

AHW024-01

会場:102

時間:5月27日 14:15-14:45

## 土壌・地下水汚染の調査における化合物レベル安定同位体分析 (CSIA) の活用 Use of compound specific isotope analysis (CSIA) on investigation of soil and groundwater contamination

中島 誠<sup>1\*</sup>, 斎藤 健志<sup>2</sup>, 辻村 真貴<sup>2</sup>, 田瀬 則雄<sup>2</sup>  
Makoto Nakashima<sup>1\*</sup>, Takeshi Saito<sup>2</sup>, Maki Tsujimura<sup>2</sup>, Norio Tase<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 国際環境ソリューションズ(株), <sup>2</sup> 筑波大・院・生命環境  
<sup>1</sup> Kokusai Environmental Solutions Co., Ltd, <sup>2</sup> Life and Environ. Sci., Univ. Tsukuba

{under}はじめに{/under}{cr/}

近年、アメリカやカナダを中心に、化合物レベル安定同位体分析 (CSIA) が揮発性有機塩素化合物 (CVOCs) や鉱油類による土壌・地下水汚染の調査・対策に活用され始めている。著者らは、土壌・地下水汚染の調査における CSIA の有効性について考察するため、潜在的な汚染原因物質となる VOC 製品毎の炭素安定同位体比 ( $\delta^{13}\text{C}$  値) の値を把握するとともに、土壌・地下水汚染サイトにおける各 CVOC の  $\delta^{13}\text{C}$  値の分布状況を調査し、土壌・地下水汚染調査における CSIA の有効性について検討した。{cr/}

{cr/}

{under}VOC 製品の炭素安定同位体比の測定{/under}{cr/}

潜在的な汚染原因となる VOC 製品について、国内で生産された CVOCs の実験用試薬および工業用試薬を収集し、元素分析計 / 同位体比質量分析計 (EA/IRMS) を用いて  $\delta^{13}\text{C}$  値を測定した。{cr/}

テトラクロロエチレン (PCE) 4 製品およびトリクロロエチレン (TCE) 4 製品について  $\delta^{13}\text{C}$  値を測定した結果、PCE は  $-37.29 \sim -29.77\%$ 、TCE は  $-27.45 \sim -26.26\%$  であり、PCE の方が TCE に比べて製品による  $\delta^{13}\text{C}$  値の差異が大きかった。{cr/}

CVOC の  $\delta^{13}\text{C}$  値は、微生物による生物的な分解プロセスに伴う同位体分別により上昇し、希釈や揮発といった物理的なプロセスではほとんど変化しないといわれている。したがって、土壌・地下水中および潜在的汚染源における汚染物質の  $\delta^{13}\text{C}$  値を CSIA により測定することにより、汚染源の絞り込むことができる可能性があると考えられる。{cr/}

{cr/}

{under}CVOCs による土壌・地下水汚染サイトへの CSIA の適用{/under}{cr/}

PCE を原因とする土壌・地下水汚染サイトの地下水調査にガスクロマトグラフ / 燃焼 / 同位体質量分析計 (GC/C/IRMS) を用いた CSIA を適用し、地下水中の各 CVOC の  $\delta^{13}\text{C}$  値の断面二次元分布を把握した。既往研究において、低濃度サンプルでの信頼性に課題は残るが、最適な条件下ではデータの  $\delta^{13}\text{C}$  値の不確かさは  $\pm$  約 0.5% 以内であることが報告されている。調査は 2007 年 8 月と 12 月に 2 回実施した。{cr/}

8 月に採水した地下水では、PCE の  $\delta^{13}\text{C}$  値が汚染源の観測井 RW-C (スクリーン深度: GL-2.5 ~ -1.5m) で  $-27.03\%$  であり、下流側に 40.4m 離れた観測井 A-3.0 (スクリーン深度: GL-3.5 ~ -2.5m) でそれより高い  $-26.44\%$  であった。また、cis-1,2-DCE の  $\delta^{13}\text{C}$  値は、A-3.0 で  $-25.47\%$  と最も低く、下流および下方に向かって値が高くなる傾向が認められた。これらのことから、RW-C 地点の PCE の分解による cis-1,2-DCE が下流側の各深度に分解しながら移動している状況が推察された。DO、ORP および硫酸イオン等の地下水質データから、CVOCs の分解は、微生物分解による還元脱塩素化反応であると考えられた。{cr/}

12 月の採水では、 $\delta^{13}\text{C}$  値の分布から 8 月と同じ汚染機構が推定され、汚染物質の移動メカニズムが安定していることが把握された。{cr/}

RW-C および A-3.0 では 12 月の PCE の  $\delta^{13}\text{C}$  値が 8 月に比べて  $2.67 \sim 3.36\%$  上昇し、RW-B では 12 月の cis-1,2-DCE の  $\delta^{13}\text{C}$  値が 8 月に比べて  $0.18\%$  上昇した。これに対して、RW-C より下流側の各地点・各深度の cis-1,2-DCE の  $\delta^{13}\text{C}$  値は  $0.11 \sim 0.59\%$  低下していた。今後、土壌・地下水中における地下水中 CVOC の  $\delta^{13}\text{C}$  値の季節変化について知見の蓄積が重要であると考えられる。{cr/}

これらの結果から、CSIA により測定される  $\delta^{13}\text{C}$  値の信頼性が確保できれば、CSIA により一斉測定した  $\delta^{13}\text{C}$  値の分布状況から汚染機構を推定できる可能性があることが示された。

キーワード: 土壌・地下水汚染, 炭素安定同位体, 分子レベル安定同位体分析, 揮発性有機塩素化合物

Keywords: soil and groundwater contamination, stable carbon isotope, compound specific isotope analysis, chlorinated volatile

organic compound

## 武蔵野台地東部における浅層地下水の起源と涵養機構に関する検討

### A study on the origin and recharge process of shallow groundwater in the east Musashino upland, Tokyo

林 武司<sup>1\*</sup>, 安原 正也<sup>2</sup>, 稲村 明彦<sup>2</sup>

Takeshi Hayashi<sup>1\*</sup>, Masaya Yasuhara<sup>2</sup>, Akihiko Inamura<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 秋田大学教育文化学部, <sup>2</sup> 独立行政法人産業技術総合研究所

<sup>1</sup> Akita University, <sup>2</sup> GSJ, AIST

都市域の水環境は都市化の段階に応じて様々に変化するが、一般に都市化が進行するにつれて不透水性の地表面が増加するとともに、下水道網の整備によって降水が系外に排出されることにより、降水の地下浸透量が減少するとされる。しかし、上下水道からの漏水は新たな地下水涵養源となることから、必ずしも地下水の涵養量が減少するとは限らない。その一方で、下水道からの漏水は地下水の汚染源となり、特に近年では医薬品類などによる地下水汚染が問題となってきた。都市域の水環境の保全や災害時の緊急水源としての地下水利用などを検討していく上で、地下水の涵養源ならびに涵養機構を把握することが重要である。

首都圏の経済的な中心である東京都区部は、19世紀末から都市化が進行してきた地域である。東京都区部は西側の台地部と東側の低地部に分けられるが、台地部には2003年時点においても280ヶ所の湧水が確認されている(東京都, 2003)。また、石神井川に湧出する地下水の起源を検討した稲村・安原(2008)によれば、地下水の主要な起源は降水である。これらの情報は、都市化が進行した現在においても、台地部に降水の地下浸透経路が存在しており、降水が地下水の主要な涵養源となっていることを示唆している。そこで本研究では、台地部における地下水の起源ならびに涵養機構を明らかにすることを目的として、豊島区内において地下水調査を実施するとともに、土地利用状況を調査した。豊島区は石神井川と神田川に囲まれた地域であり、区の中央部には池袋駅を中心とする市街地が形成され、西部は戸建を中心とする住宅地となっている。区内の上下水道の普及率は100%である。地下水調査は、2008年から2010年にかけて区内の浅井戸(個人井戸)13地点ならびに深井戸(防災井戸)9地点にて実施し、地下水の主要溶存成分ならびに酸素・水素安定同位体比を測定した。土地利用調査に関しては、1/2500地形図および基盤地図情報の5mDEMを用いて、地下水を採取した各浅井戸の大よその集水域を設定し、Google MapsとStreet Viewを利用して緑地および裸地を抽出した。

採取された地下水の酸素・水素同位体比は、浅井戸・深井戸ともに、降水(GNIP・TOKYO観測点における1969~1972年の降水ごとの同位体を降水量で加重平均したもの)と水道水(稲村・安原, 2008)の間の値を示した。この結果から、採取された地下水が降水と水道水もしくは下水道水を起源とし、これらを端成分として地下水が涵養されていると考えられた。そこで、降水・水道水を両端成分として、各地下水の起源としての降水の寄与率を求めた。その結果、浅井戸1地点のみが20.5%を示したが、これ以外は48.4~75.9%と高い値を示した。この結果は、降水が主要な涵養源であることを裏付けるものである。一方、浅井戸13地点の集水域の緑地・裸地率は11.6%~22.4%を示し、平均値は16.3%であった。東京都(1998)によれば、1991年における東京都区部の平均雨水浸透率は9.5%である。これに対して、豊島区(2001)によれば、1997年時の豊島区内の平均的な緑地・空地率は18.5%である。本研究の結果は、豊島区の調査結果に近い値となった。現時点では定量的な議論ができていないが、緑地・裸地率と、酸素・水素同位体比から求めた降水寄与率の関係を見ると、一部を除いて正の相関が見られたことから、本研究の結果は妥当性を有すると判断された。

本研究の結果は、当該地域においては、降水が現在も主要な涵養源であることを示している。その要因として日本においては、当該地域のように戸建を中心とする住宅地の場合、庭や軒下など降水が浸透可能な地表面が残されており、これらが主要な降水浸透経路になっていると考えられた。

キーワード: 都市地下水, 土地利用, 涵養機構

Keywords: urban groundwater, land use, recharge process

AHW024-03

会場:102

時間:5月27日 15:00-15:15

## 東京都・石神井川流域における浅層地下水中の硝酸イオン濃度の分布とその起源について

### Distribution and origins of nitrate in shallow groundwater in the Shakuji river catchment, central Tokyo, Japan

安原 正也<sup>1\*</sup>, 稲村明彦<sup>1</sup>, 竹内 美緒<sup>1</sup>, 鈴木 淳<sup>1</sup>, 林 武司<sup>2</sup>, 浅井 和由<sup>3</sup>, 山本 純之<sup>4</sup>, 鈴木 秀和<sup>5</sup>

Masaya Yasuhara<sup>1\*</sup>, Akihiko Inamura<sup>1</sup>, Mio Takeuchi<sup>1</sup>, Atsushi Suzuki<sup>1</sup>, Takeshi Hayashi<sup>2</sup>, Kazuyoshi Asai<sup>3</sup>, Atsushi Yamamoto<sup>4</sup>, Hidekazu Suzuki<sup>5</sup>

<sup>1</sup>産業技術総合研究所, <sup>2</sup>秋田大学, <sup>3</sup>(株)地球科学研究所, <sup>4</sup>近畿大学, <sup>5</sup>神奈川県温泉地学研究所

<sup>1</sup>Geological Survey of Japan, AIST, <sup>2</sup>Akita University, <sup>3</sup>Geo Science Laboratory, <sup>4</sup>Kinki University, <sup>5</sup>Hot Springs Res. Inst. Kanagawa Pref.

石神井川は武蔵野台地をほぼ東に向かって流下する河川であり、その流域は小平市から北区まで広がる（流域面積；62km<sup>2</sup>，本流流路長；25km）。石神井川流域の市街地面積率は1993年時点で87%であり（東京都，2006），特に下流部に位置する板橋区，豊島区，北区ではいち早く都市化が進み，現在はその大部分が不透水性の地表面によって覆われている。また，練馬区より上流の西東京市や小平市でも近年急速に都市化が進行しつつある。今回，約150本の浅井戸（深度10m未満）を対象に2009年と2010年に実施した調査の結果，典型的な都市化流域である石神井川流域における浅層地下水中の硝酸イオン（NO<sub>3</sub><sup>-</sup>）濃度についてその詳細が明らかになったので報告したい。なお，同地域の浅層地下水は武蔵野台地を構成する段丘礫層もしくはその上位の関東ローム層中に賦存している。

石神井川流域の全域で著しい硝酸汚染が確認され，最高値は練馬区における231.9mg/lであった。平均値としては豊島区；44.0mg/l（14試料），北区；39.3mg/l（17試料），板橋区；39.4mg/l（19試料），練馬区；39.4mg/l（54試料），西東京市；37.2mg/l（30試料），小平市；26.7mg/l（15試料）と下流から上流に向かって濃度が漸減する傾向が認められた。汚染の指標として塩化物イオン（Cl<sup>-</sup>）濃度も併せて測定したが，豊島区；23.4mg/l，北区；20.8mg/l，板橋区；19.8mg/l，練馬区；17.8mg/l，西東京市；16.5mg/l，小平市；13.6mg/lと，NO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度と同様にCl<sup>-</sup>濃度の平均値も上流ほど低濃度であった。NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/Cl<sup>-</sup>比は1.9（豊島区，北区）から2.3（西東京市，練馬区）であり，一國（1996）による地下水中のCl<sup>-</sup>とNO<sub>3</sub><sup>-</sup>の起源が大気降水物と生活排水にある場合の両者の比2.0とほぼ似通った値であった。また，15サンプル程度を対象に予察的に実施したNO<sub>3</sub><sup>-</sup>のdelta-<sup>15</sup>Nとdelta-<sup>18</sup>Oの分析結果からは，下流域ほど同位体比が重い傾向が認められた。すなわち，下流域になるほど，そのNの主たる起源は化学肥料や土壌由来ではなく，下水漏水や家庭排水の寄与がより高くなることも示唆された。

石神井川流域では約20年前に全域で下水道普及率が100%に達している。このような下水道が完備されて久しい都市化流域ではあるが，浅層地下水に認められる高濃度のNO<sub>3</sub><sup>-</sup>の起源としては前述した下水道管からの下水漏水の他に，下水道の供用開始以前に地中浸透処理された家庭污水（土壌中での有機物・NO<sub>3</sub><sup>-</sup>の残存・溶出）なども可能性としては否定できない。今後，より多数の地点でのNO<sub>3</sub><sup>-</sup>の窒素・酸素同位体比の測定や，天然には存在しない化学成分（ガドリニウム等の医薬品）の濃度測定を通じて，石神井川流域の浅層地下水中のNO<sub>3</sub><sup>-</sup>の起源について詳細な検討を進める予定である。

キーワード: 東京, 都市域, 浅層地下水, 硝酸, 塩化物, 下水漏水

Keywords: Tokyo metropolitan area, urban area, shallow groundwater, nitrate, chloride, leaking sewer

AHW024-04

会場:102

時間:5月27日 15:15-15:30

## 東京都区部地下水における医薬品類 (PPCPs) および人為起源のガドリニウムの検出 Pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) and anthropogenic gadolinium in groundwater in central Tokyo

黒田 啓介<sup>1\*</sup>, 福土 哲雄<sup>1</sup>, 村上 道夫<sup>2</sup>, 小熊 久美子<sup>1</sup>, 高田 秀重<sup>3</sup>, 滝沢 智<sup>1</sup>  
Keisuke Kuroda<sup>1\*</sup>, Tetsuo Fukushi<sup>1</sup>, Michio Murakami<sup>2</sup>, Kumiko Oguma<sup>1</sup>, Hideshige Takada<sup>3</sup>, Satoshi Takizawa<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東大院・工・都市工学, <sup>2</sup> 東大・「水の知」(サントリー), <sup>3</sup> 東京農工大・農・環境資源科学

<sup>1</sup>Dept. of Urban Eng., Univ. Tokyo, <sup>2</sup>“Wisdom of Water” (Suntory), Univ. Tokyo, <sup>3</sup>Tokyo Univ. of Agri. and Tech.

東京都では多摩地区の多くの地域において地下水が水道水源となっているほか、人口が集中する都心部では非常時の水不足の解消や、夏場のヒートアイランド対策としての散水、環境用水などとして地下水が役立つ可能性がある。しかしながら、既報によると東京都区部の地下水から高濃度の窒素、有機物、大腸菌、有機フッ素化合物などの汚染物質が検出されており、このうち一部の汚染物質は生活排水に由来している。このため、地下水水質保全に向けて生活排水による汚染の都市域レベルの実態把握が求められる。

このことから、本研究では、東京都区部の地下水試料において、生活排水に特異的に含まれると考えられる医薬品類 (Pharmaceuticals and Personal Care Products, 以下 PPCPs とする) および人為起源のガドリニウム (以下、人為起源 gadolinium とする) を測定した。PPCPs は海外で下水の定量的なトレーサーとの報告がある carbamazepine と、地中において減衰しにくいと日本で報告されている crotamiton を含む 6 種類を測定した。人為起源 gadolinium は病院での MRI 検査に用いられる造影剤に由来すると考えられており、これも地下において減衰しにくいトレーサーとの報告がある。

試料は 2007 年 10 月から 12 月に 19 区における 50 地点の地下水を採取した。不圧地下水は 32 地点、深度は 10-30m 程度、被圧地下水は 16 地点、深度は 30-500m、加えて武蔵野台地上の湧水を 2 地点採取した。PPCPs に関しては、試料は採取後すぐに GF/F フィルターでろ過したのち、重水素で置換されたサロゲートを添加し、固相抽出後の濃縮液を 5% 水不活性化シリカゲルカラムクロマトグラフィーにより分離・精製し、GC-MS により分析した。人為起源 gadolinium に関しては、試料を採取後すぐに 0.45 $\mu$ m のセルロースエステルフィルターでろ過し、60% HNO<sub>3</sub> を 1% (v/v) 添加し、内部標準元素として Bi を添加し、希土類元素を ICP-MS で測定した。人為起源 gadolinium 濃度は、ICP-MS で測定された総 gadolinium 濃度と gadolinium の近縁元素である samarium と terbium から推定される地質起源の gadolinium 濃度の比が 1.3 を超えた場合に総 gadolinium 濃度から地質起源の gadolinium 濃度を減じることで求めた。

PPCPs は不圧地下水において 32 地点中 21 地点 (66%)、湧水では 2 地点中 2 地点 (100%)、被圧地下水では 16 地点中 7 地点 (44%) で PPCPs が検出された。不圧地下水や湧水で多くの地点で PPCPs が検出されたことから、PPCPs は地表付近において生活排水による汚染によりもたらされたと考えられた。被圧地下水の検出地点は武蔵野台地と東京低地の境界部に多く位置しており、PPCPs の検出は被圧状態にある東京層が上層で接する不圧帯水層から影響を受けたことによる可能性があった。PPCPs の濃度は東京都の下水流入水中濃度に比べて 1-2 オーダー程度低かったが、下水流入水と同程度の濃度の地点も見られた。測定した 6 種の PPCPs のうち、carbamazepine が 50 地点中 19 地点、crotamiton が 50 地点中 18 地点検出され、もっとも高頻度で検出された。また、大腸菌 E. coli は 4 地点において検出されており、そのうち crotamiton は 4 地点全てで、carbamazepine は 2 地点で検出された。微生物は地中で死滅・吸着などにより減衰するため、PPCPs は E. coli より幅広く検出されたと考えられた。

人為起源 gadolinium は 50 地点のうち不圧地下水 7 地点及び被圧地下水 1 地点で検出された。一方、PPCPs と人為起源 gadolinium の検出地点の分布が異なっており、両者が同時に検出されたのは 3 地点のみで、人為起源 gadolinium の検出地点では E. coli は検出されなかった。このことは汚染源の違いに起因すると考えられた。PPCPs は生活排水に広く含まれると考えられる一方、人為起源 gadolinium は MRI を有する病院からの排水に特に高濃度で含まれることが報告されている。このことから、人為起源 gadolinium が検出された地点では、地下水が MRI を有する病院からの排水の影響を強く受けていたと考えられた。

キーワード: 地下水汚染, 生活排水, 医薬品類, ガドリニウム, 大腸菌

Keywords: groundwater pollution, domestic wastewater, pharmaceuticals and personal care products (PPCPs), gadolinium, E. coli

AHW024-05

会場:102

時間:5月27日 15:30-15:45

## 新宿区おとめ山公園における湧水の微生物汚染 Microbial contamination in spring at Otomeyama Park in Shinjuku Ward

佐藤 良介<sup>1\*</sup>, 村上 道夫<sup>2</sup>, 黒田 啓介<sup>1</sup>, 酒井 宏治<sup>1</sup>, 小熊 久美子<sup>1</sup>, 滝沢 智<sup>1</sup>

Ryosuke Sato<sup>1\*</sup>, Michio Murakami<sup>2</sup>, Keisuke Kuroda<sup>1</sup>, HIROSHI SAKAI<sup>1</sup>, Kumiko Oguma<sup>1</sup>, Satoshi Takizawa<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東京大学大学院工学系研究科都市工学専攻, <sup>2</sup> 東京大学「水の知」(サントリー)

<sup>1</sup>Dept. Urban Engineering, Univ. Tokyo, <sup>2</sup>“Wisdom of Water” (Suntory), Univ. Tokyo

湧水は地表水に比べると安定した供給が見込まれることから、古くから飲料、洗濯、農業などに広く利用され、地域住民の生活や生業に深く結びついた存在である。また、周辺住民の親水空間の場としても価値を持つものである。

2008年における全国的な地下水水質状況の把握を目的として環境省により実施された概況調査結果によると、対象井戸(4290本)のうち6.9%(295本)が各項目の環境基準を超過しており、湧水についても、必ずしも良好な水質ではない可能性がある。我々の研究室では、東京都区部における地下水の実態調査を行っており、湧水の80%(5箇所中)、不圧地下水の19%(58箇所中)、被圧地下水の5.2%(58箇所中)から大腸菌が検出された。湧水中の大腸菌は、親水利用上の障害となるものであり、その汚染が懸念される。

そこで、本研究では、東京都新宿区のおとめ山公園における湧水の親水利用のための微生物汚染の実態調査を行った。東京都新宿区のおとめ山公園では、新宿区による公園拡張計画が進行中であり、同計画は拡張後の公園で湧水を親水利用することを目指している。

本研究では、下水処理水再利用における親水用水としての水質基準に関する水質項目(pH、臭気、外観、大腸菌、濁度、色度)を中心に測定し、特に湧水の大腸菌および大腸菌群による微生物汚染に着目した。

まず、おとめ山公園近辺での涵養源を把握するために、新宿区によるボーリング調査等を参考に、地形に関する基礎データを収集し、概略図を作成した。これにより、湧水の帯水層を推定した。

次に、おとめ山公園内の湧水の継続的な水質調査を行った。さらに、湧水源と考えられる帯水層の地下水を周辺井戸から採水し、水質分析に供した。

湧水のpHは6.55~7.35、大腸菌は1~4150CFU/100mL、大腸菌群は230~21000CFU/100mL、濁度は0.2~20、色度は0.0~18.5であった。下水処理水再利用における親水用水としての水質基準に関する水質項目のうち、特に大腸菌に関する基準値の超過が顕著であった。また、雨天時における濁度や色度の基準値の超過も確認された。おとめ山公園の周辺の井戸から採水した地下水の大腸菌は146~1100CFU/100mL、大腸菌群は508~25650CFU/100mLであり、湧水中の汚染レベルと同程度であった。湧水および地下水中の大腸菌と大腸菌群の比と下水処理水場の流入水中の大腸菌と大腸菌群の比を比較したところ、湧水および地下水では相対的に大腸菌群が多く含まれていた。今後、降雨前後での大腸菌および大腸菌群の変動やおとめ山公園近辺の土壌中の大腸菌および大腸菌群の測定を行い、これらの起源を推定する。

キーワード: 湧水, 都市の地下水, 親水利用, 大腸菌, 水質基準

Keywords: spring, urban groundwater, amenity use, *E. coli*, water quality standard

AHW024-06

会場:102

時間:5月27日 15:45-16:00

## 埼玉県平野部に分布する堆積物からの重金属類の溶出特性について Leaching properties of heavy metals and metalloids from natural sediments in plain side of Saitama Prefecture.

八戸 昭一<sup>1\*</sup>, 石山 高<sup>1</sup>, 濱元 栄起<sup>1</sup>, 北口 竜太<sup>2</sup>, 小口 千明<sup>3</sup>

Shoichi Hachinohe<sup>1\*</sup>, Takashi Ishiyama<sup>1</sup>, Hideki Hamamoto<sup>1</sup>, Ryuta Kitaguchi<sup>2</sup>, Chiaki T. Oguchi<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 埼玉県環境科学国際センター, <sup>2</sup> 埼玉大学工学部建設工学科, <sup>3</sup> 埼玉大学・地圏科学研究センター

<sup>1</sup>Center. Environmental Science in Saitama, <sup>2</sup>Dep. Civil Engineering, Saitama Univ., <sup>3</sup>Geosphere Research Inst., Saitama Univ.

埼玉県平野部に分布する自然地層中にふくまれる重金属類の種々の特性を評価するため、人為的な影響を受けていない堆積物試料を対象としてヒ素・鉛・鉄・クロム・マンガン等の溶出特性を考察した。全ての試料は埼玉県中央部の荒川・中川低地および大宮台地において採取し、地表より概ね 10m までの深度で採取された計 150 試料 (22 地点) について、全量値及び溶出量値を求めた。全量値の測定には波長分散型蛍光 X 線分析を採用し、溶出量値の測定には環境庁告示第 46 号の土壤溶出試験に準じた方法を採用した。ローム層の重金属類の全量値は他の地層と比較して同等から 2 倍程度であったのに対して溶出量値は著しい低値を示し、ローム層の高い重金属吸着能が確認された。谷底低地内の腐植土層下位に堆積しているシルト層 (完新統) は硫黄の全量値や溶出液の電気伝導度等から海成層であることが示唆され、このような海成層の溶出液は pH = 3~4 程度の比較的強い酸性を示した。また、自然堤防の砂層はいずれの重金属類も溶出量値は低値を示した。全データについて溶出量値と全量値との関係を求めたところ両者は無相関であった。よって自然地層からの重金属類の溶出特性を制約しているのは地層中に含まれる重金属類の絶対量でなく、水と堆積物との相互作用であることが示唆された。また、全ての重金属類は溶出液の液質が pH = 3~4 以下まで酸性化すると溶出量値が著しく増加した。海成層のうち貝を多量に含む試料は溶出液の液性をアルカリ側へシフトさせていることから、貝殻片の有無やその溶けやすさが液性、ひいては自然地層からの重金属類の溶出特性を制御する大きな要因と考えられた。一方、ヒ素・鉛・鉄・クロムなどは pH = 6~7 の中性~弱酸性の条件下で溶出量値が増加する例が確認された。これらの試料は濁度が 10NTU を超過し、検出された重金属類は溶出液中に生成したコロイドに吸着されたものと推察された。

キーワード: 重金属類, ヒ素, 鉛, 水 - 岩石相互作用, 溶出, 堆積物

Keywords: heavy metal, arsenic, lead, water-rock interaction, leaching, sediment

AHW024-07

会場:102

時間:5月27日 16:00-16:15

## 埼玉県秩父地方における森林土壌中の重金属濃度 Heavy-metal concentration of forest soil in Chichibu region, Saitama prefecture

片山 美祐子<sup>1\*</sup>, 田林 雄<sup>2</sup>, 山室 真澄<sup>3</sup>  
Miyuko Katayama<sup>1\*</sup>, Yu Tabayashi<sup>2</sup>, Masumi Yamamuro<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 東大・理・地惑, <sup>2</sup> 産総研・地質調査総合センター, <sup>3</sup> 東大・新領域・自環

<sup>1</sup>Earth & Planetary Sci., UT, <sup>2</sup>GSI, AIST, <sup>3</sup>Natural Env., Frontier Sci., UT

大気からの窒素沈着が原因とみられる「窒素飽和(生態系の要求量を超える窒素がもたらされる状態)」によって、荒川上流域では渓流水の全窒素濃度が上昇している(河川環境管理財団、2008)。工業の発展による大気中への排出量は、窒素化合物だけでなく重金属類でも増加している。森林での窒素飽和が都市域からの窒素化合物の流入によって発生するとすれば、人間活動に由来する重金属が窒素化合物と共に森林に沈着し、土壌および渓流水を汚染している可能性がある。また土壌微生物の代謝が重金属の影響を受けることにより、窒素の流出挙動が変化する可能性もある。本研究では、土壌からの重金属の流出挙動及び窒素飽和と重金属汚染との関連を検討するため、窒素飽和現象が報告されている埼玉県秩父地方において土壌断面を作成し、晴天時と降水後の2回、土壌を採取して1M塩酸抽出液を作成し、主に自動車や工業によって排出されると考えられるクロム、亜鉛、鉛、銅、アンチモン濃度を比較した。また、窒素飽和の進行段階が異なると考えられる渓流付近の8地点でも土壌を採取し、1M塩酸抽出液中のクロム、亜鉛、鉛、銅、アンチモン濃度を測定した。

降雨後の土壌断面での重金属濃度低下率(クロム53%、亜鉛49%、鉛10%、銅15%、アンチモン2%)は、イオン化傾向の大きい金属(クロム>亜鉛>鉛>銅>アンチモン)ほど高い傾向が認められた。このことから、イオン化傾向が高い重金属ほど土壌から流出しやすい可能性が考えられた。また、一部を除き、渓流付近の土壌抽出液中の重金属濃度は、どの地点でも大きな差がみられなかった。このことから重金属による土壌中の窒素の無機化・硝化への影響は、8地点とも同程度であると考えられる。したがって、それら8地点で渓流水中の硝酸イオン濃度が41~219 μMと大幅に異なる原因は、土壌微生物に対する重金属の影響ではなく、大気からの窒素沈着量を直接反映したものであると推測された。

荒川の最上流域では、ほかの地点に比べて土壌中アンチモン濃度が高かった(荒川最上流域1.9ppm、他地点0.2~0.6ppm)。この原因として、かつて荒川最上流域付近で操業していた秩父鉱山の影響が考えられた。秩父鉱山ではアンチモンを含む車骨鉱( $\text{CuPbSbS}_3$ )や毛鉱( $\text{Pb}_4\text{FeSb}_6\text{S}_{14}$ )の採掘が行われていた記録が残っている。鉱山から排出されたアンチモンが残留していたか、周辺の土壌の母材がもともアンチモンを多く含んでいた等の可能性が考えられた。

以上より、秩父地方では渓流水への窒素流出に対する重金属の影響は少なく、渓流水の硝酸濃度は大気からの窒素の沈着量に対応している可能性が高いと判断した。

キーワード: 森林土壌, 重金属汚染

Keywords: forest soil, heavy-metal contamination



AHW024-08

会場:102

時間:5月27日 16:30-17:00

## 関東地下水盆の水理地質構造モデリングの試み Hydrogeological Modeling Results of Kanto Groundwater basin

古川克彦<sup>1\*</sup>, 斉藤 庸<sup>2</sup>, 三宅 紀治<sup>3</sup>, 忌部 正博<sup>4</sup>, 小泉 謙<sup>5</sup>, 愛知 正温<sup>6</sup>, 徳永 朋祥<sup>6</sup>  
Katsuhiko Kogawa<sup>1\*</sup>, Mamoru SAITO<sup>2</sup>, Noriharu MIYAKE<sup>3</sup>, Masahiro IMBE<sup>4</sup>, Ken KOIZUMI<sup>5</sup>, Masaatsu AICHI<sup>6</sup>, Tomochika TOKUNAGA<sup>6</sup>

<sup>1</sup> 開成技術, <sup>2</sup> 日本工営, <sup>3</sup> 産総研, <sup>4</sup> 雨水協, <sup>5</sup> レアックス, <sup>6</sup> 東京大学

<sup>1</sup>Kaisei Gijutsu Co.,Ltd., <sup>2</sup>Nipponkoei Co.,Ltd., <sup>3</sup>AIST, <sup>4</sup>ARSIT, <sup>5</sup>RaaX Co.,Ltd., <sup>6</sup>University of Tokyo

過去の過剰揚水による地下水位低下と地盤沈下,そして近年の揚水規制に伴う被圧地下水位の上昇と鉄道地下駅など地下インフラ施設への影響問題など,首都圏の地下水に関わる各種現象の理解には,関東平野規模の広域場での地下水流動系の実態詳細把握が必要不可欠と考えられる.その具体的アプローチとしてはまず,揚水量や地下水位など基礎データの整理・分析とともに地下水を流す器としての水理地質構造の把握が要となる.筆者らはこの数年間,主に応用地質学会での活動を通して関東地下水盆の水理地質構造モデリングを試みてきたところであり,今般その成果として下記するように,地下水盆範囲,水理地質層序そして水理地質構造に分けてモデリングの基本的考え方を報告する.

関東地下水盆の範囲は,帯水層として地下水の涵養・賦存・流動の対象となる第四紀更新世・完新世の地層が分布する範囲とした.その範囲は,丘陵・台地・低地を含んで関東平野と通称される範囲に概ね一致する.

関東地下水盆の水理地質層序の組立に当たり,まず,関東平野全体での地質層序の対比を試みたが当初からそれは困難な状況にあった.その理由は,他の広域地下水盆と同様,関東平野全体を対象とした地質学的研究はこれまで行われておらず,また地域的な研究においても自治体や研究機関毎に解釈が異なるなどしていたためである.本研究では苦慮の上,(1)多数の既往関連文献の反映,(2)地下地質層序に関する最新の研究成果の反映,(3)酸素同位体層序の考慮等,地層対比に係る5つの基本条件を設定し,これらを満たすように水理地質層序の統一を試みた.その結果,関東平野の水理地質層序は,第四紀更新世の上総層群に相当するVII~IX層,下総層群に相当するIII~VI層,段丘堆積物に相当するII層,第四紀更新世から完新世の沖積層に相当するI層の9層に区分することとした.なお,最下層のIX層は岩相および地下水の開発状況から水理地質基盤として扱うこととした.

水理地質構造は以下の手順で評価した.まず,水源井の掘削資料と新旧の地質構造研究成果に基づき水理地質基盤の概略出現深度と第VI層(下総層群の最下位層)の下限深度を推定し,次に水理地質層序を勘案しつつ既往研究成果の地質断面図等を拠り所として水理地質断面図を作成した.最後に水理地質断面に基づき,水理地質層序第I~VIII層の下限深度等高線図を作成し,水理地質構造モデリングを完了した.水理地質構造モデリング(下限深度等高線図)から得られた新知見としては,埼玉県北部と千葉県千葉市沖の東京湾に沈降域が存在し盆状の水理地質構造が形成されていることが挙げられる.このうち,埼玉県北部に発達する沈降域の長軸は近接する活断層と平行で調和的であり,またこの盆状構造は深部層ほど鮮明となる.断層活動と沈降及び盆状の水理地質構造の強い関連が示唆され,地下水位や水質・水温などの地下水流動指標の分布特性の検討に当たっても留意が必要と考えられる.

キーワード: 関東地下水盆, 広域地下水流動系, 水理地質構造モデリング

Keywords: Kanto groundwater basin, Regional groundwater flow system, Hydrogeological modeling

AHW024-09

会場:102

時間:5月27日 17:00-17:15

## 関東地下水盆における地下水揚水量の長期変化並びに被圧水頭時系列との関係 Long-term Transition of Pumping Rate and relationship with Confined Head in Kanto Groundwater Basin

斎藤 庸<sup>1\*</sup>, 愛知正温<sup>2</sup>, 三宅紀治<sup>3</sup>, 古川克彦<sup>4</sup>, 忌部正博<sup>5</sup>, 小泉謙<sup>6</sup>, 徳永朋祥<sup>7</sup>

Mamoru Saito<sup>1\*</sup>, Masaatsu AICHI<sup>2</sup>, Noriharu MIYAKE<sup>3</sup>, Katsuhiko KOGAWA<sup>4</sup>, Masahiro IMBE<sup>5</sup>, Ken KOIZUMI<sup>6</sup>, Tomochika TOKUNAGA<sup>7</sup>

<sup>1</sup> 日本工営, <sup>2</sup> 東京大学, <sup>3</sup> 産総研, <sup>4</sup> 開成技術, <sup>5</sup> 雨水協, <sup>6</sup> レアックス, <sup>7</sup> 東京大学

<sup>1</sup>Nippon Koei Co., Ltd., <sup>2</sup>University of Tokyo, <sup>3</sup>AIST, <sup>4</sup>Kaisei Gijutsu Co., Ltd., <sup>5</sup>ARSIT, <sup>6</sup>RaaX Co., Ltd., <sup>7</sup>University of Tokyo

過去の過剰揚水による地下水位低下と地盤沈下, そして揚水規制に伴う近年の被圧水頭の上昇と鉄道地下駅など地下インフラ施設への影響問題など, 首都圏の地下水に関わる各種現象の理解には, 関東平野規模の広域場での地下水流動系の実態詳細把握が必要不可欠と考えられる. その具体的アプローチとしてはまず, 揚水量などの基礎データや地下水位など地下水流動指標の整理・分析が必要となる. こうしたデータは最終的に数値モデルによる広域地下水流動系の再現・定量化に利用されるが, モデルの精度向上を果たすためには, 揚水がさほど顕著でなかった時期まで遡り地下水揚水量を復元することが望まれる.

筆者らはこの数年間, 関東地下水盆全域における水文環境の長期変遷の再現・把握を試みてきたところであるが, 今般その成果として, 戦前からの地下水揚水量復元の方法とその結果, さらにそうして復元された揚水量の長期変遷と被圧水頭時系列(観測値)との関係を報告する.

揚水量の復元は1920年まで遡ったが, そのように設定した理由は, 関東平野の地盤沈下が昭和初期(1920年頃)に始まっていて, 動力ポンプによる地下水揚水はこのころから増え始めたと考えられることにある. 一方, 関東地下水盆内で多少なりとも揚水量関連データが存在し集計可能なのは, 平野内揚水総量が最大規模だった1970年前後以降である. 幾つかの試行の結果, 経済指標のGNPと総揚水量とに良好な相関関係が確認できたことから1970年前後以前の揚水量は基本的にこの相関関係を用い推定・復元した. ただし, 終戦の年の1945年は揚水量0を仮定している.

地下水位のモニタリングとしては, 首都圏沖積低地における被圧水頭の観測開始が最も早く, 1950年代前半からのデータがある. 首都圏沖積低地の被圧水頭は, 揚水規制が講じられる1960年代半ば頃まで低下し続け, その後1980年代途中まで比較的急激な回復傾向にあり, それ以降は多少の振幅を伴いながら最近まで回復傾向が継続している. 上記で整理・復元した東京都の地下水揚水量の長期変遷と被圧水頭の経時変化は極めて調和的であり, 1970年前後以前の揚水量復元結果の妥当性を強く支持している. 一方, 首都圏沖積低地の1980年代半ば以降の被圧水頭と周辺地域の揚水量との関係を調べたところ, 今後周辺地域の揚水量が一層減少した場合に水頭は, さらに上昇することが予想される結果となった.

キーワード: 関東地下水盆, 広域地下水流動系, 地下水揚水量, 被圧地下水頭

Keywords: Kanto groundwater basin, Regional groundwater flow system, Pumping rate, Confined groundwater head

AHW024-10

会場:102

時間:5月27日 17:15-17:30

## 広域地下水流動モデルによる関東地下水盆地地下水ポテンシャルの再現と予測 Simulating Past and Future Hydraulic Potentials by Groundwater Flow Modeling in Kanto Groundwater Basin

小泉 謙<sup>1\*</sup>, 愛知 正温<sup>2</sup>, 古川 克彦<sup>3</sup>, 斎藤 庸<sup>4</sup>, 三宅 紀治<sup>5</sup>, 忌部 正博<sup>6</sup>, 徳永 朋祥<sup>2</sup>

Ken Koizumi<sup>1\*</sup>, Masaatsu Aichi<sup>2</sup>, Katsuhiko Kogawa<sup>3</sup>, Mamoru Saito<sup>4</sup>, Noriharu Miyake<sup>5</sup>, Masahiro Imbe<sup>6</sup>, Tomochika Tokunaga<sup>2</sup>

<sup>1</sup> レアックス, <sup>2</sup> 東京大学, <sup>3</sup> 開成技術, <sup>4</sup> 日本工営, <sup>5</sup> 産総研, <sup>6</sup> 雨水協

<sup>1</sup>RaaX Co., Ltd., <sup>2</sup>University of Tokyo, <sup>3</sup>Kaisei Gijutsu Co., Ltd., <sup>4</sup>Nippon Koei Co., Ltd., <sup>5</sup>AIST, <sup>6</sup>ARSIT

近年、気候変動の影響と推察される洪水や渇水が頻発する一方で大地震の発生も懸念される中、良好な水資源としての地下水の利用を望む声が高まってきている。しかしながら、地下水は目に見えないこと、地域的な相違が大きいことなどから、定量的なメカニズムの解明は困難な状況にある。筆者ら研究グループは、関東地下水盆地全体の地下水流動機構を概略評価する目的で、水理地質、地下水流動指標ならびに水収支等に関する資料の収集・整理してきた。その成果をふまえ、関東平野の帯水層分布域について三次元地下水流動解析を行い、地下水流動系の解釈と今後の地下水位変動予測を試みた。

水理地質構造は堆積時代や堆積環境の異なる地層についての地質学的検討結果に基づく10層(I~II, III-1, III-2, IV~IX層)の帯水層区分のうち、IX層を除く9層を採用した。解析にはUSGS開発の差分法飽和三次元地下水流動モデルMODFLOW-2000搭載のVisual MODFLOWを用い、三次メッシュ4つ分(東西・南北各2つの1辺約2km)を基本単位とする格子で解析範囲を分割し、水理地質構造を数値化してモデルに組み込んだ。解析期間は1920~2003年の84年間で、1年単位の非正常解析により同期間の地下水観測孔の水位変動を再現対象とした。特に1970年代の多量の揚水による地下水ポテンシャルの大きな低下と、揚水規制後の上昇傾向が継続している東京都~埼玉県南部の低地帯に着目した。重要な入力条件である揚水量は検討結果をモデルグリッド単位で整理しなおし、主たる揚水対象層に配分した。水理定数は基本的に水理地質構造ごとに設定したが、沖積層に相当するI層は河川成か海成かで性質が異なることから、水理地質区分を細分した。また、現況再現解析の過程で地下水位の再現性が劣る武蔵野台地には、他の地域のII層(段丘礫層)とは異なる定数を設定し、再現性の向上を図った。

実測地下水位の変動は、目立った経年変動を示さずほぼ一定値で推移する観測井と、いったん激しく低下し現在は回復傾向にある観測井とに大きく分類できる。前者は浅層にスクリーンが設置されている井戸、後者は深層にスクリーンが設置されている井戸に特徴的であるが、計算結果ではこれらの実現象をほぼ再現することができた。特に主たる揚水対象層であるV層以深にスクリーンをもつ観測井の水位変化が再現できたことは、実測地下水位の経年変動が周辺揚水井戸の揚水量に調和的であることを意味する。主要帯水層であるVII層の1999年の計算ポテンシャル分布では、1970年代の多量の揚水により形成されたと考えられる東京都東北部から埼玉県東部に伸びるポテンシャル低下域が認められる。この地下水ポテンシャル形状からは、関東地下水盆地縁辺部から平野中央部のポテンシャル低下域に向かう地下水流動系の存在がうかがえる。東京都~埼玉県南部低地帯の観測井戸水位における揚水規制後の上昇傾向は現在も継続しているが、本モデルを用いた予測計算によると、現在の揚水量を維持した場合、少なくとも50年後に東京都台地部とその縁辺部で約5mの水位上昇が生じる可能性がある。この広域地下水流動モデルは、地下水流動・地盤変形連成モデルの連結解析による関東平野中北部泥質層内の間隙水圧・変形挙動に関する地盤沈下シミュレーションにも応用されている。

キーワード: 地下水流動モデル, 関東地下水盆地, 広域地下水流動系, 地下水流動・地盤変形連成モデル

Keywords: Groundwater flow model, Kanto groundwater basin, Regional groundwater flow system, Coupled groundwater flow/land subsidence model

AHW024-11

会場:102

時間:5月27日 17:30-17:45

## 水資源解析システムの開発～大和川の地下水量の解析～

### Development of the water-resources analysis system The analysis of the amount of ground-water of Yamato-River Basin -

谷口 正伸<sup>1\*</sup>

Masanobu Taniguchi<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 和歌山大学

<sup>1</sup> Wakayama University

日本は比較的湿潤多雨地帯であるが、国土が狭く急峻であり、水の確保が重要な課題である。そのため、ダム建設、人口の少ない近隣流域からの利水の獲得により大都市の水を確保しているが、都市排水による河川の富栄養化、ダム湖水の淡水赤潮、豪雨・増水時の地滑り対策など、並行して様々な問題に直面する。解析時における問題として、解析にかかる時間の大半は分析測定データの整理、統計データの照合、整形に費やされる。様々な電子統計データは気象庁や国土交通省など様々省庁、研究所、大学、企業から提供されている。しかしながら、そのデータ形式はまちまちであり、水に関するデータを集めるだけでもかなり大変である。気象庁、国土交通省の水文データなどを利用して解析する場合、同じ時間、間隔、空間のまとまったデータでまとめて解析を行う。しかし、同じ時間軸で異なる項目を並べるにはかなりの労力が必要である。本研究ではデータ構築とシステムの開発、現象の解析を並行して行い、実用的な解析システムの構築を行う。また、同時に比較的調査データ、水文データ、GISデータ、統計が整備され、水資源の確保、生活排水や都市排水からの栄養塩の負荷が原因で水質悪化が問題となっている。これまで研究成果として、生活排水起源の窒素の有機物分解過程と有機物分解から硝化までの変化割合の算定、窒素同位体による有機物の窒素起源と分解過程の解析、年間での負荷量解析、長期水文データによる分布型の水収支解析が行われてきている。大和川では地下浸透量の把握が課題となっており、奈良盆地での地下水量の推定、地下水の流れの予測を予測するため、計算部のシステムを構築している。奈良盆地には1400mm/yearの降水量があり、ソーンスウェイト法に標高効果を考慮した気温勾で推測した気温分布で計算すると700mm/yearが蒸発であり、木津川（水道）や吉野川（農業）の分水量を考慮すると200mm/yearの地下浸透量が見込まれる。奈良盆地の水はほとんどが亀の瀬と呼ばれる溪流に集まり、水収支を計算するには非常にわかりやすい地形となっている。地下水位、河川水位のデータから推察すると天王寺で地下水位が高く、河川水位が低くなっており、水位の逆転が起こっており、地下水が王寺で湧出している可能性が高い。地下水の硝酸やアンモニア濃度が高くなっており、地下水の飲用水としての利用がどの程度可能か、地下水の貯留時間はどの程度であるのか、地下水量を把握し、水資源としての利用をいかに効率よくするかが、水不足問題が起こったときに重要であると考えられる。この水解析システムは汎用性が高く、データ生成の自動化を行っており、他流域での活用を前提として作成している。降水量の時系列データからの分布データの作成、標高データからの勾配、落水方向データの生成、河川のツリー構造のデータベース化、集水域メッシュの小流域での管理、土地利用データからの浸透量の計算、河川流量の管理が現在作成が完了している。いくつかの計算に使用できるように改変する必要があるが、将来タンクモデルやキネマティックウェーブによる流出解析、地下浸透モデルなどの解析に耐えうるように設計している。単純な水収支解析部は完成しており、分布で把握できるようになっている。大和川の奈良盆地では130億トンの水が出入りしていると試算され、試算値では470万トン年間で不足している状況である。分水がされなければ面積当たりの試算で約500mm/yearの水が不足している。

キーワード: 水資源, 地下水量, 水質, 解析システム, GIS

Keywords: water resource, amount of groundwater, water quality, Analysis system, GIS

AHW024-12

会場:102

時間:5月27日 17:45-18:00

## 東京湾埋立地における長期観測により認められた地下温度の上昇 Subsurface warming observed in a long-term temperature monitoring beneath the re-claimed land in the Tokyo Bay area

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, <sup>2</sup> 秋田大学

<sup>1</sup> Geological Survey of Japan, AIST, <sup>2</sup> Akita University

地下温度は、様々な人間活動の影響を受けて変化している。例えば、地球温暖化や都市化に伴う排熱・蓄熱は地下温度を上昇させる。これらの影響により、自然状態では地下温度は深部ほど高温となるが、地下浅部の温度が上昇して地下温度勾配の逆転部が形成される。特に、都市域では地下浅部の温度上昇が顕著であり、都心と郊外に明確な温度差が確認されている。また、地下水開発に伴う地下水流動の変化も、地下温度分布に影響を与える。地下温度分布は、地下水流動に伴う熱移流の影響を受けるため、地下水開発に伴って地下温度分布が変化している。例えば、関東平野の南西部に位置する武蔵野台地の西部では、地表面温度上昇の影響が台地東部よりも深部まで到達していることが報告されており、その要因として地下水揚水に伴う誘発涵養が指摘されている。また、東京都東部の低地では、過去の地下水開発に伴う地下水流動の変化の影響が、現在の地下温度分布にも残されていることが指摘されている。このように、地下水温を継続的に観測することによって地下水環境の変化を把握することができるが、従来の研究では地下温度変化を数年間あるいはそれ以上の間隔での断続的な観測に基づいて議論しており、地下温度の変化を連続的に観測した事例は極めて少ない。本研究では、東京湾の13-2号埋立地に設置した観測孔において、複数深度の地下温度長期モニタリングを実施した。併せて、地下温度プロファイルを定期的に測定し、深度別の温度変化を把握した。

得られた複数回の地下温度プロファイルには経時変化が認められたが、その傾向は深度によって異なった。深度20m以浅の有楽町層上部においては変化が大きいが、季節変動とは異なる変動傾向を示した。観測孔の周囲において、土木工事に伴う地下水揚水が実施されていたことから、局所的な人為影響を反映している可能性が考えられた。また、深度30m(有楽町層下部)、40m(東京層)においては継続的な地下温度の上昇が認められ、浅部ほど上昇率が大きい傾向が認められた。本研究の結果は、東京湾埋立地の地下温度・地下水環境に人間活動の影響が強く反映されていることを示唆しており、地下環境が変化し続けていることが明らかとなった。

キーワード: 地下温度, 地下水流動, 東京湾, 埋立地, 地下温度上昇

Keywords: subsurface temperature, groundwater flow, Tokyo Bay, reclaimed land, subsurface warming

AHW024-13

会場:102

時間:5月27日 18:00-18:15

## 都心での地中熱利用 -2年間の運転実績- Two year Performance of the Ground Source Heat Pump System in Central Tokyo

笹田 政克<sup>1\*</sup>, 高杉真司<sup>2</sup>, 舘野正之<sup>2</sup>  
masakatsu sasada<sup>1\*</sup>, Shinji Takasugi<sup>2</sup>, Masayuki Tateno<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 地中熱利用促進協会, <sup>2</sup> ジオシステム株式会社  
<sup>1</sup>Geo-Heat Promotion Association of Japan, <sup>2</sup>GeoSystem Co. Ltd.

環境省の調査によると東京都での地中熱利用施設数は、2009年までの累計で50件を超えた。今回発表する都心の小規模オフィスビルに導入した地中熱ヒートポンプシステムは、不凍液を循環させて地盤との熱交換を行うクローズ型で、空水冷ハイブリッド型のヒートポンプを用いてオフィスの冷暖房を行っている。2008年11月から運転を開始し、最初の1年間の実績では、年間成績係数(APF)が4.3、暖冷房時の成績係数(COP)がそれぞれ3.6、5.8であった。また、電力消費量では、空気熱源ヒートポンプの実績に対して、49%の高い省エネ率を実現した。地中熱交換器はボアホール型のもので、75m深度のものが8本、駐車場の下に埋設されている。地質は、関東ローム層、東京層及び舎人層の砂、シルト、砂礫からなる第四紀の地層であり、サーマルレスポンステストにより求めたこれらの地層全体の有効熱伝導率は1.8 W/(m・K)である。運転開始後1年間の運転による地盤からの採熱量は51 GJ、地盤への放熱量は53 GJで、バランスのとれた熱利用実績となった。地盤と熱交換する循環流体(不凍液)の温度は、ヒートポンプの入口で年間13 ~ 26 の範囲であり、運転1年後の温度は運転開始時と同じ18であった。

2年目にあたる2010年の夏は通常の年に比べて気温が高く、冷房による排熱をその前の年以上に地中に放熱することになった。前年の地中への放熱量である53 GJに8月中に到達したため、9月以降は空気熱源での運転に切り替えた。その結果、地中の温度は回復に向かい、2サイクルの期間が終わる11月には、運転開始時と同じ18に戻った。この間の採放熱量、循環流体の温度実績をもとに行ったシミュレーションで、持続的な運転が可能であることが示された。

キーワード: 地中熱, ヒートポンプ, 熱伝導率

Keywords: ground source, heat pump, thermal conductivity

AHW024-14

会場:102

時間:5月27日 18:15-18:30

## 地中熱利用に関するポテンシャル評価手法の開発 Development of potential assessment on ground-source heat pumps

大谷 具幸<sup>1\*</sup>, 河地 浩平<sup>1</sup>

Tomoyuki Ohtani<sup>1\*</sup>, Kohei Kawachi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 岐阜大学

<sup>1</sup>Gifu University

自然エネルギーのポテンシャル評価を行うに当たって、太陽光や風力ではそれぞれ METPV や風況マップのように評価のための支援ツールが作成されているのに対して、地中熱利用のポテンシャル評価手法はこれまで確立されてこなかった。近年、地方自治体において自然エネルギーのポテンシャル評価に関する試みがなされているものの、各地域での評価手法を統一しなければ複数の結果を比較検討することができないため、地中熱利用に関するポテンシャル評価手法の確立が望まれる。そこで、地中熱利用のポテンシャル評価の考え方について検討を行い、東海三県（愛知・岐阜・三重）と関東一都三県（東京・千葉・埼玉・神奈川）について試算を行った。なお、水平型の地中熱交換型は広い設置面積を必要とすること、また地下水利用型は地下水揚水規制の制約を受けることから、ここでは垂直型の地中熱交換型地中熱利用を対象とする。

地中熱利用のポテンシャルについて、それが意味するところについて以下のように整理する。賦存量とは、ある地域において立地や土地利用状況などを考慮せずに可能な限り地中熱交換井を設置したときの回収熱量とする。なお、地中熱交換井は長さ 100m、各孔井の間隔は 5m とする。これに対して、立地条件や土地利用状況を加味した実現可能な導入量を導入可能量とする。賦存量の評価には、産総研による 100 万分の 1 日本地質図から岩相分布を把握した上で、ドイツ技術者協会による VDI ガイドラインに基づいて岩相によって期待される地中熱交換井からの単位長さ当たりの採熱量を年間稼働時間 2400 時間として求めた。導入可能量の算定のためには、土地利用 3 次メッシュ、商業統計、工業統計、国勢調査、事業所・企業統計調査を用いて、熱需要の評価を行った。

ポテンシャル評価では、年間採熱量を地質の分布が影響するため酸性の火成岩類が分布する地域で高く、第四紀層が分布する平野では低い。一方で導入可能量評価では、土地利用状況を加味して建物用地のみで地中熱利用を行うことが可能と考え、年間採熱量は平野に発達する都市部で大きく、山間部で小さくなる。また、商業統計等を用いることにより業種毎の延べ床面積を求めることができ、国勢調査等によりある地域の住宅の延べ床面積を推定することができる。今後の新築住宅および建築物は次世代省エネルギー基準を満たすものとして、その単位面積当たりの年間暖冷房負荷を設定した。その結果、人口密度や建築物の密度を反映するため、年間暖冷房負荷の分布は都市部に極度に集中している。このようにして求めたポテンシャルと年間暖冷房負荷を 1km メッシュ毎に比較すると、大半の地域では年間暖冷房負荷をポテンシャルが上回り、地中熱利用のみで必要な熱需要を供給できることがわかる。一方で、大都市域のごく一部では年間暖冷房負荷がポテンシャルを上回っており、このような地域では地中熱利用のみではすべての熱需要を賅えないといえる。

キーワード: ポテンシャル評価, 地中熱利用

Keywords: potential assessment, ground-source heat pumps

## 京都盆地の地下水, 湧水および降水の安定同位体分布特性

### Spatial distribution characteristics of stable isotopes in groundwater, spring water and precipitation samples at Kyoto

藪崎 志穂<sup>1\*</sup>, 河野 忠<sup>1</sup>, 原 美登里<sup>1</sup>, 鈴木康久<sup>2</sup>

Shiho Yabusaki<sup>1\*</sup>, Tadashi Kono<sup>1</sup>, Midori Hara<sup>1</sup>, Michihisa Suzuki<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 立正大学地球環境科学部, <sup>2</sup> 水文化研究家

<sup>1</sup>Rissho University, <sup>2</sup>Water-culture specialist

京都盆地は南北約 18km, 東西約 10km の縦に長い形状となっており, 鴨川と桂川によって形成された扇状地が広がっている。盆地の地質は中央部の鴨川扇状地帯では砂礫層が広がっており, 南部の氾濫低地では砂礫・砂と粘土の互層が卓越し, 地下水はこれらの砂礫層中に多く保持されている。こうした地形・地質特性により, 京都盆地では昔から地下水が多く利用され, 書物に記載されている有名な井戸や名水も多く存在している。近年では人為的な影響を受けて地下水位の低下や水質の劣化が生じ, 枯渇したり埋められてしまった井戸もあるが, 現在でも利用されている井戸も多い。京都盆地の地下には豊富な地下水が貯蔵されているが, 盆地北部の貴船や鞍馬地域などの山間部から盆地南部の伏見地域などにかけて広い範囲に地下水が存在しているため, 地質の影響などを受けて地下水の水質は場所によって異なっていると考えられる。また, 涵養域や地下水流動にも異なりがあることが予測される。京都盆地の地下水流動や涵養域について明らかにするために, 京都盆地一帯の地下水等の採水に加え, 標高別の降水採取を実施し, それらの水質や酸素・水素安定同位体比を分析した。

盆地内の地下水の酸素安定同位体比は-8.9‰~-5.3‰, 水素安定同位体比は-58‰~-35‰と広範囲にわたっているが, 盆地周縁の山地部の地下水についてみると, 標高の高い場所で同位体比は相対的に低くなる傾向が認められる。また, 盆地中央部の鴨川沿いの地下水では井戸深度の違いによらず同位体比はほぼ一定しており (<sup>18</sup>O で約-7.8‰, D で約-50‰), 鴨川の同位体比に近い値を示していることから, 深い深度まで鴨川による涵養の影響を受けていることが示唆された。これは一般水質や SiO<sub>2</sub> 濃度の結果とも整合している。

降水サンプルは盆地北部の 3 地点 (P-1: 標高 32.5m, P-2: 100m, P-3: 310m) に蒸発防止構造を有した降水採取装置を設置し, 2009 年 9 月 9 日~2011 年 1 月 24 日まで約 2ヶ月毎に採水を行った。採取した降水は採取量から降水量を求め, 一般水質および酸素・水素安定同位体比を測定した。2009 年 9 月~2010 年 8 月までの 1 年間分の降水の酸素・水素安定同位体比の加重平均値は, <sup>18</sup>O 値で-7.9‰, D 値で-52‰ (P-1), -8.1‰, -54‰ (P-2), -8.4‰, -55‰ (P-3) であり, 小林ほか (1997) で報告されている比叡山周辺の降水の同位体加重平均値 (低地部 <sup>18</sup>O: -7.7‰, D: -50.4‰; 山地部 <sup>18</sup>O: -8.6‰, D: -52.6‰) とほぼ同様の値となっている。3 地点の同位体比を用いて高度効果を求めたところ, <sup>18</sup>O で-0.17‰/100m (r<sup>2</sup>=0.981), D で-0.7‰/100m (r<sup>2</sup>=0.819) となっており, 標高が高いほど同位体比が低くなる高度効果が認められた。周辺の山地部で採取した地下水や湧水等の同位体比にも同様の高度効果があらわれている。本発表では, こうした降水の同位体比の特徴と京都盆地の地下水の同位体比を比較して, 地下水流動や涵養域の推定について考察を行う。

キーワード: 京都盆地, 地下水, 湧水, 降水, 水質, 安定同位体

Keywords: Kyoto basin, groundwater, spring water, precipitation, water quality, stable isotope



AHW024-P02

会場: コンベンションホール

時間: 5月27日 10:30-13:00

## 関東平野に分布する高塩濃度地下水の塩化物イオンの起源に関する検討 Origin of chloride ion in groundwater in Kanto plain, Japan

網田 和宏<sup>1\*</sup>, 水野 清秀<sup>2</sup>, 林 武司<sup>1</sup>, 安原 正也<sup>3</sup>

Kazuhiro Amita<sup>1\*</sup>, Kiyohide Mizuno<sup>2</sup>, Takeshi Hayashi<sup>1</sup>, Masaya Yasuhara<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 秋田大学, <sup>2</sup> 産業技術総合研究所, <sup>3</sup> 産業技術総合研究所

<sup>1</sup> Akita Univ., <sup>2</sup> Institute of Geology and Geoinform, AIST, <sup>3</sup> Geological Survey of Japan, AIST

関東平野では、数 10mg/l ~ 200 mg/l の高い塩化物イオン濃度によって特徴づけられる地下水塊の存在が明らかにされており（例えば木野，1970），これまでその成因に関する様々な考察が行われてきた．例えば，木野（1970）は，降水を起源とする地下水が閉鎖的な環境下で海成層からの塩化物の供給を受けたものであると推定している．また，高塩化物イオン濃度地下水の帯水層が停滞性の高い半閉鎖系の環境にあって堆積当時の塩化物イオンが残留しているとの推定（池田，1984）がなされているほか，近年においては水素・酸素同位体比と水質とを対比させた考察も行われている（林，2003）．

以上のような状況に対し，我々は関東平野において掘削されたボーリングコア試料を用いて塩化物イオンの溶出実験を行い，その結果から地層間隙水中の塩化物イオン濃度の鉛直方向および水平方向分布に関する検討を行ってきた（2009年地球惑星連合大会講演発表，2010年同ポスター発表）．シルト質層を主な対象として行ったこれらの実験より得られた主な結果は（1）春日部コアの深度 325.95m ~ 326.0m 地点に分布する砂混じりシルト層で最も高い塩化物イオン濃度が示され，その値より推定される間隙水の塩化物イオン濃度は約 2000mg/l である（2）実験を行ったコア試料で推定された間隙水中塩化物イオン濃度は，その大半が数 10mg/l ~ 数 100mg/l 程度であり，実験を行った 67 試料中，1000mg/l 以上の濃度が示された層は 3ヶ所しかなかった（3）海成層の試料を用いた実験で高い塩化物イオン濃度が示されるというわけではなく，陸成層において得られる結果も海成層と同等か，それ以上の塩化物イオン濃度が示される場合もあった（4）春日部コアから 20km ほど北西に位置する菖蒲町で掘削されたコア試料を用いた結果では，春日部コア相当の塩化物イオン濃度が示されることはなく，最も間隙水濃度が高くなる場合を想定しても 760mg/l 程度にとどまることが分かった，などであった．このように高い塩化物イオン濃度が示される領域は，鉛直方向や水平方向に対して必ずしも連続的な分布を示さないことや，また必ずしも堆積当時の環境を反映していない可能性が高いことが示唆された．

そこで今回は，春日部コアの深度 100 m - 200m 区間に存在する全ての層を対象として溶出実験を行った．これにより，一連の堆積サイクルの中で形成された各層に対応した塩化物イオン濃度分布が明らかとなることが期待される．

キーワード: 関東平野, 塩化物イオン, 溶出実験

Keywords: Kanto Plain, Chloride ion, Leaching experiment

AHW024-P03

会場: コンベンションホール

時間: 5月27日 10:30-13:00

## 埼玉県における地下温度分布とその時間変動 Regional subsurface temperature profiles and the temporal variations in Saitama prefecture

濱元 栄起<sup>1\*</sup>, 八戸 昭一<sup>1</sup>, 佐坂 公規<sup>1</sup>, 石山 高<sup>1</sup>, 白石 英孝<sup>1</sup>, 宮越 昭暢<sup>2</sup>, 山野 誠<sup>3</sup>

Hideki Hamamoto<sup>1\*</sup>, Shoichi Hachinohe<sup>1</sup>, Kouki Sasaka<sup>1</sup>, Takashi Ishiyama<sup>1</sup>, Hidetaka Shiraiishi<sup>1</sup>, Akinobu Miyakoshi<sup>2</sup>, Makoto Yamano<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 埼玉県環境科学国際センター, <sup>2</sup> 産業技術総合研究所, <sup>3</sup> 東京大学地震研究所

<sup>1</sup>Cent. for Env. Sci. in Saitama, <sup>2</sup>AIST, <sup>3</sup>Earthquake Res. Ins., Univ. of Tokyo

地中熱利用システムは、自然エネルギーの活用有望なシステムとして日本国内でも多数導入され始めている。この地中熱利用システムの設計や効率の把握のためには地下環境の基礎情報(地下温度、地質、地下の水理特性など)が必要不可欠である。本研究の目的は、埼玉県をモデル地域として広域的な地下環境の調査を行い、社会に公開することで地中熱利用システムの普及促進を後押しすることである。本発表では、特に地下温度についての調査手法とその結果について述べる。

地下の温度分布の計測は、埼玉県の平野部に位置する地下水観測井を活用し、2009年度に25地点、2010年度に19地点(2011年1月末時点)で実施した。2009年度と2010年度に測定した観測井は同一のものであるが、測定した季節が異なり、2009年度は夏季(7月~10月)に、2010年度は冬季(10月~2月)に測定を行った。

これまでの結果から、地下深部の熱を起源とする温度勾配は、埼玉県ではおよそ20~30mK/mであり、従来から報告されている値とも整合的である。また多くの地点では、深さ約50m付近に変曲点があり、それよりも浅い深さでは温度が地表面に近づくにつれて上昇している。これは、地球温暖化や都市のヒートアイランド現象など最近の約100年間の地表面における温度上昇を反映したものであると考えられる。2009年度と2010年度の温度分布を比較すると、多くの地点では、約100m以深の温度についてはほとんど変化していないが、一部の地点では、明らかに異なっている。これらの地点は、農業が盛んな地域に位置しており、灌漑用水として春から夏にかけて大量の地下水を揚水している。ひとつの解釈として、季節的な大量の揚水が地下水流動に影響を与えて、その変動によって地下温度が変化したものと推測される。このような変化が季節的なものかどうかを把握するためには、この深度で温度モニタリングを行うことが有効であり、今後このようなモニタリングを予定している。

一方、地表面に近い深度では、一般に地表面における温度の季節変動が地下へ熱拡散によって伝わるため、地下温度分布も変動をしている。そしてこのような地表面の季節変動が、どの深さまで影響を及ぼすかは、地下の熱物性などに依存し、地域ごとに異なる。そこで、地表面に近い深度での温度を繰り返し計測するために、埼玉県環境科学国際センターの敷地内に深さ15mと30mの観測井を掘削した(15m観測井は2010年3月、30m観測井は2011年1月に設置)。このうち15mの観測井で、2010年10月と2011年1月に温度分布の計測を行った。この結果、この地点では約8mよりも浅い深さで季節的な変動による影響が観測された。

広域的な地下温度分布の特徴を知るとともに、その地下の温度分布が時間的にどのように変化するのかを把握することは、地下環境を把握するうえで重要である。また本発表で述べる地下温度分布の調査手法や解析手法は、他の地域にも適用することができるため、重要なモデルケースとしての意義もある。

キーワード: 地下温度, 季節的溫度変動, 温度勾配, 関東平野, 埼玉

Keywords: Subsurface temperature, Seasonal temperature variations, thermal gradient, Kanto plain, Saitama

## 我が国における地中熱利用ポテンシャルマップの構築に向けて Study on development of potential map for geothermal heat pump system

吉岡 真弓<sup>1\*</sup>, 内田 洋平<sup>1</sup>

Mayumi Yoshioka<sup>1\*</sup>, Youhei Uchida<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 産業技術総合研究所地質調査総合センター

<sup>1</sup> Geological survey of Japan, AIST

地中熱利用システムは、地下浅層(100m程度)の熱を冷暖房や給湯、融雪などに利用する省エネルギー技術の1つである。欧米諸国では一般住宅をはじめ、すでに広く導入されており、最近では、中国、韓国における導入数の伸びも著しい。地中熱利用システムについては、海外、国内共に高い運転効率や省エネルギー性が実証されているにも関わらず、我が国では本システムの普及が大幅に遅れているのが現状である。地中熱利用システムの普及のためには、地中熱の効率的な利用法の検討と長期的なシステムの安定性の実証および地下環境への負荷の小さいシステム設計が求められる。そのためには、“地中熱ポテンシャル”を定量的に評価し、各地域に適した地中熱の利用方法を提案することが必要であると考えられる。本研究では、我が国における“地中熱ポテンシャルマップ”の構築を目的とし、その第一段階として既存の地中熱利用可能性を検討した研究をレビューすると共に、実用的な“地中熱ポテンシャルマップ”への課題を検討する。

地中熱利用システムは、その採放熱方法は大きく2つに分類され、1つは地下水を汲み上げ、その熱を直接利用する方法(ここでは「地下水利用型」とする)、もう1つは、地中に熱交換井を埋設し、U字チューブを介して、地下と熱交換を行う方法(「熱交換井型」とする)である。また、自然の地中熱を利用するだけでなく、夏季の排熱を地下に蓄熱し冬季に利用する「季節間蓄熱」も地中熱利用の1種である。これらのシステム効率は、地質構造や地下水環境に大きく影響を受けるが、各要素が運転効率に与える影響は一律ではなく、相反する場合も考えられる。“地中熱ポテンシャル”は、前述の地中熱利用形態に応じて評価されるべきであるが、その検討についてはまだ十分とは言えない。

既存の研究では、濱田ほか[2002]が地質年代と地層区分、地盤の硬さを基礎とし、地下水位および透水係数のデータを加え、我が国における地中熱利用形態別の導入可能地域の割合を求めている。また、山梨県地中熱利用促進協議会では、甲府盆地に対し地層区分をもとに地中熱ポテンシャルマップを作成している。地下水利用型地中熱ポテンシャルを検討した研究例としては、大谷ほか[2008]では、濃尾平野を対象に帯水層分布および地下水揚水量を整理し、導入可能地域の検討を行っている。ゼネラルヒートポンプ工業株式会社ほか[2009]では、既存井戸の可能揚水量や水質、揚水規制の観点から地中熱利用ポテンシャルマップを作成している。熱交換井型地中熱ポテンシャルを検討した研究例としては、Fujii et al.[2007]があり、筑紫平野を対象に広域地下水流動・熱輸送解析を行い、それらの結果を反映させた単一熱交換井モデルを構築し、定量的な熱交換量分布図を作成した。吉岡ほか[2010]では、福井平野を対象に熱交換量マップを作成し、さらにGISを用いて地下情報を重ね合わせた適地マップ(内田ほか[2010])と比較し、地下情報から地中熱ポテンシャルを推定するため評価手法を検討している。

これらの研究では、地下水利用型については、地質、地下水位、帯水層厚さ、揚水量、揚水規制状況、地下水水質および地下水流速を指標としており、熱交換井型では、地質、地下水位、帯水層厚さ、地下温度および地下水流速を指標としている。しかし、同じ地中熱利用の形態であっても使用する指標は統一されておらず、また、各指標がどの程度の影響を及ぼすのかについては、いくつかの指標については個別の研究例があるものの、定量的な評価はまとめられていない。今後は、これらの指標を整理すると共に、各地中熱利用の形態において、どの指標が、地中熱利用に対しどの程度の影響を及ぼすのかについて実験と解析の両者から検討を進めていくことが求められるであろう。加えて、地中熱の需要側(住宅、工場等)とのバランスや経済性の評価を付加することで、より実用的なマップの作成に繋がると考えられる。

### 参考文献

内田ほか(2010)、日本地熱学会誌、32(4)、pp.229-239。 / 大谷ほか(2008)、日本地熱学会誌、30(2)、pp.121-129 / ゼネラルヒートポンプ工業株式会社ほか(2010)、NEDO『エネルギー使用合理化技術戦略的開発 エネルギー使用合理化技術実用化開発 地下水循環型空水冷ハイブリッドヒートポンプシステムの研究開発』 / 濱田ほか(2002)、エネルギー・資源、23(1)、pp.61-67。 / Fujii et al.(2007)、Geothermics、36、pp.459-472。 / 山梨県地中熱利用促進協議会 Web ページ、<http://a-mec.jp/ygha/index.html> / 吉岡ほか(2010)、日本地熱学会誌、32(4)、pp.241-251。

キーワード: 地中熱利用, ヒートポンプ, ポテンシャルマップ, 地下水, 地質情報

Keywords: Geothermal heat pump system, Groundwater, Potential map, Geological information