論 説

層序単位の存在確率分布に基づく 東京湾周辺地域の3次元地下構造モデリング

麻植 久史¹・古宇田亮一²・楠瀬勤一郎³・丸井 敦尚⁴・植木 俊明⁵

Three-Dimensional Structure Modeling Based on Existence Probability of Geological Stratigraphy Unit in and around Tokyo Bay Area

Hisafumi Asaue¹, Ryoichi Kouda², Kinichirou Kusunose³, Atsunao Marui⁴ and Toshiaki Ueki⁵

Abstract : Coast area is the boundary between land and sea, which is important for disaster prevention and underground utilization etc... But, it is difficult to carry out survey in the area, because the area is a water area which is too shallow to approach by ship. The three-dimensional structure modeling based on existence of geological stratigraphy unit, which based on existence probability, was developed to integrate existing data, for example geophysical survey data, in land and sea area. The method is applied to clarify stratigraphy unit distribution in and around Tokyo bay area. As a result, distributions of Shimousa formation, central part of Kazusa formation, lower part of Kazusa formation, Miura formation, and basement can be estimated from surface to depth. And displacement of basement at elevation of -2,000 m appeared from 100 m to 200 m in the northern part of this area. This displacement corresponds with drilling data in the area. CO₂ storage potential can be estimated using this model. In case of this area, the estimation value is 4.47 billions.

Key words : Three-dimensional interpolation, Integrate geophysical survey data, Indicator conversion, CO₂ storage potential

1. はじめに

沿岸域は都市部や工業地帯であるため、陸域から海域に連続する伏在断層把握による防災や、二酸化炭素排出量を削減するCO₂貯留のような地下構造利用に関して重要な地域である。しかし、沿岸域は、陸域と海域の境界に位置しているため、海域からの調査では水深の浅さで船舶が入れず、陸域からの調査では水域への適応が困難であるという問題をもつ(独立行政法人産業技術総合研究所, 2004)。そこで、上記の問題を解決するために、陸域と海域に存在する地質構造データを使用して沿岸域を含む地域のモデリングを行う。しかし、既存データの多くを占めている物理探

査データのパラメータ、およびデータ分布密度は測定手法ごとに異なり、単純に補間することはできない。そこで、本研究は、これらを統合するために最終的に推定される結果である層序単位に着目した。この層序単位に対して、存在確率に基づく補間操作を行い、既存データを統合できる3次元地下構造モデリング法を開発した。

この解析手法を、東京湾周辺を対象とした地域に適用し、その3次元的な深部地層構造の把握を試みた。この地域に存在すると推定される帯水層は、揚水の持続安定性などの地下水資源の利活用に関して重要な要因となる。また、CCS(二酸化炭素回収・貯留: CO₂ Capture and Storage)

2007年9月28日受付, 2008年2月4日受理

GEOINFORUM-2007で一部発表

1 産業技術総合研究所 地圏資源環境研究部門 地質バリア研究グループ Geological Survey of Japan, AIST, Institute for Geo-Resources and Environment, Geo-Barrier Research Group. (現在: 熊本大学大学院 自然科学研究科 広域環境保全工学講座 Graduate School of Science & Technology Kumamoto University, Kurokami 2-39-1, Kumamoto 860-8555, Japan. E-mail: asaue@kumamoto-u.ac.jp)

2 産業技術総合研究所 産学官連携推進部門 Geological Survey of Japan, AIST, Collaboration Promotion Department. E-mail: roy.kouda@aist.go.jp

3 産業技術総合研究所 地圏資源環境研究部門 Geological Survey of Japan, AIST, Institute for Geo-Resources and Environment. E-mail: k.kusunose@aist.go.jp

4 産業技術総合研究所 地圏資源環境研究部門 地下水研究グループ Geological Survey of Japan, AIST, Institute for Geo-Resources and Environment, Groundwater Research Group. E-mail: k.kusunose@aist.go.jp, marui.01@aist.go.jp

5 株式会社海洋先端技術研究所 Ocean High Technology Institute Inc. E-mail: ueki@ohti.co.jp

第1図 東京湾周辺地域における解析対象地域

のCO₂貯留に必要な貯留層としても注目されている（大関・嘉納, 2006）。帯水層は、地下水を含む多孔質浸透性の地層であり、透水性の低い不透水層に挟まれている。そこで3次元深部地下構造モデルより、この明瞭な地質的特徴を抽出し、帯水層の分布形態とその妥当性について考察する。また、このモデルより帯水層に相当する層の容積を見積もり、CO₂貯留可能性について議論する。

2. 研究対象地域と既存データ

2.1 東京湾周辺地域

東京湾は富津岬と観音崎を結ぶ湾口以北の内湾である。その分布は関東平野の南部中央を占め、南側湾口の浦賀水道を通して太平洋に連続している。浦賀水道の幅は5～10 kmである。また、東京湾北部を中心とする南関東地域は、古生界から古第三系の古い基盤岩の上を、新第三系から第四系の厚い堆積層が覆っており、関東構造盆地と呼ばれる。また、この地域には、大規模帯水層の存在も推定されている（福田・鈴木, 1987）。

本研究では、解析対象地域を35° 18' 00"～35° 50' 00", 139° 30' 00"～140° 22' 00"と設定した（第1図）。この地域の層序単位を、地表から下総層群、上総層群中部、上総層群下部、三浦層群、基盤の順と大きく分類した。上総層群上部は相対的に薄いため中部に含まれる。また、基盤は第三系基盤および保田層群と嶺岡層群からなる。下総層群の地質層序表と（徳橋・遠藤, 1984）と上総層群中部、上総層群下部、三浦層群、基盤の地質層序表（三梨, 1990a）より、この地域における地質層序を第1表にまとめた。以下に各層の特徴を述べる。

下総層群は、日本における海成の中部更新統の模式層である。房総半島北部から関東平野中央部に分布し、大きな湾を成していた古東京湾に堆積している。主に砂層で構成されており、下位から、地蔵堂層、藪層、上泉層、清川

層、横田層、木下層、姉崎層に区分される。

上総層群は深海から浅海の海底に堆積した地層群である。

第1表 下総層群の地質層序表と（徳橋・遠藤, 1984）と上総層群中部、上総層群下部、三浦層群、基盤の地質層序表（三梨, 1990a）より、作成した層序表。波線は下総層群基底の東京湾不整合を表す

区分	層序
更新世	姉崎層
	木下層
	横田層
	清川層
	上泉層
	藪層
	地蔵堂層
	金剛地層
	笠森層
	長南層
	柿ノ木台層
	国本層
	梅ヶ瀬層
	大田代層
鮮新世	黄和田層
	大原層
	浪花層
	勝浦層
	黒滝層
	安野互層
中新世	清澄砂岩層
	天津泥岩層
	木ノ根頁岩層
	佐久間互層
基盤	保田層群
	嶺岡層群

第2図 解析対象地域と既存データ分布

この層群が堆積した時代は、第三紀の後期鮮新世から第四紀前期・中期更新世にあたるので、上部、中部、および下部に分類される。上部は100 m程度の比較的薄層であり、第四紀でもあるため、中部に含めて表記されることが多い。この中部は砂層、砂礫層、シルト層などであり、下部は泥層、泥岩優勢砂泥互層等である。中部の地層は下位から、黄和田層、大田代層、梅ヶ瀬層、国本層、柿ノ木台層、長南層、笠森層に区分され、下部の地層は、黒滝層、勝浦層、浪花層、大原層に区分される。この上総層群には良質の天然ガスや地下水が存在する。上記の下総層群と上総層群中部は、第四系に属しており、鮮新世の末期から中期更新世に至るまでの地層の欠落が少なく、深海相から浅海相の堆積物の重なりから成る地層である。

三浦層群は、嶺岡―葉山隆起帯の中軸部から北部地域に見られる。地層は主に泥岩優勢砂泥互層で構成されており、下位から、佐久間互層、木ノ根頁岩層、天津泥岩層、清澄砂岩層、安野互層に区分される。また、三浦層群と保田層群と嶺岡層群は新第三系に分類される。

この地域の基盤岩は西日本の延長であり、北部から南部へ向って領家帯、三波川帯、秩父帯、四万十帯が帯状に配列している。地質年代は先新第三系である。関東平野における地質構造区の配置に関しては不明の点が多い（日本の地質『関東地方』編集委員会, 1986）。

2.2 東京湾周辺の地下構造データ

解析対象地域に存在する、P波反射法地震探査、微動アレイ探査、比抵抗検層、音波探査などの既存物理探査データを解析データとして採用した。これらに加えて、ボーリングデータや種々のデータより作成された地質構造図や基盤等深線図も解析データとして使用した。これらのデータの配置図を第2図に示す。以下に各種データの詳細を述べる。

P波反射法地震探査とは、非破壊型の人工震源で発生させた地震波の反射応答時間を観測し、地下の速度構造を推定する手法である。地震波は地層境界のような物性の異なる面で反射する。房総半島近辺において、このP波反射法地震探査の測定が、数本の測線において行われている。そのうち、対象領域内に存在する2測線を選択した。測線長は、約20 kmと約45 kmである。震源はバイプロサイズであり、発震点間隔は150 mと200 m、受信点間隔は25 mである。これらの測線で推定された地質構造図を解析データとして使用した。この地質構造では、上総層群と三浦層群において、それぞれ南東部方向に層厚を増す傾向が確認されている。また、下総層群の層厚は測線中央部で増し、東部に行くほど薄くなる特徴を示した（千葉県, 2004）。

微動アレイ探査は、同じ時刻に発生した微動を定期的に配置した地震計で観測し、観測時間差と地震計距離との関係より、地下の速度構造を推定する手法である。これより、S波の速度構造が求められる。対象領域内である千葉県西部地域において、40測点のS波速度構造柱状図が存在している。アレイ半径は、200 m, 600 m, 2,000 m × 二重三角形、および、1,155 m, 4,000 m × 三重三角形である。また、解析方法はSPAC法が用いられており、最大測定深度は6,000 mである。反射法地震探査の解釈結果におおよそ整合しているが、深度境界は必ずしも正確ではなく、この結果のみで詳細な地質構造を論ずるのは困難である（千葉県, 2004）。

比抵抗検層は電気検層とも呼ばれ、ボーリング孔内の地層比抵抗値を連続的に測定する手法で、比抵抗構造を推定できる。比抵抗は電気の流れやすさを表す指標であり、地下水や粘土鉱物が多く含まれる地層で低い値を示す。解析対象範囲内の北西側において、7本の電気検層データがまとめられている。最大深度は約600 mである。電気検層が

行われている地域には、上総層群が厚く分布している（遠藤, 1978）。

音波探査は、海水中に発せられた低周波パルスの反射を測定し、海底下の地質構造を明らかにする手法である。音源の周波数が高くなるほど分解能が良くなり、低くなるほど地下深部の探査が可能となる。これより、先新第三系基盤と考えられる強い反射面が深度2～3kmの位置に認められたが、試錐データとの比較によると、反射面と層序単位が若干異なっているとされる（加藤, 1984, 1988）。しかし、東京湾内の構造データは他になく、現在の東京湾環境下では、新たな音波探査の実行が困難であり、これ以上の品質をもつデータ取得は現状では不可能である。

数本のボーリングデータより推定された地質断面図が対象地域内に2測線存在する。最大深度はいずれも2,000m程度である（楡井, 1988; 楡井ほか, 1972）。船橋以西では、上総層群の浅い堆積環境が推定されている。帯水層（砂岩）と遮蔽層（シルト岩）の厚さは、それぞれ10～50m、50～100mで、砂岩層の水平方向への広がり千葉地区と同様に5km以上であるが、1km単位の変化も目立つ。千葉市地下のボーリング試料から確認された下総層群基底の東京湾不整合では、船橋礫層が上総層群上部の地層を平坦に切り、削剥量が北西側に向かって漸増する。逆に東方に向かっては次第に減少し、房総半島中央部ではこの不整合は消失する。

地質調査や音波探査を基に作成された地下地質構造図（矢島ほか, 1986; 貝塚, 1987; 三梨, 1990b）を3断面使用した。これらより、東京湾不整合は東京湾南部にあり、上総層群を削剥していることが示されている。この削剥は、構造運動上の変化が発生したことを表している。

防災科研により行われた地殻活動観測井データの最大深度は約2,000mであり、これらは基盤に達している（防災科学研究所, 1977, 1993, 1996, 2005, 2006）。同じ上総層群内でも、中部は多くを砂層が占め、下部は砂泥互層であると確認できる。ボーリングデータは層序単位内部の地質を確認できるため重要なデータである。

重力異常図、地震探査、および周辺山地における基盤岩の分布状況を統合した基盤等深線図（楡井ほか, 1972; 多田, 1982）によると、東京湾には低重力域が横断している。重力値は密度の積分値が小さいと低い値を示すため、この地域の基盤深度は周囲より深くなる。しかし、その深まりの中心は東京湾内ではなく、その西側にある市原近辺で表れる。また、東京湾南部の基盤深度は急激に浅くなる特徴を持つ。

3. 解析手法

3.1 地下構造データ統合

前述した地下構造データを統合し、東京湾周辺の3次元地下構造モデルを作成する。その手法の流れを以下に示す。まず、対象領域を格子状に分割し、格子点を設ける。

本研究における対象領域は、東西方向と南北方向に、それぞれ75km、60kmであるため、格子点を水平方向1km間隔で76（東西）×61（南北）点設けた。また、鉛直方向の最大深度を4,000mとし、50m間隔で81点設けた。格子点数は計375,516点である。次に、パラメータの決定を行う。本研究におけるパラメータは層序単位であり、下総層群、上総層群中部、上総層群下部、三浦層群、基盤である。この層序単位は、それぞれが独立であり物理的に値をもたない性質的なパラメータである。そのため、クリギングのような数値補間手法をそのまま適用することはできない。そこで、次の手順として、対象とする層序単位を一つ選択し、その層序単位が存在する座標に1、対象外の地層が存在する座標に0を与える指示変換を行う。これにより、層序単位ごとのデータセットを作成する。指示変換により与えられる数値は、対象とした層序単位の存在確率を示す。その後、各データセットにおける層序単位未確定座標の存在確率分布を推定するため、3次元最適化原理による補間を地層ごとに行う。3次元最適化原理とは、力学的歪エネルギーの最小化問題に基づく補間法である。詳細は次の節で述べる。格子点ごとに層序単位の存在確率を推定し、これらを比較する。最も存在確率の高い層序単位を、その格子点に存在する層序単位として決定する。その結果、格子点ごとに層序単位が与えられた3次元地下構造モデルが作成される。一連の手法は、統計学的な考えに基づくため、客観的な解析結果が期待できる。

3.2 最適化原理による3次元補間法

本研究で使用した種々の地質構造データは、測定手法や目的などが異なるため、データ分布は水平・垂直方向ともに不規則となる。したがって、指示変換された地層存在確率の3次元分布を明らかにするには、適切な補間を行う必要がある。そこで、3次元最適化による補間を適用した。この手法は十分な補間精度を有しており、地質データに対して有効であることが明らかにされている（Koike *et al.*, 2002; Koike and Matsuda, 2003）。

この3次元最適化による対象層序単位ごとの補間結果を、格子点において比較し、最も存在確率の高い層序単位が存在すると仮定する。すなわち、対象領域全体に立方体状の格子を設定し、格子点の存在確率値 f_{ijk} を推定する。

通常、地質構造分布の補間を行う場合、その空間的变化が滑らかになるような制約条件が用いられる。これは確率的手法よりも、力学的歪エネルギーの最小化問題に基づく補間法が適していることを意味する。そこで、後者の補間法の1つである3次元最適化原理を適用した。

3次元最適化では関数の滑らかさを表す汎関数 $J(f)$ とペナルティー項 $\phi(f)$ とを組み合わせ、拡大目的関数 $Q(f, \omega)$ が次のように定義される。

$$\begin{aligned}
Q(f, \omega) &= f + \omega \phi(f) \\
J(f) &= m_1 \iiint \left\{ \left(\frac{\partial f}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial z} \right)^2 \right\} dx dy dz \\
&\quad + m_2 \iiint \left\{ \left(\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} \right)^2 + \left(\frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \right)^2 + \left(\frac{\partial^2 f}{\partial z^2} \right)^2 \right\} dx dy dz \\
&\quad + 2 \left[\left(\frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial^2 f}{\partial y \partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial^2 f}{\partial z \partial x} \right)^2 \right] dx dy dz \\
\phi(f) &= \sum_{r=1}^M \{ S(x_r, y_r, z_r) - g_r \}^2
\end{aligned} \tag{1}$$

ここで、 ω , m_1 , m_2 は正の係数、 g_r はサンプルデータ、 M はデータ数である。 $S(x_r, y_r, z_r)$ は格子データ f_{ijk} から格子内の任意の位置での値を推定するための近似関数であり、サンプルデータから格子点までの x, y, z 軸方向の距離を重みとした線形関数とする。最適解 f_{ijk} は $Q(f, \omega)$ の最小化、すなわち $\partial Q(f, \omega) / \partial f_{ijk} = 0$ から得られる (Koike *et al.*, 1998)。

4. 解析結果

4.1 3次元地下構造モデル

指示変換と3次元最適化手法により、東京湾周辺に存在する各種物理探査データ、ボーリングデータ、および地下構造断面図を統合した。東京湾周辺における3次元地下構造モデルの標高-500m、-600m、-700m、-800m、-900m、-1,000m、-2,000m、および-3,000mにおける水平断面図を第3図、東西方向と南北方向の垂直断面図を第4図と第5図に示す。

第3図 東京湾周辺地域における3次元地下構造モデルの水平断面図

下総層群は、東京湾東側で北東-南西方向に分布する。この層群の最深部は標高-1,000m程度であり、千葉県市原市付近で層厚が大きくなる特徴を示す。上総層群中部は広範囲に分布し、東京湾南西部を中心とした盆構造を示す。この最深部は標高-1,500m程である。上総層群下部は、表層から標高-1,500mにかけて、ほぼ全域に分布するが、標高-2,000m付近では北西-南東方向に渡って分布する。三浦層群は、東京湾内において、北部から南部に向かって厚さを増すように分布する。また、東京湾内深部の層序単位は中心部を境として、北部に上総層群、南部に三浦層群と明瞭に分割されている点が特徴的である。基盤は、北部から南部に向かって急傾斜しており、南東部で最深となる構造をもつ。また、対象範囲の北西部において、標高-3,000m付近に盆地構造を示す点が特徴的である。

解析で使用了基盤モデルは、全体的に滑らかな構造を示すため、解析後の結果で第三系基盤を変位させる断層は現れにくい。しかし、解析結果において、標高-2,000m付近に100~200m程の基盤変位部が確認できる(第6図)。これは北東隆起であり、第7図のような連続性が考えられる。この付近において、ボーリング調査などから解析結果と同様に、基盤岩上面の北東隆起が見出されている(楡井ほか, 1977)。この北東隆起は300m以上と推定されており、本研究結果はこの値より小さく見積もられているが、位置や形状は整合している。この北東隆起に起因する第三系基盤の変位は、上位に位置する第四紀以降の層序単位において確認されないため活断層ではない。

第4図 東京湾周辺地域における3次元地下構造モデルの南北方向垂直断面図

第5図 東京湾周辺地域における3次元地下構造モデル東西方向垂直断面図

5. 考 察

本研究により、層序単位存在確率分布に基づく解析対象領域の3次元地下構造モデリングが可能となった。このモデルを利用すれば、地層ごとに体積を推定できる。そこで、本研究で得られた結果を使用し、東京湾周辺地域におけるCO₂貯留可能性を試算した。以下にCO₂貯留の概要と、試算の詳細について述べる。

CO₂貯留とは、CO₂排出量を減少させるために、CO₂を地中に貯留し、長期間大気中への漏出を防ぐ手法である。その際の貯留形態は大きく2種類に分けられる。すなわち、遮蔽層と背斜構造による構造的トラップが期待されるカテゴリ-Aと、鉛直方向の連続的な遮蔽層による残留ガスト

ラップが期待されるカテゴリ-Bである。我が国では、堆積層が多いため、カテゴリ-Aの存在は少ないと考えられている(地球環境産業技術研究機構, 2006)。また、注入するCO₂の状態は温度31.0度以上、圧力7.38 MPa以上の超臨界状態が最適であるとされる。この超臨界状態は、気体状態や液体状態に比べて2つの大きな利点がある。第1の利点は、気体に比べ密度が大きいため、貯留量の増加が見込まれる点である。第2の利点は、流体でないため、圧力低下に伴う沸騰現象が起こらず急激な密度変化を引き起こさない点である(Angus *et al.*, 1976)。

CO₂が超臨界状態になる最適な地下深度は、およそ800 m以深と見積もられている。これは対象領域における

第6図 東京湾周辺地域における3次元地下構造モデルに現れた第三系基盤変位部（枠内は変位部）

上総層群の分布する深度に対応する。これより、CO₂貯留を想定すると東京湾周辺地域では、遮蔽層を下総層群、貯留層を上総層群中部・下部とするケースが考えられる。このケースは、CO₂を貯留層にトラップするための条件を満たす。すなわち、遮蔽層である下総層群はCO₂の漏出を抑える泥層を含んでおり、上総層群中部と下部は砂泥互層である。砂層は間隙率が高く貯留層とみなせる。この種の貯留層はカテゴリ-Bに分類される。

二酸化炭素の貯留可能量算出には次の式が用いられる（地球環境産業技術研究機構, 2006）。

$$\text{貯留可能量} = Sf \times A \times h \times \varphi \times Sg / BgCO_2 \times \rho \quad (2)$$

第7図 第三系基盤のずれの地表面におけるトレース（図中の赤い破線）

ここで、 Sf は貯留率、 A は断面積、 h は層厚に砂泥比率（砂）をかけた有効層厚、 φ は孔隙率、 Sg は超臨界飽和率、 $BgCO_2$ はCO₂容積係数、 ρ はCO₂密度である。 Sg 、 $BgCO_2$ 、および ρ は定数であり、 Sg は0.5、 $BgCO_2$ は0.003、 ρ は0.001976 t/m³と定義されている。 Sf は、背斜構造の場合で50%、背斜構造を伴わない構造で25%となる。本対象地域では、背斜構造を伴わないカテゴリ-Bが想定されるため後者を採用する。 φ は同じ地層群でも地域によって異なるため一定ではない。しかし、現段階では、 φ に関するデータが少なく、正確な φ の分布を推定するのは困難である。そこで、本研究では、層序単位のデータがそろっている富津におけるボーリングデータの φ を近似値として採用した。富津地域の自然比重測定結果を一部抜粋したものは第2表のようになる。第2表の深度-497 mの φ は上総層群中部、深度-995 mの φ は上総層群下部に対応する。

通常、 $A \times h$ の値は、地質図等により作成される垂直・水平方向の2次元断面図から計算されるため、貯留層構造が直方体として見なされてしまう。しかし、実際の構造は直方体とはかけ離れているため、本研究による3次元モデルを使用して貯留層の容積を算出した。容積計算の条件は、下総層群の下部に存在する標高-800 m以深の上総層群中部とした。これにより $A \times h$ の値をより正確に求められる。

これらのパラメータ値と(2)式より、貯留可能量を推定した。その結果、本対象地域における貯留層容量は、約44.7億tonと見積もられた。これは20年間で約2,000万tonの貯留を見積もっているスライプナーと比べると大きな値である（Baklid *et al.*, 1996）。この理由として、本研究では背斜構造伴わない貯留層を想定しているため、構造的な制約が小さくなることが挙げられる。しかし、この構造は貯留能力が確定していないため、その能力で貯留容量は減少する可能性がある。

孔隙率などのパラメータは再考の余地があるが、地下構造に関するデータの少ない地域や分布密度が異なる地域でも、従来よりも高い精度で貯留可能量の算出が可能とな

第2表 富津地殻活動観測井による自然比重測定結果

深 度	有効孔隙率(%)	上総層群下部 m	泥岩比	上総層群下部 m	泥岩比
497.07 ~ 497.30 (497 m)	44.3	625 ~ 694 (69 m)	75 %	804 ~ 820 (16 m)	40 %
995.83 ~ 996.08 (995 m)	46.1	694 ~ 728 (34 m)	30 %	820 ~ 902 (82 m)	70 %
1245.97 ~ 1246.43 (1245 m)	40.7	728 ~ 804 (76 m)	80 %	902 ~ 932 (30 m)	40 %

る。このように、本研究の成果はCO₂貯留の貯留可能量推定に貢献できる。

6. まとめ

本研究では、異なる手法や目的で得られた既存データを統合し、層序単位存在確率に基づく3次元的な地下構造モデリングを行う手法を開発するとともに、東京湾周辺地域の地下構造モデルを作成し、CO₂貯留容量の試算を行った。得られた主な成果を以下に要約する。

- 1) パラメータがそれぞれ異なる物理探査データ、ボーリングデータ、および地質構造図等の共通結果である層序単位を統合するために、指示変換と3次元最適化補間による解析手法の開発を行った。この手法により、性質的なパラメータである層序単位を統合した3次元的な地下構造モデリングが可能となった。
- 2) 東京湾周辺地域に指示変換と3次元最適化補間による解析手法を適用した結果、下総層群、上総層群中部、上総層群下部、三浦層群、基盤の3次元地下構造モデルが得られた。この手法は、全体的に滑らかな構造を表す傾向があるが、解析結果では、標高-2,000 m 付近に100 ~ 200 m 程の基盤変位部が確認できた。この変位の北東隆起はボーリング調査結果とも良く整合した。
- 3) 東京湾周辺地域の3次元地下構造モデルを利用し、この地域のCO₂貯留可能量を試算した。その結果、本対象地域における貯留層容量は約44.7億tonと見積もられた。背斜構造伴わないカテゴリーBの貯留層を想定しているため、構造的な制約が小さくなり、貯留容量が大きくなる。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、有益なご意見を頂いた(独)産業技術総合研究所の當舎利行氏、同研究所の奥山康子氏、電源開発株式会社の中西繁隆氏に深甚の謝意を表したい。なお、本研究は財団法人地球環境産業技術研究機構からの受託研究「高精度地中挙動予測手法の研究」により実施された。査読者からの貴重な意見は論分の改善に大いに役立った。ここに記して深甚の謝意を表したい。

文 献

Angus, S., Armstrong, B. and De Reuck, K. M. (1976) International thermodynamic tables of the fluid state. 3. Carbon dioxide. Int. Union of Pure and Applied Chemistry. Pergamon Press.

Baklid, A., Korbol, R. and Owen, G. (1996) Sleipner west CO₂ disposal, CO₂ injection into a shallow underground aquifer. SPE 36600, pp. 269-277.

防災科学研究所 (1977) 防災科研江東地殻活動観測井さく井工事報告書.

防災科学研究所 (1993) 防災科研横浜地殻活動観測井さく井工事報告書.

防災科学研究所 (1996) 防災科研成田地殻活動観測井さく井工事報告書.

防災科学研究所 (2005) 防災科研富津地殻活動観測井さく井工事報告書.

防災科学研究所 (2006) 防災科研所沢地殻活動観測井さく井工事報告書.

千葉県 (2004) 千葉県中央部地域の地下構造調査結果, 18.p.

地球環境産業技術研究機構 (2006) 平成17年度二酸化炭素固定化・有効利用技術等対策事業 二酸化炭素地中貯留技術研究開発成果報告書.

独立行政法人産業技術総合研究所 (2004) 沿岸域断層評価手法の開発に関する研究調査 平成15年度報告書.

遠藤 毅 (1978) 東京都付近の地下に分布する第四系の層序と地質構造. 地質学雑誌, vol. 84, pp. 550-520.

福田 理, 鈴木宏芳 (1987) 関東平野の基盤構造. 地学雑誌, vol. 96, pp. 173-184.

貝塚爽平 (1987) 関東の第四紀地殻変動. 地学雑誌, vol. 96, pp. 223-240.

加藤 茂 (1984) 東京湾におけるマルチチャンネル反射法音波探査. 水路部研究報告, no. 19, pp. 1-57.

加藤 茂 (1988) 音波探査断面から見た東京湾の地下構造. 地質学論集, no. 31, pp. 75-84.

Koike, K., Yoshino, S., Eduardo, V. and Kenji, F. (1998) Three-dimensional interpolation and lithofacies analysis of granular composition data for earthquake-engineering characterization of shallow soil. Mathematical Geology, vol. 30, pp. 733-759.

Koike, K., Matsuda, S., Suzuki, T. and Ohmi, M. (2002) Neural network-based estimation of principal metal contents in the Hokuroku district, northern Japan, for exploring Kuroko-type deposits. Natural Resources Research, vol. 11, pp. 135-156.

Koike, K. and Matsuda, S. (2003) Characterizing content distributions of impurities in a limestone mine using a feedforward neural network. Natural Resources Research, vol. 12, pp. 209-223.

三梨 昂 (1990a) 関東堆積盆南部のシンセディメンタリー・テクトニクス. 地質学論集, no. 34, pp.1-9.

- 三梨 昂 (1990b) 関東堆積盆および東京湾周辺地域の地質断面図, 三梨ほか編「堆積盆地と褶曲構造—形成機構とその実験的研究—」付図. 地質学論集, Vol. 34.
- 日本の地質『関東地方』編集委員会 (1986) 日本の地質3「関東地方」. 共立出版株式会社.
- 楡井 久, 樋口茂生, 原 雄, 石井 皓, 白井 常之, 古野 邦雄, 真鍋 健一, 立石 雅明 (1972) 船橋市地域の地下地質と地盤沈下観測井. 千葉県公害研究報告, no. 1, pp. 7-74.
- 楡井 久, 樋口茂生, 古野邦夫, 矢田恒晴, 石井皓, 赤霧毅一 (1977) 東京湾の形成に関する一考察と地盤沈下. 日本地質学会学術大会講演要旨, vol. 84, 278p.
- 楡井 久 (1988) 関東前面孤盆地—関東地下水盆の形成史—. アーバンクボタ, no. 27, pp. 36-45.
- 大関真一, 嘉納康二 (2006) 「二酸化炭素地中貯留」事業の実現に向けて—石油・天然ガス上流技術への期待—. Analysis, vol. 40, no. 4, pp. 57-70.
- 多田 堯 (1982) 関東平野の基盤構造と重力異常(1)—基盤深度図—. 地震 第2輯, vol. 35, pp. 607-617.
- 徳橋秀一・遠藤秀典 (1984) 姉崎地域の地質. 地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅), 地質調査所, 136p.
- 矢島俊彦, 吉田 尚, 鈴木尉元, 楡井 久 (1986) 関東平野の先新第三系基盤. 日本の地質『関東地方』編集委員会編 (1986) 日本の地質3 関東地方, pp. 76-78, 共立出版株式会社.

要 旨

層序単位の存在確率分布に基づく東京湾周辺地域の3次元地下構造モデリング

：麻植久史・古宇田亮一・楠瀬勤一郎・丸井敦尚・植木俊明

陸域と海域の境界である沿岸域は、防災や地下構造利用の面で重要な地域であるが、水深の浅い水域であるため、船舶を必要とする水域調査手法や陸域調査手法の適用が困難である。そのため、陸域と海域に存在する物理探査データなどの既存データを統合できる手法を考案した。この手法は、層序単位の存在確率に基づき地下構造を3次元モデリングできる。これを東京湾周辺地域に適用した結果、下総層群、上総層群中部、上総層群下部、三浦層群、基盤の3次元層序単位分布が推定できた。また、標高-2,000 m付近に100～200 m程の基盤変位部が確認できた。この変位の北東隆起はボーリング調査結果とも良く整合した。このモデルを使用し、この地域のCO₂貯留可能量を試算したところ、本対象地域における貯留層容量が、約44.7億tonと見積もられた。

キーワード：3次元補間法, 物理探査データ統合, インディケータ変換, CO₂貯留可能量