

地熱発電導入拡大研究開発

超臨界地熱資源技術開発

光ファイバーDASによる超臨界地熱資源 探査技術開発

笠原順三

(一財)エンジニアリング協会

2023年2月2日

【委託先】

(一財)エンジニアリング協会
(一財)ファインセラミックセンター
(国大)京都大学

問い合わせ先

エンジニアリング協会 笠原順三
E-mail:kasahara.junzo@shizuoka.ac.jp
TEL:03-6441-2910

1. 背景・目的

地熱開発の探査の精度の向上が求められているので、地熱フィールドにおいて**定量的に地熱貯留層を求められる汎用的手法を開発**する。それを用いた地熱モデル構築法も一般化する。特に超臨界地熱系フィールドにおける地熱断裂系の深度、分布、広がりなどを求める手法を開発する

2. 実施期間

開始：2021年6月 終了（予定）：2025年3月

3. 実施内容・最終目標

(1) 既存地熱井を利用した高精度実証試験

【最終目標】1km程度の範囲で地熱貯留層を求める手法の開発

【中間目標】（2023年度で終了）

(2) 解析・イメージング技術の開発

【最終目標】DASデータから地下構造を推定する理論的手法の確立（推定誤差：深さ方向200m、水平方向500m）

【中間目標】同上推定誤差：深さ方向：300m、水平方向：1km

(3) DAS用光ファイバーの信頼性向上技術開発

【最終目標】超臨界水環境下（目標400℃）において適用可能なDAS用光ファイバーシステム構造の有効性を示す。

【中間目標】超臨界水環境下（目標400℃）での損傷度評価技術を確立と耐久性評価手法の確立

(4) 超臨界水候補地での高精度比較実証試験

【最終目標】1.5km程度の範囲で深さ4km程度の地震波反射面の存在の有無を明らかにする。

1. テーマ① 既存地熱井を利用した高精度実証試験

・2022年5月滝上地熱フィールドにおいて光ファイバーを用いた地震・温度観測を行った。

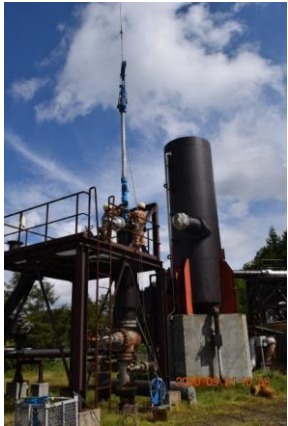
- ①TP-02 地熱坑井を用い、深度2 kmまでの温度と振動を計測した。
- ②滝上の地震波速度構造を求め、南北断層の位置を正確に求めた。
- ③DASの観測記録から反射波を抽出し、反射波のイメージングを行った。
- ④その結果、深さ1 kmと2-3 kmに分布する反射ゾーンがあることが分かった。
- ⑤DASおよび地表地震計の記録にS波からP波に代わる地震波群があり、その変換する深さは1 kmおよび2.5 kmであった。

・2022年8月東北自然エネルギー社のKJ-05地熱坑井を用いた。深度2,000mまで光ファイバーを挿入した。

- ①DTSによる温度測定した。
- ②12か所の震源を用い、DASデータを取得した。
- ③水平加振により横波の推定をおこなった。
- ④縦波速度構造をもとめた。
- ⑤反射波を抽出してマイグレーションを実施した。

地熱貯留層を探査する手法の概念

観測井に「ファイバー設置

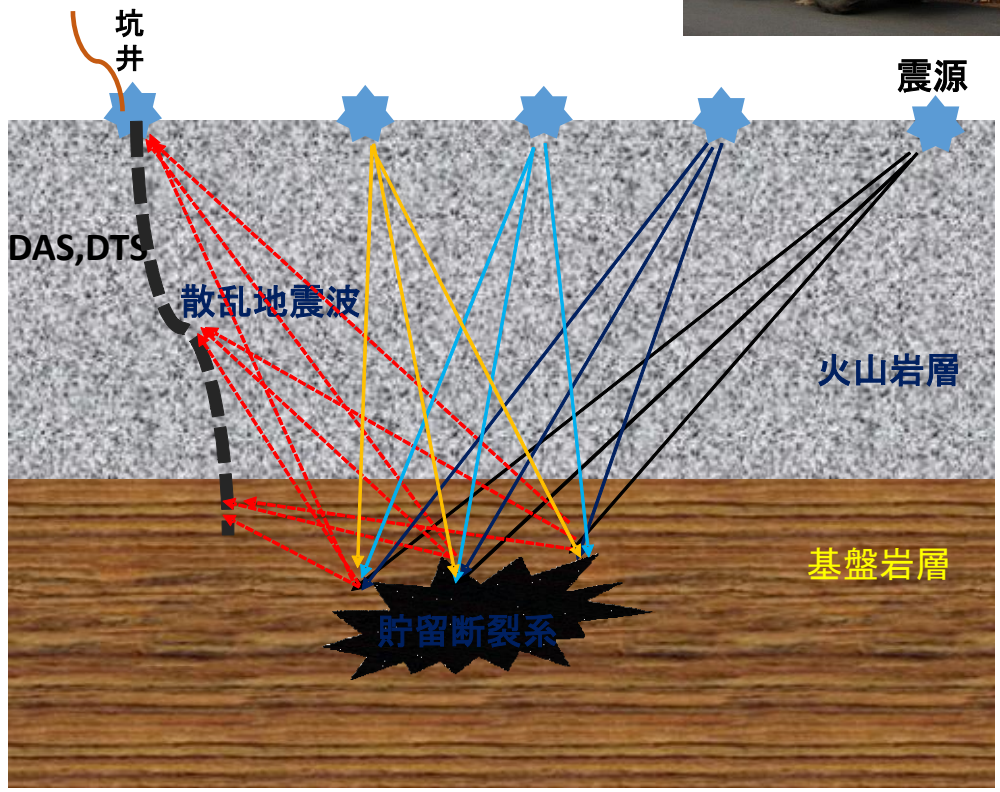


光ファイバーウインチ



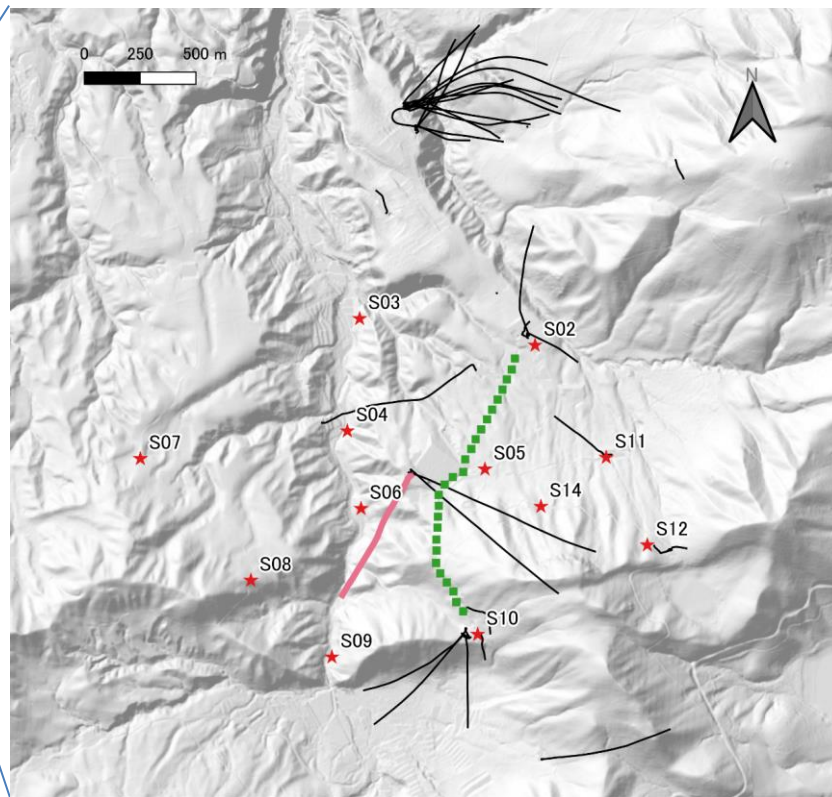
「DASによる断裂系捕捉」

※Distributed Acoustic Sensor



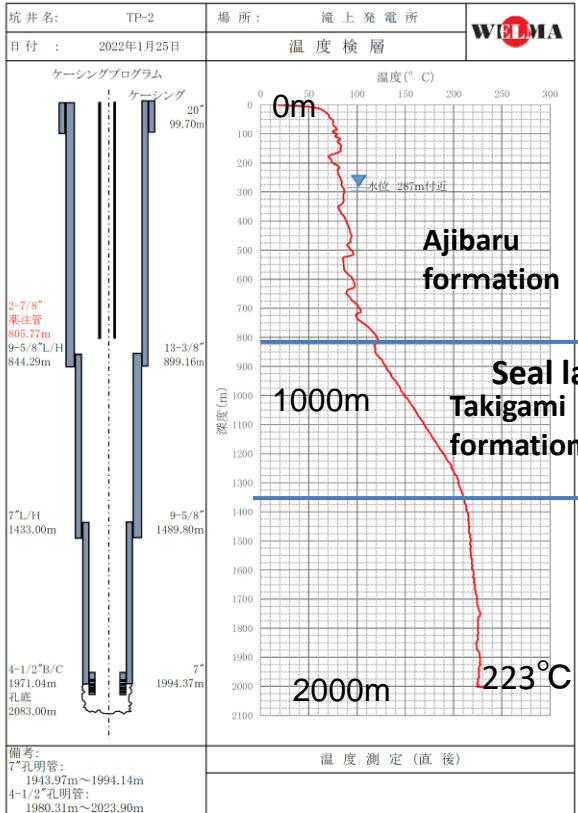
滝上地熱フィールドにおける調査

滝上の観測位置図

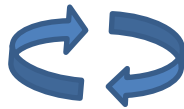


- ピンク太線：TP-02 抗井
- 赤★：震源位置
- 緑■：地表地震計位置
- 黒線：他の坑井位置

TP-02 の温度プロファイル測定結果



Cooling by circulation



水の循環領域

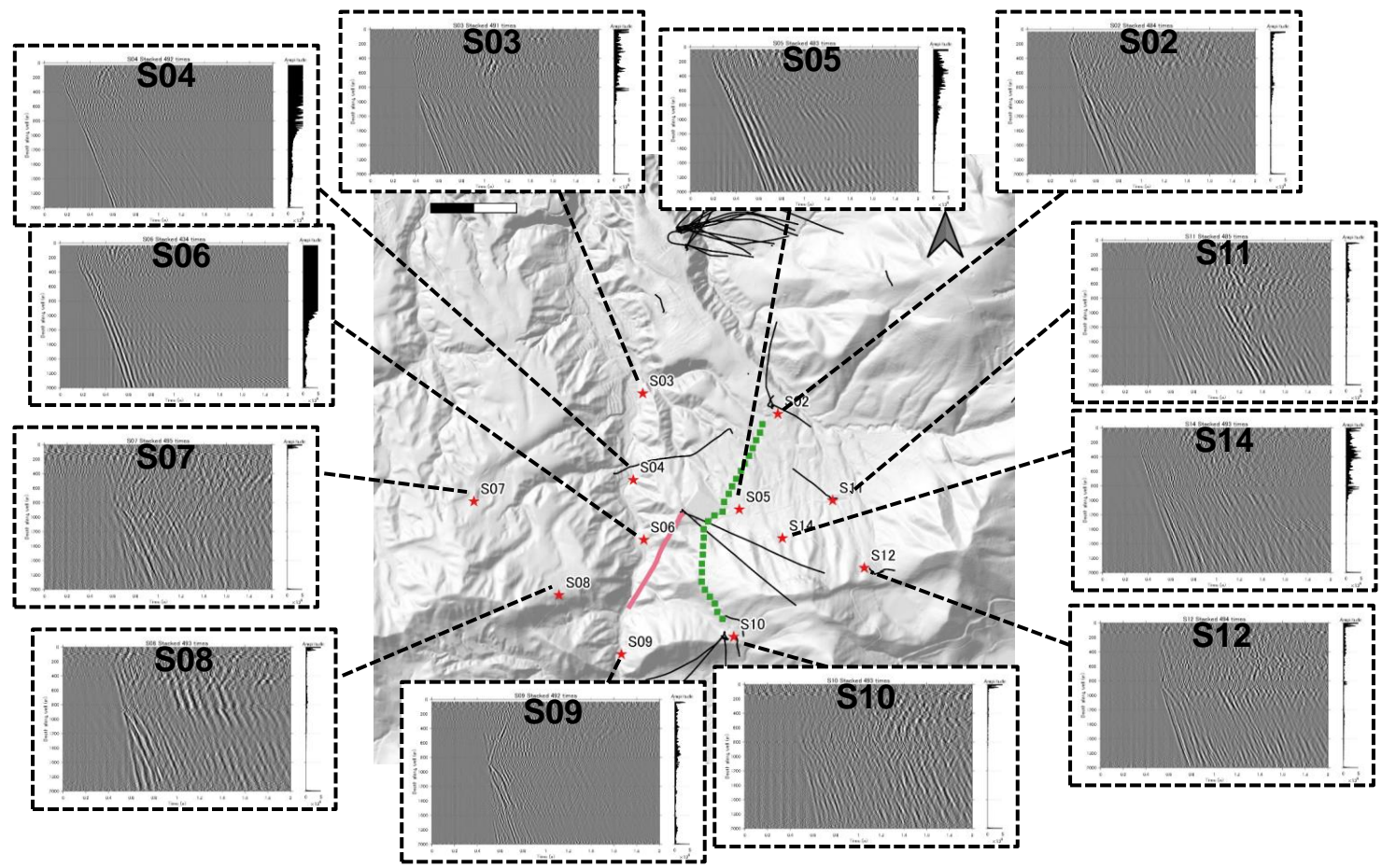
重力の時間変化は深さ1kmまでの流体の移動に関係しているのではないだろうか

スメクタイトの脱水分解・シール層

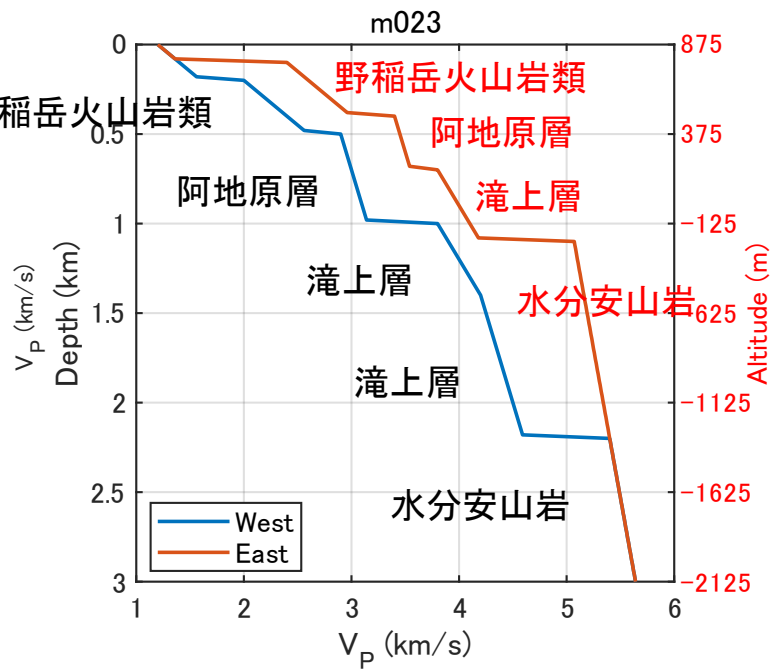
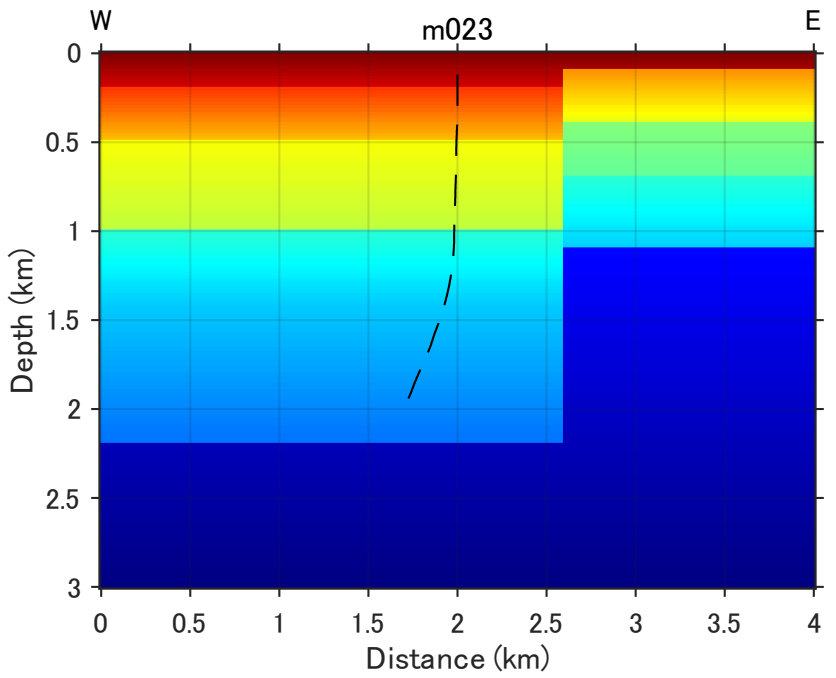
2010m 生産ゾーン

Mizuwake Andesite

DASの測定結果

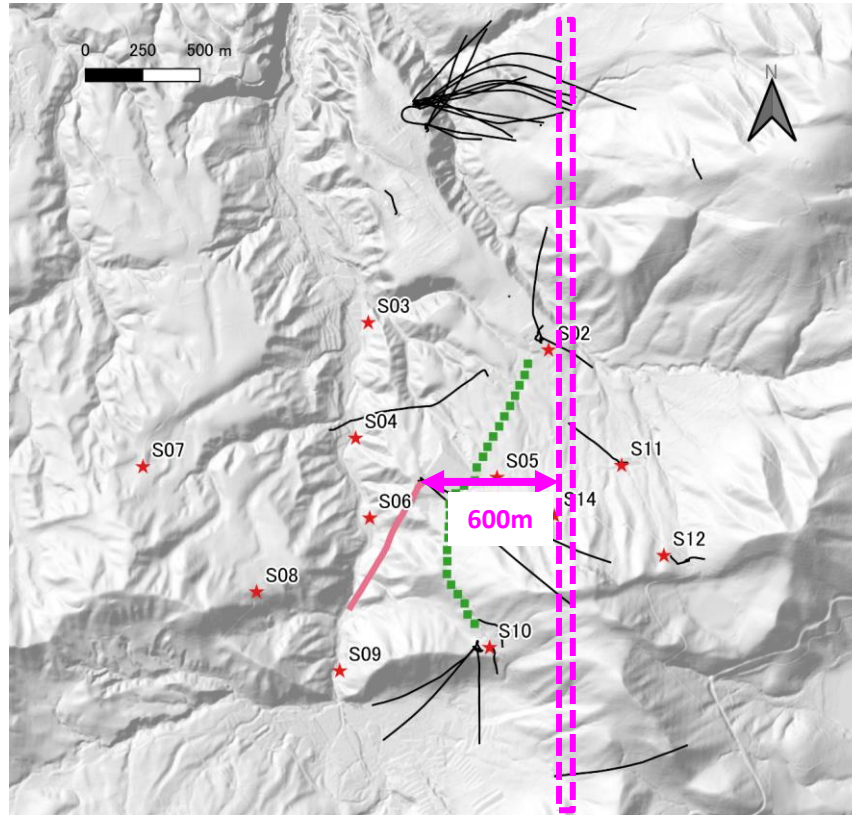


得られた東西の地震波速度構造



南北断層の落差は1kmに及ぶ。これを決めているのは断層の東側の2か所の震源である。

求まった南北走行の断層の位置

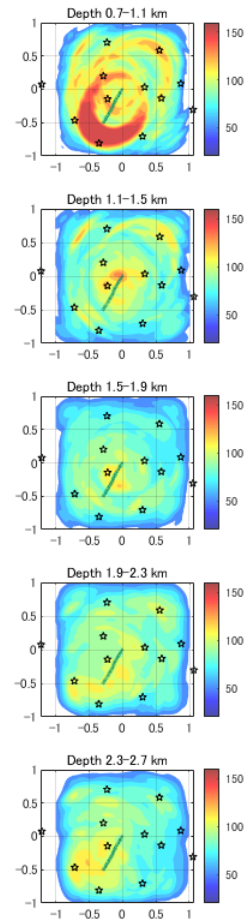
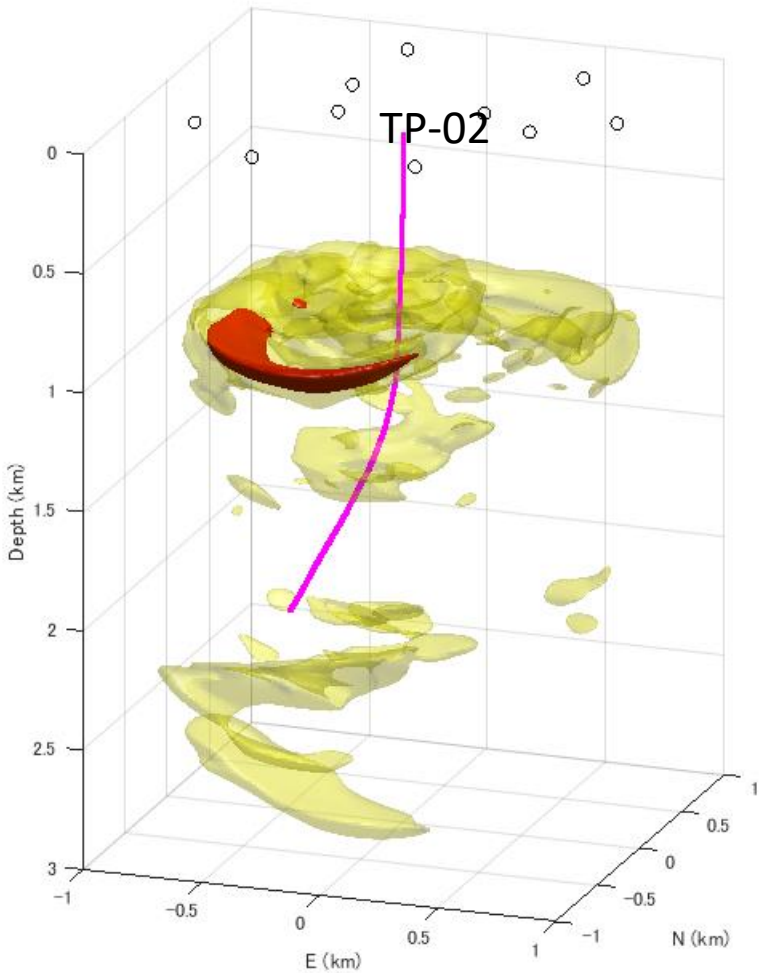


- 赤線: TP-02 抗井
- ピンク縦長矩形: 推定南北走向の断層
- ★: 震源位置
- : 地表地震計位置
- 黒線: 他の坑井

TP-02 坑口から600mの位置に南北断層がある。
バイナリー発電のS02の場所を
通っている。

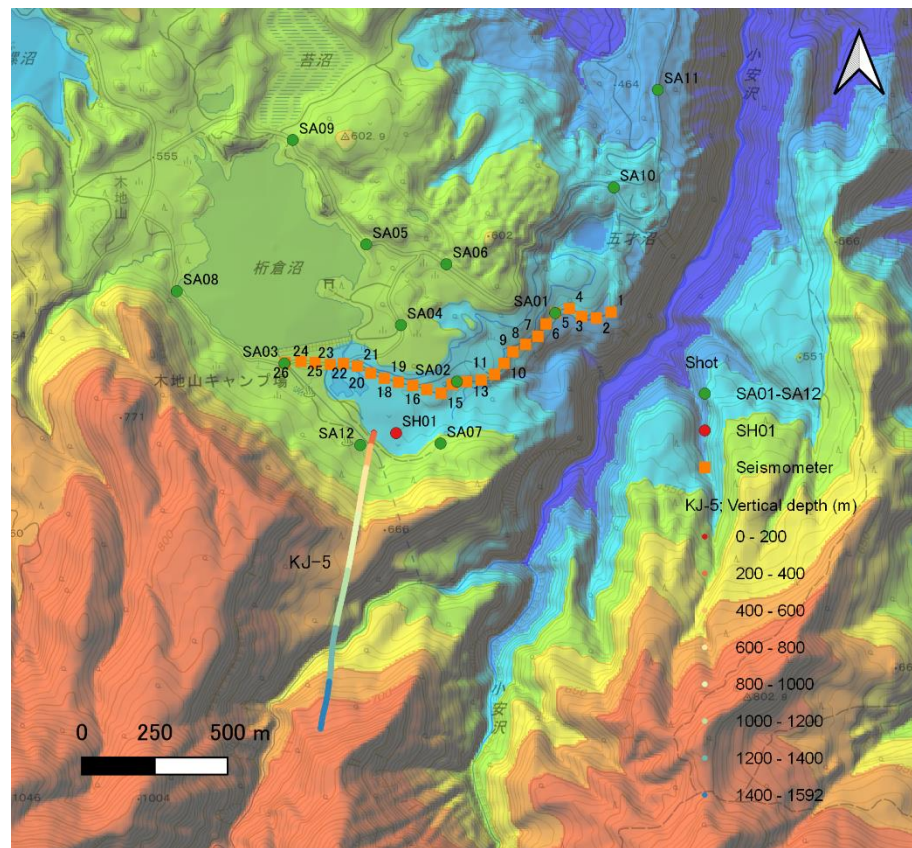
反射波の3次元強度分布と深度のスライス

深度スライス

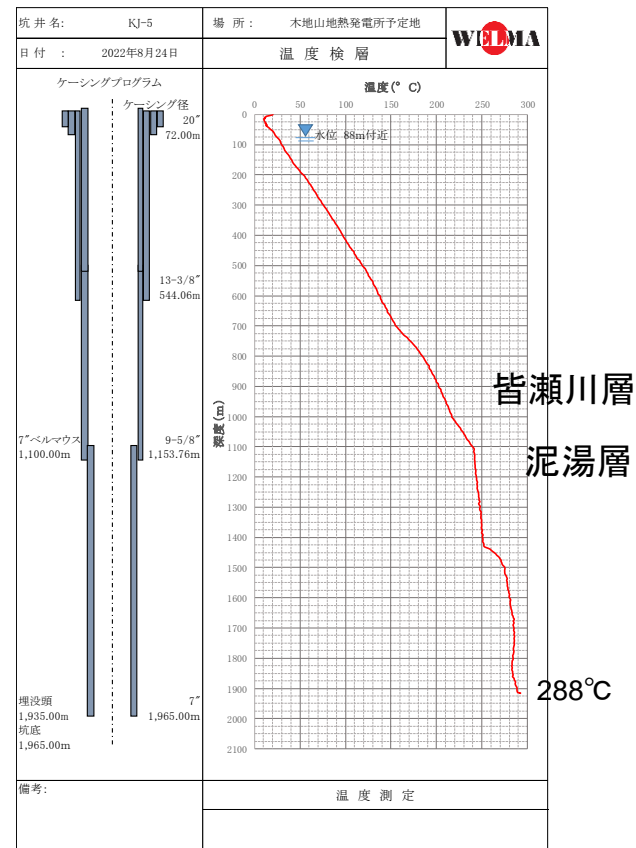


木地山での構造探査

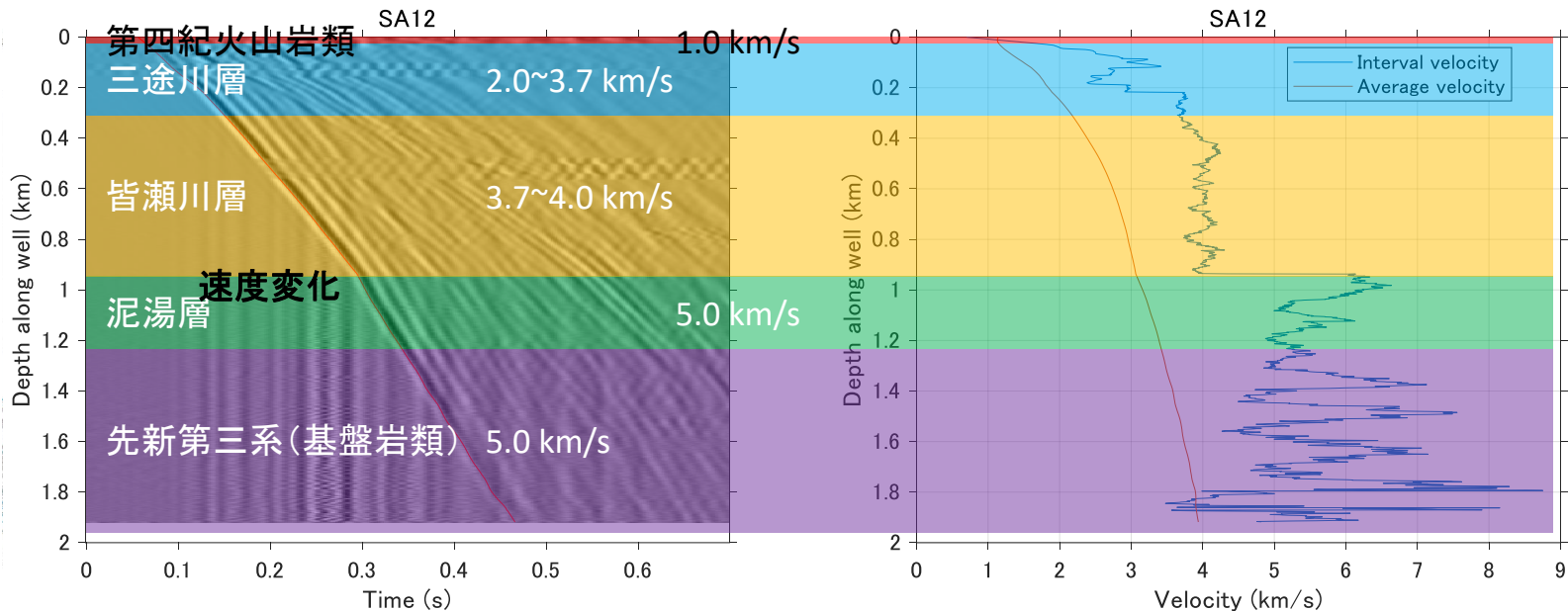
KJ-5坑井位置と木地山観測点配置



温度プロファイル



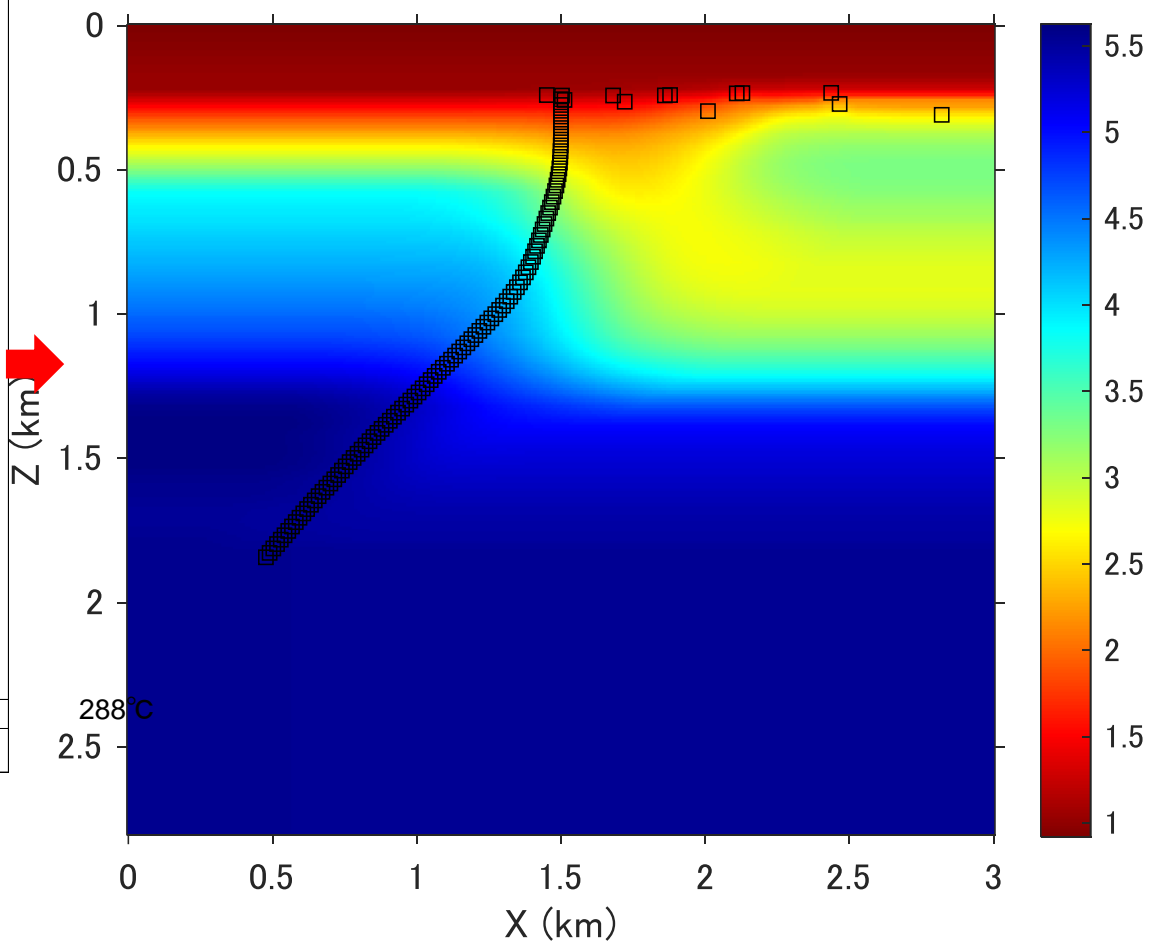
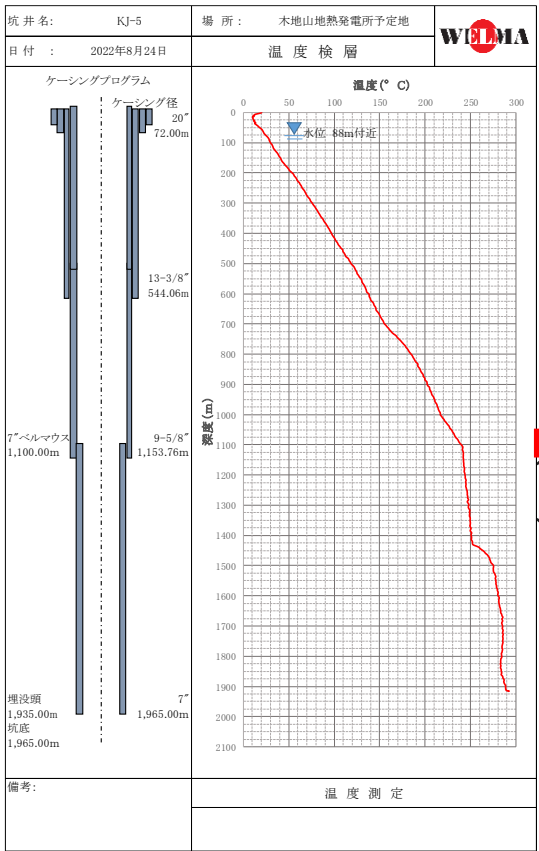
DAS波形と地層速度、地質との関係



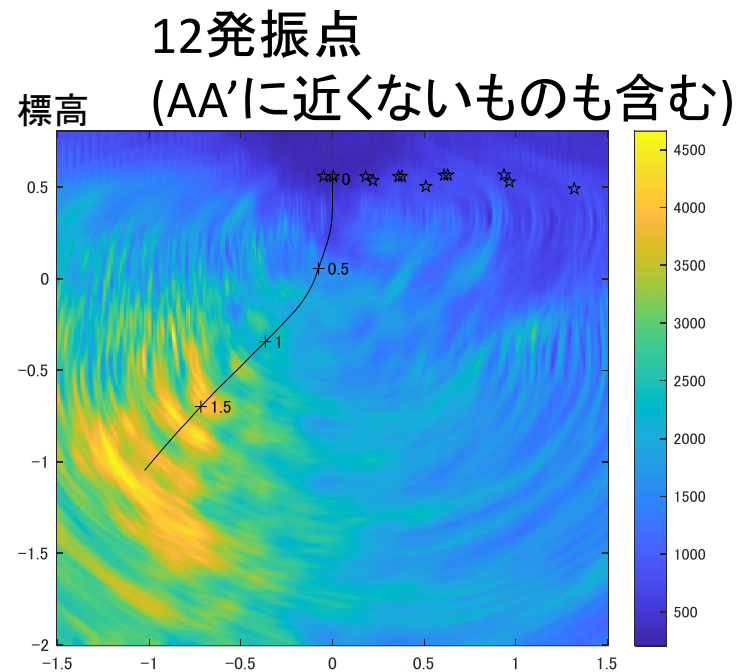
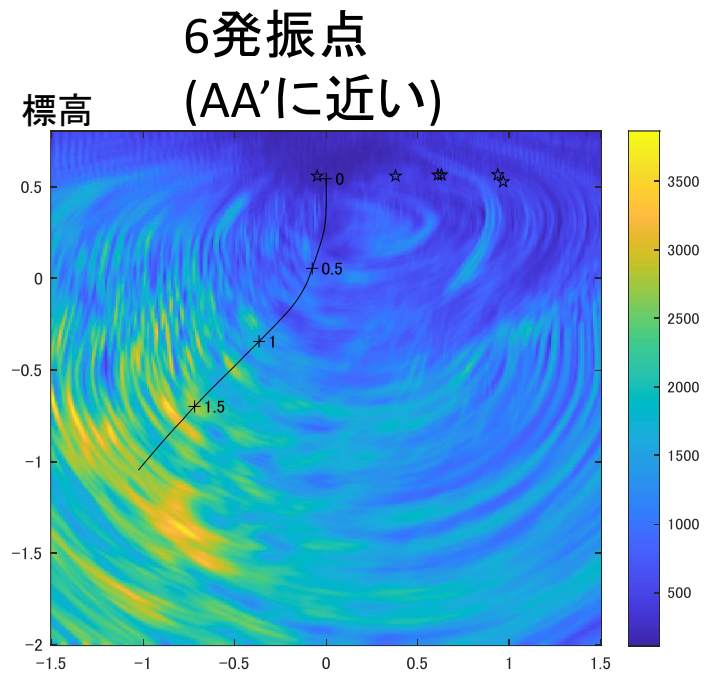
地震波速度が深さ1kmで早くなる。皆瀬川層と泥湯層の地層境界である。

速度構造と温度プロファイル

2次元走速構造



反射波のイメージングの結果



海水面下1-1.5kmに反射ゾーンがある。

1. テーマ②解析・イメージング技術の開発

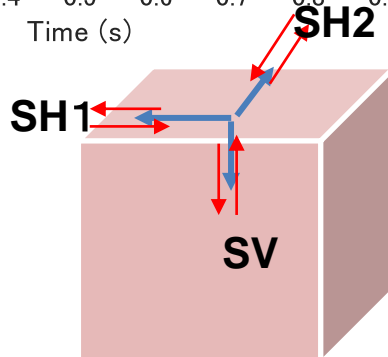
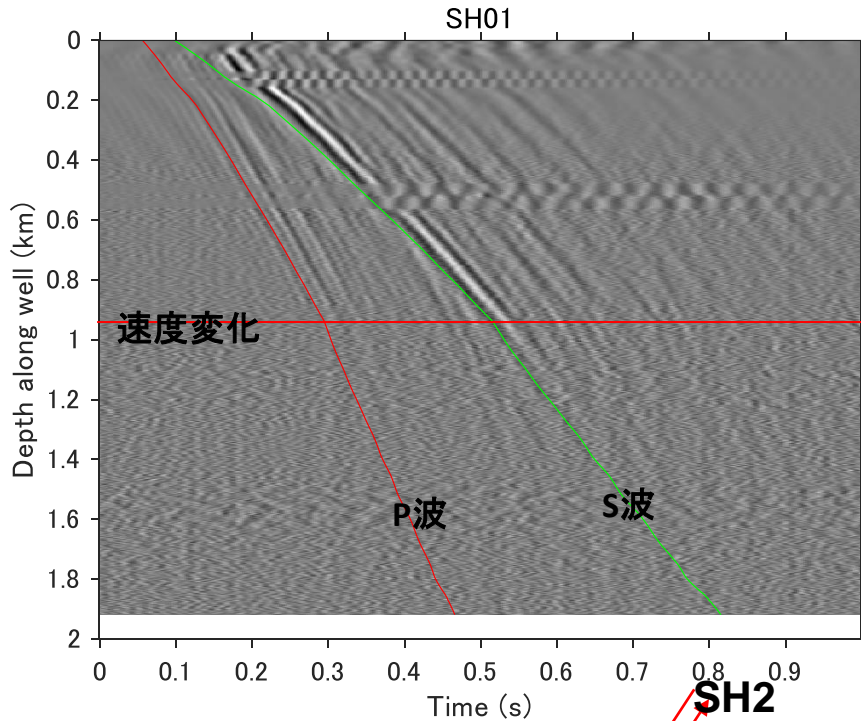
- ・木地山においてS波の観測を試みDASによる深さ1200mまでのSH波を観測できた。
- ・SH波は水平方向の断裂に敏感である。
- ・これから、 $V_p/V_{SH} = 1.75$ であった。
- ・これが示唆することは、深さ1200mまでは流体を包含する顕著な水平断裂は卓越しないだろう。

- ・ヘリカルファイバーの理論的応答を検討した。

- ・地熱貯留層が振動をすると仮定しそれによるイメージングを検討した。油層のイメージング結果をしめした。

木地山における水平加振によるS波速度の検討

ファイバーの伸びの方向に水平加振(8時間)



ミニバイブによる水平加振
(坑井の伸び方向に振動させた)



赤: SA12のP波走時

緑: SA12のP波走時 $\times 1.75$

深度0.3~1.2 kmではほぼ $V_p/V_s=1.75$

これはこの地層部分では岩石、地球内部の V_p/V_s と同じ値であり流体で充満を示してはいない。

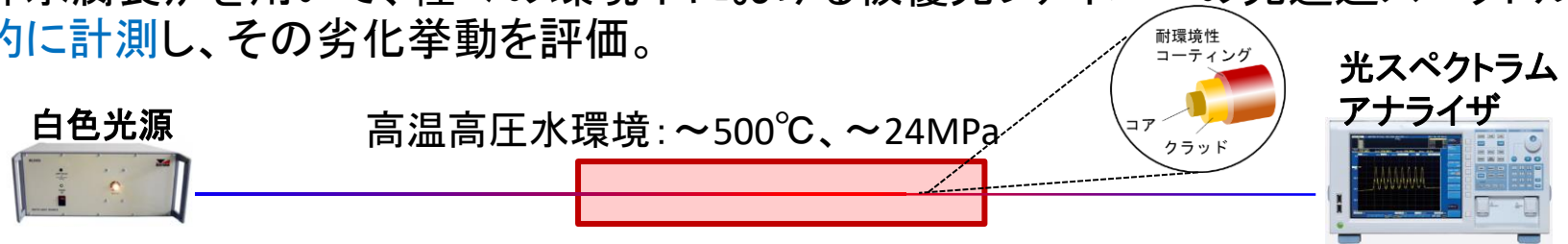
起振点の位置が違うので浅いほうは誤差大

研究成果

光ファイバー-DASによる超臨界地熱資源探査技術開発

1. テーマ③DAS用光ファイバーの信頼性向上技術開発

超臨界水腐食炉を用いて、種々の環境下における被覆光ファイバーの光透過スペクトルを連続的に計測し、その劣化挙動を評価。



亜臨界～超臨界までの温度域での光透過特性評価

C/ポリイミド被覆ファイバー (亜臨界域での評価)

高温高圧水中での劣化メカニズム

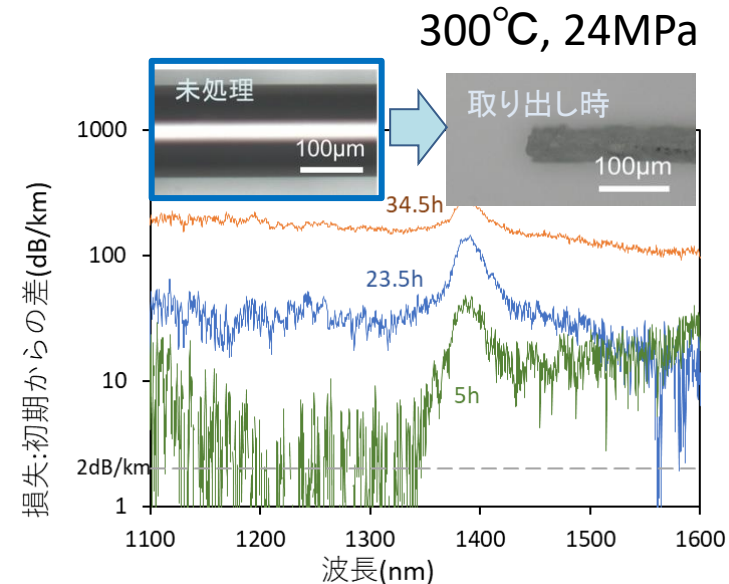
- ポリイミド被覆の溶解
- 光ファイバーガラス部の溶解 →水素侵入

C/Cu被覆ファイバー (超臨界域での評価)

耐熱性の高いC/Cu被覆ファイバーの劣化メカニズム

- Cu表面の腐食 →酸化相の形成
- Cu層の破損 →水侵入 →水素侵入

C/ポリイミド被覆ファイバー



ポリイミド被覆が溶解 → SiO₂が溶解

1. テーマ①

反射波の位置の決定度において水平の位置の誤差が大きい。これは加振点の数や分布が関係している。

S波利用を始めた。今後多くの場所でS波を用いた調査をしていく必要がある。

2. テーマ②

ヘリカルファイバーはS波の検出に有効であるが、感度があまり高くないこと、ヘリカル径が2-3cmあり巻き取りウインチが大きくなること、価格が高い、など解決すべき事項が多数あると考えられる。

3. テーマ③

種々の金属被覆ファイバーの腐食試験を実施しデータを蓄積するとともにセンサーデバイス構成要素評価の検討を進める。

総論

- ・地熱坑井内に設置した光ファイバーを用い、温度測定(DTS)と地震波測定(DAS)をおこなうことにより、地熱貯留層の位置、物性を推定する手法の開発をおこなっている。
- ・2022年度は大分県の滝上、秋田県の本地山において実証試験を行った。
- ・地熱フィールドの温度の深さ分布は場所ごとに異なり、地質、断裂などにより変化し、単純な深さによる温度勾配を示さない。
- ・速度構造は地熱坑井から推定されている地質との相関性が高い。
- ・反射波の分布は貯留層の分布と深い相関がありそうである。
- ・ヘリカルファイバーの理論的検討をおこなった。
- ・高温・高圧下の水の媒質中での、その場観測手法により光ファイバーを被覆を評価した。