

## タイムラプス地震探査による定量的貯留層モニタリングの石油業界における最新例

## Up-to-date examples of quantitative reservoir monitoring using time-lapse seismic in the oil industry.

# 常山 太 [1]

# Futoshi Tsuneyama[1]

[1] 出光オイルアンドガス

[1] Idemitsu Oil &amp; Gas

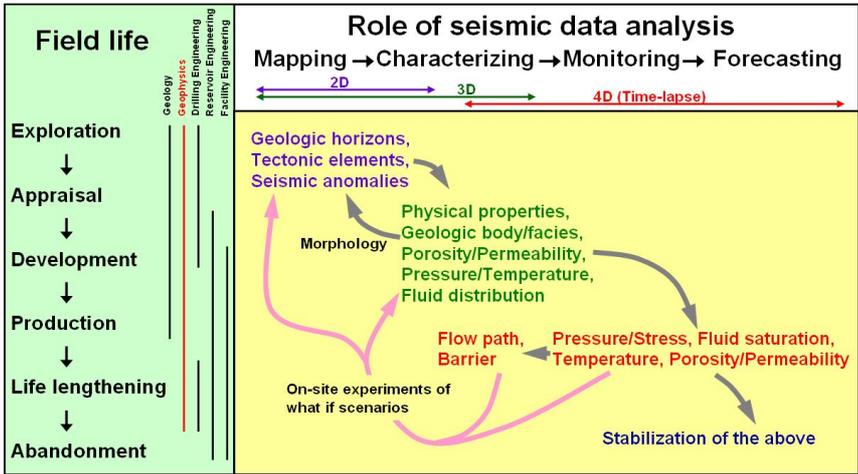
従来、石油開発において反射法地震探査は地下構造のマッピングのための技術として重要な役割を果たしてきたが、1970年代後半に始まる3次元地震探査の実用化に伴い地下の堆積体の形態把握や炭化水素の胚胎に伴うアノマリーの空間的分布把握に利用されるなど、その技術貢献範囲は油層キャラクタライゼーションにまで拡大した。同時に、解析面においても、(1) コンピュータの処理能力向上による多様なアトリビュート計算やフォワード/ストキャスティックモデリングの適用拡大、(2) 岩石や地層流体の物性と温度・圧力条件の関係など岩石物理学 (Rock physics) 的理解が進展したこと、などにより AVO や Inversion 解析の精度や確度は大幅に向上して定量的評価が実用化されるようになった。特に、Inversion 解析により地下の区間物性値を絶対値として推定できるようになり、かつ、岩石物理学的検討によって、岩相やセメント量の変化、内部流体置換など様々なシナリオによりその震探レスポンスがどのように変化するかを定量的に評価できるようになったことで、近年では、地震探査はモニタリングやフォーキャストにまでその適用範囲を拡張しつつある。別の角度からみると、このことは、反射法地震探査が石油開発における従来の探鉱・評価・開発ステージに留まらず、生産・生産期間延長・廃山ステージまでを含めた油ガス田の生涯全体にわたって基礎的データを提供するツールとなってきていることを意味する (Figure 1)。一方で、このような適用は、貯留層圧力変化や流体置換が地震探査データにどのような定量的差異を与えるかについての実地試験的要素を含み、結果として次期探鉱や周辺評価に極めて有益な知見をフィードバックしていることも重要である。

本論では、定量的評価が実用化されつつある貯留層モニタリングのケーススタディについて、特に興味深い、3件のタイムラプス地震探査 (あるいは繰り返し地震探査、4D 地震探査) の北海における最新適用例を紹介する。

(1) Valhall 油田は、白亜系のチョークを主な油層としており、生産にともなう貯留層内圧力の減退で圧密が起り、既生産部ではタイムラプス地震探査記録に走時の差として現れている。この油田では海底下にパーマメントケーブルによる受振器が埋設され、2003年から2005年にかけて6回の3次元地震探査データが測定されている。しかしながら、各測定期間における走時変化には一貫性が見られず、また多重反射の走時にも違いが見られた。その原因として抽出された海水速度の季節変動についての補正に触れ、補正前後における走時変化パターンについて比較する (Hatchell *et al.* 2007)。

(2) South Arne 油ガス田はデンマーク領北海に位置し、同じくチョーク層を貯留岩としている。最近の研究では、貯留層部分のみならず上位の地層部分にもタイムラプス地震探査データに差がみられることが報告されており、地質力学 (Geomechanics) 的なモデリングによる検討がなされている。その結果、貯留層部分では圧密が生ずるものの、これに伴い、貯留層の上下では引張場が生じておりその部分では速度低下によって走時に遅れが出ることが予測された。また、3次元的な応力分布を検討すると、鉛直方向には引張場であるものの水平方向では圧縮場となっておりファーフセットのデータでは走時の遅れが緩和されている可能性が示唆された。実際のタイムラプス地震探査データ解析の結果、これらの予測は正しく、モデルが有効であることが確認されている (Herwanger *et al.* 2007)。

(3) Gullfaks 油田は、ジュラ系の砂岩を貯留岩とした油田で1986年に生産を開始している。これまでにタイムラプス地震探査によるインピーダンス変化などから未生産エリアを特定してインフィル坑井を掘削するなど、定性的な検討はなされてきたが、生産末期に向かうにつれ、より定量的な流体飽和状況の把握が必要となってきた。そこで、Statoil では、複数回のタイムラプス震探データのアングルスタックすべてを同時に入力して解いていく 4D simultaneous seismic inversion と、そこで求められた P 波インピーダンスと  $V_p/V_s$  比の変化から貯留層内孔隙圧と流体置換の変化を分けて解析する Stochastic Rock-physics inversion を開発した。新手法を同油田に適用した結果、圧力変化については精度が不十分なものの、流体飽和状況については定量的に把握することが可能となった (El Ouair and Stronen 2006)。



4D seismic brings benefits on (1) revenue improvement, (2) cost reduction, (3) environmental protection by efficient production, and (4) knowledge accumulation.