

## 9. 多摩地域における地下水位変動と揚水量の定量的な相関関係における基礎的考察

### Basic Study on the Correlation between Groundwater Levels and Amounts of Groundwater Pumped in Tama Region

技術支援課 石原成幸、高崎忠勝（現 河川部）

#### 1. はじめに

昨年7月、水循環基本法が施行され、地下水が公共性を有する存在として認知されるに至った。一方、東京における水循環の健全化の視点からは、自然涵養量を超えた地下水揚水など、その障害は今なお解消されていない<sup>1)</sup>。また、東京の地盤沈下は法令等による規制の結果として沈静化しているが、地下水利用の再開に伴う地盤沈下の再燃などが懸念されており、地下水の健全化と適正利用の側面からは、地下水監視等に基づく管理が非常に重要となってくる<sup>2)</sup>。

これまで、東京都土木技術支援・人材育成センター（以下、「センター」と記す）等による調査の結果、東京都内（島嶼・山地部を除く）における被圧地下水位変動に関しては、地下水位と揚水量との相関関係が高く、過剰な地下水の汲み上げに起因して地盤沈下を生じたことが明らかになっている<sup>3)~7)</sup>。

また、センターと首都大学東京との共同研究においては、平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震（以下、「東日本大地震」と記す）が東京の短期的並びに長期的な地下水位変動に及ぼした影響について、評価・考察を進めている。これまでの調査結果として、東日本大地震が東京の地下水位変動傾向に極めて特徴的な影響を与えたことが明らかになっている<sup>8)~11)</sup>。

一方、近年の平常時における地下水位と揚水量の相関に関しては、東京都条例に定める揚水量調査報告などとの関係から、関連データの取得が容易でな

く、その相関関係を定量的に明らかにすることが非常に難しい状況にある。しかしながら、今回の共同研究の考察過程において、東日本大地震発生年における地下水位と揚水量との間に一定の定量的な関係性を見出すことができた<sup>11)</sup>。

よって本報では、東日本大地震に起因して生じた地下水位と揚水量の変動における、その定量的な相関関係について、公開されている情報の範囲で基礎的な考察を試みるものである。

#### 2. 地下水位観測の概要・諸元

現在、東京における地盤沈下・地下水位の観測は、図-1に示すとおり山地・島嶼を除く、42地点に設置された地盤沈下・地下水位観測局（以下、「観測局」と記す）で行なわれている。また各観測局には複数の地層の圧密沈下と地下水位変動を観測するため、深度の異なる観測井が設置されている場合があり、

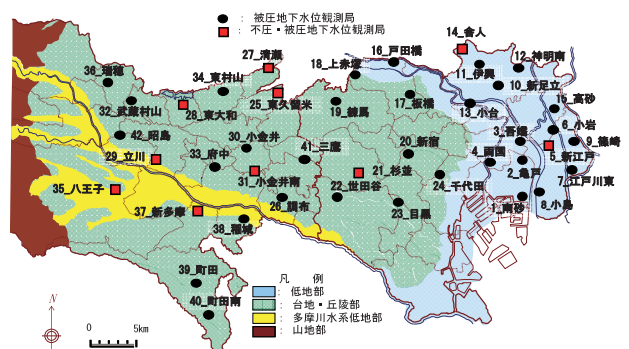


図-1 地盤沈下・地下水位観測局の配置状況

観測井の総数は104井（不圧地下水：13井、被圧地下水：91井）となっている。

表-1には、図-1に示した各観測局の局番、局名、所在地、並びに設置されている地下水位観測井（以下、「観測井」と記す）の諸元（井戸番号、深度、地盤高）を一覧で示す。このうち、舎人観測局（No.14）と新多摩観測局（No.37）の被圧地下水を対象とする各1井、計2観測井については水位障害により自記観測を欠測している。

### 3. 東京における東日本大地震の被害概要

#### (1) 東日本大地震の概要

2011（平成23）年3月11日14時46分、牡鹿半島の東南東の太平洋・三陸沖（北緯38度06.2分、東経142度51.6分）の深さ24kmを震源とするマグニチュード(Mw)9.0の地震が発生し、宮城県栗原市で震度7、宮城県、福島県、茨城県、栃木県内の37市町村で震度6強を観測したほか、東北地方を中心に沖縄県を除く日本全国で揺れを観測した。またこの地震により、東北地方から関東地方にかけての太平洋沿岸で非常に高い津波を観測し、各地で甚大な被害が発生した。

続く当該地震による余震は、岩手県沖から茨城県沖にかけて、震源域付近で密集して発生したほか、陸域の浅い場所でも活動がみられた。最大の余震は、同年3月11日15時15分に発生した茨城県沖を震源とする震度6強(Mw7.6)である。

ここでは、東日本大地震の概要として、図-2に当該地震の本震およびその後の3月18日までに発生した余震(Mw $\geq$ 5.0)の震央分布<sup>12)</sup>を示す。

#### (2) 東日本大地震に伴う東京での被害概要

東日本大地震では、東京においても本震で最大震度5強が9区2市1村、5弱が14区15市で観測されたほか、その後も多くの余震を観測した。

この地震により、千代田区内の建築物において天井が落下し死傷者が発生し、また町田市内の立体駐車場の一部崩落や天井の落下などにより、合計7名が死亡、116名の負傷者が出るなどの被害が生じた。家屋においては全壊・半壊等が3,500棟を超え、火災やブロック塀の倒れる被害が生じた。住家以外で

表-1 地下水位観測局一覧

局番	局名	所在地	観測井No.	井戸深度(m)	地盤高 T.P. (m)
1	南砂町	江東区南砂町	1,2	70 130	-2
2	亀戸	江東区亀戸	1,2	61 144	-2
3	吾嬭	墨田区立花	1,2	47 115	-1
4	両国	墨田区両国	1 <sup>*</sup> ,2	38 126	2
5	新江戸川	江戸川区松島	①,2,3 <sup>*</sup>	10 151	450
6	小岩	江戸川区上一色	1	56	3
7	江戸川東部	江戸川区江戸川	1,2,3 <sup>*</sup>	70 161	400
8	小島	江戸川区西葛西	1,2,3,4 <sup>*</sup>	40 80	150 270
9	篠崎	江戸川区上篠崎	1,2 <sup>*</sup> ,3 <sup>*</sup>	65 265	340
10	新足立	足立区中央本町	1	270	0
11	伊興	足立区伊興	1	120	3
12	神明南	足立区神明南	1,2,3 <sup>*</sup>	110 180	380
13	小台	足立区小台	1,2,3 <sup>*</sup>	50 170	300
14	舎人	足立区舎人	2 <sup>*</sup> ,3 <sup>*</sup> ,④	200	340 16
15	高砂	葛飾区高砂	1	124	1
16	戸田橋	板橋区舟戸	1 <sup>*</sup> ,2 <sup>*</sup> ,3	290 113	60
17	板橋	足立区富士見	1	270	29
18	上赤塚	足立区赤塚	1,2 <sup>*</sup> ,3 <sup>*</sup>	150 250	400
19	練馬	練馬区谷原	1,2	100 200	42
20	新宿	新宿区百人町	1	130	33
21	杉並	杉並区大宮	1 <sup>*</sup> ,②	180 10	37
22	世田谷	世田谷区粕谷	1	130	41
23	目黒	目黒区青葉台	1,②	156 15	17
24	千代田	千代田区紀尾井町	1,2	33 113	15
25	東久留米	東久留米市神宝町	1,2,3 <sup>*</sup> ,④	92 175	441 5
26	調布	調布市調布ヶ丘	1,2,3,4 <sup>*</sup>	26 56	101 171
27	清瀬	清瀬市中清戸	1,2 <sup>*</sup> ,3 <sup>*</sup> ,④	94 207	450 10
28	東大和	東大和市奈良橋	1,2 <sup>*</sup> ,3 <sup>*</sup> ,④	92 175	260 12
29	立川	立川市富士見町	1,2 <sup>*</sup> ,③	108 280	8 75
30	小金井	小金井市桜町	1,2 <sup>*</sup> ,3 <sup>*</sup>	95 162	296 71
31	小金井南	小金井市東町	1,2 <sup>*</sup> ,③	130 210	10 47
32	武蔵村山	武蔵村山市三ツ藤	1,2 <sup>*</sup> ,3 <sup>*</sup>	103 189	280 125
33	府中	府中市武蔵台	1,2 <sup>*</sup> ,3 <sup>*</sup>	34 174	290 69
34	東村山	東村山市久米川町	1,2 <sup>*</sup> ,3 <sup>*</sup>	44 201	294 63
35	八王子	八王子市大和田町	1,2 <sup>*</sup> ,③	105 220	10 109
36	瑞穂	瑞穂町箱根ヶ崎	1,2 <sup>*</sup>	94 180	142
37	新多摩	多摩市関戸	②	10	50
38	稲城	稲城市東長沼	1 <sup>*</sup>	220	37
39	町田	町田市野津田町	1,2 <sup>*</sup>	100 190	62
40	町田南	町田市高ヶ坂	1,2 <sup>*</sup>	60 225	53
41	三鷹	三鷹市牟礼	1,2 <sup>*</sup> ,③	118 260	15 56
42	昭島	昭島市美堀町	1,2 <sup>*</sup> ,③	110 236	13 119

注) 観測井 No. の○数字：不圧地下水観測井

は、道路被害61箇所、がけ崩れ6箇所の被害も発生した。これらに付随し、都内の高層ビル等でエレベーターの長時間停止により、高層階との上下移動に

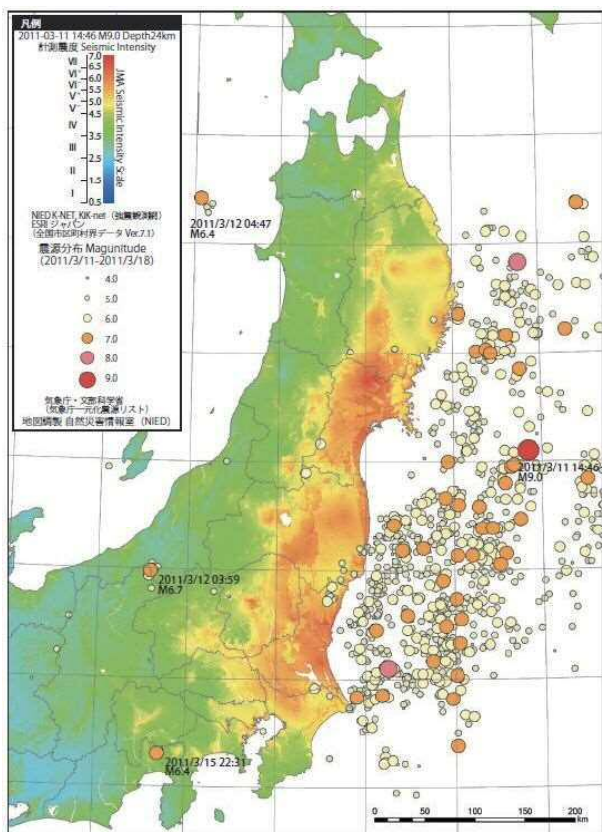


図-2 東北地方太平洋沖地震の震央分布図  
出典：東日本大震災調査報告書<sup>12)</sup>

階段使用を余儀なくされた。

また、都内9区で液状化が発生し、噴砂や浸水などが公園や駐車場などで発生したほか、建物の沈下や傾き、亀裂が入るなどしたことにより56棟に被害が生じた<sup>13)</sup>。

さらに直接的な被害ではないが、東京における社会経済状況に非常に影響を与えたものとしては、交通機関が長時間に亘りストップしたことによる帰宅困難者の発生と計画停電がある。この計画停電では、地下水位観測システムや上水道の水源井にも非常に大きな影響を及ぼし、その影響がシステムの観測停止や水道水源井の揚水停止などの結果として発現した。

ここでは、本報の地下水との関連から、センター近傍の江東区新砂地内で発生した地盤の液状化現象を図-3に示す。

#### 4. 地下水位の季節変動パターン特性の解析

##### (1) 使用データ及び適用手法

前述の共同研究で使用した地下水位データはセン



図-3 液状化の発生状況・江東区新砂（筆者撮影）

ターの地下水位観測システムにより、2003（平成13）年から2012（平成24）年の10箇年における各月の地下水位データを用い、欠測の少ない42観測局（地点）100井における地下水位の年間変動パターンの長期的な変化を抽出した。次に、その得られた月平均地下水位10箇年データについて、複雑なデータの相互関連性を二次元平面に視覚化することでデータ特性の発見等に優れた自己組織化マップ(Self-Organizing Map, 以下「SOM」と記す)を用い、客観的にパターン分類を行っている。

観測対象となる地下水位観測局の局名と局番号等は、図-1・表-1に示したとおりである。また表-2には、今回の解析に使用した平成15(2003)年から平成24(2012)年における各観測井の水位データのうち、9観測局20観測井の詳細を例示した。入力データは、以下の方法により求めた42観測局100井（被圧：87、不圧：13）の10箇年分の月単位の地下水位である。

① 平成15(2003)～同24(2012)年の10箇年(120箇月)に観測された1時間単位の観測データより、 $i$ 観測井の $n$ 年目 $m$ 月における地下水位の月平均値 $x_{i,n,m}$  ( $i=1\sim 100$ ;  $n=1\sim 10$ ;  $m=1\sim 12$ )を求めた。

② 上記の120箇月分の月平均地下水位値( $x_{i,n,m}$ )から、各年における年平均の地下水位値( $\bar{x}_{i,n}$ )を求めた。

③ SOMへの入力データとしては、各観測井における各年1～12月で構成する各月平均水位値から年平均水位値を差し引いた値 $\tilde{x}_{i,n,m}$  ( $=x_{i,n,m}-\bar{x}_{i,n}$ )で、100井・10箇年の合計1,000データとした。

表-2 観測井及び使用データ (抜粋)

局名	井戸No.	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	年
南砂	3-1-1	-0.293	-0.262	-0.192	-0.132	-0.072	0.048	0.078	0.108	0.118	0.148	0.188	0.268	2003
	3-1-2	-0.280	-0.230	-0.190	-0.120	-0.070	0.040	0.070	0.110	0.110	0.140	0.180	0.270	
戸井	3-2-1	-0.336	-0.276	-0.216	-0.126	-0.086	0.044	0.074	0.104	0.114	0.154	0.204	0.324	
	3-2-2	-0.366	-0.296	-0.226	-0.146	-0.086	0.044	0.094	0.114	0.124	0.174	0.234	0.304	
吾郷	3-3-1	-0.478	-0.467	-0.387	-0.258	-0.128	0.053	0.102	0.153	0.193	0.283	0.403	0.533	
	3-3-2	-0.527	-0.487	-0.407	-0.257	-0.127	0.033	0.093	0.163	0.213	0.313	0.433	0.563	
両国	3-4-1	-0.741	-0.681	-0.561	-0.171	0.089	0.179	0.249	0.269	0.299	0.339	0.379	0.399	
	3-4-2	-0.726	-0.666	-0.516	-0.286	-0.056	0.204	0.264	0.304	0.324	0.334	0.364	0.454	
新江戸	3-5-S	-0.134	-0.094	-0.044	0.006	-0.094	-0.014	0.016	0.146	0.006	0.016	0.126	0.046	(H15)
	3-5-2	-0.421	-0.361	-0.271	-0.091	0.079	0.149	0.099	0.049	0.099	0.239	0.359	0.399	
町田	12-39-1	-0.488	-0.508	-0.438	-0.408	-0.228	0.182	0.762	0.732	0.192	-0.198	-0.288	0.672	2012
	12-39-2	-0.114	-0.094	-0.024	0.006	0.036	0.046	-0.024	-0.004	0.036	0.056	0.006	0.006	
町田群	12-40-1	0.977	1.087	1.187	1.187	1.217	0.407	-0.403	-1.383	-2.293	-1.503	-0.533	0.057	
	12-40-2	-0.339	-0.289	-0.189	-0.119	-0.019	0.011	0.091	0.051	0.111	0.191	0.231	0.261	
三鷹	12-41-1	0.296	0.186	0.126	-0.034	-0.044	-0.074	-0.064	-0.234	-0.284	-0.314	-0.034	0.476	
	12-41-2	-2.766	1.816	0.006	0.066	-0.374	-0.554	-0.694	-0.994	-1.014	-0.074	-0.694	0.136	
昭島	12-42-S	-0.389	-0.649	-0.439	-0.359	0.601	0.421	0.641	0.251	0.081	0.141	-0.059	-0.239	(H15)
	12-42-1	0.198	-0.082	-0.102	-0.102	0.018	0.108	0.098	-0.052	-0.052	0.028	0.018	-0.072	
昭島	12-42-2	0.532	0.202	0.182	0.022	0.012	0.022	0.052	-0.168	-0.318	-0.188	-0.108	-0.238	(H15)
	12-42-3S	-0.817	-0.657	0.693	0.063	0.953	0.503	0.333	-0.667	0.093	0.383	-0.277	-0.607	

※ 井戸 No. : 観測年(西暦) 観測局 No. - 観測井 No.  
 末尾 'S' : 不圧地下水観測井

なお、本報では、SOM解析の結果に基づく考察に主眼を置いている。このため、解析手法に関する詳細は、既往研究を参照願いたい<sup>10)~11)</sup>。

(2) 10箇年における水位変動パターン特性

解析結果からは、以下の特徴に基づき表-3に示す前記1,000データを8クラスターにパターン分類でき、さらに3グループに大別できることが明らかになった。

図-4には、各グループの特徴を規準化(-3~+3)してレーダーチャートに示す。

同図(a)のクラスター1は、1~6月に平均水位より若干高い傾向から、7~12月にかけて徐々に水位が低下する傾向にある。また図(c)・(e)のクラスター3・5

についても、水位の変動パターンが類似している点  
 が共通している。次に、図(f)のクラスター6は、8ク  
 ラスター中で最も水位変動が少なく、年間を通じて  
 平均水位を維持する傾向にある。図(b)・(d)のクラス  
 ター2・4についても、水位上昇幅は若干大きい  
 が類似した変動パターンを有している。図(g)のクラスター  
 7は、年前半に水位が平均より低下し、年後半にかけ  
 て水位が大きく上昇したのち、年末に若干低下する  
 傾向にある。図(h)のクラスター8についても比較的  
 似た水位変動傾向にある。

図-5~7には、10箇年の主な年別変動傾向がグルー  
 プ1から3に大別された観測井の季節変動事例を示す。  
 さらに、解析結果に基づき、グループ毎の水位変動の  
 特徴を以下に記す。グループ1に都内全域の多くの観  
 測井が分類され、他に比して水位変動が比較的少ない  
 こと、グループ2に平成22(2010)・23(2011)年の多  
 摩部を中心とする観測井が分類され、最も大きな水  
 位変動を示すこと、グループ3が主に平成15(2003)~  
 同22(2010)年の台地部全域の観測井が分類され、グ  
 ループ1・2の中間的な水位変動を示すという特徴が  
 確認されている<sup>11)</sup>。

5. 地下水位と揚水量の相関関係

(1) 東日本大地震発生年における地下水位・揚水  
 量変動とその要因

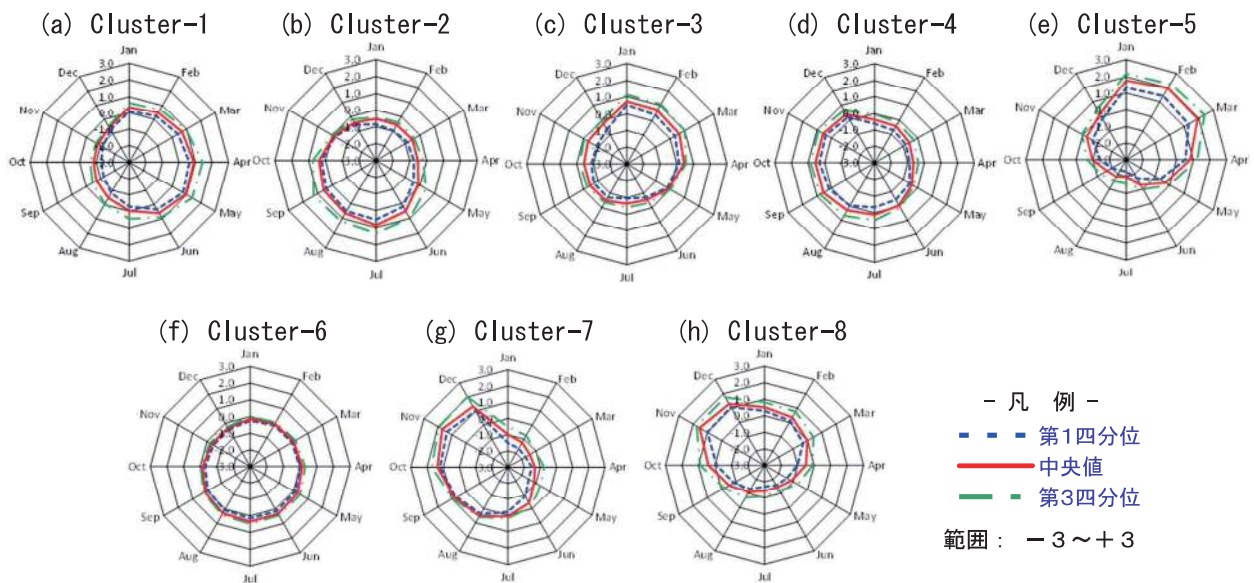


図-4 各クラスターにおける月別の水位変動の分布特性<sup>11)</sup>

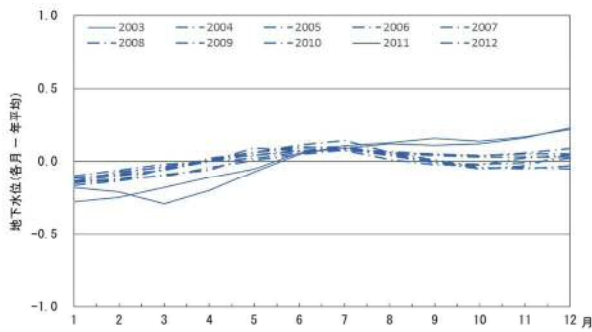


図-5 グループ1主体の年別の水位変動特性  
小島観測局 No. 8-4

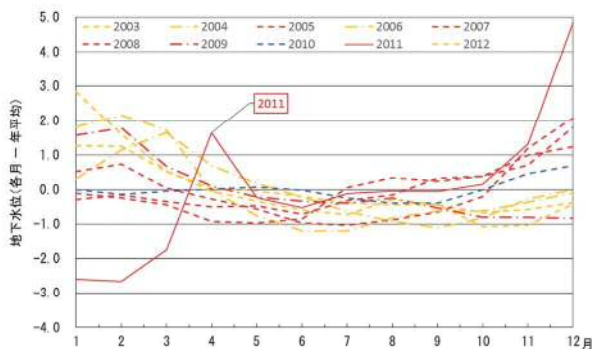


図-6 グループ2主体の年別の水位変動特性  
調布観測局 No. 26-3

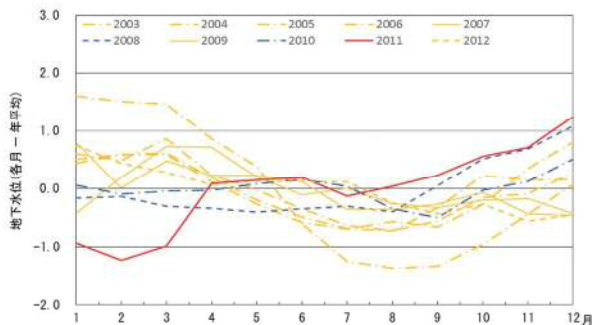


図-7 グループ3主体の年別の水位変動特性  
東久留米観測局 No. 25-2

図-5～7<sup>11)</sup> 凡例：年毎の分類  
青線：グループ1  
赤線：グループ2、黄線：グループ3

前述したとおり、東日本大地震に際しては、当該地震に起因したと判断できる地下水揚水量の特異な変動が観測された。

図-8には、図-6で例示したグループ2に分類された主な被圧地下水観測井について、東日本大地震の発生年の地下水水位変動を示したものである。図化に際して、地下水水位は揚水量との比較を行うため、地震前年の平成22(2010)年における各月値と同23(2011)年同月の各月値との差分で表した。

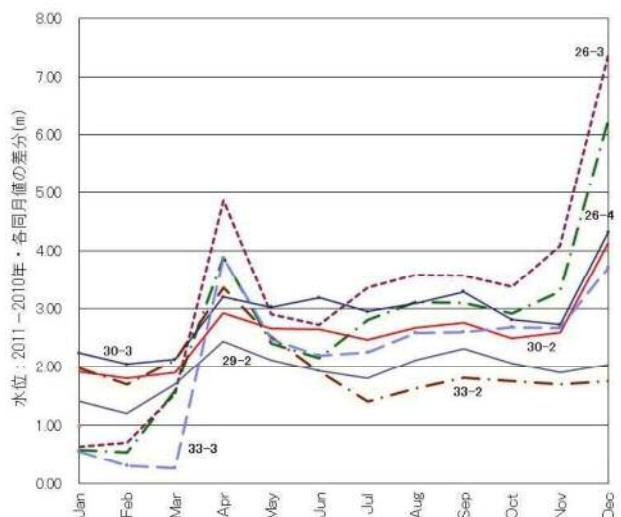


図-8 2011年・グループ2の主な観測井の水位変動

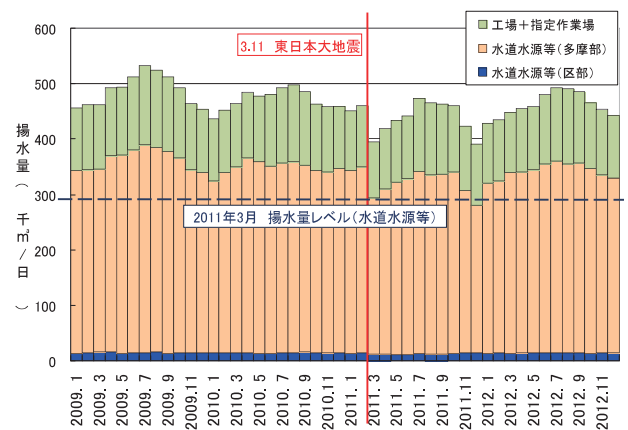


図-9 2009～2012年における  
月別・用途別の日揚水量  
出典：環境局・調査報告書より作成<sup>14)</sup>

また図-9は、地下水揚水量調査報告に基づき、平成21(2009)～同24(2012)年の月別・日当たり揚水量について、工場・指定作業場(病院・ガソリンスタンド等)及び上水道の水源施設を多摩部・区部の別として、新たに作成したものである<sup>14)</sup>。表-3には、平成15(2003)～同24(2012)年の年別・自治体別の地下水揚水量を示す。

図-9と表-3からは、東日本大地震発生年の年間揚水量が減少しており、地震後の3・4月と12月を中心に、多摩部の水道水源の揚水量が大きく減少していることが判る。また、当該地震の翌年には、揚水量が回復傾向にあるとともに従来の季節変動傾向と一致していることから、地震発生年の揚水量が特異な変動傾向を有することが明らかとなる。

その地震発生年の3・4月の揚水量の減少理由とし

表 - 3 平成 15(2003)～同 24(2012)年における年別・自治体別の日当たり地下水揚水量<sup>14)</sup>

単位：m<sup>3</sup>/日

自治体	年	H15	H16	H17	H18	H19	H20	H21	H22	H23	H24	
		2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	
区 部	千代田区	1,079	878	939	867	1,395	1,467	1,544	1,533	1,580	1,654	
	中央区	227	166	173	202	133	150	135	121	125	137	
	港区	1,380	1,456	1,306	1,216	1,469	1,479	1,320	1,171	1,201	1,263	
	新宿区	3,487	3,037	2,733	2,763	3,405	2,705	2,710	2,728	2,505	2,627	
	文京区	2,633	2,357	2,245	2,571	2,855	2,927	2,999	3,205	3,394	3,696	
	台東区	1,833	2,436	2,148	1,806	1,774	1,798	1,730	1,771	1,666	1,710	
	墨田区	608	562	530	486	506	513	487	424	403	447	
	江東区	54	72	65	89	105	101	98	68	74	57	
	品川区	682	607	521	470	457	419	452	427	409	447	
	目黒区	117	155	142	71	133	144	121	121	129	150	
	大田区	715	753	755	752	775	766	630	584	592	552	
	世田谷区	1,002	884	1,032	913	840	768	796	549	682	599	
	渋谷区	587	646	615	604	565	539	430	457	424	436	
	中野区	1,308	1,130	883	746	732	590	663	555	681	674	
	杉並区	6,766	6,573	6,860	6,600	6,321	6,265	6,336	6,205	4,205	5,614	
	豊島区	1,784	1,634	1,678	1,729	1,829	1,866	1,518	1,437	1,648	1,748	
	北区	956	859	905	984	869	859	656	880	904	1,011	
	荒川区	1,289	1,472	1,155	1,050	1,064	981	924	828	719	670	
	板橋区	1,882	2,031	2,114	2,126	2,409	2,205	2,025	2,017	1,809	1,752	
	練馬区	10,216	10,923	10,963	10,471	10,522	9,956	9,010	9,237	9,256	9,446	
	足立区	2,619	2,541	2,594	2,283	2,557	2,244	1,827	2,047	2,067	1,894	
	葛飾区	1,769	1,660	1,374	1,292	1,251	1,133	1,098	999	935	1,029	
	江戸川区	1,541	1,468	1,351	1,426	1,378	1,300	1,211	1,194	1,172	1,114	
	小計	44,534	44,300	43,081	41,517	43,344	41,175	38,720	38,558	36,580	38,727	
	多 摩 部	八王子市	18,624	17,936	16,883	16,106	15,769	15,154	14,038	12,066	10,077	12,105
		立川市	26,030	26,411	26,001	27,241	26,191	23,428	21,115	14,298	13,849	15,119
武蔵野市		43,016	40,951	42,585	42,619	42,727	42,267	44,416	44,263	43,544	42,808	
三鷹市		36,166	37,921	35,714	33,809	33,392	38,043	37,436	34,937	29,402	29,047	
青梅市		2,129	2,784	2,913	3,107	3,342	3,548	3,323	3,263	2,405	2,805	
府中市		57,726	59,171	59,172	57,243	54,392	54,123	53,726	46,355	46,812	53,096	
昭島市		43,148	43,409	42,958	43,009	43,187	42,253	40,855	40,460	39,767	39,526	
調布市		47,572	46,162	46,065	44,371	42,331	34,351	17,666	40,934	40,944	37,912	
町田市		7,373	7,049	7,681	8,337	8,976	8,254	7,369	8,467	6,028	6,307	
小金井市		25,135	24,719	24,934	25,796	24,496	24,052	22,569	20,987	17,469	14,228	
小平市		16,423	17,532	17,071	15,719	16,310	16,515	13,997	11,957	16,511	22,599	
日野市		27,604	26,807	27,521	26,159	26,397	22,326	27,389	15,705	13,453	15,317	
東村山市		2,674	2,816	2,818	2,807	2,796	2,749	2,805	2,708	2,713	2,753	
国分寺市		21,655	24,286	23,432	21,987	25,109	23,477	25,153	22,749	15,327	19,611	
国立市		14,649	14,513	15,003	14,981	13,722	13,960	13,871	13,591	12,321	12,595	
福生市		14,373	12,821	13,486	13,470	12,960	12,665	12,713	12,886	11,238	13,102	
狛江市		2,113	2,551	2,459	2,753	2,849	2,676	2,440	3,196	3,004	2,100	
東大和市		8,545	9,671	10,442	10,800	10,348	9,383	10,292	10,248	9,720	10,129	
清瀬市		906	899	990	909	870	850	838	829	766	779	
東久留米市		8,934	8,471	8,271	7,123	7,143	7,285	6,944	7,743	8,289	8,469	
武蔵村山市		4,982	4,930	4,622	4,901	4,464	4,211	4,666	4,798	3,757	3,351	
多摩市		7,022	7,513	7,280	6,224	6,272	5,760	4,986	3,115	3,035	3,730	
稲城市		11,978	11,540	8,993	9,094	8,500	8,511	9,031	8,662	9,166	8,720	
羽村市		26,220	27,860	27,848	27,249	27,026	26,051	24,480	25,168	24,347	24,751	
あきる野市		7,788	8,086	7,413	7,449	8,108	7,585	7,658	7,831	6,562	6,843	
西東京市		18,106	17,447	17,105	16,387	9,138	16,073	14,275	12,149	10,120	9,664	
瑞穂町		4,292	3,872	1,372	1,676	1,238	1,075	1,353	1,183	1,292	1,504	
日の出町		3,630	3,648	4,386	4,044	3,816	3,958	3,954	1,884	1,634	1,525	
檜原村		26	37	1	2	28	28	29	29	27	24	
奥多摩町		57	29	36	34	96	96	63	74	67	2,165	
小計	508,896	511,842	505,455	495,406	481,993	470,707	449,450	432,535	403,646	422,684		
合計	553,430	556,142	548,536	536,923	525,337	511,882	488,170	471,093	440,226	461,411		

※ 端数処理の関係で、出典資料と合計値が一致しない場合がある。

：日当たり1万m<sup>3</sup>以上の揚水量

では、地下水位観測システムにおける3月11日の地震直後から、一部観測局が地震に伴う停電・計画停電等で観測データの欠測が生じたことに鑑み、当該地震に伴う停電の影響の可能性が高いと考えて水道事業者に事実関係を照会したところ、当該時期には地震

に伴う停電・保守等により、一部の水道水源井の地下水揚水を停止したことだけは確認できた<sup>8)</sup>。

次に、12月に生じた水位上昇については計画停電が実施されていないため、他の要因について調査を試みたところ、同時期にも水道水源井の揚水が停止

していることが判明した。停止理由は、保守点検で水道水源井の送水を停止したところ、一般家庭の給水も同時に止まったことから給水管の誤接続が発覚した。このため、他の誤接続の有無を確認する必要から、多摩部全域の水道水源井の揚水を停止して接続状況を点検したことによるものと考えられる<sup>15)</sup>。

## (2) 地下水位と揚水量の相関関係の一考察

一般に水道水源井については、揚水停止期間等の詳細は公開されておらず、また揚水量調査報告においても日当たり揚水量及び用途別・地域別の月単位データのみが公表されているに過ぎない<sup>14)</sup>。このため、本報では公開資料から明らかとなる条件の範囲において、地下水位と揚水量の定量的な相関について考察するものとする。

3月の水源井の揚水停止では、計画停電との関連性から地震直後より月末までと想定し、前年同月比の揚水量と3月から4月の地下水位変動量とを比較した。また、12月の1箇月間における水位変動に関しても前年同月の揚水量と比較した結果、揚水量の多い多摩部における包括的な傾向としてはあるが、顕著な変動の観られた事例において約190～200万m<sup>3</sup>の揚水量の減少により、地下水位が2.5～3.5m程度の上昇を示したと読み取ることができる。

この関係を整理すると非常に雑駁ではあるが、多摩部の揚水量の多い地域では、日当たり約60万m<sup>3</sup>の揚水量を低減することにより、地下水位を全般的に約1m程度上昇させることが可能と推定できる。なお、地下水位・揚水量変動の検討に際して前年比としたのは、地震前の揚水量変動が継続して減少傾向にあるため、8箇年の平均値との比較でなく、直近年との比較を行ったものである。

これまで、関係機関は地下水位観測井に顕著な水位低下が生じた場合は、その要因について調査してきた。しかしながら、揚水量調査報告は事業者から年に一度、前年分を一括報告する形式であり、また調査

報告義務のない工事に伴う一時的かつ多量な揚水、例えばディープウェルなどに起因した水位変動事例も多く、相関関係の特定は困難を極めているのが現況である。このため、揚水試験や地下水流動調査などの調査対象が明確かつ限定的な事例を除き、地下水位変動と揚水等の因果関係を定量的に捕捉できるのは非常に稀有な事例と云える。

今回の東北地方太平洋沖地震に起因した地下水位の変動は、その変動要因が明らかとなった点において、また実現象として広域的な地下水位変動と揚水量の変動傾向を明確に捉えられた点において、今後の適正な地下水管理に際しての貴重な知見になると考えられる。

## 6. むすび

東日本大地震に起因した地下水位と揚水量の変動特性並びにその要因に関しては、広域的かつ全般的な傾向ではあるが、これまで明確でなかった近年の実現象としての変動量の定量的な把握ができたと考ええる。

このことは今後の地下水管理において、地盤沈下を生じさせない範囲で地下水活用を図る際に必要となる地下水位・揚水量関係の定量的な評価、並びに地下水位の変動パターン予測などに資する有益な知見になると考える。

なお、現時点ではこれらの事例が少なく、十分な検証に至っていないこともあり、引き続き調査・検証を進めていくこととする。

## 謝辞

本報の基礎部分に係る首都大学東京との共同研究においては、同大学院都市環境科学域の河村明教授、天口英雄助教のご指導、並びに水文研究室の皆さんのご協力を頂きましたこと、ここに記して謝意を表します。

## 参 考 文 献

- 1) 守田優(2014)：地下水と水循環の健全化、水文・水資源学会誌、Vol. 27、No. 3、103-104
- 2) 中嶋博、金子紘士、土田稔(2010)：東京における地盤沈下対策と地下水保全対策、地下水学会誌、Vol. 52、No. 1、35-

- 3) 石井求、遠藤毅、小笠原弘信、川合将文(1976)：揚水量と地下水位の関係について、昭51. 都土木技術研究所年報、309-319
- 4) 和達清夫(1940)：西大阪の地盤沈下について(第2報)、災害科学研究所報告第3号、日本学術振興会、1-41
- 5) 遠藤毅、山田信夫、行徳智好、川島眞一(1971)：地下水位変動と地盤沈下、東京都環境科学研究所年報、290-300
- 6) 遠藤保男(1988)：東京北多摩地域における地下水位変動の要因、水利科学、Vol. 32、No. 3、28-55
- 7) 東京都土木技術研究所(1955)：東京都江東方面の将来沈下量に関する調査報告
- 8) 石原成幸、河村明、天口英雄、高崎忠勝、高橋泰之、川合将文(2012)：東北地方太平洋沖地震に伴う東京における不圧・被圧地下水位の変動特性、土木学会論文集B1(水工学)、Vol. 68、No. 4、I\_595-I\_600
- 9) 石原成幸、河村明、天口英雄、高崎忠勝、川合将文(2013)：自己組織化マップを用いた東北地方太平洋沖地震に伴う東京における地下水位の変動特性評価、土木学会論文集B1(水工学)、Vol. 69、No. 4、I\_541-I\_546
- 10) 石原成幸、河村明、天口英雄、高崎忠勝、高橋泰之、川合将文(2014)：自己組織化マップを用いた東北地方太平洋沖地震発生前後での東京の年間地下水位変動特性、土木学会論文集B1(水工学)、Vol. 70、No. 4、I\_1129-I\_1134
- 11) 石原成幸、河村明、天口英雄、高崎忠勝、川合将文(2015)：東京における長期地下水位変動解析、土木学会論文集B1(水工学)、Vol. 71、No. 4、I\_211-I\_216
- 12) 防災科学技術研究所(2012)：口絵2、東日本大震災調査報告、i
- 13) 東京都総務局総合防災部(2011)：東日本大震災における東京都の対応と教訓、16
- 14) 東京都環境局自然環境部(2003-2014)：平成15~24年 都内の地下水揚水の実態(地下水揚水量調査報告書)
- 15) 多摩水道改革推進本部(2011)：平成23年10月21日 給水管の井戸導水管への誤接続について、東京都水道局HP、(2014. 10. 19閲覧) <https://www.waterworks.metro.tokyo.jp/press/h23/press111021-1.html>