

地質情報に基づく地中熱ポテンシャルの簡易評価

石原 武志¹⁾

1. はじめに

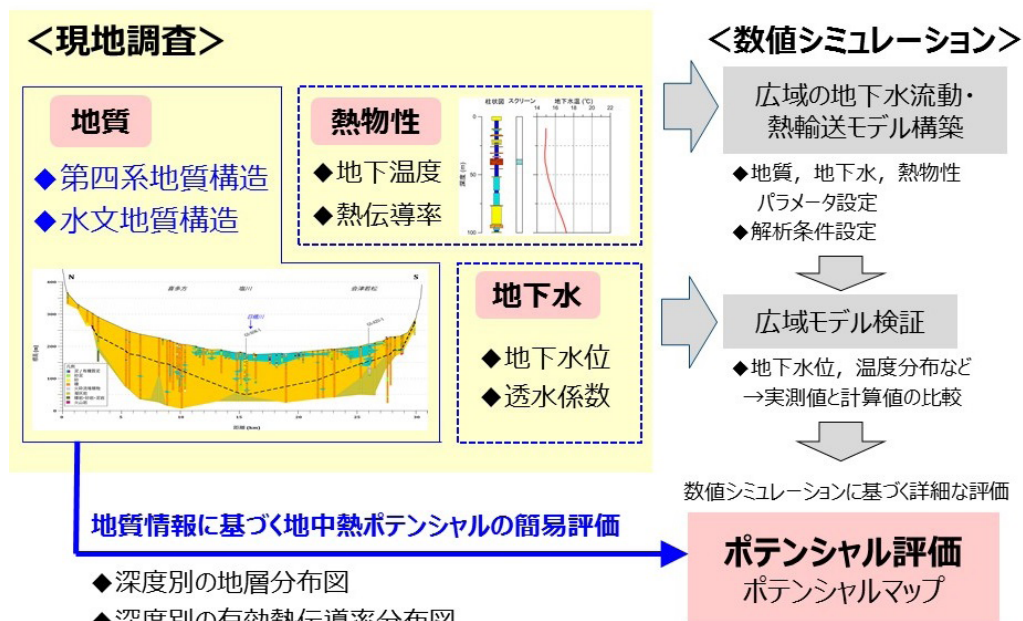
再生可能エネルギー研究センター地中熱チームの大きな研究テーマのひとつに「地中熱ポテンシャル評価」があげられる。現在は東北地方の平野・盆地を中心に、現地の地質・地下水調査で得られたデータに基づき広域の三次元地下水流動・熱輸送モデルを構築し、熱交換量予測シミュレーションを行って地中熱ポテンシャルマップを作成している(第1図)。地下水・地下温度のデータだけでなく、地質調査によって現地の第四系の地下地質構造及び水文地質構造を推定しモデルに反映させている点が、地中熱チームのポテンシャルマップの大きな特色の一つである。筆者は福島県の会津盆地と郡山盆地において地質調査を重点的に進め、両盆地の第四系地下地質層序と水文地質区分を行った(内田, 2019)。

このような基礎研究と並行して、地質情報を用いた地中熱ポテンシャルの簡易的評価を試みている。平野・盆地の帯水層分布や地盤の有効熱伝導率(地層と間隙水または空気の熱伝導率の合成値)は地質構造に支配されていること

から、地下地質情報を基に帯水層や有効熱伝導率の分布を図示することで地中熱利用の適地を簡易的に評価することができる。このような背景から、筆者は会津盆地と仙台平野を対象に、平均有効熱伝導率分布図や礫層・砂層(帯水層)の割合分布図を作成した。ここでは、それらの図について紹介する。なお、本研究の地中熱ポテンシャル評価は、クローズドループ型の地中熱システムを想定している。会津盆地については、Ishihara *et al.* (2018)の内容を一部抜粋したものとなっている。

2. 有効熱伝導率の計算と分布図作成

会津盆地では、まず盆地内の3地点で掘削した深度100～130mのオールコアと既存のオールコア(約100m; 鈴木ほか, 2016)の計4本のコアの対比に基づき、第四系の地下地質層序を推定した(石原ほか, 2017, 2018)。次に、コアと既存のボーリング柱状図資料約297本を対象に、深度100mまでに出現する地層を7つの層相(礫、砂、泥、腐植土・泥炭、火砕流堆積物・凝灰岩、



第1図 地中熱ポテンシャル評価研究の流れと本研究の位置づけ

1) 産総研 エネルギー・環境領域 再生可能エネルギー研究センター

キーワード：地中熱, 有効熱伝導率, 第四系, 地下地質情報, 会津盆地

第1表 会津盆地の層相区分と物性値 (Ishihara et al., 2018)
地層は金子・中川 (1969), 金子ほか (2016) に
基づき G.L.-5 m 以深を飽和と仮定。

層相	有効熱伝導率 W/(m・K)	
	飽和	不飽和
盛土・埋土	1.25	1.12
泥 (シルト)	1.10	0.85
砂	1.20	0.98
礫	1.36	1.21
腐植土・泥炭	0.68	0.36
凝灰岩 (火砕流堆積物)	0.93	0.80
基盤岩	2.22	-

第2表 仙台平野の層相区分と物性値
盛土・表土以外の有効熱伝導率は地中熱利用促進協
会 (2014), 盛土・表土の有効熱伝導率は Shrestha et
al. (2017) より。地層は全て飽和と仮定。

層相	有効熱伝導率 W/(m・K)	備考
盛土・埋土	1.25	Shrestha et al.(2017)
泥 (粘土)	1.27	
砂	1.53	
礫	2.0	
腐植土・泥炭	1.22	
ローム	1.00	
基盤 (新第三系)	1.4	岩 (軽量)

仙台平野の層相区分と物性値

伝導率は盛土・表土を除き地中熱利用促進協会 (2014) より。

基盤岩, 盛土・埋土; 第1表) に区分し, 深度 100 m までの合計層厚をそれぞれ読み取った。

各地層の有効熱伝導率を第1表に示す。柱状図資料ごとの平均有効熱伝導率(λ_{ave})は, 地層ごとの有効熱伝導率(λ_{gk})と地層の層厚(L_k)の加重平均によって求めた。

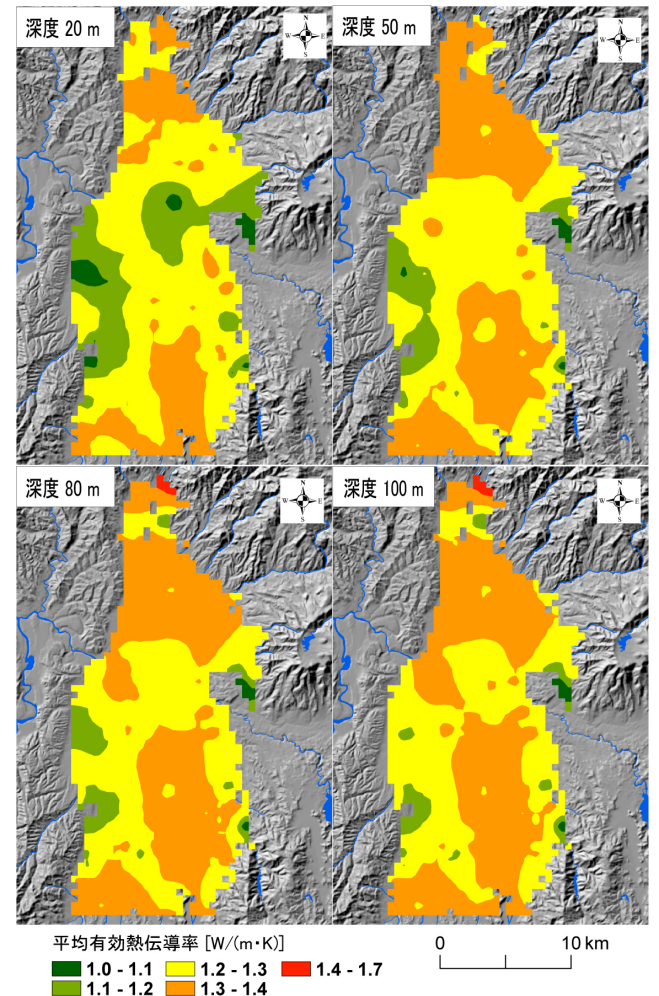
$$\lambda_{ave} = \frac{\sum(\lambda_{gk} \times L_k)}{\sum L_k} \quad \text{式 (1)}$$

計算に当たり, 会津盆地の地下水位(飽和・不飽和境界面)については金子ほか(1969), 金子ほか(2016)を参考に G.L.-5 m と設定した。平均有効熱伝導率の計算後, 逆距離加重(IDW)法を用いて平均有効熱伝導率分布図を作成した。分布図は, 深度 0-10 m, 0-20 m, ..., 0-100 m の 10 通りを作成した。

仙台平野の地下地質層序については松本(1981, 1994), 田村ほか(2006), 宮城県(2002)などを参考に柱状図資料 156 本を解釈し, 地層を 7 つの層相(礫, 砂, 泥, 腐植土・泥炭, ローム, 新第三系, 盛土・埋土; 第2表)に区分した。仙台平野では深度 100 m に達する柱状図資料が少ないことから, 読み取り深度を 50 m までとした。各地層の有効熱伝導率に関しては地中熱利用促進協会(2014)の値を使用し, 各柱状図地点の平均値を計算した(第2表)。仙台平野では, 深度別の平均有効熱伝導率分布図に加え, 礫層と砂層の深度別の割合分布図も作成した(それぞれ 5 通り)。

3. 会津盆地と仙台平野における有効熱伝導率の分布と地中熱利用の適地

第2図に会津盆地における平均有効熱伝導率の分布(深



第2図 会津盆地の平均有効熱伝導率分布(深度別) Ishihara et al. (2018) を簡略化。

度 20, 50, 80, 100 m) を示す。盆地の北部および南部では相対的に高い値を示し, 深度 40 m 以深は 1.3 ~ 1.4 W/(m・K) の値で安定している。一方, 中央部の値は相対的に低いものの, 深度方向に有効熱伝導率が 1.0 W/(m・K)

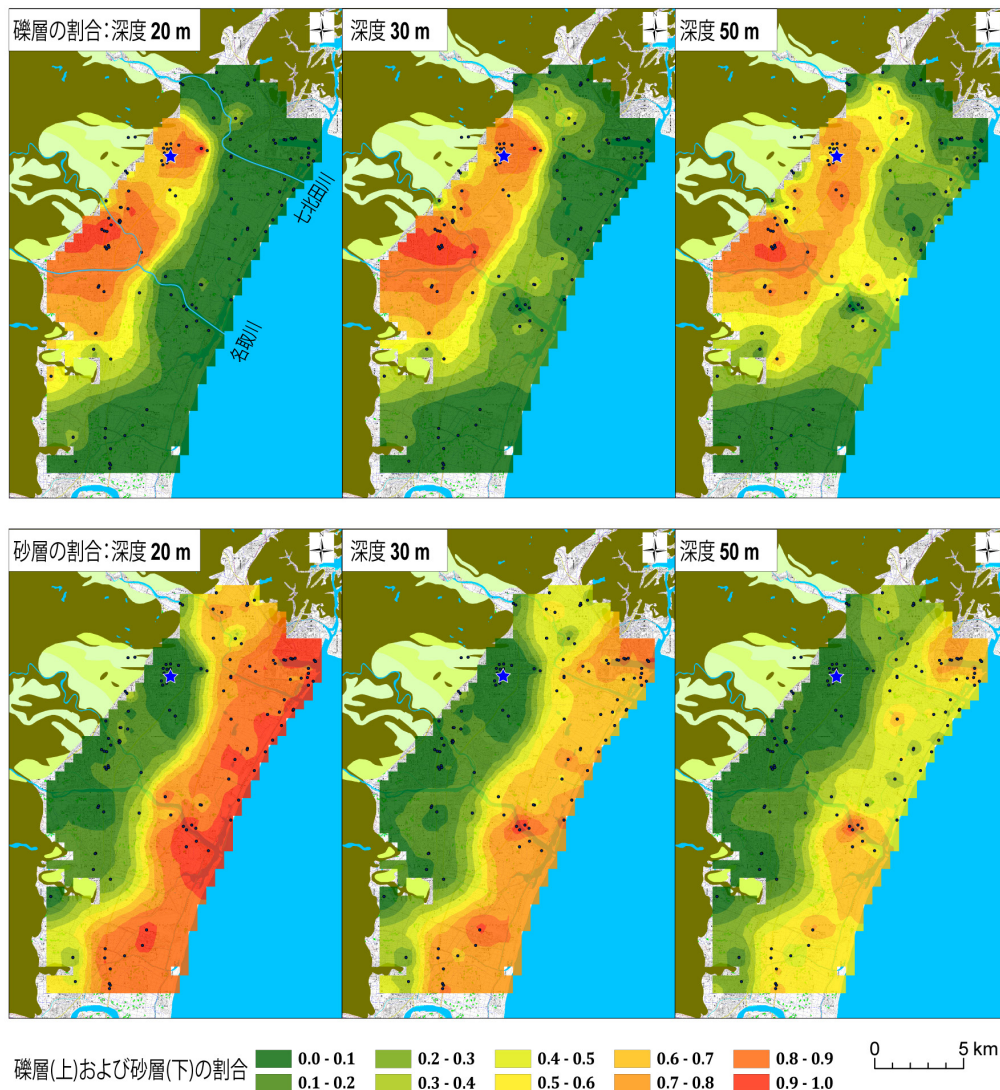
から $1.2 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ まで増加する傾向がみられる。北部と南部は扇状地の発達する地域に相当し、深度 100 m まで概ね礫層で構成されているため、有効熱伝導率が安定して高い。一方、中央部には蛇行原(氾濫原)が発達しており、深度 40 m 程度までは泥層が優勢である。この浅層部の泥層が、盆地中央部の有効熱伝導率を低下させたといえる。深度方向に有効熱伝導率の値が上昇しているのは、約 40 m 以深から礫層の割合が増加する影響による。以上の地質条件からみると、会津盆地における地中熱利用(クローズドループ型)は北部・南部でより適しているといえる。

第3図に仙台平野における礫層と砂層の深度別割合分布、第4図に深度別有効熱伝導率分布を示す。礫層の分布は仙台・名取市街地の立地する内陸部の小扇状地帯で優勢である。沿岸部においては、深度 30 m まで礫層がほとんど分布せず、^{ななきた}30 m 以深では七北田川や名取川沿いに細長く分布する様子が認められる。砂層の分布は浜堤の発達す

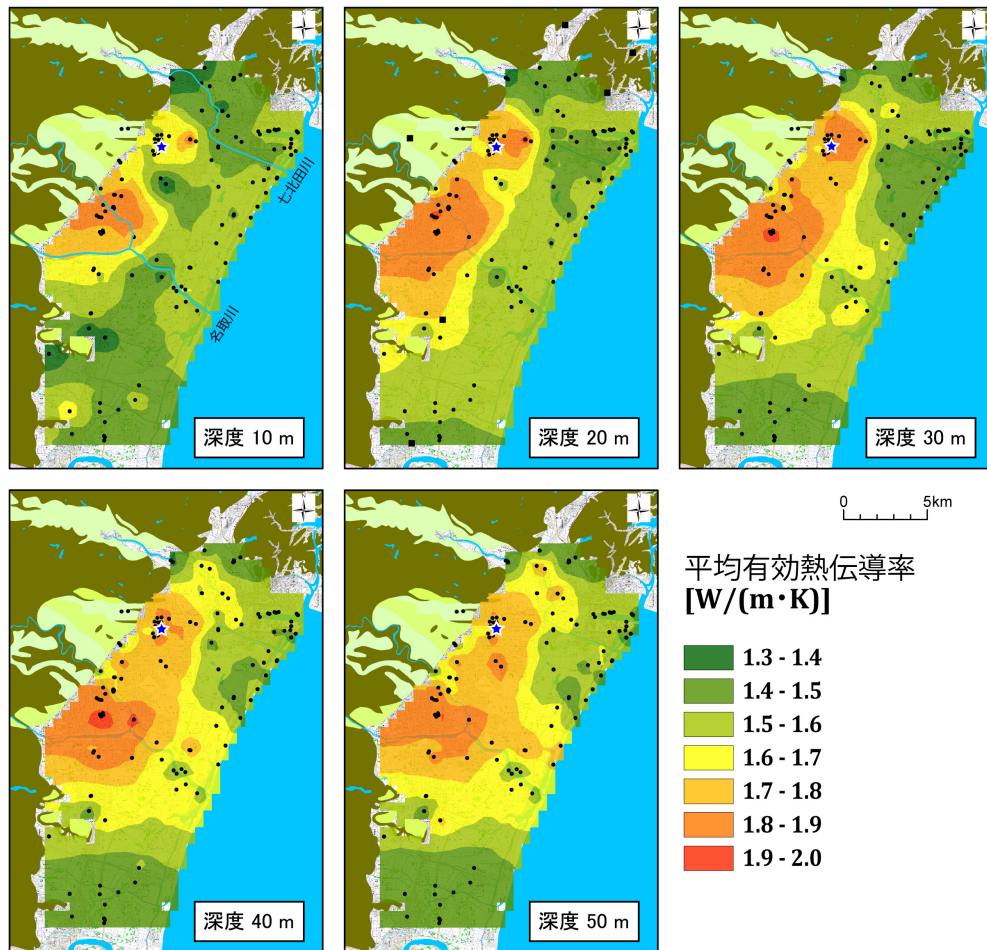
る沿岸部の深度約 $0\text{-}20 \text{ m}$ に集中している。有効熱伝導率はこれらの礫層・砂層の優勢する地域で概ね高い値を示し、地中熱利用により適した地域と考えられる。

上述の礫層は、松本(1994)の埋積下部層(沖積層基底礫層とそれ以前の更新統礫層)に概ね相当する。また、沿岸部浅層の砂層は松本(1994)の埋積上部層(沖積層)にあたり、外浜、前浜・後浜および砂丘堆積物よりなる(田村ほか, 2006)。沿岸平野では、地中熱利用の対象深度の地質が主に沖積層で構成されることから、沖積層の層序や地質構造を理解することが帯水層の分布や有効熱伝導率の高い地域を推定する上で重要と言える。

なお、本研究では地下水流動の影響を考慮していない。地下水流速の大きな帯水層が存在する地点では、熱移流効果によって有効熱伝導率がさらに増加することがある(熱移流効果を含めた有効熱伝導率は見かけ熱伝導率と呼ばれる)。したがって、より詳細な地中熱ポテンシャルを評価



第3図 仙台平野の礫層(上)と砂層(下)の割合分布(深度別)



第4図 仙台平野の平均有効熱伝導率分布（深度別）

するためには熱応答試験や地下水流動・熱輸送解析を行う必要がある。そのような数値解析を行う際には、有効熱伝導率のデータをリファレンスデータとして活用できる。

4. おわりに

本稿では、平成30年度第2回ふくしま地中熱利用情報交換フォーラムで発表した内容の一部を紹介した。今後は、地中熱チームの研究者と協力して、深度別の熱交換器モデル（同一地点における100m熱交換器1本と50m2本の比較など）の構築・熱交換量予測シミュレーションと本研究の結果の関係性についての検討を予定している。

文献

地中熱利用促進協会（2014）地中熱ヒートポンプシステム 施工管理マニュアル。オーム社，東京，173p。
石原武志・鈴木毅彦・本郷美佐緒・内田洋平（2017）オールコアの解析に基づく会津盆地の浅部地下地質

構造の検討。日本地球惑星科学連合2017年大会，HQR05-P05。

石原武志・鈴木毅彦・本郷美佐緒・内田洋平（2018）テフラ及び花粉分析に基づく会津盆地西部のオールコア（GS-NT-1）の層序。日本地球惑星科学連合2018年大会，HQR04-P12。

Ishihara, T., Shrestha, G., Kaneko, S. and Uchida, Y. (2018) Analysis of shallow subsurface geological structures and ground effective thermal conductivity for the evaluation of ground-source heat pump system installation in the Aizu Basin, Northeast Japan. *Energies*, 11, 2098.

金子良・中川昭一郎（1969）会津盆地の水収支。農業土木試験場報告，7，33-52。

金子翔平・柴崎直明・庄司美由・内田洋平（2016）長期連続観測にもとづく会津盆地における地下水位及び地下水温度変動の特徴。地質調査研究報告，67，183-208。

松本秀明（1981）仙台平野の沖積層と後氷期における海

- 岸線の変化. 地理学評論, 52, 72-85.
- 松本秀明 (1994) 仙台平野の成り立ち. 仙台市史編さん委員会編, 仙台市史 特別編 1 自然, 仙台市, 仙台, 264-277.
- 宮城県 (2002) 平成 16 年度仙台平野南部地域地下構造調査に関する調査成果報告書, <https://www.hp1039.jishin.go.jp/kozo/Miyagi9frm.htm> (2019 年 2 月 20 日確認)
- Shrestha, G., Uchida, Y., Kuronuma, S., Yamaya, M., Katsuragi, M., Kaneko, S., Shibasaki, N. and Yoshioka, M. (2017) Performance evaluation of a ground-source heat pump system utilizing a flowing well and estimation of suitable areas for its installation in Aizu Basin, Japan. *Hydrogeol. J.*, 25, 1437-1450.
- 鈴木毅彦・斎藤はるか・笠原天夫・栗山悦宏・今泉俊文 (2016) 福島県, 会津盆地中西部地下における第四紀後期テフラの層序. 第四紀研究, 55, 1-16.
- 田村 亨・斎藤文紀・増田富士雄 (2006) 浜堤平野における沖積層の層序と堆積学的解釈: 仙台平野と九十九里浜平野の例. 地質学論集, 59, 83-92.
- 内田洋平 (2019) 平成 30 年度産総研福祉の再生可能エネルギー研究所研究成果報告会 地中熱チーム. GSJ 地質ニュース, 8, 16-19.
-
- ISHIHARA Takeshi (2019) Simple evaluation of ground source heat pump system installation using geological information in Japan.
-

(受付: 2019 年 3 月 6 日)