

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(湯沢南部地域)

富田 一夫

日鉄鉱コンサルタント(株)

2023年2月2日

【委託先】
日鉄鉱コンサルタント(株)

問い合わせ先
日鉄鉱コンサルタント株式会社
<https://www.nmconsults.co.jp/>

事業概要：超臨界地熱資源量評価（湯沢南部地域）

1. 背景・目的

政府が掲げる2030年及び2050年目標達成に向けた取り組みの一環としてスタートされた「地熱発電導入拡大研究開発」において、超臨界地熱資源の資源量評価手法の開発を行う。NEDOによる先行研究開発プロジェクトにおいて、超臨界地熱資源の推定賦存範囲とその資源量の試算結果が示された秋田県湯沢南部地域をモデルフィールドとして、超臨界水状態把握および資源量評価技術のさらなる高度化を図り、超臨界地熱資源の試掘に向けた実効性のある調査・評価技術の完成を目指す事を目的とする。

2. 実施期間

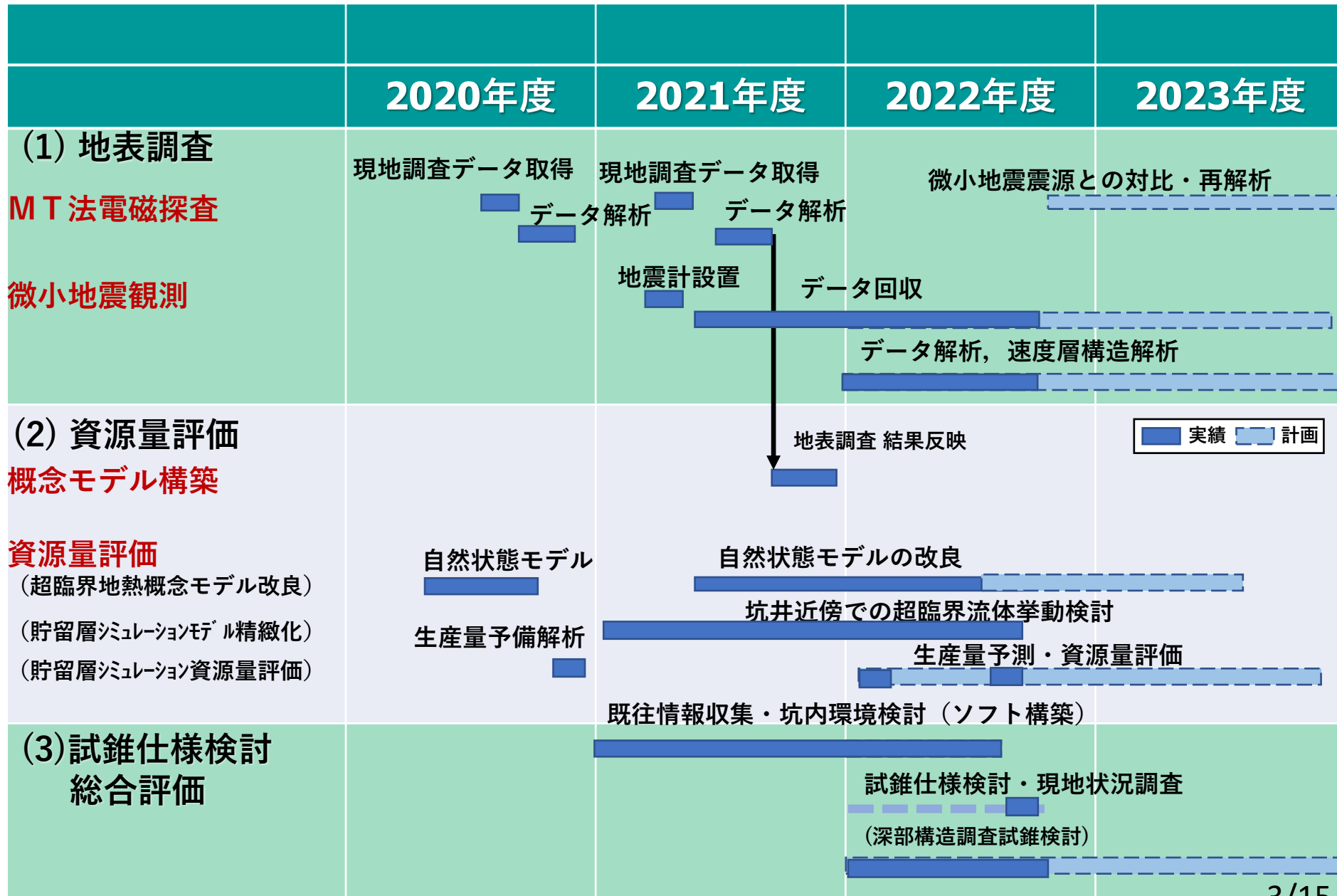
開始 : 2021年6月

終了(予定): 2024年2月

3. 実施内容・最終目標

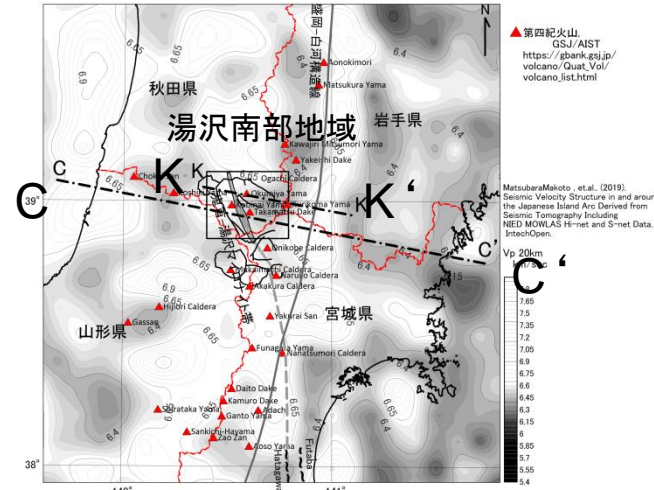
MT法探査及び微小地震探査を行い、既存地熱発電所調査等による豊富なデータを加えて超臨界地熱系概念モデルを改良する。また、詳細で精緻な数値モデルを構築することによって数値シミュレーションを行い、地下5km以浅に超臨界領域(あるいはそれに準じた高温領域)を特定し、超臨界地熱資源の資源量及び規模(100MW規模)を定量的に評価することを最終目標とする。あわせて深部構造調査試錐、超臨界地熱調査井の仕様(費用を含む)・HSEを策定する。

研究内容実績及び工程

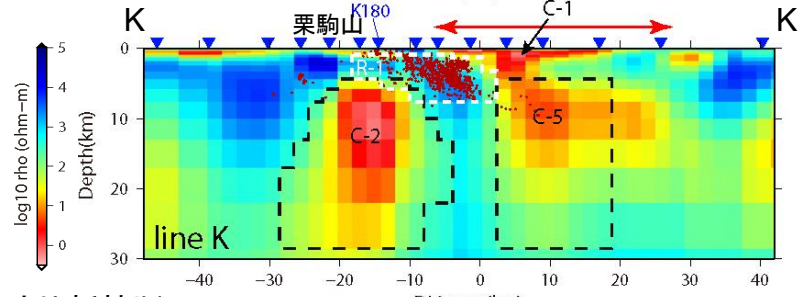


湯沢南部地域への高温流体の供給

- 東北日本阿武隈帯と南部北上帯を境する構造の一部である鬼首-湯沢マイロナイト帯 [笹田, 1988]上に位置。
- マイロナイト帯に沿って、鳴子火山、鬼首カルデラ、三途川カルデラ [歌田 伊藤, 1986]、雄勝カルデラ[竹野, 1986]が連なる。
- 弾性波速度断面ではマントルウェッジの100km程度の深さからP波低速度帯、S波低速度帯が栗駒山深部に伸びる。
- 低速度帯は沈み込んだ海洋地殻の相転移に伴って供給された水の上昇経路を示す[長谷川, 2002]。
- MT法比抵抗断面からは、相転移によって遊離した水が栗駒山火山深部に至り、その一部は 湯沢南部地域に供給されていると推定できる。 [Ichihara H. , ほか, 2014]
- 栗駒山、湯沢南部地域深部標高-20kmにはP波低速度帯が認められる[Matsubara M. , ほか, 2019]。



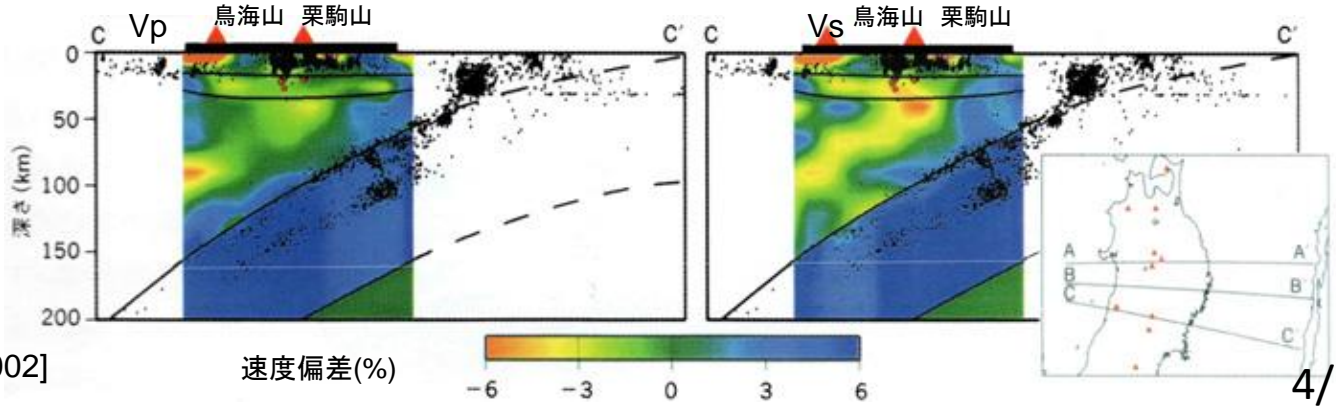
湯沢南部地域位置と弾性波速度(深度20km) [Matsubara M., ほか, 2019]



MT法比抵抗断面 [Ichihara H. , ほか, 2014]

Ichihara, et.al.(2014). A 3-D electrical resistivity model beneath the focal zone of 2008 Iwate-Miyagi nairiku earthquake(M7.2). Earth, Planets and Space 2014.

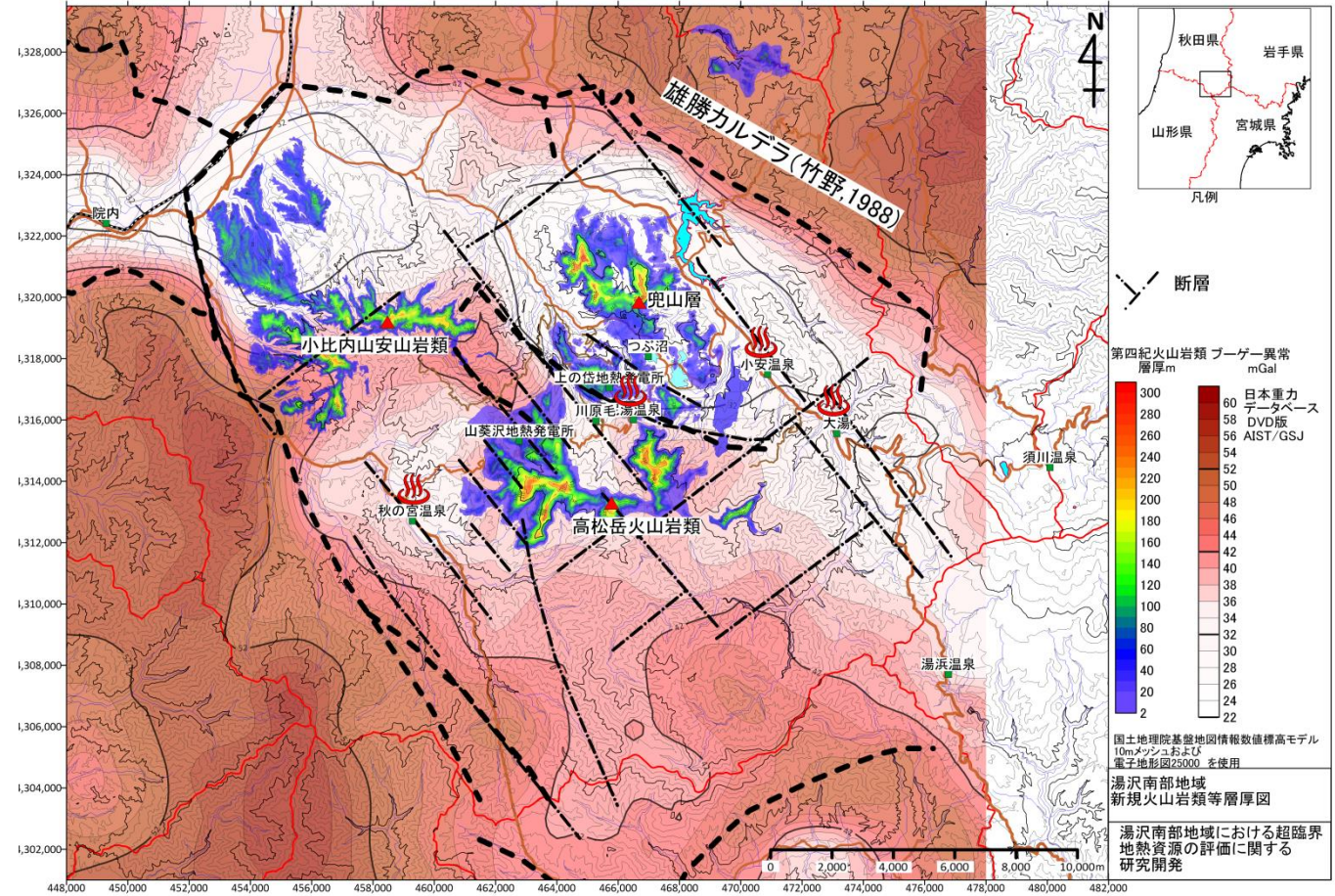
長谷川昭. (2002). 地震波で東北日本の下を見る. 科学.



弾性波速度断面[長谷川, 2002]

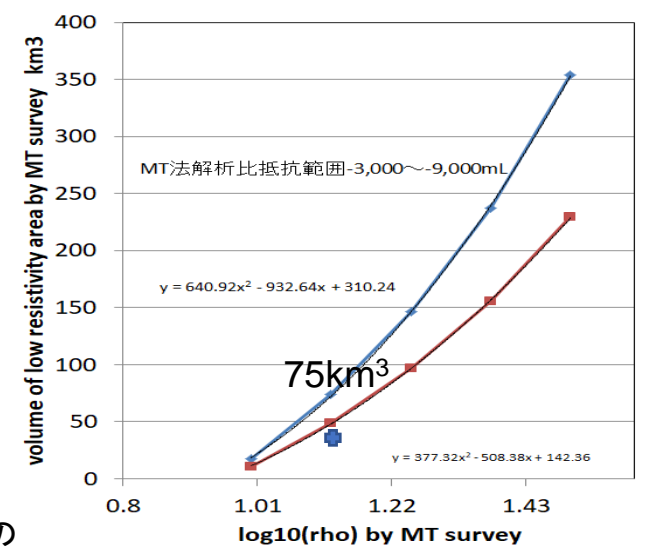
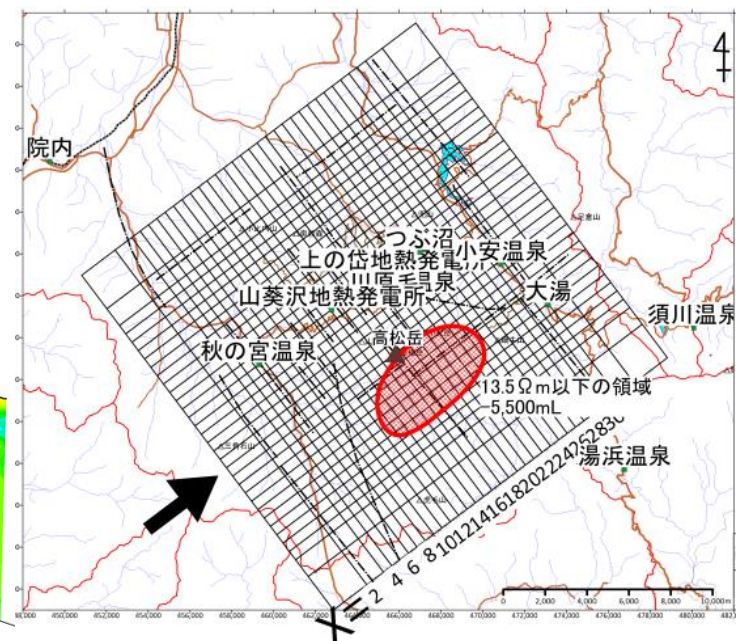
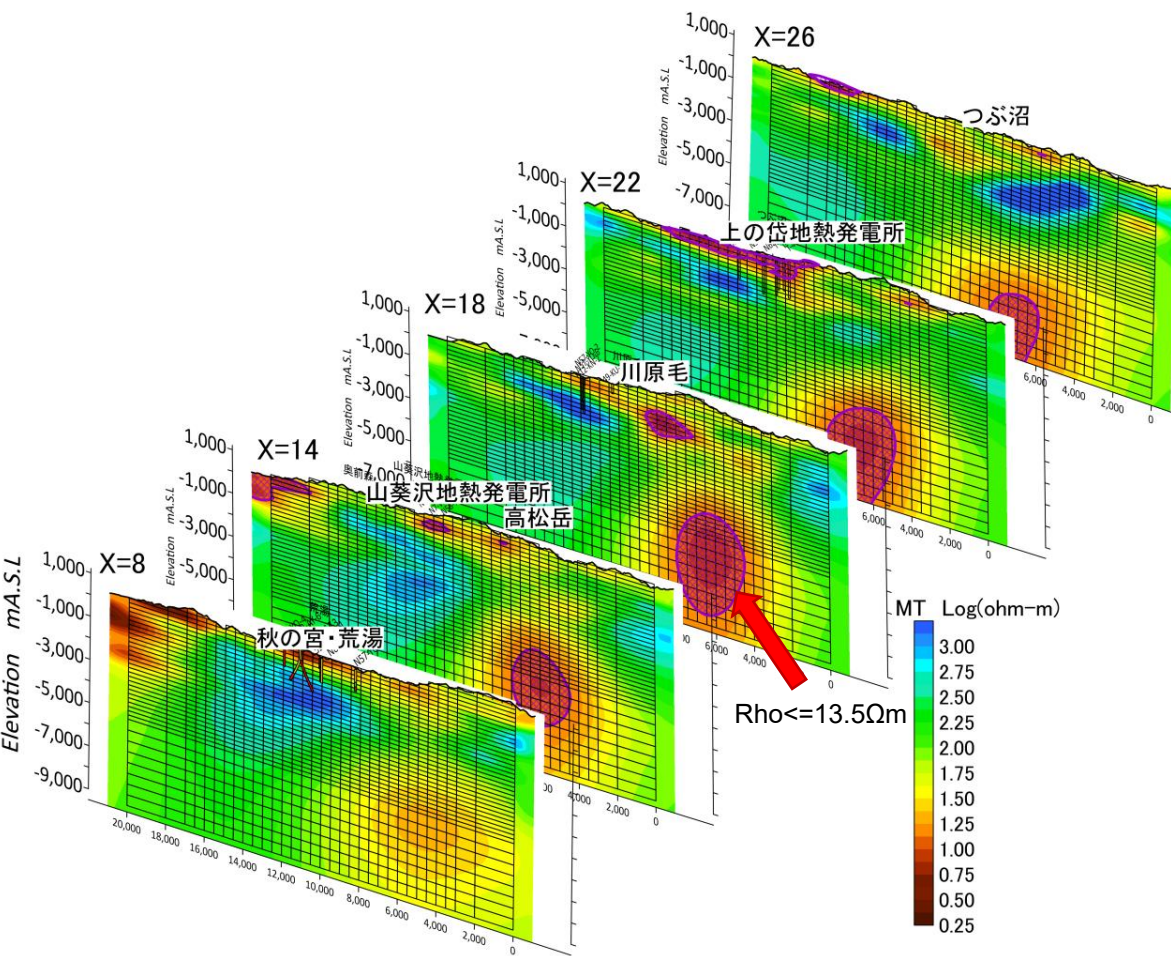
湯沢南部地域に見られる雄勝カルデラと熱源

- 本地域の新規火山は小安岳、高松岳の第四紀火山(0.4~0.2Ma)。
高松岳火山岩類 (1.29km³)、兜山層 (1.14km³)から新規火山岩類噴出マグマだまり容積推定。
- 川原毛地獄では噴気活動、馬蹄形凹地は爆裂火口の可能性指摘。
- 雄勝カルデラ内には川原毛、泥湯、新湯、小安温泉、大湯、秋ノ宮温泉等の地熱兆候が分布。
- 「上の岱地熱発電所」平成6年(1994年)3月、「山葵沢地熱発電所」令和元年(2019年)5月、「カタツムリ山地熱発電所(仮)」 2024年予定が位置



湯沢南部地域の深部比抵抗構造 (高松岳東部深部に低比抵抗体)

MT法探査解析結果の低比抵抗領域の容積から75km³となる比抵抗として1.1305Log(ohm-m)=13.5 Ω m以下を新規火山岩類を噴出したマグマが貫入した位置と大きさと仮定した。

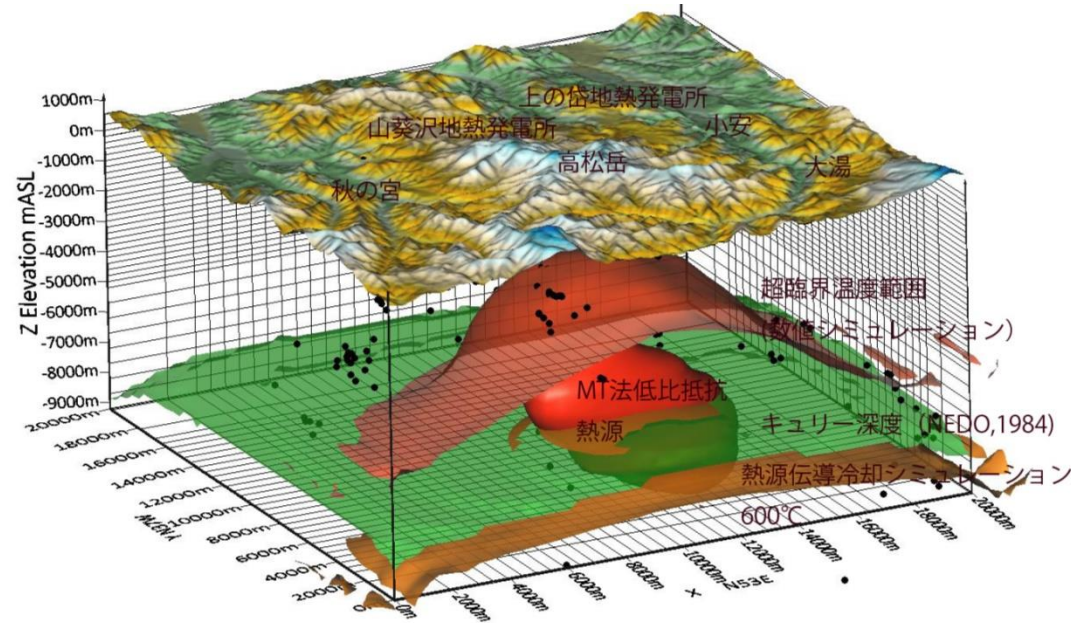


MT法解析比抵抗断面図 X=8~X=26

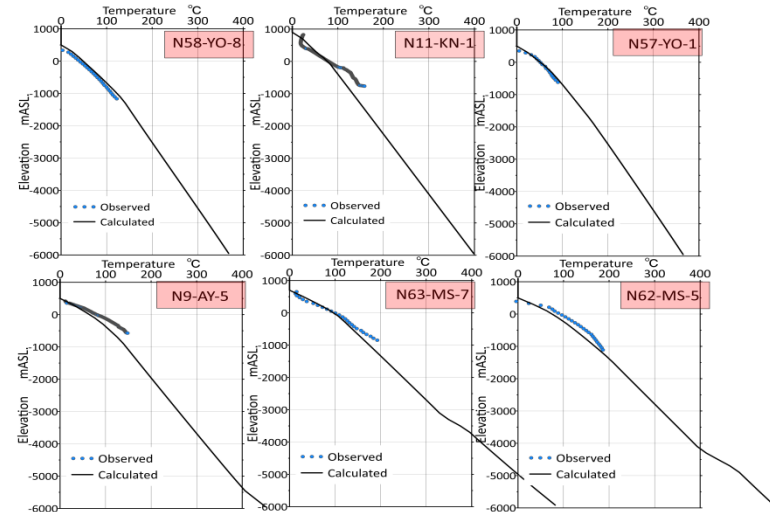
MT法解析比抵抗領域の容積と比抵抗

MT法低比抵抗 (<13.5Ωm) と高松岳火山岩類の推定マグマだまり

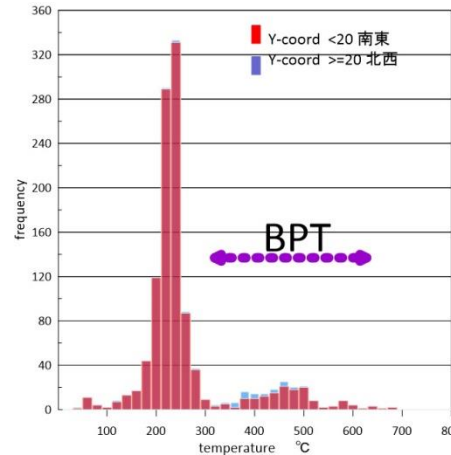
- MT法低比抵抗 (<13.5Ωm) を0.4~0.2Ma に活動したマグマだまりとして熱源伝導冷却シミュレーションを行うと、600°C範囲とキュリー点深度 (NEDO, 1984) は調和的。
- シミュレーションによる温度分布のうち脆性-塑性遷移領域 (BPT) 温度範囲において微小地震震源の頻度減少。
- MT法解析比抵抗 20ohm-m以下では微小地震は発生していない。
- 熱伝導を仮定したモデルによる計算結果は伝導型坑井温度分布と一致



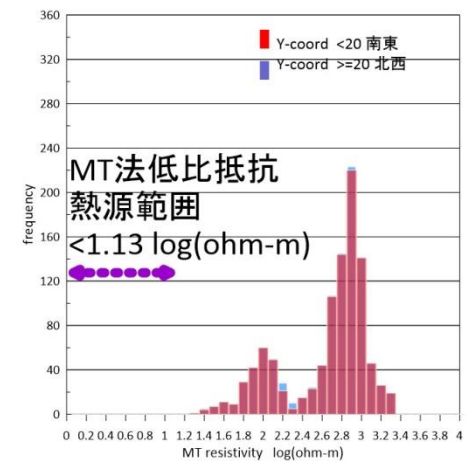
湯沢南部地域微小地震震源、キュリー点深度とシミュレーションによる温度分布



既存伝導型坑井温度プロファイルと数値モデルによる温度



震源位置の地層温度頻度分布 (今回調査2021-2022)

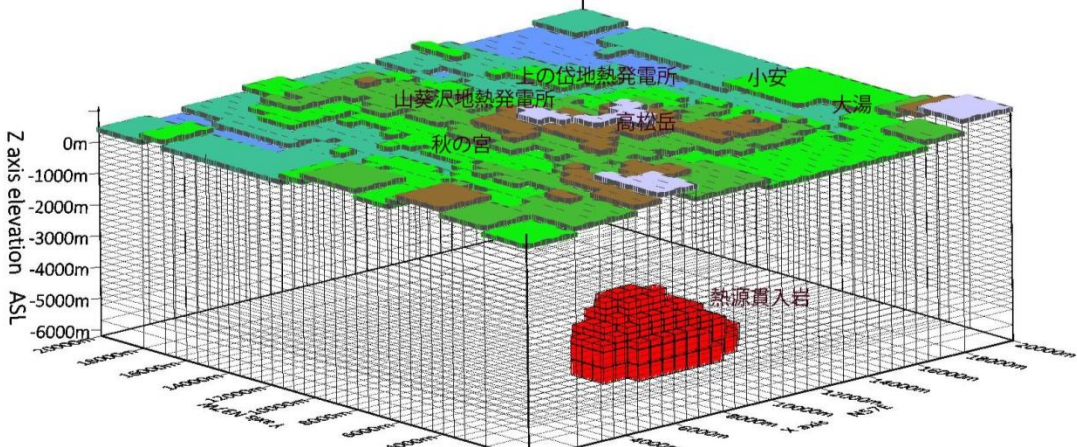
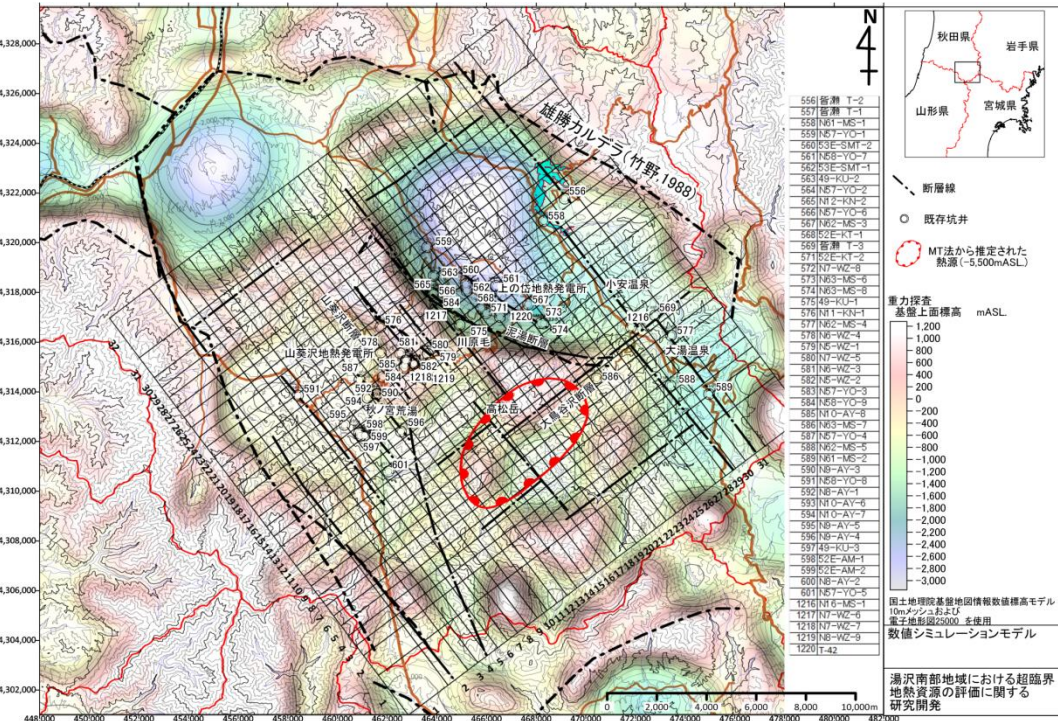


震源位置のMT法比抵抗頻度分布 (今回調査2021-2022)

湯沢南部地域における数値シミュレーションによる 深部温度分布(超臨界温度賦存可能性)推定

数値モデル 東西20kmx南北20km
 x垂直(地表~標高-6,000m)
 東西32ブロックx南北32ブロック
 x深度34ブロック
 東西500mx南北500mx厚さ200m
 34,801 ELEMENTS
 100,667 CONNECTIONS

純水(TOUGH2-SC_EOS1)を使用
 境界条件 底部 熱源伝導冷却シミュレーションによる熱流量分布
 + 質量流束源
 地表 温度・圧力一定境界
 南東部・北東部・南西部 閉境界
 西北部 温度圧力一定境界



数値シミュレーションモデル

湯沢南部地域における数値モデル

湯沢南部地域の地熱系を再現できる
地質構造モデルを試行錯誤により選定。

数値モデル地質構造

MT法低比抵抗 (<13.5 Ω m)貫入岩
シリカシーリングゾーン (400°C付近)
シリカシーリングゾーン難透水性
キャップロック難透水

MT法低比抵抗 (35 Ω m)

キャップロック中難透水

MT法低比抵抗 (56 Ω m)

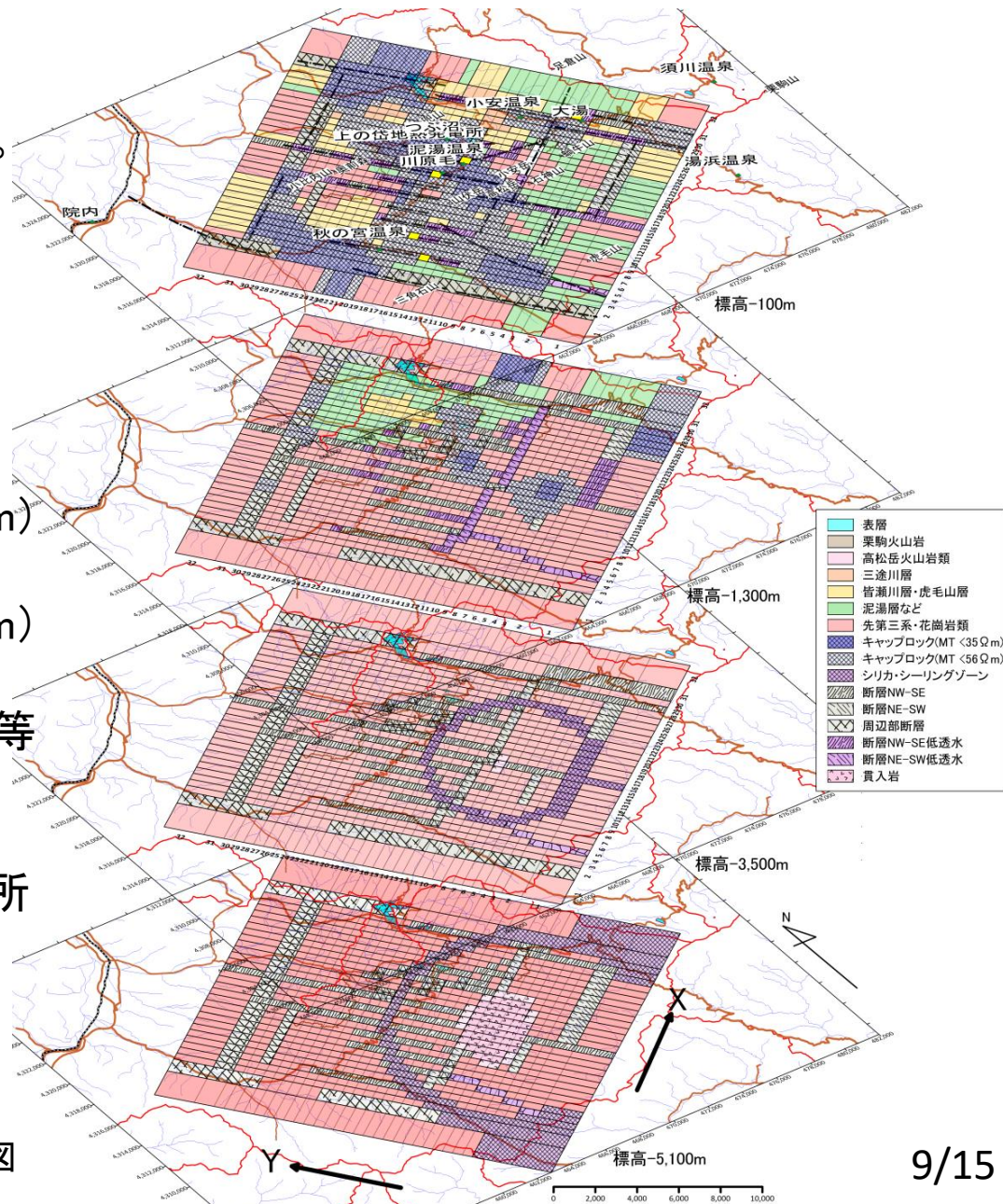
NW-SE系断層

秋ノ宮断層、山葵沢断層、泥湯断層等

NE-SW断層

大鳥谷沢断層、湯ノ又温泉断層

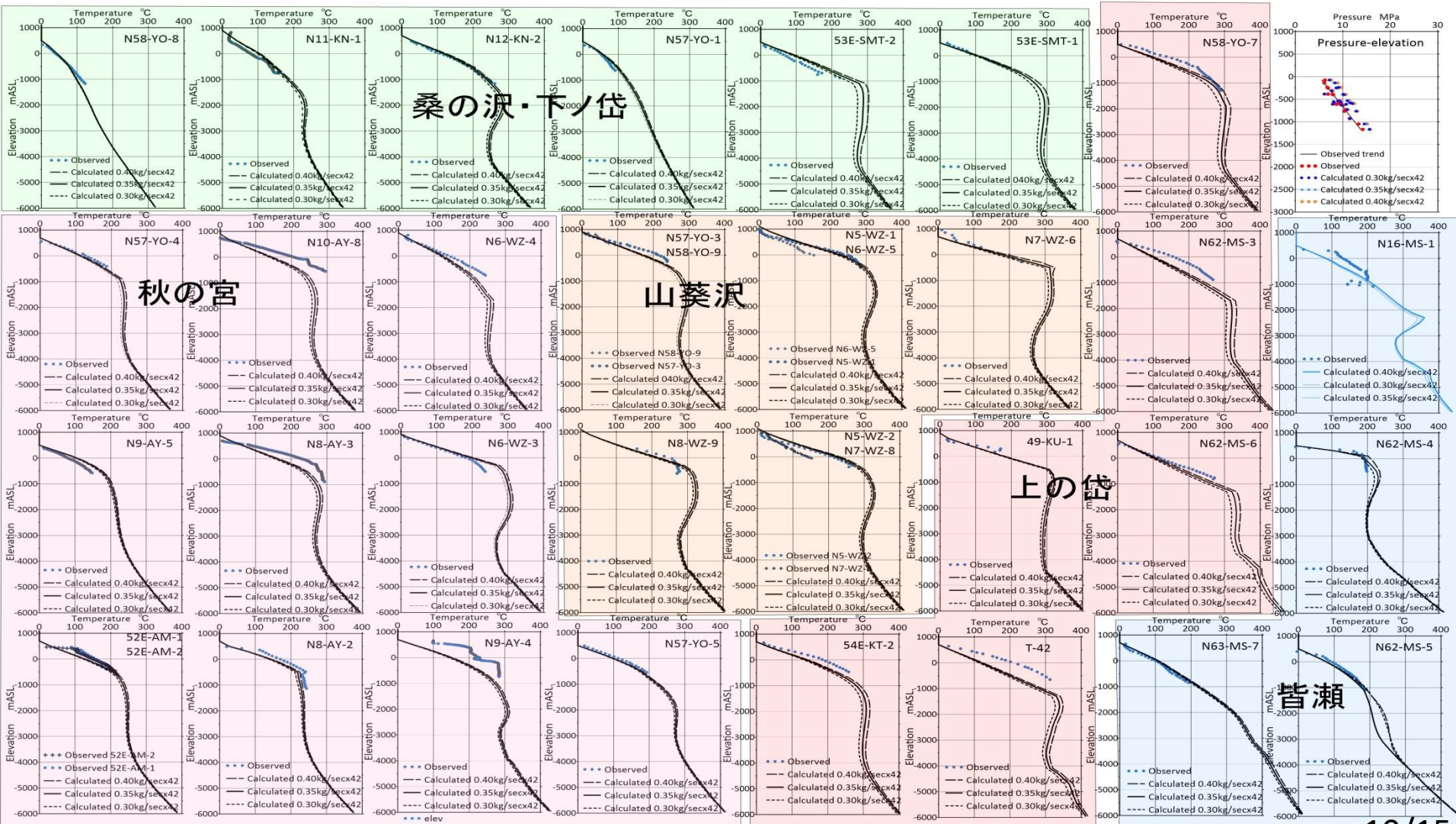
深部質量流束源 0.35kg/sec × 42箇所



数値モデル 地質構造平面図

既存坑井温度とのマッチング (自然状態シミュレーション)

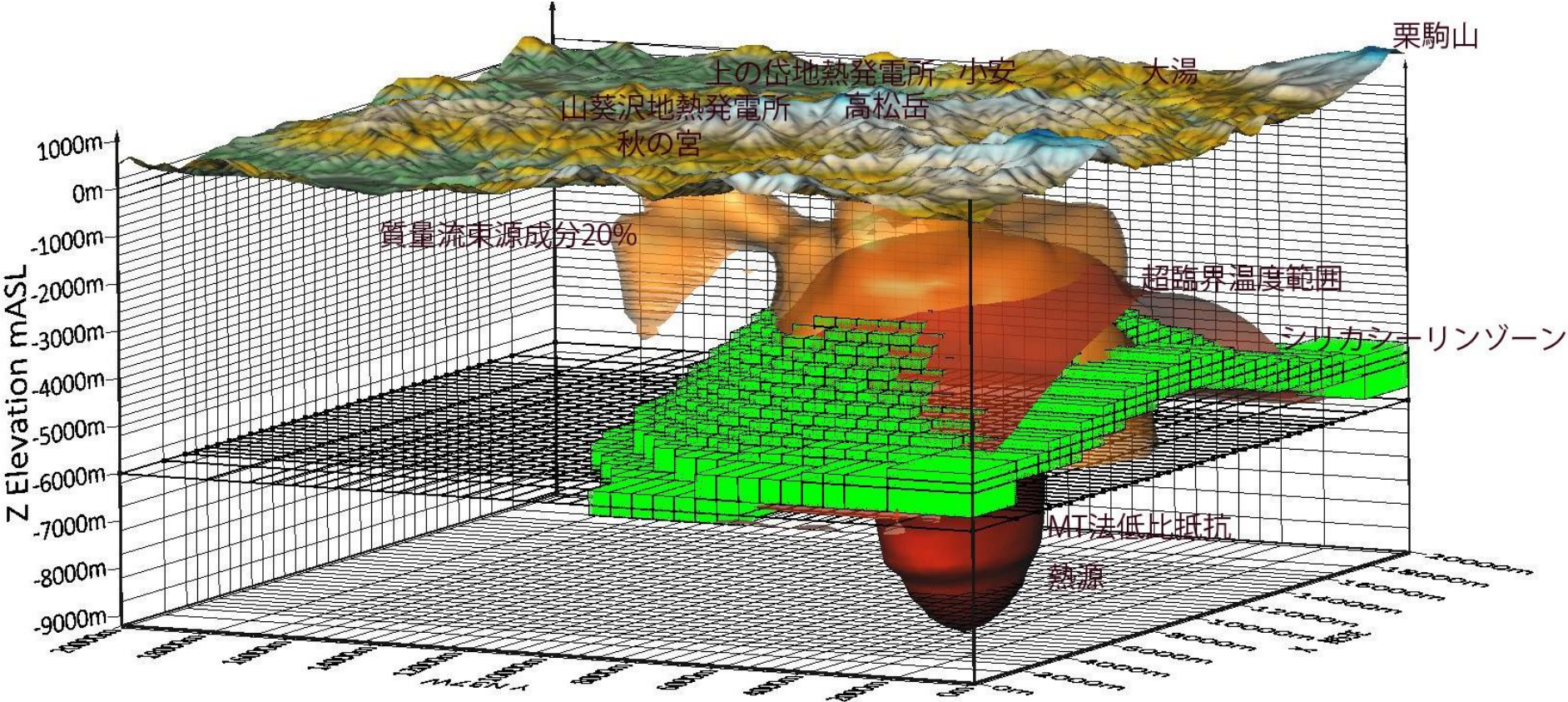
湯沢南部地域には過去のNEDO促進調査等(皆瀬・湯沢雄勝・山葵沢・桑の沢・秋の宮・皆瀬・下ノ岱・上の岱)の調査井が50本以上存在。既存井の温度分布とシミュレーション結果を対比。計算結果と観測値はほぼ一致し忠実に再現された。



数値シミュレーションによる超臨界温度分布域の推定

数値シミュレーションの結果、高松岳深部の標高-3,000mL以深に超臨界地熱温度範囲を推定。超臨界温度の分布範囲は高松岳深部のMT法低比抵抗から推定した熱源を中心として、400°C付近で形成されるシリカシーリングゾーン内に賦存。

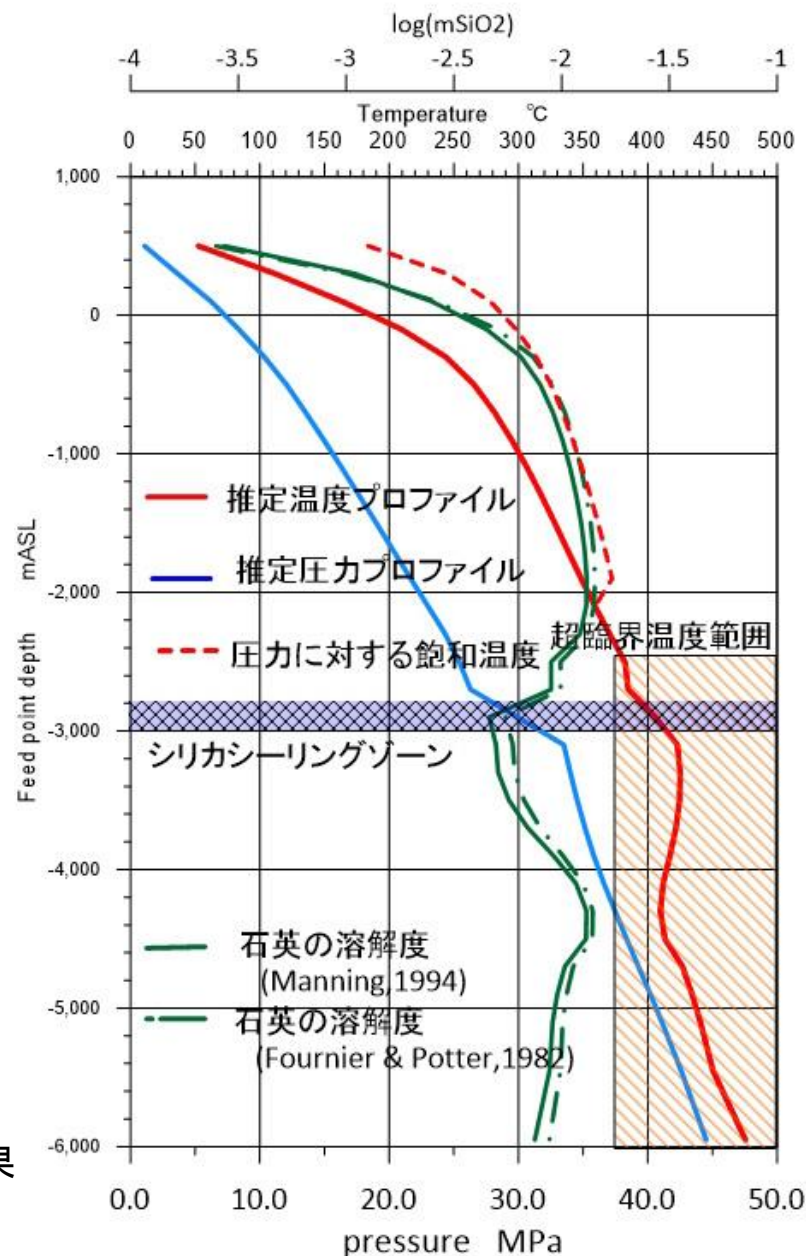
シーリングゾーンの頂部付近では超臨界温度範囲はシーリングゾーン外にも広がる。底部に与えた質量流束源(ここではマグマ成分と仮定)からの流体は、シーリングゾーンからわずかに浸透し、川原毛付近に湧出。



高松岳付近における地下温度圧カプロファイル

標高-3,000m付近のシリカシーリングゾーン
以深で、圧力・温度が上昇し、超臨界流体が
賦存する。

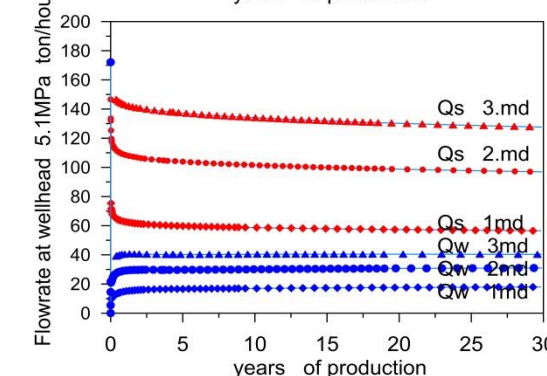
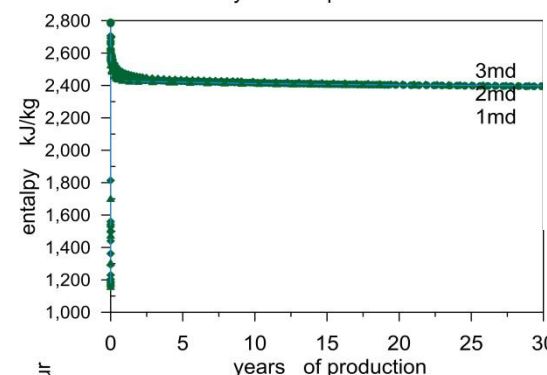
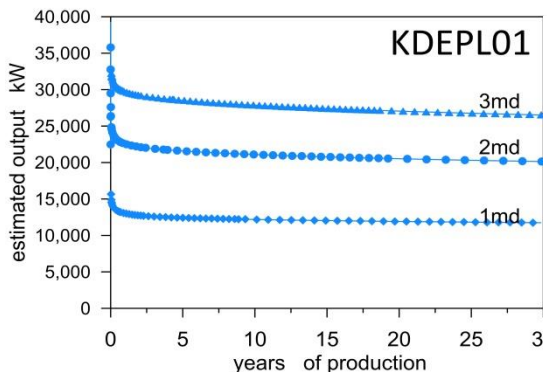
シリカの溶解度はシリカシーリングゾーンを境
に深部で急激に低下し、この変化範囲でシリ
カの沈殿が生じる(Saishu et.at.2015)。



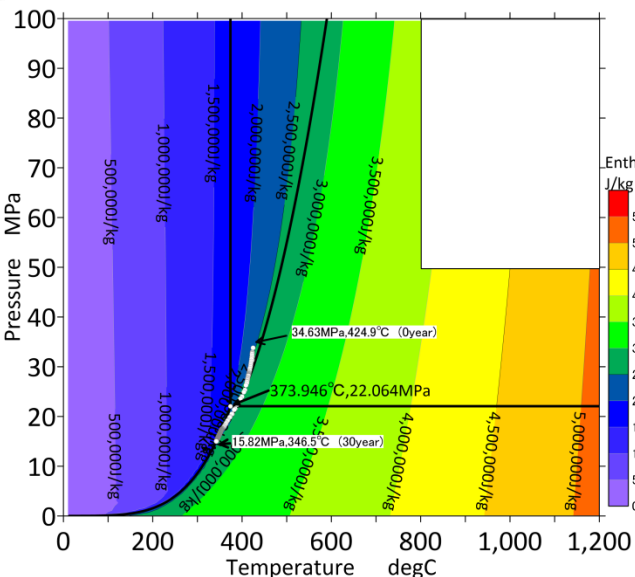
高松岳付近 シミュレーション結果
温度・圧力垂直プロファイル

超臨界地熱貯留層からの30年間生産予測 (坑口圧5.1MPa)

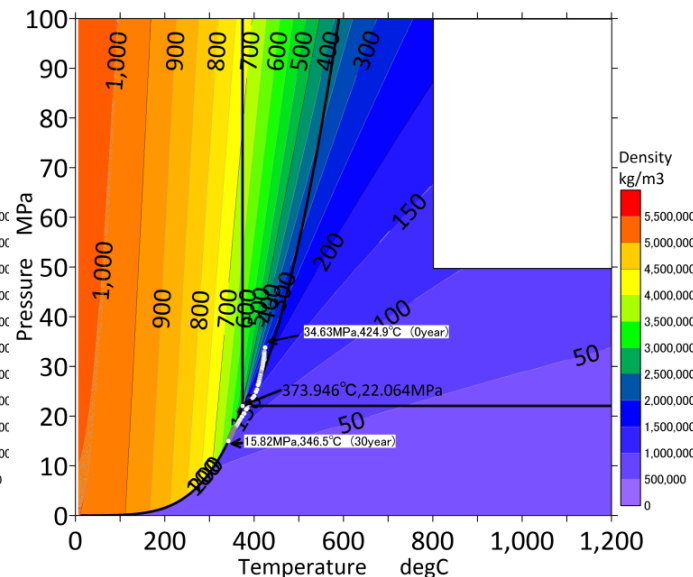
生産に伴い、坑底付近貯留層圧力・温度は初期状態から蒸気表の等エンタルピーに、ほぼ沿って減衰。
 圧力減衰に伴い温度も低下し、坑井近傍では超臨界から亜臨界に変化し、2相状態となる。
 推定発電出力 浸透率3mdのケース 30,640kw(3か月後) → 26,514kW (30年後)



噴出量予測(30年間) 浸透率 1md、2md、3md

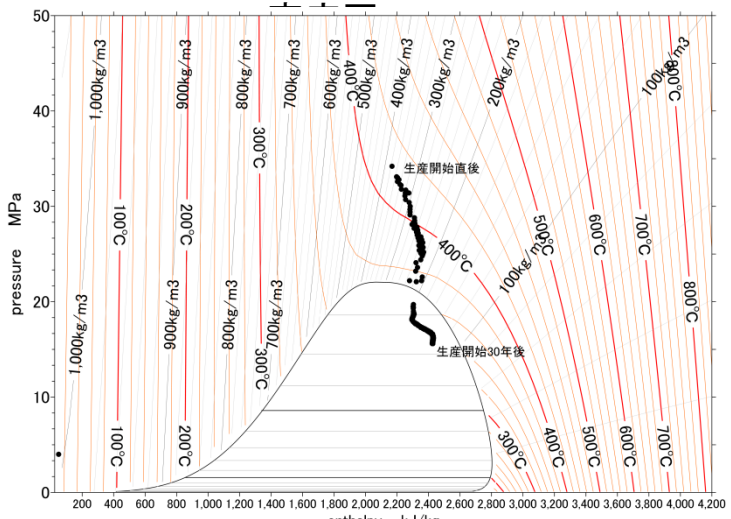


坑底付近貯留層流体挙動
 エンタルピー図



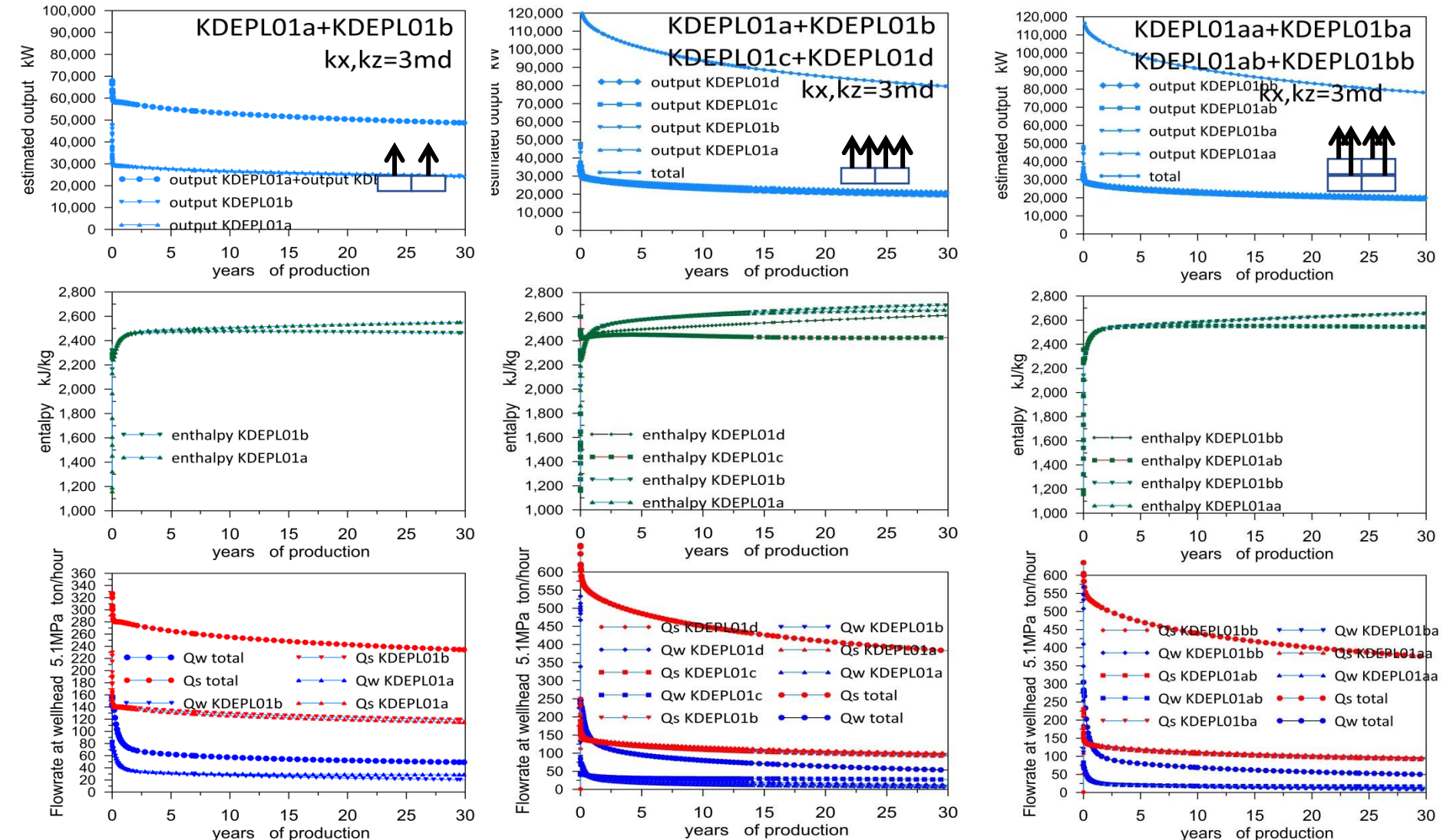
密度図

坑底付近貯留層流体挙動
 p-h線図



複数生産井を掘削した場合の生産予測

生産井2本を500m離して掘削し、生産を行った場合は3か月後には推定発電出力は合計で61.MW、30年後には49.MWとなる。4本の生産井を左右500m、上下200m離して掘削し、生産を行った場合は3か月後には推定発電出力は合計で115.MW、30年後には78.MWとなる。



噴出量予測生産井2本(30年間)

噴出量予測生産井4本(30年間)

噴出量予測生産井4本(30年間)

まとめ・今後の技術課題

- MT法探査、微小地震探査、豊富な既存データを用いて湯沢南部地域の数値シミュレーションを実施し、湯沢南部地域の深部(地下5km以浅)に超臨界地熱流体が賦存することを予測した。
- 超臨界地熱流体を生産した場合の流体挙動、貯留層挙動について検討し、100MWの発電が可能となる要件を整理した。
- 深部構造調査試錐の仕様について検討した。

今後の技術課題

- 微小地震観測は1年程度のデータを蓄積したのみであり、観測を継続して超臨界地熱系概念モデルの精度向上を図る。
- 数値モデルによる感度解析とモデル改良による、より信頼性のあるモデルの検討。
- MINCモデルを含めたモデルによる生産領域での超臨界地熱流体の挙動検討。
- 還元による効果と最適な涵養方法の検討。
- 深部構造調査試錐及び超臨界調査井の仕様・費用・HSE検討と経済性評価。