

11. 都内の地下水温の特徴と地下水の流動に関する共同研究の概要

Characteristics of Groundwater Temperature in Tokyo and Summary of the Joint Research Project “Research of Groundwater Flow System in Tokyo”

技術支援課 大澤健二、○川合将文、國分邦紀、落合成泰（南多摩東部建設事務所）、隼瀬健后（総務部）

1. はじめに

土木技術支援・人材育成センター（以下「当センター」と記す）では、土木技術研究所時代から地盤沈下防止事業の一環として、地下水位の観測、水準測量による地盤沈下の観測等を継続的に進め、地盤沈下の現況を明らかにしてきた。そして地下水の揚水規制の効果を確認し、地盤沈下の防止と沈静化に貢献してきた。

また、地盤沈下は地下水の過剰な揚水が原因であることから、帯水層の性状や地下水の流動実態を解明するため、水文地質構造の調査、土質特性の解析、地下水の水質調査など様々な調査や解析を実施してきた。

今回報告する地盤沈下観測井を使用した地下水温の調査は、平成3年に筑波大学から調査の協力依頼があり実施したのが始まりである。その後、地下水温が地下水の流動実態を解明する上で有力な指標になるという情報や知見^{1)~4)}が蓄積されてきた。

平成13年（2001年）、千葉大学理学部地球科学科佐倉研究室より共同研究の申し入れがあり、当センターとしても本格的に調査を開始した。その調査

結果や成果については、平成14年報⁵⁾や学会誌^{6), 7)}で公表している。

その後、継続調査として、平成24~28年度、国立研究開発法人産業技術総合研究所（以下「産総研」と記す）と国立大学法人秋田大学（以下「秋田大」と記す）と当センターの三者による共同研究を実施した。

本報告はこの共同研究で得られた地下水温の計測データと共同研究の概要について紹介し、今後の調査の方向性について検討したものである。

2. 調査概要

(1) 調査井

調査対象の地盤沈下観測井の配置図⁸⁾は図-1の



図-1 調査観測井配置図

表-1 地下水温の調査結果（前回調査を含む）

番号	地域名	地点番号*	観測井名	観測井深度 (m)	地盤高 (T.P.) (m)	実施時期		地下水位 (GLより) (m)		観小温度 (℃)		観小温度の深度 (GLより) (m)		最終深度 (GLより) (m)		最終地下水温 (℃)		地下水温上昇率 ×10 ⁻² (℃/m)	
						今回	前回	今回	前回	今回	前回	今回	前回	今回	前回	今回	前回	今回	前回
1		1	南砂町第2	130	-2.2	2015/11	2003/11	3.3	3.9	16.6	16.6	18	18-20	130	126	16.2	18.1	1.2	1.5
2	低地南部	2	亀戸第2	144	-1.8	2016/10	2003/11	3.6	5.7	17.3	16.9	38-44	32-36	142	144	19.3	19.3	2.0	2.2
3		3	吾嬭B	115	-1.0	2015/12	2003/11	6.3	9.8	18.0	17.6	54	24-26	114	112	19.5	19.5	2.5	2.2
4		4	両国第2	126	1.9	2016/12	2001/11	8.9	16.9	17.2	16.9	60-74	54-70	116	118	17.6	17.6	1.0	1.3
5		8	小島第4	270	0.1	2015/11	2001/11	5.6	7.7	17.5	17.2	28-30	20-26	260	260	21.3	21.3	1.7	1.8
6		10	新足立	270	0.0	2015/12	2004/1	7.3	10.0	-	-	-	-	268	268	20.7	20.7	1.9	1.9
7	低地北部	11	伊興	120	3.4	2015/12	2004/1	10.2	12.3	15.9	15.6	46	38	118	116	17.1	17.1	1.7	1.9
8		12	神明南第3	380	1.2	2014/10	2001/11	9.0	12.7	16.1	-	22-28	-	370	300	22.3	20.1	1.8	1.5
9		13	小台第3	300	1.5	2015/12	2001/11	5.9	10.5	17.0	16.5	60-64	54-56	300	300	21.7	21.6	2.0	2.1
10		14	舎人第3	340	3.4	2014/10	2001/11	7.7	10.2	15.9	15.6	38-44	28-34	340	300	20.4	19.9	1.5	1.6
11	区部	16	戸田橋第1	290	2.9	2014/10	2001/10	1.3	3.9	15.8	15.7	80-82	78-90	290	290	19.0	19.0	1.5	1.7
12	台地	17	板橋	270	28.6	2013/3	2001/11	27.5	29.7	15.9	15.8	70-74	66-72	268	270	19.0	19.0	1.6	1.6
13	北部	18	上赤塚第3	400	27.4	2014/10	2004/1	18.7	24.7	15.7	15.6	70-78	62-74	400	400	20.6	20.6	1.5	1.5
14	**	19	練馬第2	200	42.0	2016/10	2001/10	31.9	39.0	15.7	15.5	76-82	54-62	200	200	17.2	17.1	1.3	1.2
15	台地南部	20	新宿	130	32.9	2013/3	2001/10	24.3	26.2	15.9	15.7	88-92	78-88	124	126	16.2	16.1	0.8	1.1
16		21	杉並	180	37.1	2016/12	2001/11	11.3	14.9	15.7	15.6	68-72	64-66	180	180	17.1	17.1	1.3	1.3
17	都心	22	世田谷	130	41.2	2016/10	2001/10	8.6	11.1	15.7	15.4	82	68-76	130	130	16.3	16.2	1.3	1.6
18		23	目黒	156	17.3	2016/10	2001/11	4.0	3.4	16.7	16.3	74-80	60-62	156	156	17.9	17.9	1.6	1.7
19		24	千代田第2	113	15.1	2013/2	2001/11	12.1	13.0	16.8	16.7	90-98	86-94	112	112	17.0	16.8	0.8	1.0
20		25	東久留米第3	441	39.8	2013/3	2004/1	28.0	28.0	15.6	15.5	72-80	68-76	440	440	20.6	20.6	1.4	1.4
21	多摩北部	27	清瀬第3	450	44.2	2016/10	2001/10	28.3	32.6	15.4	15.3	98-104	88-98	440	298	19.7	17.4	1.3	1.1
22		28	東大和第3	260	97.2	2016/10	2001/10	76.5	79.6	15.6	15.5	80-88	84-88	224	230	16.8	16.8	0.9	0.9
23		34	東村山第3	294	62.7	2016/10	2004/1	43.7	50.2	15.6	15.5	146-150	144-150	290	290	16.9	16.9	1.0	1.0
24	多摩中南部	26	調布第4	171	33.9	2014/10	2001/10	22.3	32.8	17.0	-	34-42	-	164	166	18.8	18.8	1.4	1.5
25		33	府中第3	290	69.0	2016/11	2001/10	34.9	40.3	16.4	16.1	128-130	120-128	288	290	19.4	19.4	1.9	2.1
26		30	小金井第3	296	71.3	2016/11	2001/10	50.6	60.3	15.7	15.5	102-108	80-102	292	296	18.1	18.2	1.3	1.3
27	東部	41	三鷹第2	260	55.5	2016/11	2001/10	47.5	55.5	16.1	15.8	76-86	74-82	216	242	17.8	18.0	1.3	1.4
28		37	新多摩	180	49.5	2016/11	2004/3	-	-0.2	-	15.8	-	44-48	180	180	18.5	18.5	1.8	2.1
29		38	稲城	220	36.7	2014/10	2004/2	10.5	11.2	15.5	15.4	42-46	40-42	218	220	18.9	18.9	2.0	2.0
30	多摩西部	32	武蔵村山第3	280	124.5	2014/10	2004/3	63.3	70.0	15.8	-	70-74	-	280	282	21.3	21.4	2.7	2.7
31		42	昭島第2	236	119.3	2016/10	2001/10	54.8	64.6	16.3	16.1	72	72-74	238	236	21.0	20.9	2.9	3.0
32		35	八王子第2	220	109.1	2016/10	2004/3	22.8	25.6	16.0	15.8	82-88	76-78	218	222	18.7	18.7	2.1	2.0
33		29	立川第2	280	75.0	2016/11	2004/2	6.7	13.7	16.0	15.9	78-88	70-72	280	280	20.5	20.5	2.4	2.2

: 地点番号は参考文献8の観測井一覧表を参照。: 低地部の戸田橋第1を含む

とおりである。

観測井は42地点、92井あるが、今回は33地点33井について報告する。複数の観測井がある箇所は、最も深い観測井のデータを使用している。なお、後述するA-A'断面の位置を図-1に加筆した。

(2) 測定方法

使用した温度計は、分解能0.01℃のサーミスタ温度計（立山科学工業株式会社製）である。地下水温調査にとって高精度の小型の使いやすい温度計が開発された意義は大きい。

測定方法は、リード線に添架した温度計を観測井の管口から降下させ、地下水面に到達した後、管口等の高さを基準にして、1mないし2m間隔で降下させ、孔底まで順次計測を進め、最終深度までの水温

を測定した。

観測井の構造は、深さが概ね200mを超える井戸については二重管式構造になっている。観測井の口径は15~20cmがほとんどである。管口は地下水位を観測する都合上、蓋はなく、地下水面まで開放状態になっている。観測井の材質は配管用炭素鋼鋼管（ガス管）である。特別の事情がない限り、設置以来、地下水の揚水はしていない。

また、測定した地下水温と地中温度との関係については、既往の研究成果から、口径10~30cm程度の井戸ならば、地下水温は井戸周辺の地層中の温度と平衡関係が成立していると考えられ、地中温度と見なせることが報告⁹⁾されている。

3. 調査結果

調査結果は表-1のとおりである。表-1の調査項目の説明は次のとおりである。なお、サーミスタ温度計の精度は前述のとおり 0.01℃であるが、測定時の誤差等を考慮し有効数字 0.1℃まで表示した。

①地域名：観測データの特徴や設置箇所の行政区などから7地域に分けた。

②実施時期：本共同研究の実施期間は2013～2016年(2017年は未実施、一部2018年調査含む)で、「今回」欄に記載している。また、今回調査とデータ比較するため、2001～2005年(2002年は未実施)に実施したデータを「前回」欄に記載している。

③地下水位：2001年¹⁰⁾及び2016年¹¹⁾の年平均地下水位で地表面(GL)からの深さである。

④極小温度及び極小温度の深度：後述するが、都内の地下水温は一般的に地下水面から深くなるに従って低くなり、ある深度になると、反転して増温傾向になり孔底まで上昇していく。この反転する深度で一番低い温度が出現するので、本報告では、この地下水温を「極小温度」と称し、その深度を「極小温度の深度」と称する。また、「極小温度」は連続して続く場合が多いことから深度には幅ができる。その場合は上限と下限の深度を表示した。

⑤最終深度：地下水温が計測できた最も深い深度である。今回と前回で大きく異なっている場合があるが、2001年当時は温度計の制約から300mより深い計測ができなかったことや何らかの理由でセンサーの降下を確認できず計測できなかったものである。

⑥最終地下水温：計測した最終深度の地下水温である。

⑦地下水温上昇率：極小温度の下限深度から最終深度までの地下水温の上昇率を示したものである。極小温度を示さない(反転しない)観測井は計測開始温度から最終深度までの地下水温上昇率である。

計算方法は、(最終地下水温) - (極小温度)を(最終深度) - (極小温度の深度の下限値)で除したものである。

(1) 地域別の地下水温分布

地域別の地下水温の分布は図-2～7とおおりである。表-1を参照し各図の特徴を述べる。

1) 低地南部地域(図-2、表-1)

観測井は100m程度までが多く、一番深い小島第4で270mである。

地下水位は、両国第2がこの地域では相対的に深く8.9mであるが、その他は3～6m台である。この地域は、都内で、地下水位が浅く、回復傾向が顕著な観測井が多い地域である。

地下水温は、地下水面直下17～19℃から始まり、深くなるに従い低温になり、極小温度の深度で反転し、増温傾向になり最終深度まで上昇していく。

極小温度は16.8～18.0℃であるが、吾孺Bは他の観測井に比べて高くなっている。極小温度の深度は南砂町第2、亀戸第2、小島第4では概ね20～40m程度であるが、吾孺Bと両国第2はかなり深く50～70m台になっている。

この地域の最も高い最終地下水温は小島第4の深さ260m、21.3℃である。

地下水温上昇率は両国第2が1.0℃/mとやや小さいが、亀戸第2と吾孺Bは2.0と2.5で大きい。なお、吾孺Bは低地部で最も大きい値を示している。

次に、前回調査と比較すると、この間、地下水位はすべての観測井で上昇している。両国第2が大きく8.0mであるが、その他の観測井は概ね1～3m上昇している。この地域は揚水規制¹²⁾により、昭和40年代後半から地下水位は回復⁸⁾してきているが、最近は上昇量が鈍化している。

極小温度は0.2～0.4℃上昇し、極小温度の深度は、南砂町第2と亀戸第2を除き、いずれも深くなっている。特に、吾孺Bは約30mも深くなっている。最終深

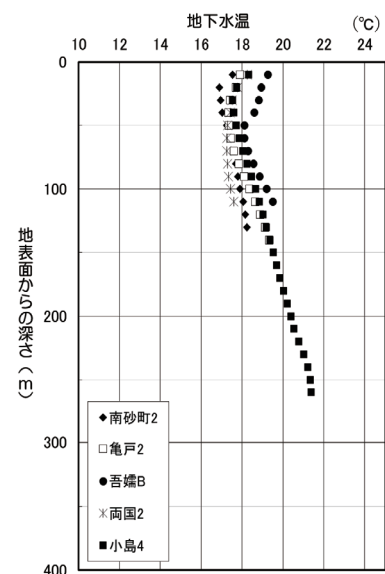


図-2 低地南部での地下水温分布

度と最終地下水温度は各観測井とも前回とほぼ同じである。

また、地下水温度上昇率は前回調査と比べて小さくなっているが、吾嬭Bだけ大きくなっている。その理由としては、観測井が設置されている下水道局吾嬭ポンプ所の建替工事で、大規模な地下掘削工事が進められていることから、その影響を受けている可能性がある。吾嬭Bは低地部の南部と北部を分ける地下水の水質上の境界¹³⁾になる観測ポイントであるから、引き続きより詳細な調査が必要である。

2) 低地北部地域 (図-3、表-1)

地下水位は南部地域に比べてやや深く、伊興で深さ 10m を超えている。この地域も揚水規制¹²⁾により、昭和 40 年代後半から地下水位が回復⁸⁾しているが、南部地域に比べて回復が遅れている地域である。

地下水温度は 16~18℃ で始まり、新足立を除き、深くなるに従って低下し、それぞれ極小温度を記録し反転して上昇していく。

極小温度は、新足立を除くと 15.9~17.0℃ で、南部地域に比べて低く変動幅も狭い。新足立の極小温度の深度がない理由としては、表層部の高温化が何らかの理由で抑えられている可能性がある。極小温度の深度は、神明南第 3 は 20m 台であるが、伊興、舎人第 3 で 40m 台、小台第 3 は 60m 台である。

最終地下水温度は、井戸の深さが 100m 台の伊興を除き、いずれも深さ 200~300m 台であり、20℃ を超えている。最も高いのは神明南第 3 で深さ 370m、22.3℃ である。

また、地下水温度上昇率は 1.5~2.0℃/m であり、ばらつきは南部地域より少ない。

前回調査と比較すると、地下水位はいずれも浅くなり、前回はすべて 10m を越えていたが、今回は 10m を超えるものは伊興だけである。

極小温度の深度は 10m 前後深くなり、極小温度は 0.3~0.5℃ 高くなっている。

地下水温度上昇率は神明南第 3 を除

き、前回と比べ 0.1~0.2℃/m 小さいが、ほぼ南部地域と同じである。神明南第 3 は例外的に 0.3 と大きくなっている。

3) 台地北部 (戸田橋第 1 含む) 地域 (図-4、表-1)

地下水位は、低地部にある戸田橋第 1 を除き、18.7~31.9m である。台地北部は地形的に台地になっており、地下水の揚水状況は、まだ専用水道などの揚水が残っている地域である。

地下水温度は 17℃ 前後で始まり、深くなるに従って低くなり、極小温度は 15.7~15.9℃ とばらつきが少なく、いずれも極小温度が暫く続き、その深度幅は 2~8m ある。その後、反転して上昇していく。極小温度の深度を深度幅の中央深度でみると 70~80m でかなり深い地域である。最終地下水温度は、この地域では相対的に浅い練馬第 2 を除き、最終深度 268~400m で最終地下水温度 19.0~20.6℃ である。最も深い上赤塚第 3 では 400m、20.6℃ である。

また、地下水温度上昇率は 1.3~1.6℃/m でばらつきが少ない地域である。

前回調査と比べると、地下水位は練馬第 2 で 7.1m と最も上昇し、その他は 2~6m 上昇している。

極小温度はいずれも僅かに上昇している。極小温度の深度は練馬第 2 が約 20m 深くなっている。

地下水温度上昇率は前回調査とほぼ同じである。

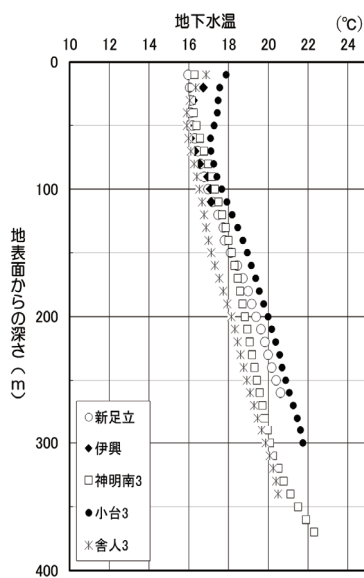


図-3 低地北部の地下水温度分布

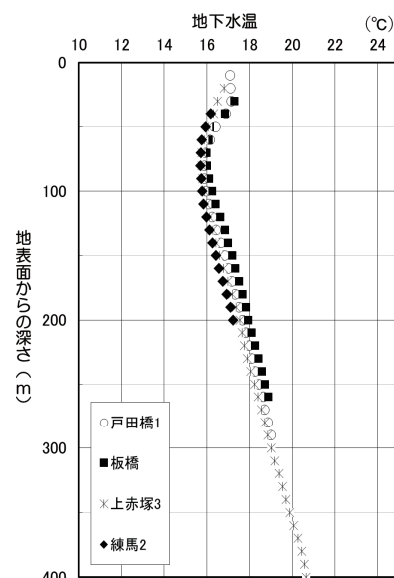


図-4 台地北部の地下水温度分布

この地域は、いずれの項目についてもばらつきの少ない地域である。

4) 台地南部～都心地域 (図-5、表-1)

地下水位は目黒川の河谷底に位置する目黒の 4m を除き、8.6～24.3m と幅があり、周辺の揚水井の影響を受けている地域である。

地下水温は、杉並、新宿、世田谷は 17～18℃ 台で始まっているが、千代田は 19℃ 台、目黒は 21℃ 台でかなり高い温度である。設置箇所の周辺の影響が大きいと考えられる。その後、地下水温は次第に低下していくのが、目黒は一旦 22℃ 近くまで上昇してから低下し始めるなど特異な形である。その後、極小温度まで急激に低下している。

目黒、千代田第 2 は極小温度 16.7℃、16.8℃ と高い方に属するが、他の観測井は、15.7～15.9℃ で区部北部地域と差はない。極小温度の深度は深く、最も浅い杉並で 68～72m、一方、千代田第 2 は 90～98m である。地表部の土地利用や熱的影響が深くまで及んでいると考えられる。

最終地下水温は、200m を超える観測井がないので全体的に低めであるが 16.2～17.9℃ である。

また、地下水温上昇率は新宿と千代田第 2 が 0.8℃/m と小さいが、その他の観測井は 1.3～1.6℃/m で北部地域と差はない。新宿と千代田第 2 が小さいのは極小温度の深度がかなり深いことや井戸の深さが浅いことが影響している可能性がある。

前回調査と比べると、地下水位は、目黒を除き 1～3m 程度上昇している。目黒は僅かであるが低下している。

極小温度は、世田谷、目黒が前回と比べて 0.3～0.4℃ 大きいですが、その他の観測井は区部北部地域と同程度である。地下水温上昇率は、杉並を除き 0.1～0.3℃/m 小さくなっている。極小温度の深度は、世田谷、目黒が 10m 以上深い。

5) 多摩北部地域 (図-6、表-1)

地下水位は 20～70m 台と幅が広い。東大和第 3 は深さ 76.5m で今回調査の最も深い値である。

地下水温は 15～16℃ 前後で始まり、次第に低くなりなっている。極小温度は 15.4～15.6℃ で幅が狭く、温度も低い値である。極小温度の深度はいずれの観測井も 4～6m の幅があり、中央深度でみると 70m 台から 140m 台で深い地域である。清瀬第 3 で 98～104m、東村山第 3 で 146～150m と極めて深い状況である。

最終深度は東久留米第 3、清瀬第 3 で 440m、最終地下水温は 20.6℃ と 19.7℃ である。

また、地下水温上昇率は 0.9～1.4℃/m とやや小さい状況である。

前回調査と比べると、地下水位は 2.0～6.5m 上昇している。極小温度は僅かに高くなっている。極小温度の深度は僅かに深くなっている程度である。地下水温上昇率は東大和第 3 が僅かに 0.2℃/m 大きくなっているが、他は変化していない。最終地下水温もほとんど変化はない。

この地域の特徴は、深さの割に地下水温が低く、地下水温上昇率も低い地域である。

6) 多摩中南部～東部地域 (図-7、表-1)

地下水位は、多摩川右岸の稲城で 10m 程度、多摩川左岸の調布第 4、府中第 3 で 20～30m 台、武蔵野台地の中央部の小金井第 3、三鷹第 2 は 40～50m 台

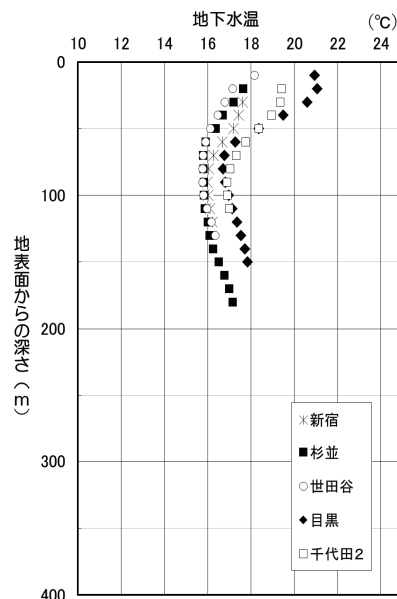


図-5 台地南部～都心の地下水温分布

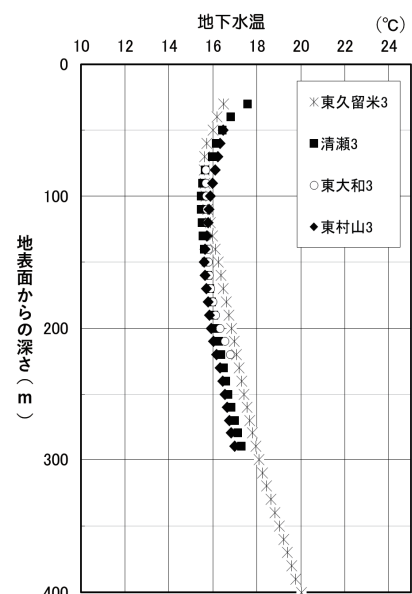


図-6 多摩北部の地下水温分布

と深く、多摩川沿いと武蔵野台地中央部ではかなり差がある。なお、新多摩については前回調査時点で既にマイナスであり、今回はさらに上昇し自噴状態になっていることから、計測データはスクリーンから下部のみであるので除いている。

地下水温は、16～17℃台から始まり、府中第3を除き単調に低くなっていく。

極小温度は15.5～17.0℃の幅があり、ばらつきの大きい地域である。極小温度の深度はいずれも2～10mの幅があり、中央深度で見ると、多摩川沿いの稲城、調布で30～40m台、三鷹第2で80m台後、小金井第3で100m台と武蔵野台地中央部に向かって深くなっている。多摩川に近い府中第3でも概ね130mと深い状況になっている。極小温度の深度が100mを超える観測井が府中第3から小金井第3、東村山第3、清瀬第3まで繋がるのは、多摩川や武蔵野台地表層部などからの雨水や地下水の浸透メカニズムに関連していると考えられ興味深い。また、府中第3は極小温度になる前に一旦深さ80m程度で僅かに増温しており、何らかの要因があると考えられる。

最終深度は160m台～290m台で、最終地下水温は18.1～19.4℃である。

また、地下水温上昇率は稲城と府中の多摩川に近いところが1.9～2.0℃/mとやや高く、その他は1.3～1.4℃/mで、多摩北部地域と変わらない。

前回調査と比べると、地下水位は新多摩、稲城を除き、概ね5～10mも上昇している。これは調布第4、府中第3、小金井第3、三鷹第2が設置されている4市の揚水量がこの期間中(2001-2016年)¹²⁾に大きく減少し、4市合計約5万3千m³/日、率にして32%削減されたことによるものと考えられる。

極小温度はいずれも0.1～0.3℃高くなっている。

極小温度の深度は、前回調査で極小温度が認められなかった調布第4、自噴している新多

摩を除くと、僅かに深くなっているが、小金井第3は15m近く深くなっている。

地下水温上昇率は、小金井第3の変化なしを除き、0.1～0.3℃/m小さく、区部台地部と同じ程度である。

7) 多摩地区西部地域(図-8、表-1)

地下水位は相対的に多摩川に近い立川第2、八王子第2の10m未満～20m台を除き、昭島第2、武蔵村山第3では50～60m台と深くなっている。

地下水温は15～17℃で始まり、昭島第2を除き単調に低くなっている。極小温度は15.8～16.3℃で、多摩地区ではやや高め地域である。極小温度の深度は70～80m台でかなり深い地域である。

この地域の最大の特徴は地下水温上昇率が極めて高いことである。極小温度の下限から急激に上昇し2.1～2.9℃/mになっている。相対的に低い八王子第2でも2.1であり、武蔵村山第3、昭島第2では2.7と2.9を記録している。今回の調査では最も地下水温上昇率の高い地域である。この地域には立川断層¹⁴⁾があることや基盤岩が浅い^{15)～17)}ことなどが影響して可能性がある。

前回調査と比べると、地下水位は3～10m弱上昇し、昭島第2で9.8m上昇している。

極小温度の深度は、前回調査で極小温度がなかった武蔵村山第3で70m付近に形成された他、ほぼ同じか、10m弱程度深くなっている。

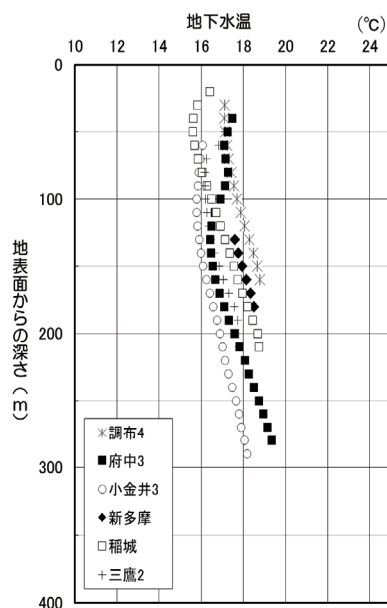


図-7 多摩中南部～東部の地下水温分布

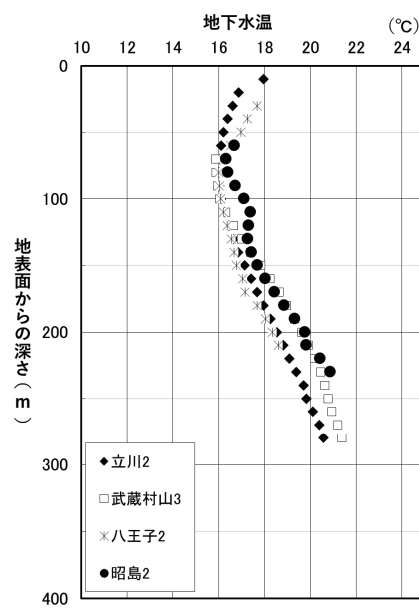


図-8 多摩西部の地下水温分布

地下水温上昇率は、立川第2で0.2°C/m大きくなっているが、その他は大きな差はない。

(2) 府中～戸田橋断面(図-1A-A'断面、表-1)

地下水の流動状況がわかりやすい地域として、多摩地区(府中)から区部北部(戸田橋)にかけての南西-北東方向の断面について、水理水頭の分布を図-9に、地下水温の分布を図-10に示した。

図-9の各スクリーン脇の数値は、各観測井の地下水位¹⁰⁾、¹¹⁾をT.P.換算して求めた水理水頭値である。また、各図の左下の網掛け部分は、都内の主要帯水層の下限になる北多摩層¹⁸⁾(固結シルト層を主体とした地層)の出現部分で、この部分から上位に厚い帯水層が形成されている。

1) 水理水頭の分布

① 今回(2016年)の分布(図-9上段)

等値線は府中側が概ねT.P.40m、戸田橋側に向かって、斜め下方に次第に低くなり、戸田橋で概ねT.P.0mになっている。

T.P.40~20m等値線が府中-小金井間に、密に分布する一方、小金井を過ぎると急に等値線の間隔が広がり、T.P.10m等値線は練馬-上赤塚にかかっている。小金井~練馬の広い区間がT.P.20~10m等値線区間になっていることが特徴である。

地下水の流れる方向は水理水頭の高い方から低い方に向かって流れることから、府中側から戸田橋側に向かって次第に深くなりながら流れていることが読み取れる。これは、従来から指摘¹³⁾されている多摩川や多摩川沿いの立川段丘面などからの地下水の浸透パターンを示している。

② 前回(2001年)の分布(図-9中段)

等値線は府中側が概ねT.P.40m、戸田橋側が概ねT.P.0mであり、今回調査と大きな変化は少ないが、T.P.10m等値線が練馬付近から小金井までやや上向きの舌状に張り出すように分布していた。

小金井~戸田橋までの広い範囲がT.P.0~10m等値線区間になっていたのが特徴である。また、T.P.10m等値線のパターンを見ると、練馬付近では武蔵野台地表面層部から地下深部への浸透が推定される。

③ 今回と前回の差分(図-9下段)

断面全域で水理水頭は上昇しているのので0m等値

線はなく、2~9m以上になっている。差分の大きな特徴は、小金井~練馬間、あるいは小金井~上赤塚間の中央部の広い区間で5~9m以上大幅に上昇して

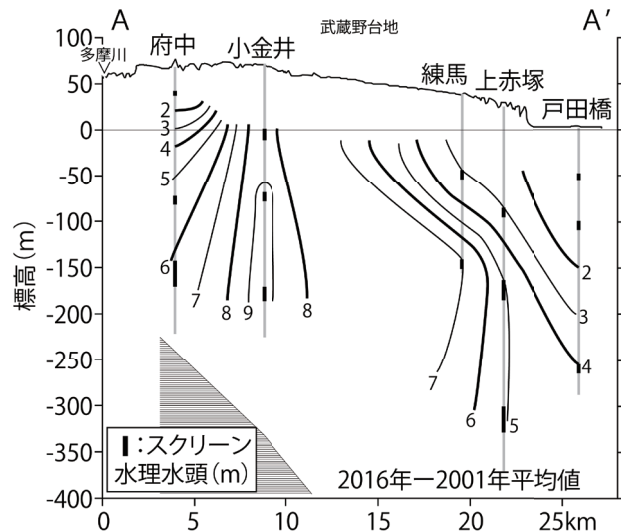
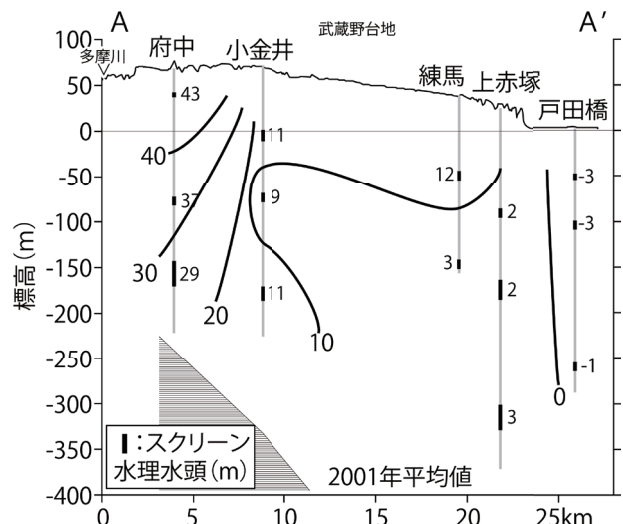
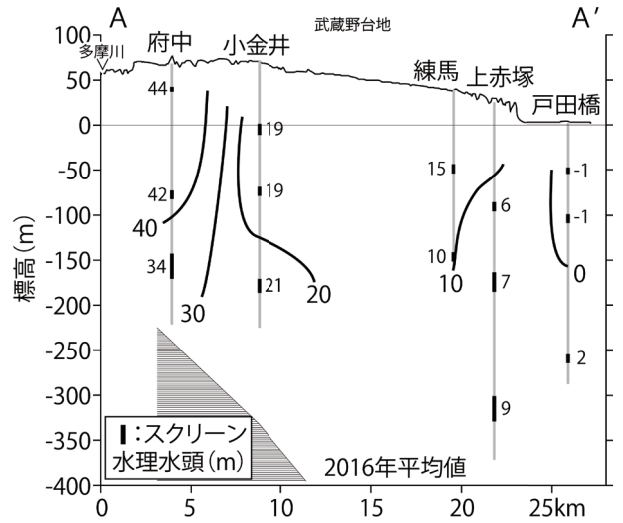


図-9 A-A'断面(府中～戸田橋)の水理水頭の分布

いることである。

これは、この断面が通過する小金井市、西東京市、練馬区の揚水量がこの期間中（2001～2016年）¹²⁾に大きく減少し、合計2万7千m³/日、率にして49%削減されたことにより上昇したものと考えられる。

2) 地下水温の分布

① 今回(2014～2016年)の分布 (図-10 上段)

府中では、T.P. 30mぐらいで17.2℃から始まり次第に低くなり、T.P. -50～-100mの間で極小温度が出現し、その後次第に増温傾向になり、最終深度で19.4℃になっている。一方、戸田橋ではT.P. -30mぐらいで17.0℃から始まり、T.P. -50～-100mの間で極小温度が出現し、その後次第に増温傾向になり最終深度で19.0℃になっている。

極小温度の深度をみると、小金井～練馬では15.8℃等値線を横切るようにT.P. -35～-40mあたりに分布し、府中側、戸田橋側でいずれも深くなっている。

② 前回(2001～2004年)の分布 (図-10 中段)

府中ではT.P. 0m付近で16.4℃から始まり、今回調査と同じパターンで増温していた。極小温度もほぼ前回と同じ付近に出現し、それ以深では増温していた。最終地下水温は今回調査と同じ19.4℃であった。また、戸田橋では、T.P. 0m付近で16.8℃から始まり、今回と同じパターンで増温し、極小温度もほぼ同じ深度に出現している。また、それ以深では次第に増温し最終地下水温に変化はなかった。

次に極小温度の深度分布をみると、府中側、戸田橋側はそれぞれ前回とほぼ同じ深度であるが、小金井第3と練馬第2で概ね15～20m浅かったことがわかる。

③ 今回と前回の差分 (図-10 下段)

今回と前回の差分でマイナスはない。差分は表層部になるほど大きく増温傾向になり、府中で+0.7℃以上、戸田橋で+0.6℃以上を示している。

府中側の温度勾配は、水理水頭の分布パターンと整合的で、帯水層の傾斜方向¹³⁾と一致していることから、帯水層に沿った地下水の浸透が示されている。また、戸田橋～練馬の区間では、帯水層の分布と整合的ではないが、地表層部からの垂直浸透が推定さ

れる。

また、二つの差分図を見比べると、中央部の小金井から練馬または上赤塚にかけて水理水頭が大きく

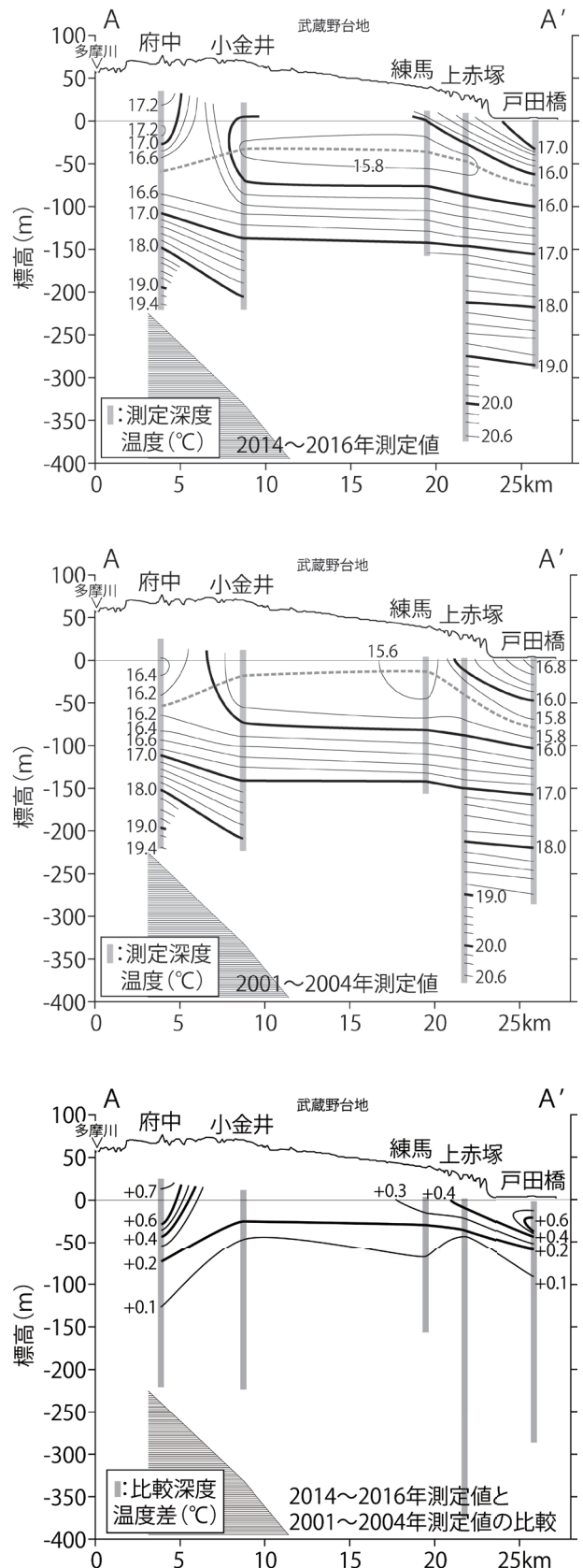


図-10 A-A'断面(府中～戸田橋)の地下水温分布

上昇した区間は、地下水温度差分の $+0.2\sim+0.1^{\circ}\text{C}$ の区間とほぼ一致していることがわかる。また $+0.1^{\circ}\text{C}$ と $+0.2^{\circ}\text{C}$ 等値線の形をみると、小金井～上赤塚区間で、全体的に上に凸な形状になっていることがわかる。

これらの特徴を総合的に考えると、前回調査の時点に比べて、この区間の揚水量が大幅に減少したことにより、地下水の浸透が弱くなり、表層部からの熱移送が減少し、地下水温の上昇量が低めに抑えられたと考えることができる。

(3) 地下水温上昇率の分布

地下水温上昇率は地球深部からの熱移送が一定の場合、地層の熱伝導に影響されることから、熱伝導が相対的に高い基盤岩^{14)~17)}や北多摩層¹⁸⁾の固結シルト層などが浅所に分布する地域では相対的に高くなることが想定される。

地下水温上昇率の分布は図-11 のとおりである。上昇率は $0.8\sim 2.8\times 10^{-2}\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{m}$ であり、場所により3倍以上の差がある。

低地部は全体的には1.5前後であるが、詳しく見ると、南部地域は小さめの1.0～1.2であり、小台第3、吾嬬B、亀戸第2にかけては2.0～2.5と大きな

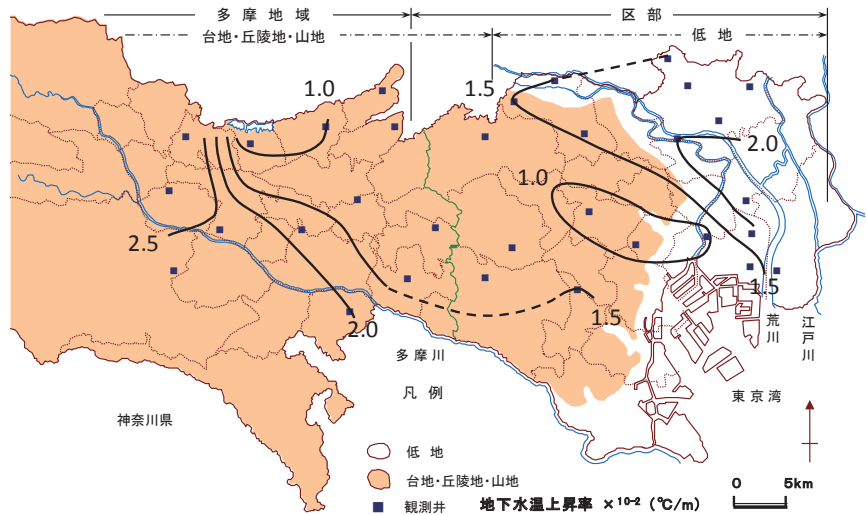


図-11 地下水温上昇率の分布

値になっている。

区部台地部は全体的に1.5前後が多い。詳しく見ると、北部地域では1.3～1.6であり、変動幅は小さく、低地部よりやや小さい状況である。一方、南部～都心地域では、新宿と千代田が今回調査で最も小さい0.8を示している。

多摩地区は1.0～2.5の等値線があり、北部で小さく、南部から西部で大きな値を示している。

詳しく見ると、北部地域は0.9～1.4と低い地域である。南部地域は1.3～2.0であるが、多摩川沿いの新多摩、稲城がやや大きい値を示している。これは浅所¹⁸⁾に北多摩層の固結シルト層があるからと考えられる。西部地域は2.1～2.7と今回の調査では最も

大きい地域である。立川断層¹⁴⁾や浅所の基盤岩^{15)~17)}があるからと考えられる。

今回の地下水温上昇率の分布形状は2001年調査⁵⁾とあまり変わりはないが、数値的に見ると、僅かに小さくなったところが半数以上あり、また、大きくなっているところも数箇所あることから個別の精査が必要である。

(4) 極小温度の深度分布

極小温度の深度は表層部からの熱移送と地球深部からの

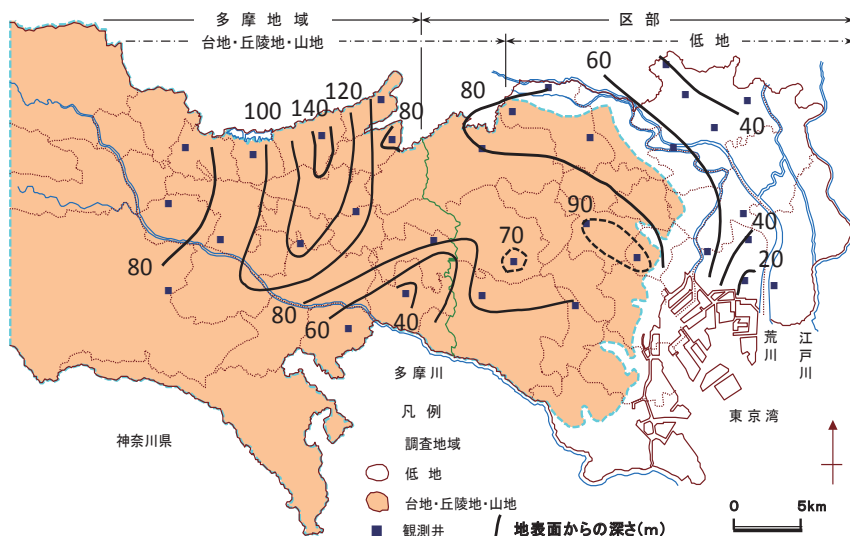


図-12 極小温度の深度分布

熱移送が相対的にバランスする深度に形成されることから、東京などの都市化の進んだ地域では、熱移送を伴う河川水や地下水の浸透は、地下水温を上昇させる方向に働くことになる。また、その場所の地形、地質、帯水層の透水性の違いなどの影響も受け、人工的な地下水揚水の影響も受けることになる。極小温度の深度分布図は図-12 のとおりである。

深さは20m未満から140m以上まであり、かなり幅が広い。全体的には低地部が浅く、区部台地部が70～90m台、多摩地区は40m未満もあるが、60～140m台まであり幅が広い。

詳しく見ると、低地部の南東部と北東部が40m以下でその他は60m台である。そのうち、南砂町第2は20m未満で、今回調査では最も浅いところである。

区部台地部は80m台であるが、杉並で70mとやや浅く、都心地域の新宿、千代田第2は90mを超えている。一方、多摩地区は北多摩層¹⁸⁾が浅部にある南部の調布第4が40m以下と浅い他はかなり深い。特に、東村山から府中にかけて100～140m以上の深い谷が南北方向に形成されている。

低地部が比較的浅い理由として、表層部に透水性の低い粘性土の沖積層が厚く広く分布していることから表層部からの影響が及び難しく、水循環の遅い地域であると考えられる。また、この地域は戦前から地下水開発が進められ、戦後は、高度成長を支えるため、さらに開発が加速された地域でもある。地下水開発が始められて既に100年近くの年数が経過し

ているにも関わらず、表層部からの影響が深くまで及んでいないことがわかる。この特性がこの地域で激しい地盤沈下を発生させた素因のひとつなると考えられる。

一方、多摩地区の府中～東村山にかけて延びる地域は、揚水量の多い地域、地下水位の低い地域、多摩地区の地盤沈下の激しかった地域と一致している訳ではない。帯水層の透水性が高く、河川水や地下水の浸透が活発な地域のため、表層部からの影響が深部にまで及んでいると考えられる。今後詳細な調査が必要である。

4. 共同研究の概要

今回の共同研究の概要は以下のとおりである。

(1) 共同研究の名称

東京都における地下水の流動に関する研究

(2) 研究目的

東京都平野部における地下水の流動特性を把握し、適切な地下水管理手法を確立するための一助とする。

(3) 実施時期

平成24年12月28日～平成27年3月31日

平成27年4月1日～平成29年3月31日(延長)

(4) 実施項目と分担

① 地下温度の測定とモニタリング(産総研)

② 地下水試料の採取、化学分析(産総研、秋田大)

③ 過去地下水データの再解析(当センター)

④ データの取りまとめと地下水の流動特性の検討(当センター、産総研、秋田大)

(5) 主たる従事者

① 産総研: 活断層火山研究部門、水文地質研究グループ主任
 研究員: 宮越昭暢(H24.12.28～H29.3.31) 他

② 秋田大学: 教育文化学部教授: 林 武司(H24.12.28～H29.3.31)

③ 当センター: 技術支援課地下水・基準点情報担当: 山田泰

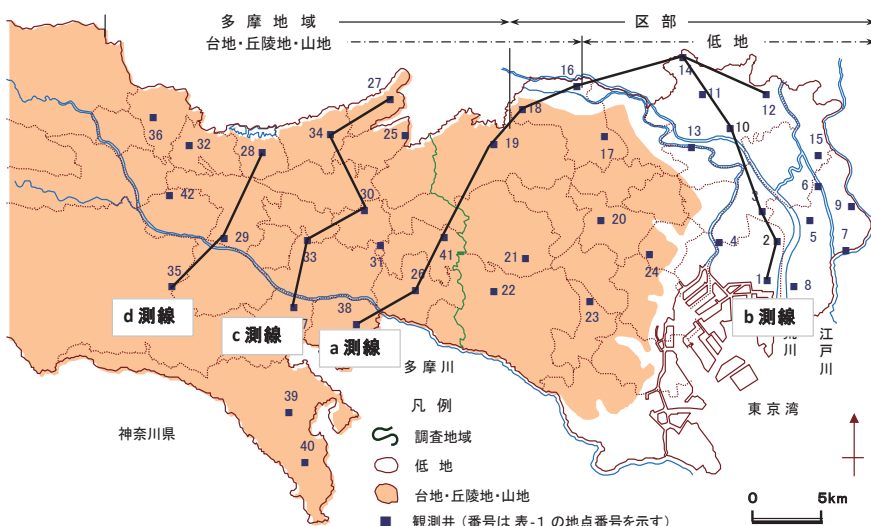


図-13 a～d 測線位置図

表-2 地下水温の調査一覧

番号	測線名	地点No	鉄管No	観測井名	設置年月	観測井の深さ (m)	スクリーンの深さ (m)	観測井の口径 (cm)	筑波大			前回**				今回**				モニタリング	化学分析		
									1990	1991	1992	2001	2003	2004	2005	2013	2014	2015	2016			2018	
1	b	1	研 15	南砂町第1	昭 29. 5	70	65~ 70	20															
2			研 23	南砂町第2	昭 36. 3	130	125~130	20		△	△		●										
3	b	2	研 12	亀戸第1	昭 27. 6	61	56~ 61	20							○	○	○				◎		
4			研 22	亀戸第2	昭 35. 6	144	139~144	20		△	△		●			○	○	○	●	○		◎	
5	b	3	研 13	吾儘 A	昭 28. 5	47	42~ 47	20									○						
6			研 16	吾儘 B	昭 30. 6	115	108~115	20					●					●					
7		4	研 65	両国第1*	昭 49. 3	38	35~ 37	8															
8			研 66	両国第2	昭 49. 3	126	76~ 87	20		△	△	■										●	
9		5	研 29	新江戸川第1	昭 38.11	29	60~ 70	5				□				○							
10			研 41	新江戸川第3*	昭 41.12	450	313~346	10		△	△	■				○							
11		7	研 40	江戸川東部第3*	昭 45. 3	400	291~306	15		△	△	■											
12			研 49	小島第2	昭 47. 3	80	70~ 77	20										○					
13		8	研 50	小島第3	昭 47. 3	150	123~134	20									○						
14			研 51	小島第4*	昭 47. 3	270	212~229	15		△	△	■						○				●	
15	b	10	研 54	篠崎第3*	昭 47. 3	340	300~315	15		△	△												
16			研 32	新足立	昭 43. 3	270	224~234	20										●					
17	b	11	研 55	伊興	昭 47. 6	120	87~115	20															
18	a	12	研 42	神明南第1	昭 46. 3	110	99~104	20															
19			研 43	神明南第2	昭 46. 3	180	170~177	20									○		○				
20		13	研 44	神明南第3*	昭 46. 3	380	304~330	15		△	△	■											
21			研 103	小台第1	平 2. 3	50	40~ 45	20											○				◎
22		14	研 104	小台第2	平 2. 3	170	148~160	20															
23			研 105	小台第3*	平 2. 3	300	212~234	15		△	△	■											◎
24	a, b	14	研 62	舎人第1	昭 49. 3	27	22~ 27	7															
25			研 63	舎人第2*	昭 49. 3	200	172~184	15		△	△							○					
26		16	研 64	舎人第3*	昭 49. 3	340	290~302	15															
27			研 24	戸田橋第1*	昭 36. 6	290	258~268	8		△	△	■											
28	a	17	研 25	戸田橋第2*	昭 36.10	113	103~113	8															
29			研 26	戸田橋第3	昭 37. 9	60	51~ 59	20															
30		18	研 36	板橋	昭 44. 3	270	188~199	20		△	△	■				○							
31			研 56	上赤塚第1	昭 48. 3	150	111~122	20															
32	a	19	研 57	上赤塚第2*	昭 48. 3	250	189~211	15		△	△												
33			研 58	上赤塚第3*	昭 48. 3	400	327~355	15															
34	a	20	研 34	練馬第1	昭 44. 3	100	87~ 97	20								○	○	○	○	○		◎	
35			研 35	練馬第2	昭 44. 3	200	185~195	20		△	△	■						○	○	○	○	●	○
36		21	研 33	新宿	昭 44. 1	130	114~125	20															
37			研 110	杉並	平 5. 3	180	115~143	15															
38	22	22	研 111	世田谷	平 6. 3	130	87~109	20															
39			研 112	目黒	平 6. 3	156	125~147	20															
40		24	研 113	千代田第1	平 7. 3	33	19~ 28	20															
41			研 114	千代田第2	平 7. 3	113	92~109	20															
42	25	25	研 59	東久留米第1	昭 49. 3	92	85~ 90	20															
43			研 61	東久留米第3*	昭 48. 2	441	393~417	15		△	△	△											
44	a	26	研 67	調布第1	昭 50. 3	26	20~ 25	20															
45			研 68	調布第2	昭 50. 3	56	43~ 53	20															
46			研 69	調布第3	昭 50. 3	101	84~ 95	20															
47			研 70	調布第4*	昭 50. 3	171	146~162	15		△	△	△	■										
48	c	27	研 71	清瀬第1	昭 50. 3	94	77~ 83	20															
49			研 72	清瀬第2*	昭 50. 3	207	158~186	15		△	△	△	□										
50		28	研 73	清瀬第3*	昭 50. 3	450	385~407	15															
51			研 74	東大和第1	昭 53. 3	92	75~ 81	20															
52	d	29	研 75	東大和第2*	昭 53. 3	175	154~165	15															
53			研 76	東大和第3*	昭 53. 3	260	226~248	15		△	△	△	■										
54	d	30	研 77	立川第1	昭 54. 3	108	90~102	20															
55			研 78	立川第2*	昭 54. 3	280	238~255	15		△	△	△											
56	c	31	研 79	小金井第1	昭 55. 3	95	71~ 83	20															
57			研 81	小金井第3*	昭 55. 3	296	243~259	15		△	△	△	■										
58		32	研 109	小金井南第2*	平 4. 3	210	167~189	15															
59			研 82	武蔵村山第1	昭 56. 3	103	94~100	20															
60		33	研 83	武蔵村山第2*	昭 56. 3	189	164~175	15		△													
61			研 84	武蔵村山第3*	昭 56. 3	280	254~265	15		△	△												
62	c	33	研 85	府中第1	昭 57. 3	34	28~ 33	20															
63			研 86	府中第2	昭 57. 3	174	142~153	15															
64			研 87	府中第3*	昭 57. 3	290	213~241	15		△	△	△	■										

(注) : 観測井名 : *印 : 二重管式観測井、△ : 筑波大で実施 (本報告では使用しない) ■ : 14年報で報告(□ : 未使用) ● : 本年報で報告(○ : 未使用)
 モニタリング、化学分析欄 : ◎ : 実施観測井 ** : 2002年、2007年は計測していない

表-2 地下水温の調査一覧(続き)

番号	測線名	地点No	鉄管No	観測井名	設置年月	観測井	スクリーン	観測井	筑波大					前回**					今回**					モニタリング	化学分析	
						の深さ (m)	の深さ (m)	の口径 (cm)	1990	1991	1992	2001	2003	2004	2005	2013	2014	2015	2016	2018						
65			研 88	東村山第1	昭 58. 3	44	37~42	20																		
66	c	34	研 89	東村山第2*	昭 58. 3	201	170~181	15	△																	
67			研 90	東村山第3*	昭 58. 3	294	257~273	15		△	△															
68	d	35	研 91	八王子第1	昭 59. 3	105	88~100	20																		
69			研 92	八王子第2*	昭 59. 3	220	148~175	15	△	△	△															
70		36	研 94	瑞穂第2*	昭 60. 3	180	142~169	15	△	△	△	■														
71	c	37	研 115	新多摩	平 11. 2	180	92~125	20																		
72	a	38	研 96	稲城*	昭 62. 3	220	189~211	15		△	△															
73		39	研 98	町田第2*	昭 63. 3	190	147~169	15		△	△															
74		40	研 107	町田南第2*	平 3. 3	225	176~203	15		△	△															
75			研 99	三鷹第1	平元. 3	118	97~113	20				□					○	○	○							◎
76	a	41	研 100	三鷹第2*	平元. 3	260	178~233	15	△	△	△	■					○	○	○							
77			研 101	昭島第1	平 2. 3	110	92~103	20																		
78		42	研 102	昭島第2*	平 2. 3	236	187~210	15	△	△	△	■														

(注)：観測井名：*印：二重管式観測井、△：筑波大で実施(本報告では使用しない) ■：14年報で報告(□：未使用) ●：本年報で報告(○：未使用)
モニタリング、化学分析欄：◎：実施観測井 **：2002年、2007年は計測していない

三係長 (H24. 12. 28~H25. 3. 31)、隼瀬健后係長 (H25. 4. 1~H26. 3. 31)、落合成泰課長代理 (H26. 4. 1~H29. 3. 31)、川島眞一技術情報専門員 (H24. 12. 28~H29. 3. 31)、川合将文土木技術専門員 (H24. 12. 28~H29. 3. 31)、國分邦紀土木技術専門員 (H26. 4. 1~H29. 3. 31)、(職名：在職最終)

(6) 実施内容

1) 地下水温の測定

観測井別の実施状況は表-2 中の今回調査の部分である。計測線(図-13)を設定し、ローテーションを組んで実施した。

- ① a 測線：2013~2014年、② b 測線：2015年、
- ③ c 測線・d 測線：2016年

2) 地下水温のモニタリング(6箇所)

定深度の地下水温の連続モニタリングを2013年度から開始した。

- ① 区部：亀戸第2、練馬第1、目黒、世田谷、
- ② 多摩：立川第1、武蔵村山第1

3) 地下水試料の採取、化学分析

単管式構造の観測井から揚水と試料採取

- ①区部：亀戸第1(2014、2015年)、小台第1(2015年)、②多摩：立川第1、三鷹第1(2016年)

4) 過去地下水データの再解析

過去の地下水データの電子化として、水質に関わる報告等の散逸を防ぐため、報告書類の電子データ化を実施した。

5) データ取りまとめと地下水の流動特性の検討

前期と後期の報告書を作成した。

6) 成果の公表

本共同研究の調査成果は、三機関の研究担当者の連名で地球惑星科学連合大会^{20,21)}においてポスターセッションや口頭で発表を行った。

5. まとめと今後の調査の方向性

(1) まとめ

① 都内7地域の地下水温の深度別の傾向や地下水温上昇率の分布は前回(2001-2004年)と比較して大きな差がないことが明らかになった。

② 極小温度は、低地部で15.6-17.2℃と比較的高く、台地部及び多摩地区では、西部地域、多摩川沿い、都心部を除くと15.4~15.8℃と低い値であること、また、その深度は低地部では浅く深さ20~40m程度、深くても60m程度であること、一方、台地部から多摩地区では、多摩川沿いの一部を除き70~90mと深く100~140mを越えるところもあり、全体的に深い地域であり、前回と比べて全般的に深くなっていることが明らかになった。

③ 低地部には、透水性の低い粘性土の沖積層が厚く広く分布しているため、表層部からの浸透がし難く、水循環の遅い地域であることと、この特徴が激しい地盤沈下の素因のひとつになっていると考えられる。一方、区部台地部から多摩地区では、地表部からの浸透が深部にまで及んでいることが明らかになった。

④ 府中～戸田橋の断面では、多摩川側からの地下水温の高い地下水の浸透と武蔵野台地表面層部からの浸透がかなり深部にまで及んでいること、また、揚水量の削減が地下水流動を変化させている状況が明らかになった。

⑤ 共同調査を通して、高精度の地下水温データが得られ、地下水の流動調査に活用できた。また、国の研究機関、大学との共同、連携することで、より高度な情報、知見、ノウハウが得られた。

⑥ 本報告は今回の調査で得られた地下水温の基礎データについての報告が中心であった。今後はより詳しく解析を進める予定である。

(2) 今後の調査の方向性

1) 設定4測線の定期的な繰り返し計測

平成13年(2001年)以降の地下水温調査の実施状況は表-2のとおりである。全観測井92井中78井について実施したことになる。

① 未実施の観測井があるのでそれらの観測井の計測を実施する。

② 都内の帯水層は広く埼玉県側にも連続して分布していることを考慮して4計測線(図-13)を設定した。これらの測線の繰り返し計測は、都内の地下水の流動状況を評価できるだけでなく、埼玉県側の調査と連携することで、関東平野南西部から南部の広域的な地下水の流動状況についても評価することが可能になる。

2) 定点、定深度での連続モニタリング

定点で複数の定深度で連続して地下水温を計測することで、帯水層中の地下水の垂直流動や経時的な変動を評価することができる。また、測線データと組み合わせることで、広域的な地下水の流動状況をより詳細に評価することが可能になる。

3) シミュレーション技術の導入

既に気象情報では高度なシミュレーション技術が実用化されているが、地下水分野についても様々な三次元シミュレーションが提案されている。地下水温データを組み込むことで、精度の向上や長期変動を検証、評価することが可能となる。また、CG技術と結びつけ、地下水の動きを「見える化」することにより、地下水をより身近な存在として情報の共

有化の促進に貢献することができる。

4) 観測井等の施設の維持管理

平成26年に水循環基本法²²⁾が公布、施行され、地下水の法的な考え方が大きく変化した。地下水は地球をめぐる大きな水循環の一部として、また公共性の高い国民共有の財産として位置づけられ、持続可能な健全な水循環の重要性が示された。国は平成27年「水循環基本計画」を策定し各施策を進めていることから、水循環に関わる取り組みが都政の重要な一分野になることが想定される。

地下水を大きな水循環に位置づけ、適切に管理していく上で、地下水の流動実態の解明と地下水に関わる関係者間の協議や連携、情報共有などが重要になってくる。その際、地下水に関わる良質で蓄積されたデータや正確な情報は必要不可欠なものであることから、担当する職員の育成と基盤としての観測施設等の長期的な維持管理は必須条件である。

現在、地盤沈下を地下水位の変動から監視するために設置されている観測井であるが、今後は、地盤沈下監視機能を基本的に維持しつつ、水循環に関わる調査や観測ができる施設として利活用することが必要になると考える。

その他、地下水の流動に直接関わる分野以外にも、例えば、「東京都環境基本計画」(平成27年度策定)において、再生可能エネルギーとして位置づけられている地中熱について、「東京地中熱ポテンシャルマップ」を作成する際、基礎データとして提供したこともある。本データにより、地中熱の利用状況の評価や長期的な影響についても評価することが可能になる。また、都心部にある新宿や千代田などでは、都市化の進展による地中構造物からの地下排熱の状況や地中温暖化の長期評価にも活用することができるであろう。

5) 大学や国機関等との連携

現在、大学や国機関等において自治体と様々な共同・連携した事業が進められている。これらの動向を踏まえ、積極的に共同・連携することで高いレベルの情報や知見が得ることができ、担当職員の技術力アップに繋がり、職務執行の高度化・効率化等に役に立つものとする。

参 考 文 献

- 1) 佐倉保夫 (1984): 温度による地下水調査法、日本地下水学会誌、Vol. 26、No. 4、pp.193-197.
- 2) 榎根勇 (1994): 多摩川水系の地表水と地下水の交流に関する研究、公益財団法人とうきゅう環境財団学術研究成果報告書、310p
- 3) Dapaah-Siakwan, S., Kayane, I., and Ishii M. (1995): Qualitative study of subsurface temperature distribution in the semi-confined aquifer system of Tokyo, Japan, Journal of Japanese Association of Hydrological Sciences, 25, 153-169.
- 4) TANIGUTHI, M., SHIMADA, J., TANAKA, T., KANAYE, I., SAKURA, Y., SHIMANO, Y., DAPAAH-SIAKWAN, S. and KAWASHIMA, S. (1999): Disturbances of temperature-depth profiles due to surface climate-change and subsurface water flow: (1) An effect of linear increase in surface temperature caused by global warming and urbanization in the Tokyo metropolitan area, Japan, Water Resour. Res., Vol. 35, pp.1507-1517.
- 5) 川合将文、川島眞一、石村賢二、富田実、中嶋庸一 (2002): 観測井を利用した地下水温の測定結果、平 14 都土技研年報、437-442
- 6) 宮越昭暢、林 武司、丸井敦尚、佐倉保夫、川島眞一、川合将文(2006): 地下温度からみた東京低地における地下水環境変化の評価、応用地質、47 巻 5 号 p. 269-279
- 7) 宮越昭暢、内田洋平、佐倉保夫、林 武司 (2003): 地下温度分布からみた関東平野の地下水流動、日本水文科学会誌、Vol. 33、No. 3、pp.137-148.
- 8) 東京都土木技術支援・人材育成センター (2019): 平成 30 年地盤沈下調査報告書
- 9) 佐倉信夫 (2000): 気候変動に伴う地下の熱環境変化: 陸水学雑誌、Vol.61、p. 35-49
- 10) 川合将文、國分邦紀、川島眞一、松村真人 (2017): 地盤沈下と地下水位の観測記録(平成 28 年)、平 29. 都土木技術支援・人材育成センター年報、155-190
- 11) 石村賢二、川島眞一、川合将文 (2002): 平成 13 年の地盤沈下、地下水位観測記録、平 14. 都土木研年報、381-416
- 12) 東京都環境局 (2019): 平成 29 年都内の地下水揚水の実態 (地下水揚水量調査報告書)
- 13) 石井 求、遠藤 毅、川島眞一、川合将文 (1975): 被圧地下水の流動に関する研究(1)、昭 50. 土木技研年報、183-205
- 14) 川島眞一、川合将文 (1980): 武蔵村山市付近の地下地質、昭 55. 都土技研年報、225-234
- 15) 遠藤 毅、川島眞一、川合将文(1978): 立川市付近の地下地質、昭 53. 都土技研年報、367-377
- 16) 川島眞一、川合将文、遠藤 毅、石井 求 (1984): 八王子市付近の水文地質、昭 59. 都土技研年報、261-270
- 17) 川島眞一、川合将文、遠藤 毅、石井 求 (1990): 武蔵野台地西部の水文地質、平 2. 都土技研年報、249-258
- 18) 遠藤 毅 (1978): 東京都付近の地下に分布する第四系の層序と地質構造、地質学雑誌、Vol.84、No. 9、p. 505-520
- 19) 遠藤 毅、川島眞一、川合将文(2001): 東京下町低地における“ゼロメール地帯”展開と沈静化の歴史、応用地質、42 巻、2 号、74-87
- 20) 宮越昭暢、林 武司、川合将文、川島眞一、國分邦紀、濱元栄起、八戸昭一 (2015): 首都圏における地下温度の経年的な上昇とその要因、2015 年地球惑星科学連合大会、ポスター発表
- 21) 宮越昭暢、林 武司、川合将文、川島眞一、國分邦紀、濱元栄起、八戸昭一 (2017): 首都圏における地下温度の経年的な上昇とその要因—地下温度の長期変化に認められる地下水開発の影響—、2017 年地球惑星科学連合大会
- 22) 千葉知世 (2018): 地下水行政の歴史的変遷、地下水学会誌、Vol. 60、No. 4、391-408