

# 数値実験に基づいた黒部川扇状地の地下水環境における熱汚染の影響評価

富山県立大学 学生会員 ○河合 潤  
 富山県立大学大学院 学生会員 松浦 拓哉  
 富山県立大学 正会員 手計 太一

## 1. はじめに

近年、地中熱は太陽光や風力などの気象要因の影響を受ける再生可能エネルギーと比較して安定した利用が行え、特に近年は地中熱ヒートポンプシステムに注目が集まっている。しかし、地中熱ヒートポンプの稼働により、地下水温、地温の変化が確認されており、土壌乾燥、重金属の溶出、微生物の活発化による化学物質濃度の上昇等の問題が発生し<sup>1)</sup>、特に地下水が飲料水として利用している地域では、大きな潜在的リスクをもたらしている<sup>2)</sup>。本研究では、黒部川扇状地での地中熱ヒートポンプによる熱汚染影響の評価を目的とした数値実験を行う。

## 2. 対象領域と境界条件

図-1 は、本研究対象領域と観測地点を示す地図である。研究対象領域は、黒部川左岸の黒部川と黒部市内を含む黒部扇状地の扇端付近である。計算領域は、東西方向に 3900 m、南北方向に 2800 m、鉛直方向に 150 m とし、メッシュ間隔を X:Y=100 m:100 m とした。

図-2 は鉛直層構造作成に使用した金屋地点の柱状図である。層構造は帯水層と粘土層に分け、6層で構築した。

解析期間は、県と国の観測井の連続した水位データが存在する 2014 年 1 月 1 日から 2015 年 12 月 31 日までの 2 年間とした。

図-3 は、境界条件に用いた観測水位を示すグラフである。沓掛・金屋地点の地下水位が季節的な変化を示している。11 月から 3 月にかけて水位が低下しているのは積雪貯留により地下浸透量が減少したことによる地下水位低下であると考えられる。4 月頃にみられる水位上昇は、代掻きによる水田からの浸透量上昇による水位上昇だと考えられる。境界条件として適用している黒部川の河川水位には、計算領域付近に水位観測所が存在しないため、測量によって得た境界内上流の河川水位と、黒部川上流の愛本観測所の水位データから換算した推定値を使用した。

図-4 は境界条件として使用している地下水温データを示すグラフである。凡例の () 内は観測深度を表している。観測値の水温には本研究グループで観測している観測井の中で、最も近い地点の地下水温を使用した。地下水温は、2014 年 7 月 9 日以前には

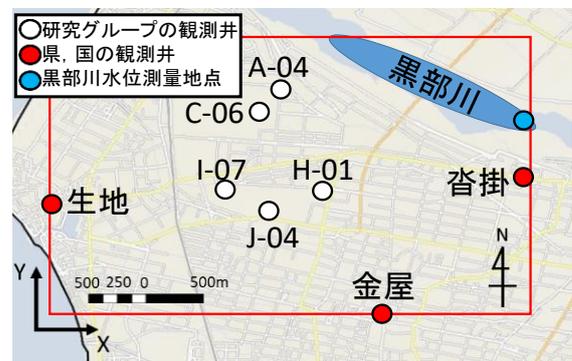


図-1 研究対象領域と観測地点

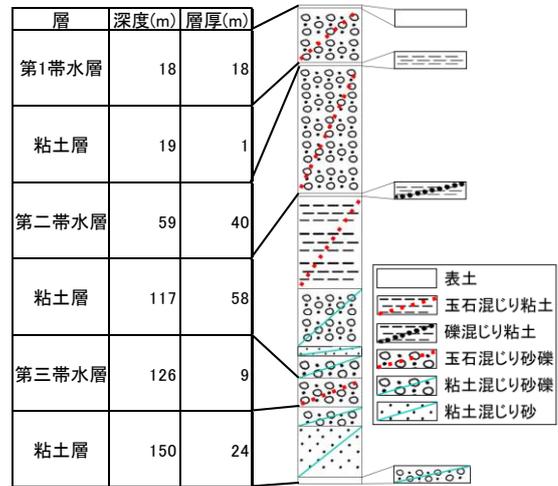


図-2 金屋の柱状図



図-3 境界条件に用いた観測水位

観測が行われていないため、代わりに2015年1月1日から2015年7月9日までのデータを外挿している。浅層の地下水温には地上の気温変化の影響を受けた季節変化がみられるが、低層ではほとんど変化が見られない。

3. モデル・支配方程式

本研究で使用した計算モデルは、MODFLOWである。式(1)には流動方程式、式(2)には輸送方程式を示す。

$$\frac{\partial}{\partial x_i} [\rho K_f (\frac{\partial h_f}{\partial x_i} + \frac{\rho - \rho_f}{\rho_f} \frac{\partial z}{\partial x_i})] = \rho S_s \frac{\partial h_f}{\partial t} + \rho S_y \frac{\partial h_f}{\partial t} + \theta \frac{\partial \rho}{\partial t} \quad (1)$$

ここで、xiはi番目の座標、K<sub>f</sub>は透水係数(m/s)、h<sub>f</sub>は圧力水頭(m)、ρは密度(kg/m<sup>3</sup>)、S<sub>s</sub>は比貯留係数(1/m)、S<sub>y</sub>は比産出率、θは有効空隙率、ρ<sub>f</sub>は湛水の密度を示す。

$$-\frac{\partial}{\partial x_i} (v_i C) + \frac{\partial}{\partial x_i} (D_{ij} \frac{\partial C}{\partial x_j}) - \lambda (C + \rho_b \frac{S}{\theta}) = R \frac{\partial C}{\partial t} \quad (2)$$

ここで、Cは溶質の濃度(kg/m<sup>3</sup>)、v<sub>i</sub>はダルシー流速(m/s)、ρ<sub>b</sub>は土壌の密度(kg/m<sup>3</sup>)、Sは吸着量、λは減衰定数、Rは遅延係数、D<sub>ij</sub>は分散係数を示す。

4. 計算結果

表-1にParameter & Estimation (PEST)計算によって得られた透水係数 K<sub>x</sub>, K<sub>y</sub>, K<sub>z</sub>と貯留係数 S<sub>s</sub>, 有効空隙率 S<sub>y</sub>を示す。

図-5は水位の観測値と計算値の比較である。計算結果が定常状態となった2年目から計算結果と観測値の比較を行った。

A-04地点とC-06地点では、小刻みに規則的な変動を示しており、どちらの計算値の水位も変動を捉えることができていないことが分かる。これは、付近の工場による地下水利用が原因だと考えられる。

最も観測値と計算値と観測値のずれが大きいC-06地点でも2m以上の差はなく、水位の再現が概ね出来ているとした。

図-6は地下水温の観測値と計算値の比較である。表層のA-04(5m)とH-01(5m)では計算値が季節的な変化を捉えている。深度19m以下の計算結果では、J-04(19m)の地下水温は表層の季節変化の影響をやや過度に受けているものの、A-04(20m)の地下水温はほぼ定常状態であり、微小な季節変化の影響を再現できている。

謝辞：本研究の一部はYKK株式会社黒部事業所の助成を受けている。ここに謝意を表す。

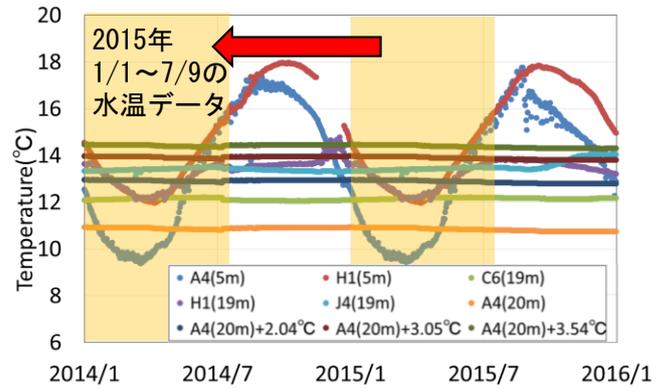


図-4 境界条件に用いた地下水温

層	Kx(cm/s)	Ky(cm/s)	Kz(cm/s)	Ss(1/m)	Sy
第一帯水層	0.101	0.1	0.1	5.00E-05	0.35
粘土層	1.00E-05	1.00E-06	1.00E-06	2.00E-03	2.00E-01
第二帯水層	0.101	0.1	0.1	5.00E-05	0.35
粘土層	1.00E-05	1.00E-06	1.00E-06	2.00E-03	2.00E-01
第三帯水層	0.101	0.1	0.1	5.00E-05	0.35
粘土層	1.00E-05	1.00E-06	1.00E-06	2.00E-03	2.00E-01

表-1 感度分析によって得られたパラメータ

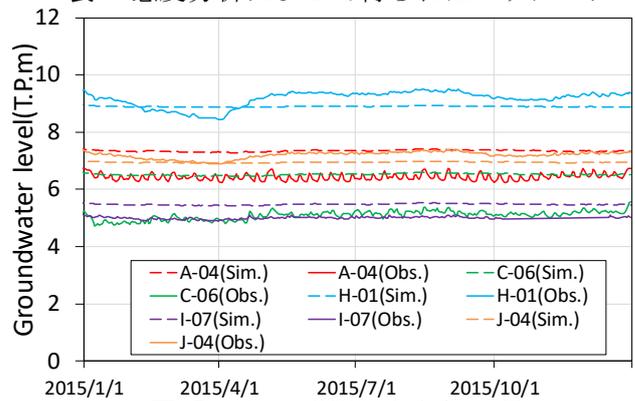


図-5 水位の観測値と計算結果

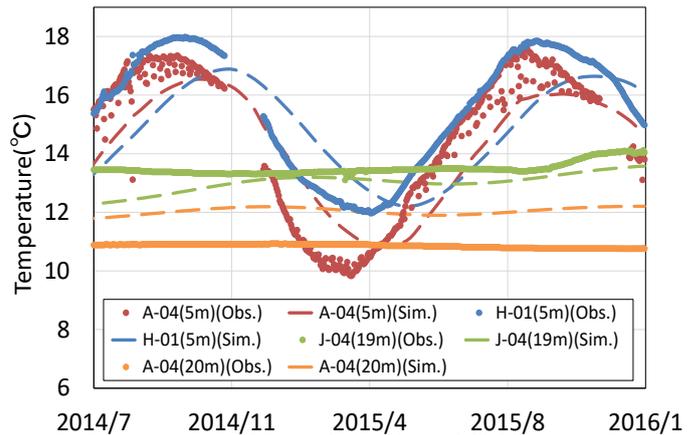


図-6 水温の観測値と計算結果

参考文献

- 1) M. Bonte, P.J. Stuyfzand, A. Hulsmann and P.V. Beelen. : Underground Thermal Energy Storage: Environmental Risks and Policy Developments in the Netherlands and European Union, Ecology and Society, 16 (1): 22.2011.
- 2) S.S.D. Foster, P.J. Chilton. : Groundwater the processes and global significance of aquifer degradation, Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B-Biological Sciences, 358, pp.1957-1972, 2003.