

# 安倍川下流域（静清地域）における 地下水熱利用適地マップ

静岡県では、省エネルギー対策やエネルギーの地産地消を進めるにあたり、平成 26 年 5 月、産学官で組織する「静岡県地下水熱エネルギー利用普及促進協議会」を設置し、地下水熱交換システムの見学会や導入による省エネ効果報告を行うなど、地下水熱利用の普及に取り組んでいます。

平成 25 年度から 26 年度の 2 年間で、地下水量が豊富で流速が速く、水温が一定な富士山周辺地域を対象として、地下水熱交換システムモデルの設置や導入適地マップの作成等を行ってきました。これらの成果については、以下の URL でご覧いただくことができます。

「富士山周辺地域における地下水熱利用の手引き」  
「富士山周辺地域における地下水熱利用適地マップ」

静岡県 暮らし・環境部 環境局 環境政策課ホームページ  
<http://www.pref.shizuoka.jp/kankyoku/ka-020/chikasui/top.html>

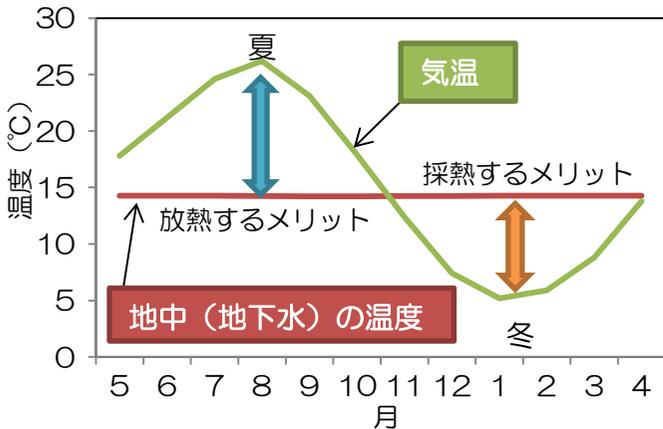
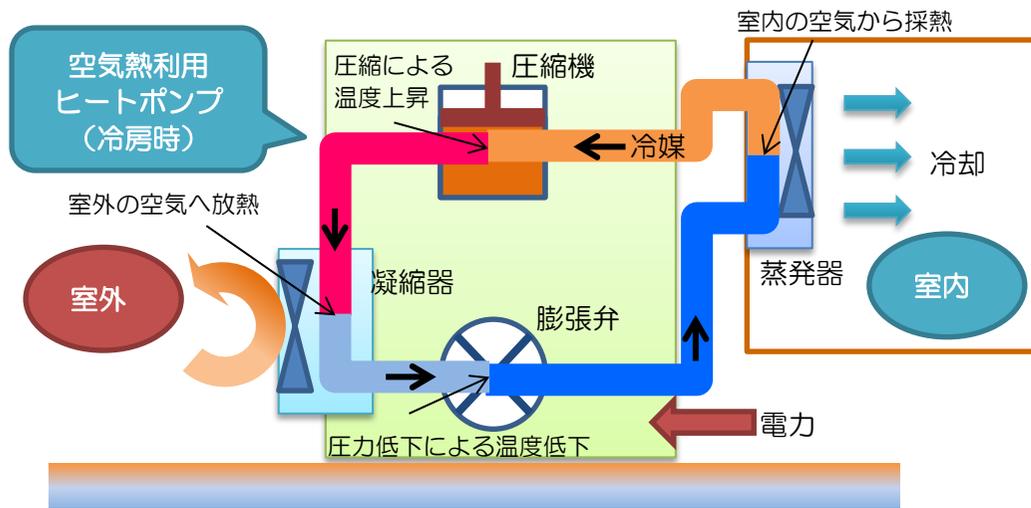
静岡県には、安倍川や大井川、天竜川などの大河川があり、下流部に広がる沖積地には豊富な地下水が存在していることから、これらの地域においても地下水熱利用の可能性が見込まれます。そこで、県全体での地下水熱交換システムの普及を目指し、平成 27 年度から 29 年度までの 3 年間、安倍川下流域（静清地域）において地下水熱交換システム導入適地評価を実施し、「安倍川下流域（静清地域）における地下水熱利用適地マップ」としてその成果をまとめました。

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事業所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ことを願っています。

平成 30 年 4 月 静岡県暮らし・環境部環境局

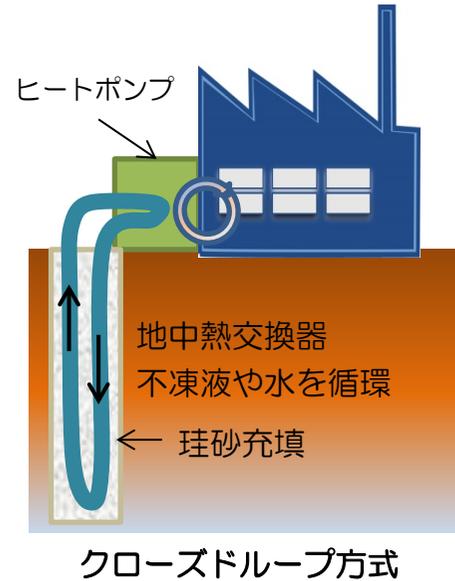
# 1. ヒートポンプによる地中の熱利用

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。

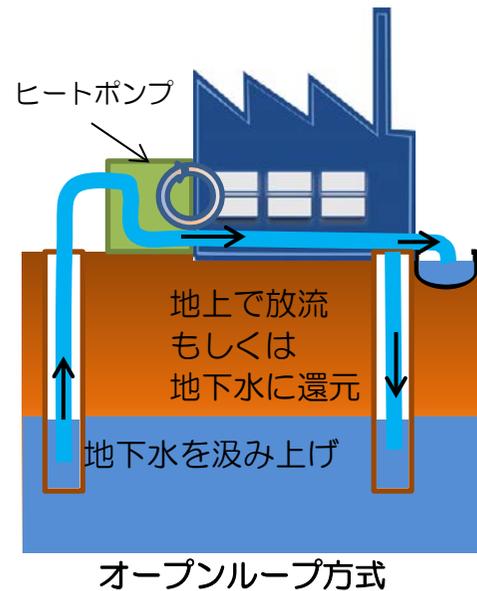


地中(地下水)の温度は、年間を通じて変化が小さく、気温と比べて冬は温かく、夏は冷たいため、地中の熱を活用することで、消費電力が半減するなど、空気を熱源とするヒートポンプよりも効率的なエネルギー利用が可能になります。

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。井戸は珪砂で充填されます。掘削作業がともなうため、初期コストが多くかかってしまいます。



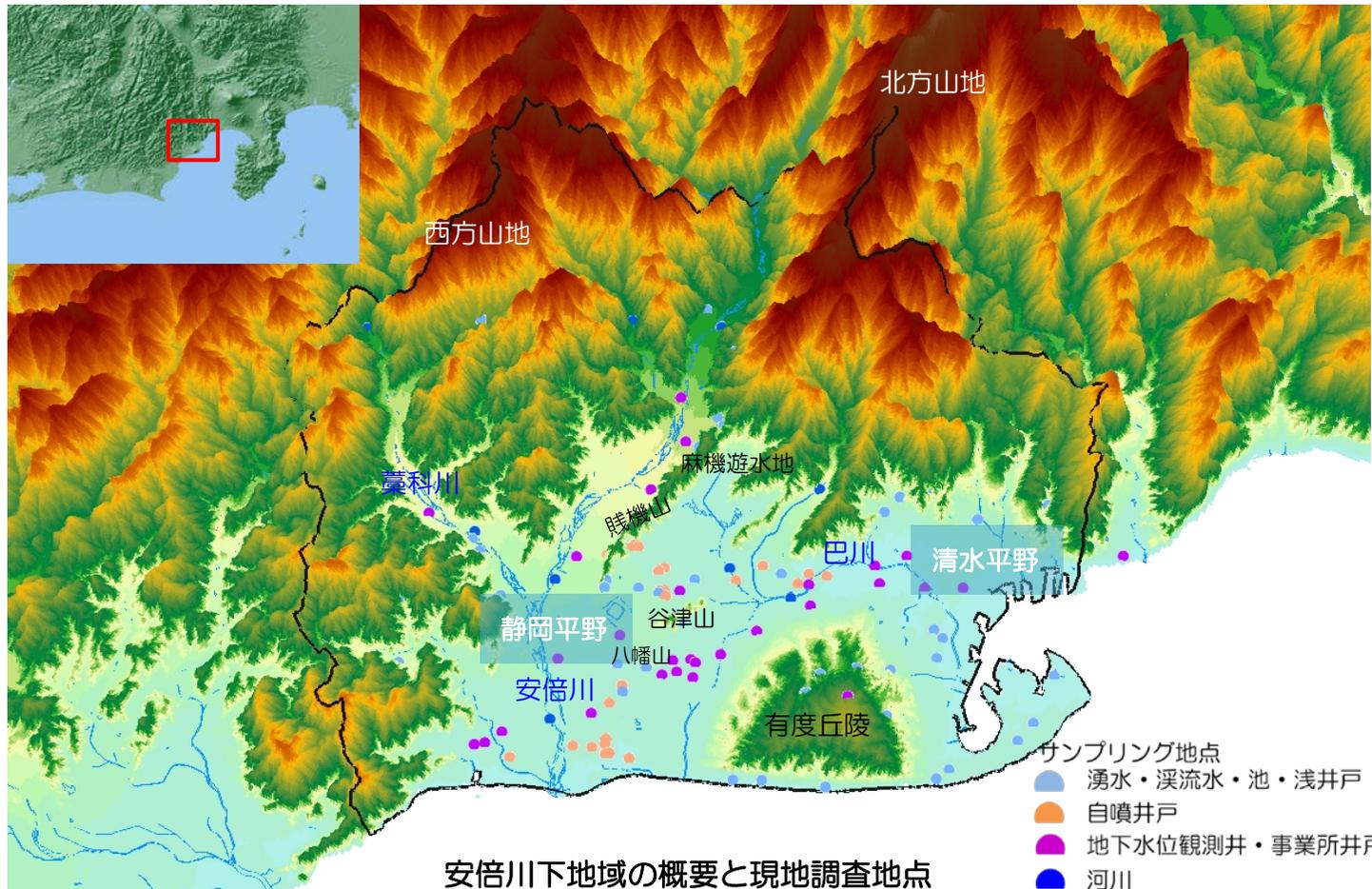
オープンループ方式は、地下水を汲み上げてヒートポンプ内に引き込み、熱をやり取りする方式です。使用後の地下水は地上で放流したり地中に還元したりします。地下水と直接熱交換できるので効率が高くなりますが、地下水を必要量汲み上げなければなりません。

## 2. 安倍川下流域（静清地域）の概要

静清地域は、主に静岡・清水平野からなり、南アルプスから連なる北方山地と有度丘陵に挟まれた凹地となっています。静岡平野は典型的な扇状地地形で、安倍川からの膨大な量の砂礫が有度丘陵との間を埋積しています。扇状地地形は、賤機山南端の浅間神社付近で標高 27m に達し、そこから東方～南方に広がっています。清水平野は巴川の三角州で、低地部は、巴川の流路を通じて北方山地と南の有度丘陵の間を奥深くまで入り込み、静岡平野北方末端の麻機低地に連なっています。

クローズドループ方式のように地中で熱交換を行う場合、熱交換のポテンシャルは、地盤の熱の伝わりやすさだけでなく、地下水の流れやすさにも大きな影響を受けます。地下水によって熱が運ばれる効果も加わるためです。

静清地域は、地下水資源が豊富で、静岡市民の生活や産業活動の礎となっています。この地域の特徴である粘土層で加圧された自噴井戸を中心に、湧水、河川水、事業所が所有する揚水井戸、地下水位観測井戸など、計 111 地点で水質や水温を調べて、地下水がどこからどのように流れているかなど、システム導入にあたって関連する特徴を把握しました。

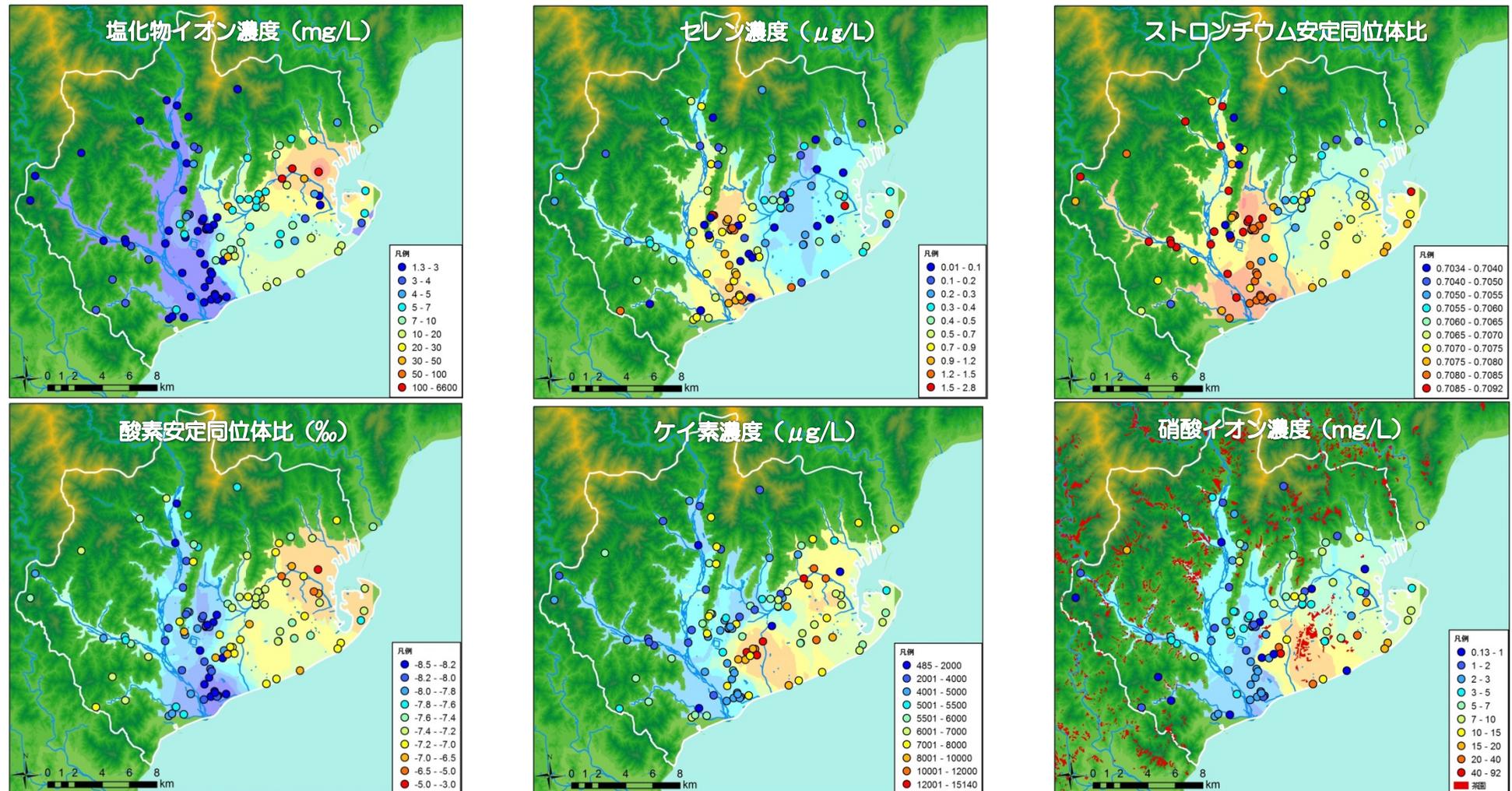


### 3. 安倍川下流域の地下水水質の特徴

清水平野では巴川沿いで塩化物イオン濃度が高い井戸水があり、地下水の塩水化が確認されました。静岡平野では安倍川周辺の酸素安定同位体比が安倍川河川水と同程度に低く、平野内の地下水は安倍川によって涵養されていることが分かります。その流動範囲は谷津山や八幡山に代表される平野内の不透水基盤の高まりによって制限されていると考えられます。

地下水中のセレン濃度は静岡平野で高く、有度丘陵や清水平野で低くなります。ケイ素濃度はその逆の傾向となります。これらの微量元素濃度の違いは、地質の種類や年代の違いを反映しています。ストロンチウム安定同位体比は地質の違いを明確に示し、西方山地の大部分を占める古い堆積岩の影響で安倍川・藁科川や静岡平野の地下水の値が高くなり、若い火山岩である賤機山の湧水は低い値を示しました。

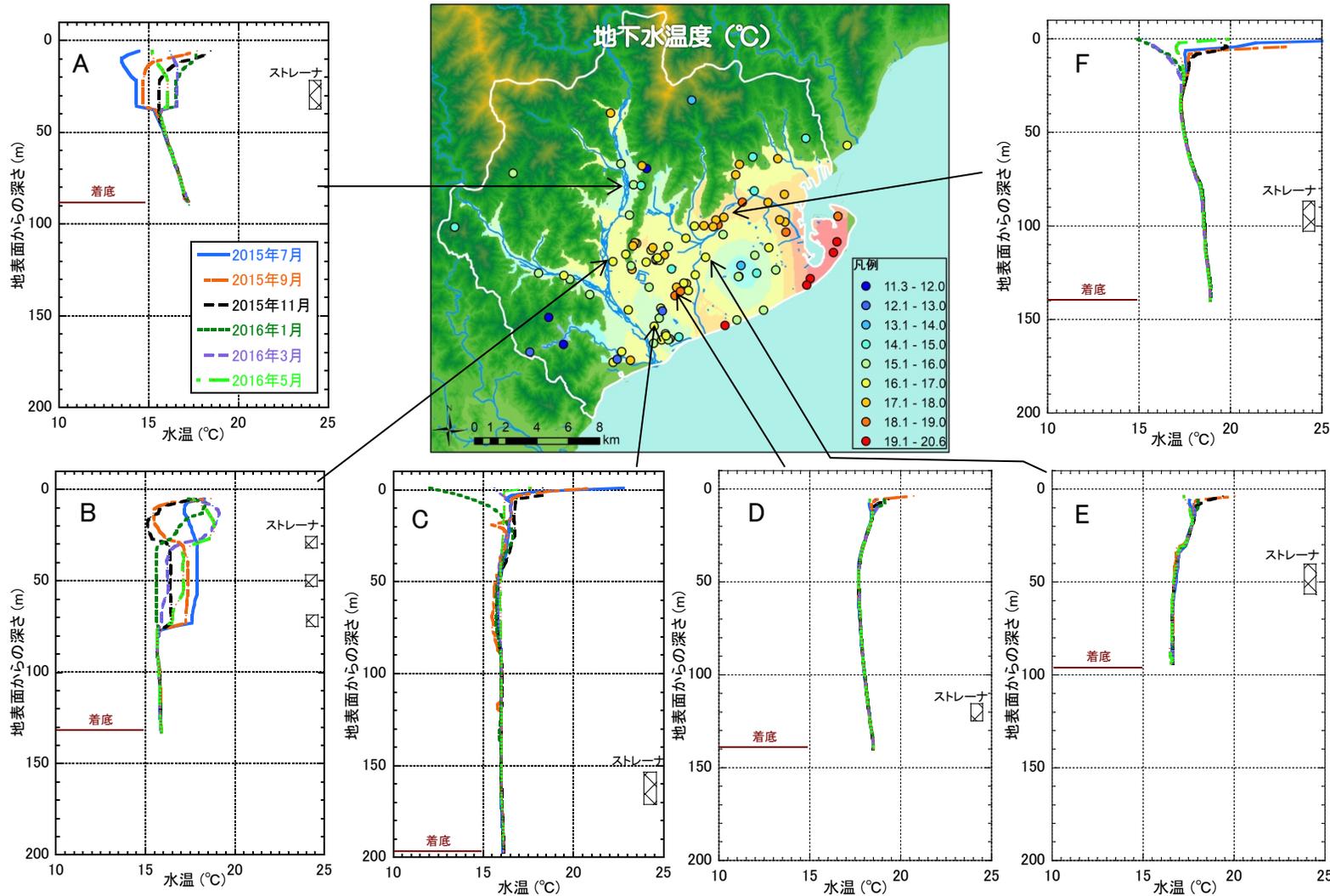
有度丘陵の西側では硝酸イオン濃度の高い地域があり、近隣茶園の肥料成分による影響が要因の一つとして考えられます。



#### 4. 安倍川下流域の地下水温度の特徴

地下水の温度は、三保半島の井戸で高くなっています。また、有度丘陵ではやや低く、静岡平野と比べて清水平野の方が若干高くなるなど、静岡地域内で差があることが分かりました。下の図にあるグラフ A~F は、地下水位観測井において、深さ方向の温度分布を 2015 年 7 月から 2 カ月毎に計測した結果を示しています。

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となります。観測井 C~F はこの傾向を示しています。一方、安倍川沿いの観測井 A, B では、地下水温度の季節変動が観測されました。特に観測井 A では夏期に 14℃ と低く、冬期に 17℃ と高くなり、気温と異なる変動をしています。これは、河川水温度の影響を受ける扇状地地下水特有の現象で、観測井 A では、河川水の温度が半年遅れで到達していると推測されます。



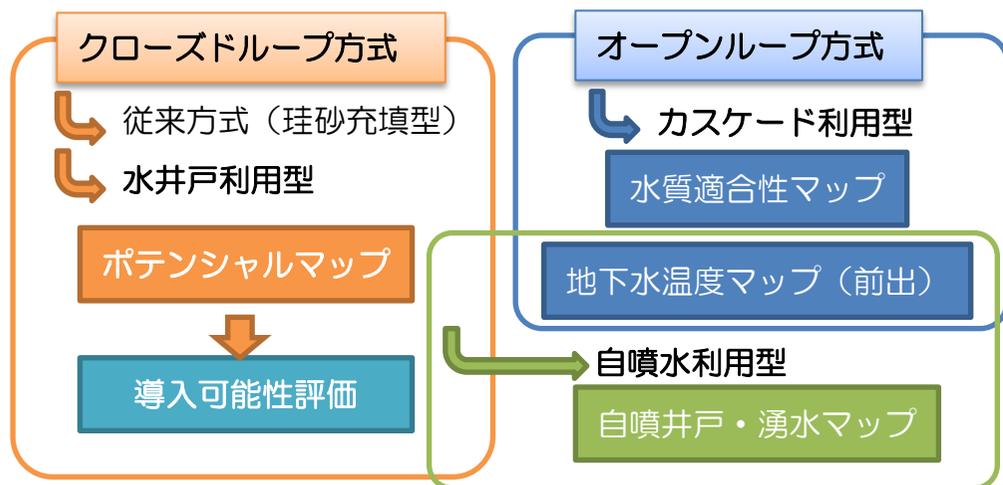
地下水位観測井の写真 (上)

地下水温度プロファイル (左)

## 5. 安倍川下流域における地下水熱利用の適地マップ

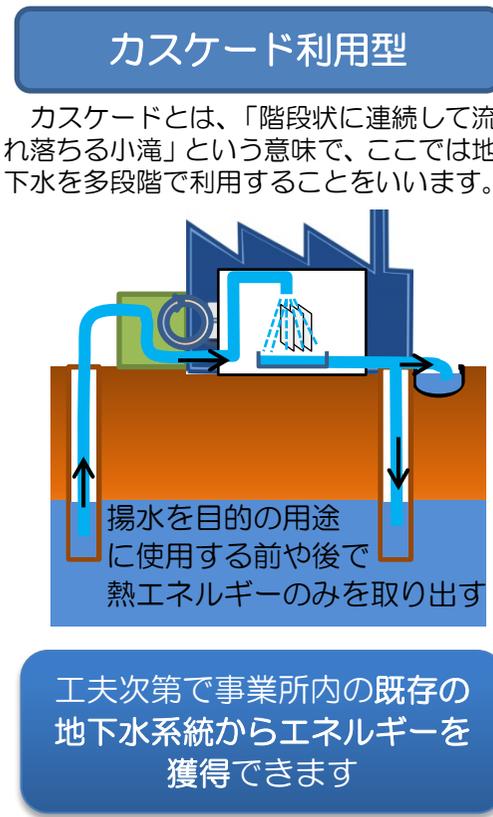
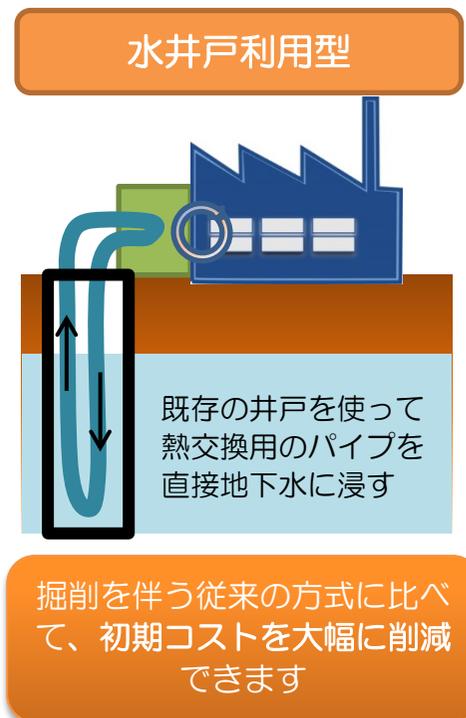
静岡県の豊富な地下水資源は、県民生活や産業活動の基盤となってきましたが、水利用の増大は、県内各地で地下水の多量の汲み上げを招き、地下水位の低下や塩水化といった地下水障害が発生しました。そのため、現在では「静岡県地下水の採取に関する条例」による取水規制や自主規制により、地下水の適正利用が図られており、安倍川下流域の静清地域も条例の規制対象になっています。平成2年に123千m<sup>3</sup>/日あった静清地域の工業用水(井戸水・湧水)は、平成26年には64千m<sup>3</sup>/日まで減少し、使われない井戸も増えています。

新たに井戸を掘削し、地下水を採取してオープンループ方式により熱交換を行う場合は、条例の基準と照らし合わせて、届け出ることが必要となり、場所によっては使用できません。このような静清地域の地下水をめぐる諸条件をふまえた熱利用方法として、従来のクローズドループ方式に加えて、下図に示すような方式があります。これらの方式は地下水の流れや温度に大きく依存することから、「地下水熱交換システム」と呼ぶこととします。



使われていない井戸を熱交換に有効活用することで(水井戸利用型)掘削コストは抑えられ、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、水量が豊富な自噴井戸や湧水に熱交換器を浸したり(自噴水活用型)、事業所内で揚水して各用途にすでに使用している地下水をヒートポンプに引き込んで熱交換することで(カスケード利用型)、新たに揚水することなく地下水熱を利用できます。

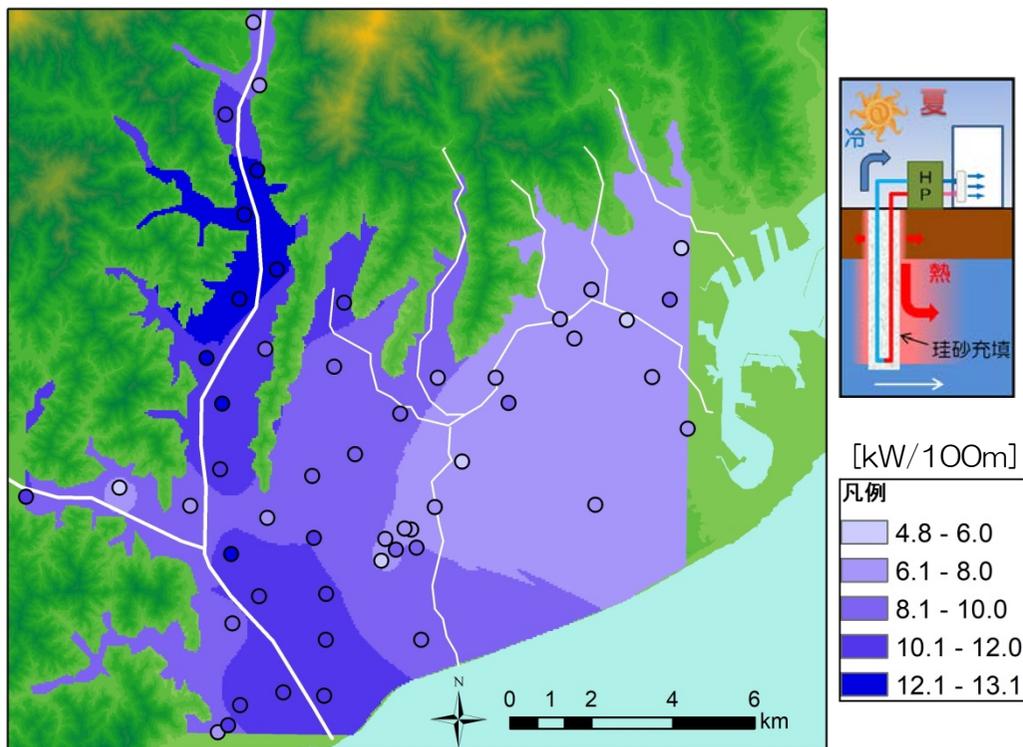


カスケードとは、「階段状に連続して流れ落ちる小滝」という意味で、ここでは地下水を多段階で利用することをいいます。

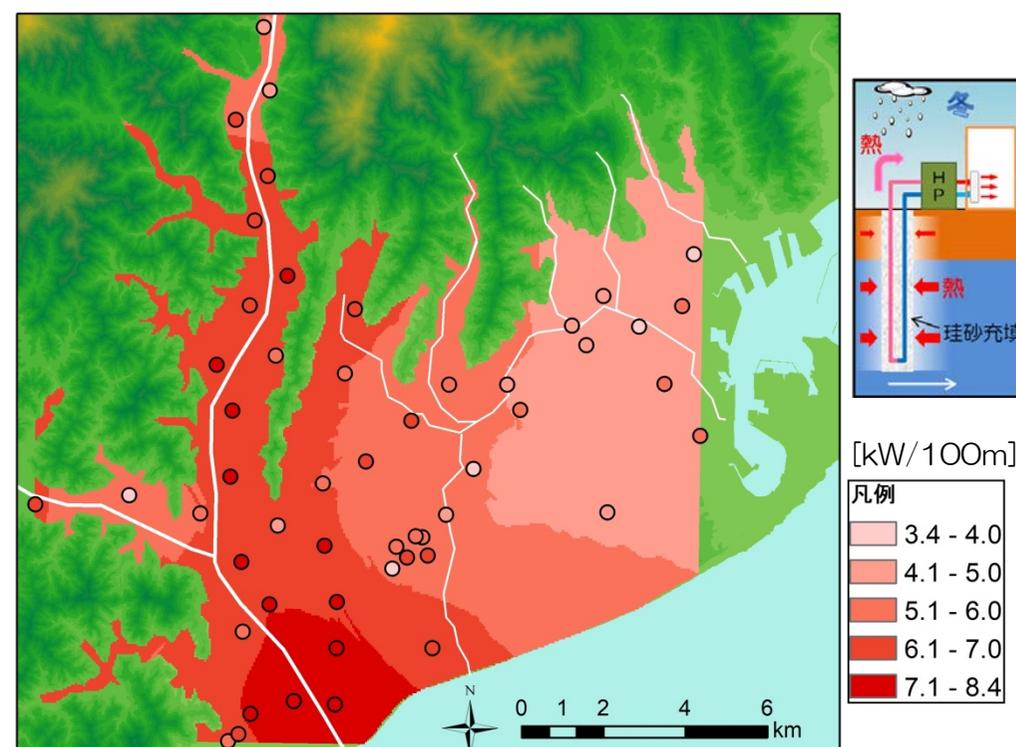
## 珪砂充填型ポテンシャルマップ

安倍川下流域の三次元地下地質モデルを作成し、現地調査で得た地下水流動パターンや温度分布を反映した広域地下水流動・熱輸送解析を行いました。このシミュレーション結果をもとに、計54地点に深さ100mの熱交換井を設定して熱交換解析を行い、熱交換ポテンシャルを計算しました。これは、熱交換パイプの周りを珪砂で充填した、従来の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ています。

安倍川沿いは地下水勾配が大きく、透水性の良い砂礫層が厚く堆積しているために地下水の流れが速くなります。そのため、冷房で10~13 kW/100m、暖房で6~8 kW/100mと、かなり大きな熱交換量になると推定されました。静岡平野と比べて清水平野は地下水の流れが遅いため、熱交換量は比較的小さくなりますが、一般的な地中熱交換の目安となる5kW/100mに近い値となりました。



冷房運転時



暖房運転時

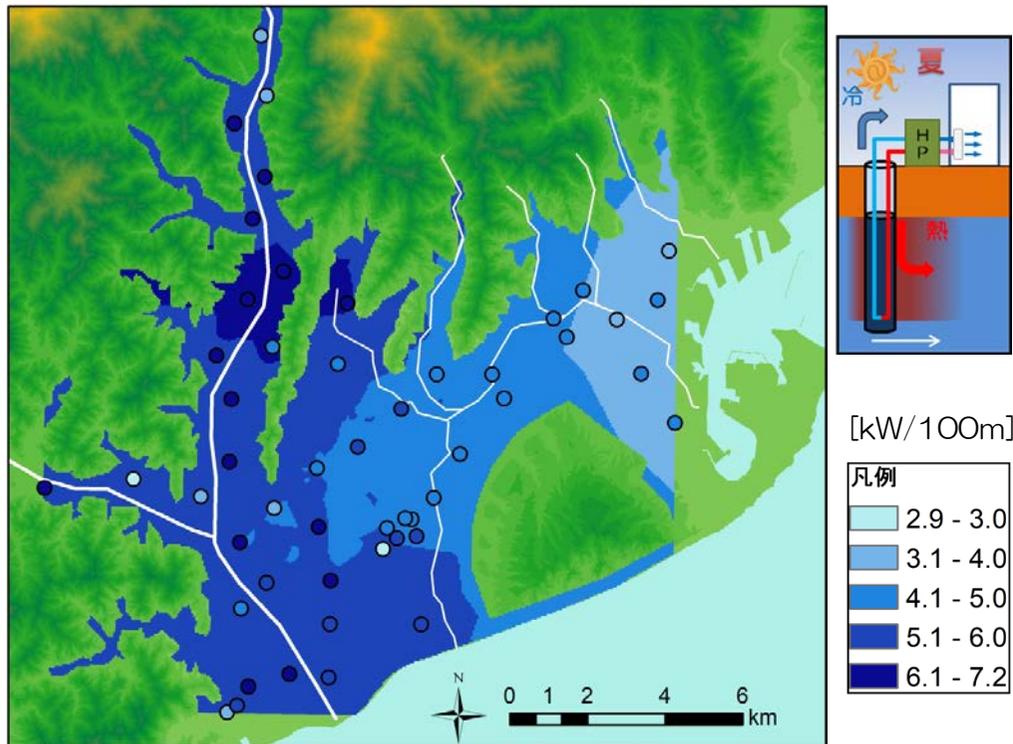
## 珪砂充填型ポテンシャルマップ

深さ100mの熱交換井を用いた従来の珪砂充填型熱交換システムで、冷暖房運転を夏期3カ月、冬期3カ月行った場合の、5年目の平均熱交換量 (kW/100m) を示す。

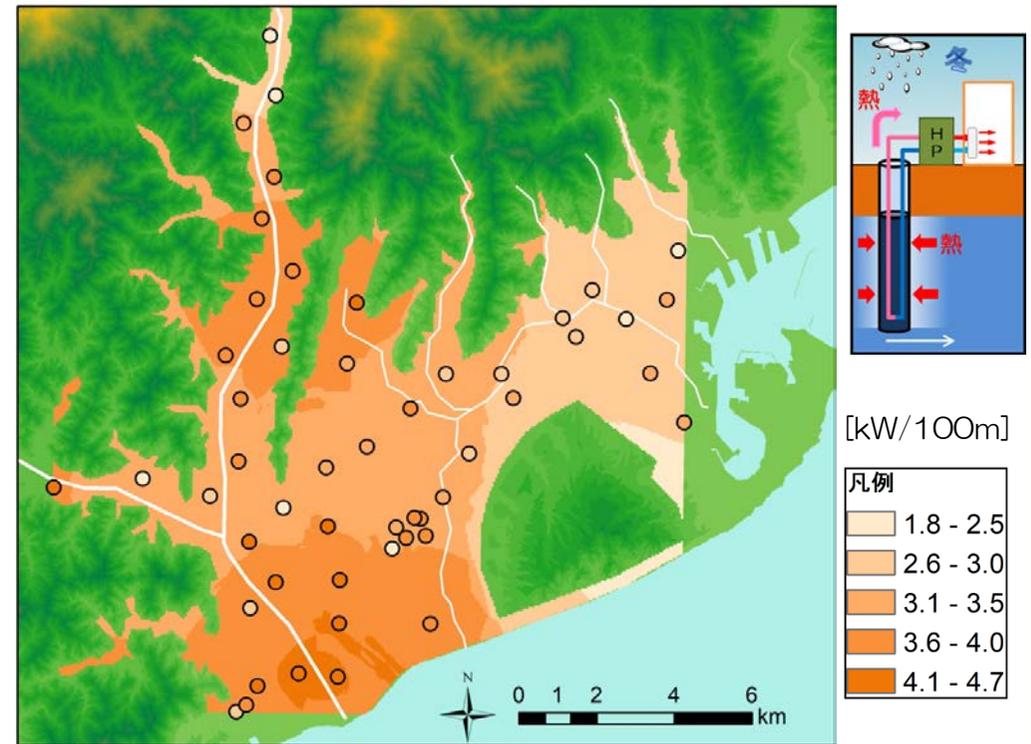
## 水井戸利用型ポテンシャルマップ

「珪砂充填型」と同様にして、休止中の水井戸に熱交換パイプを浸け込む「水井戸利用型地下水熱交換システム」を想定した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、「珪砂充填型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、地下水の流れが速い安倍川周辺では、冷房で5~7 kW/100m、暖房で3.5~5 kW/100mの熱交換量が確保できるという結果になりました。

ここでは、シミュレーション上の制約から、井戸内では水の流動がないという前提で計算しています。特に安倍川沿いや静岡平野の扇状地では地下水の流れが速く、実際には井戸の中に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推定されます。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、個々の井戸の特性が熱交換効率に影響するため、熱応答試験による評価が重要となります。



冷房運転時



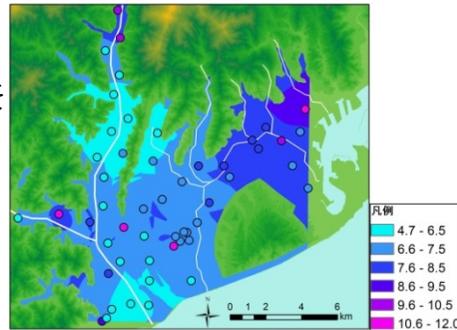
暖房運転時

## 水井戸利用型ポテンシャルマップ

深さ100mの水井戸を用いた水井戸利用型熱交換システムで、冷暖房運転を夏期3カ月、冬期3カ月行った場合の、5年目の平均熱交換量(kW/100m)を示す。

## クローズドループ方式導入可能性

作成した熱交換ポテンシャルマップを用いて、事業種や規模別にクローズドループ方式を導入するときに必要な熱交換井の本数を推定しました。対象事業種として、事務所、病院・福祉施設、商業施設を想定し、それぞれ2パターンの面積を設定しました。熱交換井の必要本数は珪砂充填型、水井戸利用型ともに、右図の例のように、熱交換効率が高い安倍川沿いにおいて少なく、清水平野は多くなると推定されました。



必要水井戸本数例：商業施設（160m<sup>2</sup>）

ポテンシャルが高いと推定された珪砂充填型の方が水井戸利用型よりも熱交換井の本数は少なくなりますが、水井戸利用型は既存の井戸の利用を想定しているため、初期コストは少なく、その分コストの回収期間も短くて済みます。空気熱源エアコンとのランニングコストの差は、稼働時間が長くなるほど大きくなるので、特に24時間エアコンを稼働させる病院・福祉施設や商業施設（コンビニエンスストア）は、水井戸利用型の場合10年未満、従来の珪砂充填型でも熱交換効率の良い場所では20年未満で初期コストが回収できると試算でき、これらのシステムを導入するメリットは十分あると考えられました。ただし、水井戸利用型の場合、既にある井戸の本数は限られるので、規模に応じたスペースの空調に利用したり、空気熱源エアコンと併用するなどの使用方法に限られます。

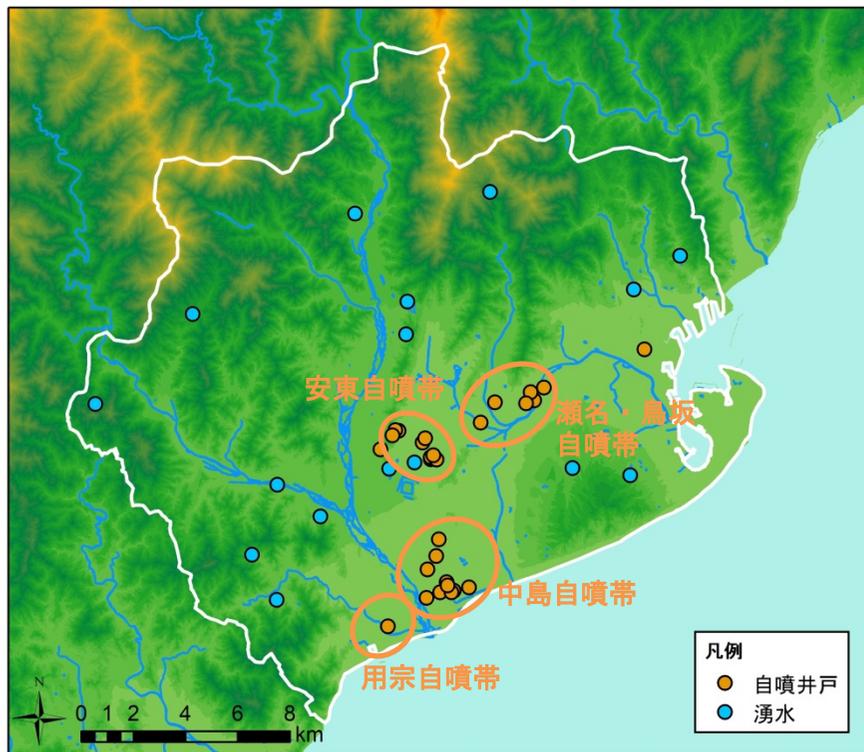
### 熱交換システム導入可能性評価

種別	想定面積 <sup>1</sup>	空調能力 <sup>2</sup>	稼働時間 <sup>3</sup>	100m 熱交換井の必要本数 <sup>4</sup>		初期コスト（補助金あり） <sup>5</sup>			コスト回収期間 <sup>6</sup>	
				珪砂充填	水井戸	空気熱	珪砂充填	水井戸	珪砂充填	水井戸
単位	m <sup>2</sup>	kW	h	本		万円			年	
事務所	180	25.2	10	2.4 ~ 6.3	4.2 ~ 10.5	504	752 ~ 946	630	43 ~ 76	22
	1,000	140	10	13.5 ~ 35.1	23.1 ~ 58.5	2,800	4,177 ~ 5,256	3,500	43 ~ 76	22
病院・福祉施設	1,100	154	24	14.9 ~ 38.6	25.4 ~ 64.3	3,080	4,595 ~ 5,782	3,850	18 ~ 32	9
	4,300	602	24	58.2 ~ 151.0	—	12,040	17,961 ~ 22,602	—	18 ~ 32	—
商業施設	160	28.8	24	2.8 ~ 7.2	4.7 ~ 12.0	576	859 ~ 1,081	720	14 ~ 28	5
	1,400	252	12	24.4 ~ 63.2	41.6 ~ 105.3	5,040	7,518 ~ 9,461	6,300	27 ~ 55	10

- 1: 想定面積については、非住宅建築物の環境関連データベース（DECC）地域区分6の面積分布より仮定した。 2: 必要な冷暖房能力は、商業施設 180W/m<sup>2</sup>、その他を 140W/m<sup>2</sup>と仮定した。  
 3: 病院・福祉施設およびコンビニエンスストアに相当する面積 160m<sup>2</sup>の商業施設では空調が24時間稼働すると想定した。  
 4: 地中熱ヒートポンプの成績係数（COP）を冷房 5.2、暖房 3.6と想定し（空気熱は冷房・暖房ともに 3.0）、設定した空調能力を発揮するため、熱交換井で必要な最大熱交換能力を冷房・暖房とも算定した後、珪砂充填型、水井戸利用型ポテンシャルマップからそれぞれ必要な熱交換井の本数を推定した。  
 5: 空調能力 1kWあたり、地中熱では 50万円、空気熱では 20万円とし、珪砂充填の場合、熱交換井の長さは空調能力 50Wあたり 1mを標準とし、熱交換効率が高い場所では熱交換井設置費用が減少するとした。水井戸利用型の場合、ポーリング費用はかからない。補助率は 1/2（一次側（地中側）を対象）とした。  
 6: 平均負荷率を空調能力の 6割とし、冷暖房それぞれ 120日稼働すると仮定した。COPから消費電力を算定し、冷房時 16.73円/kWh、暖房時 15.21円/kWhとしてランニングコストを算定した。空気熱との差から、コスト回収期間を算定した。

## 自噴水利用型

静清地域内には、平野部に自噴帯が4箇所分布しており、湧水量や水温の季節変動が小さいので、自噴井戸を用いたクローズドループ方式の熱交換システム（自噴水利用型）による熱利用が可能です。水に一定の流れがあれば、自噴水のプールにラジエータタイプやシートタイプの熱交換器を設置することで、より簡便に高い熱交換効率を得ることができます。湧水も同様に熱源として活用できますが、静清地域内では湧水地の多くが山際や山腹に分布しており、水量や熱交換器の設置場所を確保する必要があります。

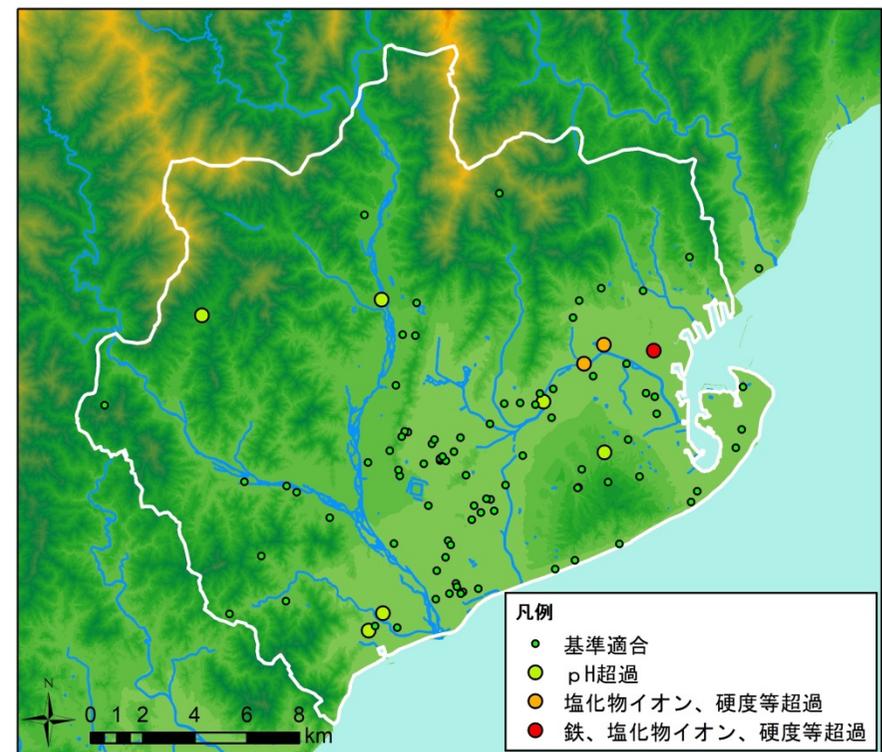


### 自噴井戸・湧水マップ

安東自噴帯：約 16～18℃、瀬名・鳥坂自噴帯：約 17～18℃  
中島自噴帯：約 15～17℃、用宗自噴帯：約 16～17℃

## カスケード利用型

カスケード利用などのオープンループ方式では、地下水を直接ヒートポンプ内に引き込むことから、配管等に腐食やスケールの付着が起きる可能性があります。そのため、使用する地下水は、「冷凍空調器用水質ガイドライン」で示される水質基準に適合する必要があります。静清地域内の地下水の多くはこの基準に適合していますが、中には pH が高い井戸水や湧水があり、特に清水平野には塩水地下水が存在しているので注意が必要です。また、スケール防止フィルターの設置や定期清掃などの対策が必要となります。



### 水質適合性マップ

「冷凍空調器用水質ガイドライン」（社団法人日本冷凍空調工業会）に示された、冷却水系循環水の水質基準値に基づく適合性評価。鉄は参考項目。

## 6. 地下水熱交換システム導入に向けて

「静岡県地下水熱エネルギー利用普及促進協議会」には、県内で地下水熱利用に関わる企業にも参画いただいています。地下水熱利用に関して相談したい場合、事務局にお問い合わせいただければ、分野や内容に応じて下記会員企業を紹介させていただきます。

### 協議会問い合わせ先と会員企業

区分	会員名
事務局	<p>くらし・環境部環境局 環境政策課            (地下水熱利用の普及やシステム導入に関すること)            TEL: 054-221-2421            FAX: 054-221-2940            E-MAIL: <a href="mailto:kankyouseisaku@pref.shizuoka.lg.jp">kankyouseisaku@pref.shizuoka.lg.jp</a></p> <p>静岡県環境衛生科学研究所 環境科学部            (導入適地マップに関すること)            TEL: 054-245-0202            FAX: 054-245-7636            E-MAIL: <a href="mailto:kanka@pref.shizuoka.lg.jp">kanka@pref.shizuoka.lg.jp</a></p>
メーカー	株式会社コロナ沼津営業所
	ゼネラルヒートポンプ工業株式会社
	株式会社ディンプレックス・ジャパン
	東芝キヤリア株式会社
設計・コンサルタント	株式会社アサノ大成基礎エンジニアリング
	ジオシステム株式会社
設備・施工	東邦地水株式会社
	株式会社中日本コンサルタント

これまで紹介してきた地下水熱交換システムは、従来の空気熱源エアコンと比べると高額になりますが、運転時の使用電力量を削減できるため、日々の電気料金は安くなります。初期費用を回収するには時間がかかりますが、国等の補助制度を活用することで回収期間を短縮できます。

参考となる国の助成制度を下表に記しました。具体的な条件については各所管に確認してください。

### 国の助成制度一覧（平成 30 年度予定）

補助制度名	概要	所管
再生可能エネルギー熱事業者支援事業	民間事業者による再生可能エネルギー熱利用設備導入に対する補助	資源エネルギー庁 新エネルギー課
再生可能エネルギー設備導入事業	地方公共団体、非営利法人等による再生可能エネルギー発電設備、熱利用設備の導入に対する補助	環境省 環境計画課
ZEB 実現に向けた先進的省エネルギー建築物実証事業	建築物を所有する法人、地方公共団体等に対し、ネット・ゼロ・エネルギー・ビル(ZEB)実現に寄与する空調等の導入に対する補助	環境省 地球温暖化対策課
ZEH 化による住宅における低炭素化促進事業	ネット・ゼロ・エネルギー・ハウス(ZEH)の交付条件を満たす住宅を建築・改修するものに対する補助	環境省 地球温暖化対策課
廃熱・湧水等の未利用資源の効率的活用による低炭素社会システム整備推進事業	地域の未利用資源(熱・湧水等)の利用及び効率的なエネルギー供給システム等を構築する、モデル的取組に必要な設備等の導入に対する補助	環境省 地球温暖化対策課