

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

- ① 研究代表者:小松登志子(埼玉大学大学院理工学研究科, 教授)
- 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共同研究者:大西純一(埼玉大学大学院理工学研究科, 教授)
- 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

- ① 研究共同者:竹村貴人(日本大学文理学部地球システム科学科, 准教授)
- 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

(3)「東京農工大学」グループ

- ① 共同研究者: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. 研究実施の概要

本研究では、地中熱利用ヒートポンプシステムの導入と設置した観測井での実測、複数の温度条件下における種々の室内実験から、地下の熱環境変化が物質動態や微生物生態系に及ぼす影響を明らかにする。

地中熱利用ヒートポンプ導入による現場実証試験は、埼玉大学および東京農工大学で実施している。埼玉大学サイトでは、約 40°C の温水を 13 ヶ月間循環して長期的熱負荷実験を行い（現在は放冷中）、東京農工大学サイトでは、より実際の運転に近い条件、すなわち、恒温室を約 20°C に保つためにヒートポンプを稼働し（約 1 年経過）、それぞれで地温、地下水質、地下水中微生物叢などを継続的にモニタリングしている。埼玉大学サイトでは、熱源から水平距離で 1 m に位置する観測井で 7~8°C の温度上昇があり、特に海成層から構成される帯水層で、ハウ素、DOC（溶存有機炭素）など一部の地下水質成分濃度や地下水中微生物叢に変化が認められている。東京農工大学サイトでは、熱源から水平距離で 5 m の観測井において、最大で 1°C 程度の地温上昇が確認されているものの、地下水質等の変化はまだ認められていない。

地圏熱環境変化が、物質移動特性・微生物叢・力学特性に与える影響について検討するための室内試験も進めている。物質移動特性については、埼玉大学サイトから採取したコア試料を用いて、温度調整型溶質移動試験装置による実験を行った。その結果、土性の違いが溶質分散特性に与える影響は大きいものの、温度変化による影響は小さいことが分かった。また、埼玉大学サイトのコア試料（2 深度）を用い、異なる温度（15, 40°C）で溶出試験ならびに逐次抽出法による存在形態別分析を行った。物質の溶出量に温度上昇が与える影響は大きく、物質の存在形態にも影響を与えることが示唆された。微生物叢については、埼玉大学サイト、東京農工大学サイトおよび日本大学サイトから得られたコア試料を異なる温度（5, 15, 25°C）で保存し、半年後、1 年後に微生物群集構造を比較した。温度上昇に伴っていくつかの微生物種が減少していることが確認できた。力学特性については、温度調節型三軸試験機を用いて、温度・サクシオン一定等方圧密試験を実施した。モデル試料を用いた実験の結果、圧密特性は温度依存性を示し、サクシオン一定のものでは温度の高いものほど圧密量が大きくなる傾向が見られた。

環境アセスメントツールの開発においては、地層ごとの特徴の把握と、水平方向の地層を構成する地質要素および地圏物性値の連続性に関する評価法を開発するため、三次元地質構造のモデル化を進めている。これまでに、3 大学のサイト近傍を含む地区に加え、東京区部、埼玉県全域の既存ボーリングデータを収集し、7 割方のデジタル化を行った。地層の連続性を確認するため、日本大学サイト周辺のデータを用いて地球統計学的手法を取り入れた解析を行い、主として帯水層となる礫層の連続性とその層厚の分布を評価した。また、水・熱同時移動モデルを用い、短期熱応答試験および長期熱応答試験（上記、長期熱負荷と同義）の解析に取り組んだ。その結果、地下水の流れおよびそれに伴う熱移動の影響を明らかにすることができた。

開発中の環境アセスメントツールに適用する地圏微生物叢・有害化学物質インベントリの作成も進めている。平成 25 年度は、地圏微生物叢・有害化学物質の基盤情報となる、地質

要素の地域ごとの特徴をまとめた。特に既存文献の調査から、ホウ素の濃度の高い地域は、年代の若い海成粘土の厚い層がある地域であることが推測できた。また、日本大学サイトと東京農工大学サイトの海成堆積物を評価した。地圏微生物叢については、3 大学のサイトから得られたコア試料から抽出した DNA 解析により、堆積物中に生息する真正細菌のインベントリを作成した。

§ 3. 成果発表等

(3-1) 原著論文発表

論文詳細情報(国内)

- 1 笹沼公美, 濱本昌一郎, 川本健, 榊利博, 小松登志子 (2013) 脱水・吸水過程が不飽和砂質土の通気係数に与える影響, 土木学会論文集 C, 69(3), 378-385.
- 2 向後雄二, 斎藤広隆, Win Win Pyone (2013) 不飽和土の力学的挙動への温度の影響とそのモデル化, 農業農村工学会論文集, 81(5), 45-53.
- 3 鴨志田剛久, 濱本昌一郎, 川本健, 榊利博, 小松登志子 (2013) 異なる水分条件を有する砂の熱特性: 粒子の粒径・形状, および石英含有率の影響, 土壌の物理性, 11, 11-16.
- 4 竹村貴人, 小田匡寛, 濱本昌一郎, 川本健, 赤間友哉, 田井秀迪, 木村克己 (2013) 沖積粘性土の剪断剛性率とその堆積時環境依存性に関する研究-関東平野南部における事例-, 地学雑誌, 122, 472-492.
[proceedings (査読審査の入るものに限る)]
- 5 竹村貴人, 船引彩子, 原翔悟, 秋葉義彦, 伊東良晴 (2013) 環境地質学的なアプローチによる地温上昇が与える地下環境への影響評価, 第10回環境地盤工学シンポジウム発表論文集, 19-22.
- 6 濱本昌一郎, 斎藤健志, 植木崇, 立石佳祐, 松倉重雄, 小松登志子 (2013) 地盤への熱負荷が地温・地下水質に与える影響, 環境地質学的なアプローチによる地温上昇が与える地下環境への影響評価, 第10回環境地盤工学シンポジウム発表論文集, 11-18.
- 7 金木厚憲, 竹村貴人, 市村智, 船引彩子, 濱本昌一郎, 斎藤健志 (2013) 関東ローム層における地温上昇に伴う溶出元素の特徴に関する実験的研究, 第10回環境地盤工学シンポジウム発表論文集, 15-18.
- 8 Azad, M., 是枝晋, 濱本昌一郎, 斎藤広隆, 竹村貴人, 濱本昌一郎, 大西純一 (2013) 関東南部地下帯水層土壌に含まれる真正細菌叢の網羅的解析, 第10回環境地盤工学シンポジウム発表論文集, 23-26.
- 9 斎藤広隆, 武藤啓, Dang Quoc Thuyet, 向後雄二 (2013) 地盤熱応答の数値解析, 第10回環境地盤工学シンポジウム論文集, 27-32.
- 10 向後雄二, 四津徹, 斎藤広隆 (2013) 不飽和土の力学的挙動への温度の影響, 第10回環境地盤工学シンポジウム論文集, 33-38.
- 11 伊東良晴, 藤森裕基, 名古屋啓太, 竹村貴人 (2013) 熱力学の視点から見た多孔質岩の熱物性精密測定と微小空孔の評価, 第13回岩の力学国内シンポジウム講演論文集, 793-796.

論文詳細情報(国際)

- 12 Kotake, T., Hamamoto, S., Saito, T., Komatsu, T., Ohnishi, J., and Tsumuraya, Y., (2013) Characterization of alkali-soluble polysaccharides in deep subsoil layers, *Soil Science Plant Nutrition*, 59(6), 871-876. (DOI:10.1080/00380768.2013.853280)
 - 13 Mon, E. E., Hamamoto, S., Kawamoto, K., Komatsu, T., and Moldrup, P., (2013) Temperature effects on geotechnical properties of kaolin clay: simultaneous measurements of consolidation characteristics, shear stiffness, and permeability using a modified oedometer, *Journal on Geological and Earth Sciences*, 1, 1-10. (DOI:10.5176/2335-6774_1.1.1)
 - 14 Saito, T., Hamamoto, S., Mon, E.E., Komatsu, T., Takemura, T., Saito, H., and Moldrup, P. (2014) Thermal properties of deep boring core samples from the Kanto district, central Japan: Development of predictive models for thermal conductivity and diffusivity, *Soils and Foundations*. (in press).
 - 15 Naveed, M., Moldrup, P., Arthur, E., Holmstrup, M., Nicholaisen, M., Tuller, M., Hamamoto, S., Kawamoto, K., Komatsu, T., Vogel, H.J., and de Jonge, L.W. (2014) Simultaneous loss of soil biodiversity and functions along a copper contamination gradient: When soil goes to sleep. *Soil Science Society of America Journal* (accepted).
- [proceedings(査読審査の入るものに限る)]
- 16 Mon, E. E., Hamamoto, S., Kawamoto, K., Oda, M., and Komatsu, T. (2013) Effect of temperature change on shear modulus of kaolin clay in the secondary compression stage, 18th Southeast Asian Geotechnical & Inaugural AGSSEA Conference, 29-31.
 - 17 Thuyet, D.Q., Saito, H., Muto, H., Saito, T., Matsukura, S., and Moritani, S., (2014) Evaluation of trace elements in groundwater in Fuchu, Tokyo, *Proceedings of Hydrology and Water Resources Symposium 2014*, 151-158.

(3-2) 知財出願

- ① 平成 25 年度特許出願件数 (国内 0 件)
- ② CREST 研究期間累積件数 (国内 0 件)