

自己組織化マップを用いた東京都多摩地域における近10箇年の地下水揚水量パターンの変動解析

石原 成幸^{1*}・河村 明²・天口 英雄²・高崎 忠勝¹・久保 英二郎³

¹正会員 首都大学東京大学院 兼 東京都建設局 (〒163-8001 東京都新宿区西新宿2-8-1)

²正会員 首都大学東京大学院 都市環境科学研究科 (〒192-0397 東京都八王子市南大沢1-1)

³学生会員 前首都大学東京 都市環境学部 (〒192-0397 東京都八王子市南大沢1-1)

* E-mail: isihara-shigeyuki@tmu.ac.jp

本論文では東京都の多摩地域に位置する28自治体において、2005年から2014年の10箇年の月別地下水揚水量に自己組織化マップ(SOM)を適用して揚水量パターンの変動解析を行った。SOM解析の結果、10箇年の揚水量パターンの変動は6クラスターに分類され、さらに4グループに大別できることを示した。これは、揚水量の少ないパターンがグループA1及びA2に分類でき、地下水揚水量が多い主な変動パターンの大部分はグループB1とB2に分類された。さらに、グループB1とB2の大部分は、10箇年の後半に水道水源用途の減少等に起因して、グループA1及びA2に変動パターンが変化することが判った。また一部では、環境用途(池への補水)等の揚水増加に伴い、グループB1を維持することが確認できた。これらの結果から、SOM解析が地下水揚水量パターンの変動解析に有効な手法であることを明らかにした。

Key Words : pumped-up groundwater, fluctuation pattern, Tokyo, SOM (Self-Organizing Maps)

1. はじめに

2014年7月、水循環基本法が施行された。この法律では地下水が「公共性の高い国民共有の財産」と位置づけられ、健全な水循環の回復や適切な管理等が規程された。また、翌年の水循環基本計画では「持続可能な地下水の保全と利用」を推進するため、地域の実情に応じた総合的な地下水管理が求められている。しかしながら、水循環の健全性の視点において、東京の現状は自然涵養量を超えた地下水揚水が継続されるなど、その障害は今なお解消されていない(たとえば守田¹⁾、中嶋ら²⁾。

これまで東京の低地帯などでは、水溶性ガスの採取を目的とした過剰な地下水揚水に伴い、大規模な地盤沈下が生じている。このため、東京都では地盤沈下対策の一環として、台地部を含めた都内での地下水揚水規制を実施しているが、1971年から1987年まで急激に減少した後、近年は顕著な減少が見られない状況にある。現状として東京都内では1日あたり44万³m³(2014年)の地下水揚水があり、この内の91%が多摩地域における地盤沈下に係る法規制対象外の上水道水源か

らの揚水である³⁾。加えて、近年では東日本大震災等の教訓から、防災井戸や病院等の非常用水源としての活用など、防災対策面での地下水需要が非常に高まっている。一方で、これら許可を受けた防災井戸ではストレートの目詰まり防止等を理由として、恒常かつ多量の地下水揚水が行われている(たとえば東京都³⁾、植村ら⁴⁾)。

これらのことから、都内では渇水年に地下水位の低下も確認されている³⁾ほか、法規制対象外の地下水利用に伴う地盤沈下の再燃等も懸念されており、地下水の健全化と適正利用に資するため、地下水揚水の監視や地下水位への影響予測などが非常に重要となっている⁴⁾。

本研究では、東京都内における揚水量の91%を占める多摩地域の地下水揚水量を対象に、2005年から2014年における10箇年の揚水量パターンの変動解析を行った。これには、各事業者から都内各自治体へ提出された揚水量報告を東京都環境局がとりまとめた地下水揚水量データを用いた。詳細は後述するが、自治体毎に10箇年(120箇月)の揚水量パターンの変動解析を行うとともに、解析結果を実現象と比較しつつ、その変動要因の一端について言及を試みたものである。

具体的には檜原村・奥多摩町を除く、欠測等の少ない都内・多摩地域の28自治体における10箇年間の月揚水率データについて、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⁶⁾ (Self-Organizing Maps, 以下「SOM」と記す)を用い、客観的にパターン分類のうえクラスタ化し、長期的な地下水揚水量パターンの変動傾向を明らかにした。

既往の調査・研究のうち、本研究と関連性が高いものは、東京都環境局による地盤沈下の変動要因を地下水位並びに揚水量との相関から調査した報告⁷⁾があるが、1999年(一部は2008年)までのデータであり、近年の検討結果は公表されていない。また、SOMを適用した既往研究では、著者らの地下水位の変動解析^{8)~10)}などがあるが、地下水揚水量への適用は管見で承知していない。

2. 使用したデータ及びSOMの適用

(1) 入力に用いたデータ

図-1には、都内・多摩地域の(檜原村・奥多摩町を除く)28自治体の所在を示した。また表-1には、今回解析に使用した2005年から2014年における各自治体の入力データのうち、初年と最終年の各5自治体の詳細を例示した。入力データは28自治体において、以下の方法により求めた120箇月分の月単位ベクトルデータである。

- ① 2005~2014年の120箇月に観測された日揚水量のとりまとめデータ³⁾より、 i 自治体の n 年目 m 月における月合

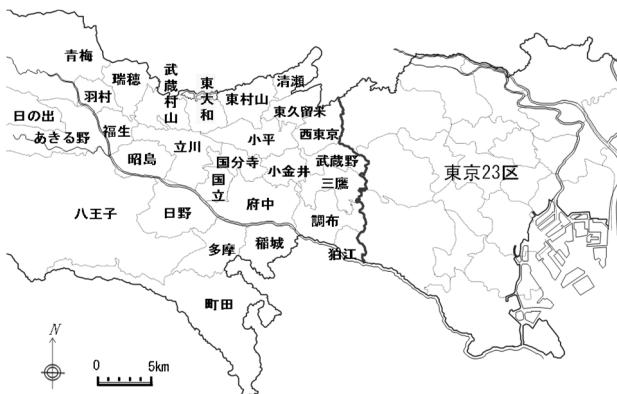


図-1 都内・多摩地域における自治体の位置図

表-1 自治体毎の月揚水率データの例

自治体名	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年
八王子市	1.192	1.214	1.214	1.251	1.214	1.236	1.311	1.303	1.236	1.244	1.244	1.222	2005
立川市	1.193	1.012	1.204	1.312	1.312	1.339	1.550	1.503	1.441	1.436	1.394	1.364	
武蔵野市	0.973	1.027	1.018	1.032	1.018	1.011	0.939	0.933	0.943	0.936	1.003	1.011	
三鷹市	1.119	1.119	1.128	1.162	1.192	1.186	1.156	1.122	1.140	1.039	0.830	0.791	
青梅市	0.961	0.930	0.936	0.955	0.930	1.034	1.034	1.103	1.103	1.038	1.034	1.038	
八王子市	0.807	0.864	0.785	0.849	0.831	0.835	0.882	0.911	0.847	0.882	0.744	0.809	2014
立川市	0.681	0.663	0.654	0.663	0.681	0.667	0.639	0.733	0.683	0.645	0.583	0.572	
武蔵野市	0.924	0.940	0.982	0.982	0.961	0.977	0.936	1.026	0.977	0.939	0.946	0.900	
三鷹市	0.769	0.717	0.810	0.900	0.835	0.780	0.791	1.030	0.963	0.946	0.973	1.001	
青梅市	0.731	0.739	0.727	0.727	0.714	0.730	0.779	0.823	0.771	0.754	0.705	0.934	

計揚水量 $x_{i,n,m}(i=1\sim 28; n=1\sim 10; m=1\sim 12)$ を求めた。

- ② 上記の120箇月分の月合計揚水量($x_{i,n,m}$)から、その自治体における月平均揚水量(\bar{x}_i)を求めた。また各自治体における各月合計揚水量($x_{i,n,m}$)を、その自治体の月平均揚水量(\bar{x}_i)で除した月揚水率データ $\tilde{x}_{i,n,m}(=x_{i,n,m}/\bar{x}_i)$ に変換した。

- ③ SOMの入力データとしては、各自治体の各年12箇月分の月揚水率 $[\tilde{x}_{i,n,1}, \tilde{x}_{i,n,2}, \dots, \tilde{x}_{i,n,12}]$ によるベクトルデータを用いた。SOMへのデータ入力数は、月別12次元(12箇月)の28自治体における10箇年の280データ(=28自治体×10年)である。

ここで、120次元(12月×10年)・28データ(自治体)ではなく、12次元・280データとしたのは、各自治体における年間の月別変動パターンが10箇年で自治体毎にどのように推移したか把握するためである。なお、2016年時点では環境局によるデータ集計に2年を要するため、2014年の地下水揚水量データが最新となる³⁾。

(2) SOMの適用

SOMは、入力データの関連性を類似度としてマップ空間上に描画できるニューラルネットワーク手法の一種である。入力層と競合層の2階層で階層型ネットワークを構成しており、教師信号なしで学習を行うことができる。この機能により、一般的に捉えにくい高次元のデータを二次元マップ上に分類し、客観的かつ可視的に表現することができる⁶⁾。

SOMの主な特徴は、入力データを属性等に基づき事前分類等を行うことなく、一括入力した個々のデータの特徴に基づくパターン解析の結果として、他の分類手法とほぼ近似した抽出結果が得られることである^{8),11),12)}。また、高次元データをそのデータ空間での位相を保持したまま二次元上に写像できることである。このため、高次元データのクラスタリング問題への応用が試みられており、これまでに水文・気象分野等への適用が多く見受けられる^{11)~14)}ほか、地下水へは地下水位変動パターン特性^{8)~10)}並びに水質解析への適用^{15),16)}以外にほとんど見受けられない。

図-2には、今回適用したSOMのノードマップを示す。SOMの入力ベクトル $X(j)(j=1\sim 280)$ は、 $[\tilde{x}_{i,n,1}, \dots, \tilde{x}_{i,n,12}]$ となる12次元(各年1~12月)で構成され、そのデータ数は280(=28自治体×10年)である。このノードマップの最適ノード数 M は、入力データ数を n とした式 $M=5\sqrt{n}$ により求められることが既往研究で明らかになっており¹⁷⁾、本研究では $n=280$ から $M=84$ となる。次にノードマップの縦横比の設定は、データの共分散行列における固有値ベクトルの第1・2成分の比率が最適とされるため¹⁷⁾、当該比を縦14×横6とするノードマップに決定した。

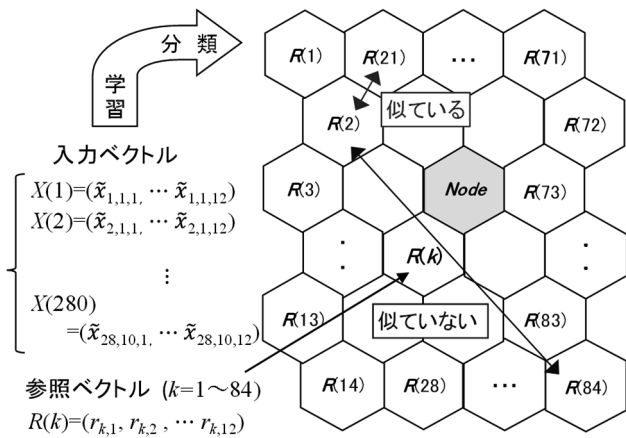


図-2 SOM ノードマップ (84 ノード: 縦 14×横 6 構成) ^{9),17)}

SOM ノードマップの各ノードには、入力ベクトル $X(j)$ と同じ次元を持つ参照ベクトル $R(k)$ (k : ノード番号) が配置されており、入力ベクトル $X(j)$ のパターン (特徴) はこの参照ベクトル $R(k)$ によって表現される。入力ベクトルは全ノードに割り当てられた参照ベクトルと比較され、両者のユークリッド距離が最小となる勝者ノードが探索される。各ノードの参照ベクトルは勝者ノードとの距離で表される近傍関数に従い修正される。従って、勝者ノードに近い参照ベクトルほど修正量が大きくなるように競合学習が行われ、その修正の程度は学習回数とともに小さくなる。最終的に、複雑な入力ベクトルのパターン (特徴) はノードマップ上の参照ベクトルで表現され、ノードマップ上で距離が互いに近いノードほど類似した特徴を持ち、遠いノードほど互いに異なる性質を持つよう参照ベクトルが組織化される⁹⁾。

次に、SOM で得られた分類傾向をより詳細に把握するために、各ノードの参照ベクトルのクラスター化を行った。本研究では作適的なクラスター設定を避けるため、クラスターの最適数の決定に K-means 法に基づく最小 DBI (Davies-Bouldin Index) 値を採用した¹⁸⁾。K-means 法とは、MacQueen らにより提唱された代表的な非階層型クラスターリング手法の一つである。DBI 値は導き出されるクラスター数の最適性を示す指標であり、この数値が小さいほど最適なクラスター数となる。その上で、K-means 法に基づき得られたクラスターを自動的に階層化できるウォード法を用いて分類した¹⁸⁾。ウォード法は各クラスター間の分散が最小となるよう結合していく手法であり、結合の進捗に伴いクラスター内の平方和が増加するため、明瞭なデンドログラムを描くことで、視覚的にクラスター間の関係性を捉えることが出来る。

なお、各ノードには一つの参照ベクトルが割り当てられており、入力ベクトルをノード間のユークリッド距離で比較し、その距離が最も近いノードに分類されることから、入力ベクトルが割り当てられないノードが存在することも一般的なことである (たとえば Thuy et al.^{15),16)}、

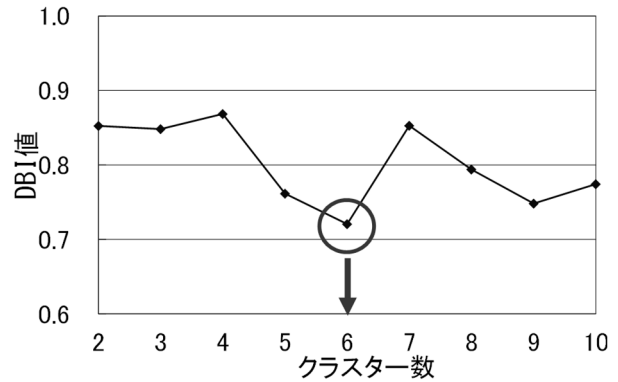


図-3 k-means 法による DBI 値の変化とその最小値 ¹⁸⁾

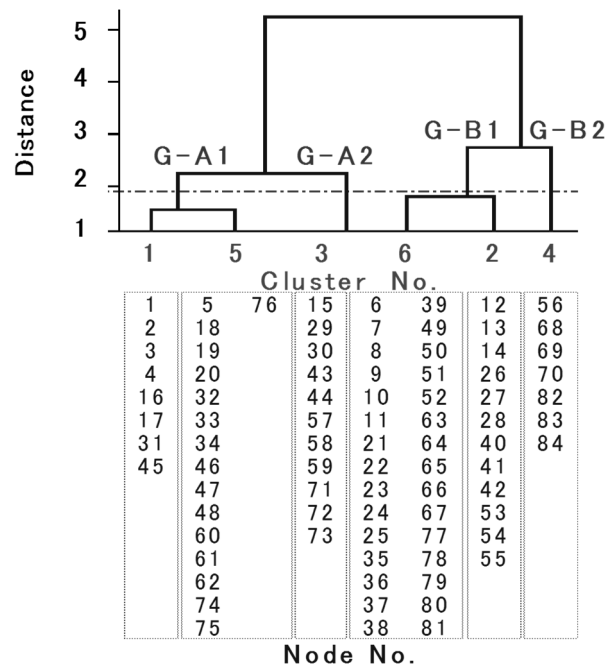


図-4 階層化したクラスター構成と各ノードの分類状況 ¹⁸⁾

西山ら¹⁹⁾, Jin et al.²⁰⁾) .

3. SOM による揚水の季節変動パターンの解析

図-3には前述の K-means 法による DBI 値の変化を示し、その最小 DBI 値から求まるクラスター数として 6 クラスターに決定した。

図-4はウォード法を用いて、前述のノード数 84 を 6 クラスターに分類のうえ、階層化した各クラスターに属するノード番号を樹形図で示した。

また図-5のノードマップには、10箇年間の揚水量の季節変動傾向を月別に示した。これは、280の入力ベクトル $X(j)$ に SOM を適用して得られた各ノードの参照ベクトルを 0~1 の値に規準化し、月別 (12次元の参照ベクトルの各要素毎) に表したものである。図-5a) ~ c) によれば、1~3月の変動傾向が類似しており、図-5d)・e) のとおり 4・5月と暫時変化する。その後、図-5f) ~ i) で6月からの

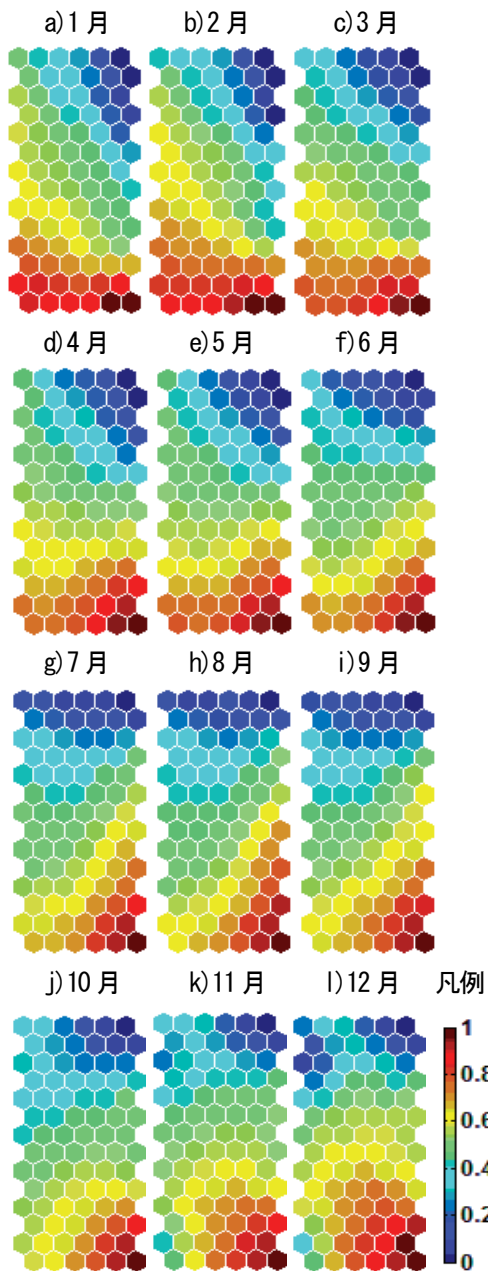


図-5 10箇年間に於ける月別の揚水量変動分布
(各ノードの参照ベクトルを0-1に規準化して表し、1に近いほど月揚水率の変動傾向が大きい)

変動傾向が9月まで続き、さらに図-5j)～l)のとおり10月に変動傾向が変化した後には12月まで類似した傾向が読み取れる。相対的には、年間を通じて右上のノードで一番揚水量が少なく、右下のノードの揚水量が最も多いという分布傾向を示し、中央部のノードは年間を通じて大きな変化がない、という特徴を有することが判る。

さらに図-6には、10箇年間の年別のSOMノードマップを示すとともに、各ノードに配置された自治体の詳細が判るように年別の自治体名を示した。併せて、後述する各ノードのクラスター分類・グループ分割状況を示した。なお、図中の表示は「観測年(西暦の下二桁)_自治体

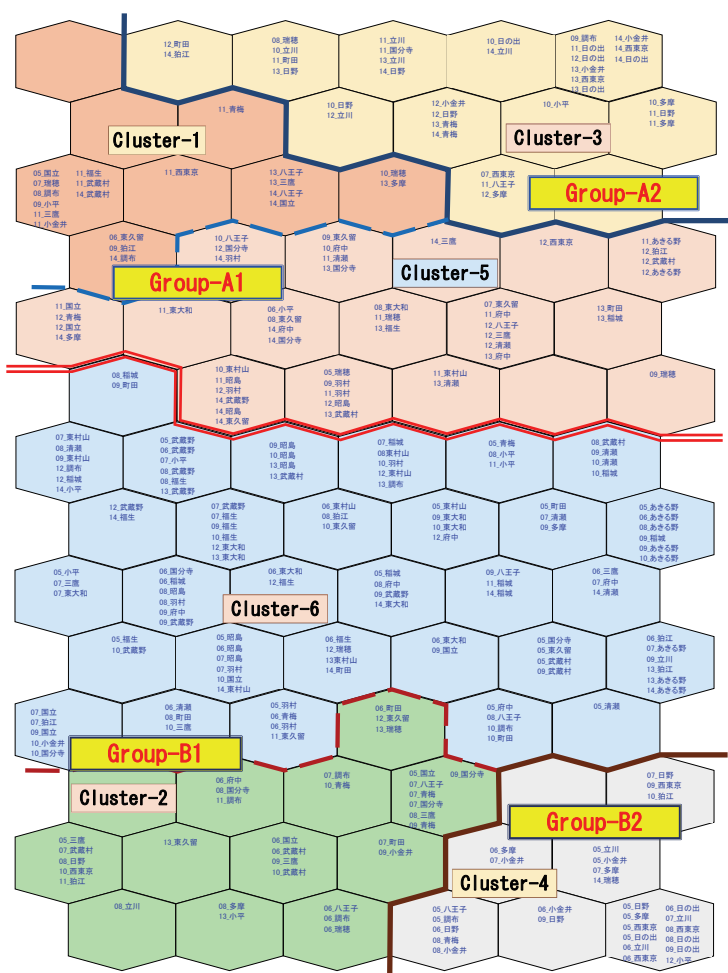


図-6 クラスター・ノード毎の10箇年間に於ける各年・自治体別揚水量の変動分布 (凡例: 年(西暦の下2桁)_自治体名)

名」である。

4. 10箇年における揚水量変動パターン特性

(1) 各クラスターの揚水量変動特性

図-7には、クラスター毎の特徴を示す参照ベクトルをレーダーチャートで示した。これにより、図-4・6に示すクラスター毎の年間における月別の状況を参照ベクトルの第1四分位数、中央値、第3四分位数を0.5～1.5の範囲でプロットした。図-7a)～f)はクラスター1～6に対応しており、各クラスターの主な特徴を以下に例示する。図-7a)のクラスター1は参照ベクトルの値が常に1.0を下廻っており、所属する自治体の各月揚水量が平均揚水量を常に下廻る傾向を示し、特に9～12月にかけて顕著に揚水量が減少する特徴を有しているクラスターである。同様に図-7e)のクラスター5についても、若干クラスター1より各月揚水量が平均揚水量に近い傾向を有するが、年間を通じて平均揚水量を下廻っている点が類似している。また図-7c)のクラスター3は、図-7a)～f)の中で最も参

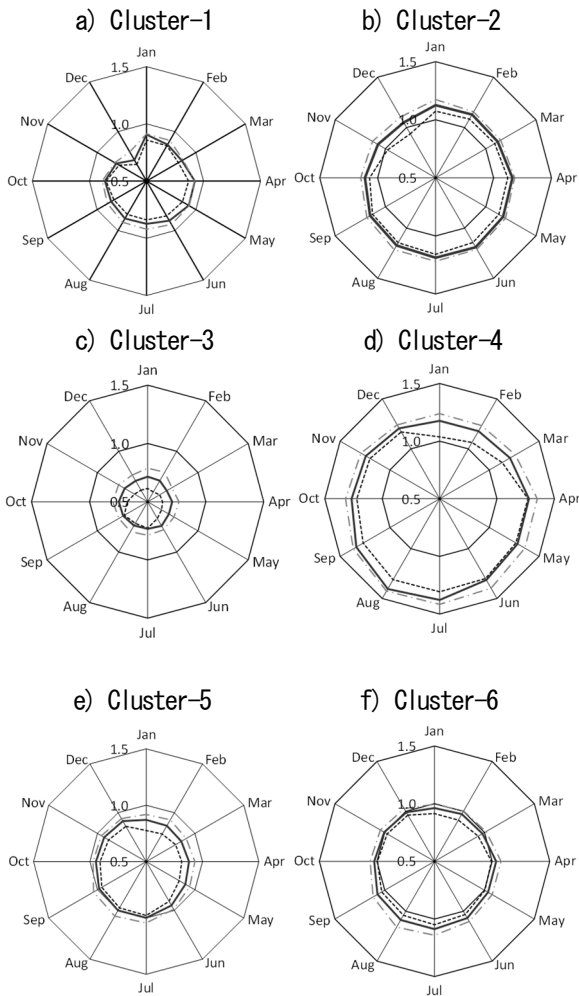


図-7 クラスタ別・月別の揚水量変動傾向

- 凡 例 -

..... : 第1四分位 - - - : 第3四分位
 ——— : 中央値 範 囲 : 0.5 ~ 1.5

表-2 10箇年間の自治体別・年別の揚水量変動傾向

自治体\年	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
八王子市	B2	B1	B1	B1	B1	A1	A2	A1	A1	A1
立川市	B2	B2	B2	B1	B1	A2	A2	A2	A2	A2
武蔵野市	B1	B1	B1	B1	B1	B1	B1	B1	B1	A1
三鷹市	B1	B1	B1	B1	B1	B1	A1	A1	A1	A1
青梅市	B1	B1	B1	B2	B1	B1	A1	A1	A2	A2
府中市	B1	B1	B1	B1	B1	A1	A1	B1	A1	A1
昭島市	B1	B1	B1	B1	B1	B1	A1	A1	B1	A1
調布市	B2	B1	B1	A1	A2	B1	B1	B1	B1	A1
町田市	B1	B1	B1	B1	B1	B1	A2	A2	A1	B1
小金井市	B2	B2	B2	B2	B1	B1	A1	A2	A2	A2
小平市	B1	A1	B1	B1	A1	A2	B1	B2	B1	B1
日野市	B2	B2	B2	B1	B2	A2	A2	A2	A2	A2
東村山市	B1	B1	B1	B1	B1	A1	A1	B1	B1	B1
国分寺市	B1	B1	B1	B1	B1	B1	A2	A1	A1	A1
国立市	B1	B1	B1	B1	B1	B1	A1	A1	A2	A1
福生市	B1	B1	B1	B1	B1	B1	A1	B1	A1	B1
狛江市	A1	B1	B1	B1	A1	B2	B1	A1	B1	A2
東大和市	B1	B1	B1	A1	B1	B1	A1	B1	B1	B1
清瀬市	B1	B1	B1	B1	B1	B1	A1	A1	A1	B1
東久留米市	B1	A1	A1	A1	A1	B1	B1	B1	B1	A1
武蔵村山市	B1	B1	B1	B1	B1	B1	A1	A1	A1	A1
多摩市	B2	B2	B2	B1	B1	A2	A2	A2	A1	A1
稲城市	B1	B1	B1	B1	B1	B1	B1	B1	A1	B1
羽村市	B1	B1	B1	B1	A1	B1	A1	A1	B1	A1
あきる野市	B1	B1	B1	B1	B1	B1	A1	A1	B1	B1
西東京市	B2	B2	A2	B2	B2	B1	A1	A1	A2	A2
瑞穂町	A1	B1	A1	A2	A1	A1	A1	B1	B1	B2
日の出町	B2	B2	B2	B2	B2	A2	A2	A2	A2	A2

※着色自治体：図-9 に揚水量変動を例示

照ベクトル値が小さいことから、全クラスター中で最も各月揚水量が少ない傾向を有する。

次に、図-7f)のクラスター6は、各月が示す参照ベクトル値が1.0に極めて近似していることから、全クラスター中で最も平均的な揚水量傾向を示している。また図-7b)のクラスター2は、10~12月の冬期に若干の揚水量が減少する傾向にあるが、通年で参照ベクトル値が1.0を上廻っている点でクラスター6と同様である。最後に図-7d)のクラスター4は全クラスター中で参照ベクトル値が最も大きいことから、揚水量が年間を通じて一番大きな傾向を有する。1~3月の揚水量が減少傾向にあり、また第1・第3四分位間の開きが大きいことから、他の月に比べて分類された揚水量のばらつきが大きい特徴を有することが判る。

図-7の各クラスターの特徴及び図-4の階層構成に基づき、当該6クラスターの特徴をより大局的に捉えるため、図-4に示すレベルで4グループに分割した。(たとえば、井芹ら¹¹⁾) クラスタ1・3・5をグループAとし、このうちクラスター1・5をグループA1、クラスター3をグループA2、同様にクラスター2・4・6をグループB、うちクラスター2・6をグループB1、クラスター4をグループB2と定めた。なお、図-4・6にはグループ毎の分類結果を併記した。

(2) 揚水量パターンの変動傾向

表-2には、各自治体の10箇年間に於ける年毎の揚水量の変動パターンについて、前述の4グループの分類結果として示した。表-2と図-6・7より、以下に年毎の揚水量変動パターンの特徴を記す。

全280データのうち、グループA(クラスター1・3・5)は102(A1:67, A2:35)データであり、グループB(クラスター2・4・6)が178(B1:149, B2:29)データとなっており、グループBが約6割を占める結果となった。図-7より、グループAは10箇年を通じて揚水量が平均を下廻っているグループであり、表-2より主に10箇年の後半から出現するパターンである。また三鷹市や府中市などの当初のグループB1からA1に変化するパターン傾向が顕著である。次に、グループA2は立川市や日の出町など、当初グループB2であった自治体が10箇年後半にA2に変化するパターンが多い。

一方、図-7よりグループBは10箇年を通じて揚水量が平均または上廻っているグループである。また表-2より10箇年前半に出現するパターンが多いが、一部の調布市や東大和市などでは、10箇年を通じてグループB1を維持するパターンも見受けられる。このグループBからAにパターン変化することは、全体として揚水量が減少傾向にあることを意味している。

以上のことから、東京の多摩地域における近10箇年の年別の地下水揚水量変動パターンは、4つのグループに分類できるとともに、その変動傾向として、①10箇年の間に多くがグループBからAに推移すること、②揚水量変動の多寡によりさらに2つに細分できること、③一部で10箇年を通じてグループBを維持するもの、等の特徴が明らかとなった。なお、瑞穂町では揚水量が若干ではあるが増大傾向にあり、例外的にグループAからBに変化する傾向にある。

(3) 揚水量変動パターンの時空間分布

図-8は、表-2に示した10箇年の年別・自治体別揚水量変動パターンの代表的な時空間変動について図化したものである。空間分布面での変動傾向としては、図-8a)に示す2005年と図-8d)の2014年の変動傾向が都県境を除く多くの自治体で顕著に変化していることが明らかである。

また、図-8c)の2011年には、日頃より揚水量の多い一部の自治体を除き、ほぼ多摩地域全体がグループAの傾向となっており、2011年と他の年とで変動傾向が大きく異なっていることが判る。この要因としては、2011年3月には東北地方太平洋沖地震が発生したことに伴い、計画停電や揚水井の補修工事などに起因し、多摩地域の主な揚水量を占める水道水源の揚水量が著しく減少したことが、既に筆者らの調査により判明している⁹⁾。

これら図-8に示した10箇年における揚水量変動パターンの時空間的な変動傾向は、筆者らが既往研究で明らかにした10箇年の地下水位変動傾向の時空間分布において考察された特徴や要因と整合することが確認できた¹⁰⁾。このことは、データ属性等に制約がある資料の解析結果ではあるが、多摩地域における地下水位と地下水揚水量との間に高い相関関係を有することを示唆していると考ええる。

5. 揚水量変動パターンとその要因に関する一考察

以上の結果に基づき、都内多摩地域における揚水量のSOM解析に基づくパターン分類の妥当性を確認する。

図-9には10箇年の主な揚水量変動パターンについて、自治体別に年毎の日当たり揚水量の推移として示した。図-6・表-2及び図-9から、グループB1からA1と同B2からA2の変動の違いは、主にB1→A1が初(2005)年に比べて最終(2014)年までの10箇年の日当たり揚水量が1万³未満の減少に留まることが多いのに対し、B2→A2の多くは日当たり揚水量が1万³超の減少を示す点である。また、グループB1を維持するパターンは、途中で一時的な変動を生じているケースもあるが、全般的な傾向として初年から最終年までの日当たり揚水量に変化が少ないこと

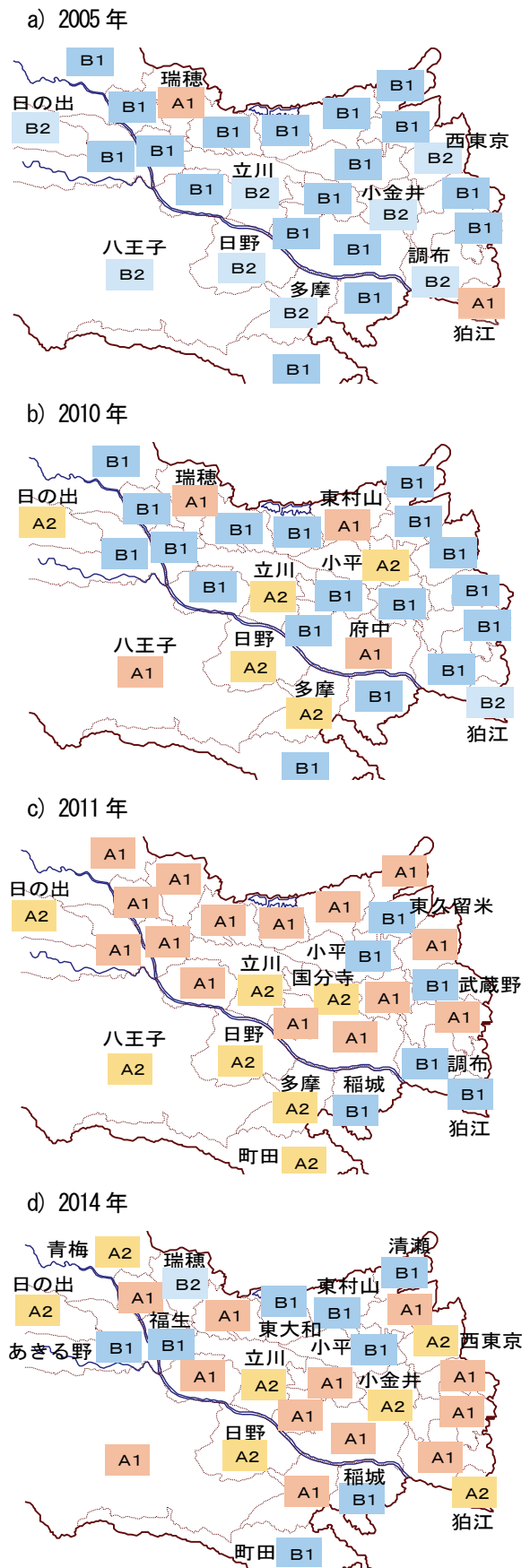


図-8 主な年別・自治体別揚水量パターンの空間分布
a)2005年, b)2010年, c)2011年, d)2014年
各年の主要パターンと異なる自治体名を図示

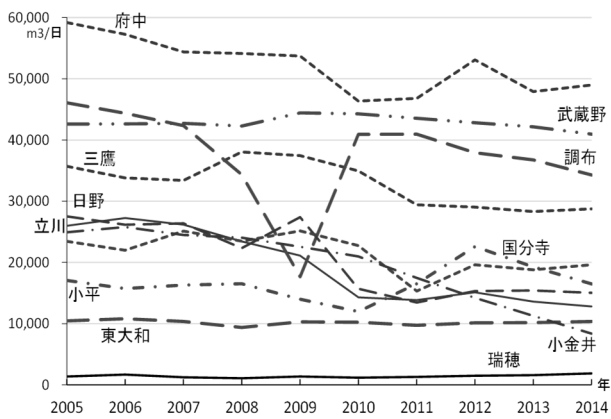


図-9 10箇年の代表的な自治体の各年における
日当たり揚水量の推移³⁾

表-2 には上記自治体を着色して表示

も確認できる。

ここで、多摩地域における地下水揚水の主因である水道事業の状況を鑑みれば、グループAに属する自治体ではこれまでの東京都水道局による一元管理（配水）の結果、地下水から表流水（河川水）への転換が進んでいるのに対し、グループBのパターンを維持している自治体は独自水道（地下水揚水井）を運営している武蔵野市や羽村市、又は環境用水（散水、池への補水）等の揚水量が増加傾向にある自治体であることが判る³⁾²¹⁾。例外となる瑞穂町に関しては関係機関への照会の結果、水道水源井の統合並びに製造業等における揚水の増加傾向にあることが確認できた³⁾¹⁰⁾²²⁾。

よって、本研究による地下水揚水量のSOM解析の結果は概ね実現象を反映したパターン分類と見做すことができること、既往研究における比較検証の結果に基づく地下水位変動へのSOM解析の有意性⁸⁾、並びにその要因⁹⁾¹⁰⁾と今回の解析結果が整合することから、地下水揚水量パターンの変動解析においてもSOM手法が適用可能であると考えられる。

6. むすび

本論文では、東京都内の多摩地域に位置する 28 自治体での地下水揚水量について、2005～2014 年の 10 箇年の月単位揚水量から導いた月揚水率データを用い、SOM 解析により長期的な揚水量変動パターンの特性分類を行うとともに、その要因について言及を試みたものである。

前述のとおり SOM 解析の結果、近 10 箇年における揚水量の変動パターンは 4 グループに大別でき、①10 箇年の前・後半で所属グループが B から A に推移すること、②その変動量の多寡からさらに 2 つに細分化できること、

③10 箇年を通じて同一グループを維持するもの、という主な特徴を有することが明らかとなった。さらに各種資料²³⁾²⁴⁾や関係機関への照会等の結果、これら SOM による揚水量変動パターンの分類結果は実現象とほぼ合致しており、水道水源による揚水が多摩地域における揚水量に大きな影響を与えている現状を再確認できた。また水道水源の表流水への転換が進んだ地域において、製造業や環境用水用途の揚水などの影響が大きくなってきていることも明らかとなった。よって、本研究の成果は既往研究成果³⁾⁷⁾¹⁰⁾等と一体に活用することで、今後の地下水管理・地下水の有効活用の側面、渇水時や災害時の揚水量増大に伴う地盤沈下の可能性の検討、水収支の視点から地表水と地下水利用のバランスの検討などに資するものと考えられる。

なお、本研究は未だその端緒についたばかりであり、また環境局より公開されている地下水揚水量は自治体別・用途別に編集されており、揚水井の位置や深度データ等の属性は非公開情報となっている。このため、実現象との詳細な検討に資するよう、引き続き各種資料の入手に努めつつ、定量的な研究となるようさらに解析を進めて参りたい。

謝辞

本研究を遂行するに際し、東京都土木技術支援・人材育成センターほか関係機関からの情報提供等を頂きました。ここに記して深謝申し上げます。

参考文献

- 1) 守田優：地下水は語る，初版，岩波書店，pp.77-88，2012。
- 2) 中嶋博，金子紘士，土田稔：東京都における地盤沈下対策と地下水保全対策，地下水学会誌，第52巻第1号，pp.35-47，2010。
- 3) 東京都環境局：平成17～26年 都内の地下水揚水の実態 平成19～28年3月，pp.2-9,2007-2016。
- 4) 植村哲士，宇都正哲，中川隆之，向井肇：総合的な水資源管理の必要性和鍵となる未使用淡水資源の活用，知的資産創造，2010年9月号，pp.6-19，2010。
- 5) 東京都土木技術支援・人材育成センター：平成26年地盤沈下調査報告 平成27年7月，pp.5-9，2015。
- 6) Kohonen, T.: The Self-Organizing Map, Proceedings of The IEEE, Vol.78, No.9, pp.1464-1480, 1990。
- 7) 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，pp.44-55(ほか)，2011。
- 8) 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。

- 9) 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.1129-1134, 2014.
- 10) 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解析, 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol.71, No.4, pp.211-216, 2015.
- 11) 井芹慶彦, 水本真輝, 神野健二, 西山浩司: 自己組織化マップを用いた日本全国月降水量分布の変動特性解析, 水文・水資源学会誌, Vol.22, No.6, pp.466-478, 2009.
- 12) 井芹慶彦, 西山浩司, 神野健二, 河村明: 種々のパターン抽出手法による日本周辺冬季500hPa日平均温度場のパターン抽出, 土木学会水工学論文集, Vol.54, pp.439-444, 2010.
- 13) 西山浩司, 遠藤伸一, 神野健二, 河村明: 自己組織化マップを利用した梅雨期特有の気象場の分類, 土木学会水工学論文集, Vol.49, pp.241-246, 2005.
- 14) 井芹慶彦, 鼎信次郎: 自己組織化マップによる熱帯低気圧の経路・強度パターンの抽出, 土木学会論文集 G 環境, Vol.69, No.5, pp.1-66, 2013.
- 15) Nguyen, T. T., Kawamura, A., Tong, N. T., Nakagawa, N., Amaguchi, H. and Gilbuna, J. R., : Clustering spatio-seasonal hydrogeochemical data using self-organizing maps for groundwater quality assessment in the Red River Delta, Vietnam, *Journal of Hydrology*, Vol.522, pp.661-673, 2015.
- 16) Nguyen, T. T., Kawamura, A., Tong, N. T., Amaguchi, H., Nakagawa, N., Gilbuna, J. R. and Bui, D. D. : Identification of spatio-seasonal hydrogeochemical characteristics of the unconfined groundwater in the Red River Delta, Vietnam, *Applied Geochemistry*, Vol.63, pp.10-21, 2015.
- 17) Hilario, L. G. and Ivan, M. G. : Self-organizing map and clustering for wastewater treatment monitoring, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, Vol.17, pp.215-225, 2004.
- 18) Scott, K. E. and Oyana, T. J. : An improved algorithm for segregating large geospatial data, *9th AGILE Conference on Geographic Information Science*, pp.177-185, 2006.
- 19) 西山浩司, 遠藤伸一, 神野健二: 自己組織化マップの特性を利用した降雨予測, 土木学会水工学論文集, Vol.50, pp.403-408, 2006.
- 20) Jin, Y. H., Kawamura, A., Park, S. C., Nakagawa, N., Amaguchi, H. and Olsson, J. : Spatiotemporal classification of environmental monitoring data in the Yeongsan River basin, Korea, using self-organizing maps, *Journal of Environmental Monitoring*, Vol.13, pp.2886-2894, 2011.
- 21) 東京都水道局: 水道事業の概要 平成27年版, p.2, 2015.
- 22) 東京都水道局 多摩水道改革推進本部 技術指導課: 多摩地区水源井戸掘替計画, 平成19年6月, 2007.

(2016. 4. 7 受付)

ANALYSIS OF 10 YEARS OF GROUNDWATER PUMPED FLUCTUATION PATTERNS IN TAMA REGION OF TOKYO USING SELF-ORGANIZING MAPS

Shigeyuki ISHIHARA, Akira KAWAMURA, Hideo AMAGUCHI
Tadakatsu TAKASAKI and Eijirou KUBO

In this study, the fluctuation patterns of the amount of groundwater pumped over a 10 year period the period was investigated using Self-Organizing Maps (SOM), concentrating on 28 local cities in the Tama region of Tokyo Metropolis. The SOM classified the long-term fluctuation patterns of the groundwater pumped into six clusters showing clearly distinguishable patterns, and were then divided into four large groups. The results show that the fluctuation patterns of the decrease in groundwater pumped were classified into Group-A1 and A2. Most of the regular fluctuation patterns caused by a large amount of groundwater pumping were classified into Group-B1 and B2. Furthermore, the majority of the Group-B1 and B2 classifications were moved to Group-A1 and A2 due to a decrease in drinking water being pumped after being replaced by river (surface) water. However, some patterns remained in Group-B1 because of a major increase in water pumped for factories. These results show that the SOM analysis was successful in extracting the long-term fluctuations of groundwater pumped.