

## ネパール・カトマンズの水環境汚染と健康影響 A study on water pollution and health impact in Kathmandu Valley, Nepal

西田 継<sup>1\*</sup>  
Kei Nishida<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 山梨大学・国際流域環境研究センター  
<sup>1</sup>ICRE, University of Yamanashi

アジア地域では、安全な水へアクセスできなかつたり、衛生環境が不備なために、水を原因とする健康問題が日常化している場合が多い。その傾向は、特に人口が過密化する都市部で深刻である。当研究グループは数年来、ネパールの首都があるカトマンズ盆地において、水汚染、健康影響、浄化技術、水資源管理等についての研究を重ねてきた。カトマンズ盆地では、年間約2万人が水系感染症に罹患し、そのうち約3千人が死亡していると報告されているが、定量的かつ長期の調査例は非常に少なく、対策はおろか現状把握も正確にできていない。本講演では、主要な生活用水である浅層地下水の糞便汚染に関する最新の解析結果を、化学指標と微生物指標の側面から解説する。また、住民の水利用形態と健康影響の関連についても、これまでに聞き取り調査で得られた知見を紹介したい。

キーワード: カトマンズ, 水系感染  
Keywords: Kathmandu, water borne disease

## 武蔵野台地の浅層地下水中の硫酸イオンの起源について

## A preliminary study on origins of sulfate ion in shallow groundwater in the highly-urbanized Musashino Plateau, Tokyo, J

安原 正也<sup>1\*</sup>, 林 武司<sup>2</sup>, 中村 高志<sup>3</sup>, 稲村明彦<sup>1</sup>, 浅井 和由<sup>4</sup>Masaya Yasuhara<sup>1\*</sup>, Takeshi Hayashi<sup>2</sup>, Takashi Nakamura<sup>3</sup>, Akihiko Inamura<sup>1</sup>, Kazuyoshi Asai<sup>4</sup><sup>1</sup>産総研, AIST, <sup>2</sup>秋田大学, <sup>3</sup>山梨大学, <sup>4</sup>地球科学研究所<sup>1</sup>Geological Survey of Japan, AIST, <sup>2</sup>Akita University, <sup>3</sup>Yamanashi University, <sup>4</sup>Geo-science Laboratory Inc.

武蔵野台地の自由地下水は、凝灰質粘土層（板橋粘土層や渋谷粘土層）が浅層部に厚く分布する台地東部においては同粘土層の上位のローム層中に（水位は地表面下数 m 程度）、一方、粘土層が薄いあるいは存在しない台地西部では武蔵野礫層中に賦存する（水位は地表面下数 5-10m 程度）。この浅層地下水の水質について、本稿では特に硫酸イオンに注目し、その起源について予察を行った結果を報告する。

武蔵野台地の中央部を東流する石神井川の流域を対象に、約 150 地点の浅層地下水について 2009 年に実施した調査では、その硫酸イオン濃度分布には 7-135mg/L と著しい地域差が認められた（産総研未公表データ）。また、硫酸イオン濃度の経年変化も、塩化物イオンや硝酸態窒素・亜硝酸態窒素のそれと明らかに傾向が異なる（安原ほか, 2012）。一例として東京都水道局による杉並浄水場（杉並区善福寺；深さ 15-17m 程度の浅井戸により揚水）の水質データをみると、塩化物イオン濃度は 1960 年代後半にピークに達する。その後、約 30 年間は 21-23mg/L の値を維持するが、1990 年代半ばから減少を始めた。また、硝酸態窒素・亜硝酸態窒素濃度も 1980 年前後に 10mg/L 程度の最高濃度を示した後は減少傾向にあり、現在では 6-7mg/L 程度にまで低下している。これらとは対照的に、硫酸イオン濃度は 1951 年の 2.0mg/L からほぼ一貫して上昇を続け、1999 年にはピーク（17mg/L）に達し、その後も少なくとも 2003 年まで 15-16mg/L のほぼ一定の値を維持している（以上、東京都水道局のデータ；東京都水道局事業年報による硫酸イオン濃度の公表は 2003 年まで）。

このような著しい地域差と特異な濃度経年変化を示す硫酸イオンの起源の同定のため、都市化の程度が異なる小平市、西東京市、杉並区、練馬区、板橋区、豊島区からそれぞれ各 1 試料を選び、硫黄の安定同位体比（ $\delta^{34}\text{S}$ ）の測定を行った。その結果を 2012 年 10 月時点での硫酸イオン濃度とともに示すと次の通りである：小平市（+ 2.3 ‰, 31mg/L）；西東京市（+ 2.0 ‰, 22mg/L）；杉並区（+ 3.0 ‰, 17mg/L）；練馬区（+ 6.2 ‰, 10mg/L）；板橋区（+ 5.1 ‰, 45mg/L）；豊島区（+ 3.9 ‰, 59mg/L）。都市の地下水涵養源としての重要性がしばしば指摘されている水道漏水については、その硫酸イオン濃度は高いものの  $\delta^{34}\text{S}$  値の低さ（練馬区内の水道水；+ 0.6 ‰, 42mg/L）から、硫酸イオンの起源としての水道漏水の寄与の程度は大きくないと考えられる。一方で、化学肥料の  $\delta^{34}\text{S}$  値は +2.7 - + 3.5 ‰（村松ほか, 2010；千葉県野田市の下総台地における測定値）、また生活排水の  $\delta^{34}\text{S}$  値は + 6 - + 10 ‰程度（Vengosh, 2004）とされている。これらの値に基づくと、武蔵野台地の場合、浅層地下水の硫酸イオンは同位体的には化学肥料と生活排水を主な起源としているようである。化学肥料については、過去の農業活動によって散布された肥料が現在も関東ローム層中に残留し、降雨浸透に伴って徐々に地下水にもたらされている可能性がある。また、下水には通常高濃度の硫酸イオンが含まれている（区部の下水では最高で 55mg/L；産総研未公表データ）。下水道管渠の経年変化による老朽化によって、近年はより大量の下水が管渠から漏水するようになり、その結果、浅層地下水の水質に多大な影響を及ぼしているとも考えられる。今後はさらに多くの試料について硫黄同位体比の測定を行うとともに、窒素同位体や炭素同位体比も含めたマルチトレーサー手法を適用することによって、都市化が著しく進んだ武蔵野台地の浅層地下水の水質形成プロセスの解明を試みる予定である。

キーワード: 武蔵野台地, 都市の浅層地下水, 地下水水質, 硫酸イオン, 起源, 硫黄同位体

Keywords: Musashino Plateau, urban shallow groundwater, groundwater chemistry, sulfate ion, origins of sulfur, sulfur isotope

## 神奈川県足柄平野における自噴井の分布と自噴域の変化

### The distribution of the flowing artesian well and the change of flowing artesian well area in the Ashigara Plain.

宮下 雄次<sup>1\*</sup>

Yuji Miyashita<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 神奈川県温泉地学研究所

<sup>1</sup> Hot Springs Res. Insti. of Kanagawa Pref.

#### はじめに

島国であるわが国にとって、都市の多くが沿岸部の沖積平野に位置している。その沖積平野では、上部の扇状地や山地等において涵養された被圧地下水が、河川水とともに、工業用水源や水道水源として利用されている。高度経済成長期における都市域での過剰な地下水利用は、典型7公害のひとつとして挙げられた地盤沈下や、湧水の枯渇などの地下水障害の原因となった。

神奈川県西部足柄平野中・下流域に分布する自噴井湧水域においても、1960年代以降、自噴域の減少傾向が報告されている。しかし、足柄平野全体で1,000地点以上あると見られる自噴井の分布や、自噴量などの実態については、解明されていない部分も多く見られる。

そこで本研究では、神奈川県西部地域足柄平野の中・下部に広く分布する自噴井湧水について悉皆調査を行い、自噴井の分布及びその経年変化を明らかにした。

#### 調査結果及び考察

自噴井の調査は、平成23~24年度にかけて行い、平成23年度の調査では、自噴井の分布・湧水量・主要溶存成分について、1,096井の自噴井の調査を行い、足柄平野全体における自噴井からの湧水量の推計や、自噴井の範囲の特定等を行った。また、平成24年度の調査では、200井の自噴井を対象に毎月一回の調査を行い、自噴量の季節変化を明らかにした。

本研究の結果、調査した1,096本の自噴井のうち、調査時点で自噴していた井戸は749井あり、自噴量の測定を行うことができた648井の合計自噴量は26,738m<sup>3</sup>/day(976万トン/年)となった。一方、今回の調査で調査することができなかった自噴井が、対象地域内で687井確認できたことから、足柄平野における自噴井から湧出する自噴量は、50,262m<sup>3</sup>/day(1,835万トン/年)と推計された。この自噴量は、2003年における平野全体の地下水揚水量・自噴量合計の25%に相当し、事業所揚水量の約半分、水道水揚水量の約1.5倍の量に相当していることが明らかとなった。

また、足柄平野における自噴井が分布している範囲の面積は、13.49km<sup>2</sup>あった。足柄平野における自噴域については、過去5回の調査が行われており、最も古い1961年における自噴域(井上,1993)18.79km<sup>2</sup>と比べて、約7割に減少していた。自噴域の面積は、1980年代まで減少傾向を示し、1990年代以降、概ね13km<sup>2</sup>前後で推移していた。この変化傾向は、足柄平野上流域における地下水位の長期的な変動傾向と類似しており、自噴域の変動と自噴井地下水の涵養域に位置する足柄平野上流域の地下水位との間に定量的な関係がある可能性が示唆された。

キーワード: 自噴井, 足柄平野, 自噴域の変動

Keywords: flowing artesian well, Ashigara Plain, change of the flowing artesian well region

## 都市化した扇状地における鉛直動水勾配マッピング：豊平川扇状地を例として Regional mapping of vertical hydraulic gradient in urbanized alluvial fan: the case study of the Toyohira alluvial fan

阪田 義隆<sup>1\*</sup>, 池田 隆司<sup>1</sup>  
Yoshitaka Sakata<sup>1\*</sup>, Ryuji Ikeda<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 北海道大学大学院理学研究院

<sup>1</sup> Faculty of Science, Hokkaido University

### 1. はじめに

扇状地は、地形や水文、水理地質など様々な要因によって三次元地下水流動が形成される典型的なフィールドである。日本や世界各地にしばしば見られるように、扇状地の地下水流動系は、過剰な地下水揚水や地下構造物によってより複雑となる。こうした三次元地下水流動系の実態を理解するうえで、面的な鉛直方向の地下水流の情報は水平流に劣らず重要である。本研究の目的は、地下水面標高 (GTE) に対する鉛直動水勾配 (VHG) のマッピングによる、準三次元的アプローチを提案することである。

### 2. 方法

研究サイトは、北海道札幌市の豊平川扇状地である。1,000以上の井戸データを公的・民間機関から収集している。最初に、観測時期の違いによる不確実性に対して、データのフィルタリングを行っている。1970年代からの30箇所の観測井の年平均水位の変動及び日平均水位のボックスプロットを作成するとともに、ノンパラメトリック手法によるトレンド解析が行われる。次いで、1988年以降で抽出した井戸データを、深度20mを境に浅井戸(216個)、深井戸(203個)に区分し、地球統計学的内挿ツールを備える地理情報システムに入力する。地下水面標高のマッピングは、浅井戸の水位のみを用い、地形によるドリフト成分と残差成分のクリギング推定により行う。各深井戸の鉛直動水勾配を井戸の観測水位とその地点での推定地下水面とで計算し、近傍移動クリギングにより鉛直動水勾配マップを作成する。鉛直動水勾配の計算は深井戸の観測水位がどのスクリーン深度を用いるかがしばしば問題となる。本研究では、井戸スクリーンの最浅部、中間部、最深部それぞれの値でマッピングし、交差検証法に基づき統計的に最も妥当なマップを選定する。

### 3. 結果と討議

年平均した地下水位変動は1988年以前での地下鉄工事による水位低下を示すが、それ以降では日平均水位は統計的に1m以内の変動にとどまる。1988年以降でも扇端部では地下水利用の変化を示す正のトレンド、扇頂部では地下水貯留量の減少を示す負のトレンドがそれぞれ見られる。地下水面標高は地形と調和的だが、河川に沿った伏没涵養を示すマウンドが現れる。また市街地の地下水面は、地下鉄工事以前に比べて約5m低くなっている。交差検証法によれば、最深部のスクリーン深度で作成した鉛直動水勾配マップが統計的に最も妥当である。その鉛直動水勾配マップによれば、地下水面に対して鉛直下方に浸透する地下水流が扇状地全体を支配しており、地形毎に基盤の急傾斜(扇頂部)、河川の伏没涵養(扇中部)、都市化の影響(扇端部)を反映すると解釈される。

キーワード: センジョウチ, チカスイ, トレンドカイセキ, クリギング, ドウスイコウバイ, トシカ

Keywords: alluvial fan, groundwater, trend analysis, kriging, hydraulic gradient, urbanization

## 水文地質情報に基づく簡易的地中熱ポテンシャル評価手法の提案 Study on Proposal and Application of Simple Evaluation Technique for Geothermal Potential Based on Geological Information

西山 浩平<sup>1\*</sup>, 富樫 聡<sup>1</sup>, 山本 晃<sup>1</sup>, 檀 智之<sup>1</sup>, 高橋 努<sup>1</sup>, 間 峠 慎吾<sup>2</sup>

Kohei Nishiyama<sup>1\*</sup>, TOMIGASHI, Akira<sup>1</sup>, YAMAMOTO, Akira<sup>1</sup>, DAN, Tomoyuki<sup>1</sup>, TAKAHASHI, Tsutomu<sup>1</sup>, MATOUGE, Shingo<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 八千代エンジニアリング株式会社, <sup>2</sup> 久慈市

<sup>1</sup>Yachiyo Engineering Co., Ltd., <sup>2</sup>Kuji City

東日本大震災に起因する福島第一原子力発電所事故以降、将来の電力供給体制の在り方について議論がなされている中で、再生可能エネルギーに注目が集まっている。さらに電力の供給を特定地域に頼らないエネルギーの地産地消が求められている。これらのニーズを満たすものとして、浅層地盤や地下水の有する熱特性を利用して省エネルギーを図る地中熱利用ヒートポンプシステム (GSHP) がある。GSHP の普及にはシステム導入の適地の評価が重要となるが、地下水地盤環境の定量化が難しいこともあり、適地の選定に役立つ地中熱ポテンシャル評価手法は現在のところ一般化されていない。そこで本研究では、比較的収集が容易な水文地質情報を用いた広域を対象とする地中熱ポテンシャル評価手法を提案し、これをモデル地域に適用した。GSHP のシステム効率に関わる現象として、熱伝導、地下水流動が挙げられるが、これらは対象地域の地形や地質条件によって差異が生じるものもあり、地域特性として考えることができえる。この地域特性を的確に表現することを目的として、収集した土地利用、ボーリング調査結果、地質分布、地下水位等の情報を GIS データ化し、熱伝導現象や地下水流動に支配される移流現象に係る地下水面、帯水層厚、透水係数、熱伝導率、体積熱容量、ダルシー流速等の面情報を作成した。作成した熱伝導率と体積熱容量から地中熱シミュレーションソフト「Ground Club」を用いて地中熱交換井の単位長さ当りの熱交換量を算出し、

システム導入時に必要な地中熱交換井の本数や概算初期費用を試算した。これらを指標としてモデル地域のポテンシャルマップを作成し、システム導入に役立つ情報が得られた。

キーワード: 地中熱利用ヒートポンプシステム, 水文地質情報, 地中熱ポテンシャルマップ

Keywords: ground source heat pump system, hydrogeological information, geothermal potential map

## 関東平野北部の地下温度分布にみられる地下水開発の影響

### Effects of groundwater development on subsurface temperature distribution in the northern Kanto Plain

宮越 昭暢<sup>1\*</sup>, 林 武司<sup>2</sup>

Akinobu Miyakoshi<sup>1\*</sup>, Takeshi Hayashi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>産業技術総合研究所 地圏資源環境研究部門, <sup>2</sup>秋田大学 教育文化学部

<sup>1</sup>Geological Survey of Japan, AIST, <sup>2</sup>Faculty of Education and Human Studies, Akita University

筆者らは、関東平野における地下温度の分布構造ならびに長期的な変化に関して、1999年から継続した調査を行ってきた。従来から、平野北部には地下温度が特異的に高い地点が認められることが報告されて(高橋, 1967)、筆者らの研究(宮越ほか, 2003)においてもその存在が確認されているが、高温域の詳細な構造や成因については未だ不明な点が多い。さらに本地域においては、地下水開発を要因とした地盤沈下が現在も確認されており、揚水による地下水流動の変化が地下温度分布に影響を与えている可能性もある。そこで、平野北部の地下温度の詳細な分布と変化を把握するために、群馬県および栃木県に分布する地下水位・地盤沈下観測井66地点を対象として、2011年9~11月に温度プロファイルの測定を実施した。本発表では、利根川中流低地および渡良瀬川低地周辺(群馬県東部および栃木県南部)の30地点において観測されたデータの検討結果について報告する。

観測された地下温度分布には、足尾山地南側に周囲よりも温度が高い地点が認められ、高温域の存在が確認された。高温域の西側は栃木県足利、群馬県邑楽および明和周辺、東側は栃木県藤岡および群馬県板倉周辺に位置する。深度100mでは、高温域の中央付近に位置する群馬県館林周辺において周囲よりも相対的に低温となり、利根川北側と渡良瀬川南側の河川近傍に位置する観測井において特に温度が低い。深度150mでは、これら高温域と低温域の温度差が大きくなる。

本地域の水理水頭分布には、深度100~200mに低水頭部が認められ、低水頭部に集中する地下水流動の存在が示唆される。この低水頭部の形成深度は、本地域の主要な地下水開発深度と一致しており、館林周辺の低温域は揚水に伴う地下水の誘発的涵養によって形成された可能性が考えられる。一方、高温域においては、低水頭部の形成深度付近で地温勾配が大きくなる傾向が認められる。このような地温勾配の分布は、深部から低水頭部に向かう上向きの地下水流動の影響を示唆しており、深部の地下温度分布に平野の広域な地下水流動の影響だけではなく、揚水の人為影響により生じた地下水の流動が影響を及ぼしていることを示している。本研究により、地下水開発に伴う地下水流動の変化の影響が関東平野北部の地下温度分布に認められることが明らかとなった。

キーワード: 地下水開発, 地下温度, 地下水流動, 都市化, 関東平野

Keywords: groundwater development, subsurface temperature, groundwater flow, urbanization, Kanto Plain