

小松登志子

埼玉大学大学院理工学研究科・教授

地圏熱エネルギー利用を考慮した地下水管理手法の開発

## §1. 研究実施体制

### (1)「埼玉大学」グループ(研究機関別)

- ① 研究分担グループ長:小松 登志子 (埼玉大学大学院理工学研究科, 教授) (研究代表者)
- ② 研究項目
  - ・熱的かく乱が地圏の物質動態に与える影響の解明
- ③ 研究分担グループ長:大西 純一 (埼玉大学大学院理工学研究科, 教授) (主たる共同研究者)
- ④ 研究項目
  - ・熱的かく乱が地圏の微生物叢に与える影響の解明

### (2)「日本大学」グループ(研究機関別)

- ① 研究分担グループ長:竹村 貴人 (日本大学文理学部地球システム科学科, 准教授) (主たる共同研究者)
- ② 研究項目
  - ・地質要素・地圏熱特性・地下水の相互作用の評価法の確立

### (2)「東京農工大学」グループ(研究機関別)

- ① 研究分担グループ長:斎藤 広隆 (東京農工大学大学院農学研究院, 准教授) (主たる共同研究者)
- ② 研究項目
  - ・地圏熱・地下水利用のための地圏熱環境シミュレーション解析

## §2. 研究実施内容

### 研究目的

平成 23 年度の研究目的は、□文献調査・既往の知見の整理(研究項目 1-1)②ボーリング対象サイトの初期地盤環境の把握(研究項目 1-2), ③地圏熱利用ヒートポンプシステムの導入および長期観測開始(研究項目 1-3), ④原位置熱物性測定装置の開発開始(研究項目 1-4), ⑤熱かく乱が地盤環境に与える影響把握に向けた室内実験(研究項目 1-5), ⑥三次元地質構造のモデル化(研究項目 2-1)である。

### 研究方法及び結果

#### ①文献調査・既往の知見の整理(研究項目 1-1)

H22 年度に引き続き、本プロジェクトに関連する研究項目について、各グループ分担で文献調査を行った。現時点での調査の結果では、地下水・地盤環境に与える GSHP の影響を明確にするために、2011 年現在においても、科学的な研究が国際的にも求められており、本研究課題の重要性が明らかとなった。

#### ②ボーリング対象サイトの初期地盤環境の把握(研究項目 1-2)

H23 年度、各サイトでの観測井・参照用観測井のボーリング掘削が終了し、得られたコアを用いて H22 年度に引き続き初期環境調査を実施した。pH・EC・間隙水組成等の化学特性や、鉱物組成、保水性・透水性などの水理特性、力学的特性などを全ボーリングコア試料に対して測定し、各サイトでの初期地盤環境を把握した。各ボーリングサイトの間隙水組成深度分布は、各サイトの地質年代や堆積環境に密接に影響を受け、特に埼玉大学の 40 m 以深(更新統下総層群)と、パイライトの影響で高 EC・低 pH 条件を有する農工大の 15 m～30 m 深度および日大の 30～40 m 深度では、高い重金属濃度が得られた。微生物分析については、3 サイトの無酸素(埼玉大・農工大・日大)および通常(埼玉大・日大)ボーリングコアについて、コア試料から DNA を抽出すると共に、微生物の栄養源となり得る腐植質の定量を行った。真正細菌については、22 年度に確立した条件(PCR プライマーの選択と DGGE の分離条件)により、埼玉大学無酸素コアについて解析を終了し、他のコアについても解析中である。委託分析(ピロシーケンシング)による真正細菌叢の網羅的解析については、データを受領し、現在データを分析中である。また、古細菌の解析方法(ネスティング PCR を用いる)を確立し、同様の解析を始めた。埼玉大学・農工大の地下水試料についても、同様の PCR-DGGE 法による地下水微生物叢(真正細菌)の初期値を確立した。

#### ③地圏熱利用ヒートポンプシステムの導入および長期観測開始(研究項目 1-3)

H23 年度、埼玉大学サイトおよび東京農工大学サイトでは、ヒートポンプ実証試験のための設備を現場に導入し、試運転を開始した。さらに、両サイトにおいて現場有効熱伝導度を把握するための熱応答(加熱)試験を実施した。埼玉大学サイトでは、2 日間の熱応

答試験により地下水温上昇が観測され、試験後約 2 か月間で徐々に減衰するという結果が得られた。また、地下水温上昇幅は深度によって異なり、地質要素（鉱物組成や粒径分布）の相違による熱物性の違いが、地盤への熱負荷による地温変化に大きく影響を与えることが分かった。H24 年度では、長期間の熱負荷試験を実施する予定である。また、埼玉大学・農工大の地下水試料について、PCR-DGGE 法による地下水微生物叢継続観測を始めた。

#### ④原位置熱物性測定装置の開発開始(研究項目 1-4)

本項目については、ボーリング孔から孔壁の熱物性を直接測定する手法の開発を開始した。試作段階で、ボーリング孔と地盤の間に隙間が生じていることが判明したため、本年度は試作図面の作成にとどめ、次年度に試作を行うこととした。ボーリング孔の内部から水平孔を開けるための方法として、水圧破砕法を採用し、沖積層から軟岩まで、穿孔できることを確認した。

#### ⑤熱かく乱が地盤環境に与える影響把握に向けた室内実験(研究項目 1-5)

現場実証試験と同様に、試験装置を埼玉大学、東京農工大学に導入し、模擬試料を用いた予備試験を実施した。予備試験結果から、温度環境が物質移動特性、力学特性などに及ぼす影響に関する基礎的知見を収集し、H23 年度のマイルストーンを達成した。特に、埼玉大学小松グループでは、温度環境の違い(5, 20, 40°C)が重金属の地盤への吸着特性に与える影響について調べた結果、高温条件下では、地下水中重金属濃度増加に対する吸着量増加率および最大吸着量が増加する結果が得られた。また、温度の違いによる重金属の地盤への吸着特性は重金属の種類によっても異なることが分かった。温度変化が微生物叢に与える影響については、各サイトのコア試料について、様々な温度での実験室内長期保存を開始し、PCR-DGGE 法による微生物叢の変化の継続観測を始めた。また、土壌中の代表的な細菌種として、硫酸還元菌・脱窒菌・メタン合成細菌の存在量・活性についても、異なる温度での培養試験を開始した。

温度変化による地盤の力学的特性への影響を調べるために、温度制御三軸圧縮試験を実施した。H23 年度に試験で用いた試料は、シルトである。今回の試験では、20, 30, 40°Cの一定温度を用いた。間隙空気圧と間隙水圧の差で定義されるサクシオン  $s=0, 20, 50$  kPa を作用させて、地盤の飽和および不飽和状態を再現した。拘束圧は 150 kPa とした。試験の結果、次のような点が明らかとなった。①終局状態でのせん断強度は温度の影響を受けない、②降伏応力は温度の影響を受け、高い温度を作用した供試体ほど大きな降伏応力を示した。今後はさらに、広い範囲の温度と拘束圧で実験を行い、その特性をより詳細に調べる予定である。

#### ⑥三次元地質構造のモデル化

熱—地下水に関連する地質物性値の三次元的な広がりの特徴を調べるため、本年度は、日大キャンパスを中心とした世田谷区北部 2km 四方で既存の約 200 本のボーリングデータの収集を行い、地下水を考慮した平均熱伝導率の 3次元分布の投影図(面分布)の作成を行った。また、ボーリングデータとボーリングコア試料を詳細に分析した結果、世田谷区北部の地下

水は関東ローム層内部の宙水とそれ以深の礫層の帯水層がからなることが示された。今後、ボーリングデータ間の連続性についてより詳細に検討する予定である。

### §3. 成果発表等

#### (3-1) 原著論文発表

- 論文詳細情報

1. 船引彩子・, 千葉 崇, 納谷友規, 森谷慈宙, 斎藤広隆, 濱本 昌一郎, 小松登志子, 竹村 貴人, "東京都府中市で掘削されたボーリングコア CRE-TAT-1 および CRE-TAT-2 の堆積相と堆積環境", 堆積学研究. (投稿中)
2. 斎藤広隆, 濱本昌一郎, 小松登志子, "地中熱利用と地盤環境", 農業機械学会誌, vol 74, pp. 1-6. 2012.
3. Shoichiro Hamamoto, Per Moldrup, Ken Kawamoto, Toshiko Komatsu, "Organic Matter Fraction Dependent Model for Predicting the Gas Diffusion Coefficient in Variably Saturated Soils", Vadose Zone Journal, 2012. (DOI: 10.2136/vzj2011.0065). (in press)
4. Shoichiro Hamamoto, Per Moldrup, Ken Kawamoto, Toshiko Komatsu, "Maxwell's Law Based Models for Liquid and Gas Phase Diffusivities in Variably-Saturated Soil", Soil Sci. Soc. Am. J., 2012. (in press)