

## 微小地震の超解像マッピング技術と自然地震・誘発微小地震への適用

### Application of super-resolution mapping techniques to natural and induced seismicity

# 浅沼 宏 [1]; 熊野 裕介 [1]; 新妻 弘明 [1]; 手塚 和彦 [2]; 加藤 愛太郎 [3]

# Hiroshi Asanuma[1]; Yusuke Kumano[1]; Hiroaki Niitsuma[1]; Kazuhiko Tezuka[2]; Aitaro Kato[3]

[1] 東北大・院・環境科学; [2] 石油資源・技研; [3] 東大・地震研

[1] Grad. Sch. Environmental Stud., Tohoku Univ.; [2] JAPEx Research Center; [3] ERI, Univ. Tokyo

<http://niweb.kankyotohoku.ac.jp/>

#### はじめに

高温岩体に代表される能動的地熱開発における貯留層の造成や、石油・天然ガス田での生産量増大、増回収（EOR）のために、水圧刺激法と呼ばれる岩体への注水手法の開発が行われてきた。水圧刺激にともない発生する誘発微小地震/AEの計測により、刺激された領域の時空間的分布をモニタリング可能であるため、微小地震/AE法は各国のプロジェクトで標準的な手法として使用されてきた。当初、誘発微小地震の震源位置標定は自然地震と同様の手法で行われてきたが、貯留層挙動のモニタリングのためには、さらに高精度かつ高信頼性の解析技術が必要とされ、1990年代後半から「超解像マッピング技術」と呼ばれる幾つかの手法が開発されてきた。

筆者らは高温岩体貯留層の超解像マッピング技術に関する国際共同研究「MTCプロジェクト」を通じてコラボシング法、マルチプレット解析、AE反射法、坑井掘削音反射法（SWD）等の技術開発や、DD法に代表される新たな自然地震解析手法の導入を行うとともに、それらを各国の誘発微小地震、自然地震データへ適用してきた。本報告では、これらの超解像マッピング技術の適用例を示すと同時に今後の展望について述べる。

#### 次世代地熱開発フィールドへの適用

オーストラリア、クーパー盆地では人工貯留層を用いた大規模な商用発電（~200MWe）を目的としたプロジェクトが民間企業により行われている。本フィールドでは2003年秋に水圧刺激が行われ、深度約4,800mの花崗岩体中に23,000m<sup>3</sup>の水が圧入された。これにともない約30,000イベントの誘発微小地震が観測され、それらのうちの10,000イベントがマッピングされた。本フィールドで記録された微小地震をDD法およびコラボシング法により解析したところ、JHD法によるマッピング結果では厚さ約200mのクラウド状の震源分布であったものから、平行な水平の面構造が現れた。この結果は水圧刺激を行った坑井内の情報や地圧情報さらに震源メカニズム解と整合している。

#### 天然ガスフィールドへの適用

石油資源開発勇払鉱場では、2005年に注水により大規模に微小地震を誘発し、微小地震アクティビティ、震源位置と水圧刺激との関連性を検討するために、5628m<sup>3</sup>の海水が注入された。これにともない発生した約700イベントの微小地震がマッピングされた。図は微小地震をDD法によりマッピングし、さらに波形の類似性によりクラスタリングした結果である。これにより複数の線状に刺激領域が広がっていることが推定されたが、これは本地域の地質情報、地圧情報とも整合している。

#### 自然地震への適用

兵庫県南部地震の余震へ、コヒーレンスコラボシング法と呼ばれる波形の類似性を利用した震源の最適化法を適用した。これにより、波形の類似したイベント（マルチプレット）は余震域の周辺にマッピングされ、さらに、それらの位置は低ポアソン比領域とよく一致していた。これらの相似地震は、脆性破壊領域から延性破壊領域への遷移域と対応している可能性が高いと考えている。

#### 岩石破壊試験への適用

コヒーレンスコラボシング法を岩塩コアサンプル圧縮試験時のAEへ適用した。JHD法によるマッピングではAE源はコアサンプル全体にほぼ均質に分布していたが、コヒーレンスコラボシング法によるマッピングによりAE源はネットワーク状に分布し、さらに破壊により生じたき裂の位置と対応している可能性があることが示されている。

#### 今後の展望

貯留層の水圧刺激においては、高い透水性を有するき裂システムの位置とその性状を計測することが最も重要である。このためには誘発微小地震とき裂透水性の関係を明らかにする必要があるが、筆者らは、微小地震マルチプレットの解析が今後の研究の鍵になると考えている。一方、近年、水圧刺激時に有感微小地震が発生した事例が各国で報告されている。これは一種の環境影響であるが、地震学の理論では説明できない部分が多い。このような大マグニチュード誘発微小地震発生メカニズムの解明とそれらの制御方法の開発のために、国際WGが組織され、国際共同研究が開始している。微小地震モニタリングはCO<sub>2</sub>の地層内圧入においても重要な役割を担うと考えられているが、CO<sub>2</sub>の地層内挙動と微小地震の関連については未解明の部分が多く、これについても研究を実施していく必要がある。

