

2024年度NEDO再生可能エネルギー一部成果報告会 プログラムNo.4

地熱発電導入拡大研究開発 / 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）

発表日：2024年12月18日

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

岩崎隆一

三菱マテリアルテクノ（株），地熱解析（株）

問い合わせ先 三菱マテリアルテクノ（株）担当：岩崎

E-mail: tiwasaki@mmc.co.jp TEL: 03-6628-6913

1. 背景・目的

「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。

2. 実施期間 2021年6月 ～ 2024年3月

3. 実施内容・目標

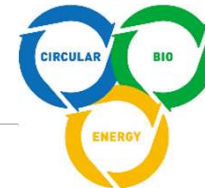
対象地域（モデルフィールド）：「八幡平地域」（岩手県八幡平市）

研究開発項目：地表調査，資源量評価，調査井仕様の検討，経済性評価

最終目標：地表調査を行うことで、地下5km 以浅に超臨界領域（あるいはそれに準じた高温領域）を特定し、超臨界地熱資源の質、量及び規模を定量的に評価する（1 地域あたり100MW 規模）。

4. 成果概要

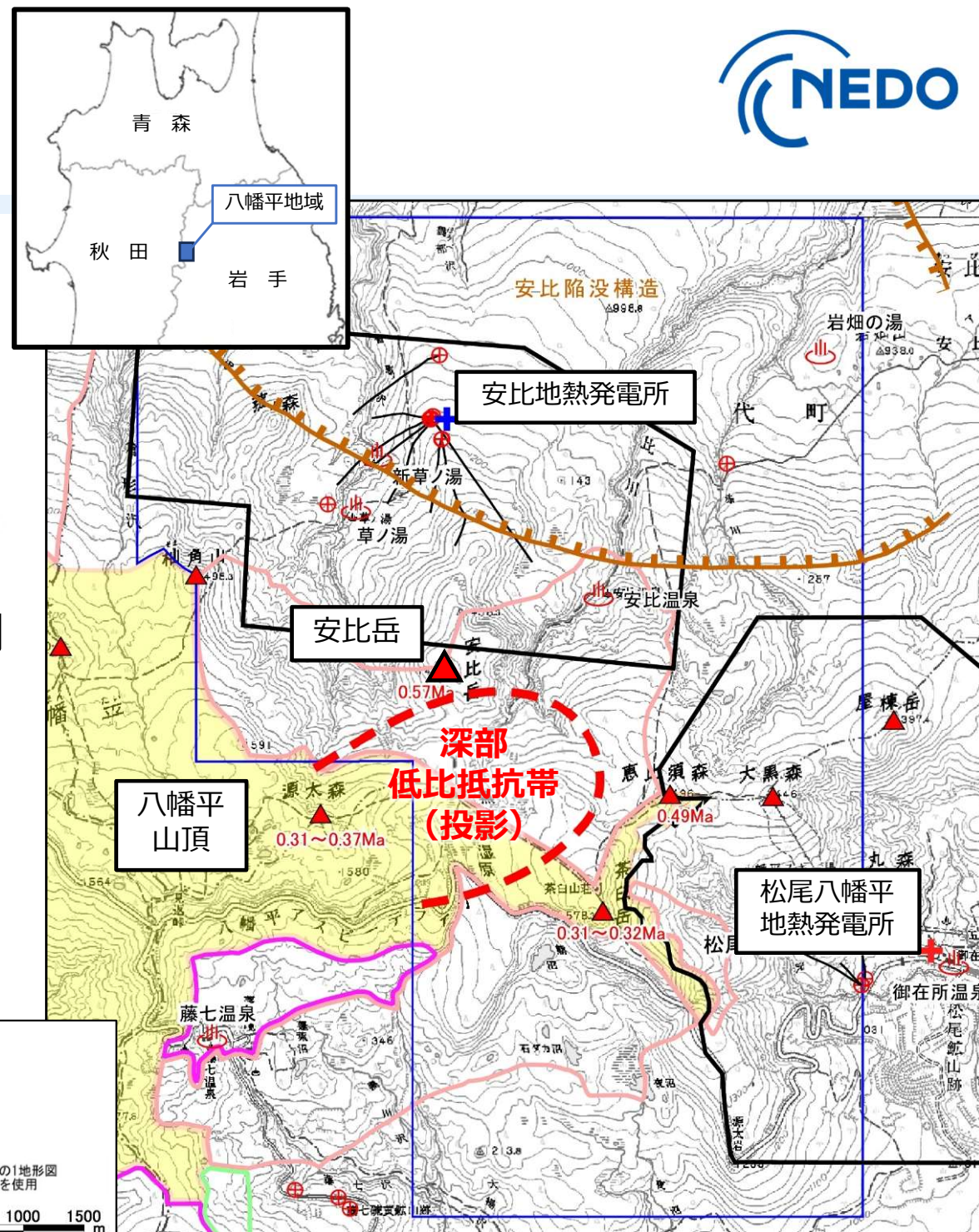
電磁探査と微小地震観測の結果から本地域の熱源構造を抽出し、数値シミュレーションを通じて、超臨界地熱資源の存在と従来型地熱資源も含む本地域の地熱系を説明可能なモデルの構築に成功し、資源量評価を行った。



対象地域

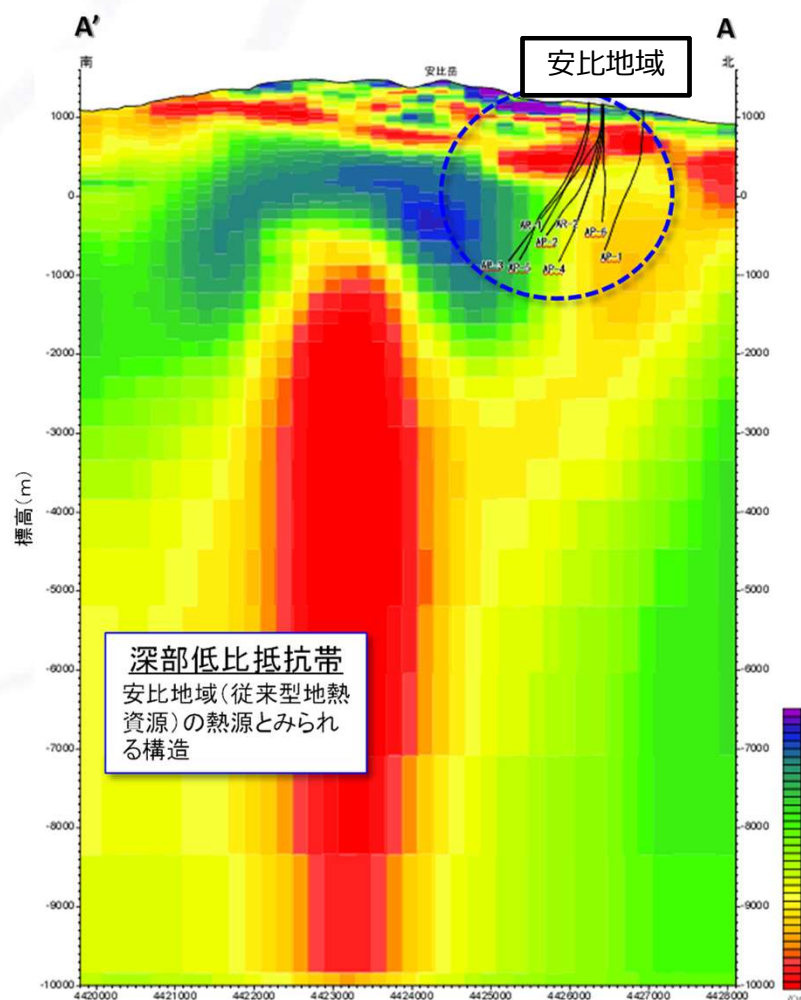
「八幡平地域」（岩手県八幡平市）

- ▶ 本地域には第四紀火山が多数分布し、安比および松尾八幡平地域で従来型地熱資源の開発が行われている。
- ▶ 過去の地熱調査における掘削により、 300°C を超える高温が実測で確認されており、超臨界地熱資源が賦存する可能性が高い。
- ▶ 前回PJにおいて、その高温の地熱資源の熱源とみられる構造（深部低比抵抗帯）が安比岳の南方深部に検出された。

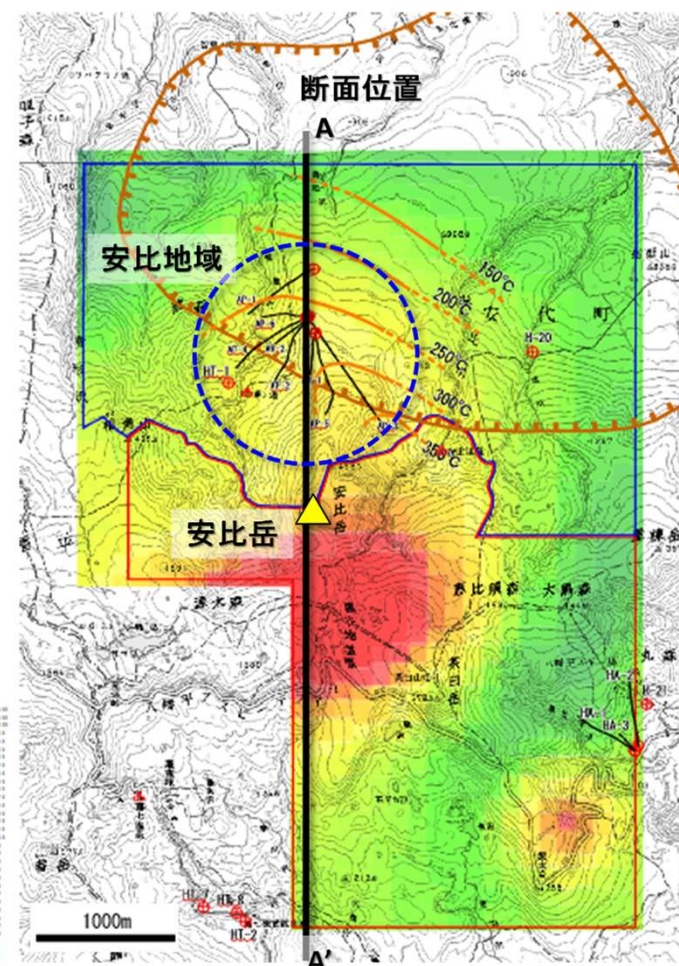


電磁探査による熱源構造の抽出

MT法電磁探査により検出された深部低比抵抗帯
(前回PJ：2019～2020年度成果)

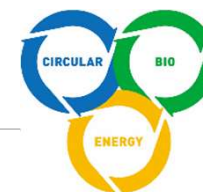


比抵抗断面図（南北：A-A'断面）



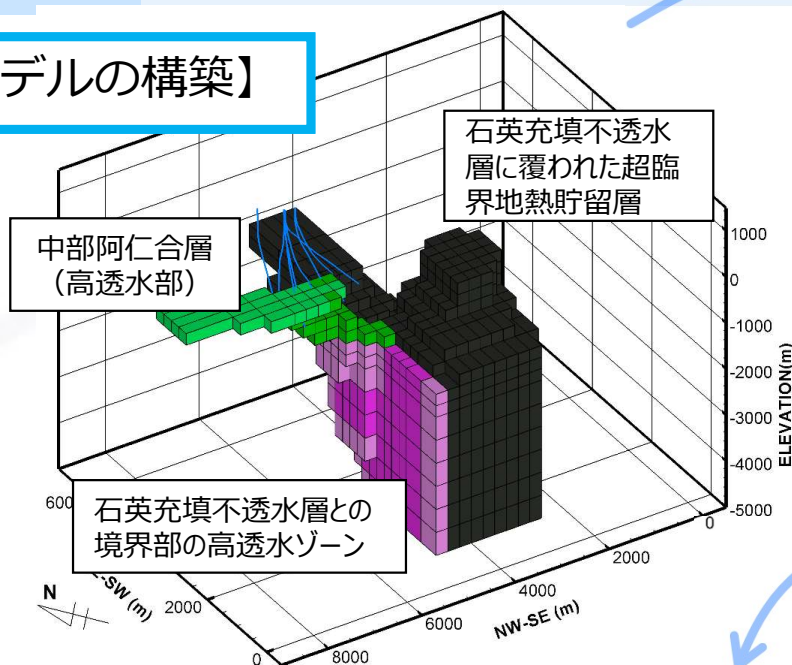
比抵抗平面図
(標高-3000mの比抵抗分布を投影)

国土地理院発行 5万分の1地形図
「八幡平」・「田山」を使用

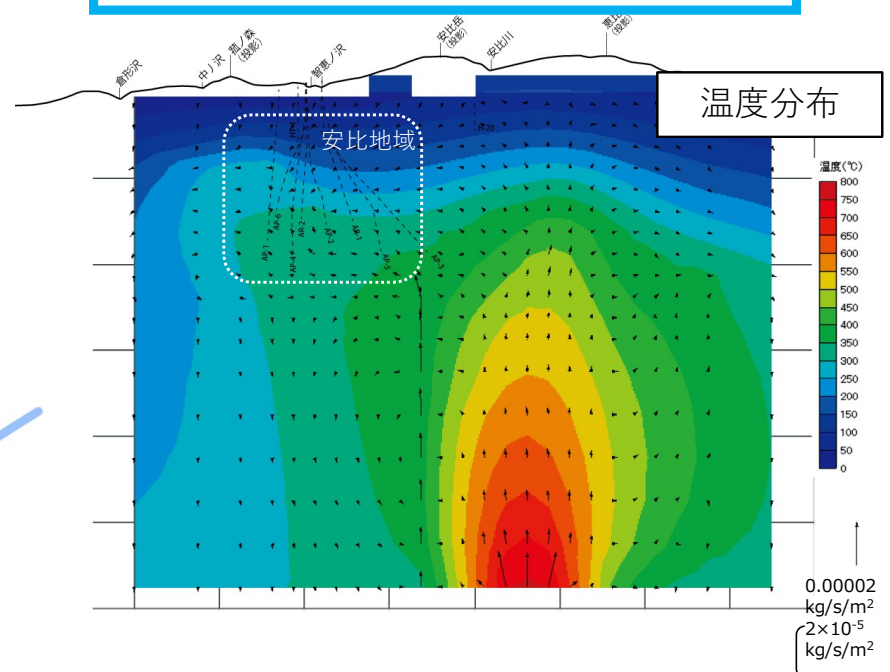


資源量評価の流れ

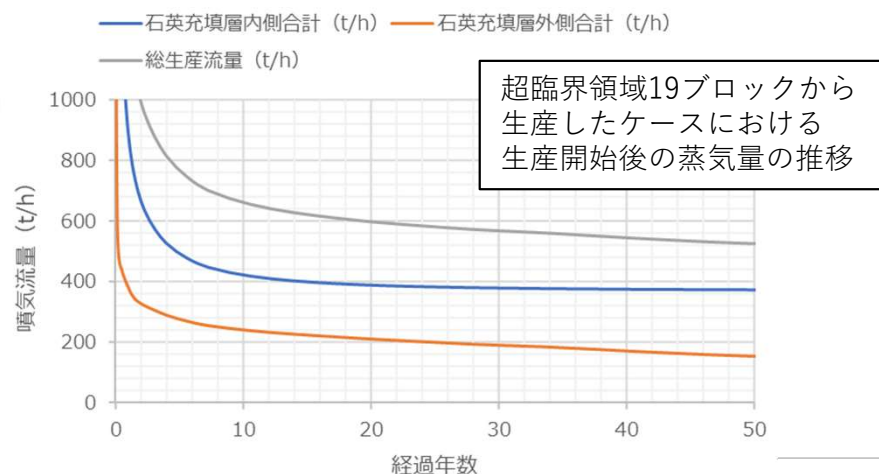
【数値モデルの構築】



【自然状態シミュレーション】 流体流動・加熱機構の再現



【生産予測シミュレーション】蒸気量を推定



【前回PJでの資源量評価結果】

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)

研究開発項目とフロー



2019～2020年度

前回PJ※成果

- MT法電磁探査, 微小地震観測データ
- 予察的資源量評価

2021～2023年度

①補完地表調査と
概念モデル構築

- MT法電磁探査（補足調査）
- 微小地震観測
- 重力探査

数値モデル化

概念モデル
の修正

②資源量評価

掘削ターゲット, 想定温度・圧力環境

③深部構造調査試錐の検討

温度・圧力
試算結果

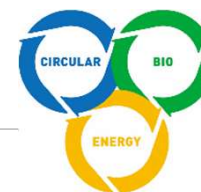
④超臨界地熱調査井の検討

最適生産システムを
ベースとした検討

掘削費用を考慮

⑤経済性評価

※2019～2020年度「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」



研究成果

研究成果

地表調査：MT法電磁探査

熱源構造（深部低比抵抗帯）の正確な把握のための精度向上を目的として、許可を得て、国立公園特別保護地区を含む範囲で補足調査を行った。

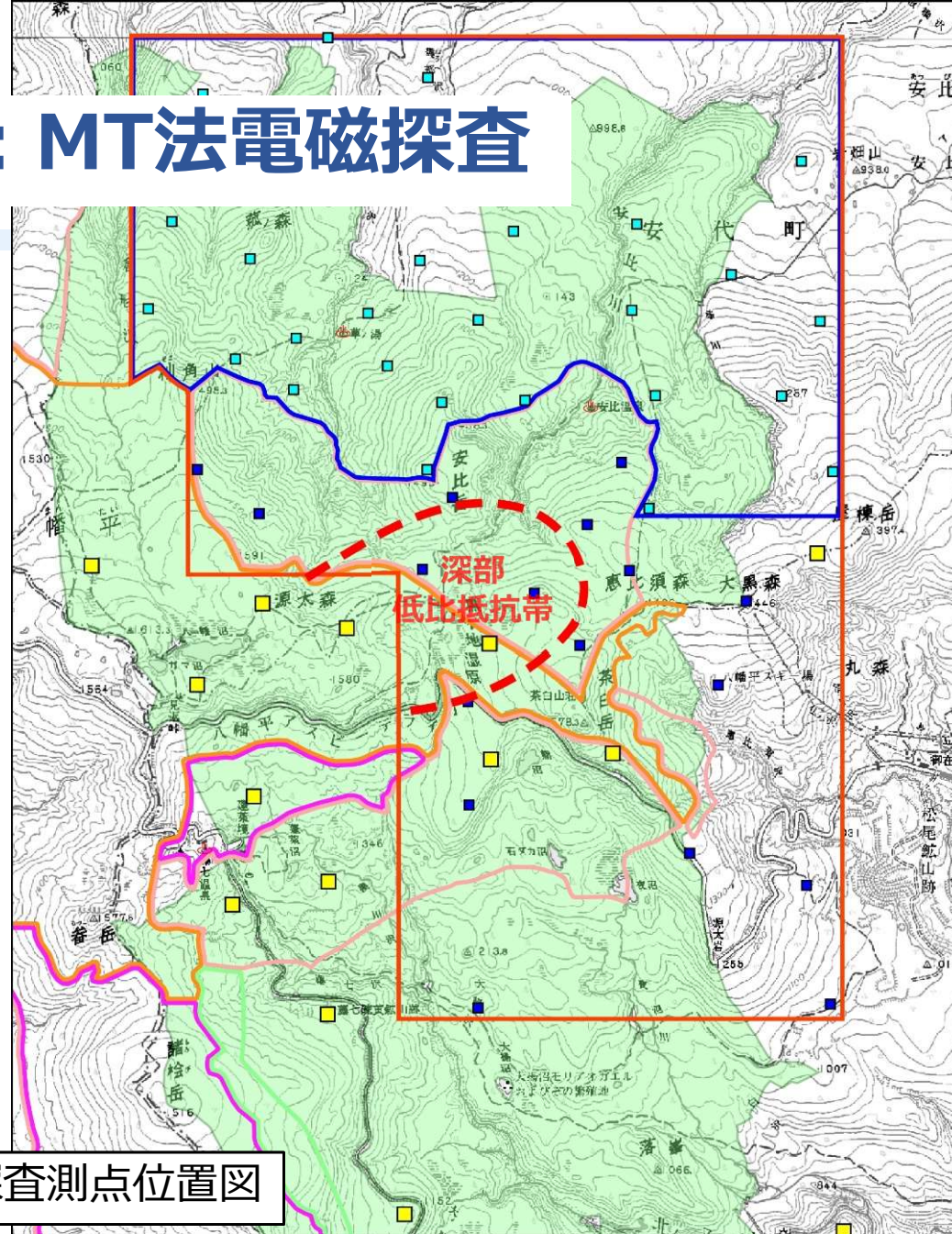
【測点】 14測点

【観測期間】

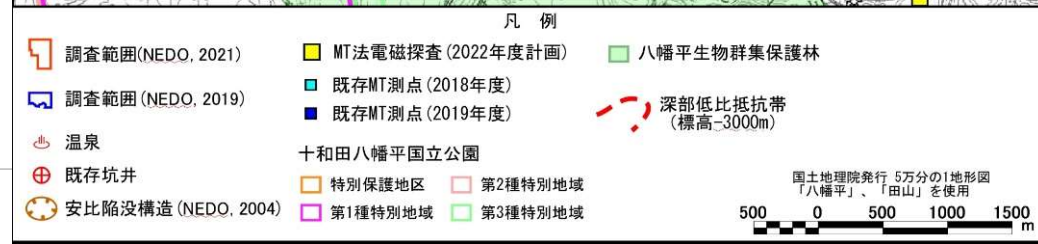
2023年8月21日～9月5日

【データ解析】

既存の47測点を加えた計61測点のデータによる3次元解析を行い、前回PJ解析結果との比較を行った。



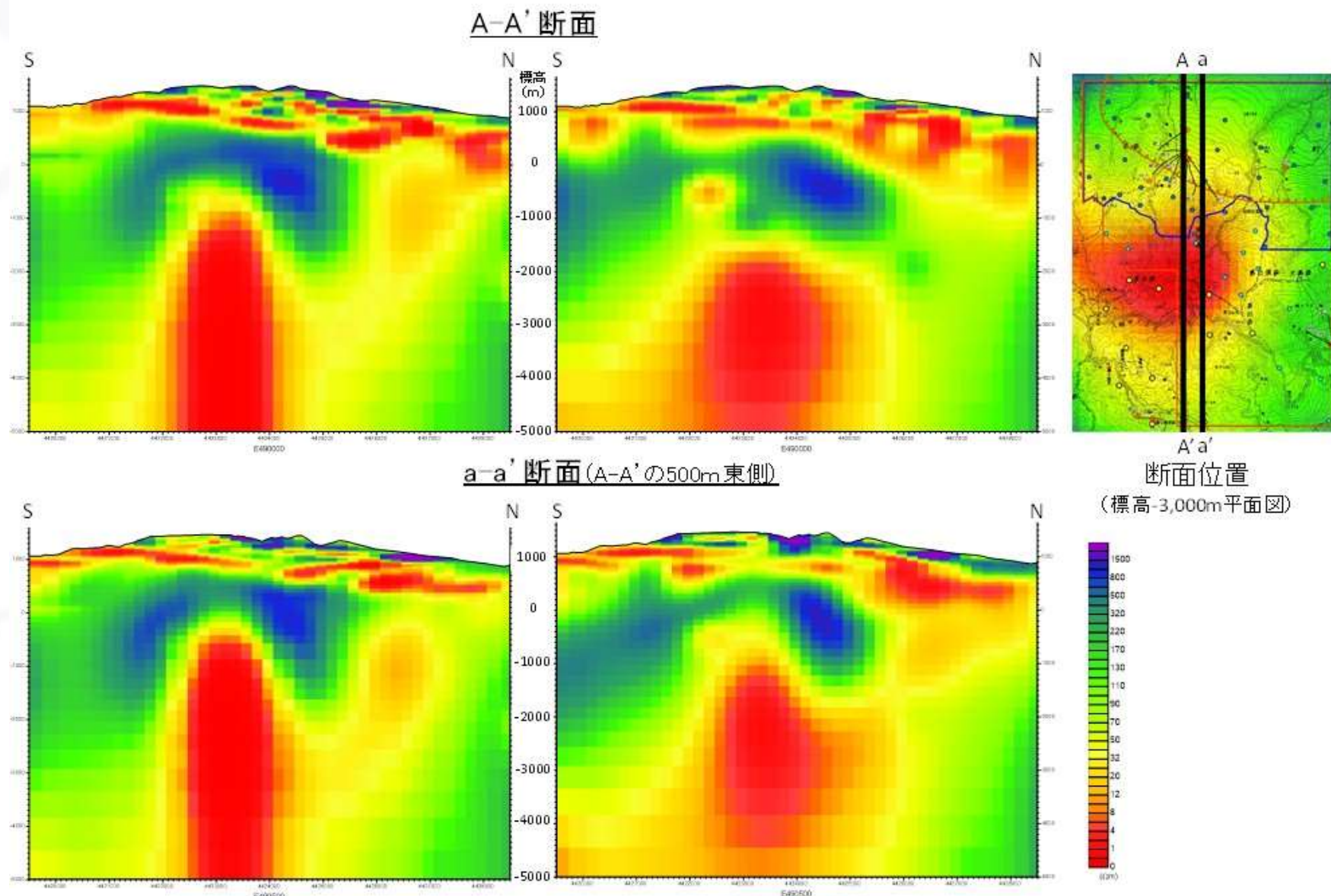
電磁探査測点位置図



研究成果 地表調査：MT法電磁探査



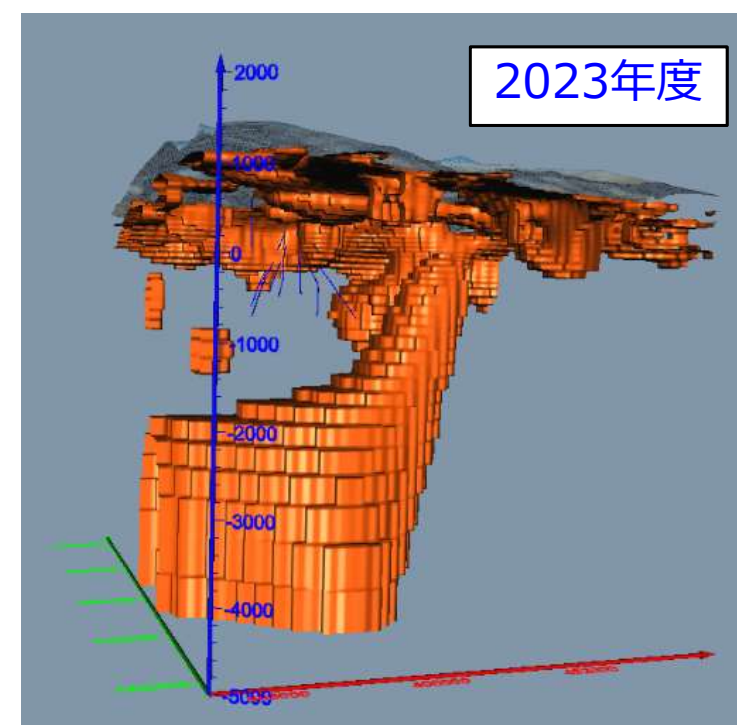
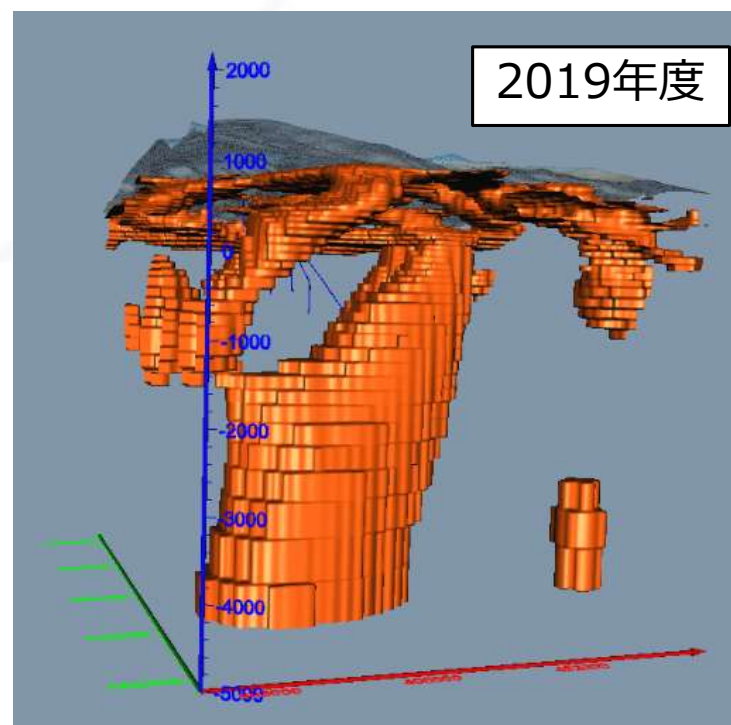
測点追加による比抵抗分布形状の変化



研究成果 地表調査：MT法電磁探査

2023年度解析結果についての解釈と評価

- 測点を追加した南側、特に南西部では、2019年度の解析結果と異なる分布形状となったが、測点を追加し、測点配置の偏りを小さくしたことで、解析精度が向上したものと考えられる。
- 今回、国立公園の特別保護地区内での調査が認められたことが、精度向上に大きく役立った。



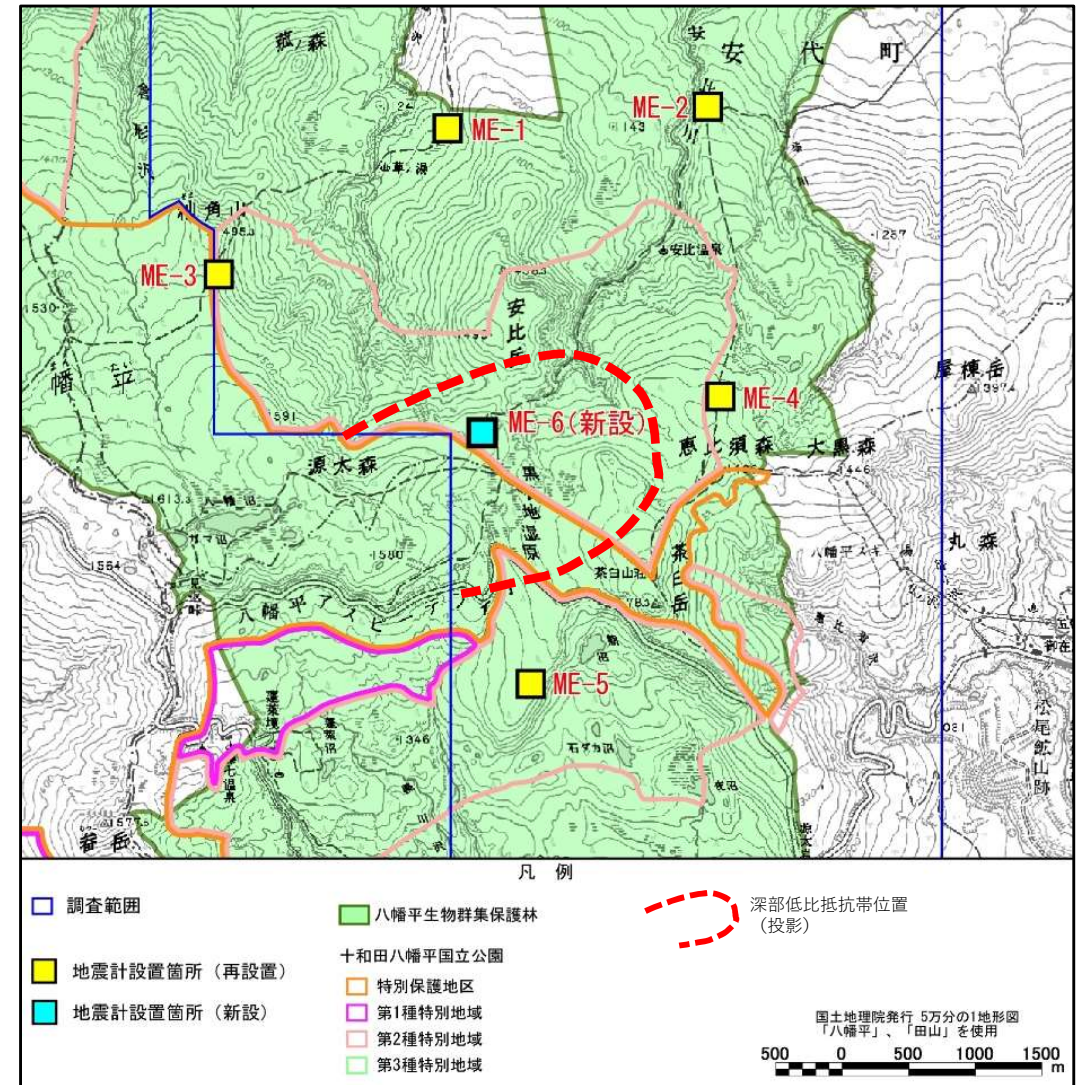
超臨界領域では、岩石は延性的な挙動を示し、微小地震の発生は少ないと考えられることから、微小地震観測により震源分布を把握し、超臨界領域の分布を推定する。

【微小地震観測点】
6測点（ME-1～6）

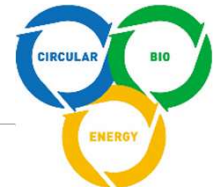
【観測期間】
2021年9月14日～2023年7月4日



微小地震観測点の状況

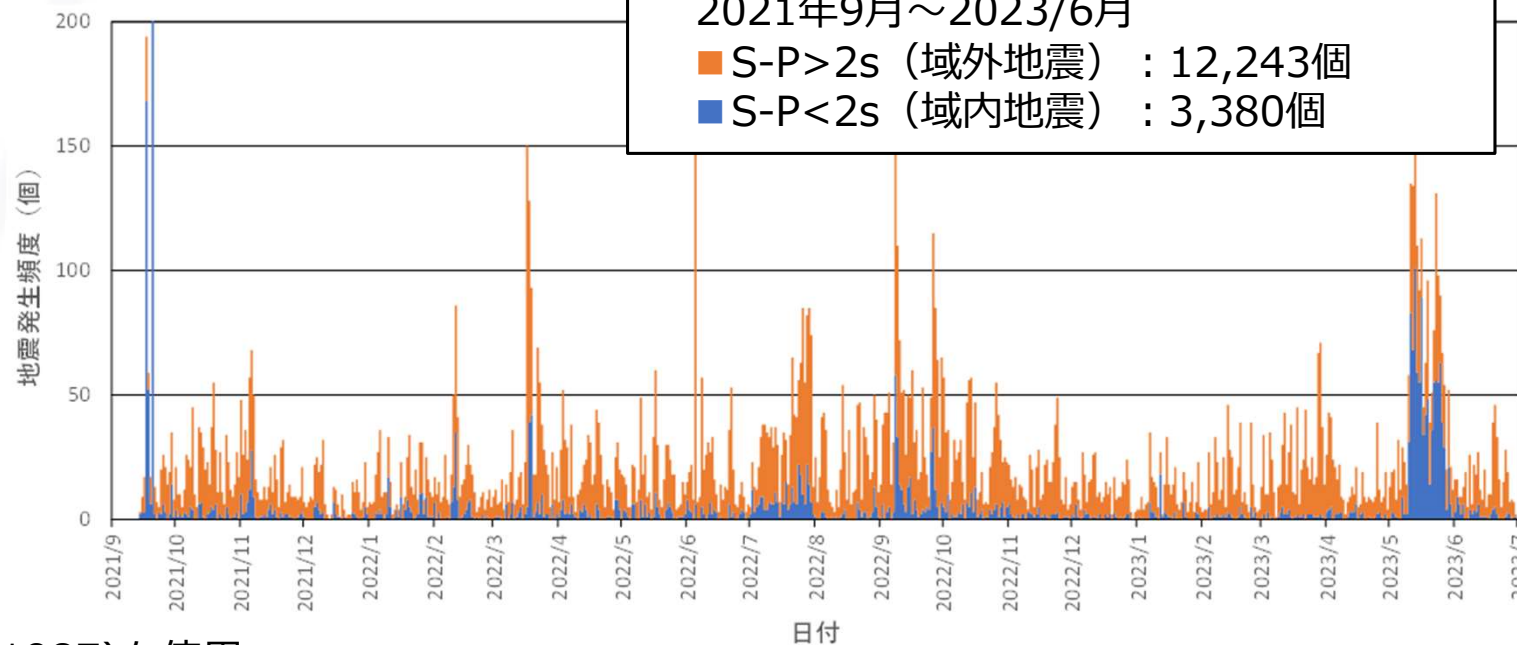


微小地震観測点位置図



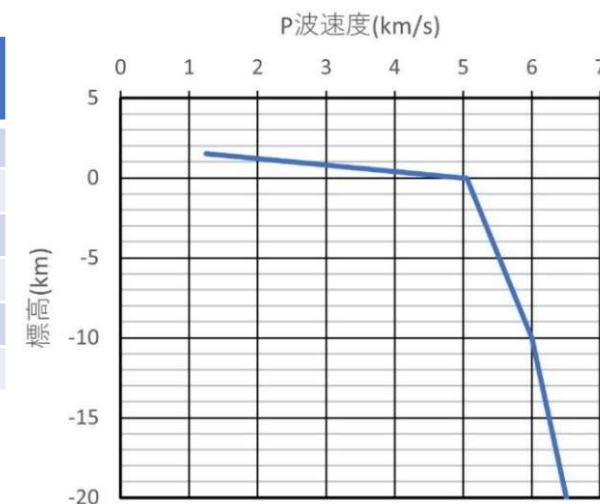
【震源解析】

- S-P差が約2秒以内の明瞭な地震を抽出し、震源解析を実施



- 震源決定：
Hirata & Matsu'ura(1987)を使用
- マグニチュードの算出：
渡辺（1971）を使用
- 速度構造：
地熱開発促進調査・八幡平東部地域（NEDO, 1981）及び日本列島下の三次元地震波速度構造モデル（NIED）より設定
(S波速度構造は $V_p/V_s=1.73$)

深度 (km)	P波速度 (V_p , km/sec)
0.00	5.00
0.02	5.05
10.0	6.00
20.0	6.50
40.0	7.50
600	8.20



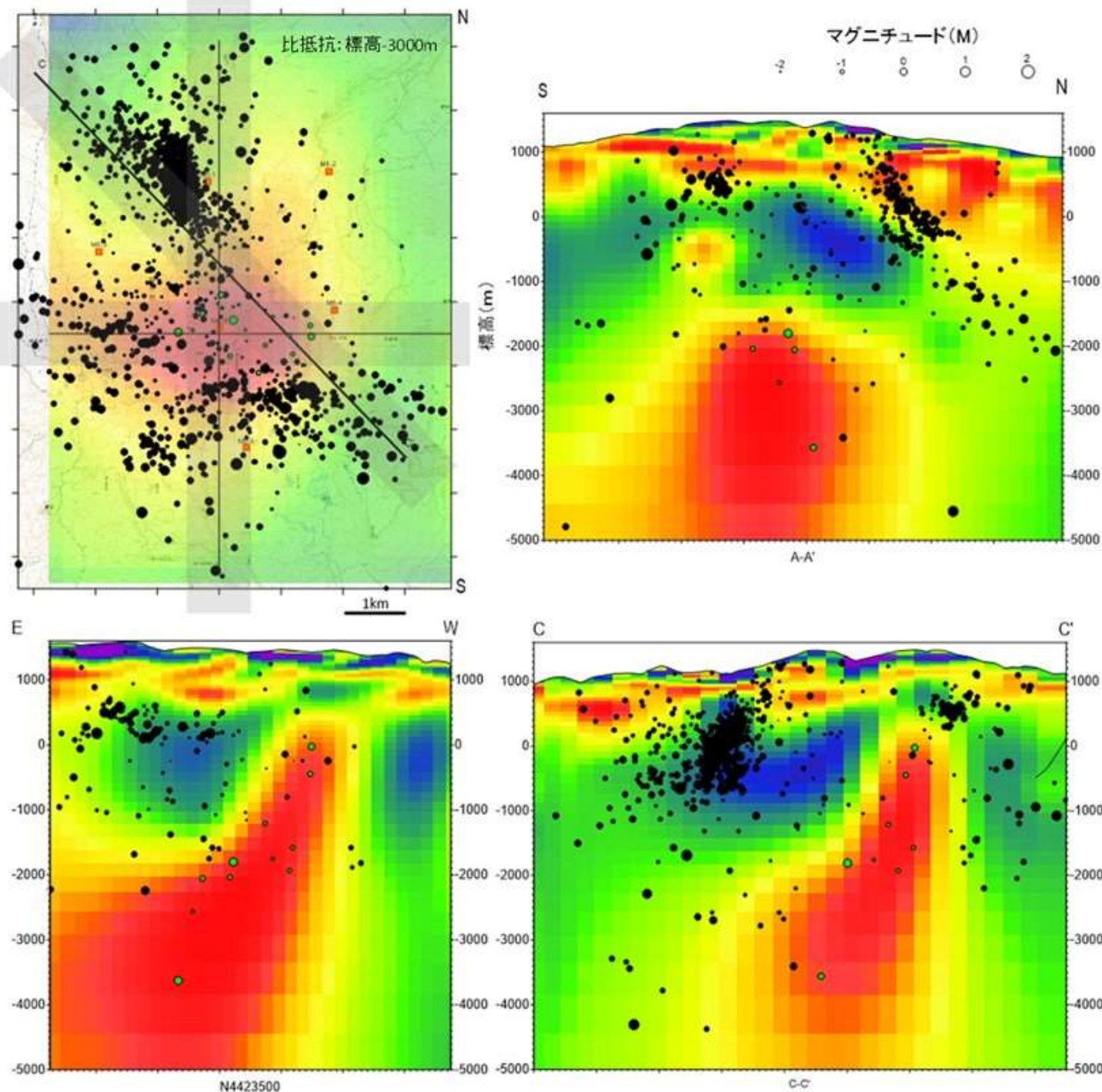
地震波速度構造モデル

微小地震震源分布

2020年8月～10月（前回PJ）
2021年9月～2023年6月

- 決定された震源のうち誤差200m以内の震源（1,532点）をプロット
- 断面図には各断面の両側500m範囲の震源を表示
- 安比地域の坑井工事に関連するとみられる震源（北西部の集中域）と、茶臼岳～八幡平にかけて震源が集中的に分布。
- 深部低比抵抗帯の内部では地震が少ない

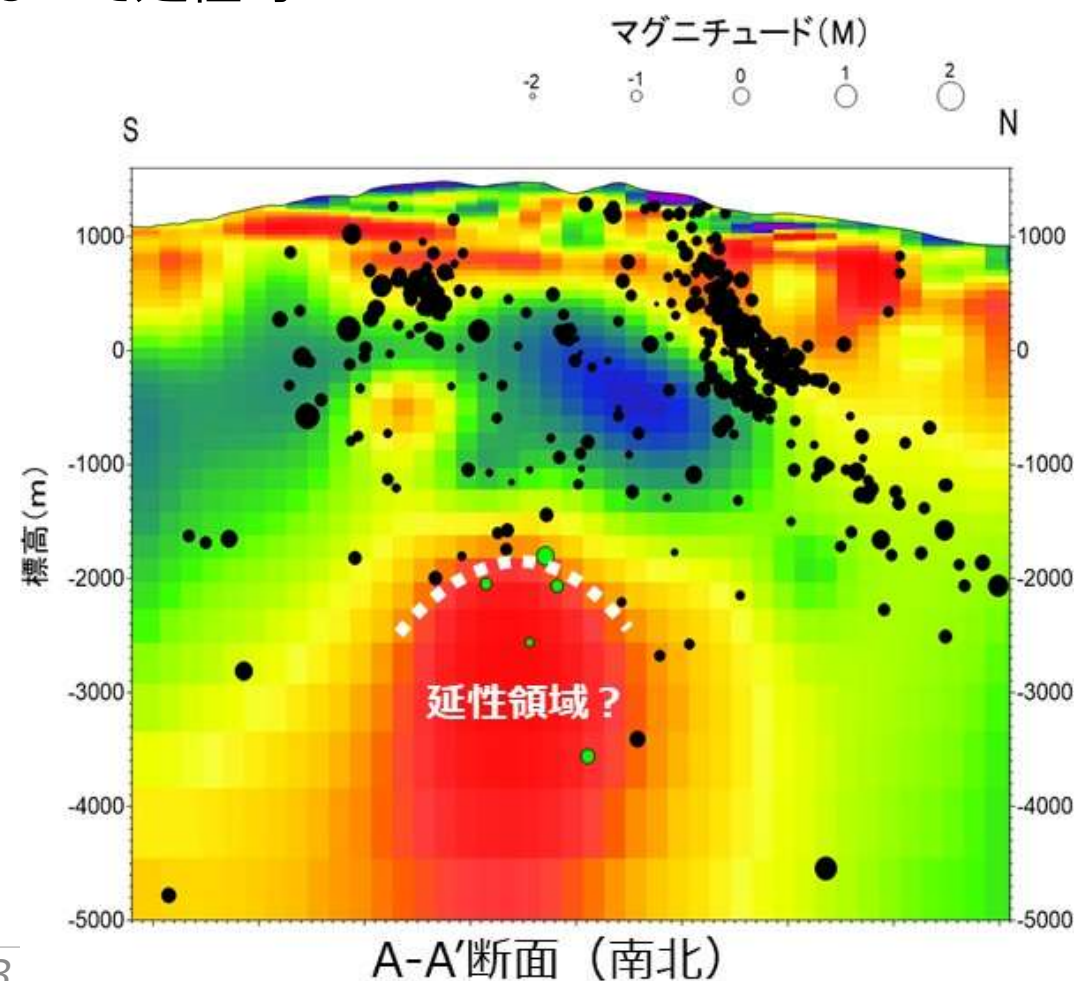
●：深部低比抵抗帯内の震源



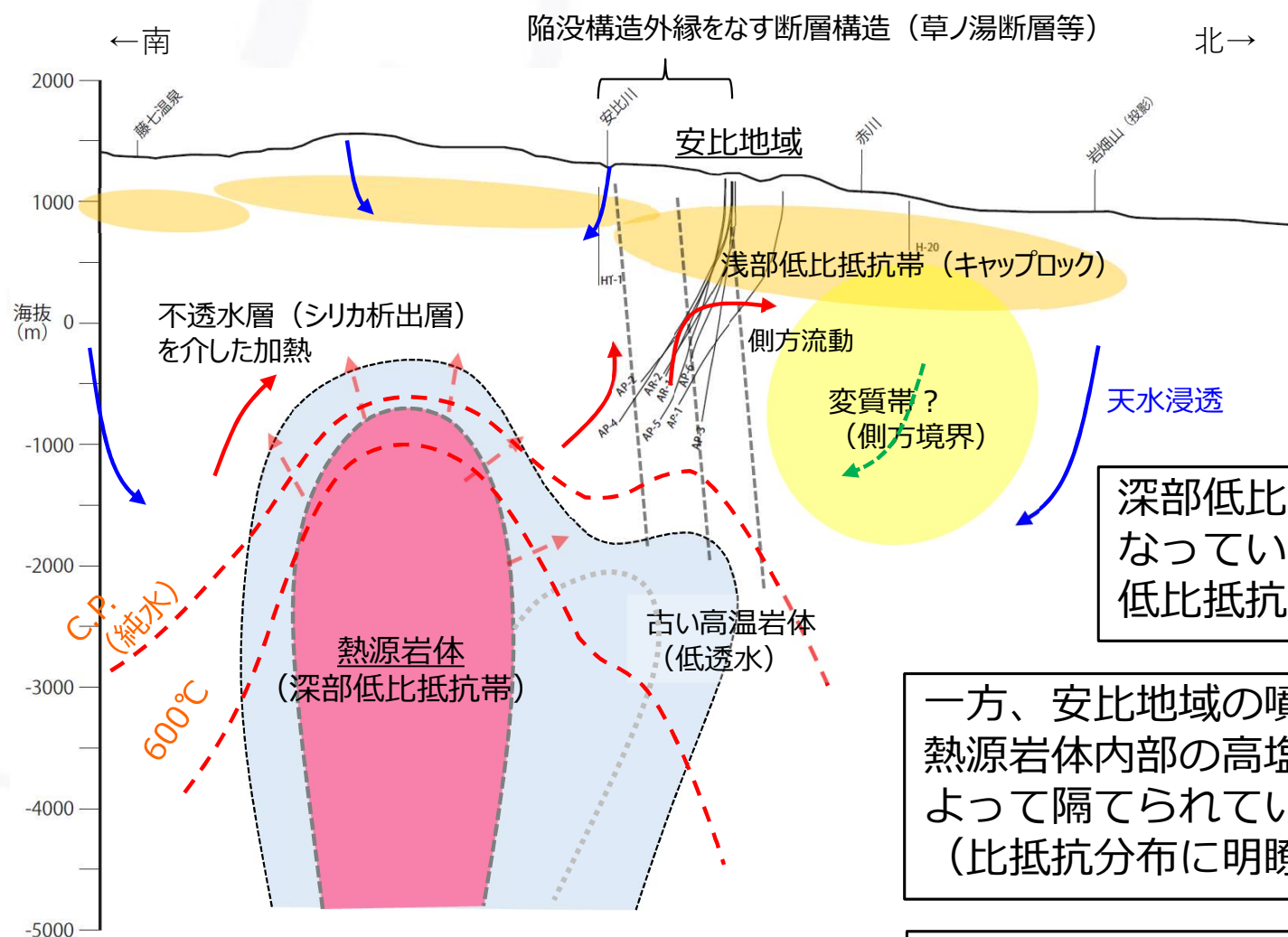
微小地震震源分布とその解釈

- 震源分布は、浅部に多く、深部低比抵抗帯内部には少ない傾向を示し、その範囲において延性的な環境である可能性を示唆した。
- 震源分布と比抵抗分布との比較では、今年度の比抵抗再解析の結果との方がより調和的であることから、MT法電磁探査の測点追加による精度向上を裏付けるものと考えられる。

● : 深部低比抵抗帯内の震源



研究成果 本地域の概念モデル



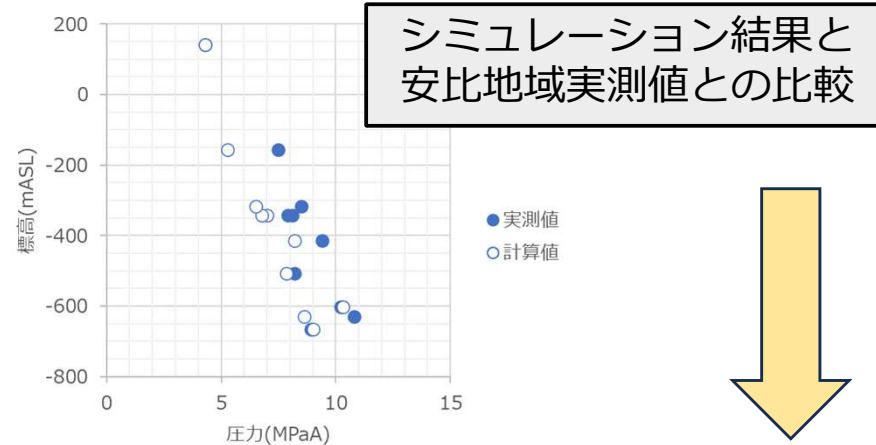
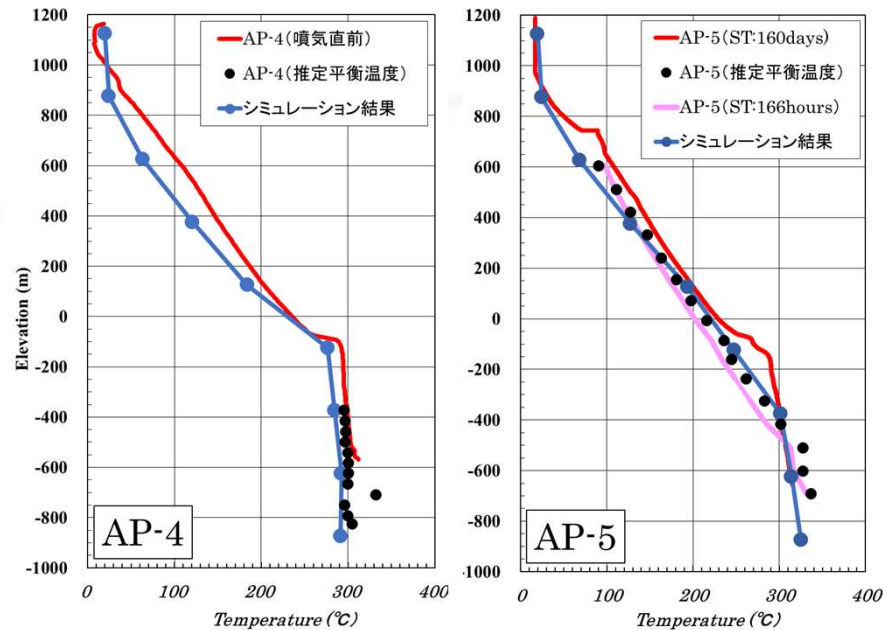
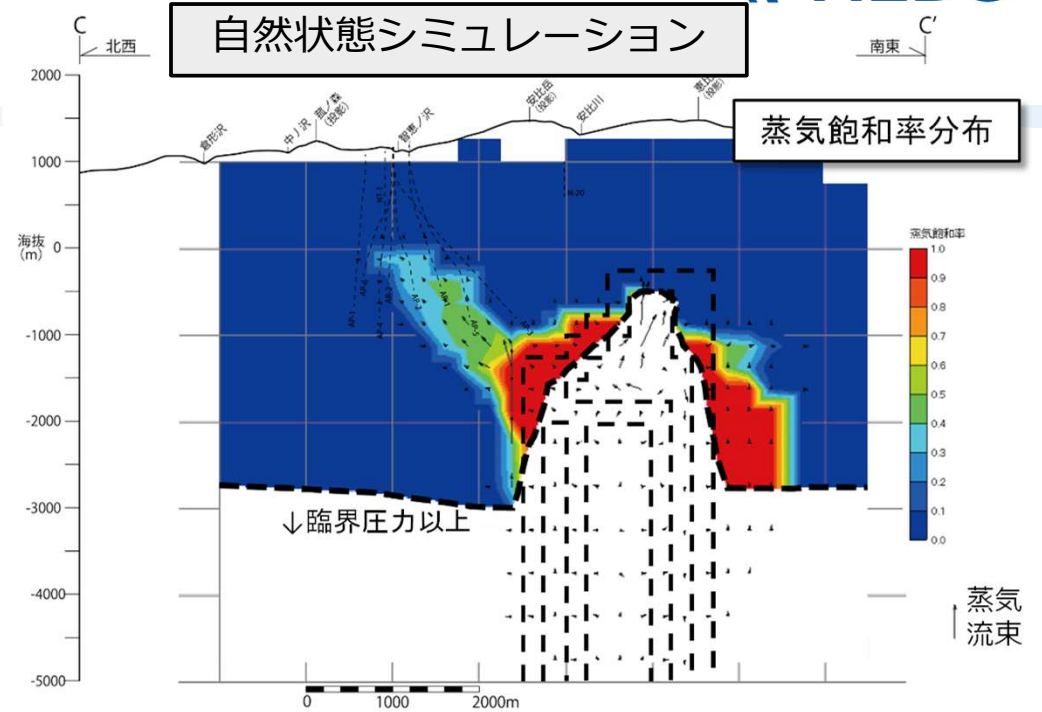
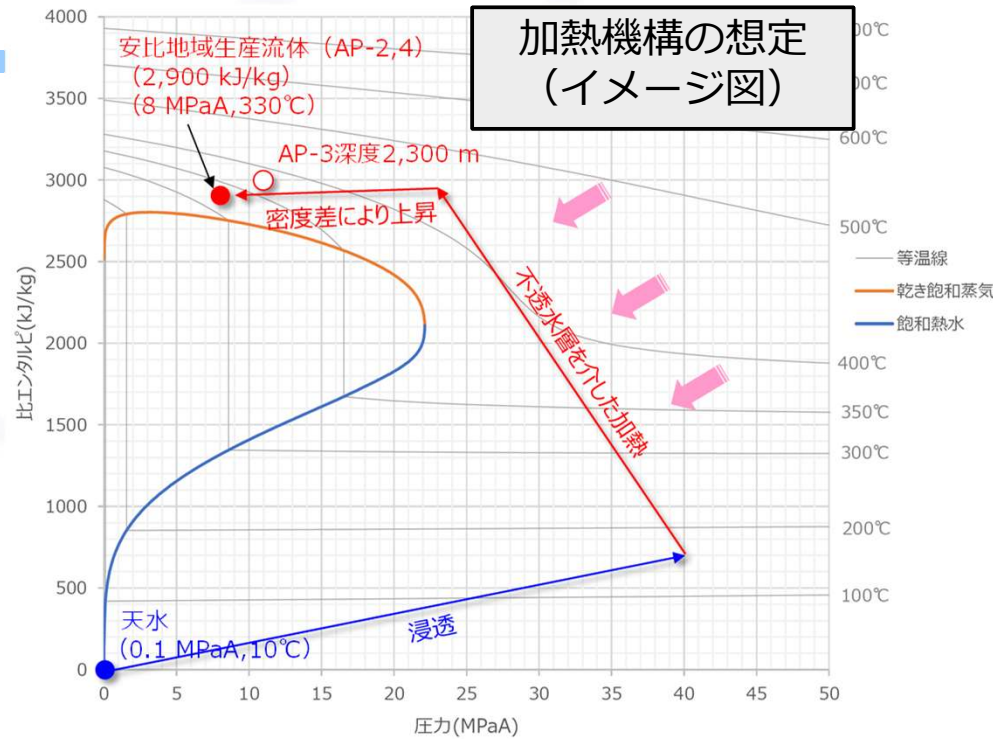
深部低比抵抗帯を、安比地域の熱源となっている熱源岩体と想定。
低比抵抗の要因：高塩濃度流体の存在

一方、安比地域の噴出流体は天水起源であり、熱源岩体内部の高塩濃度流体とは、不透水構造によって隔てられている状態と推定。
(比抵抗分布に明瞭なコントラスト)

その場合、浸透した天水は、不透水層を介した熱交換により加熱され、通路となる構造（断層，陥没構造）を通じて流動し、現在の安比地域地熱貯留層を形成したと解釈される。

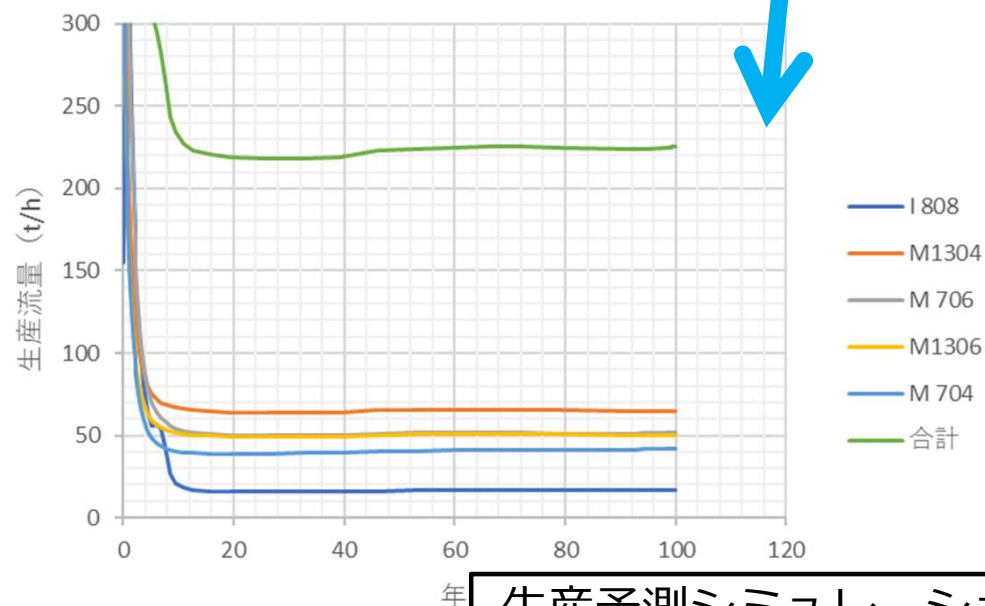
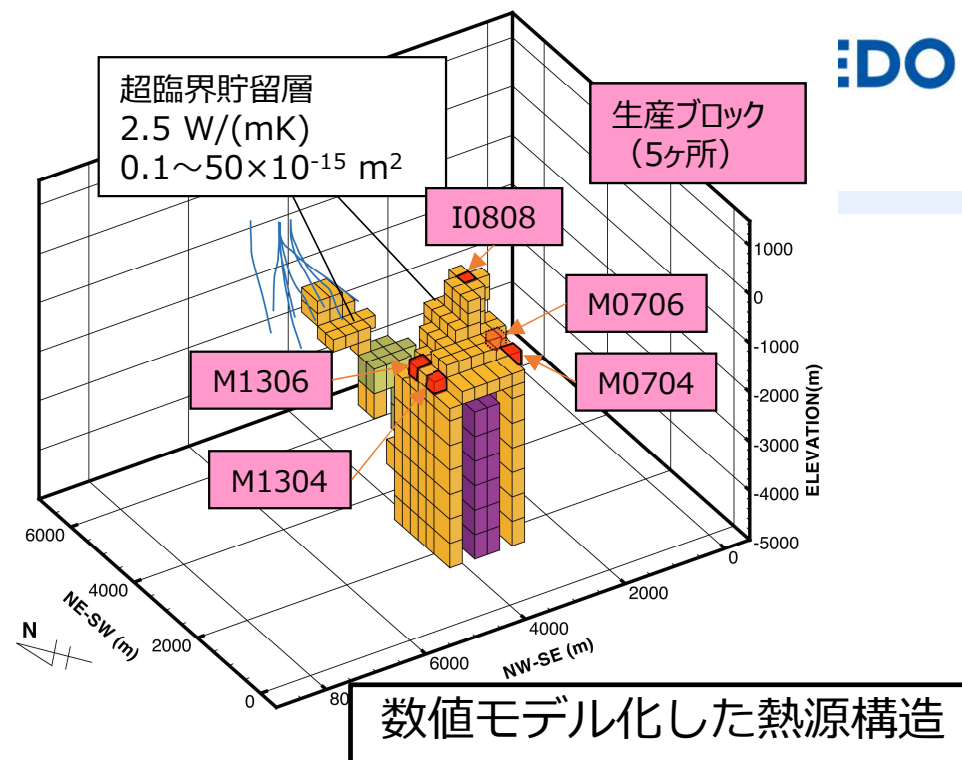
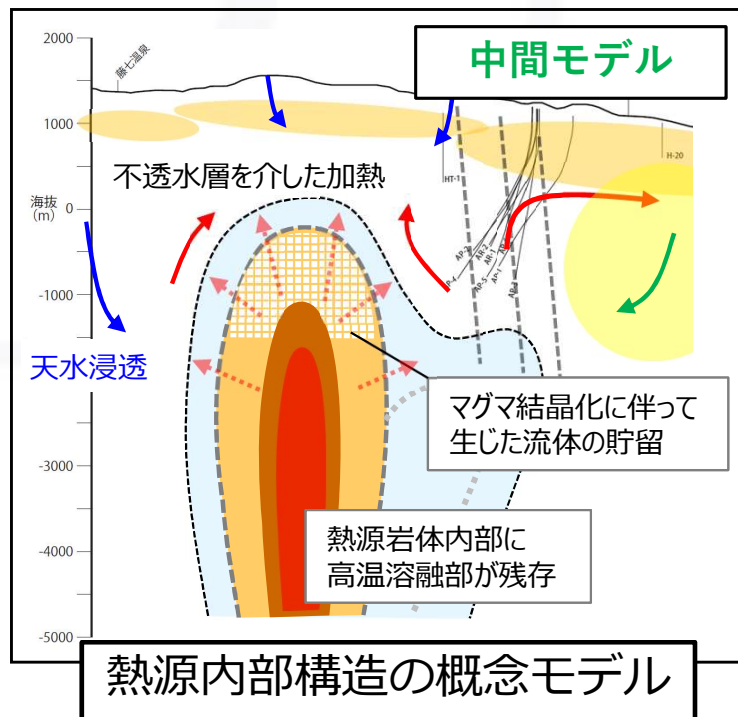
研究成果

自然状態シミュレーションによる妥当性評価



想定した流動・加熱機構の
モデル化を達成

研究成果 資源量評価



生産予測シミュレーション

- 熱源内部に想定した超臨界貯留層から蒸気を生産した場合の生産流量を計算。
- 浸透率等の未知パラメータを変化させ、とりうる生産流量の範囲を推定。



研究成果 資源量評価：生産予測

生産予測シミュレーション：20年生産流量での比較（生産井5本）

20年後生産流量（t/h）

超臨界貯留層 底面境界圧力 (MPaA)	超臨界貯留層浸透率（ $\times 10^{-15} \text{ m}^2$ ）					
	0.02 (参考)	0.1 (ワースト)	0.2	2	20	50
			(ミドル)			(ベスト)
30	6.5	※	※	45.8	324	542
40	※	※	※	96.4	665	1077
50	19.1	※	32.1	152	763	1816
60	25.7	※	※	219	1129	1670

100MW相当の
生産量600t/hを
超えるケース

ベースケース

- ：発散による計算停止により生産井数を4本に減じて対応
- ：発散による計算停止により生産井数を2本に減じて対応
- ※：発散多発により自然状態計算時間10万年未達成

- 今回の数値モデル上で目標100MWを達成できるケースは、超臨界貯留層の浸透率が $20 \times 10^{-15} \text{ m}^2$ 以上の場合という結果となった。
- 保守的・現実的な検討を行うため、代表例には、浸透率 $2 \times 10^{-15} \text{ m}^2$ 、底面境界圧力50MPaAのケース（ベースケース）を使用した。

研究成果

資源量評価：派生的な検討

※蒸気流量・発電出力は、生産開始20年後の値

従来型地熱貯留層 (安比地域) への影響評価

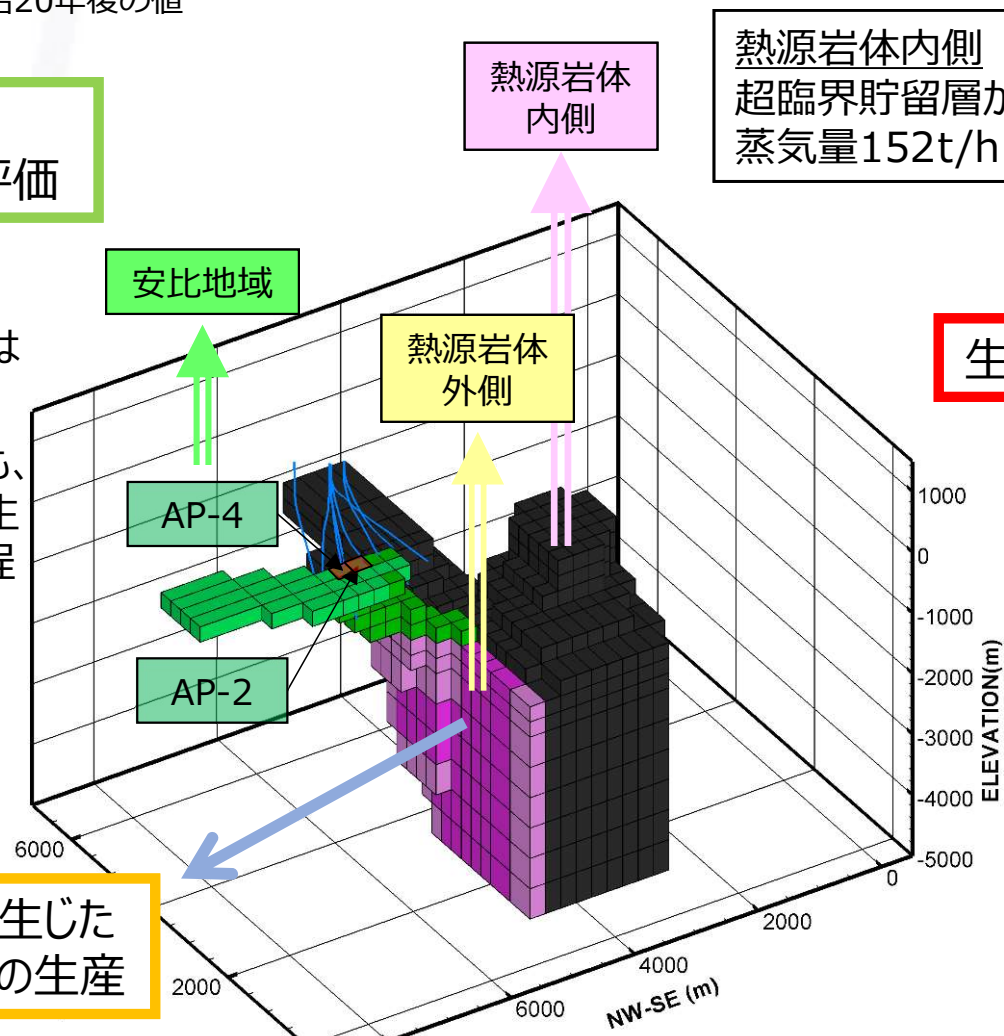
【結果】

- 熱源内側との同時生産では影響はほとんど無し
- 熱源外側の生産を加えても、30年後付近からわずかな生産流量の低下が見られた程度。

熱源岩体外側に加熱で生じた 天水起源の超臨界流体の生産

【結果】

- 生産井を3本まで増やすと長期的な減衰傾向が認められた
- 蒸気量110t/h (18MW, 生産井3本)



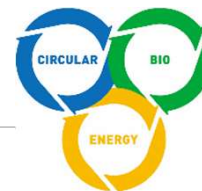
熱源岩体内側

超臨界貯留層からの生産（ベースケース）
蒸気量152t/h (25MW, 生産井5本)

生産井数を増減させた場合

【結果】

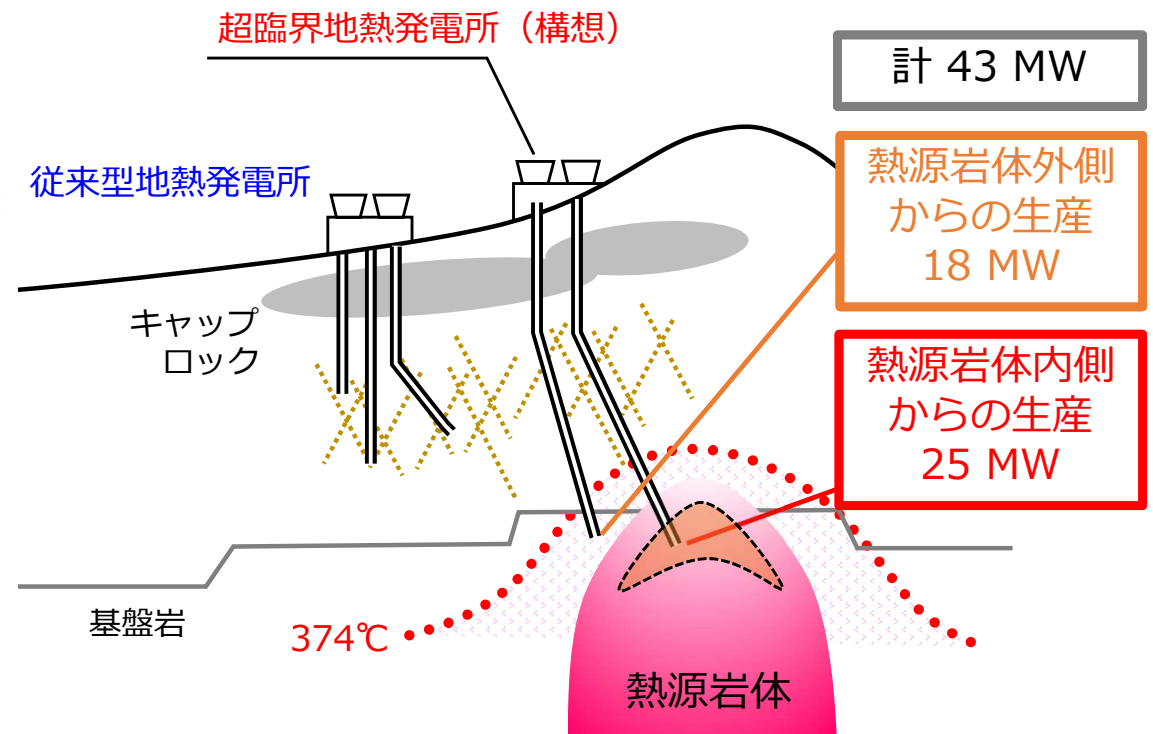
- 生産井を3本以上としても、蒸気量は頭打ちという結果
- 十分な熱量はあるが流体供給が追いつかない
- 経済的には生産井が少ない方が有利



研究成果 資源量評価のまとめ、経済性評価

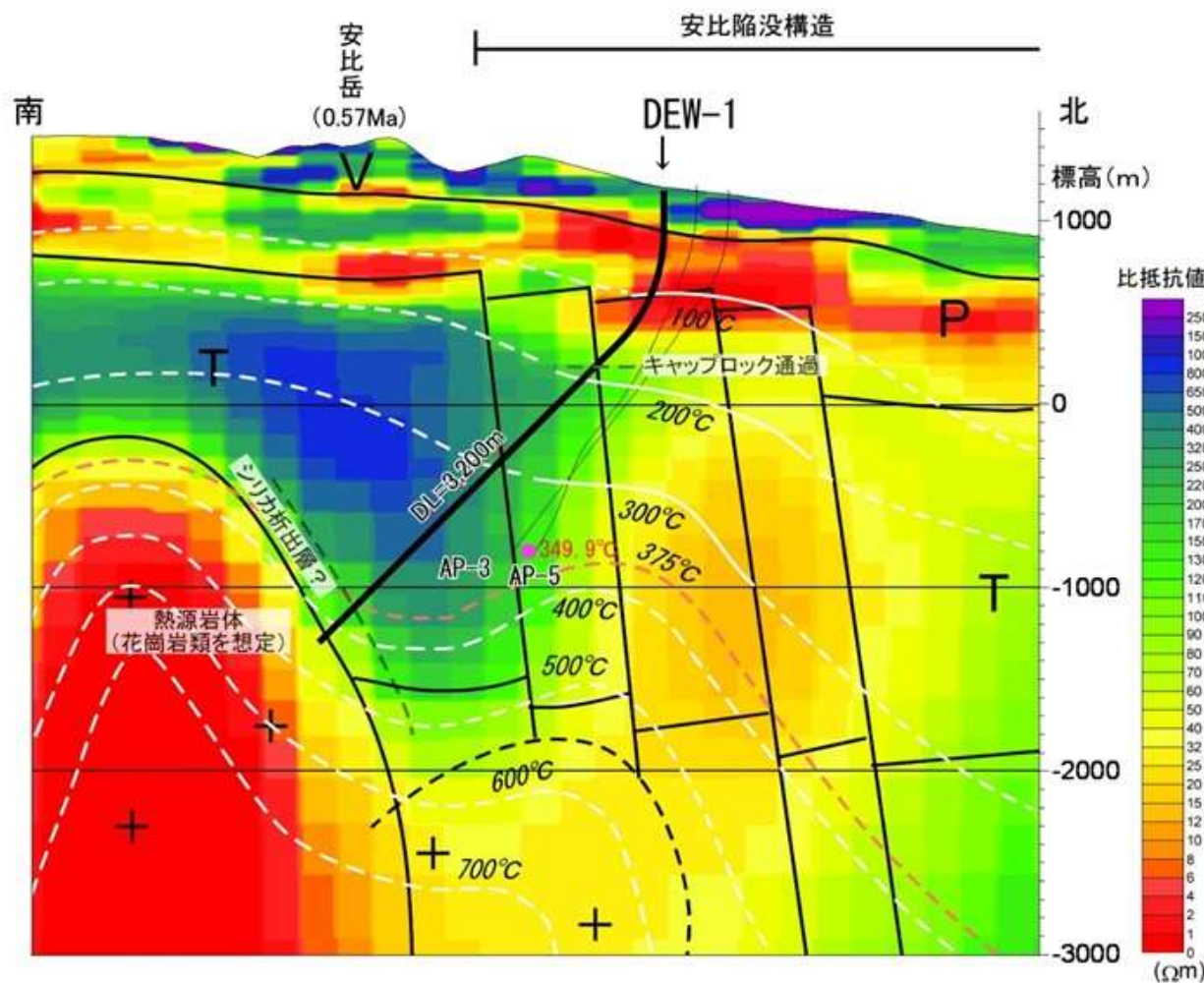
- 自然シミュレーションを経て妥当性を検証した数値モデルを使用し、熱源内部の浸透率等の未知パラメータを変化させ、資源量のとりうる範囲を評価。
- 保守的な設定（ベースケース）における試算値は43MWであった。このケースでは、隣接する地熱発電所に有意な影響を与えないと評価された。
- ただし、経済性評価の結果、掘削等の想定費用を考慮すると、採算が見込めるのはこのケースより浸透率が1桁高く、発電出力100MWを超えるケースであった。

ベースケースにおける資源量評価結果



※ベースケース：熱源岩体内部の超臨界貯留層の浸透率 $2 \times 10^{-15} \text{ m}^2$ ，底面境界圧力50 MPaA

研究成果 調査井の掘削仕様



深部構造試錐の計画概念図
(掘削深度：3,200m)

- 本地域は、掘削用地の制約（地形・自然公園等への環境配慮）から、調査井の掘削に比較的大きな偏距を要する。
- 具体的な掘削仕様案として
深部構造調査試錐 3,200m
超臨界地熱調査井 3,800m
の詳細な掘削仕様を作成し、
技術面・HSE面での課題の抽出、
費用試算等の検討を行った。
- 特に技術面について、深部構造試錐は、現在一般的に使用されている機材で対応可能と考えるが、熱源内部への到達を目指す超臨界地熱調査井では、想定される高温・高圧に耐えうる資機材の技術開発が必要。

- 目標とした超臨界領域の特定から資源量評価までの一連の手法開発は、ひとつのアプローチとして提示することができた。
- 超臨界地熱資源の調査手法として、MT法電磁探査・微小地震観測の有効性を示すことができた。
- 深部低比抵抗帯（熱源岩体）と安比地域（従来型地熱貯留層）の関係性を、地熱流体の流動・加熱機構を検討する過程で説明付けることができたことから、本地域の地熱系全体についての理解が深まった。
- ただし、超臨界貯留層（熱源の内部構造）に関する地質情報は、現時点では地表調査やシミュレーションで特定することは難しく、試掘による調査の必要性が改めて認識された。
- 今回作成した数値モデルを使用し、資源量評価・経済性評価を試行した。100MW以上の発電が可能な熱的ポテンシャルを有すると評価される一方、本地域で採算が取れるケースは、超臨界貯留層の浸透率がベースケース（ $2 \times 10^{-15} \text{m}^2$ ）より1桁程度は高い必要があるという結果となった。
- 調査井の掘削仕様を検討した。超臨界地熱調査井については、熱源岩体内側で高圧の超臨界貯留層に遭遇すると考えられ、試掘の実現に向けた資機材の超高压仕様の資機材の開発・実用化が望まれる。

ご清聴ありがとうございました