

花崗岩からなる山地流域における地表水—地下水循環系のモデル化 Modeling of Surface Water and Groundwater Cycle System in a Mountainous Catchment Underlain by Granite

渡邊 泰人^{1*}; 辻村 真貴²; 池田 浩一¹; 矢野 伸二郎³; 安部 豊³; 松本 雄大³
WATANABE, Yasuto^{1*}; TSUJIMURA, Maki²; IKEDA, Koichi¹; YANO, Shinjiro³; ABE, Yutaka³;
MATSUMOTO, Takehiro³

¹ 筑波大学大学院生命環境科学研究科, ² 筑波大学生命環境系, ³ サントリーグローバルイノベーションセンター株式会社
水科学研究所

¹Graduate School of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba, ²Faculty of Life and Environmental Sciences,
University of Tsukuba, ³Institute for Water Science, SUNTORY Global Innovation Center LTD

山地流域は水資源の涵養域として大きな役割を果たしており、山地流域の地下水流動を把握する研究が行われてきた。しかし、地形勾配が急な花崗岩山地流域における研究は多くは行われておらず、特に数値シミュレーションを用いて地下水流動を把握した研究は少ないのが現状である。そこで本研究では、数値シミュレーションにより地形勾配が急な花崗岩山地における地下水流動を再現することを目的とした。

本研究は、花崗岩からなる山地流域の一つである、山梨県神宮川の源流域を対象とした。この流域は、最大比高が約 1400 m であり、非常に急勾配な流域である。数値シミュレーションは、三次元の地表水—地下水流動を解析できる GETFLOWS を用いて行った。同地域では、これまでにフロン類等のトレーサーを用いた研究により、地下水の滞留時間や涵養標高が推定されており、それらの再現を試みた。

透水係数に相当する絶対浸透率を変化させ、地下水流動系の再現を試みた。その結果、地下水位や地下水の流線などの地下水流動系は絶対浸透率によって大きく変化することが示された。また、流域北部の湧水においては、フロン類トレーサーにより、一部の湧水の滞留時間は他の湧水の滞留時間より長いことが示されているが、数値シミュレーションによる滞留時間も同様の傾向を示した。また、涵養標高に関しても、一部の湧水を除き、妥当な値を示した。

キーワード: 地下水, シミュレーション, GETFLOWS, 滞留時間, 涵養標高

Keywords: groundwater, simulation, GETFLOWS, residence time, recharge altitude

中国白洋淀流域における富栄養化要因の空間解析 Spatial analytic reasons of eutrophication in Baiyangdian Basin, China

黄琳^{1*}; 沈彦俊²; 近藤昭彦¹
HUANG, Lin^{1*}; SHEN, Yanjun²; KONDOH, Akihiko¹

¹ 千葉大学, ² 中国科学院遺伝与発育生物学研究所
¹Chiba University, ²Center for Agricultural Resources Research

白洋淀は豊かな自然に恵まれていることから「華北の玉」と呼ばれており、周辺地域の生活用水や産業用水の水源となっている。さらに洪水の抑止、水質浄化、生物多様性の保全などの生態系サービス機能を有していると考えられる。しかし、現在では白洋淀の水質汚染と水不足は深刻な社会問題となっており、生態系サービス機能は劣化している。

一方、中国の経済発展に伴い白洋淀上流域の郷鎮企業が増えている。同時に白洋淀周辺地域の人口も増加し、宅地開発も進行している。また、従来からの畑作も重要な地域の産業となっている。これに伴い、白洋淀流域における水資源の需要量は年々増加している。乾燥地域である白洋淀では、近年降水量が減少していること、また上流域におけるダム建設によって地表水がせき止められたため、白洋淀の水の貯留量も減り、何度も枯渇を経験している。

本研究の研究地域は中国河北省に位置する閉鎖性水域である白洋淀とその流域である。白洋淀は上流の太行山地に発する9本の河川水を集めて、最終的に渤海湾に流れこむ。沼沢地には約3700本のクリークが掘削され、河道で連結される146個の大きさの湖沼群が形成されている。総面積は366平方キロメートルであり、湖沼群中の島と湖畔には、36の村がある。流域の気候は温帯大陸性モンスーン気候に属し、冬季は寒く乾燥し、夏季は暑く雨も多い。年平均降水量は563.9mmであり、年可能蒸発散量(蒸発パンによる計測)は1369mmである。年降水量の80%が6~9月にかけて降り、降雨量の過多によって白洋淀の水量も大きく変化する。

白洋淀は自然の湿地であり、湿地は多様な機能、すなわち生態系サービス機能を有している。そのため、適切な保全が必要とされているが、湿地の水資源は農業や地域の産業に有効利用し、生産の向上に貢献することも重要である。本研究では生態系サービスの保全に資することを目標として、衛星データによる白洋淀の湿原の植生の変動と水面積の変化を明らかにし、また、水質項目の現地観測を行い、白洋淀の水域、湿原植生の現状との関係を明らかにすることを目的とする。

1980年頃と2000年頃の中国1kmメッシュ土地利用データによると、白洋淀流域の宅地及び工業用地は増加し、耕地は山地域と中流で増加の傾向にあるが、平野域では減少している。耕地の減少域は宅地及び工業用地の増加域に対応している。

また、時系列衛星リモートセンシングデータを用いて、1989年から2001年の白洋淀の水域と湿原植生の変化を解析した。その結果、白洋淀の水面積と湿原の植生は経年的に減少傾向にあり、減少分は埋立による宅地開発と畑地開発によることが明らかとなった。特に、白洋淀の上流域で減少面積が大きかった。また、白洋淀に当初存在した大面積の水域は、小さな水域に分断されたことも明らかとなった。

現地採水調査により明らかにされた全窒素、全リン、硝酸性窒素などの濃度分布では白洋淀の入水口が排水口より高いことが明らかとなった。2010年4月、6月、9月と2011年9月の水質分布を比較すると、9月の各濃度は4月、6月より低くなっていた。また、透視度は入水口の透視度が中央と排水口より低かった。このような水質項目の濃度分布および季節変化は白洋淀の上流からの物質負荷、湖内における湿原植生の浄化機能、降水量の季節分布によって説明可能である。

白洋淀は都市に近接した閉鎖性水域であり、閉鎖性水域の水問題は世界共通の課題となっている。日本においても大都市に近接する閉鎖性水域の汚染は解決すべき重要な課題であり、水質汚濁防止法や湖沼水質保全特別措置法により水質の改善に努めているところである。今後は世界各地の閉鎖性水域との比較水文学的研究を推進することにより、地球環境問題としての湖沼の水環境問題を捉えていく予定である。

キーワード: 生態系サービス, 水質汚染, 水域, 湿原植生

Keywords: Ecosystem services, Water pollution, Water area, Wetland vegetation

Hydrological Environment of Surface Water and Groundwater in Ninh Thuan Region, South-east Coast, Vietnam

Hydrological Environment of Surface Water and Groundwater in Ninh Thuan Region, South-east Coast, Vietnam

LE, Anh Hoang^{1*}; TSUJIMURA, Maki¹; NGUYEN, Huyen t.t.²; PHAN, Tuyen N.²
LE, Anh Hoang^{1*}; TSUJIMURA, Maki¹; NGUYEN, Huyen t.t.²; PHAN, Tuyen N.²

¹Graduate School of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba, 1-1-1 Ten-noudai, Tsukuba, ²Institute of Energy, 6 Ton That Tung, Khuong Thuong ward, Dong Da district, Hanoi, Vietnam

¹Graduate School of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba, 1-1-1 Ten-noudai, Tsukuba, ²Institute of Energy, 6 Ton That Tung, Khuong Thuong ward, Dong Da district, Hanoi, Vietnam

The Government of Vietnam is planning to construct two nuclear power plants in Ninh Thuan province, a coastal region of Vietnam with semi-arid climate conditions. This research aims to investigate the hydrological environment of surface water and groundwater in the planned site of Ninh Thuan 2 in order to obtain basic information for the construction of the plant. Inorganic solute ion concentrations and stable isotopes of oxygen and hydrogen in surface water, groundwater and seawater were analyzed to understand their chemical characteristics and hydrological process. The results demonstrate that water resources in this region are limited and groundwater is considered to be a main water source. The groundwater flows in Holocene and Pleistocene aquifers, with the depths of 10 m and 16-21 m, respectively and the dominant flow is from southwest to northeast, corresponding to the river flow direction in this area. There seems to be an interaction of surface water and groundwater in this region. Streams and wells near the shoreline are affected by brackish water with high Na-Cl concentration. Groundwater in the Holocene aquifer shows a chemical characteristic of Ca-SO₄ and Ca-HCO₃ type, whereas Na-HCO₃ water type is dominant in the Pleistocene aquifer. The water chemistry is being influenced by freshwater - brackish water mixing, weathering processes and human activities. The nitrate concentration of groundwater in the Holocene aquifer is higher than that in the Pleistocene aquifer, and much higher than WHO drinking water standards. This means that water in this region is affected by agricultural production activities. Therefore, the project developer should have a careful consideration when consuming water in this region for Ninh Thuan 2 nuclear power plant project.

キーワード: nuclear power plant, environmental impact assessment, water resources

Keywords: nuclear power plant, environmental impact assessment, water resources

富士山北麓地域の深部掘削温泉の起源と水質形成機構 The origin and formation mechanism of the water quality of deep hot springs from the northern foothills of Mt. Fuji

谷口無我^{1*}; 村松容一²; 千葉仁³; 奥村文章⁴

YAGUCHI, Muga^{1*}; MURAMATSU, Yoichi²; CHIBA, Hitoshi³; OKUMURA, Fumiaki⁴

¹ 東大新領域, ² 東理大理工, ³ 岡山大理, ⁴ 石油資源開発(株)技術研究所

¹Gra. Shc., The Univ. Tokyo, ²Fac. Sci. and Tech., Tokyo Univ. Sci., ³Fac. Sci., Okayama Univ., ⁴Japex R.C.

近年、富士山北麓地域には深度 1,500m に達するような温泉井が複数開発されているが、それらの深井戸から揚水される温泉水の成因は必ずしも明らかにされていない。泉源の保護や新規開発には、温泉水の起源や水質形成機構を明らかにすることが不可欠である。本研究では、当該地域の深部掘削泉を主な対象に、主要化学成分および水素・酸素・硫黄安定同位体 (δD , $\delta^{18}O$, $\delta^{34}S$) 分析を実施し、温泉水の起源および水質形成機構に関する水-鉱物相互作用を考察した。

検討の結果、対象とした温泉水は天水と当該地域の基盤岩であるグリーンタフ層の間隙に取り残された化石海水との混合によって形成され、その混合割合は天水に卓越することが明らかとなった。温泉水の水質形成には、石膏・硬石膏（以下、石膏）の溶解、斜長石の風化、方解石の沈殿などが関与し、主要溶存成分の濃度が規制されていると考えられた。また、富士山麓の火山噴出物の分布域ではかんらん石の風化作用が水質形成に影響していると考えられ、当該地域には Mg^{2+} の溶存割合が高い温泉水・湧水が認められた。温泉水が溶存する SO_4^{2-} の $\delta^{34}S$ 値は +8.2~+20.7 ‰ と幅広く、御坂山地および丹沢山地周辺で重く、富士山麓で低かったことから、御坂・丹沢両山地の重い $\delta^{34}S$ 値の SO_4^{2-} には基盤岩のグリーンタフに生じた石膏の溶解が関与し、富士山麓の軽い $\delta^{34}S$ 値の SO_4^{2-} には過去の富士山活動期の火山ガスに由来する石膏の溶解が関与すると考えられた。

キーワード: 富士山北麓, 深部掘削温泉, 水質, 水-鉱物相互作用, 安定同位体比

Keywords: northern foothills of Mt. Fuji, deep hot spring, water quality, water-rock interaction, stable isotope ratio

Historical Rainfall, Runoff and Flood of Wadi Siham Basin, Yemen Historical Rainfall, Runoff and Flood of Wadi Siham Basin, Yemen

AL WARD, Majed ahmed² ; ISMAIL, Wan ruslan^{1*}

AL WARD, Majed ahmed² ; ISMAIL, Wan ruslan^{1*}

¹Geography Department, Tamar University, Dhamar, Yemen, ²Geography Section, School of Humanities, Universiti Sains Malaysia, 11800 Pulau Pinang

¹Geography Department, Tamar University, Dhamar, Yemen, ²Geography Section, School of Humanities, Universiti Sains Malaysia, 11800 Pulau Pinang

Wadi Siham Basin (WSB) is one of the most important agricultural areas, and one of the seven largest wadis in the western region of the Republic of Yemen. This study aims to evaluate the quantity and spatial and temporal variation of rainfall and runoff. The rainfall (1979-2008) as well as runoff and floods (1990-2009) data were collected and treated statistically in order to evaluate the rainfall and runoff trends. The areal catchment rainfall was estimated by using the Thiessen polygon method, while the recurrence interval and probability analysis were carried out using the Hazen method. The Mann-Kendall and Sen's slope analyses results showed that the Wallan and Al-Amir stations produced significant negative values (-4.72 and -6.11 mm/year respectively). However, the rainfall trend in Dhamar had a significant positive value of 50.20 mm/year. The average annual rainfall in WSB was 346.39 mm/year. The total amount of rainfall was 1711.26 Mm³. The mean annual water runoff was 82.92 Mm³. A total of 570 events of flood occurred with a total volume of 53.10 Mm³. The total water runoff was 4.85% of total rain precipitated on WSB indicating that the total amount of water loss was 95.15% varied between evapotranspiration and infiltration. In conclusion, the study results suggested the need for an urgent and sustainable water resource management in WSB.

キーワード: Rainfall, Runoff, Flood, Mann Kendal Test, Wadi Siham, Yemen

Keywords: Rainfall, Runoff, Flood, Mann Kendal Test, Wadi Siham, Yemen

屋久島森林生態系への水銀沈着の特徴

The characteristics of mercury deposition on to forest ecosystem observed in Yakushima Island

吉田 明史^{1*}; 永淵 修²; 横田 久里子⁴; 中澤 暦³; 尾坂 兼一²; 手塚 賢至⁵; 手塚 田津子⁵;
北瀬 浩之¹

YOSHIDA, Akifumi^{1*}; NAGAFUCHI, Osamu²; YOKOTA, Kuriko⁴; NAKAZAWA, Koyomi³; OSAKA, Ken'ichi²;
TETUKA, Kenshi⁵; TETUKA, Tatuko⁵; KITABUCHI, Hiroyuki¹

¹ 滋賀県立大学大学院環境科学研究科, ² 滋賀県立大学環境科学部, ³ 滋賀県立大学 環境科学部, ⁴ 豊橋技術科学大学建築・都市システム学系, ⁵ 屋久島学ソサエティ

¹Environmental Science Graduate school, University of Shiga Prefecture, ²University of Shiga Prefecture, ³Division of Environmental Science, University of Shiga prefecture, ⁴Toyohashi University of Technology, ⁵Society of Yakushimaology

Mercury (Hg) is a global pollutant that affects human and ecosystem health. Atmospheric Hg can be removed from the atmosphere by wet or dry deposition. Many studies suggest that the interactions between atmospheric Hg and the forest canopy may be a key process influencing Hg input to forested watersheds. These studies are mainly conducted in Europe, however, only a few studies were reported in Asian monsoonal area. The characteristics of the seasonal variation of a precipitation is different between Asian monsoonal area and Europe region, i.e., there is a rainy season (June-July) and typhoon season (July-September) in Asian monsoonal area. It has been reported that the most of atmospheric mercury is supplied as a wet deposition. Therefore, it is important to evaluate the characteristics of Hg atmospheric deposition in Asian monsoonal area. Yakushima island has more than 8,000 mm of annual precipitation. Therefore, it is suitable site to evaluate the mercury dynamics in the forest ecosystem.

Study sites are located at a height of 200 m and 1600 m above sea level of the broad-leaved evergreen forest in the western area of Yakushima Island, respectively. In 200 m experimental site, the experiment was conducted at a 100 m x 100 m experimental site around the observation tower. We installed automatic rain samplers which can collect rain water every 10 mm precipitation, bulk deposit samplers (within canopy and without canopy) and groundwater collecting devise, respectively. In addition, we sampled stream water which flow down near the observation tower. In 1600 m experimental site, we installed automatic rain samplers. These experiments are conducted during 2011-2014 sampling campaign and each samples are collected once a month basis. Hg, major ions, and DOC were analyzed. From these result we will discuss the characteristics of Hg deposition in Yakushima Island.

キーワード: 屋久島, 水銀, 森林生態系, 水銀沈着, 雨

Keywords: Yakusima, mercury, forest ecosystem, Asia monsoon, precipitation

高透水性多孔質媒体中の水・熱輸送モデルに関する考察 Study on a numerical model for fluid flow and heat transport through permeable porous media

吉岡 真弓^{1*}
YOSHIOKA, Mayumi^{1*}

¹ (独) 産業技術総合研究所

¹National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)

Interaction between the atmosphere, the surface and the subsurface is one of the most important keys in understanding, managing and utilizing the water environment. Recently, technologies for estimating the shallow subsurface thermal environment adequately are required along with the popularization of the ground-coupled heat pump system and the heating and cooling system by direct use of groundwater. A numerical simulation model for being able to estimate processes of fluid flow and thermal transport in unsaturated and high permeable porous media is required in order to develop the technique of shallow geothermal energy utilization.

In this study, the one-dimensional infiltration experiments using a cylinder column and improving the numerical simulation model were carried out. In the experiment, highly permeable porous media 3 and 5 millimeters in diameter were used. The flow velocity and the temperature changes in the column were measured. The experimental results were represented by the numerical model.

As the results, the high-velocity flow in the permeable porous media was simulated by the model using multi-phases system. In addition, in the model the temperature of soil, liquid (water) and air were able to be simulated individually and the calculated results were agreement with the experimental results.

関東平野中央部および小浜平野における地中熱ポテンシャル評価と比較 Potential map of Borehole Heat Exchanger system for the central part of Kanto Plain and the Obama Plain

濱元 栄起^{1*}; 八戸 昭一¹; 白石英孝¹; 石山 高¹; 宮越 昭暢²; 宮下 雄次³; 田原 大輔⁴
HAMAMOTO, Hideki^{1*}; HACHINOHE, Shoichi¹; SHIRAIISHI, Hidetaka¹; ISHIYAMA, Takashi¹;
MIYAKOSHI, Akinobu²; MIYASHITA, Yuji³; TAHARA, Daisuke⁴

¹ 埼玉県環境科学国際センター, ² 産業技術総合研究所, ³ 神奈川県温泉地学研究所, ⁴ 福井県立大学
¹Center for Environmental Science in Saitama, ²National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, ³Hot Springs
Research Institute of Kanagawa Prefecture, ⁴Fukui Prefectural University

地中熱利用システムは、経済的にも環境的に優しい技術であり、これまでヨーロッパや北アメリカで広く使われてきた。しかしながら日本国内では、まだ導入が進んでいない状況にある。この理由のひとつとして、日本はヨーロッパや北アメリカに比べて複雑な地形や地質構造であることが挙げられる。このような複雑な構造では地下の熱物性や温度構造が地域ごとに異なるため、地中熱利用システムの効率も地域差が生じる原因となる。このような場合、システムの適切な導入を図るためには、熱交換井の本数や深さなどを事前に把握することが重要で、熱の利用可能量を数値計算や熱応答試験で評価することが有効である。数値シミュレーションを行うにあたっては、地質構造や地下水特性、地下温度が事前情報として必要である。しかしながら地中熱の設計を目的とした基礎情報の整備は進んでおらず今後の整備が望まれている。特に地下温度情報は少なく、本研究では、研究対象地域において地下温度調査を実施した。

本発表では、研究対象地域で測定したデータを用いて数値シミュレーションを行った結果を示すとともに、本研究で新たに開発した地中熱ポテンシャルマップの作成手法を用いて典型的な日本の平野部に適用した事例を示す。本研究の対象地域は関東平野中央部（埼玉地域）と小浜平野（福井県）である。このうち関東平野は人口は4000万人以上であり都市化が進んでいる。一方小浜平野は、日本海に面し、人口密度は関東平野に比べると少ない。このように社会条件が異なる地域で地中熱ポテンシャルを評価し比較することは社会科学や経済学の面からも重要な基礎情報となる。本研究では、関東平野中央部におけるポテンシャル評価を行うために23地点で、小浜平野では4地点で地下温度調査を行った。小浜平野においてはこの4地点のボーリングコア試料を用いて熱伝導率の測定を行った。本発表では、これらの地域の地下熱環境の違いや地中熱利用システムの効率の違いについて示す。

さらに地下温度や地下水流動が地中熱利用システムに与える影響を調べるため、局所モデルによる数値シミュレーションを行った。この結果、地下温度が5℃上昇すると、効率が約20%向上し、地下水流動の速さが、0m/yearから15m/year速くなる場合、効率は約30%向上することを明らかにした。地中熱ポテンシャルを考える場合このように地下温度や地下水流動の影響も大きいことに留意しなければならない。さらに地下温度に関しては、特に関東平野で最近100年間の地表面温度上昇によって、地下温暖化が進んでいることがわかってきた。このような地下温暖化によって地中熱利用システムの効率に影響があるのかどうかを数値シミュレーションしたところ、暖房時の効率が向上することがわかった。

キーワード: 地中熱, 地下水, 関東平野, 小浜平野

Keywords: Borehole Heat Exchanger system, groundwater, Kanto Plain, Obama Plain

広域における地中熱ポテンシャル評価のための地下水流動系の解析 Analysis of groundwater flow system for potential assessment of ground-source heat pump system in regional scale

シュレスタ ガウラブ^{1*}; 内田 洋平¹; 吉岡 真弓¹
SHRESTHA, Gaurav^{1*}; UCHIDA, Youhei¹; YOSHIOKA, Mayumi¹

¹ (独) 産業技術総合研究所

¹National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

Ground-source heat pump system is an energy efficient and environment friendly technology that utilizes natural heat stored in a subsurface of shallow depth up to about 100m. It is used for space-heating, space-cooling, hot water supply and snow-melting purposes. Development rate of GSHP system is gradually increasing in Japan. However, the pace is still lacking behind America and European countries because of higher initial cost resulted by oversized design of ground heat exchangers (GHE) and lack of information on its advantages. To promote the development of GSHP system, evaluation of suitable locations for its installation is essential.

Regarding geology, Quaternary System usually exists in the shallow subsurface which mainly consists of sand and gravel. In this Quaternary System, groundwater is actively flowing. For this reason, hydrological and geological information are necessary because they largely influence the subsurface temperature distribution, and consequently affects heat exchange rate of GHE as well as overall operation of GSHP system.

In this study, groundwater flow system of the Tsugaru Plain in Aomori Prefecture was comprehended in order to assess the potentiality of GSHP system. A regional scale 3D groundwater flow & heat transport model was developed for this purpose. Horizontal dimensions of the model were 64km in east-west and 78km in north-south direction. In the model, layers 1 & 4 belonged to Quaternary System, layers 5 & 7 to Neogene and layers 8 & 12 to Paleogene. Saturated steady state simulation of groundwater flow and heat transport was conducted with this model. In Tsugaru Plain, hydrological field data such as groundwater level could not be measured as groundwater observation wells were not sufficient. Therefore, the analysis model was verified by comparing the computed hydraulic heads and water table with past studies and literature values. Additionally, computed results were validated by inspecting the path of simulated groundwater flow at natural springs, confirming if groundwater was flowing in upward direction.

Based on the simulation results of the analysis model, distribution maps of groundwater flow velocity, water table depth from subsurface and subsurface temperature were prepared using geographic information system (GIS). Groundwater flow velocity was found higher at peripheral areas. It can be due to higher hydraulic gradient near the mountainous areas. At areas with higher groundwater flow velocity, improved heat exchange rates of GHEs can be expected because of advection effect. Water table depth from surface was found to be shallow in most of the areas of the plain, which indicates the sustainable operation of GSHP system from the view point of groundwater availability and saturation of geological layers. Aomori Prefecture (2011) and Machida and Yasukawa (2008) showed similar results of water table. Subsurface temperature computed from heat transport simulation was found higher at the central area of plain, which is thought to be due to the heat transfer by groundwater advection. For space-heating with GSHP system, the central area can be suitable from temperature perspective. In this way, the comprehension of regional scale groundwater flow system accompanied with subsurface temperature distribution can provide useful information to assess suitable locations for the installation of GSHP system.

References:

Aomori Prefecture (2011) Survey report on potential use of ground-coupled heat pump system and hot spring temperature in Aomori Prefecture. Aomori, Japan, 210 pp (in Japanese).

Machida, I., Yasukawa, K. (2008) Regional groundwater survey for the use of GSHP system in Aomori Prefecture. Vision for the promotion of GSHP system in Aomori Prefecture, Aomori, Japan, pp. 91-126 (in Japanese).

Keywords: ground-source heat pump system, groundwater flow, heat transport, potential assessment