

地質標本館 特別展

# 地中熱

あなたの足元に再生可能エネルギー



協力：  
株式会社福島地下開発、ジオシステム株式会社、  
福島県地中熱協同組合、郡山市、  
産総研エネルギー・環境領域（所内連携）

後援：  
特定非営利活動法人  
地中熱利用促進協会、  
国立研究開発法人  
新エネルギー・産業技術総合開発機構

国立研究開発法人 産業技術総合研究所  
地質調査総合センター

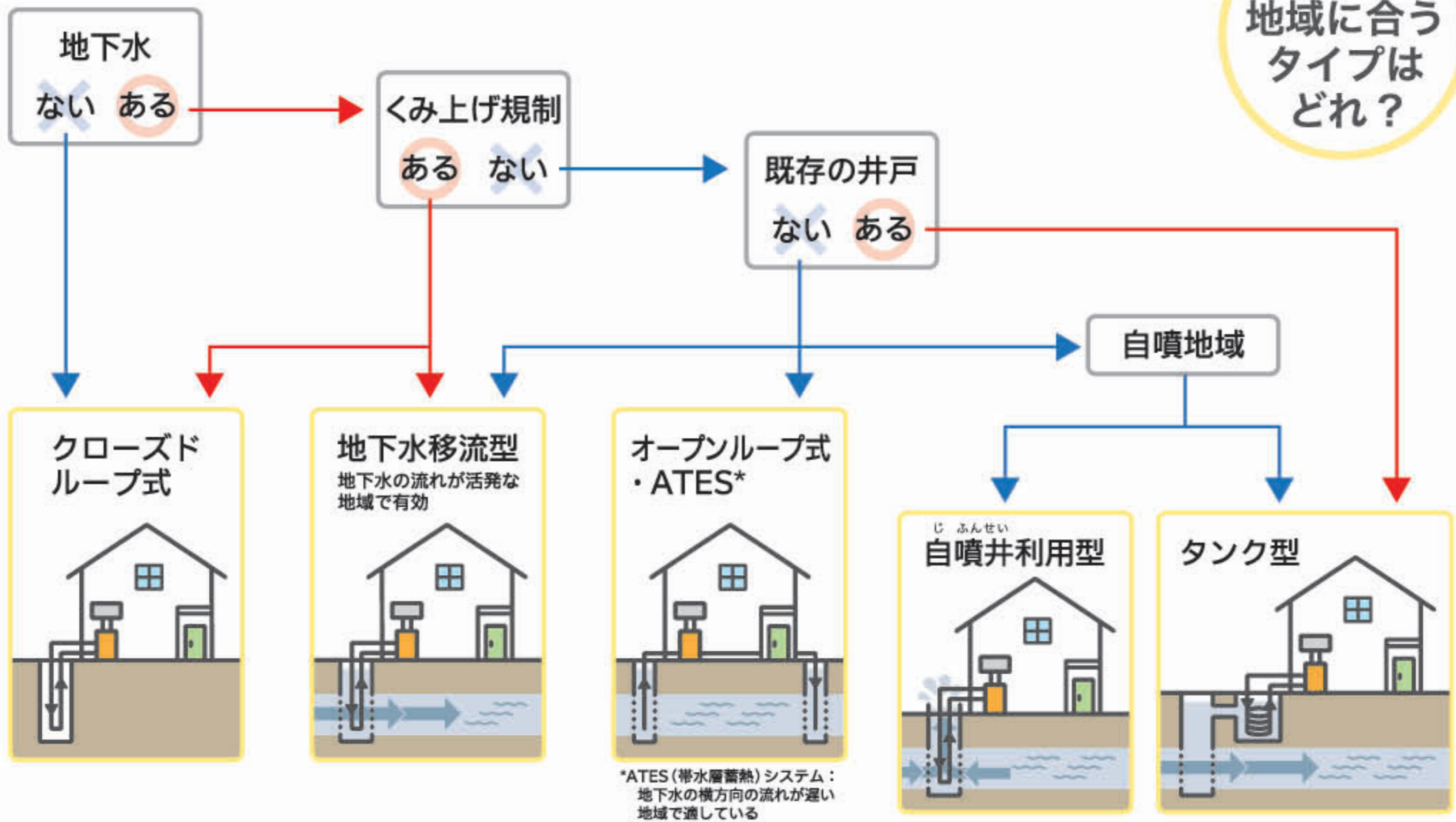


GEOLOGICAL MUSEUM

地質標本館



あなたの地域に合うタイプはどれ？



地下水環境に基づく地中熱交換器の選定フロー。

## 目次

はじめに	内田洋平 <sup>1</sup>	3
地中熱の利用	富樫 聡 <sup>2</sup>	
1. 地中熱ヒートポンプシステム		4
2. システムの導入例		5
システムの導入に向けて	富樫 聡 <sup>2</sup>	
1. システムの性能を決める地層		6
2. 利用可能性を示す「地中熱ポテンシャルマップ」をつくる		7
地層の評価 —地中熱利用に適した地層を評価する—	石原武志 <sup>2</sup>	
1. 地質調査(オールコアボーリング)		8
2. 地質構造の解析		9
3. 有効熱伝導率マップの作成		10
利用可能性を示す地中熱ポテンシャルマップ	Shrestha Gaurav <sup>2</sup> ・吉岡真弓 <sup>1</sup>	
1. 津軽平野(青森県)		11
2. 秋田平野		12
3. 山形盆地		13
4. 仙台平野(宮城県)		14
5. 郡山盆地(福島県)		15
6. 大阪平野		16
ポテンシャル評価のための地下水調査 越後平野(新潟県)	町田 功 <sup>1</sup>	17
地中熱利用システムの実証事例	内田洋平 <sup>1</sup>	
1. 地質標本館と福島再生可能エネルギー研究所		18
2. 喜久田公民館(福島県郡山市)		19
海外における利用事例 タイ・ベトナムにおける研究活動	Arif Widiatmojo <sup>2</sup>	20
さらなる普及に向けて	内田洋平 <sup>1</sup> ・富樫 聡 <sup>2</sup>	
1. より効率の高い熱交換器の開発		21
2. 農業への適用		22
3. 大規模化による地域への熱供給		23

<sup>1</sup>地質調査総合センター 地圏資源環境研究部門、<sup>2</sup>エネルギー・環境領域 再生可能エネルギー研究センター

# はじめに

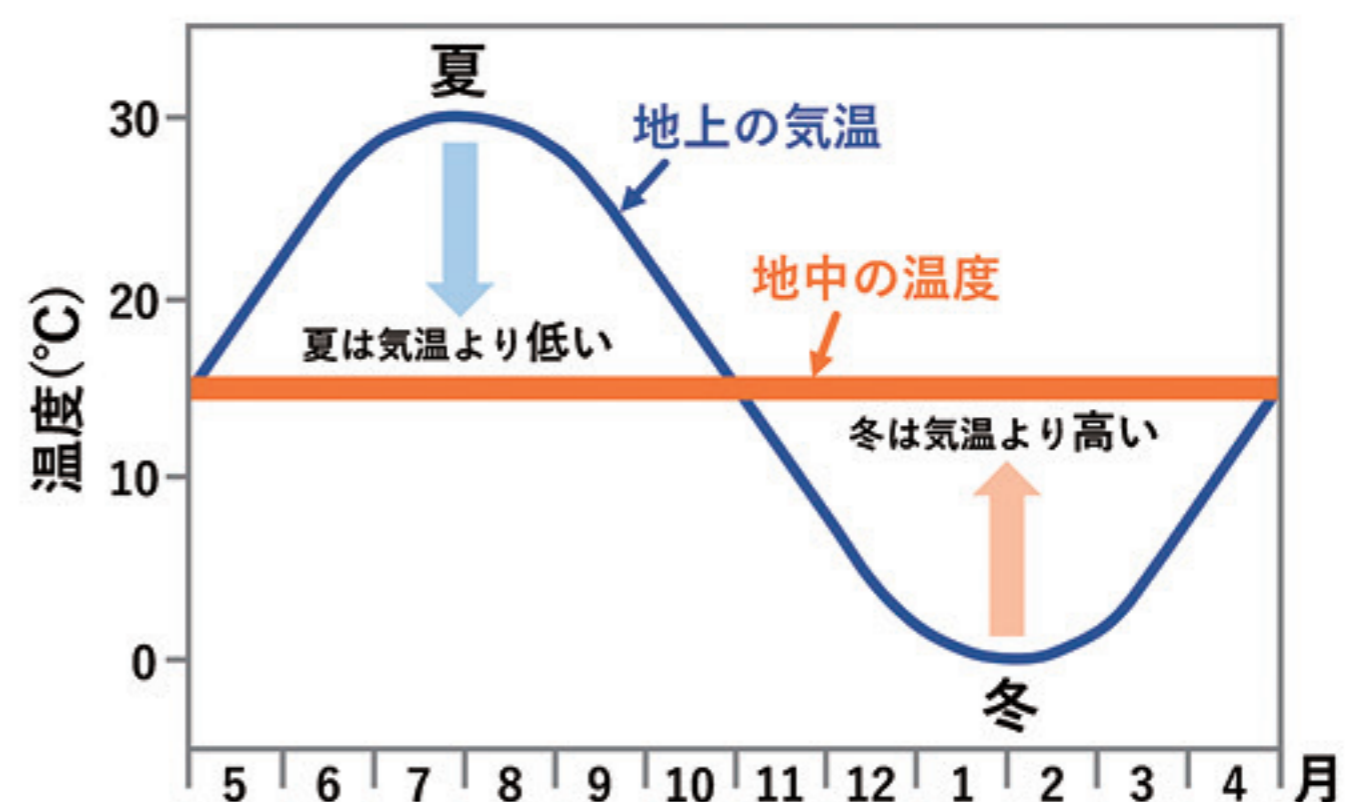
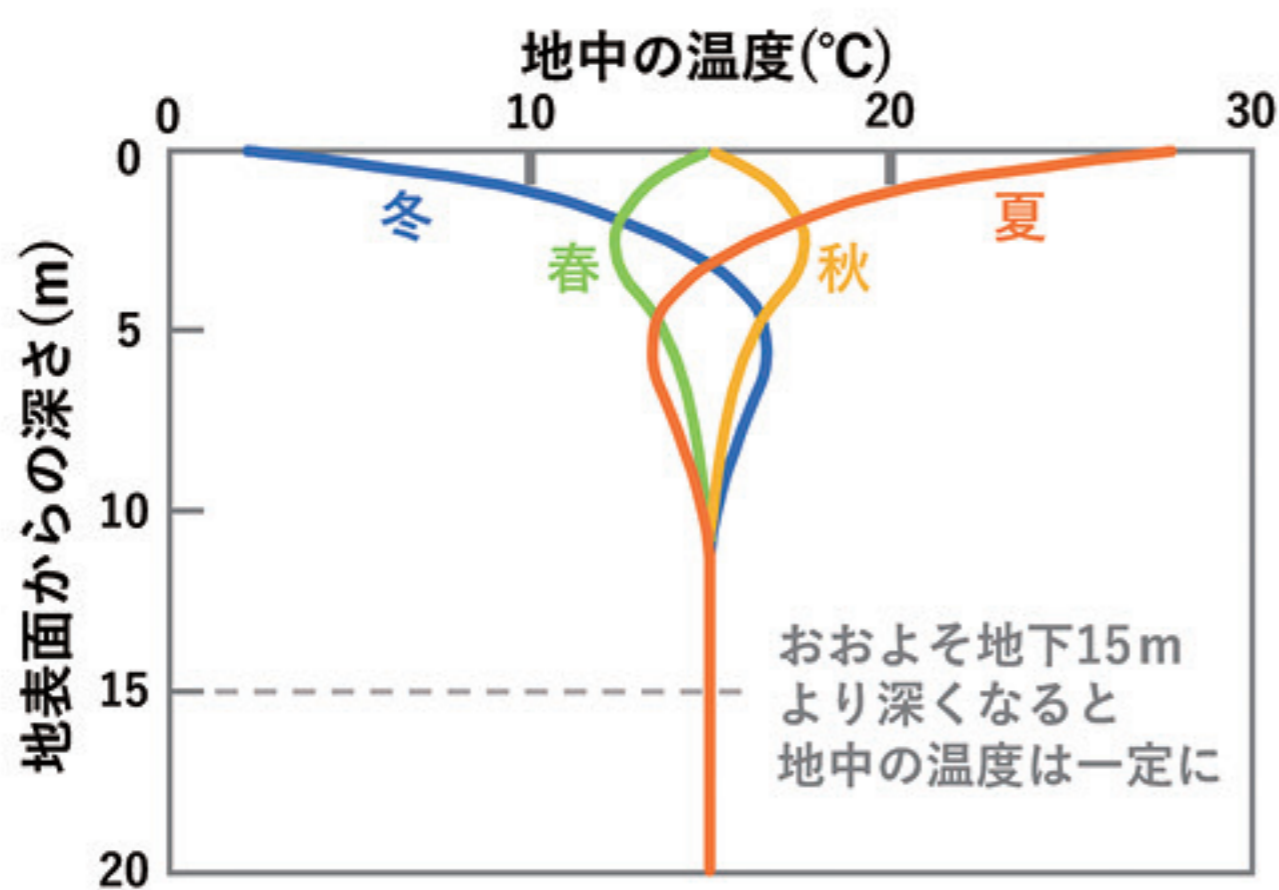
日本における地中の温度は、地域によって差はありますが、おおよそ地下 15 m より深くなると 1 年を通して一定 (15 ~ 18°C程度) を保っています。それは地上の気温と比較すると、冬は高く、夏は低いこととなります。この地下の安定した温度環境を冷房や暖房のエネルギー源として利用できるのが「地中熱」です。

地中熱を利用すると、通常の冷暖房システムと比べて、消費電力量、二酸化炭素排出量ともに大幅な削減が期待されます。さらに、冷房運転時に大気中に熱を排出しないため、都市のヒートアイランド現象の緩和にも貢献できる環境にやさしい省エネルギーの技術です。

産総研の地中熱チームでは、地域の地質や地下水を調査して、最も普及の進んでいる地中熱ヒートポンプシステムを効率良く使える地域を示す「地中熱ポテンシャルマップ」を開発しました。さらに、地域により適した地中熱の利用方法や機器開発の研究も進めています。

今後は、太陽光や地熱などの再生可能エネルギーによって作り出した電気と、省エネルギー効果の高い地中熱利用システムを組み合わせることで、ゼロエネルギーの設備や家庭が普及することが期待されます。

ここでは地中熱利用の仕組みやその研究について特別展としてまとめています。これからの暮らしを支える手段のひとつとして「地中熱」をのぞいてみませんか。



地中の温度の特徴

## 地中熱の利用

# 1. 地中熱ヒートポンプシステム

地下の安定した温度を地上との間で循環させる仕組みを地中熱ヒートポンプシステムといいます。現在多くの地域で利用されている地中熱ヒートポンプシステムは、「クローズドループ式」(下図左)と「オープンループ式」(下図右)の2つのタイプに分けることができます。

地中熱ヒートポンプシステム	クローズドループ式	地面に穴を掘り、その穴の中にUチューブ(U字に折り返す長い管)等の地中熱交換パイプを埋設します。
	オープンループ式	井戸を作り、ポンプで地下水をくみ上げて熱源として利用します。

地中熱ヒートポンプシステムのタイプによって工事の方法が大きく異なるため、どちらのタイプにするかを慎重に選ばなくてはなりません。タイプを選ぶときに重要となるのが、「建物の条件」と「地質と地下水の条件」です。「建物の条件」は、冷暖房したい部屋の数や広さや想定される冷暖房運転時間などで、どのような建物を作

るかによって決めることができますが、「地質と地下水の条件」は場所によって様々です。一般的に、地面を掘ってすぐに地下水面が現れる場所や地下水が速く流れている場所では「クローズドループ式」を、地下水を蓄えている地層(帯水層)に厚みがある場所では「オープンループ式」を選ぶとよいと考えられます。

ちなみに、地下水は一年間で数メートルから数百メートル移動すると言われていいますので、流れが速い場所でもカメやカタツムリの進みよりずっとゆっくりです。そこで、地下水がほとんど移動しない地域向けのオープンループ式システムとして、地中熱ヒートポンプシステムを上手に使って地面の下に温かい水や冷たい水を人工的に貯める技術「帯水層蓄熱: ATEs (Aquifer Thermal Energy Storage)」も開発されています。帯水層蓄熱により、夏に冷房で発生した温かい熱を地中に保存して、その温かい熱を冬には暖房の熱源として利用することができます。

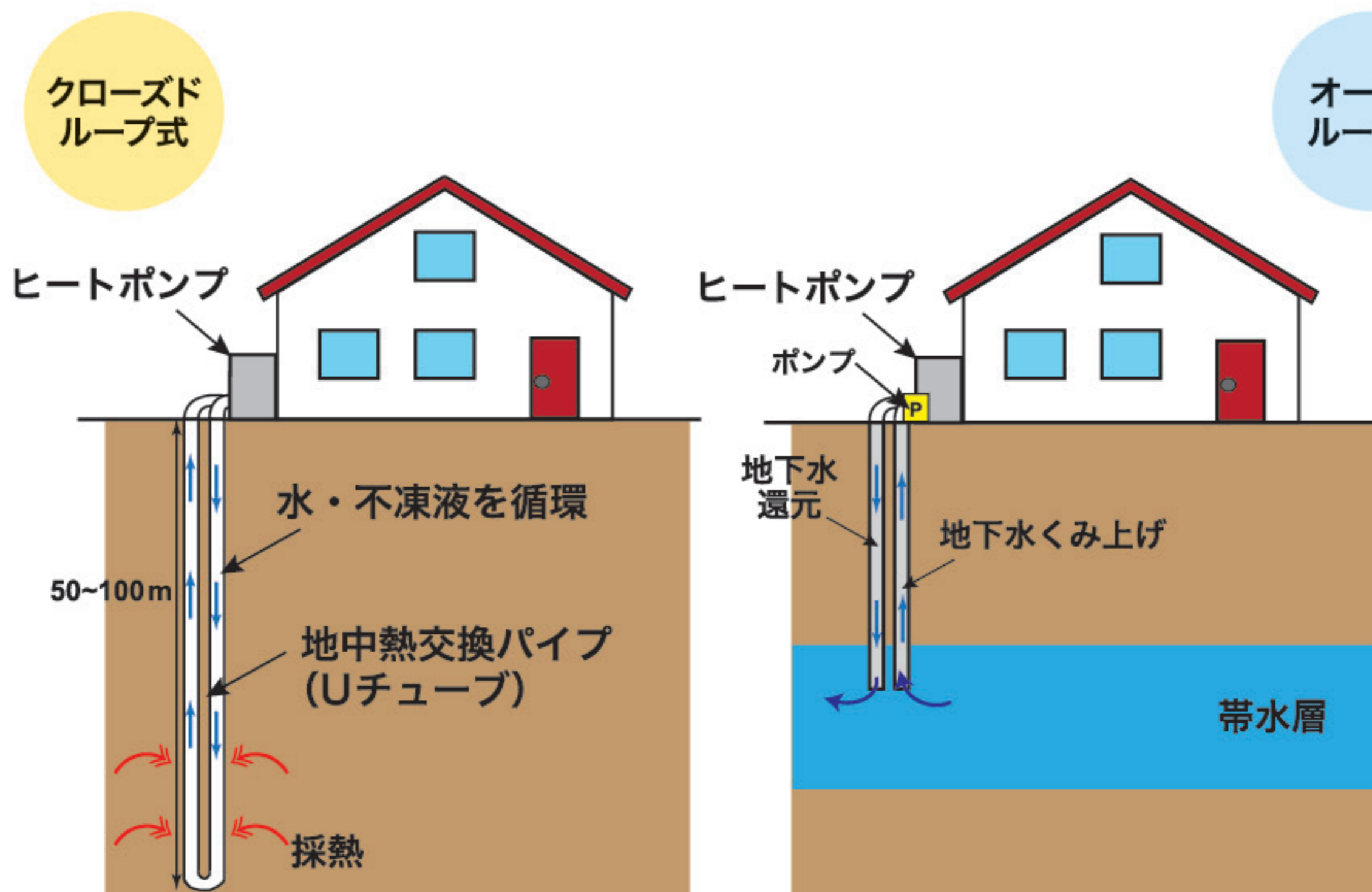


図 地中熱ヒートポンプシステムの概念図。地中熱ヒートポンプシステムには、熱交換器を用いるタイプ(左)と地下水を直接利用するタイプ(右)がある。

## 地中熱の利用

# 2. システムの導入例

地中熱ヒートポンプシステムは、戸建住宅以外でも利用されています。例えば、東京スカイツリータウン（写真1）や東京国際空港（羽田空港）国際線旅客ターミナルなどの大規模商業施設、2020年東京オリンピック・パラリンピック会場（東京アクアティクスセンター（写真2）、有明アリーナ、武蔵野の森総合スポーツプラザ）や栃木県総合運動公園武道館などのスポーツ施設、オフィスビルや市区町村庁舎など、全国の様々な施設で地中熱が活躍しています。

2021年1月、国立大学法人広島大学は、2030年カーボンニュートラルを目指す「カーボンニュートラル×スマートキャンパス5.0宣言」を行いました。その中で「2025年度までにすべての建物に地中熱利用システム導入」を明示しています。環境にやさしいグリーン社会の実現に貢献できる地中熱利用システムは、今後さらに多くの施設で活用されることが期待されています。

地中熱ヒートポンプシステムの導入効果については、特定非営利活動法人地中熱利用促進協会がいくつかの事例をとりまとめています（NPO法人地中熱利用促進協会webサイト\*より）。それによると、地中熱ヒートポンプシステムを導入したことによる年間の省エネ率は、「クローズドループ式」で約20～50%、「オープンループ式」で約20～70%となっており、高い省エネ効果が発揮できています。あわせて、CO<sub>2</sub>排出量も約20～80%の削減が報告されています。

\* NPO法人地中熱利用促進協会webサイト (<http://www.geohpaj.org/introduction/index1/achievement>) : 2022/12/22 閲覧



写真1 東京スカイツリータウン。



写真2 東京アクアティクスセンター。

## システムの導入に向けて

# 1. システムの性能を決める地層

地中熱ヒートポンプシステムのタイプによって、システム性能を決定する要素は変わります。ここでは、最も普及が進んでいる「クローズドループ式」の地中熱ヒートポンプシステム（クローズドループ式システム）を例にあげて解説します。

クローズドループ式システムでは、冬の暖房時は外気よりも温度が高い地中熱を熱源として地下から採熱し、逆に夏の冷房時は外気より温度が低い地下に放熱するため、空気を熱源とする従来のエアコンよりも冷暖房運転の効率が高まります。地下に埋設した地中熱交換パイプを介して地下で採熱、または放熱するこのシステムでは、地下の熱交換能力がシステムの性能を左右します。地下の熱交換能力は、地層中（地面を構成する堆積物や岩石）での熱の伝わりやすさ「熱伝導率」で表すことができます。特に、地中熱ヒートポンプシステムを設計する際は、地下水の流れの影響を含めた熱の伝わりやすさを表す「見かけ熱伝導率<sup>※</sup>」を用います。

例えば、冷房運転を長時間行った場合、地層中で地下水の流れがない場所では、地中熱交換器の周りに熱が蓄積してしまってもうまく放熱できず、冷房効率が低下してしまうことがあります（図1）。一方、地層の構造が同じでも地下水が流れている場合は、地下水の流れによって熱の移動が促されるため地中熱交換器の周りに熱がたまりません、冷房の効率が下がりにくいです（図2）。このように、地下水の流れはシステム性能を大きく左右するため、システム導入前に地下水の状態を確認し、適切に見かけ熱伝導率を推定することが大事です。見かけ熱伝導率の推定には、「熱応答試験」と呼ばれる現場でのテストを行います。

<sup>※</sup> 見かけ熱伝導率：地下水の流れなどの影響も含めた実際の地層の熱伝導率。熱応答試験で得られる。[詳しい説明は p8 へ]

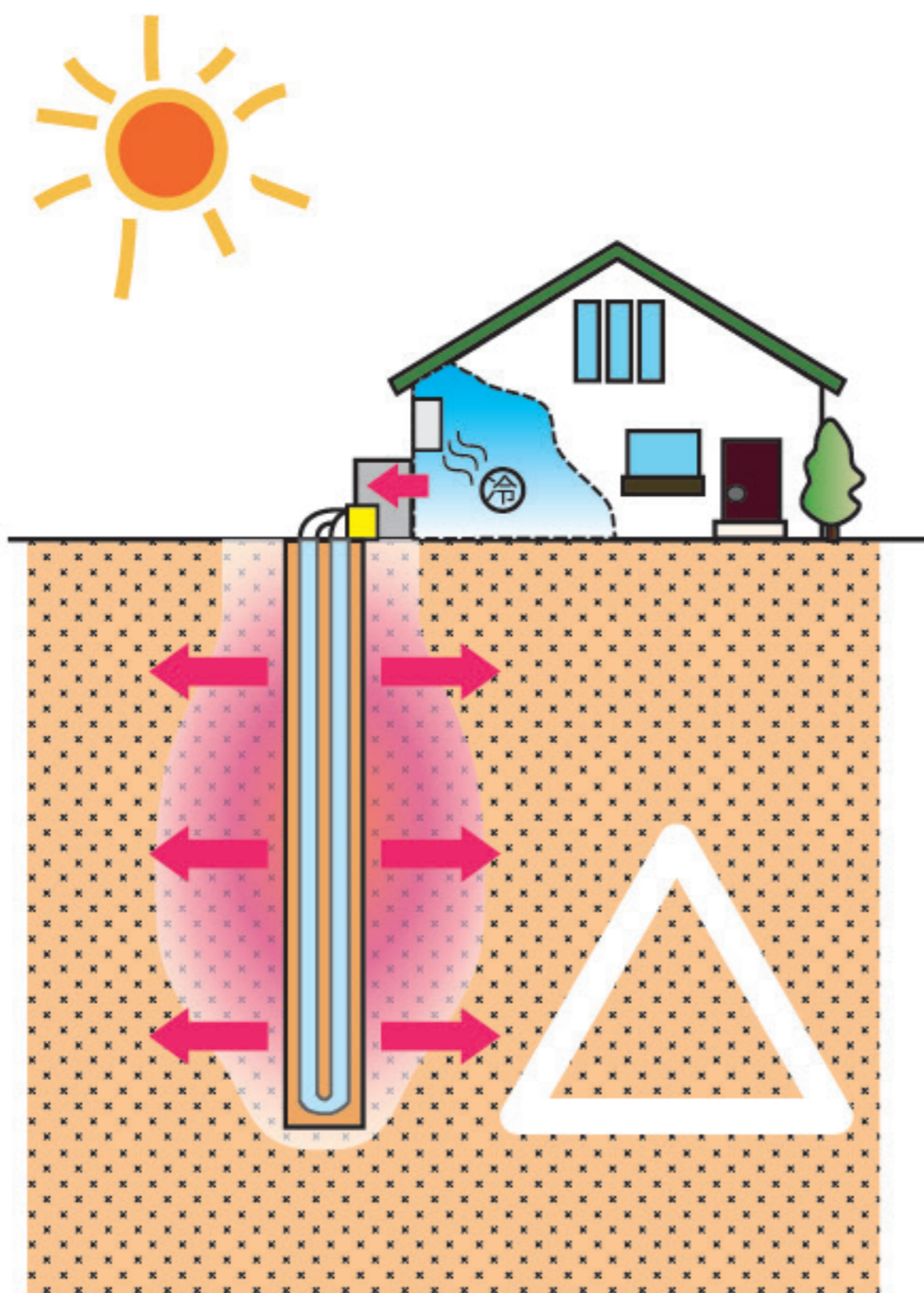


図1 地下水の流れがない場合（冷房運転）。

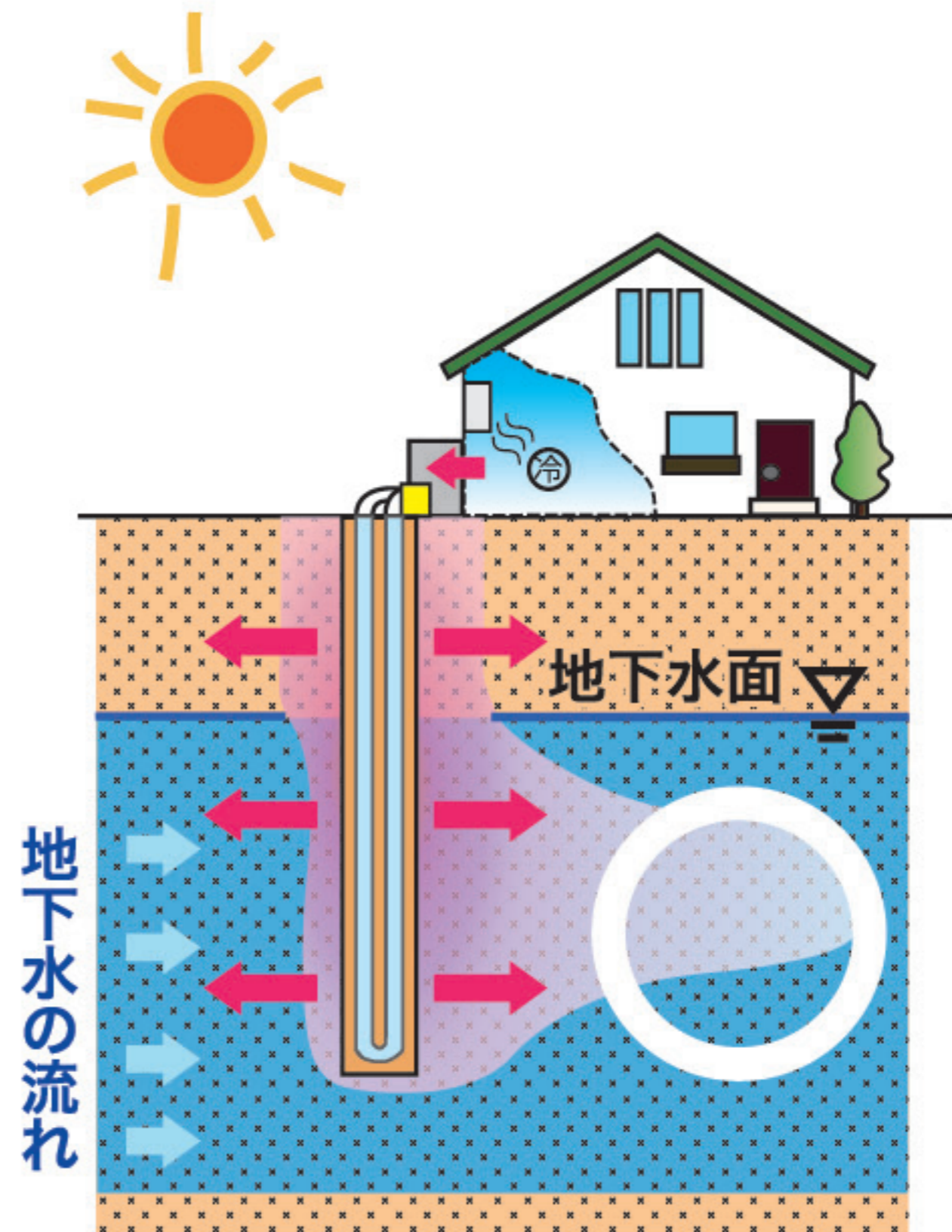


図2 地下水が流れている場合（冷房運転）。熱が奪われるのでより効果的。

## システムの導入に向けて

# 2. 利用可能性を示す「地中熱ポテンシャルマップ」をつくる

地中熱利用の計画では、その地域の地質・地下水の環境によって最適なシステムの選択や必要な熱交換器の長さや本数が異なってきます。産総研の地中熱チームが開発した「地中熱ポテンシャルマップ」は、地中熱利用が見込まれる平野や盆地を対象として「この地域ではどのシステムが最適なのか?」、「地中熱交換器型だと熱交換器が何本必要なのか?」のような現実的な判断を促すマップ情報です。

ここでは、クローズドループ式システムを対象として、地中熱ポテンシャルマップの作成手順を下図に整理します。地質構造が複雑で、多くの地域で豊富な地下水が確認されているわが国では、地中熱ヒートポンプシステムの効率を評価するために地層と地下水の状態の理解が必要です。まず、マップを作成する地域の地質調査と地下水調査を行います。調査で得られた地層、地下水位、地表面温度などの情報は、評価のために行う数値シミュレーションの計算条件や数値モデルの検証に利用します。地層や地下水の状態を示す数値モデルを作成したら、

広域3次元地下水流動・熱輸送の数値シミュレーションを実施します。これによって地下水の流速や地下温度を推定することができます。さらに、これらの結果を用いてクローズドループ式システムの地中熱交換器モデルによる数値シミュレーションを行うことで、システム導入コストの低減につながる開発可能性マップが完成します。

産総研の地中熱チームでは、クローズドループ式システムのみでなく、オープンループ式システムなど、様々なタイプの地中熱ヒートポンプシステムに適用できる地中熱ポテンシャルマップを作成しています。オープンループ式システムのうち、帯水層蓄熱 (ATES) のポテンシャルマップでは、数値シミュレーション結果より、地下水の流速がゆっくりで地下水の上昇流がない地域が導入適地となります。

Webサイトで体験できます!

産総研 地圏資源環境研究部門  
地中熱ポテンシャルマップ

<https://unit.aist.go.jp/georesenv/product/GSHP.html>

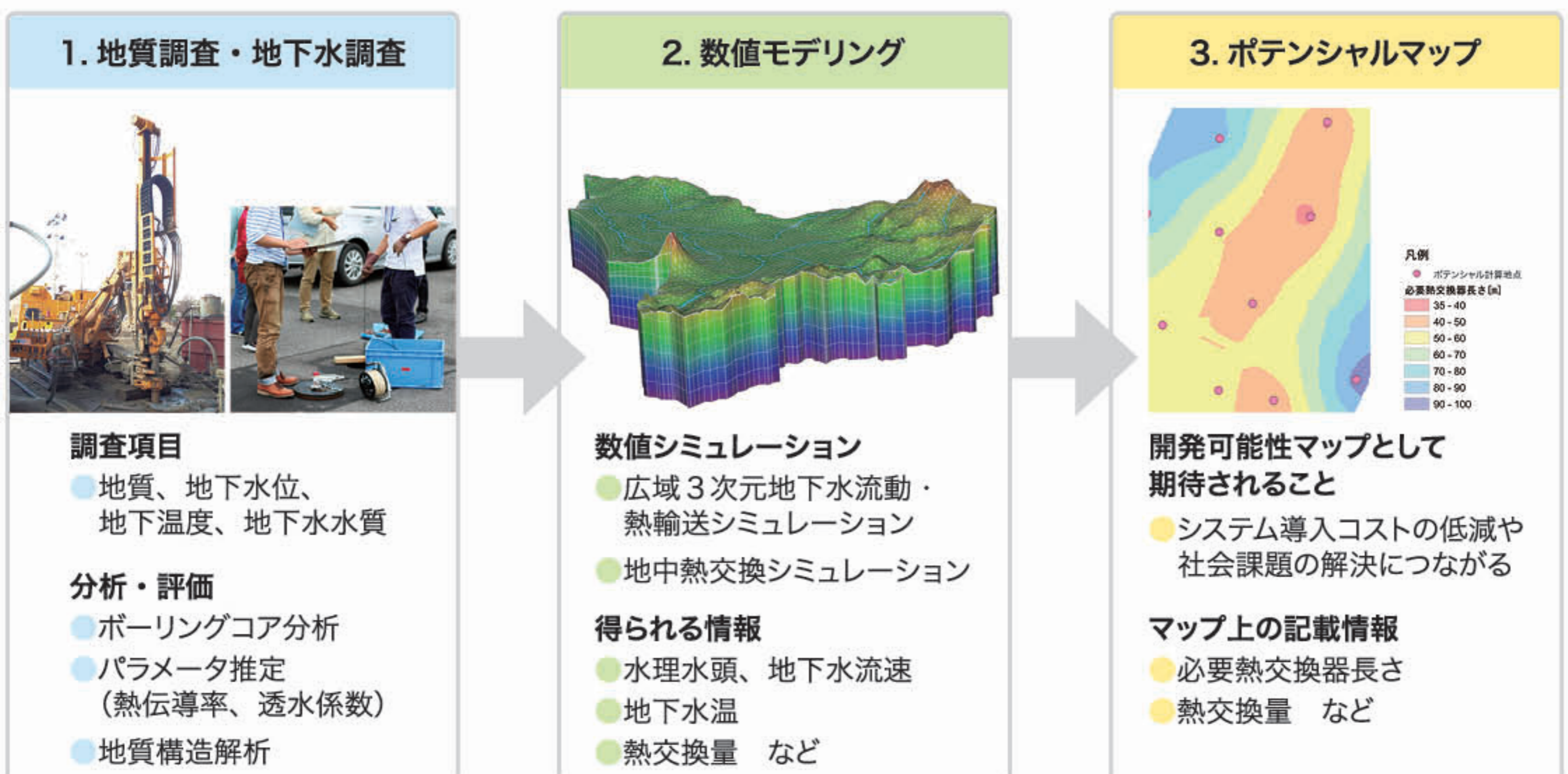


図 地中熱ポテンシャルマップの作成手順 (クローズドループ式システム)。

## 地層の評価

### —地中熱利用に適した地層を評価する—

#### 1. 地質調査（オールコアボーリング）

平野や盆地での地中熱ポテンシャルの評価には、地域の代表的な地質や熱物性のデータを得る必要があります。そこで、まず深さ50～100 m程度まですべての地層を掘削してコア試料<sup>\*</sup>を採取します（オールコアボーリング）。採取したコア試料は、観察して柱状図（地層の重なり方を示した図）を作成したり、試料の年代測定を行ったりして、平野や盆地ごとの地質構造解析の標準試料とします。また、コア試料の熱の伝わりやすさを示す「有効熱伝導率（図1）」や温度変化のしやすさを示す「体積熱容量」などの熱物性データを測定します（図2）。

オールコアボーリングを行った後は、同じ地点に地中熱交換パイプを埋設して熱応答試験を行います。コア試料の地質情報や「有効熱伝導率」と、熱応答試験によって得られた「見かけ熱伝導率」を比較検討し、地下水の流れの影響が存在するかどうかなどを調べます。

<sup>\*</sup> コア試料：掘削で採取した円柱状の地層の試料。

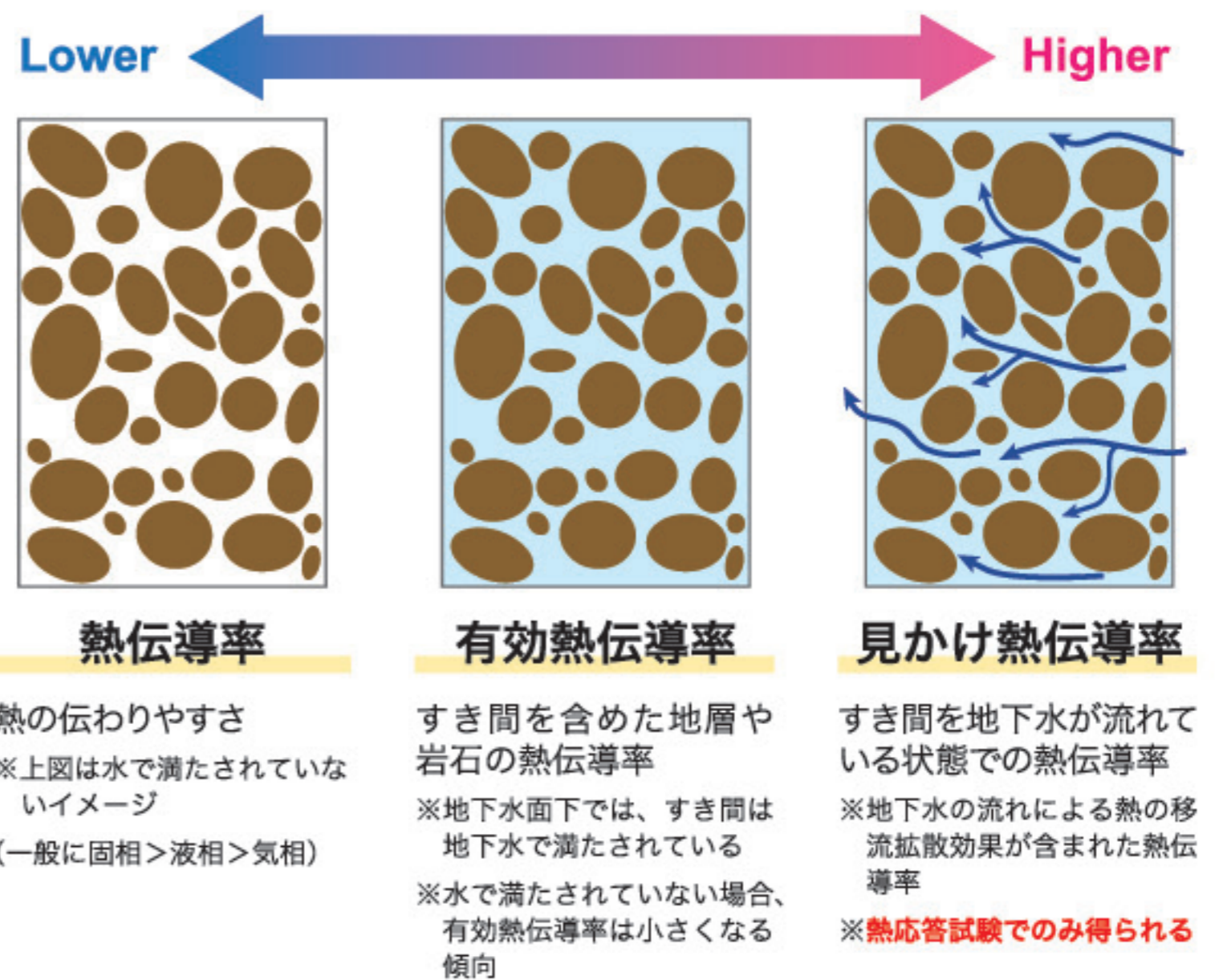
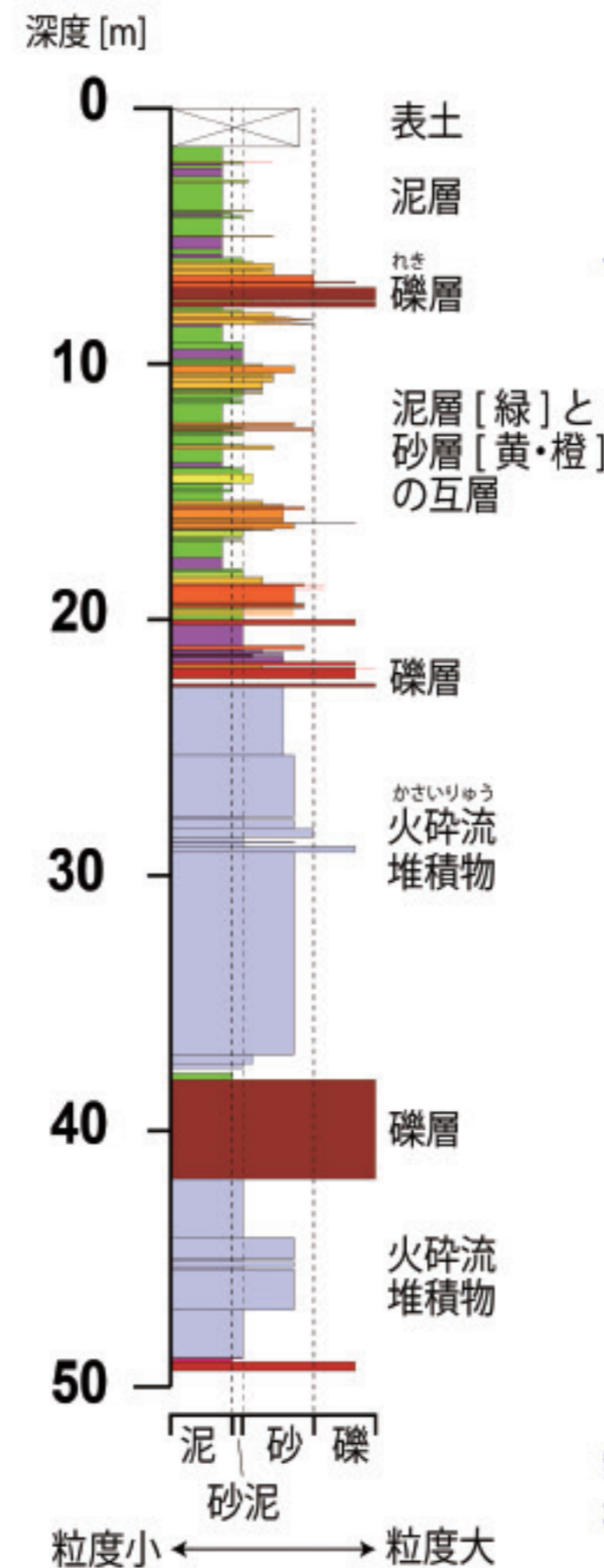


図1 3種類の熱伝導率。

#### 地質柱状図

地層の重なり方を示した図



#### 有効熱伝導率

[W/(m·K)]

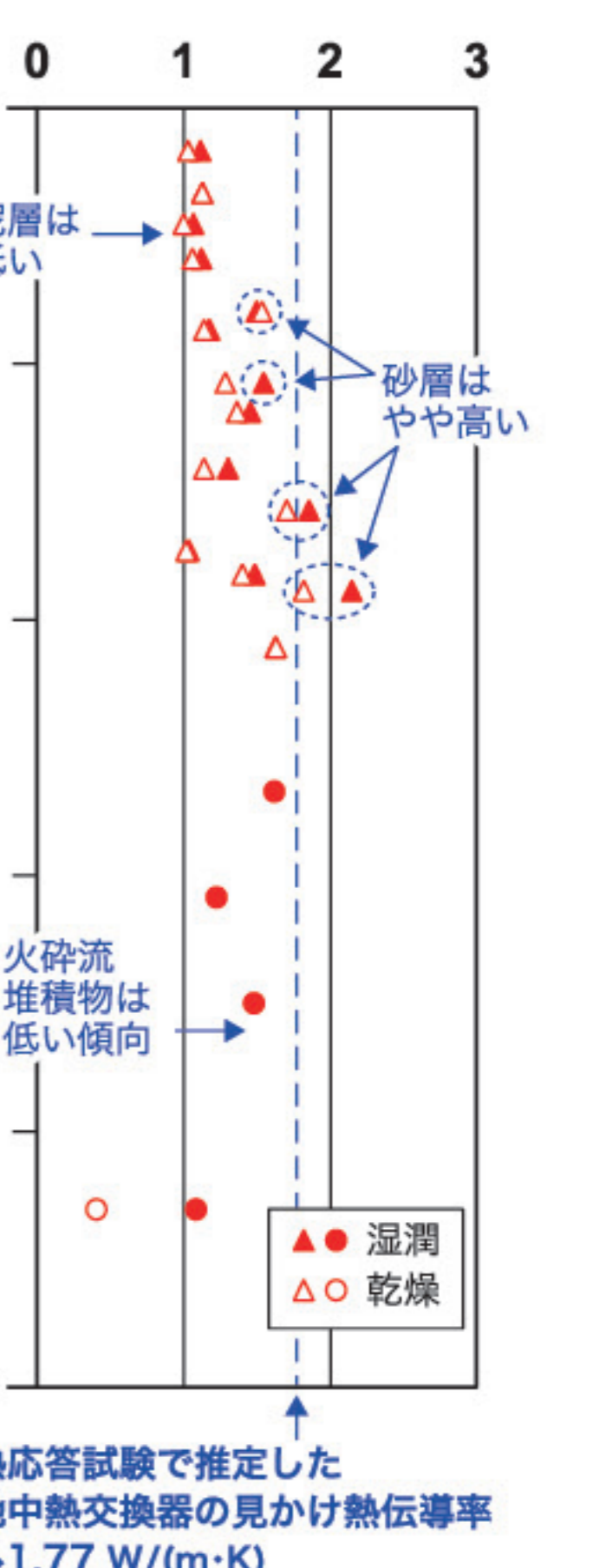


図2 郡山で掘削したオールコアの柱状図およびコア試料の有効熱伝導率。石原・鈴木(2019)に基づき作成(左), 吉岡ほか(2020)に加筆(右)。

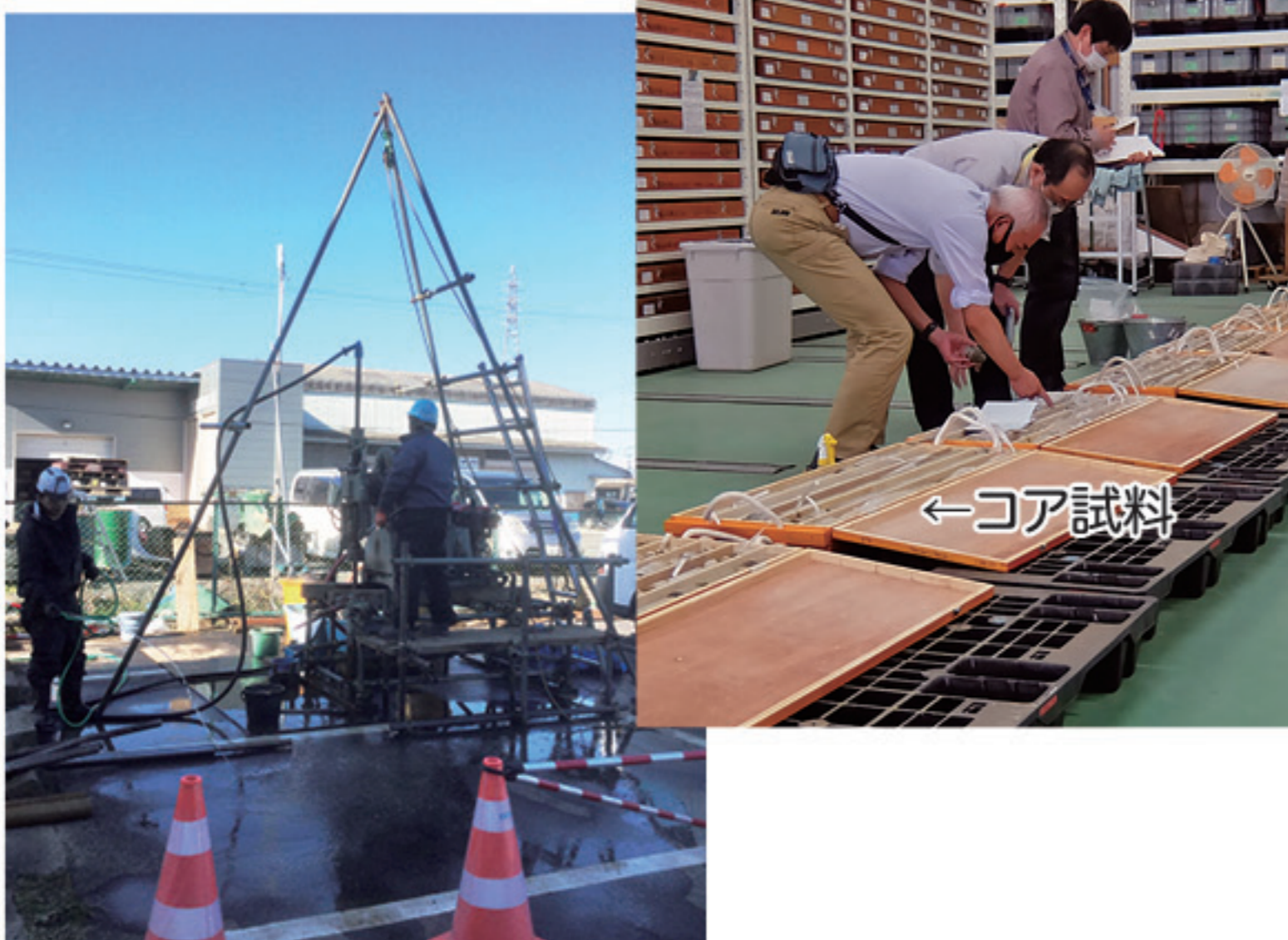


写真 左) 掘削の様子, 右) コア観察の様子。



## 2. 地質構造の解析

一般に、大きな建物や橋・道路などをつくる際には地層の固さを調べるための掘削（ボーリング）調査が行われ柱状図が作られます。こうした既存の柱状図の資料を集め、標準試料の柱状図と比較することで、地層のつながり（地質構造）が見えてきます。平野や盆地を横断する地質断面図をたくさん描くことで、地質構造の3次元的理解を進めていきます。

ここでは、会津盆地（福島県；図3）と加賀平野（石川県金沢市周辺；図4）の地質断面図を例として紹介します。日本の盆地では礫層（砂利の地層）が厚く堆積していることが多く、地下水が存在する帯水層になっています。一方、会津盆地の中央部～西部では、浅い深度

に水を通しにくい泥層（シルトや粘土の地層）が厚く堆積していることがあります。このような地域では、帯水層がどの深度に存在しているかを事前に調べておく必要があります。

日本の平野や沿岸域は、過去の海水準変動の影響によって、陸域の粗い地層（主に礫層）と海域の細かい地層（主に泥層）が交互に堆積しています。加賀平野の地質断面図を見ると、礫層（帯水層）主体のゾーンと水を通しにくい泥層主体のゾーンが交互に重なっている様子がわかります。盆地と比べると泥層が厚くなる傾向があるため、帯水層がどの深度に分布しているのかを調べておくことが重要です。

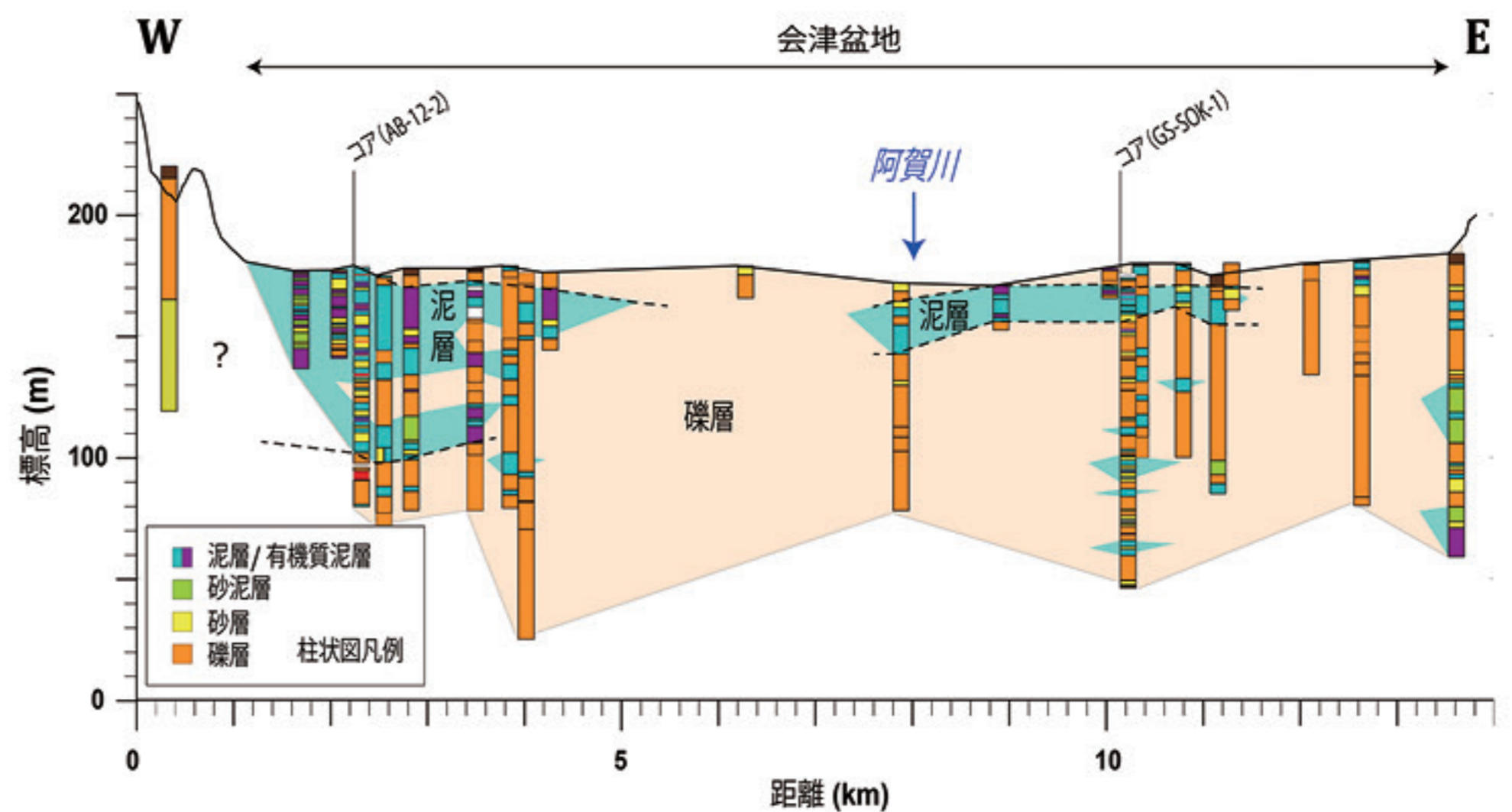
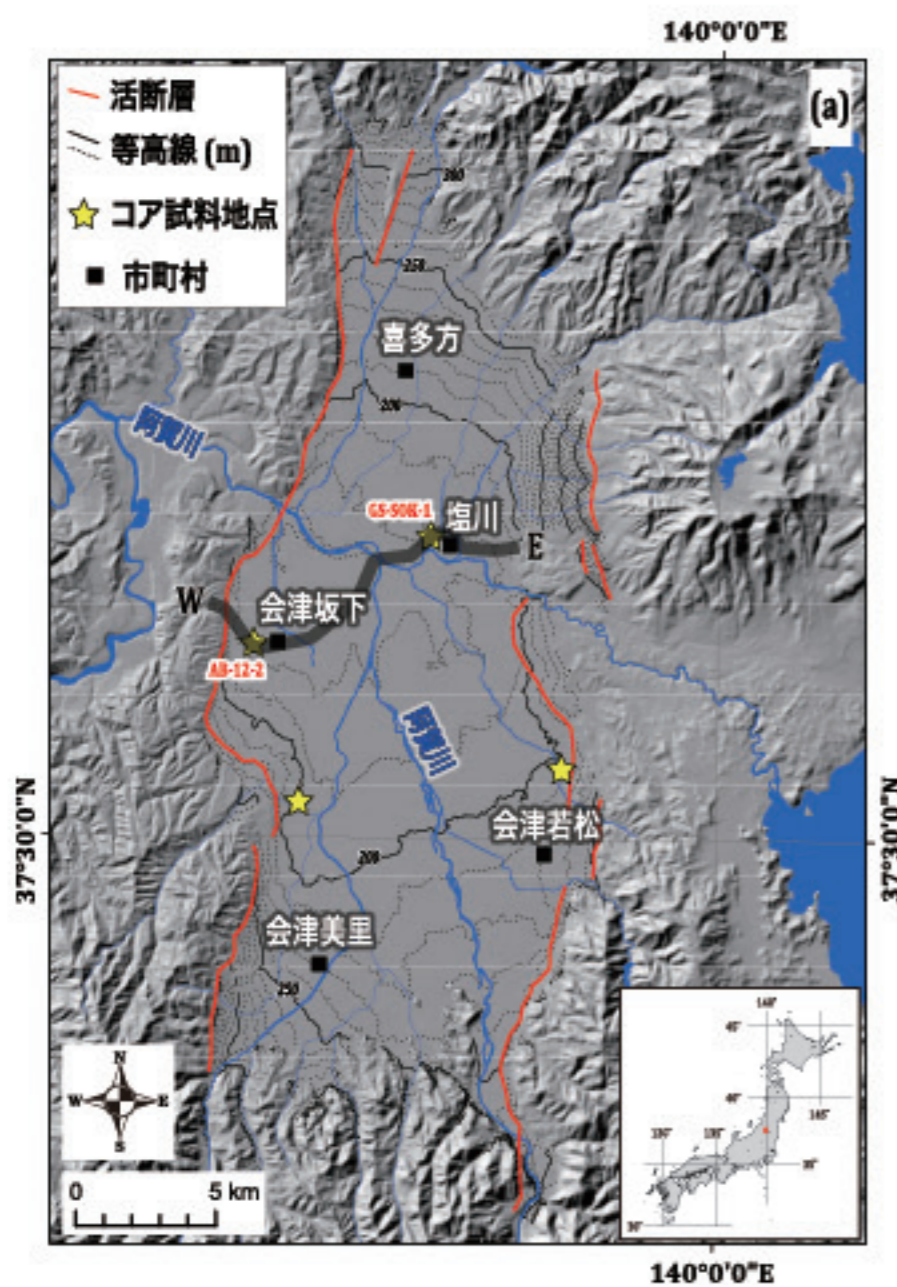


図3 会津盆地の地質構造。黒線は断面図の位置（左）、会津盆地の東西断面図（右）。Ishihara et al. (2018) に加筆・修正。

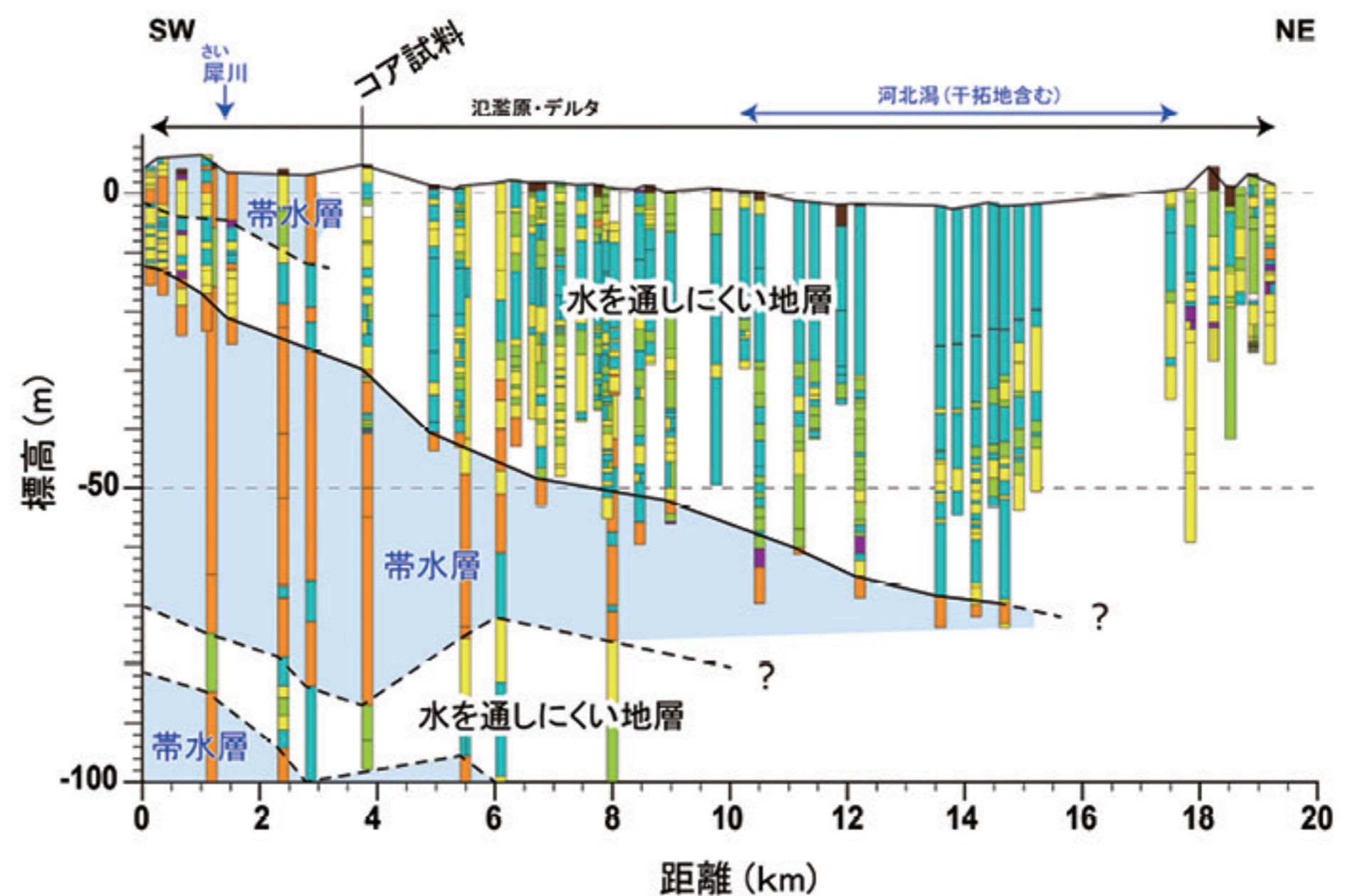
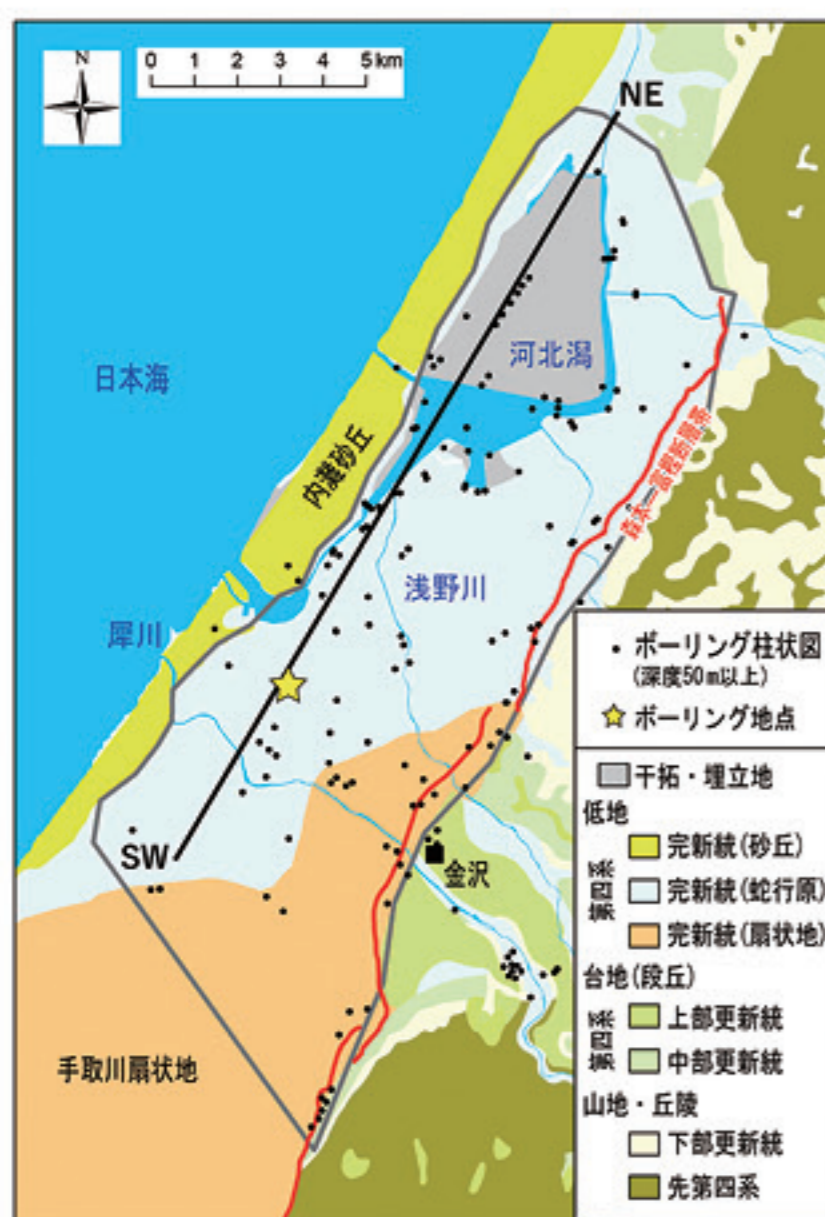


図4 加賀平野の地質構造。黒線は断面図の位置（左）、加賀平野の東西断面図（右）。

## 3. 有効熱伝導率マップの作成

地中熱ポテンシャルマップの作成には、地質・地下水調査と数値モデリングを行う必要があります。作業は複雑かつ膨大です。また、観測用井戸のない地域では地下水データを得ることが難しいという問題もあります。一方、都市部では地質の情報(柱状図)を比較的集めやすいため、柱状図の資料から「有効熱伝導率」の分布図を作成することで地中熱ポテンシャルを簡易的に評価できます。

ここでは、会津盆地と加賀平野(金沢市周辺)の「平均有効熱伝導率<sup>\*</sup>分布図」を紹介します。会津盆地は「2. 地質構造の解析」でも説明したとおり、礫層が厚く堆積しているため、全体的に有効熱伝導率が高い傾向にあります。一方、盆地の中央部～西部では浅い深度に泥層が厚く堆積していることから、深度 50 m までを平均した有効熱伝導率はやや低い傾向にあることがわかります。

加賀平野の平均有効熱伝導率は、どの深度でも南西部ほど高く北東部ほど低い傾向にあります。南西部には手取川、犀川、浅野川の扇状地が分布しており、扇状地の礫層が厚く堆積しています。一方、北東部には河北潟が分布しており、泥層が卓越しています。このような地質の特性が平均有効熱伝導率分布に反映されています。

<sup>\*</sup> 平均有効熱伝導率：地表からある深度までの有効熱伝導率の平均値。有効熱伝導率は地層ごとに異なるため、区間ごとの平均値に変化があれば、有効熱伝導率の高い地層(礫層など)がどの深度に分布しているかを知ることができる。

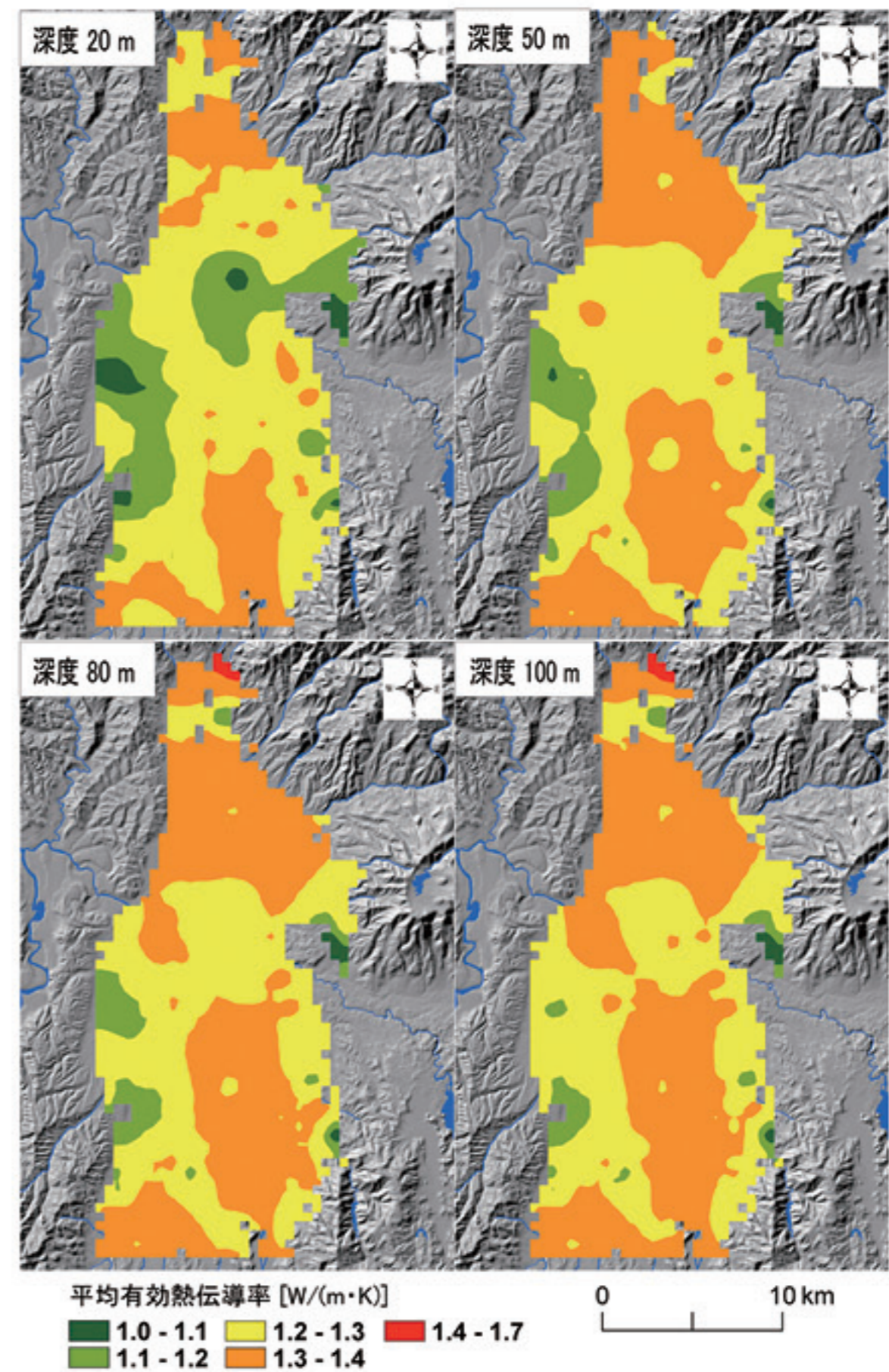


図5 会津盆地の平均有効熱伝導率分布図(深度 0~20m, 0~50m, 0~80m, 0~100m). <sup>\*</sup>地中熱交換器の長さを 20m, 50m, 80m, 100m と設定した時の平均有効熱伝導率を読み取る. Ishihara et al. (2018) に加筆・修正.

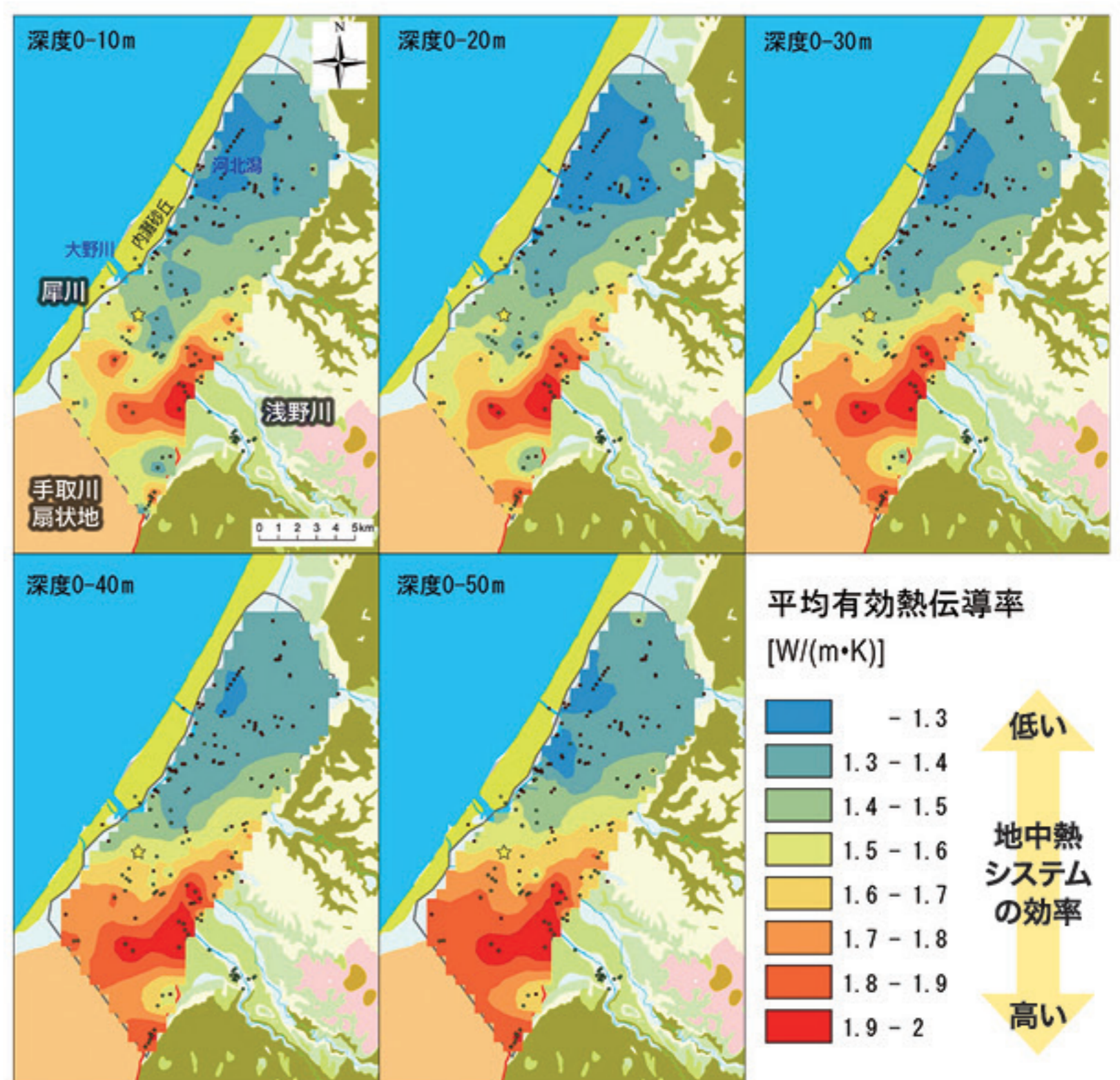
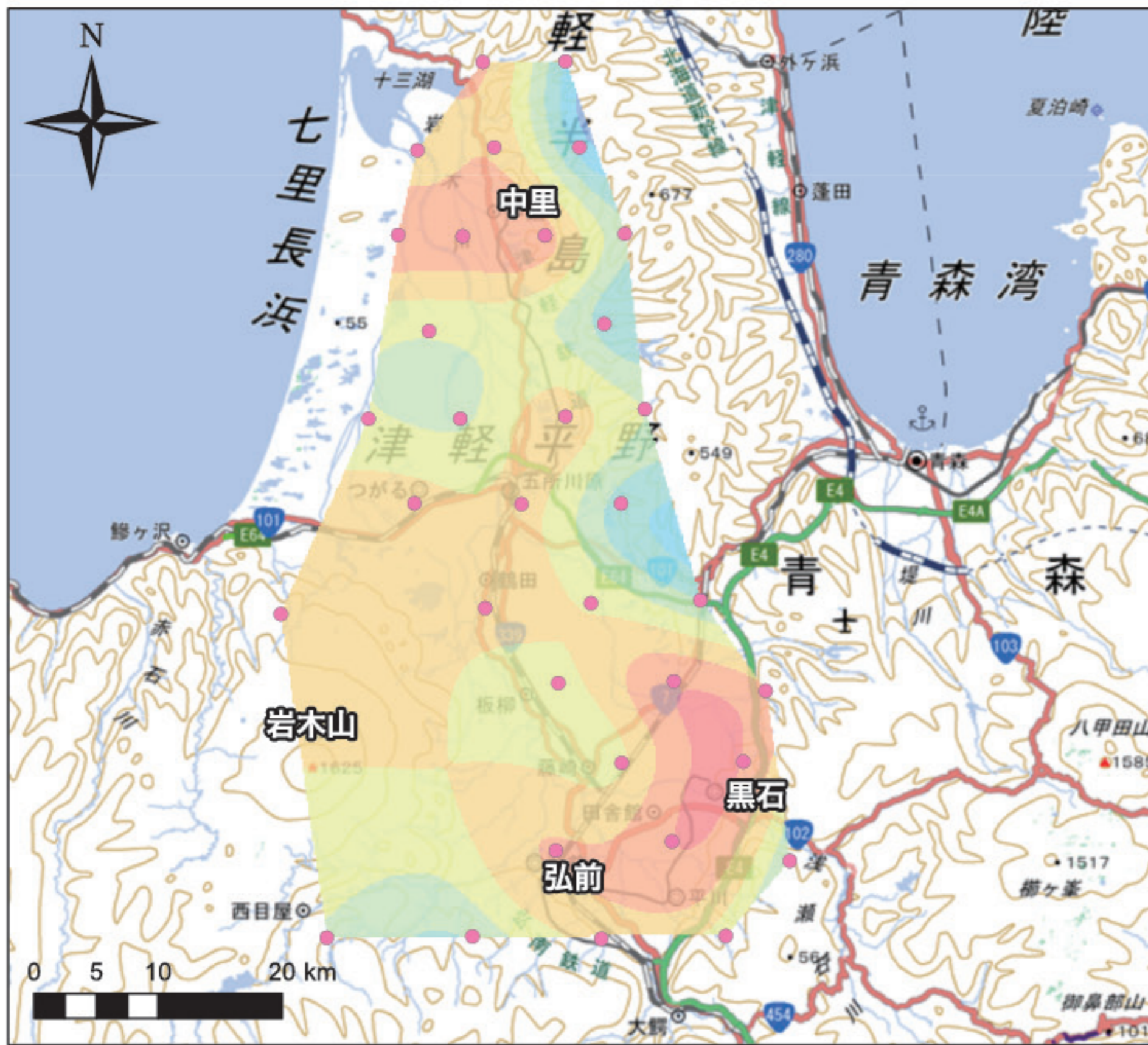


図6 加賀平野の平均有効熱伝導率分布図(深度 0~10m, 0~20m, 0~30m, 0~40m, 0~50m). NEDO 報告書(2019) に加筆・修正.

# 利用可能性を示す 地中熱ポテンシャルマップ

## 1. 津軽平野（青森県）



### クローズドループ式システム における評価

- 黒石市、弘前市、中里町周辺で比較的ポテンシャルが高い。
- 岩木山周辺は、ポテンシャルの計算地点が設定されていないため、解釈には注意が必要。

凡例

● ポテンシャル計算地点

必要熱交換器長さ[m]

25 - 30	短い
30 - 40	
40 - 50	必要な熱交換器の長さ
50 - 60	
60 - 70	長い
70 - 80	
80 - 90	
90 - 100	
100 - 110	

短いほど  
設置費用が  
抑えられる

図1 クローズドループ式システム。背景には地理院タイルを使用。NEDO 委託事業において作成。



### オープンループ式システム における評価

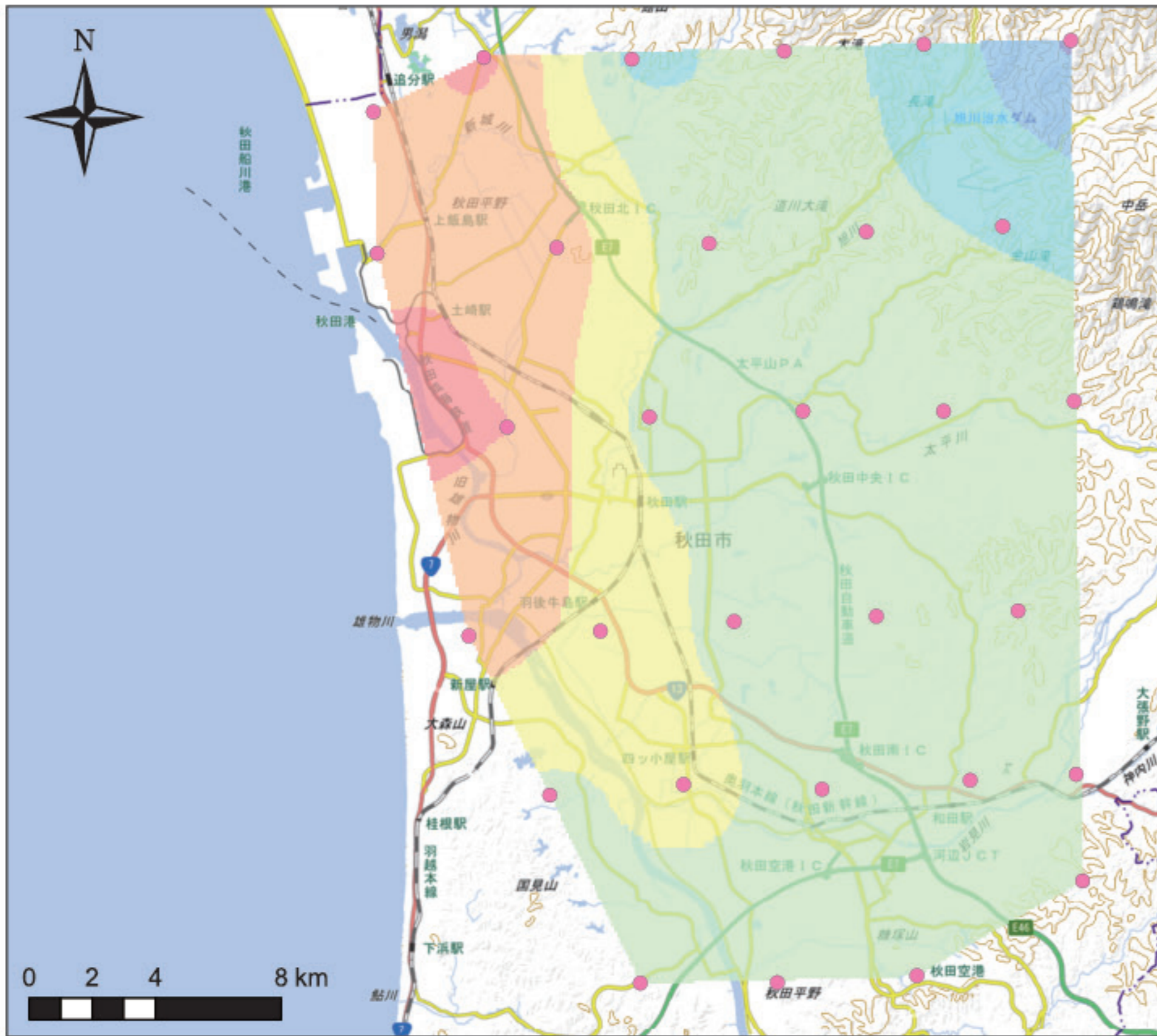
- 平野の広い範囲で ATES（帯水層蓄熱）システムが適している。
- 岩木川付近および十三湖付近では、地域の地下水が上向きに流れている可能性があるため、地下水を帯水層に戻す能力の事前調査が推奨されている。

	ATES最適地
	通常オープンループ最適地
	事前調査推奨（還元能力調査）

図2 オープンループ式システム。背景には地理院タイルを使用。NEDO 委託事業において作成。

## 利用可能性を示す 地中熱ポテンシャルマップ

# 2. 秋田平野



クローズドループ式システム  
における評価

- 沿岸部では、平野東部と比較してポテンシャルが高い。

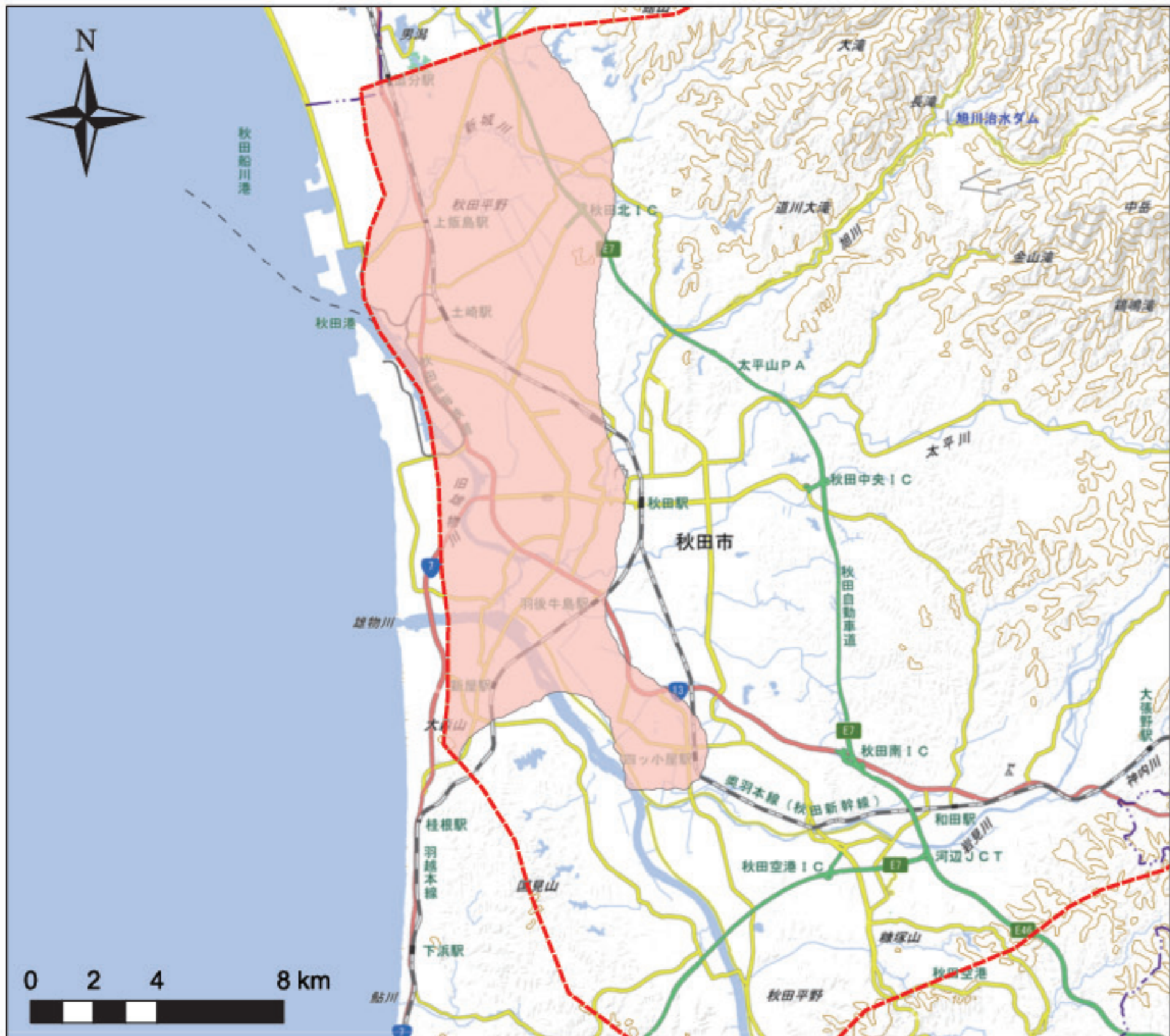
凡例

- ポテンシャル計算地点

必要熱交換器長さ[m]

55 - 60	短 ↓ 必要 熱交換器 の長さ ↓ 長
60 - 70	
70 - 80	
80 - 90	
90 - 100	
100 - 110	
110 - 120	長

図1 クローズドループ式システム。背景には地理院タイルを使用。NEDO 委託事業において作成。



オープンループ式システム  
における評価

- 平野沿岸部では第四紀の地層が厚く、また、水平方向の地下水の流れが遅いため、ATES (帯水層蓄熱) に適すると想定される。

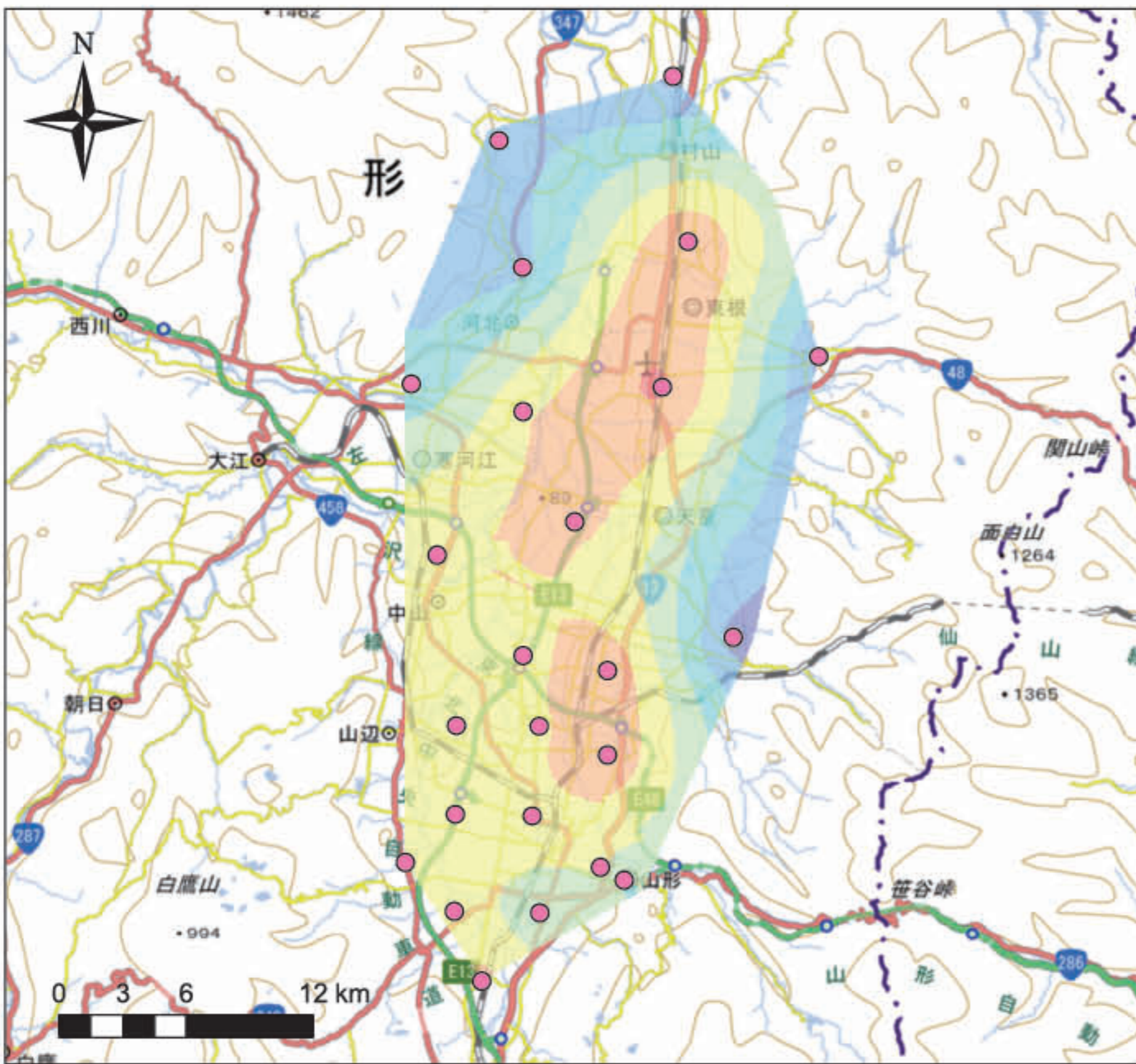
凡例

- ATES最適地
- 通常オープンループ最適地
- 事前調査推奨 (還元能力調査)

図2 オープンループ式システム。背景には地理院タイルを使用。NEDO 委託事業において作成。

# 利用可能性を示す 地中熱ポテンシャルマップ

## 3. 山形盆地



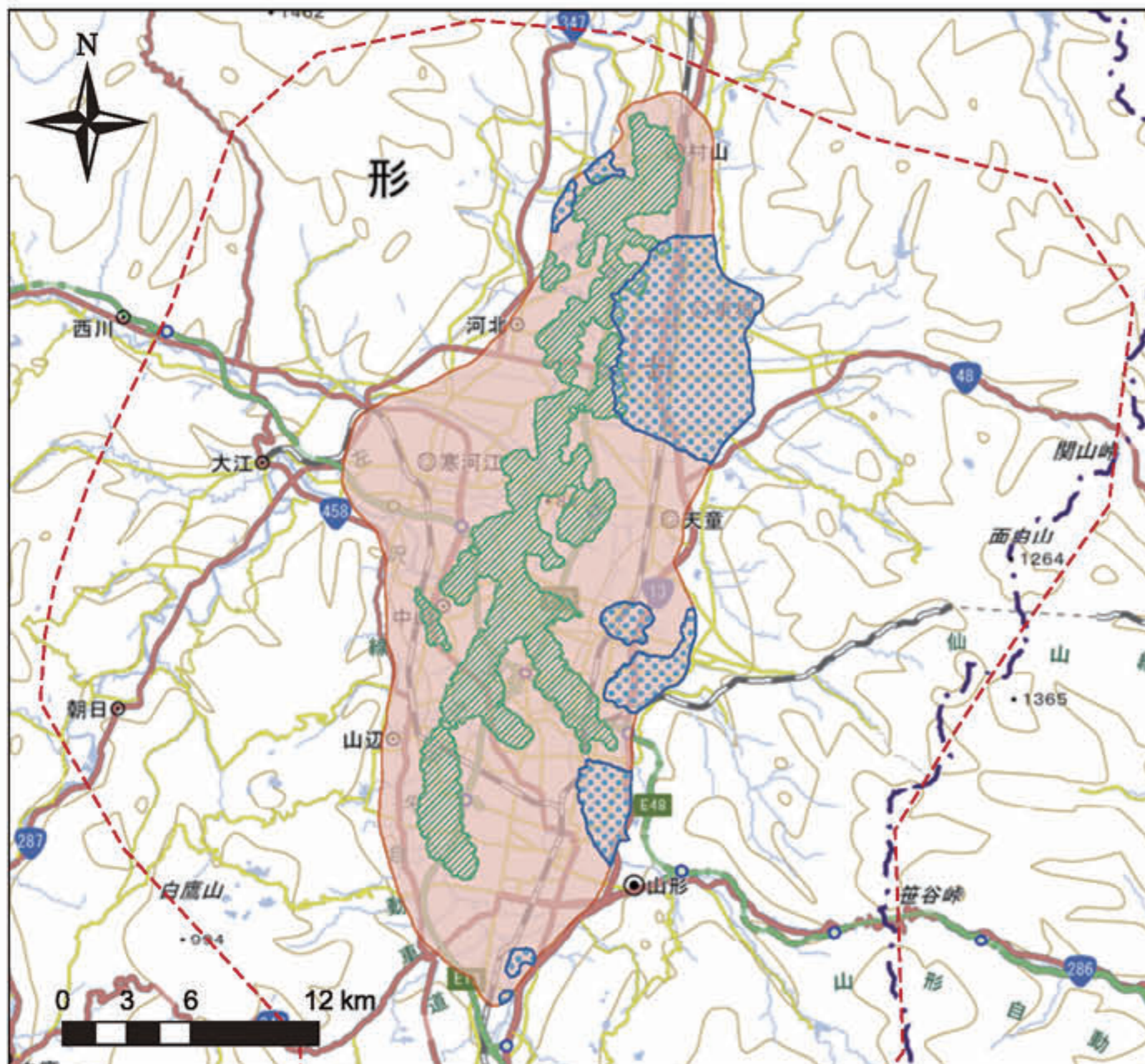
### クローズドループ式システム における評価

- 盆地の縁辺部に比べ、中央北部でポテンシャルが高い。
- 東北の他の地域に比べ、必要熱交換器長さは60 m以下の範囲が多く、盆地全体としてクローズド式ループのポテンシャルが高い地域である。

凡例

●	ポテンシャル計算地点
必要熱交換器長さ[m]	
35 - 40	短い 必要な 熱交換器 の長さ 長い
40 - 50	
50 - 60	
60 - 70	
70 - 80	
80 - 90	
90 - 100	

図1 クローズドループ式システム。背景には地理院タイルを使用。NEDO 委託事業において作成。



### オープンループ式システム における評価

- 盆地の周辺部では、ATES（帯水層蓄熱）・オープンループ式システムが適する。
- 盆地西部の扇状地付近では地下水の流れが速いため、季節間の蓄熱には注意が必要な地域がある。

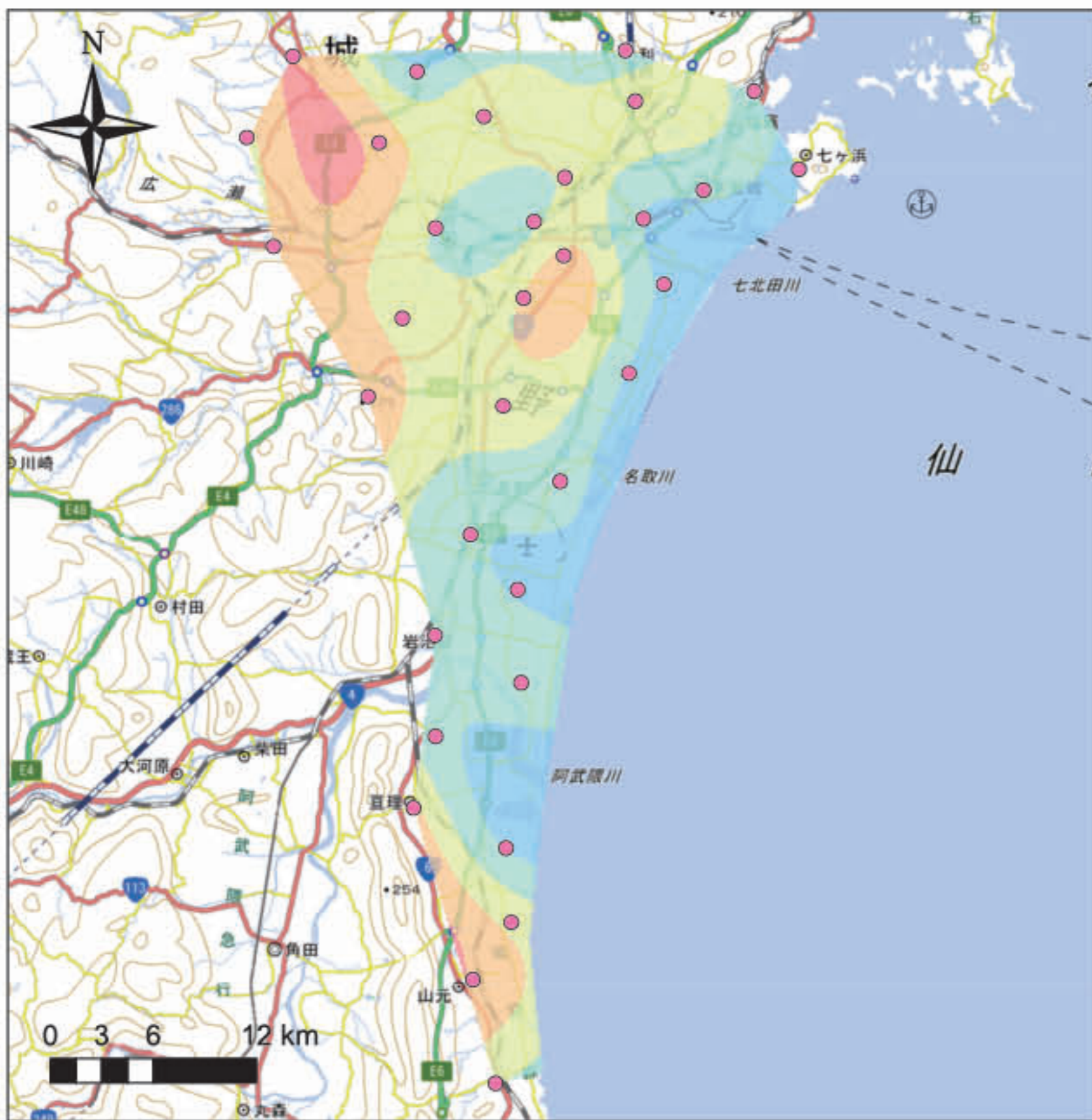
凡例

■	ATES最適地
■	通常オープンループ最適地
■	事前調査推奨 (還元能力調査)

図2 オープンループ式システム。背景には地理院タイルを使用。NEDO 委託事業において作成。

利用可能性を示す  
地中熱ポテンシャルマップ

# 4. 仙台平野（宮城県）

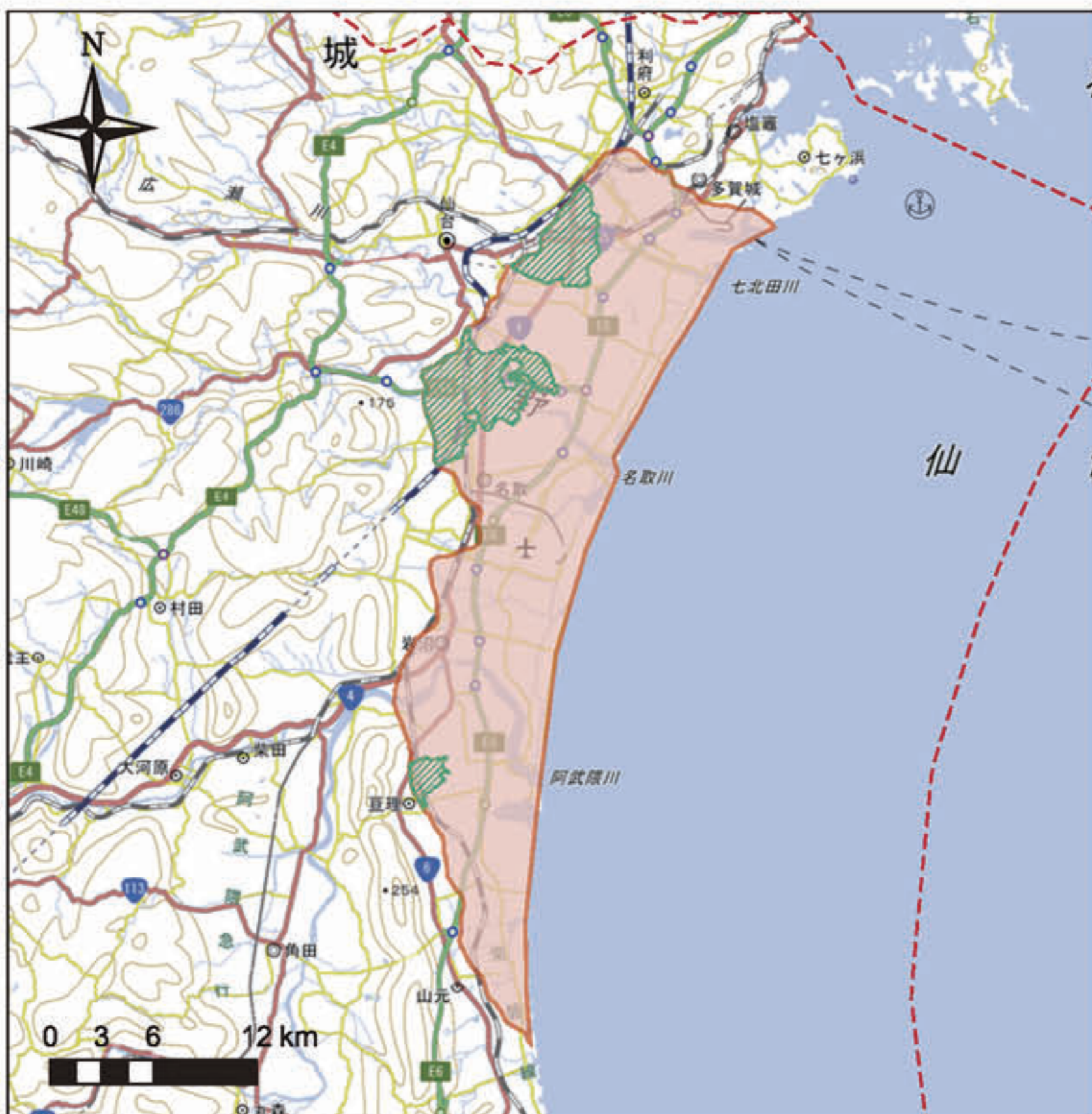


クローズドループ式システム  
における評価

- 平野の北西部では地下水の流速が速く、ポテンシャルが高いが、流れが緩やかになる沿岸部ではポテンシャルは低い。



図1 クローズドループ式システム。背景には地理院タイルを使用。NEDO 委託事業において作成。



オープンループ式システム  
における評価

- クローズドループ式システムのポテンシャルが低い沿岸部では、第四紀の地層が厚いため ATES（帯水層蓄熱）・オープンループ式に適する。
- 水平方向の地下水の流れが遅いため、オープンループに適する地域は ATES にも適する。

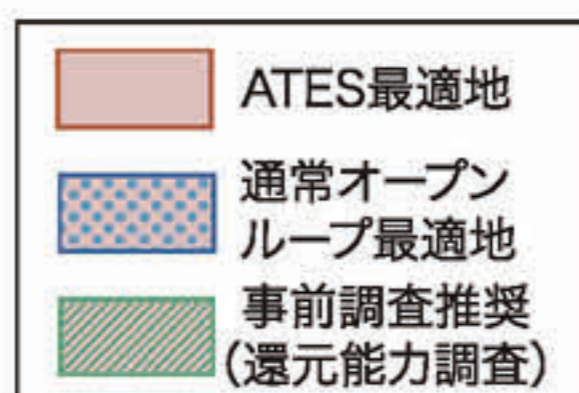
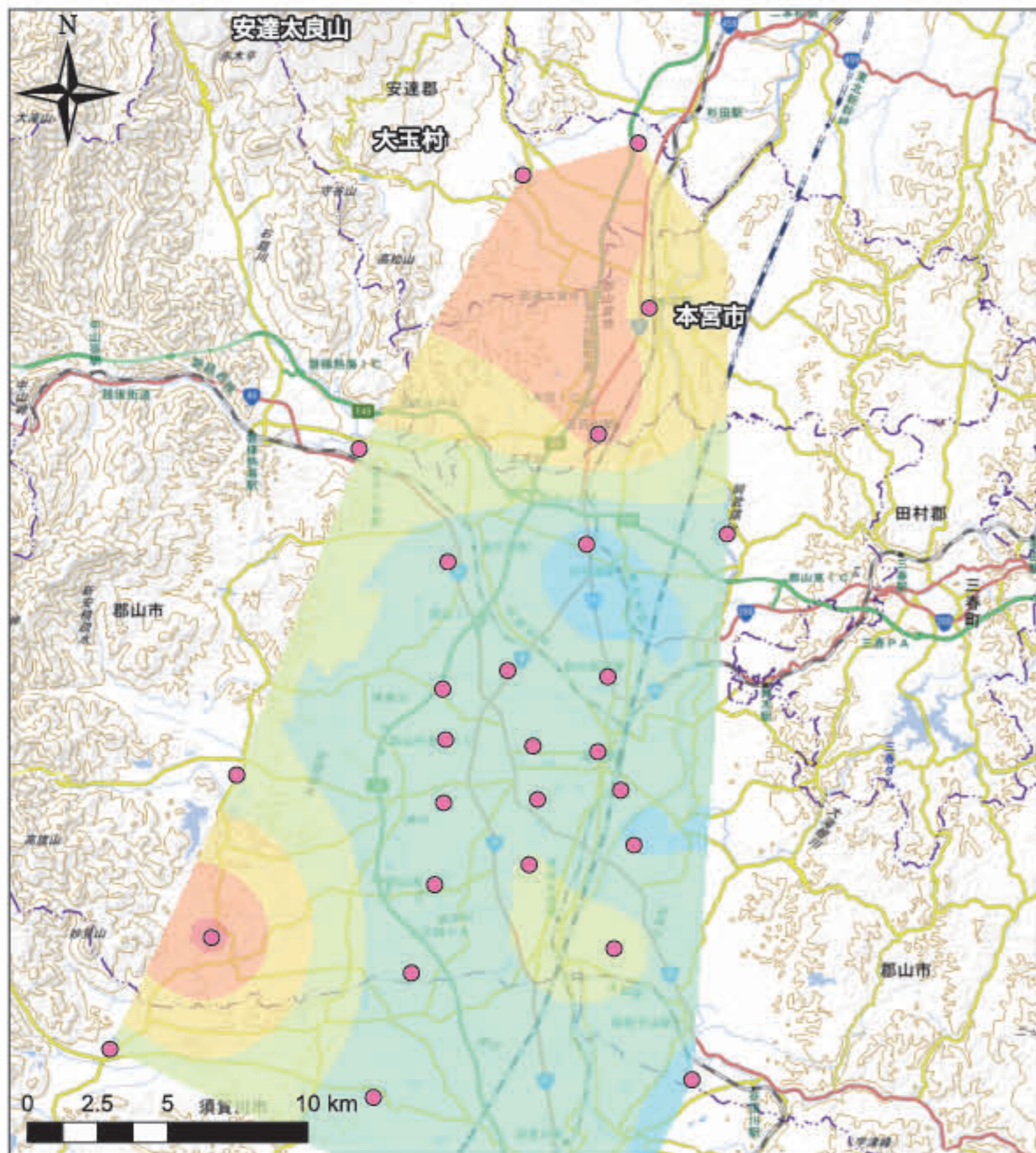


図2 オープンループ式システム。背景には地理院タイルを使用。NEDO 委託事業において作成。

# 利用可能性を示す 地中熱ポテンシャルマップ

## 5. 郡山盆地（福島県）



### クローズドループ式システム における評価

- 地下水流速が比較的速い北部の本宮市・大玉村の一部および南部の安達太良山付近では、ポテンシャルは高い。

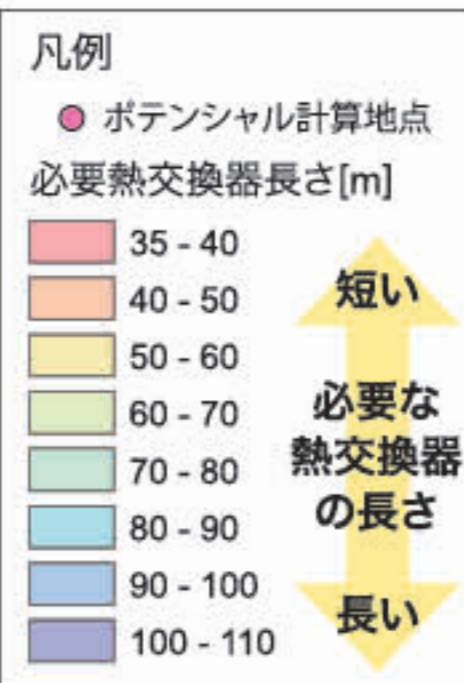
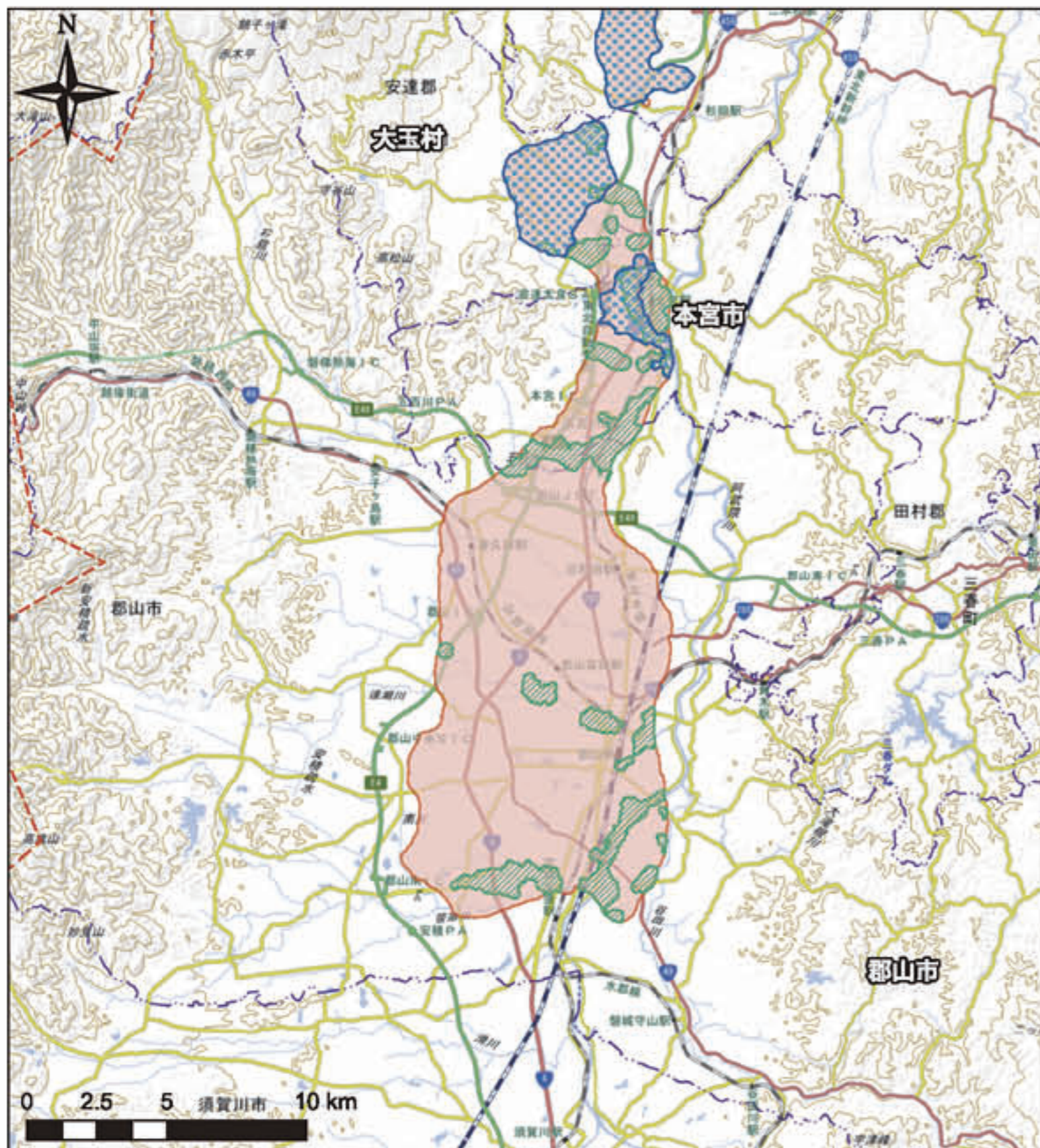


図1 クローズドループ式システム、背景には地理院タイルを使用。NEDO 委託事業において作成。



### オープンループ式システム における評価

- ATES（帯水層蓄熱）は郡山市中心部の広い範囲で適すると考えられる。
- 郡山盆地北部（本宮市、大玉村の一部）では、地下水の流れが速いと想定されるため、季節間の蓄熱に適さない可能性がある。

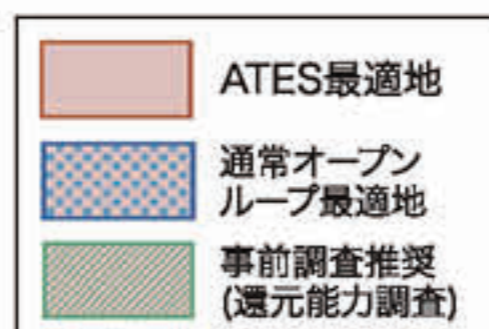
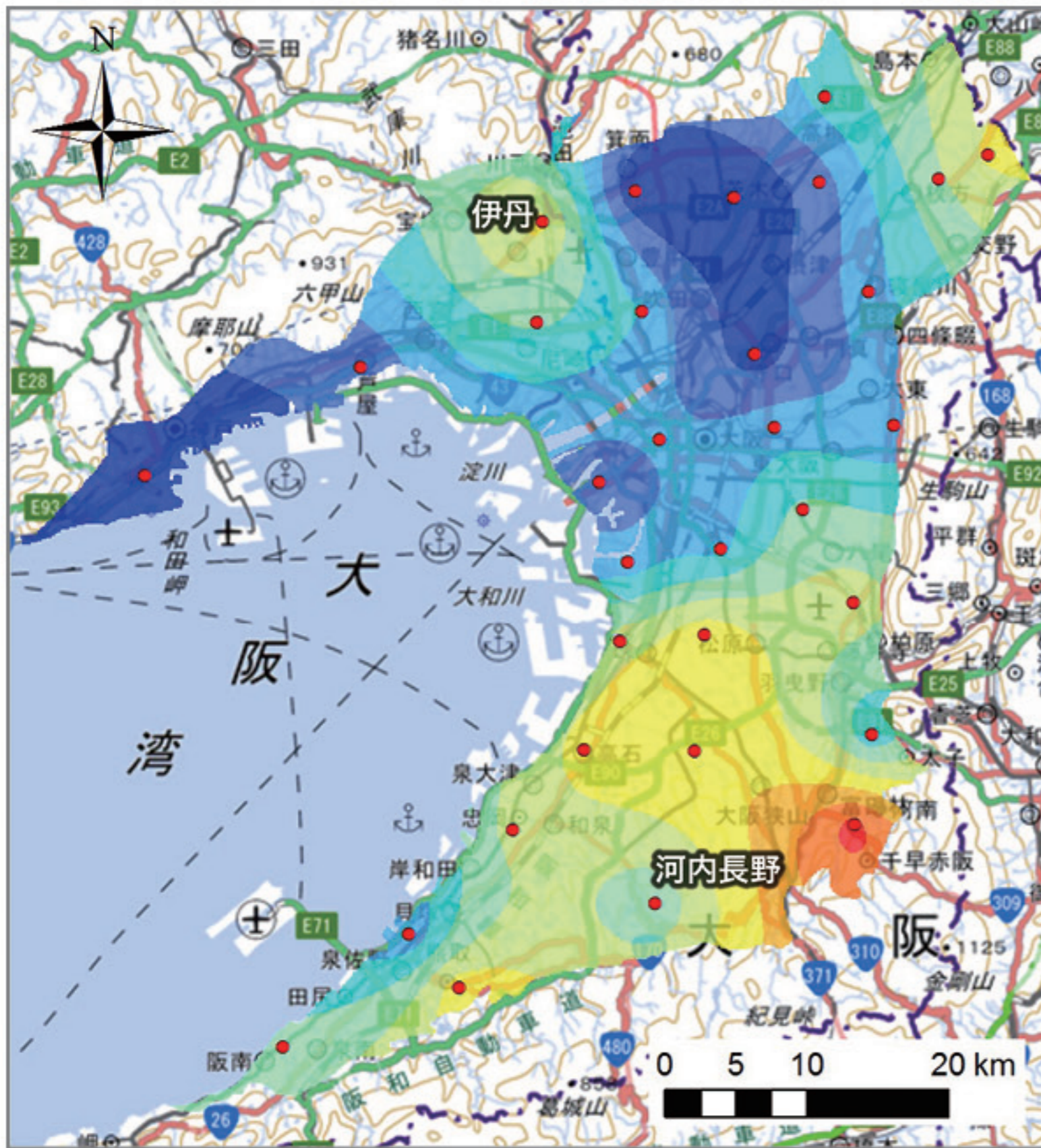


図2 オープンループ式システム、背景には地理院タイルを使用。NEDO 委託事業において作成。

## 利用可能性を示す 地中熱ポテンシャルマップ

# 6. 大阪平野



### クローズドループ式システム における評価

- 平野北部と比較し、南部でややポテンシャルが高い傾向が見られた。
- 平野の南東部（河内長野付近）および北部（伊丹付近）では局所的にポテンシャルが高い地域が想定された。

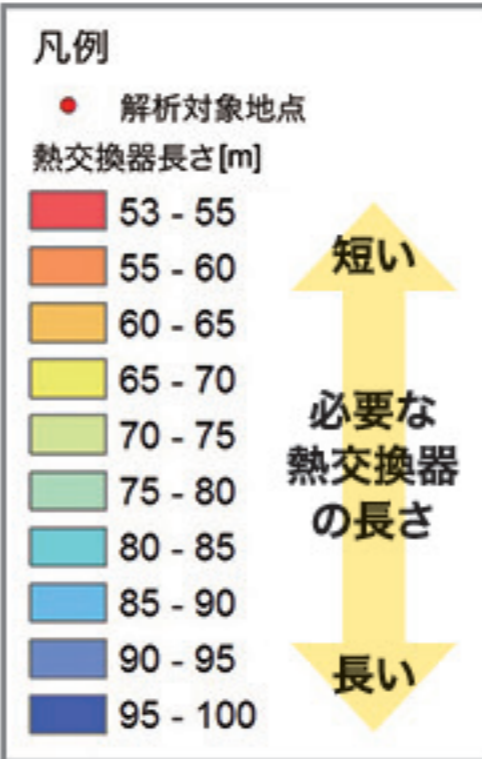
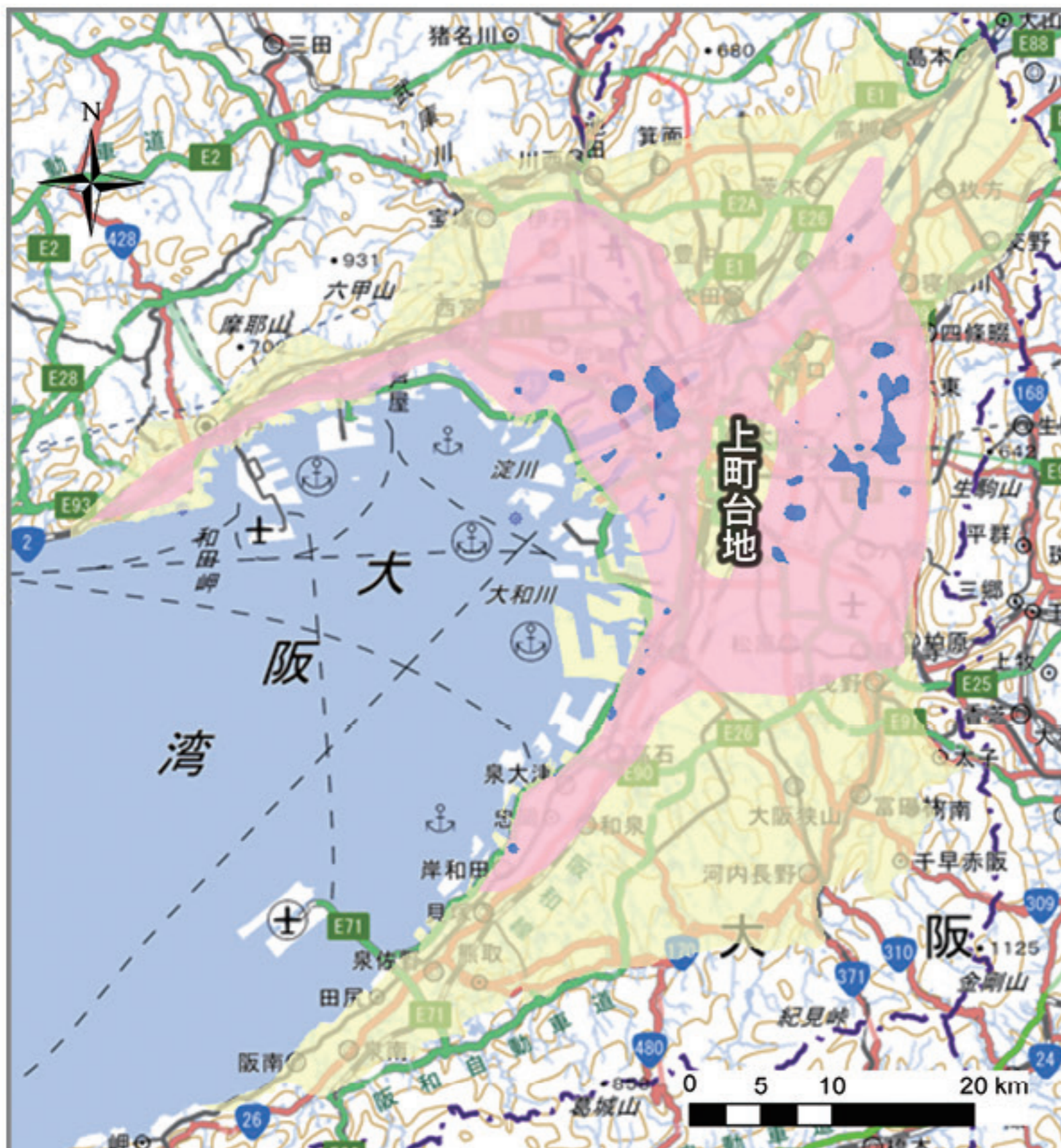


図1 クローズドループ式システム、背景には地理院タイルを使用。



### オープンループ式システム における評価

- 平野の中央部は広範囲でオープンループ適地と選定されたが、上町台地付近は地下水面深度の点から事前調査必要地域と選定された。
- 本マップは、ATES（帯水層蓄熱）システムではなく、オープンループ式システムであることに注意（蓄熱の効果は反映されていない）。

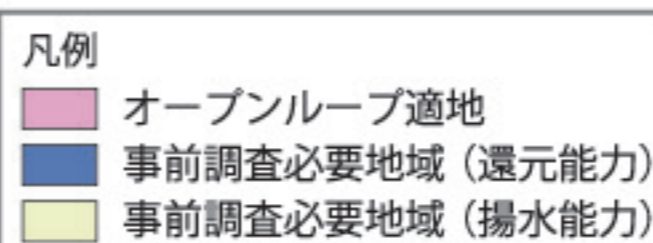


図2 オープンループ式システム、背景には地理院タイルを使用。



# ポテンシャル評価のための地下水調査

## 越後平野（新潟県）

地中熱の利用可能性は、見かけ熱伝導率に大きく影響されます。帯水層の地下水の流れが速いほど、地中熱の利用に適しています。そのため、地下水の流速分布を知ることが重要ですが、地下水の流れは目に見えず、地層の状態の局所的な変化により、流速の分布を完全に把握することはできません。しかし、地下水の流れには地域性があります。広域の地下水調査を行うことで、各地点の地下水の流れを知ることができなくても、「流れが速い可能性が高いエリア」を知ることができるのです。広域の地下水の流れを知るためには、いくつかの方法

がありますが、ここでは水質を用いた方法を紹介します。下図のカラーの点は、越後平野の信濃川流域地下水の溶存酸素の濃度分布を示しています。背後のカラー図は主たる帯水層の上面の標高分布を示しており、南から北に向かって深くなっています。大気中では水の溶存酸素濃度は一般に約 8 mg/L ですが、地下では微生物活動によって酸素が消費され、濃度が低くなります。つまり、地下水が長く地下に滞留しているほど、溶存酸素濃度が低くなります。この図を見ると北部では帯水層が深く、溶存酸素濃度がゼロの地点が多くなります。しかし、長岡、矢作丘陵（燕市吉田）、五十嵐川（三条市）付近では帯水層の深度が浅いことから、溶存酸素濃度が高く、地下水の流れが速いと推定されます。

ここでは溶存酸素濃度について紹介しましたが、地下水の流速を推定するためには様々な方法があります。このような水文地質学的データは地中熱ポテンシャルマップの基礎資料となります。

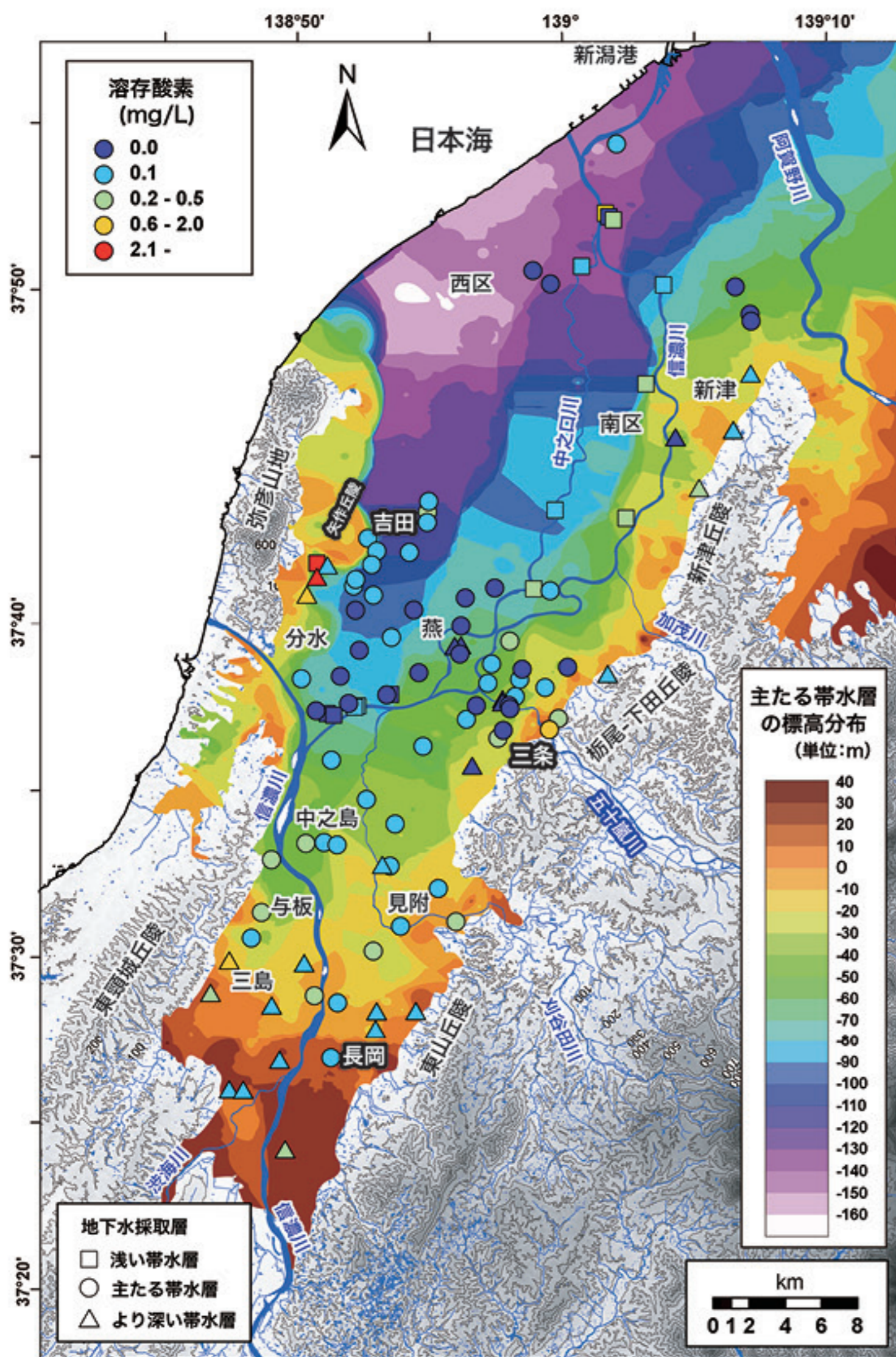


図 地下水中の溶存酸素の濃度分布と主たる帯水層の上面標高分布。調査地点は帯水層の違いによって、□（浅い帯水層）、○（主たる帯水層）、△（より深い帯水層）で分類した。背後のカラー図は主たる帯水層の上面標高分布（船引ほか、2011 を変更）。



写真 地下水の調査風景。消雪パイプからの採水を実施している様子。

## 地中熱利用システムの実証事例

# 1. 地質標本館と福島再生可能エネルギー研究所

茨城県つくば市にある産総研地質標本館では、2013年7月から地中熱ヒートポンプシステムを導入し、長期間の運転モニタリングをしながら冷暖房の空調効果の実証試験を実施しています。地質標本館の地中熱ヒートポンプシステムでは、以下の3点を課題として取り組んでいます。

1. 地質標本館の1階映像室に本システムを導入して空調効果の実証試験を行うと同時に、来館者に向けて地中熱利用による冷暖房の節電効果の理解を促す。
2. 屋外の熱交換器および室内の地中熱ヒートポンプを公開し、さらに各種の運転状況をモニターで見える化することによって、地中熱ヒートポンプシステムの仕組みを来館者にも分かりやすく紹介する。
3. クローズドループ式の標準的な熱交換器である「ボアホール型<sup>\*1</sup>地中熱交換器」と「水平埋設型<sup>\*2</sup>地中熱交換器」をを比較し、新たな技術革新につなげる。

また、福島県郡山市にある産総研福島再生可能エネルギー研究所（FREA）でも、2014年4月の開所と同時に1階の地中熱実験室において、地質標本館と同型の地中熱ヒートポンプシステムを導入し、長期モニタリングを行っています。FREAでの実証試験は、つくばと郡山の地質の違いが、地中熱ヒートポンプシステムの運転能力へ与える影響を評価することを目的としています。

<sup>\*1</sup> ボアホール型：地表から垂直に掘削ボーリングを行い、その掘削孔の中に地中熱交換パイプを設置する一般的な方法

<sup>\*2</sup> 水平埋設型：地表から浅い部分（深さ1～2m）にシート状の地中熱交換パイプを設置する方法

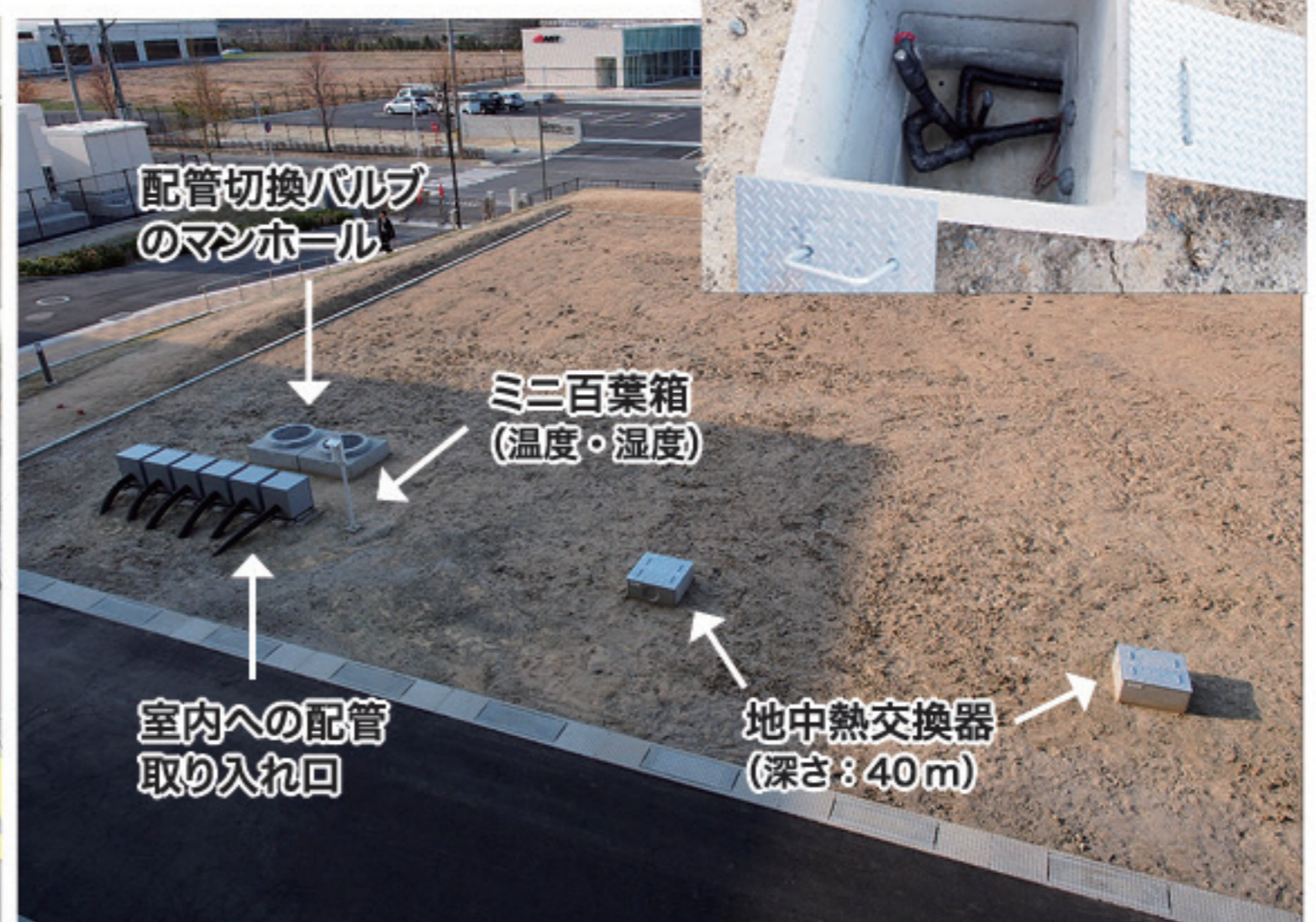


図2 福島再生可能エネルギー研究所で実証試験中の地中熱ヒートポンプシステム。地中熱ヒートポンプ（左）、屋外の様子（右）。



図1 地質標本館（上）と地中熱ヒートポンプシステムを導入した1階映像室（下）。

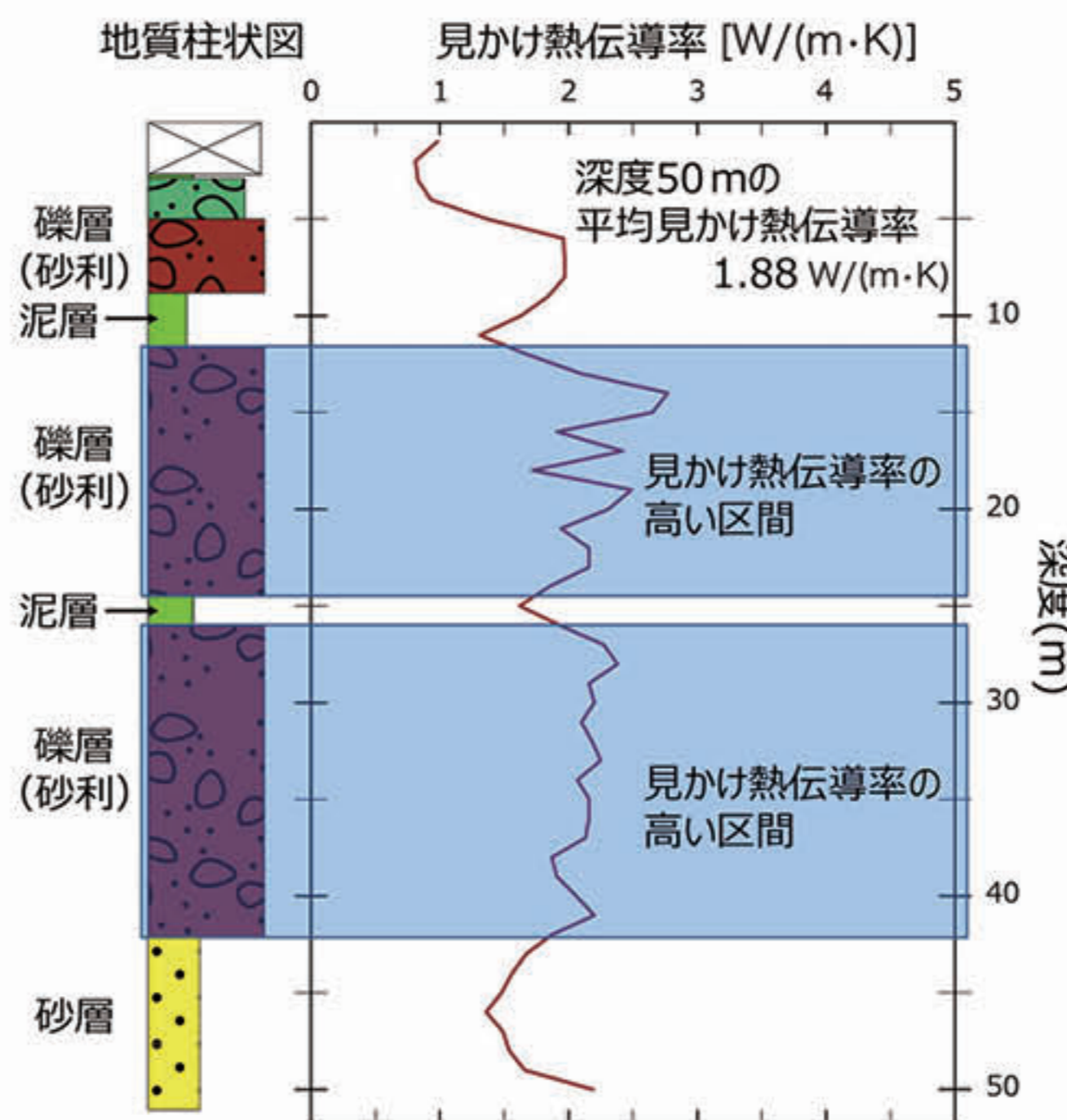
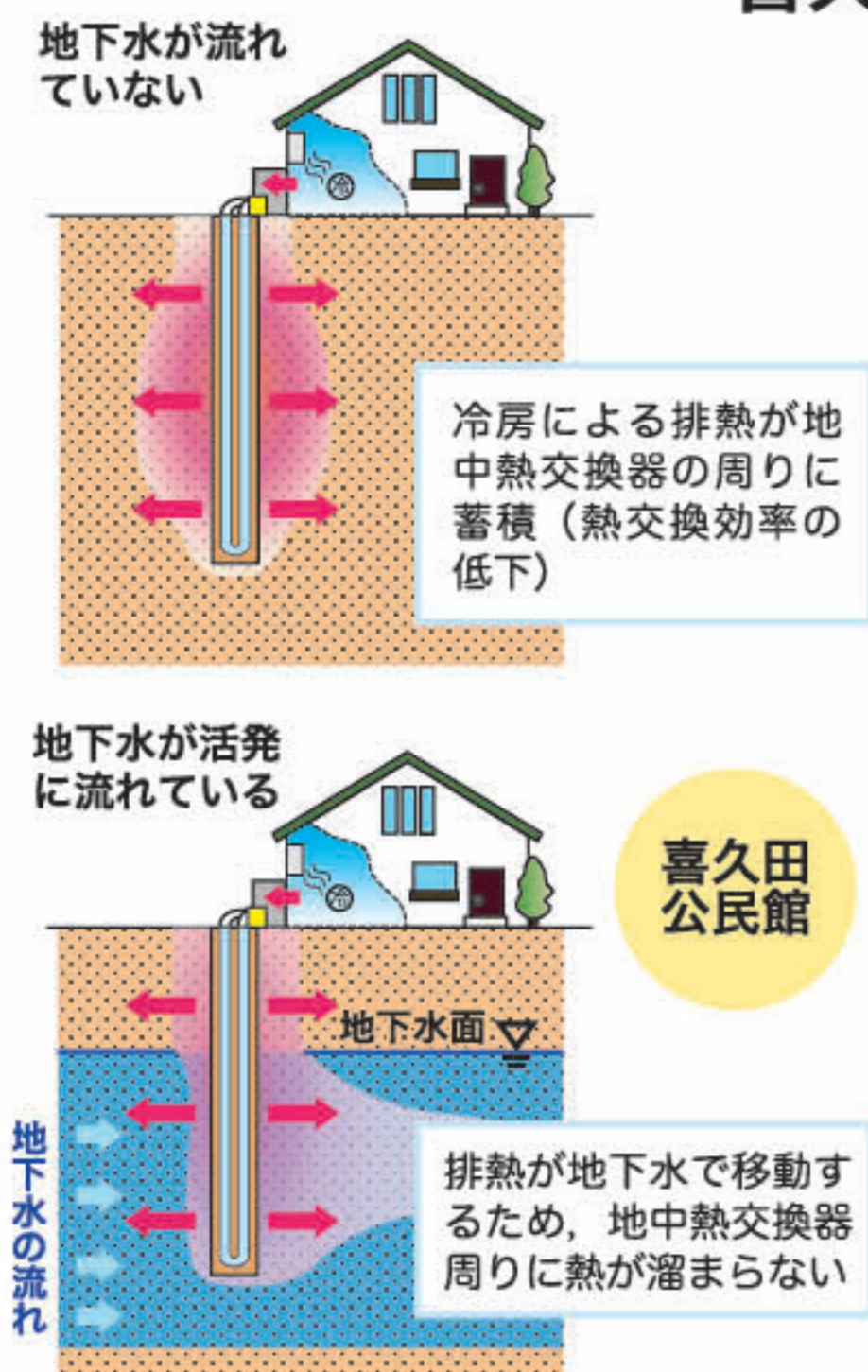
# 地中熱利用システムの実証事例

## 2. 喜久田公民館（福島県郡山市）

2019年2月、産総研の地中熱チームは福島県郡山市喜久田公民館の敷地内で、熱応答試験による地層の「見かけ熱伝導率」の測定を実施しました。その結果、地質・地下水の環境が地中熱利用に適していることが分かりました。そこで、郡山市との共同研究として、喜久田公民館内の浴室休憩室に地中熱ヒートポンプシステムを導入

し、太陽光発電と地中熱を組み合わせた「ゼロエミッション再エネ熱利用」の基礎データを収集しています。これにより、ZEB（ゼロエネルギービルディング）やZEH（ゼロエネルギーハウス）への地中熱利用システムの普及を目指します。

### 喜久田公民館の地中熱利用システムの特徴



長さ50mの地中熱交換器1本で浴室休憩室の冷暖房運転を実現

※通常、地中熱交換器は100m程度の長さが必要

- 2019年2月に喜久田公民館でケーブル方式熱応答試験を実施（2018年度産総研シーズ事業）
- 深度50mの平均見かけ熱伝導率 1.88 W/(m·K) **全国平均（1.2~1.4程度）よりも高い**
- 深度別の見かけ熱伝導率を見ると（図2）、礫層の区間で高い傾向にある **礫層で地下水が活発に流れている可能性大**

図1 地下水流動が地中熱交換に与える影響。

図2 喜久田公民館敷地における地質柱状図（左）および見かけ熱伝導率の深度分布（右）。

### 太陽光と地中熱の適正な組合せにより再エネ熱利用が可能に

太陽光と地中熱を組合せた空調システムを開発するための基礎データを収集中

太陽光パネルの発電量と地中熱ヒートポンプの消費電力をモニタリング

太陽光パネルの1日の発電量 (kWh) > ヒートポンプの1日の消費電力 (kWh)

雨の日の太陽光発電量でも地中熱ヒートポンプは稼働可能



図3 喜久田公民館の太陽光発電量と地中熱ヒートポンプ消費電力の利用条件。外観（左）、地中熱ヒートポンプ設置の様子（右）。

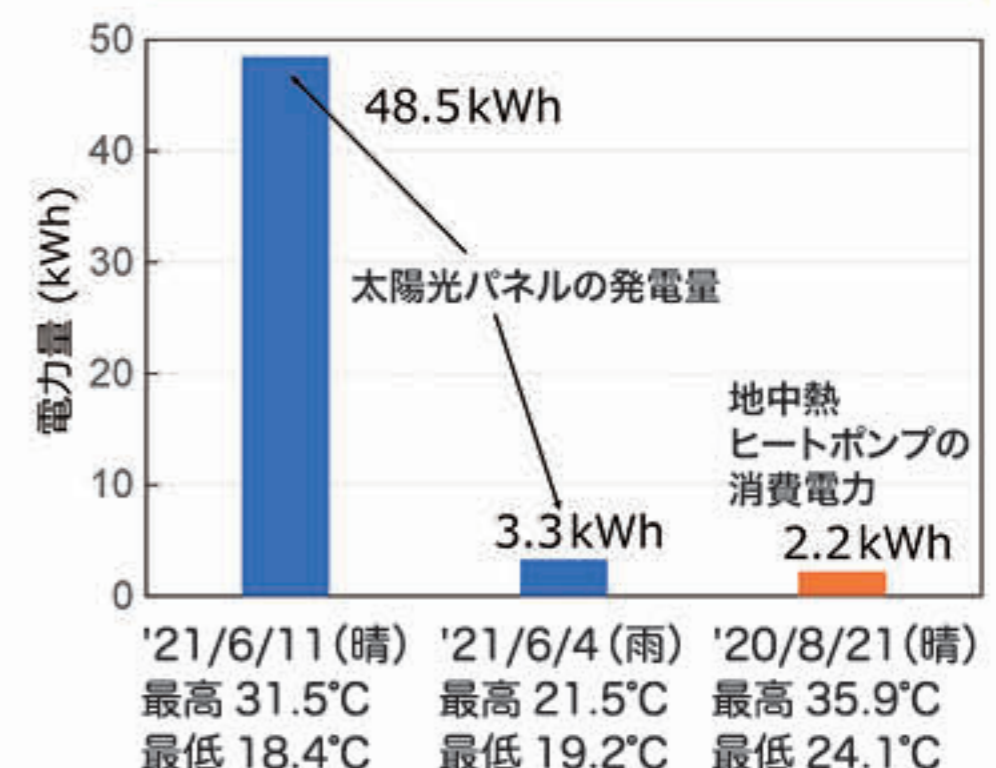


図4 太陽光パネルの発電量と地中熱ヒートポンプの消費電力。

## 海外における利用事例

# タイ・ベトナムにおける研究活動

2000年以降、東南アジア諸国は年平均5.2%の急速な経済成長を遂げ、エネルギー需要が増加しています。東南アジアの総発電量は、2000年の370 TWhから2020年の1,111 TWhまで増加し、2020年の総発電量の78%が化石燃料（石炭、天然ガス、石油）に由来しています。さらに、東南アジアではエアコンの需要も急増しています。東南アジアの脱炭素化や省エネルギー化を進める上で、地中熱ヒートポンプシステムの導入は有効な対策の一つとなり得ます。

産総研では、CCOP（東・東南アジア地球科学計画調整委員会）のプロジェクトの下、東南アジアにおける地中熱利用システムに関する適用可能性の調査研究を行っています。これまでにタイ、ベトナムの大学や国立研究機関と連携し、タイ国立地質博物館およびベトナム地球科学鉱物資源研究所に地中熱ヒートポンプシステムを導入して空調効果の実証試験を行っています。



写真1. タイ地質博物館での地中熱交換パイプ設置の様子（左）と博物館お土産ショップの地中熱ヒートポンプシステム（右）。



写真2. ベトナム地球科学鉱物資源研究所に設置された地中熱ヒートポンプシステム（左）、建物でのヒートポンプ機能にはエアコンの機器を利用（右）。

## さらなる普及に向けて

# 1. より効率の高い熱交換器の開発

産総研地中熱チームでは、一般的なクローズドループ式システムとオープンループ式システムを比較しながら、設置コストが低く、地中での熱交換能力の高い「高効率熱交換器」の開発を福島県内の民間企業との共同研究で推進しました。いずれも、地域の地質・地下水環境の特性を活かした地中熱交換器です。日本では、現在でも地下水を利用している家庭や工場が多くあります。そのような場所に地中熱利用システムを導入する場合、新たに地中を掘削して熱交換器を施工するよりも、すでにある井戸の地下水を用いるタンク型熱交換器（図1）を利用した方が初期コストを大きく削減することが可能となります。また、地下水の流れが速い場所では、地下水移流型熱交換器（図2）を、自然に水が湧き出る場所では自噴井利用型熱交換器（図3）を施工することで、一般的なクローズドループ式システムよりも熱交換能力が高くなることが見込まれます。

### タンク型熱交換器

- 地中熱システムの初期コストとランニングコストを削減
- 熱交換性能が高く、少ない地下水使用量で運用可能
- 水質の良くない井戸水にも対応可、メンテナンスが容易

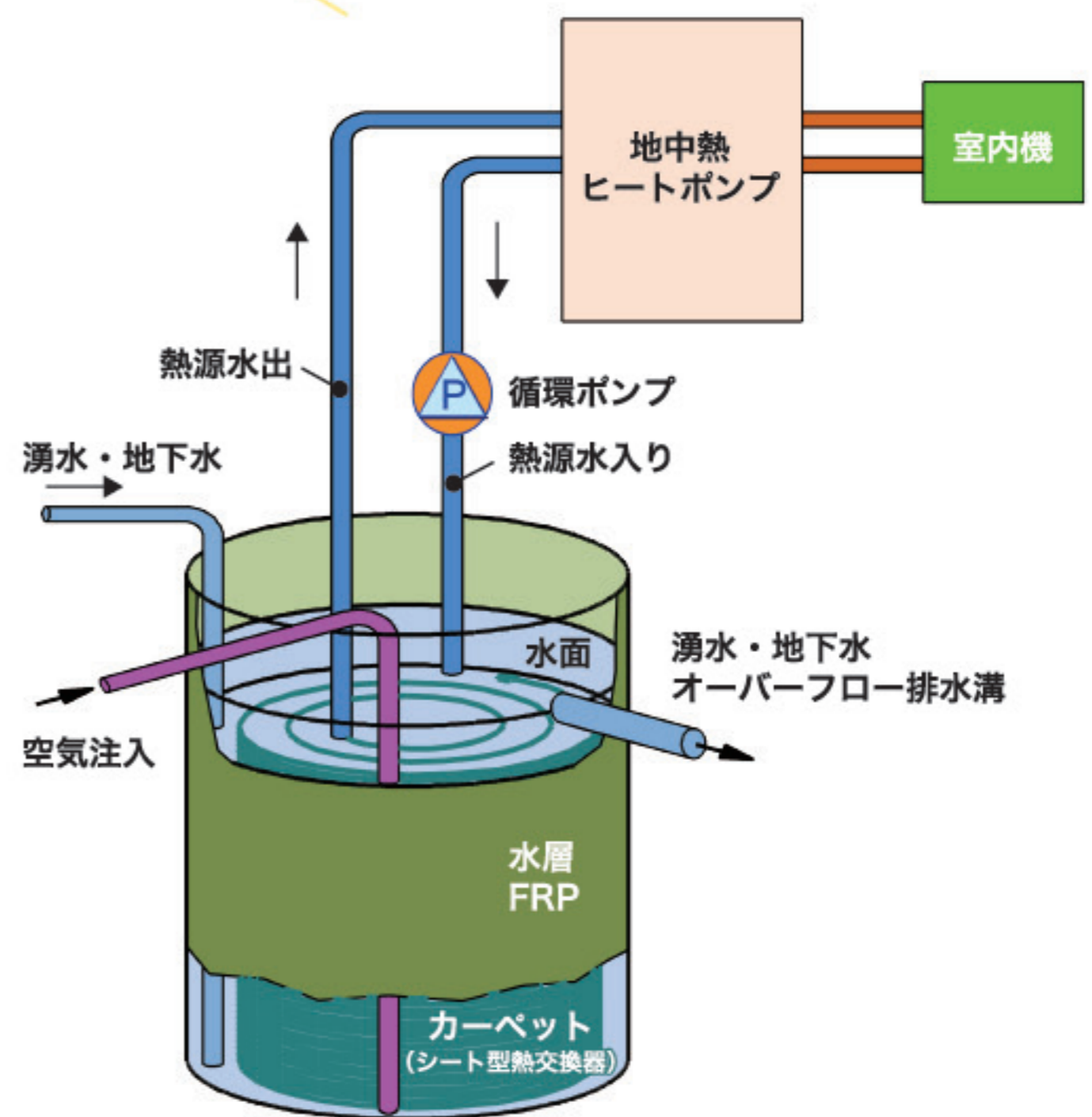


図1 タンク型熱交換器。

### 地下水移流型熱交換器

- 特別な動力を使用せずに熱交換能力を向上
- 地下水流動の効果により、暖房・冷房による温度低下・上昇は夜間にほぼ解消され、期間を通して熱交換性能を維持
- 長さ50m×1本の熱交換器で5kWヒートポンプを1.5～2台運用可能

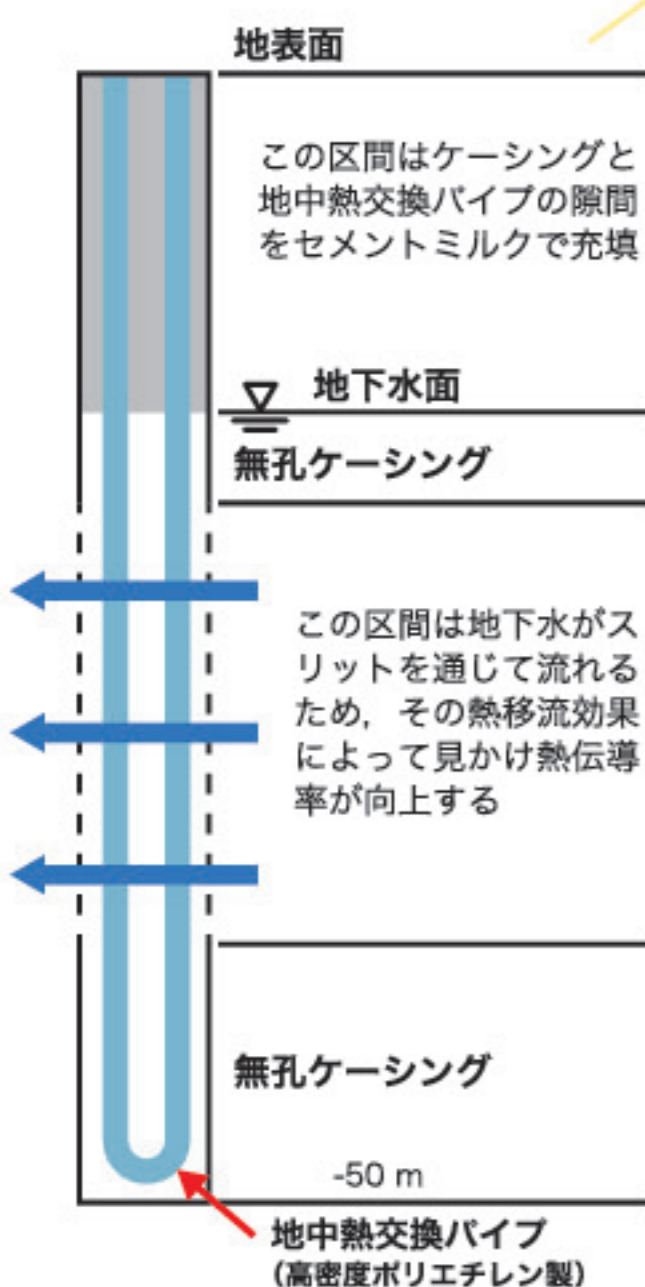


図2 地下水移流型熱交換器。

### 自噴井利用型熱交換器

- 自然に水が湧き出る（自噴）場所で、自噴する井戸内に熱交換チューブを設置する方式
- 井戸内の水温で電動弁の開閉を制御
- 弁が開くと、特別な動力なしで井戸内に地下水の上昇流が発生（自噴）
- 井戸内の地下水が入れ替わることで、井戸内の水温が回復し、採熱効率が上がる
- ★ 排水された地下水は冬期は消雪、夏期は散水と他用途に利用可能、災害時には水源としても使用可

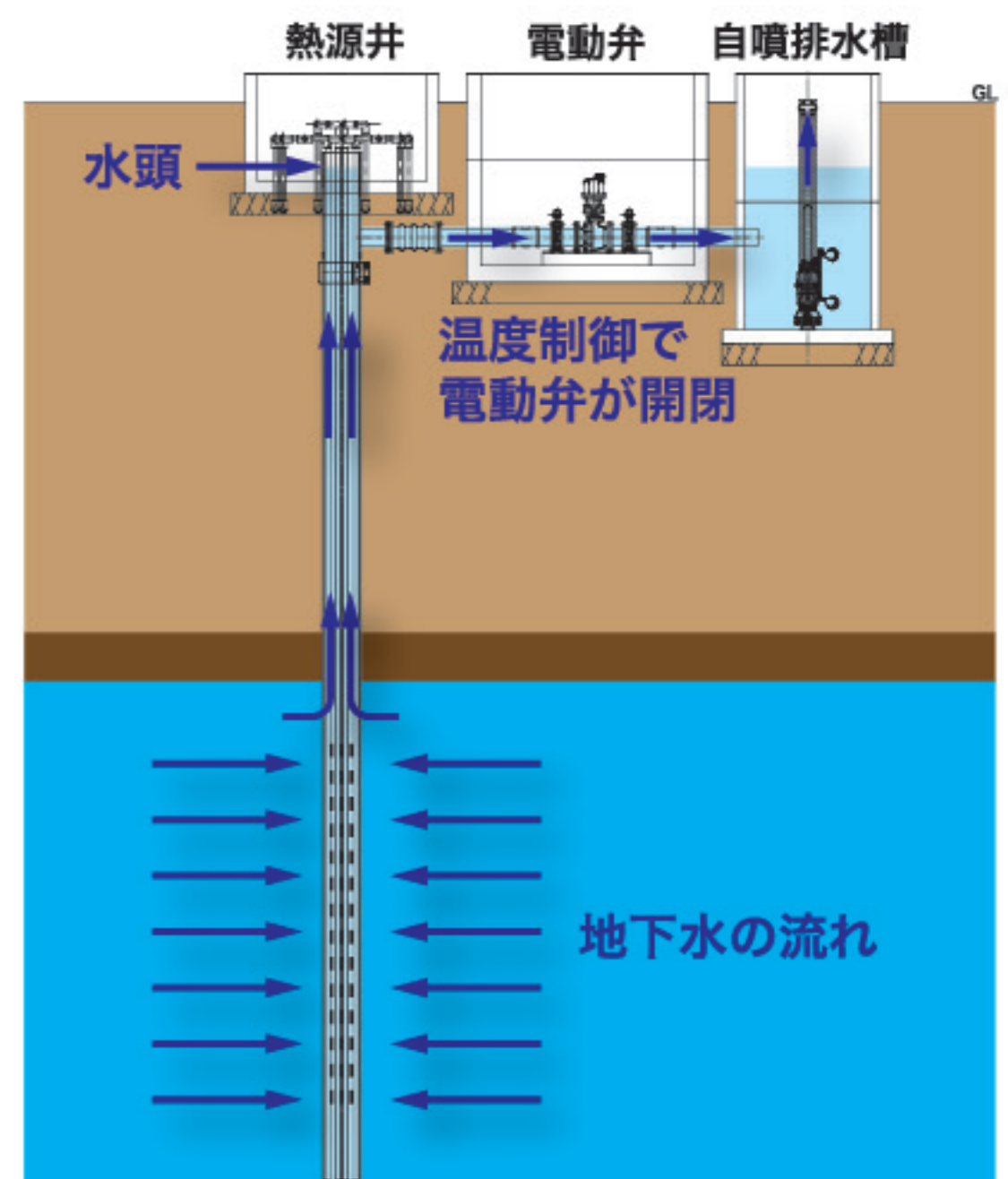


図3 自噴井利用型熱交換器。

さらなる普及に向けて

## 2. 農業への適用

産総研福島再生可能エネルギー研究所では、2013年度より東北地方太平洋沖地震（2011年）による被災地3県（岩手、宮城、福島）の企業を対象として、再生可能エネルギー技術の開発に向けた技術支援を実施しています。その中で、地中熱研究の農業分野への展開を図り、2021年度事業として「エネルギー消費量の多い亜熱帯性植物栽培における地中熱利用最適制御システム」の技術支援を行いました。福島県広野町の熱帯フ

ルーツ栽培ハウスにおいて、室温管理に使用する灯油燃料の削減のため、地中熱利用システムと従来の機器（灯油燃料加温機）を合わせたハイブリッド方式を設計・構築し、その省エネ性能の実証試験を実施しました。その結果、ハイブリッド方式では、従来の方式と比較して灯油使用量40%、CO<sub>2</sub>排出量47%の削減を達成することができました。



図1 地中熱システムの開発における連携。



図2 熱帯フルーツ栽培ハウスにおける省エネ性能の実証試験。地中熱と灯油加温のハイブリッド方式（西側区画）を構築し、従来方式（東側区画）と比較・検討。

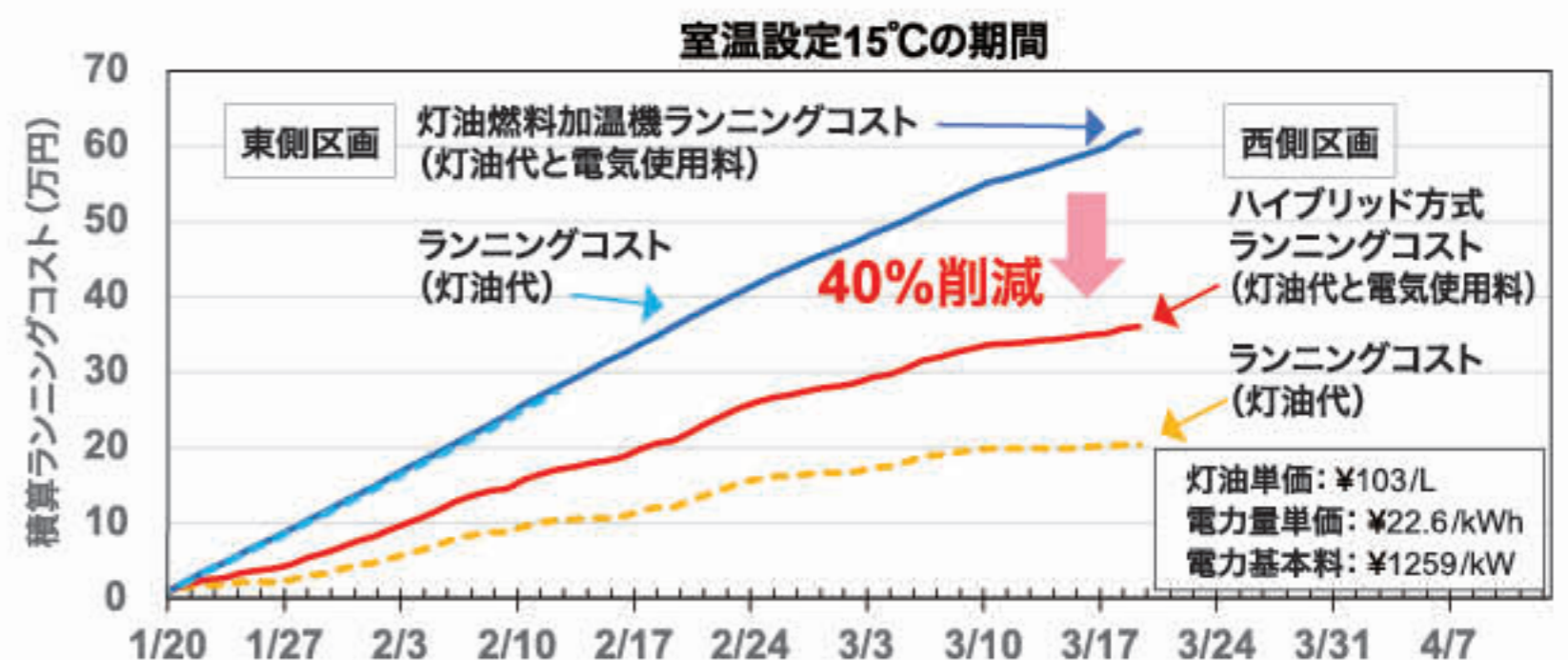


図3 灯油加温機とハイブリッド方式のランニングコスト比較。ランニングコスト（灯油代と電気使用料）40%削減を達成（灯油のみでは65%削減）。

さらなる普及に向けて

### 3. 大規模化による地域への熱供給

地中熱をより多くの皆さんに利用してもらうためには、地中熱利用システムの大規模化を図っていく必要があります。大規模化の一つの方法が「地域熱供給」です。

2021年10月に閣議決定された第6次エネルギー基本計画<sup>\*1</sup>では、地中熱を含む再生可能エネルギー熱を地域性の高い重要なエネルギー源と位置づけています。同計画では「複数の需要家群で熱を面的に融通する取組」の支援について言及しており、その手段として考えられるのが地域熱供給です。

地中熱を利用する地域熱供給としては、一カ所にまとめて設置する地中熱ヒートポンプシステムで冷水や温水を製造し、熱を利用したいオフィスや家庭に対して製造した温冷水を供給する「セントラル方式」(図1)が、東京スカイツリータウン<sup>\*2</sup>や田町駅東口北地域<sup>\*3</sup>などで導入されています。熱をまとめて製造し供給することにより、省エネやCO<sub>2</sub>排出量の削減で大きな効果が期待できます。

また、海外に目を向けると、「熱源水ループ方式」(図2)と呼ばれる地域熱供給も行われています。これは、ヒートポンプの熱源水を複数のオフィスや家庭で融通し、各建物で個別にヒートポンプを利用して必要な熱を製造する方式です。建物ごとに必要とする熱の量や温度が異なることも多いため、利用者側の条件と地域性を考慮して、今後、様々な地域熱供給事業が行われることが期待されます。

<sup>\*1</sup> 経済産業省資源エネルギー庁 web サイト ([https://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic\\_plan/](https://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic_plan/)) : 2022/12/22 閲覧

<sup>\*2</sup> 事業者：株式会社東武エネルギーマネジメント

<sup>\*3</sup> 事業者：東京ガスエンジニアリングソリューションズ株式会社

セントラル方式

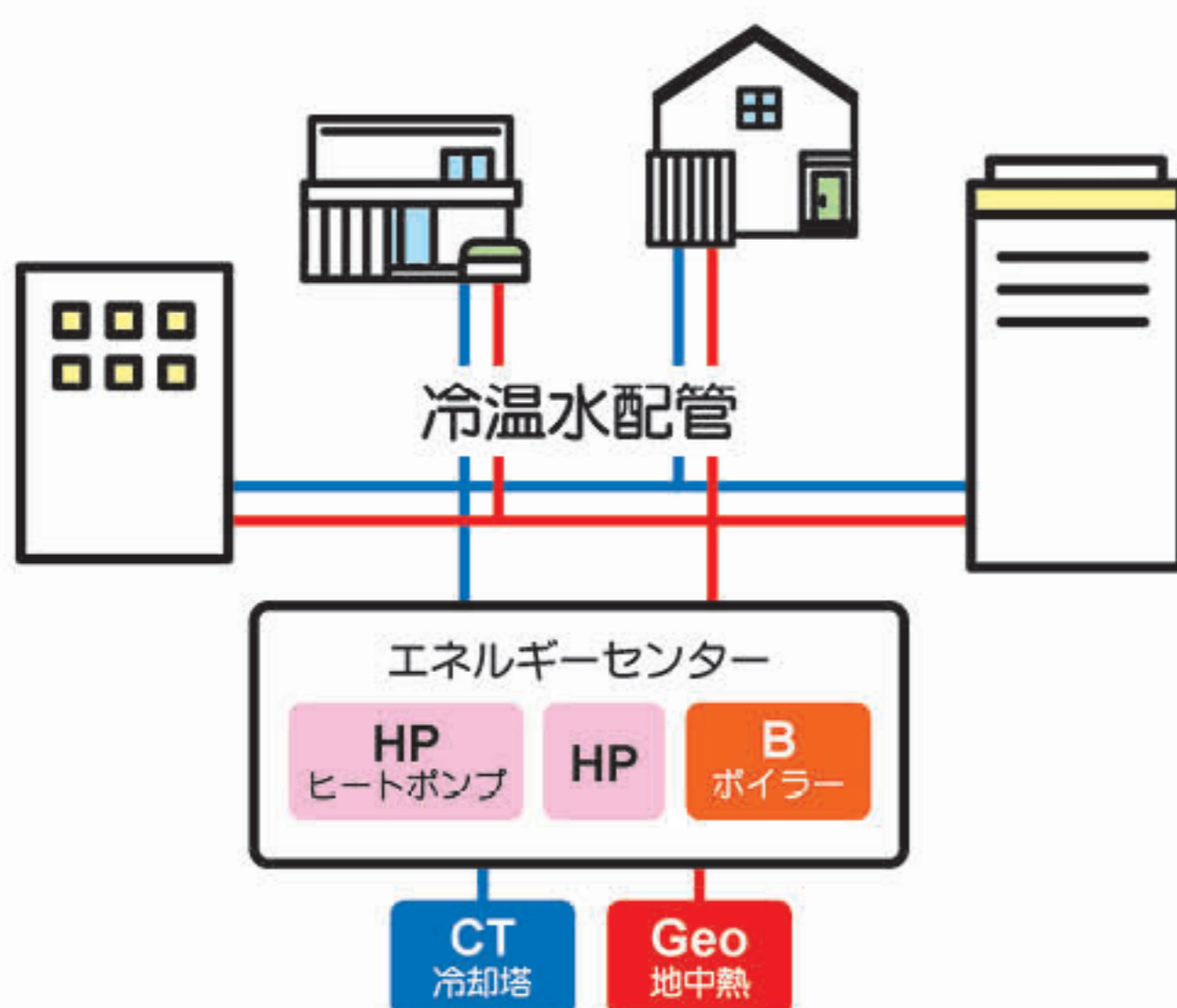


図1 地域熱共有 (セントラル方式).

熱源水ループ方式

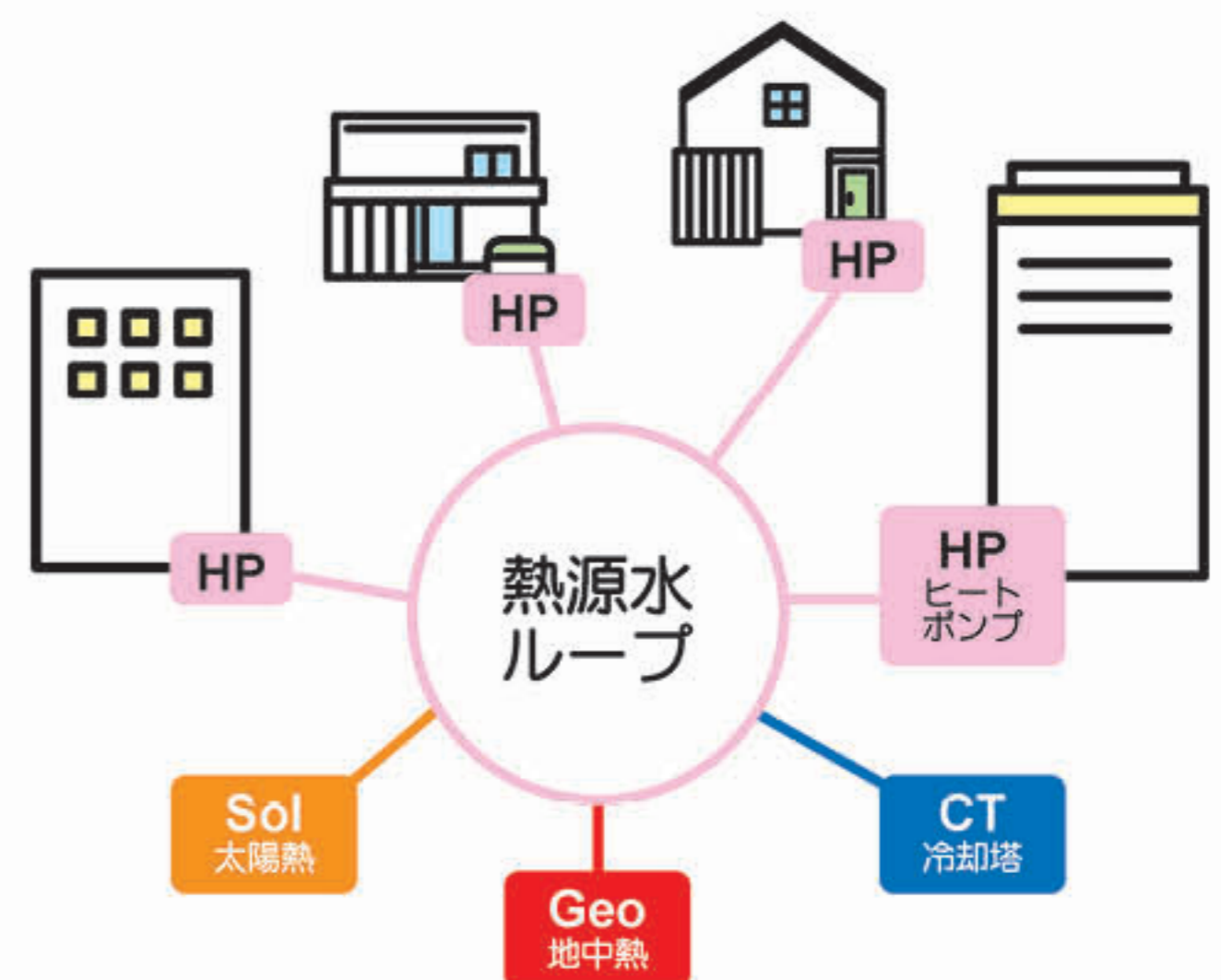


図2 地域熱共有 (熱源水ループ方式).

## 【参考資料】

- Ishihara, T., Shrestha, G., Kaneko, T. 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(8), 2098. <https://doi.org/10.3390/en11082098>
- 石原武志・鈴木毅彦 (2019) 郡山盆地における浅部地下の地形と地質構造. 日本地理学会発表要旨集, 96, 122.
- 船引彩子・宮地良典・木村克己 (2011) ボーリングデータベースに基づく越後平野の沖積層モデル. 海陸シームレス地質情報集, 新潟沿岸域, 数値地質図 S-2, 地質調査総合センター. [https://www.gsj.jp/data/coastal-geology/GSJ\\_DGM\\_S2\\_2011\\_09\\_a.pdf](https://www.gsj.jp/data/coastal-geology/GSJ_DGM_S2_2011_09_a.pdf)
- 環境省 (Web サイト) 地中熱関係. <https://www.env.go.jp/seisaku/list/thermal.html>
- 経済産業省資源エネルギー庁 (Web サイト) エネルギー基本計画について. [https://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic\\_plan/](https://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic_plan/)
- NEDO (2019) 平成 26 年度～平成 30 年度報告書「再生可能エネルギー熱利用技術研究開発/地中熱利用トータルシステムの高効率化技術開発及び規格化、および再生可能エネルギー熱利用のポテンシャル評価技術の開発/地下水を利活用した高効率地中熱利用システムの開発とその普及を目的としたポテンシャルマップの高度化」, 236p.
- NPO 法人地中熱利用促進協会 (Web サイト) 地中熱利用の概要. <http://www.geohpaj.org/introduction/index1>
- 産総研地圏資源環境研究部門 (Web サイト) 地中熱ポテンシャルマップ. <https://unit.aist.go.jp/georesenv/product/GSHP.html>
- 地中熱ポテンシャルマップ 青森県 津軽平野 <https://unit.aist.go.jp/georesenv/product/GSHP/Tsugaru.html>
- 地中熱ポテンシャルマップ 秋田県 秋田平野 <https://unit.aist.go.jp/georesenv/product/GSHP/Akita.html>
- 地中熱ポテンシャルマップ 福島県 郡山盆地 <https://unit.aist.go.jp/georesenv/product/GSHP/Koriyama.html>
- 地中熱ポテンシャルマップ 宮城県 仙台平野 <https://unit.aist.go.jp/georesenv/product/GSHP/Sendai.html>
- 地中熱ポテンシャルマップ 山形県 山形盆地 <https://unit.aist.go.jp/georesenv/product/GSHP/Yamagata.html>
- 内田洋平・吉岡真弓・シュレスタ ガウラブ・富樫聡・石原武志 (2019) 大阪平野における地中熱ポテンシャルマップ. 地質調査総合センター速報, no.78, 36p. <https://www.gsj.jp/publications/pub/prompt-rep/index.html>
- Widiatmojo, A., Gaurav, S., Ishihara, T., Tomigashi, A. and Yasukawa, K. (2019) Experiments using capillary mat as ground heat exchanger for ground source heat pump heating application. *Energy and Power Engineering*, 363–378. <https://doi.org/10.4236/epe.2019.1111024>
- Widiatmojo, A., Gaurav, S., Ishihara, T. and Yasukawa, K. (2020) Using a capillary mat as a shallow heat exchanger for a ground source heat pump system. *Energy and Buildings*, 209, 109684. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109684>
- Widiatmojo, A., Uchida, Y., Fujii, H., Kosukegawa, H., Takashima, I., Shimada, Y., Chotpantarat, S., Charusiri, P. and Tran, T. T. (2021) Numerical simulations on potential application of ground source heat pumps with vertical ground heat exchangers in Bangkok and Hanoi. *Energy Reports*, 7, 6932–6944. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2021.10.069>
- 吉岡真弓・石原武志・内田洋平 (2020) 地中熱利用における地下浅層の熱伝導率の分布に関する検討. 日本地熱学会誌, 42, 93–111. 各資料の URL は 2023 年 3 月 29 日に最終確認.

## もっと もっと知るための Webサイト



### NPO法人地中熱利用促進協会 地中熱利用の概要

<http://www.geohpaj.org/introduction/index1>



### 産総研 地圏資源環境研究部門 地中熱ポテンシャルマップ

<https://unit.aist.go.jp/georesenv/product/GSHP.html>



### 産総研 福島再生可能エネルギー 研究所 (FREA)

<https://www.aist.go.jp/fukushima/>



## 【執筆】

内田洋平	地質調査総合センター 地圏資源環境研究部門
富樫 聡	エネルギー・環境領域 再生可能エネルギー研究センター
Shrestha Gaurav	エネルギー・環境領域 再生可能エネルギー研究センター
石原武志	エネルギー・環境領域 再生可能エネルギー研究センター
Arif Widiatmojo	エネルギー・環境領域 再生可能エネルギー研究センター
町田 功	地質調査総合センター 地圏資源環境研究部門
吉岡真弓	地質調査総合センター 地圏資源環境研究部門

## 【編集】

内田洋平	地質調査総合センター 地圏資源環境研究部門
森田澄人	地質調査総合センター 地質情報基盤センター
瀬戸口希	地質調査総合センター 地質情報基盤センター

## 【デザイン・レイアウト】

都井美穂	地質調査総合センター 地質情報基盤センター
------	-----------------------

【発行】 2023年4月25日

## 【発行元】

国立研究開発法人産業技術総合研究所 地質調査総合センター  
〒305-8567 茨城県つくば市東 1-1-1 中央第 7  
<https://www.gsj.jp>

地質調査総合センター研究関連普及出版物 No.233, G75186

