

弾性波を用いた地下構造探査における技術と今後の動向

三ヶ田 均

要約

地下構造の探査では、弾性波（地震波）が重要な役割を負って来た。古くは自然地震波の走時の異常から、地下深部の地震波速度の不連続面が発見されたことは有名である。直接触れることのできない地下の情報を地表まで運んでくれるこの物理現象は、人間の生活を支える化石燃料などの地下資源の探査においても有効に生かされて来ている。その代表的な例として弾性波反射法探査が挙げられる。この探査では、人工的に弾性波を発生させ、走時の情報だけでなく、記録（観測）された弾性波の波形を使って地下の主として堆積岩の層構造を可視化する手段となっている。1960, 1970年代にはそれぞれCDP重合法、各種マイグレーション法等のデータ処理手法の進歩があり当時としては比較的複雑な地下構造にも対応してきた。また1980年代には、各種検層データを取り込むことにより地下資源の定量的な把握への試みも始まった。

1980年代より石油など探査の対象となる資源貯留層は背斜した砂岩の堆積層という単純な構造よりも、岩塩ドームや火成岩や石灰岩環境の複雑な構造を呈する 경우가多く、その体積も小さくなる傾向が顕著である。従って、弾性波反射法に、以前よりも高い解像力が要求されている。また生産に至るまでの投資と利潤の関係は、以前に増し厳しく制限されており、リスクを最小限に抑える探査精度も同時に求められている。これは弾性波探査による定性的な構造の把握と地質学的な知識による削井の決定といった一連の過程に、より高度な解析技術を求めていることに他ならない。

こうした要求に応えるべく1980年代末からは、定性的な解析の手法の利用、探査経費の削減、更に既存の資源の効率的な回収のための探査が考えられている。定性的な解析の手法としては弾性波の反射係数が入射角の関数となる性質を応用したAVOと呼ばれる処理が、また経費の削減にはTurn Around Timeと呼ばれる探査時間を短く抑える（大量のデータを短時間に取得する）探査そのものの効率化が、資源回収のための探査として地下構造の4次元モデル化（空間と時間軸）の試みも始められている（Time Lapse Surveyと呼ばれる）。下記に特徴的な傾向を項目別にまとめてある。

1. 弾性波反射法のCDP重合法

1960年代の受震器のグルーピング及びCDP重合法の確立によりS/Nは大幅に

改善された。この理由として、I) CDP により地下の特徴的な地質不連続面までの二乗平均速度が得られるようになったこと、II) グルーピングと重合によっていわゆる \sqrt{N} 倍の S/N 改善が図られたことという 2 点が挙げられる。しかし、CDP 重合の処理の際には弾性波の反射係数に対する考慮がなされないため、AVO 処理とは相容れない性質がある。単一の受震器を用いた真振幅探査及びその後のグルーピングに変わる多チャンネル信号処理が求められている。

2. 定量的な探査

定量的な探査の要求により、弾性波探査のデータ処理には、減衰の影響の除去、異方性への考慮という付加的な処理が求められるようになって来ている。また CDP 重合の際にも、方物線による一次近似式ではなく以前は無視していた高次項が必要である。異方性は回転対象軸を持つ Transversally Isotropic な物質が考慮されているが、更に複雑なモデルへの移行が考えられている。

3. 複雑な地質構造

複雑な地質構造に対応するためには、これまでのような水平成層を仮定した探査では困難であり、ある程度の構造に対する知識をもとに探査を設計する必要がある。特に VSP では、波線追跡法や差分法などの順方向解析が同時に行われるようになってきている。

4. データ処理

地表に相当な起伏のある場合、数 100m を超える水深の場所での探査、水平坑での VSP 探査など、データ処理に困難を生ずる。こうした問題は多チャンネル信号処理やモデルを用いた処理を併用することで解決される。但しモデルを用いた場合、処理は非線形且つ Non-Uniqueness 解の探究となる。この場合、モデルの再構成を含めた繰り返しによる最小二乗法が適用されるので、初期に与えるモデルを十分現実の構造に近づける必要がある。

短い Turn Around Time を目指す処理として、データ取得の際に処理を始めるサービスも始められようとしている。この場合、データ取得現場で処理を始める場合と衛星回線等でデータを処理センターに直接転送し処理を開始する場合がある。

最後に

現在、コスト削減という研究者には苦手な目的から始められた処理も多いが、同時に異方性等の興味深い分野の研究も進んでいる。世の要求に応えることも学問の目的なのかもしれない。