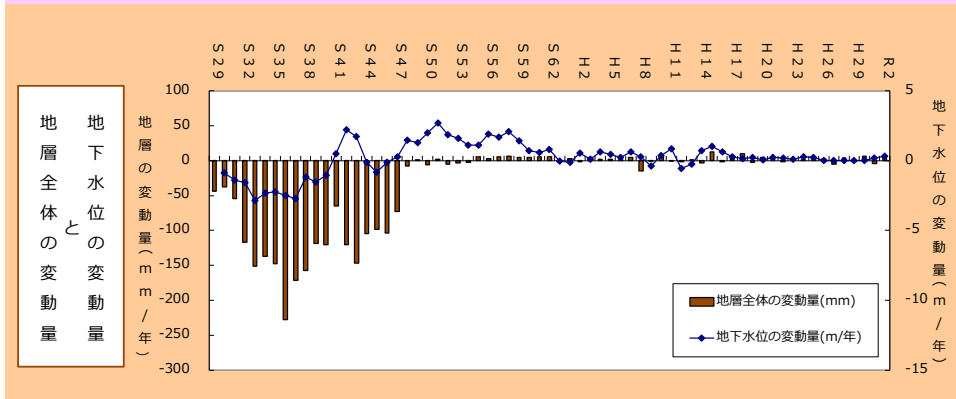
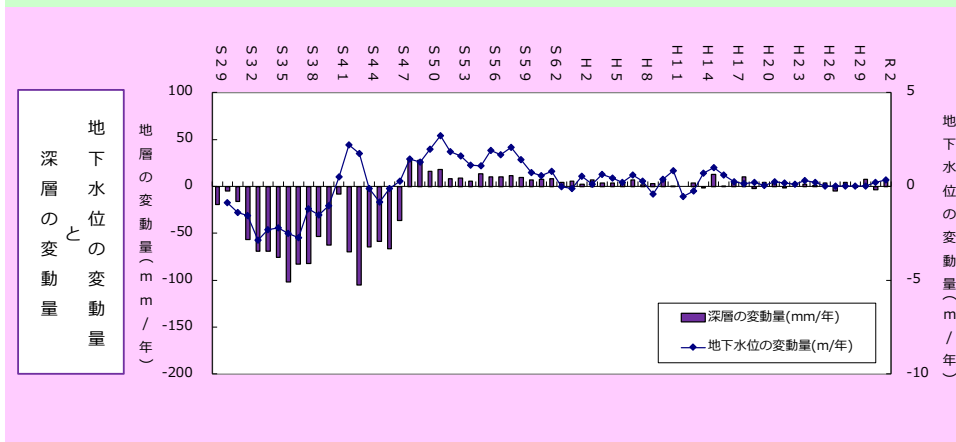
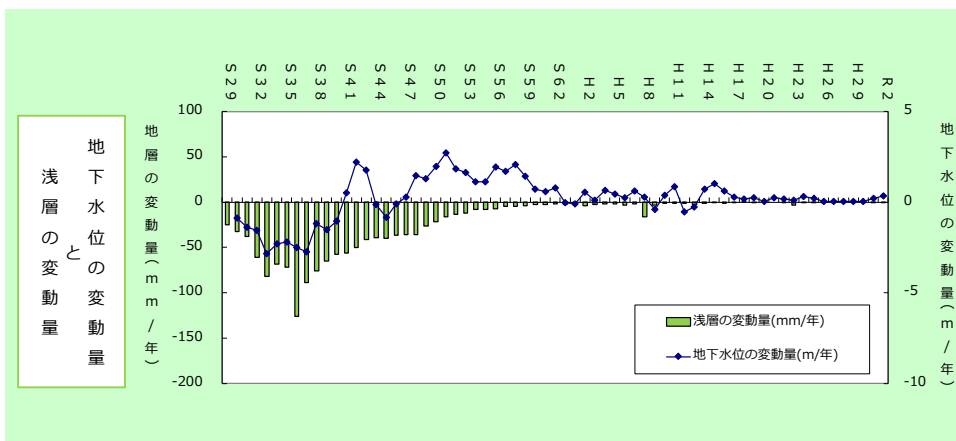
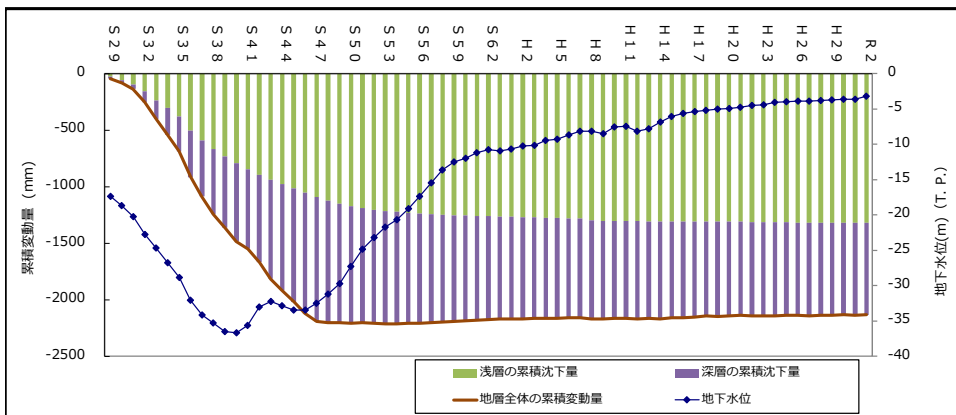


図 8-22 地盤と地下水位の推移(江東区南砂町第1観測井)

旧東京都土木技術センター、現東京都土木技術支援・人材育成センター「地盤沈下調査報告書」^[2]より作成

③ 吾孀 A 観測井

墨田区吾孀 A (ストレーナー深度 42-47 m、地盤高-1.0 m)

※H23は東北地方太平洋沖地震による地盤への影響が大きいと考えられるため、地層変動量の集計から除外している。

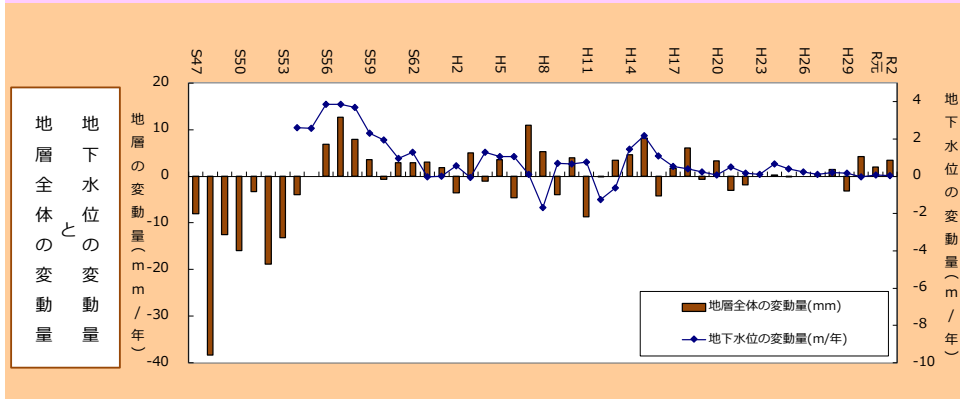
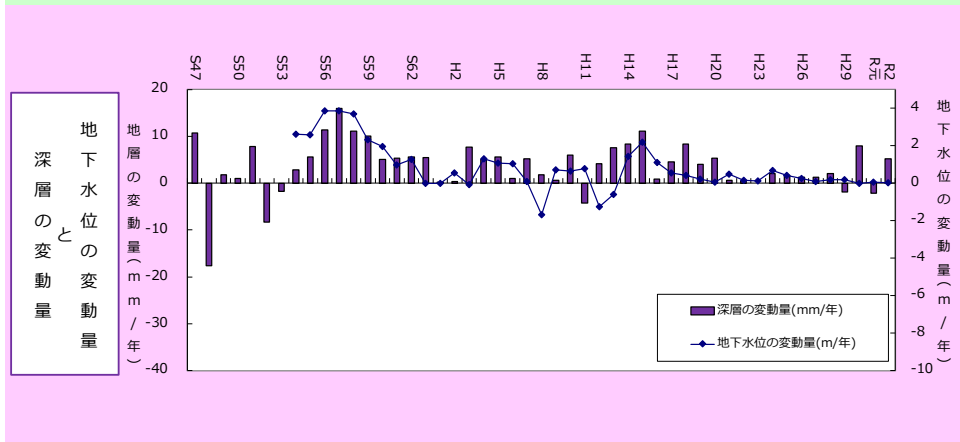
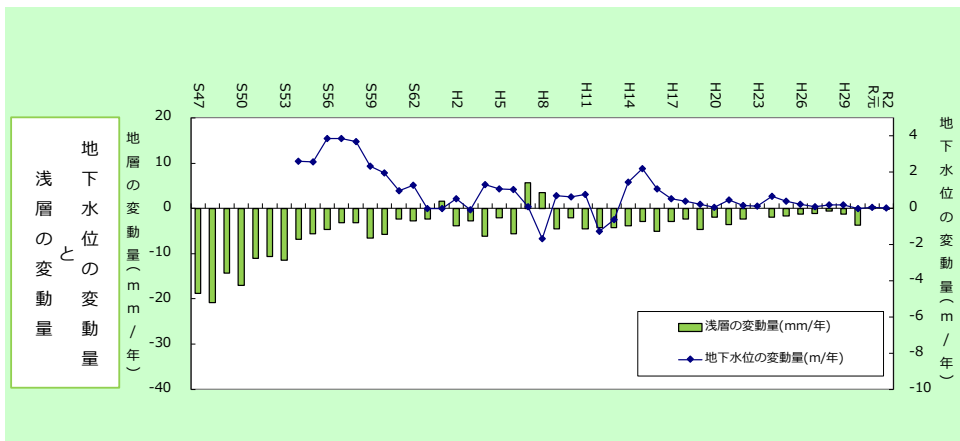
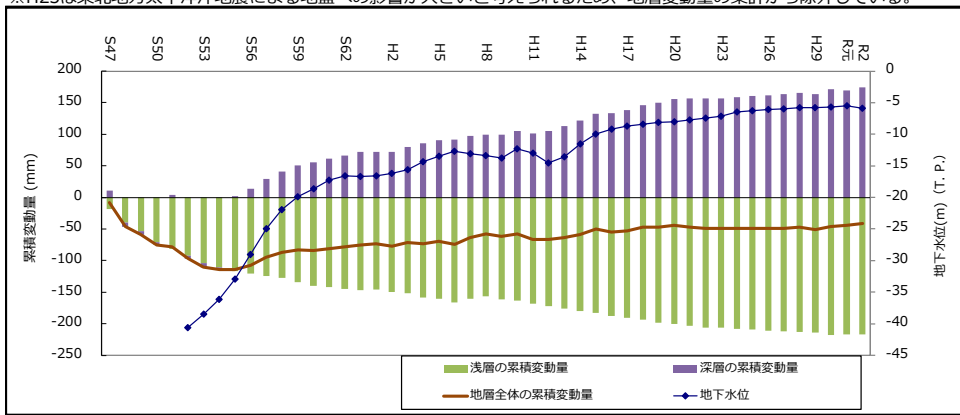


図 8-23 地盤と地下水位の推移(墨田区吾孀 A 観測井)

旧東京都土木技術センター、現東京都土木技術支援・人材育成センター「地盤沈下調査報告書」^[2]より作成

④ 千代田第2観測井

千代田区千代田第2 (ストレーナー位置: 92~109m)

※H23は東北地方太平洋沖地震による地盤への影響が大きいとされるため、地層変動量の集計から除外している。

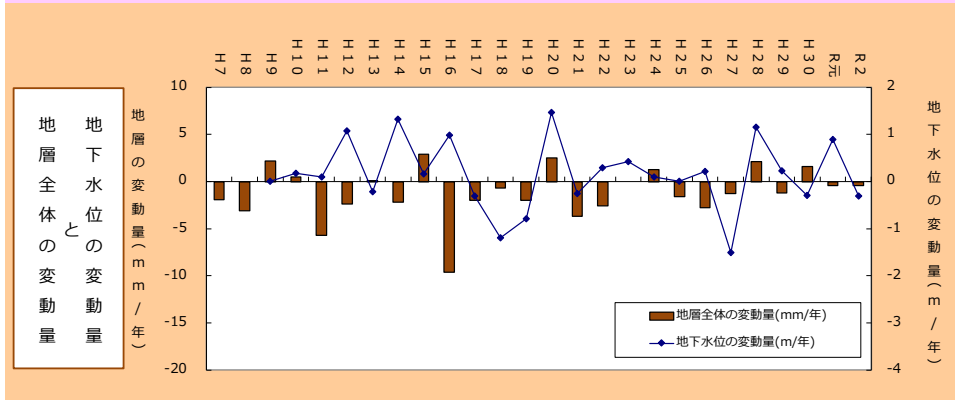
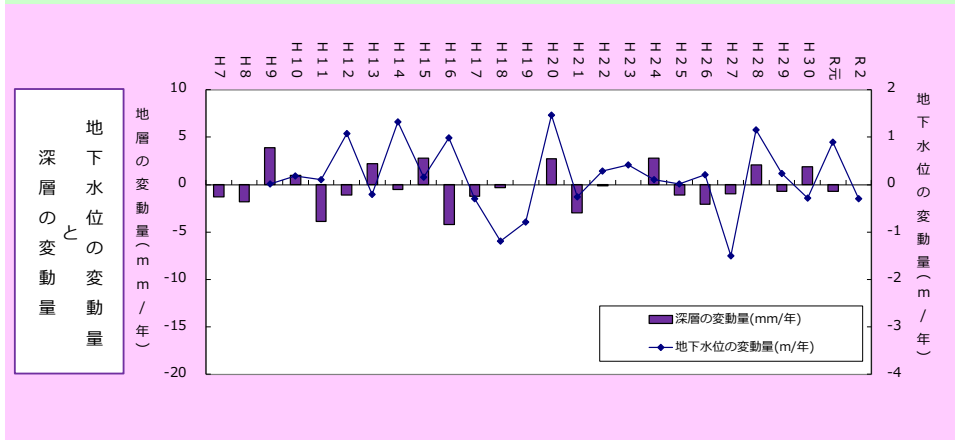
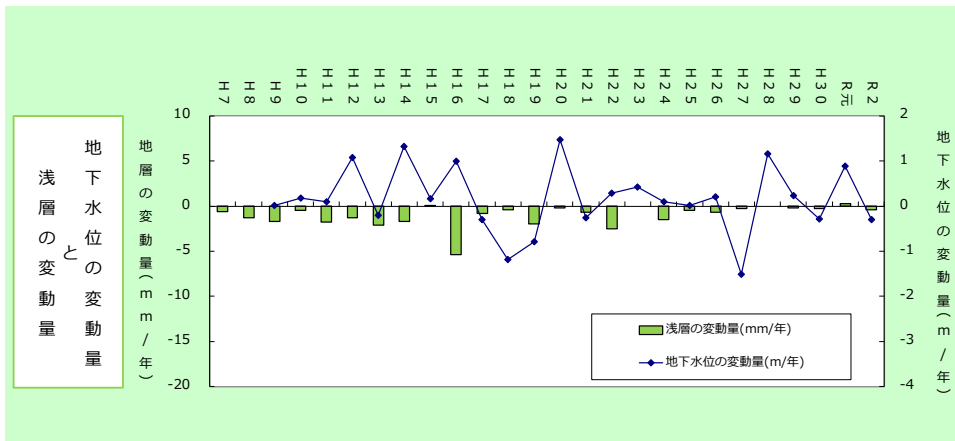
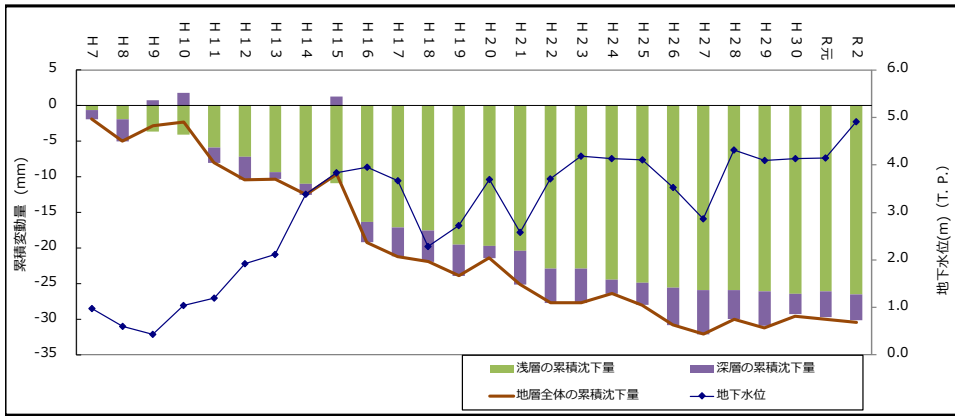


図 8-24 地盤と地下水位の推移(千代田区千代田第2観測井)

旧東京都土木技術センター、現東京都土木技術支援・人材育成センター「地盤沈下調査報告書」^[2]より作成

(3) 地下水揚水量の状況

ア 揚水量の推移

かつての区部低地部では工業で地下水を利用しており、地下水揚水量が多くなっていました。しかし、江東区が工業用水法の指定地域になったのを皮切りに、広く地下水揚水規制が行われ減少しました。現在(令和2(2020)年)では一番揚水量が多かった昭和39(1964)年の1.5%程度となっています。

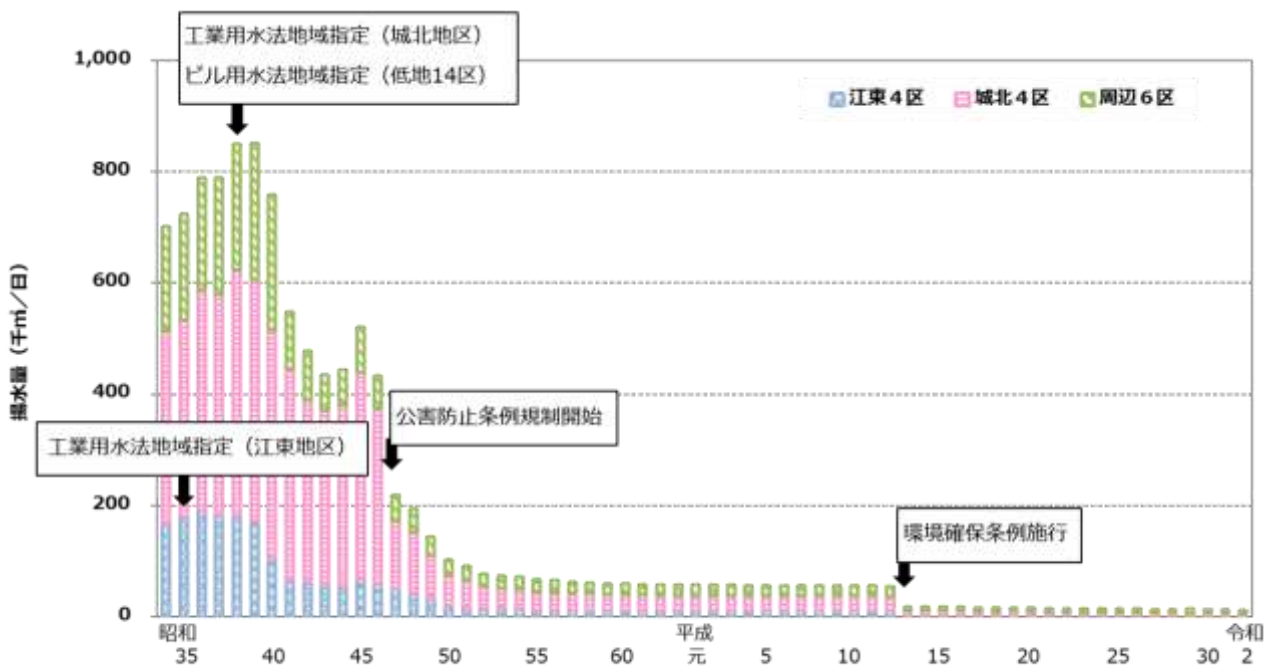


図 8-25 区部低地部における揚水量の推移(地区別)

南関東地方地盤沈下調査会「南関東地域地盤沈下調査対策誌」(昭和49(1974)年)^[4]
東京都環境局「令和2年 都内の地下水揚水の実態(地下水揚水量調査報告書)」^[7]より作成

イ 揚水量の内訳

区部低地では地下水揚水量の全体量は少ないものの、使用用途に特徴がみられます。用途別の揚水量を図8-26に示します。

公衆浴場での使用が多く割合を占めており約45%となっています。他の利用傾向としては、環境用水や飲料用に使用されています。

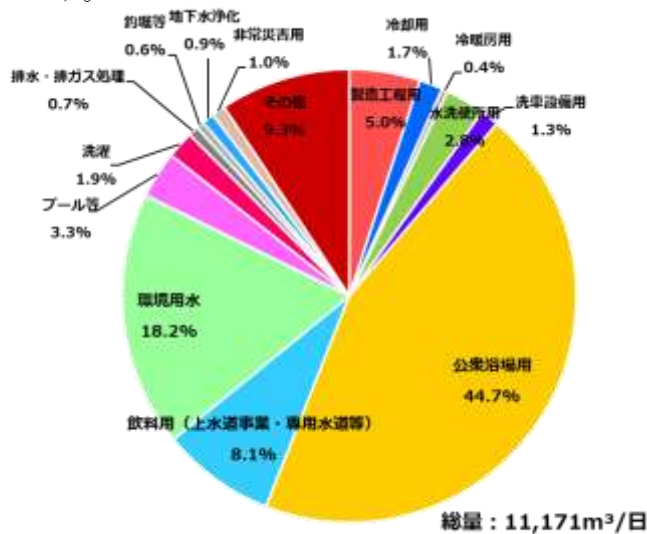


図 8-26 揚水量の内訳(令和2年)

東京都環境局「令和2年 都内の地下水揚水の実態(地下水揚水量調査報告書)」^[7]より作成

8-4 区部台地部におけるモニタリング結果

この章では、区部台地部の地下水と地盤の状況について示します。

区部台地部は城西5区、都心4区の計9区で構成されています。観測井は図 8-28 のとおり、5箇所設置されています。

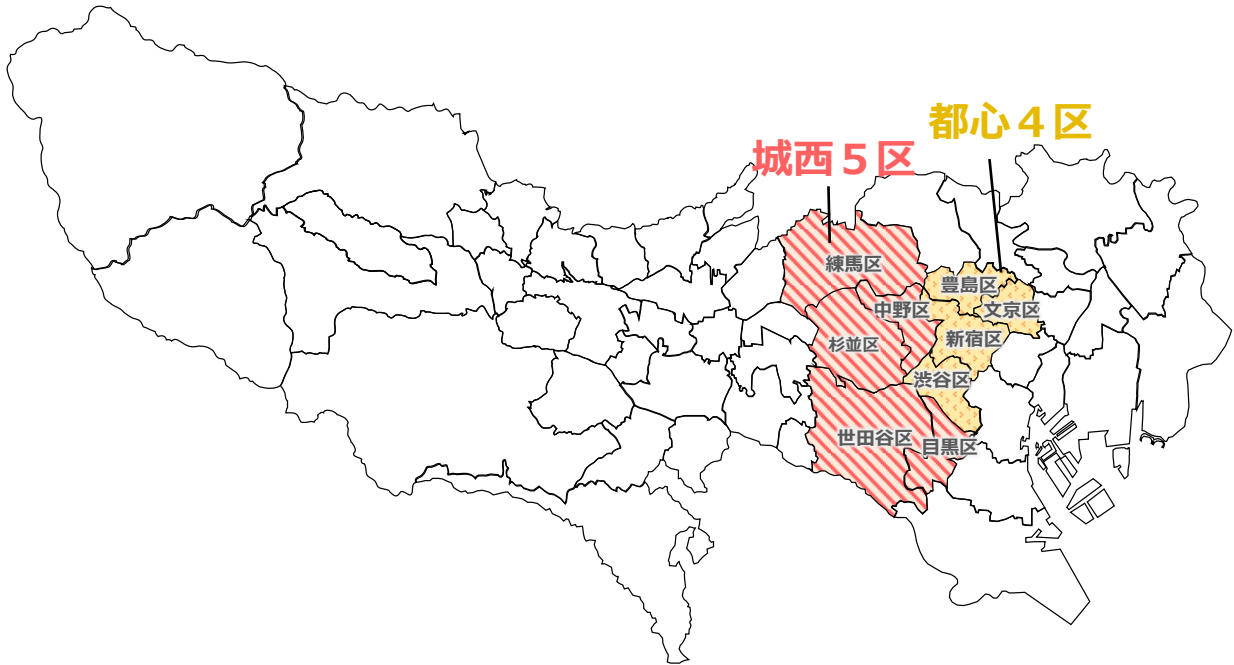
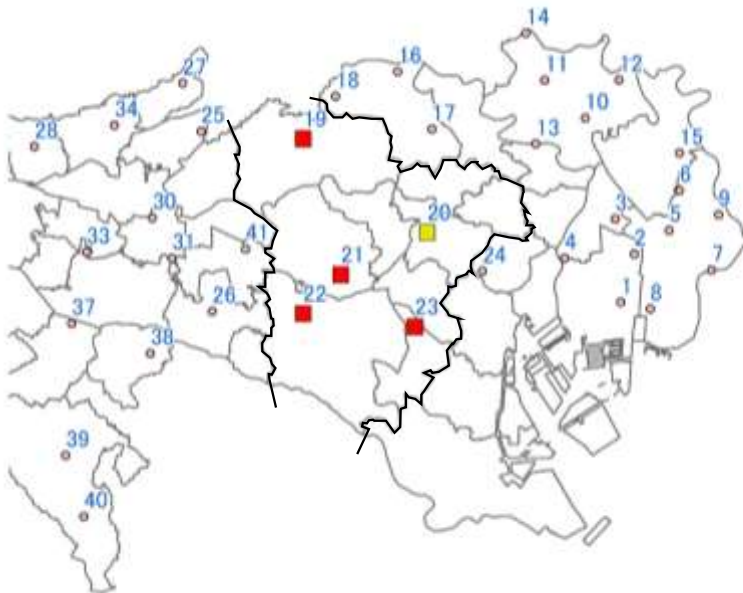


図 8-27 区部台地部の地区分



地区分	地点番号	観測地点名	地盤高 (T.P. m)
城西5区	19	練馬	42.0
	21	杉並	37.1
	22	世田谷	41.2
	23	目黒	17.3
都心4区	20	新宿	32.9

図 8-28 区部台地部の観測井

旧東京都土木技術センター、現東京都土木技術支援・人材育成センター「地盤沈下調査報告書」^[2]より作成

(1) 地下水位のモニタリング結果

区部台地部でもかつて地下水位の低下が顕著な箇所(図 8-29 の 19 練馬第2, 20 新宿)が存在し、現在より約 40m低い時期もありました。昭和 45(1970)年に施行した東京都公害防止条例の揚水規制以降は急激に回復しています。

地盤沈下は区部低地部から問題になったこともあり、区部台地部の観測井は区部低地部に比べて設置が遅い箇所(図 8-29 の 21 杉並, 22 世田谷, 23 目黒)があります。それらの観測井でも、地下水位は上昇傾向が確認されています。

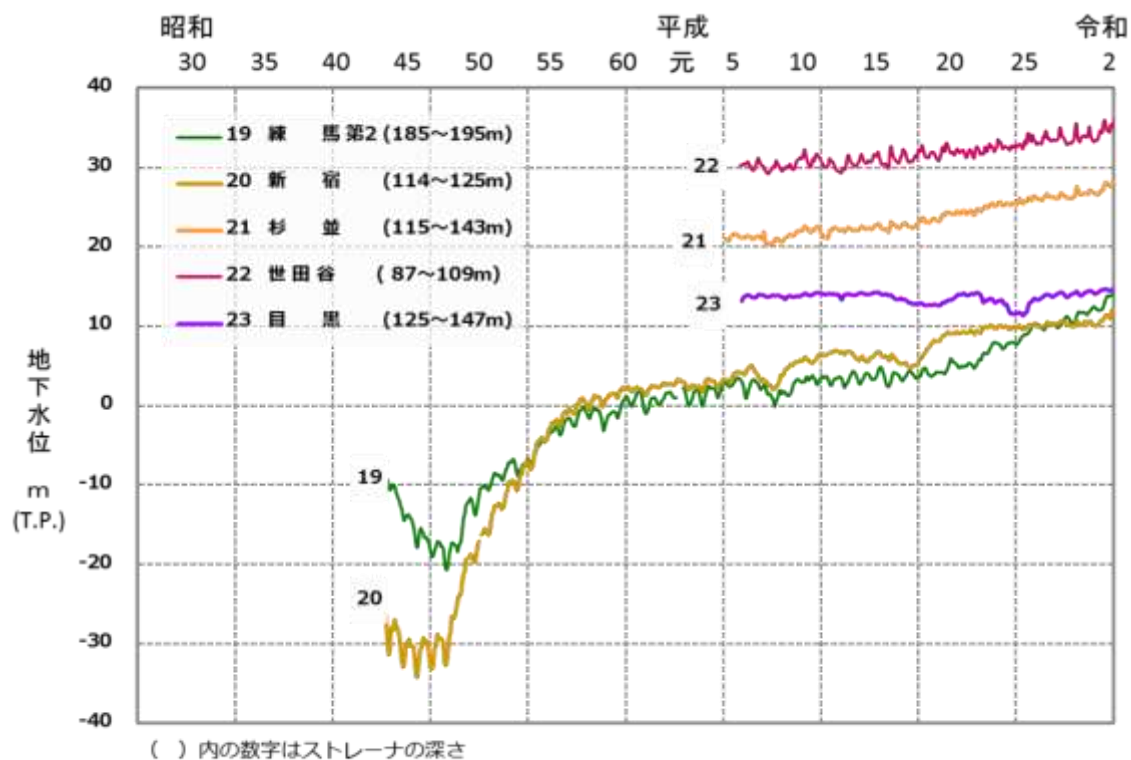


図 8-29 区部台地部の主要観測井の地下水位の変遷

旧東京都土木技術センター、現東京都土木技術支援・人材育成センター「地盤沈下調査報告書」^[2]より作成

(2) 地盤のモニタリング結果

ア 累積沈下量の推移

区部台地部の沈下量は区部低地部に比べ小さいものの、練馬第1観測井では観測当初から約20cm沈下しており、生活に影響を及ぼす地盤沈下が発生していました。

現在では、区部台地部でも地盤沈下はおさまっています。令和2(2020)年の調査結果での最大沈下量は杉並区下高井戸一丁目にある水準基標の0.88cmです。最大隆起量は練馬区東大泉七丁目での0.42cmです。

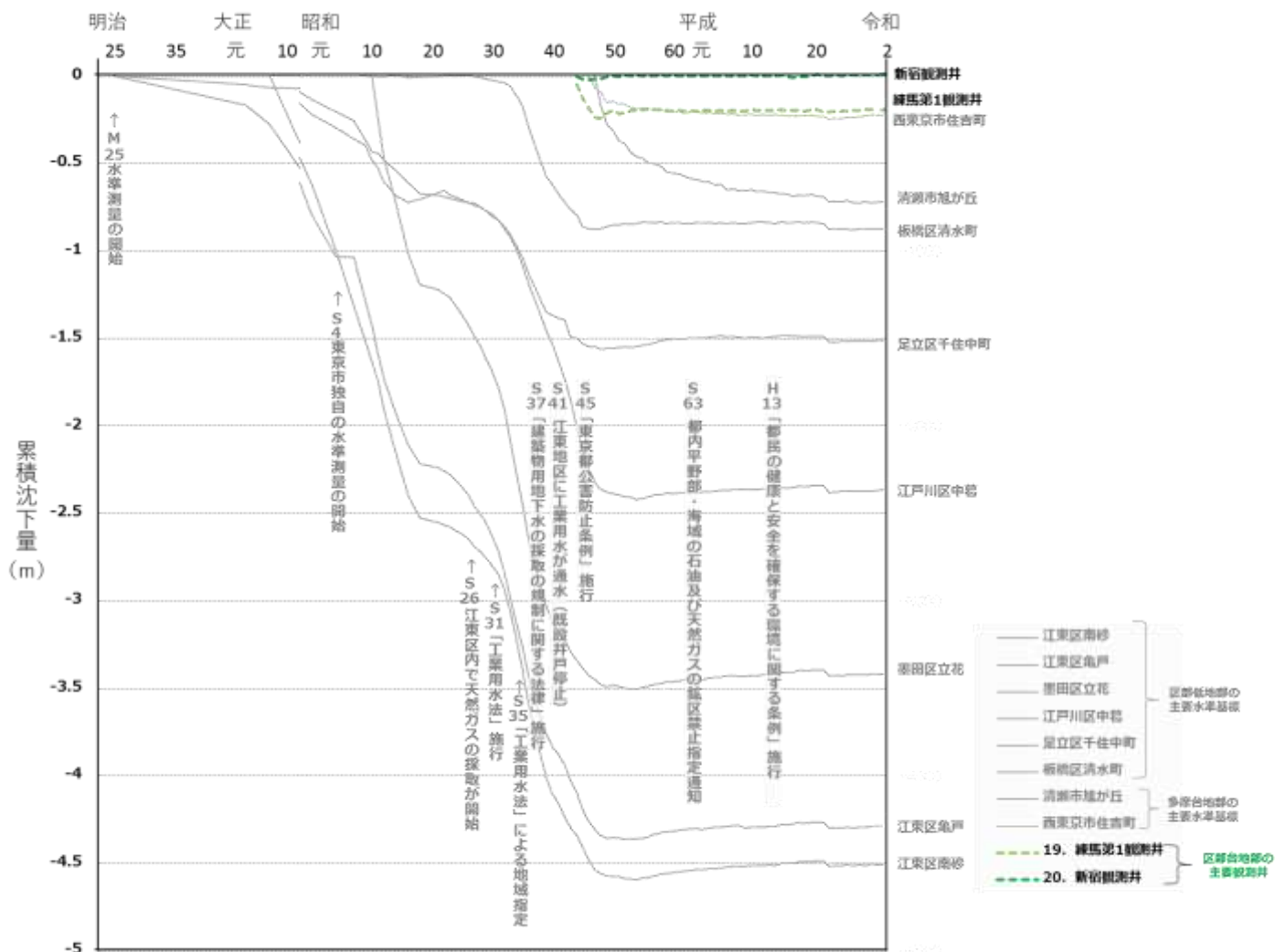


図 8-30 区部台地部の主要観測井と主要水準基標の累積沈下量

旧東京都土木技術センター、現東京都土木技術支援・人材育成センター「地盤沈下調査報告書」^[2]より作成

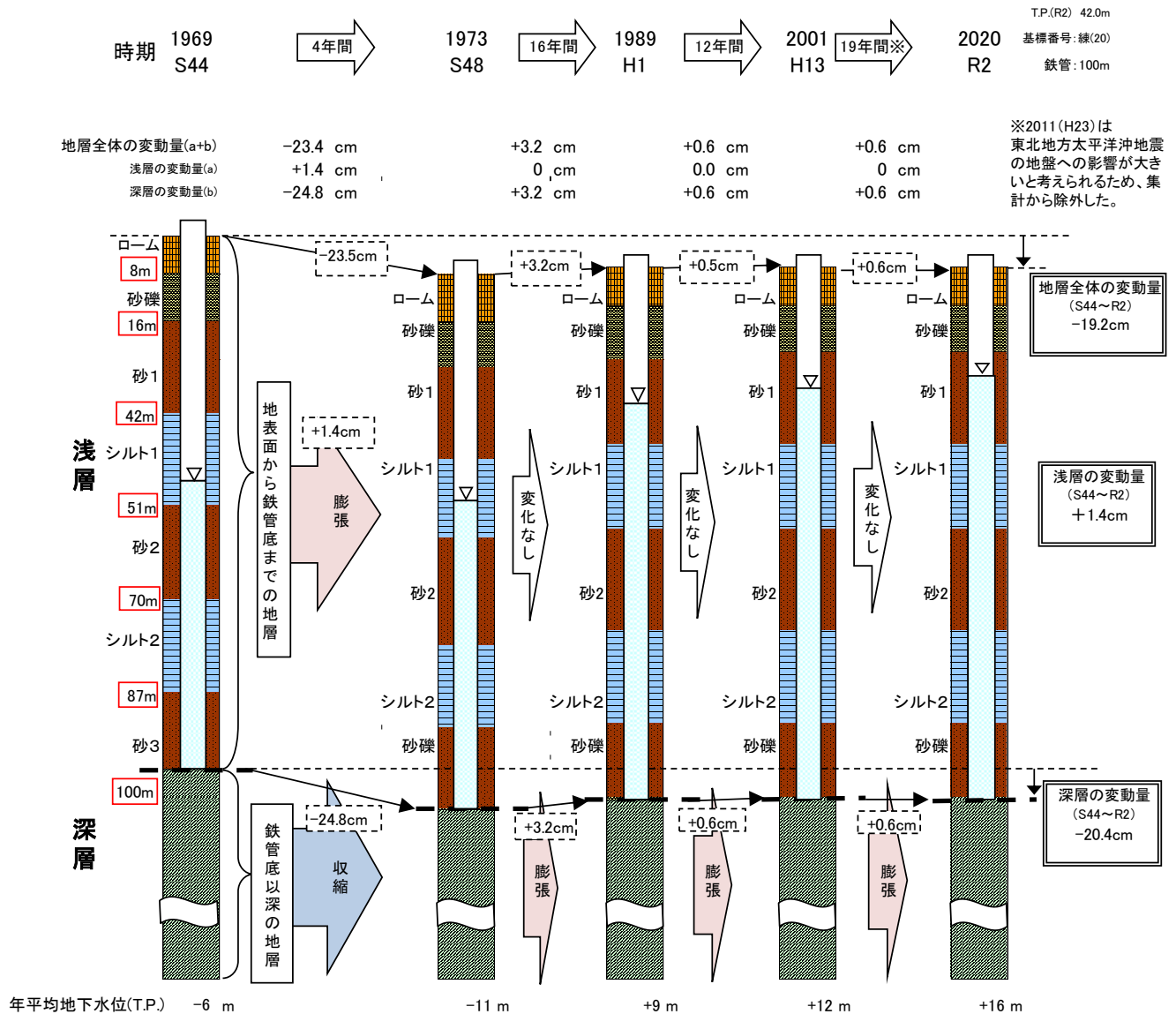
注：観測時からの累積沈下量のグラフであり、観測開始前の沈下量については不明であるため、地点間での比較をする場合は注意が必要。

イ 地層別変動量の推移

区部台地部の観測井では、地盤沈下は認められています。区部低地部よりもゆるやかな沈下傾向となっています。練馬第1観測井では、観測開始から4年で23.4 cm沈下しました。地層が膨張を示す年もありますが、基本的に収縮した地層が完全に戻る推移は示していません。

① 練馬第1観測井

- ◆昭和44（1969）年（観測開始）：管底まで軟弱なシルトを挟む 管底以深はシルト、砂、砂礫互層
- ◆昭和48（1973）年（観測開始から4年）：全体として23.4 cmの収縮
- ◆現在まで：深層部において微膨張が認められるが、浅層部に変化はなく、全体として大きな回復は認められない。



※1 鉄管底の位置が100mであるため、その上部(浅層)と下部(深層)の変動を概念図として作成している。

※2 地質の概況は以下のとおりである。

浅層	0 m	~	8 m	ローム
	8 m	~	16 m	砂礫
	16 m		42 m	砂1
	42 m		51 m	シルト1
	51 m		70 m	砂2
	70 m		87 m	シルト2
	87 m		100 m	砂3
	100 m以深			シルト、砂、砂礫の互層

図 8-31 観測井における地層別変動の概念図(練馬区練馬第1)

旧東京都土木技術センター、現東京都土木技術支援・人材育成センター「地盤沈下調査報告書」^[2]より作成

練馬区練馬第1 (ストレーナー深度 87-97 m、地盤高42.0 m)

※H23は東北地方太平洋沖地震による地盤への影響が大きいため、地層変動量の集計から除外している。

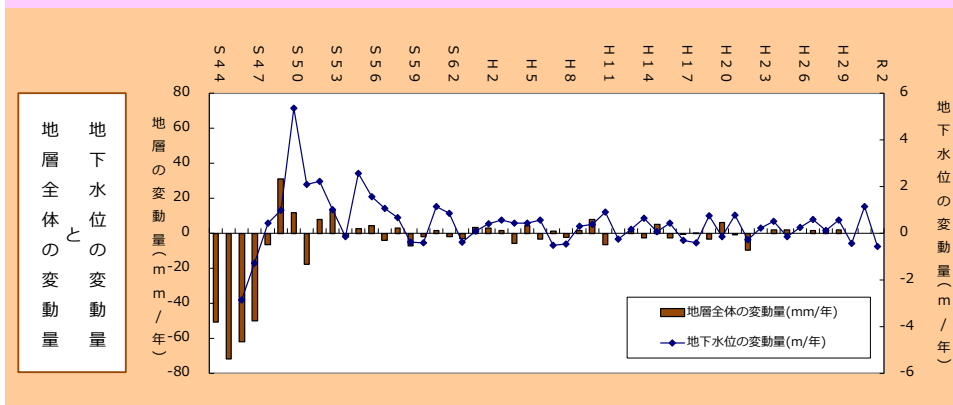
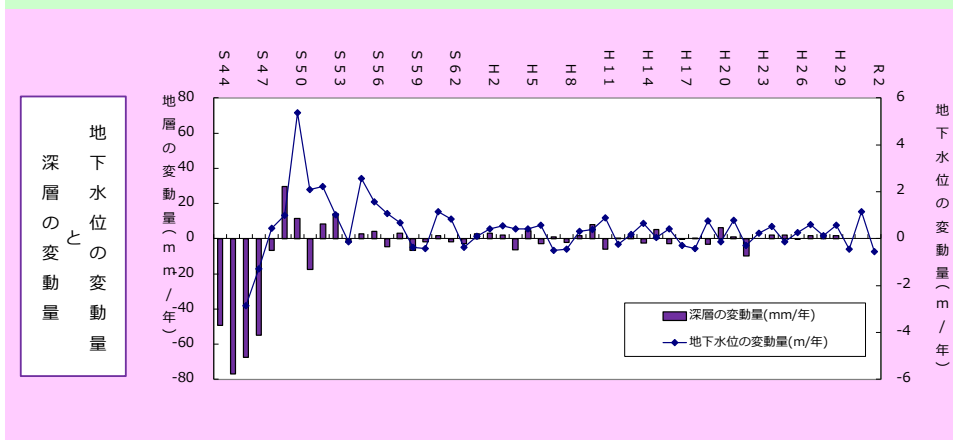
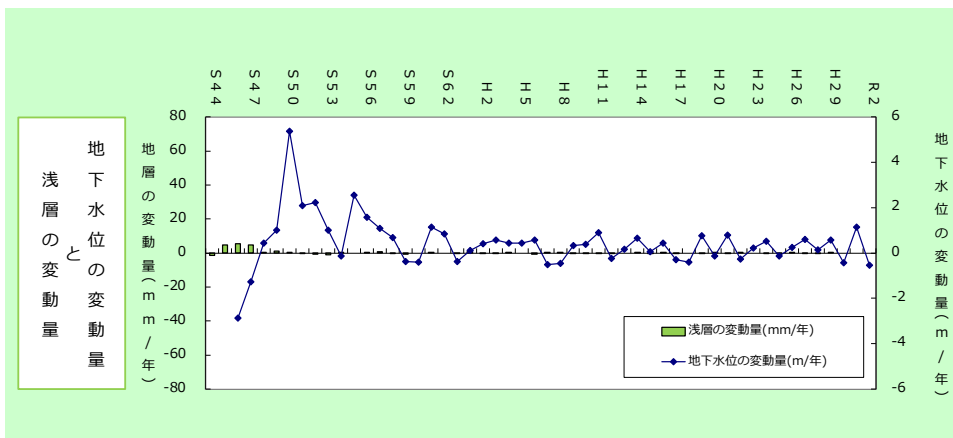
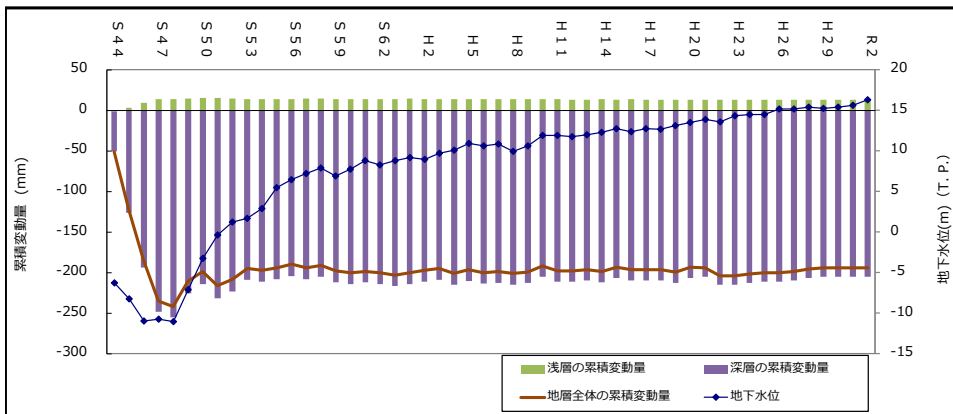


図 8-32 地盤と地下水位の推移(練馬区練馬第1 観測井)

旧東京都土木技術センター、現東京都土木技術支援・人材育成センター「地盤沈下調査報告書」^[2]より作成

② 新宿観測井

新宿区新宿（ストレーナー深度114-125 m、地盤高32.9 m）

※H23は東北地方太平洋沖地震による地盤への影響が大きいため、地層変動量の集計から除外している。

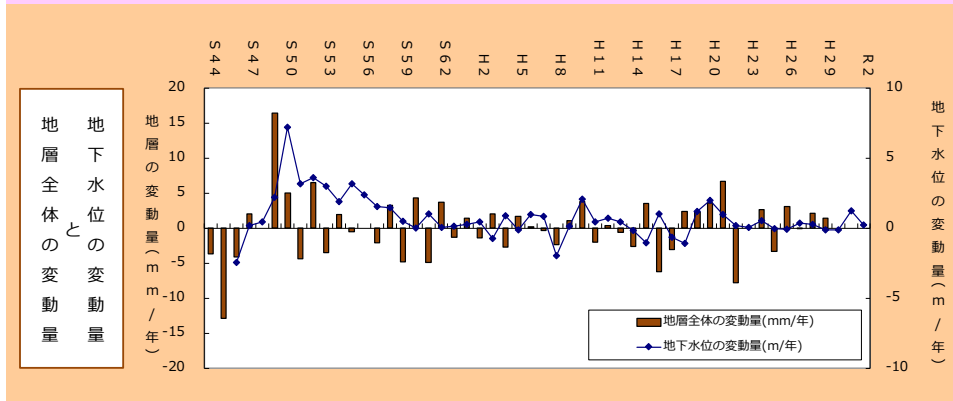
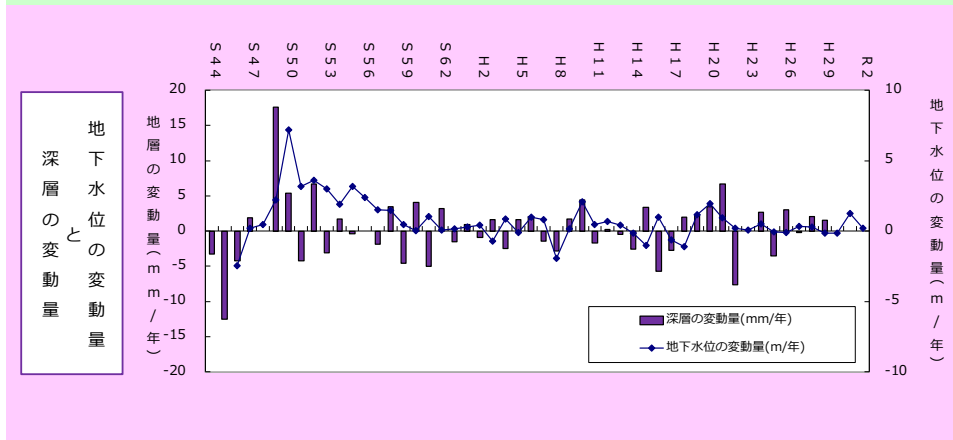
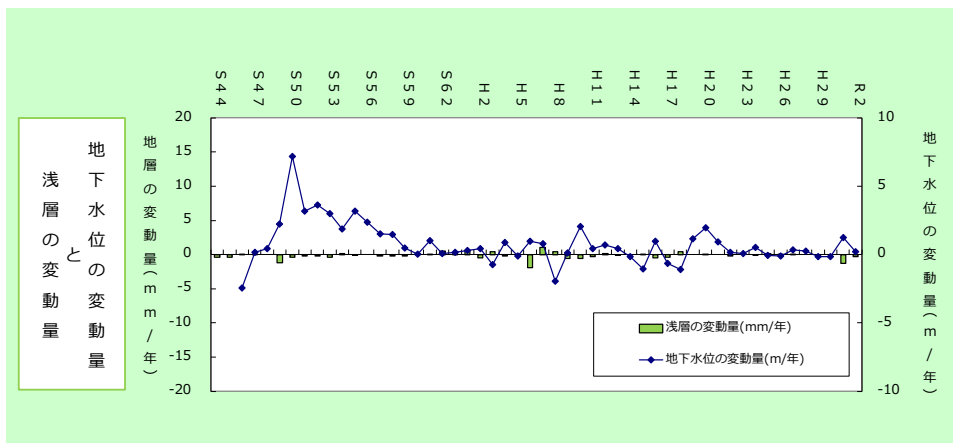
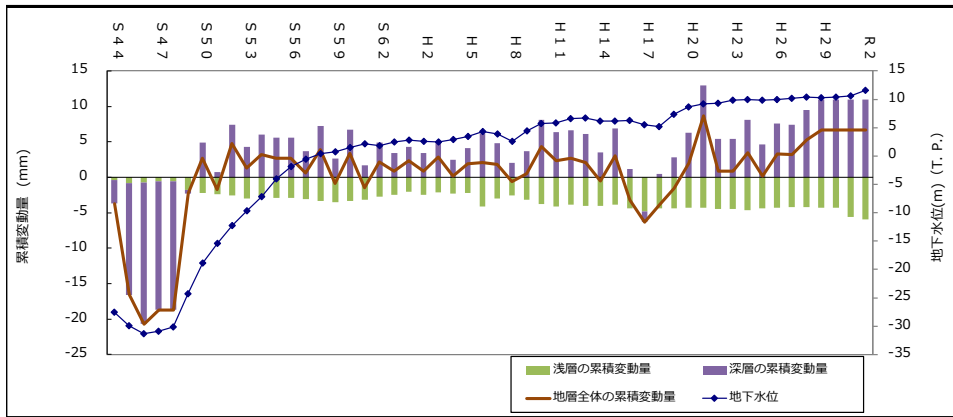


図 8-33 地盤と地下水位の推移(新宿区新宿観測井)

旧東京都土木技術センター、現東京都土木技術支援・人材育成センター「地盤沈下調査報告書」^[2]より作成

(3) 地下水揚水量の状況

ア 揚水量の推移

区部台地部でも一定の地下水揚水が行われていましたが、昭和 46(1971)年にビル用水法の指定地域になったことで揚水量は規制され、現在(令和 2 (2020) 年)では最も揚水量が多かった昭和 40(1965)年の 7.5%程度となっています。

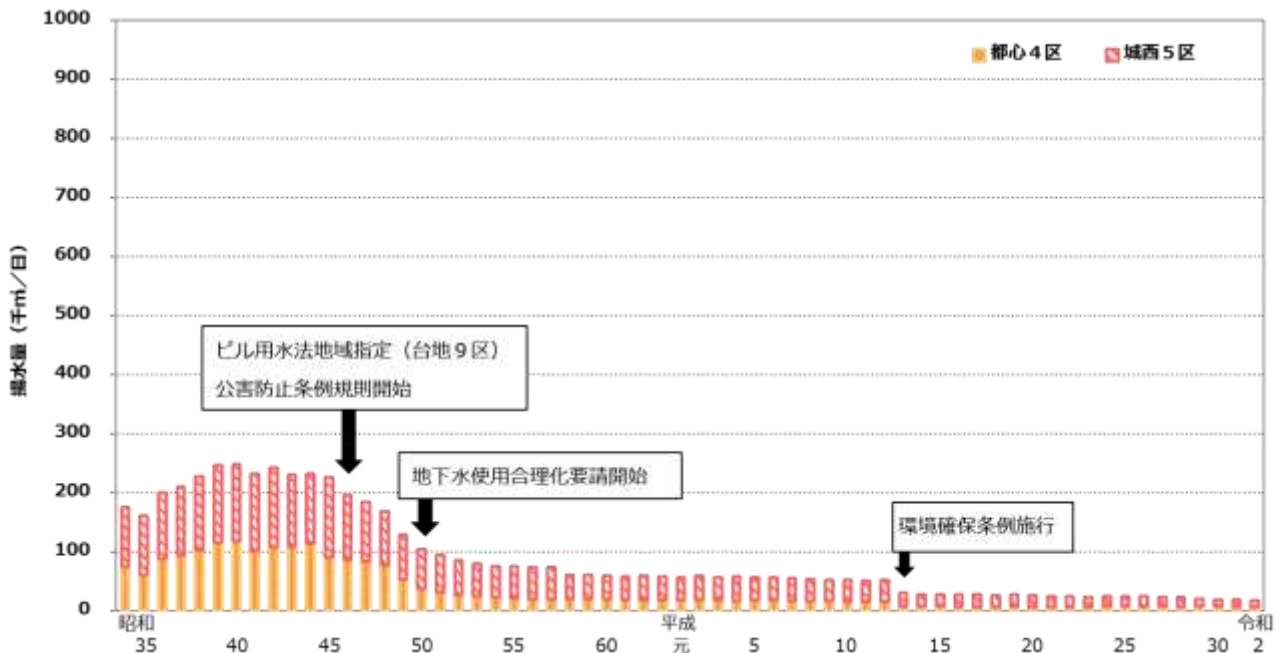


図 8-34 区部台地部における揚水量の推移(地区別)

南関東地方地盤沈下調査会「南関東地域地盤沈下調査対策誌」(昭和 49 (1974) 年)^[4]
東京都環境局「令和 2 年 都内の地下水揚水の実態(地下水揚水量調査報告書)」^[7]より作成

イ 揚水量の内訳

区部台地部の用途別揚水量を図 8-35 に示します。

用途別の割合をみると、飲料用が最も多く次いで環境用水、公衆浴場用となっています。上位 3 つは区部低地部と同様ですが、飲料用の割合が区部低地部より大きくなっています。

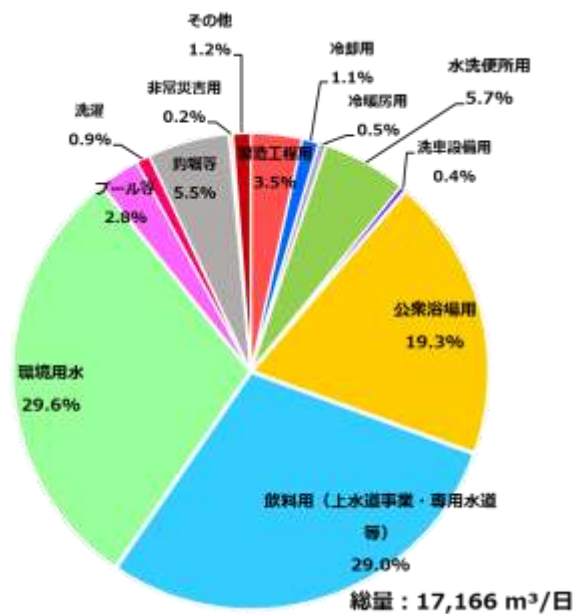


図 8-35 揚水量の内訳(令和 2 年度:用途別)

東京都環境局「令和 2 年 都内の地下水揚水の実態(地下水揚水量調査報告書)」^[7]より作成

8-5 多摩台地部におけるモニタリング結果

この章では、多摩台地部の地下水と地盤の状況について示します。

多摩台地部は、北多摩北部5市、北多摩南部6市、北多摩西部6市、南多摩5市、西多摩6市町で構成されています。観測井は図 8-37 のとおり、18 箇所設置されています。

なお、多摩山地部である奥多摩町、檜原村には観測井が設置されていませんが、地下水揚水量の報告があるため、揚水量のモニタリング結果では多摩台地部と多摩山地部を併せて多摩地域とします。

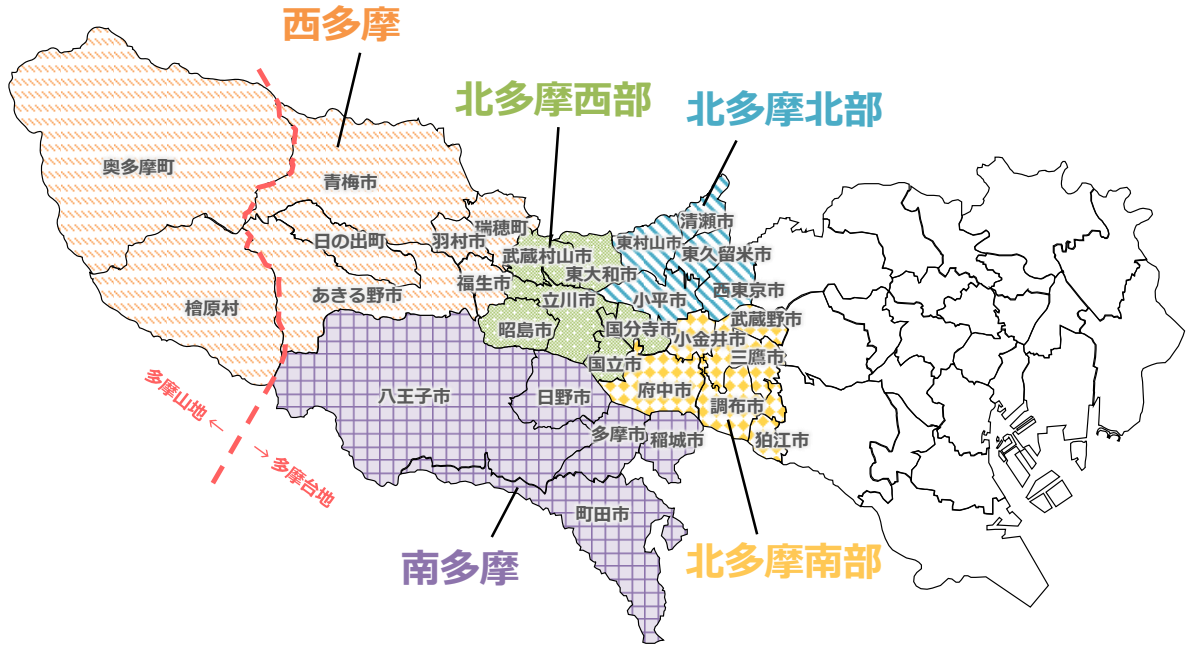


図 8-36 多摩地域の区分図

地区分	地点番号	観測地点名	地盤高 (T.P. m)
北多摩北部	25	東久留米	39.8
	27	清瀬	44.2
	34	東村山	62.7
北多摩南部	26	調布	33.9
	30	小金井	71.3
	31	小金井南	46.8
	33	府中	69.0
北多摩西部	41	三鷹	55.5
	28	東大和	97.2
	29	立川	75.0
南多摩	32	武蔵村山	124.5
	42	昭島	119.3
	35	八王子	109.1
	37	多摩	49.5
西多摩	38	稲城	36.7
	39	町田	61.8
	40		53.1
西多摩	36	瑞穂	142.3

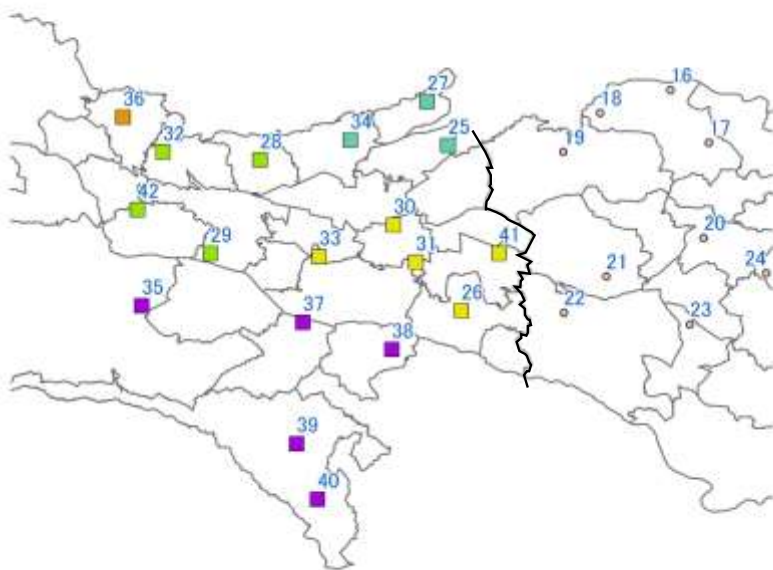


図 8-37 多摩台地部の観測井

旧東京都土木技術センター、現東京都土木技術支援・人材育成センター「地盤沈下調査報告書」^[2]より作成

(1) 地下水位のモニタリング結果

多摩台地部でもかつて地下水位の低下が観測されておりましたが、現在は上昇傾向がみられます。

しかし、区部低地部や区部台地部の急激な地下水位の回復は昭和 50(1975)年頃からであるに対し、北多摩北部、北多摩南部では急激な上昇に転じたのは平成 10(1998)年頃となっています。これは、地下水揚水の規制対象は区部低地部や区部台地部から進み、徐々に多摩台地部を含めた東京全域に広がったことが影響していると考えられます。

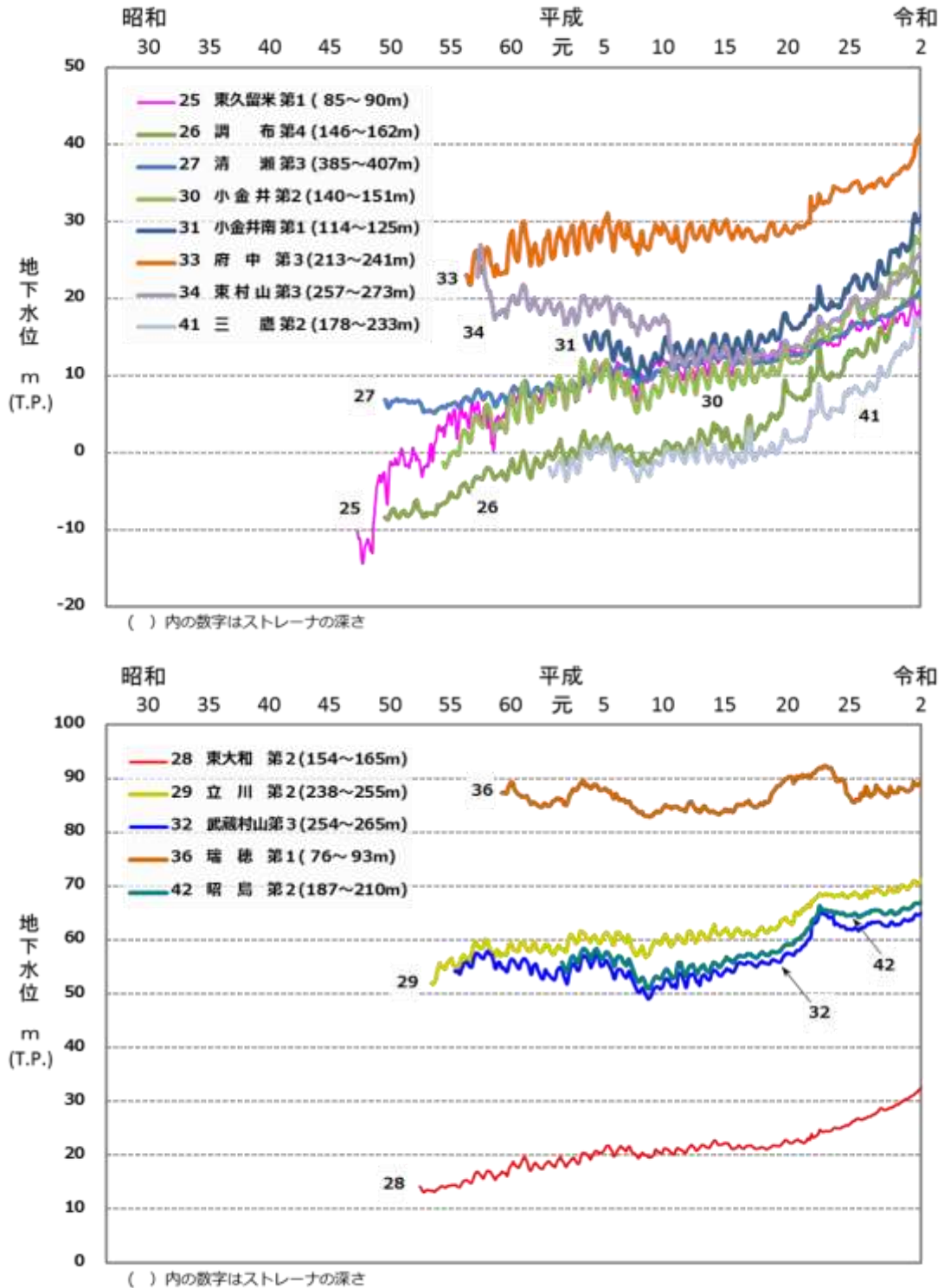


図 8-38a 多摩台地部の主要観測井の地下水位の変遷
(上：北多摩北部、北多摩南部 下：北多摩西部、西多摩)

旧東京都土木技術センター、現東京都土木技術支援・人材育成センター「地盤沈下調査報告書」^[2]より作成

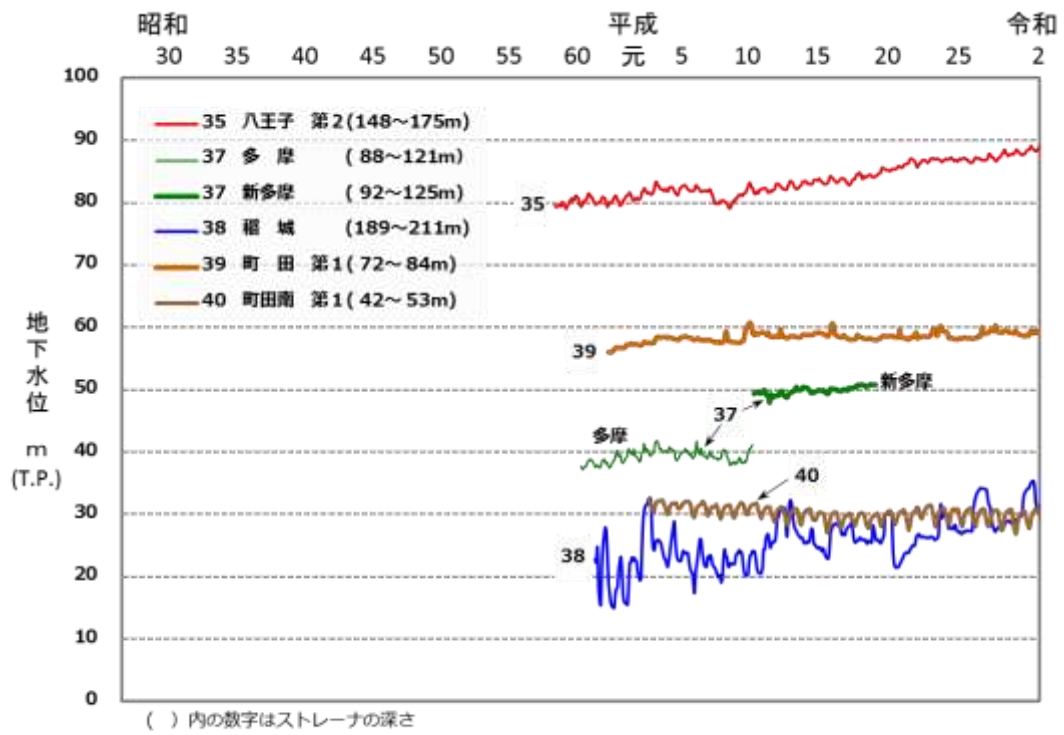


図 8-38b 多摩台地部の主要観測井の地下水位の変遷(南多摩)

旧東京都土木技術センター、現東京都土木技術支援・人材育成センター「地盤沈下調査報告書」^[2]より作成

(2) 地盤のモニタリング結果

ア 累積沈下量の推移

多摩台地部の沈下量は区部低地部に比べ小さいものの、北多摩北部の清瀬市では約 70 cm、西東京市では約 20 cm の累積沈下が観測されています。

現在では、多摩台地部でも地盤沈下はおさまっています。令和 2(2020)年の調査結果での最大沈下量は稲城市矢野口にある水準基標の 0.66 cm です。最大隆起量は東村山市廻田町三丁目での 0.81 cm であり、これが都内最大の隆起量となっています。

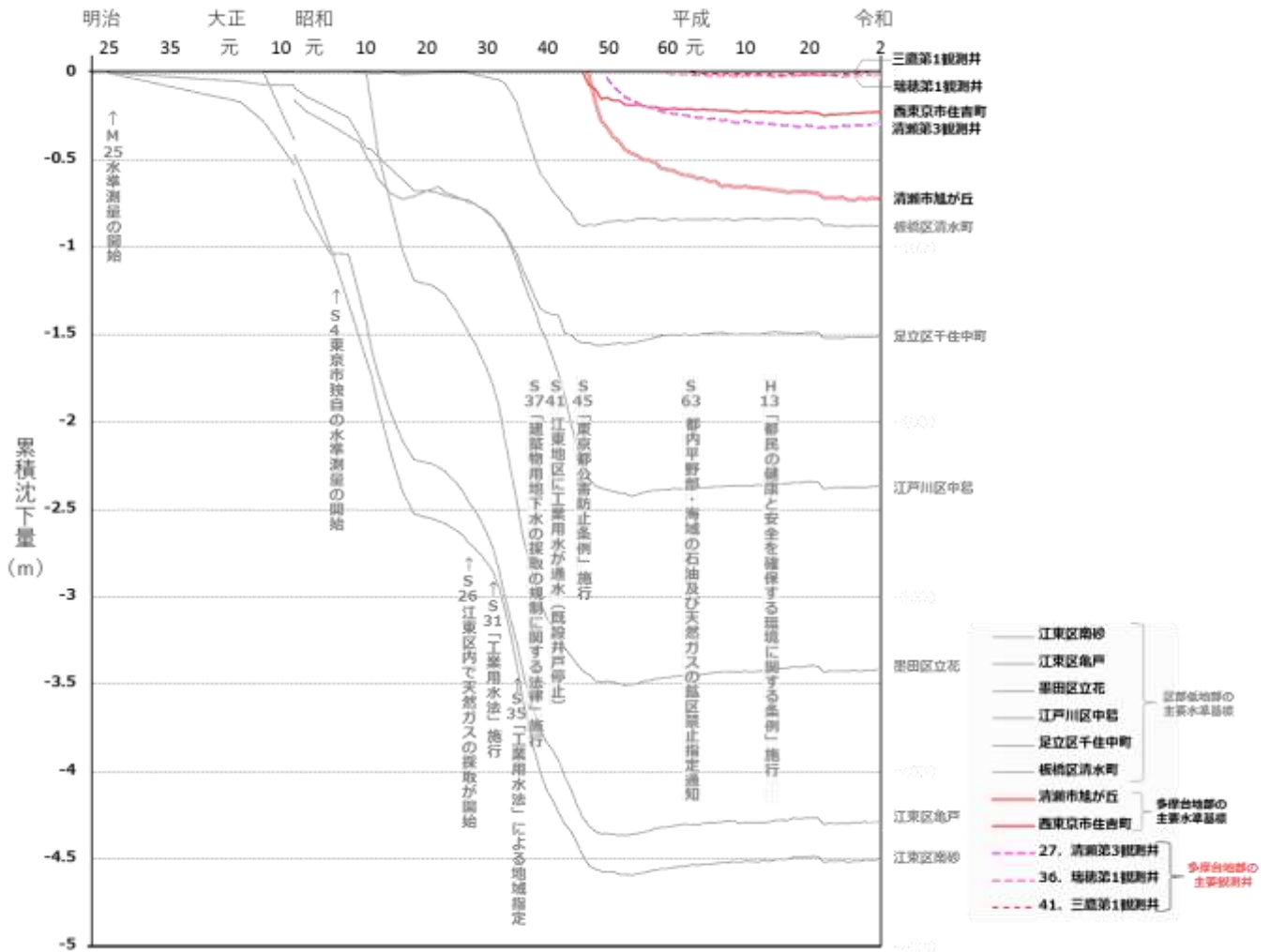


図 8-39 多摩台地部の主要観測井と主要水準基標の累積沈下量

旧東京都土木技術センター、現東京都土木技術支援・人材育成センター「地盤沈下調査報告書」^[2]より作成

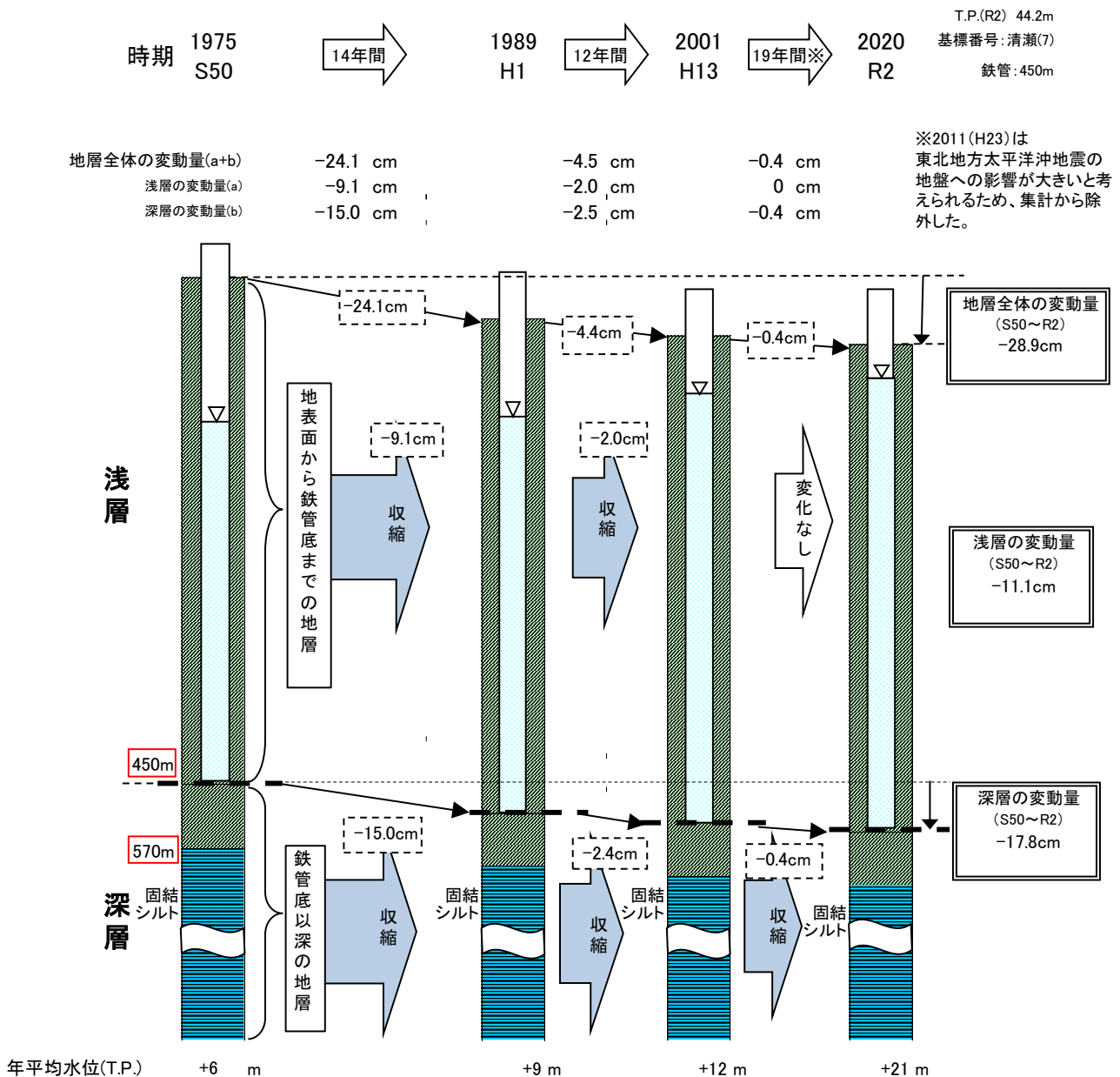
注：観測時からの累積沈下量のグラフであり、観測開始前の沈下量については不明であるため、地点間での比較をする場合は注意が必要。

イ 地層別変動量の推移

多摩台地部の観測井でも、地盤沈下が認められており、清瀬第3観測井では観測開始から14年間で24.1cm沈下し、多摩台地部の西部である瑞穂第1観測井では観測開始から最大2cm程度沈下しています。最近は安定した状況にありますが、観測当初の地盤高までは回復していません。

① 清瀬第3観測井

- ◆昭和50(1975)年(観測開始)：管頭から570mまでシルト、砂、砂礫の互層 570m以深固結シルト
- ◆平成元(1989)年(観測開始から14年)：全体として24.1cmの収縮
- ◆現在まで：微膨張と微収縮を繰り返しており、回復傾向は認められない。



※1 諸データを基に、固結シルトを570mとして作成している。

※2 地質の概況は以下のとおりである。

浅層	570 mまで	シルト、砂、砂礫の互層
	570 m以深	固結シルト

図 8-40 観測井における地層別変動の概念図(清瀬市清瀬第3)

旧東京都土木技術センター、現東京都土木技術支援・人材育成センター「地盤沈下調査報告書」^[2]より作成

清瀬市清瀬第3 (ストレーナー深度 385-407 m、地盤高 44.2 m)

※H23は東北地方太平洋沖地震による地盤への影響が大きいと考えられるため、地層変動量の集計から除外している。

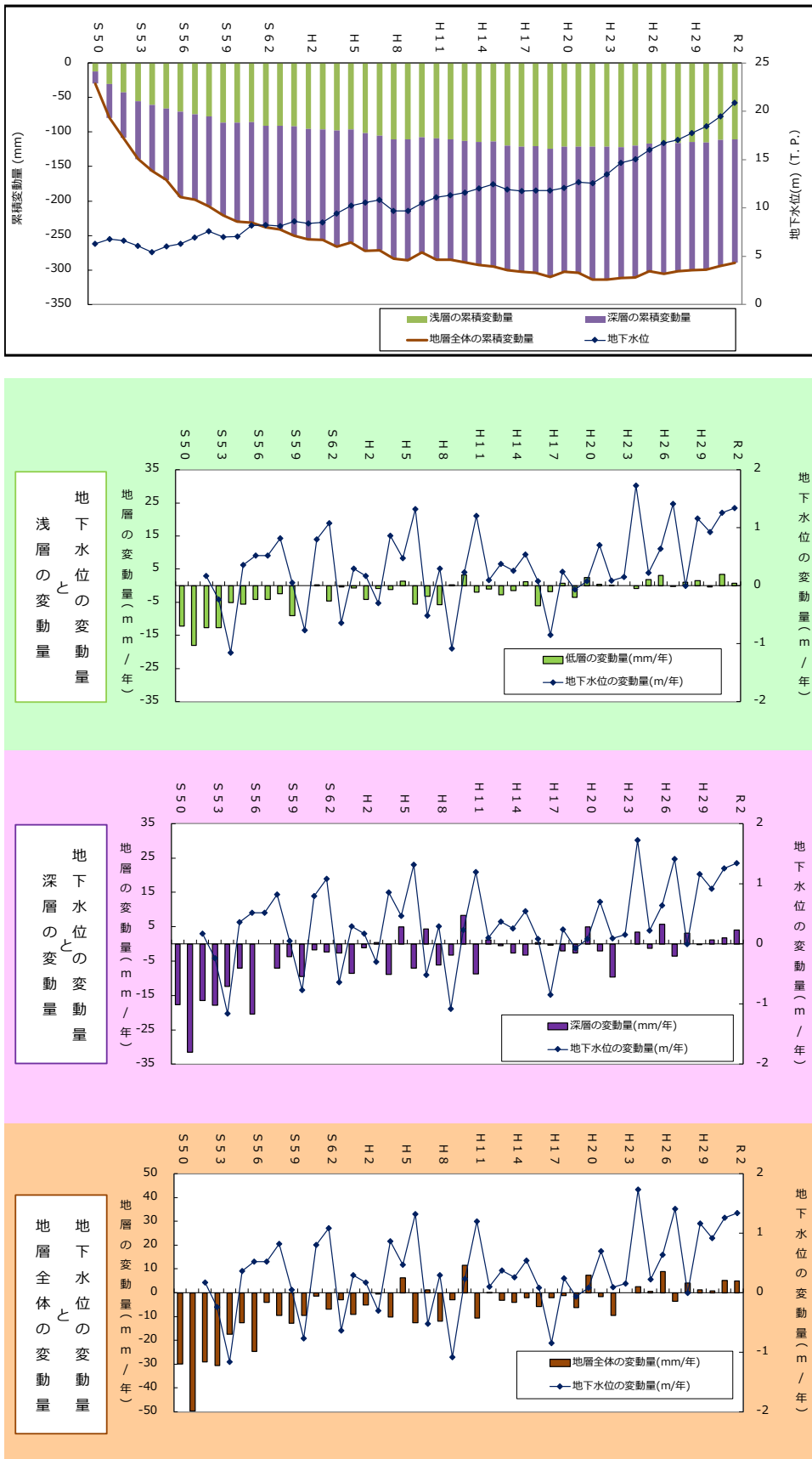


図 8-41 地盤と地下水位の推移(清瀬市清瀬第3観測井)

旧東京都土木技術センター、現東京都土木技術支援・人材育成センター「地盤沈下調査報告書」^[2]より作成

② 三鷹第1観測井

三鷹市三鷹第1 (ストレーナー深度 97-113 m、地盤高55.5 m)

※H23は東北地方太平洋沖地震による地盤への影響が大きいとされるため、集計から除外している。

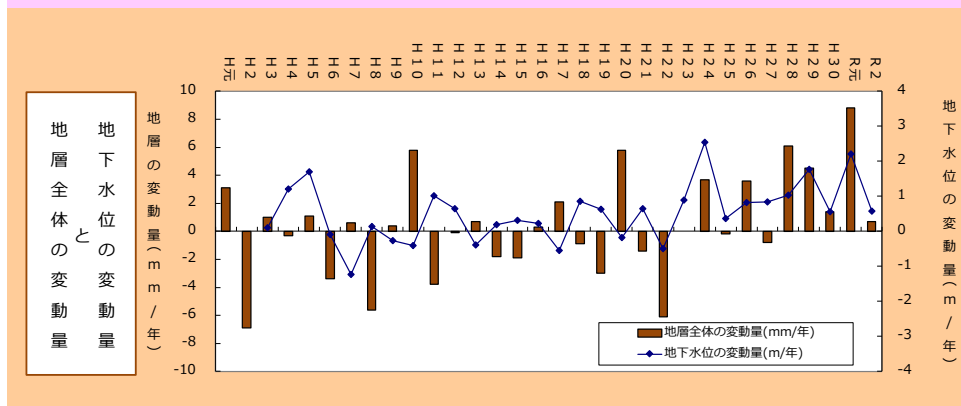
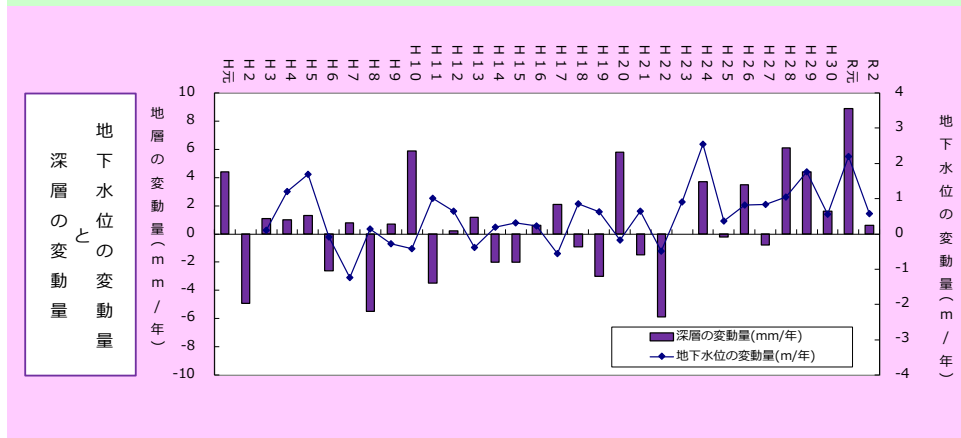
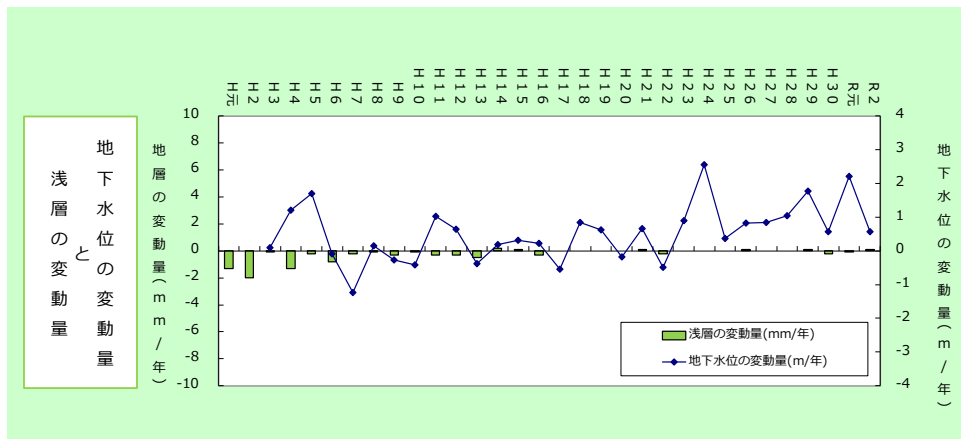
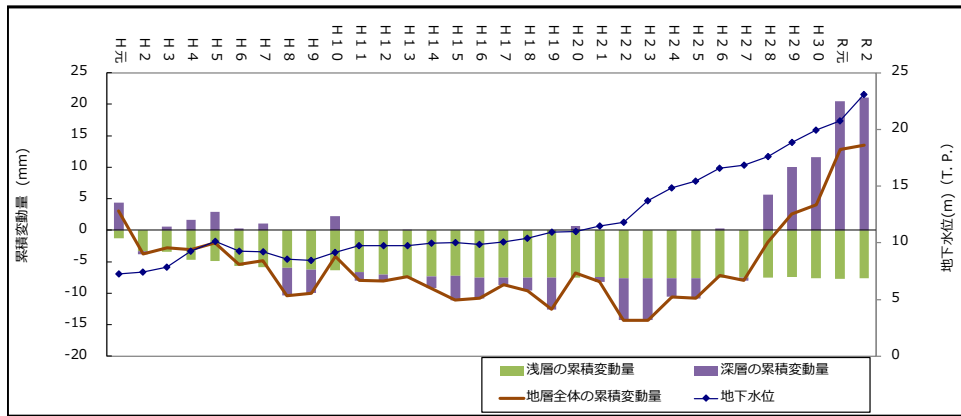


図 8-42 地盤と地下水位の推移(三鷹市三鷹第1観測井)

旧東京都土木技術センター、現東京都土木技術支援・人材育成センター「地盤沈下調査報告書」^[2]より作成

③ 瑞穂第1観測井

瑞穂町瑞穂第1 (ストレーナー深度76-93 m、地盤高142.3 m)

※H23は東北地方太平洋沖地震による地盤への影響が大きいため、地層変動量の集計から除外している。

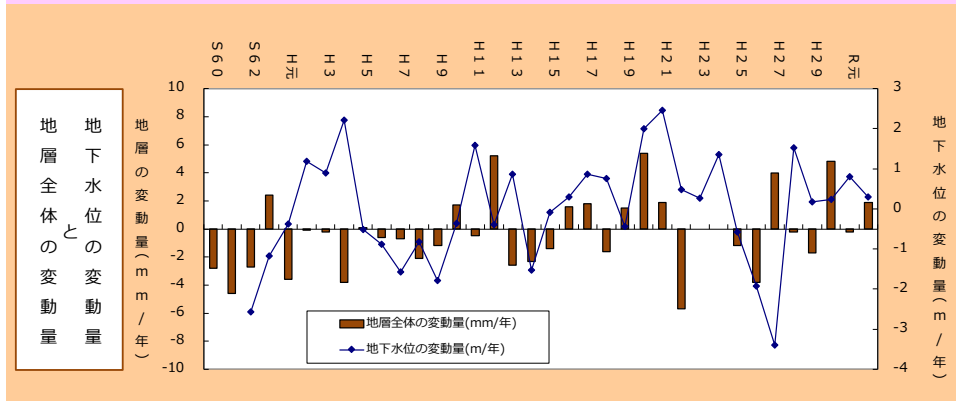
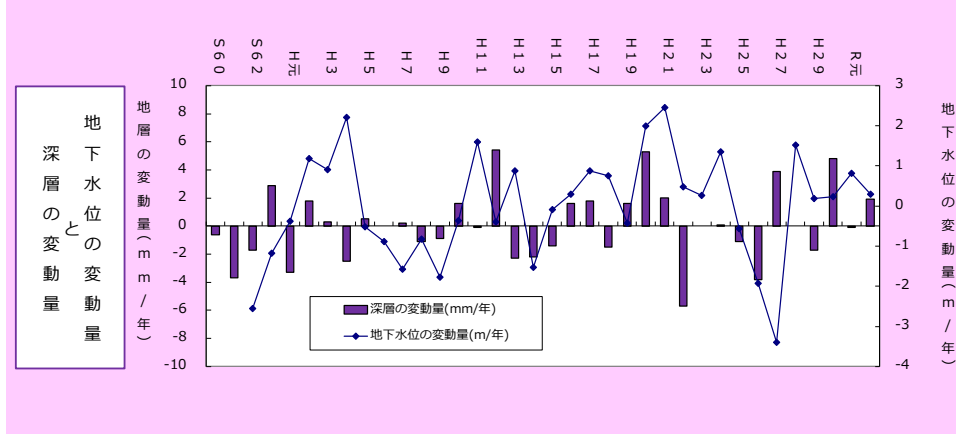
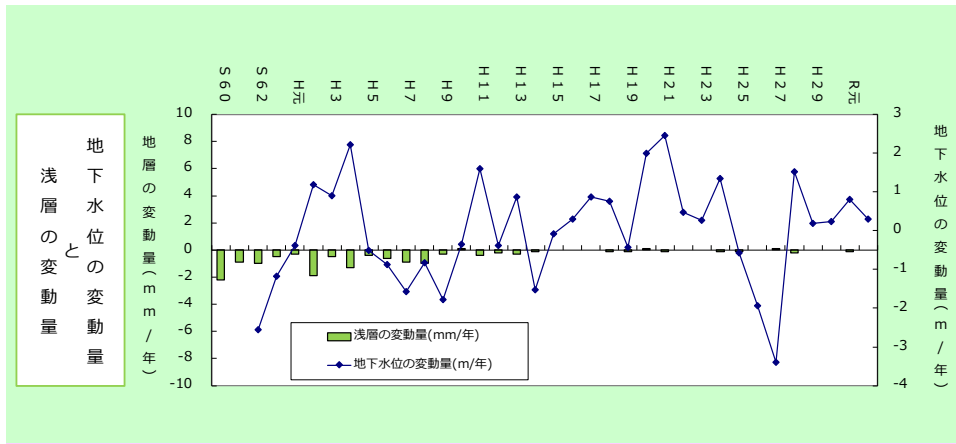
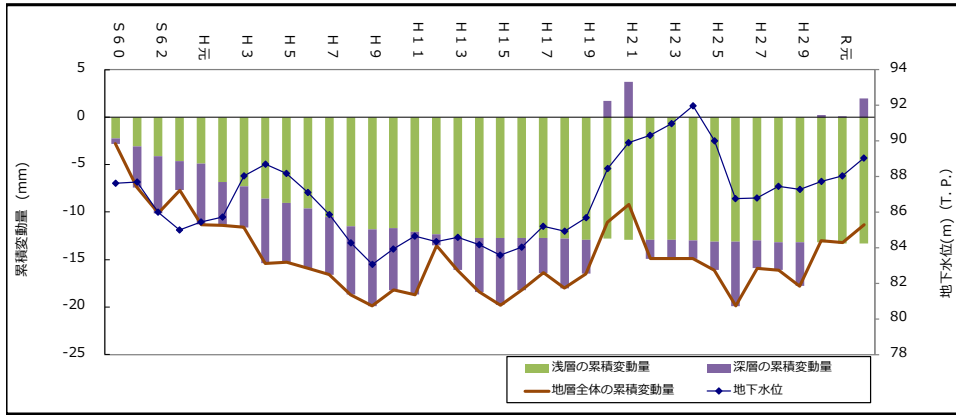


図 8-43 地盤と地下水位の推移(瑞穂町瑞穂第1観測井)

旧東京都土木技術センター、現東京都土木技術支援・人材育成センター「地盤沈下調査報告書」^[2]より作成

(3) 地下水揚水量の状況

ア 揚水量の推移

多摩地域での地下水揚水も減少傾向ではありますが、現在(令和 2(2020)年)でも比較的多量の地下水揚水を行っています。都内揚水量の 90%以上は多摩地域が占めており、その中でも北多摩南部が一番多く、多摩地域の約 37%を占めています。

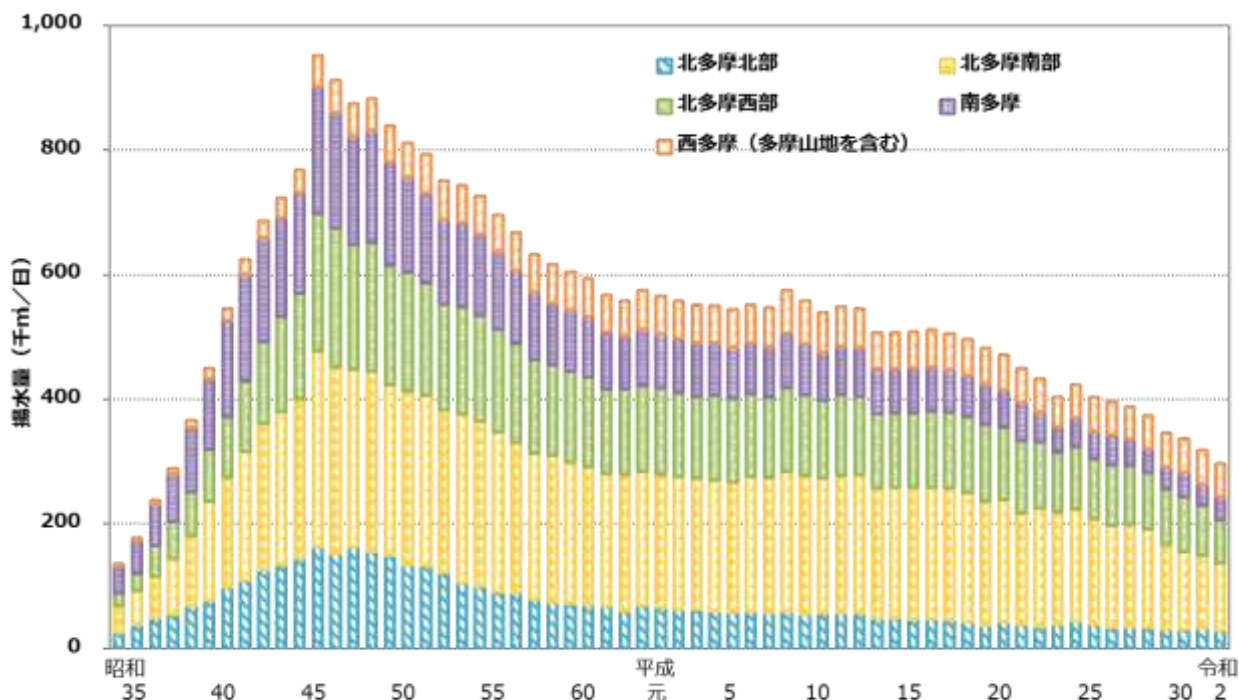


図 8-44 多摩地域における揚水量の推移

南関東地方地盤沈下調査会「南関東地域地盤沈下調査対策誌」(昭和 49 (1974) 年)^[4]
東京都環境局「令和 2 年 都内の地下水揚水の実態(地下水揚水量調査報告書)」^[7]より作成

イ 揚水量の内訳

多摩地域の用途別の揚水量を図 8-45 に示します。

都内全域に占める揚水量が圧倒的に多い多摩地域ですが、70%以上を飲料用、上水道事業が占めています。

飲料用のほかに製造工程用が 9.6%を占め、区部とは異なる傾向を示しています。

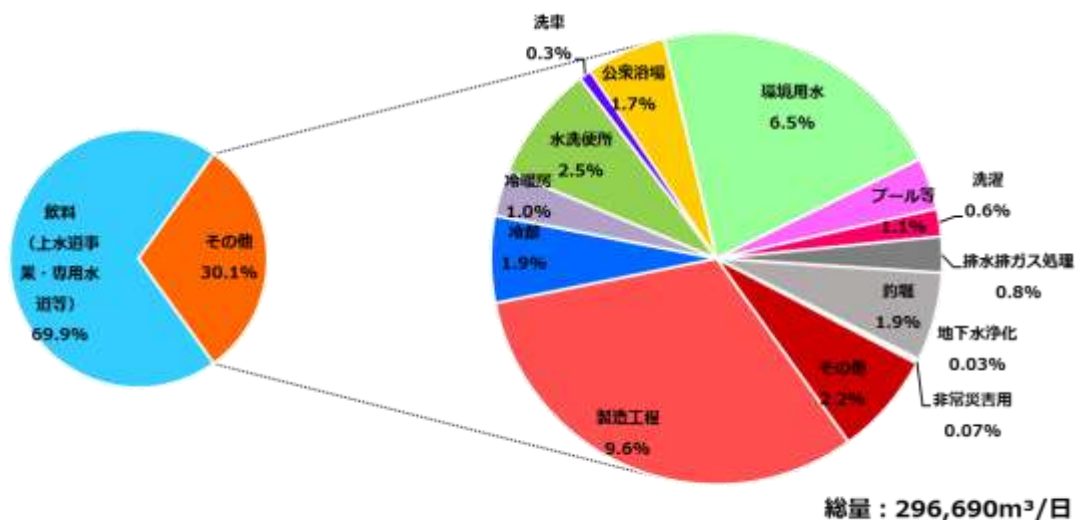


図 8-45 揚水量の内訳(令和 2 年：用途別)

東京都環境局「令和 2 年 都内の地下水揚水の実態(地下水揚水量調査報告書)」^[7]より作成

引用文献

- [1] 国土交通省, 国土数値情報ダウンロード, <https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/>.
- [2] 東京都土木技術支援・人材育成センター, 地盤沈下調査報告書,
<https://www.kensetsu.metro.tokyo.lg.jp/jigyo/tech/start/03-jyouhou/chinka/chinka.html>.
- [3] 国土交通省 国土地理院, 水準点の測量, <https://www.gsi.go.jp/sokuchikijun/suijun-survey.html>.
- [4] 南関東地方地盤沈下調査会「南関東地域地盤沈下調査対策誌」, 1974年.
- [5] 東京都公害局, 「地下水収支調査報告書」, 1980年.
- [6] 遠藤毅, 「東京下町低地における“ゼロメートル地帯”展開と沈静化の歴史」, 2001年.
- [7] 東京都環境局, 「令和2年 都内の地下水揚水の実態(地下水揚水量調査報告書)」,
https://www.kankyo.metro.tokyo.lg.jp/water/groundwater/pumping_regulations/outline.files/r2_yousui.pdf, 2022年.

9. 地下水の実態把握に向けた調査研究

9-1 実態把握の位置づけ

地下水や湧水は、身近な水源として生活用水や農業用水に利用されてきました。一方で、過剰な揚水などによって、水循環や地盤に大きな影響を及ぼし、甚大な地盤沈下などの問題が起きました。

地下水利用について近年、法や制度を整備する新たな動きが進展しており、国は平成26年に「水循環基本法」を制定し、基本理念として水は国民共有の貴重な財産で公共性の高いものであること、また流域に係る水循環について、統合的かつ一体的に管理されなければならないとしています。さらに令和3年6月の法改正では、水循環に関する施策に「地下水の適正な保全及び利用に関する施策」が含まれることや、事業者及び国民の責務についても明らかになりました。それ以外にも基本的施策に地下水マネジメントの考え方を参考に、必要な措置を講ずべき旨の努力義務の規定を追加しています。その中には、地下水に関する調査等による情報収集や協議を行う組織の設置、地下水の採取制限なども含まれています。

また、令和2年6月に改定された「水循環基本計画」では、「国、地方公共団体等として、流域における降水量、河川の水位、流量及び水質並びに公共用水域及び地下水の水位、水質等に関する調査を実施し、必要に応じて調査・観測体制の充実や新技術の導入により、データの集計、解析実施に努めること」と示されています。

一方、世界的にも水資源は、持続可能な開発目標（SDGs）で水へのアクセスが取り上げられるなど、とても重要な資源の一つとして改めて注目を集めています。

東京においても、過去の地盤沈下や揚水規制などの経緯と、今日的要請を踏まえ、前回の報告書（平成28（2016）年公表）において、地下水の実態把握を進め、地下水の保全と適正利用の在り方を議論する下地作りが必要であるとしています。

一般的に、地下の構造は地域的な特徴がみられ、多様性に富んでいます。東京も低地と台地という地域の違いに加え、台地部だけでも複雑な地下構造がみられます。そのため、東京における地下水の実態把握を進めていくためには、帯水層の面的な広がりや地盤構造の状況などについて調べる必要があります。

そこで現在東京都では、学術機関と連携しながら、「地下水流動系の解明」や「地下水揚水等の影響予測」といった専門性の高い調査研究を行い、地下水の実態把握を進めています。

表 9-1 地下水の実態把握に向けた調査研究の概要

調査研究・取組の概要	共同研究機関
<p>■<u>地下水流動系の解明</u></p> <p>▶ 地下水がどこで涵養され（起源：涵養域）、どのくらいの時間をかけて（滞留時間）、どこを流れているか（流動経路）を把握することにより、東京の地下水における涵養－流動－流出のプロセス解明を目指す。</p>	<p>国立大学法人 筑波大学</p> <p>公益財団法人東京都環境公社 東京都環境科学研究所</p>
<p>■<u>地下水の揚水等の影響予測</u></p> <p>▶ 地下水の揚水が地下水位や地盤に与える影響（揚水-地下水位-地盤の関係）を定量化し、地盤沈下が起きる地下水位や湧水に影響が生じる地下水位、またその地下水位に達する揚水量等を予測する。</p>	<p>国立大学法人 東京大学</p> <p>公益財団法人東京都環境公社 東京都環境科学研究所</p>

9-2 地下水流動系の解明

地下水の流れは、直接見ることができませんので、様々な研究手法を用いて地下水の流れを評価する必要があります。地下水も、表流水と同様に地下水位（水理水頭）の高いところから低いところへと流れていきますので、観測井同士の水位を比較することでも、大局的にどちらの方向に地下水が流れているかを推定することができます。

しかし地下水位（水理水頭）の高い・低いだけでは、本当にその方向に地下水が流れているかを検証することができません。かつては地下水の流動方向や経路を特定するために、井戸に食塩や無害の蛍光塗料等を投入して下流側に当たる井戸等で検出されるまでの時間を測定するような調査も行われてきました。

このように地下水などの流れ、あるいは特定の物質の移動経路を追跡するために使われる、微量成分や同位体等のことをトレーサーと呼びます。水に溶解している様々な成分の濃度、あるいは水分子を構成している同位体等の構成比を分析することによって、水の起源や流動経路等の履歴に関する情報が得ることができ、水が循環する過程を明らかにすることができます。

分析機器や分析技術の向上によって、現在では様々な物質をトレーサーとして用いることで、地下水の流動経路や滞留時間を推定する技術が確立されています。

表 9-2 地表水と地下水の交流研究において用いられるトレーサー物質と特徴

土原健雄ほか「環境トレーサーを用いた地表水と地下水の交流研究の現状」(2018)^[1]を参考に作成

	用いられているトレーサー	主な特徴
主要イオン	Na ⁺ , K ⁺ , Mg ²⁺ , Ca ²⁺ , HCO ₃ ⁻ , Cl ⁻ , SO ₄ ²⁻ , NH ₄ ⁺ , NO ₃ ⁻ , NO ₂ ⁻ , SiO ₂	・地表水、地下水中のイオン組成の差異を利用
安定同位体	δD・δ ¹⁸ O, ⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr, δ ¹³ C, δ ³⁴ S _{SO4} , δ ¹⁵ N _{NO3} , δ ¹⁸ O _{NO3} , δ ⁵⁶ Fe, ⁴ He	・降水を起源とした同位体比の空間分布・時間変動の差異、蒸発による同位体比の変化を利用（δD, δ ¹⁸ O） ・通過した地域や地層の特性を反映した同位体比や濃度を利用（ ⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr, δ ⁵⁶ Fe, ⁴ He） ・起源によって異なる溶質の同位体比を利用（δ ¹³ C, δ ³⁴ S _{SO4} ・δ ¹⁸ O _{SO4} , δ ¹⁵ N _{NO3} , δ ¹⁸ O _{NO3} ）
放射性同位体	²²² Rn, T (³ H) (4), ¹⁴ C, ²³⁴ U/ ²³⁸ U, ^{223,224,226} Ra	・地表水と地下水における滞留時間の差異、濃度の差異を利用
その他溶質	重金属、有機化合物（有機溶媒、鉱物油等）、リン、溶存ガス（SF ₆ , CFCs）、農薬、医薬化合物（X線造影剤、抗生物質）、その他化合物（人口甘味料、カフェイン、硫化水素）、大腸菌等	・重金属類は主要イオンと同様に、その組成の差異を利用 ・人間活動によって環境に付加された汚染物質、合成化学物質等の分布の差異を利用 ・過去から現在までの大気中におけるSF ₆ 濃度の変化と、地下水や湧水などのSF ₆ 濃度とを比較することにより、地下水・湧水の滞留時間を推定。
人工トレーサー	ハロゲンイオン（Cl ⁻ , Br ⁻ ）、蛍光染料、ガス（SF ₆ ）、硝酸塩、リチウム、合成DNA	・地表水に投入して河床や帯水層へ残留・移動するトレーサーから交流現象を把握 ・SF ₆ は希釈率から地下水流入の推定へ利用、また ²²² Rnの大気への揮散率推定へ援用

筑波大学との共同研究では、東京都の地下水がどこで涵養され(起源：涵養域)、どのくらいの時間をかけ(滞留時間)、どこを流れているか(流動経路)を解明するため、東京都建設局土木技術支援・人材育成センターが管理・保有する地盤沈下観測井から採取した地下水に含まれる各種成分をトレーサー物質として用いて、地下水流動系の実態解明に取り組んでいます。ここでは、各トレーサーの特性や分析・解析原理について、簡単に御紹介します。

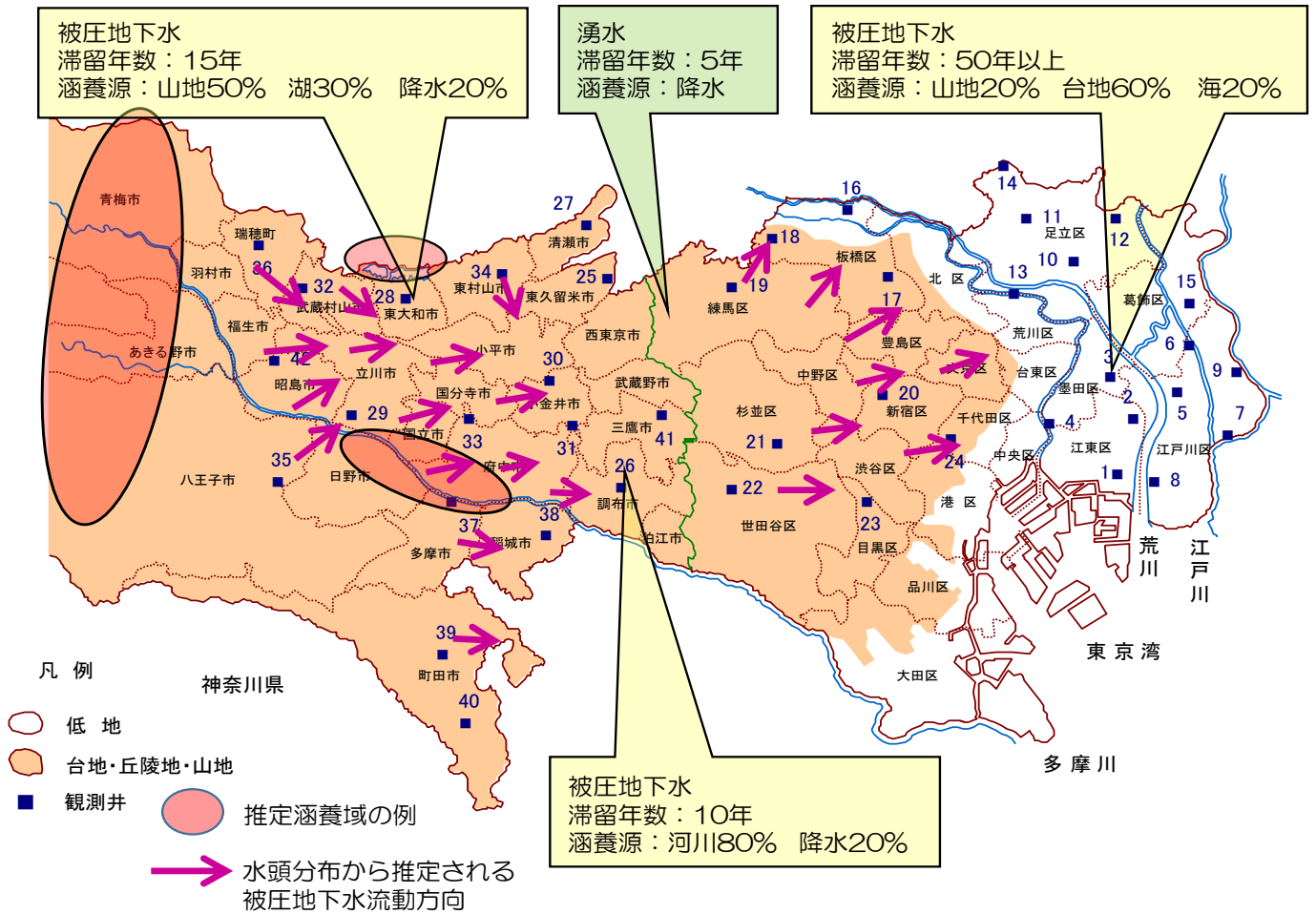


図 9-1 研究成果のイメージ図

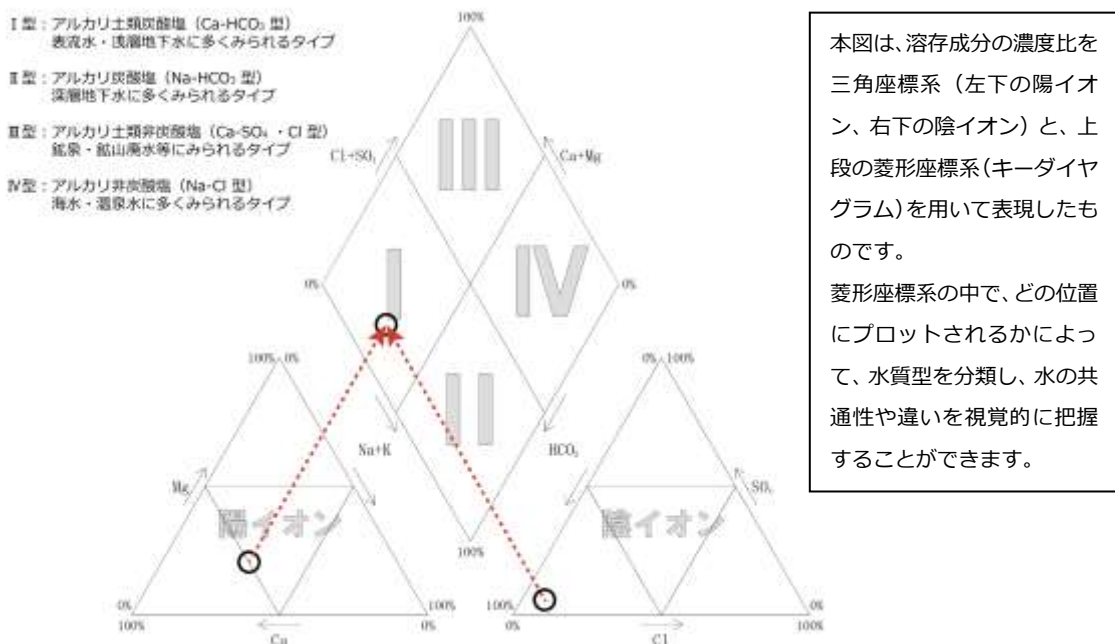
※被圧地下水の流動方向は、調査結果ではありません

(1) 主要無機溶存イオンによる流動経路の推定

ア 分析の概要と表現方法

本手法は、水中に溶解した主要な無機イオンをイオンクロマトグラフなどの機器を使って、陽イオン（ナトリウムイオン、カリウムイオン、カルシウムイオン、マグネシウムイオン）と、陰イオン（塩素イオン、重炭酸イオン、硫酸イオン、硝酸イオン）の含有量を分析し、それらの含有割合や傾向により水質型を分類し、水の起源や流動経路を推定するものです。

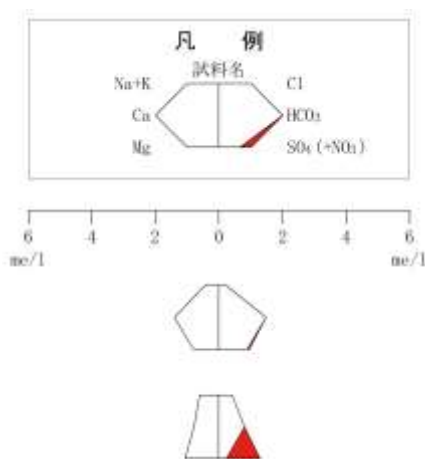
一般的に地下水は、帯水層中を流動する過程で、地層中の物質等とイオンを交換しながら水質が形成されていきます。したがって、本手法は、地下水の起源や流動経路を把握する目的で用いられ、以下に示すようなダイアグラムで表現して利用します。



本図は、溶存成分の濃度比を三角座標系（左下の陽イオン、右下の陰イオン）と、上段の菱形座標系（キーダイヤグラム）を用いて表現したものです。菱形座標系の中で、どの位置にプロットされるかによって、水質型を分類し、水の共通性や違いを視覚的に把握することができます。

図 9-2 トリリニア（パイパー）ダイアグラムによる水質型の分類例

三角座標系（左下の陽イオン、右下の陰イオン）二点の交差点が、菱形座標系に1点としてプロットされる



本図は、陽イオンと陰イオンを左右の濃度軸にプロットし、各点を結んだ図形として表現したものです。溶存イオン量が増加すると、図の幅は広くなり、水質型と濃度を併せて視覚化することができます。

図 9-3 ヘキサ（スティフ）ダイアグラムによる水質型の表示例

(2) 水素・酸素安定同位体比による涵養地域の推定

ア 分析の概要と表現方法

自然界において、水分子 (H₂O) を構成する水素原子 (H) と酸素原子 (O) には、それぞれ中性子の数が異なるものがわずかに存在し、この元素を同位元素や同位体と呼びます。各々の同位体は、中性子の数が異なるため質量数が異なります。質量数が異なる同位体は、水循環中の“ふるまい”が少しずつ異なります。

水が蒸発する時には、質量数の小さい（軽い）同位体を含む水分子の方が、より蒸発しやすい傾向があるので、蒸発前の水に比べ水蒸気中では、質量数の小さな同位体の占める割合が大きくなります。

また、水蒸気から雲が形成され、雨を降らせる場合には、質量数の大きな（重い）同位体の方が雨粒になりやすい傾向があります（図 9-4 参照）。このため、海から蒸発した水蒸気が雲となって、雨を降らせながら内陸へと移動すると、より内陸の高い標高では、結果的に安定同位体比が低く（軽く）なります。したがって、ある水の同位体比を知ることによって、その水が受けてきた水文学的な過程の履歴をうかがい知ることができ、地下水中の同位体比を分析することで、地下水の起源となる雨水がどれくらいの標高において涵養されたものであるかを推定することが可能であるというわけです。

なお、海水中ではこの存在比がほぼ一定であるため、海水を標準物質としてこの値からの千分偏差 (‰: パーミル) として、分析値を表現します。

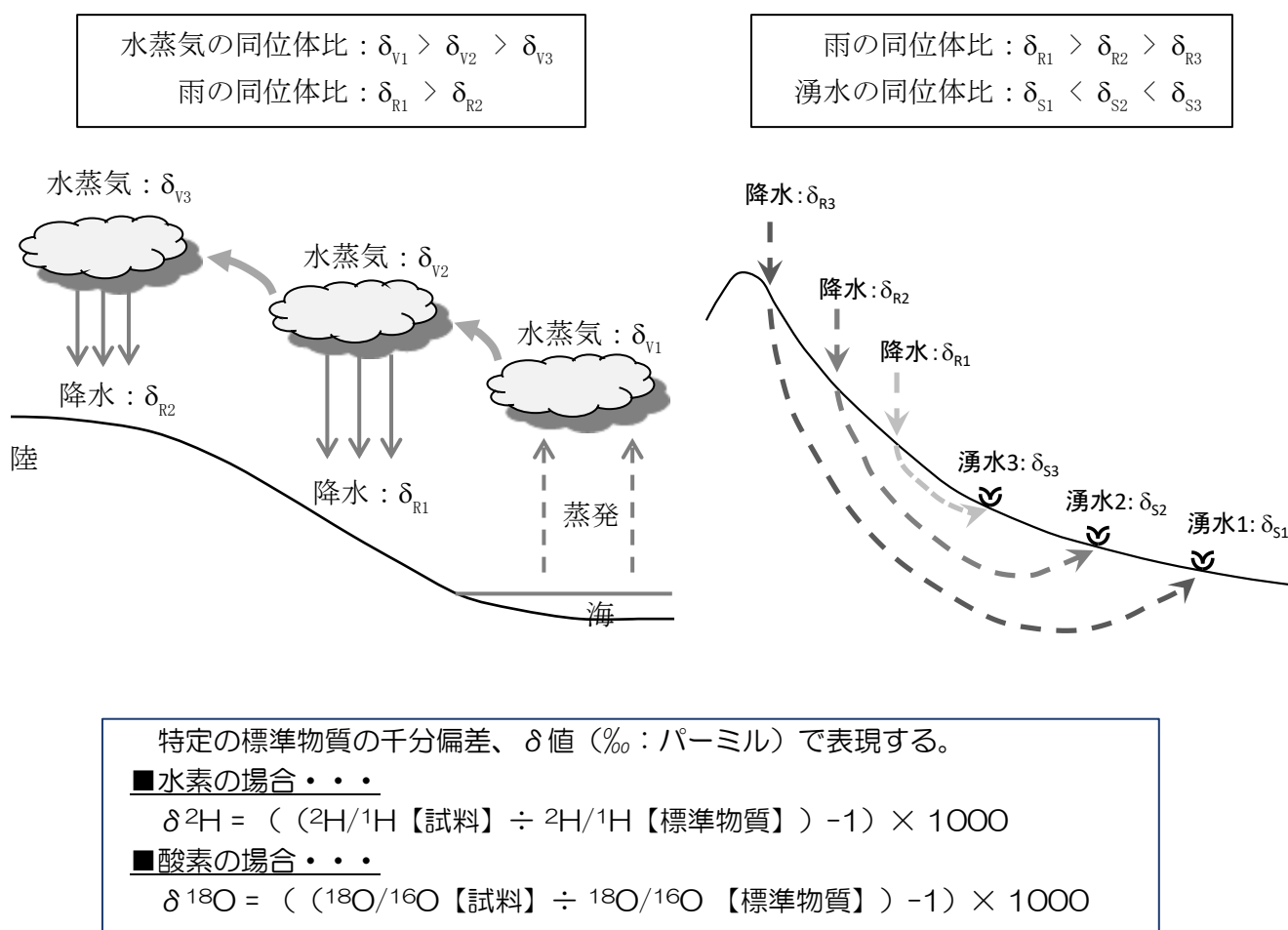


図 9-4 水の循環過程にともなう安定同位体比の変化

雨が降る場所によって重い水が含まれる割合（同位体比）が違うので、地下水の涵養域を推定することができる。

(3) 地下水の滞留時間推定

ア 分析の概要と表現方法

これまで、地下水中の滞留時間を推定するトレーサーとしては、トリチウム (^3H) と呼ばれる放射性同位体を用いた手法が知られていました。これは、1950 年代から 60 年代にかけて北半球の各地で行われた核実験により、短期間に降水中の ^3H 濃度が急激に上昇したことを利用するもので、12.43 年毎に半減期を迎える ^3H から、地下水の涵養年代を推定する手法です。しかしながら、現在では降水中の濃度も天然レベルにまで減衰しており、数年から数 10 年オーダーの地下水滞留時間推定に直接適用することが難しくなっています。

そこで、1930 年代から 1980 年代まで冷媒・溶剤として用いられた CFCs (フロン) 類や、現在もなお大気中で濃度が上昇し続ける代替フロン材: SF_6 (六フッ化硫黄) が新たなトレーサーとして活用されています。

東京都では、トリチウムでとらえきれないような若い地下水涵養年代の推定についても、フロン類や SF_6 による年代測定に着目して研究を進めています。

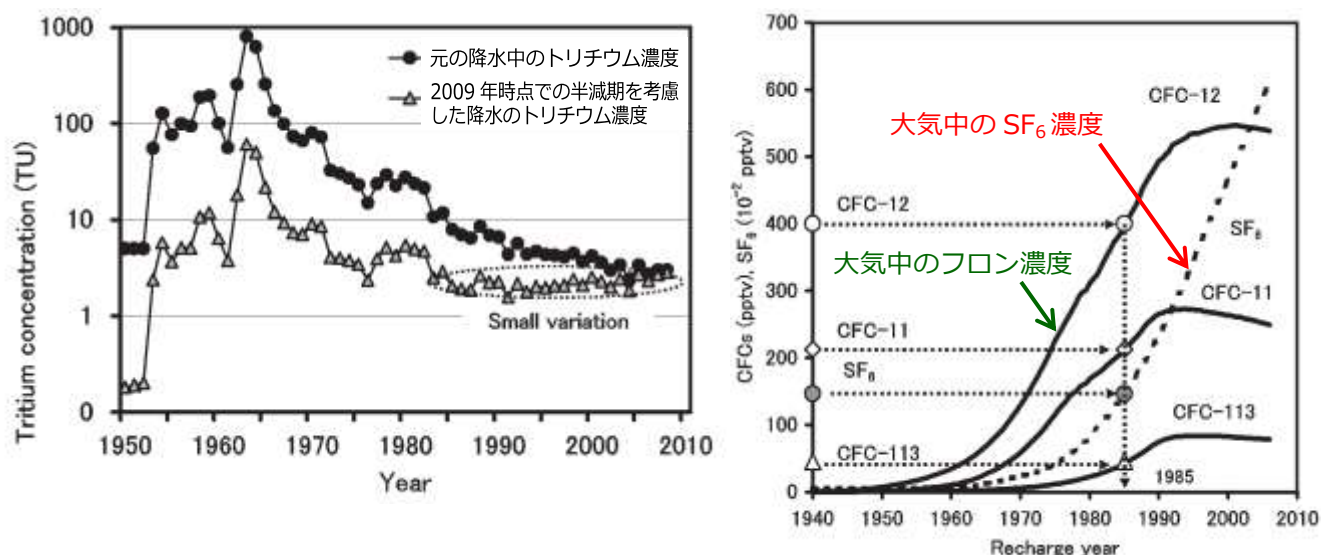


図 9-5 大気中におけるトレーサー物質濃度の推移

浅井和由・辻村真貴「トレーサーを用いた若い地下水の年代推定法 - 火山地域の湧水への CFCs 年代推定法の適用 -」(2010)^[2]より

左: 大気中におけるトリチウム濃度の推移

右: 大気中における CFCs (フロン) 類: SF_6 (六フッ化硫黄) の推移

(4) 本研究の調査対象

本件研究では、観測井の試料を中心に採水し、トレーサー物質の分析を行っていますが、より詳細に涵養域や流動経路に関する情報を得るため、河川水や湧水、降水も調査対象としています。

- ・地下水：東京都が保有する観測井を中心とした地下水(図 9-6 参照)
- ・河川水及び湧水：多摩川を中心とした河川水、及び多摩川の周辺を中心とした湧水
- ・降水：山地、台地、低地の3地点での降水

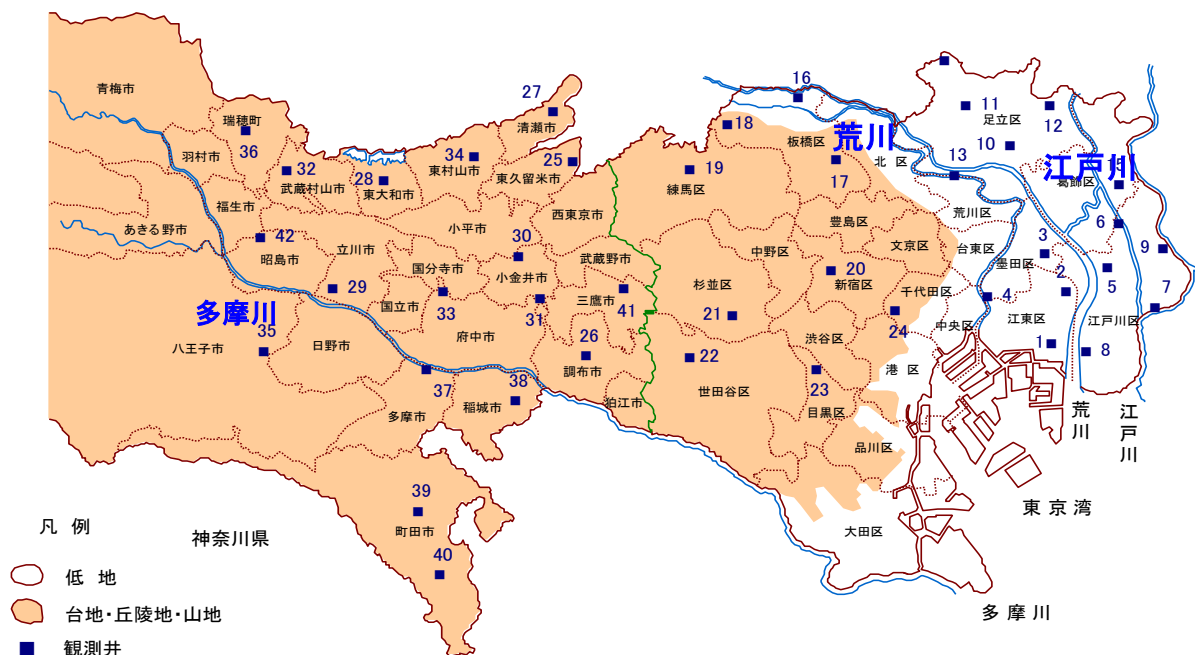


図 9-6 都内における観測井の位置図

(5) 地下水の採水方法

地下水の採水は、観測井に専用の採水ポンプを入れてサンプリングします(図 9-7 参照)。採水時には、地下水が大気に接触したり、採水器具にフッ素系樹脂が使用されていたりすると、地下水中の正確なトレーサー物質濃度が分からなくなる場合があります。このため、採水方法、採水器具の選定等に注意しながら調査を実施しています。



観測井の外観



採水前後での井戸水位確認状況



専用の器具を使った採水状況



地下水の採水状況

図 9-7 地下水流動調査の様子

(6) 現在までの取組状況

これまで、表 9-3 及び図 9-8 に示す地点を中心に調査を行いました。平成 30 (2018) 年から令和 2 (2020) 年にかけての調査で、台地と低地の地下水水質の特徴や滞留時間に関する知見が得られています。今後も引き続き観測井を中心とした地下水水質調査を行い、涵養域の特定や流動経路の解明に向け、取り組んでいきます。

表 9-3 これまでに実施した採水・分析項目

分析項目	地下水	湧水・河川水	降水
		・東京都保有地下水位観測井 : 31 地点 61 本 ・民間井戸 29 地点 から採水	・多摩川を中心とした河川、 湧水を採水
・主要無機溶存イオン	○	○	○
・水素・酸素安定同位体比	○	○	○
・六フッ化硫黄 (SF6)	○ (観測井のみ)	-	-

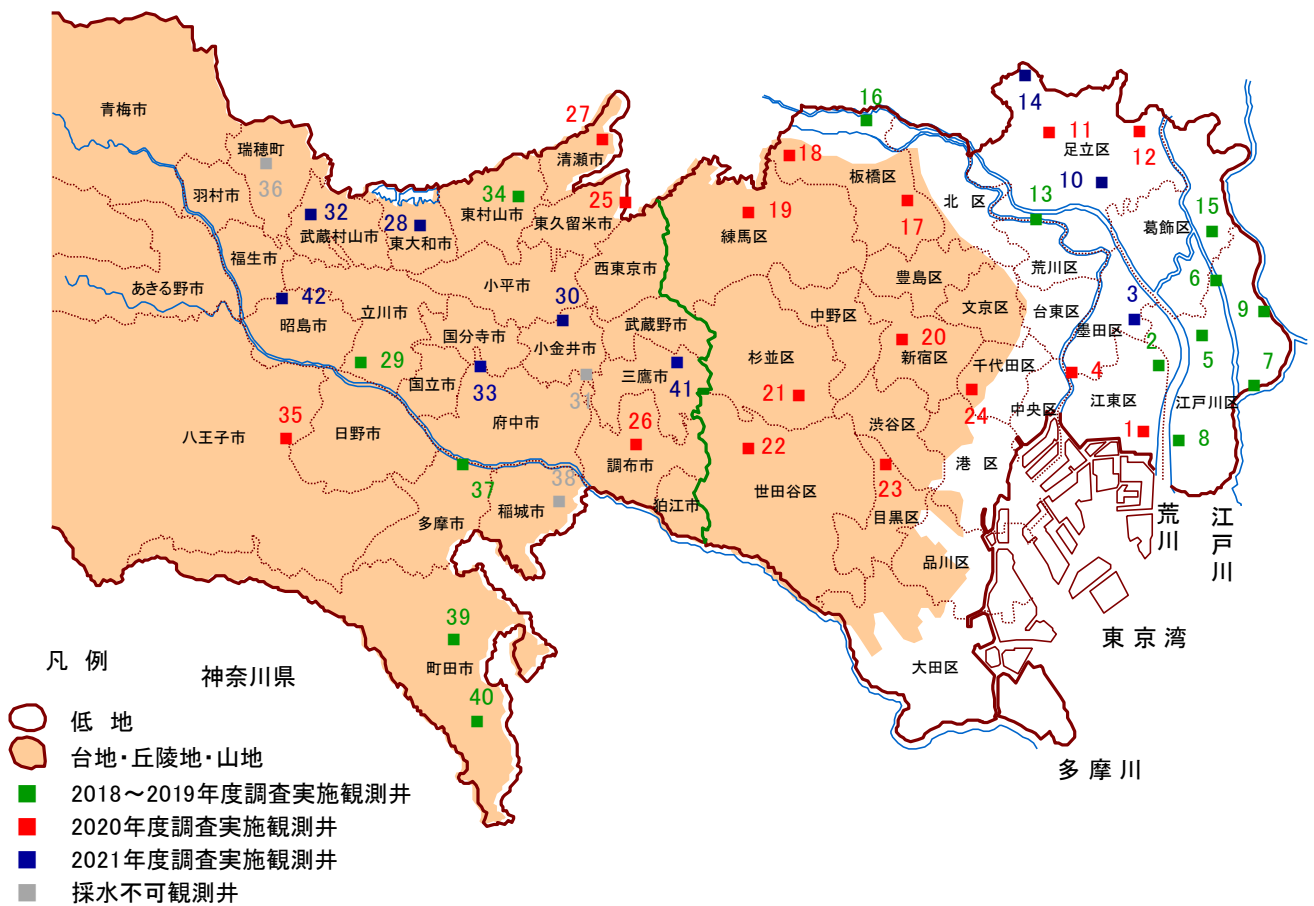


図 9-8 地盤沈下観測井におけるこれまでの採水地点

多摩台地部

区部台地部

区部低地部

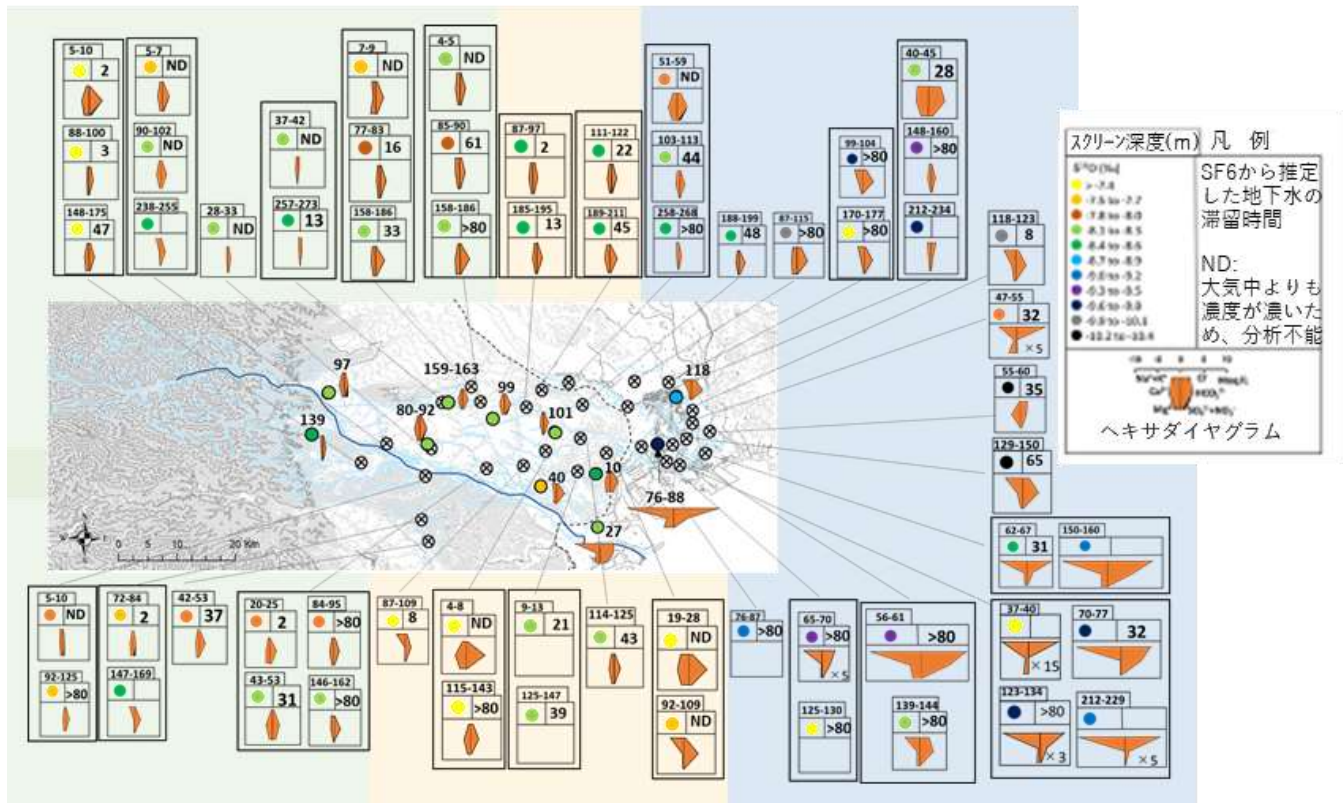


図 9-9 各観測井における溶存成分・安定同位体比分析および推定された地下水の滞留時間

(筑波大学辻村研究室・長野倅介 (2022))

※研究途上成果のため、今後修正される可能性があります

ア 各観測井における調査結果

- ・多摩台地部の地下水は、カルシウムイオン (Ca^{2+}) と重碳酸イオン (HCO_3^-) の濃度が相対的に高く、ヘキサダイアグラムは中央が膨らむ形ですが、江東区などの区部低地部の地下水は、ナトリウムイオン (Na^+) と塩素イオン (Cl^-) の濃度が相対的に高く、多摩台地部とは形が異なる特徴がみられました。
- ・ SF_6 濃度から推定される地下水の滞留時間は、多摩及び区部台地部ではおおむね数年から40年程度であるのに対して、区部低地部では、30年から80年以上と顕著に長い傾向が示されました。ただし、ここで示された滞留時間の値は異なる流動経路からなる地下水が、流動する過程において混合等が生じた結果として示されたものです。
- ・多摩台地部の酸素安定同位体比は、区部低地部と比べると高い傾向がみられました。特に区部低地部の江東区などの地下水の酸素安定同位体比は低く、多摩川上流の河川水や降水の酸素安定同位体比よりも低い特徴が示されました。これは、区部低地部の涵養域を考える際に考慮すべき点です。
- ・以上の結果をまとめると、多摩台地部と区部低地部とは、地下水の涵養源が異なることが示唆されますが、今後は区部台地部に相当する区部西側地域等を含め、更にデータを蓄積する必要があります。

イ 水平面、垂直面でみた地下水の流動と特徴

図9-10には、異なる深度の水平面および、鉛直面で見た地下水の流動と、それにとまう水質や滞留時間の空間的な分布傾向を示しています。水平面で見ると、浅い深度と深い深度で、地下水の流動傾向が若干異なることが見て取れます。多摩台地部においては浅い深度、深い深度とも地形勾配に沿って西から

東への流動がみられますが、区部台地部においては浅い深度で南西から北東に向かう流動が、深い深度で南から北に向かう流動が卓越しています。

また、台地部の浅い深度では地下水の滞留時間は10年程度から40年程度であるのに対し、台地部でも深い深度では80年を超えると推定される地下水が流動しています。低地部の深い深度においては、地下水の滞留時間は概ね80年以上と長い特徴がみられ、また、南の地域では、地下水の塩素イオンとナトリウムイオン濃度が高い特徴があります。

鉛直面をみると、多摩台地部ではおおむね西から東に向かい地形に平行な地下水流動がみられますが、多摩台地部と区部台地部の境界付近では、地下水が鉛直下向きに流動する特徴が顕著です。さらに、台地と低地の境界付近では、地形面に平行な流動と、一部でより深部への流動もみられます。

このように、地下水は3次元的に流動しており、特に浅い深度と深い深度においては、その流動傾向が異なること、台地部に比べ低地部において地下水の滞留時間が長い傾向のあることなど地下水の複雑な流動が示されました。しかしながら、台地部においても滞留時間が80年以上と推定される部分もあり、今後より詳細なデータの検討が必要です。

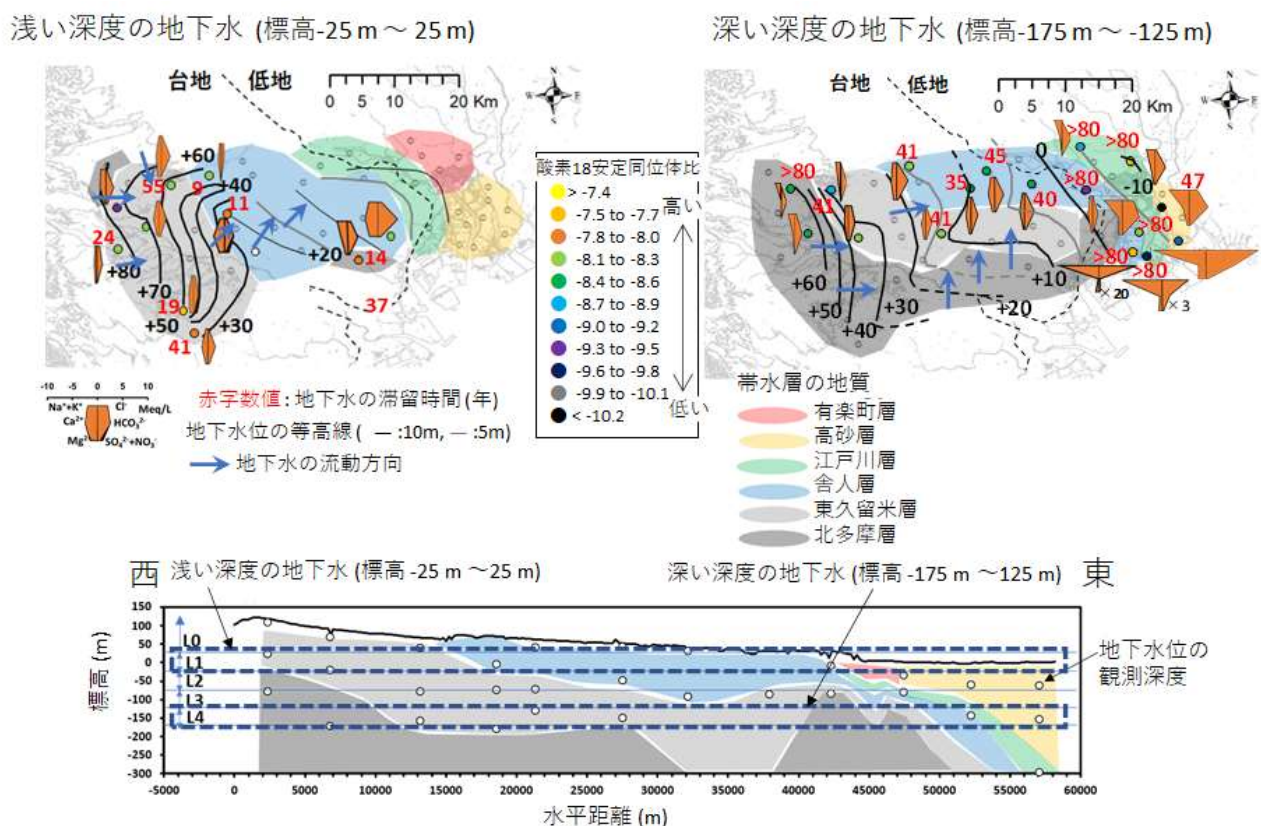


図 9-10 水平面で見た、浅い深度および深い深度における地下水の流動、水質組成、安定同位体比、滞留時間の分布 (研究途上のため今後修正される可能性あり) (筑波大学辻村研究室・長野倅介 (2022))

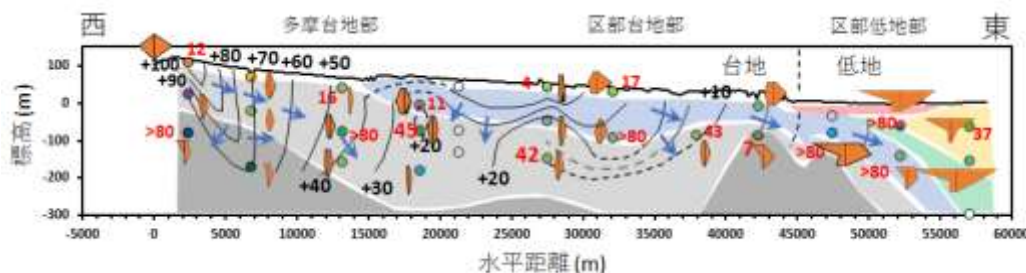


図 9-11 鉛直面で見た地下水の流動、水質組成、安定同位体比、滞留時間の分布 (研究途上のため今後修正される可能性あり) (筑波大学辻村研究室・長野倅介 (2022))

9-3 地下水の揚水等の影響予測

地下水は古くから利用されてきた貴重な水資源であり、その利用を持続可能なものとするには、地盤沈下を初めとする各種の障害を起こさない利用方法を見出していく必要があります。広域的かつ甚大な地盤沈下を経験した東京において、再び地盤沈下を起こさないためには、地盤沈下が起きうる地下水位や揚水量を把握し、そこに達することのないよう、地下水利用を適切に管理することが不可欠です。

そこで東京都は、どこでどのくらい揚水すると、どの地盤にどのくらいの影響が生じるかを予測する、信頼度の高いシミュレーションモデルの構築を目指し、平成 29 (2017) 年度から東京大学と共同研究を開始しています。

(1) 研究の背景と目的

地下水の揚水により帯水層の水圧が低下すると、隣り合う粘土層から帯水層に向かって水が絞り出されます。粘土層内は砂礫層などの帯水層と比べて水が通りにくく、ゆっくり時間をかけて水が絞り出されます。東京低地部のような厚い粘土層の場合、帯水層に近い部分ほど早く水が絞り出されて地盤が収縮し始めますが、帯水層から離れた部分にはまだ水が残っており、一つの粘土層内でも含水状態(「間隙水圧」という。)や収縮状態が異なります(図 9-12)。

どの地盤が今後どのくらい収縮するかを正確に予測するためには、詳細な地層構成に加え、現在、地盤の状況(間隙水圧や収縮状態)がどのような段階にあるのかを、可能な限り正確に捉えることが鍵となります。地盤の状況については、実際のボーリング試験結果から情報を得ることはできますが、得られる試料数や情報量には限度があります。しかし近年、コンピューターの計算速度が著しく向上し、逆解析手法^{*}を用いて効率的に地盤の状況を細かく推定することができるようになってきました。そこで東京都は、本手法による地盤変動予測モデルの作成を先行的に実施してきた東京大学と連携し、信頼度の高いシミュレーションモデルの構築を目指して取り組みを進めています。

^{*} 原因(物性値)から結果(地下水と地盤の変動)を得るシミュレーションモデルに対して、逆に結果から原因について推定することを逆解析手法といいます。地質調査で得られる物性値は現況地盤における物性値であり、過去(例えば地盤沈下中など)の状態における物性値は、逆解析手法により推定する必要があります。

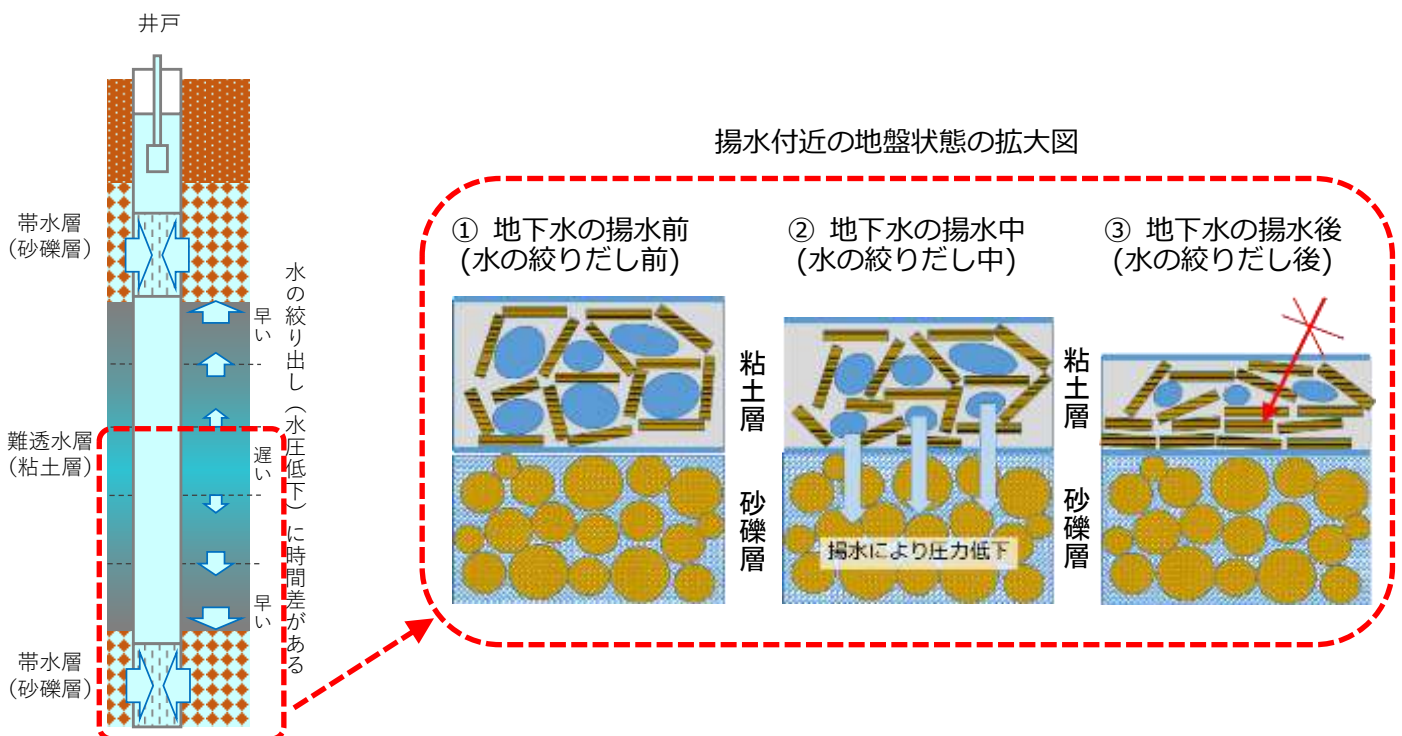


図 9-12 地下水の揚水に伴う地盤沈下の概要図

(2) 研究の手法

ア 観測井データの再現と地盤情報の推定

地盤沈下観測所の観測井では、地下水位の変動と地層別の変動量が継続的に観測されています。構築するシミュレーションモデルは、この観測井での地盤変動量を再現できなければ信頼できるモデルとは言えません。そこで、まずは観測井の地層について、一次元地盤沈下モデルを作成(深度方向1メートル単位でモデル化)し、地下水位が観測値通りに時間変化するとモデル地盤がどう変形するかを計算します。この際、地盤情報の初期値としては、掘削時の試験で得られた各種の値*を設定しますが、地盤変動量の計算値が観測値とずれる場合には、設定した地盤情報を機械的に変化させて計算し直します。この過程を、地盤変動量の観測値が再現されるまで繰り返し、地層モデルを構築していきます(逆解析による地盤情報の推定)。これにより、地盤変動量の予測が高精度にできるようになります。

また、東京都では都内4か所において地下水揚水モニタリングを実施しており、その結果の解析から帯水層物性値の推定に活用しています。

逆解析により推定する地盤情報
弾性比貯留係数[1/m]
固相密度[kg/m ³]
初期過圧密深度[m]
圧縮指数[-]
1MPa 時の間隙比[-]

イ 地盤変形計算と地下水流動計算の組み合わせ

地下水の揚水に伴う地盤変形を予測するには、地盤変形の計算だけでなく、地下水流動(水量と地下水位)も同時に計算する三次元のモデルを作ることが必要です。

東京都では広域的に揚水が行われており、その影響を予測するには、広範囲のモデルを作成し計算する必要があります。しかし、広範囲かつ細かい情報を持つモデルでシミュレーションを行うことは、計算負荷が高くなり過ぎ非現実的です。

そこで本研究では、地盤沈下リスクを特に丁寧に評価すべき地域については、地下水流動と地盤変形を精緻に計算するモデルを作成し(局所地下水流動・地盤変形連成モデル)、その他の地域では比較的単純で負荷の低い計算が行えるモデルを作成して(広域地下水流動モデル)、2つのモデルを連結することにより広範囲におけるシミュレーションモデルを構築することを試みています(図9-13)。

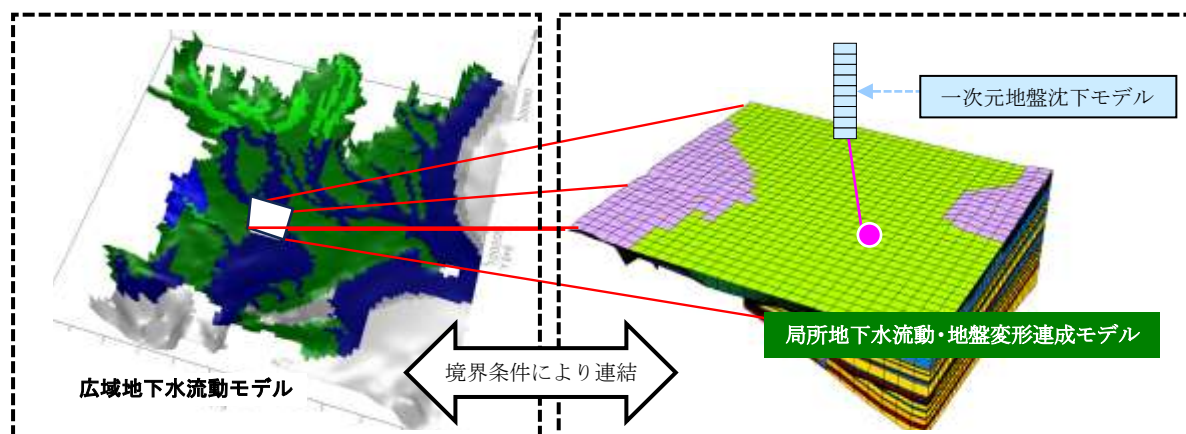


図 9-13 シミュレーションモデルの概要図

(3) 現在までの取組状況

より実態に近いシミュレーションモデルを作るためには、揚水量の多い帯水層周辺の地盤情報を重点的に取得する必要があります。そこで、過去東京都で整理した深井戸の揚水深度分布を地層構成と重ね合わせ三次元的に可視化したところ、「舎人層」が都内広域の帯水層として利用されていることが分かりました。そのため、舎人層周辺を観測している観測井のデータを「(2) 観測井データの再現と地盤情報の推定」で述べた手法で解析し、詳細な地盤情報の取得を進めています。

これまで、亀戸第2観測井など都内10か所について解析したところ(図 9-14)、地盤変動の観測値を良好に再現できる地盤情報を推定することに成功しました。地下水位が回復する時期に地盤変動量が収束に向かい始める様子を示しており、良好な再現性を確認しました。他の4地点においても同様に良好な再現性を示していました。(図 9-15)

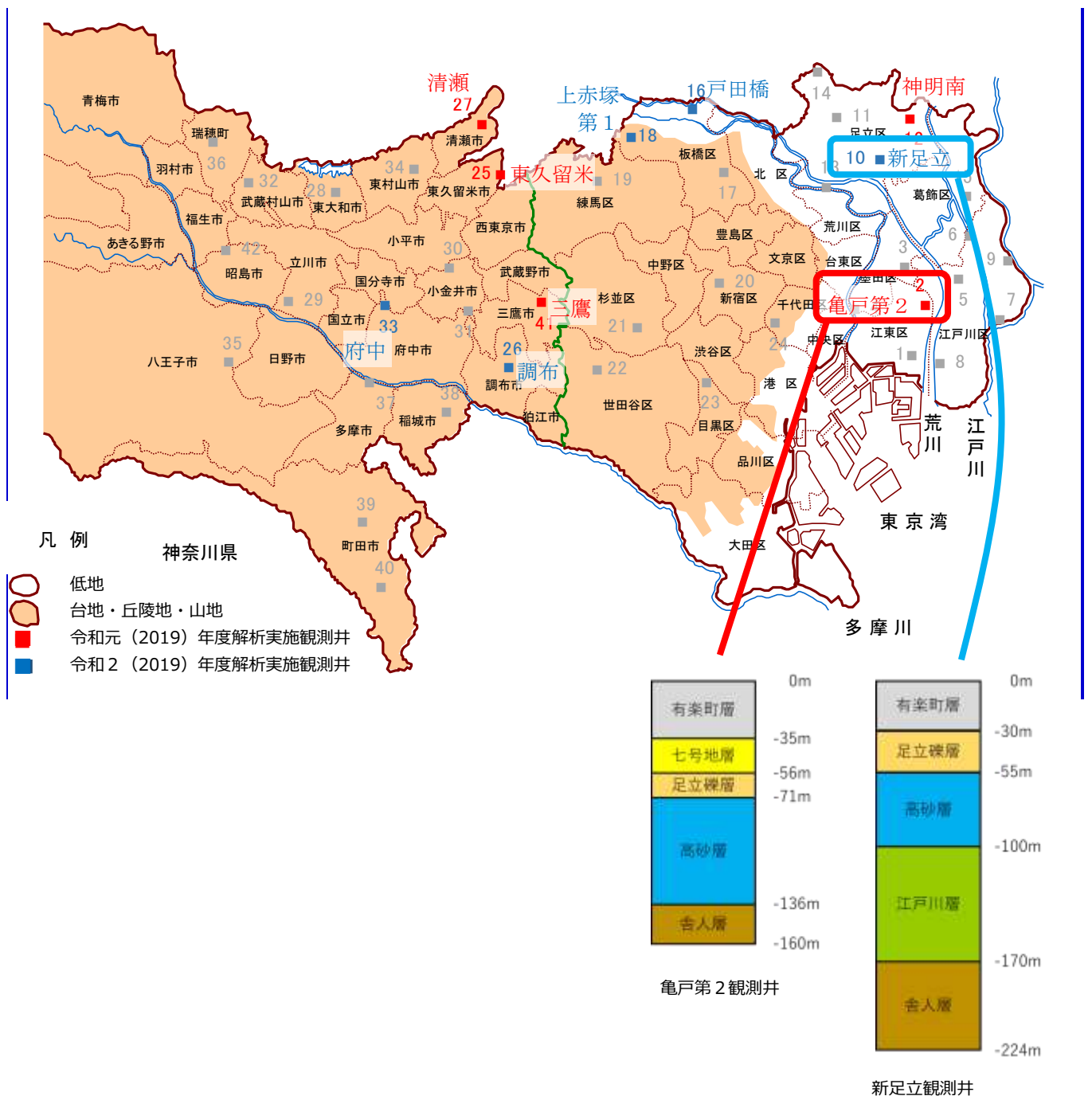


図 9-14 地盤情報の推定位置

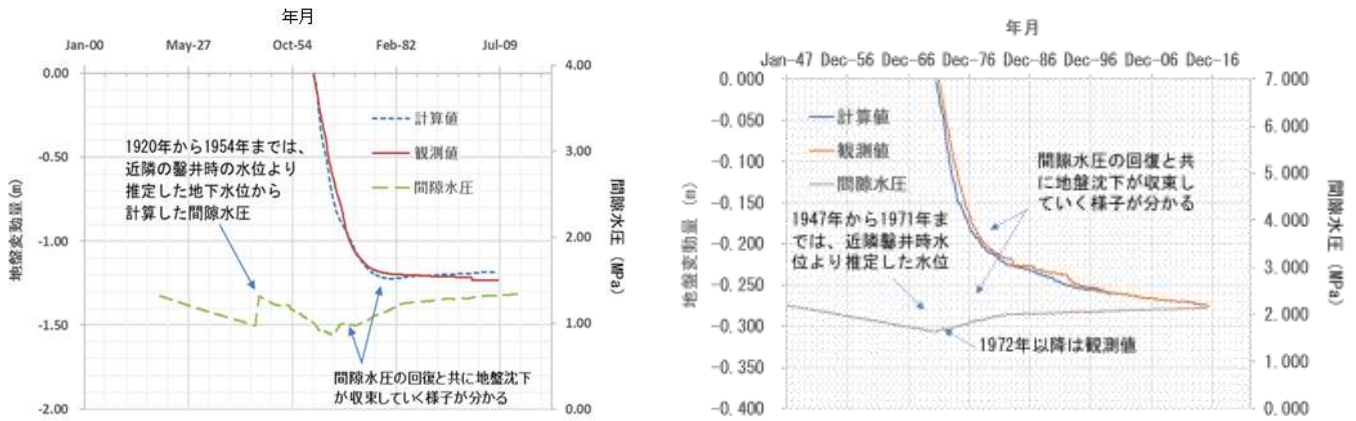


図 9-15 解析結果：観測データ再現性（亀戸第 2（左側）；新足立（右側））

地盤物性値の推定結果について、亀戸第 2 観測井の透水係数を例に説明します（図 9-16）。深度全体として、逆解析の際に初期に設定した入力値（太い黒線）よりも比較的大きな値側にばらついていました。有楽町層や七号地層などの各地質区分ごとに透水係数が対応しているかどうかは明確ではありませんでした。

また、高砂層内で砂層となる深度-110m 以深で透水係数の値が大きな側にばらつきを示し、極端に大きな推定値も出ていました。これらは岩相の変化に対応しているとも解釈できますが、極端に大きい推定値となった原因については不明であり、今後感度分析を行って更に詳細に検討していく必要があります。

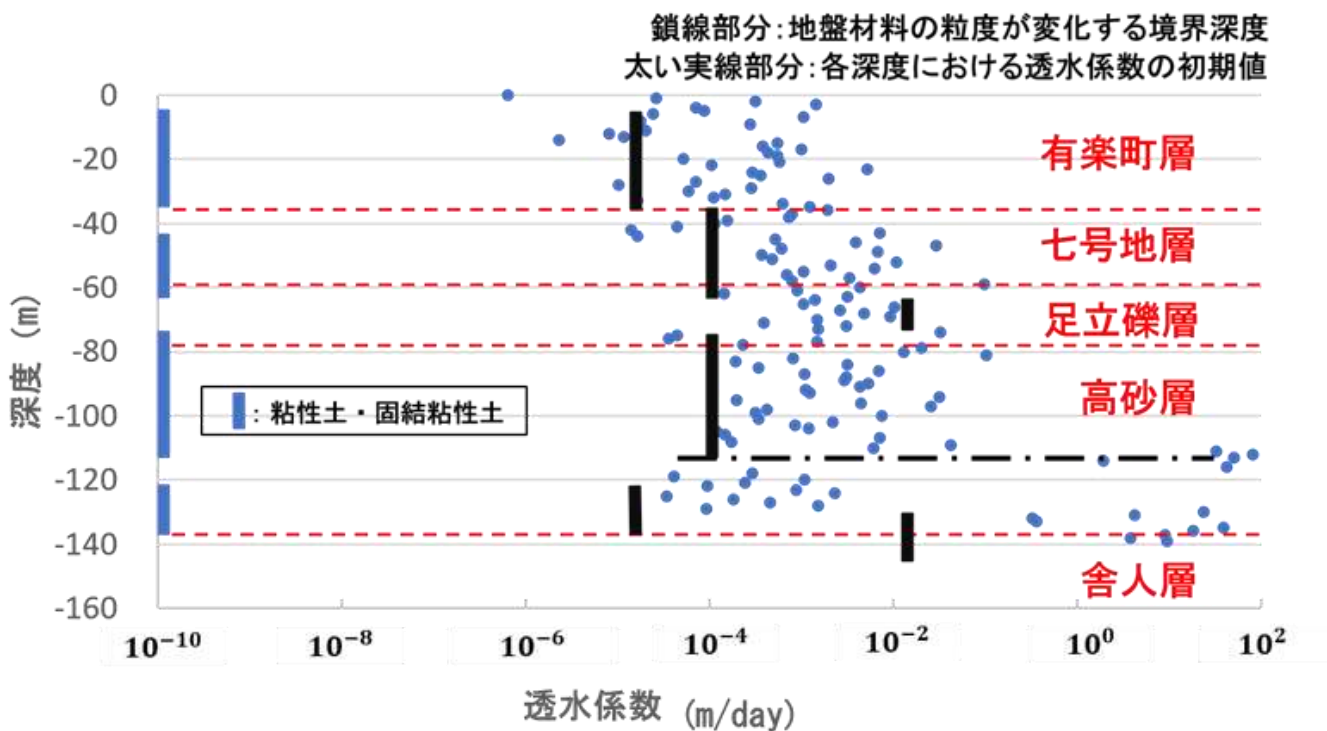


図 9-16 解析結果：推定した透水係数の分布（亀戸第 2 観測井）

また、亀戸の地盤内の間隙水圧の状況を推定したところ、水の絞り出しの遅れによりまだ収縮の余地が残っている箇所（グラフが直線的でなく蛇行するところ）の存在が示唆されました（図 9-17, 18 参照）。

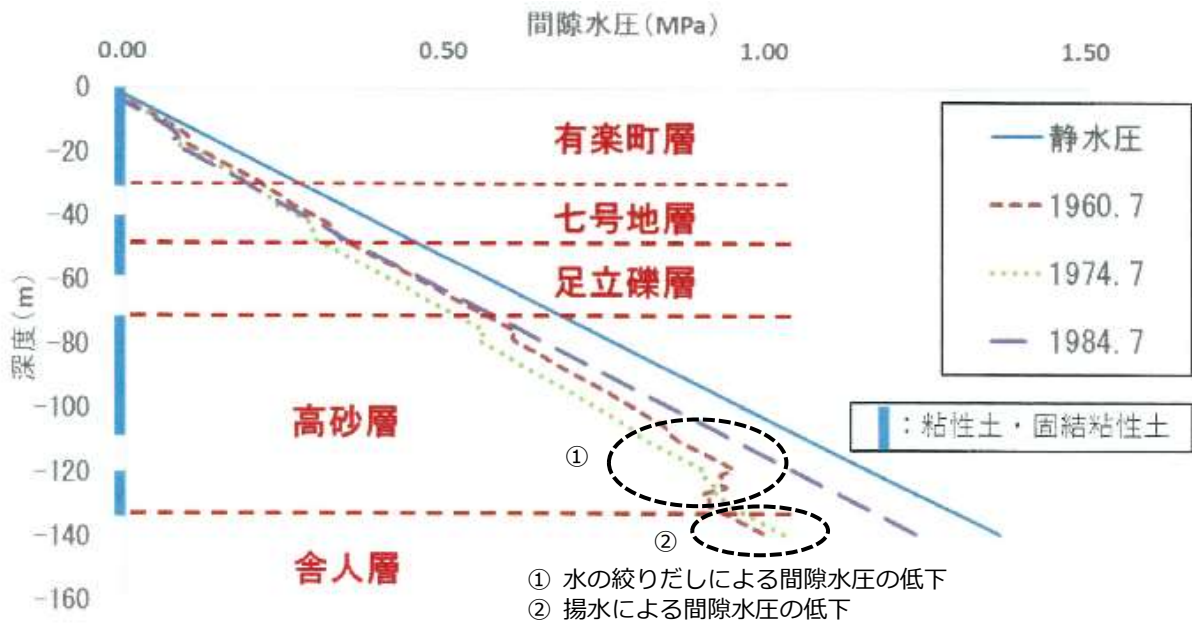


図 9-17 間隙水圧の分布の推定結果(亀戸第2観測井)

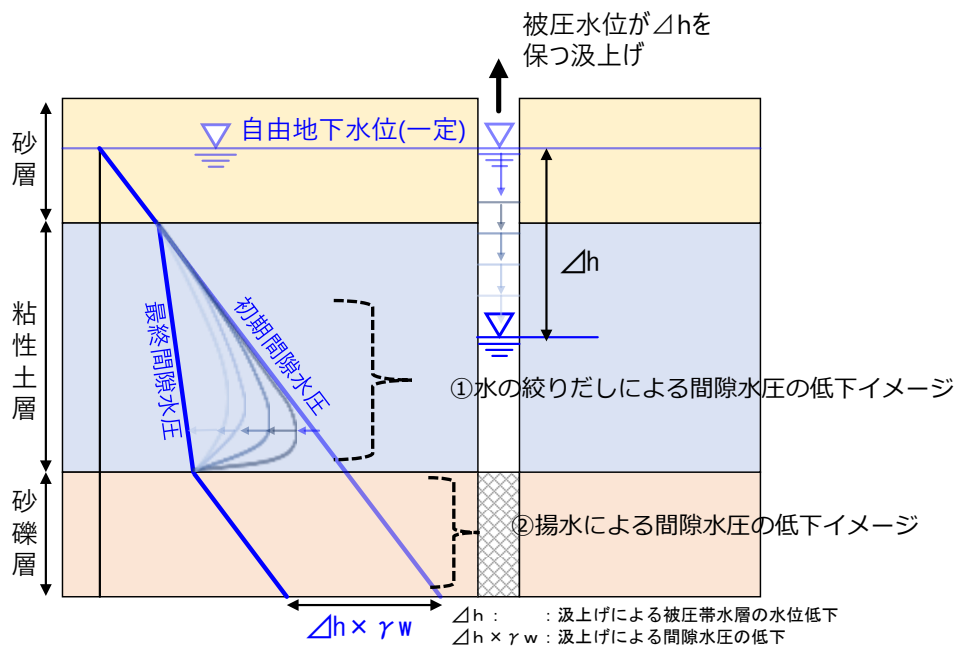


図 9-18 間隙水圧分布(亀戸第2観測井)の変化のイメージ

今後は地盤モデルの地点数を増やすとともに、逆解析で得られた地盤情報や、東京都土木技術支援・人材育成センターに集積されている地質情報などを地下水流動モデルに反映させながら、シミュレーションモデルの構築を進めていきます。

「(2) 観測井データの再現と地盤情報の推定」と「(3) 現在までの取組状況」で述べた研究内容およびシミュレーションの関係性は図 9-19 に示すとおりです。

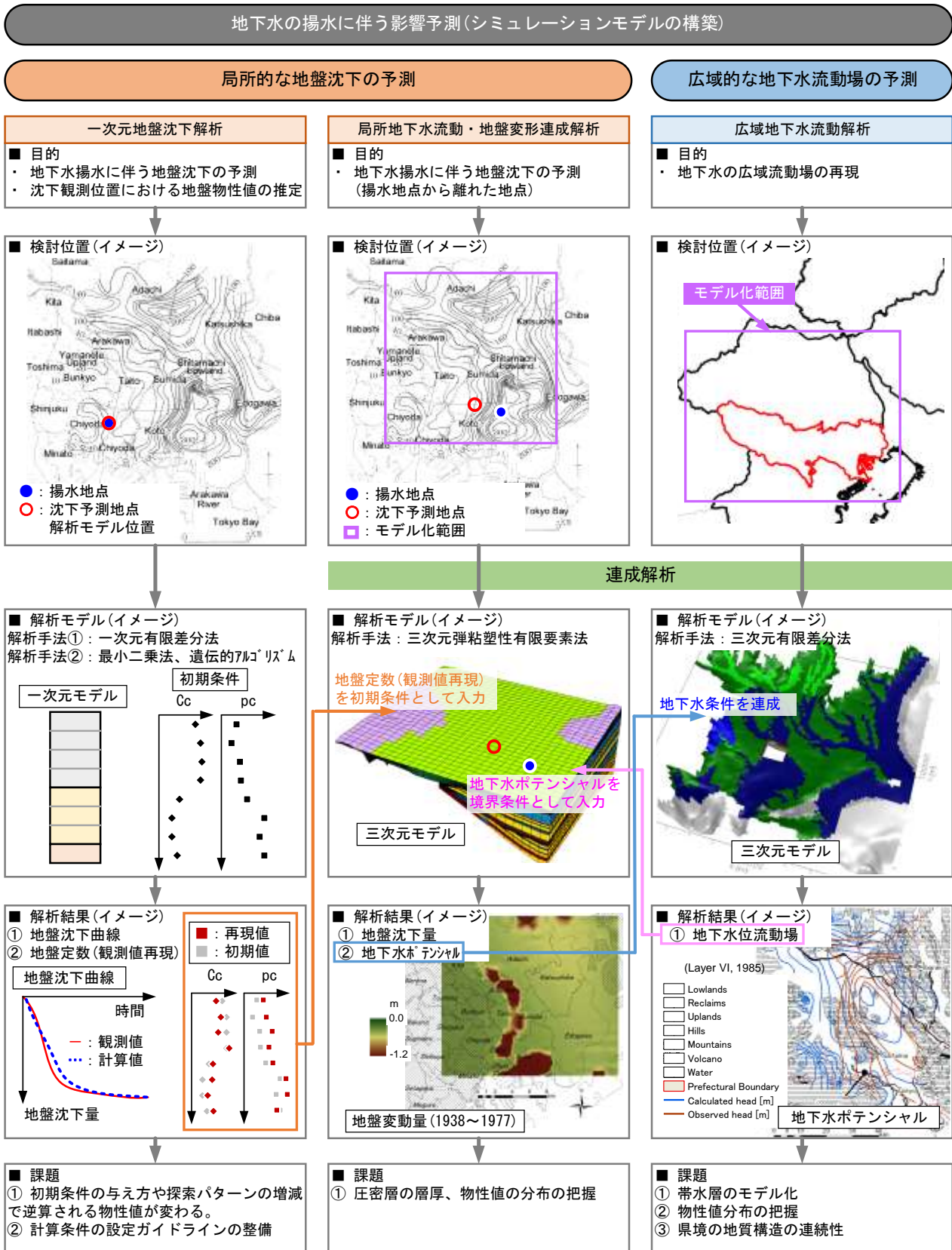


図 9-19 シミュレーションモデルの関係図

引用文献

- [1] 土原健雄・吉本周平・皆川裕樹・白旗克志・石田聡, 「環境トレーサーを用いた地表水と地下水の交流研究の現状 (地下水学会誌 第 60 巻 2 号)」, 公益社団法人 日本地下水学会, 2018 年.
- [2] 浅井和由・辻村真貴, 「トレーサーを用いた若い地下水の年代推定法 —火山地域の湧水への CFCs 年代推定法の適用— (日本水文科学会誌 第 39 巻 第 3 号)」, 日本水文科学会, 2010 年.

10. 持続可能な地下水の保全と利用に向けて

2015年9月に開催された「国連持続可能な開発サミット」で、「持続可能な開発のための2030アジェンダ」が採択され、その行動計画として「持続可能な開発目標（SDGs）」が定められました。

ストックホルム・レジリエンス・センターによるSDGsの三層構造（図10-1）では、土台となっているのが「安全な水と衛生（目標6）」、「気候変動（目標13）」、「海洋資源（目標14）」、「陸上資源（目標15）」からなる「生物圏（自然の豊かさなどの生物多様性）」で、その上に「社会」や「経済」が乗る形となっています。土台となる生物多様性が整っていないければ、社会や経済の課題を解決することはできないということを意味しています。その土台の一部として「水」が存在しているのです。

国連水関連機関調整委員会（UN-Water）による

と、世界中の全ての飲料水のほぼ半分は地下水によって供給されているという報告もあり、地下水は大切な水資源の一つです。地球は水の惑星と言われており、地球上の水の総量は約14億 km^3 と豊富ですが、その97.5%は塩水で、淡水はわずか2.5%です。そのほとんどは氷河などの氷であるため、河川、湖などの水として存在する淡水はわずか0.008%、地下水は0.76%となります。地球上に存在する地表水や地下水を資源として考える上で、貯留量（ストック）は重要ですが、一方でこれらの地表水や地下水は、海等に流れこみ蒸発して水蒸気や雨になるなど姿かたちを変えつつ常に循環しています。この水の動きを輸送量（フロー）と言いますが、持続可能な水資源の利用と保全のためには、水資源についてストックとフローの両方を把握することが重要なのです。

この利用できる水資源量は、平均すると世界の全ての人に十分な量となりますが、実際には空間的（国や地域）、時間的（季節や時間）に偏在しているため、一人当たりの利用可能な水資源の量が足りない「水ストレスの高い地域」が存在しています。

また、バーチャルウォーター（仮想水）とは、食料や工業製品を輸入している国で、もしその食料や工業製品を自国で生産するとしたらどのくらいの水が必要なのかを推定するものです。日本は海外から食料や工業製品を輸入することで、その生産に必要な分だけ自国の水を使わずに済んでいます。他方で、海外での水不足や水質汚濁などの問題は、日本人の生活に大きく影響することになります。

河川水や地下水などどのような水資源をどのような割合で利用するかは降水量などの環境や社会活動により多様性があり、また地域や国をまたいでお互いに複雑に関係しあっています。今後、世界各国で気候変動による洪水や干ばつが多発し、水資源に様々な影響を与えることが懸念されています。「誰一人取り残さない」ため、持続可能な社会の実現に向け、あらゆるステークホルダーが連携することへの期待がますます高まっています。

国内では、水に関して総合的かつ一体的に推進する法律として平成26（2014）年に水循環基本法が制定されました。従来、「土地の所有権は、法令の制限内において、その土地の上下に及ぶ」と定めた民法207条を根拠に、土地所有権の効力が地下水にも及ぶ（土地所有者が地下水を利用できる）という解釈が広くなされてきました。しかしながら、水循環基本法では地下水を含めた水が「国民共有の貴重な財産であり、公共性の高いものである」としています。翌年の平成27（2015）年には水循環基本計画を策定し、「持続可能な



図10-1 SDGsの三層構造

（出典：ストックホルム・レジリエンス・センターより引用、一部加工）

地下水の保全と利用」を促進するため、地域の実情に応じた総合的な地下水管理を行うこととしています。未解明な部分が多い地下水の実態を把握した上で、地域の多様な関係者と時間をかけて議論を重ね、地下水の保全と適正利用に向けた合意形成を図っていくことが重要であるとしています。

さらに、令和 2（2020）年に水循環基本計画の改定、令和 3（2021）年に水循環基本法の改正がされました。これまで、水循環基本法では、責務に関する規定や基本的施策に関する規定においては、地下水が明示されていませんでした。地下水の過剰揚水による地盤沈下をはじめとする障害は、その回復に極めて長時間を要するとともに、一般的に地域性が極めて高く、その挙動等の実態が不明な地域が多い状況となっており、様々な課題が残っていました。これらの課題に対応し、地下水に関する健全な水循環を回復していくためには、国及び地方公共団体において、地下水マネジメントを一層推進していく必要があるとの認識のもと、地下水の位置づけを明確にする改正が行われました。改正された水循環基本法では、国と地方公共団体が策定・実施する施策として「地下水の適正な保全及び利用に関する施策」が明記されるとともに、事業者及び国民の協力に関する責務も定められました。加えて、国と地方公共団体は、地域の実情に応じ、地下水に関する調査・情報収集、地下水の保全・利用に関する協議組織の設置といった、地下水マネジメントに関する必要措置を講ずるべき旨の努力義務が定められました。

また、新たな水循環基本計画では、次の 3 本の柱、すなわち①流域マネジメントによる水循環イノベーション、②健全な水循環への取組を通じた安全・安心な社会の実現、③次世代への健全な水循環による豊かな社会の継承に重点的に取り組むこととしています。

なお、国は、水循環基本法の改正を受け、2022 年 3 月現在、水循環基本計画の見直しに向けた検討を行っています。

東京都は、地下水対策検討委員会において検証された東京の地盤沈下と地下水の情報に関する結果を報告書として公表してきました。前回の報告書「これからの地下水保全と適正利用に関する検討について」（平成 28（2016）年公表）の中では、国や社会状況の変化を踏まえながら、東京の地下水を取り巻く現状に正面から向き合い、より適正な地下水管理の方法を検討していく必要があるとしました。

人は古くから、地下水や湧水を身近な水源として、生活用水や農業用水に利用してきました。東京においても、特に多摩地域では地下水は今でも貴重な水源として活用されています。一方、特に区部低地部においては、大正期以降、急激に工業化が進行し、また戦後は、工業化とともに都市化が急激に進行したことにより、多量の地下水が汲み上げられた結果、累計で最大 4.5m もの甚大な地盤沈下が引き起こされました。こうした経緯から、東京では昭和 30 年代から区部低地部を中心に揚水規制が実施され、一部地域を除き、都全域が規制対象地域となっています。現在では、地盤沈下は沈静化、地下水位も回復していますが、沈下した地盤は元には戻っておらず、ゼロメートル地帯の高潮対策など、課題は残っています。

地下水利用は、人間に恩恵をもたらすとともに、過剰に利用すれば、環境に悪影響を持たすということを踏まえ、保全と適正利用の調和を図る必要があります。そのため、前回の報告書において、まずは地下水の多様な実態を正しく把握するための実態把握を着実に進め、継続していき、「地下水の保全と適正利用」のあり方を議論する下地づくりを行う必要があるとしています。

これを受けて、持続可能な地下水の保全と利用に向け東京都は平成 29 年度から学術機関と連携し、東京の地下水の実態把握を進めています。

10- 1 東京の地下水位と地盤沈下の状況等に関する検証結果

第 8 章において、都内全域・地域ごとの地下水位、地盤の状況及び地下水揚水量について、第 9 章において東京都が学術機関と連携し調査研究を進めている地下水の実態把握について整理しました。

(1) 東京の地下水位と地盤沈下の状況 (8-2～8-5)

ここ数年の都内全域における地下水位は全域的に上昇傾向ですが、上昇幅は小さくなっています。

また、地盤は最近では1年間に2cm以上沈下している地域はなく、現在では地盤沈下は落ち着いています。ただし、区部低地部における地層別の変動量を見ると、深層では膨張しているものの、沖積層を主体とする浅層は現在も収縮し続けていることが分かりました。

なお、平成27年度の検証結果では、多摩台地部での揚水が、離れた区部台地部の地下水位に影響を与えていることが確認されています。

(2) 地下水の実態把握にむけた調査研究

ア 地下水流動系解明 (9-1)

地下水の涵養源や流動経路、滞留時間の解明に向けて、地下水中に溶け込んでいる様々な物質をトレーサーとして用い研究を行っています。

これまでに東京都の保有する観測井等や河川水、降水の採水・分析を行い、これらのデータを解析する中で、多摩の一部地域では浅層部と深層部の地下水が交流するなど、地下水の複雑な流れが存在することを示唆するデータが得られています。

また、多摩台地部と区部低地部とでは、地下水の涵養源が異なることを示唆する結果も得られていますが、今後更にデータを蓄積する必要があります。

イ 地下水の揚水等の影響予測 (9-2)

どこでどのくらい揚水すると、どの地盤にどのくらいの影響が生じるかを予測する、信頼度の高いシミュレーションモデルの構築を目指しています。

現在は地盤沈下リスクを丁寧に評価すべき地域について、逆解析による地盤情報の推定を行い、一次元地盤沈下モデルを作成しています。その結果、区部低地部の調査地点における地盤内の間隙水圧の状況の推定から、区部低地部では粘土層の間隙水圧が十分に下がりきらなかったため圧密が部分的にしか進んでおらず、大幅な地下水の低下があると地盤沈下が再開する余地があることを示唆しています。

今後、この一次元地盤沈下モデルを基に、地下水流動と地盤変形を精緻に計算するモデルを作成し(局所地下水流動・地盤変形連成モデル)、その他の地域では比較的単純で負荷の低い計算が行えるモデルを作成して(広域地下水流動モデル)、2つのモデルを連結することにより広範囲におけるシミュレーションモデルを構築することを試みていきます。

(3) 考察

現在の地下水位と地盤沈下の状況及び実態把握の進捗状況を踏まえると、現行規制を継続しつつ、学術機関と連携して地下水の実態をより正確に把握していくための科学的知見などのデータを収集、蓄積し、時間をかけて丁寧な検証に取り組んでいくことが重要です。

10-2 持続可能な地下水の保全と利用の実現に向けて

(1) 地下水実態把握の推進

東京の地下水についてはまだ未解明な点が多いのが現状です。そのため、地下水の実態把握に向けた調査研究については、引き続き、学術機関と連携しながら地域特性や広域性(帯水層の面的な広がり)を踏まえながら地下水の流れ等の解明や地下水の揚水等の影響予測シミュレーションモデルの構築などを行っています。

将来にわたり持続可能な地下水の保全と利用を図るためには、②で後述するように、様々な立場の人、つまりステークホルダーとの幅広い議論を経て、相互理解と対話を進めることが不可欠であり、その議論の前

提として、実態把握から得られた科学的知見が必要となります。しかし、地下構造や地下水の状態などすべての情報を手にすることはできないことから、科学的知見の基盤の一つとなるシミュレーションモデルは一定程度の不確実性を含みます。それらを補うためには地下水や地盤の継続的なモニタリング体制を構築し、予測と得られた結果からモデルの検証を行うことが大切です。

これまで地下水を涵養するために、東京都では雨水を地下に浸透させる取り組みを進めてきていますが、今後は持続可能な保全と利用のために、地下水の涵養域や流動経路を把握することでより涵養に適した地域を調べていき、効果的な涵養手法の検討をしていくことも重要です。

また、地下水の帯水層は都県をまたいで存在しているため、近隣自治体の地下水の相互影響について把握していく必要もあります。

これらの解明には時間を要することが予想されるため、着実に推進することが求められます。

(2) 「地下水ガバナンス」へ向けて

これまで、東京都を含む地盤沈下の問題があった地域では、行政により揚水を制限する地下水管理が行われてきました。持続可能な地下水の保全と利用に向けては、地下水を利用する立場や地下水揚水によって影響を受ける可能性のある立場、地下水を保全する立場など、多様なステークホルダー（住民、事業者、団体、行政など）が存在するため、これらの主体間における対話や合意形成が重要となります。

東京都では現在、その前提となる地下水の実態把握を行いつつ、それらの最先端の研究内容等を分かりやすくまとめたリーフレット等を作成するなど、準備をしている段階にあります。

なお、国の水循環基本法に基づいて作成された「地下水保全ガイドライン（第二版）」や「地下水マネジメントの手順書」では、多様なステークホルダーが垂直的・水平的に協働しながら、地下水資源の利用と保護に関して意思決定していく協働型の地下水管理を「地下水ガバナンス」と定義しています。

この地下水ガバナンスを進めるには、例えば以下のような取組が考えられます（図 10-2）。

地下水についての基本的な情報や、専門的で難解な研究成果について、できるだけ分かりやすく情報発信を行う必要があります。そして、住民や事業者、団体などの地下水に関するステークホルダーとなりうる方々と、地下水に関する知識や情報を共有していきます。

また、科学的な情報（科学知）だけではなく、地下水を利用する住民や事業者、団体などの方々が普段の生活や経済活動の中で得ている「生活知」や「経験知」を共有し、互いに地下水リテラシーを向上させていくことも大切です。

勉強会などの機会を通じて、こうした情報の共有や、それに基づく話し合いをすることで、地下水に関してそれぞれが抱えている課題等について、共通認識や相互理解を醸成します。さらに、将来的には協議会などを設置して議論を深めていきます。これらの過程を経て、持続可能な地下水の保全と利用に向けた計画策定など、多様なステークホルダー間における合意形成を目指します。これらのプロセスには時間をかけて取り組んでいくことが重要です。

更に、その計画に従い、各主体が地下水の保全や涵養、利用などを行いつつ、地下水位や湧水量、地盤の状態などを確認するためモニタリング調査を実施します。モニタリングを実施する主体は行政や事業者などが考えられます。これらのモニタリングの実施は、地域の児童や学生達の学びの場や地域社会のつながりの場としての活用も考えられます。得られたモニタリング結果は、勉強会や協議会における合意形成の材料としてフィードバックしていくことになります。

まずは、地下水に関する実態把握を継続的に推進しつつ、多様な方々に地下水について関心を持っていただけるよう、分かりやすく正確な情報提供に努めていくことが重要です。

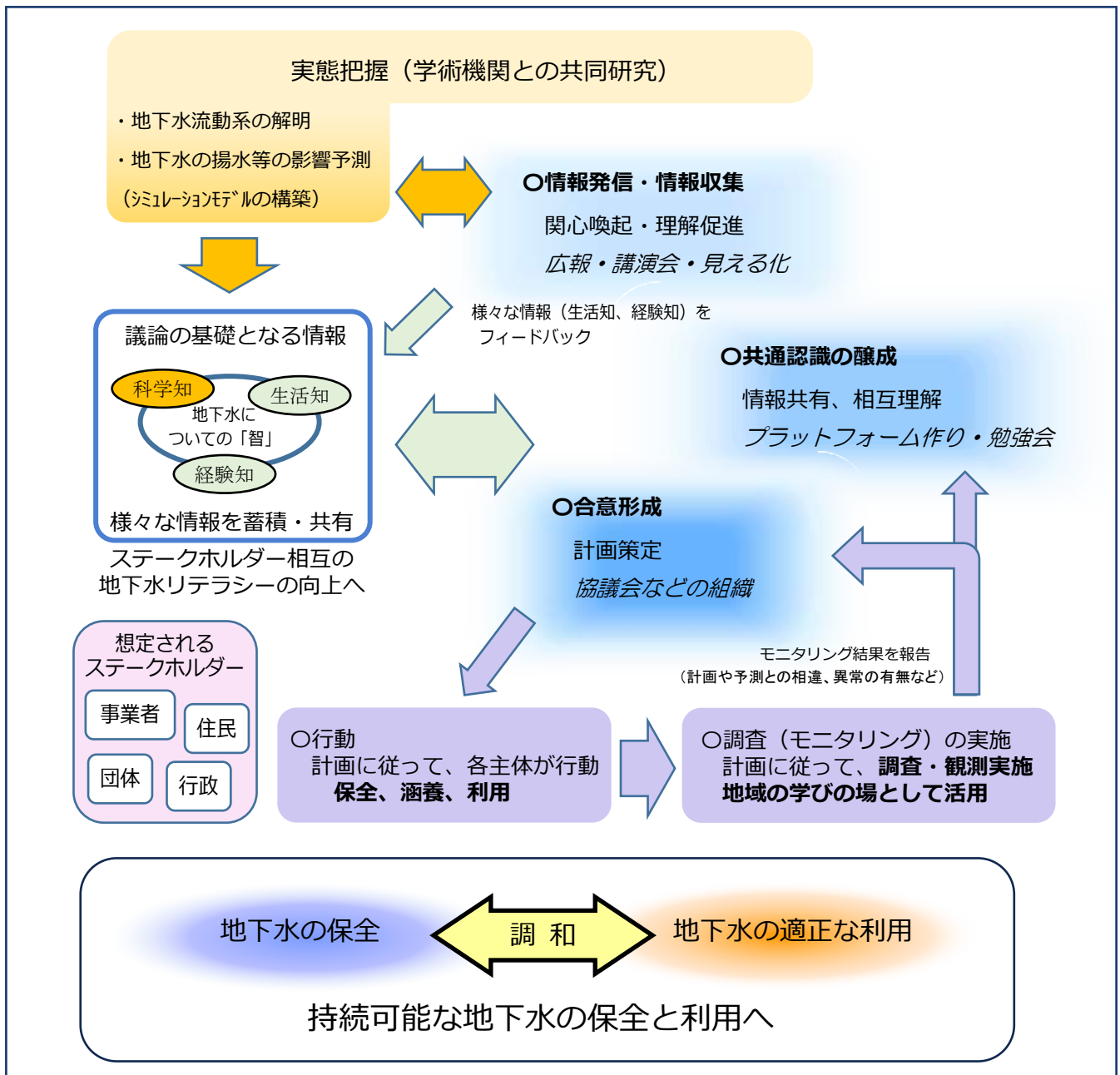


図 10-2 地下水ガバナンスのイメージ

(3) その他（非常災害時における地下水利用）

非常災害時における地下水利用は、社会的にも必要性が高いと言えます。仙台市が実施した「東日本大震災における災害応急用井戸の利用状況」調査によると、震災で断水となった地域において個人宅の8割近く（106井中84井）、事業所の7割近く（26井中17井）の登録井戸が利用されていました。

現在、内閣府が推進する「戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）」の中の「国家レジリエンス（防災・減災）の強化」において「災害時地下水利用システム開発」の研究開発が行われています。このSIPにおける研究は、環境に大きな影響を及ぼすことなく地域の実情に応じて非常時に利用できる地下水を定量的に明らかにし、非常時でも強靱な水供給システムを開発することにより、水供給サービスの被害最小化に資することを目的としています。東京都が行っている地下水実態把握におけるシミュレーションモデルの構築が、長期的な地下水揚水の影響を予測するのに対して、このSIPの研究では非常時の短期的な水需要に対しての地下水利用システムの開発を目指すなど目的に違いはありますが、地下水に関する情報共有を行うなど互いに協力しています。

10-3 終わりに

東京はかつて過剰な揚水によって引き起こされた国内最大級の地盤沈下という公害に直面しました。昭和30年から40年頃は、地下水の流動や地盤構造の把握も不十分で地盤沈下のメカニズムもはっきりとは分からない中、国や東京都が地盤沈下を沈静化させるために揚水規制を模索し適用した時期でした。この経験は、地盤沈下の甚大な被害があったという負の面だけではなく、東京という地域全体が問題に正面から向き合ってきたという世界に誇る先進事例として捉えることができます。

最近の国の動きや社会的状況の変化をみると、従来の揚水規制による対応のみではなく、持続可能な地下水の保全と利用という観点も含めた新たな対応に向けた行動が必要になっています。東京都は、新たなステージに向けて着実に歩を進めています。

本報告書では、実態把握に向けた調査研究の途中経過について整理したものであり、研究自体はまだ途中ではありますが、今後も着実に実態把握を進めていきます。地下水の実態を踏まえた上で、持続可能な地下水の保全と利用のために幅広いステークホルダーが相互に協力する地下水ガバナンスに向けて取り組んでいきます。

令和4年7月発行

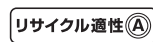
登録番号 (4) 21

環境資料 第34019号

持続可能な地下水の保全と利用に向けて (地下水・地盤沈下検証結果報告書)

編集・発行 東京都環境局自然環境部水環境課
東京都新宿区西新宿二丁目8番1号
電話：03-5388-3547
URL：<https://www.kankyo.metro.tokyo.lg.jp>

印刷・製本 株式会社イマイシ
東京都足立区梅島一丁目31番15号
電話：03-3848-1311



この印刷物は、印刷用の紙へ
リサイクルできます。



古紙配合率70%再生紙を使用しています
石油系溶剤を含まないインキを使用しています