

## 審査の結果の要旨

氏名 詹林森

本論文は、メタンハイドレート賦存層で観測される地震波減衰の周波数依存性に関する現象を岩石物理学的アプローチにより理論的に追求し、その有力メカニズムを推定したものである。これまで、国内外のメタンハイドレート賦存層において多くの地震波減衰解析事例が実施されてきたが、その一部において相反する減衰現象が観測なされてきた。本論文の対象海域である南海トラフ海域のメタンハイドレート賦存層において取得された音波検層波形データと VSP (Vertical Seismic Profiling) 波形データを用いた地震波減衰解析により得られた減衰値には大きな相違があり、地震波減衰における周波数依存性が指摘されていた。しかしながら、地震波減衰特性に影響を与える因子としては、地質環境、地震波探査データ取得状況、地震波減衰解析条件なども考えられるため、メタンハイドレート賦存層における地震波減衰周波数特性のメカニズムに対する理論的な解明が求められていた。そこで本論文では、既に存在するいくつかの岩石物理モデルとそれらに修正を加えたものを適用することにより、南海トラフ海域のメタンハイドレート賦存層における地震波減衰の周波数依存性とそれを引き起こす減衰メカニズムを明らかにすることを研究の主目的に設定した。その一方で、近年メタンハイドレート賦存層で観測される地震波減衰特性を超音波室内実験データで検証することが行われてきており、フィールドで観測される減衰現象を再現しつつあるが、その実験アプローチの不確実性評価や測定される減衰現象の理論的検証が未成熟な状態であった。本論文では、減衰現象を扱う上述の岩石物理学的アプローチを模擬メタンハイドレート試料における超音波室内実験データから得られた減衰特性にも適用し、超音波領域における減衰メカニズムの系統的な整理を行うことも目指した。

減衰現象を扱う岩石物理モデルとしては、有効媒質近似理論と多孔質弾性体と流体とを連成した 2 相モデルにさらにハイドレートを加味した 3 相 Biot 理論とそれらの派生系モデルを採用した。これらのモデルでは、減衰メカニズムとして、Biot の流れ、Squirt の流れ、砂粒子とハイドレート粒子間での摩擦、砂粒子を結合させるハイドレートフレームの粘弾性、固体・流体間の慣性カップ

リングの効果の全てあるいは一部を考慮しているため、モデル間の差分を判別することにより特定周波数領域における特有の減衰メカニズムを把握する手法を行った。なお、岩石物理モデリングにおける多数のパラメータ設定においては、観測・測定データとのマッチングによる詳細な感度分析を実行し、モデリング結果に影響を与える主要パラメータを特定・定量化した。既存の研究では、本論文で実施されたような多数の岩石物理モデルを同時に適用されたことはなく、本論文は減衰メカニズムを推測する新しいアプローチを提示している。

岩石物理モデリングの結果として、P 波音波検層データではハイドレート結晶内に発達する微小孔隙内における **Squirt** 流れとハイドレート粒子間ならびに砂粒子間の孔隙における **Biot-Squirt** 流れが減衰メカニズムとして卓越していること、S 波音波検層データではハイドレート粒子と砂粒子間における弾性コントラストに起因する摩擦効果が減衰メカニズムとして卓越していることを見いだした。また、P 波音波検層データと P 波 VSP データ間における地震波減衰現象の周波数依存性については、ハイドレート結晶内の微小孔隙のアスペクト比が重要な役割を果たしていること、さらに S 波音波検層データと S 波 VSP データ間における減衰の周波数依存性については、ハイドレート粒子と砂粒子間における弾性コントラストに起因する摩擦効果が高周波数帯域である S 波音波検層データに対して卓越することが原因であることを見いだした。同様のアプローチを超音波室内実験データにも適用し、メタンハイドレート賦存層における地震波減衰の超音波周波数領域における減衰メカニズムの系統的な整理を行うばかりでなく、超音波室内実験測定の不確実性を把握・低減することの手法としても利用できることを提示している。

以上の研究結果は、これまで定性的にしか行われてこなかったメタンハイドレート賦存層における地震波減衰特性の解釈に対して、岩石物理モデルに基づいた定量的な解釈手法を提案しているばかりでなく、実フィールドで取得される地震波探査データあるいは室内実験で観測・測定される超音波波形データから得られる減衰解析結果が有する不確実性をも把握・低減させる方策をも提示しており、メタンハイドレート賦存層における地震波減衰を用いた探査手法開発の発展、ひいてはメタンハイドレートの資源量評価や生産モニタリングの高度化に貢献すると判断される。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。