

都市域の地質地盤図「千葉県北部地域」の公開 —首都圏の3次元地質情報整備の事始め—

中澤 努¹⁾・野々垣 進²⁾

1. はじめに

産総研地質情報研究部門では、このたび都市域の地質地盤図「千葉県北部地域」(柏～成田～船橋～千葉近辺)をウェブ公開しました。この地質地盤図は、産総研のボーリング調査に基づく最新の地質研究成果、及び千葉県が保有する1万地点以上の土木・建築工事のボーリング調査データに基づいて、地下数10 mまでの地質構造を立体図等で表示することができる3次元の地質地盤図です(第1図)。このような地質地盤図を公開するのは国内では初めてのことです。また、千葉県北部地域は、首都圏の地質を調査するうえでモデル地域として選定された場所であり、今後の首都圏の3次元地質情報整備において布石となる重要な地域です。このような重要な地域の地質情報整備を、今回、地元自治体の研究機関である千葉県環境研究センターの協力を得て実施しました。

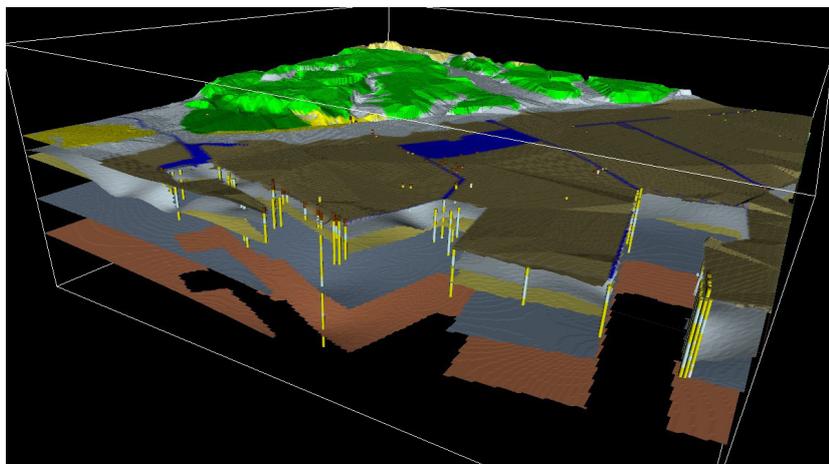
本稿では、3次元地質地盤図を作成するに至った経緯、また3次元地質地盤図を作成するにあたって、どのような調査を実施し、どのような手法で3次元モデルを構築したか、そしてそれによりどのようなことが明らかになっ

たのかを簡単に紹介したいと思います。

なお3次元地質地盤図は、産総研のウェブサイト(「都市域の地質地盤図」<https://gbank.gsj.jp/urbangeol/>)で2018年3月から公開されており、誰でも自由に無償で閲覧することができます。是非ご覧になってください。また、3次元地質地盤図の取り組みの経緯や調査・解析手法の概要については、中澤ほか(2016)にも解説がありますのでご参照ください。

2. 経緯

産総研地質調査総合センターは、最新の地質研究成果に基づき、日本全国の地質図を整備しています。しかし、一般的な地質図は2次元の地形図(平面図)に地層の分布を図示したものであるため、地表の地質は分かるものの、地下の地質構造はわかりにくいところがあります。山岳地域など起伏の大きい地域では、専門家であれば地質図(平面図)に示された地層の分布から地質構造を読み取ることができますが、都市部など地形が平坦な平野部ではそうはいきません。地質図(平面図)で地下の地質構造を読み取る



第1図 3次元地質地盤図の表示例。
習志野市付近の5 km メッシュ立体図。高さの強調は10倍。

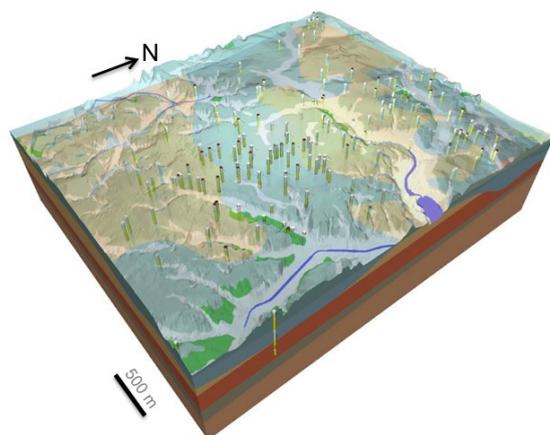
1) 産総研 地質調査総合センター 地質情報研究部門

2) 産総研 地質調査総合センター 研究戦略部

キーワード：3次元地質地盤図、関東平野、千葉、完新世、更新世、第四紀

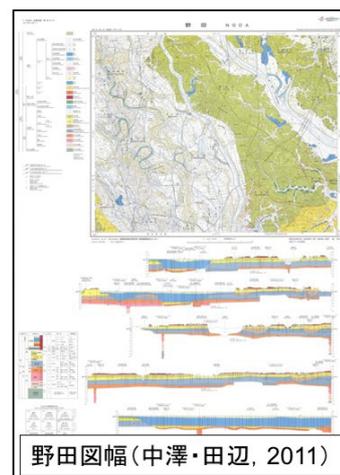
ウェブで公開する3次元地質地盤図

都市平野部の地下地質について、多様な表現が可能



紙で出版される2次元の地質図

地下地質の表現に限度がある



第2図 ウェブで公開する3次元地質地盤図の特長.

ことはもちろん、表現すること自体が困難でした。このため、平野部の地質図幅では他の地域よりも地下の地質構造が直接わかる地質断面図を多く掲載するなどの対応をしていましたが、この対応にも紙面の関係から限度がありました(第2図)。

そんな折り、2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震により、千葉県をはじめとする一部の沿岸域や河川沿いでは、地盤の液状化が発生しました。また、この地震による液状化などの被害の状況には地域差があり、各地域の地質構造が被害に大きな影響を及ぼしたことが明らかとなりました(千葉県環境研究センター、2011など)。また近年、しばしば工場などで使用された有害物質が地下へ漏洩し、地下の地質を汚染する問題が表面化しています。汚染物質を拡散させる地下水の流れを知るため、より詳しい地下の地質情報が地質汚染対策で求められるようになってきています(風岡ほか、2013など)。しかしこれまで、土木・建築工事などを目的とするボーリング調査のデータ集積は行われてきましたが、広域にわたる地下の地質構造を明らかにすることを目的とした調査・解析は充分には行われてきませんでした。そのため、都市部地下の地質構造に関する情報整備が強く求められていました。

そこで経済産業省は、2013年に策定した「第2期知的基盤整備計画」で、重点項目として都市平野部の地質情報の整備に取り組むことにしました。同年、それを受け産総研は、ボーリングデータを活用した都市平野部の地質情報整備に着手しました。その際、地下の表現が難しかった従来の紙ベースの2次元の地質図にかわって、ウェブでの

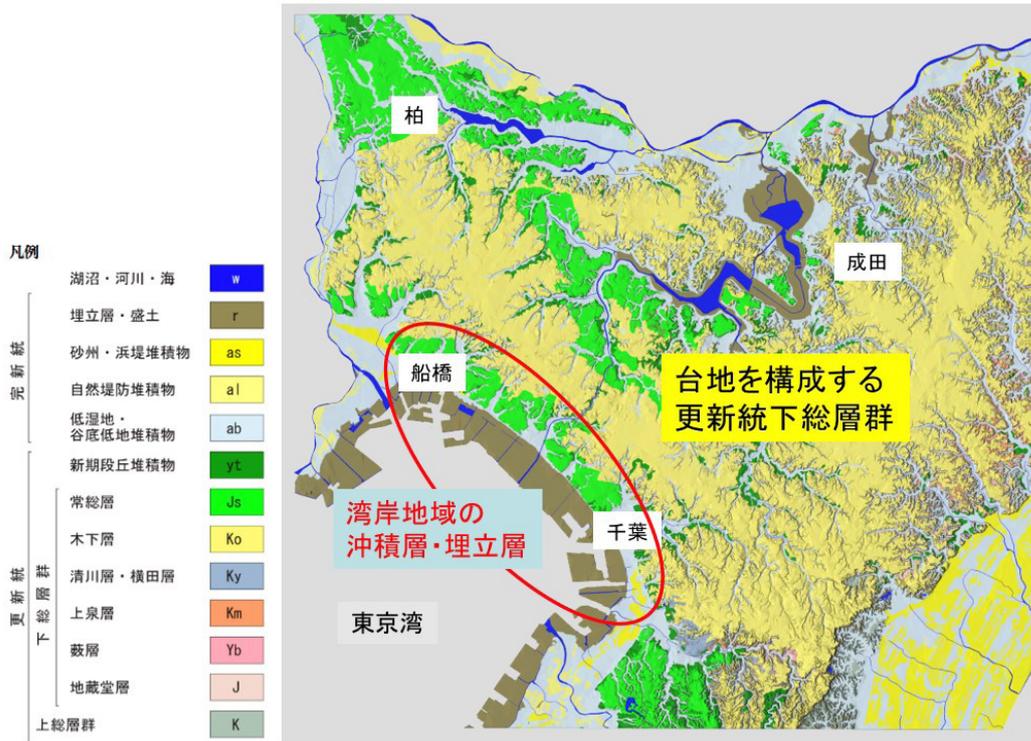
公開を前提とした3次元の地質地盤図を作成してはどうかと考えました。こちらのほうが地下の多様な表現ができるためです(第2図)。最近の情報技術の進歩により、それが実現可能であると判断しました。

3. モデル地域の設定

さて都市平野部の調査・解析に取り組むことにしたものの、3次元の地質情報整備は初めての試みです。そのため、まずはモデル地域を設定して、どのような地質情報整備が可能か、試行してみることにになりました。

モデル地域は、今後の首都圏の調査を効率的に展開するために、関東平野を形成する地層が典型的に分布している、千葉市や船橋市、柏市を含む千葉県北部地域を選定しました(第3図)。この地域には関東平野に広く発達する台地が典型的に分布します。台地を構成する更新統下総層群の各層の模式地は千葉県中部地域(多くは木更津市や袖ヶ浦市)に設定されていますが、模式地付近の下総層群は隆起により露頭で地層が観察されることもあり詳細な調査研究がされています(徳橋・遠藤、1984など)。しかしこれらの地層が地下に潜る千葉市以北でそれらがどのように追跡されるかはよく分かっていませんでした。つまり関東平野の地下の更新統を理解するには、模式地を起点として、まずは下総層群が地下に潜り始める千葉県北部地域から調査をスタートさせるのが最も効率的であると考えました。

また千葉県北部地域には東京湾岸地域及び河川沿いの低地に沖積層が分布します。湾岸地域ではそれを覆って埋立



第3図 モデル地域に設定した千葉県北部地域の地質。

層が分布します。この埋立層は2011年の東北地方太平洋沖地震の際に液化化し、建物やライフラインに深刻な被害を生じさせたことが知られています(千葉県環境研究センター, 2011)。液化化の調査では、工学的な解析もさることながら、まずは沖積層及び埋立層がどのような層相からなり、それがどのように分布しているかを知ることが必要です。千葉県北部の湾岸地域は、これらの地層が典型的に分布する地域であり、そしてまさに地盤災害を経験した地域です。

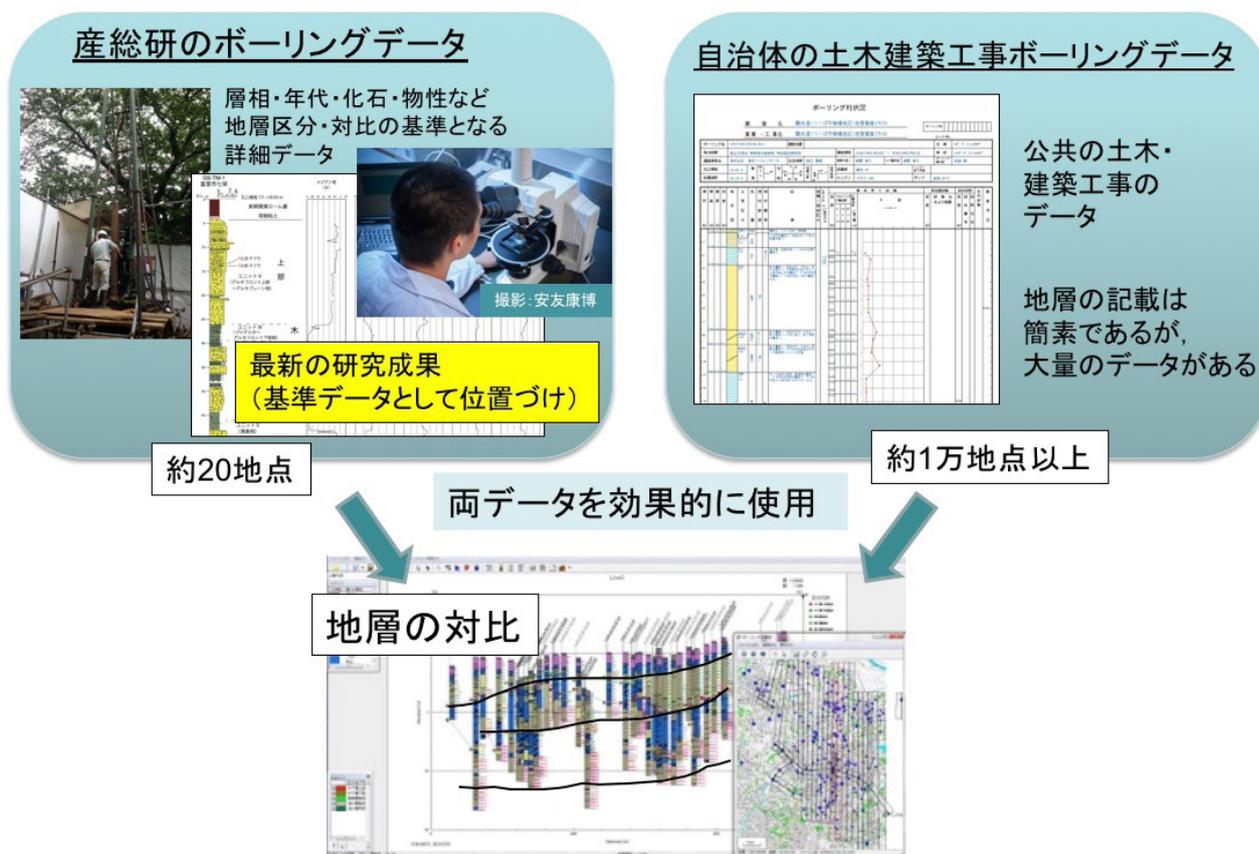
このようにモデル地域として選定した千葉県北部地域は、首都圏の地質情報整備を実施するうえで、知っておくべき地質要素が凝縮された地域であると言えます(第3図)。

4. 調査及びモデリングの手法

今回、地下地質構造の解析には、千葉県環境研究センターの協力を得て、千葉県が保有する土木・建築工事のボーリング調査データを活用させていただきました。また、産総研は要所で独自にボーリング調査を実施し、地質構造解析の基準となる詳細な地質データを取得しました。この両者のデータを効果的に使用し、有機的に結びつけることで、整合性のとれた信頼性の高い地下地質構造の解析

が可能となりました(第4図)。

具体的には、ちば情報マップで公開されている千葉県が保有する約1万地点以上の土木・建築工事のボーリング調査データ(千葉県地質環境インフォメーションバンク, 2018)を地質構造解析に活用させていただきました。土木・建築工事のボーリング調査データは地層の記載は簡素ですが、大量のデータがあることが大きなメリットとなります。また地層の固さ軟らかさの目安となる標準貫入試験の結果(N値)が付されていることも特徴です。一方、産総研は地質構造解析の基準となる地層区分を定めるため、約20地点で掘進長40~120m程度のボーリング調査を独自に行いました。これを私たちは基準ボーリング調査と呼んでいます。この調査ではそれぞれの地層の層相や堆積環境、年代を特定するとともに、工学分野への橋渡しのデータ取得としてPS検層も実施しました。基準ボーリング調査からは、地質構造解析の鍵となる最新の地質学的知見に基づいた高精度な地質情報が得られます。解析においては、産総研の基準ボーリング調査データを軸として、土木・建築工事のボーリング調査データに地層の対比を行うことで、信頼性を高めながら地層の境界面の深度を割り出していきました(第4図)。この地層対比作業は、実際にボーリングコア試料を観察している研究者により手作業で行いました。千葉県環境研究センターの研究者も分担し



第4図 利用したボーリング調査データとその対比。

てくございました。

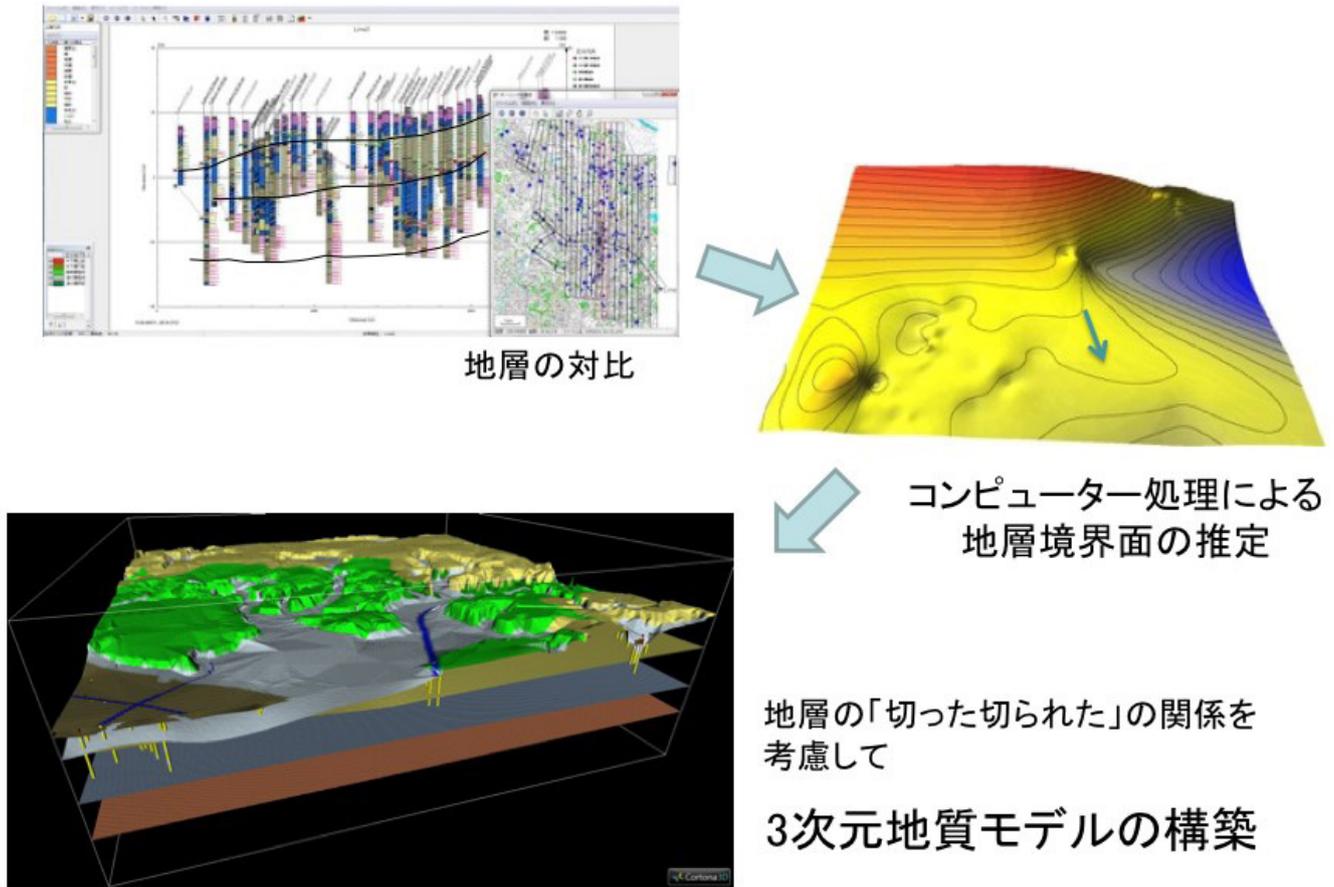
続いて、割り出した地層境界の深度や分布状況を基に、コンピューター解析によって3次元地質モデルを作成しました(第5図)。3次元地質モデルの作成ではまず、ボーリング調査データでの地層境界の深度情報を利用して、地層境界面の形状を推定します。この推定処理には、地層境界面が指定した深度よりも上または下を通るといった情報も利用することができる、独自の解析手法(野々垣ほか, 2008)を利用しました。ここでは下総層群の各層、及び沖積層、埋立層のそれぞれ基底の地層境界面を推定しました。そして、これら地層境界面を重ねることで3次元地質モデルを構築するわけですが、推定処理を終えた段階では、各地層境界面は推定した範囲全域に面の形状情報をもっています。しかしながら、関東平野をつくる地層は侵食と堆積の繰り返しによって形成されたものであるため、地層は他の地層を切ったり(削剥して上に重なったり)、あるいは切られたり(削剥されたり)して分布しています。つまり、必ずしも推定処理を行った範囲全域に、全ての地層境界面が分布するわけではありません。ここでは、この地層の「切った切られた」の関係を、地質層序研究により

明らかにされた地層の形成過程をもとに、数値モデル化(地質構造の論理モデル; 塩野ほか, 1998)し、この数値モデルと地層境界面の情報を組み合わせることで3次元地質モデルを作成しました。これにより、地下の地質構造を的確に解析できるようになり、さらには地層の3次元的な広がりやをパソコン画面上で立体図として表示できるようにもなりました(第5図)。

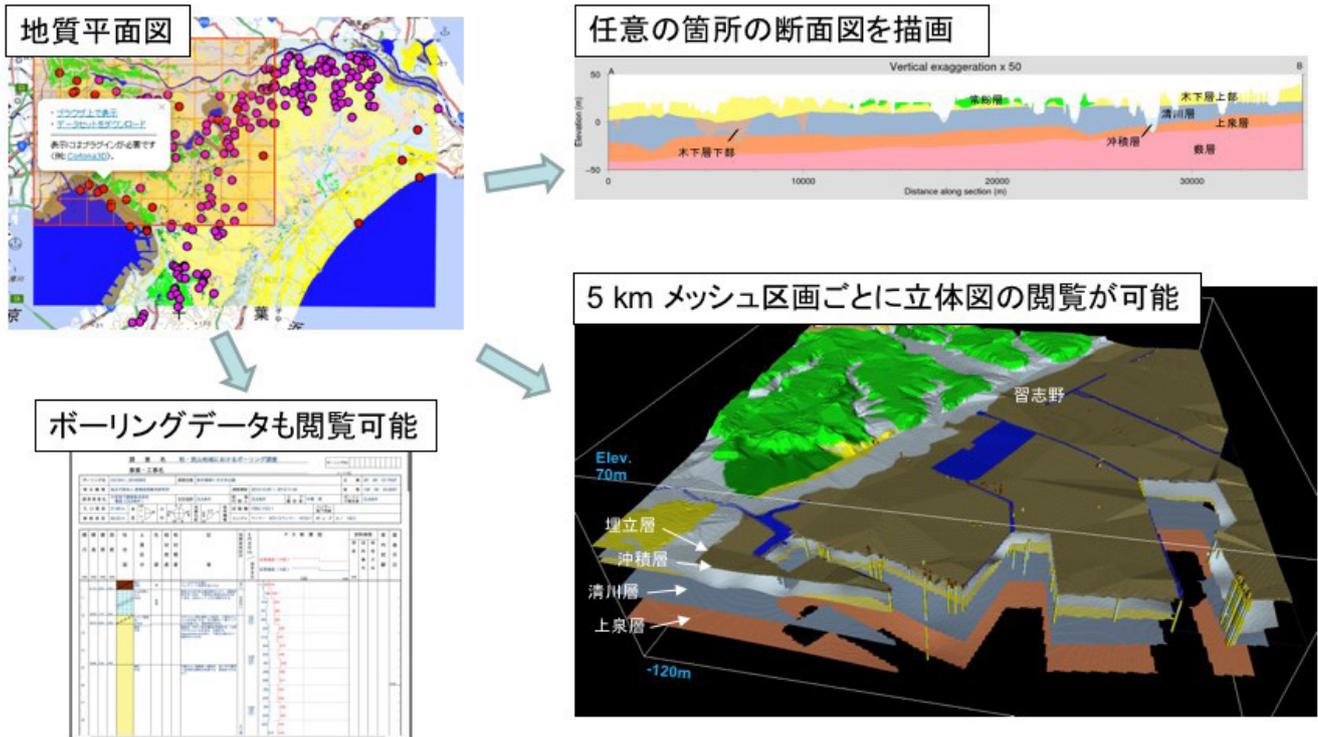
5. 閲覧可能な地質情報

現在地質地盤図ウェブサイトで公開しているのは、3次元的な立体図、任意箇所地質断面図、そして地質平面図と柱状図データで、ウェブサイトへアクセスすれば、誰でも自由に無料で閲覧できます(第6図)。

立体図データは、VRML形式であるためプラグイン(例えばCortona3D Viewer)が必要となりますが、一般的なウェブブラウザを用いて利用できます。千葉県北部地域全域の広域立体図のほか、より詳細な5 kmメッシュごとの立体図を地図上で選択して閲覧できるようになっています。5 kmメッシュの立体図には層相を色分けしたボーリン



第5図 3次元地質モデリングの手順.



第6図 3次元地質地盤図で提供される地質情報.

グ柱状図データを串刺し状に配置することにより、各層の層相及びその変化がだいたい分かるようにしています。

3次元モデルの数値データをもとに、従来の2次元地質図ではできなかった任意の箇所の地質断面図の表示も可能となりました。これにより見たい場所の地下を簡単に見ることができるようになりました。立体図よりもむしろこの任意箇所の地質断面図のほうが、地下の地質構造が分かりやすいことも多いと思います。また、通常の地質図(平面図)も作成しました。この地質図(平面図)も地形区分データと地下の3次元地質モデルからコンピュータ処理により描画したものです。地質図の基本的な縮尺は2万5000分の1で、ウェブ上のズームイン/ズームアウト機能により、興味のあるエリアを拡大して詳細に見ることができます。この地質図(平面図)をインデックスマップとして、立体図や地質断面図作成位置を指定できるようにしています。

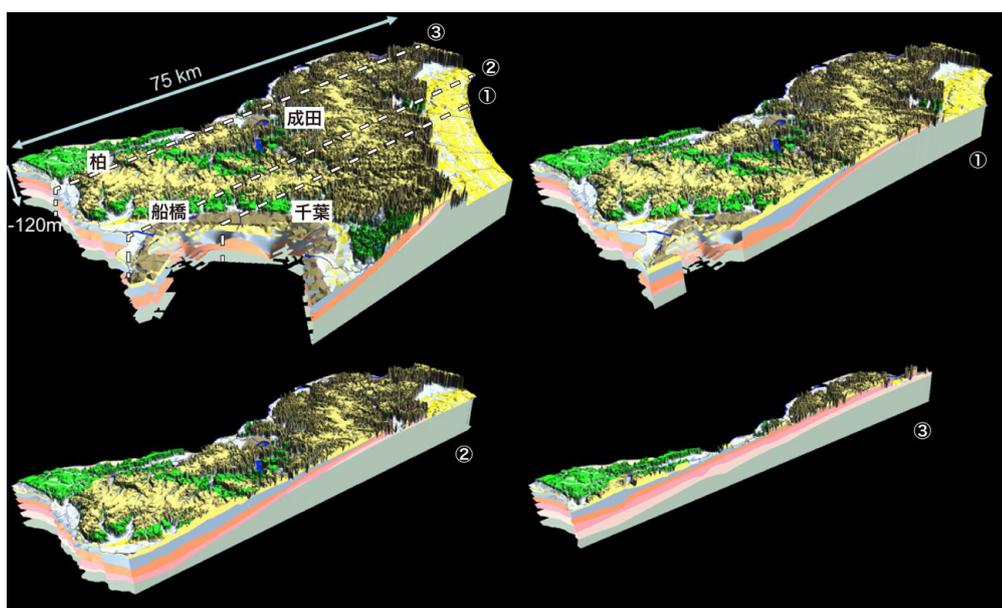
さらに3次元地質モデルの構築に使用した基準ボーリング調査データも閲覧できるようにしました。基準ボーリング調査データには柱状図で層相が表現されているほか、PS検層や密度検層データも示されています。2次利用がしやすいボーリング交換用XMLファイル(通称、JACIC様式のXMLファイル)もダウンロードできるようにしました。これら基準ボーリング調査のデータ地点も前述の地質図(平面図)上にプロットされており、地図上で選択して閲覧できるようにしています。

また調査地域の東部は隆起により下総層群が露頭で観察可能なため、従来から詳細な層序研究がなされていま

す。地質地盤図では中里・佐藤(2016)にまとめられたこの地域の露頭柱状図も閲覧できるようにしています。これらの露頭柱状図は層序研究で得られたデータですので、基準ボーリング調査データに準ずる信頼できるデータとしてモデリングにも使用しています。

6. 3次元地質地盤図作成で明らかになった千葉県北部地域の地質

以上のような地質地盤図作成のための一連の調査・解析により、千葉県北部地域の地下数10mまでの地質の詳細が分かってきました(納谷ほか, 2018)。千葉市以北ではこれまで層序データに基づく地層の対比が充分に行われていなかったことから、更新統下総層群の各層がどの深度にどのように分布するかはっきりとは分かっていませんでした。そのため産総研の基準ボーリング調査では、まずこの地域の下総層群の層序を明らかにすることに重点を置きました。その結果、下総層群特有の堆積サイクルの認識と鍵層となるテフラの検出を各所で行うことができ、模式層序(徳橋・遠藤, 1984)に倣った地層の区分を千葉県北部地域の地下でも行うことができるようになりました。この基準ボーリング調査の結果をもとに既存のボーリング調査データについて地層の対比を行い、3次元地質モデリングを実施することで、今回、下総層群の地層が千葉県東部あるいは北東部から西部の東京湾に向かって累積的に傾動し、東京湾側で地層が厚くなる様子を明確に示すことができました(第7図; 納谷ほか, 2018)。従来からこの地域



第7図 更新統下総層群のスライスモデル。太平洋側が隆起し、東京湾側が沈降する地質構造が明確に示された。

では、既存の深井戸や土木・建築工事のボーリングデータをもとに、東京湾側が沈降し、太平洋側が隆起する地質構造がおおよそ推定されていました。しかし、きちんとした地質学的根拠、すなわち基準ボーリング調査によって得られた地質層序データを軸にその地質構造が示されたのは初めてのことです。また下総層群の調査・解析では、一般的に良好な地盤とされる台地の地下にも軟弱な泥層が谷埋め状に分布していることも明らかになりました(Nakazawa et al., 2017)。

東京湾岸地域の地下に分布する、約2万年前以降に形成された軟弱な地層(沖積層)や埋立層の分布状況も以前に比べかなり詳細に明らかになってきました(第8図; 小松原ほか, 2017)。特に東京湾岸地域には小規模な谷地形と波食台状の侵食地形が入り組んで埋没して分布していること、そして谷の部分には軟らかい沖積層の泥層が厚く分布することが明らかになりました。また、この地域の埋立層は沖合の底質の堆積物を浚渫したものであるため、自然の地層(沖積層)との区別が難しいのですが、詳細なコア観察をもとに埋立層と沖積層との判別のポイントを明らかにし、両者を的確に区分することができるようになりました(小松原ほか, 2017)。また3次元地質モデリングによりその広がりも明らかにすることができました。

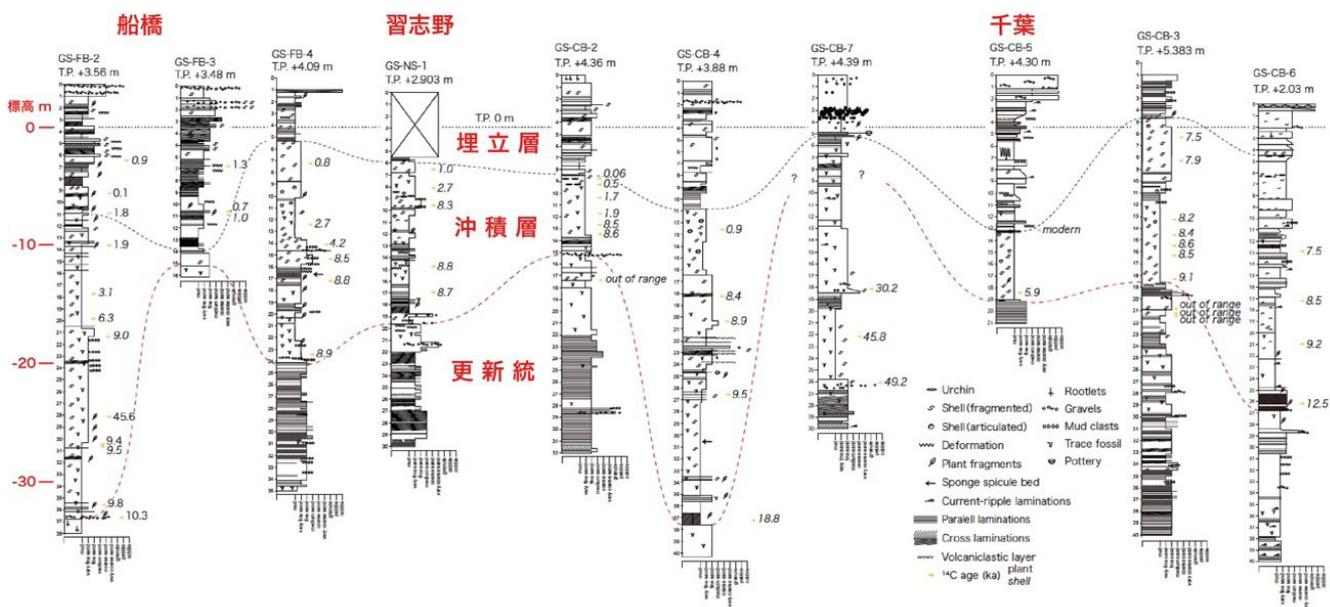
このような詳細な地層の分布状況は、地震の揺れの大きさや液化発生予測をはじめとして、地下水流動の理解に基づく地質汚染対策、都市のインフラ整備や産業立地計画の立案、不動産取引などへも活用されることが期待されます。

また、一般の方々には、3次元地質地盤図を利用して住んでいる場所の地下の地質構造について理解を深めることで、防災・減災への意識向上にもつながると期待します。

7. 今後の予定

今回、千葉県北部地域の3次元地質地盤図を、当初からの目標であった2017年度内にどうにか公開することができました。今後は、まず3年後を目処に、東京都23区の3次元地質地盤図の完成を目指します。東京都23区の3次元地質地盤図は東京都土木技術支援・人材育成センターとの共同研究として実施しています。その後は神奈川県・埼玉県に範囲を広げ、首都圏の広域のシームレスな3次元地質情報を整備することを考えています。首都圏での生活や産業の基盤となる防災・減災等に貢献していければと思っています。

謝辞: 千葉県北部地域の3次元地質地盤図は、本稿著者のほか、地質情報研究部門の納谷友規、小松原純子、宮地良典の各氏、農研機構の中里裕臣氏、そして共同研究を実施した千葉県環境研究センターの風岡 修氏、潮崎翔一氏ほか、多くの方々のご尽力により作成されました。また、地質調査総合センター研究企画室及び地質情報研究部門幹部の皆様には、本課題の立案から、実際の調査・解析、そして成果の公表に至るまで、さまざまな場面でご支援頂きました。校閲において副編集委員長の中島 礼氏から頂いた



第8図 湾岸低地の沖積層と埋立層。
小松原ほか(2017)を一部改変。

た的確なコメントにより、原稿が改善されました。皆様
深く感謝いたします。

文 献

- 千葉県地質環境インフォメーションバンク (2018) 地質
柱状図。ちば情報マップ, <http://map.pref.chiba.lg.jp>
(2018年1月16日 確認)。
- 千葉県環境研究センター (2011) 千葉県内の液状化—流動化現象とその被害の概要及び詳細分布調査結果(第
4報): 浦安地区でみられた液状化—流動化現象の詳細分布・地震のゆれ方と液状化—流動化現象との関係・
千葉市美浜区での人工地層および沖積層の概略的な3次元分布と液状化—流動化現象の分布の概要(2011
年12月28日公表)。千葉県環境研究センター調査研究報告, 第G-8号, 4-1-4-69。
- 風岡 修・吉田 剛・藤ヶ崎 稔・清水健一・長根山皓介・
鈴木博也・楠田 隆・酒井 豊・楡井 久 (2013)
下総台地中央部の更新統の透水層構造と地下水質の概
要—印西市~八千代市について—。第23回環境地質
学シンポジウム論文集, 地質汚染—医療地質—社会地
質学会, 69-74。
- 小松原純子・宮地良典・中澤 努・中島 礼・風岡 修・
吉田 剛 (2017) 千葉県東京湾岸部で掘削した沖積
層基準ボーリング試料の対比と層序。地質調査総合セ
ンター速報, no. 74, 31-37。
- 中里裕臣・佐藤弘幸 (2016) 千葉県北部地域の下総
層群の層序。地質調査総合センター速報, no. 71,
55-78。
- 中澤 努・田辺 晋 (2011) 野田地域の地質。地域地質
研究報告(5万分の1地質図幅), 産総研地質調査総
合センター, 72p。
- 中澤 努・野々垣進・宮地良典 (2016) 都市域の3次
元地質地盤図—都市平野部の新たな地質情報整備—。
シンセシオロジー, 9, 73-85。
- Nakazawa, T., Sakata K., Hongo, M. and Nakazato, H.
(2017) Transition from incised valley to barrier
island systems during MIS 5e in the northern
Chiba area, Kanto Plain, central Japan. *Quaternary
International*, 456, 85-101。
- 納谷友規・野々垣 進・小松原純子・宮地良典・中澤 努・
風岡 修・潮崎翔一・香川 淳・吉田 剛・加藤晶子・
八武崎寿史・荻津 達・中里裕臣 (2018) 都市域の
地質地盤図「千葉県北部地域」(説明書)。産総研地質
調査総合センター, 55p。
- 野々垣 進・升本眞二・塩野清治 (2008) 3次B-スプ
ラインを用いた地層境界面の推定。情報地質, 19,
61-77。
- 産業技術総合研究所地質調査総合センター (2018) 都
市域の地質地盤図, <https://gbank.gsj.jp/urbangeol/>
(2018年5月17日確認)。
- 塩野清治・升本眞二・坂本正徳 (1998) 地層の3次元
分布の特性と地質図作成アルゴリズム—地質構造の
論理モデル—。情報地質, 9, 121-134。
- 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。

NAKAZAWA Tsutomu and NONOGAKI Susumu (2018)
Release of the Urban Geological Map of the northern
area of Chiba Prefecture: Development of 3D geoinfor-
mation in the metropolitan area.

(受付: 2018年5月11日)