

## (論文内容の要旨)

地下深部の流体挙動を解析するためには、地下の浸透率・間隙率構造、流体圧分布、流体の供給量を決める必要がある。本研究では、地下の流体移動を定量的に解析するための第一歩として、岩石試料の水理学的性質を実験室で測定することによって、地下の浸透率・間隙率構造を決めることを試みた。フィールドとしては、新潟堆積盆地とメキシコ湾北部の Ursa 堆積盆地を選んだ。Ursa 盆地の調査は IODP Expedition 308 に参加しておこなった。新潟地域は、我が国唯一の石油・ガス田地域として地下構造が詳しく調べられている。一方、メキシコ湾は過剰間隙圧の古典的研究地域でもあり、Exp. 308 ではミシシッピ川沖合の現在堆積作用が進行しつつある環境下で間隙率分布の測定がなされた。新潟地域では地表で採取した岩石試料を、メキシコ湾では IODP に参加して採取したボーリング掘削試料を用いて、実験室で浸透率・間隙率の測定をおこなった。地下深部条件を再現するために、室温下で有効圧を 120 MPa まで変化させて浸透率・間隙率の測定をおこなった。全ての浸透率・間隙率の測定には、圧力容器内透水変形試験機を使用した。主要な結果は、以下の通りである。

(1) 新潟では、新潟堆積盆地を構成する全ての層準から新鮮な地表試料を採取した。実測の結果、堆積岩試料の浸透率と間隙率は有効圧の増加に伴って顕著に減少し、浸透率・間隙率の圧力依存性(圧力増加に伴う浸透率・間隙率の減少量)は層序・岩相ごとに大きく異なる結果を示した。有効圧 80 MPa では浸透率は  $10^{-14} \sim 10^{-19} \text{ m}^2$ 、間隙率は 10 ~ 40 % の幅で変化する。断層帯が地下の流体移動に対してどのような影響を与えるかを評価するために、新潟県小千谷市に分布する片貝断層帯の浸透率・間隙率構造について調べた。その結果、断層ガウジは高い有効圧力では母岩よりも低い浸透率(50 MPa、120 MPa ではそれぞれ  $10^{-16} \text{ m}^2$ 、 $10^{-18} \text{ m}^2$ )を示したが、低い有効圧力では母岩とほぼ同じ浸透率を示した(5、20 MPa では  $10^{-14} \sim 10^{-15} \text{ m}^2$ )。これらの結果に基づいて、新潟平野の地下浸透率・間隙率構造を示す断面図を作成した。

(2) メキシコ湾北部 Ursa 堆積盆地では、Exp. 308 の掘削コア(Sites U1322B、U1324B)の浸透率測定を最大有効圧 50 MPa のもとで実施した。Blue Unit(後期更新世の浸透性の良い地層)より上位の堆積物の浸透率は加圧とともに減少し、最大有効圧 50 MPa では  $2.6 \times 10^{-17} \sim 9.3 \times 10^{-19} \text{ m}^2$  の値を示した。実測した浸透率と堆積盆地解析ソフト SIGMA-2D を用いて、Ursa 堆積盆地における堆積作用と流体移動のプロセスの解析をおこなった。Blue Unit の試料は掘削では採取できなかったが、岩相が砂質であることから上位のシルト・泥岩よりも高い浸透率  $10^{-15} \text{ m}^2$  をもつと仮定した。解析の結果、Blue Unit 内部では流体が大陸斜面方向に流れ、1.5 ~ 1.6 MPa の過剰間隙圧が生じていると予測された。推定された過剰間隙圧は IODP での現位置測定結果と良い一致を示すことが判明した。

新潟平野とメキシコ湾の研究事例によって、新鮮な地表試料またはコア試料を用いて、地下浸透率・間隙率構造を少なくとも地下 10 km 程度まで推定できることが明らかになった。今後、より地下深部での浸透率・間隙率構造を推定するためには、地下深部の緻密な岩石を用いた測定と、破断面・破碎帯の影響をより詳しく調べる必要がある。

## (論文審査の結果の要旨)

地下浸透率・間隙率構造は流体移動の解析に不可欠であるにも関わらず、地球科学では地下深部の浸透率・間隙率構造を決める試みがほとんどなされてこなかった。地下深部の定量的な流体移動の解析を可能とするために、相澤泰隆氏は本学位論文において、(1) 地表で採取した試料を用いて新潟平野の地下浸透率・間隙率構造を決める研究、及び(2) 統合国際深海掘削計画 (IODP; Integrated Ocean Drilling Project) で掘削したコア試料を用いてメキシコ湾北部の Ursa 堆積盆地における過剰間隙圧の発達過程を解析する研究をおこなった。堆積盆地を研究で取り上げた理由は、堆積盆地では堆積作用が時間的・空間的に限られているために、堆積岩の履歴 (埋没・圧密・セメンテーションなど) を評価することが基盤岩よりも容易であるからである。2つの調査地域はともに油田地帯であることから、反射法探査などで地下構造がよくわかっているため、岩石試料を用いた浸透率・間隙率の実測結果から地下浸透率・間隙率構造を決めやすい利点がある。

新潟平野の研究では、堆積盆地を構成する全層準から可能な限り新鮮な岩石試料を多数採取し、容器内変形透水試験機を用いて地下約 10 km 以浅の圧力を再現して浸透率と間隙率の詳細な測定をおこなった。相澤氏は測定結果に基づいて新潟平野の地下浸透率・間隙率構造を推定し、地下流体挙動の定量的な解析を可能にする道を開いた。また同氏は、地表試料を用いた上記の測定結果は、測定方法及び測定条件の違いを補正すると、基礎試錐「下五十嵐」の掘削コアから得られた実験データ (石油技術協会、1973) とほぼ一致することを示した。この結果は、新鮮な地表試料を使えば地下の浸透率・間隙率を推定できることを示唆している。地表試料を用いた測定は安価で迅速であるから、この結果は極めて実用性の高い結果である。相澤氏の結果は浸透率・間隙率が圧力条件によって大きく変わることを示しており、間隙率・浸透率構造の推定には深部条件下での測定が不可欠であることを示している。

メキシコ湾の研究では、相澤氏は IODP exp. 308 に積極的に参加し、掘削コアを用いて浸透率・間隙率の詳しい測定をおこなった。同氏はさらに実測した浸透率と間隙率を用いて堆積作用と流体移動の解析をおこなって、流体を通しにくい泥質堆積物が急速に堆積すると最浅部の堆積岩中の水は上方に全てぬけることができず、過剰間隙圧が発生することを示した。同氏の計算結果は、上記航海で実測された過剰間隙圧とほぼ完璧に一致している。この成果を報告した米国地球物理学連合において、相澤氏は Outstanding Student Paper Award を授与された。

相澤氏のフィールドと実験を融合させた研究によって、地下浸透率・間隙率構造を簡便に決める方法が開発された。この結果は、堆積盆地の発達過程と長期的な地下流体移動の解析、地下空間利用の取り組み (二酸化炭素地中貯留など)、地下資源開発などにおいて極めて重要である。よって、本論文は博士 (理学) の学位論文として価値あるものと認めた。また論文内容とそれに関連した事項について試問をおこなった結果、合格と認めた。