

## 三次元音波探査を用いた海底地盤調査のご提案

2019年7月

(株)地球科学総合研究所

### はじめに

阪神大震災(1995年)や熊本地震(2016年)、北海道胆振東部地震(2018年)など活断層による社会基盤インフラの被害が注目されジオハザード、特に断層リスクマネジメントに対する関心が強まっています。熊本地震では想定から離れた場所に地表断層が出現し被害をもたらしました。パイプラインや海洋油田・発電所などのインフラに対するジオハザードの影響回避には精密な地盤調査が有用です。アラスカ横断原油パイプラインでは断層を横切ると予想される区間の工法工夫により、建設から30年後の2002年にM7.9の地震があつて活断層が4.2m動きましたがパイプラインの損傷はありませんでした。

### 三次元音波探査の特徴

CT断層撮影による人体内の三次元可視化が医療現場を変えたように、三次元音波探査は見えない地下現象の把握と共有に大きく貢献しています。地表調査のできない海底面下の地盤・断層調査に従来は二次元音波探査とボーリングが用いられてきました。二次元探査は調査測線上の断層位置と垂直方向の伸びを検知しますが、断層の水平方向の伸びや長さを調べるには調査測線を密に配置する必要あり、また横ずれ量の検知はほぼ不可能です。一方、三次元音波探査では断層や含ガス層の拡がりや空間的に高い精度で把握できるのでジオハザード被害回避に有用であり、近年海洋油田開発や海底ケーブル・パイプラインルート調査などでの利用が増えております。

弊社は浅海域での海底地盤調査に威力を発揮する超高分解能三次元音波探査\* (UHR3D)を開発しました。UHR3Dは、従来の資源探査目的の三次元音波探査に較べると極めて小型で機動性に富み、経済的なオペレーションが可能です。またより稠密な測定と高周波音源を用いることにより、海底面下約100mまでの地下構造を三次元的に高精度に可視化します。これにより、二次元探査では困難であった詳細な断層分布や地下構造を把握することが可能となります。三次元探査では1回の調査で海底地盤内の状況が高精度で把握できることから、従来の二次元探査で概査と精査を繰り返す方式に比べコスト削減も期待できます。点データであるボーリングデータと三次元探査結果を対比し空間的に内外挿して構築した三次元地質モデルは、地盤応答などの各種シミュレーションの基礎データとなります。弊社は地震防災や石油探鉱で培ってきた技術や豊富な経験を結集して、海域での地質リスク評価に対応いたします。

### 三次元音波探査を用いた調査の概要

調査項目：水深約5m以深の海域で海底面下約100mまでの地層の堆積状況・岩盤の形状・断層の有無・断層の形状と連続性・変位量・浅層ガスの分布状況などを調査します。ボーリング調査と併

せた解析により地層の岩相・物性や、過去の断層の活動間隔を推定します。高周波音源の使用により水平分解能は 2.5～5 m、垂直分解能は 0.5 m を達成します。

調査方法： 200 トン規模の調査船から長さ 80mの受振器ケーブル 4 本を 10m間隔で引き、調査船から海中に音波を発振して地層面から反射した音波を面的に配置した 64 個の受振器で測定し、記録を陸上で処理し地下構造を三次元的に可視化します。

調査期間： 2.0 km<sup>2</sup> (2.0 km × 1.0 km )の調査の場合海上調査に 6 日、前後の準備期間含め計 13 日を見込みます。調査に先立ち必要に応じて海域調査の許認可や漁業関係者よりの承諾取得を実施・代行いたします。記録の処理には約 3 週間を見込みます。

調査結果の活用： ジオハザード被害を回避しかつ経済的な海底パイプライン・ケーブルのルート選定や、海洋構造物の設計のための基礎データとして貢献します。

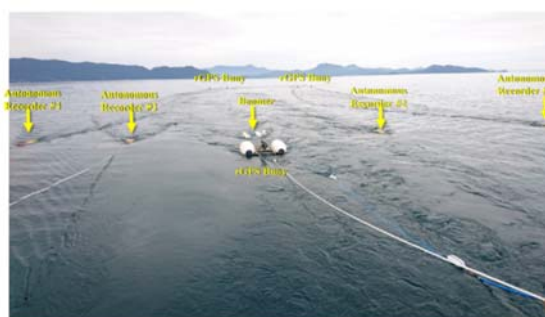
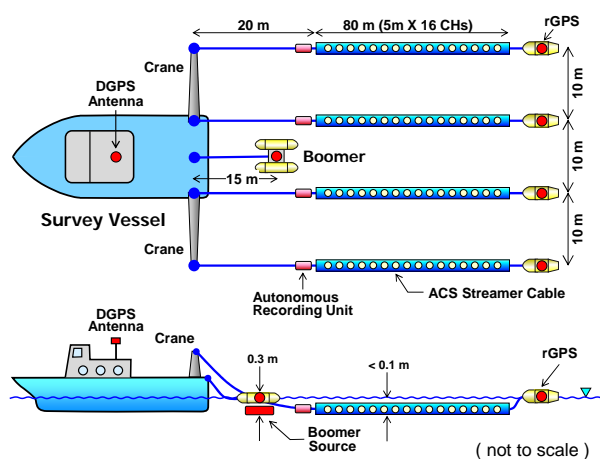


図-1 調査船およびケーブル配置概念図

図-2 船尾から見た調査ケーブル等の配置

## 調査事例： 2017 年熊本県八代海域における活断層調査

2016 年熊本地震の震源となった日奈久断層は八代海に延びています。本海域では 2011 年にも二次元の音波探査が取得され複数の断層が知られていましたが詳細は不明でした。2016 年の地震の際には海域の断層は活動しませんでした。将来の活動を予測するために断層の形状と過去の断層の活動履歴を高い精度で求める必要があり、2017 年に産業技術総合研究所殿が洋上ボーリングを含む活断層調査を実施し、その中で弊社は超高分解能三次元音波探査(UHR3D)を実施しました。

調査の結果、従来直線的に推定されていた活断層は鍵状に折れ曲がって連続することや、高精度な音波探査記録をボーリングデータと対比することにより、断層が過去 1 万年の間に少なくとも 4 回活動したこと、垂直方向のずれは1回で最大 2mあったこと、水平方向のずれがあることなどが明らかになりました。

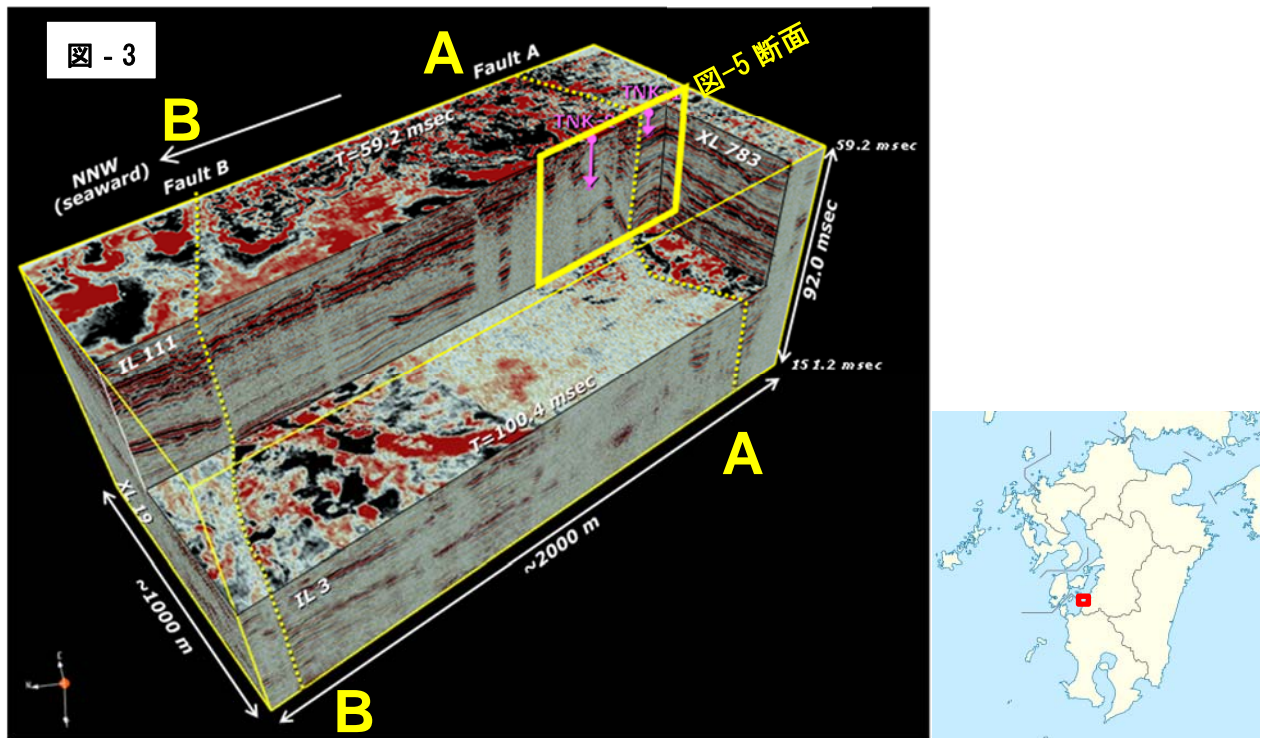


図-3 は、熊本県八代海で得られた音波探査の三次元可視化記録です。南北 2km 東西 1km、海底面下約 100m までの地層に内在する 2 つの海底活断層(A と B) の形状と特徴が捉えられています。

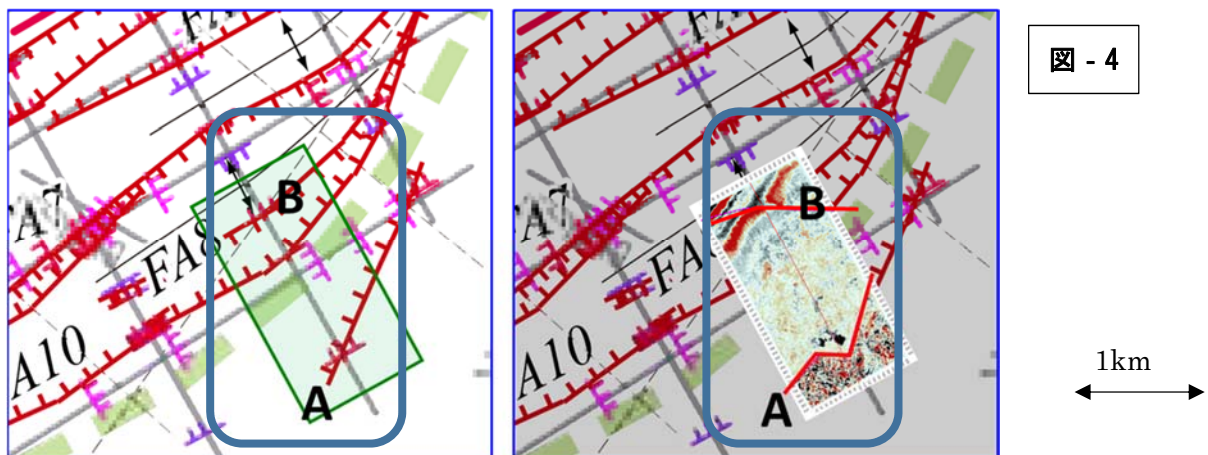
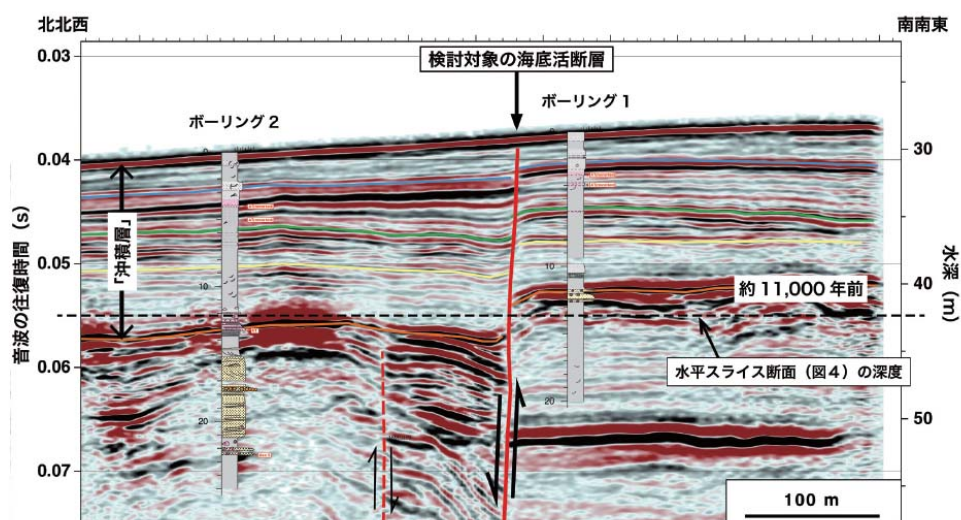


図-4 は、二次元探査で推定されていた断層分布(左)と三次元探査によって判明した断層分布(右)を示しています。B断層の伸びる方向は二次元探査から推定されていた断層の方向(左)と大きく異なり(右)、A断層は折れ曲がり横ずれしていることが判明しました(右)。右図の枠内は深度 42m(海底面下約 15m)における地層の水平スライスを示します。



**図-5** 反射法音波探査と海上ボーリングで捉えた海底活断層による「上下方向のずれ」  
 垂直断面を見ると、約11,000年前よりも新しい時代の「沖積層」(オレンジ色の線で示した面よりも浅部)には、  
 ほぼ水平の反射面が発達しています。これらの反射面は、海底活断層によって上下方向にずれています。

このように、三次元探査では、二次元探査だけでは得られない断層や地下構造の詳細な分布を解明することができます。とりわけ UHR3D では、浅層部における極めて高精度な地下の可視化により、地質リスク評価とジオハザード回避に役立ちます。

### 弊社の三次元音波探査実績

プロジェクト名	年度	調査内容	納入先(敬称略)
日奈久海底断層調査 UHR3D	2017	海底活断層	産業技術総合研究所
苫小牧沖 HR3D	2017	二酸化炭素海底貯留地層	テキサス大学
上越沖 HR3D	2015	メタンハイドレート分布	明治大学
薩南山川地熱	2015	地熱貯留層・断裂分布	石油天然ガス・金属鉱物資源機構

この他に 1980 年代から石油探鉱目的の三次元音波探査実績多数。

### 用語の説明

超高分解能三次元音波探査(UHR3D Ultra High-Resolution 3-Dimensional Seismic Survey) :

非常に高精度で立体的に地層を計測できる調査手法であり、地中約 100m までを数 10cm 刻みに地層データが入手できます。

お問い合わせは (株)地球科学総合研究所  
 小澤 takeshi.kozawa@jgi.co.jp, 須田 shigeyuki.suda@jgi.co.jp  
 Tel: 03-5978-8049 Fax: 03-5978-8060  
 〒112-0012 東京都文京区大塚 1-5-21