

4次元地震探査による圧入CO₂のモニタリングについて

4D seismic monitoring of the geologic sequestration of carbon dioxide

酒井 明男 [1]

Akio Sakai[1]

[1] 石油資源開発

[1] Japex

1. はじめに

化石燃料の燃焼その他で生成され大気中に自然放散されるCO₂を地下の帯水層その他に圧入・固定する技術（Geologic sequestration）は、地球温暖化を抑制し、なおかつ持続可能な開発を実現するという現実的な観点からは重要である。CO₂圧入による地下における状態の変化を、3次元地震探査を繰り返し実施し、人工地震応答の変化と圧入量および帯水層の厚み・広がりとの関係を検討することを目指した。これはCO₂圧入・固定技術（地中貯留技術）の安全性への社会的合意形成確立に向けた安全性評価技術の一環として位置づけられる。石油天然ガス探査での適用事例から推し量られるように、地下に圧入したCO₂の空間的・時間的挙動を広域的かつ直接的に高分解能で可視化する方法としてこのような人工地震探査手法は有効なものと考えられる。RITE（地球環境産業技術研究機構）およびMETI（経済産業省）が新潟県長岡市岩野原で実施した帯水層への圧入実証試験場を含む地域をモデル調査域として選び、振動振源を用いた3次元地震探査を平成15年ならびに17年に実施した。これら2回の3次元地震探査データを用いて、主として圧入流体に起因する帯水層での変化を地震探査応答の変化により検知し本手法の有効性を検証した。

2. 帯水層評価

坑井データの垂直分解能は非常に高いが、水平方向について精度高く議論することは困難である。一方で地震探査データの垂直分解能はそれより小さいが空間的データは連続し、データの得られる空間領域を大きくすることは容易である。物理量の測定の多様性は坑井データがまさり、地震探査データは直接的には弾性波速度に関連するものに限定される。これらのデータを組み合わせることにより、様々な物理量（孔隙率、浸透率等）の空間分布を推定することを検討した。周辺の坑井データ等を用い地質拘束条件（層序区分、岩質等）を定め、各物性値間の統計的関係を求める。調査域内で、ある往復時間深度での音響インピーダンス（密度と縦波速度の積）その他と地震探査データを用い、同一深度での物理量を目的関数とし、両者の関係を非線形解析手法により推定した。

3. 地震探査データの経時変化領域の検知

地震探査データを用いて2回の3次元地震探査の間に圧入されたCO₂の分布に起因すると考えられる変化をいくつかの方法で空間分布として推定した。解析の結果これらの独立した手法で推定した分布パターンにおおむね類似する傾向が認められた。この結果と、基準地震探査で推定した物理量（孔隙率、浸透率）の分布の関係を検討し、坑井近傍の高孔隙率あるいは高浸透率の領域と繰り返し地震探査データでの変化の領域が類似傾向の分布パターンを示すことが確認できた。CO₂の分布を決定するものの主要な物理量が浸透率の分布であるとすれば、基準状態のデータの適切な解析により部分的にその将来分布予測を可能にすることを示す。ただし、一般には地震探査の手法で一義的に得られるのは弾性波速度に関わることであり、それ以外の物理量の分布についてはそれとは独立な何らかの観測、例えば検層あるいは物理量間の統計的関係が対象地域で既知であることが求められる。以上により検知された異常域といくつかの仮定のもと、圧入したCO₂量と比較し妥当な分布であることを確認した。

4. まとめ

陸上データ解析作業における困難さは、

1) 雑音成分抑制

2) 3次元の静補正解析、異振源間の振源、位相補正、受発振点振幅補正

3) 不規則に分布する発振点、受振点に起因する問題

4) 高分解能化、他

3) については今回のデータの収録が発振点、受振点間がかなり不規則に分布する調査であることから派生したが多少なりとも避けたい問題である。これらの問題への対処方法はさまざまであり、データに依存する手法開発あるいは適用が必要とされる。複数回の3次元地震探査データに比較データ処理（並行処理）を適用して解析を行うが、通常は複数回のデータ取得において取得条件を同一にするのは非常に困難で目的とする以外に何らかの非再現性雑音等の差異が残るため差異データのみによっては解析の精度は十分ではない。より高精度の解析のため差異データの解析でなく、解析に複数回のデータを独立データとして、統計的な処理（clustering analysis）を施すことを試み、成功した。本研究は地下に圧入した二酸化炭素の挙動の変化を広域的かつ直接的に高分解能で可視化することならびに圧入したCO₂量と検知した異常域との関係について定量評価し帯水層での4次元地震探査手法の有効性を示した。

なお、本研究はRITEとの共同研究の一環として実施した。