

外 93-26

早稲田大学大学院理工学研究科

20577

# 博 士 論 文 概 要

## 論 文 題 目

関東堆積盆地に賦存する水溶性天然ガス

の開発に関する油層工学的研究

申 請 者

田 崎 義 行

Yoshiyuki TAZAKI

平成 5 年 1 0 月

石油・天然ガス鉱業において、鉱区の取得、探鉱から開発への移行、二・三次回収の導入などの投資決定には経済性評価が欠かせない。経済性評価に用いる基礎データとして投資計画、操業費予測、生産計画などがある。この中で収入のベースとなるのが生産計画であり、可採埋蔵量および排油機構を基礎に生産挙動予測を行い立案される。従って、石油・天然ガス鉱業における経済性評価には可採埋蔵量推定および排油機構把握といった油層評価が重要な問題となる。

水溶性天然ガス鉱業においても同様であり、水溶性天然ガスを合理的かつ効率的に開発するためには油層評価を行う必要がある。水溶性天然ガス田では一般に、ガス生産量の産出水量に対する比（ガス水比）は貯留層条件下でのガスの地層水への溶解度（計算ガス水比）にほぼ等しいかまたはそれ以下で、このようなガス産出挙動を通常型ガス産出挙動と呼んでいる。ところが、南関東ガス田九十九里地域南部の上総層群梅ヶ瀬層下部・大田代層・黄和田層上部貯留層を採収層位とする坑井は茂原型と呼ばれる特殊なガス産出挙動を示す。茂原型ガス産出挙動の特徴は、生産初期において既にガス水比が計算ガス水比を上回り、生産開始とともに貯留層圧が急激に低下し、ガス水比が自噴採収を可能にするほどに上昇するところにある。この現象については古くから指摘され、地質学的あるいは油層工学的研究が為されてきた。しかし、その原因は明らかにされず、九十九里地域南部浅層の埋蔵量評価および排油機構把握は為されていない。従って、経済性評価が困難で、投資決定に誤りを生じる危険がある。また、最適な開発計画の立案が為されていないと考えられる。

そこで筆者は、茂原型ガス産出挙動を引き起こす貯留層の正確な油層評価を可能にするために、九十九里地域南部浅層の流体流動機構について油層工学的研究を行った。まず、泥水検層によって上総層群貯留層のガス分布状態を調べ、さらに生産挙動実績を分析して貯留層内流体流動機構を推定した。その結果を基礎にして、南関東ガス田貯留層の数値モデル化を行い、茂原型ガス産出挙動を引き起こす貯留層内流体流動機構の検証を試みた。

本論文は以上の研究をまとめたもので、次の7章から構成されている。各章の概要は次のようになる。

第1章は緒論で、本研究の背景および目的を述べている。目的は南関東ガス田貯留層のガス貯留形態および流体流動機構を明らかにすることにある。

第2章では、茂原型ガス産出挙動を示す九十九里地域南部浅層のガス貯留形態とその形成過程について地質学的観点から考察している。まず、上総層群貯留層のガス分布状態を調べるために実施した泥水検層の結果、房総半島内陸部に掘削された刑部試掘井では遊離ガスが検知されなかったが、九十九里地域南部の坑井では大田代層下部・黄和田層上部に遊離ガスが検知され、九十九里地域北部の坑井では梅ヶ瀬層・大田代層・黄和田層上部に遊離ガスが検知されたことを述べている。房総半島中北部の上総層群が緩やかな単斜構造であることおよび泥水検層

において厚い泥岩あるいは泥岩勝ち砂泥岩互層でガス徴が大きくかつ長く現れることから推定すると、泥水検層で検知された遊離ガスは泥岩にほぼ一様に分布しているものと考えられる。一方、このようなガス貯留形態が形成された過程を堆積環境および地質構造から推測した結果、遊離ガス発生の過程は九十九里地域上総層群の隆起にあったと考えられる。

第3章では、南関東ガス田から産出する天然ガスおよび鹹水の貯留層内流体流動挙動に関係する物性について述べている。天然ガスには $\text{CH}_4$ が約98%、残りに $\text{CO}_2$ と $\text{N}_2$ および極微量の $\text{C}_2\text{H}_6$ が含まれている。一方、鹹水には各種の物質が溶解している。その中で塩素イオンが最も多く、その濃度は10g/l以下から19g/l以上とばらつきがある。このような天然ガスおよび鹹水の容積係数、粘度そして鹹水への天然ガス溶解度を推算した結果から判断すると、天然ガス組成を $\text{CH}_4$ 100%として南関東ガス田貯留層シミュレーションを行うことに問題はないと言える。しかし、鹹水の電解質濃度は鹹水の物性および天然ガス溶解度に大きな影響を与えるため、鹹水の電解質濃度でそれらの物性値を補正する必要がある。

第4章では、南関東ガス田の生産挙動実績を開発地区および採収層位ごとに分析し、そこから明らかとなった南関東ガス田ガス産出挙動の特徴について述べている。ガス産出挙動は開発地区および採収層位によって異なる。南関東ガス田における通常型ガス産出挙動を示す貯留層は深度が深く、岩相が砂勝ち砂泥岩互層である。一方、茂原型ガス産出挙動を示す貯留層は九十九里地域南部の梅ヶ瀬層下部・大田代層・黄和田層上部に限られる。岩相はやや泥岩勝ち薄い砂泥岩互層である。このような貯留層は水押しが弱く、鹹水を汲み上げると貯留層圧が急激に低下すると考えられる。九十九里地域南部の梅ヶ瀬層下部・大田代層・黄和田層上部では、泥岩に遊離ガスが含まれていると推定されることから、生産によって貯留層圧が低下するとこの遊離ガスが泥岩から砂層へ流出すると推定される。この流出ガスが砂層のガス飽和率を増大させ、ガス水比の上昇を引き起こしていると考えられる。

第5章では、南関東ガス田ガス産出挙動を再現するために数値モデルを作成し、茂原型ガス産出挙動を示す九十九里地域南部浅層の流体流動機構を検証している。上総層群砂泥岩互層では砂層の流体は三次元的に流動するが、泥岩の流体は浸透性が悪いために砂層との接触面に向かって垂直一次的に流動する。まず、この流体流動機構をサンド/シルト・システムとして数式化し、流動方程式を差分法で近似して、IMPES法で解く、三次元二相二重孔隙貯留層シミュレーターについて説明している。次に、このシミュレーターを使い、通常型ガス産出挙動を示す横芝地区Y-11号井および茂原型ガス産出挙動を示す小泉地区の数値モデルを作成して貯留層シミュレーションを行った結果について述べている。Y-11号井のシミュレーション結果から推定すると、横芝地区貯留層は初期ガス飽和率がゼロに近く、また水押しが強い。そのために生産による遊離ガス発生が緩やかで、ガス飽

和率が小さく、遊離ガスに流動性が生じていないと考えられる。一方、小泉地区のシミュレーション結果では、生産に伴って泥岩中の遊離ガスが砂層へ流出する現象が観察されている。そのとき、砂層中のガス量はほぼ一定値を保っている。すなわち、茂原型ガス産出挙動を引き起こす貯留層内流体流動機構の特徴は泥岩中の遊離ガスが砂層を通路にして産出するところにあると考えられる。

第6章では、南関東ガス田貯留層のガス貯留形態および流体流動機構の解明という本研究の成果を踏まえ開発した生産量予測シミュレーターについて述べている。水溶性天然ガス生産量の計算の基本的考え方は、セパレーター背圧力を1.1気圧に設定して、貯留層からセパレーターまでの圧力損失がその条件を満たすガスおよび水の流量を求めるところにある。従って、生産量予測を行うためには、貯留層内流体流動挙動の他に管内二相流圧力損失の正確な計算が不可欠と考えられる。本章では、生産井のガスおよび水の流量、坑底圧、坑底温度などを測定して、Orkiszewskiの方法、Hagedorn and Brownの方法、Beggs and Brillの方法の3圧力損失計算方法に適用・検討し、それらの適不適について述べている。

第7章は本論文の総括である。各章の要約および本研究の工学的成果について述べている。