

## VSPデータの非線形弾性波動場インバージョン解析と岩石学的モデル構築について

## Non-linear elastic wavefield inversion of VSP data and rock physics model building

# 酒井 明男 [1]  
# Akio Sakai[1]

[1] コスモ石油  
[1] Cosmo Oil

## 1. はじめに

弾性波速度は石油その他の探査において流体を含む岩石の物性を推定するための基礎的物質量である。非線形弾性波動場インバージョン手法をもちいた弾性波推定法は重合速度法、PSDM法など従来の速度推定法に比べて高分解能の推定が可能である。モデルシミュレーションなどで検証されていたことであるが、実データに適用し、その有効性を確認した。今回特にVSPデータを解析に用い、高分解能の結果がえられることができた。用いた坑井は永久凍土地帯(Mackenzie Delta)と深海(Nankai Trough)でいずれもガスハイドレート研究を目的として掘削された。VSPデータを検層データと比較すると震源周波数がそれぞれkHzオーダーと10-200Hzと異なることから一般には分解能の大きな違いが予想される。下降進行波の走時解析では測定間隔以上の分解能は得られないが、インバージョンでは速度モデルの密な深度設定によりそれ以上の分解能が得られた。これらの坑井では、震源周波数が比較的広帯域であったことが関係する。深海データにおいて、音響検層データのいくつかの測定区間で記録が初動部分の減衰で正常に測定されなかったが、インバージョン結果を併用し内挿することを試みた。永久凍土での例では、ガスハイドレート胚胎区間では非常に高い分解能で検層データが示すものに近い分解能である。従ってVSPデータをインバージョンで用いることにより検層との分解能ギャップをある程度詰めることが可能となる。

## 2. 非線形弾性波動場インバージョンの定式化および岩石学的モデルの構築

対象域の地下構造は平行成層構造で十分に近似できる。VSPの受振点配列に対応し、Reflectivity法を拡張し周波数深度領域での合成波形をインバージョンに用いた。観測波形は上方進行波を用いた。

堆積物中の弾性波速度を知るためには構成鉱物の弾性率、配分比、形状、空間分布などが必要であるが、完全さをもって記述することは一般には困難である。今回のように結晶配交性あるいは弾性異方性が問題となる鉱物を多く含まない石英等が主成分で、十分淘汰された堆積物のグループに対しては媒質を等半径球の一樣等方な分布モデルを出発点とすることは十分妥当であると考えられる。ガスハイドレートの胚胎モデルとしては、1) 孔隙中に存在し、ハイドレートと岩石粒子間との弾性接触の影響が比較的小さいモデル(Compaction model)、2) 接触の影響の大きくハイドレートが岩石粒に膠結するモデル(Cementation model)およびそれらの中間的なモデルが予測される。Compaction modelでは、臨界孔隙率での有効弾性係数を、Hertz-Mindlin接触弾性理論による弾性係数(CE)、それより大きい孔隙率については固相の弾性係数とCEのHashin-Strikmanの下限値、それより小さい孔隙率については、空隙の弾性係数とCEのHashin-Strikmanの上限値で与える。

## 3. インバージョン解析およびガスおよびガスハイドレート量推定

永久凍土地帯の例は、1998年に掘削されたJAPEX/JNOC/GSC Mallik 2L-38坑井である。VSPはP震源およびS震源で零オフセットおよびオフセットのデータが取得された。インバージョンにはそれぞれの振源での零オフセットデータを用いた。ただし、分解能の点ではP震源のものが格段にまさる。解析は45-130 Hzの帯域で実施した。初期モデルとして下降進行波の走時インバージョン結果その他を検討した。VSPはTD以深の反射情報を得るという特徴があり、インバージョンを用いれば深部速度情報の予測ということになる。観測された浅部の受振点データを用いた深部の速度予測について数値シミュレーションを行いその有効性を確認した。ガスハイドレートの胚胎モデルとしては、較正検層データを解析に用い、Compaction modelが妥当であると結論した。なお、これは精度の高い弾性波速度を用いたこのような解析としては最初のものとなった。

深海の例は、1999-2000年に掘削されたMITI南海トラフ坑井である。P波検層速度の一部が初動の減衰のため測定が欠損した。S波についてはこのような欠損は観測されていない。間隙水にガスがあるという仮説に従い、VSPインバージョン結果および深度-片道走時の関係を拘束条件として坑井近傍のガス飽和率を推定した。微量ガスの解析は困難であり、この手法が有効なものとなった(Sakai, 1999, 2000, 2008)。