

地中熱利用促進に向けた反射法地震探査

伊藤 忍^{1) 2)}

1. はじめに

私たちの研究グループでは反射法地震探査を用いて地下構造を明らかにすることに取り組んでいます。反射法地震探査は地下の地層境界のように密度比の大きい境界面を可視化することに効果的です。地中熱チームでは、平成 26 年度から平成 28 年度まで、地中熱利用促進に向けたプロジェクト「東北地域における第四紀地質構造解析および水理構造解析」に取り組んできました。反射法地震探査がどのような形で地中熱利用促進のためのプロジェクトに貢献できるのでしょうか。

2. 反射法地震探査とボーリング調査

反射法地震探査とは、地面に与えた振動が地下に伝わり、地層境界で反射して戻ってきた振動を、地表に並べた地震計(受振器)で電気信号に変換し、データとして収録するものです。このデータ収録のための装置は、かつては広く探鉱機と呼ばれていました。英語では“seismic recording system”と呼び、直訳すると「地震動記録装置」となりますが、最近では一般に地震探査システムと呼ばれることが多いようです。地震探査システムが探鉱機と呼ばれてきたのは、反射法地震探査が資源探査とともに発展してきたという経緯によるものと考えられます。エネルギー資源の確保は我が国の重要な課題であり、特に石油資源の開発を目的とした反射法地震探査はさかんに実施されてきました。

ところで、同じエネルギーと言っても地中熱については温度に関する物理量が重要で、ボーリングによってコアを採取して各種物理量を測定したり、孔内で直接物理量を測定するといった方法が有効です。一本のボーリングで、異なる深さでの物理量を測定することも可能です。しかしながら、水平方向の変化を把握するのは容易ではありません。群列ボーリングといって、直線上に複数の地点でボーリング調査を実施することもあります。ボーリング本数が増えるほど費用がかさみます。

一方、反射法地震探査は、様々な物理量を直接測定することはできません。しかしながら、地層境界の水平方向の

広がりを捉えることには有効です。つまり、一地点のボーリングで得られた情報を、水平方向に拡張するための情報を提供することが反射法地震探査には期待できます。私たちのグループでは、地中熱利用促進のためのプロジェクトが始まって以来、ボーリング調査の補完・拡張のために反射法地震探査を実施してきました。本稿ではその一部を紹介します。

3. 会津盆地東縁断層の調査

会津盆地は、東西にある断層で挟まれています。会津盆地の西側にある会津盆地西縁断層帯は慶長会津地震で動いたと言われています。会津盆地の西側にある山地の一部には比較的新しい堆積層から成る部分もあり、反射法地震探査が有効であると考えられます。福島県(2000)などによる調査がなされており、断層運動に伴う変形がはっきりと捉えられています。私たちのグループでも喜多方市と会津美里町で小規模な調査を実施し、浅部の構造を捉えました(第1図)。

一方、会津盆地の東側には猫魔火山があり、山麓は岩屑なだれ堆積物で覆われています。一般に火山性の堆積物は空隙率が大きく、弾性波が伝わりにくいとされています。そのため、会津盆地東縁ではこれまでに反射法地震探査は実施されてきませんでした。会津盆地東縁断層帯とは、主として地形から判読されたもので、その詳細はほとんど明らかになっていません。

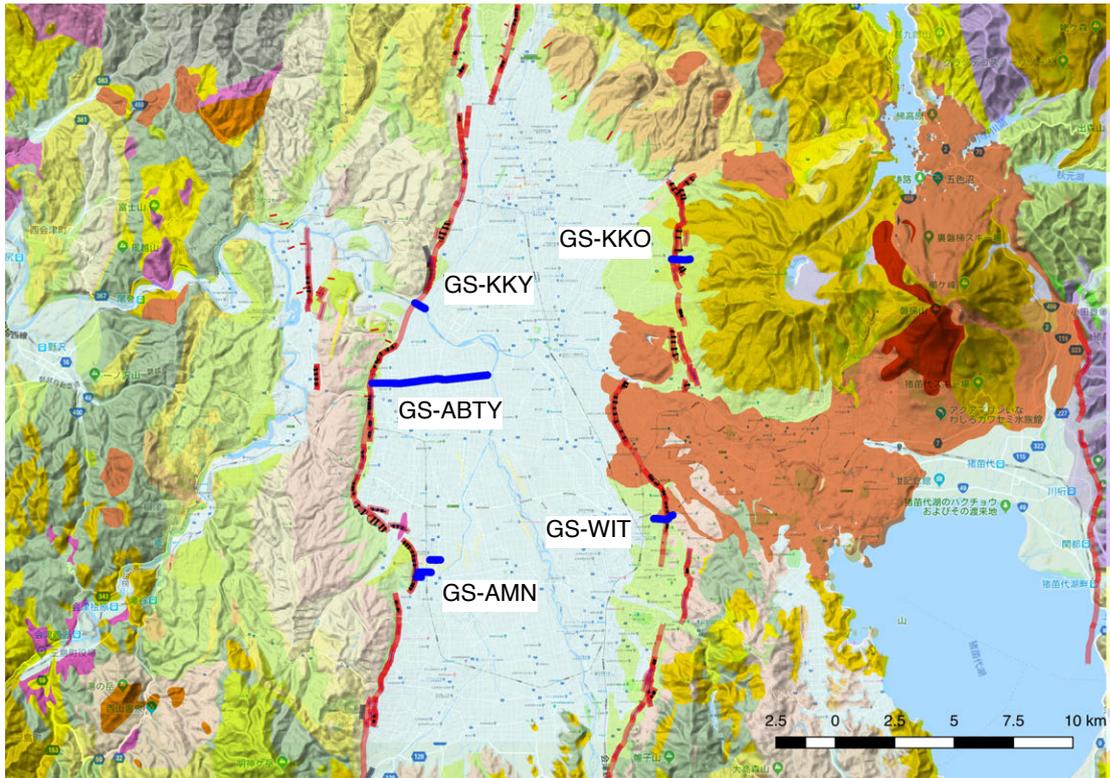
火山性の堆積物は弾性波が伝わりにくいとは言っても、まったく伝わらないわけではありません。そこで、私たちのグループでは、会津盆地東縁断層帯で反射法地震探査を実施してみることにしました。

2014年に喜多方市熊倉町^{おぐに}雄国で、2015年に会津若松市一箕町^{いっきまち}鶴賀で調査を実施しました(第2図)。いずれも地形判読から会津盆地東縁断層の存在が示唆される場所でしたが、いずれの地域においても断層に起因する変形構造を明瞭にイメージングすることができました。第3図に会津若松市で得られた反射断面を示します。この測線の東側は翁島^{おきなじま}岩屑なだれ堆積物で、西側は沖積層で覆われてお

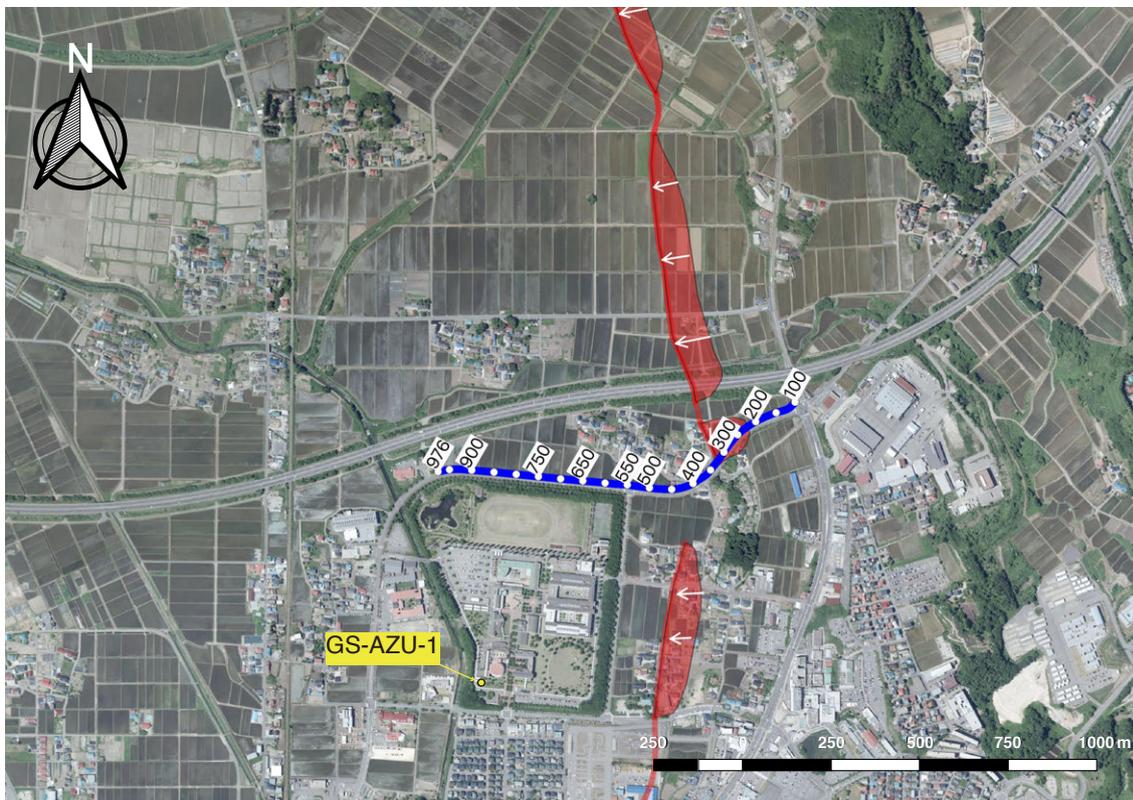
1) 産総研 地質調査総合センター地質情報研究部門

2) 産総研 エネルギー・環境領域 再生可能エネルギー研究センター

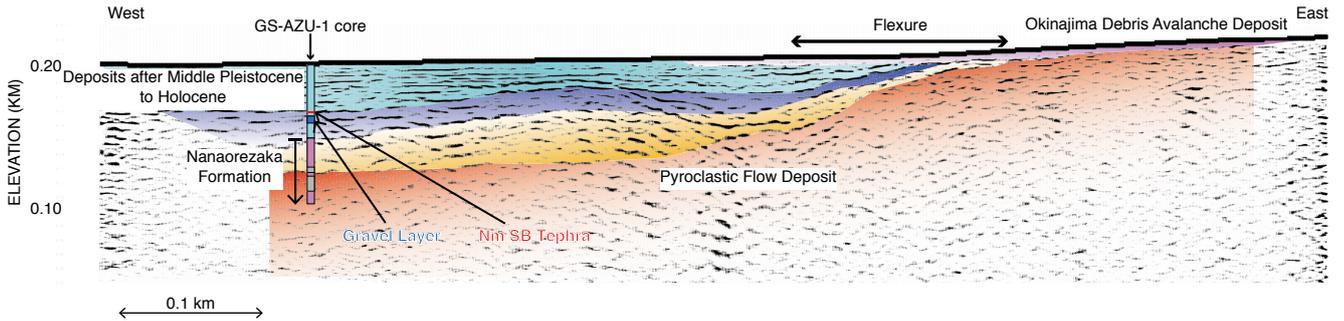
キーワード：地中熱、反射法地震探査、物理探査、会津盆地



第1図 会津盆地における地中熱利用促進に向けて実施された反射法地震探査の測線。青線が測線で、測線名を併記した。基図に日本シームレス地質図V2(産総研地質調査総合センター, <https://gbank.gsj.jp/seamless/> 2017年10月20日確認)を利用した。また、活断層の地表トレースは、活断層詳細デジタルマップ(中田・今泉, 2002)を利用した。



第2図 会津若松市一箕町鶴賀における測線(GS-WIT)のCMP(Common Middle Point; 共通反射点)。基図に国土地理院の提供する地理院タイル「全国最新写真(シームレス)」(<https://maps.gsi.go.jp/development/ichiran.html> 2019年6月14日確認)。青線(点の集合)はCMPの位置, 数字はCMP番号である。GS-AZU-1は石原ほか(2017)によるボーリングの位置を示す。赤帯は会津盆地東縁断層による撓曲の位置を表し, 活断層詳細デジタルマップ(中田・今泉, 2002)によるものである。



第3図 会津若松市一箕町鶴賀における反射法地震探査の深度断面の解釈図(第1図のGS-WIT)。右が東、左が西、縦横比は1:1である。GS-AZU-1(石原ほか, 2017)のコアの解釈を挿入している。青色の層は濃青色, 淡青色をあわせて中期更新世以降の堆積物であるが, 沖積層との境界ははっきりしない。濃青色, 淡青色の境界は, 厚さ約5 mの礫層(コア中の青色)の上端からの反射面と考えられる。コアの左側に示した矢印は, コアの解釈による七折坂層を示しており, オレンジ色および茶色の層はあわせて七折坂層に対応する。茶色の層は, コアの解釈から七折坂層内の火砕流堆積物の上端であると考えられる。

り, 反射断面だけから解釈することは困難です。そこで, この測線から500 m程度離れた場所で行われたボーリング(GS-AZU-1)の結果(石原ほか, 2017)を参考にすることにより, 七折坂層と沖積層, その他の境界を解釈することができました。

4. 地中熱利用促進への貢献のあり方

平成30年度第2回ふくしま地中熱利用情報交換フォーラムに参加して, 筆者は反射法地震探査の地中熱利用促進への関わり方について考えさせられました。反射法地震探査で得られた結果は, 地表地質調査やボーリング調査の結果などと併せて解釈され, 3次元的な地下地質構造を把握することに用いられます。この地下地質構造は, 地中熱ポテンシャルを評価する際に, 基礎的なデータとして参照されます。このように反射法地震探査は地中熱利用のために役に立っています。一方, 今回のフォーラムで, 地中熱利用の施工者の方々の発表がありました。いずれも熱交換システムの改良に関する発表で, 門外漢の私にとっても大変興味深いものでした。施工者から見れば熱交換器の設置位置や設置深度等はコストや効率に直結するので, 地中熱利用ポテンシャルマップ等の成果は大変有益なものだと思います。しかしながら, 端的に言ってしまえば地中熱利用ポテンシャルマップは結果であって, それを制作する過程はコストに直結しません。ポテンシャルマップの作成に反射法地震探査の結果が利用されていることを知ってもらうことはできたと思いますが, それ以上の何かを意識してもらえたようには感じられませんでした。石油掘削の際には, 施工者は反射法地震探査の結果を相当程度意識します。つまり, 反射法地震探査と石油掘削の施工者との関係の近さ

に比べて, 反射法地震探査と地中熱利用の施工者との関係が遠いように感じられました。

地中熱ポテンシャルマップは大変有効なものですが, より一層の高分解能化が求められていると思います。しかし, 高分解能化は簡単にできるものではありません。反射法地震探査は目的に応じて様々な規模で実施することが可能です。地中熱利用の施工最終段階で, 現在の地中熱ポテンシャルマップには反映されていない局所的な擾乱を把握するのに, 小規模な反射法地震探査が貢献できるのではないかと筆者は感じています。今回のフォーラムに参加してみても, 反射法地震探査に携わる者から地中熱利用の施工者にこのような提案をするような発表でも良かったのではないかと感じました。

文献

- 福島県(2000)平成11年度 地震関係基礎調査交付金 会津盆地西縁断層帯に関する調査 成果報告書. 164p.
- 石原武志・鈴木毅彦・本郷美佐緒・内田洋平(2017) オールコアの解析に基づく会津盆地の浅部地下地質構造の検討. JpGU-AGU Joint Meeting 2017, HQR05-P05.
- 中田 高・今泉俊文(2002) 活断層詳細デジタルマップ. 東京大学出版会, 東京. 60p.

ITO Shinobu (2019) Seismic reflection survey to harness shallow geothermal heat.

(受付: 2019年3月6日)