

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 —

中澤 努*、野々垣 進、宮地 良典

都市域の地質地盤情報のニーズは高いが、地形が平坦な都市平野部では従来の紙ベースの地質図では地下の地質情報の表現に限度がある。信頼性を確保しながら地下地質をわかりやすく表現し、さらにはデータの2次利用を容易にする方策を検討した結果、インターネットを通して利用する3次元地質地盤図を構築するに至った。3次元地質モデルは、信頼のおけるボーリングデータを基準にし、高度なモデリング技術を駆使して構築する。地質災害リスク評価等に資する都市域の新たな地質情報整備として展開するために、現在、千葉県北部をモデル地域に設定してプロトタイプ作成を試みている。

キーワード：地質情報、3次元地質モデル、ボーリングデータ、地下地質、地質図

Three-dimensional urban geological map

– New style of geoinformation in an urban area –

Tsutomu NAKAZAWA*, Susumu NONOGAKI and Yoshinori MIYACHI

Although geoinformation pertaining to urban areas is very important, paper-based geological maps do not adequately describe the subsurface geological conditions of urbanized plains. A three-dimensional geological map, available via the Internet, is expected to provide intelligible, highly reliable, and easily utilizable geoinformation for urban areas. In this case, a three-dimensional geological model needs to be constructed on the basis of reliable borehole data using an advanced modeling tool. We are now developing a prototype of a three-dimensional geological map of the northern part of Chiba Prefecture as a new form of urban geoinformation which contributes to estimating the risk of geological disasters.

Keywords: Geoinformation, three-dimensional geological model, borehole data, subsurface geology, geological map

1 はじめに

2011年東北地方太平洋沖地震では深刻な津波被害のほか、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社会問題となった^[1]。また、この地震では、地震規模の割に揺れによる家屋の倒壊被害は多くはなかったが、東北・関東地方で屋根瓦が落ちる被害は極めて多く、つくば・土浦地域における研究によれば、その被害分布は特徴的であった^[2]。このような地震被害の分布およびその程度は、地震そのものの震源位置、大きさ、卓越周波数等の地震波の特徴もさることながら、それぞれの地域の地質・地盤に影響される部分も大きい。このような認識はマスコミを通じて一般市民まである程度浸透し、一般市民の地質・地盤への関心は以前にも増して高まっているといえる。また、土木・建築工事の際には地質調査が必須であるが、その地域の地質・地盤がどのようなもので

あるか事前に情報を得ることができれば、地質調査計画の立案・積算が容易になり、ひいては実際の施工までをスムーズに行うことができるようになる。しかし、都市平野部の地下の地質状況を知る手段は現状では十分とはいえない。

このような状況を踏まえ、経済産業省の知的基盤の第2期整備計画（平成25年）では、重点化項目としてボーリングデータの一元化による都市平野部の地質情報整備に取り組むとした。これに先立つ知的基盤整備特別委員会では「ユーザーの視点に立った、わかりやすく使いやすい、新たな知的基盤の利用のあり方」が検討され、知的基盤整備計画では2次利用^[3]を念頭においた地質情報整備を進めることが掲げられた。産総研はこれに基づき、産総研が独自に実施したボーリング調査のデータを基準とし、自治体等が公開する公共工事等のボーリングデータを用いて地層の広域な対比を行い、コンピュータ処理により地層の

産業技術総合研究所 地質情報研究部門 〒305-8567 つくば市東 1-1-1 中央第7
Research Institute of Geology and Geoinformation, AIST Tsukuba Central 7, 1-1-1 Higashi, Tsukuba 305-8567, Japan * E-mail: t-nakazawa@aist.go.jp

Original manuscript received August 31, 2015, Revisions received October 22, 2015, Accepted October 26, 2015

3次元分布形態を解析する研究を都市平野部で実施している。また、そのようにして作成した3次元地質モデルを誰しもがウェブを用いて容易に閲覧・利用できる方法を検討するとともに、3次元解析に使用した元データであるボーリングデータを併せて閲覧・利用できるシステムの構築を検討している。この論文ではこのような都市平野部の地質情報整備の取り組みについて紹介する。

2 現状認識

近年、地質情報が重要だと認識から、公共の土木建築工事で実施したボーリング調査のデータがデータベース化されウェブ上で公開されるようになってきた。東京都^[3]や千葉県^[4]はかなり早い時期からボーリングデータを公開し、国土交通省でも国の事業のボーリングデータを公開するようになった^[5]。またそれらを一括して閲覧できるポータルサイトも防災科学技術研究所により構築された^[6]。さらに最近の政府の電子行政オープンデータ戦略に伴い、他の自治体でもボーリングデータを公開していく気運が高まっているといえる。しかし、これまでに整備されてきたこれらのボーリングデータベースは、ボーリングデータが格納されているのみであり（それだけでも我々には十分有り難いが）、それらを基に地層の対比や地層の分布形態、地質構造等、きちんとした地質学的な解釈をわかりやすく示したケースはない。

ボーリングデータはあくまで地点データであり、空間的に分布する地層の一端を示しているにすぎない。多数のボーリングデータを基に地層の分布形態（空間分布）を示すことで初めて都市平野部の地質が理解されるであろうが、そのような地質の解釈は高度な専門性を有する者でないと難しく、また地層の対比の根拠となる基準データの整備も必要となる。産総研が出版する5万分の1地質図幅はまさに地質の専門家の調査研究結果に基づく地層の対比や地層の分布形態、地質構造等を示したものであるが、都市平野部の地質図幅の場合、地形が平坦であるため、地下の地質情報を平面図で表現することには限度があった。そのため山地・丘陵部の地質図幅よりも地質断面図を多く作成し掲載するなどの対応してきたが（図1）^{[7]-[9]}、従来の紙ベースの出版の場合、これにも限度があった。また、解釈の基礎データであるボーリングデータの掲載は紙面の関係上あるいは公開許可の関係上から主要なものに限られており、これも十分とはいえない。信頼性の高い地下の地質構造の解釈をわかりやすく提示するとともに、その解釈の基となるボーリングデータも閲覧・利用可能にすることが、研究の再現性の確保、そしてデータの2次利用促進の意味でも必要といえる。

最近ではコンピュータ処理技術が進み、また各種情報のインターネットを通じた配信も容易になり、一般市民のインターネット利用環境も日々拡充しつつある。ウェブでの配信を前提とするならば、都市平野部の地下地質構造の表現に自由度が高まり、必要に応じて3次元表示することも可能と考えられる。時代に即した形態での地質情報の整備が求められているといえるであろう。

3 3次元地質地盤図整備のシナリオと要素技術

上述の現状認識を考慮し、我々は、わかりやすく、使いやすく、そしてなによりも信頼性の高い都市域の地質情報整備として、ウェブでの配信を前提とした「3次元地質地盤図」の検討を始めた（図2）。地質の研究に携わる我々が独自に実施したボーリング調査のデータを基準とし、自治体等が公開する公共工事等のボーリングデータを用いて地層の広域な対比を行い、コンピュータ処理により地層の3次元分布形態を解析する。また、そのようにして作成した3次元地質モデルをだれしもがウェブを用いて容易に閲覧できる方法を検討するとともに、3次元解析に使用した元

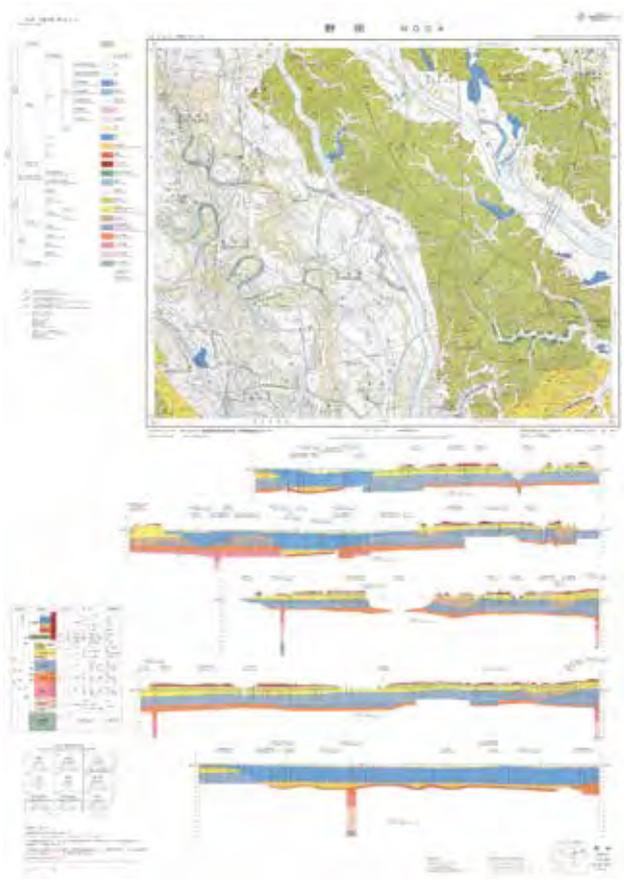


図1 従来のスタイルの都市平野部の地質情報5万分の1地質図幅「野田」。都市平野部は地形が平坦なため、平面図で表現できる地質情報は少ない。この地質図幅では地質断面図を多く掲載しているものの、紙での出版のためこれも限度がある。

データであるボーリングデータも併せて閲覧・利用できるシステムを構築する。これにより、わかりやすく、使いやすく、信頼性の高い地質情報整備が可能と考えた。このような都市平野部の地質情報整備のシナリオ（図3）は、主に次の6つの要素技術によって構成される。すなわち、自治体等の公共工事のボーリングデータの利用、基準ボーリング調査、地層の対比、地形分類、3次元モデリング技術、データ管理・表示技術である。我々のグループでは、地質情報のユーザビリティと信頼性を考慮し、これら6つの要素技術の統合を進めている。以下にそれぞれの要素技術について解説する。

なお、この論文で使用する「地質」と「地盤」はほぼ同一の意味として使用されることも多いが、一般的には同じ地層を扱いながらも「地質」は理学的、「地盤」は工学的な扱いをする場合に使用する傾向がある。今回紹介する都市平野部の地質情報整備は、従来のような地質学的解析だけでなく、標準貫入試験や弾性波速度等、工学分野でよく利用されるデータも扱うことから、両者を並記して「(3次元)地質地盤図」と呼んでいる。

3.1 自治体等が所有する公共工事等のボーリングデータの利用

自治体は管轄する地域内の土木建築工事等の公共工事の際に地質調査を実施する。その地質調査の主たる手法はボーリング調査である。実施するボーリング調査は通常、各自治体が地質調査業務共通仕様書等により定めた標準貫入試験を主体とするボーリング調査であり（表1）、その結果はJACIC様式のボーリング柱状図^[10]で記載される。標準貫入試験を実施する場合、採取できる試料が未攪乱のオールコア試料ではないこと、そして多くの場合、記載

表1 基準ボーリングデータと公共工事のボーリングデータの比較

	基準ボーリングデータ	公共工事のボーリングデータ
目的	学術研究 リファレンスデータ整備	土木・建築工事の基礎調査
項目	地質学データ+工学データ 堆積相 年代値 火山灰層 化石 粒度 速度検層などの物性データ など	工学データ 岩石・土質区分 観察記事 標準貫入試験データ 孔内水位 など
掘削深度	40~120 m 程度	10~60 m 程度
特徴	調査地点数は多くないが、 地層の対比のリファレンス となる高精度な情報	標準貫入試験データが中心で、 地層の記載は簡素であるが、 過去の膨大なデータの蓄積がある

者が地質の技術者ではなく、土木の技術者あるいは現場のボーリングオペレータであることから、地層の記載は簡素である。なお、土木建築工事のボーリング調査は、基本的に構造物の支持基盤となる地層の深度が確認された時点で掘削を終了する。その深度は地質状況によってまちまちであるが、10 m から数十 m であることが多い。そのためほとんどの工事のボーリングデータは深度数十 m 程度までである。

近年、土木・建築工事の大量のボーリングデータは、前述のように国・自治体等により蓄積され、電子データとしてデータベース整備されるようになってきた。現在、デファクトスタンダードになっている電子データ形式は、国土交通省が定める電子納品のボーリング交換用データ形式^[11]、いわゆるJACIC様式XMLである。これは前述の標準貫入試験データを含むJACIC様式ボーリング柱状図フォーマット



図2 都市域の3次元地質地盤図の概要

トをXML形式にしたものである。都道府県および主要都市の自治体に地質調査業務の報告書として電子納品されるボーリングデータもこの形式であるため、このファイル形式に統一したデータベースであれば、電子納品されるボーリングデータをそのままデータベースに順次格納できるというメリットがある。そのため最近はこのJACIC様式XML形式のボーリングデータを格納したデータベースが整備されることも多くなったが、現状では、さまざまなデータ形式のデータベースが存在する。2次利用を容易にするためには、他形式のデータはJACIC様式XML形式に変換してデータベース化することが望ましい。いずれにせよボーリングデータの整備と我々が実施する地質構造解析へのボーリングデータの利用については、自治体の地質情報整備に対する理解と協力が必要である。また、自治体のボーリングデータの管理および標準形式への変換等については、必要に応じて産総研から技術支援できるようにすることが重要であろう。

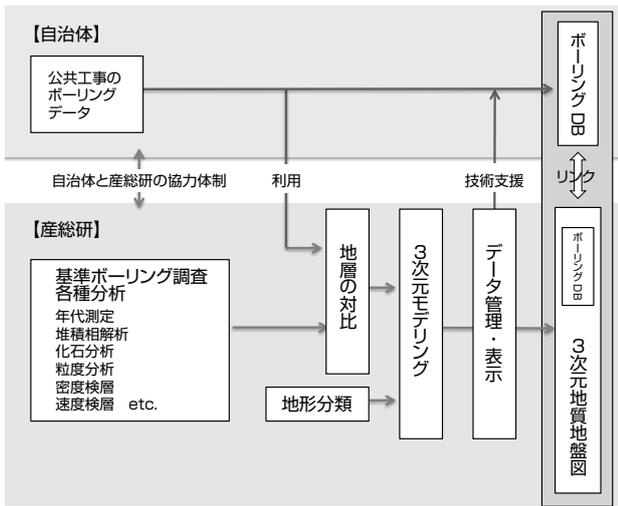


図3 都市域の3次元地質地盤図作成のシナリオ

3.2 基準ボーリング調査

公共工事のボーリングデータは自治体によっては過去の蓄積により膨大な量が集積され、地質情報整備において大きなメリットとなるが、一方でこのようなデータは前述のように工学データ（標準貫入試験データ）の提示が主たる目的であるため、広域の地層の対比の根拠となる火山灰層や年代値データ等は通常含まれない（表1）。また地層の記載は至って簡素であり、通常我々地質の専門家が記載する堆積構造や化石の産状、詳細な粒度変化等は記載されていない。そのようなボーリングデータは、工事の施工対象となるごく狭い敷地内の地層の対比であれば問題ないであろうが、都道府県レベルの範囲に及ぶ広域の地層の対比・追跡は困難であることが多い。これは地層の広域対比が、土木建築工事のボーリングデータ形式が持つ本来の使用用途を超えた作業であるから仕方ないことである。

このようなボーリングデータであるが、模式的に地層が分布すると思われる箇所で産総研が独自にボーリング調査を行い、その調査を基に地層を的確に区分し、それぞれの地層の特徴を的確に提示できれば、それが基準データとなり、近傍の土木建築工事ボーリングデータでの地層の対比が容易になる。このようなリファレンスデータ（図4）を我々は「基準ボーリングデータ」と呼んでいる。

通常の土木建築工事のボーリング調査では標準貫入試験を実施することからコア試料は採取しないかあるいは採取しても一部分だけのことが多いが、それでは垂直方向の地層の連続的な変化を把握することは難しい。基準ボーリング調査では、掘削する全深度の地層を直径10cm弱の円筒状のコア試料としてくり抜いて採取する、いわゆるオールコアボーリングを実施している。調査深度については、前述のように土木建築工事のボーリングデータは数十m程度までのことが多いが、基準ボーリング調査ではそれらを

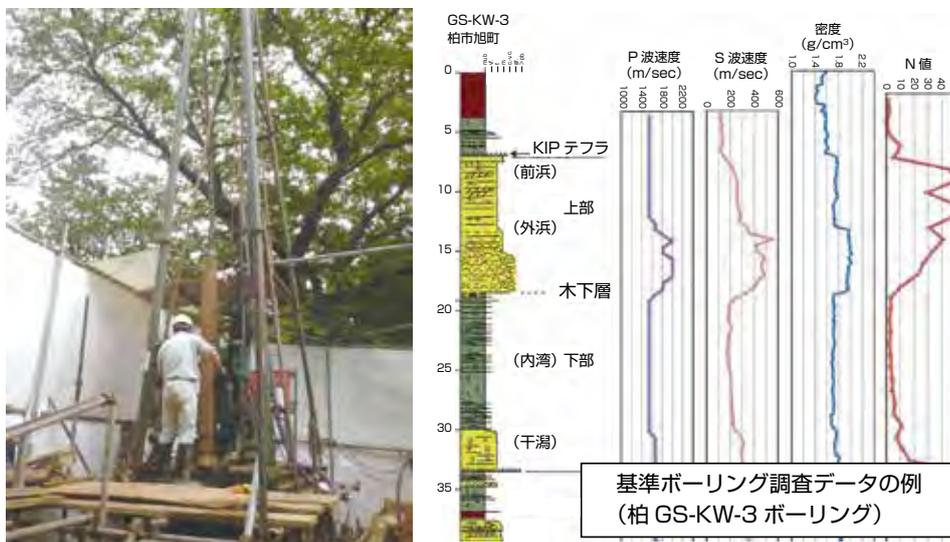


図4 ボーリング調査と基準ボーリングデータ
独自のボーリング調査により、既存ボーリングデータの対比指標となる基準ボーリングデータを整備する。

完全にカバーする意味で、それらよりやや深い深度 100 m 程度までを対象としている。

採取した円筒状のコア試料は縦方向に半割にし、堆積構造、化石の産状、火山灰層等の記載を行うとともに、コア試料から粒度分析、年代測定、含まれる化石から環境解析等を行う（表 1）。また、掘削した孔を利用して孔内検層を実施する。各地層の地震波伝播速度（P 波および S 波）を測定する PS 検層やガンマ線を用いて地層の密度を計測する密度検層を実施する（表 1）。このような調査を基に、層序学的用語²・堆積学的用語³に地層を適切に区分し、それぞれの地層の特徴、年代等を地層の対比基準として提示する。このような地層の研究に基づく信頼性の高い基準データ整備は、同じく都市域の地質地盤情報整備を担う他の機関で実施した例は極めて少なく、地質の専門家の集団である産総研地質調査総合センターでこそできる取り組みである。

3.3 地層の対比

基準ボーリングデータを整備した後は、そのデータを軸として既存ボーリングデータへの地層の対比作業を行う。これにより地層の広がり把握する。前述のように既存ボーリングデータは膨大な数が蓄積され、それが大きなメリットであるが、基準ボーリングデータと比べると記載が簡素で、さらに記載の個人差も大きい。地層の対比作業においては、既存ボーリングデータに記載されている層相、含有化石、標準貫入試験データ等を、基準ボーリングデータと比較しながら一つずつ確認して地層の特徴を理解し、地層の境界面を追跡していく。基準ボーリングデータと既存ボーリングデータは、言わばハブとサテライトの関係にあり、両データを適切に利用していくことで、提供する地質地盤情報の信頼性を高めることができる。

ボーリングデータの対比作業は、地層の観察に慣れ、地層の特徴を的確に把握することができる研究者・技術者が行う必要がある。実際の対比作業は、産総研が開発したボーリングデータ解析ツール¹²⁾を用いてコンピュータの画面上にボーリング柱状図を並べ、手作業で実施している。この解析ツールは、対比した地層境界のそれぞれのボーリング地点での位置情報（緯度・経度・標高）をリストとして出力できるようになっている。この位置情報リストを 3 次元モデリングの基礎データとして利用している。

3.4 地形分類

地形は堆積物の形成プロセスおよびその分布を反映したものである。そのため表層部（最上部）の地層については、点データであるボーリングや露頭のデータのみで分布形態を判断するよりも、ボーリングデータ等で地層の特徴を把握したうえで、地形からその地層の分布を把握するほうが、

より正確な分布形態を知ることができる。地形は、国土地理院から提供されている地形図、数値標高モデル（Digital Elevation Model: DEM）、空中写真等を使用して、標高分布およびその形状を基に判読し分類する。また、旧版地形図や昔の空中写真を現在のものと比較することで、埋立地の分布や台地・丘陵部の造成地の切り盛りを知ることができる。例えば旧版地形図は明治期に作成された迅速測図¹³⁾が、また空中写真は戦後すぐに米軍が撮影したもの¹⁴⁾が公開されており、地形分類の際によく使用される。地形判読結果は地形分類図として地図上に彩色により図示する。

3.5 3次元モデリング技術

3次元地質モデルは、地下の地質情報と地表の地形情報とを統合することにより作成する。地下については、前述のように多数のボーリングデータ間の地層の対比を行い、各地点の地層境界の標高情報から地層境界面を推定することにより地下の 3次元モデル（3次元地下地質モデル）を構築する。地表については、地形図、数値標高モデル、空中写真等を基に地形分類図を作成する。最終的に、3次元地下地質モデルと地形分類のそれぞれが持つカテゴリーを統合することにより、3次元地質地盤図のベースとなる 3次元地質モデルを得る（図 5）。

地質構造の 3次元モデリング技術には、大きく分けて二つの手法がある。一つは、地質図幅作成と同様、地質の専門家が野外調査の結果を基に、手作業を主体としてモデルを構築する方法である。もう一つは、人間が関与する処理をできる限り省き、コンピュータ処理を主体としてモデルを構築する手法である。手作業主体の手法では、専門家の持つ知識や経験を反映しやすく、複雑な地質構造も表現しやすい。その反面、同じ調査結果を用いる場合でも作成者によって全く異なる 3次元モデルとなることがある、モデルの修正時には一からモデルを再構築する必要があるなどの難点がある。一方、コンピュータ処理主体の手法では、処理アルゴリズムで対応している地質構造しか表現できないものの、同じ調査結果からは誰でも常に同じ 3次元モデルを得られるうえ、データの追加等の際にも即座に 3次元モデルを修正・再構築できる。一つのモデリング手法を共通基盤として、地質の専門家が新たに取得した調査データを持ち寄り、3次元モデルを随時修正・再構築すれば、専門家間の認識の共有を促すことにもなるだろう。3次元モデルによる地質情報の普及や 2次利用を考えた場合、単に地質構造をわかりやすく見せるだけでなく、モデルの再現性や更新性を確保できることが望ましい。そこで、この研究では、コンピュータ処理を主体とする手法を用いた 3次元モデリングを行う。

コンピュータ処理により 3次元モデリングを行う場合、3

次元モデルは、地質構造の論理モデル^[15]と地層境界面の形状とを用いて、仮想的に構築する。地層境界面の形状は、標高値を等間隔格子状に並べたデータセットである数値標高モデルにより表現する。地下深部を主な対象とする資源開発分野等の3次元モデリングでは、調査コストの問題から、対象とする地質構造の規模に比べて基礎データの量が乏しく、目的の地層が存在する可能性が少しでも高い場所を特定することが重要となるため、確率論的手法を用いて地層境界面のDEMを作成することが多い。一方、都市平野部における地下浅部3次元モデリングでは、既存ボーリングデータを詳細に解析することにより、地層境界に関する大量の標高情報が得られるため、これらを満たす面の形状をいかに精度良く求めるかが重要となる。そこで、地層境界面のDEM作成に、最適化原理とスプライン^[16]に基づく曲面推定法を用いる^[16]。この手法は、与えられたデータを満足する曲面の中で、最も滑らかなものを求めるという手法である。利用可能なデータは、地層境界の標高情報および地質学特有の走向・傾斜情報である。標高情報はボーリングデータの解析結果等から、走向・傾斜情報は地表踏査等から得る。標高情報については、地層境界面を観察できた地点の標高値そのものだけでなく、「面はここよりも下位または上位を通る」といった面の上限または下限を示す情報も利用できる。このような特徴は、ボーリングデータの掘削深度が目的の地層境界に達していない場合や、ボーリングコアの一部が欠如して地層境界の位置を明確に指定できない場合などに役立つ。本手法では、面

の滑らかさと推定精度を調節しながらDEMを作成する。DEMは機械判読に適したASCII形式で保存することにより、地層境界面を利用する各種解析へ2次利用することも容易である。

3.6 データ管理・表示技術

3次元地質モデルを広く一般に利用してもらうには、誰もが簡単に3次元地質モデルを閲覧できる環境を整備することが望ましい。そこで、主にマウス操作だけにより3次元地質モデルを閲覧できるウェブシステムを開発する(図6)。3次元地質モデルの信頼性確保という観点から、3次元地質モデルの構築に利用したボーリングデータも閲覧・検索できるようにする。システムは、今後も柔軟にその改良を行えるように、フリーオープンソースソフトウェアにより構成されているので、一般的なウェブブラウザを通して利用できる利点もある。3次元地質モデルは、紙媒体の地質図幅に馴染みのある研究者や技術者はもちろん、一般の利用者も利用しやすいように、平面図・断面図・立体図という3つの形式で提供する。平面図の表示では、昨今インターネットを通じた地図サービス等で普及しているタイル化画像を用いた高速地図表示技術を利用し、ズームイン/ズームアウトおよび移動をマウス操作で行えるように利便性を図る。断面図の表示では、利用者が平面図上でマウスクリックした任意の2点間における鉛直地質断面図を表示できるようにする。立体図の表示では、3次元地質モデルデータのファイルサイズの都合上、全域モデルのウェブ配信が難しいため、全域を格子状に分割した小領域ごとのモデルを

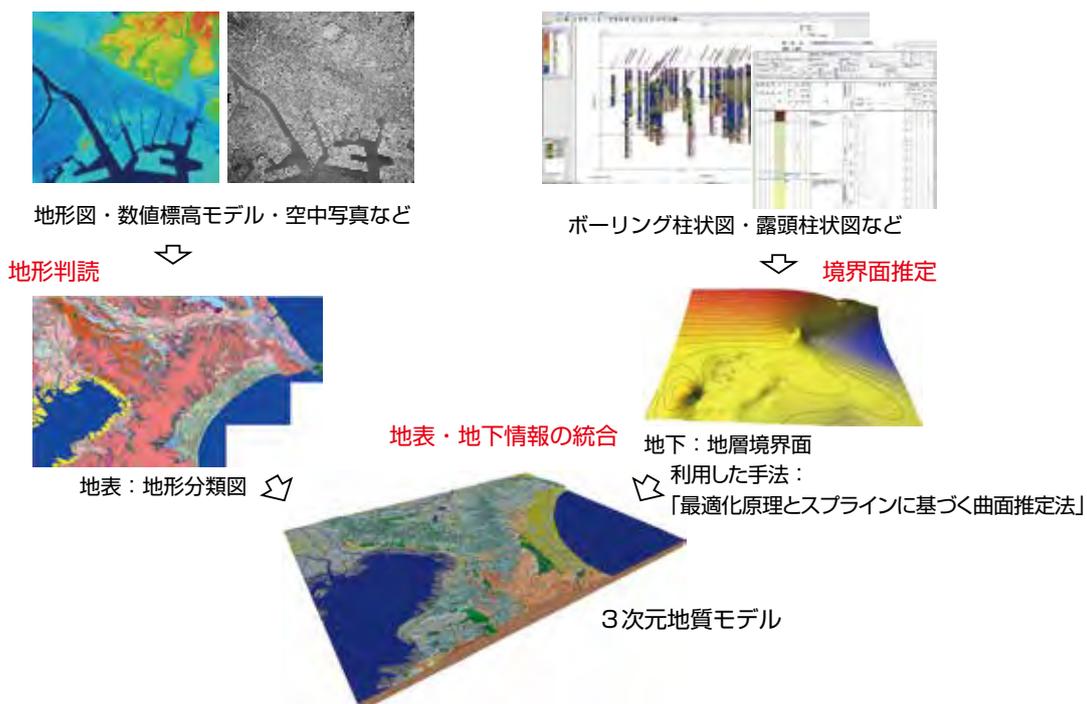


図5 3次元モデリングの手順

表示し、回転表示等もできるようにする。ボーリングデータについては、データ点をクリックすることでオリジナルデータである JACIC 様式の XML および PDF へのリンクを含めたメタ情報を閲覧できるようにする。メタ情報についてはデータベース化を行い、閲覧システムにマウス操作で検索範囲を指定する機能を持たせることで、閲覧システムからボーリングデータのメタ情報検索を行えるようにする。

自治体等が所有する公共工事のボーリングデータや、産総研が整備する基準ボーリングデータは、3次元モデリングの核をなす重要な基礎データであり、3次元モデルの信頼性確保のためにも必須の情報である。そこで、自治体担当者等が容易に JACIC 様式 XML 形式のボーリングデータのデータベース管理ができるシステムの開発も行っている（図7）^[17]。データベースには汎用性の高い RDBMS^{用語5}

である PostgreSQL^{用語6}を用い、本システムは無償で公開する予定である。このようなシステムの利用により都市平野部の地質地盤の基本情報であるボーリングデータがより多くの自治体で適切に管理されることが期待される。

4 3次元地質地盤図の想定される利活用

現在、我々のグループでは、前章で述べた6つの要素技術を統合させ、3次元地質地盤図の作成を試行している。このような3次元地質地盤図の想定される利活用としては、地震ハザードマップ作成、都市インフラ整備・産業立地計画立案、不動産売買等が挙げられる。

地震ハザードマップ作成には、地下の地震波伝播速度データ（S波速度データ）と浅層の地質モデルが必要とされる^[18]。しかし、S波速度データを含む既存ボーリングデー

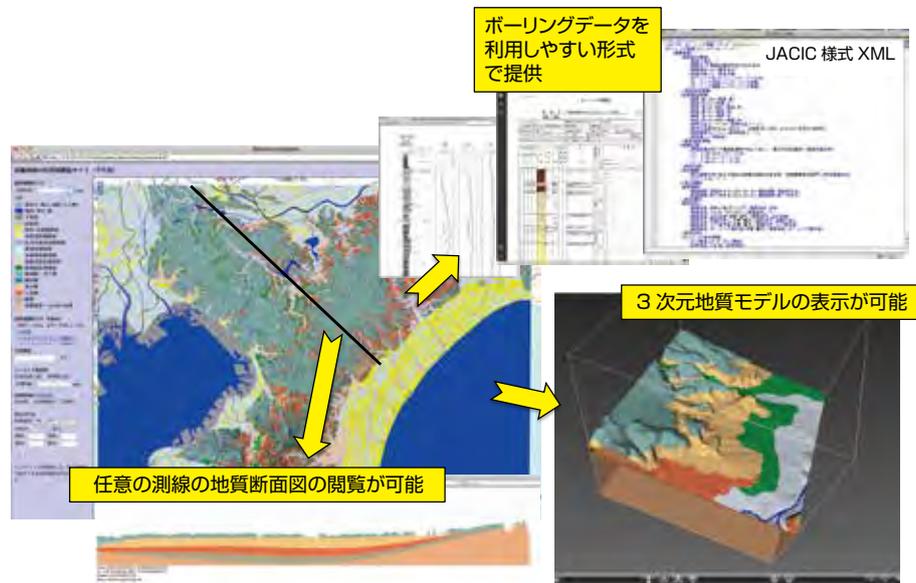
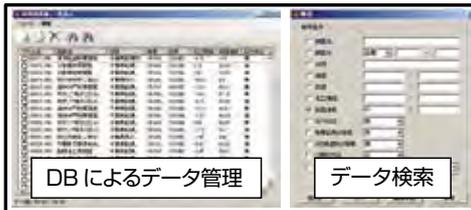
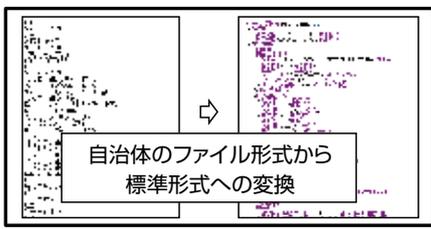


図6 3次元地質モデルやボーリングデータを閲覧するウェブシステム

形式変換プログラム



ボーリングデータ管理システム



図7 ボーリングデータの変換プログラムと管理システム

タは極めて少ない。我々が実施する基準ボーリング調査ではS波速度を測定するため、地震動シミュレーションの基準データとして利用が可能である。また我々が基準ボーリングデータを軸に作成する3次元地質モデルも、地震ハザードマップ作成の際の浅層地盤モデルデータとして利用されることが期待される（図8）。さらには、常時微動観測^[19]によりそれぞれの地盤の振動特性、例えば固有の卓越周波数を把握することで、より正確に地盤を考慮した地震ハザードマップの作成が可能となる。そのため我々のグループでは、地質モデルの構築とともに、常時微動測定を実施し、地質状況に応じた地盤振動特性の類型化を実施することを検討している。

都市インフラ整備や産業立地計画立案に際しては、軟弱地盤の有無や構造物の支持基盤となる地層がどの深度に分布するかを事前に情報収集することが極めて重要である。これを事前に知ることで地質調査計画の立案および積算が容易になる。地質調査業界では、想定した地質状況と異なる地質であった場合に生じる調査工期遅延、設計変更、事業費増大といった、いわゆる地質リスクを低減する取り組みが行われている^[20]。その対応策の一つとして、既存の地質地盤情報の積極的な活用が挙げられる^[21]。都市平野部の既存のボーリングデータおよびそれから適切に解釈された3次元地質モデルは、利用しやすい形式で公開されることにより、このような地質リスクマネジ

メントに貢献するものと考えられる（図8）。

2011年東北地方太平洋沖地震以降、一般市民の都市平野部の地質地盤への関心は極めて高いものとなった。不動産取引においては現在のところ地質地盤情報の提供は慣習化していないが、東京湾岸域の深刻な液状化被害を受けて、不動産取引の際にも地質地盤情報を積極的に活用すべきとの提案もある^[22]。地質地盤情報が公開されることにより不動産の評価額の変化を危惧する声もあるだろうが、市民の地盤リスクに対する意識を高め、さらには災害に強い街づくりを推進するためには、地質地盤情報が重要な公共財であるという社会の共通認識を培う必要があるように思える。日本学術会議は、地質地盤情報の共有化に向けた提言^[23]において、地震災害リスクの軽減のためには、地下の地質・地盤に関する情報を国民の共有財産と認識し、国土の基本情報として有効活用することが不可欠としている。他方、一般市民にとって住宅立地の地盤は今では関心の的であるが、地質の専門知識を持たない多くの市民にとってボーリングデータや地質図を解釈するのは難しいであろう。これは不動産業界関係者も同様である。このようなニーズに対して最近では既存の地質地盤情報を利用したコンサルティングビジネスも生まれつつある。このようなビジネスにおいても地質地盤情報が利用しやすい形式で整備されることが望まれている。我々が試行する3次元地質地盤図はこのような要望にも対応するものといえよう（図8）。

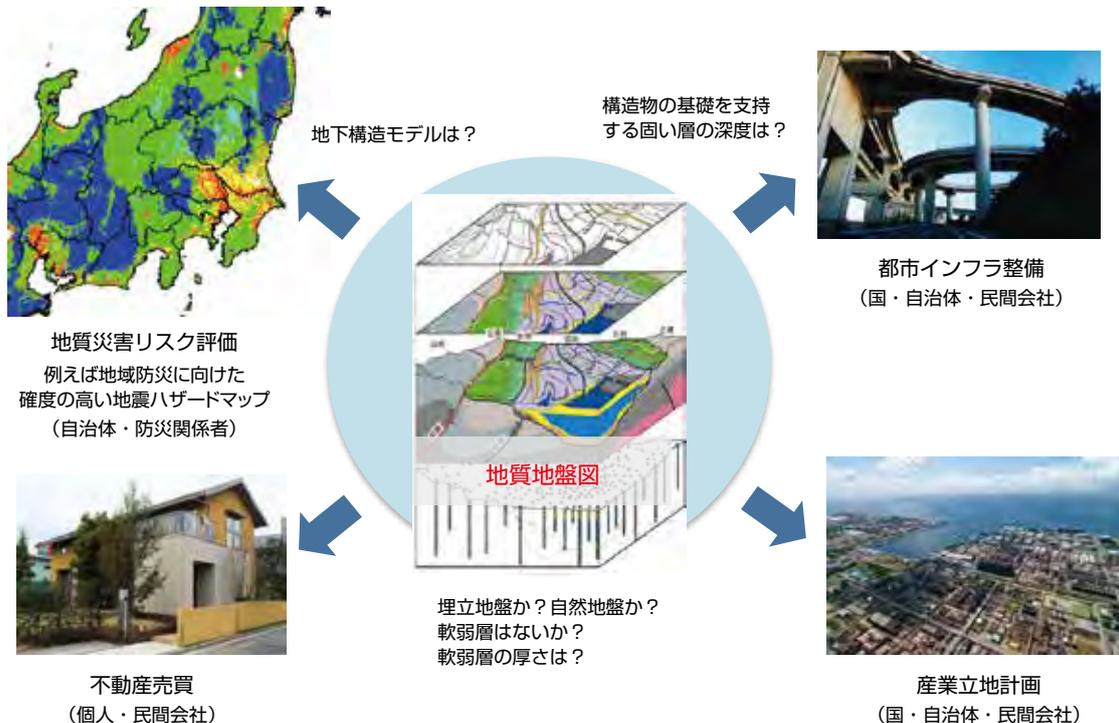


図8 3次元地質地盤図の想定される利活用

5 モデル地域での試行

第3章で述べたシナリオにより都市平野部の地質地盤情報整備は可能であると判断したが、初めての試みでもあることから、まずはモデル地域を設定して試行することとした。現在、千葉県北部をモデル地域に設定し、3次元地質地盤図を試作している。本地域を選定した大きな理由は、関東平野を構成する地層が模式的に分布すること、そして千葉県が以前より地質地盤情報整備に積極的に取り組んでいる自治体であることが挙げられる。

5.1 モデル地域の地質学的トピック

モデル地域には、関東平野を構成する代表的な地層である更新統、沖積層、そして湾岸低地には埋立層が分布する。

更新統は台地を構成する地層であるとともに、平野を形成する主要な地層である。平野の更新統は地下で大きな盆状の地質構造を呈することが多い。盆状構造は平野の形成史を反映した構造であり、このような構造を明らかにすることは平野の形成史を解き明かすだけでなく、地下水流動の高精度解析にも大きく貢献する。千葉県北部の地下には既存ボーリングデータの解析により盆状の地質構造が推定されているが、層序学的な研究がほとんど行われておらず正確な盆状構造はわかっていなかった。最近の我々のグループの層序研究により、船橋周辺を中心とした盆状構造の詳細が明らかになりつつある^[24]。モデル地域で平野の地下の盆状地質構造を3次元解析するノウハウを蓄積することが重要である。

現在の低地の地下には、沖積層と呼ばれる、2万年前以降に形成された若い時代の地層が分布する。沖積層は昔の谷を埋めるように分布することが多く、軟らかい泥層を主体とすることから軟弱地盤として知られるが、最近、関東平野には台地の下にも沖積層によく似た軟弱な泥層が分

布することがわかってきた^[25]。このような軟弱泥層が台地の下に分布することはあまり知られておらず、都市地盤の盲点といえる。モデル地域の千葉県北部にはこのような谷埋め堆積物が柏から成田にかけて東西に分布することが知られているが（図9）、層相がどのように変化し、層相の変化がどのように物性に反映され、それが地震動の差にどのように表れるかが興味深いところである。

千葉県北部の東京湾岸地域には埋立層が海岸線に沿って広く分布している。また埋立層の下には沖積層がいくつかの筋の谷埋め状をなして分布することが知られている。この地域の埋立層は2011年東北地方太平洋沖地震の際に深刻な液状化を起こし、一部で都市インフラが麻痺して社会問題となった。一般的に液状化を起こしやすい地層は、地下水で飽和された“ゆる詰め”の砂層とされ、このような砂層は特に沿岸部や河川沿いの埋立層に多くみられる。東京湾岸地域の埋め立てはサンドポンプ工法によって実施されている^[26]。サンドポンプ工法は沖合からポンプで深掘した土砂により埋め立てる工法で、埋め立てによりできた地層は砂泥互層からなり、一見、自然の地層に酷似しているが、コア試料にみられる堆積構造や化石の産状等の詳細な観察により区分できる^[27]。またサンドポンプ工法の場合、ポンプの吐き出し口の位置により埋立層の砂や泥の分布に偏りが現れ、砂が卓越する部分で液状化が発生しやすいとされる^[28]。今回の我々が実施した一連のボーリング調査によって、サンドポンプ工法による埋立層の同定基準を確立するとともに、ボーリングデータや過去の空中写真の判読等により、埋立層中の砂および泥の偏在パターンを明らかにすることが可能になる。さらには、埋立層の下位には軟らかい沖積層が不規則に分布しているが、その沖積層の厚さの変化が上位の埋立層の液状化にどの程度影響するのかも興味深いところである。

5.2 自治体との協力関係

現在、ボーリングデータの管理手法の検討および解析については千葉県環境研究センターと協力関係を築きながら試行している。千葉県環境研究センターは地層汚染や液状化に関する研究で実績のある研究機関であるが、1991年から千葉県内の公共工事のボーリングデータの収集を行い、ウェブで公開する取り組みを実施しており、ボーリングデータベース整備においても先駆的な機関である。研究センターが運営する「地質環境インフォメーションバンク」では現在、千葉県内の約2万地点のボーリングデータが公開されている。このデータベースに格納されているデータは独自形式であるため、我々が現在標準形式であるJACIC様式XMLへの変換を試みているところである（図7）。研究センターの担当者とともに、将来的にはJACIC様式XML

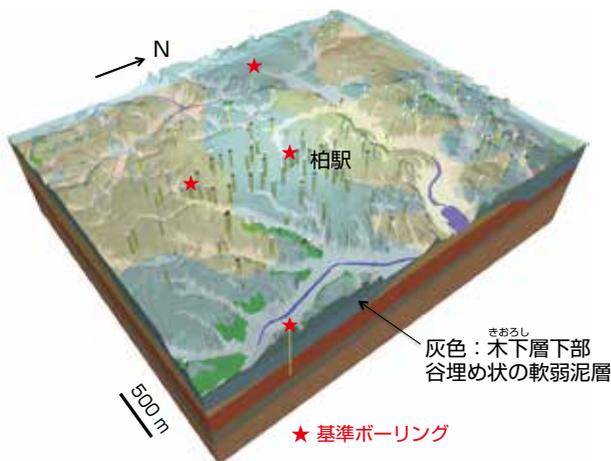


図9 千葉県柏市付近の地下の谷埋め堆積物の3次元地質モデル

形式で格納するデータベースへの転換を検討している。なお、前述のボーリングデータ管理システムの仕様については、研究センターと議論しながら決定した。当初、ウェブを使用するシステムを検討していたが、担当者との打合せの結果、セキュリティの関係から、スタンドアローンのコンピュータで動作する仕様に大幅に改めた。このようなニーズは自治体との意見交換により初めて知ることができたのであり、自治体の事情を十分把握することが極めて重要であることを改めて知る良い機会となった。また、研究センターは地質地盤調査の豊富な経験から、公共工事等の既存ボーリングデータの収集のみならず、実際のボーリングコア試料の検討に基づく基準ボーリングデータ整備が土壌汚染の拡散や液状化予測等地盤環境・災害対策に極めて重要であるという考えを強く持っている。この点で、我々との共通の認識のもと本課題に取り組んでいる。

5.3 3次元地質地盤図のプロトタイプ作成

これまでに千葉県北部の浅部地下の3次元地質モデル作成アルゴリズムの確立のため、関東平野を構成する更新統の模式地である千葉県木更津地域で実践研究を行った。まず既出版の5万分の1地質図幅「木更津」に記載される地層の層序を基に3次元地質モデルを作成するためのアルゴリズムを作成し、地質図幅の作成に利用したものと同様の柱状図データを用いて3次元地質モデルを構築した。そして、作成した3次元地質モデルを、手作業の描画である既出版の地質図幅と数值的、視覚的に比較した。その結果、論理的手法により作成した今回の3次元地質モデルは、層序学的に問題がないことはもちろんのこと、従来の手作業の描画と比較して、人為的誤差がなく、データに忠実かつ精密に地質境界を描画できることを確認し、その実用性を示した^[29]。今回、関東平野を構成する地層の模式地である木更津地域において構築したこのアルゴリズムは、関東平野で広く適用可能であると考えられる。

このアルゴリズムを使用して、これまでに14地点で実施した基準ボーリングデータおよび355地点の露頭柱状図、地形分類図を基に暫定的に3次元地質モデルを作成した。そして前述の閲覧システムにより平面図、任意の断面図、3次元モデル、ボーリングデータが閲覧できる3次元地質地盤図のプロトタイプを作成した(図6)^[30]。最終的に基準ボーリングデータを20地点以上に増やし、既存ボーリングデータを約2万本利用し地質モデルの高精度化を図ることで、これまでの地質図幅の基本スケール(5万分の1)を上回る、2万5千分の1スケールで使用できる地質地盤図を目指している。このような地質地盤図の整備によって、より精度の高い地質災害リスク評価等が可能になると期待される。

6 おわりに

現在モデル地域で試行している3次元地質地盤図については、今後、基準ボーリングデータを追加拡充するとともに、既存ボーリングデータへの地層の対比を進め、3次元地質モデルの高精度化を行う。また断面図や3次元モデルをより快適な動作で使いやすく改善したうえで、2017年度を目途に公開する予定である。この成果を都市域の新しい地質情報整備のスタイルとして提示し、これをきっかけに他地域の自治体にも協力を得て各都市への展開を図りたいと考えている。また自治体が独自に地質地盤図を作成することもできるようにガイドラインを作成し、必要に応じて技術支援もできるようにすることを検討している。このような、わかりやすく、使いやすく、そしてなによりも信頼性の高い地質地盤情報整備を都市平野部において推進することにより、行政、民間企業、そして一般市民の地質地盤情報の利活用が一層促進されるものと期待する。

謝辞

この研究課題については、立ち上げ当初より、経済産業省知的基盤課(現 知的基盤整備推進室)、産総研地質分野研究企画室(現 地質調査総合センター研究企画室)、地質調査情報センター(現 地質情報基盤センター)、ならびに地質情報研究部門幹部およびこの研究課題に参画する地質情報研究部門の小松原純子氏、納谷友規氏、長 郁夫氏、坂田健太郎氏、そして共同研究を実施する千葉県環境研究センター地質環境研究室の皆様、研究の方向性についてさまざまな議論をしていただきながら進めてきた。以上の方々に深く感謝いたします。

用語の説明

- 用語1: 2次利用: 総務省の「地盤情報の公開・2次利用促進のためのガイド」(平成25年6月)によれば、地盤情報の2次利用は「行政機関等から提供される地盤情報(ボーリングデータ等)を活用して、より使いやすい情報に加工したり別の情報を付加して利用または提供したりすること」とし、一次利用は「地盤情報を保有する行政機関等が主に内部での業務利用を目的として利用すること」と定義している。なお、政府の電子行政オープンデータ政策では「政府、独立行政法人、地方公共団体等が保有する公共データを、機械判読に適したデータ形式で、営利目的も含めた2次利用が可能なルールで公開する」としている。
- 用語2: 層序学: 地層の重なる順序を、化石、測定年代、地層の特性等から明らかにする学問分野。
- 用語3: 堆積学: 堆積層が形成されるプロセスやメカニズムを堆積物の性質から明らかにする学問分野。

用語4：スプライン：対象領域を複数の区間に分割し、各区間ごとに多項式を定めた区分的多項式関数。複雑な形状の曲線や曲面のあてはめに優れる。

用語5：RDBMS (Relational DataBase Management System)：リレーショナルデータベースを管理するためのソフトウェアの総称。RDBMSでは、データをテーブル（表）形式で管理しながら、データの比較、結合、抽出等の操作を行う。

用語6：PostgreSQL：費用、ライセンス、2次配布等、さまざまな面でフリーで利用できるオープンソースのRDBMS。データベース操作にはSQLが用いられる。

参考文献

- [1] 若松加寿江, 先名重樹: 東北地方太平洋沖地震(東日本大震災)による液状化と過去の液状化履歴, *地質と調査*, 2013 (4), 通巻138号, 6-11 (2013).
- [2] 岡田真介, 小松原 琢, 中澤 努, 中村洋介, 坂田健太郎, 納谷友規: Google Earth を用いたつくば市および土浦市周辺における2011年東北地方太平洋沖地震による瓦屋根被害の分布調査, *地震 第2輯*, 64 (4), 257-264 (2012).
- [3] 東京都土木技術支援・人材育成センター: 東京の地盤(GIS版), <http://doboku.metro.tokyo.jp/start/03-jyouhou/geo-web/00-index.html>, 閲覧日2015-08-27.
- [4] 千葉県地質環境インフォメーションバンク: ちば情報マップ(地質柱状図), <https://www.pref.chiba.lg.jp/suiho/chishitsu.html>, 閲覧日2015-08-26.
- [5] 国土交通省: 国土地盤情報検索サイト(KuniJiban), <http://www.kunijiban.pwri.go.jp/jp/index.html>, 閲覧日2015-08-27.
- [6] 防災科学技術研究所: ジオステーション(Geo-Station), <http://www.geo-stn.bosai.go.jp/jps/index.html>, 閲覧日2015-08-27.
- [7] 中澤 努, 遠藤秀典: 大宮地域の地質, 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, (2002).
- [8] 中澤 努, 田辺 晋: 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, (2011).
- [9] 納谷友規, 安原正也: 鴻巣地域の地質, 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, (2014).
- [10] (財)日本建築情報総合センター: ボーリング柱状図作成要領(案)解説書 (1999).
- [11] 国土交通省: 地質・土質調査成果電子納品要領(案)付属資料(2008), <http://www.cals-ed.go.jp/mg/wp-content/uploads/boring62.pdf>, 閲覧日2015-10-02.
- [12] 木村克己: ボーリングデータ処理システムの公開 国土基盤情報としてのボーリングデータの利活用を目指して, *産総研 TODAY*, 11 (1), 19 (2011).
- [13] 農業環境技術研究所: 歴史的農業環境閲覧システム, <http://habs.dc.affrc.go.jp>, 閲覧日2015-10-02.
- [14] 国土地理院: 地図・空中写真閲覧サービス, <http://maps.gsi.go.jp/maplibSearch.do#1>, 閲覧日2015-10-02.
- [15] 塩野清治, 升本真二, 坂本正徳: 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 (3), 121-134 (1998).
- [16] S. Nonogaki, S. Masumoto and K. Shiono: Gridding of geological surfaces based on equality-inequality constraints from elevation data and trend data, *International Journal of Geoinformatics*, 8 (4), 49-60 (2012).
- [17] 野々垣 進, 中澤 努: JACIC様式ボーリング柱状図管理システムの開発, *地質調査総合センター速報*, 68, 53-59 (2015).
- [18] 内閣府(防災担当): 地震防災マップ作成技術資料, <http://www.bousai.go.jp/kohou/oshirase/h17/pdf/050513siryou.pdf> (2005).
- [19] 長 郁夫, 先名重樹: 極小微動アレイによる浅部構造探査システムの構築—大量データの蓄積と利活用に向けて—, *Synthesiology*, 9 (2), 86-96 (2016).
- [20] 地質リスク学会, 社団法人全国地質調査業協会連合会(編): *地質リスクマネジメント入門*, オーム社 (2010).
- [21] 岩松 暉: 地質リスクの軽減と地質地盤情報, *第4回土砂災害に関するシンポジウム論文集*, 09, http://committees.jsce.or.jp/seibu_s01/system/files/04vip-iwamatu.pdf (2008).
- [22] 本間 勝: 浦安市における液状化被害・復旧状況と不動産取引における地質情報の活用策, *GSI地質ニュース*, 2 (12), 357-360 (2013).
- [23] 日本学術会議: 提言 地質地盤情報の共有化に向けて—安全・安心な社会構築のための地質地盤情報に関する法整備—(2013), <http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-22-t168-1.pdf>, 閲覧日2015-10-02.
- [24] 納谷友規, 坂田健太郎, 中里裕臣, 小松原純子, 中澤 努: 千葉県北西部東京湾北縁地域における下総層群の層序, *日本地質学会第121年学術大会講演要旨*, 52 (2014).
- [25] 中澤 努, 中島 礼, 植木岳雪, 田辺 晋, 大嶋秀明, 堀内誠示: 大宮台地の地下に分布する更新統下総層群木下層のシーケンス層序学的研究, *地質学雑誌*, 112, 349-368 (2006).
- [26] 風岡 修: 利根川下流低地・東京湾岸埋立地, *アーバンポタ*, 40, 5-13 (2003).
- [27] 小松原純子, 中島 礼, 納谷友規: 千葉県船橋市の埋立地における沖積層の堆積相と堆積環境, *日本地質学会第121年学術大会講演要旨*, 53 (2014).
- [28] 風岡 修, 佐藤光男, 楠田 隆, 香村一夫, 風戸孝之, 香川 淳, 森崎正昭, 佐藤賢司, 古野邦雄, 酒井 豊, 加藤晶子, 楡井久: 局所的な表層地質の違いが液状化—流動化—to与える影響, *第10回環境地質学シンポジウム論文集*, 33-38 (2000).
- [29] 野々垣 進, 中澤 努: 論理的手法に基づく木更津地域の3次元地質モデリング, *情報地質*, 26, 3-13 (2015).
- [30] S. Nonogaki, T. Nakazawa and H. Nakazato: Development of browsing system for two- and three-dimensional geological data, *Proc. GIS-IDEAS 2014*, 236-241 (2015).

執筆者略歴

中澤 努 (なかざわ つとむ)

1993年千葉大学大学院理学研究科修士課程修了。石灰石鉱山勤務を経て、1996年通商産業省工業技術院地質調査所入所。2012年より産総研地質情報研究部門情報地質研究グループ長。博士(理学)。専門は層序学、堆積学、古生物学。古生代石炭紀から新生代第四紀まで幅広い時代の地層を取り扱うが、主たるテーマとして5万分の1地質図幅作成を通じて都市平野部の地質情報整備に従事し、関東平野の地層の研究を進めてきた。現在は3次元地質地盤図課題のリーダーとして研究を推し進める。この論文では地質調査関連の執筆と全体の総括を担当した。



野々垣 進 (ののがきすすむ)

2009年大阪市立大学大学院理学研究科後期博士課程修了。博士(理学)。産総研特別研究員を経て、2012年より産総研地質情報研究部門情報地質研究グループ研究員。専門は情報地質学。野外調査で得た地質情報から地層境界面の形状を求める手法の開発を主たるテーマとしながら、地質構造の3次元モデルの構築手法や可視化手法の開発にも携わっている。この論文では、主として3次元モデルの作成およびデータの管理・表示技術についての執筆を担当した。



宮地 良典（みやち よしのり）

1991年新潟大学大学院理学研究科修士課程修了。1992年通商産業省工業技術院地質調査所入所。2014年より産総研地質情報研究部門平野地質研究グループ長。2016年より産総研企画本部総合企画室総括企画主幹。専門は層序学、堆積学。新生代の地層の層序・地質構造発達史を主たるテーマとして、5万分の1地質図幅や沿岸域の地質・活断層調査を通じて大阪平野、新潟平野や関東平野の地層の研究を進めてきた。3次元地質地盤図課題ではサブリーダーを務めるとともに、沖積層・埋立層の調査・解析を担当した。この論文では沖積層・埋立層の調査と自治体との協力関係について執筆を担当した。



査読者との議論

議論1 全体について

コメント（景山 晃：産業技術総合研究所）

この論文は地震に対するハザードマップ作成や都市計画に反映させるという目標の下に、地質情報を、2次元だけでなく3次元の地質地盤図として提供する目的で進められた試行研究の成果をまとめたものである。自治体が保有するデータも含めて複数の要素技術を統合していった経緯を述べているが、当初から使いやすさを意識して研究を進めていることもあり、社会的有用性が高い。技術面では、直接観測が難しい3次元の地質状態を推定するモデリング技術を精緻に検討している点でも高く評価できる。これらのことからこの論文はシンセシオロジー誌に相応しいと判断する。

コメント（栗本 史雄：産業技術総合研究所）

この論文は、人口が密集する都市域の3次元地質地盤図を提示し、自治体との連携を図りつつ、ハザードマップ作成等に役立つ研究成果を紹介している。このような観点は、防災・減災が課題である都市域において意義深く、その成果は社会に高いインパクトを与えると期待される。また、モデリング技術の開発を進めて、高精度で使いやすいものを構築する姿勢は社会ニーズに合う。このようにこの論文は地質の調査を基盤として、地質地盤情報の整備とそのデジタル情報の取扱いと高度化、自治体との連携による社会への実装まで含んでおり、シンセシオロジーの趣旨に十分合うと判断する。

議論2 1次利用と2次利用

コメント（栗本 史雄）

1章「はじめに」に記述されている1次利用と2次利用は重要ですので、用語解説があると読者にとって理解しやすくなると思います。

回答（中澤 努）

「2次利用(および1次利用)」について脚注に解説を加えました。

議論3 シナリオ、要素技術の説明の組み立て方

コメント（景山 晃、栗本 史雄）

3章の冒頭および図3で目標達成のためのシナリオを論述していますが、図2と図3を一体化（図を一つにまとめるという意味ではありません）して説明した方が理解しやすいと思います。例えば、[案1] 図2にある「地形・土地利用情報」や「地表の地質情報」も3次元モデリングに利用しているのであれば、図3にもその旨記載する。あるいは、[案2] 図3は図2のボーリングデータ・露頭柱状図の部分について、データ・情報の統合の進め方を詳細に示した図であると説明する方法もあると思います。

また、3章の適切な位置にユーザビリティと信頼性を考慮しながら、6つの要素技術の統合を進めてきたことを述べ、続いてそ

れぞれの要素技術について解説するという構成の文章としては如何ですか。

回答（中澤 努）

図2の表層の情報、すなわち地形分類も重要な要素技術の一つですので、地形分類についても図3の要素技術に加えたいので、この論文にも項目を設けて解説しました。

また、3章の前書きに、6つの要素技術の統合を進めている旨を加筆し、併せて4章の冒頭にも、6つの要素技術を統合させ3次元地質地盤図の作成を試行している旨を書き加えました。

議論4 基準ボーリングデータと公共事業等のボーリングデータ

コメント（景山 晃）

3.2節でこの二者の違いを説明してあり、重要な部分だと思います。そこで、両者の差異を対比表として示してはどうでしょうか。目的と測定データを直接的に比較して示すことで、公共事業等のボーリングデータは有用であるもののそれだけでは十分ではないという研究全体のシナリオを一層理解しやすくなると思います。

査読者の理解では、基準ボーリング調査の結果と自治体が保有するボーリングデータを比較・対比・緻密化していくプロセスが3.3節の地層の対比であると理解します。そうであれば、基準ボーリング調査が「ハブ機能」、自治体のボーリングデータが「サテライト機能」を担っていることになるとは思います。如何ですか。

回答（中澤 努）

基準ボーリングデータと公共工事のボーリングデータの特徴を比較した表1を新たに作成しました。両データはご指摘のようにハブとサテライトの関係にあり、両者をうまく利用することで地質情報の信頼性を高めることができる旨の記述を加えました。

議論5 3次元モデリング技術について

質問・コメント（景山 晃、栗本 史雄）

3.3節の論述と図5の記載とで、できるだけ用語を統一した方がよいと思います。例えば、「3次元地質モデル」、「3次元地質地盤モデル」、「地形分類図」、「地形区分図」等の記述があります。

また、3.5節の第2段落で、手作業では担当した人によって全く異なる3次元モデルになる可能性があることと記述されています。ここにある種のガイドラインに沿って統一的なモデル、解釈にする活動は必要ありませんか。例えば、今回開発したコンピュータ利用モデリング方法を共通基盤として、そこに各専門家の知識・経験をメタデータとしてアドオンするシステムに順次移行していくという考え方は。

回答（中澤 努、野々垣 進）

用語については、記述を整理して地下地質のみの3次元モデルを「3次元地下地質モデル」、地表情報と統合したモデルを「3次元地質モデル」としました。また「地形分類図」「地形区分図」は「地形分類図」に統一しました。

ご指摘いただいたような統一的なモデル・解釈にする活動については、現時点では取り組んでいませんが、重要であると考えています。コンピュータ処理による3次元モデルは、専門家間における認識の共有にも有用である旨を、この論文に加筆しました。

議論6 第4章の論述について

質問（景山 晃）

(1) 野田や柏での基準ボーリングは何箇所で行ったのですか。一定レベルの信頼性を得るには基準ボーリングは何箇所必要ですか。また、自治体のボーリングデータの内容に依存すると思いますが、全体システムを構築するうえでどの程度の補完効果を期待できるのでしょうか。これらについてある程度の情報を記述すると、今後、日本各地に展開していく際の目処立て（費

用も含めて）ができるように思います。

(2) 不動産取引への利活用については、3次元地質地盤図が公表されると不動産の評価額が減少するので公表しないで欲しいという要望が出るのが予想されます。2014年8月の広島市安佐南区の土砂災害のケースでも事前のハザードマップの公表が抑制され、結果として惨事を拡大したように報じられています。このような事態に対して、利害関係者の理解を高めて社会（コミュニティ）のリスク対応度を高めるという視点から執筆者はどのようにお考えですか（もちろん執筆者や産総研がコミットできる訳ではありませんが）。

回答（中澤 努）

(1) モデル地域の千葉県北部では、基準ボーリング調査は最終的に20地点程度整備し、公共工事等の既存ボーリングデータを約2万本利用することで、従来の地質図幅の基本スケールである5万分の1を上回る、2万5千分の1スケールで使用できる地質図を目指しています。これにより目標は達成できると考えています。5.3節にその旨を加筆しました。なお、今回の基準ボーリング調査の地点のうちの半分以上は谷埋め状に不規則に分布する堆積物を主なターゲットとするものです。基準ボーリングデータは多いにこしたことはありませんが、地層が平坦に広く分布する地域ではこれよりも少ない密度の調査で地質構造を理解できますし、逆に複雑な地域ではさらに多くの調査が必要になると思います。つまり基準ボーリング調査の密度はその地域ごとの地質の特徴によって大きく変化すると考えます。

(2) ご指摘のように、不動産取引に地質地盤情報が付加されることにより不動産の評価額の変化を懸念する声もあると思います。評価額の変化には増・減の両方が考えられます。いずれにせよ、本来の地質地盤特性を理解して、安全安心な街づくりを進めることが社会として重要であり、地質地盤情報はそのような災害リスクに対応するための重要な公共財でもあるという認識を広く持ってもらうことが重要と考えています。その旨、関連する日本学術会議の提言の引用とともに、この論文に加筆しました。

議論7 3次元地質地盤図の作成、今後の展開と波及効果

コメント（栗本 史雄）

図6を引用して3次元地質地盤図のプロトタイプの結果が記述されています。また、今後の研究展開により「都市域の新しい地質情報整備のスタイル」確立につながると理解しますので、今後の研究展開と波及効果を整理していただくと読者への理解が進むと思います。

回答（中澤 努）

3次元地質地盤図のプロトタイプは、地盤災害リスク評価の高精度化が期待されると考えられ、社会への波及効果が大きいと考えますので、その旨を加筆しました。また、今後の研究展開と期待される波及効果を明示するため、モデル地域の3次元地質地盤図構築と都市域での新しい地質情報整備にスタイルの確立を目指すことを6章にまとめました。