

氏 名	た だ りょう へい 多 田 良 平
学 位 の 種 類	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	論 工 博 第 3769 号
学位授与の日付	平 成 16 年 1 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当
学 位 論 文 題 目	多孔質媒質の孔隙内媒質に依存した弾性波伝播速度に関する研究

論文調査委員 (主 査) 教 授 芦 田 讓 教 授 松 岡 俊 文 教 授 大 西 有 三

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、メタンハイドレート資源量の物理探査による把握を指向して、固体粒子マトリックスと、そのマトリックスにより形成された孔隙空間からなる2相多孔質媒質の孔隙空間に新しい第2の個体が生成し成長するときの弾性波速度の変化について検討し、孔隙空間中の固体賦存割合について弾性波速度から推定した。ついで、孔隙内媒質量変化に依存した弾性波伝播速度変化のモデルを構築し、石油探鉱への応用としてメタンハイドレート賦存層の挙動について検討を行った結果をまとめたものであって、7章からなっている。

第1章では、メタンハイドレート胚胎量を探査する上での問題点を整理した。メタンハイドレートを模す第2の固体が孔隙空間中で成長する、2つの固相と1つの液相からなる3相多孔質媒質の弾性波速度変化を測定する必要性を述べると共に、研究目的について概観している。

第2章では、メタンハイドレート胚胎を模した3相多孔質媒質の弾性波速度測定について概観している。メタンハイドレートの物性と類似しているとされる氷に着目し、ケロシンと水を乳化させて水の凍結する温度において速度測定をすることで、液相(ケロシン)あるいは固相2(氷、すなわち、メタンハイドレート)量を直接コントロールすることを可能とした。その結果、固相2の体積割合を広い範囲で変化させて弾性波速度を実施することを可能にした。速度測定のための初動読み取り精度向上のためには、分散フラクタル次元法を導入し、P波およびS波共に速度測定精度についての妥当性を検証している。

第3章ではBiot理論に基づくLeclaire et al. の3相物理モデルによる3相拡張Biotモデルをベースにして、3相の体積割合と弾性波速度との関係を定式化した。さらにこの3相拡張Biotモデルの定式化を検証するため、測定データを用いて3相拡張Biotモデルの有効性を確認している。さらに、Biotモデルに特有な直接測定できないパラメータである骨格弾性率について、定量的な検討を要することの重要性を指摘している。

第4章ではBiotモデルが内包する問題である、骨格弾性率について概説すると共に、ケロシン乳化液による2相多孔質媒質の弾性波速度を実際に測定し、骨格弾性率の一つである骨格体積弾性率は粒子体積弾性率と孔隙率(ケロシン体積割合)の線形関係になることを明らかにした。もう一つの骨格弾性率である骨格剛性率については、骨格体積弾性率で得られた直線関係とBiot理論を用いて検討し、多孔質媒質を形成する粒子マトリックスが懸濁状態となる境界の臨界孔隙率までの区間において、骨格剛性率は骨格体積弾性率と同様に孔隙率の関数として線形で近似できることを確認している。

第5章では、第2章で得た弾性波速度測定結果と、第4章で得た骨格弾性率と孔隙率の線形関係を用いて、第3章で定式化した3相拡張Biotモデルによる数値計算結果と比較した。その結果、この3相拡張Biotモデルは測定結果を良く説明することが明確となり、この3相拡張Biotモデルの有効性を確認している。この速度推定結果から、P波速度とS波速度では飽和率に対する速度変曲点が異なることを明確にした。すなわち、メタンハイドレートの体積割合の正確な予測にはP波速度のみならずS波速度を組み合わせることの重要性を指摘している。

第6章では、メタンハイドレート資源探査に用いられる地震探査データに対し、炭化水素鉱床探査の視点から検討を加えている。本速度測定実験は超音波周波数帯域での測定結果であり、地震探査で用いられる約100Hz以下での速度応答について3相拡張Biotモデルを用いて予測し、P波速度では周波数に対し20%の速度差が有り、S波速度では50%もの速度差が現れることを明確にした。さらに、炭化水素鉱床探査で用いられる直接探知法について、メタンハイドレートに対する振る舞いについて検討を加え、ブライトスポットとAVO異常は、ハイドレート賦存層に応答することを指摘している。

第7章では結論として本研究を総括し、各章における結果を取りまとめている。

論文審査の結果の要旨

本論文は、多孔質媒質の孔隙内媒質量変化に依存した弾性波伝播速度変化を予測するために、現状の問題について検討し、孔隙内媒質量を広範囲に変化させる試料の作成方法を考案して測定を行い、ついで測定結果に基づいて3相拡張Biotモデルを修正・適用し、そのモデルをメタンハイドレート探査に応用した結果をまとめたもので、その主な成果は以下のとおりである。

- (1) 多孔質媒質中の孔隙内媒質量の変化を捉える方法として、弾性波伝播速度の変化による方法を検討した。この媒質は、既存の1固体・1液相の2相に新たに孔隙内媒質が加わった3相媒質であり、世界的にも研究成果が少ない分野である。
- (2) 孔隙内媒質量をコントロールするために、氷とケロシンの乳化液をガラスビーズに混合して冷凍することによって、広範囲に孔隙内媒質量を変化させることに成功した。この試料を用いて孔隙内媒質量の変化に対する弾性波速度測定を実施した。
- (3) 弾性波速度測定における初動読み取り、特にS波初動読み取りの高精度化を図るために、フラクタル次元法を適用し、その有用性を検証した。
- (4) 孔隙内媒質量と弾性波速度との合理的な関係を検討するために、3相拡張Biotモデルを導入し、その有効性を検証した。さらに、このモデル構築に必要なパラメータについて検討した。実測データおよび数値計算モデルについて本モデルを適用し、Biotモデルに現れる粒子弾性率と骨格弾性率の関係が線形であることを指摘した。
- (5) 3相拡張Biotモデルを用いて弾性波速度の周波数依存特性を計算することにより、超音波を用いて測定される弾性波検層データや室内実験値を、地震探査に用いる低周波数領域の速度情報に変換することが可能となった。この低周波数領域での弾性波速度推定結果から、反射法地震探査を用いたメタンハイドレート探査において、下位層中にフリーガスを含有するか否かに拘わらず、メタンハイドレート含有量の増加に比例してAVO異常が大きくなるという知見を得た。

以上、本論文は、孔隙内媒質量変化量の弾性波伝播速度測定と模擬試料に関する合理的な手法を考案し、数値計算モデルからの弾性波速度挙動予測に関する新知見を得たものである。これにより、メタンハイドレート探査における反射法地震探査技術の適用の可能性を拡大したものであり、学術上、実際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成15年12月19日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。