分野：地熱

2021年度成果報告会

超臨界地熱発電技術研究開発/超臨界地熱資源の評価と調査井仕様の詳細設計/八幡平地域における超臨界地熱資源の評価に関する研究開発

受託者：三菱マテリアルテクノ（株）
再委託：地熱解析（株）

問い合わせ先
三菱マテリアルテクノ（株）
https://www.mmtec.co.jp/

事業概要

1. 期間

開始　　　：２０１９年６月
終了　　　：２０２１年２月

2. 最終目標

「八幡平地域」（岩手県八幡平市）をモデルフィールドとして、地表調査を行うことで、地下5km以浅に比較的若い年代のマグマが定置した箇所を特定し、超臨界地熱資源量を具体的に評価する。

3.成果・進捗概要

- 2019年度に実施した地表調査（MT法電磁探査）により、安比岳の南方地下深部に、熱源に関連するとみられる構造（深部低比抵抗帯）を検出した。
- この深部低比抵抗帯は、既存データを基にした検討、2020年度に実施した微小地震観測の結果、超臨界領域にあると推定される。
- 本地域の推定地熱構造を模した数値モデルを作成し、貯留層シミュレーションによって想定される超臨界地熱流体の流動・加熱機構を再現できることを確認した。
- 資源量評価の結果、本地域の超臨界地熱資源量は、容積法で170MW、生産予測シミュレーションで110MWとの試算結果を得た。

開発内容

「超臨界地熱発電技術研究開発」の一環として、超臨界地熱資源の分布、性状、規模等を把握することを目的に、超臨界地熱資源システムが形成される可能性が高い地域における超臨界水状態把握と資源量評価の詳細検討を行う。

- 対象地域（モデルフィールド）：「八幡平地域」（岩手県八幡平市）
  - 地熱開発促進調査における坑井調査によって、300℃を超える高温が実測で確認されており、比較的浅部に超臨界地熱資源が賦存する可能性が高い。
  - 2018年度に実施された「超臨界地熱資源先導調査」によって、熱源に関連すると考えられる低比抵抗帯が捕捉されており、資源量評価対象の目途がついている。
- 研究開発手法
  - 地表調査、貯留層シミュレーションによる資源量評価を通じ、本地域における超臨界地熱資源量の具体的な評価を試みる。

研究開発項目

① 地表調査

- MT法電磁探査（深部地質構造の抽出）
- 微小地震観測（脆性－延性境界の推定）

② 地熱構造モデルの構築

- 既存資料および①の結果を基に、本地域の地熱構造モデルを作成。

③ 資源量評価

- 地熱構造モデルを数値モデル化し、貯留層シミュレーションにより超臨界領域を含む流体流動・加熱機構を再現する。
- 生産予測シミュレーションにより資源量評価を行う。

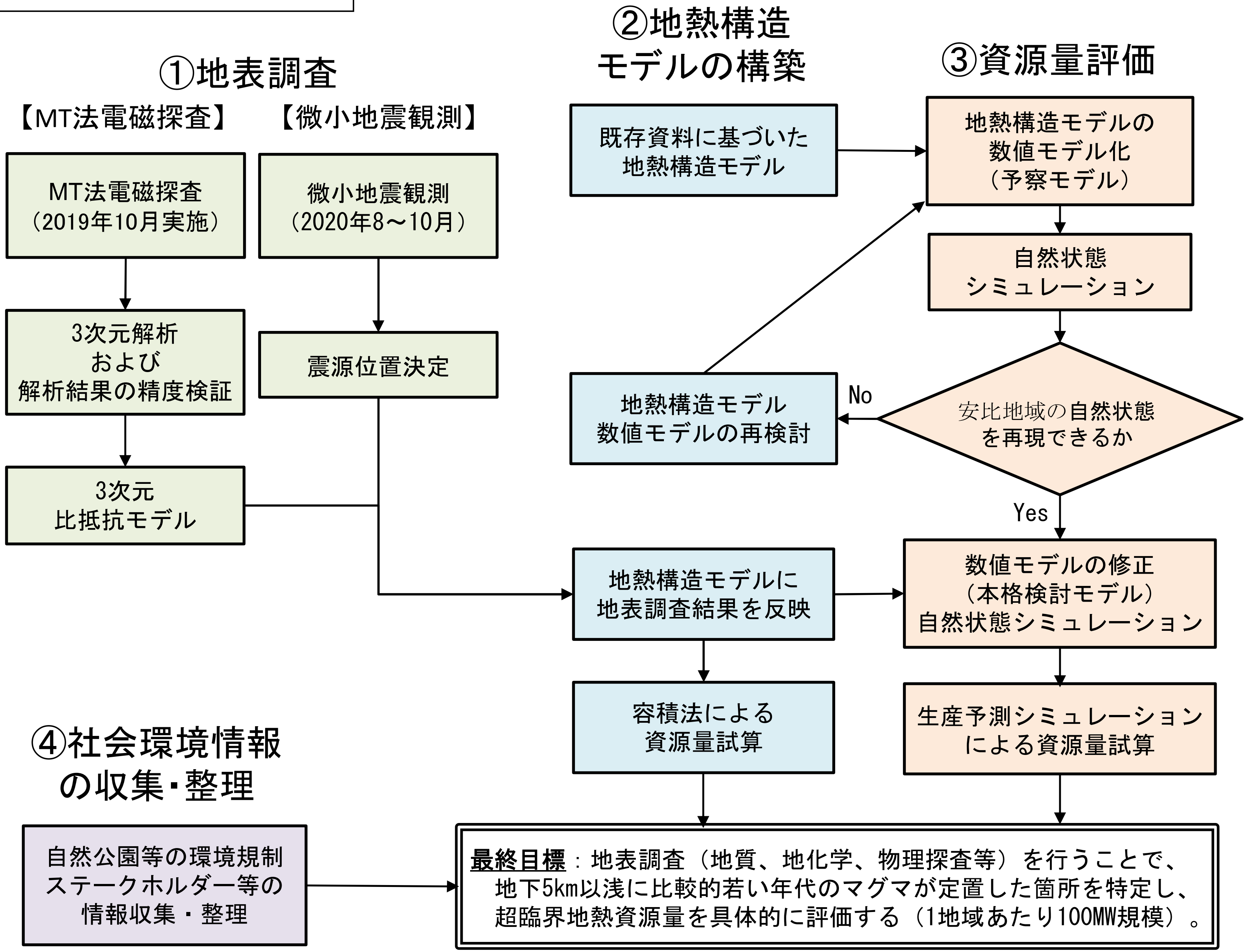
④ 社会環境情報の収集・整理

- 対象地域の社会環境情報の収集，環境規制区域の整理

⑤ 総合評価

- ②③の結果を踏まえた最終的な超臨界地熱構造モデルの提示
- 環境規制等を考慮した開発可能な資源量の評価
- 今後の研究開発対象地域としての評価

研究開発フロー


①地表調査
【MT法電磁探査】
【微小地震観測】
MT法電磁探査（2019年10月実施）
微小地震観測（2020年8～10月）
3次元解析および解析結果の精度検証
震源位置決定
3次元比抵抗モデル
②地熱構造モデルの構築
既存資料に基づいた地熱構造モデル
地熱構造モデル数値モデルの再検討
地熱構造モデルに地表調査結果を反映
容積法による資源量試算
③資源量評価
地熱構造モデルの数値モデル化（予察モデル）
自然状態シミュレーション
安比地域の自然状態を再現できるか
No
Yes
数値モデルの修正（本格検討モデル）自然状態シミュレーション
生産予測シミュレーションによる資源量試算
④社会環境情報の収集・整理
自然公園等の環境規制ステークホルダー等の情報収集・整理
最終目標：地表調査（地質、地化学、物理探査等）を行うことで、
地下5km以浅に比較的若い年代のマグマが定置した箇所を特定し、
超臨界地熱資源量を具体的に評価する（1地域あたり100MW規模）。

開発スケジュール

研究開発項目	担当	2019年度 1Q	2019年度 2Q	2019年度 3Q	2019年度 4Q	2020年度 1Q	2020年度 2Q	2020年度 3Q	2020年度 4Q
(1) 地表調査	三菱マテリアルテクノ		MT法電磁探査	→	3次元解析と解析精度の検証 ▲ステージゲート	→ 微小地震観測	→	→	
(2) 地熱構造モデルの構築	三菱マテリアルテクノ		モデル構築・修正	→	▲ステージゲート			モデル修正	
(3) 資源量評価	地熱解析 三菱マテリアルテクノ		数値モデル構築・修正（自然状態シミュレーション）	→ 資源量概算	→ ▲ステージゲート	数値モデル修正（自然状態シミュレーション）	→ 資源量評価（生産予測シミュレーション）	→	→
(4) 社会環境情報の収集・整理	三菱マテリアルテクノ			情報収集・整理	→ ▲ステージゲート				
(5) 総合評価	三菱マテリアルテクノ				▲ステージゲート			総合評価	→

実施体制

NEDO

↓ 委託

三菱マテリアルテクノ株式会社

- 研究開発責任者
  エンジニアリング事業本部 環境資源調査部 部長補佐
  小関武宏
- 担当する研究開発項目
  ①地表調査，②地熱構造モデルの構築，
  ③資源量評価，④社会環境情報の収集・整理，
  ⑤総合評価

← 助言 外部有識者

再委託

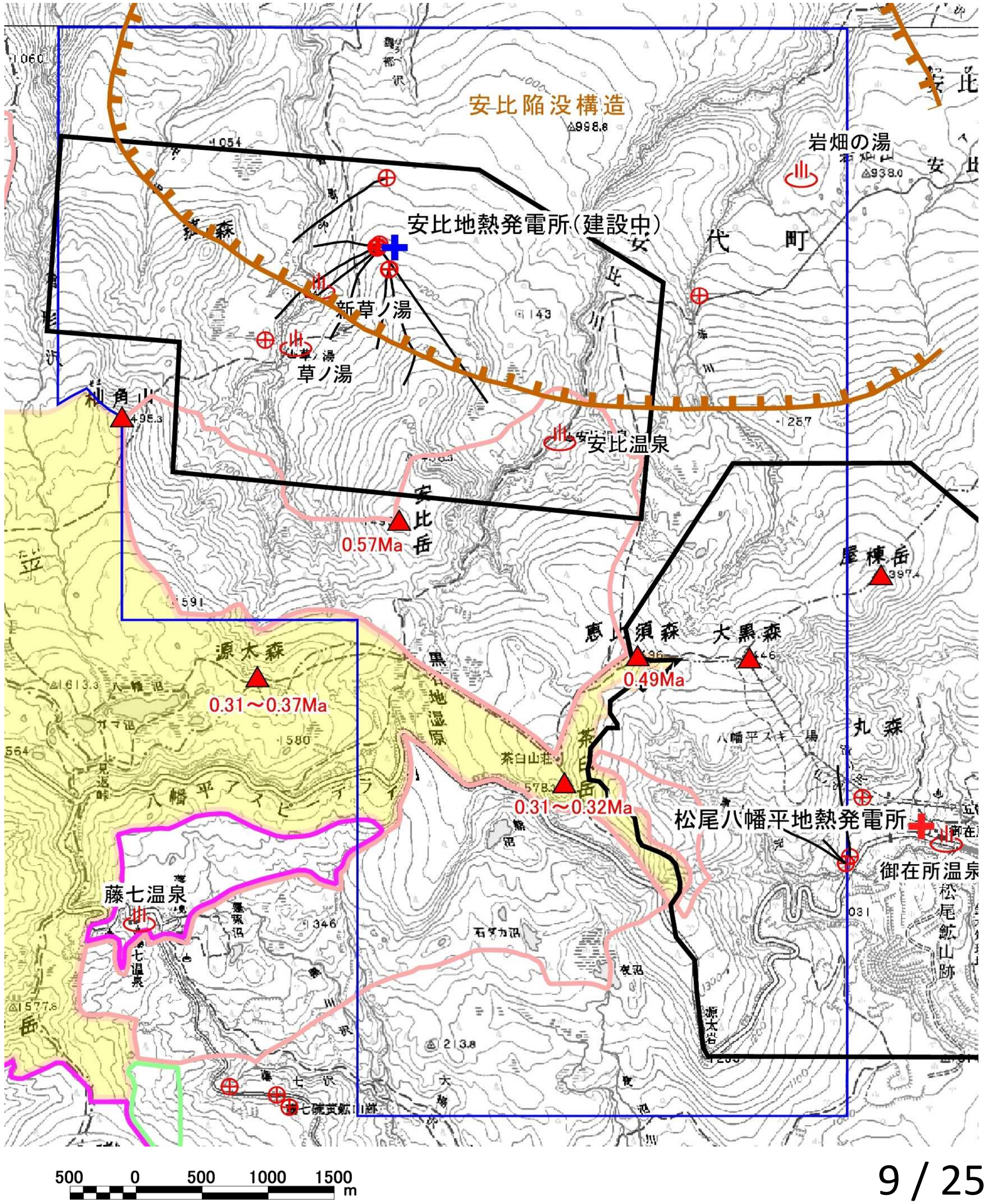
地熱解析株式会社

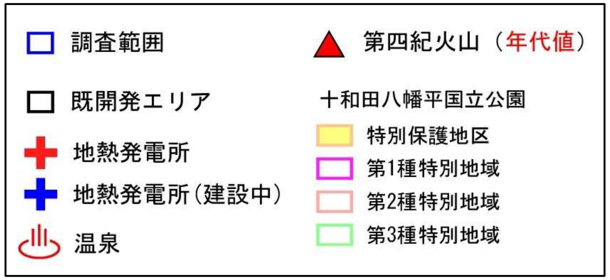
- 担当する研究開発項目
  ③資源量評価

研究成果について

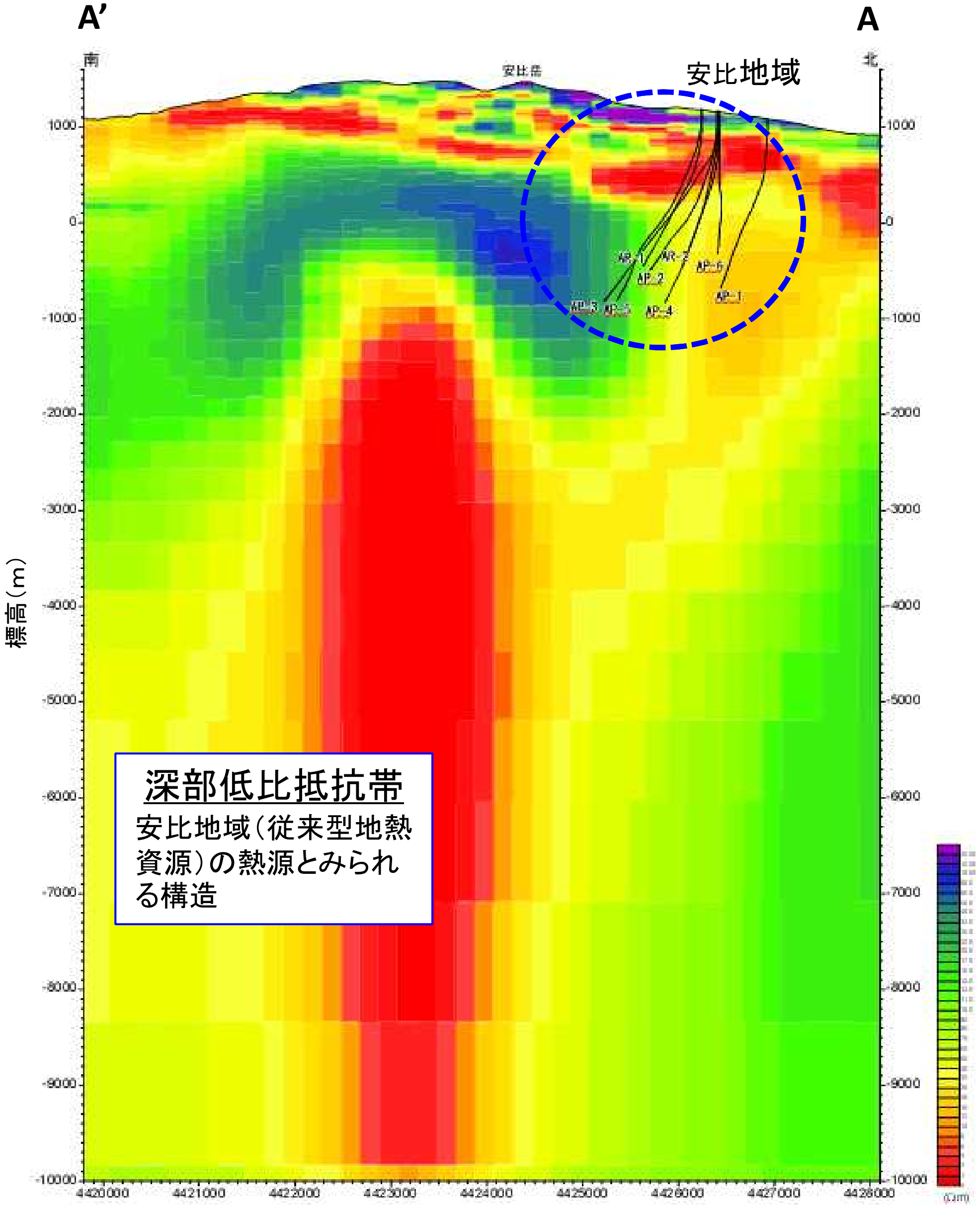
「八幡平地域」の概要と地表調査

- 新期における継続的な火山活動により地熱地帯が形成されており、安比地域，松尾八幡平地域において従来型地熱資源の開発が行われている。
- これらの熱源となっている構造を地表調査（MT法電磁探査・微小地震観測）により調査した。

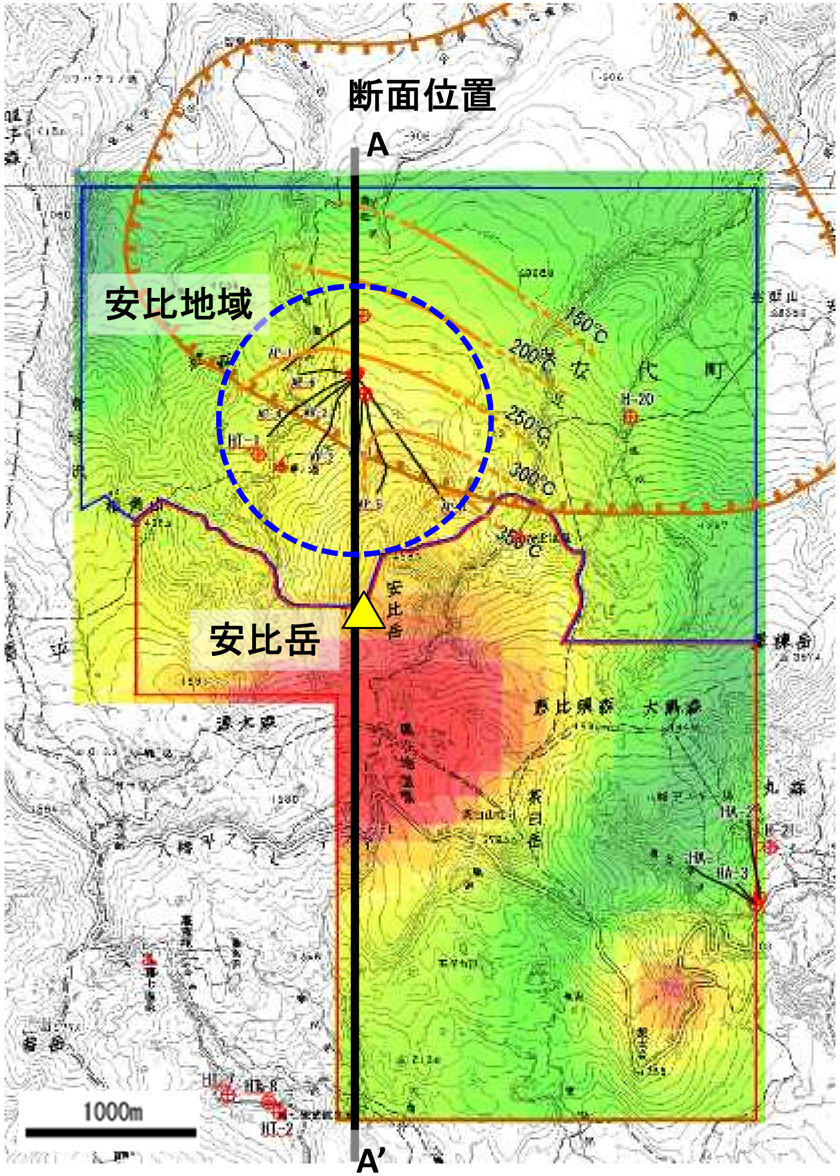




MT法電磁探査により検出された深部低比抵抗帯



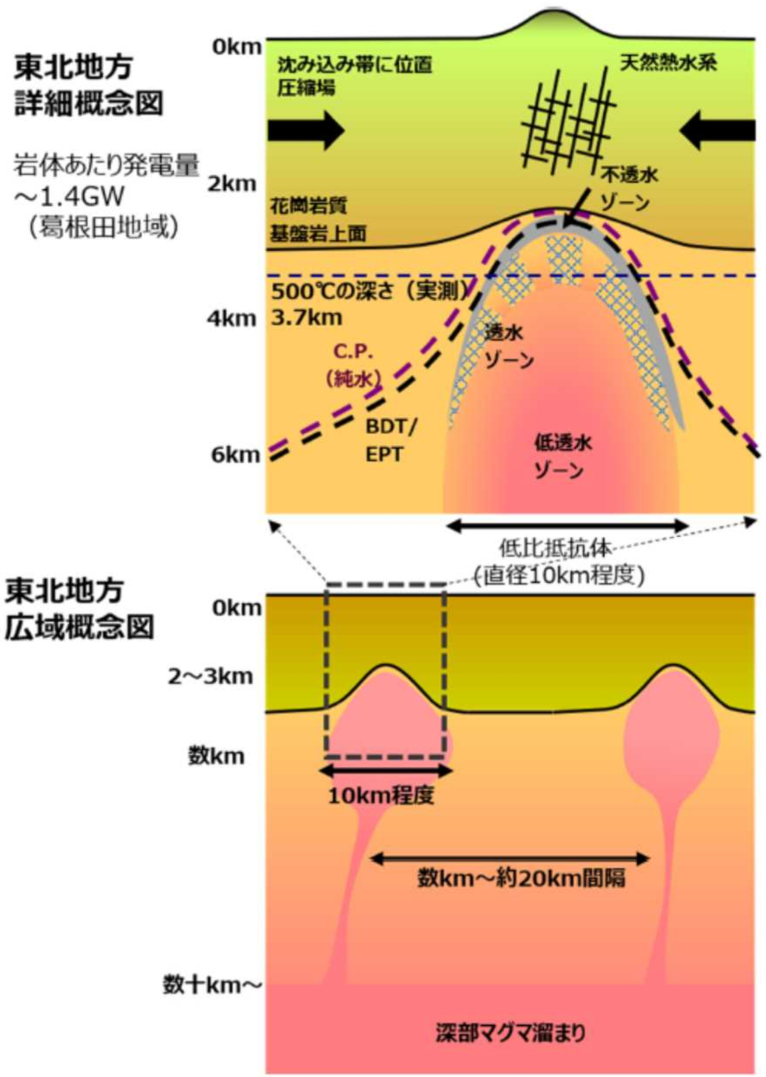
比抵抗断面図（南北：A-A'断面）



比抵抗平面図

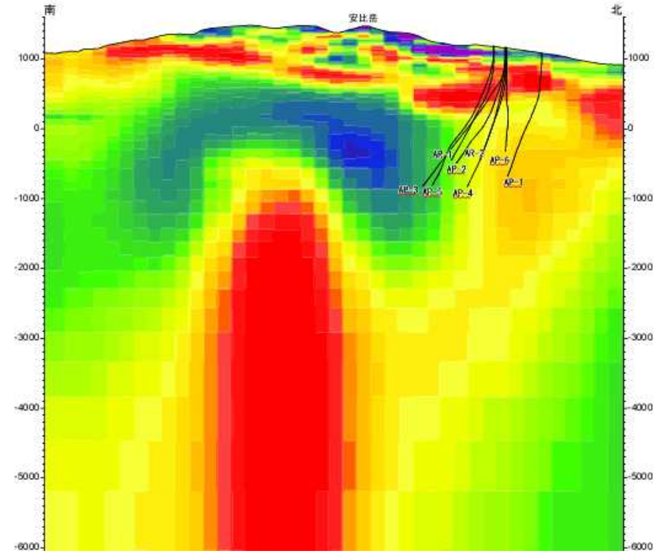
（標高-3000mの比抵抗分布を投影）

深部低比抵抗帯についての考察



東北地方（葛根田）の超臨界岩体の概念図（NEDO(2019)）

MT法電磁探査で検出された
深部低比抵抗帯

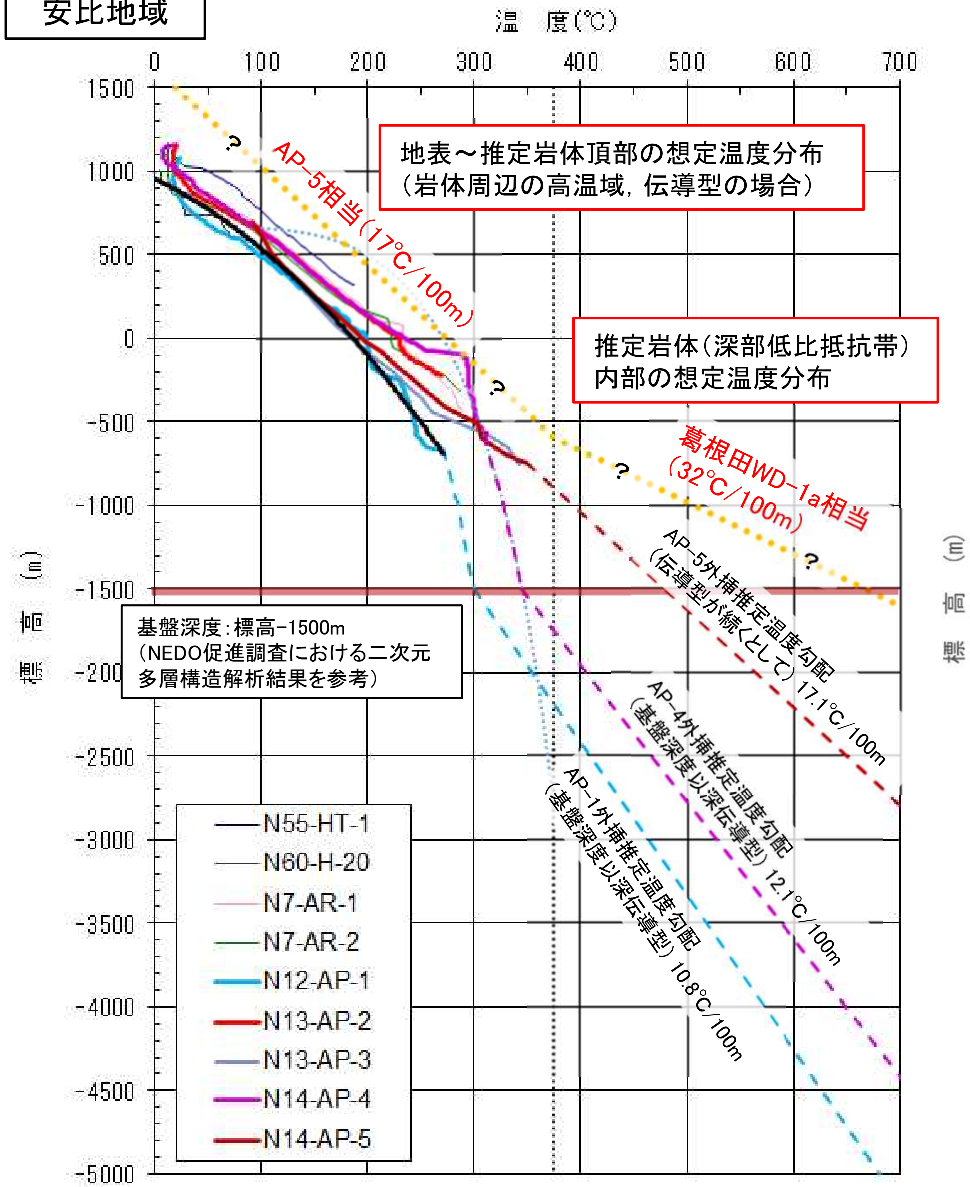


- MT法電磁探査で検出された深部低比抵抗帯は、その局所的な分布形状から考えて、熱源に相当する最近の火山活動を反映したものと推定される。
- 分布深度が比較的浅く、安比地域に高温の蒸気卓越型貯留層が形成された要因と考えられる。
- 熱源に相当する構造であれば、低比抵抗を示す要因として、マグマ起源の高塩濃度の流体の分布を反映している可能性がある。

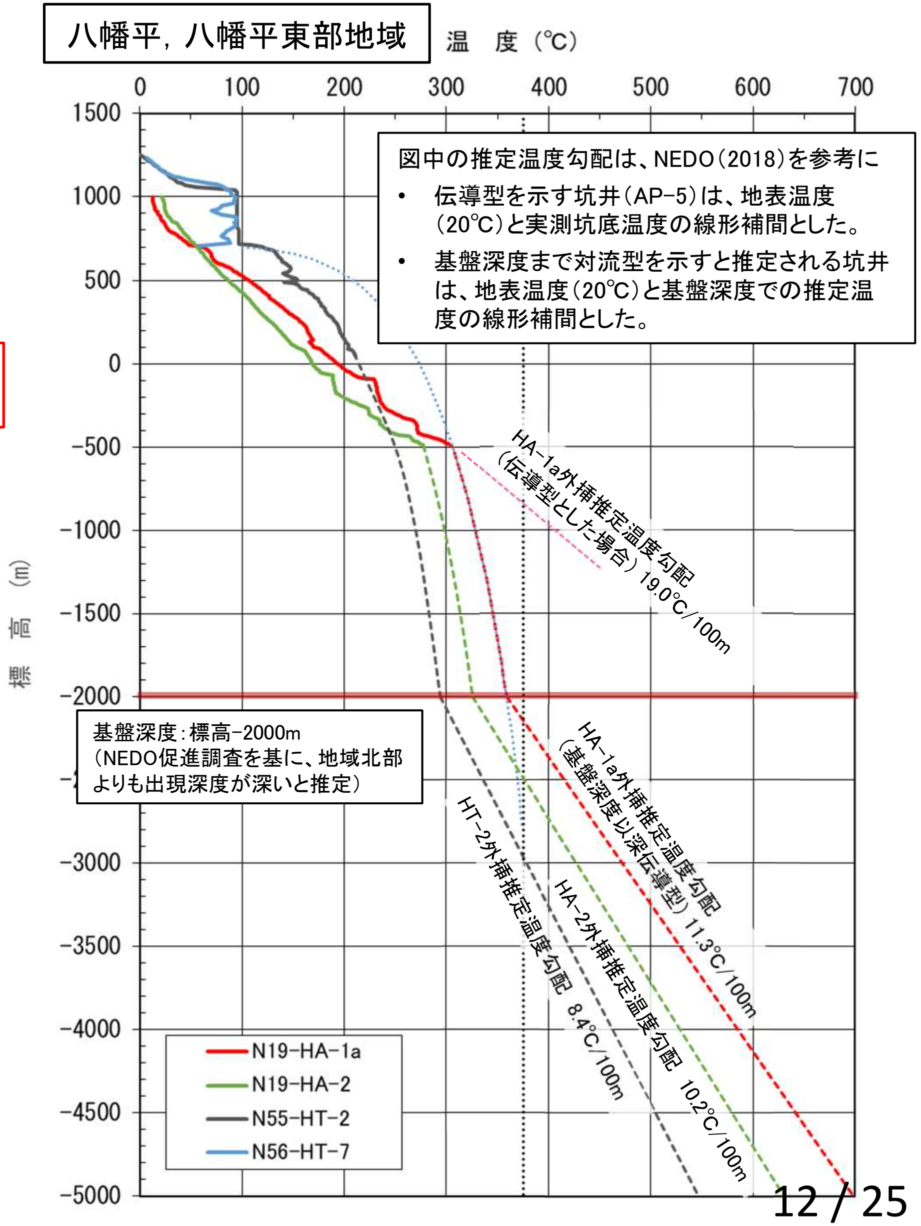
地下温度構造の推定

既存坑井温度データ（検層）等の外挿により、
標高-5kmまでの地下温度分布を推定。

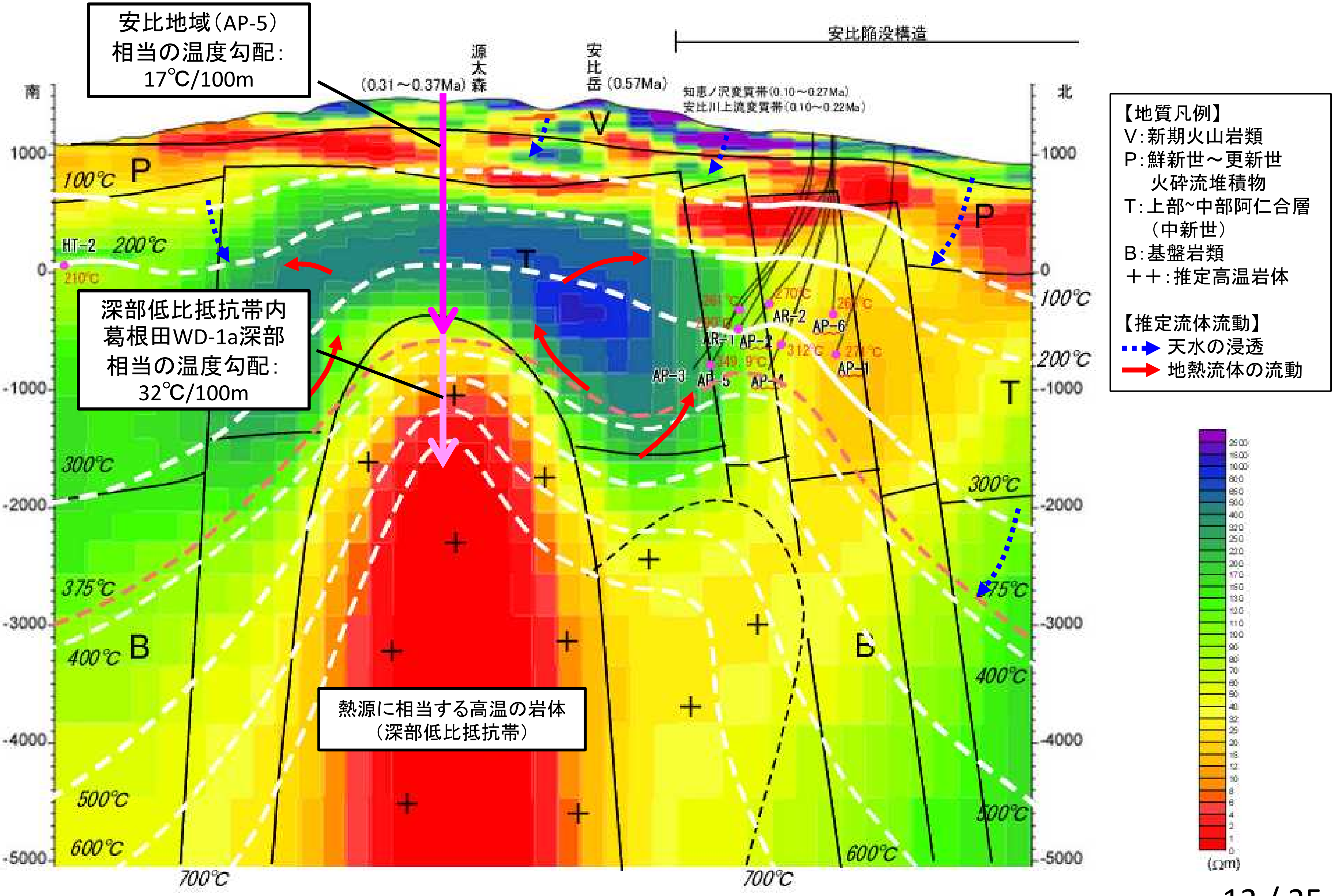
安比地域



八幡平，八幡平東部地域



地熱構造モデル（暫定）　【A-A’断面(南北）における推定図】

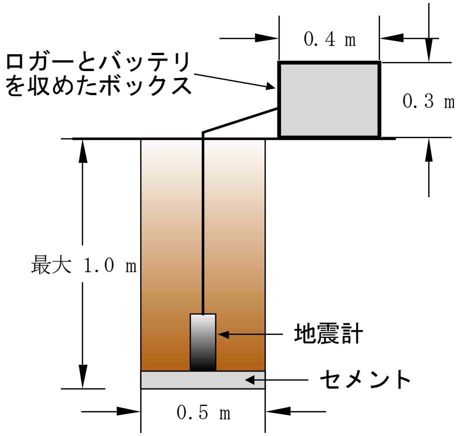


微小地震観測

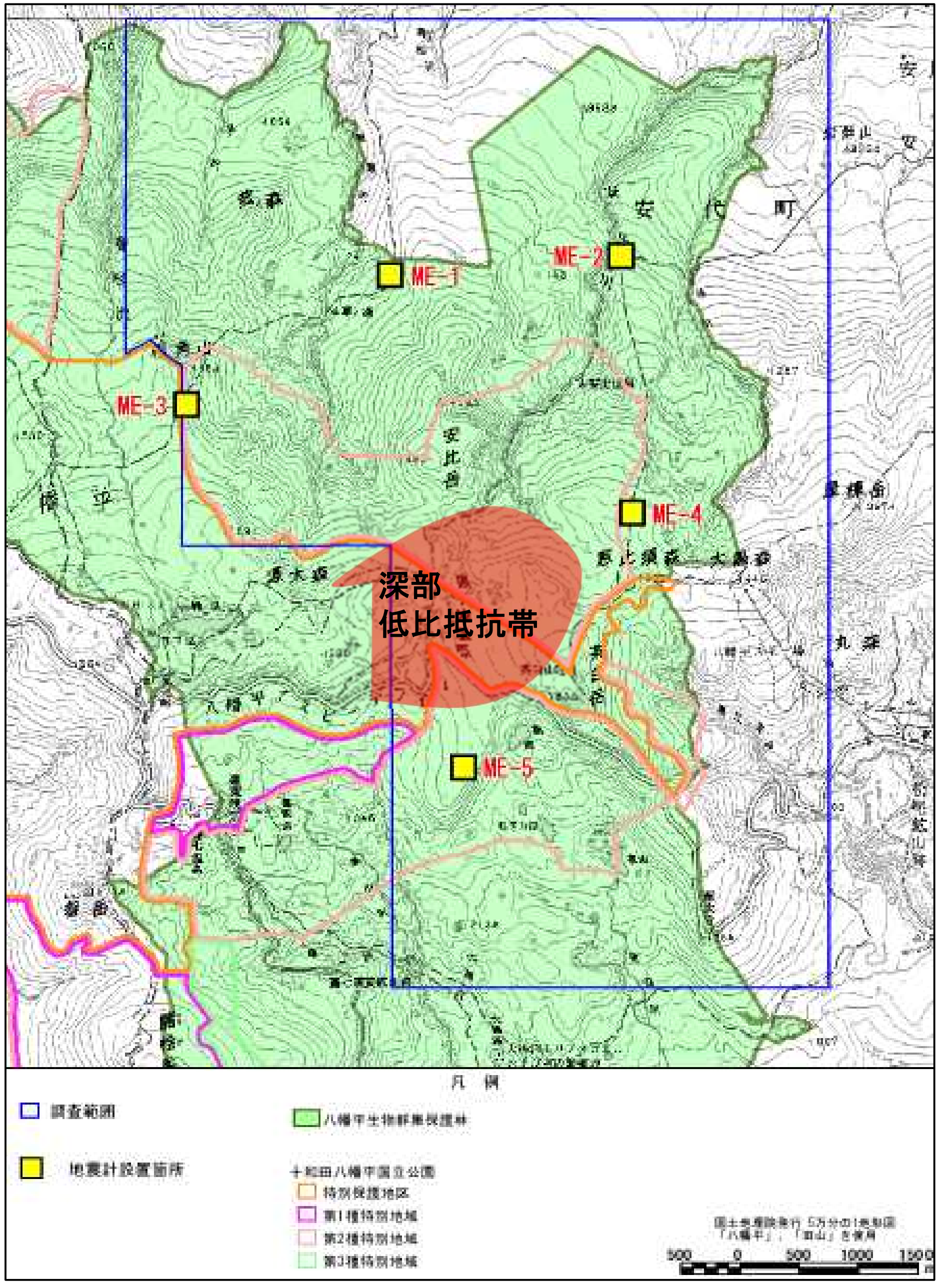
超臨界領域では、岩石は延性的な挙動を示し、微小地震の発生は少ないと考えられることから、微小地震観測により震源分布を把握し、超臨界領域の分布を推定する。

【微小地震観測点】
安比岳南方地下の深部低比抵抗帯を囲むように5測点（ME-1～5）を設置

【観測期間】
2020年8月8日～10月29日（82日間）

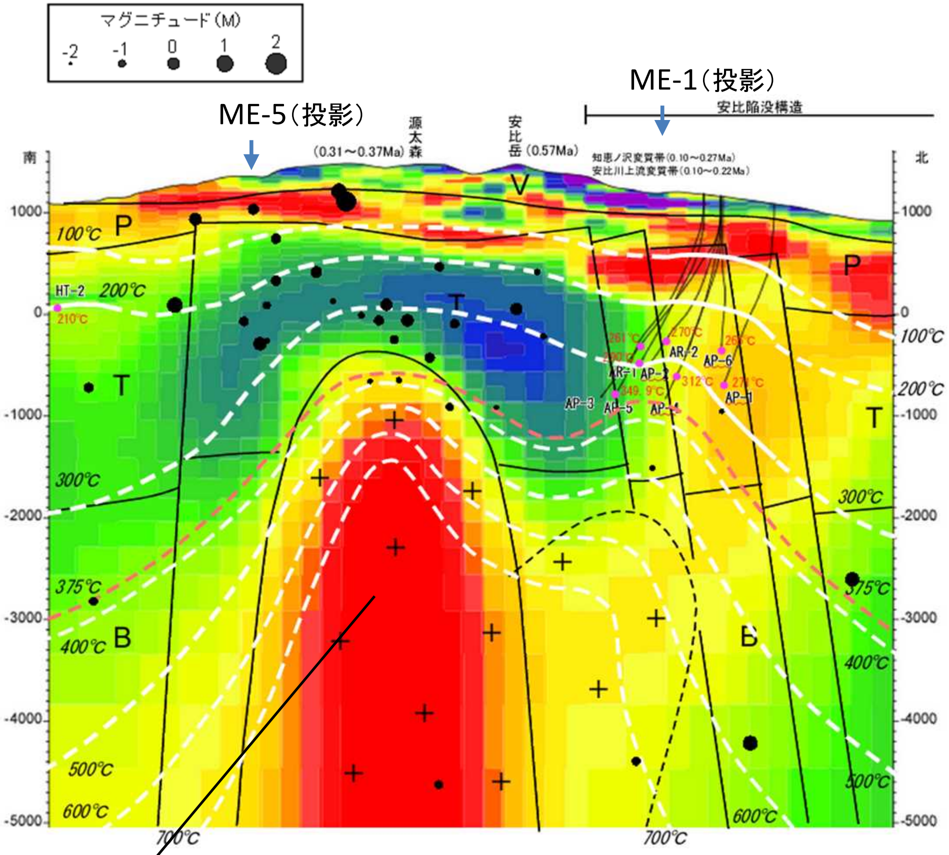


地震計設置概念図

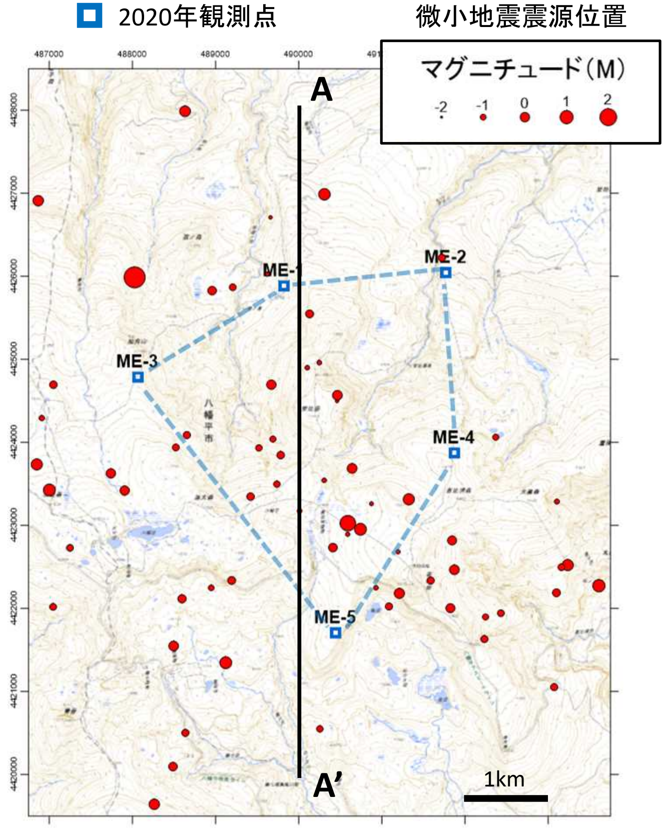


微小地震観測結果

微小地震震源位置



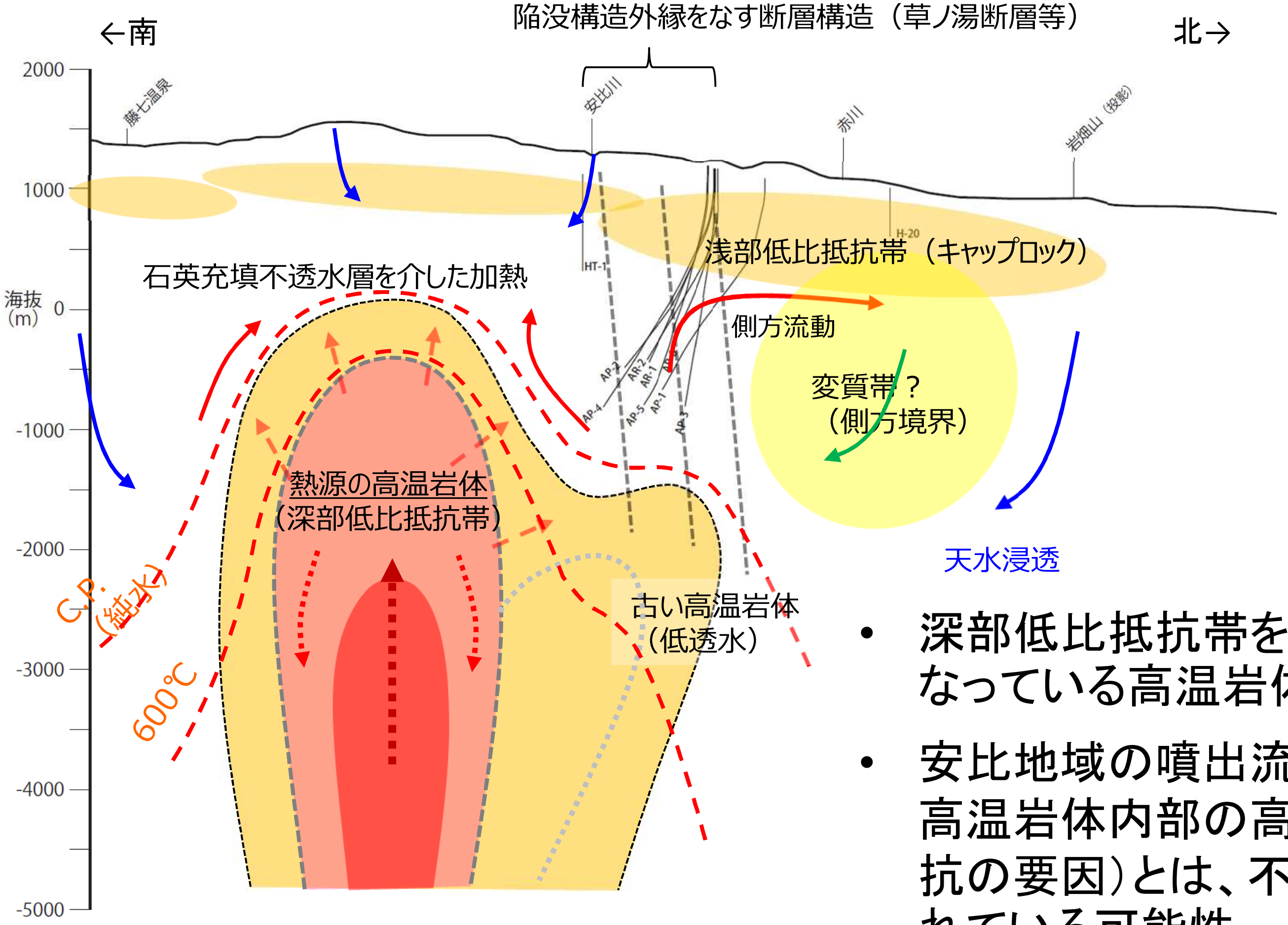
震源分布断面図(A-A'断面，南北)



震源分布平面図

深部低比抵抗帯内には震源が分布せず、
延性環境(超臨界領域)にある可能性を示唆。

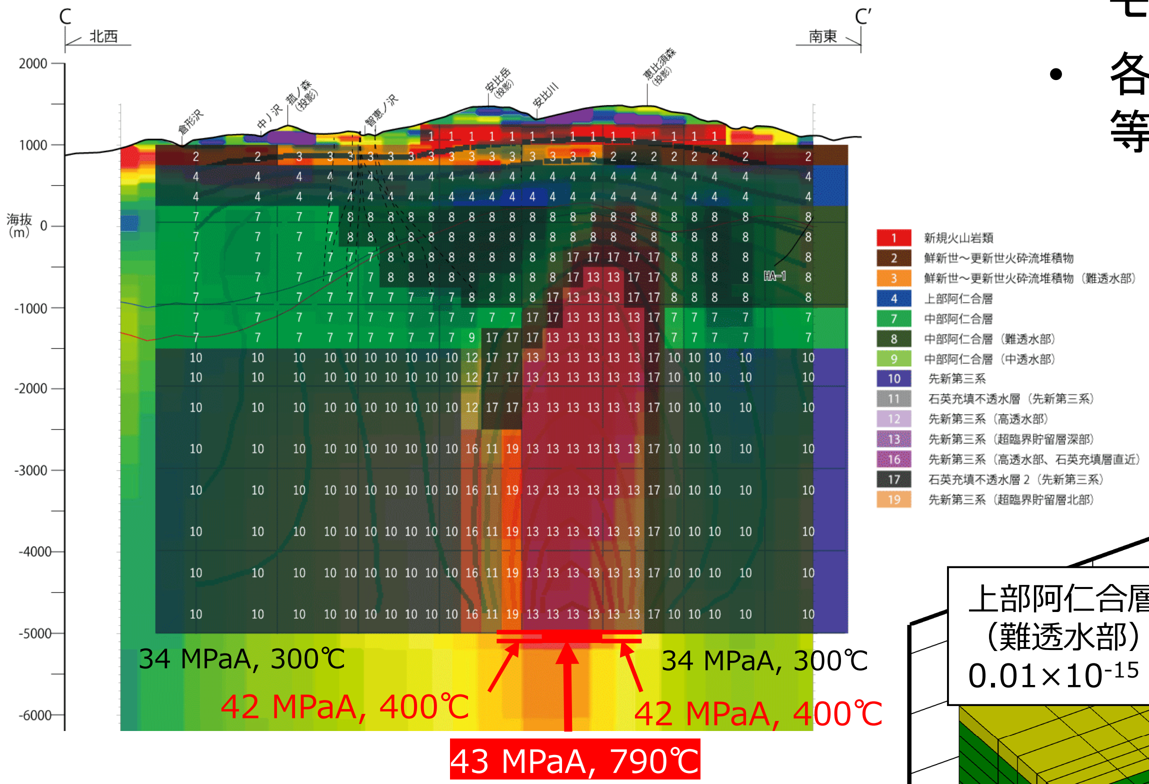
資源量評価　地熱構造モデルを通じて想定される流体流動・加熱機構



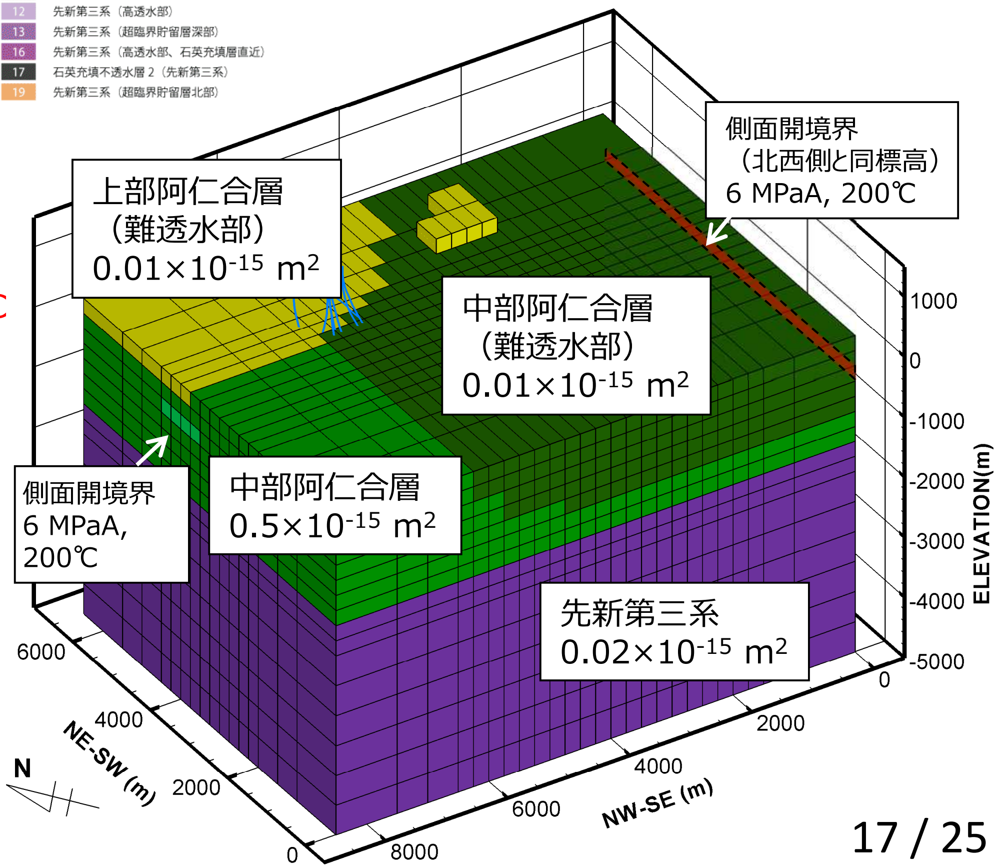
- 深部低比抵抗帯を、安比地域の熱源となっている高温岩体と想定。
- 安比地域の噴出流体は天水起源であり、高温岩体内部の高塩濃度流体（低比抵抗の要因）とは、不透水層によって隔てられている可能性。
- その場合、浸透した天水は、不透水層を介した加熱を受け、通路となる構造（断層，陥没構造）を通じて、安比地域へ流動していると想定される。

数値モデルの構築

- 地熱構造モデルをベースに数値モデルを作成。
- 各ブロックの物性値はNEDO（2004）等の既往研究を参考とした。

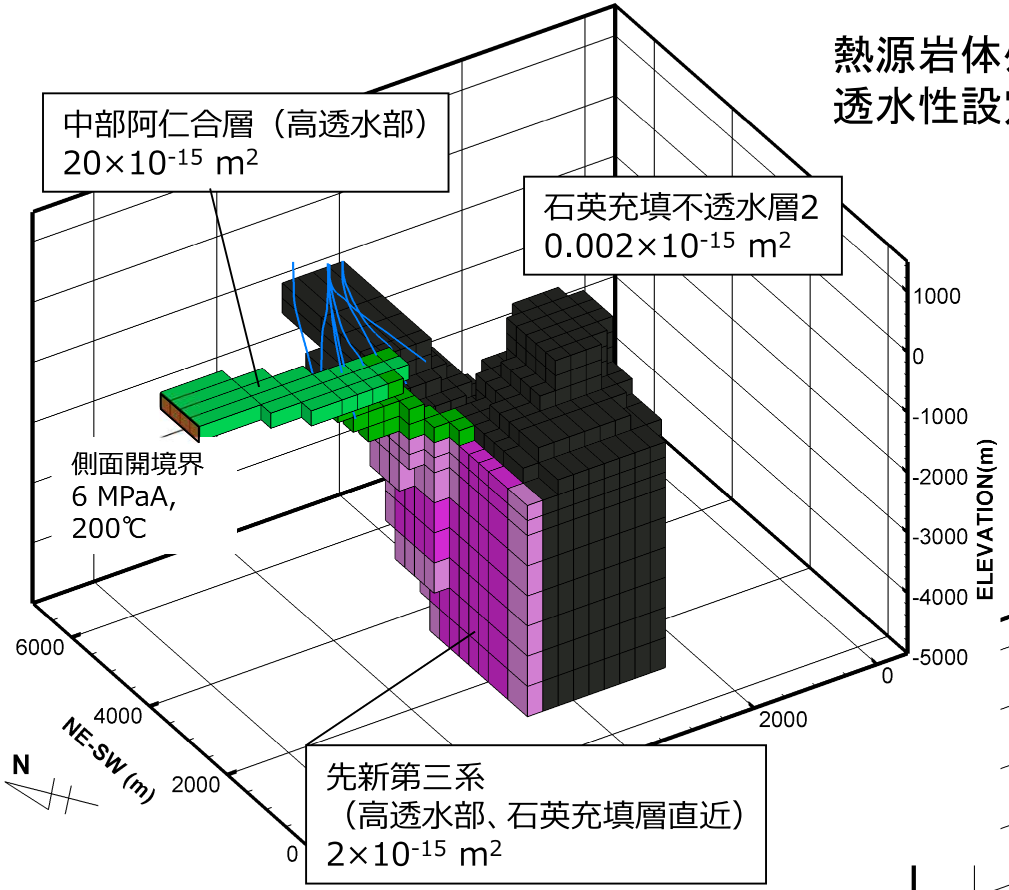


数値モデル断面図と底面境界条件

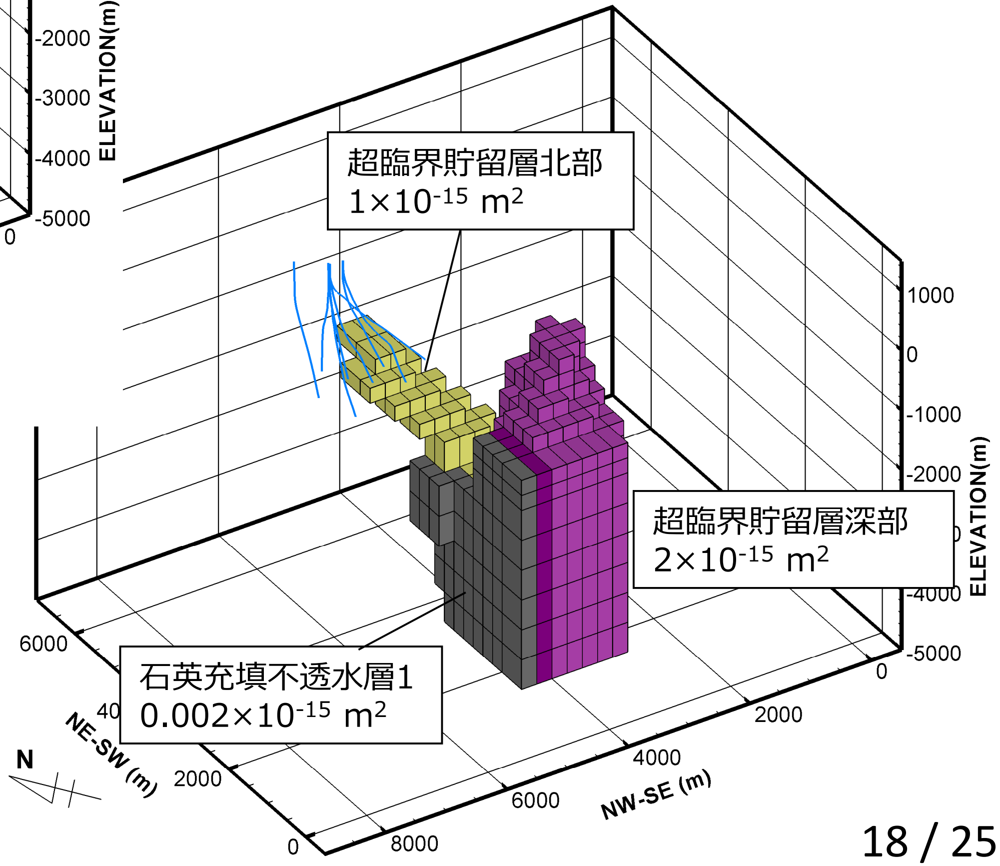


各地層の透水性設定と側面境界条件

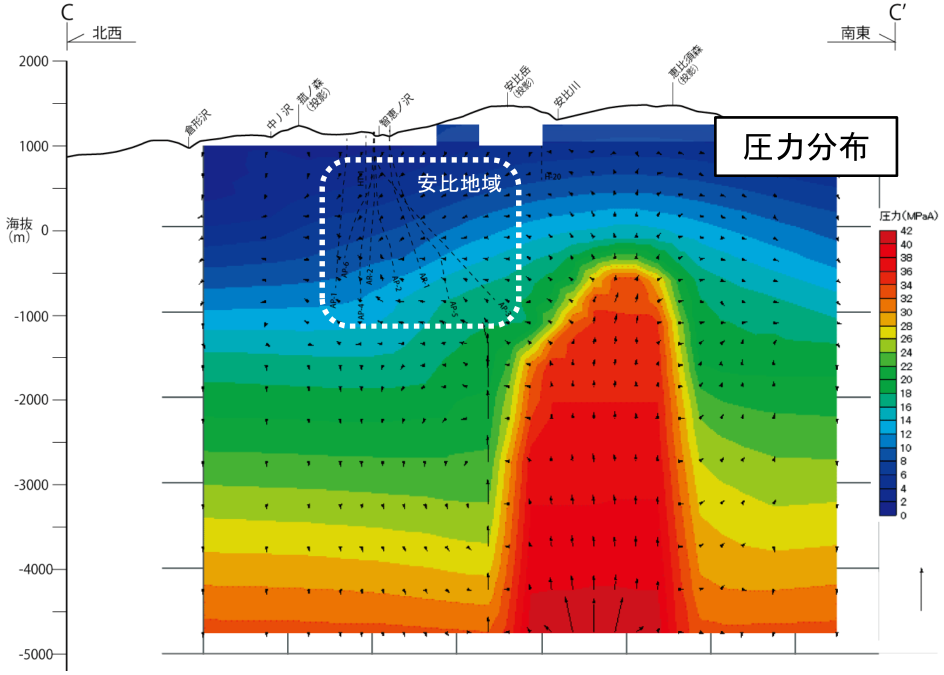
熱源岩体外側の透水性設定

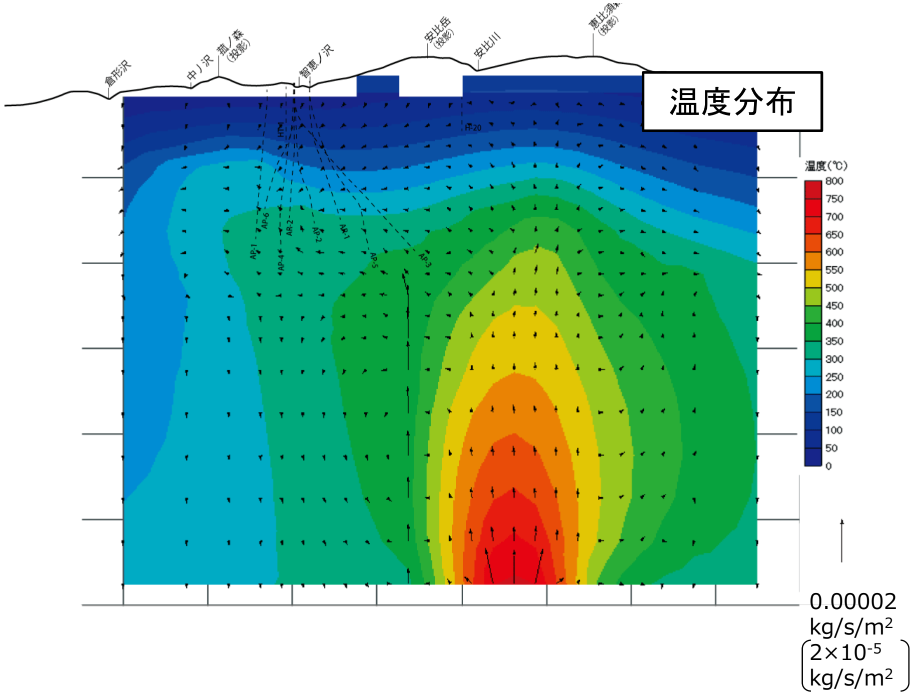


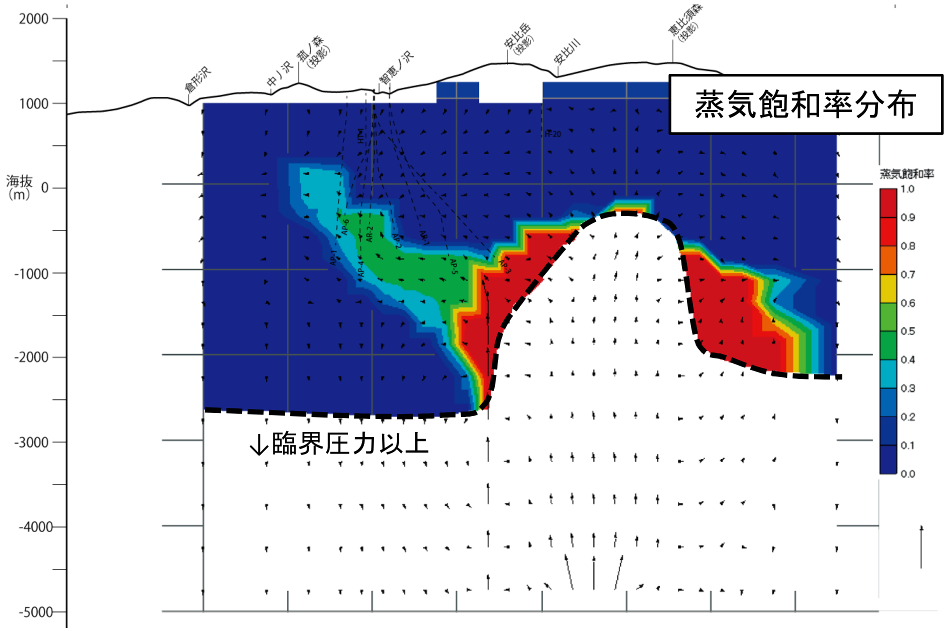
熱源岩体内部の透水性設定



自然状態シミュレーション結果（C-C’断面，計算時間17.3万年）





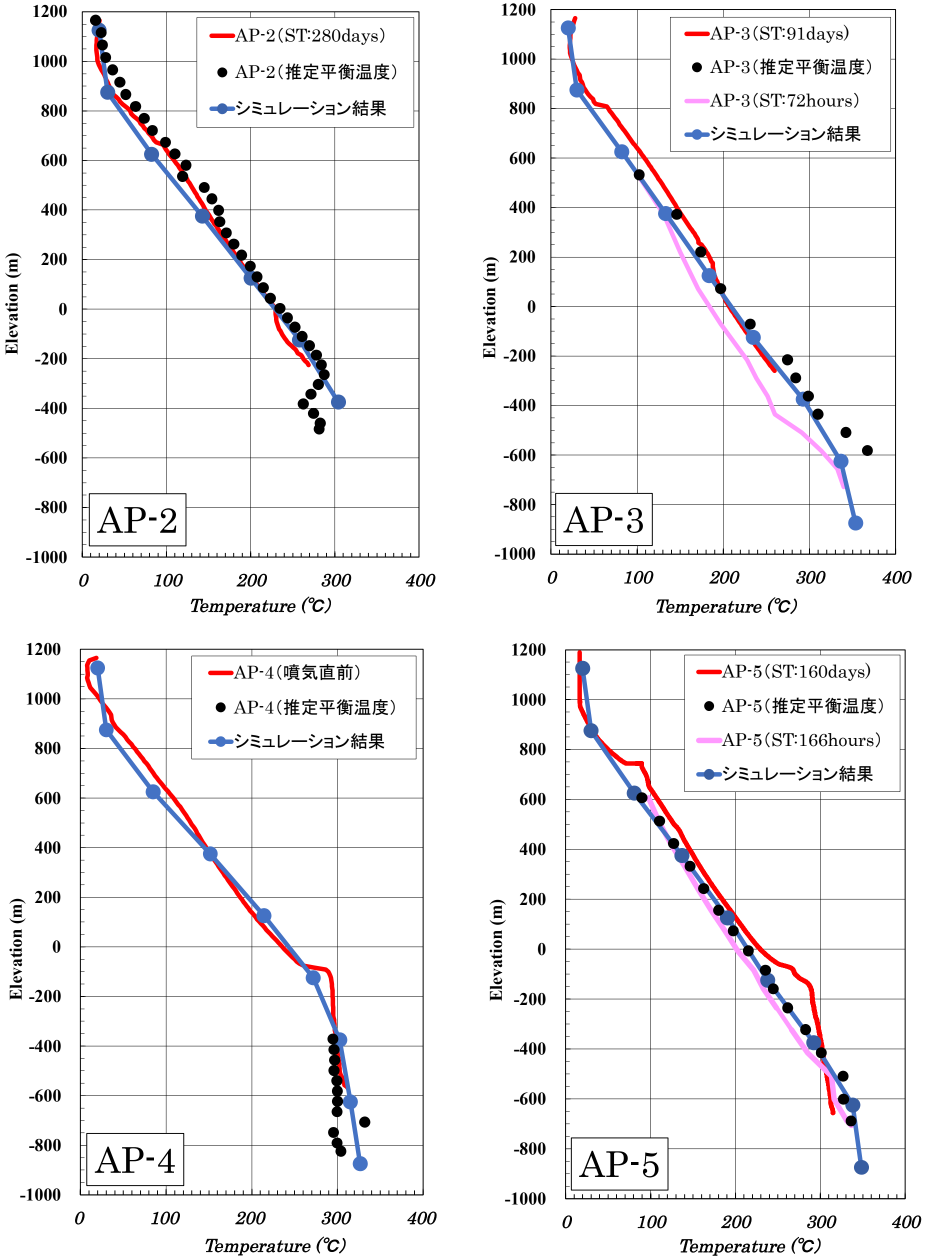


不透水層に覆われた超臨界地熱貯留層の外側に、蒸気単相（過熱状態）の流体が生じ、安比地域生産ゾーンまで広がっている状態が表現された。

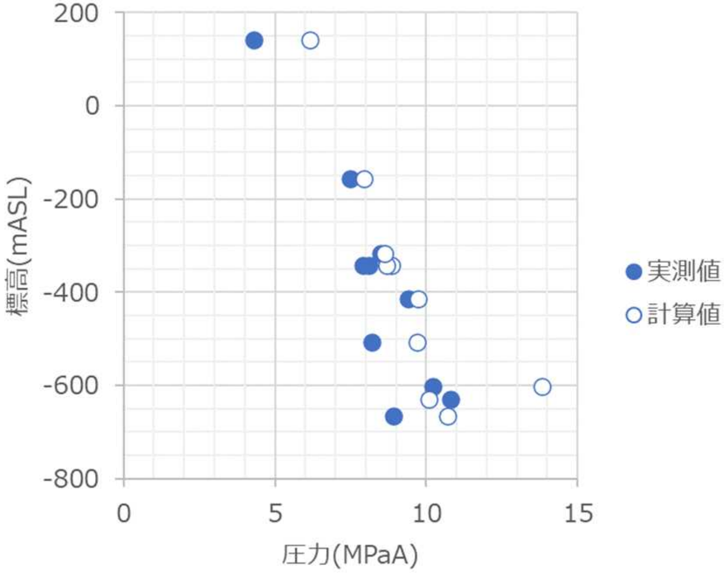
シミュレータ

- iTOUGH2 V7.1
- EOS1SC（純水・超臨界対応・最高温度800℃）

自然状態シミュレーション結果と実測値の比較



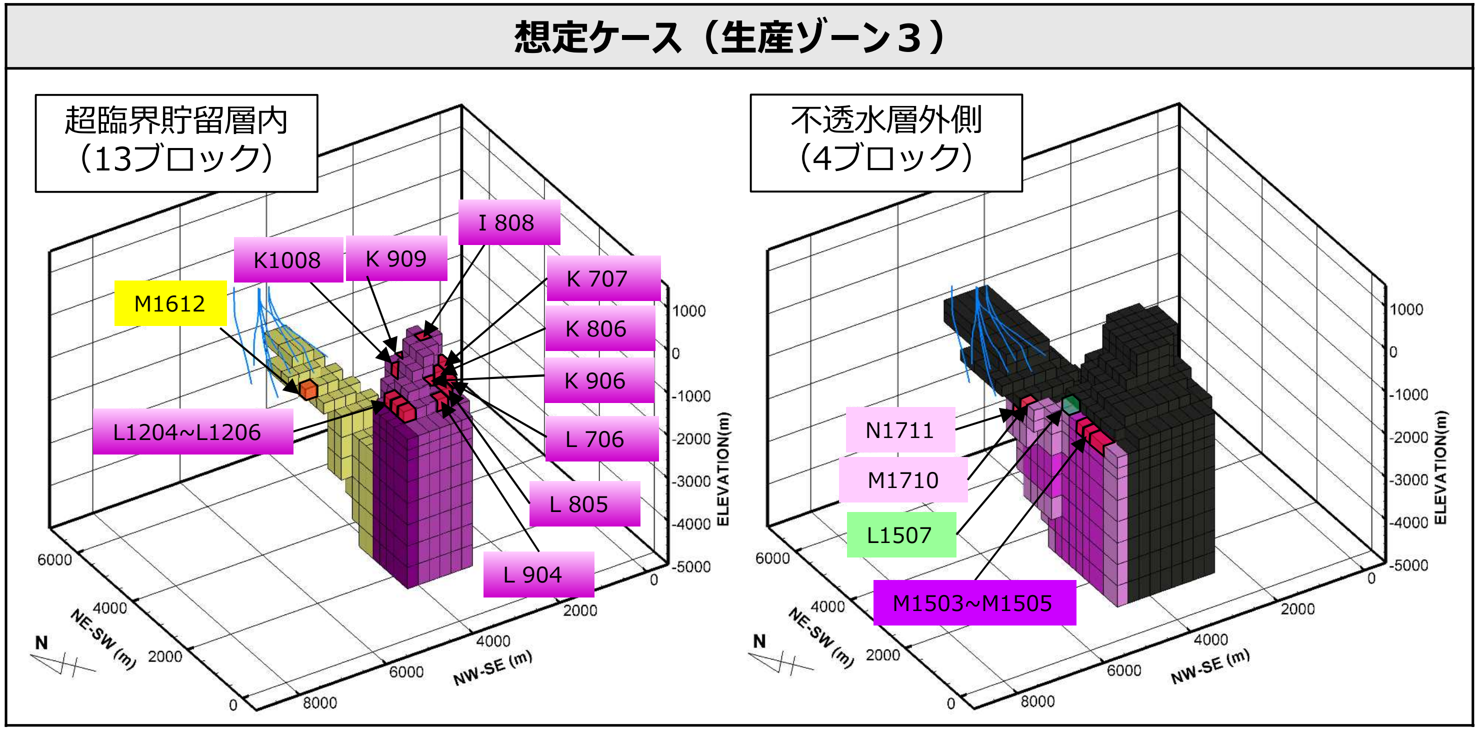
実測温度プロファイルとの比較

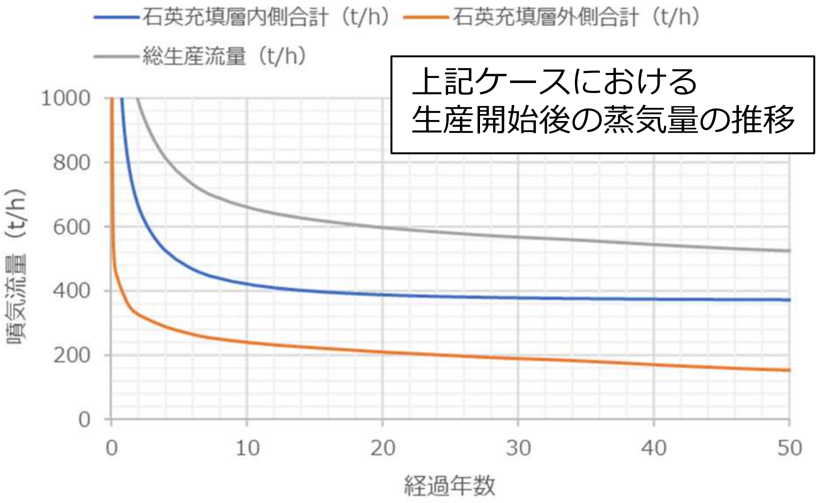


圧力実測値との比較

安比地域における実測値を概ね再現しており、想定した加熱・流動機構はひとつの解釈として成立しうると考えられる。

資源量評価（生産予測シミュレーション）

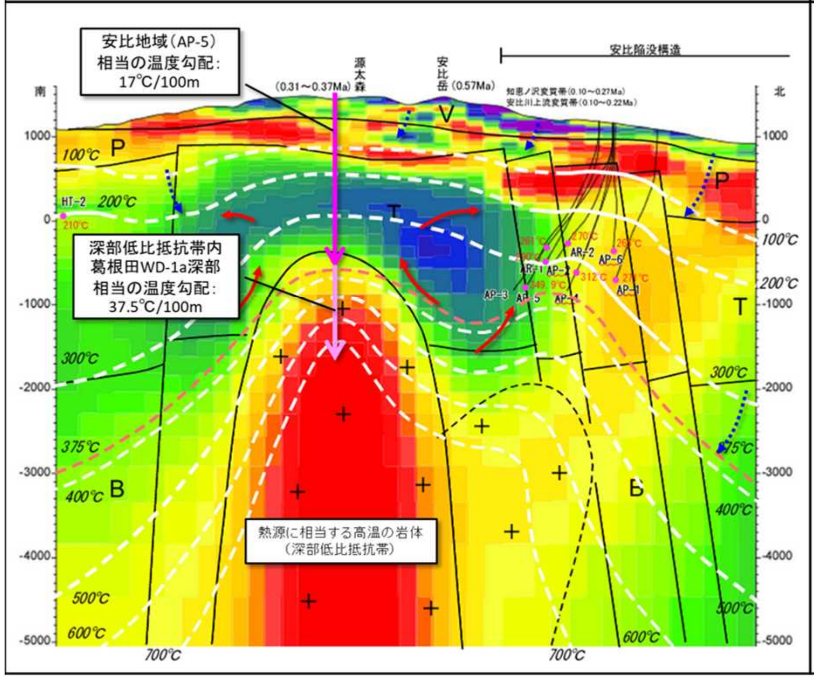


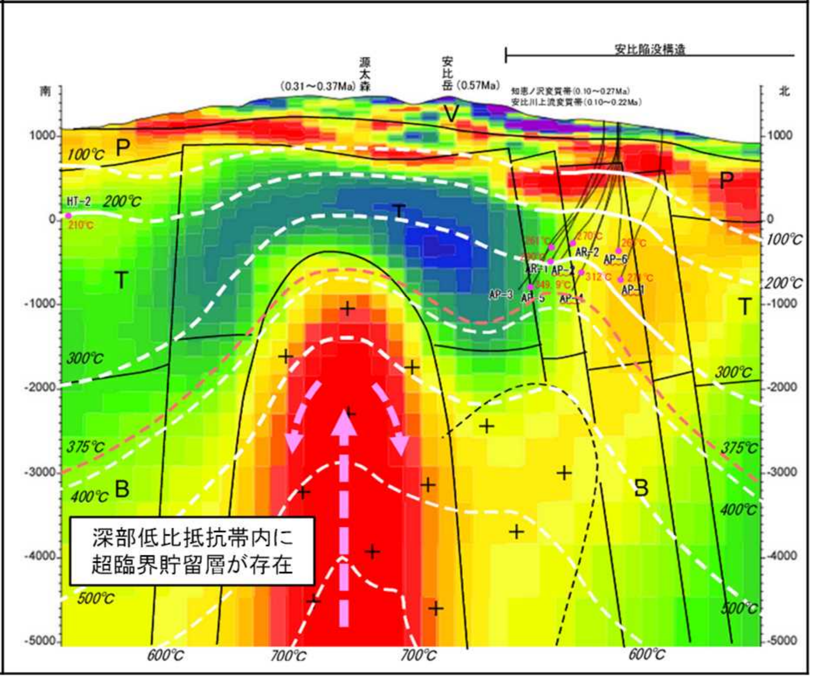


- 超臨界流体を、超臨界貯留層およびその外側の領域から生産した場合の蒸気量・発電出力を試算
- 上記ケースでは、生産開始10年後で過熱蒸気660 t/h（発電出力110 MW相当）が生産される結果となった。

地熱構造モデル

地表調査・既存資料から推定したモデル	数値モデルによる再現を反映したモデル





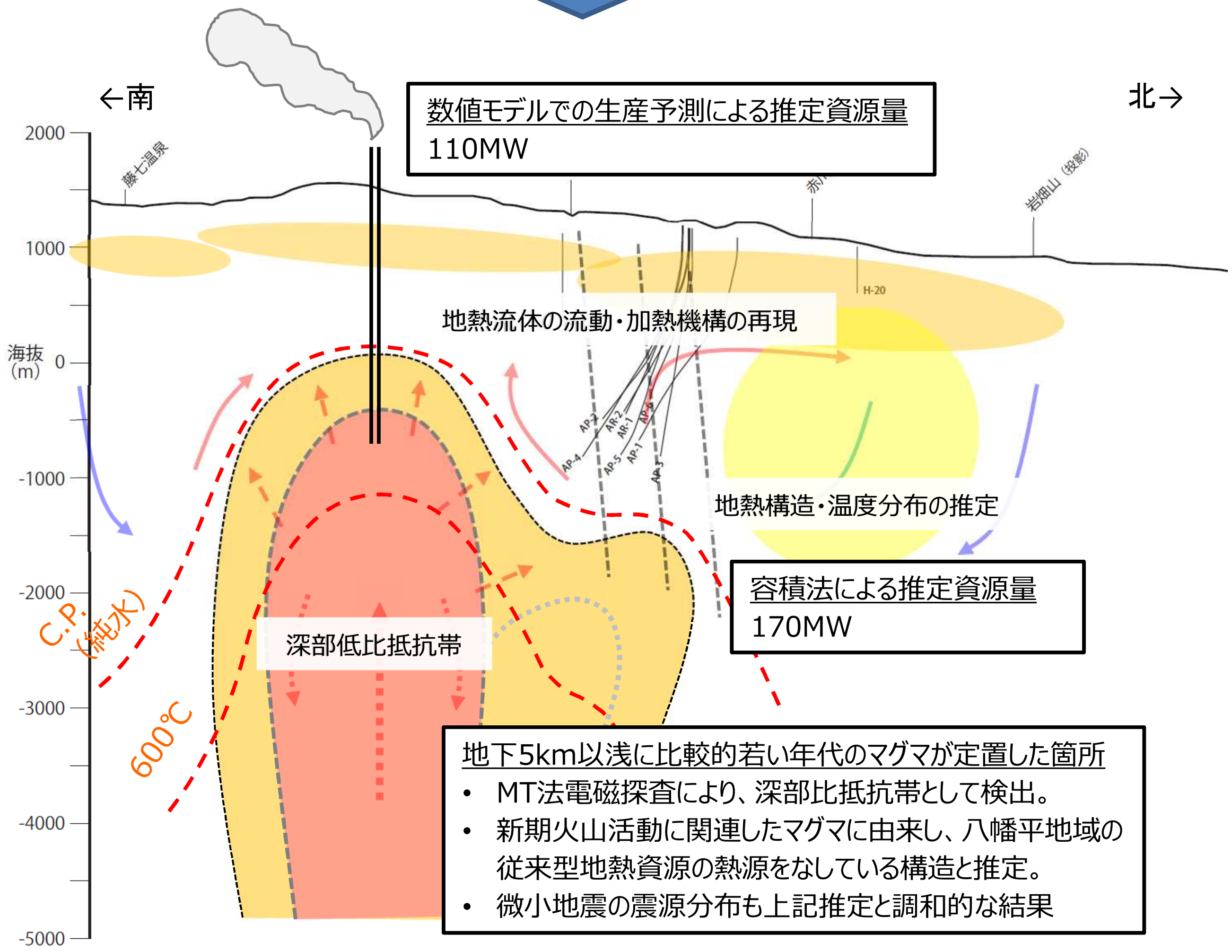
資源量評価結果

手法名	超臨界地熱資源量
モンテカルロ容積法	**170** MW (40～300MW)
数値モデルによる生産予測	**110** MW （生産開始10年後）

成果のまとめ

__最終目標__

地表調査を行うことで、地下5km以浅に比較的若い年代のマグマが定置した箇所を特定し、超臨界地熱資源量を具体的に評価する（1地域あたり100MW規模）。



実用化の見通し

- 本研究開発における超臨界地熱資源量評価についての一連の評価手法は、既存調査データ（坑井調査による温度データ等）がある程度取得されている地域であれば適用可能であり、概査段階における資源量評価に寄与することができる。

実用化にむけた課題

- 具体的な掘削ターゲットの検討など、精査段階への適用に向けた調査手法の高精度化が必要。
- 現時点では、国内外ともに超臨界領域に到達した事例が少なく、資源量評価において仮定・推定した項目の検証が進んでいない状況。
- 今後得られた知見を取り入れ、評価手法を修正していく必要がある。

実用化にむけた取組

- 研究開発の継続
  ⇒「超臨界地熱資源技術開発／超臨界地熱資源量評価（八幡平地域）」（2021年度～2023年度）
  研究開発項目：補完地表調査，複数モデルによる資源量評価と最適生産システムの検討，掘削費用の検討，経済性評価

- 最新事例・情報の収集

- 従来型地熱資源の資源量評価への応用
  （熱源領域までを考慮した調査・評価）
  ⇒ 従来型地熱資源の調査においても、MT法電磁探査で長波長領域まで測定し、熱源位置の特定を図る。（複数地域で実施中）
  ⇒ 熱源位置の特定によって、より適切で効率的な開発計画の策定が可能。
  ⇒ 将来的な超臨界領域への開発も、視野に入れることが可能。