

2023年度成果報告会 プログラムNo.14

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(九重地域)

2023年1月31日

【委託先】

(国)九州大学・西日本技術開発(株)・地熱技術開発(株)

【再委託先】

(国研)産業技術総合研究所・(国)東京工業大学・

(国)京都大学・(国)神戸大学・(国)東京大学・

(国)秋田大学・地熱エンジニアリング(株)・

日本オイルエンジニアリング(株)・

エスケイエンジニアリング(株)・(株)INPEXドリリング

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

発表者名 西島 潤 (国)九州大学

問い合わせ先 (国)九州大学大学院 E-mail:nishijima@mine.Kyushu-u.ac.jp

TEL: 092-802-3323

1. 背景・目的

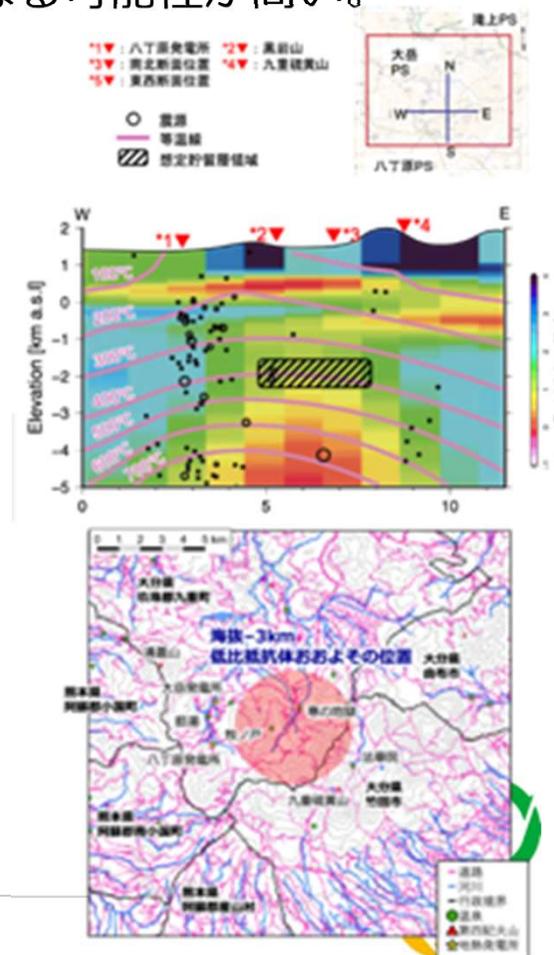
- 九重地域地下深部（4km以浅）に超臨界地熱システムが存在する可能性がある。
- 開発計画に資する明瞭な超臨界貯留層の形状が得られているとは言い難い。
- 大深度かつ高温の掘削ターゲットを開発するための技術的な課題が指摘されている。
- 様々な社会的事情から掘削地点がターゲットから離れた地点になる可能性が高い。

2. 実施期間

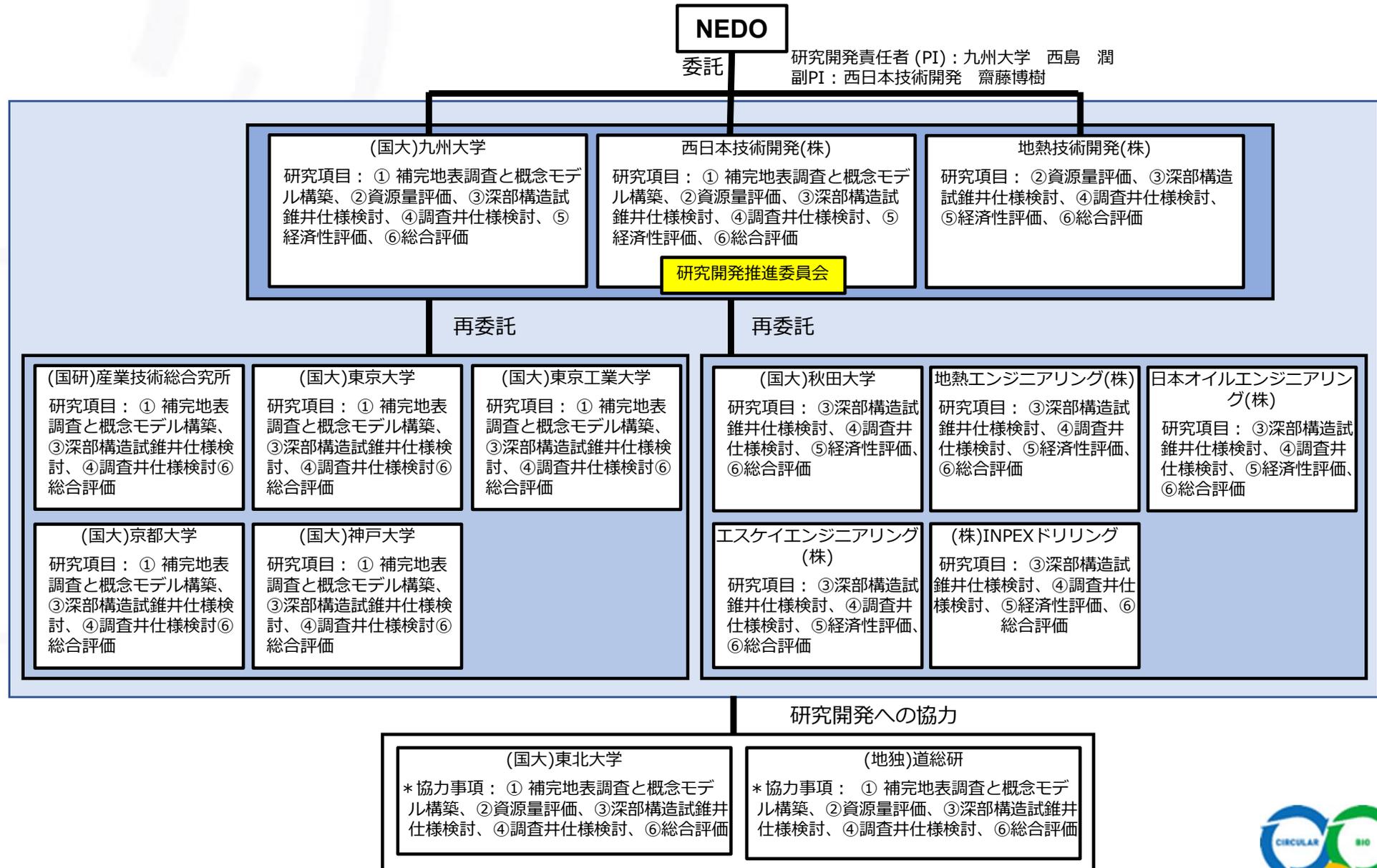
開始：2021年6月 、 終了（予定）：2024年3月

3. 実施内容・目標（中間・最終）

研究項目	中間目標	最終目標(2024fy末)
①補完地表調査と概念モデル構築	超臨界地熱システムの概念モデルを構築する	九重地域の地下5km以浅に超臨界領域を特定する
②資源量評価	浅部熱水系を含めた地熱系概念モデルを再現しうる数値モデルを複数比較検討する	超臨界地熱資源の質，量および規模を定量評価する（100 MW規模）
③深部構造調査試錐の検討	深部構造調査試錐井の仕様，工程概要，費用等を提示する	中間目標と同じ（2023fyで終了）
④超臨界地熱調査井仕様策定	調査井を用いた試験計画を策定する	調査井のターゲット，仕様，調査内容，費用等を決定する
⑤経済性評価	2024 f y に実施予定	在来型地熱発電と同等以下のコストであることを示す



研究実施体制



研究開発項目①： 補完地表調査と概念モデル構築



先行研究において3km b.s.l.以深において超臨界貯留層の存在を示唆する低比抵抗域が推定された。

ただし、MT法の探査測点間隔の大きさ、深部における解析分解能の低下の問題から、超臨界貯留層分布域に関しては依然として不確実性が存在する。

上記課題を解決するため、深部低比抵抗域を対象とした追加MT法探査、断裂系等の抽出に適した反射法探査、微小地震モニタリングおよび基礎データの収集解析を実施する。

【研究開発内容】

要素技術	先行研究での成果	本研究での開発項目
(a) MT法探査	超臨界貯留層を示唆する深部低比抵抗域が解析された。	深部低比抵抗域周辺で40点程度の追加MT法探査を実施し、既存データを含めた3次元解析による、深部低比抵抗域の推定精度の向上。
(b) 反射法探査	なし	準3次元反射法屈折法統合地震探査データの取得およびデータ解析による超臨界地熱貯留層の正確なイメージング化。
(c) 微小地震モニタリング	なし	30点程度の微小地震モニタリングにより超臨界貯留層の動体を探査する。また、震源決定に必要なモデルは微動探査で構築したものを利用する。
(d) 地質学データ収集・解析	既存の文献情報の収集を行った。	流体包有物、カッティングス等の既存データの収集再解析
(e) 地球化学データ収集・解析	八丁原地熱発電所孔井から採取された地熱流体の化学分析を行い、400度程度の高温のマグマ由来成分の供給があることを推定した。	有望地点近傍の数地点で地熱流体・噴気のサンプリングを実施し、流体組成および各種同位体比について収集・詳細解析する。
(f) 基礎データ収集・解析	既存データを用いた温度構造推定	既存重力データの再解析
(g) モデルの不確実性低減	なし	情報統計学的手法に基づくモデルの不確実性低減手法の開発
(h) 超臨界地熱モデルの精緻概念モデル化	九重地域において超臨界貯留層が存在する可能性を示した。	上記(a)~(g)の結果を基により精緻な浅部地熱系までふくめた精緻概念モデルを構築する



研究開発項目①： 補完地表調査と概念モデル構築



研究開発スケジュール

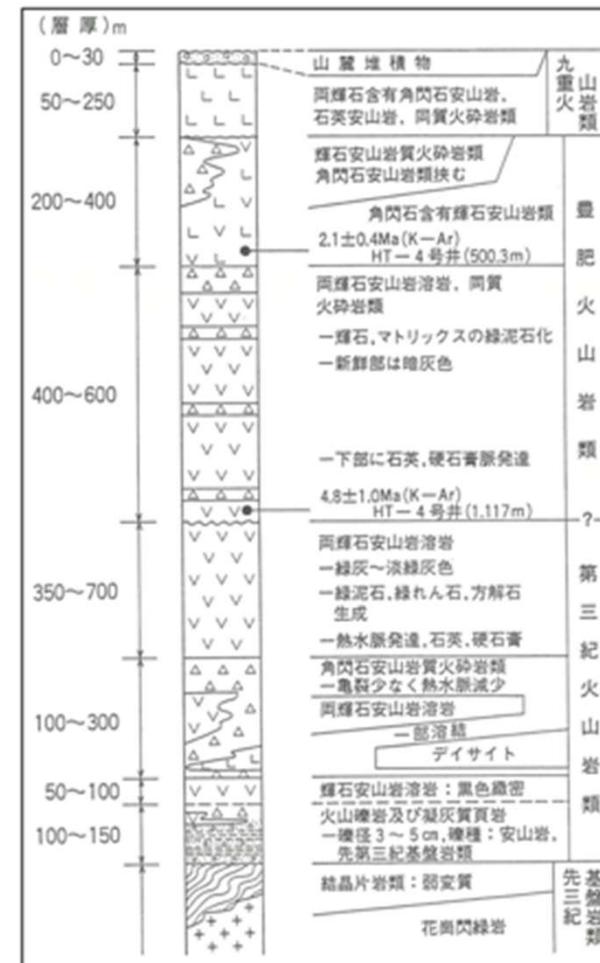
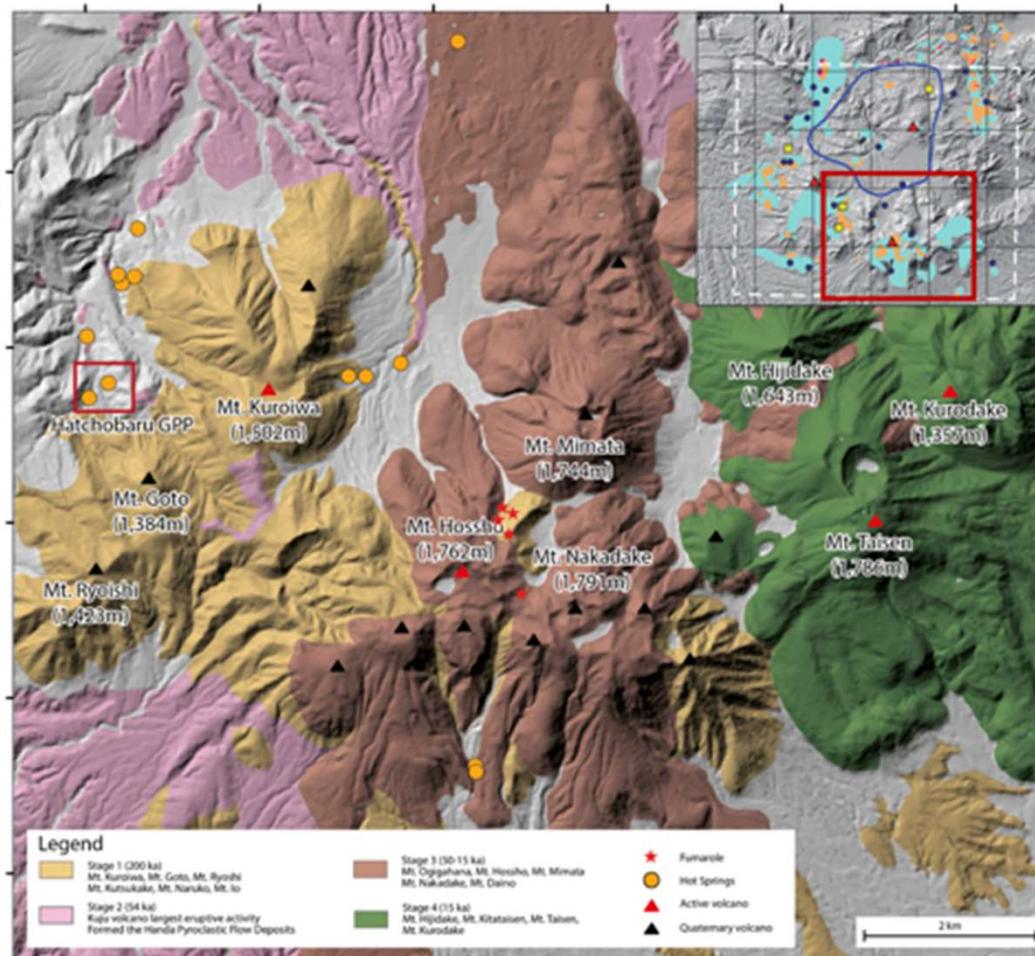
研究開発項目	2021年度				2022年度				2023年度			
	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q
研究開発項目① 補完地表調査と概念 モデル構築	高密度MT法探査											
	反射法地震探査											
	微小地震モニタリング											
	地質学的データ収集・解析											
	地化学データ収集・解析											
	基礎データ収集・解析											
	モデルの不確定性低減											
	超臨界地熱システムの概念モデル精緻化											
	法規制等調査											
	NEDOへの協力（随時）											

概念モデルの提出



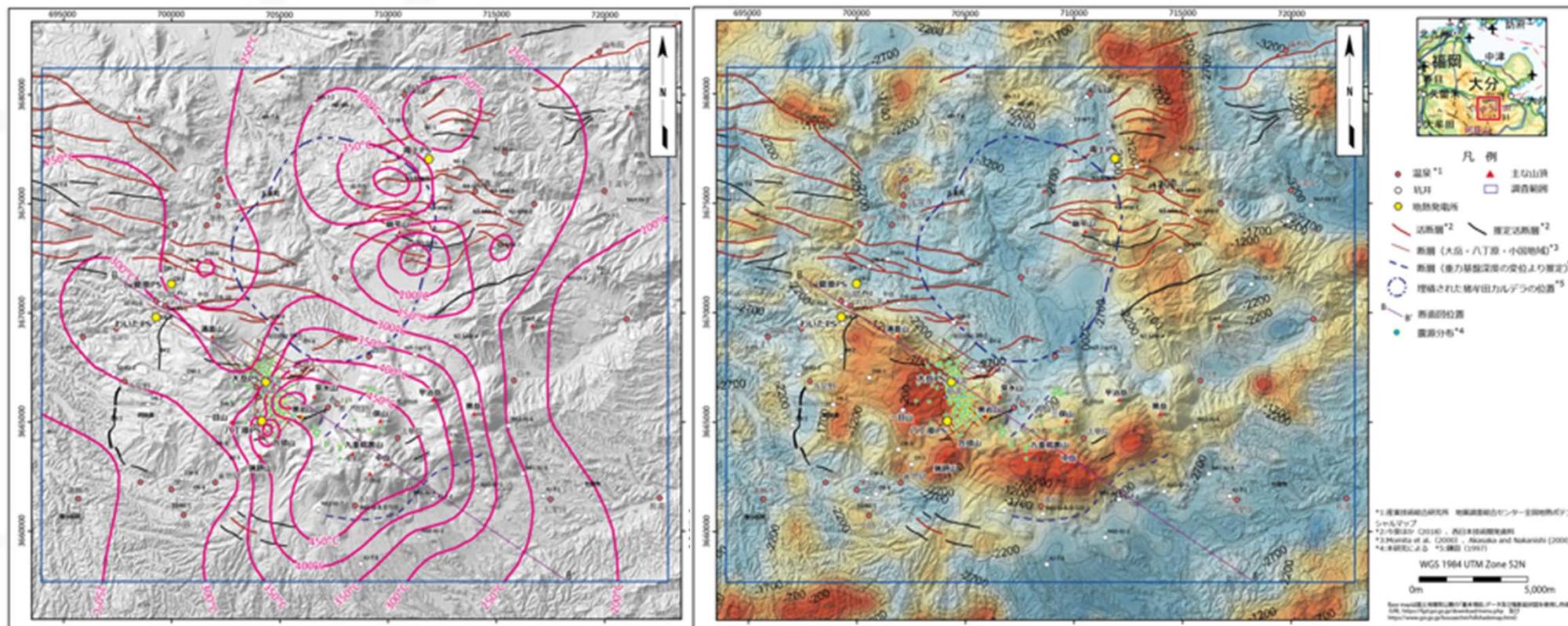
研究開発項目①： 補完地表調査と概念モデル構築

九重火山地質図 (Tsutsumi et al., 2021)及び地質層序 (NEDO, 2020)



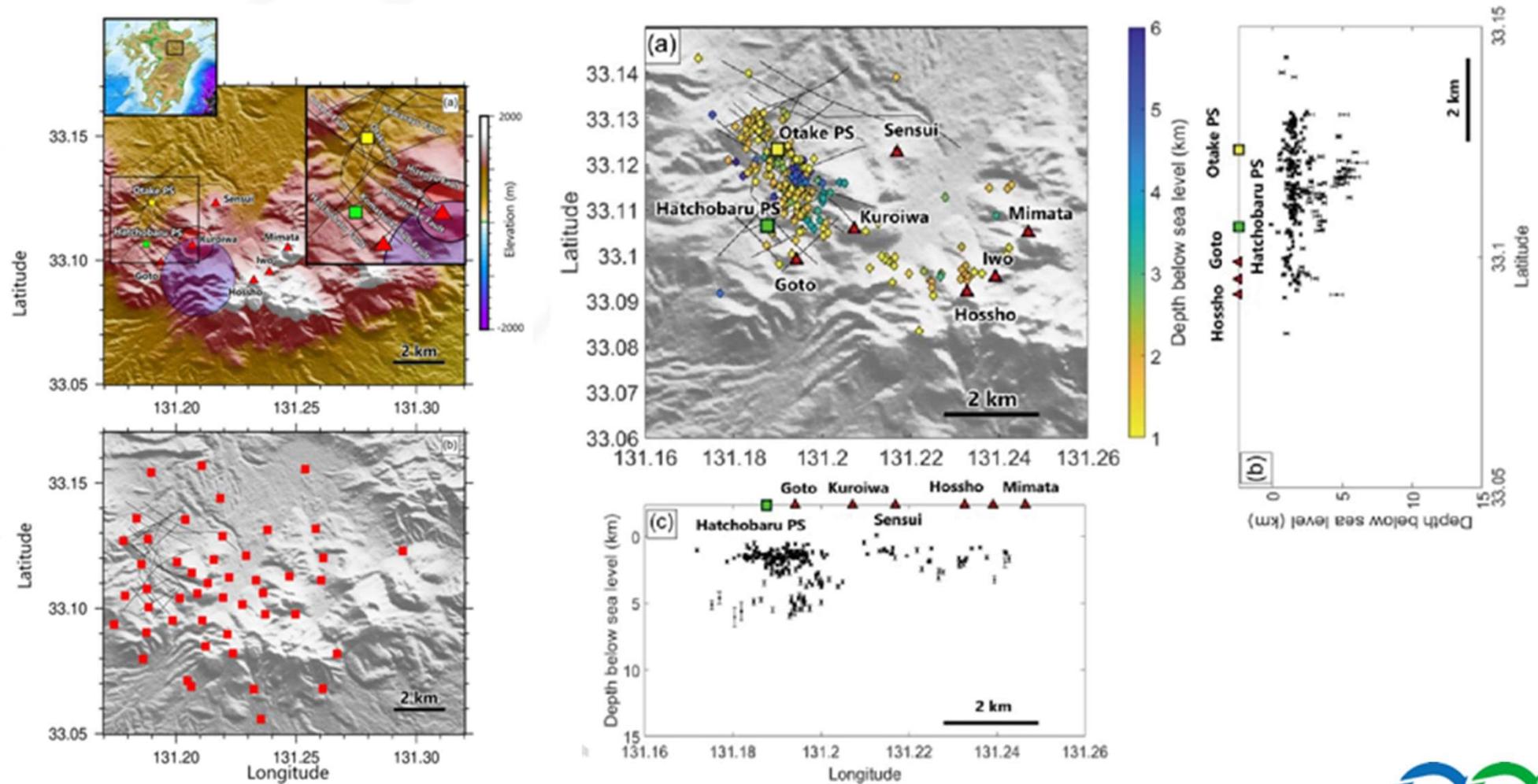
研究開発項目①： 補完地表調査と概念モデル構築

研究開発項目①：断層・温度分布（左）と重力基盤深度（右）



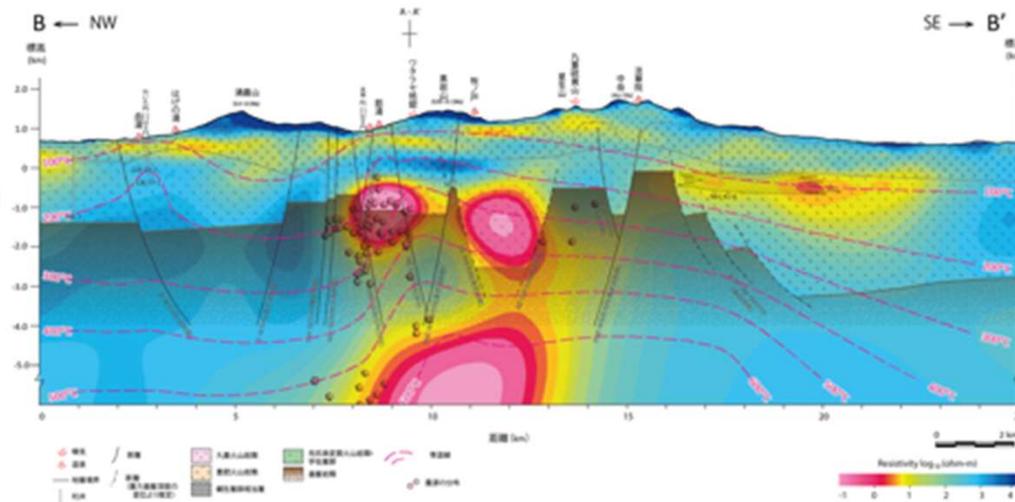
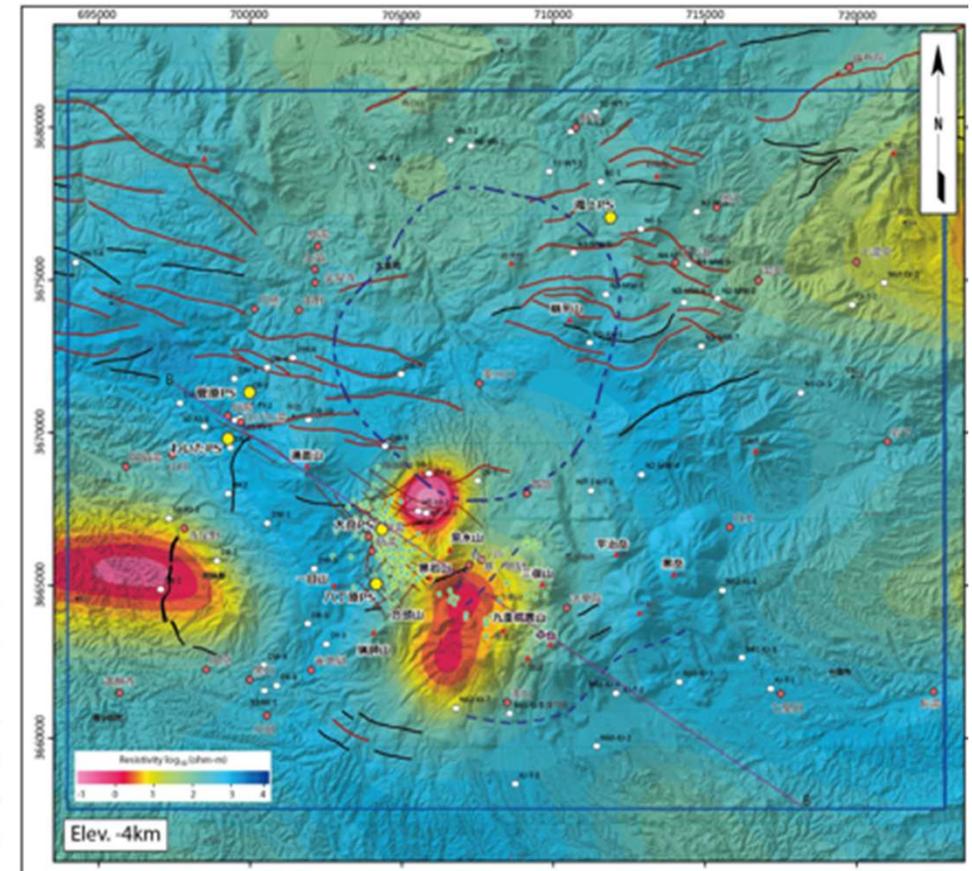
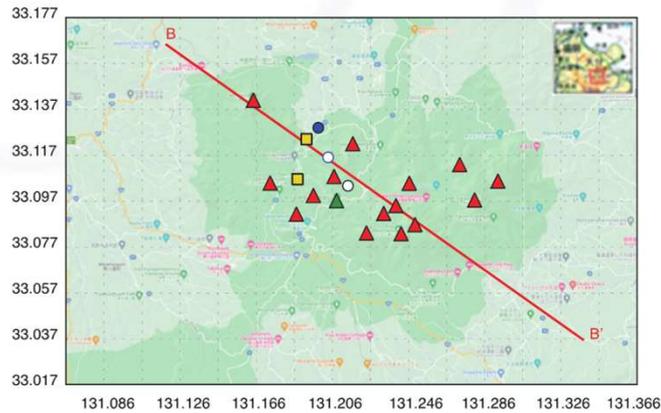
研究開発項目①： 補完地表調査と概念モデル構築

微小地震震源分布 (Andajani et al., 2023)



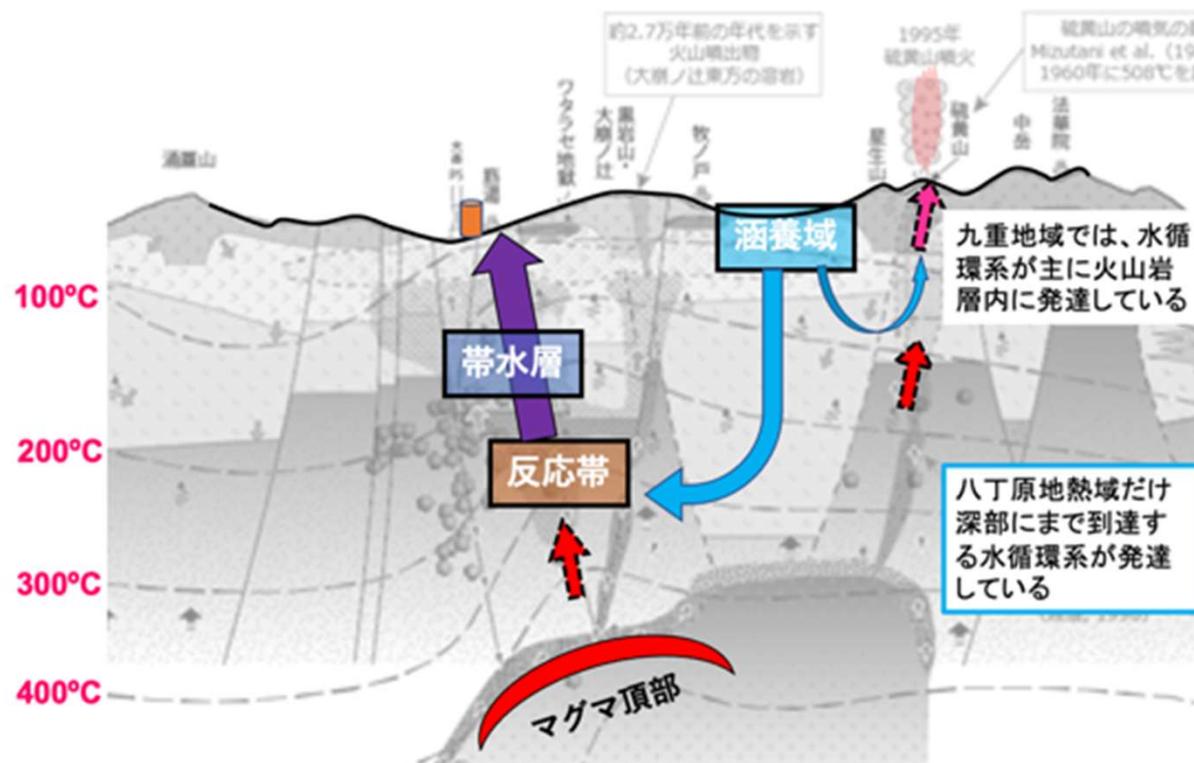
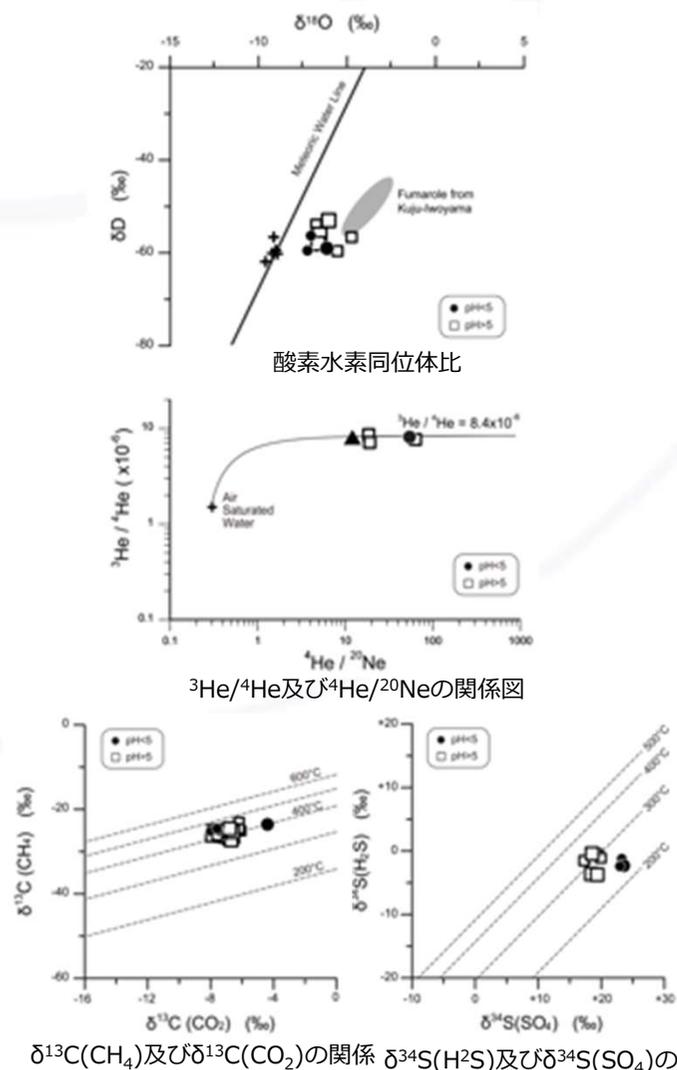
研究開発項目①： 補完地表調査と概念モデル構築

比抵抗断面図（左）及び比抵抗水平分布図（4km b.s.l.）



研究開発項目①： 補完地表調査と概念モデル構築

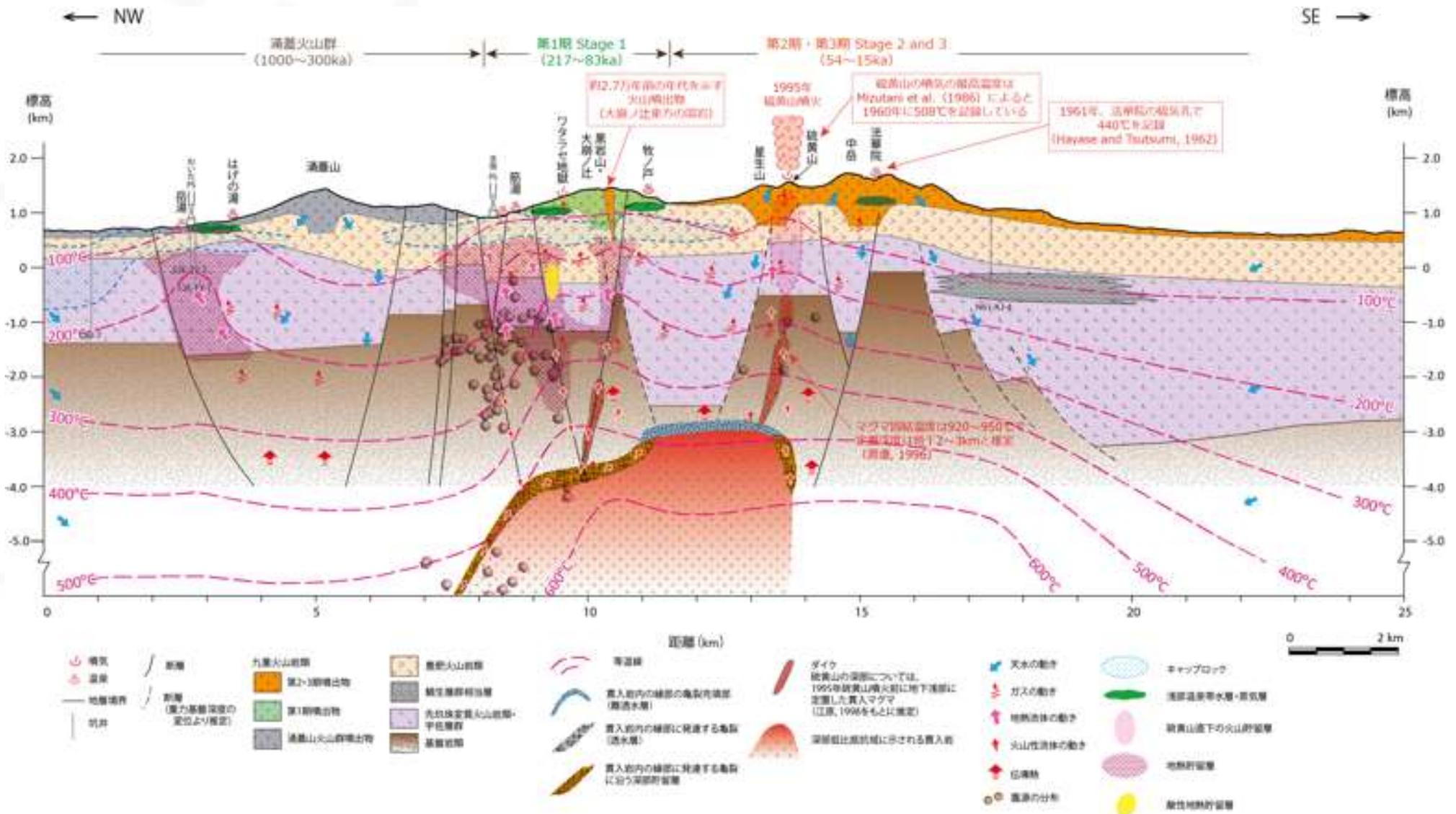
八丁原及び九重硫黄山の地化学調査 (Ishibashi et al., 2022)



研究開発項目①： 補完地表調査と概念モデル構築



概念モデル最終版



研究開発項目②：資源量評価

【研究実施内容の概要】

数値モデルの作成および自然状態モデルの構築

- ・研究開発項目①で構築された概念モデルに基づいて、三次元の数値モデルを作成する。
- ・概念モデルを再現する自然状態シミュレーションを実施する。

生産予測シミュレーション

- ・現在の地熱系が十分再現された自然状態モデルを用いた生産予測シミュレーションを実施する。
- ・本地域の超臨界地熱資源量を推定する。

発電可能量の推定

- ・最適な生産システム(還元/涵養等)を検討し複数ケースの予測を行う。
- ・周辺の既開発エリアへの影響(干渉)なども考察する。

【研究開発内容】

	研究開発内容
(a)自然状態シミュレーション*	研究開発項目①で同定された、既存及び超臨界地熱システムを対象に、自然状態シミュレーションを実施する。
(b)生産シミュレータ整備	既存コードをベースに、超臨界地熱システム固有の現象を表現できるシミュレータを整備する。
(c)発電可能量の推定*	(a)自然状態シミュレーションを通じて妥当と評価された超臨界地熱システムモデルを対象に生産シミュレーションを実施する。

*シミュレーションでは、石戸経士(2002)「地熱貯留層工学」(日本地熱調査会)に記載される、「自然状態モデリング」および「生産予測シミュレーション」をそれぞれ参考にしている。



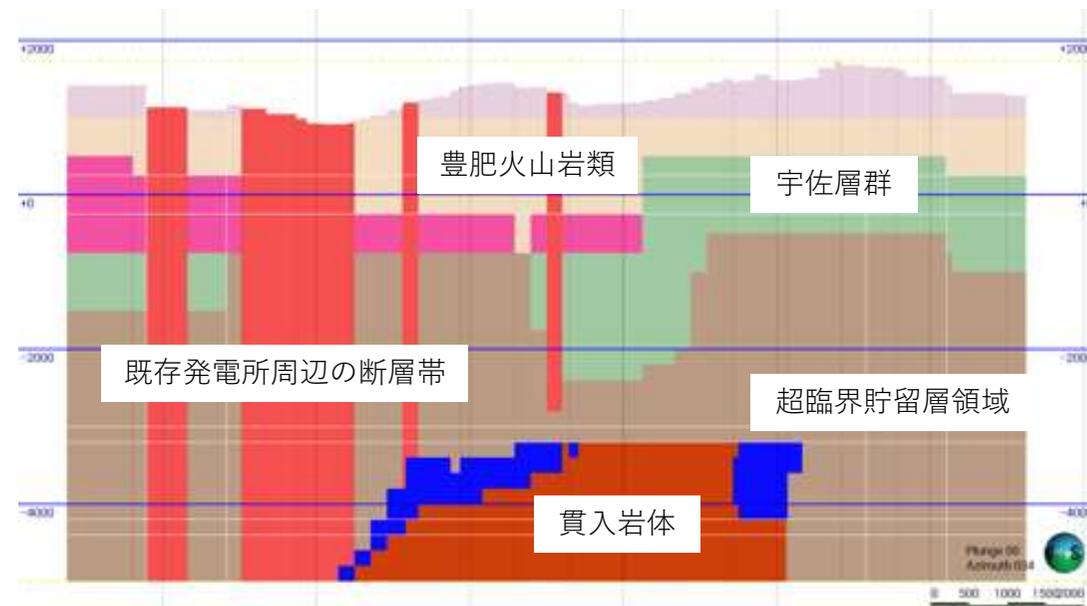
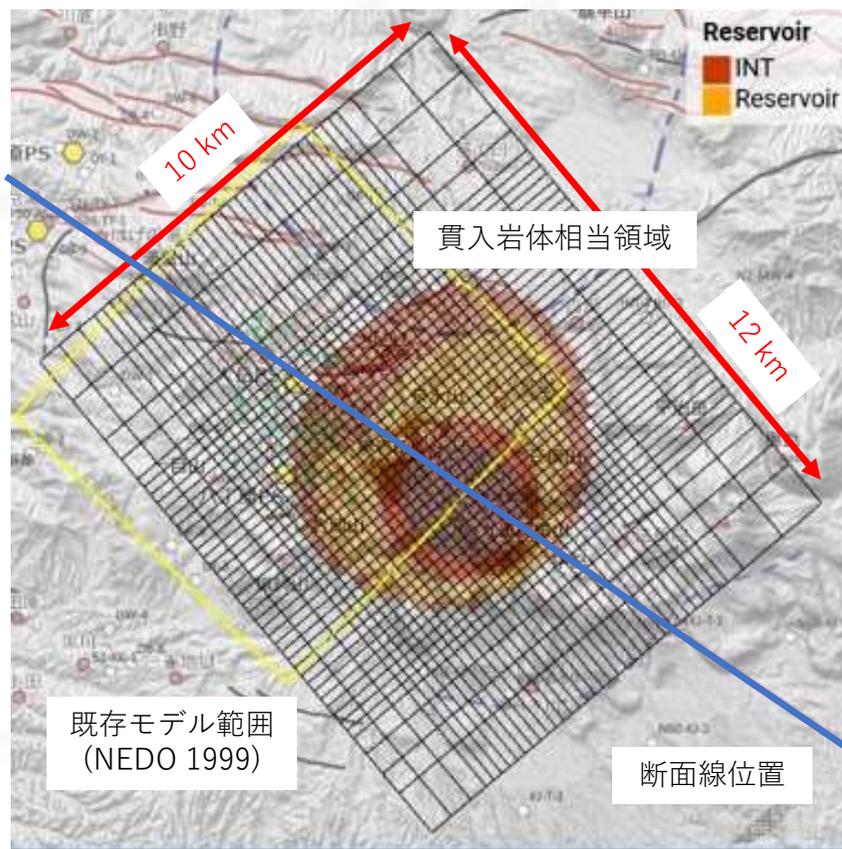
研究開発項目②：資源量評価

研究開発スケジュール

研究開発項目	2021年度				2022年度				2023年度			
	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q
研究開発項目① 超臨界地熱システムの 概念モデル精緻化	<p>超臨界地熱システムの概念モデル精緻化</p> <p>概念モデル (初版) → 概念モデル (最終版)</p>											
研究開発項目② 資源量評価	<p>シミュレータ整備</p> <p>純水系3D定常解析 (自然状態シミュレーション) → 自然状態モデル (最終)</p> <p>純水系2D非定常解析 (岩体冷却シミュレーション) → 自然状態モデル (最終)</p> <p>生産シミュレーション (最終)</p>											

研究開発項目② : 資源量評価

研究開発項目② : 資源量評価



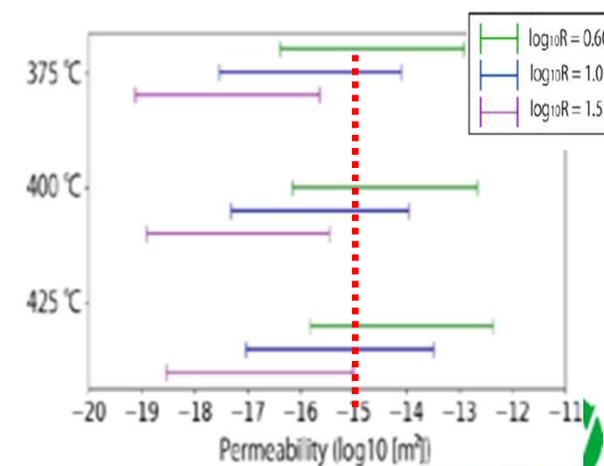
○浅部領域や既存開発領域の浸透率[m²]

八丁原	: $1.0 \times 10^{-16} \sim 4.0 \times 10^{-14}$
大岳	: $5.0 \times 10^{-17} \sim 5 \times 10^{-15}$
宇佐層群	: $5.0 \times 10^{-17} \sim 5 \times 10^{-16}$
基盤岩	: $1.0 \times 10^{-17} \sim 1.5 \times 10^{-16}$

(自然状態SIMによる調整結果)

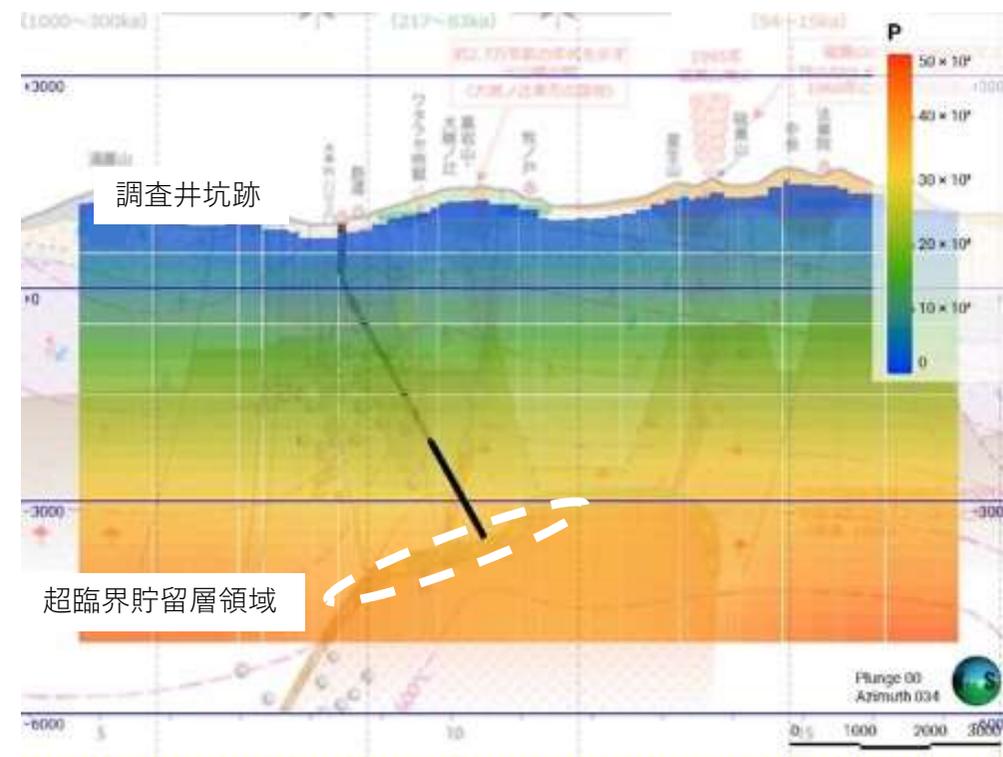
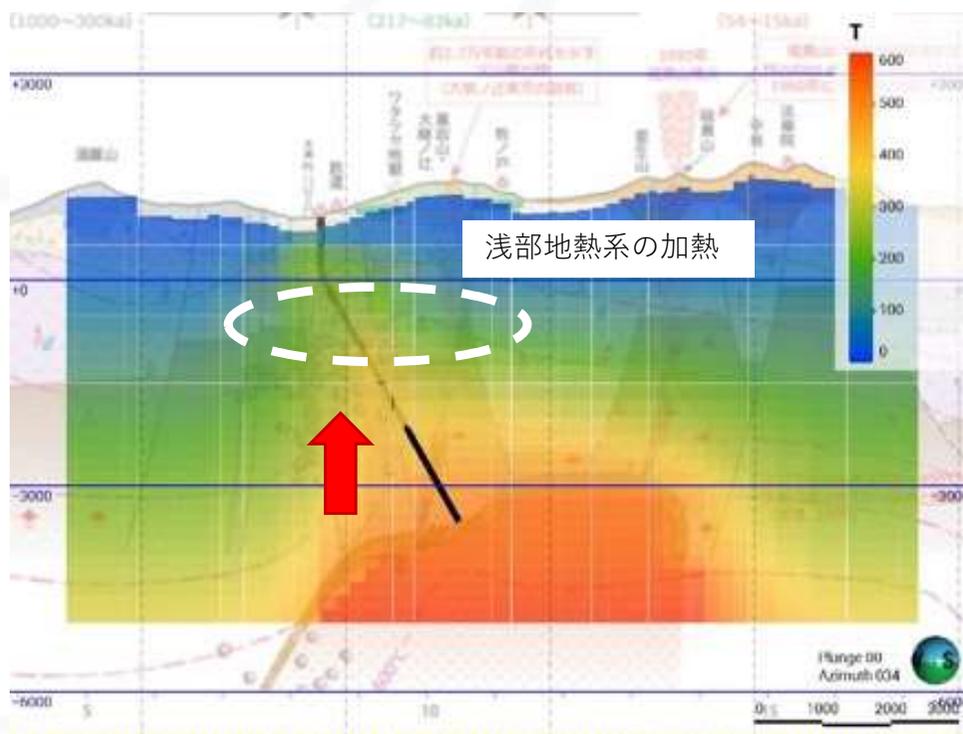
○超臨界貯留層領域の浸透率: 1.0×10^{-15} [m²]

(バイズ推定結果に基づく浸透率)



研究開発項目②：資源量評価

自然状態モデルの温度分布（左）及び圧力分布（右）



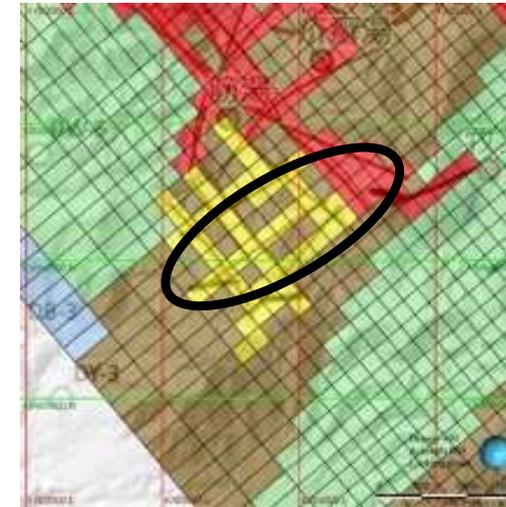
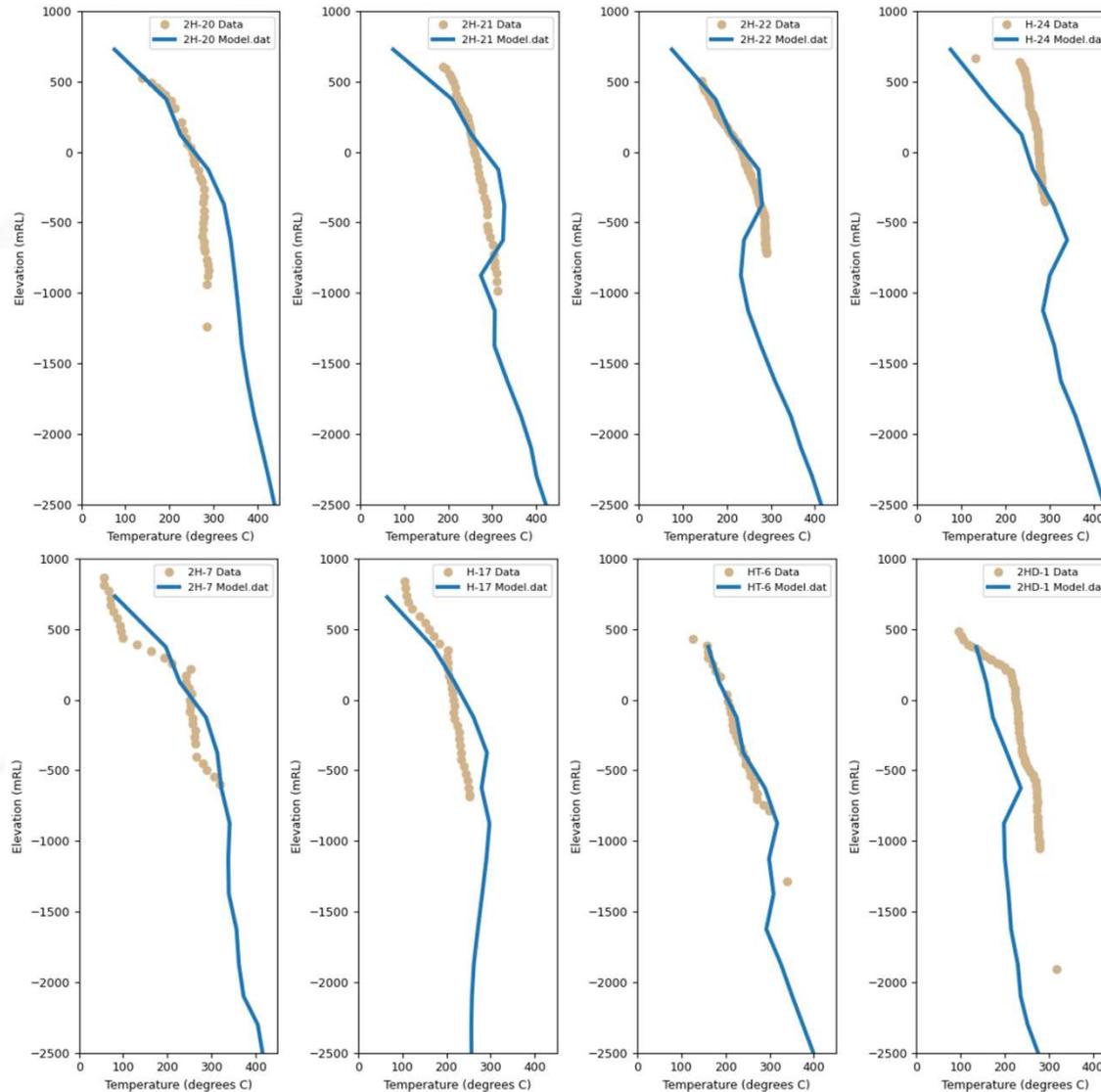
浅部地熱系を再現できる自然状態モデルが構築された。

自然状態シミュレーションから圧力分布が得られ、超臨界貯留層領域の圧力は35MPa程度と推定された。



研究開発項目② : 資源量評価

坑井温度とのマッチング(八丁原周辺)



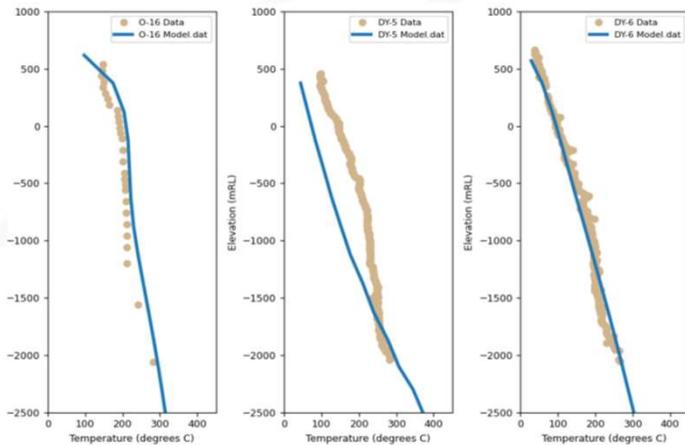
岩相分布と坑井範囲

● 実測温度
— モデル温度

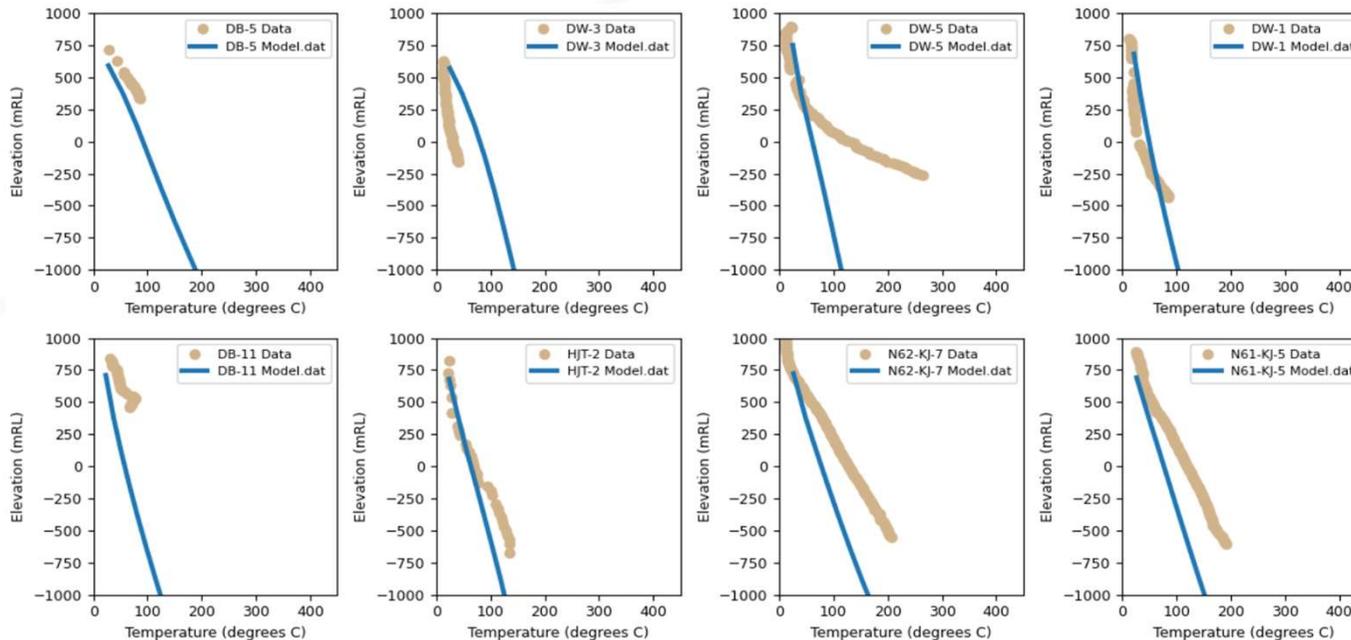


研究開発項目② : 資源量評価

坑井温度とのマッチング(大岳周辺およびその他の領域)



岩相分布と坑井範囲 (大岳) 岩相分布と坑井範囲 (その他)



● 実測温度
— モデル温度



研究開発項目③④： 深部構造調査試錐及び調査井仕様の検討



研究開発スケジュール

研究開発項目	2021年度				2022年度				2023年度			
	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q
研究開発項目③ 深部構造調査試錐の 検討	試験計画策定 →				坑井仕様・作業工程策定 →				技術的検討 →			
研究開発項目④ 超臨界地熱調査井仕 様の検討	試験計画策定 →				超臨界地熱調査井仕様・作業工程策定 →				試験計画修正 →			
					技術的検討 →							



研究開発項目③④： 深部構造調査試錐及び調査井仕様の検討

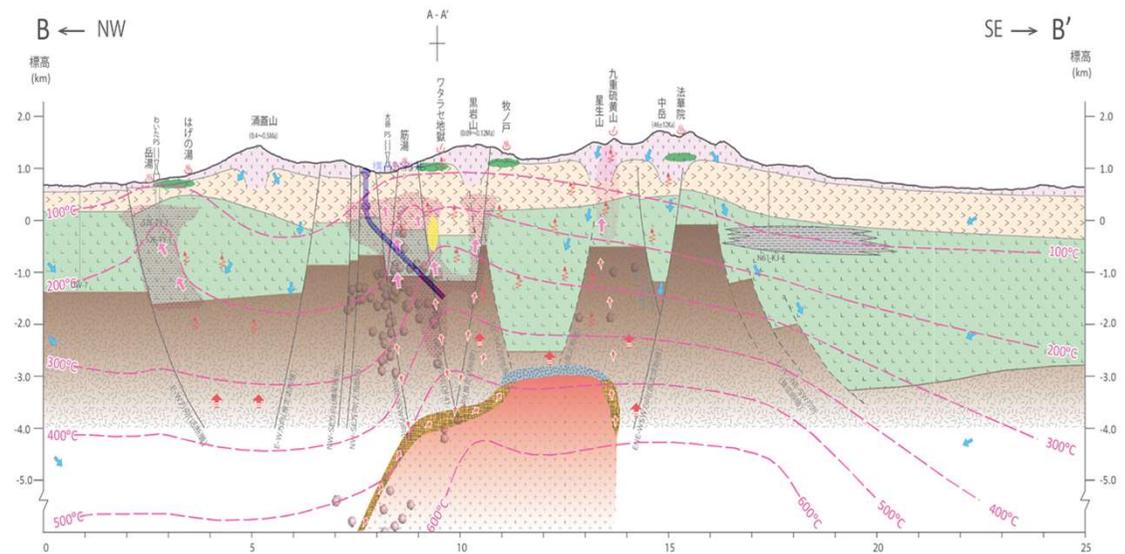


【構造調査試錐 掘削ターゲット】

- 推定地下温度300°Cを超える区域
- 微小地震が集中する区域
- 断層の存在が推定される区域
- 深部地熱流体・火山ガスの推定上昇域

【構造調査試錐 掘削の目的】

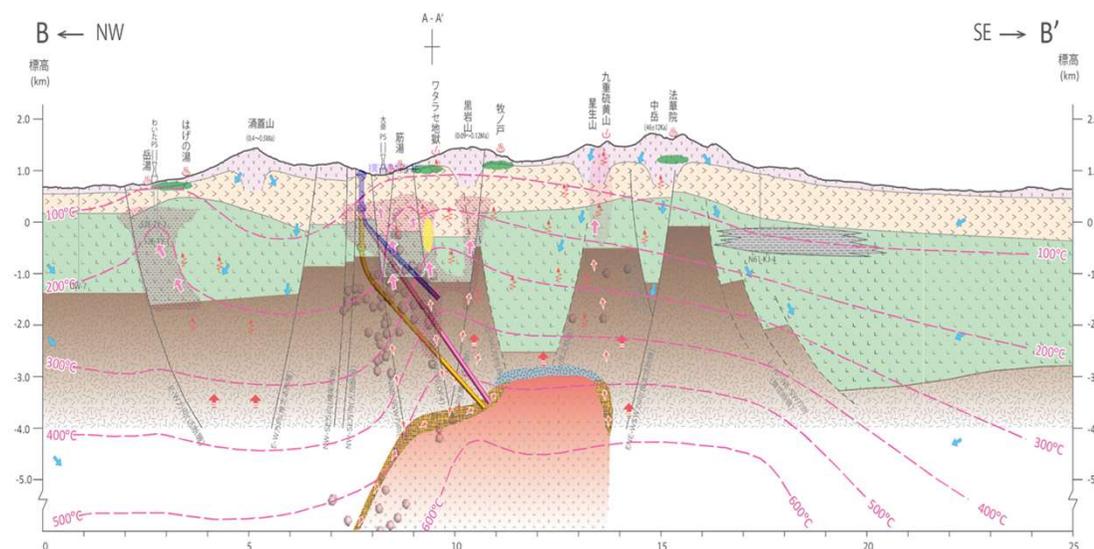
- 掘削中及び掘削後の調査試験で取得されるデータを用いて地熱系概念モデルを更新、深部貯留層の存在可能性の検証及び存在可能性区域の精緻化を行う。
- 精緻化された地熱系概念モデルに基づき、調査井の掘削ターゲット選定及び掘削計画を策定する。
- 構造試錐井掘削により得られるデータは、調査井掘削計画の適正化に用いる。
- 超臨界地熱貯留層から断層を通じて上昇している流体を構造調査試錐井にて捉え、その流体の性状を確認する。



研究開発項目③④： 深部構造調査試錐及び調査井仕様の検討

【調査井掘削ターゲット】

- 推定地下温度400°Cを超える区域
- 高塩分濃度の流体の流入、火山性ガスの存在区域
- 推定地下温度400°Cを超え断層の存在が推定される区域



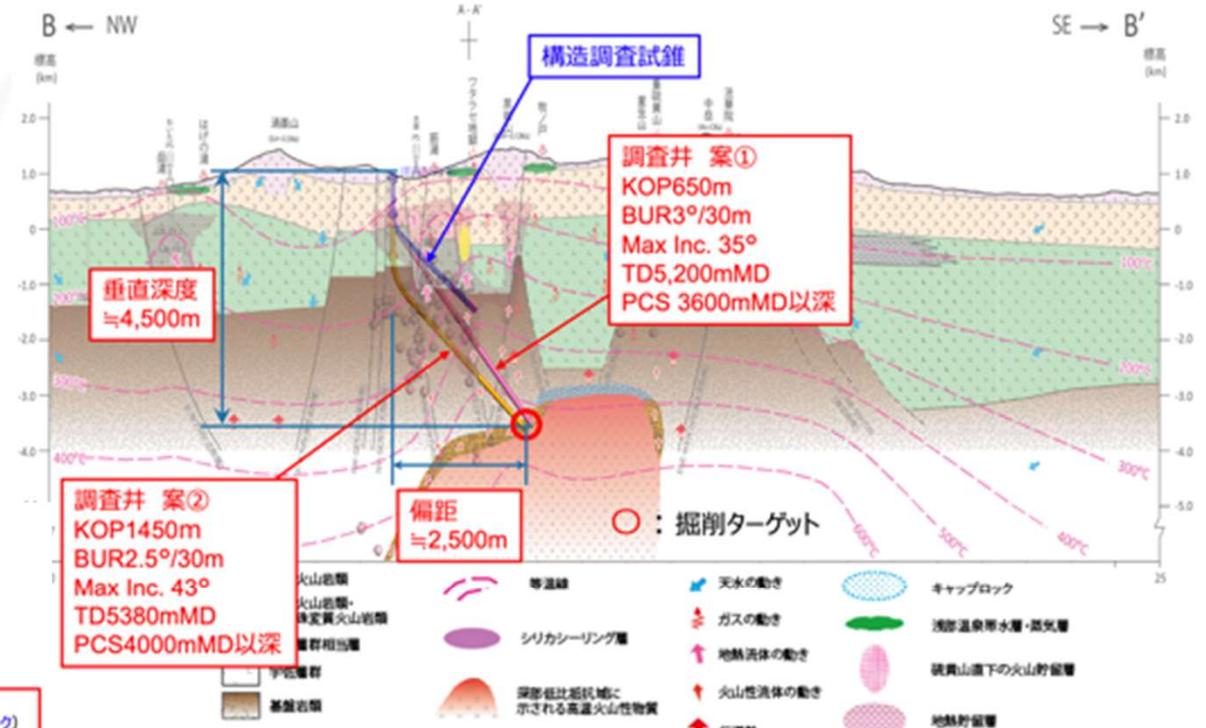
【調査井掘削の目的】

- 超臨界地熱資源存在を実証する。
- 掘削中及び掘削後の調査・噴気試験で取得されるデータを用いて地熱系概念モデルを更新・精緻化を行う。
- 将来の坑井掘削・仕上げ技術及び発電設備等商用化に向けた研究開発に資するため、資機材評価に関連する一連の試験を実施する。

研究開発項目③④： 深部構造調査試錐及び調査井仕様の検討



研究開発項目③④：深部構造調査試錐及び調査井仕様の検討



ランク	項目
A	01:掘削データ・パラメータ (全区間)
	02:カッティングス試料観察・記載 (5m間隔)
	03:カッティングス試料分析 (偏光顕微鏡観察、EPMA、XRD、流体包有物試験)
	04:フォーメーションインデクリティテスト (FIT)
	05:定方位コアリング及びコア試験 (8-1/2"坑; 宇佐層群・基礎岩類 (各1深度))
	06:LWDによる比抵抗・密度・音波計測 (8-1/2"坑)
	07:坑壁画像検層(8-1/2"坑)
	08:温度回復試験 (TD到達後、アCSG挿入後)
	09:注水試験 (TD到達後、アCSG挿入後)
	10:長期放置後温度圧力検層
	11:坑内水採取及び化学分析 (TD到達後、アCSG挿入後)
	12:周辺既存坑井との圧力干渉試験
	13:トレーサー試験 (周辺生産井で採取)
B	01:TLC後のBlind Drillingの場合の地質試料採取 (ジャンクサブorコアリング)
	02:12-1/4"坑TD到達後の温度回復試験
	03:12-1/4"坑の比抵抗検層
	04:低比抵抗ゾーンにおける定方位コアリング及びコア試験 (12-1/4"坑もしくは8-1/2"坑)
C	

確実に実施する項目 (Aランク)
可能であれば実施したい項目 (Bランク)
余裕があれば実施したい項目 (Cランク)



- 大分県九重地域において超臨界貯留層の形状や広がりを推定するために複数の地球物理学的調査を行った。
- 比抵抗分布より本地域の標高-4 km及び-1 km付近に低比抵抗体が検出され、深部は部分溶融したマグマ、浅部については変質や熱水の存在が推定された。
- 微小地震の震源は主に八丁原・大岳と黒岩山の間分布し、深部では低比抵抗体の縁、浅部では低比抵抗体内部に分布していることが明らかになった。
- 上記の結果と既存調査結果を統合して本地域の地熱系概念モデルを作成した。
- 概念モデルに基づいた自然状態シミュレーションより八丁原地域を中心とした、浅部地熱系を再現するモデルが得られた。
- 概念モデルに基づいて構造調査試錐及び調査井のターゲット候補を選定した。

研究開発項目①

観測結果や地熱系概念モデルの検証

研究開発項目②

生産シミュレーション

研究開発項目③④

深部高温領域の掘削

掘削コスト

開発中のツールの高温下での性能

研究開発項目⑤

経済性評価

