

大阪平野における 地中熱ポテンシャルマップについて

国立研究開発法人 産業技術総合研究所
再生可能エネルギー研究センター
(兼)地質調査総合センター 地下水研究グループ付
地中熱チーム 研究チーム長 内田 洋平

SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS

世界を変えるための17の目標

「SDGs」とは

- 国連は、極度の貧困、不平等・不正義をなくし、私たちの地球を守るための計画「アジェンダ2030」を2015年9月25日採択
- この中で「**持続可能な開発目標 SDGs** :Sustainable Development Goals」記載
- 17の目標と169のターゲットに全世界が取り組むことによって**誰も取り残されない世界を実現**しようという壮大なチャレンジ
- ある食品会社の事業とSDGs達成目標の関係



SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS

世界を変えるための17の目標

<p>1 貧困をなくそう</p> <p>貧困</p>	<p>2 飢餓をゼロに</p> <p>飢餓</p>	<p>3 すべての人に健康と福祉を</p> <p>保健</p>	<p>4 質の高い教育をみんなに</p> <p>教育</p>	<p>5 ジェンダー平等を実現しよう</p> <p>ジェンダー</p>	<p>6 安全な水とトイレを世界中に</p> <p>水・衛生</p>
<p>7 エネルギーをみんなにそしてクリーンに</p> <p>エネルギー</p>	<p>8 働きがいも経済成長も</p> <p>成長・雇用</p>	<p>9 産業と技術革新の基盤をつくろう</p> <p>イノベーション</p>	<p>10 人や国の不平等をなくそう</p> <p>不平等</p>	<p>11 住み続けられるまちづくりを</p> <p>都市</p>	<p>12 つくる責任つかう責任</p> <p>生産・消費</p>
<p>13 気候変動に具体的な対策を</p> <p>気候変動</p>	<p>14 海の豊かさを守ろう</p> <p>海洋資源</p>	<p>15 陸の豊かさも守ろう</p> <p>陸上資源</p>	<p>16 平和と公正をすべての人に</p> <p>平和</p>	<p>17 パートナーシップで目標を達成しよう</p> <p>実施手段</p>	<p>SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS</p> <p>2030年に向けて世界が合意した「持続可能な開発目標」です</p>

出典：国連広報センター（日本語キーワードは外務省作成資料）

2030アジェンダ文書

自治体はSDGs実施における不可欠な主体でありパートナー

- ◆ 「政府と公共団体は、**地方政府**、地域組織、国際機関、学術組織、慈善団体、ボランティア団体、その他の団体と密接に実施に取り組む。」(パラ45)
- ◆ 我々の旅路は、政府、国会、国連システム、国際機関、**地方政府**、先住民、市民社会、ビジネス・民間セクター、科学者・学会、そしてすべての人々を取り込んでいくものである。(パラ52)



滋賀県で開催された「サステナブル滋賀 × SDGs」イベントで講演するトーマス・ガス国連事務局経済社会局次長(6月1日)

SDGs実施指針(「5 実施に向けた体制」より抜粋)

- ◆ SDGsを全国的に実施するためには、広く**全国の地方自治体及びその地域で活動するステークホルダー**による積極的な取組を推進することが不可欠である。この観点から、各地方自治体に、**各種計画や戦略、方針の策定や改訂に当たってはSDGsの要素を最大限反映することを奨励**しつつ、関係府省庁の施策等も通じ、関係するステークホルダーとの連携の強化等、SDGs達成に向けた取組を促進する。



岸田外務大臣の石川県訪問での発表(6月4日於金沢)



北九州市主催SDGsイベントにて、ていたん君・ブラックていたん君と(6月3日北九州市)



「サステナブル滋賀 × SDGs」イベントに向け、事前記者発表を行う三日月滋賀県知事(左)、同イベントのパネルディスカッション(右)(6月1日)



再生可能エネルギー「熱利用」

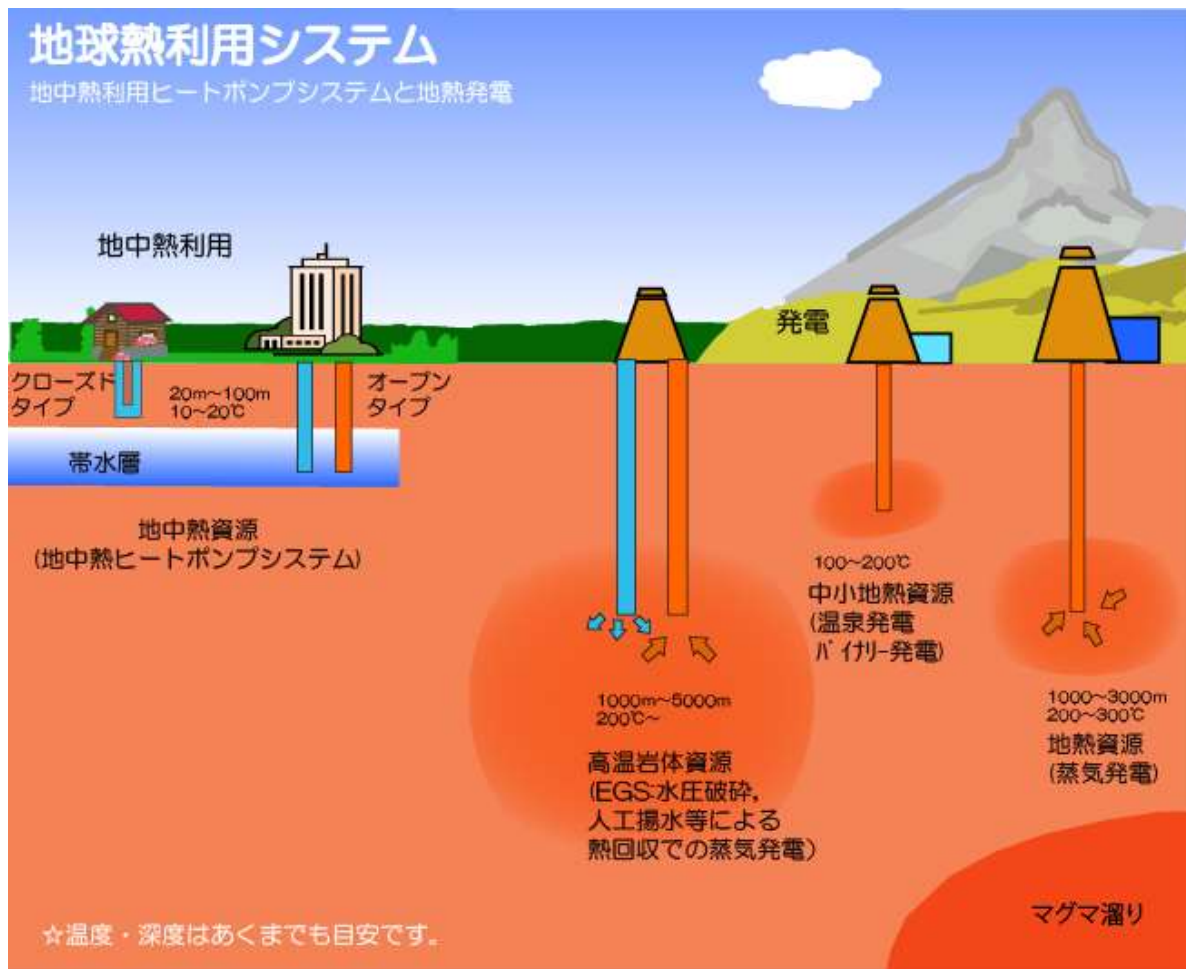
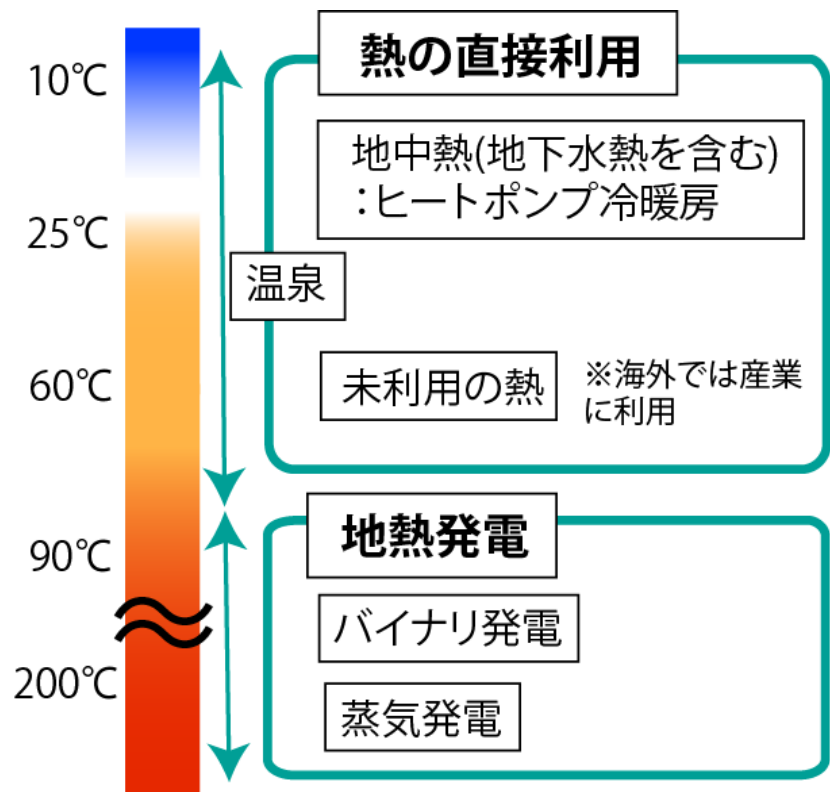
「発電」は電気をつくることが目的



「熱利用」は電気を使わないこと（省エネ）が目的



地球の熱を利用するシステム



様々な地球熱利用システムの形態と温度範囲 (NEDO, 2006より)

地中熱利用の原理



夏と冬の井戸水の感じ方の違い

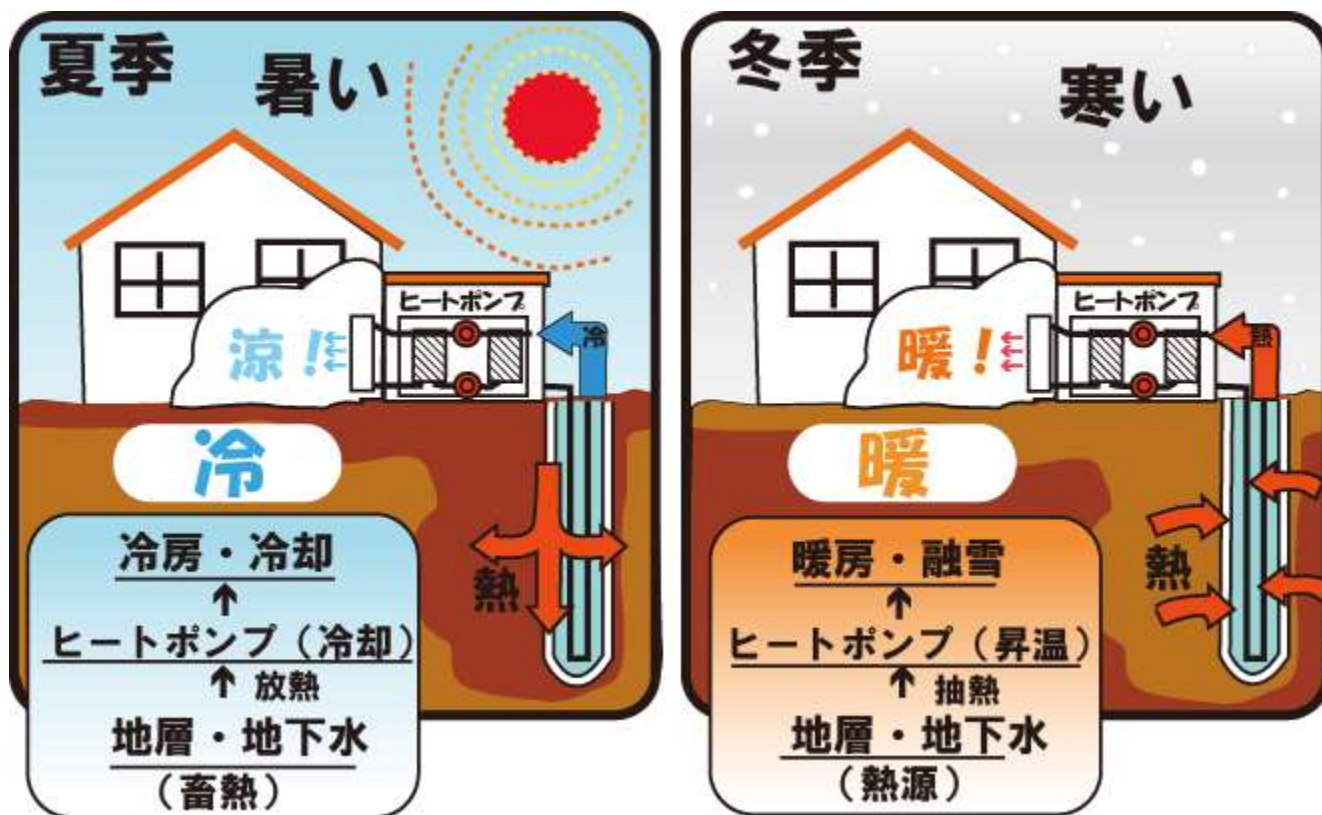
井戸水は一年中15°C(関東の場合)と一定なので、夏は冷たく、冬は暖かく感じる

古い地中熱の利用方法



伝導で伝わる地下からの熱を利用 →
(茨城県 上高津貝塚公園の竪穴式住居)

地中熱ヒートポンプを用いた冷暖房



- ◆ 地中の温度は年間を通してほぼ一定 (関東の場合, 地下50mで16度前後)
- ◆ 夏は外気より冷たく, 冬は外気より暖かいという地中温度と外気温との温度差が生じる
- ◆ この温度差を利用し, 地中熱をヒートポンプの熱源とするシステム (COP 3.5以上)

※ COP: 消費電力1kWあたりの冷却・加熱能力を表した値, 成績係数
 冷房機器の場合 「冷房能力(kW)÷冷房消費電力(kW)=冷房COP」
 空気熱源ヒートポンプのCOP平均値 2.8 (NEDO資料より)

地中熱の特徴と導入事例

◆地中熱の特徴

- ① **【再生可能エネルギー】** に位置付けられる低温熱源
- ② 地中熱利用技術は、発電ではなく **【省エネ技術】**
- ③ 通年で一定温度の地中熱は **【どこにでも存在する】**
- ④ 地域特性 **【地下水・地質】** でポテンシャルが決まる

◆地中熱利用システムの導入事例

東京スカイツリー（空調）

J Pタワー（空調）

J R東北本線福島駅（駅空調）

I K E A立川（空調）

羽田空港国際線ターミナル（空調）

東京スクエアガーデン（空調）

小田急電鉄（駅空調）

長野市役所（空調） 他多数

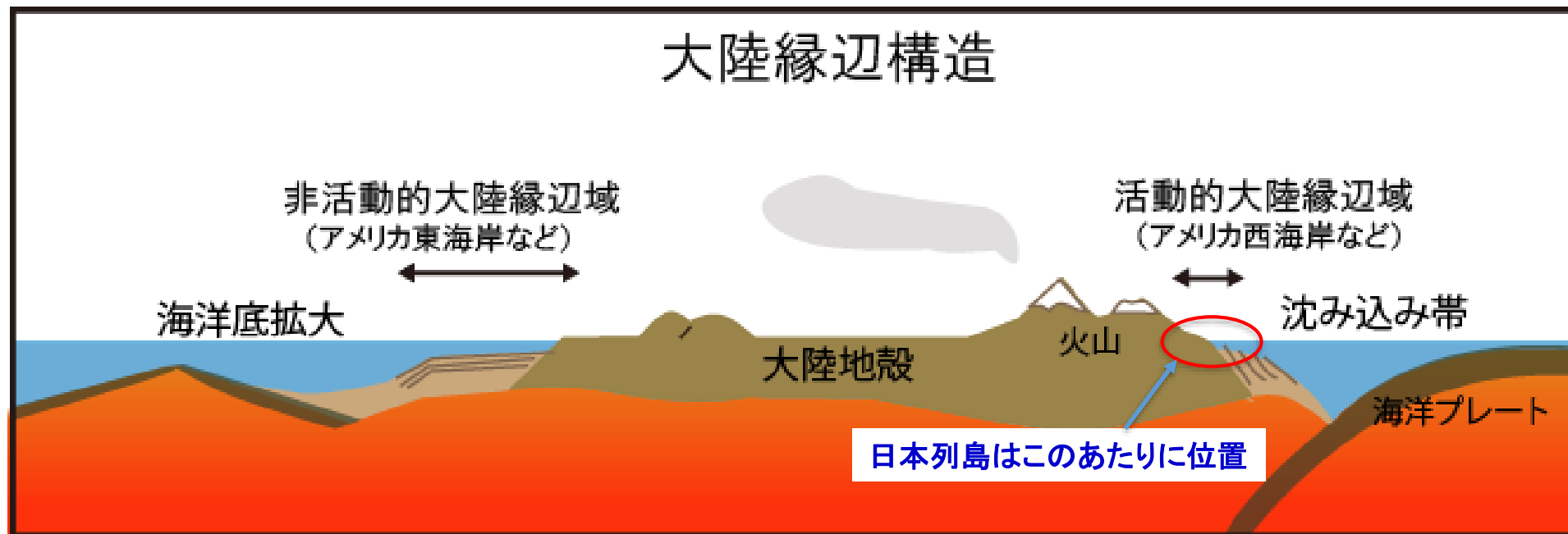
都心の大規模施設の再エネ選択は「地中熱」へ

日本の地中熱研究では 地質や地下水の情報が重要

- 地中熱ヒートポンプシステムは、北米や北欧を中心に発展
- 上記の国々では、1970年代のオイルショックを契機に、化石燃料から自然エネルギーへ政策転換
- 大陸地域の地質は**第四紀層が薄く**、地下数mで岩盤が分布
→ システム設計は、**熱の伝導のみ**でOK
- 日本の都市域の地質は**第四紀層が厚く**、地下水が活発に流れている → 環境影響評価やポテンシャル評価には、**熱の伝導だけではなく**、地下水の流れによる**熱の移流効果**を考慮する必要がある
- 地下水の流れを活用した**日本独自のシステム高度化**の可能性あり

第四紀層: 約260万年前から現代までの、人類が出現したり氷河に覆われた時代の地層。砂・礫・泥などで構成されており、軟弱地盤である。

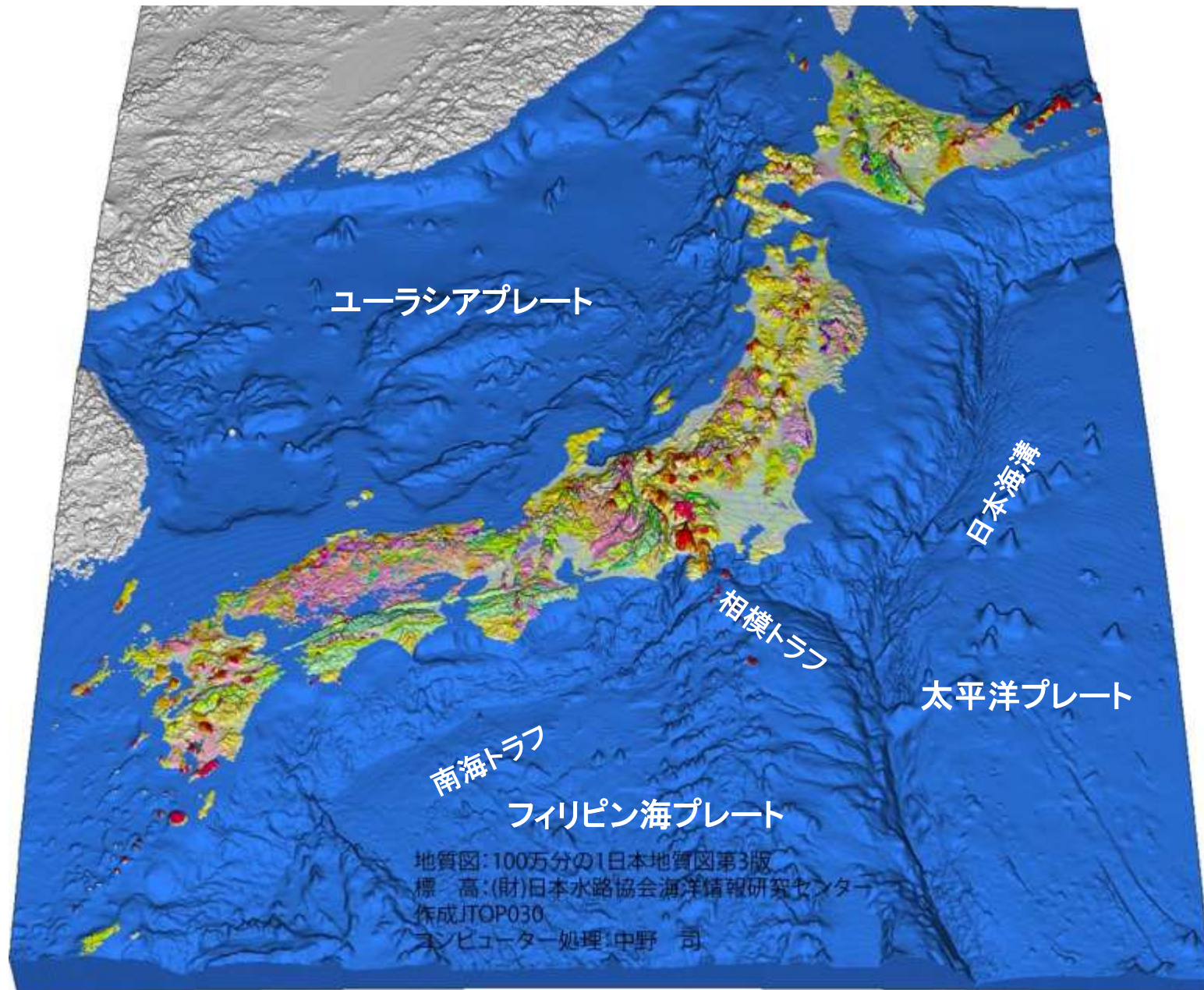
大陸縁辺構造



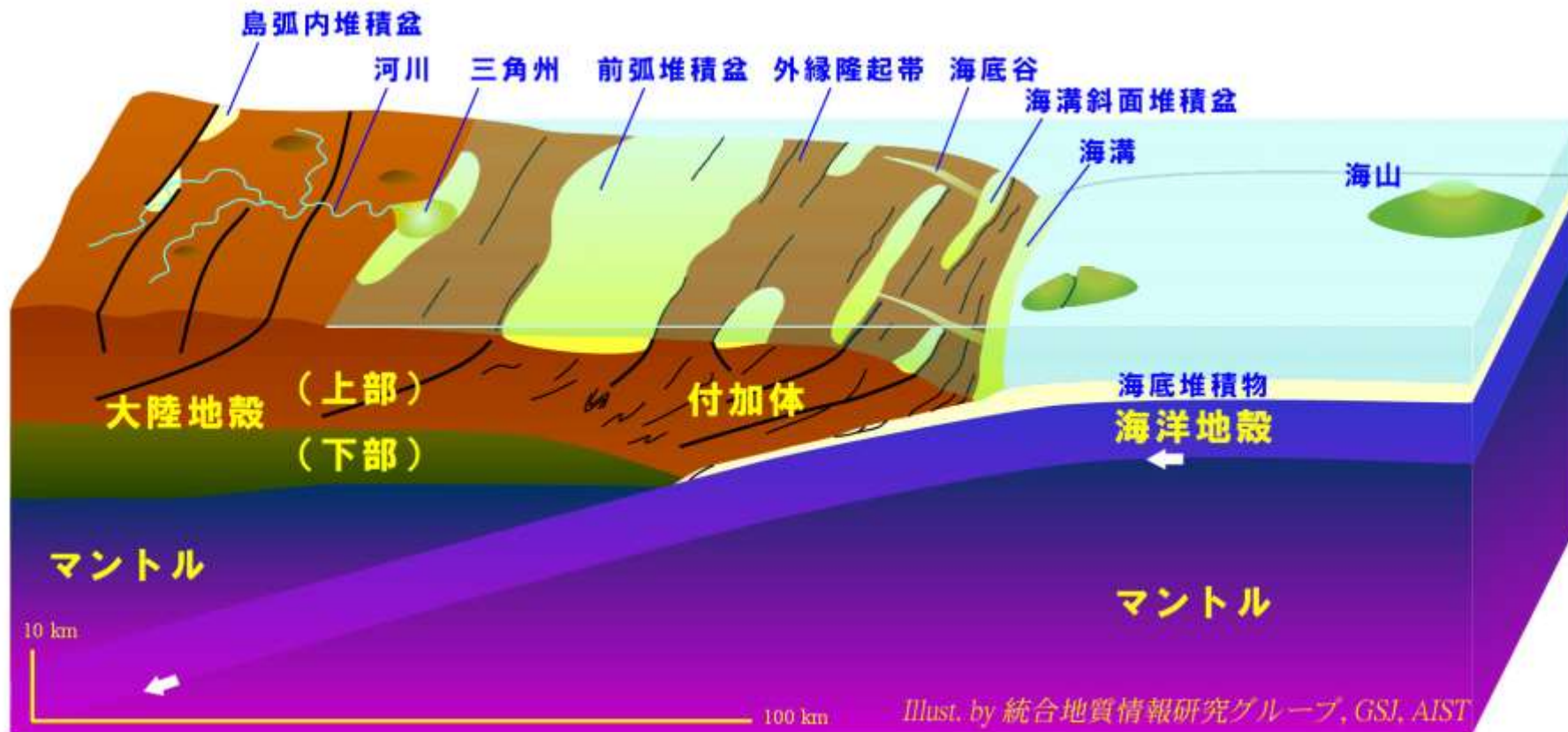
大陸地殻の中央部(安定大陸):

先カンブリア時代(5億7500万年前)以降, 大きな変動を受けず安定である地域。

日本列島の地質 プレートテクトニクス



日本列島の地質 付加帯の基本的構造

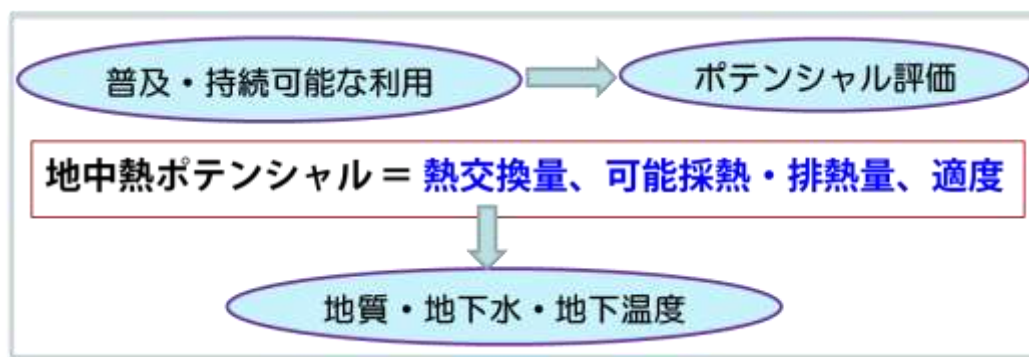


付加体(付加コンプレックス)・・・海洋プレートが別のプレート(別の海洋プレートないし大陸プレート)に沈み込む時に、沈み込まれる側のプレートの前面に、沈み込む側のプレートに乗っていた地層がくっついてできる複雑な地層.

地中熱利用(GSHP)システム:

浅層地下との熱交換により、冷暖房・融雪・給湯を行う**未利用熱の利用技術**
(省エネルギー効果が高い)

省エネ社会を実現するためにGSHPシステムの普及は重要課題

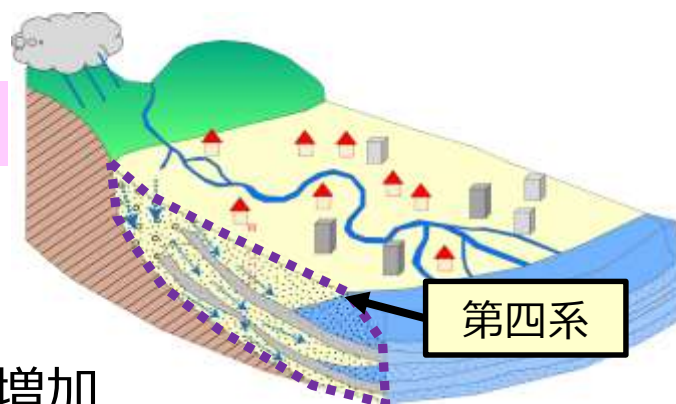


地中熱ポテンシャルマップ
効率的かつ環境調和型の熱利用を前提に作られた開発可能性マップ

地中熱利用システムの**普及**と**持続可能な利用**を目指す

日本の都市 = 平野・盆地に立地

- ・**第四系**の礫・砂・泥など → 豊富な地下水が賦存
- ・地下水流れ(熱の移流効果) → **見かけの熱伝導率**の増加



地域の**地質構造**・**地下水流動**を考慮した地中熱ポテンシャルマップを作成

※浅部：地下100m程度

H26～H30 NEDO 委託業務「再生可能エネルギー熱利用技術開発」

オープンループ

担当：日本地下水開発

① 高効率帯水層蓄熱システムの開発

- ・フィールド試験
- ・自動洗浄機能付きHPの開発
- ・温度変化による運転影響検討

地下水揚水可能地域における
開放式GeoHPシステムのコスト削減

削減効果

イニシャルコスト23%
ランニングコスト31%

クローズドループ

担当：秋田大学

② 人工的な坑井内流れを用いた地中熱交換井の熱交換量増進

- ・フィールド試験
- ・数値シミュレーションによる最適化

地下水揚水不適地域における
閉鎖式GeoHPシステムのコスト削減

削減効果

全体のコストに対して最大約34%の削減が期待

ポテンシャルマップ

担当：産総研

③ 地中熱・地下水熱利用ポテンシャルマップ評価手法の構築

- ・地下水フィールド調査と数値シミュレーション

非充填式坑井を用いたTRT方法確立

TRT解析結果・コア分析によるマップ高度化

各システムの適地選定

地下水揚水可能地域、不適地域の選別手法確立

低コスト化による地中熱利用の普及拡大

大阪平野 地中熱ポテンシャルマップ作成に適用

地中熱ポテンシャルの解析方法

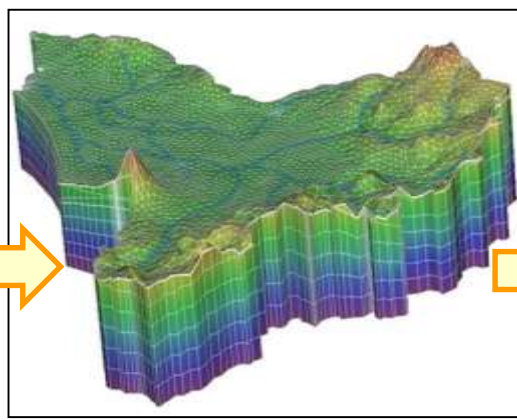
1. 地質調査



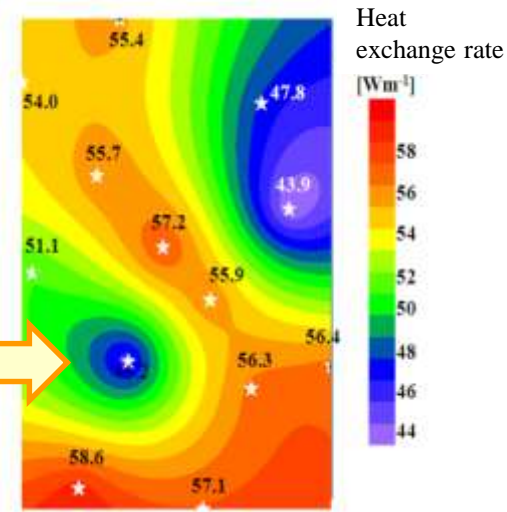
2. 地下水調査



3. 数値モデリング



4. 適地マップ



- ✖ 水理地質データの収集
 - ◆ 地質、地下水位、地表面温度
- ✖ パラメータの推定
 - ◆ 透水係数、熱伝導率
- ✖ 水理地質のデータベース活用

- ✖ 数値シミュレーションで以下を推定
 - 地下水流動、地下水流速、水理水頭、地中温度分布

- ✖ 精緻な設計に役立つ
- ✖ システム導入コストの縮減につながる
- ✖ 社会的課題の解決につながり、地中熱システムの普及を促進

大阪平野 地中熱ポテンシャルマップと説明書

産総研・地質調査総合センター HP

<https://www.gsj.jp/HomePageJP.html>

「出版物とサービス」



その他の出版物

↓
地質調査所・地質調査総合センター速報

地質調査所・地質調査総合センター速報

地質調査所・地質調査総合センター速報（一覧）

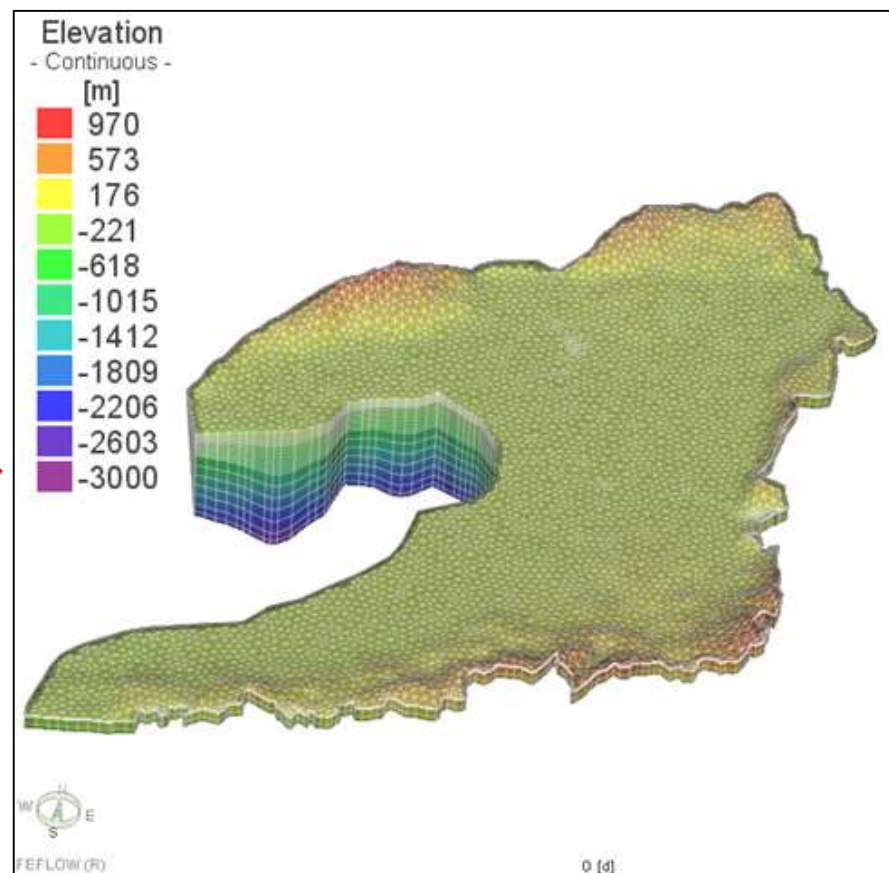
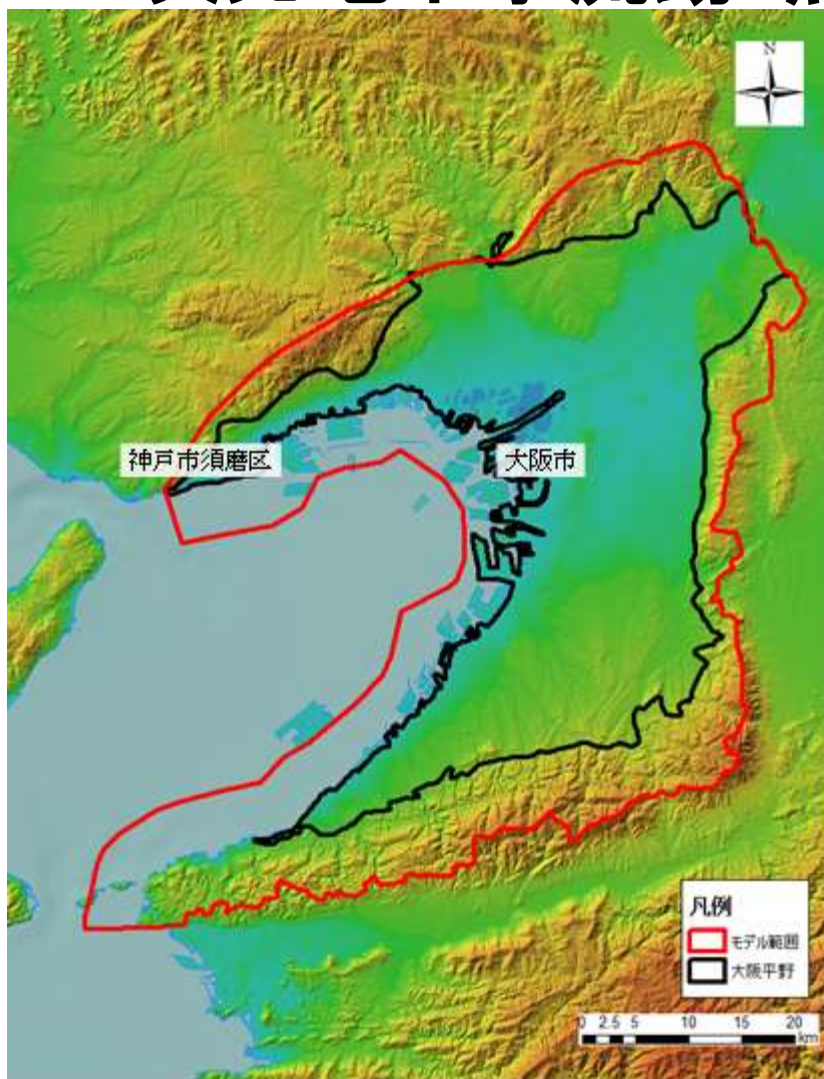
No.	著者	発行年	出版名	号・頁
76	内田洋平、吉岡真弓、シュレスタ、カウラヴ、富樫 聡、石原武志	2019	大阪平野における地中熱ポテンシャルマップ 1) 図・主稿 (PDF/44MB) 2) 付録説明資料 (PDF/210KB) 3) 上記・主稿、付録説明資料とA4Zファイル (ZIP/34KB)	地質調査総合センター速報, no.78, 36p.
77	井上卓彦 (編)	2018	平成30年度研究概要報告書—西吉野、石垣島、西表島奥辺海域—	地質調査総合センター速報, no.77, 161p.
76	島井俊作 (編)	2018	平成29年度沿岸域の地質—西筑前調査研究報告— ダウンロード	地質調査総合センター速報, no.76, 90p.
75	成木和也 (編)	2018	平成29年度研究概要報告書—石垣島、奄美大島奥辺海域—	地質調査総合センター速報, no.75.

内田洋平・吉岡真弓・シュレスタ ガウラヴ・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.

収集したデータ

資料	データ元
地層構造 大阪平野の第四系を、水理地質構造を考慮し、3層に分離したときの地層の上下面境界	<ul style="list-style-type: none"> ・NEDO(2019)による成果を引用
地下水ポテンシャル分布	<ul style="list-style-type: none"> ・地下水地盤環境に関する研究協議会(2018)
地下水位観測データ	<ul style="list-style-type: none"> ・大阪府より提供 ・国土交通省 水文水質データベース, http://www1.river.go.jp/
河川水位観測データ	<ul style="list-style-type: none"> ・国土交通省 水文水質データベース, http://www1.river.go.jp/
気温データ	<ul style="list-style-type: none"> ・気象庁アメダスデータ http://www.jma.go.jp/jma/index.html
海水温観測データ	<ul style="list-style-type: none"> ・国土交通省 大阪湾水質定点自動観測データ配信システム 近畿地方整備局神戸港湾空港技術調査事務所 http://222.158.204.199/obweb/)
地温深度プロファイル	<ul style="list-style-type: none"> ・水文環境図 No. 11 大阪平野 (井川ほか, 2019)

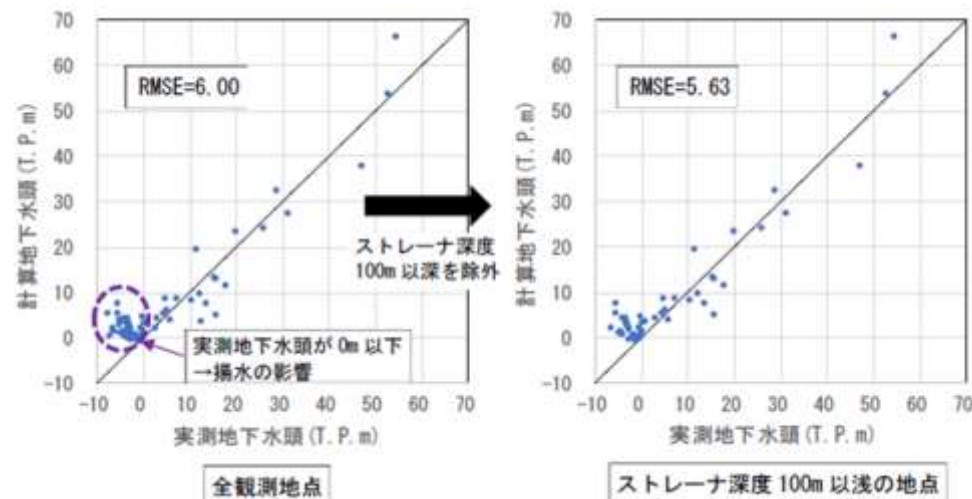
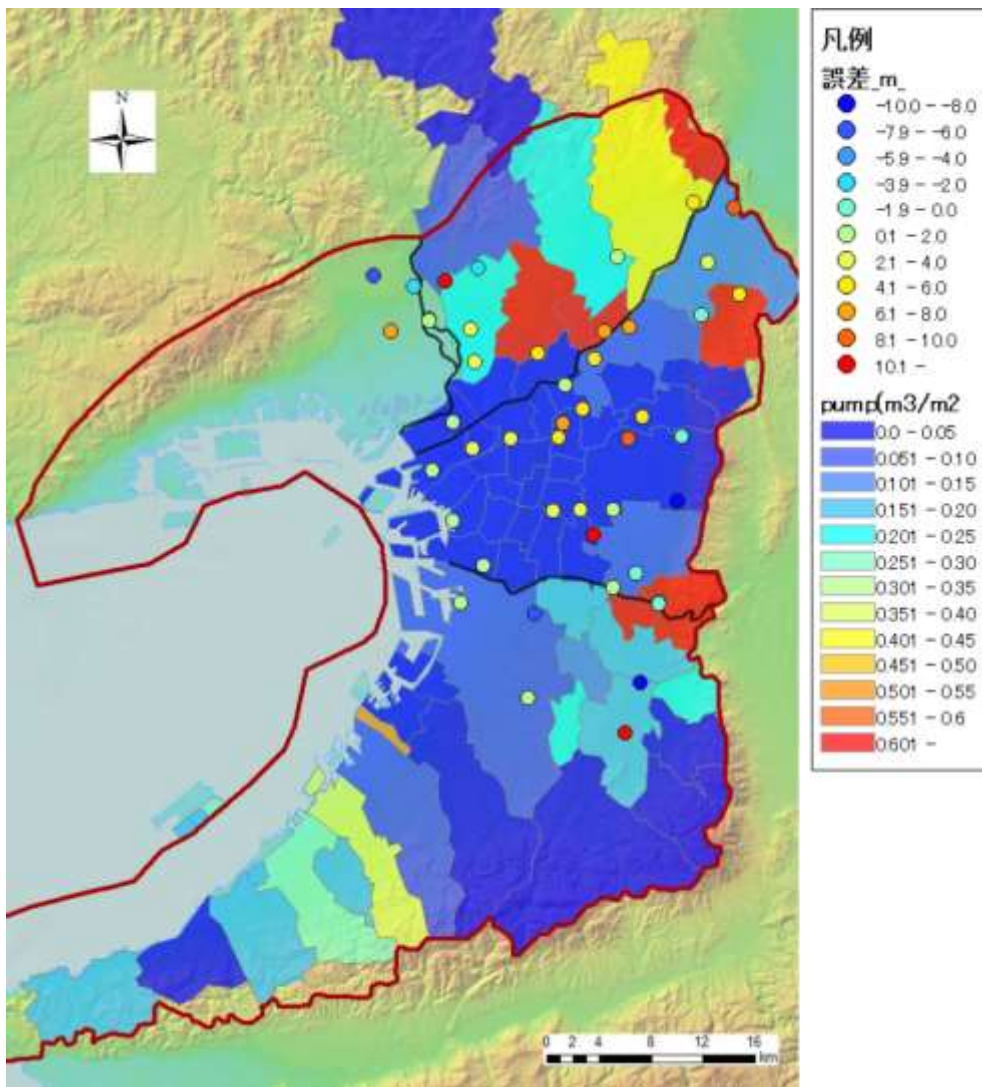
3次元地下水流動・熱輸送モデルの構築



大阪平野モデル俯瞰図（標高：縦横比 5 : 1）

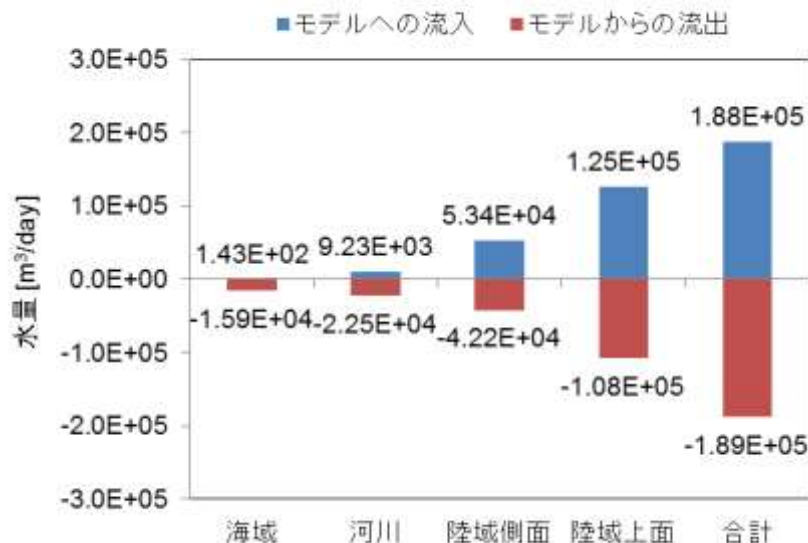
モデル構築範囲. 背景地図には地理院タイルの色別標高図を使用
 (<https://maps.gsi.go.jp/development/ichiran.html>)

使用ソフト	FEFLOW Ver.7.0 (Diersch, 2005)
モデルの構造	3次元地下水流動・熱移流モデル
サイズ	東西約66,000m × 南北約73,500m
節点数	143,696 (5,132点/面)
層数	27層

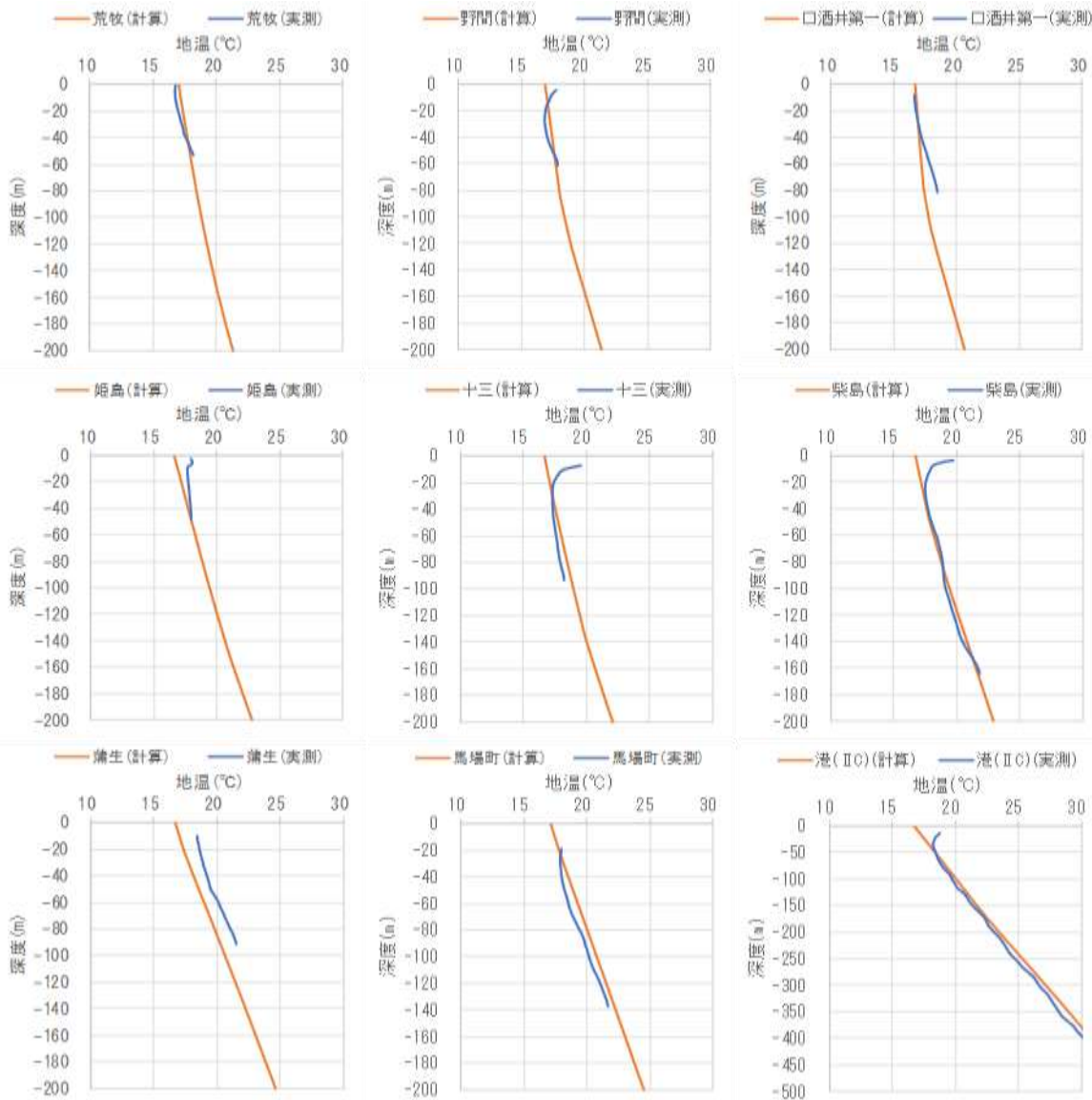


地下水頭の再現結果. T.P.mは東京湾平均海面からの水位を示す.

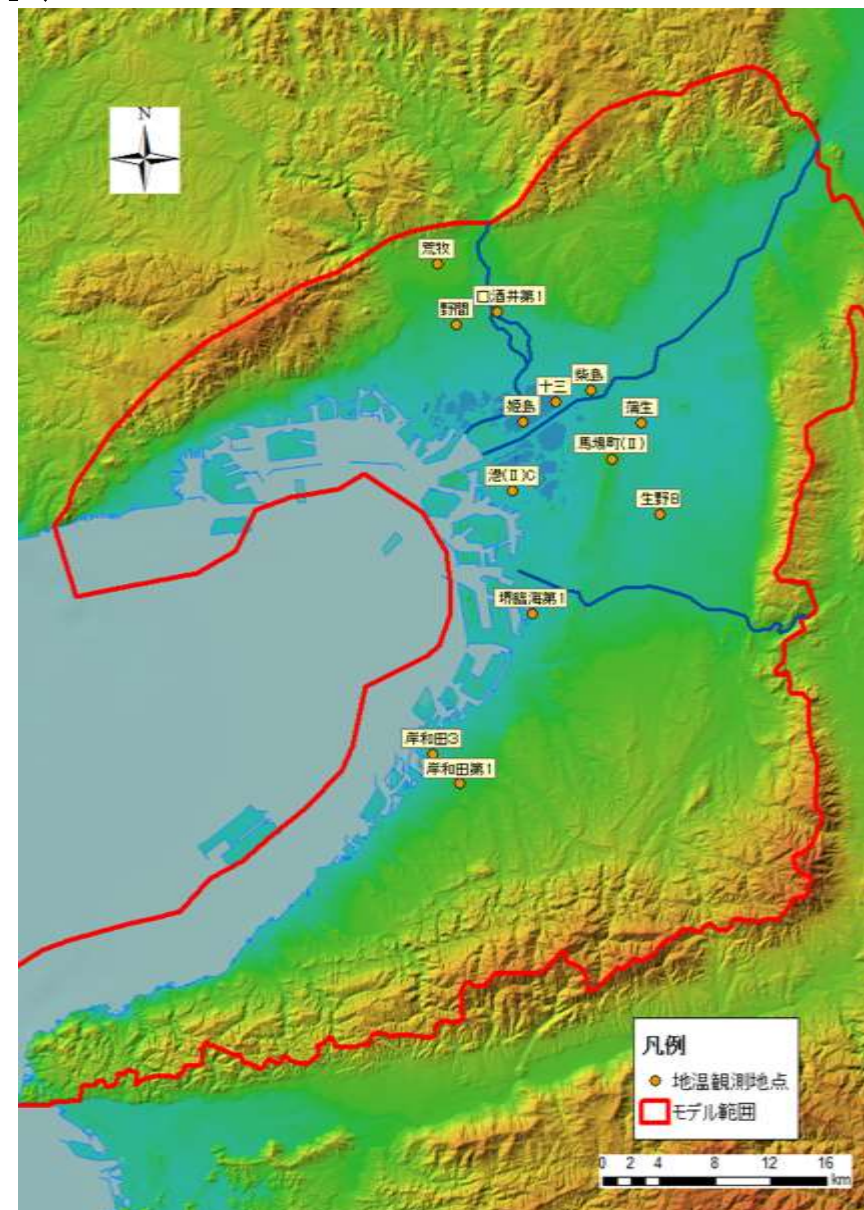
大阪府の市町村別単位面積当たりの年平均地下水揚水量 (2008~2014年) と観測地点 (ストレーナ深度100m以浅) 毎の計算地下水頭-実測地下水頭の水頭差



モデルの水収支集計結果



地温深度プロファイルの再現結果 (抜粋)

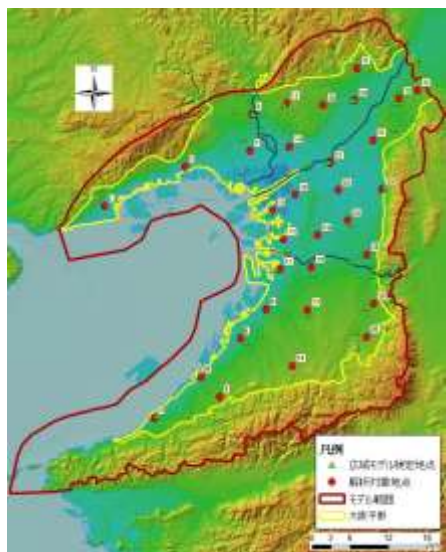


地温深度プロファイルの観測地点位置図

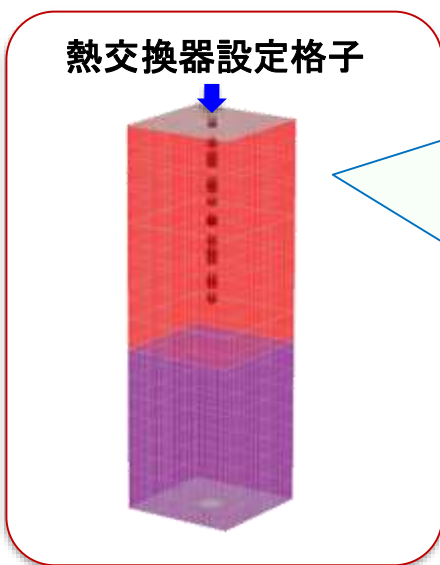
クローズドループにおける地中熱ポテンシャルの計算方法

- ① 広域地下水流動・熱輸送モデルの結果を反映させた**熱交換器モデル**を構築
- ② 地域の気象条件に応じた熱負荷を賄うことができる**熱交換器長さ**を計算
- ③ 求められた熱交換器長さの分布を内挿し、**ポテンシャルマップ**を作成

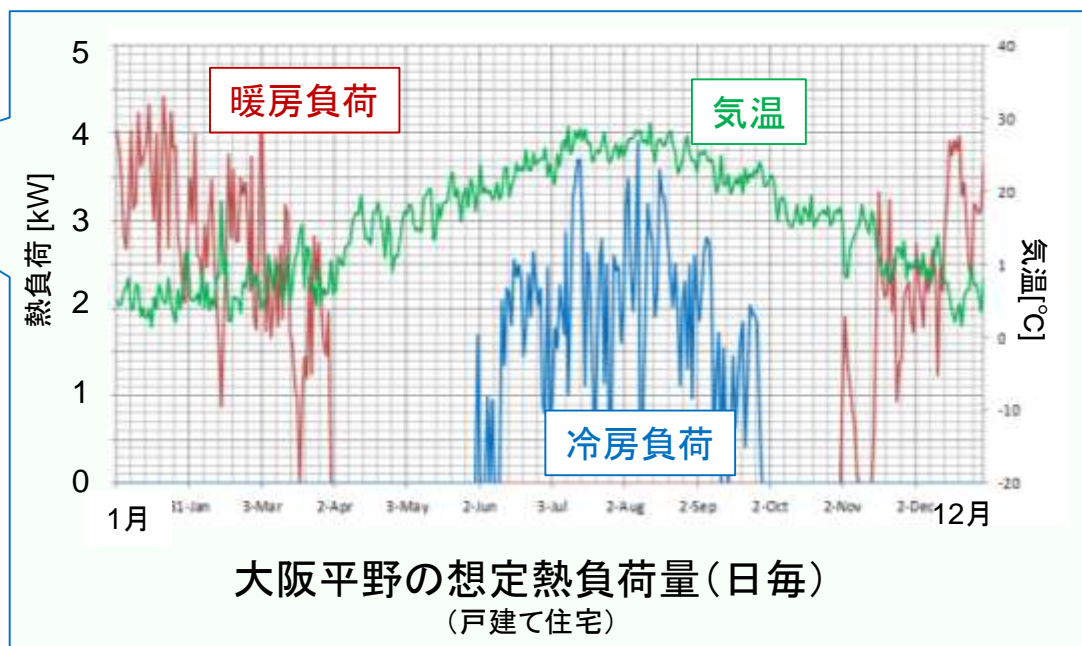
ポテンシャル
計算地点



熱交換器設定格子



熱交換器モデル
(30×30×100m)



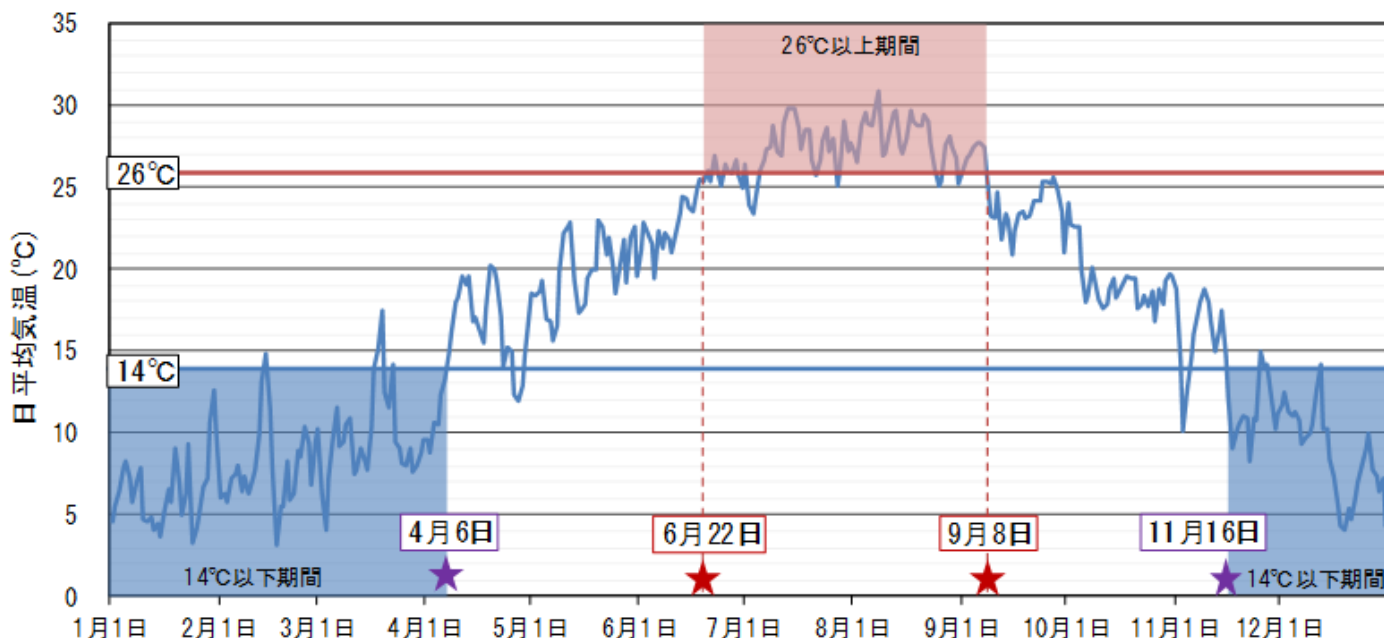
地質、地下水流速、地下温度は計算地点によって異なる



熱負荷は同じでも必要熱交換器長さは地点によって異なる

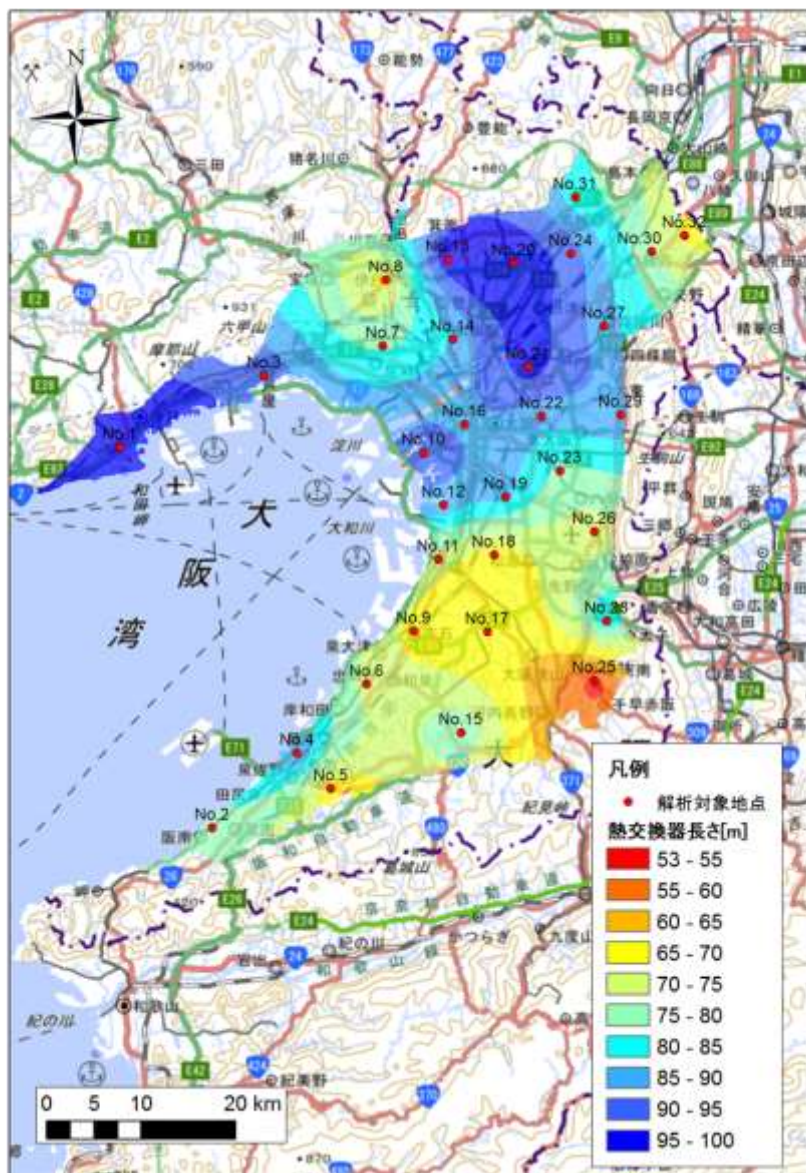
クローズドループにおける地中熱ポテンシャルの計算方法 (採排熱可能量)

- ① 熱交換器モデルを用い、**地中熱交換器の長さを100m**と設定
- ② 地中熱交換器の入口温度を暖房期は 5°C 、冷房期は 35°C 、流量20Lと固定した条件
- ③ 10年間の稼動シミュレーションを実施し、10年目の採熱量および排熱量を集計、それぞれの平均値を算出
- ④ 冷房期間は日平均気温(2009年)が 26°C 以上、暖房期間は 14°C 以下となる日を対象とし、**24時間連続運転**

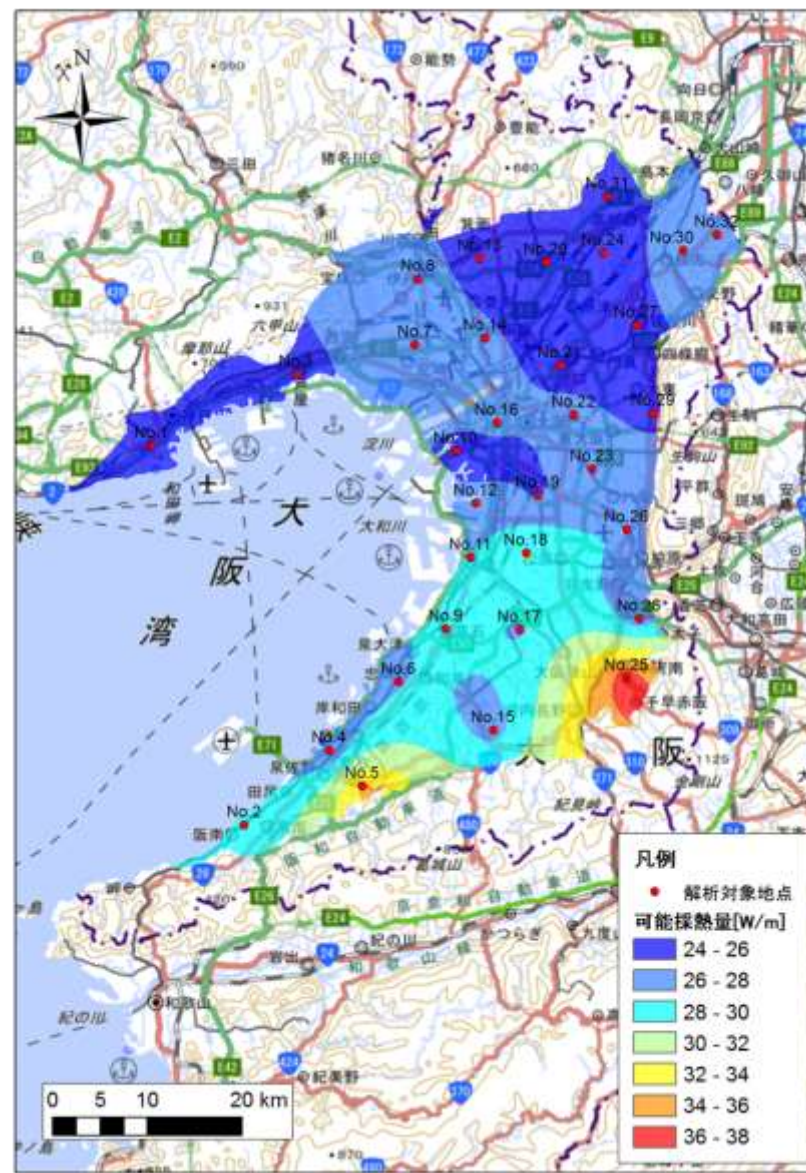


可能採排熱量計算に用いた冷暖房対象期間

クローズドループのポテンシャルマップ



必要熱交換器長さ



地中熱交換器100mあたりの可能採熱量分布

オープンループの適地評価方法

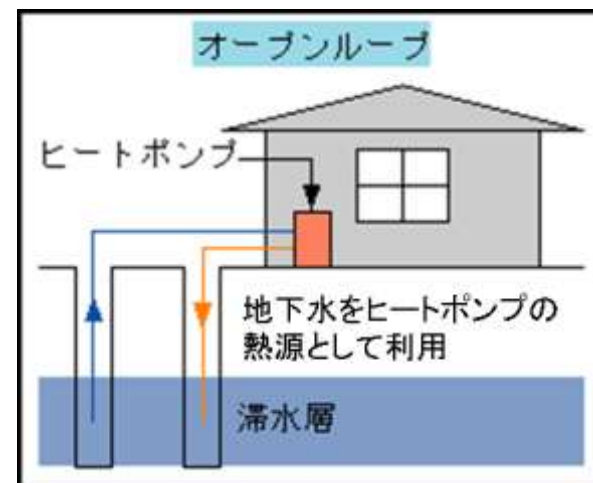
オープンループ*の適地

- ① 地下水の揚水が可能
- ② 採排熱後の地下水を同一帯水層へ還元可能

*ここでは、地下水還元型のオープン・ループを対象



条件を満たす地域を選定

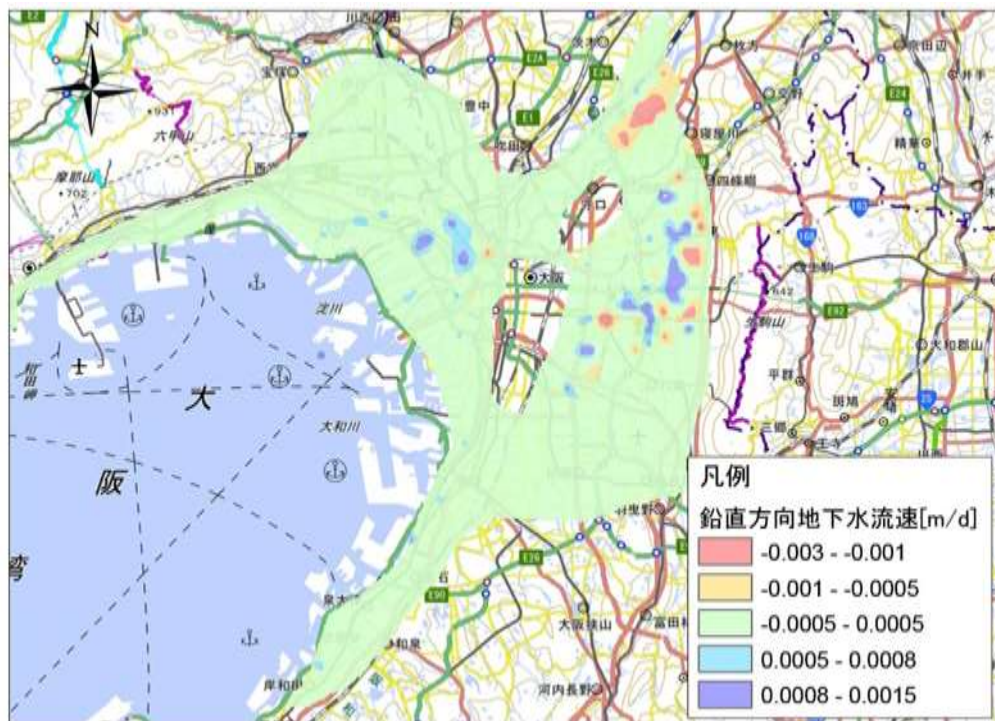


重ね合わせる

- ①・・・帯水層を有する地域(ここでは帯水層厚さ20m以上)
→地質モデルから抽出
- ②・・・地下水がUp-flow(流出域)ではない地域
→広域地下水流動モデル結果(流向分布)から抽出

オープンループの適地マップ

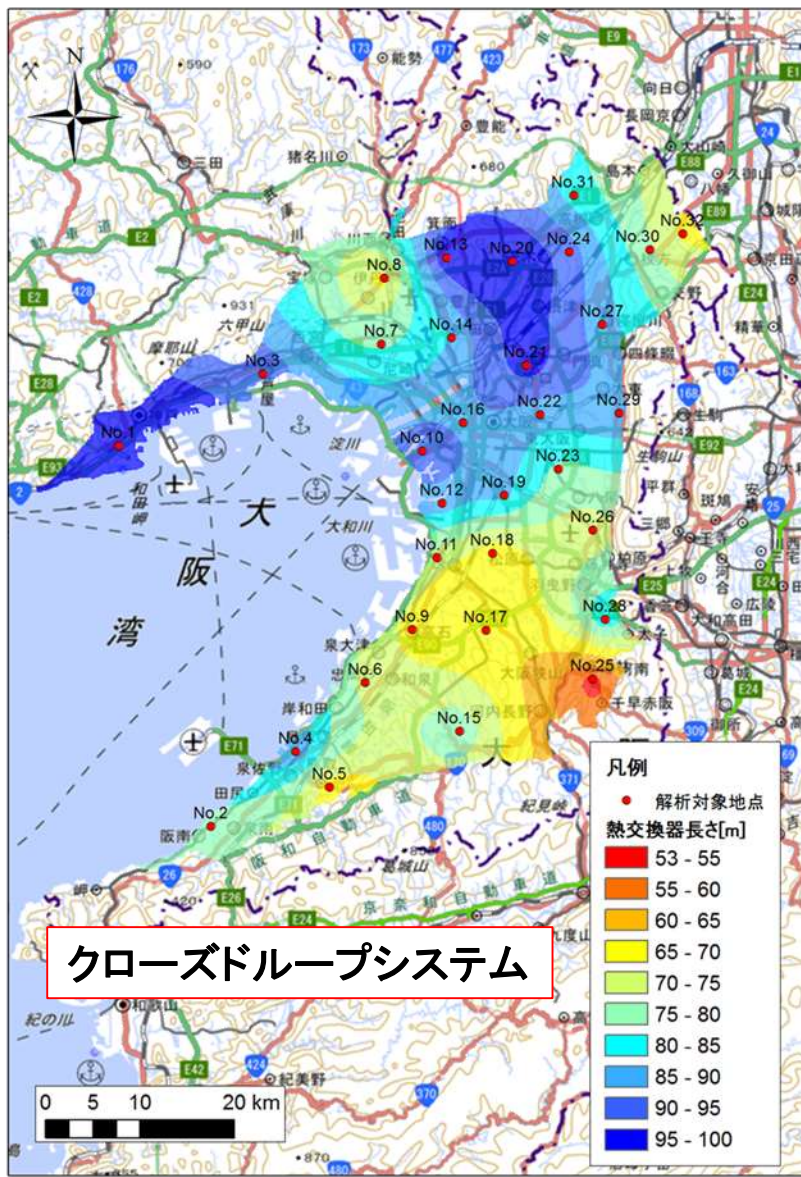
- 帯水層厚さが20m以上ある範囲を抽出
- 上向きの地下水流速 5.0×10^{-4} m/d以下(および下向きの地下水流速)の範囲をオープンループシステムの適地と選定
- それ以外の地域については、上向きの地下水流速が卓越すると見込まれる地域であり、地下水還元が困難な場合もある



第一帯水層厚さ20m以上の範囲における鉛直地下水流速分布。
負値は下向きの流速，正值は上向きの流速を示す



クローズドとオープンループシステムのポテンシャル比較



まとめ

- NEDOプロジェクトにおいて開発した手法を適用し、大阪平野における地中熱ポテンシャルマップを構築
- クローズドループ地中熱システムのポテンシャルマップ、およびオープンループシステムの適地マップとして公開
- マップは、それぞれ地域の地下水流動系の影響を受けた分布形態を示しており、システムの導入計画に際して、地域に適した熱交換方式をマップで示すことができた



ご清聴ありがとうございました

(福島県 猪苗代湖 : 日本国内で4番目に広い湖)