

油層評価 (1)

油層評価とは、対象とする油・ガスの貯留層における流体の生産挙動を予測し、どの程度の油・ガスの生産量が期待できるのか(可採埋蔵量)を評価することです。

こうした評価には、対象とする油・ガスの貯留層の物理的な特性を計算機上で再現し、貯留層内の油・ガス・水の流れを予測する(シミュレートする)貯留層シミュレーションと呼ばれる技術を用いるのが主流となってきました(現在では、商用、非商用を含めて、汎用的な貯留層シミュレーション用のソフトウェア(レザバースミュレータ)が複数存在しています)。

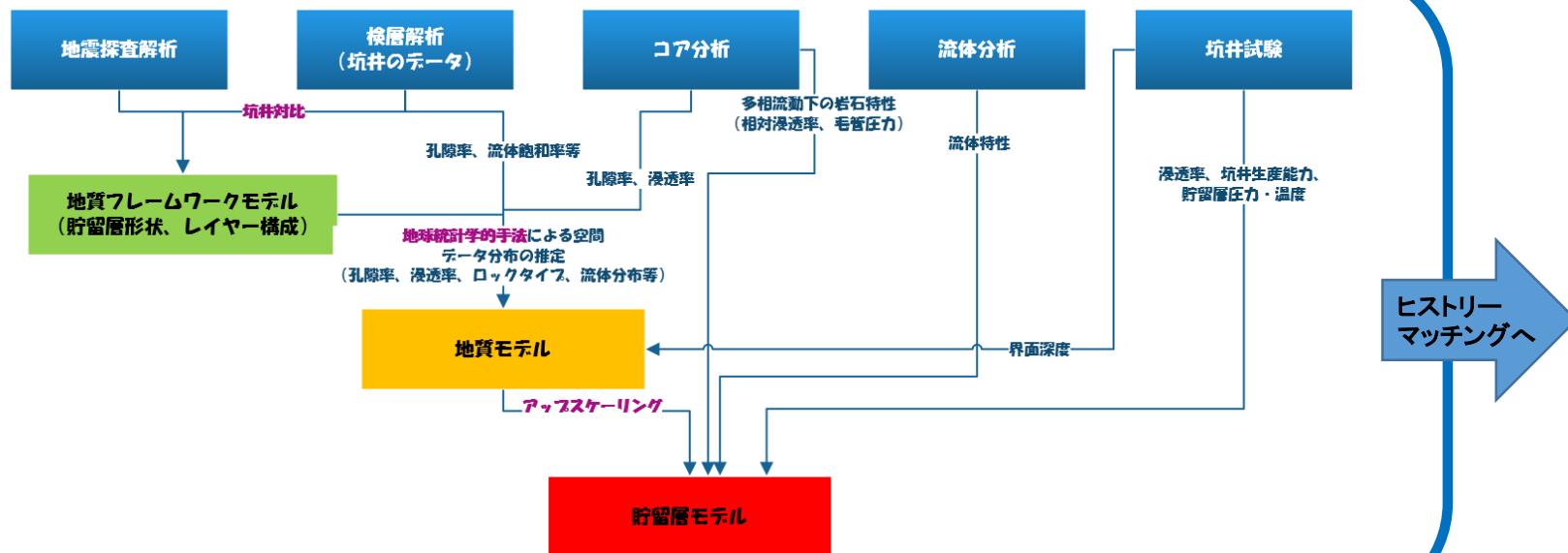
貯留層シミュレーションによる油層評価は、一般的に1)貯留層モデルの構築、2)ヒストリーマッチング、3)プレディクションの3段階で実施されます。

貯留層モデルの構築

油層シミュレーションを行うためには、まず、対象とする貯留層の状態(流体の性質や岩石の性質の分布)、坑井の生産履歴などを数値的に表現したデータセット(貯留層モデル)を計算機上に準備する必要があります。これが、貯留層モデルの構築です。

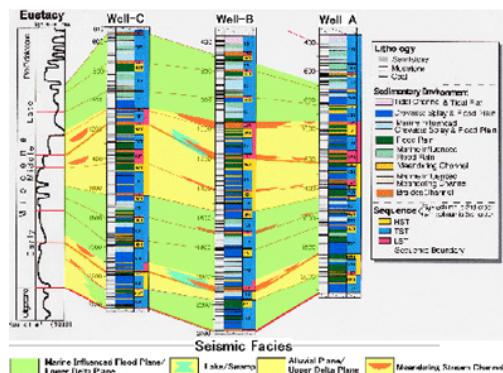
正確な貯留層シミュレーションを行うためには、当然のことですが、貯留層の特性を、可能な限り正確に貯留層モデルに入力する必要があります。このため、貯留層モデルの構築では、貯留層から取得された様々な試験データが複合的に利用されます。

- 地震探査 (貯留層の形状)
- 検層解析 (坑井掘削地点の深度方向の流体の分布、岩石の孔隙の大きさ、地層構造の特定、等)
- コア分析 (岩石の孔隙の大きさや浸透性、毛管圧力等)
- 流体分析 (貯留層内の流体の性質)
- 坑井試験 (坑井周辺の流体の流れやすさ、流体界面の深度、等)



坑井対比

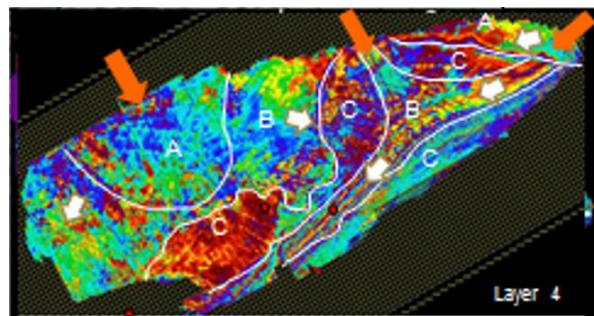
複数の坑井の検層解析結果を比較する(坑井対比)することにより、地質構造の広がり把握し、貯留層内のレイヤー構造を特定することができます。最終的に、坑井対比の結果と地震探査解析の結果を複合することで、貯留層の形状やレイヤー構造がモデル化されます。また、坑井対比は、ガス・油、油・水の界面深度の特定にも利用されています。



出展: 石油資源開発 技術研究所ホームページ <http://www.japexrc.com/zisin.htm>

地質モデル

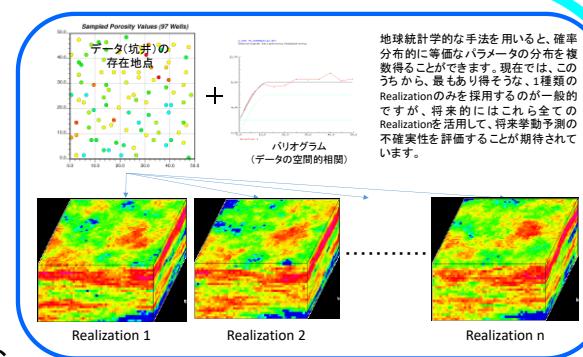
岩石の種類、岩石の孔隙の大きさ等の地質的なパラメータの集合を地質モデルと呼びます。地質モデルは、流体流動の計算に直接利用されない(計算能力による制約を受けづらいため、特に深度方向は検層データの精度をできる限り反映して、微細なグリッドセル(数10cm~1m程度)を配置する傾向があります。このため、地質モデルのグリッドセル数は、貯留層モデルに比べて圧倒的に多く、数千万グリッドセルに達することもあります。



地質モデルにおける岩相分布の例

地球統計学的手法

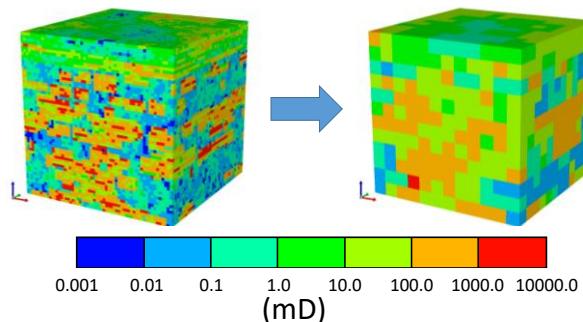
モデル構築に利用可能なデータのほとんどは、広大な貯留層のわずか数点~100点程度の坑井で取得された点データに過ぎません。貯留層モデルを構築するためには、坑井のデータを基に、貯留層全体の空間的なデータの広がりを、何らかの方法で推定する必要があります。従来は、地質技術者が経験に基づいて地質状況を解釈し坑井間のデータの分布を推定していましたが、近年では、パラメータの空間的な広がりを、確率分布を用いて推定する地球統計学的手法を用いるのが主流となっています。



地球統計学的手法による複数のRealization

アップスケーリング

地質モデルのグリッドセルのデータをそのまま貯留層シミュレーションに適用すると、莫大な計算時間がかかり、実用的ではありません。このため、最終的には、アップスケーリングと呼ばれる手法(微細なグリッドの特性を可能な限り維持したままグリッドを統合する手法)を用いて、複数のグリッドセルデータを一つにまとめて、貯留層モデル用のグリッドセルデータを作成します。貯留層モデルのグリッド数は数十万~数百万グリッド程度が一般的です。



アップスケーリングの例

油層評価 (2)

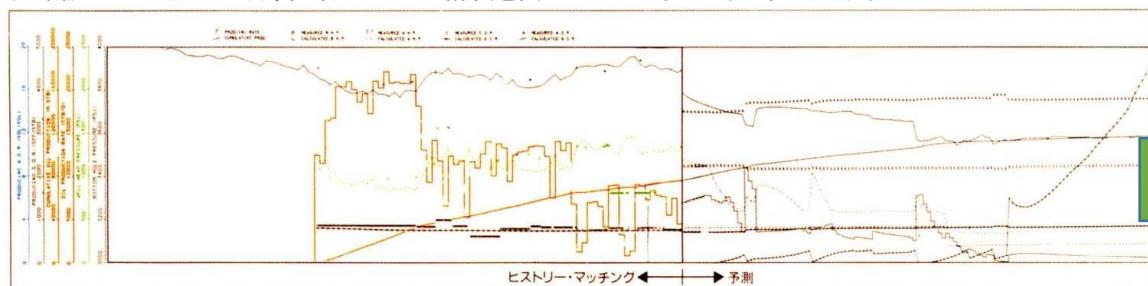
ヒストリーマッチング

生産履歴に基づく、貯留層モデルのキャリブレーション

貯留層モデルを構築した油・ガス層に、坑井の生産履歴(ヒストリー)が存在する場合には、シミュレーションの結果が既知の生産履歴(流体の生産レート、坑底での圧力等)を再現するように、貯留層モデル内のパラメータの調整(キャリブレーション)が行われます。これを**ヒストリーマッチング**と呼びます。

通常の場合、構築した貯留層モデルを用いて油層シミュレーションを行っても、一切の調整を加えない状態では、既存の坑井の生産履歴をシミュレーションで再現することはできません。これは、広大な貯留層の中で、数本から多くとも100本程度の坑井の存在する地点にしか、真に既知のパラメータが存在しないためです。

地球統計学的手法等によって推定した坑井存在点以外のデータは、依然として不確実性が高いため、ヒストリーマッチングを通じて、生産履歴を再現できるように、不確実性の高い部分のパラメータを(試行錯誤により)修正し、貯留層モデルの精度を高めていく必要があるわけです。



一般的に、開発が進み、ヒストリーの期間が増えるほど、また、坑井の本数が増えるほど、ヒストリーマッチングによりキャリブレーションされた貯留層モデルの精度は向上し、より正確な将来挙動予測(**プレディクション**)が可能になります。

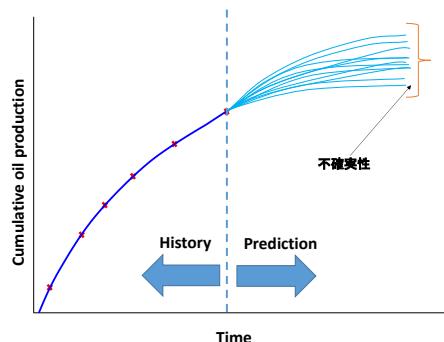
しかし、逆に言えば、ヒストリーの短い貯留層では、ヒストリーを再現できる貯留層パラメータの組み合わせが、容易に複数求められるため、一種類のヒストリーマッチング済みのモデルのみを用いて、プレディクションを行ったとしても、その結果には大きな不確実性を内包することになります。

このため、新たな生産履歴が追加されると、以前の(ヒストリーマッチング済みの)モデルで予測していた計算値が実測値と乖離してくることがしばしばあり、ヒストリーマッチングの見直しは定期的に行われます。これにより、将来挙動の予測結果が大きく変化した場合には、新たな予測結果に従って、開発計画の見直しが行われることもあります。

アシスティッドヒストリーマッチング

近年では、(主に生産履歴の短い貯留層を対象に、)ヒストリーマッチングを計算機により半自動化する技術(**アシスティッドヒストリーマッチング**)を導入し、プレディクションの不確実性の幅を定量化する試みが始まっています。これは、生産履歴を再現するパラメータの組み合わせ(ヒストリーマッチング済みのモデル)を、計算機により半自動的に複数生成して、そのそれぞれについてプレディクションを行うことで、将来挙動予測の振れ幅を把握しようという試みです。

ただし、これは、油層技術者の仕事を、機械が取って代わるというものではありません。アシスティッドヒストリーマッチングでは、ヒストリーマッチングの過程で変化させるパラメータの組み合わせ、振れ幅、およびその適用範囲(貯留層のどの範囲でパラメータを修正するか)を、人間が指定する必要があります。そこには依然として貯留層に対する深い理解が必要になります。



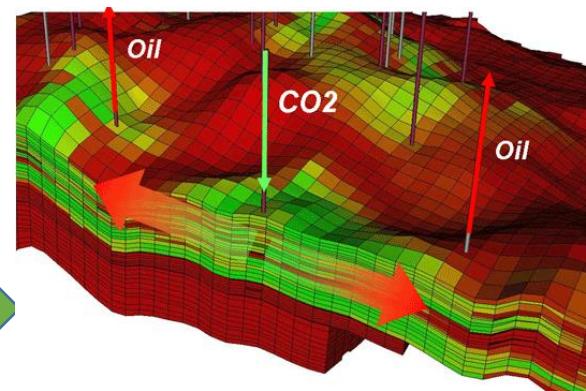
将来挙動予測の不確実性

プレディクション

将来の生産挙動予測

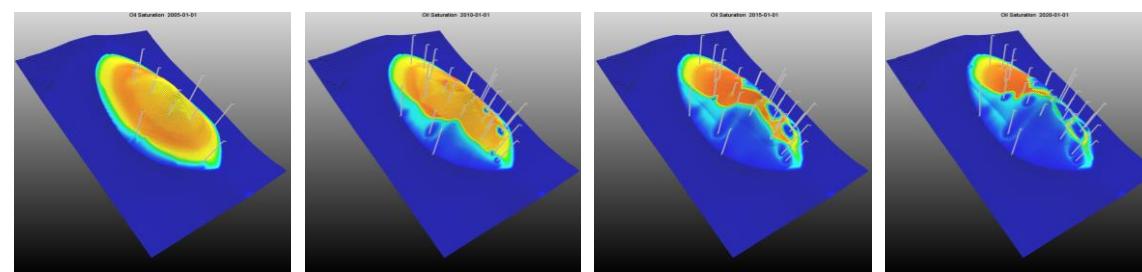
プレディクションでは、ヒストリーマッチングされた貯留層モデルを用いて、油・ガス・水の貯留層内の流動状況および坑井からの生産挙動が、複数のシナリオに基づいて予測されます。

これらの結果は、二次回収や三次回収の有無やその開始時期、ならびに生産井および圧入井の掘削地点や掘削時期の検討、さらには生産される流体(油・水・ガス)の処理施設や輸送手段の検討など、最適な開発計画を策定するために幅広く利用されます。



CO₂ EOR適用時のCO₂濃度分布

CO₂ EOR適用時の油飽和率変化
(出展「JOGMECホームページ」http://www.jogmec.go.jp/oilgas/technology_004.html)



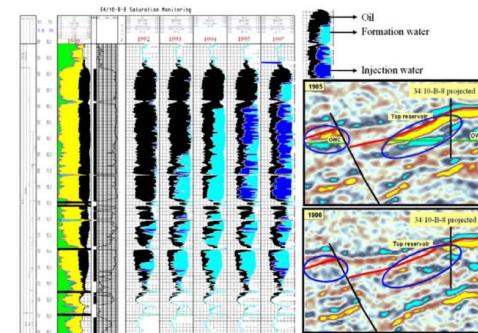
(初期) (5年後) (10年後) (15年後)

水攻法適用時の貯留層の油飽和率の変化

4次元震探

一定の期間において、同一地点に対する三次元の地震探査を繰り返し行い、その差を比較することにより、貯留層内部の流体分布の変化を把握する**4次元震探**と呼ばれる技術の開発が進められています。

これにより、従来、坑井の生産履歴からヒストリーマッチングを通じて間接的に推定するしかなかった貯留層内部の流体の流動状況が、直接的に計測できる(油の取り残しや圧入流体の浸透状況が直接把握できる)ようになります。これに伴い、(坑井での生産履歴のみならず)貯留層内部の流体の分布状況もヒストリーマッチング対象として利用出来るようになるため、貯留層モデルの精度が大きく向上し、より効率的な開発計画の立案が可能になると期待されています。



北海Gullfaks油田での検層と4次元震探の比較

(出展: El Ouair, Y., & Strønen, L. K. (2006). Value creation from 4D seismic at the Gullfaks Field: achievements and new challenges. In SEG Technical Program Expanded Abstracts 2006 (pp. 3250-3254). Society of Exploration Geophysicists.)