

富士山周辺地域における 地下水熱利用適地マップ



平成27年3月

静岡県

静岡県では、平成 25 年度から地下水熱を活用した熱交換システムの普及に取り組んできました。具体的には、企業や市町の協力をいただき、地下水熱ヒートポンプを利用したシステムモデルの設置や見学会の開催のほか、地下水熱のポテンシャルを見える化するマップ作成のための調査を行いました。調査では、実際に富士山周辺の湧水や井戸を使って地下水の温度分布や水位を計測し、地質や地下水流の特徴をふまえて熱交換量を推計しました。

今後、このマップが、地下水熱を活用したシステム導入を検討される企業をはじめとする皆さま方にとって地球温暖化対策等への取組の一つとしてお役に立つとともに、自然環境の保全にも資することを期待するものです。

なお、地下水熱を活用した熱交換システムの導入に当たっての手順や配慮事項、設置事例等を示す「富士山周辺地域における地下水熱利用手引き」も作成しております。手引きは以下のホームページからダウンロードできますので、合わせてご活用ください。

静岡県暮らし・環境部 環境政策課ホームページ

<http://www.pref.shizuoka.jp/kankyoku/ka-020/kankyouseisaku.html>

このマップに関するお問い合わせは、
静岡県環境衛生科学研究所 環境科学部 までお願いします。

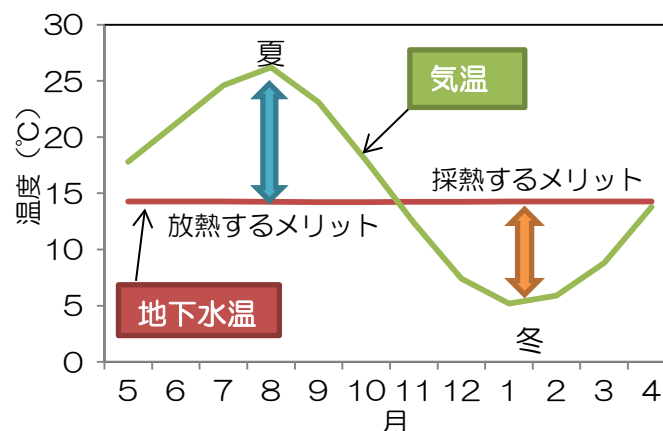
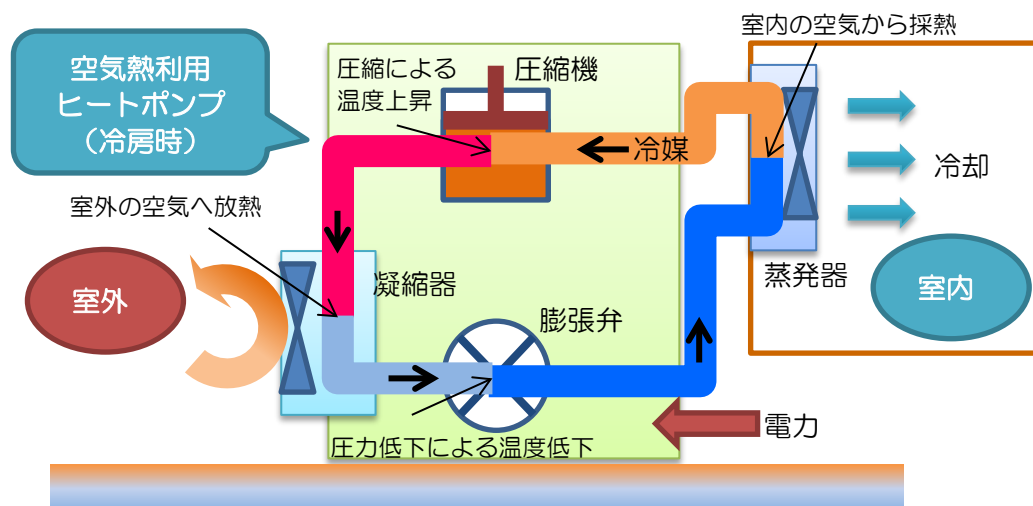
TEL: 054-245-0202

FAX: 054-245-7636

E-MAIL: kanka@pref.shizuoka.lg.jp

1. ヒートポンプによる地下水熱利用

ヒートポンプは、水を汲み上げるポンプと同じように、熱を汲み上げて活用する装置です。これは、電力等の外部エネルギーで冷媒などの熱媒体を循環させ、低い温度の物体から採熱し、高い温度の物体に放熱するような仕組みでできています。私たちの身の周りでは、エアコンや冷蔵庫などにこの技術が活用されています。ヒートポンプのもっとも大きな特徴は、投入するエネルギーの何倍もの熱エネルギーが得られることです。

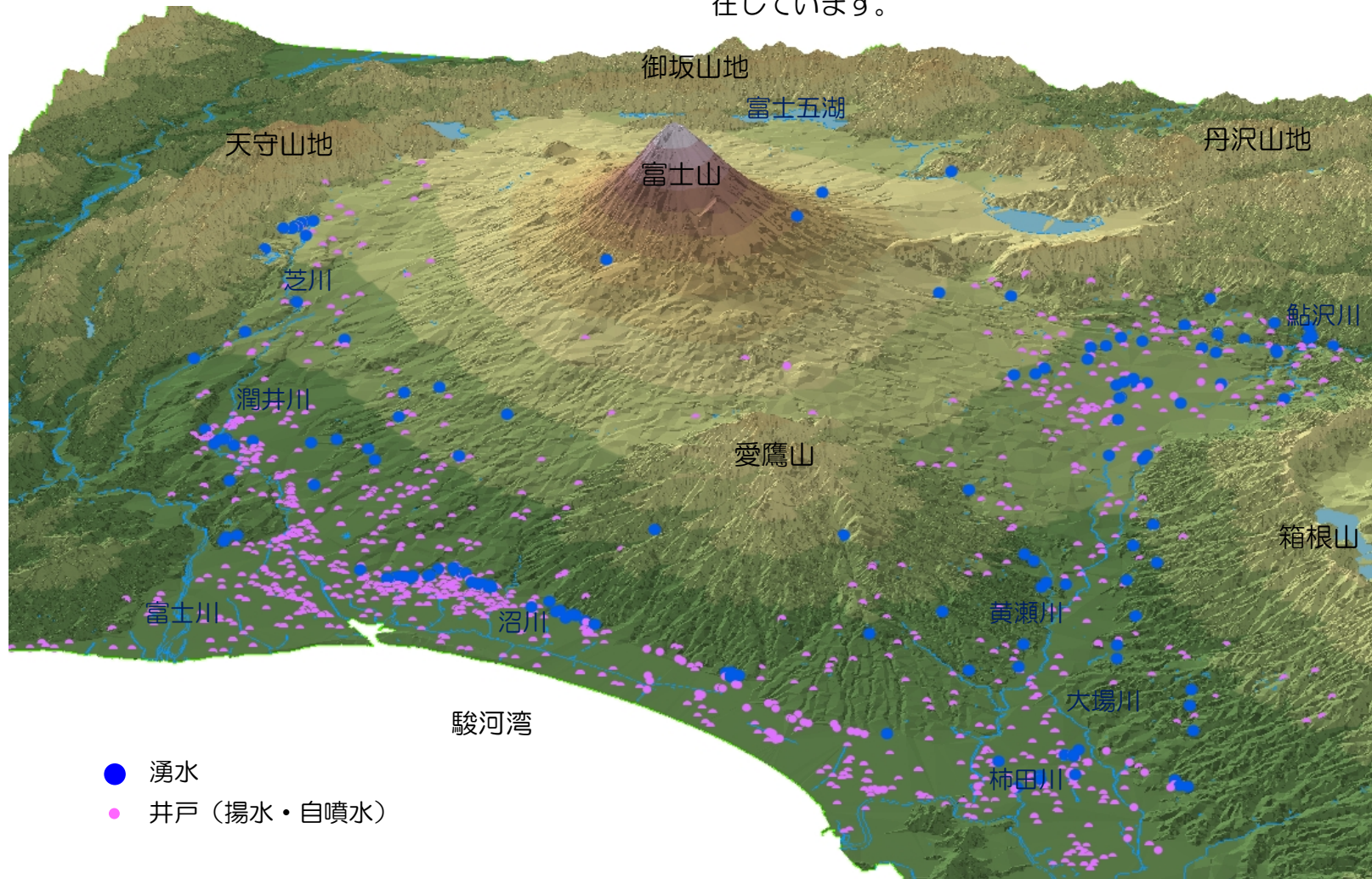


地下水温は、年間を通じて変化が小さく、気温と比べて冬は温かく、夏は冷たいため、地下水熱を活用することで、空気を熱源とするヒートポンプよりも効率的なエネルギー利用が可能になります。

2. 富士山周辺地域の地下水利用

地上に降った雨や雪は、一部は蒸発したり、すぐに流出して河川となって流れ出たりしますが、地中深くまで浸み込んだものはやがて地下水面に達し、地下水となります。地下水が長い年月をかけて地中を流れ、再び地上に湧き出たものが湧水です。富士山麓は降水量が年間2,000mm以上と多いものの、地下にしみこみやすいため、すそ野には普段水が流れていない涸沢が多くみられます。

富士山の地下水は標高が低くなって周囲の山系に近づくにつれて湧水として出現し、川となって流れていきます。富士山周辺地域ではこの清冽な地下水を古くから産業用、生活用に利用してきました。しかし、大量に地下水を利用したために起こった井戸水の塩水化や湧水の枯渇といった苦い経験をふまえて、近年、工業用水の河川水への転換や県条例による揚水規制、自主規制など、過度に地下水を取水しない取組が行われています。現在、休止中も含めて1,800程度の井戸が存在しています。



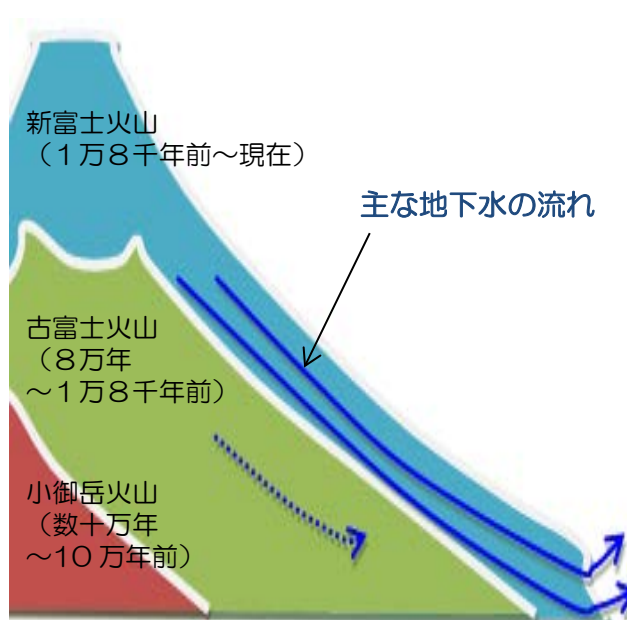
3. 富士山の地下水の特徴

富士山は3層構造（最近の研究では4層構造）になっています。現在の富士山（新富士火山）の下には透水性の低い古富士火山が存在するため、透水性に富む新富士火山が主な地下水を溜める帯水層となり、かつ地下水の流れる流路にもなっていると考えられています。そのため、三島楽寿園小浜池、柿田川、富士宮浅間大社湧玉池、白糸の滝、猪之頭湧水など古くから有名で規模の大きな湧水は、新富士火山の溶岩流の末端から湧き出しています。

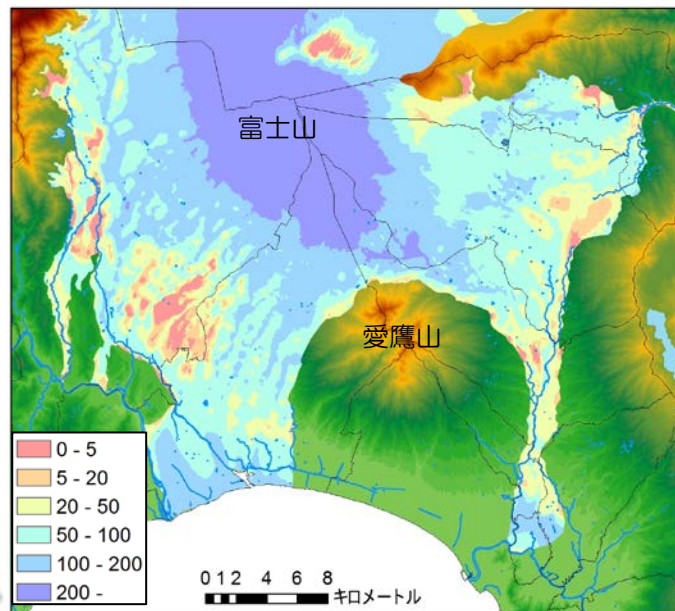
地下水の流れやすさや地下水面までの深さは、地中で熱交換する際に重要な意味をもってきます。地下水の流れがある場合、地中での熱交換において、地盤との熱の伝わりやすさだけでなく、地下水流によって熱が運ばれる効果も加わるためです。

通常、地中の温度は、地表付近では気温の影響を受けて変化しますが、10m程度深くなるとほぼ年中一定（平均気温と同程度）となります。また、深さ100m程度になると、地球内部の熱の影響により、さらに温度が2~4℃程度上昇することが知られています。

しかし、富士山周辺地域にある地下水位観測井戸を対象として、深さ方向に地下水温を測定したところ、ほとんどの井戸においてほぼ一定か、やや低下する傾向がみられました。気温の低い高標高の降水が、地下水になっても地熱の影響をさほど受けず、低温を保持しながら地中深くを流れてくることで、特有な地下水温のプロファイルができると考えられます。これは、水量が豊富で流れが速いという富士山の地下水の特徴によるものです。

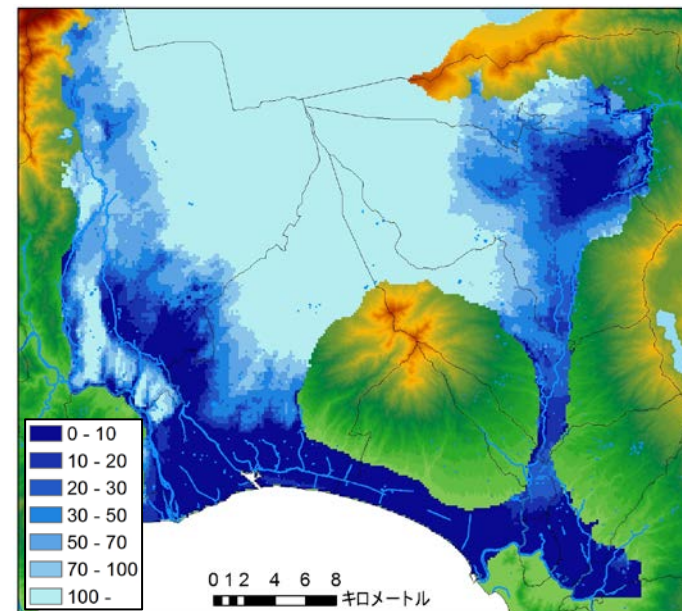


溶岩中の地下水の流れの模式図



新富士火山の厚さ

透水性の高い溶岩流の層厚 (m) で御殿場市付近は御殿場泥流層を含む。沿岸部は沖積層が被覆している。

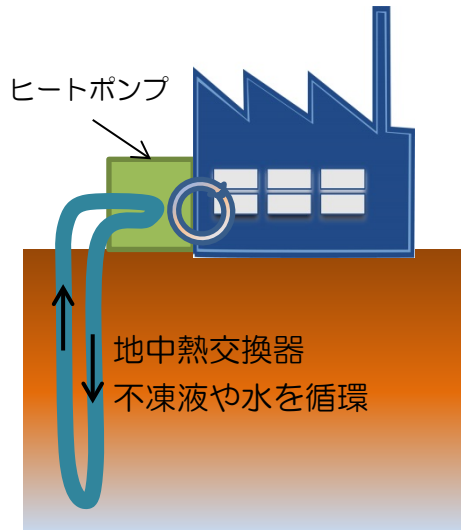


地下水面までの深さ

地表面から地下水面までの距離 (m) を示す。

4. 富士山周辺地域の特徴を活かした地下水熱利用

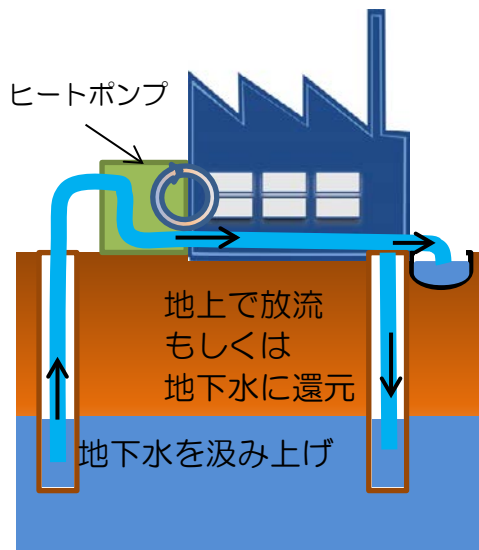
地中熱ヒートポンプは、地中との熱のやり取りの方法によって、クローズドループ方式、オープンループ方式に分けられます。



クローズドループ方式

クローズドループ方式は、井戸を掘ってその中に熱交換用のパイプを通し、熱媒体（不凍液や水が使われます）を地中に循環させることにより、間接的に地下水や地盤と熱のやり取りを行う方式です。地下水位が深い地域や、地下水を汲み上げることが規制されている地域でもこの方式が利用できます。

→ マップ B



オープンループ方式

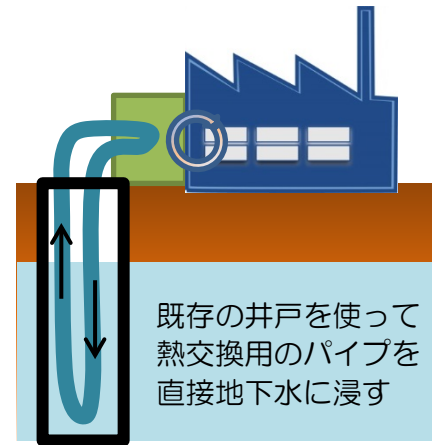
オープンループ方式は、地下水を汲み上げてヒートポンプ内に引き込み、熱をやり取りする方式です。使用後の地下水は地上で放流したり地中に還元したりします。地下水と直接熱交換できるので効率が高くなりますが、地下水を必要量汲み上げなければなりません。

→ マップ A

近年、富士山周辺地域では、地下水保全の観点から事業所における節水行動が進むなどして、使用していない大口径の井戸が増えてきています。これらの使われなくなった井戸をそのまま有効活用すれば掘削コストは必要なくなり、ヒートポンプシステムを導入しやすくなると考えられます。また、揚水して各用途に使用している地下水に関しても、地上部の配管や貯水槽内の水と熱交換できる可能性もあります。

そこで、富士山周辺地域の地下水流動と利用形態の特徴を活かした地下水熱の利用方法として、以下の2つを提案しています。

直接浸水型 地下水熱交換システム



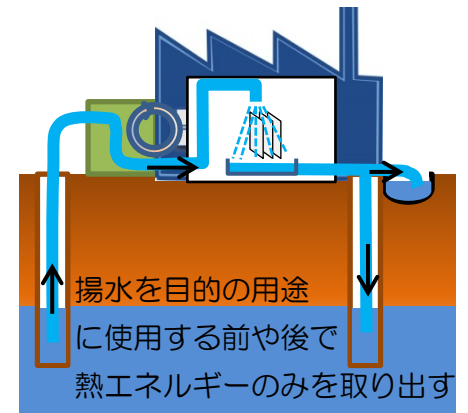
掘削を伴う従来のシステムに比べて、初期コストを大幅に削減できます

→ マップ A

→ マップ C

地下水のカスケード利用

カスケードとは、「階段状に連続して流れ落ちる小滝」という意味で、ここでは地下水を多段階で利用することをいいます。



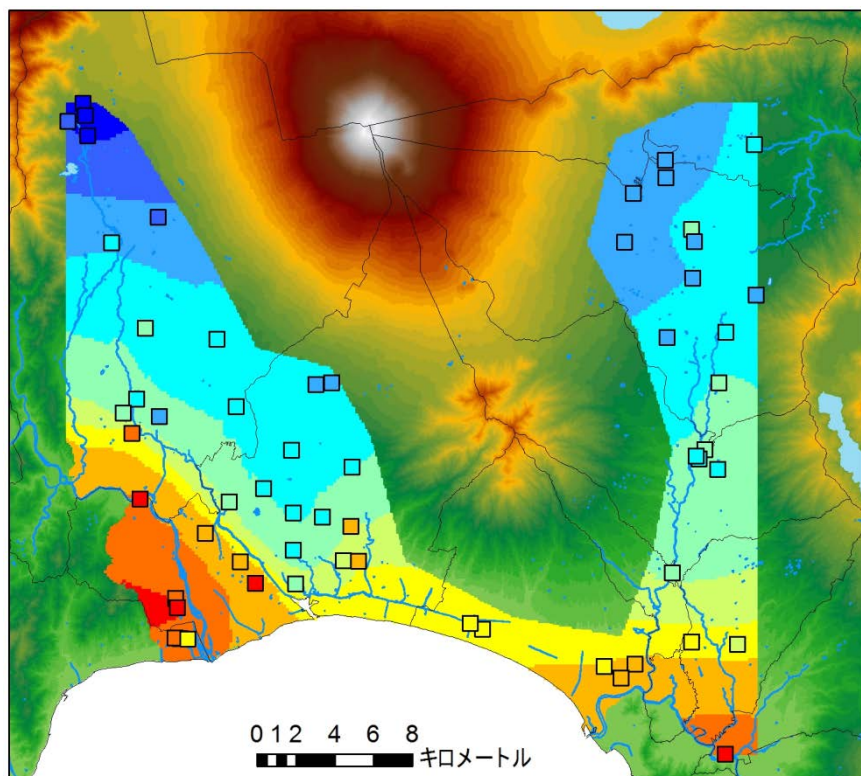
工夫次第で事業所内に既存の地下水システムから何倍ものエネルギーを獲得できます

→ マップ A

マップA：地下水温度マップ

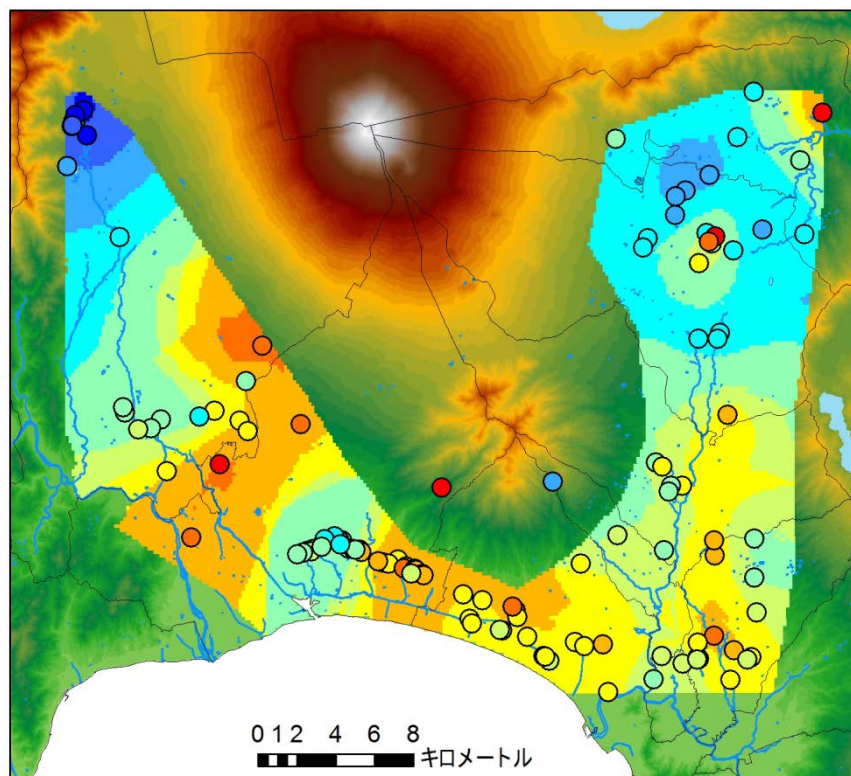
揚水後の地下水熱をカスケード利用する場合、熱交換するのに十分な揚水量の確保とともに、井戸水自体の温度情報が重要となります。富士山周辺地域では、北部で井戸水の温度が低く、特に富士宮市の猪之頭地区では10℃程度となっています。一方、駿河湾沿岸の平野部や富士川右岸地域では水温が15℃以上で高くなっていますが、富士市街地の潤井川より東側では、富士山麓で涵養された地下水が直接流下してくるため、比較的水温が低くなっています。

富士山周辺地域には身近なところに湧水や自噴井戸が多く存在しています。これらは地下水が地上に出てきたものであり、水温や水量も安定していることから、直接浸水型地下水熱交換システムのように、湧水地に熱交換パイプやラジエータタイプの熱交換器を設置するのに適した条件となっています。水に一定の流れがあれば、高効率な熱交換が期待できます。富士山南西部の山麓の湧水や、自噴井戸が多い愛鷹山南麓では水温が高くなっています。



井戸水温度マップ

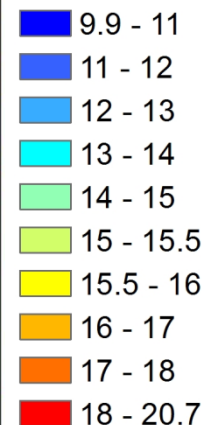
井戸水は揚水井戸と地下水位観測井の2種類で測定した。揚水井戸はポンプアップ時の水温、地下水位観測井はストレーナ位置（井戸管の穴が開いている部分で、主として地下水帯水層に位置する）の温度を示す。



湧水温度マップ

湧水及び小規模な自噴井戸の温度を示す。富士山南西部の山麓の湧水は、井戸水と比べて水温が高くなっており、標高1000m以下で降った雨が地下の浅い部分を通して比較的是やく湧き出すためと考えられる。

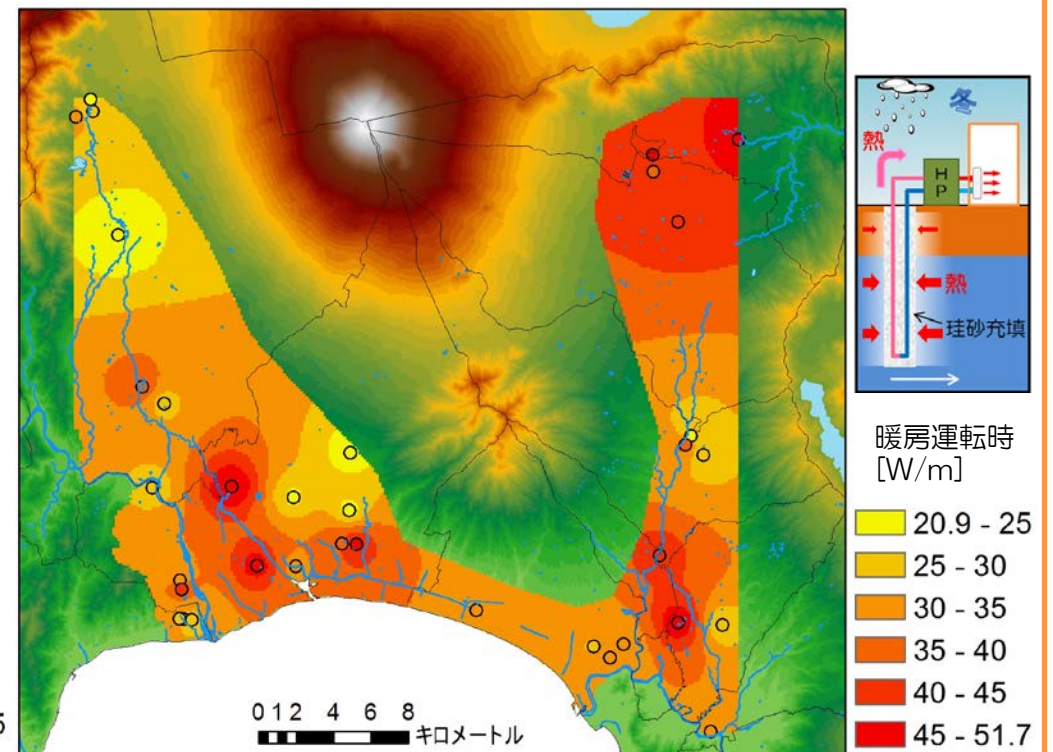
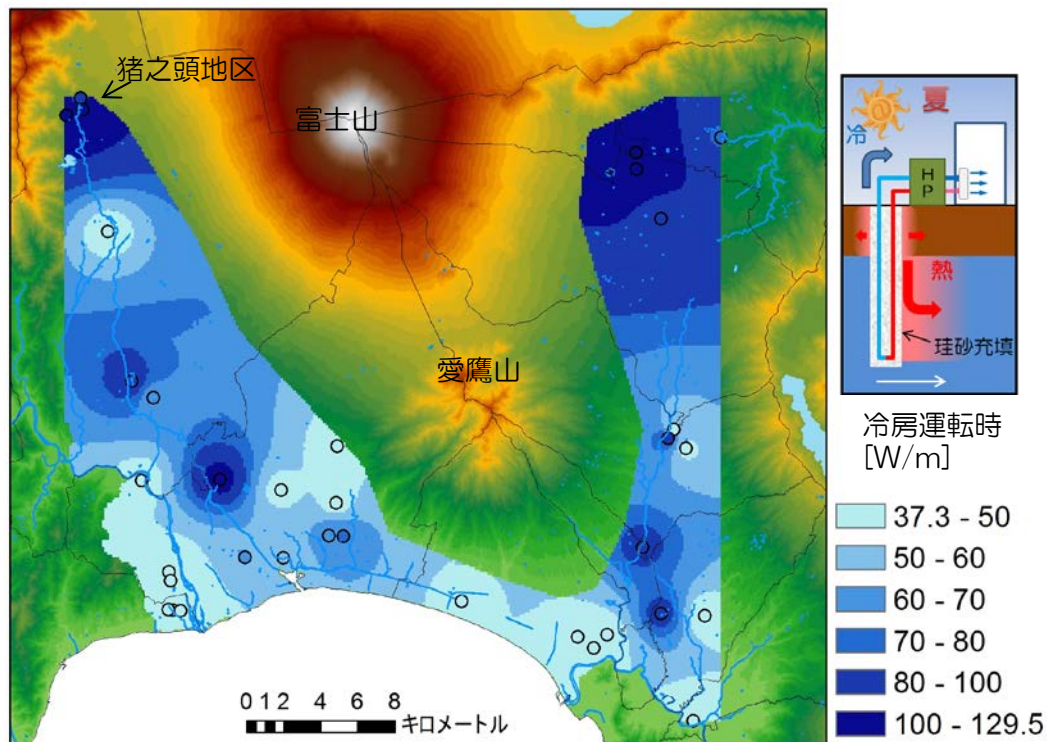
[°C]



マップB：地盤熱交換ポテンシャルマップ

富士山周辺地域の地質環境や温度プロファイル、地下水勾配を反映させた「熱交換井モデル」を作成し、地盤熱交換ポテンシャルを計算しました。これは、地面に挿入した熱交換パイプの周りを珪砂で充填したタイプで、地下水面より上部の地盤でも熱交換できる、現在最も普及が進んでいるクローズドループ方式を使用した場合の熱交換量を評価しました。この地域の地下水は水温が低いことから、冷房使用時の方が熱交換量が大きくなるという結果となりました。

地下水位が浅く流れも速い、御殿場市や小山町、三島溶岩流末端付近の三島市と長泉町の市境、富士宮市・富士市の市境などは、冷房、暖房とも熱交換量が大きくなっています。また、富士宮市猪之頭地区は特に冷房使用に適しており、富士市街地は暖房使用時も比較的熱交換量が大きく、バランスの良い冷暖房使用が期待できそうです。



地盤熱交換ポテンシャルマップ

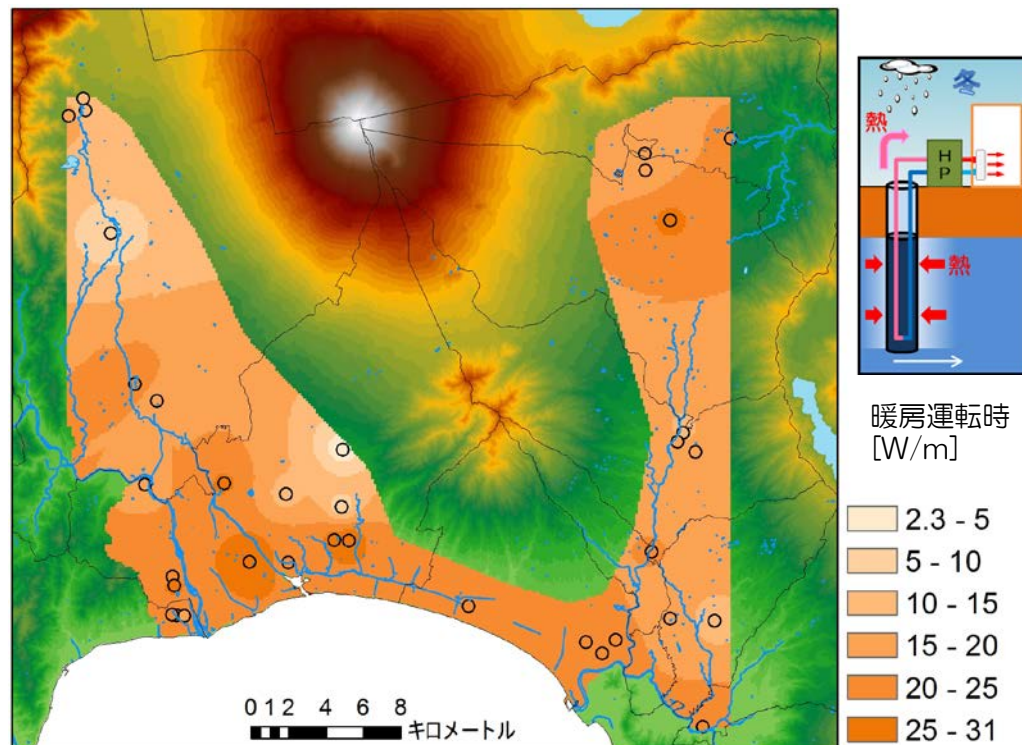
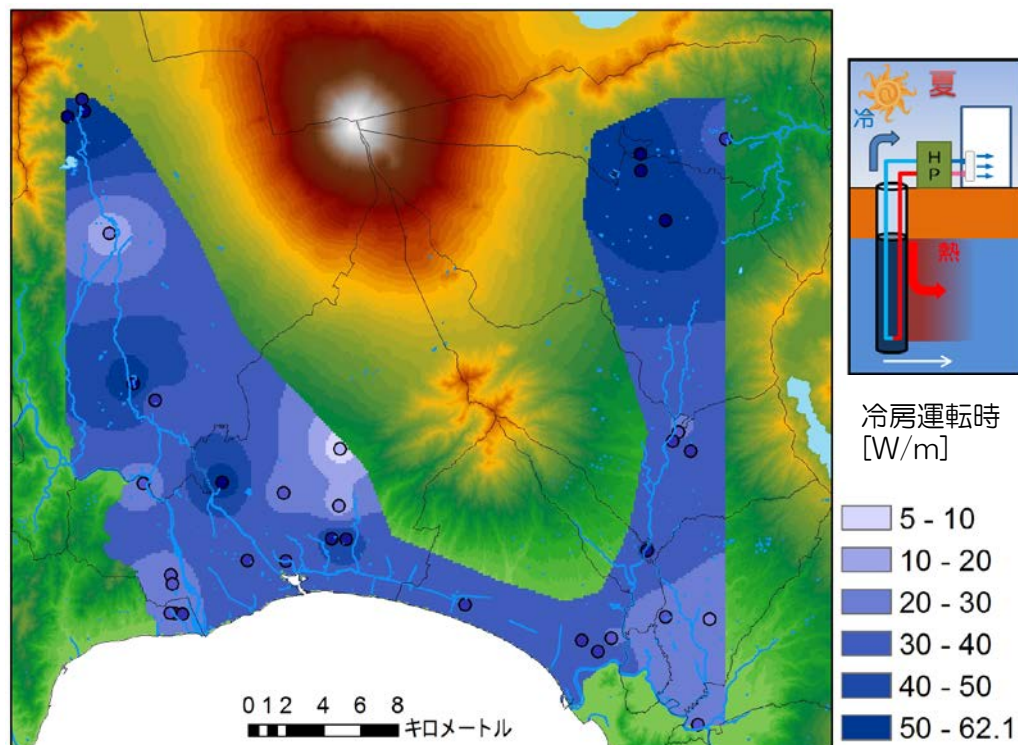
深さ 100m の熱交換井を用いた地盤熱交換システムで、冷暖房運転を 10 年間行った場合の平均熱交換量 (W/m) を示す。

マップC：水井戸熱交換ポテンシャルマップ

「熱交換井モデル」を使用し、休止中の水井戸に熱交換パイプを浸け込む「直接浸水型地下水熱交換システム」を想定して水井戸熱交換ポテンシャルを計算しました。地下水面よりも下で井戸水と直接熱交換することになるため、「地盤熱交換ポテンシャル」と比べて熱交換量は小さくなっています。しかし、地下水面が高い地域では冷房で 30W/m 以上、暖房で 20W/m 以上の熱交換量が確保できるという結果になりました。

この計算では、井戸水の流動がないという前提で計算しています。富士山周辺地域の地下水は流れが速く、実際には井戸の中でも水の流れが生じている可能性が高いため、この推定値よりも大きな熱交換量を得ることができると考えられます。

実際にこのタイプの地下水熱交換システムを設置する場合には、個々の井戸の特性を把握するために、熱応答試験などの事前評価が必要です。



水井戸熱交換ポテンシャルマップ

深さ 100m の水井戸を用いた直接浸水型交換システムで、冷暖房運転を 10 年間行った場合の平均熱交換量 (W/m) を示す。