

東京における地下水位および揚水量の月変動パターンに対する東北地方太平洋沖地震の影響

首都大学東京 都市環境学部 学生員 ○大崎 友輔

首都大学東京 都市環境科学研究科 正会員 河村 明

東京都 建設局河川部 正会員 石原 成幸

首都大学東京 都市環境科学研究科 正会員 天口 英雄

1. はじめに

2011 年 3 月 11 日 14 時 46 分、東北地方三陸沖を震源とするモーメントマグニチュード(Mw)9.0 の地震となった東北地方太平洋沖地震（以下「東日本大地震」と記す）では、首都圏においても震度 5 強の揺れを観測した。また余震をはじめとする数多くの余効変動等では、東京都内において液状化を含む様々な現象が生じたほか、地下水位にも特異な変動が観測された。

このような東京における東日本大地震の地下水位への影響については、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）にて観測された地下水位データをもとに、既に著者らが自己組織化マップ（Self-Organizing Maps, 以下「SOM」と記す）を用いて、地震直後における特異な水位変動特性¹⁾²⁾について明らかにするとともに、当該地震が長期的な水位変動に及ぼした影響³⁾⁴⁾について示している。しかし東日本大地震の影響に関して、地下水位以外の長期変動データを検討対象に加えて考察を行った研究は、著者らの知る限り承知していない。

そこで本研究では、2003 年から 2012 年の 10 箇年分の月単位地下水位データの SOM による解析の結果⁴⁾から、東日本大地震が東京の地下水位に与えた影響を検討した。そして東京都環境局が公表した同時期の月単位揚水量データを用いて、地震に伴い揚水量が地下水位へ及ぼした影響に対する評価を行った。

2. 既往研究および本研究での検討手法

(1) 地下水位の SOM 解析結果

図-1 には、東京都内（島嶼・山地を除く）に設置されているセンターの地下水位観測局の局名と局番号等を示した。著者らは、この中で長期欠測等を除く 42 観測局 100 井（被圧：87，不圧：13）の月単位データを用い、2003 年から 2012 年までの 10 箇年分の地下水位 1000 データに SOM を適応して解析した結果、地下水位変動を 8 つのクラスターに分類した。さらに各クラスターの変動パターンに基づき、クラスターの中でも類似した傾向のものについて、表-1 の通り 3 グループへ大別した。また図-2 には各グループの特徴を明らかにするため、代表的なクラスターの参照ベクトルの第 1 四分位値、中央値、第 3 四分位値を示した。

グループ 1 に都内全域の多くの観測井が分類され、水位変動が比較的小さいこと、グループ 2 に 2011 年頃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 2003～2010 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できた。図-3 には 10 箇年のうち、特徴的な 2 箇年における被圧地下水位変動パターンの空間特性と、水道水源における揚水量が日あたり 1 万 m³以上の地域を例示した。同図 a)は、2003～2009 年の典型的な変動傾向のうち調査初年である 2003 年、同図 b)は地震発生年である 2011 年の被圧観測井について、観測点毎に水位変動グループの分布状況を示した。そして大きな水位変動を示したグループ 2 の中で特に大きく変動したクラスター 7 に分類された観測井のうち、地震発生年である 2011 年のみが該当した 11 観測井が所在する 8 区市について、東日本大地震の影響があった観測井とした。表-2 は、それら 11 観測井の名称と所在区市を示したものである。

本研究では当該観測井の所在する区市を中心とする揚水量データを用いて、地震に伴う揚水量変動が地下水位に与えた影響に関して評価を行った。

キーワード 東北地方太平洋沖地震、地下水位変動、揚水量、東京、自己組織化マップ

連絡先 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 首都大学東京 E-mail : osaki-yusuke@ed.tmu.ac.jp

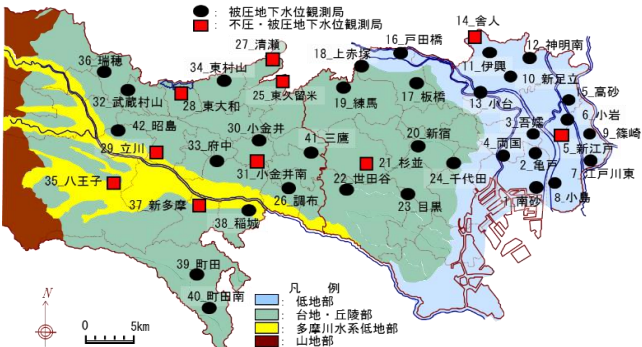


図-1 地下水位観測局の配置状況

表-1 クラスター・グループの区分及び特徴

クラスターNo.	グループNo.	主な位置・場所	水位変動
Cluster - 2	Group - 1	都内全域 平年	小
Cluster - 4			
Cluster - 6			
Cluster - 7	Group - 2	多摩部 2011年が中心	大
Cluster - 8			
Cluster - 1	Group - 3	台地部全域 2003年～2010年	中
Cluster - 3			
Cluster - 5			

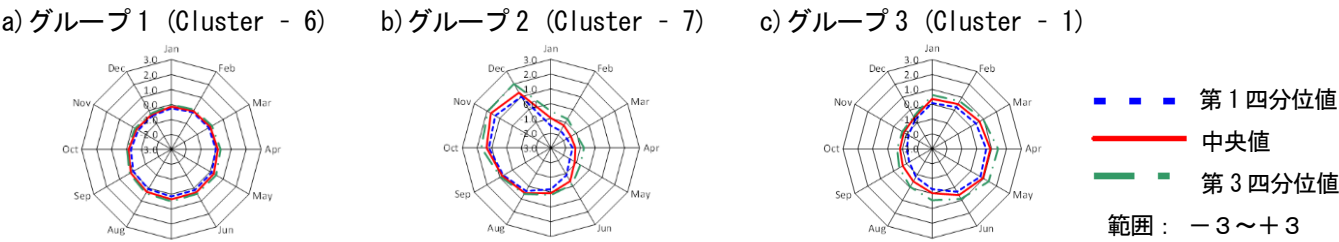


図-2 各グループの代表的なクラスターにおける月別の水位変動の分布特性

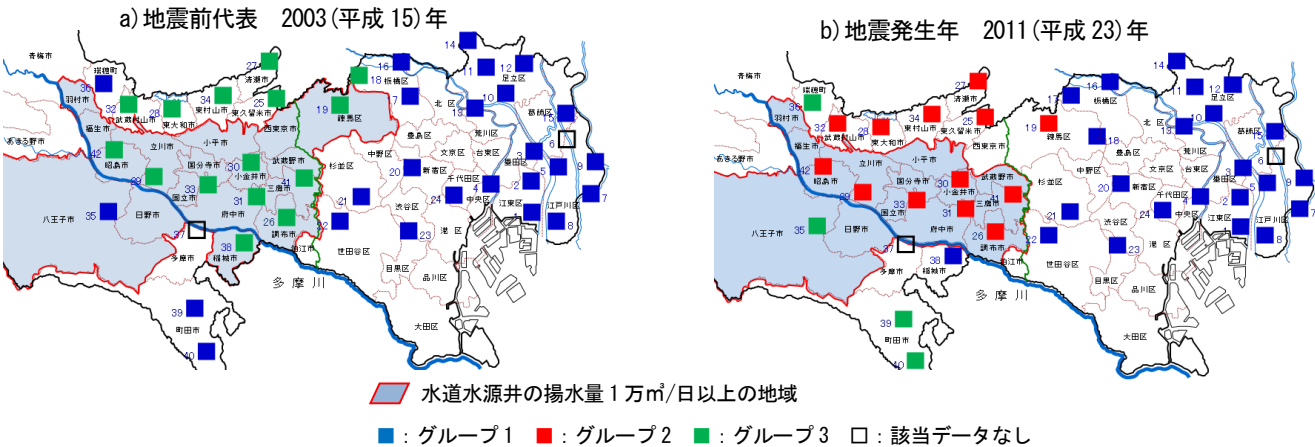


図-3 10 箇年のうち特徴的な年における観測局別地下水位変動グループと揚水量の空間分布

表-2 地下水位変動に東日本大地震の影響があった観測井 (11 井・8 区市)

地下水位観測井	練馬-2	東久留米-2	調布-4	清瀬-2	東大和-3	小金井-1	小金井-2	東村山-2	東村山-3	三鷹-1	三鷹-2
所在区市名	練馬区	東久留米市	調布市	清瀬市	東大和市	小金井市	小金井市	東村山市	東村山市	三鷹市	三鷹市

表-3 2012 年揚水量データ (抜粋)

単位: m³

所在地域・区市名		1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
低地	江戸川区	36,464	35,013	32,256	31,489	32,303	32,852	32,861	34,661	35,997	33,380	32,800	37,654
	葛飾区	28,684	28,297	29,049	29,374	32,532	33,028	34,144	35,203	32,256	31,682	30,270	31,983
	練馬区	257,925	251,058	272,914	268,844	270,877	304,088	353,292	371,192	281,417	268,118	271,571	285,967
台地	東久留米市	253,277	220,421	237,520	252,565	263,755	262,599	272,169	257,368	247,519	253,268	287,077	292,243
	調布市	1,260,487	1,101,507	1,188,054	1,149,943	1,183,856	1,265,208	1,305,883	1,243,523	1,245,323	1,056,239	887,010	988,722
	清瀬市	21,811	22,541	22,477	21,176	21,915	24,159	27,262	28,812	26,495	23,771	22,371	22,287
	東大和市	281,039	284,212	315,630	312,826	325,974	309,338	326,746	302,704	314,463	322,058	310,891	301,475
	小金井市	369,607	370,958	428,795	451,024	459,884	452,433	467,046	449,883	439,646	460,730	444,668	412,699
	東村山市	81,772	78,573	78,021	80,837	80,969	80,465	83,036	94,453	89,266	89,637	82,963	87,554
	三鷹市	696,482	668,372	798,814	872,023	947,285	958,867	979,424	959,953	993,532	1,010,015	873,346	873,159

(2) 揚水量の概要と検討方法

揚水量データは、東京都環境局が公表した地下水揚水量報告書の 2003 年から 2012 年における 10 箇年分の月別揚水量を使用した。また表-3 には、今回使用

した月別揚水量データのうち、最新年である 2012 年の詳細な揚水量を抜粋して示した。ただし、2005 年までは月別での日平均揚水量集計値となっているため、当該期間は日平均揚水量集計値を日数倍して月別揚水量を算出した。

地下水は帯水層によって被圧地下水と不圧地下水に区分され、それぞれ異なる性格を有し、さらに東京の地形は低地と台地に大別され、各地域での揚水量にも大きな違いがある。よって本研究では、100 観測井を 被圧地下水 (低地)・被圧地下水 (台地)・不圧地下水 (都内全域) の 3 つの観測井カテゴリーに分け、各カテゴリー内に先に選定した地震の影響がある地下水位観測井 11 井のいずれかがあった場合は当該観測井での揚水量傾向を検討対象とし、なかった場合においても比較のためにカテゴリー内の代表的な観測井での揚水量傾向を検討対象とした。

そして以下の手順により、東日本大地震における揚水量変動が地下水位へ与えた影響の評価を行った。

- ① 検討対象とする地下水位観測井が所在する区市における 10 箇年分の月別揚水量データを 12 ヶ月×10 本の時系列で折れ線グラフにて表す。(図-4 a))
- ② 10 箇年分の月別揚水量グラフに、地下水位 SOM 解析結果の各グループに対応した色 (青・赤・緑) をつけ、各クラスターに対応した線 (実線・破線・一点鎖線) に書き分けて区別する。(図-4 b))
(例えば図-4 b) の 2011 年はクラスター 7 (グループ 2) に分類されているので、赤色の実線となる)
- ③ 作成したグラフを目視し、その変動特性を明らかにすることにより、東日本大地震に伴う揚水量変動が地下水位に与えた影響についての評価を行う。

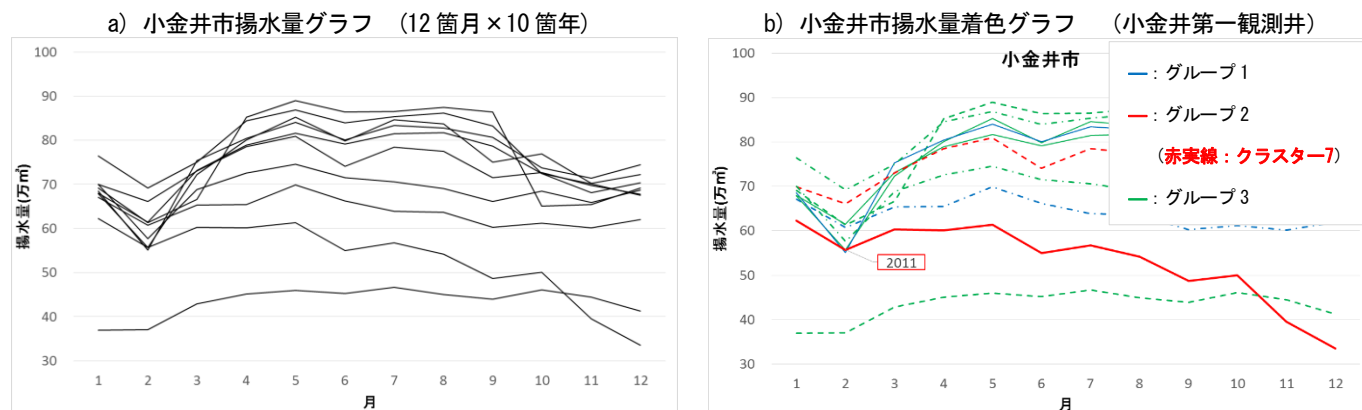


図-4 揚水量グラフの目視判断について

3. 地震の揚水量への影響評価結果

図-5 に、被圧地下水観測井(低地)32 井のうち、代表的な例として高砂第一観測井(葛飾区)の揚水量データを例示する。同図より本観測井は地下水位に地震の影響を受けている観測井(2011 年のみがクラスター7に属する観測井)ではないことがわかる。同様に他の 31 井に関しても、地下水位に地震の影響があった観測井は見られなかった。なお、これら 32 井に対応する区の揚水量は、台地部の揚水量(図-4)に比べるとかなり少ない。

図-4b), 図-6 に、被圧地下水観測井(台地)51 井のうち、小金井第一観測井(小金井市)および清瀬第二観測井(清瀬市)をそれぞれ例示する。これらの図より、2011 年のみがクラスター7に属する観測井であることから、これら観測井は地下水位に地震の影響を受けている観測井であることがわかる。このように地下水位に地震の影響があった観測井は 51 井中 11 井であり、地震の影響を受けた観測井 11 井すべてが台地部の被圧地下水に属することがわかった。11 井の属す揚水量変動パターンをみると、2011 年の所在区市における揚水量の変動パターンが例年と異なる観測井(図-4 b))と、2011 年の所在区市における揚水量の変動パターンが例年と変わらない観測井(図-6)の 2 パターンがあることがわかる。2011 年の揚水量変動パターンが例年と異なるものは 11 井中 6 井、例年と変わらないものは残りの 5 井であった。図-7 には地下水位の影響があった 11 観測井の位置を地図上に示している。この図では、揚水量変動の有無を色別に示している。

最後に不圧地下水位観測井 13 井のうち、地下水位に地震の影響があった観測井は 0 井であった。図-8 に、代表的な例である新江戸川観測井(江戸川区)のデータを示す。

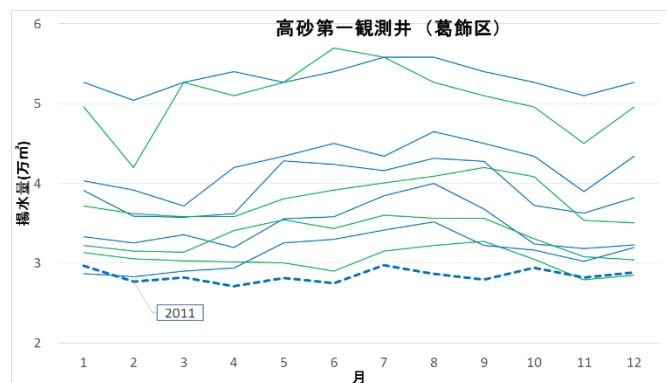


図-5 被圧地下水井(低地)代表例 (高砂第一観測井)

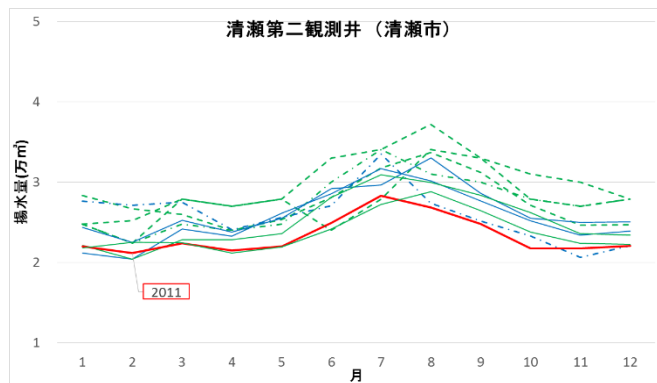


図-6 被圧地下水位(台地)例 (清瀬第二観測井)



図-7 水位変動に地震の影響がみられた 11 観測井

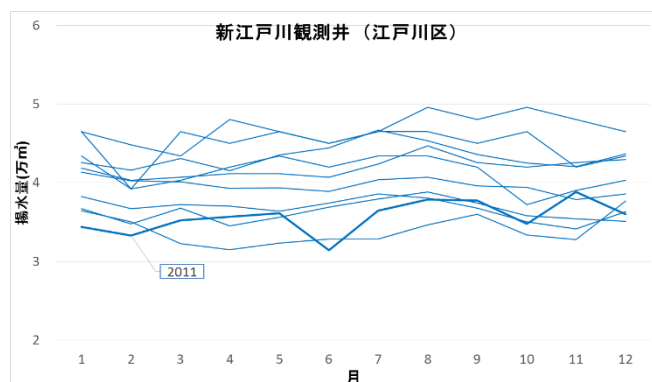


図-8 不圧地下水位(都内全域)代表例 (新江戸川観測井)

4. 考察

(1)被圧地下水位観測井（低地）について

一般に被圧地下水位は揚水量の影響を受け、両者の間には高い負の相関が確認されている^{3),4)}。低地での揚水量は台地のそれに比べて少なく(図-3, 表-3 参照)、地震による揚水量変動も小さい(図-5 2011 年参照)。よって地下水位への影響も小さく、東日本大地震の影響が確認できるほどの地下水位変動にならなかったと考えられる。

(2)被圧地下水位観測井（台地）について

3. で述べたように、地下水位に影響が出た観測井の中でも、所在市の揚水量に影響がある(例年と異なる変動がある)観測井と、所在区市の揚水量に影響がない(例年の変動と変わらない)観測井に分かれた。よって今回は、それぞれ個別に考察を行った。

まず図-4 b)のような所在市の揚水量に影響があった観測井(図-7 赤丸参照)は、特に揚水量が多い多摩部(図-3 b))に分布している。多摩部では2011年に計画停電による揚水井の停止・設備の保守点検及び耐震補修などの結果、地域全体で水道水源などの揚水量が日あたり約3万 m^3 減少した^{1),5),6)}。これにより地域全体で地下水位が上昇するなど、例年がない水位変動を生じたため、今回東日本大地震の影響があると分類されたと考えられる。次に図-6のように所在区市の揚水量変動に影響がなかった観測井(図-7 青丸参照)は、全て埼玉県に隣接している区市に設置されたものであることがわかる。このことから、当該観測井が所在する区市では揚水量に特徴のある変動を生じなかったが、隣接県では地震に伴い揚水量が大きく変動したことが考えられる。結果、隣接県の揚水量変動パターンに対しては、今回東日本大地震の影響がある可能性が高いと考える。

(3)不圧地下水位観測井（都内全域）について

不圧地下水位は降水量との相関が比較的高いことが確認されている^{7),8)}が、降水量の変動による地下水位の変動は揚水量の変動によるものに比べて小さい。このため不圧地下水位は図-8に示されるように、グループ1の変動パターンを示し、地下水位変動にほとんど地震の影響が確認できなかったものと考えられる。

5. むすび

本研究では東京都内に存する地下水位観測42局100観測井における10箇年の月別地下水位データを用い、SOM解析による分類により東日本大地震の影響を判定し、加えて同時期の月揚水量データを目視で確認することによって、揚水量の月変動パターンに対する東日本大地震の影響を評価した。地震の地下水位変動パターンへの影響としては、不圧地下水・低地の被圧地下水には地震の影響がみられる観測井は無く、台地の被圧地下水において51観測井中11井で地震の影響があるとみられる地下水位変動を確認した。これら11観測井を月別揚水量グラフに照らし合わせた結果、揚水量での影響も目視できたものと、揚水量での影響がみられなかったものに分かれた。この原因として、前者は多摩地域を中心とした計画停電等の影響により揚水量が減少し、地下水位が例年になく変動することによって地震の影響があるクラスターに分類されたこと、後者は隣接する埼玉県の揚水量変動の影響を受けたことが考えられる。

今回使用した揚水量データは東京都域に限ったものであったので、今後はより広域的かつ多角的な視点で揚水量データの分析を進めていきたい。さらに揚水量データのみを用いた分類などの解析を行うことによって、東日本大地震の影響を含めた東京における長期揚水量変動特性を明らかにしていきたい。

参考文献

- 1) 石原成幸, 河村明, 天口英雄, 高崎忠勝, 川合将文: 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, pp.I_595-I_600, 2012.
- 2) 石原成幸, 河村明, 天口英雄, 高崎忠勝, 川合将文: 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, pp.I_541-I_546, 2013.
- 3) 石原成幸, 河村明, 天口英雄, 高崎忠勝, 高橋泰之, 川合将文: 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, pp.I_1129-I_1134, 2014.
- 4) 石原成幸, 河村明, 天口英雄, 高崎忠勝, 川合将文: 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), (2015 掲載決定)
- 5) 東京都環境局: 平成15~平成24年 都内の地下水揚水の実態(地下水揚水量調査報告書) 平成17~26年3月, 2014.
- 6) 多摩水道改革推進本部: 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, 2011.
- 7) 國分邦紀: 都内多摩地区浅井戸の地下水位解析とかん養量について, 土木学会 第28回水理講演会論文集, pp243-252, 2009.
- 8) 東京都環境局: 東京都の地盤沈下と地下水の再検証について, 平成22年度地下水対策検討委員会のまとめ, 2011.