論 文

新潟県東頸城地域の比抵抗構造の石油地質学的解釈

—MT 法と基礎試錐のデータに基づいて—*

高倉 伸一**・中神 康一***・光畑 裕司***・村山 隆平****

(Received August 24, 1996; accepted November 27, 1996)

**Petroleum geological interpretation of resistivity
structure based on magnetotelluric and deep well
data in the Higashi-Kubiki area, Niigata, Japan.**

Shinichi Takakura, Koichi Nakagami, Yuji Mitsuhashi and Ryuhei Murayama

Abstract: Magnetotelluric (MT) data were obtained along a line which is almost perpendicular to the strike of the geologic structure in the Higashi-Kubiki area, Niigata prefecture, Japan. The resistivity structure analyzed from a two dimensional inversion of the MT data is consistent with the geologic structure estimated from other survey results. We interpreted the resistivity structure in comparison with the MITI Higashi-Kubiki well data such as resistivity, porosity, temperature, vitrinite reflectance and altered-mineral contents. The results are as follows.

- (1) Resistive layers at or near surface correspond to the Uonuma formations, which were not altered.
- (2) Very conductive layers of about 1 to 3 Ωm at a depth range from 1 to 3 km correspond to the Nishiyama and the Shiiya formations. The low resistivity is primarily due to high contents of smectites which were produced by diagenesis. Because the permeability of rocks containing plenty of smectites is generally low, the conductive layers may form cap rocks.
- (3) Below the conductive layers, resistivity increases with depth. The relatively resistive zone of about 3 to 100 Ωm corresponds to the Upper Teradomari, the Lower Teradomari, the Nanatani formations and the Green Tuffs. According to the logging data of some nearby wells, this resistivity range agrees with a vitrinite reflectance range from 0.5 to 1.2%. Therefore the resistive zone is interpreted as source rocks of this area.
- (4) Very resistive layers of more than 300 Ωm at deeper than about 10 km are probably pre-Tertiary basement rocks or intrusive rocks, which contain probably no oil and gas.

Key words: resistivity structure, Higashi-Kubiki area, magnetotelluric (MT) data, MITI Higashi-Kubiki well data

* 平成 8 年 6 月 5 日, 平成 8 年度石油技術協会春季講演会地質・探鉱部門シンポジウム「石油地質学に対する基礎試錐の貢献」で講演

This paper was presented at the 1996 JAPT Geology and Exploration Symposium entitled "MITI Exploratory Drilling Program-Their contribution to new exploration technology" held in Akita, Japan, June 5, 1996.

** 地質調査所 Geological Survey of Japan

*** 石油公団石油開発技術センター Japan National Oil Corporation, Technology Research Center

**** 石油公団石油開発技術センター (現在, 石油資源開発㈱) Japan National Oil Corporation, Technology Research Center, presently Japan Petroleum Exploration Co., Ltd.

1. はじめに

新潟県東頸城地域(図1)では、石油・天然ガスの賦存可能性が高いとされる深部グリーンタフ層を対象に坑井調査や地震探査が実施されている。しかし、寺泊階以降の地層が厚いことから、5,000~6,000 m 級の坑井でもグリーンタフ層は確認されていない。また、褶曲構造や断層構造に起因する複雑な地質構造と険しい地形のため、地震探査の記録は良好でなく、深部構造を確実に把握するまでには至っていない。

このような背景から、石油公団石油開発技術センターは難地域の物理探査法の1つであるMT法電磁探査を当該地域で実施し、二次元解析により深部の比抵抗構造を求めた(高倉・志賀, 1994)。しかし、比抵抗構造は地下における比抵抗という1つの物性の分布を示すにすぎない。石油探鉱という目的からすれば、比抵抗構造を求めるだけでは不十分であることは明白である。MT法の結果を石油探鉱に生かすためには、比抵抗構造から地質構造あるいは石油根源岩や貯留岩の分布状況などを解釈することが必要である。

そこで、筆者らは、多様な物理的および地化学的調査が実施されている基礎試錐「東頸城」のデータを用いて、MT法結果の解釈を試みた。本論文では、まず、基礎試錐「東頸城」で得られた地質層序および岩石物性のデータを比抵抗検層データと対比し、比抵抗にどのような石油地質学的な情報が反映されているかについて議論する。次にMT法の調査の概要について紹介し、MT

法データに二次元解析を適用して求めた比抵抗構造とその妥当性について示す。最後に比抵抗構造に石油地質学的な解釈を加える。

2. 地質構造の概要

東頸城地域周辺の地質図(竹内ほか, 1994)を図2に示す。東頸城地域の地質構造については、天然ガス鉱業会・大陸棚石油開発協会(1982, 1992)や小林ほか(1989)などにまとめられている。ここでは、これらの資料を参考に、当該地域の地質構造の概略を述べる。

東頸城地域は高田平野と信濃川の間に位置する。地域内には丘陵地および山地が広がっており、地形の起伏は比較的険しい。本地域およびその周辺には北北東-南南西方向あるいは北東-南西方向の軸をもった褶曲構造が発達している。本地域中央部で見みられる褶曲構造はほぼ同規模な背斜・向斜の組み合わせからなっている。

地表のほとんどは上部寺泊層以浅の堆積岩で覆われており、一部で火山岩が分布する。下部寺泊層以深の地層は東方の越後山地周辺を除き地表には露出していない。また、当該地域では多くの坑井が掘削されているが、下部寺泊層が非常に厚く発達していることから、現状では七谷層以深の層準の分布状況はほとんど明らかになっていない。

3. 基礎試錐「東頸城」から把握される比抵抗構造

基礎試錐「東頸城」は深度6,004 mまで掘削され、グリーンタフ層には達しなかったものの、七谷階の塩基性火山岩類を確認し、当該地域の下部寺泊層~七谷層上部の岩相・層序をはじめて明らかにした。また、ほぼ全深度区間において実施された物理的および地化学的調査により、鮮新世の西山層から中期中新世の七谷層までの岩石の物性が詳しく調べられた。これらの結果については、石油公団(1991)に詳しく報告されている。また、本試錐における比抵抗といくつかの物性との関係については、高倉(1995)で詳細に検討されている。ここでは以上の文献を参考にして、本試錐により把握された岩石物性について概説するとともに、比抵抗と地質層序および各種物性との対比に基づき、比抵抗に反映される石油地質学的な情報について議論する。

3.1 基礎試錐「東頸城」のデータの概要

基礎試錐「東頸城」の比抵抗、孔隙率、地層温度、ビトリナイト反射率、および鉱物統成分帯を、地質年代と地質層序とともに図3に示す。ここで、比抵抗、孔隙率、温度は物理検層から得られた値である。ビトリナイト反射率はコアおよびカッティングスを測定して求めた

図1 新潟県東頸城地域の位置図

■は主な都市である。黒丸がMT法の測点を、実線が主な地震探査測線を、○が主な坑井の位置を示す。87-1:基礎物理探査「頸城~田山」87-1測線。A:基礎試錐「高田平野」、B:基礎試錐「新米山」、C:基礎試錐「東頸城」、D:石黒N-1、E:坪山SK-1、F:新水N-1。

図2 東頸城測線周辺の地質図とMT法の測線および測点の位置

地質図は竹内ほか(1994)を簡略化して、加筆・修正した。1:堆積物(～完新世), 2:魚沼層群-堆積岩(前期更新世～後期鮮新世), 3:魚沼層群-火山岩(前期更新世～後期鮮新世), 4:西山層-堆積岩(鮮新世), 5:米山層-火山岩(前期鮮新世～後期鮮新世), 6:椎谷層-堆積岩(前期鮮新世～後期中新世), 7:椎谷層-火山岩(前期鮮新世～後期中新世), 8:上部寺泊層-堆積岩(後期中新世), 9:上部寺泊層-凝灰岩(後期中新世), 10:城内層群-堆積岩(前期中新世), 11:貫入岩。直線がMT法の測線を、黒丸がMT法の測点を示す。○は主な坑井の位置(図1参照)を示す。

値である。また、鉱物統成分帯はコアのX線回折と薄片観察により推定したものである。

比抵抗は表層では約10Ωmである。比抵抗は大局的には深度とともに徐々に低下し、深度1,400～1,500m付近で2～3Ωm前後となり、細かい変化はあるもののその値が深度3,400m付近まで続く。深度が3,400mを超えると比抵抗は上昇を始め、深度6,000mでは100Ωm以上となる。

孔隙率は地表付近から深度1,500m付近までは約30%とはば一定である。深度1,500m以下では深度とともに孔隙率は低下し、深度3,400m前後で約15%となり、その値が深度4,500m前後まで続く。深度4,500～5,000mでは孔隙率はやや上昇するが、深度5,000m以下では10%以下に低下する。

温度は測定数が少ないので詳細な変化はわからないが、坑口から深部に向かい約3.1℃/100mの勾配で上昇しており、坑底では212℃に達する。

ビトリナイト反射率は、地表付近では0.4%前後であり、深度1,800m付近までは深度とともに微減する傾向にある。深度1,800m以下になるとビトリナイト反射率は急増し、深度2,200m付近で0.5%を超え、深度3,300m付近までその値が続く。深度3,300m以下でビトリナイト反射率は再び急増し、深度4,500m付近

で1%を超え、坑底付近では約1.2%となる。

粘土鉱物分帯は深度50～1,425mがスメクタイト帯、深度1,425～4,050mがイライト/スメクタイト混合層帯、深度4,050～5,000mが緑泥石/スメクタイト混合層帯、深度5,000～5,300mがイライト/スメクタイト混合層帯、深度5,300～5,500mが緑泥石帯、深度5,500～6,004mがイライト/緑泥石混合層帯である。また沸石分帯は、深度50～1,150mが斜沸石帯、深度2,800～4,050mが方沸石帯、深度4,050～5,000mが濁沸石帯である。

3.2 比抵抗と地質層序および各種物性との対比

比抵抗と地質層序とを対比させると、後期中新世から鮮新世までの地層が示す比抵抗が1～10Ωm前後と低いのは明らかである。しかし、地質層序の境界で比抵抗が変化するという傾向はほとんど認められない。このことから、少なくとも新第三系においては地質層序が比抵抗を決める直接の要因ではないと判断できる。

一般に岩石の電気伝導には孔隙中に含まれる水が大きく関与するため、比抵抗と孔隙率とは負の相関になることが多い(Archie, 1942)。しかし、本試錐の検層データが示す比抵抗と孔隙率の大局的な変化をみる限り、両者の間に明瞭な負の相関が認められるのは深度5,000m以下だけである。5,000m以浅では部分的に相関してい

図3 基礎試錐「東頸城」の物理検層データ（比抵抗，孔隙率，温度），ビトリナイト反射率，鉱物続成分帯

A：七谷層，B：下部寺泊層，C：上部寺泊層，D：椎谷層，E：西山層

る区間はあるものの，大局的には負の相関が認められないことから，孔隙率の比抵抗への影響は小さいと考えられる。

温度が上昇するとイオンの移動度が大きくなるので，比抵抗は低下する。しかし，本試錐では深度とともに温度がほぼ一定の割合で上昇しているにもかかわらず，比抵抗の低下が認められるのは地表から深度 1,400 m までの区間だけである。これより，深度 1,400 m 以下では温度の比抵抗への影響は他の要因に比較して小さいと判断できる。

比抵抗とビトリナイト反射率とを比較すると，深度 2,000 m 付近を除けば，両者の変化の様子はよく似ていることがわかる。岩石中に一般にわずかしき含まれないビトリナイトが比抵抗に影響するとは考えにくい，両者の間に強い相関が認められることより，比抵抗は石油の熟成度と深く関係すると考えられる。

比抵抗と粘土鉱物分帯とを対比させると，スメクタイト帯からイライト/スメクタイト混合層帯では比抵抗が

低いことや，スメクタイト帯が消滅する深度 1,500 m 付近で比抵抗の低下が終わり，緑泥石/スメクタイト混合層帯の上面付近から比抵抗の上昇が大きくなることがわかる。また，比抵抗と沸石分帯とを対比させると，斜プチロル沸石帯では比抵抗は低く，方沸石の現れる深度から比抵抗が上昇することがわかる。このように，比抵抗と鉱物続成分帯との間には深い関連性が認められる。イオン交換能の高いスメクタイトや斜プチロル沸石を含む層が低比抵抗となることや，イオン交換能の低い緑泥石や濁沸石を含む層が高比抵抗となることより，比抵抗が変質鉱物の存在に大きな影響を受けていることは明らかである。

以上のことをまとめると，基礎試錐「東頸城」における岩石の比抵抗を決める要因は主として含有される粘土鉱物や沸石の種類であり，地層層序，孔隙率，温度の影響は相対的に小さいといえる。とりわけスメクタイトの影響は大きく，スメクタイト帯やイライト/スメクタイト混合層帯のほとんどの区間では，岩石の比抵抗は一律

に低く、他の要因の影響はほとんど認められない。一方、スメクタイトが消滅する深度になると岩石は高比抵抗を示すようになり、孔隙率の比抵抗への影響が認められるようになる。一般に統成変質の進行に伴い、スメクタイトはイライトや緑泥石に、斜ブチロル沸石は方沸石、濁沸石に転移する。これらはイオン交換能の高い鉱物から低い鉱物への変化であるので、比抵抗には統成変質の進行の程度が反映されると判断できる。また、統成変質は石油の熟成に深く関与するため、比抵抗には石油熟成度の状況が反映されるとも予想される。このことは、ビトリナイト反射率と比抵抗との間に相関が認められることから支持される。

4. MT 法調査の概要

4.1 測線および測点の位置

MT 法の測点の位置は図1と図2に、二次元解析を実施した測線は図2に併せて示してある。測線はほぼ東西(N100°E)の方向であり、地質構造の大局的な走向にほぼ直交する。この測線は基礎物理探査「頸城～田麦山」87-1 測線とほぼ重なり、基礎試錐「高田平野」、基礎試錐「新米山」、基礎試錐「東頸城」、石黒 N-1、坪山 SK-1、新水 N-1 などの坑井の近傍を通る。測点は測線に沿って31あり、高田平野から信濃川東岸に至る約 45 km の区間に離散的に配置されている。測点間隔は測線中央部となる石黒 N-1 から坪山 SK-1 に至る区間では 500 m～1 km 前後と密であるが、その外側では数 km と粗くなる。

4.2 測定方法

測定では Phoenix 社製 MT 法探査装置 V5-16 システムを用い、各測点で電場 2 成分と磁場 3 成分の時系列データを取得した。電場センサーは両端を鉛-塩化鉛電極で接地した長さ約 100 m のダイポールであり、磁場センサーはインダクションコイルである。当該地域はノイズレベルが高いことから、調査地から約 150 km 離れた山形県西置賜郡小国町に固定のリファレンス点を設置し、全測定でファーマーリモトリファレンス法(高倉ほか, 1994)を適用した。また、1 測点あたりの測定には 3～8 日間以上かけ、十分な品質のデータが取得できるように努めた。

4.3 データ処理

データ処理では、各測点の電場および磁場成分の時系列データを等間隔に多数のセグメントに分割し、各セグメントごとに周波数解析を行い、0.00055～320 Hz の範囲の40周波数について、各成分のパワースペクトルデータを求めた。そして、ファーマーリモトリファレンス処理によりインピーダンスを計算し、高品質のインピーダン

スが求まったセグメントだけを編集して、見掛比抵抗や位相を求めた。

5. 二次元解析

5.1 使用データ

測線が地質構造のトレンドとはほぼ直交することから、各測点で得られたインピーダンスを測線の方に回転させ、電場が測線の方になるデータを TM モード、測線と直交する方向になるデータを TE モードとそれぞれ定義した。TM モードと TE モードの見掛比抵抗断面および位相断面を図4に示す。ここで、横軸は測線に投影した測点の位置を、縦軸は 0.001～100 Hz の周波数を表している。なお、測点38については測点29とほぼ重なるため除外した。

見掛比抵抗断面のコンターには、両モードとも横方向の不連続(縦縞の模様)が現れている。これは、高周波で低比抵抗あるいは高比抵抗を示す測点は、低周波でも低比抵抗あるいは高比抵抗を示す傾向があるということを示している。一方、位相断面のコンターには、データの品質が悪いことによる局所的な乱れはあるものの、そのような横方向の不連続は現れていない。したがって、この見掛比抵抗の横方向の不連続はスタティックシフト(Andrieux and Wightman, 1984)によるものと判断できる。

MT 法の二次元解析では、スタティックシフトは TM モードについてのみ取り扱うことができる(Ting and Hohmann, 1981; 小川・内田, 1987)。また、TM モードの二次元解析は大地が三次元的な場合でも良い近似を与える(Wannamaker *et al.*, 1984)。そこで、TM モードのデータのみを使用して、二次元解析を実施した。

5.2 解析方法

解析には、Uchida and Ogawa (1993) による平滑化制約付き MT 法二次元インバージョンプログラムを使用した。このプログラムは、地下構造断面を比抵抗を未知数とした多数のブロック(小領域)からなるモデルとして表し、測定値とモデルから計算される MT 応答値との残差の二乗和が収束するまで、各ブロックの比抵抗を反復修正する。隣接するブロックの間で比抵抗が急激に変化しないという平滑化制約を課すことができるため、未知数が多い場合でも安定的に解を得ることができる。

今回の解析では、計算容量の制約から 0.0015～80 Hz の範囲の比較的品質の高いデータだけを用いた。なお、測線東端の測点34は、全周波数とも品質が悪いことから解析から除外した。地下構造モデルのブロック数は785個であり、フォワード計算に用いた要素数は7,385個

図4 東頸城測線の TM モードおよび TE モードの見掛け比抵抗断面（上）と位相断面（下）
測点の位置は測線に投影して示している。

図5 二次元解析から求められた基礎試錐「東頸城」の周辺の標高約 -8 km までの比抵抗モデル
地質構造は石油公団（1991）が試錐データと地震探査データから推定したものである。

(水平:211, 垂直:35)である。初期値として各ブロックに $10\ \Omega\text{m}$ を与え, 海水の部分の比抵抗は $0.25\ \Omega\text{m}$ に固定し, 16回の反復計算を実施した。

5.3 解析結果とその検証

解析された基礎試錐「東頸城」周辺の標高約 $-8\ \text{km}$ までの二次元比抵抗モデルを図5に, 基礎試錐「高田平野」付近から新水 N-1 付近に至る測線の深度約 $-15\ \text{km}$ までの二次元比抵抗モデルを図6に示す。ここで, 図5に示す地質構造は, 石油公団(1991)が周辺の坑井データと地震探査データから推定した地質断面を MT 法の測線に投影したものである。

解析結果から計算される代表的な測点の見掛け比抵抗および位相を測定値とともに図7に示す。これより, 測定値と計算値とはおおむね収束していることがわかり, 解

析結果の計算上の精度は高いと判断できる。

解析結果を検証するため, 図8(a)~(f)に基礎試錐「高田平野」, 基礎試錐「新米山」, 基礎試錐「東頸城」, 石黒 N-1, 坪山 SK-1, 新水 N-1 の比抵抗検層データと, それらの坑井に最も近い測点における MT 法の解析結果との比較を示す。これらの図をみると, 解析結果と比抵抗検層データとは必ずしも一致していないものの, 大局的には両者が示す比抵抗の値や変化はよく整合しているといえる。このことより, MT 法から解析された比抵抗構造と実際の比抵抗構造とが懸け離れたものではないということは明らかである。

6. 解 釈

6.1 比抵抗構造と地質構造との比較

図6 二次元解析から求められた基礎試錐「高田平野」付近から新水 N-1 付近に至る測線の標高約 $-15\ \text{km}$ までの比抵抗モデル

図7 代表的な MT 法測点における TM モードの見掛け比抵抗および位相の測定値(白丸)と図6の比抵抗モデルからの計算値(実線)との比較

横軸が対数の周波数 [Hz] を, 縦軸が対数の見掛け比抵抗 [Ωm] (上) および位相 [度] (下) を表す。

図8 周辺の坑井の比抵抗検層データとMT法の解析結果との比較

(a) 基礎試錐「高田平野」の比抵抗検層データ(細線)と測点6のMT法の解析結果(太線), (b) 基礎試錐「新米山」の比抵抗検層データ(細線)と測点7のMT法の解析結果(太線), (c) 基礎試錐「東頸城」の比抵抗検層データと測点20のMT法の解析結果(太線)および測点21のMT法の解析結果(太破線), (d) 石黒N-1の比抵抗検層データ(細線)と測点10のMT法の解析結果(太線), (e) 坪山SK-1の比抵抗検層データ(細線)と測点30のMT法の解析結果(太線), (f) 新水N-1の比抵抗検層データ(細線)と測点33のMT法の解析結果(太線)。

図5および図6より, 当該地域の比抵抗構造は大局的には地表から深部に向かい比抵抗が高-低-高となる3層構造であることがわかる。地表付近の高比抵抗層は, 山中-桐山背斜(測点1~22)付近を境界にその西側のほうが東側に比べて薄い。その下位にある低比抵抗層は, 山中-桐山背斜付近から西側に傾斜する高比抵抗帯によって東西に分断されており, 鯖石川向斜の周辺(測点14~20)と渋海川向斜から信濃川にかけての地域(測点25~32)にそれぞれ低比抵抗の中心がある。深部の高比抵抗層は測点17~18付近を中心として, その西部および東部で徐々に浅くなる形状を示す。

図5を見ると, 比抵抗構造と試錐データや地震探査データから推定された地質構造とはおおむね整合的であることがわかる。とくに地表付近の高比抵抗層と魚沼層

の分布とはよく一致している。また, 低比抵抗層の上面の深度は測点13の西部, 13~18, 18~24, 23~27, 27~30でそれぞれ浅-深-浅-深-浅となるが, これは背斜-向斜-背斜-向斜-背斜となる地質構造とよく対応する。このことより, MT法の解析結果からだけでもある程度は地質構造の推定ができると判断できる。

しかし, 同じ地層が全測線にわたり必ずしも同じ比抵抗を示すわけではなく, 比抵抗構造のパターンと地質層序の境界とが斜交している場所もある。たとえば, 西山層や椎谷層の比抵抗を見ると, 向斜部では低く, 背斜部では高くなる傾向があることがわかる。これは, 同じ地層でも堆積場所によって受ける統成変質の程度が異なっていると考えれば理解される。すなわち, 同じ地層でも背斜部と向斜部とでは埋没深度が異なるので, 統成変質

の進行の程度に差が生じ、それが比抵抗の差として現れたと考えることができる。このことは、MT法を用いることにより従来の調査法とは異なる新たな地下情報の断面が得られるという可能性を示唆する反面、MT法の結果だけで地質構造を正確に解釈することは難しいということの意味するものである。MT法の結果を解釈するためには、他の情報を加味することが肝要といえる。以下では、既存の調査データとくに基礎試錐「東頸城」のデータを利用して、比抵抗構造に解釈を加える。

6.2 比抵抗構造の石油地質学的解釈

当該地域の地表付近では浅部ほど高比抵抗を示す傾向がある。この理由として、浅部ほど天水の影響で地層水の塩濃度が低くなっているということがあげられる。また、魚沼層群の比抵抗は新第三系岩石類の分布域の比抵抗より明らかに高い。これは、魚沼層群は地質年代が新しいため、続成変質が進んでいないからと考えられる。

高比抵抗層の下には10 Ω m以下の低比抵抗層が広がり、深度1~3 kmの間では比抵抗はおおむね1~3 Ω m前後の値を示す。図5よりこの厚い低比抵抗層は灰爪層以下の層準に対応し、最も低比抵抗を示す部分は主に西山層および椎谷層に対応することがわかる。第3章で述べたように、この低比抵抗は主にスメクタイトの存在に起因していると考えられる。膨潤性に富むスメクタイトは低浸透率を示す粘土鉱物である。したがって、この低比抵抗層はキャップロックになる可能性が高く、石油の上方への移動はこの層により妨げられると考えられる。

上部寺泊層が現れる深度になると比抵抗は深度とともに徐々に上昇する。下部寺泊層が現れる深度になると比抵抗は10 Ω m以上となり、七谷層およびグリーンタフ層の深度になると比抵抗は50~100 Ω mを超えるようになる。比抵抗の上昇は岩石中に含まれるスメクタイトの減少によるものと考えられるので、ここに十分な孔隙があれば、貯留岩が形成される可能性はある。また、図3によると、比抵抗の上昇の始まる深度からビトリナイト反射率が0.5%を超えるようになり、比抵抗が100 Ω m前後でビトリナイト反射率が1.2%となる。したがって、比抵抗が3~100 Ω m前後を示す領域が当該地域の石油の生成帯に相当する可能性が高いと考えられる。

その深部では比抵抗はさらに上昇し、深度8 km以深では300 Ω mを超える高比抵抗層も現れる。この層がどのような地質構造に対応するかは、この深度まで到達した坑井がないので断定はできないが、その比抵抗が新第三系堆積岩類が示す比抵抗より格段に高いことより、緻密な先第三系の基盤岩および貫入岩を反映していると考えられる。孔隙率が非常に小さいと推測されることか

ら、石油・天然ガス胚胎の可能性の少ない石油地質学的な基盤に相当すると解釈できる。

7. ま と め

複雑な地質構造や険しい地形のため地震探査の記録が良好でない新潟県東頸城地域において、MT法調査が実施された。しかし、MT法から求められる比抵抗構造は地下の比抵抗分布を表すに過ぎないため、それを石油探査に活用するためには、そこから地質構造を解釈する必要がある。本論文では、基礎試錐「東頸城」のデータを用いて、当該地域の岩石の比抵抗に反映される石油地質学的な情報を検討し、その検討結果を用いてMT法から求められた当該地域の比抵抗構造を解釈した。その主な結果をまとめると次のようになる。

- (1) 地表付近に現れている高比抵抗層は魚沼層群の分布によく対応する。魚沼層群が高比抵抗であるのは、続成変質をほとんど受けていないからと考えられる。
- (2) 深度1~3 kmの間では、比抵抗は約1~3 Ω mとなる。この部分は主に灰爪層、西山層、椎谷層に対応する。これらの層が低比抵抗となるのは、イオン交換能の高いスメクタイトが層中に多く含まれているからと推定できる。スメクタイトは膨潤性の高い鉱物であるので、これらの層はキャップロックになる可能性が高いと考えられる。
- (3) 低比抵抗層の下にある高比抵抗層は、測線中央部が深く、測線の西部および東部で浅くなる形状を示す。検層データと対応させると、比抵抗が3~100 Ω m前後を示す部分は、上部寺泊層、下部寺泊層、七谷層の層準に対応する。比抵抗とビトリナイト反射率との相関より、この部分が石油の生成帯に相当すると推測される。
- (4) 深部8 km以深の300 Ω mを超える高比抵抗部は緻密な先第三系の基盤岩および貫入岩に対応すると考えられ、石油・天然ガス胚胎の可能性の少ない石油地質学的な基盤と解釈できる。

謝 辞

本論文を発表するにあたり、通商産業省資源エネルギー庁には基礎試錐の資料の公表を、石油資源開発(株)には坑井データの資料の公表を許可していただいた。また、石油公団の木村恵一氏には、原稿の修正に際し適切な意見を頂いた。以上の方々に心から厚く感謝の意を表したい。

引 用 文 献

- Andrieux, P. and Wightman, W. E., 1984: The so-called static correction in magnetotelluric measurements. 54th Ann. *Internat. Mtg., Soc. Expl. Geophys., Expanded Abstracts*, 43-44.
- Archie, G. E., 1942: The electrical resistivity log as an aid in determining some reservoir characteristics. *Trans. AIME*, **146**, 54-62.
- 小林巖雄・立石雅昭・黒川勝己・吉村尚久・加藤碩一, 1989: 岡野町地域の地質・地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅), 地質調査所.
- 小川康雄・内田利弘, 1987: MT 法から求めた鬼首カルデラ南部の比抵抗構造. 物理探査, **40**, 22-41.
- 石油公団, 1991: 平成元年度国内石油・天然ガス基礎調査基礎試錐「東頸城」調査報告書.
- 高倉伸一, 1995: 新潟および秋田油田地域の新第三系岩石の比抵抗. 物理探査, **48**, 161-175.
- 高倉伸一・志賀信彦, 1994: 電磁探査技術の開発—MT 法の国内石油探鉱への適用に関する研究. 平成 5 年度石油開発技術センター年報 物理探査研究室, 45-53.
- 高倉伸一・武田祐啓・松尾公一, 1994: MT 法における広域ノイズの影響とファーリモートリファレンス法によるその除去. 物理探査, **47**, 24-35.
- 竹内圭史・加藤碩一・柳沢幸夫, 1994: 20 万分の 1 地質図幅「高田」. 地質調査所.
- 天然ガス鉱業会・大陸棚石油開発協会, 1982: 日本の石油・天然ガス資源. 455 p.
- 天然ガス鉱業会・大陸棚石油開発協会, 1992: 改定版日本の石油・天然ガス資源. 520 p.
- Ting, S. G. and Hohmann, G. W., 1981: Integral equation modeling of three dimensional magnetotelluric response. *Geophysics*, **46**, 182-197.
- Uchida, T. and Ogawa, Y., 1993: Development of FORTRAN code for two-dimensional magnetotelluric inversion with smoothness constraint. *Open-file Report, Geol. Surv. Japan*, **205**, 115 p.
- Wannamaker, P. E., Hohmann, G. W. and Ward, S. H., 1984: Magnetotelluric responses of three-dimensional bodies in layered earths. *Geophysics*, **49**, 1517-1533.