地下水中における溶存鉄の分布と 熱利用のための地下水の鉄分除去

井岡聖一郎^{1*}・若狭 幸¹

Distribution of dissolved iron in groundwater and iron removal from groundwater for heat utilization

Seiichiro IOKA^{1*} and Sachi WAKASA¹

I. はじめに

著者らは、「青森県におけるオープンループ型地中熱ヒートポンプシステムのための地下水水質調査」と題し、2015年日本水文科学会誌企画「最前線の現場」に寄稿した(井岡ほか, 2015)。その後も、引き続き地下水熱利用のための地下水水質の研究を実施している。これまで、基盤研究(C)H25-27「浅層地盤における熱伝導率の変動メカニズムの解明と熱交換資源量の評価」(代表: 井岡)、基盤研究(C)H28-30「硫酸還元反応に着目した帯水層蓄熱時による地下水水質への影響評価」(代表: 井岡)を実施した。そして、現在、国立大学法人弘前大学「アグリ・ライフ・グリーン分野における地域の特性・資源を活かしたイノベーション創出・人材育成事業」から研究費の配分を受けている。本稿では、主要研究対象地域とした津軽平野を流れる浅瀬石川周辺域における地下水水質、特に溶存鉄の分布結果を紹介するとともに、同結果から示唆される今後の研究展望について報告する。溶存鉄は、還元的な環境下では主に Fe^{2+} として存在しているが、酸化されると沈殿し、地下水利用において様々な障害を起こす要因になっている。なお、本稿の一部は、井岡・町田(2019)で報告済である。

II. これまでの結果と今後の課題

Figure 1に浅瀬石川周辺域における地下水の溶存鉄濃度の分布を示した。Figure 1から分かるように浅瀬石川周辺域は扇状地を形成している。したがって、扇状地の上流部における地下水では酸化条件が卓越し、溶存鉄濃度は低いもの(1 mg/L未満)と想定していたが(例えば、町田ほか, 2010)、必ずしも低い地点ばかりではなかった。一方、深度が100 mを超える地下水では、扇状地の上流から下流にかけて3地点しか溶存鉄濃度の結果を得られなかったが、すべて1 mg/L未満であった。これらの結果から、深度が100 mより浅い場合、浅瀬石川扇状地における地下水の溶存鉄濃度分布の不均質性が高いことが考えられ、溶存鉄濃度の空間分布を単純な扇状地の堆積環境を想定して予測することは困難な状況である。鉄を含む鉱物の分布状況が推定できる堆積環境がしっかりと評価可能になれば、空間分布をある程度評価することも可能になるかもしれないが(例えば、黒田ほか, 2008)これは今後の研究課題である。

以上のような地下水中の溶存鉄濃度を事前に知ることが困難な条件下で地下水熱の利用を試みる場合、溶存鉄濃度が高い還元的な地下水に遭遇すると、揚水した地下水を融雪のため散水し続け

1 弘前大学地域戦略研究所 Institute of Regional Innovation, Hirosaki University

* 責任著者

Fig. 1 Distribution of dissolved iron in groundwater, drawn from the digital elevation model of the Geospatial Information Authority of Japan (GSI) using KASHMIR 3D. Black circles indicate that the iron concentration is 1 mg/L or more. Open circles indicate that the iron concentration is less than 1 mg/L.

ば、散水場所は溶存鉄が沈殿し、赤褐色になることもしばしば観察される。さらに、揚水井や揚水した地下水をヒートポンプシステムに利用する場合には、熱交換器や配管に溶存鉄が沈殿することにより利用効率が低下する場合がある（例えば、高橋ほか，2001）。したがって、地下水の溶存鉄を地下や地上で除去する必要がある。この除鉄に関する研究論文や技術はすでに数多く存在しているが、著者らは地上で実施する急速砂濾過（Rapid sand filtration）技術に着目しているところである。この技術はすでに国内外で製品として販売され、研究報告も多く存在する（例えば、高井・中西，1987；van der Aa et al., 2002; van Beek et al., 2012; Gude et al., 2018; Gülay et al., 2018）。また、近年では熱力学的解析ソフトである PHREEQC（Parkhurst, D.L. and Appelo, C.A.J., 2013）を用いた Rapid sand filtration の定量的研究も進んでいる（例えば、Vries et al., 2017）。しかしながら、多くの化学種を考慮した定量的研究まで進展していないことから、著者らはさらなる研究開発が必要ではないかと考えている。さらに、Rapid sand filtration に関する基礎

研究では、溶存鉄の酸化、沈殿に伴う空隙の閉塞をも評価する必要があるため、帯水層での酸化還元反応に伴う空隙の変化予測のための重要な基礎科学的知見を提供できるものと考えている。

Ⅲ. おわりに

水文学の定義が、「地球の水をとり扱う科学であり、地球上の水の発生、循環、分布、およびその物理的ならびに化学的特性、さらに物理的ならびに生物的環境と水との相互関係を取り扱う科学である。この場合、人間活動への応答が含まれる。水文学は地球上の水循環のすべての歴史を包括する一分野である」（高橋，1978）とするならば、利用するために揚水した後の地下水の行方や水質変化に関する研究についても水文学者が重要な役割を果たさなければいけないのではないだろうか。著者らはこのような考えに立って、今後も研究活動に邁進していきたいと考えている。

謝 辞

本研究は、基盤研究(C) (課題番号16K01209), 国立大学法人弘前大学「アグリ・ライフ・グリーン分野における地域の特性・資源を活かしたイノベーション創出・人材育成事業」から研究費を受けている。

文 献

井岡聖一郎・村岡洋文・鈴木陽大・松田雅司・内田洋平 (2015) 青森県におけるオープンループ型地中熱ヒートポンプシステムのための地下水水質研究. 日本水文科学会誌, **45** (3), 85–87.

井岡聖一郎・町田功 (2019) 青森県藤崎町における深度10 m以浅地下水の硫酸還元反応に関連した化学種の水質調査. 日本水文科学会誌, **49** (2), 107–116.

黒田啓介・福士哲雄・小熊久美子・滝沢智 (2008) 東京都区部における地下水中の溶存鉄濃度および酸化還元電位の分布特性. 日本水文科学会誌, **38** (2), 63–70.

高井雄・中西弘 (1987) 用水の除鉄・除マンガン処理. 産業揚水調査会, 323p.

高橋直人・榎本真嗣・名倉利樹・稗田佳彦・田崎和江・片桐憲一 (2001) 鉄細菌が関与する井戸障害と水質変化. 地下水学会誌, **43** (2), 71–88.

高橋裕 (1978) 河川水文学. 共立出版, 218p.

町田功・内田洋平・石井武政 (2010) 山形盆地の鉄気水・塩水・どんこ水に関する水質化学的・水文地質学的考察. 日本水文科学会誌, **40** (2), 21–46.

Gude, J.C.J., Joris, K., Huysman, K., Rietveld, L.C. and van Halem, D. (2018) Effect of su-

pernatant water level on As removal in biological rapid sand filters. *Water Research X*, **1**, 100013.

Gülay, A., Çekiç, Y., Musovic, S., Albrechtsen, H.J. and Smets, B.F. (2018) Diversity of iron oxidizers in groundwater-fed rapid sand filters: evidence of Fe(II)-dependent growth by *Curvibacter* and *Undibacterium* spp. *Frontiers in Microbiology*, **9**, 2808.

Parkhurst, D.L. and Appelo, C.A.J. (2013) Description of input and examples for PHREEQC version 3—A computer program for speciation, batch-reaction, one-dimensional transport, and inverse geochemical calculations: U.S. Geological Survey Techniques and Methods, book 6, chap. A43, 497p.

van Beek, C.G.E.M., Hiemsta, T., Hofs, B., Nederlof, M., van Paassen, J. A.M. and Reijnen, G.K. (2012) Homogeneous, heterogeneous and biological oxidation of iron(II) in rapid sand filtration. *Journal of Water Supply: Research and Technology-AQUA*, **61** (1), 1–13.

van der Aa, L.T.J., Kors, L.J., Wind, A.P.M., Hofman, J.A.M.H. and Rietveld, L.C. (2002) Nitrification in rapid sand filter: phosphate limitation at low temperatures. *Water Science and Technology: Water Supply*, **2** (1), 37–46.

Vries, D., Bertelkamp, C., Kegel, F.S., Hofs, B., Dusseldorp, J., Bruins, J.H., de Vet, W. and van den Akker, B. (2017) Iron and manganese removal: Recent advances in modeling treatment efficiency by rapid sand filtration. *Water Research*, **109**, 35–43.