

地質調査

2021

第1号

(通巻157号)

Japan Geotechnical Consultants Association

編集／一般社団法人全国地質調査業協会連合会

巻頭言

» 地図のデジタル化と普及の進展

元国土地理院参事官 明野 和彦

総論

» 地理院地図の機能紹介

国土交通省国土地理院地理空間情報部情報普及課長 佐藤 壮紀

小特集 地図データの活用

» 地質情報とプロジェクトマッピング

..... 芝原 暁彦

» DEMを用いた活断層研究の新展開

..... 後藤 秀昭

» 地形図から読み解く都市
～凹凸地形から知る東京の魅力～

..... 皆川 典久

» クラウド型GISを活用した鉄道運行情報
の視覚化と社内BCP対応への応用

..... 塚田 知輝

» 地図で災害を理解する

..... 宇根 寛

» カシミール3Dと3D地形表現

..... DAN 杉本

教養読本

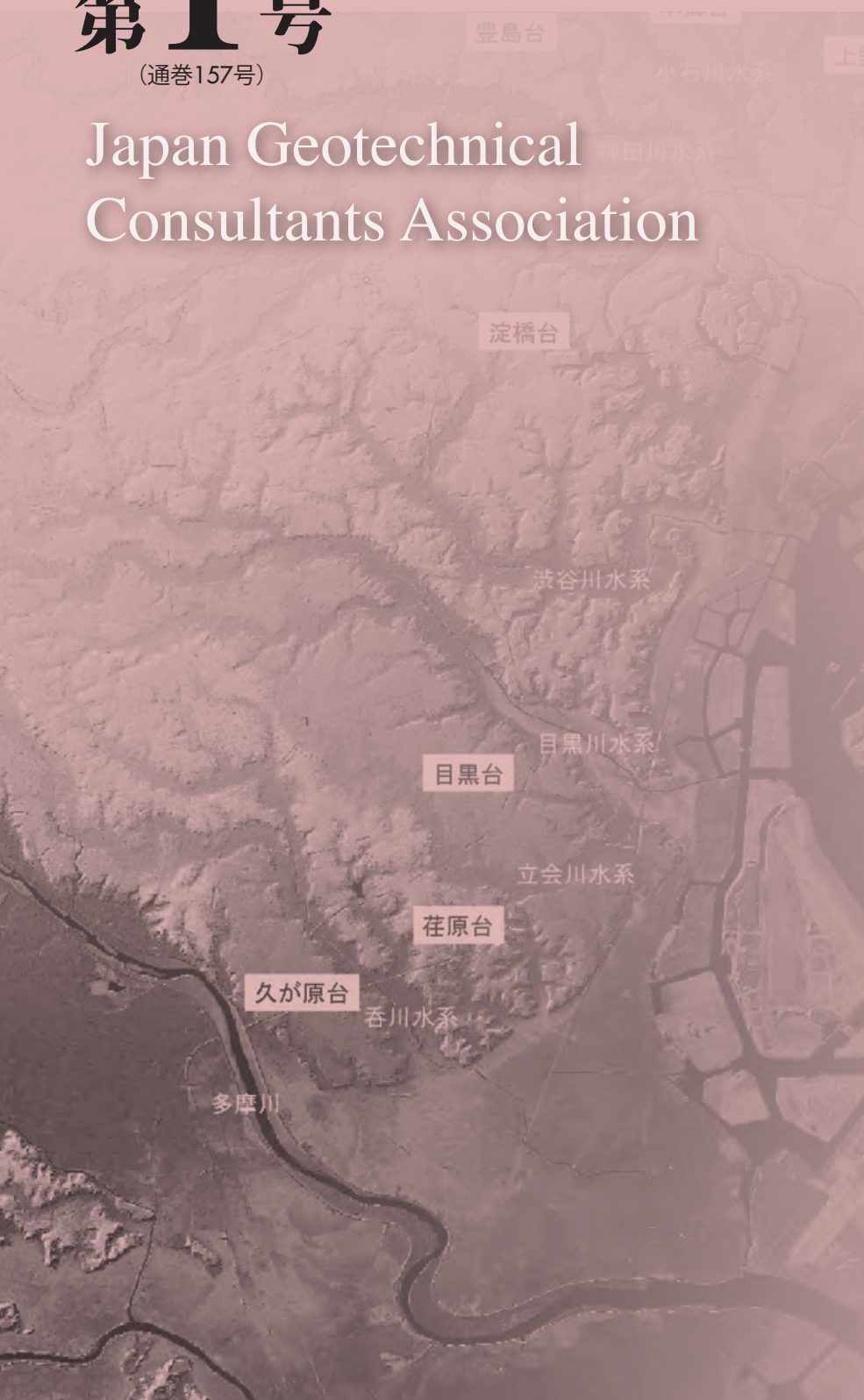
» 地図記号温故知新

..... 小林 政能

やさしい知識

» 古地図の話

..... 菱山 剛秀



地質調査用安全デッキ

FSD-2

Safety Deck



巾木なし標準仕様
組立質量：21.2Kg
サイズ (L×W×H)：645×580×995 (mm)

三脚ヤグラ上の作業を
より安全に

軽量・コンパクト

ステージが
10Kg以下になり、
ヤグラへの取付が
更に楽になりました

QRコードにて **YouTube** をご覧ください

標準貫入試験用ガイドロッド

SWT TOOLS



手で軽く締めるだけで
緩みにくい構造

折れにくく寿命が長い

交換時期が
目視でわかるので
安全です!



FUSO

株式会社扶桑工業 機械事業部

営業企画部 〒336-0038 埼玉県さいたま市南区関1-13-5 TEL.(048)789-6317
<http://www.kk-fuso.co.jp>

★最寄の支店にお問い合わせ下さい

巻頭言	≫ 地図のデジタル化と普及の進展 元国土地理院参事官 明野 和彦 …… 1
総論	≫ 地理院地図の機能紹介 国土交通省国土地理院地理空間情報部情報普及課長 佐藤 壮紀 …… 3
小特集	■ 地図データの活用 ≫ 地質情報とプロジェクションマッピング 芝原 暁彦 …… 7 ≫ DEM を用いた活断層研究の新展開 後藤 秀昭 ……11 ≫ 地形図から読み解く都市 ～凹凸地形から知る東京の魅力～ 皆川 典久 ……17 ≫ クラウド型 GIS を活用した鉄道運行情報の 視覚化と社内 BCP 対応への応用 塚田 知輝 ……22 ≫ 地図で災害を理解する 宇根 寛 ……27 ≫ カシミール 3D と 3D 地形表現 DAN 杉本 ……33 ≫ 地図記号温故知新 小林 政能 ……37 ≫ 古地図の話 菱山 剛秀 ……43 ≫ 航空レーザ測量成果の活用 神吉 千太郎 ……47 ≫ 被圧地下水帯でのボーリング 河野 好克 ……53 ≫ 有明海の恵み～広大な干潟と海産物、 そして軟弱地盤対策 南里 勝 ……57 ≫ 岐阜県関市 岐阜県博物館 小倉 直也 ……59 ≫ 井戸沢断層 (福島県) 齋藤 勝 ……61 ≫ NEXCO 総研における橋梁研究グループの取組みについて 長谷 俊彦・萩原 裕樹・西谷 朋晃 ……63
教養読本	■ 全地連「技術フォーラム 2021」の開催について (開催予告) …… 70
やさしい知識	■ 地盤情報の電子納品と検定のポイントについて …… 70
基礎技術講座	■ 全地連資格制度 令和3年度の検定試験および登録更新の実施概要について (地質調査技士, 地質情報管理士, 応用地形判読士) …… 71
私の経験した現場	■ 講習会の開催情報 (令和3年度) …… 72
大地の恵み	
各地の博物館巡り	
各地に残すべき地形・地質	
研究所からの報告	
地質だより	

既刊情報

下記の「地質と調査」は、次の URL または QR コードから、どなたでもご覧いただけます。

全地連の機関誌「地質と調査」

https://www.zenchiren.or.jp/jgca/jgca_geo-se.html



● 掲載概要

2000年第1号(通巻83号)～2005年第4号(通巻106号) → メインテーマのみ

2006年第1号(通巻107号)～2013年第1号(通巻135号) → 【会告】を除くすべてのページ

2013年第2号(通巻136号)以降 → すべてのページ

※ Web 掲載版の「地質と調査」はカラーで閲覧いただけます。

● 最近の発刊

通巻	発行年月	メインテーマ
147号	2016年12月	小特集：人材育成
148号	2017年4月	小特集：ドローンの地質調査への活用
149号	8月	特定テーマ：～離島～
150号	12月	小特集：熊本地震
151号	2018年4月	小特集：インフラメンテナンス
152号	11月	小特集：地熱
153号	2019年6月	小特集：地盤情報データベースの現状と課題
154号	11月	小特集：沿岸
155号	2020年4月	小特集：AIで地質調査はどう変わるのか
156号	11月	小特集：防災・減災－豪雨災害の被害軽減に向けて－
157号	2021年4月	小特集：地図データの活用

次号予告

地質調査 2021年 第2号(通巻158号) 内容(予定) 令和3年11月発行予定

小特集テーマ：物理探査が拓げる地質調査

*編集方針により小特集テーマは変更となる場合があります。

地図のデジタル化と普及の進展

あけの かずひこ
明野 和彦*

K
ey Word

地図データ, 国土地理院, 数値地図, 電子国土, 基盤地図情報,
地理空間情報活用推進基本法

地図は、紙媒体に記録して提供されていたが、本質的に情報の集合である。このため、他分野と比べて、そのデジタル化及び普及の進展は早かった。

1993年に、国土地理院は、最初の数値地図シリーズの刊行を開始した。まだ、パソコンの世帯普及率が12%程度の時代である。このとき刊行した数値地図の一つである50mメッシュ（標高）は、2万5千分1地形図の等高線から作成されたデータである。当時流通可能な媒体であるフロッピーディスク（容量1.44MB）に、地形図1面分のデータを収録した。その後、CD-ROMの普及に伴い3枚で全国の50mメッシュ（標高）を刊行した。数値地図の刊行により、これを利用するソフトウェアも登場した。

1995年の阪神・淡路大震災を契機として、行政機関が保有するデータの相互利用を推進するため、政府に地理情報システム関係省庁連絡会議が設置された。国土地理院は、2000年の同会議の申し合わせに従って2万5千分1地形図及び都市計画基図を原典とする数値地図を整備し、2002年からインターネットで無償公開した。政府の電子行政オープンデータ戦略策定（2012年）の10年前のことである。

2000年、国土地理院は、電子国土構想を提唱した。電子国土は、現実の国土を仮想的なコンピュータネットワーク上に構築することを目指したものである。今風に言えば、デジタルツインである。2003年には、この電子国土を実現する一つのツールとして電子国土Webシステム（現「地理院地図」）を公開した。同システムは、全国を対象としたシームレススクロールが可能なウェブ地図であり、その地図上に様々なコンテンツが配置できた。第三

者がウェブ地図サイトを作成したり、地図上のコンテンツを他者と共有したりするAPI（Application Programming Interface）も提供した。その後、民間からも公開ウェブ地図サービスは提供されるようになった。

2007年には、準天頂衛星等の測位サービスと地理空間情報とを組み合わせる有効に活用する環境を整備し、地理空間情報の活用施策をさらに強力に推進するため地理空間情報活用推進基本法（以下「基本法」という）が制定された。基本法では、電子地図上における地理空間情報の位置の基準となる基盤地図情報を、インターネットから無償提供することが位置づけられた。これに従って、国土地理院は、標高データを含む基盤地図情報を整備し、インターネットから無償で提供した。基盤地図情報のうちの標高データは、全国の2万5千分1地形図由来の10mメッシュ標高と、航空レーザ測量由来のより高精度な5mメッシュのものがある。2011年の東日本大震災以降、防災対策のため国土地理院や地方整備局等の航空レーザ測量による標高データ整備が加速化し、これらを利用して現時点で国土の約7割の地域で5mメッシュ標高データを提供している。

今日、ウェブ又はスマホ地図（以下、「ネット地図」という）は、すっかり日常のものとなった。防災情報や災害情報の提供にも、ネット地図は積極的に利用されている。また、高精度な標高データは、防災利用はもとより、建物や樹木を取り払った通常見えない地表面の微地形を可視化することができる。このため、高精度な標高データは、地形の可視化表現の工夫と相まって、都市の地形の関心を高めたり、未知の古墳の発見に用いられったり、

*元国土地理院参事官

活断層の地形判読に利用されたりするなど、新たな利用の広がりを見せている。

今後、さらなる地図データの活用という観点からは、三つの分野が注目される。一つ目は、地図データの3次元化（建物等の3次元点群データの活用を含む）である。例えば、建設分野では、建物やインフラのデータを3次元データとして整備・管理するBIM/CIM（Building Information Modeling/Construction Information Modeling）の取り組みが進められている。3次元地図データは、これらのデータと連携してデジタルツインを構成し、現実世界の管理を効率化・高度化する。二つ目は、機械のための地図が増えることである。自動運転、ドローン、ロボットなどの分野で自動制御に使う地図データの整備・利用が進んでいく。三つ目は、詳細な標高データなどを活用したAIによる地形判読支援（又は自動化）である。地形判読は、これまでコンピュータ処理に代替することは困難だったが、深層学習などにより特定の地形を抽出するようなことが可能になっていくことだろう。

地理院地図の機能紹介

さとう たけのり
佐藤 壮紀*

Key Word ウェブ地図, 防災地理情報, 自然災害伝承碑, 空中写真, 地形断面図, 自分で作る色別標高図, オープンデータ

1 はじめに

国土地理院は、我が国唯一の国家地図作成機関として、「国土を測る・描く・守る・伝える」を任務とし、国民が安全・安心・豊かな生活を営むための基盤となる地理空間情報の整備・更新と、それら地理空間情報の活用推進を行っている。

国土地理院が「描く」電子国土基本図（地図情報）は、電子地図上における位置の基準である基盤地図情報と整合した地形図に替わる新たな基本図であり、国土の管理や防災施策などを推進する上で重要な役割を担っている。また、電子国土基本図（地図情報）や災害リスクの把握に活用できる防災地理情報等の地理空間情報を地図で国民に「伝える」ことも国土地理院の重要な任務である。国土地理院は、「伝える」手段のひとつとして、平常時・災害時を問わずこれら地理空間情報を安定して閲覧できる環境を提供するとともにこれら地理空間情報の活用を推進するため、ウェブ地図「地理院地図」（図-1）を公開している。

本稿では、地理院地図で閲覧することのできる主な地理空間情報と、それら地理空間情報を活用するための機能について紹介する。

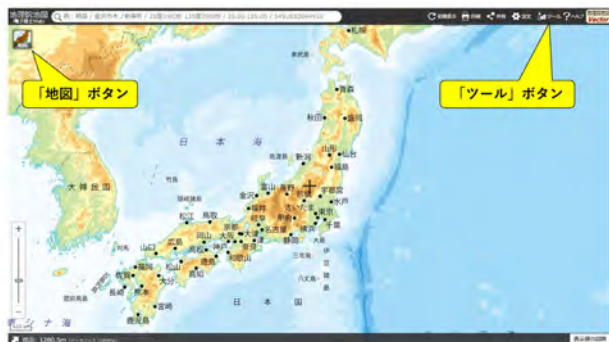


図-1 地理院地図

2 地理院地図で閲覧できる地理空間情報

地理院地図では、画面左上の「地図」ボタンから、電子国土地形図を地形図と同等の地図表現で表した標準地図をはじめ、空中写真、標高、土地の成り立ちを表した地図、災害情報など、様々な地理空間情報を閲覧することができる。これら全ての地図データは位置情報を元に重ね合わせて表示することができる。ここでは、地理院地図で閲覧できる特長的な地理空間情報を紹介する。

2.1 空中写真

空中写真に関しては、国土地理院が撮影した空中写真のほか、国土交通省の地方整備局や林野庁などが撮影した空中写真をつなぎ合わせたものを、全国シームレスに閲覧することができる。

また、最新の全国の写真のほかに、年代別の古い写真を見ることもできる（図-2）。年代別の写真は地域によっては閲覧できない年代もあるが、東京都心などでは第二次世界大戦以前に撮影された写真も閲覧することができる。

さらに、大きな災害が発生した場合、国土地理院は緊急的に被災地の空中写真を撮影するが、その写真も直ちに地理院地図から公開している。

2.2 防災地理情報

土地の成り立ちを表した地図や、災害履歴が分かる地理空間情報を「防災地理情報」と呼び、地理院地図ではこれらを閲覧することができる。

例えば、土地の成り立ちを分類した地図である「地形分類図」を表示することができ、地図上をクリックするだけで、その場所の地形分類名のほか、その地形はどのようにできたのか、その地形の場

*国土交通省国土地理院地理空間情報部情報普及課長

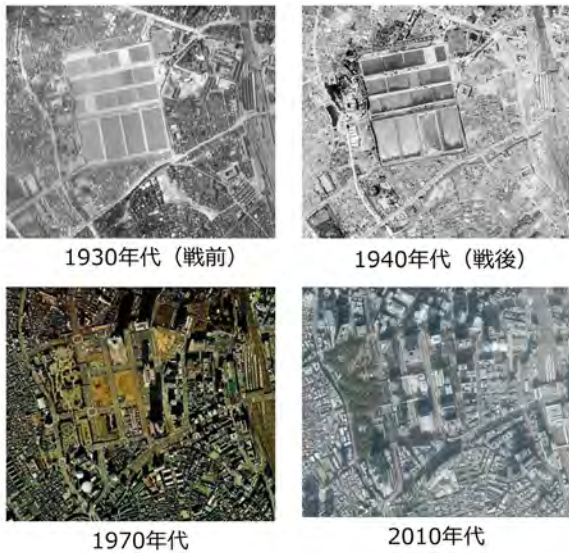


図-2 年代別の写真（現在の東京都庁付近）

所にはどのような災害リスクがあるのかといったことも確認することができる（図-3）。また、明治期に作成された地図から当時の低湿地の分布を抽出した「明治期の低湿地」も閲覧することができる。これらのデータから、例えば海や沼を埋め立てた場所がわかるので、インフラ整備の設計をする際に必要になるその土地の脆弱性の確認などに利用することができる。

2019年に地理院地図から新たに公開した防災地理情報に「自然災害伝承碑」がある。自然災害伝承碑は過去に発生した自然災害に関する事柄（災害の様相や被害の状況など）が記載されている石碑やモニュメントであるが、地理院地図では、その碑の場所と、その碑に記載されている内容を確認することができる（図-4）。「天災は忘れた頃にやってくる」ともいわれる。このため、自然災害伝承碑は、過去の災害の記録という意味だけではなく、今後警戒すべき災害リスクを伝える役割も担っている。

地形分類図、明治期の低湿地、自然災害伝承碑を地図上で確認することで、災害リスクの把握と、将来の災害への備えに役立てることができる。



図-3 地形分類図（千葉県香取市付近）



図-4 自然災害伝承碑（広島県坂町）

2.3 国土地理院以外が整備する地理空間情報

国土地理院が整備している地理空間情報だけでなく、他の機関が整備している地理空間情報も地理院地図を通して見ることができる。例えば、産業技術総合研究所が整備・公開している20万分の1日本シームレス地質図も地理院地図上で閲覧可能であり、地図上をクリックすると地質図の凡例を確認することもできる（図-5）。災害発生後に撮影した空中写真とも簡単に重ね合わせることができるので、土砂災害と地質の関係などを確認することもできる。

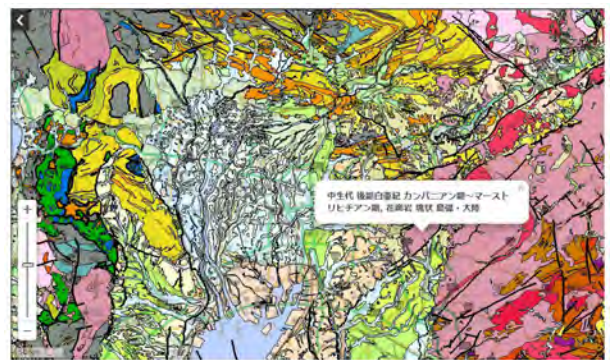


図-5 20万分の1シームレス地質図

3 地理院地図の便利な機能

地理院地図は、様々な地理空間情報を見るだけでなく、それらのデータを高度に使うための機能を備えている。ここでは主な機能を紹介する。

3.1 地形断面図の作成

地図上でクリックした経路の地形断面図を作成することができる。画面右上の「ツール」→「断面図」から地図上で経路を指定すると、指定した経路の地形断面図が作成される。

例えば、図-6は福島県の猪苗代湖を通る経路で



図-6 地形断面図（福島県の県横断面図）

断面図を作成したものである。福島県は、海側から、浜通り・中通り・会津の3つの地域に分けられるが、作成した断面図からも、山地によって3つの地域に分けられていることがわかる。

また、作成した断面図をCSV形式で保存することができるので、その後表計算ソフト等でも利用することができる。CSVファイルには、指定した経路を300等分する点の位置情報（緯度、経度、標高、始点からの距離）が記載される。

3.2 自分で作る色別標高図

標高値を色で塗り分けた地図（段彩図）は従来から多く存在するが、表示縮尺を自由に変えることのできるウェブ地図とは必ずしも相性の良いものではなかった。例えば、標高ゼロメートルを青色に、標高3776m（富士山の山頂）を赤色にして段彩図を作ると、平野部では全面が青色や緑色になってしまい、微小な起伏が全く分からなくなってしまう。

「自分で作る色別標高図」ではウェブ上の電子地図という特性を生かし、自分で高さの階級や色を設定できるようにした。画面左上の「地図」→「標高・土地の凹凸」→「自分で作る色別標高図」から利用できる。画面内の最高標高値と最低標高値からワンクリックで適切な色分けをしてくれる「自動作成」という機能もある。図-7は大阪市周辺を1mごとに色分けしたものである。想定される津波や高潮の高さ等と比較することでその場所の被害の危険性などを知ることができる。

3.3 2画面表示機能

画面を2つに分けて2つの地図や写真を見比べる機能がある。2画面表示機能には「並べて比較」「重ねて比較」の2つがあり、それぞれ、画面右上の「ツール」→「並べて比較」、「ツール」→「重ねて比較」から利用できる。

「並べて比較」は同じ範囲の地図や写真を左右に並べて比較する機能であり、表示範囲全体を比較す

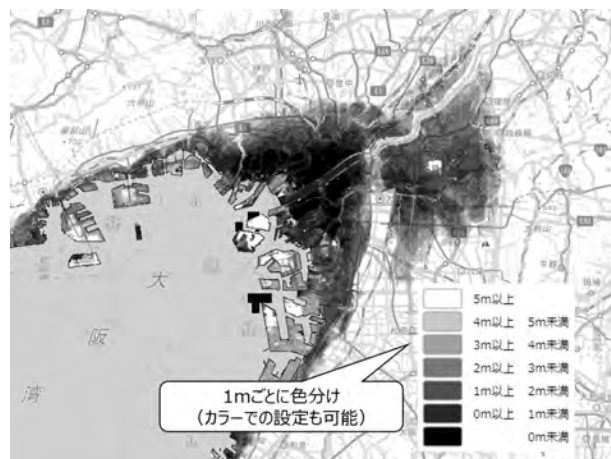


図-7 自分で作る色別標高図（大阪市付近）

るために設計されている。対する「重ねて比較」は同じ範囲の重なった地図や写真をカーテンのように比較する機能であり、局所部分を比較するために設計されている。

図-8は2018年に洪水被害を受けた岡山県倉敷市真備町付近の被災前と被災後の写真を並べて比較したものである。浸水範囲の広がりが見える。図-9は東京駅付近の1936年の写真と2019年の写真を重ねて比較したものである。現在の外堀通りはかつてのお堀に沿った道路であることが分かる。



図-8 並べて比較（岡山県倉敷市真備町付近）



図-9 重ねて比較（東京駅付近）

3.4 3次元表示機能

地形図から土地の高低を把握するには等高線を読み取る必要があったが、それには一定の技能が必要

であった。地理院地図では電子地図の特性を生かし、好きな範囲をより直感的に3D表示することができる(図-10)。さらには、それを3Dプリンター用のデータとしてダウンロードし、3Dプリンターで立体模型を作製することもできる。この3次元表示機能は、面右上の「ツール」→「3Dから利用することができる」。

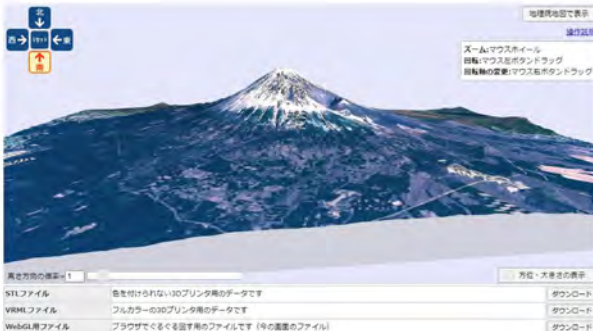


図-10 3D表示(富士山)

3.5 その他の機能

これまでに紹介した機能の他にも、地図上への作図、距離や面積の計測、磁北線や等距圏、方位線の表示機能などもある。地理院地図の操作方法や活用方法は「地理院地図の使い方」ページで紹介しているほか、YouTube「国土地理院・地理院地図チャンネル(図-11)」で各機能の操作方法を動画で解説している。

地理院地図の使い方

<https://maps.gsi.go.jp/help/intro/>

YouTube「国土地理院・地理院地図チャンネル」

<https://www.youtube.com/c/gsimaps>



図-11 YouTube「国土地理院・地理院地図チャンネル」

4 地理院地図の地図データを他サイトで利用する

ここまで、地理院地図で閲覧できる地理空間情報を第2章で、利用できる機能を第3章で紹介してきた。第2章で紹介した地理空間情報はオープンデータとして国土地理院のサーバから配信されており、他サイトで利用できる。

図-12は広島県が運営する「土砂災害ポータルひろしま」である。このウェブサイトの背景の地図として利用されている地図は地理院地図の地図データであり、国土地理院のサーバに置かれている。一方で、地図上に重ねて表示している土砂災害警戒区域等のデータは広島県のサーバに置かれている。このウェブサイトを見ている人のパソコンの画面上には、異なるサーバから配信される2つの情報(地図データと上乘せデータ)が重ねて表示される。

このように、地図サイトを作るときに、国土地理院のサーバから配信される地図データ利用すれば、自ら地図データを用意する必要がない。地図データは国土地理院が常に最新の状態に更新しているので、地図サイトでも常に最新の地図が表示される。



図-12 土砂災害ポータルひろしま
(<https://www.sabo.pref.hiroshima.lg.jp/portal/>)

5 おわりに

本稿では地理院地図で見ることのできる地理空間情報と、地理院地図の使い方について紹介した。国土地理院では、引き続きその地図を、鮮度の高い状態に保つとともに、最新の技術をフォローしながら、随時活用可能な形で地理院地図を通して提供していく。

地質情報と プロジェクションマッピング

しばはら あきひこ
芝原 暁彦*

Key Word

プロジェクションマッピング, 地質情報, 三次元造型, 自粛期間, 地学教育

1 はじめに

21世紀に入り、あらゆる分野でデジタル技術での情報共有が前提となった現在、地質学を初めとする自然科学分野においても、最先端の研究分野を効率よく可視化する技術が求められている。

そこで筆者らは2018年に、茨城県つくば市にある国立研究開発法人産業技術総合研究所（以下、産総研）の地質標本館という博物館内に、精密な日本列島の立体模型を設置し、そこに地質図をはじめとする様々な情報を3Dプロジェクションマッピングする地質模型システム（以下、3D地質模型）を設置した。

本稿ではこの模型を中心に、その後の新たな地質模型の開発状況や、2020年の新型コロナウイルス感染拡大に伴う自粛期間中に実施したオンライン講義と模型との組み合わせなど、最新の地学教育の進捗について述べる。

2 地質模型システム

地質標本館は、地球科学専門の博物館であり、産総研の130年以上にわたる地質学の研究成果を展示する目的で1980年に設置された。筆者はここに2011年から2017年まで勤務し、その間に、立体模型とプロジェクションマッピングによる地質模型システムを開発した（特許第6079990号）。

また2016年にはこの特許をもとに産総研発ベンチャー「地球科学可視化技術研究所（以下、地球技研）」を設立し、この模型を使った国内外での地質情報の可視化と、教育普及を進めている。

地球技研は2018年に、過去最大となる全長9mの、日本列島大型3D地質模型を地質標本館の第一展示室に設置した。立体模型は日本列島を1/34万縮尺で再現したもので、陸上だけでなく日本列島周辺の海底地形も網羅している。さらに模型の

表面に5台のプロジェクターを用いた立体的なプ

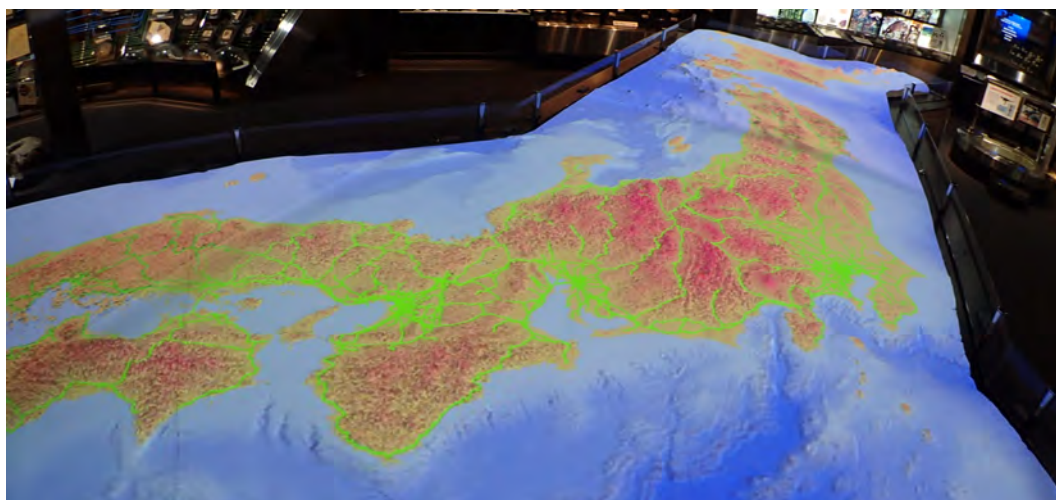


写真1 3D地質模型（地質標本館第一展示室にて撮影）

*産総研発ベンチャー地球科学可視化技術研究所所長／福井県立大学 恐竜学研究所 客員教授

ロジェクションマッピングが行われ、地形図や地質図、衛星画像などの地図情報をベースに、道路網や鉄道網、学校の位置などインフラ情報、活断層・活火山の位置など最新の研究成果を同時投影できるため、様々な立体情報を多重露光的に視認可能となる。

立体模型部分は3Dプロッタと呼ばれる三次元造型機を使って作られている。3DプロッタはCNC(Computerized Numerical Control)と呼ばれるコンピュータ数値制御によって立体物を削り出すフライス盤の一種であり、航空レーザー測量による地形情報や、海底地形デジタルデータから変換された3Dモデルを入力することで、立体地形が造型できる(写真1, 2)。



写真2 投影前の光を当てていない状態

また前述の通り、この模型はXY軸方向の縮尺を1/34万スケールとしているが、さらにZ方向に地形を約3.5倍強調している。こうすることで、関東平野における標高十数メートルという微細な台地と低地の境界線なども模型上で明瞭に視認できる。この模型の造型は、地球技研のCTOで、ニシムラ精密地形模型の代表でもある大道寺覚氏が担当した。同氏が持つ、CNCフライス盤の高精細な造型技術により、この精度が実現している(写真3)。

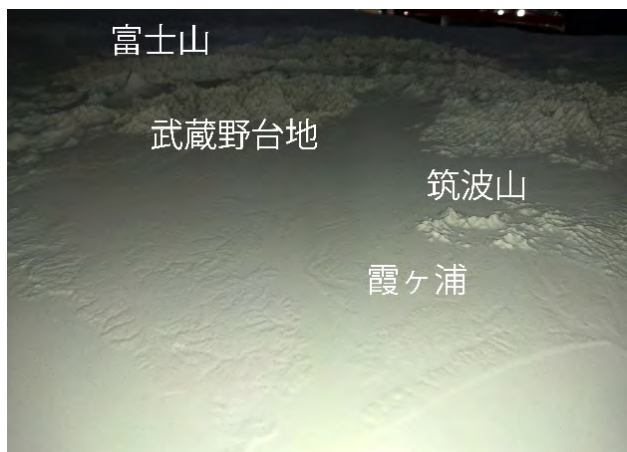


写真3 関東平野を南東から北西方向に俯瞰した状態。平野部の台地と低地が視認できる

さらに博物館の来館者が模型の手前に設置されたタッチパネルを操作すると、任意に様々な情報を組み合わせながら表示できる(写真4)。

例えば「地形図」と表示されたアイコンをタッチすれば、標高が高くなるほど赤味が増す標高段彩図と、水深が深くなるほど青みが増す海底地形図が同時に表示される(写真5)。さらに産総研が配信するASTERで観測された衛星画像データも投影できる(写真6)。



写真4 海岸線のみをプロジェクション

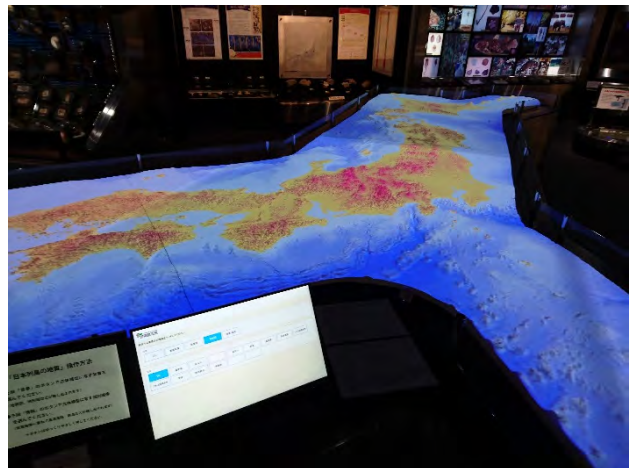


写真5 標高および水深情報のプロジェクション



写真6 ASTER衛星画像のプロジェクション

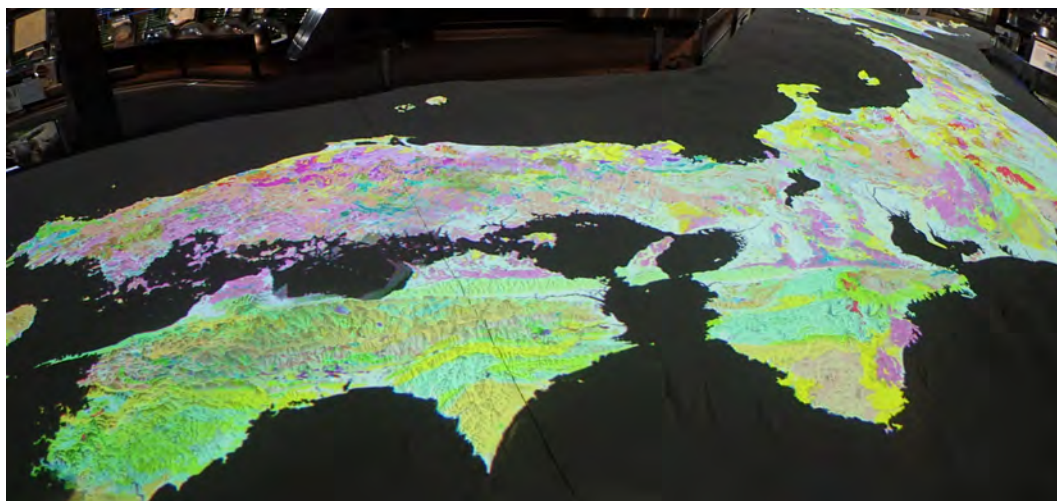


写真7 地質図のプロジェクション

さらに地質図は、産総研の地質調査総合センターが発行する「20万分の1日本シームレス地質図」のデータを投影している（写真7）。先述の特許第6079990号による技術は、この地質情報を立体地形上に歪み補正を施すことで精密にプロジェクションマッピングすることを目的として開発したものであり、地質図を立体模型上と重ねることで、地層や岩石の分布と地質構造と地形との関係を視認できる（写真8）。

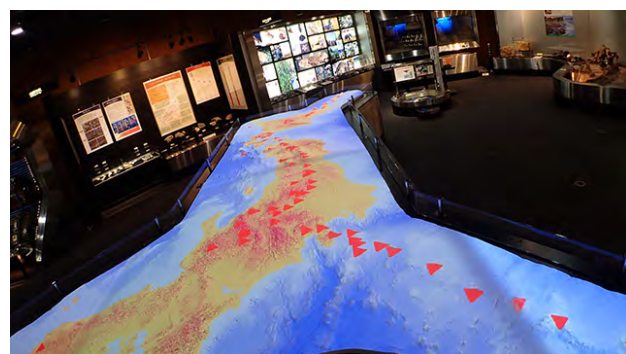


写真9 活火山の位置情報のプロジェクション

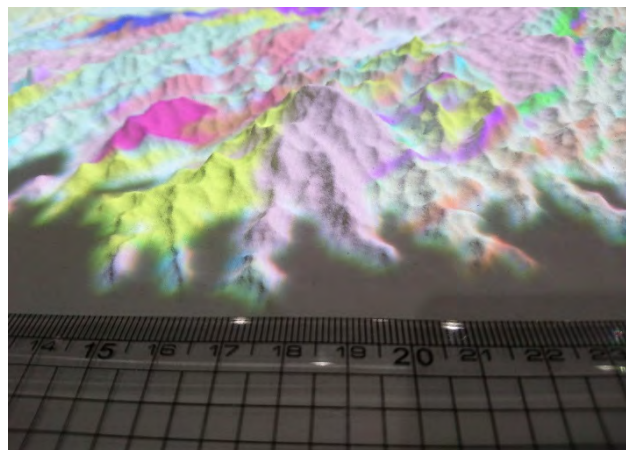


写真8 三陸海岸（釜石付近）を東から西へ俯瞰。地質図が高い精度でプロジェクションされる。

またそれぞれの地図の上に、活断層や活火山など最新の研究で得られた地質情報のベクトルデータを透過レイヤーとしてプロジェクションできる。（写真9）。これに加えて、道路情報や鉄道情報なども同じくベクトルデータとして表示可能である（写真10）。

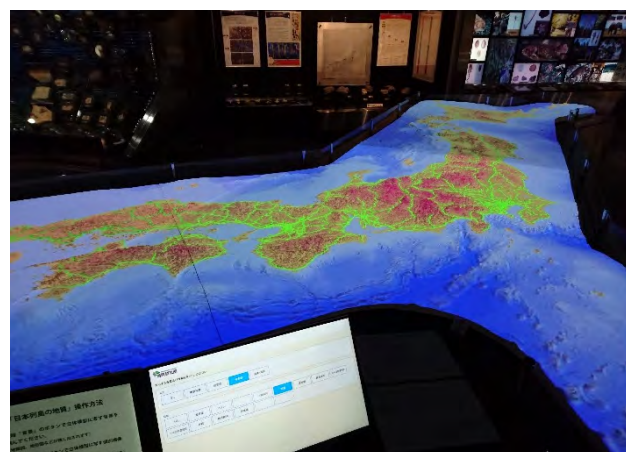


写真10 鉄道網のプロジェクション

3 設置方法と、最新コンテンツ

模型システムを設置した地質標本館の第一展示室

にはもともと、開館当所に作られた、手作りのアナログ地質模型が展示されていた（写真11）。この模型を、外側のステンレス製の枠部分だけを残し、その中に三次元造型してはめ込み、展示室の天井部分にプロジェクターを設置する方式で、最新の模型システムに更新した。

このように設置物の一部をそのまま残して、新規の製造物をそこにはめ込む手法も、既存物の寸法を

測定してそこにフィットするように模型を設計するという、デジタル技術ならではの特性と言える。また画像やコンテンツを任意に追加できるのも模型システムの強みであり、設置から3年が経過した現在、既に地質図や活断層データの更新、さらに音声読み上げ機能の追加など、展示内容が日々進化している。

4 新型コロナウイルス感染拡大と自粛期間中の対応

このようにインタラクティブな展示を行ってきた3D地質模型であるが、2020年の新型コロナウイルス感染拡大防止への対応から、タッチパネルに触ることができず、数種類の画像を自動で表示する体制となっている。また同様の理由により、筆者らが開発した3D化石データをタッチディスプレイで表示するシステムも展示を見合わせている。

こうした状況に対応するため、2020年4月からは、オンライン上でVRを使用した展示に力を入れている。特に恐竜学研究所の今井拓哉博士と各月で開催している「VR恐竜シンポジウム」では、VRSNS“Cluster”と呼ばれるシステムを用いて、VR空間内の博物館に配置された恐竜骨格や微化石の標本などを使い、古生物の解説を行っている。

5 VRデータとの組み合わせ

さらに2020年末からは、こうしたVRコンテンツと模型システムとの組み合わせを行うため、家庭用の学習コンテンツを新たに開発した。

大道寺氏が制作したA3サイズの立体模型をスマートフォンのカメラを通してみると、化石の情報と発見場所が地図の上にバーチャルで表示される、いわゆる拡張現実である。まだ試作段階であるが、今後は3D地質模型と同様に、各種地図やベクターデータなども表示する予定である。

6 国際展開

3Dシステムを用いた試みは国外でも展開されており、2014年からはカンボジアのコンポンチャムにある中学教員養成所(Reginal Teacher Training Center: RTTC)における環境教育支援事業に活用されている¹⁾。

また2020年1月には、3D地質模型がワシントンD.C.にある世界銀行本部で行われた防災・減災に関するセミナー「Tech4Bosai #2: Leveraging Japanese Experience For Resilience」で公開され

た²⁾。このセミナーは経団連米国事務所、世界銀行日本理事室およびGlobal Facility for Disaster Reduction and Recovery (GFDRR)の共催によるもので、日本の企業が有する防災・減災に資する最新のテクノロジーや最新の取り組み等や知見を共有し、国際間の協力可能性を模索するものである。このため地球技研では、3D地質模型を使った地学と防災情報の可視化や、それらを使ったネットワーキングなどについて多面的に紹介した。また2021年3月11日にスタンフォード大学で行われたオンラインカンファレンス「The Frontiers of Disaster Prevention in the Era of Great Disasters: Ten Years after the Great East Japan Earthquake. 東日本大震災から10年を経て」では、先述のVRデータとの組み合わせ例を含めて、より先進的な例について紹介した³⁾。今後は各国が進める自然科学情報のオープンデータ化と併せて、さらに多面的な可視化システムを構築する。

7 謝辞

本稿で紹介した拡張現実によるVRデータとの組み合わせの試みは、クラウドファンディングサイトReadyForのプロジェクト「地学や恐竜を楽しく学べる3D地図教材を作りたい」にて開発をスタートした。ご協力いただいた皆様に深謝申し上げます。

〈参考文献〉

- 1) 芝原暁彦, 岩間美代子, 宮川皓子: 「プロジェクトンマッピング型精密模型を用いたカンボジアでの地学教育」, 日本地球惑星科学連合2016アウトリーチセッション (G-03).
- 2) 一般社団法人日本経済団体連合会: 経団連タイムス http://www.keidanren.or.jp/journal/times/2020/0206_08.html (2021年3月9日現在)
- 3) The Frontiers of Disaster Prevention in the Era of Great Disasters: Ten Years after the Great East Japan Earthquake. <https://aparc.fsi.stanford.edu/events/frontiers-disaster-prevention-era-great-disasters-ten-years-after-great-east-japan-earthquake> (2021年3月9日現在)

DEMを用いた活断層研究の新展開

ごとう ひであき*
後藤 秀昭*

Key Word

数値標高モデル, 活断層, アナグリフ, 海底地形, 変動地形, SfM-MVS, 航空レーザー測量, マルチビーム測深

1 はじめに

活断層の調査研究では、活断層分布を把握したり、トレンチ調査の適地を選定するために地形判読が欠かせない。5万分の1地形図や等高線から作成した切峰面図を判読して活断層の分布を認識していた時代もあるが、1960年代以降、空中写真のステレオ実体視による判読が一般的となり、日本各地で活断層が発見された。1991年発行の『新編 日本の活断層』¹⁾にその成果がまとめられ、「活断層発見の時代」は終わったと言われたこともあった。しかし、今世紀に入って、数値標高データが利用可能な状況となり、空中写真判読では見いだすことができなかつた活断層地形が見いだされるようになり、活断層や変動地形学の新たな局面を迎えている。本稿では、数値標高データの種類や特徴、それを用いたステレオ画像の特徴、地形判読や分析の利点について解説する。

近年、コンピュータビジョンの発達により、人工改変などにより消失した地形を数値標高データとして復元できるようになった。いわば、タイムマシンによって過去の世界に行き、現在の地表にはない地形をコンピュータ上で観察したり、計測できるようになっている。また、海底の数値標高データを組み合わせれば、海陸を跨いで沿岸の変動地形を検討できるようになった。沿岸海域まで延びる陸上活断層の延長部を検討するだけでなく、これまで検討されることのなかった氷期の低海面期の変動地形を組み入れることで、最終間氷期からの連続した地形発達や地殻変動が検討できるようになった。このような数値標高データを用いた活断層や変動地形研究の新展開についても紹介し、さらなる発展へと誘いたい。

2 数値標高データ

数値標高モデル (DEM: Digital Elevation Model) は地表の凸凹を数値化したものであり、格子状のラスターデータとして扱うのが最も一般的である。地表の平面上の位置と標高値を用いた三次元座標が格納されたものであり、建物や植生の凹凸を含んだ数値表面モデル (DSM: Digital Surface Model) と、それらを除いた数値地形モデル (DTM: Digital Terrain Model) に分けられるが、DTMをDEMと同義に用いることが多い。

これらのラスターデータの作成には、点群データ (Point Cloud Data) が元データとなっており、陸上では主にレーザー測量 (LiDAR: Light Detection and Ranging)、海底地形はマルチビーム測深機 (MBS: Multibeam Echo Sounder) によって取得されている。LiDARは、主に航空機やヘリコプターに取り付けられて計測されており、GNSSと慣性計測ユニット (IMU: Inertial Measurement Unit) によって補正されて三次元の地理データとされる。LiDARの小型化・低価格化が進んでおり、ドローンに取り付けられたり、地上を歩きながら取得できるものも出現しており、狭い範囲を高解像度で取得したり、機動性を高めて作業することができるようになってきている。2020年にはApple社のiPhoneやiPadにも搭載され、ますます身近な計測方法となりつつある。

MBSは海底地形を点群データとして取得する測深方法で、測量船直下の水深を計測するシングルビーム測深機と異なり、扇状の音波を発信し、海底からの反射音波から多数の測深データを得るものである。一度に多数点 (256点以上) の情報が带状に得られ、船の進行とともに海底をスキャンするよう

* 広島大学 大学院人間社会科学部 准教授

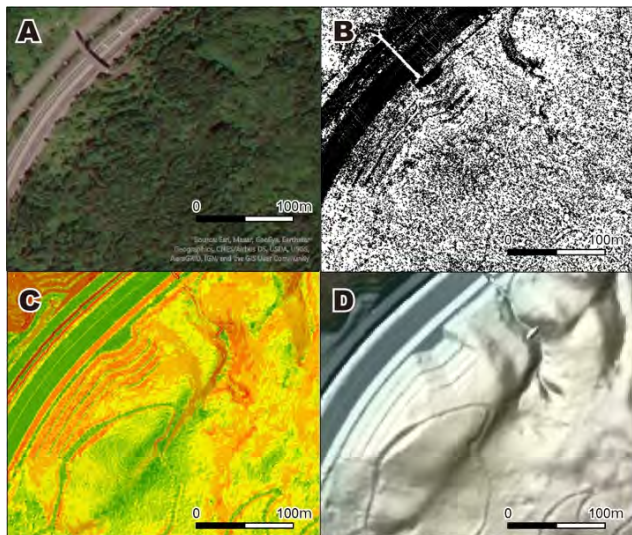


図1 LiDARデータの処理と活断層の地形
 甘日市吉和付近の筒賀断層。A：衛星写真，B：
 LiDARによる点群データ C：点群データからTINを作成，
 D：DEM（2m間隔メッシュ）による地形表現。
 国土地理院提供のデータ。

に面的に地形データを取得できる。GNSSや動揺計測装置、水中音速度測定などによって補正されて三次元の地理データとされる。

これらの装置によって取得された点群データから植生や海中のノイズなどを取り除く、フィルタリング処理がなされ、グラウンドポイントデータが生成された後（図1B）、不整三角形網（TIN：Triangulated Irregular Network）の作成（図1C）を経てDEMが作成される（図1D）。DEMのメッシュサイズによって表現できる地形は異なるが、サイズの細かさとファイルサイズはトレードオフの関係にあり、対象や状況によって適切なサイズを選択する必要がある。また、DEMにされる過程で活断層に関する重要な地形が取り除かれる場合もあり、可能であれば、LiDARの点群データのうち、グラウンドポイントデータから研究者自らがDEMを作成した方が適切な変動地形が確認できる場合が多い。

さらに、上記のような点群データが得られない場合でも、等高線や等深線の情報があれば、TINを作成してDEMに変換できる。つまり、紙地図からDEMを生成することができる。等高線を読み慣れた研究者でも、ステレオ画像など、多様な地形表現を見ることで新たな気づきや分析が可能になると考えられる。等深線から生成した海底のDEMによるステレオ画像から海底活断層や海底段丘が見いだされている例もある²⁾。消失してなくなった陸上や海底の地形を含め、LiDARやMBSによる測量が未実施であるが、精度のよい等高線図が作成されている

場所において検討すべき重要な方法の一つと考えられる。

3 地形の可視化とステレオ画像

数値標高モデルを用いた地形の可視化は地理情報システムの研究分野のひとつとして多様な試みが続けられている。そのうち、ステレオ画像を作成する方法はこれまで空中写真を用いて行われてきた変動地形学的手法と同じ見方で判読できるうえ、空中写真とは異なる特性を有する新たな判読材料であり、積極的に利用が進められている^{3) 4)}。特に、LiDARの特性として建物や植生を除去した地球の表面の形態のみを観察できること（図1、図2）以外に、空中写真より大きな過高感が感じられ、小さな地形的な凹凸など細かな地形変化や、長波長の変形が捉えられること（図3）は大きな利点となっている。また、ステレオ画像であるアナグリフは、赤青メガネ

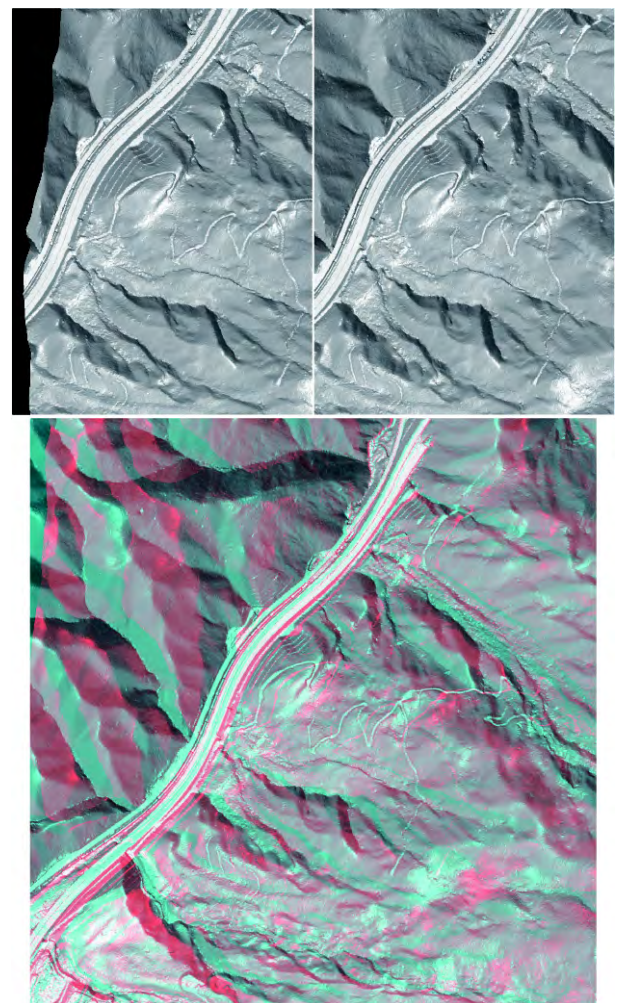


図2 DEMから作成したステレオ画像
 （上段：平行視ステレオ画像，下段：アナグリフ）
 山麓を通る筒賀断層。図1と同じ資料と場所。

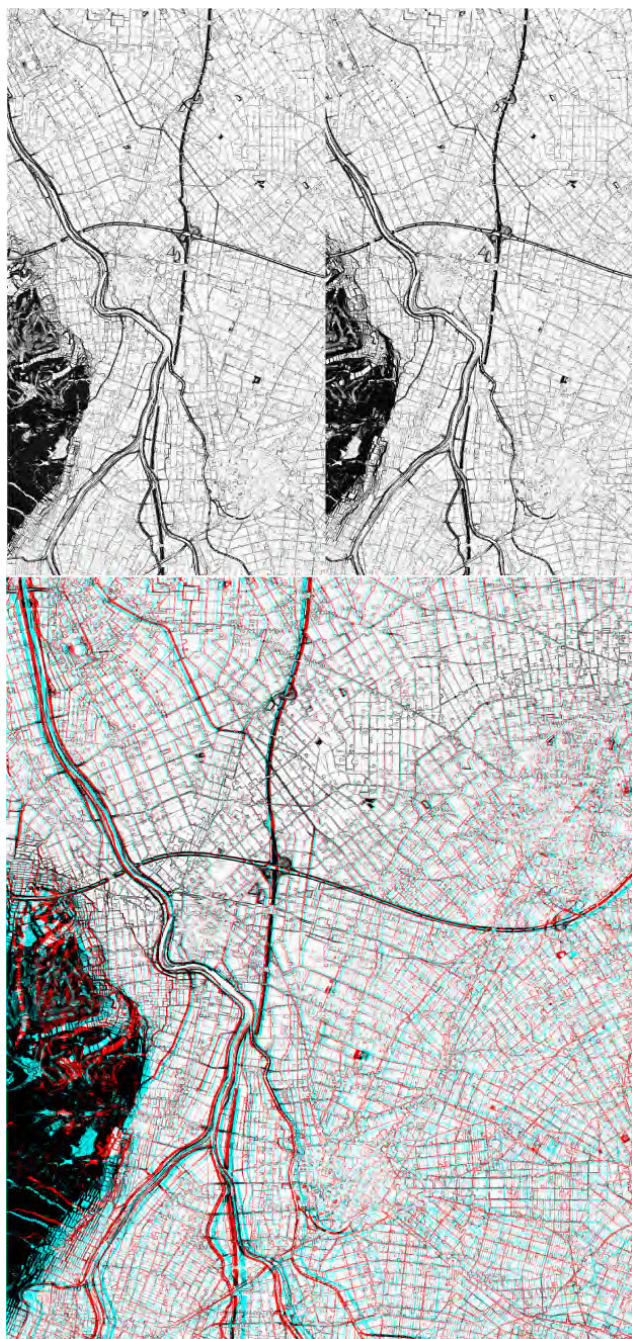


図3 DEMから作成したステレオ画像
(上段：平行視，下段：アナグリフ)
西に分布する丘陵の東側基部の法林寺断層とその北の平野部に延びる背斜変形（岩武背斜）が判読できる。アナグリフの方が広い範囲を一度に判読できる。国土地理院の基盤地図情報より作成。

をかけることで簡単に立体像が得られ、しかも多くの人が同時に同じ立体像を共有できる⁵⁾。また、空中写真では撮影不可能なほど広い範囲（数十万分の1レベル）から、水田の一筆、一筆が確認できる数千分の1の縮尺レベルまで多様な地域スケールの地形をシームレスに1つの画像で判読できる。さらに、アナグリフに断層線などを書き込むことで直接、地理データにすることができる。これらの特性によ

り、従来の地形判読の作業を大きく変えることに繋がっている。画像作成の具体的な手順については拙稿⁸⁾に詳しく解説しており、国土地理院の基盤地図情報のDEMを用いることで誰でも簡単に作成可能である。

図3は法林寺断層とその北延長を示したものである。法林寺断層は砺波平野南部で西の丘陵と平野を限る活断層として認識されていたが、垂直倍率を大きくした画像を判読することで、北の平野部に背斜状の地形が延びていることが確認された³⁾。また、熊本市街地を横切る断層帯⁶⁾や京都盆地北西縁³⁾、武蔵野台地の長波長の変形^{7) 8)}など、市街地で建物などの地物があって判読が困難であった場所や、空中写真では捉えられないほど長い波長の変動地形が次々に見いだされている。

山地部でも、図1や図2の筒賀断層のように、森林でよく見えなかった断層地形が明確に確認できるようになっており、変位基準が乏しく、変位速度の検討が難しかった山地部を通る活断層の重要な検討材料となっている^{9) 10)}。

4 活断層による変位量の計測

活断層の特性を理解する上で、変位速度の推定は極めて重要な調査項目であり、現地での地形計測が基本となる。数値標高モデルは地表の平面上の位置と標高値が面的に表現されていることから、PC上で計測を行うことが可能である。もちろん、現地での計測が最も高精度であるが、現地で計測することが難しい状況の場所も少なくない。横ずれ変位量の計測のためには、段丘崖や開析谷の平面形態を明らかにする必要がある。数値標高モデルを用いることで詳しく、正確に表現、計測できるようになった。

図4は中央構造線の父尾断層の変位による段丘崖の横ずれを数値標高モデルで計測したものである¹¹⁾。このように長い直線状の測線を現地で設定することは容易ではなく、数値標高モデルを利用することで簡便に高精度な計測が可能となったといえる。地形ステレオ画像で変位地形を実体視して、画像上に理想的な計測測線を設定できる(図4, 図6)。また、空中写真よりも過高感を大きくして捉えられるため、これまで見逃されていた変位基準を見いだすこともできる¹¹⁾。まさにPC上で地形を手取るようには観察し、縦横無尽に計測できるようになったと言えるだろう。

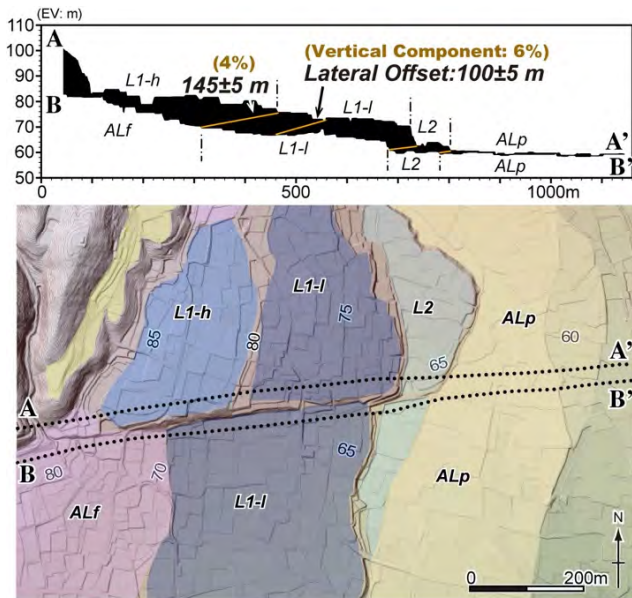


図4 DEMの計測による断層変位の分析
(上段：地形断面図，下段：地形分類図)
上段の黒い領域は断層崖を南から見た様子に相当する。1970年代の空中写真より写真計測により作成したDEMに基づく¹¹⁾。

5 変更された断層地形の復元

LiDARにより地表の様子が詳しく測量できるようになったとは言え、その技術が確立された今日、すでに自然地形が大幅に変えられている場所は少なくない。高度経済成長やバブル経済などの戦後の経済発展に伴って都市への人口移動、都市間の分業と連結が進み、都市域の拡大と土地利用の高度化、農業の近代化、交通ネットワークの構築などによって、我が国の自然地形は大きく姿を変えた。したがって、活断層などの地形判読では、写真の縮尺や品質、自然地形の残存を考慮して1960年代の2万分の1空中写真が用いられることが多い。

コンピュータビジョン分野のStructure from Motion (SfM) と Multi-View Stereo (MVS) の技術を組み合わせた汎用性の高いソフトウェアの出現によって、写真に収められている地形から点群データやラスタデータが手軽に作成できるようになった¹²⁾。航空写真測量はこれまでも重要な役割を担ってきたが、その作業は専門の技術者が行うのが一般的であり、時間やコストを考えると、活断層や変動地形を専門とする研究者自らが作業したり、気軽に利用するのは困難であった。一方、SfM-MVS技術を組み込んだソフトでは、多視点から撮影された写真のみから写真が撮影された相対的な位置が標定され、それに、写真に写っている数地点の場所の地理情報(緯度、経度、標高などの三次元情報)を地上基準点(GCP)として追加することで、地形モデル

を構築できるようになった¹³⁾。

四国では中央構造線活断層帯に沿って徳島自動車道、松山自動車道などが建設され、建設中に多数の断層露頭が観察されたが、消失した変位地形も少なくない¹⁴⁾。断層の横ずれ変位が累積的に観察できた日開谷川右岸の徳島県阿波市市場町上喜来(図4)では徳島自動車道の土手が作られ、断層崖は消失した(図5)。建設前に撮影されたカラー空中写真で最も古い1974年撮影の空中写真を用いて、当時の地形が復元され、横ずれ変位量や変位速度が高精度に算出された¹³⁾。写真測量の技術者によるDEMと、SfM-MVS技術によるソフトを研究者自身が作成したDSMが比較され、DSMでも変動地形の解析には十分な精度があることが確かめられた¹³⁾。

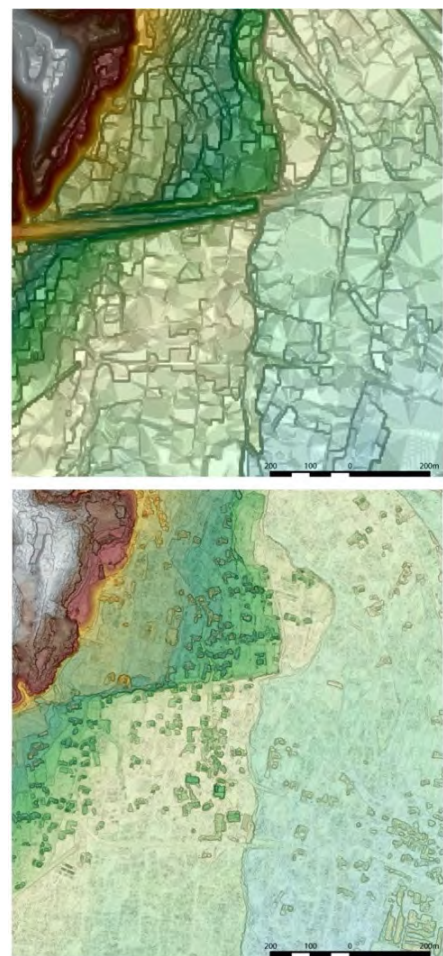


図5 地形変更後のLiDARによる地形(上段)と1974年撮影の空中写真による地形(下段)
中央構造線活断層帯父尾断層の日開谷川右岸。上段は国土地理院の基盤地図情報の5mメッシュ間隔のDEMより作成し、下段はSfM-MVSで作成したDSMによる¹³⁾。

6 海底活断層の調査研究

海底地形についても、陸上の変動地形調査と同様にステレオ画像の判読と計測によって、陸上の変動

地形研究者によって検討が進められつつある。陸上と海底ではデータの取得方法や研究分野の違いから、活断層の調査研究についても陸と海ではこれまで別々に行われてきたが、数値標高モデルを用いることで統一的に研究が進められる状況が整った。

内陸の活断層の地形判読を海底地形に適用して、反射法地震探査や音波探査記録を手がかりにしながら、海底活断層の検討が行われている¹⁵⁾。陸と海で地形形成作用が異なるとはいえ、新期の地形面を変位させることや地形面の变形、海底谷の発達の様子など、陸上の活断層の見方や基準は海底でも整合するところが多い。多様な波長の変形や微地形の判読にはステレオ画像が判読に適当であり、陸上で培われた変動地形学の知識と技術をあわせて、地形研究者の果たす役割は小さくないと考えられる¹⁵⁾。結果として、それぞれ別の現象と考えられてきたプレート境界断層と海底活断層を統合するモデルも提唱され¹⁶⁾、2011年東北地方太平洋沖地震の地震断層についても議論される¹⁷⁾など、海底活断層の再検討が進んでいる¹⁸⁾。

7 海陸を跨いだ沿岸部の変動地形

海成段丘の変位や傾動など、沿岸陸域での変動地形学的研究は活断層と同様に空中写真の利用が始まったころから精力的に続けられてきた。しかし、それらの変動地形と沿岸海底の変動地形とを直接結び付けて具体的に検討が行われるようになったのは2000年代に入ってからのことである¹⁹⁾。沿岸海域での地形および地質調査が進み、内陸活断層の海域延長が明らかにされたほか、沿岸海域に分布する活断層の分布によって海成段丘の高度変化が説明されるようになった。

一方で、沿岸海域では堆積物が乏しいことも少なくないため、探査記録のみに依存せず、陸上の変動地形とあわせて合理的に変動地形を検討する必要性がある。すなわち、海陸を跨いだ沿岸域全体の変動地形研究が必要であり、地形を統合できる数値標高モデルは研究の鍵となっている²⁰⁾。

図6に示したように、陸上と海底の地形を統合したステレオ画像を作成し、地形判読や地形断面図の作成を通して海底活断層の特性を理解する必要がある。南西諸島の変形をもたらす沿岸域の活断層について検討した研究では、探査記録では正断層とされているが、海陸の変動地形からは逆断層であることが示された²¹⁾。

また、MBSによって、氷期の低海面期に形成された海底段丘が面的に詳細に明らかにされるように

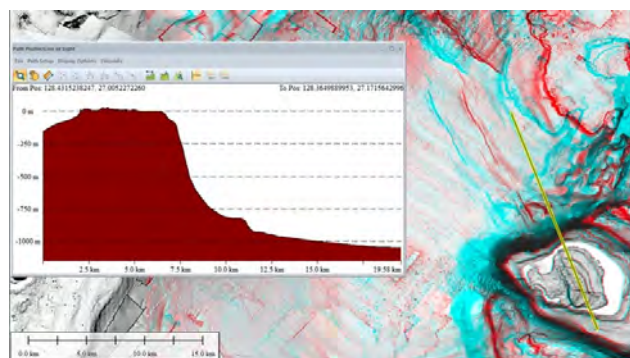


図6 与論島とその西の与論海盆を統合した地形アナグリフと地形断面図(左)
地形データはMBSや等深線など多様なものを組み合わせている²¹⁾。アナグリフで地形を判読しながら、地形断面図を描くことができる。

なった。海底地形に残された旧汀線高度からは、陸上の海成段丘から推定される地殻変動とは異なる例も示されている²²⁾。低海面期の地形を読み解くことで、変動地形が陸上にない地域を含め、より広い地域の新たな地殻変動像が描かれるようになるものと期待される。

MBSによる調査はまだ一部に限られており、今後の情報取得とともに、陸上の基盤地図情報と同様に、我が国の国土を理解する基本的な情報として集約、公開されることが望まれる。

8 おわりに

本稿ではDEMを用いた活断層の調査研究について筆者の経験を中心に紹介した。紙面の関係で紹介できないが、地震前後の変形の量やベクトルなど定量的分析を含め、DEMを用いた活断層の研究には多様な試みがある。データを取得する機器や分析手法は日進月歩であり、AIと結びつけるなどのアイデアの創出とあわせ、今後の発展が大いに期待できる。とはいえ、旧来からある研究手法がすべてDEMにとって変わることはなく、現地での情報取得とともに、リモートセンシングの技術をうまく組み合わせながら活断層の調査研究は実施されていくべきであろう。

(参考文献)

- 1) 活断層研究会編「新編 日本の活断層—分布図と資料」, 東京大学出版会, 440p. 1991年3月
- 2) 後藤秀昭: 等深線データから作成した日本列島周辺の海底地形アナグリフ—解説と地図—, 「広島大学大学院文学研究科論集特輯号」, Vol.73, 72p., 2013"

- 3) 後藤秀昭・杉戸信彦：「数値標高モデルのステレオ画像を用いた活断層地形判読」, 「e-journal GEO」, Vol.7, pp.197-213, 2012
- 4) 後藤秀昭：「数値標高モデルから作成した日本列島の地形アナグリフ—解説と地図—」, 「広島大学大学院文学研究科論集特輯号」, Vol.72, 69p., 2012
- 5) 後藤秀昭・佐藤崇徳：「アナグリフ画像による地形実体像の共有と地理教育での活用」, 「福島地理論集」, No46, pp.61-66 +口絵 i - ii, 2003
- 6) Goto, Hideaki; Tsutsumi, Hiroyuki; Toda, Shinji; Kumahara, Yasuhiro : 「Geomorphic features of surface ruptures associated with the 2016 Kumamoto earthquake in and around the downtown of Kumamoto City, and implications on triggered slip along active faults」, 「Earth Planets and Space」, Vol.69, 26, 2017
- 7) Goto, H. : 「Extensive Area Map of Topographic Anaglyphs Covering Inland and Seafloor from Detailed Digital Elevation Model for Identifying Broad Tectonic Deformation」, Kamae, K ed., 「Earthquakes, Tsunamis and Nuclear Risks: Prediction and Assessment Beyond the Fukushima Accident」 pp.65-74, 2016
- 8) 後藤秀昭：「海陸を統合した広域ステレオ地形画像を用いた変動地形的研究—関東平野南部と南西諸島中部周辺を事例に—」, 「広島大学大学院文学研究科論集特輯号」 Vol.75, 87p, 2015
- 9) Kaneda, H., Chiba, T. : 「Stereopaired Morphometric Protection Index Red Relief Image Maps (Stereo MPI-RRIMs) : Effective Visualization of High-Resolution Digital Elevation Models for Interpreting and Mapping Small Tectonic Geomorphic Features」, 「Bulletin of the Seismological Society of America」 Vol.101, pp.99-109, 2019
- 10) 山内一彦, 山中瑩：「中国山地西部, 筒賀断層の断層変位地形と変位ベクトル, および平均変位速度」, 「活断層研究」印刷中, 2021
- 11) Goto, H. : 「Late quaternary slip rates and vectors on the Median Tectonic Line active fault zone in eastern Shikoku, southwest Japan」. 「Quaternary International」, Vol.471, pp.267-277, 2018
- 12) 内山庄一郎, 中田高, 井上公, 熊原康博, 杉田暁, 井筒潤, 後藤秀昭, 福井弘道, 鈴木比奈子, 谷口薫：「小型 UAV と SfM ソフトウェアを用いた断層変位地形把握の試み—根尾谷断層水鳥断層崖を例に—」, 「活断層研究」 No40, pp.35-42, 2014
- 13) 後藤秀昭：「SfM (Structure from Motion) - MVS (Multi-View Stereo) 技術を用いた変位地形の数値表層モデルの作成と変位量の計測—1970年代撮影の空中写真およびボールカメラの写真を用いた検討—」, 「活断層研究」 No42, pp.73-83, 2015
- 14) 岡田篤正・堤浩之：「四国中・東部における中央構造線の断層露頭と地形面の編年に関する資料」, 「活断層研究」 No8, pp.31-48, 1990
- 15) 中田高, 後藤秀昭：「南海トラフの海底活断層を詳細地形データから探る」, 「科学」, Vol.80, pp.852-857, 2010
- 16) 中田高, 後藤秀昭：「南海トラフの地震予測に必要な海底活断層のデータ」, 「日本地震学会モノグラフ 南海トラフ地震臨時情報：科学的データや知見の活用」, No6, pp.39-41, 2020
- 17) Nakata, T, Goto, H., Watanabe, M., Yasuhiro Suzuki, Y., Nishizawa, A., Izumi, N., Horiuchi, D., Kido, Y. : 「Active Faults along the Japan Trench and Source Faults of Large Earthquakes」, 「Proceedings of the International Symposium on Engineering Lessons Learned from the 2011 Great East Japan Earthquake」, pp.254-262, 2012
- 18) 泉紀明, 西澤あずさ, 堀内大嗣, 木戸ゆかり, 後藤秀昭, 中田高：「南西諸島海溝周辺の3D海底地形」, 「海洋情報部研究報告」, No53, pp.133-148, 2016
- 19) 岡村行信・井上卓彦・尾崎正紀・池原 研・駒澤正夫・大熊茂雄・加野直巳・伊藤 忍・横田俊之・山口和雄 (2010) 海陸シームレス地質情報集, 「能登半島北部沿岸域」. 数値地質図 S-1, 地質調査総合センター
- 20) 後藤秀昭：「石垣島とその周辺海域を統合した変動地形の研究—沿岸域の変動地形研究の発展に向けた海底地形情報整備の必要性—」, 「広島大学大学院文学研究科論集」, Vol.78, 107-122, 2018
- 21) Goto H., Arai, K., Sato, T. : 「Topographic Anaglyphs from Detailed Digital Elevation Models Covering Inland and Seafloor for the Tectonic Geomorphology Studies in and around Yoron Island, Ryukyu Arc, Japan」, 「Geosciences」, Vol.8, 363, 2018
- 22) Goto H. : 「Submarine Terraces reveal Late Quaternary Tectonic Deformation in the Intermediate Zone between the Island Shelf and Rift Zone of the Middle Part of the Nanseishoto Islands, Southwest Japan」, 「Earth Planets and Space」, Vol.73, 75, 2021

地形図から読み解く都市 〜凹凸地形から知る東京の魅力〜

みながわ のりひさ*
皆川 典久*

Key Word

地形図, 陰影段彩図, 台地と低地, 谷戸, 都市形成, 大名庭園, 遊水池

1 都市の微地形とその描画方法

都市の微地形に対する関心が高まっている。都市の歴史や発展には、立地条件とともに、その土地ならではの微地形が大きく関係し、都市を読み解く「手がかり」として見なされることが多くなった。三角州や扇状地、河岸段丘に自然堤防など、土地の高低差や起伏が、都市の歴史や文化と深く結びついている事例は多々見出すことができる。NHKの人気番組『プラタモリ』も、その土地ならではの地形をテーマに掲げていることが多い。本稿では東京を題材として地図データを活用し、それらの具体的事象を取り上げてゆきたい。

筆者は東京を拠点に、微地形に着目した町歩きによって気づいた事例を発信している。東京の都心部、「山の手」と呼ばれる一帯には「谷戸」と呼ばれる小規模な谷間や窪地が存在するが、それらを印象から「スリバチ」と呼び、観察と記録を続けている。それらスリバチの存在は、実際現地での町歩き（フィールドワーク）で確認するのが最良の方法ではあるが、広域を把握するためには地形図の活用が不可欠となる。自分が愛用していたのは国土地理院から発行されていた「1万分の一地形図」であったが、現在はより簡便に都市の微細な標高（高低差）を表現する手法がある。そのひとつが、国土地理院が公開している土地の標高データを地形表示ソフトに読み込んで立体的に描画する手法である。

土地の標高データはデジタル標高モデル（DEM）と呼ばれ、航空機から地上をレーザーパルスでスキャンして得られた立体情報を整理、編集してつくられたものだ。パルスは家の屋根や樹木の上でも反射するため、こうした障害要素を修正して地面の高さを得ている。最も細密な標高データは、地上を5

m四方のグリッドに分割したもの（5mメッシュ標高データ）で、10cm単位の標高差を知ることができる。これなら歩道と車道の段差など、都市部の微細な高低差も表現可能である。

地形の起伏を視覚的に見せる描画方法として「Kashimir 3D」というソフトを用いた陰影段彩図の活用がある。標高の違いを色の変化で表わし、太陽を見立てた光源を設定して光と影の効果から、地形全体を立体的に見せるもので直感的に土地の凹凸を理解できる。国土地理院が公開している5mメッシュ標高データを使い、光源を左上に設定して東京・名古屋・大阪の陰影段彩図を描画すると下の図になる。



図1 東京・名古屋・大阪の陰影段彩図（Kashimir 3Dを使って作成）

これらの図は、道路や町名などの地図情報を表示させずに、土地の高低差だけを表現したものである。地上の建造物を除去した裸の都市の姿は、それぞれの場所性や立地特性が際立つ。

それぞれの図は、標高10m未満をブルーに、それ以上を土色に段彩表現しているが、どの都市も平らな低地（海岸平野）と一段標高の高い台地から成るのが分かる。台地の先端部では人工的に開削された堀が囲む城址も目に留まる。上記3都市の中では、

*東京スリバチ学会 会長

広い台地面に都市域を広げる東京の特異性が際立っている。

それでは筆者が特に関心を寄せる東京の凹凸地形に焦点を当て、地図データを活用して東京の都市的特徴を紐解いてゆきたい。

2 東京の地形（山の手台地と下町低地）

海岸沿いにある日本の都市の多くは、台地（あるいは段丘）と低地にまたがって立地している。川や海からの相対的な高さ（比高）が小さい低平な土地は、河川が過去に氾濫して形成された沖積層からなり、一段高くなった台地や段丘は洪積層で構成されたものが多い。東京をはじめ、札幌、仙台、横浜、名古屋、大阪などが、共通の立地特性を示す。

東京の場合、武蔵野台地と呼ばれる洪積台地と、荒川・隅田川が運んだ土砂の堆積した三角州・沖積低地に市街地を広げている。一般的に武蔵野台地面に広がる地域を「山の手」と呼び、東京湾に面する海岸平野・沖積低地を「下町」と呼んでいる。この呼び名は江戸時代に行われた封建的な町づくり、すなわち武蔵野台地には武家地を、沖積低地には町人地を割り当てる、地形の高低差による棲み分けに起因するものと思われる。

筆者は平野の二大構成要素でもある低地と台地のうち、人為的な土地改造・インフラ構築で都市として成立をみた東京の武蔵野台地と、その台地に刻まれた開析谷・「谷戸」と呼ばれている微地形に特に関心を寄せている。まずはこの地ならではの文化を育んだ、谷戸地形について触れておきたい。

3 武蔵野台地に点在する谷戸地形

「山の手」と呼ばれる東京の都心部は、青梅を頂点とし扇状地状に東へなだらかに傾斜する武蔵野台地と呼ばれる洪積台地の東端部に位置している。沖積低地とは20m～40mの比高を持ち、2%程度の比較的平坦な傾斜の段丘面では、西から東へ支流を集める河川が流れ、上流にゆくほど樹枝状に分かれた支谷（開析谷・浸食谷）が刻まれている。その谷形状は、山間部で見られるV字状の凸凹とは異なり、平らな台地面を抉り取ったようなU字状を特徴とする。遡上するにしたがい「鹿の角」のように枝分かれした河谷は、その先端部（谷頭）で3方を丘で囲まれた「谷戸」と呼ばれるスリバチ状の窪地となっている場合が多い。

東京山の手は坂が多いことで知られているが、それは足元の微地形が、樹枝状あるいは葉脈状の谷戸と、舌状の台地が入り混じった、特異で複雑だから

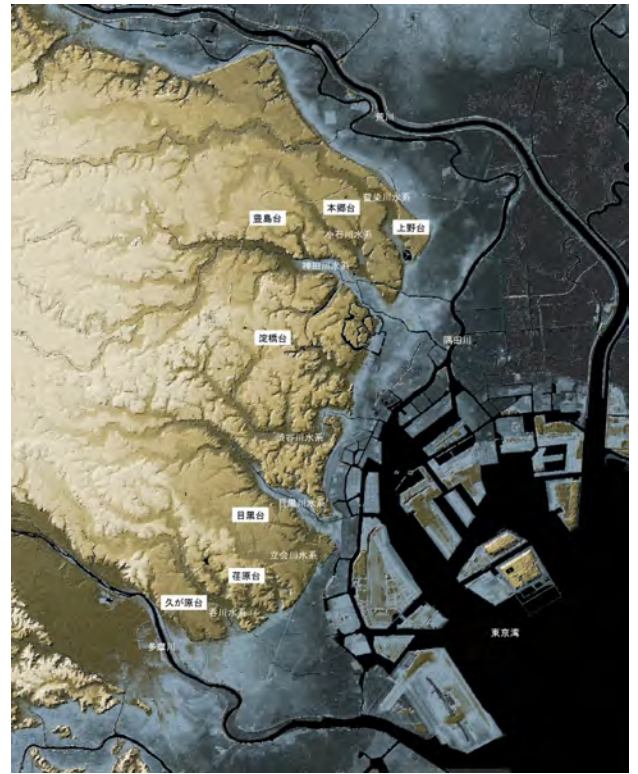


図2 武蔵野台地東端部の地形図：国土地理院5mメッシュ標高データをカシミール3Dにより加工

だ。谷戸の斜面が崖状なのは、台地を覆っている「赤土」と呼ばれる関東ローム層が水の浸食で崩れやすいことに起因する。武蔵野台地東端部では10mほど地表を覆っている関東ローム層とは、火山灰が降り積った地層が長い年月で風化したもので、地質的には砂と粘土の中間（いわゆる泥）にあたる。関東ローム層は透水性が良く、降った雨を浸透させ、ローム層下部の不透水層（東京層）で湧く場合には水の圧力によって谷頭浸食を起こし急峻なスリバチ状の谷を形成する場合がある。武蔵野台地に刻まれた独特な谷地形を、関東地方では古くから「谷戸」と呼んでいる。

武蔵野台地で多く見られる「谷戸」は、関東ローム層と、東アジアモンスーン地帯特有の降雨量の多さのという複数の条件が重なって形成された。ローム層がこの地に厚く堆積したのは偏西風の風上に活動を継続させた活火山（富士・箱根火山帯）が存在した為で、保水力の大きい火山灰の台地では、世界の平均降水量の約2倍となる豊富な雨量で涵養され、湧水を流出させて「谷戸」が点在する独特の地形が育まれた。谷底の低湿地は、水田に利用される場合が多く、谷戸田・谷津田など農村集落の代名詞として使われることが関東地方では多い。

4 起伏豊かな東京の町なみ

東京の都心部、「山の手」とも称される武蔵野台地東端部は、沖積低地に接する場所で断崖上になっている場合が多く、台地と低地を結ぶ坂道や階段が数珠のように連なる。一方、起伏の多い山の手台地面では、下りては上る向かい合う坂、すなわち谷越えの坂となっている場合が多く、「坂の町」とも称される東京の都市景観を奏でている。

たとえば渋谷では、駅を挟んで向かい合う宮益坂と道玄坂がよい例で、谷中では不忍通りの両側に団子坂と三崎坂が向かい合っている。事例として挙げた渋谷・谷中ともに地名に「谷」の文字が含まれるよう、これらの町は谷地形に立地する。山の手にはこの他にも、四ツ谷・市ヶ谷・千駄ヶ谷をはじめ、雑司ヶ谷、茗荷谷など「谷」の付く地名は点在しており、東京の地形を知る上でキーワードのひとつと考える。谷の他にも、久保（窪）や沢、池など、水や関わる地名が東京には多く、地形的特色を示すコードとしても捉えられよう。

5 凹凸地形が育んだ東京の都市形成史

江戸から東京へと続く都市開発のなかで、外濠開削などの大規模な土地改変が部分的には行われたものの、マクロ的に見れば平坦な台地と急峻な谷戸という、この地特有の微地形は失われることはなかった。理由としては、江戸の都市計画が地形の高低差を巧みにゾーニングへ取り込んだこと、そして江戸期という比較的古くに発展した町ゆえ、微地形に即した町の建設がなされたからだ。さらには江戸という消費都市だったことに加え、ローム層の台地が水を得にくかったために灌漑・水田といった稲作に必要な大規模な土地改変を受けなかったことも挙げられよう。戦後から現代における都市開発では、地勢を活かすというよりも、土地を商品とみなし、均質化や平準化が目指され、ひな壇状に造成されることが多く、近代の都市開発あるいは宅地造成で原地形を失った場所は全国に多い。しかし東京という町は、近代の洗礼を受ける以前に市街地として成熟していたことが幸いしたといえそうだ。

我々が目にする東京の町と地形の関係性は、江戸の町を基層とし、町の変遷の中で紡ぎだされたものだ。江戸時代の身分・階級による棲み分けは、武蔵野の台地と谷戸という地形を巧みに利用していた。その土地利用を概略するなら、山の手台地（洪積台地）は武士の生活空間で、下町低地（沖積平野）は町人の生活空間だったといえる。それでは、それぞれの変遷を具体的に振り返ってみたい。

6 山の手と下町の土地利用

江戸時代、山の手台地には主に大名屋敷や武家屋敷が割り当てられた。谷戸地形を取り込んだ広大な敷地を誇った大名屋敷も多く、台地に屋敷を構え、起伏豊かな谷戸には湧水を活かして大名庭園が築かれた。幕藩体制が崩壊し明治の世になると、その跡地は近代国家の首都東京に必要な様々の都市機能を盛り込む格好の器となった。政府関係の機関や各国の大使館、そして学校や病院など大規模な施設の他、民間に払い下げられ、資本家の自邸や社有の迎賓施設、ホテルの庭園へと活かされていった。広大な敷地を活かし、再開発ではなく置換によって新時代への対応が円滑に成し遂げられた。大名庭園というゆとりある敷地が確保されたため、19世紀のヨーロッパの都市が経験した都市の大改造をすることもなく、街路パターンや敷地割りを維持しながら、江戸は明治へと継承されたとも言えよう。その後の震災・戦災復興でも山の手的基本的骨格は変わらずに、広い敷地割りを活かしながら、建物が近代化されてきた。

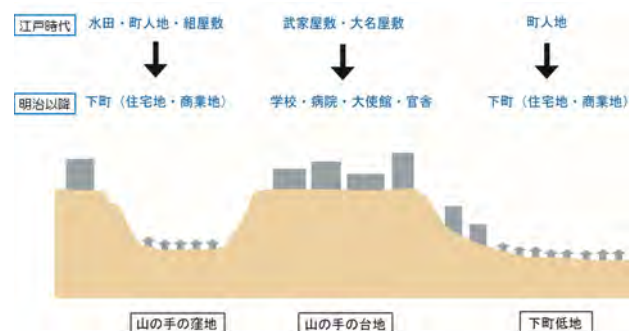


図3 台地と低地の土地利用の変遷



図4 江戸の土地利用が現代の町なみにも継承されている

一方、山の手にある谷地や窪地のその多くが湿地帯であったため、江戸初期では主に水田に利用されたものが多かった。もともと武蔵野台地に刻まれた谷底低地では湧水があり、小規模ながら、沖積低地と違って洪水のリスクが少ない分、古代から安定した水田経営が行われていたようである。これらの土地の宅地化は、江戸時代から近代にかけて大災害の

後に比較的短期間に行われることが多かった。江戸時代では明暦の大火をはじめとした、町を焼き尽くした大火災や大震災の後に、そして近代においては関東大震災や戦災の復興期に急激に宅地開発されていった。自然発生的・零細的に生まれた町も多く、街路は谷間を流れていた川筋に沿うよう地形に従順な自由曲線を描く。宅地面積も細分化される傾向が多く、軒を並べる建物も小規模であり、道幅も狭く路地状な場合が多い。細分化された宅地では土地権利が複雑であり、土地を集約するような一体的な開発が進行することは少なく、個々の敷地単位をベースに、小規模な建物の建て替えが比較的緩慢に行われた。時代から取り残されたような、古くからの町なみが残っている場所が谷底低地に多いのはそのためだろう。

谷あいでも発展する都心の町は、住宅地よりも商業地の名を挙げれば理解しやすいと思う。具体的には、谷中のよみせ通り、染井銀座にしもふり銀座商店街、原宿の隠田商店街やキャットストリート、雑司ヶ谷の弦巻通り商店街、中目黒の目黒銀座や戸越銀座などが該当する。いずれの町も、個人経営の商店が並び、地元密着型のローカルな商店街としてその地域を支えている。



図5 谷あいの町・谷中のよみせ通りは藍染川を暗渠化し、整備したもの

▼7 谷戸地形が伝える大名庭園の名残

東京の都心には池を擁する公園が多い。公園を魅力的にするひとつの要素として、建設された水景施設もあるが、歴史的に調べてみると江戸時代の大名庭園を継承しているものが多いことが分かる。次に挙げる都内の公園は、いずれも池を持つ回遊式庭園であるが、池を満たす水はもともと谷戸の湧水を利用したものであり、その起源は江戸時代の大名庭園にさかのぼれる。

- 有栖川宮記念公園（旧盛岡藩南部家下屋敷：港区）
- 清水谷公園（旧紀伊藩上屋敷：千代田区）
- 池田山公園（旧備前藩池田家下屋敷：品川区）
- 肥後細川庭園（旧熊本藩細川家抱屋敷：豊島区）
- 戸越公園（旧肥後藩細川家の下屋敷：品川区）



図6 谷戸地形を活かした大名庭園の面影を伝える有栖川宮記念公園

いずれも清水の湧き出る起伏豊かな谷戸地形を作庭したもので、大名屋敷自体は台地に構え、南向き斜面に刻まれた溪谷状の地形を池泉回遊式庭園として活用していた。大名庭園とは各藩が、将軍家に対する接待や大名同士の社交の場として、藩の威信をかけて造営したものだ。谷戸の地形的ポテンシャルを活かした「おもてなし」のデザインは、現代に引き継がれた東京のかけがえのない歴史遺産であり観光資源だと解釈できる。上記で挙げた事例以外でも新宿御苑や東京大学本郷キャンパス、白金自然教育園など、身近な場所で江戸の面影と接することができる。

▼8 神と仏の地形的な凹凸関係

東京に限らず、地形の起伏を意識しながら町を歩いていると、神社や稲荷、地蔵、庚申塔などは地形的な特異点に祀られている場合が多い。特に神社は、丘の頂や平地の中でも微高地に建立されているものを多く見かける。それらは、集落や村が生まれた際の、土着で原初的なスポットは、集落あるいは村の「鎮守の杜」として侵されることなく、人の営みを見守ってきた。『神社は警告する』（講談社）では、「津波が到達した浸水線を辿ってゆくと、なぜかそこには神社がならんでいる」という事実を紹介している。歴史ある神社のロケーションには、古代からのメッセージが含まれていると言ってもよい。

一方、寺院の立地に関しては、まったく相反する

2パターンがある。ひとつは神社と同じく台地や丘に建立されているもので、もう一つは台地に切り込んだ谷戸に立地するものだ。



図7 急峻な崖の上に祀られた市谷亀岡八幡宮

前者の多くは将軍家に関する、あるいは徳川幕府の庇護を受けていた寺院である。かつては上野の台地を占有していた寛永寺や護国寺、池上本門寺が該当しよう。これらは例外的な事例で多くの場合は後者、すなわち谷戸や窪地に建立されている。これは寺院が、都市域の拡大とともに時の権力者から強制的に郊外へと移転させられたことが関係している。移転の理由としては、外敵に対する防御陣地帯として、城の外回りの要所に寺院が配置されたこと、そして移転候補の未利用地こそ、郊外の谷戸や窪地・低湿地だったことに起因するものだ。

9 都市における谷間と水の役割

武蔵野台地は、大地を覆うローム層が降った雨を地下へと浸透させてしまう為、地表水が乏しく、用水路が築かれる以前は、水を得難い乾燥の土地であったことを最初に述べた。したがって近世に用水路が築かれる以前は、水や食料を求めて台地のヘリや谷戸に集落が発達したことが遺跡の分布から知られている。山の手台地をきざむ谷戸では、谷頭の泉だけでなく谷壁の下部に湧水が多く、谷底低地に水田灌漑水に利用され、小さな集落を養うには十分だったとされる。山間部の川辺で見られる谷あいの

集落も同じであり「谷」と「村」はしばしば同義で用いられることが多い。



図8 谷戸の田園風景（町田市）

水田は雨水を大地に浸透させ、重要な地下水涵養源となる。加えて水田には一時的な貯留機能がある為、大量の降雨に対する流出抑制を担い、小規模ながらも分散型の遊水池として、一時に大量の雨水が河川へ流れ込むリスクを軽減していた。谷戸の谷壁斜面も比較的最近まで、緑に覆われている場所が多かった。現代は地表面の不透水面化による流出率の増大と谷地の都市化が都市型洪水の発生を助長させる結果となった。もともと持っていた分散型の治水システムを、巨大な地下貯水池などの大規模土木施設で、対処療法的に補っているに過ぎない。

そして武蔵野台地の上を流れていた都市河川の多くは、高度成長期に通水機能に重点が置かれて直線化・垂直護岸化されるか、衛生上の理由で蓋をされた。暗渠化された小河川は遊歩道や緑道として町なかに残されている箇所が多く、その存在を忘れられながらも地域に根ざした風景を奏でていたりする。そしてそれらの旧河道を辿ってみると、道路や鉄道網と異なる「水系」という、もう一つのレイヤーが東京には存在していることに気付かされる。

地形図を用い、実際に巡検（フィールドワーク）を行うことで、分野横断的な知見を得られることが分かる。本稿は東京を題材として事例を紹介したが、都市の微地形に着目することは汎用性があり、各都市においても有効な手法となり得よう。地域の魅力発見から地誌の再評価、防災面での活用など、「地図データの活用」は使う側の視点や工夫によって様々な可能性を秘めているといえる。

クラウド型 GIS を活用した 鉄道運行情報の視覚化と 社内 BCP 対応への応用

つかだ ともき
塚田 知輝*

K
ey Word

クラウド型 GIS, 関東圏, 鉄道運行情報, リアルタイム, 視覚化,
非常時対応, BCP

1 はじめに

2019年9月に発生した台風15号が関東圏を直撃する進路をたどり、千葉県などに大きな被害をもたらしたことは記憶に新しい。特に9月9日(月)は首都圏全路線の約75%にあたる117路線が早朝から一時運転を見合わせ¹⁾、関東圏の交通網が麻痺状態となった。筆者は比較的影響の少なかった地下鉄ヘルートを迂回しながら何とか出社できたが、大半の従業員は出社を見合わせざるを得なくなるなど、当社でも業務に混乱が生じた。

この時、従業員の安否を確認していた上長とのやり取りで、関東圏の鉄道路線の運行情報が一目でわかるサービスがあれば、従業員の出社可否の見通しがわかりやすい、という気づきがあった。すなわち、関東圏では特に鉄道を利用した通勤への依存度が高いため、各自の通勤路線の運行状況が出社可否の目安となるからである。従業員の安否を迅速に把握することは、非常時における企業活動への影響を最小限とするBCP(事業継続計画)の観点からも重要であり、早速この課題に取り組むこととした。

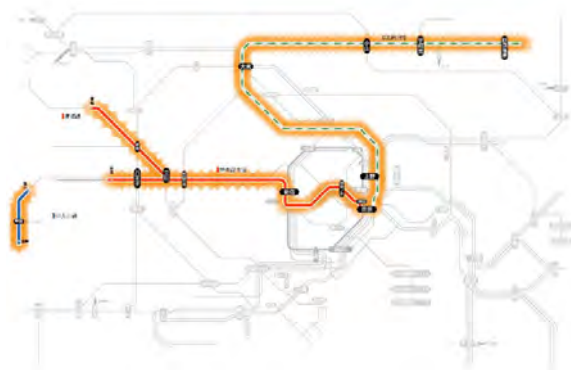


図1 鉄道事業者により提供される運行情報一例
出典: JR 東日本 HP
(https://traininfo.jreast.co.jp/train_info/kanto.aspx)

2 既存サービスの課題

まず、既存の運行情報提供サービスにはどのようなものがあるかを整理してみることにした。一般に広く普及しているのは、各鉄道事業者から直接提供されるWebサービス(図1)や、ポータル系の乗換案内サービス等である(図2)。



図2 Web乗換案内サービスによる運行情報一例
出典: Yahoo! 路線情報
(<https://transit.yahoo.co.jp/traininfo/area/4/>)

前者は、路線図を模した図が提供されていることが多く、運行状況を一目で確認することができる。その一方で、各事業者が独自に情報を配信しているため、非常時には複数の事業者の情報を同時に確認する必要があり、網羅性に欠けているといえる。後者は、特定地域内の全路線の運転状況が一覧になっており、網羅的に確認ができる。しかし、テキストや表形式の情報にとどまるケースが多く、直感的な状況確認が難しいという欠点がある。

このような既存の運行情報提供サービスの課題に対し、GISを用いて関東圏の運行情報を網羅的に視覚化することでうまく解決できるのでは、と考えた。加えて、クラウド型GIS上でリアルタイムな情報更

*株式会社東京地図研究社

新と閲覧を可能にできれば、災害時をはじめとした非常時のBCP対応にも効果的である。そこでこのシステムを「鉄道運行情報GIS」と名付けて、開発を始めることとした。

3 データの取得と整備

「鉄道運行情報GIS」は、「鉄道GISデータ」に「運行情報テーブル」を結合させ、GISソフト上で運行状況の属性に応じた警告色で視覚化することを目的としている（図3）。



図3 「鉄道運行情報GIS」概略手法イメージ図

具体的な手法を検討していく中で、「運行情報の定期的な取得」と「鉄道GISデータの整備」の2点が大きな課題となった。詳細は別稿²⁾でも述べてい

るため、本稿では概略のみを紹介する。

鉄道運行情報の取得にあたっては、統一されたフォーマットで常時情報を取得できることが望ましい。Webベースの乗換案内サービス等、複数の媒体を比較検証した結果、「Yahoo!路線情報」³⁾の配信テキストから情報を引用することとした。

GISソフトで結合処理を行うためにはテキスト形式のデータをテーブル形式に加工する必要がある。そこで、クラウド版表計算ソフト（Google スプレッドシート）の関数機能とイベントトリガー機能を用いて、Webサイトからの情報引用とテーブル形式への整理を行うこととした。Webサイトからは10分間隔で情報を取得・更新を行い、関東圏の全154路線の運行情報を準リアルタイムにテーブル化する仕組みを構築した（表1）。クラウド上で生成された運行情報テーブルはCSVファイルに変換処理することで、GISソフトへの取り込みとデータ結合を可能にしている。

「鉄道GISデータ」の整備にあたっては、まずオープンデータとして利用可能なGISデータを中心に、用途に見合う既存データがないかの調査を行った。その結果、最大の課題となったのが、運行情報の引用元である「Yahoo!路線情報」の路線名・路線区間と一致するデータを整備することだった。例えば、「湘南新宿ライン」や「中央総武線各停」など、関東圏では直通運転サービスや通称路線名などが多く存在し、既存データでは結合処理を実現できないことが判明した。このため、当社が保有する中縮尺向けGISデータをベースとして、運行情報テーブルと定義を一致させた新たな鉄道GISデータを整備することにした。当該データを整備するにあたっては、結合に適する属性入力だけでなく、路線図としてGISソフト上に展開した際の視認性を考慮し、事業者が路線案内用に用いるラインカラーを照合させ、RGB値として属性に格納する一工夫を加えた（図4）。

表1 運行情報テーブルの一例

路線名	状況	詳細	情報掲載日時
西武池袋線・秩父線	列車遅延	濃霧の影響で、現在も一部列車に遅れが出ています。	2020年11月26日 08時15分現在
京王線	運転見合わせ	10:04頃、西調布駅で発生した人身事故の影響で、調布～飛田給駅間の運転を見合わせています。	2020年11月26日 10時04分現在
東京メトロ東西線	運転状況	07:26頃、中野駅で車両点検を行った影響で、現在も列車に遅れや運転変更が出ています。	2020年11月26日 08時15分現在

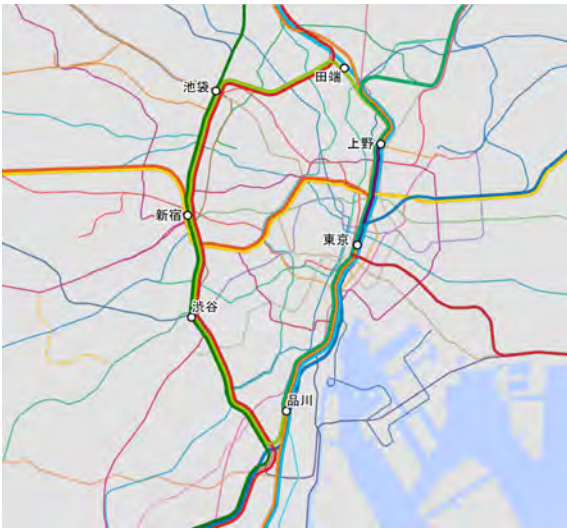


図4 鉄道GISデータイメージ図
背景地図は「国土数値情報（行政区域データ）」
（国土交通省）をもとに筆者作成

4 クラウド型GISによる鉄道運行情報GISの構築

本節では、具体的なシステムの構築手法について述べていく。「鉄道運行情報GIS」は、リアルタイムにWebサイトから運行情報を取得し、それに応じてGIS上の表示を常時更新することが求められる。また、利用者の観点に立つと、閲覧環境に左右されずに利用できることが望ましい。したがって、ライセンス数や動作環境に制約の大きいデスクトップ型GISの利用はやや不向きである。そこで、クラウド型のWebGIS（以下、クラウド型GIS）であるArcGIS Online（Esri社）をベースに採用して、システムの構築を目指すことにした。

具体的なシステムの処理フローを図5に示す。Webサイトから取得した運行情報はGoogleスプレッドシートでテーブル化されている。この運行情報テーブルはCSVファイルとしてローカル環境に

保存されていく。これを鉄道GISデータと逐次結合させ、最新の運行情報GISデータを作成する。運行情報GISデータはクラウド型GISへアップロードし、更新が完了すると即座にWebブラウザ上の表示も更新が行われるようになっている。結合処理とクラウド型GISへのアップロード処理を含め、ローカル環境での一連のフローはすべて、ArcGIS製品に付属するPython環境を応用したスクリプトで自動処理している。この処理フローは情報更新間隔の10分に合わせて実行されるよう設定しており、引用元Webサイトでの更新ラグ、ならびに上記処理に要する時間を考慮すると、運行支障が発生してから概ね20分程度でクラウド型GISへの反映が完了する。

クラウド型GISにアップロードされた運行情報レイヤーは、Webマップ上で運行状況に合わせた警告表示を設定している。さらに閲覧用としてArcGIS Dashboardsを連携させ、ダッシュボードアプリを作成している。このアプリでは最新の運行情報に連動して、運行支障路線のリストを表示する機能、グラフ・表などを追加しており、より直感的に現在の運行状況を視認できるように工夫している（図6）。

ダッシュボードアプリはWebブラウザとインターネット環境があれば常時閲覧が可能であるが、現在のところ公開範囲は当社内のアカウントを所持している従業員限定として、閲覧時にログイン認証を設けて制限している。

5 社内運用での実例と課題

当社では、この「鉄道運行情報GIS」システムを各部署のリーダー・役員間で共有し、社内BCP対応の一部として運用を続けながら、実証と改善を繰

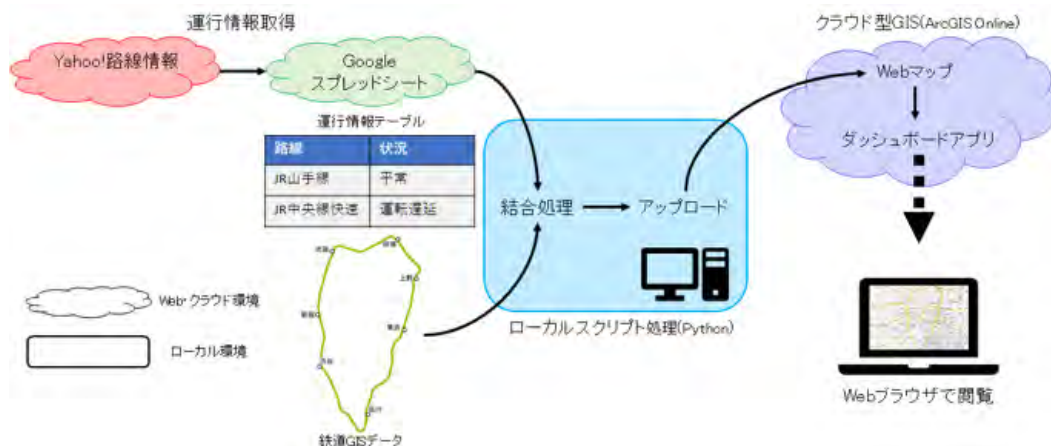


図5 鉄道運行情報GIS処理フロー図



図6 鉄道運行情報 GIS 画面イメージ

り返している。その中から2例を取り上げて、本システムの効果と課題について述べていく。

1例目は、「通勤影響度判定」の重畳による従業員の安否確認補助である。「鉄道運行情報GIS」はクラウド型GISをベースにしたことにより、他の地理空間情報の重畳や空間分析を可能にしている。そのテストケースとして、従業員の通勤路線に運行支障が発生した場合、自宅最寄り駅に警告アイコンを表示できる機能の追加を行った。

「通勤影響度」とは、従業員が自宅と勤務先を往復する際に利用する路線（通勤路線）における運行支障の度合いを示す独自の指標で、各自の通勤路線に運転遅延が生じている路線が1路線以上あれば「影響度中」、運転見合わせが生じている路線が1路線以上あれば「影響度大」と定義している。当社は都内2拠点（府中本社・飯田橋支所）に従業員が通勤しており、それぞれ通勤ルート,DB化し、最新運行情報との照合を行っている。

運用実績の中から2020/11/26（木）10:30頃の様子を実例として示す（図7）。この時間帯は早朝からの濃霧、JR宇都宮線で発生した沿線火災、京王線で発生した人身事故等により全19路線に運行支障が生じていた。なかでも京王線の運転見合わせに連動して、多数のアイコンが影響度大と判定されていることが確認できる。当社は東京都府中市に本社社屋があり、京王線を日常的に利用する従業員が過半数を占めているため、同路線の支障に連動して影響を受ける従業員が多数発生してしまうことがわかる。

今回の事例では、すでに大半の従業員が出勤した後であったため業務に大きな混乱は発生しなかったが、BCPの観点からは、特定路線の運行支障によって従業員の通勤可否が大きく影響を受けるという脆弱性を再認識させる事例となった。本システムを活



図7 通勤影響度判定機能画面（2020/11/26 10:30頃）

用すれば、運行支障発生時に影響の出ている従業員をすぐにリストアップすることが可能で、出勤可否確認の補助として有効と考えられる。また、通勤時間帯の災害や運行支障時には、影響範囲を確認したうえで時差出勤や在宅勤務を指示するなど、柔軟な対応を早期に検討・実施することも可能になる。

このようにクラウド型GISの利点を生かし、地理空間情報を重畳することで非常時のBCP対応の強化を実現することができた。

2例目は、災害発生時に起こり得るシステムの限界と課題が明らかになった事例である。

2021/02/13（土）23:07頃に発生した福島県沖の地震では最大震度6強、関東圏でも広い範囲で震度3～4を観測した⁴⁾。この地震では緊急地震速報が発表されたため、鉄道各線は安全確認等で一斉に運転見合わせ・運転遅延が生じた。本システムでも23:30頃から、地震の影響で遅延する各路線の状況を捕捉しはじめている（図8）。

ところが、翌2021/02/14（日）0:00頃になると、運行支障路線が全路線のおよそ3分の2にあ



図8 鉄道運行情報 GIS 画面 (2021/2/13 23:30 頃)

たる 101 路線に増加した結果、運行情報を取得する Google スプレッドシート上での関数処理が追いつかず、正確な状況がテーブルに反映されない状態に陥った。急きょ Google スプレッドシート内の改修を行い、運行支障の生じている路線名だけを取得し、「情報あり」として警告を出す処理を施した (図9)。しかし、その後1時間程度にわたって運転見合わせ・運転遅延といった路線ごとの詳細状況が取得できない状態が続いた。このことから、大規模な障害が発生した際の運行情報取得に現行のシステムが対応しきれないことが明らかになった。



図9 鉄道運行情報 GIS 画面 (2021/2/14 0:00 頃)

この事例ではいくつかの課題が明らかになった。1点目は本システムの処理フローが外部サービスに依存していることの脆弱性である。特に、運行情報を取得し GIS 結合用のテーブルに変換する処理を担っている Google スプレッドシートに本システムが大きく依存していることは否めない。この点は Python スクリプト処理を拡張することで、ある程度テーブル化処理を代行することが可能なため、今後優先的に取り組んでいきたい課題と考えている。

また、運行情報ソース自体も Yahoo! 路線情報に依存しており、サービスが正常に提供されなくなればシステムが動作しないリスクを潜在的に抱えている。一方で、昨今は交通オープンデータとして鉄道

やバスのリアルタイムな運行状況を配信する取り組みも見られる。クラウド型 GIS は異なる情報ソース、ファイル形式のデータも柔軟に対応できる利点も有しているため、今後活用を検討していくことにしている。

2点目の課題は物理的被災によるリスクである。今回の事例では都内にある当社拠点に被害は生じなかったが、当社拠点で停電等の物理的被災が発生した場合、ローカル環境での処理フローに影響が生じる。すべての処理がクラウド上で完結すればより非常時の冗長性は高まるため、将来的に処理フローを抜本的に変更していくことも視野に入れている。

6 おわりに

「鉄道運行情報 GIS」では既存のサービスでは難しかった、関東圏の鉄道運行情報の網羅的な閲覧を可能にした。駅の情報ビジョンや鉄道事業者の Web サイトでよく見られるようなデフォルメの路線図ではなく、正縮尺のクラウド型 GIS 上に運行情報を反映させたことで、他の地理空間情報との重畳による新たな視覚化の可能性を広げることもできた。その応用事例として、当社従業員の通勤影響度判定機能を追加したことにより、災害発生時に迅速な状況確認と意思決定を促進する BCP 対応の強化も実現することができた。

また、本システムを当社内で運用し、実際の運行支障や災害発生時に活用することで新たな知見や課題等も見つかってきている。もともと筆者の業務の傍らで技術研究の一環として取り組んできたため、まだまだ未熟な面が多いと感じている。引き続き、社内からのフィードバックを生かしつつ、新たな技術的課題の解決に取り組むことで、システムの充実に取り組んでいく所存である。

(参考文献)

- 1) 国土交通省：令和元年台風第15号の被害状況・支援状況等について (第31報 2019年12月5日17時00分現在)
<https://www.mlit.go.jp/common/001319346.pdf>
 (2021年2月28日現在)
- 2) 塚田知輝・石川剛：「クラウドサービス活用による鉄道運行情報の視覚化と災害時での応用」, 「先端測量技術」, 114号, pp.23-28, 2021.1
- 3) ヤフー株式会社：Yahoo! 路線情報
<https://transit.yahoo.co.jp/> (2021年2月28日現在)
- 4) 日本気象協会：地震情報 過去の地震情報 2021年02月13日23時08分頃発生した地震 (最大震度6強)
<https://earthquake.tenki.jp/bousai/earthquake/detail/2021/02/13/2021-02-13-23-08-00.html>
 (2021年2月28日現在)

地図で災害を理解する

うね ひろし*
宇根 寛*

Key Word

災害, 自然の営み, 土地の成り立ち, 地形判読, 地形分類図, ハザードマップ

1 災害をどう捉えるか

近年、激甚な自然災害が頻発している。2020年7月には、梅雨前線の活発化に伴う大雨により、熊本県の球磨川が氾濫し、川沿いを中心に大きな被害が発生した。2019年10月には、台風19号により東日本の広い範囲にわたり洪水が発生し、特に多摩川、千曲川、那珂川といった都市部に近い大河川が氾濫して大規模な被害が発生し、近代的な大都市の足元にも自然が牙をむいていることを思い知らされた。2018年10月には、北海道胆振東部地震で多数の斜面崩壊が発生して大きな被害が発生したが、同時に全道が長期間にわたり停電し、私たちが依存しているシステムがいかに脆いかを知ることとなった。同年7月には、中国、四国地方を中心に広範囲で大きな水害が発生し（西日本豪雨）、洪水や斜面崩壊で死者、行方不明245名の大きな被害となった。さらに2016年の熊本地震では足元を引き裂く活断層の恐ろしさが見せつけられ、2014年の御嶽山噴火では風光明媚な景観で登山客に人気の山が突然牙をむき、それが活発な火山であったことに気づかされた。そして、2011年の東北地方太平洋沖地震では、10mを越える水の壁が日常を飲み込む圧倒的な恐ろしさがリアルタイムの映像で伝えられ、世界中の人々の脳裏に焼き付けられた。

1945年以降の日本の自然災害による死者・行方不明者数をみると、戦後しばらくは、大きな水害が頻発し、また、脆弱な構造物で地震による被害が多発したが、その後、森林整備や治水事業、構造物の改修などの対策で被害が少なくなったことがわかるのであるが、伊勢湾台風の翌年（1960年）以降の死者・行方不明者数（単独の災害で多数の死者・行方不明者が発生した1995年の阪神・淡路大震災

と2011年の東日本大震災によるものを除く）のグラフを作ってみる（図1）と、少し印象が変わり、決して私たちは自然との闘いに打ち勝って災害を劇的に克服したのではないことがわかる。むしろ、最近15年ほどは、死者・行方不明者数が増加する傾向にあり、近年、災害が多発し激甚化しているという、私たちが何となく感じている感覚を裏付けている。それは、気候の変化で、日本周辺では海面温度の上昇により大量の水蒸気をもたらされて豪雨が発生やすくなり、また、台風が日本の近海まで発達を続けて衰えないままに日本に接近する、といったことと大きく関わっている。しかし、長い年月の間の自然の営み、という観点からみると、戦争による国土の荒廃も、人による災害対策も、おそらくは人為的な近年の気候の変化も、数十万年の間に起こってきた氷河期と間氷期という大きな気候の変動に伴う環境の変化に比べれば、小さな揺らぎの範囲であって、私たちの足元の土地を造り上げてきた自然の営みは変わらず続いているのであり、人の営みはこれを根本的に変えることはできないのである。人は、自然という大きな掌の中で、恵みを享受し、ときには喧嘩を売ってしっぺ返しを食う、ということを繰り返してきたのである。

例えば、大河川の堤防が決壊して広範囲が浸水するような大規模な洪水は、私たちの感覚からはまれな現象であるが、数百年、数千年というスケールで見ると、同じような洪水が繰り返されていて、豪雨のたびに山から運ばれた大量の土砂が土石流となってあふれ出し、扇状地が形成されていき、また、下流では川が洪水のたびに流路を変えながら砂や泥を周辺にまき散らして平野が形成されていく。再び氷河期が到来する、といった極端な環境変化がない限

*元国土地理院地理地殻活動研究センター長、一般財団法人日本地図センター 主任研究員、中央開発株式会社 技術顧問

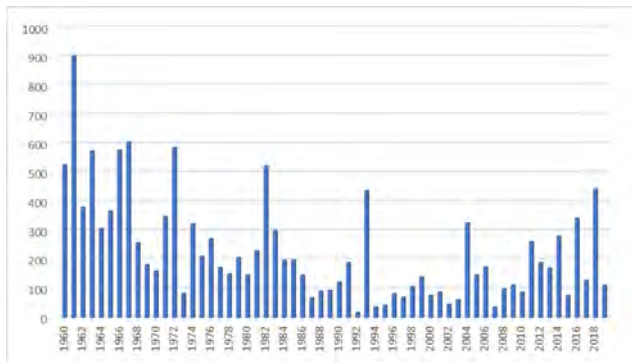


図1 昭和35年以降の自然災害における死者・行方不明者数(1995年阪神・淡路大震災, 2011年東日本大震災による死者・行方不明者を除いたもの)。地震による大災害を除くと被害の傾向は大きく変わっていない。内閣府「令和2年版防災白書」のデータを用いて作成。

り, このような自然の営みは今後も続いていく。

地震に関しては, 1948年の福井地震後に導入された震度7は, 1995年の兵庫県南部地震(阪神・淡路大震災)まで, ほぼ50年間適用されることはなかった。福井地震まではほぼ数年に1度は震度7相当の地震は発生していたし, 兵庫県南部地震以後も, 2004年の新潟県中越地震, 2016年の熊本地震, 2018年の北海道胆振東部地震と, 数年おきに震度7が観測される地震が発生しており, この50年間は異例ともいえる地震の空白期間であった。日本はたまたまこの間隙を縫って高度経済成長を果たすことができたのであるが, このような揺らぎはあっても, 太平洋プレートは着実に日本列島を押し続け, 歪みを与え続け, やがて歪みに耐え切れず断層がずれ動き, 地震の発生が繰り返されていくのである。

2 土地の成り立ちを理解する —地形発達史の見方

大地は, 降雨, 積雪, 水の流れ, 風, 波, 海流, 化学反応, 人間も含めた動植物の活動など, 外部から働きかける力と, プレートの動き, 断層のずれ, 火山活動などの地球内部からの力によって, 常に変化している。地理学では, このような力を「営力」という。1回の大雨で流下する土砂の厚さや, 1回の地震でずれる断層のずれはせいぜい数メートルであるが, それが数万年, 数10万年繰り返されると, 広大な平野や高い山が形成される。その間には, 雨や水の流れによる侵食などの別の営力も働いている。私たちの周りの地形は, このようなさまざまな営力の結果として形成されたものであり, このようにして形成された土地を, その成り立ちという観点から紐解き, 成り立ちを逆にたどることで, 土地に

働きかけている営力の種類と大きさを知ることができる。

このように, 地形を形成プロセスという観点から詳しく見ることにより, 土地の成り立ちを知り, その場所に働く自然の営みを推察することを, 「地形発達史を編む」と言う。そのために重要な作業が「地形分類」である。地形の形態と成因に着目して, 同じ性質をもつ一連の範囲を認定し, 基準に基づいて分類する作業である。地形分類では, 地表は営力によってその形態が変化していき, ある程度の時間がたつと, 同じ営力の影響を受ける範囲はそれぞれの特徴を持った一連の面(「地形面」となり, 地表はこれらの地形面の集合で構成されていると考える。地形を細かく観察し, 形成した営力を推定して地形面に分類する作業が地形分類である。また, ある場所に働く営力は, 長い時間の中では, 気候の変化や他の営力の影響により変化するため, 地形面には, 現在も変化し続けているものと, 過去の営力の結果として残されたものがある。地形分類を行うことにより, その場所に, いつ, どのような力が働き, どのようにその土地が成り立ってきたのかを明らかにすることができるのである。地形分類の結果は地図(「地形分類図」)で示される。地図は, このような自然の営みを私たちに教えてくれる道具なのである。なお, 全国地質調査業協会連合会(全地連)では, 地形図や空中写真から地形分類を行い, 地形発達史を編むことのできる知識と技術を持つ技術者を「応用地形判読士」として認定している。

3 地形分類図

地図と災害の関係を示す原点となったのは, 1959年の伊勢湾台風であった。戦後, 食糧増産の要請と国土の荒廃や頻発した自然災害を受けて, 当時の科学技術庁資源調査会は, 1956年に「水害地域に関する調査研究」を刊行した。これには当時資源調査会, のちに地理調査所(国土地理院)の職員, さらに早稲田大学教授となった大矢雅彦氏が作成した「木曾川流域濃尾平野水害地形分類図」が添付された。当初ほとんど注目されなかったこの地図が, 3年後に大きく脚光を浴びることとなった。1959年9月26日, 潮岬付近に上陸した台風15号(のちに「伊勢湾台風」と呼ばれる。)は, 日本各地に死者・行方不明者5,098人に及ぶ甚大な被害をもたらした。特に, 伊勢湾沿岸では大きな高潮が発生し, これにより濃尾平野南部の愛知・岐阜・三重3県で著しい被害が発生した。この高潮による浸水地域と上述の水害地形分類図の三角州の範囲がよく一致した。こ



図2 中日新聞サンデー版（中部日本新聞，1959）

のことが、同年10月11日の中日新聞サンデー版で「地図は悪夢を知っていた」「仏（科学）作って魂（政治）入れず—ピッタリ一致した災害予測」として大きく報じられた（図2）。地形を分類した地図が災害の予測に大いに役に立つことが実証されたのである。

このことを契機として、地形分類図が主に国の機関により作成されるようになった。地形分類図としては、国土地理院が主な平野部について1:25,000の縮尺で作成している土地条件図や、国が管理する一級河川の流域について作成されている1:25,000治水地形分類図、国土交通省国土政策局が提供している5万分の1都道府県土地分類基本調査の地形分類図などがあり、それぞれ少しずつ目的が違うので分類項目や項目の名称が若干異なっているが、いずれも土地の成り立ちを示すことを主な目的とした地形分類図である。

また、活断層によるずれが累積して形成された特徴的な地形をもとに活断層の位置を特定し地図にまとめた地形分類図が「活断層図」で、全国の主要な活断層沿いの地域について作成されている。

さらに、火山地域については、火山活動により形成された地形を分類した「火山土地条件図」が作成され、また、地すべりで形成された地形を判読して表示した「地すべり地形分布図」が作成、公開されている。

4 ハザードマップを信じるな

ところで、災害を理解する地図、たとえば、「ハザードマップ」ではないか、と思われているのではないだろうか。「ハザードマップ」は、「自然災害の危険性に関連する種々の分布情報を、災害軽減を図るために紙や電子画面等（何らかのメディア）に表記したもの」（鈴木ほか、2015）と定義されている。ただ、一口にハザードマップと言っても、さまざまな種類のものがあり、その特性に応じて活用することが重要である。鈴木ほか（2015）は、災害に関する地図を次のA～Dの4つの段階で整理している（一部改変）。

Aは、自然の営み、土地の成り立ちを理解するための地図である。国土地理院の土地条件図、治水地形分類図や、活断層図、火山土地条件図など、また、防災科学技術研究所が公表している地すべり地形分布図や、国土交通省国土政策局が公開している土地分類基本調査の地形分類図がこれにあたる。

Bの地図としては、Aの情報を踏まえて、災害の発生しやすさを、危険度や確率の形で示した地図があげられる。例えば、土砂災害の危険地域を示した地図や、一定期間内にどの程度の確率で大きな地震動に襲われるかを示した地図（地震動予測地図）などがある。

Cの地図は、将来発生する可能性のある現象を具体的に想定して、そのときにどのような災害が発生するかを示した地図である。河川の洪水発生箇所を想定してどの程度の浸水深が予測されるかを示した洪水浸水想定区域図や、特定の地震による津波の発生を想定してどのくらいの高さの津波に襲われるかを示した津波浸水想定図などがあてはまる。このような地図は、一定の想定に基づいているものであることに注意が必要である。

Dの地図は、BやCの地図をもとに、避難や復旧に必要な情報を重ね合わせ、行政や住民が災害発生時にどのような活動をとるかの判断を行うための地図である。市町村が防災マップ、ハザードマップなどとして住民に配布しているのはこのような地図であり、一般にハザードマップと言った場合にはこのような市町村が住民に配布している地図を指している。

AからDに向かうにつれて、災害の想定やとるべき行動がより具体的になり、わかりやすいのであるが、一方で、具体的になればなるほど、実際に起こる災害が想定通りにならないという問題を抱えることになる。

前述のように、Aの地図は1960年頃から作成されていたが、直接的に災害のリスクと避難方法など

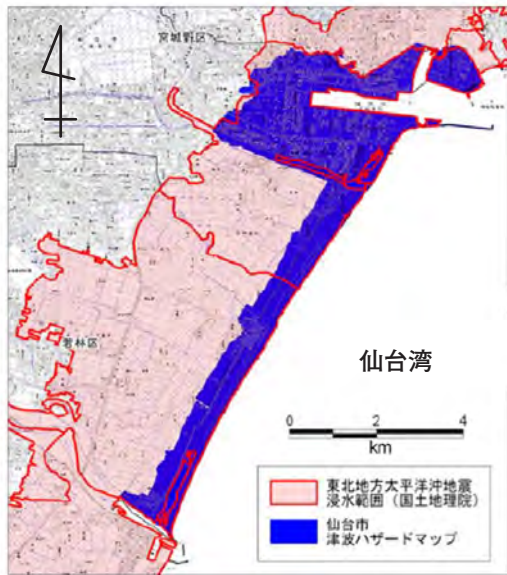


図3 ハザードマップの浸水想定と浸水範囲（仙台市）中央防災会議（2011）東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策専門調査会報告より引用。

を示したDのハザードマップの作成が広がったのは1990年代後半頃からである。2001年の水防法の改正により、国や都道府県が管理する河川について、河川管理者が浸水想定を行い、市町村はこれをもとに避難に関する事項や洪水予報の伝達方法等を記載した洪水ハザードマップを作成することが義務付けられた。津波ハザードマップについては当初は法律に基づく義務はなかったが、たびたび津波による被害を受けてきた東北地方太平洋沿岸の県や市町村では、県が作成した津波浸水想定をもとにした津波ハザードマップを作成し、住民に配布していた。明治三陸津波、昭和三陸津波、チリ地震津波と3度にわたる津波の大きな被害を経験していた三陸地方北部の市町村は、明治三陸津波や昭和三陸津波と同程度の津波を想定したハザードマップを作成していたが、三陸地方南部や福島県などの市町村は、それより規模の大きい浸水が推定される想定宮城県沖地震の津波を想定したハザードマップを作成していた。2011年の東北地方太平洋沖地震では、これらのハザードマップの想定いずれとも異なる、きわめて広範囲の断層が大きくずれ動き、予測をはるかに上回る巨大な津波が押し寄せた。その結果、いずれの地域についても、想定されていた浸水範囲と浸水深を大きく超え、特に、宮城県や福島県では、予測の数倍に及ぶ範囲が浸水した（図3）。ハザードマップと実際の被害の関係を調査した中央防災会議東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策専門調査会は、「従前の想定によるハザードマップが安心材料となり、それを超えた今回の津波が被害

を拡大させた可能性がある。」との報告（2011年9月）をとりまとめ、公開した。また、現地において長年防災教育に当たっていた片田敏孝・現東大教授が、ハザードマップを過信することの弊害を述べた「ハザードマップを信じるな、自分で危険性を判断しなさい」という言葉とともに中学生に実践してきた教育が功を奏し、多くの生徒や、彼らに従った児童、住民が助かったことは大きく取り上げられた。「ハザードマップを信じるな」という言葉がハザードマップは不要であると言っているわけではないことは明らかであるが、言葉が独り歩きし、ハザードマップが信じられないならどうしたらいいのか、という不安が広がってしまったことも否めない。

また、石巻市立大川小学校（当時）の児童は東北地方太平洋沖地震発生後、校庭に避難したが、その後、教員が高さ約7メートルの高台に誘導しようと移動した直後に校舎2階の屋根に達する津波が押し寄せた。同小の犠牲者は児童74人、教職員10人に上った。当時の津波ハザードマップでは、学校周辺は浸水が及ばないと予測されていた（2004年「宮城県第三次地震被害想定報告書」）。児童23人の遺族が、市と県に損害賠償を求めた訴訟で、最高裁は2019年10月に上告を棄却し、震災前の学校の防災体制に不備があったとした二審・仙台高裁判決が確定した。判決では、「学校が安全確保義務を遺漏なく履行するために必要とされる知識及び経験は、地域住民が有している平均的な知識及び経験よりも、遙かに高いレベルのものでなければならない」、「学校は、独自の立場から津波ハザードマップ及び地域防災計画の信頼性等について批判的に検討すべき」とされた（2020年「宮城県学校防災体制在り方検討会議報告書」）。学校現場では、災害のメカニズムの理解とハザードマップが想定しないリスクも踏まえた防災が求められるのである。

5 ハザードマップ（Dの地図）だけで大丈夫か

その後、水防法が何度か改正され、市町村管理の河川についてもハザードマップ作成が義務付けられたほか、2015年からは、想定しうる最大規模の水害を想定した浸水想定に基づくハザードマップを作成することとなり、さらに、津波や土砂災害、火山のハザードマップの整備もそれぞれの法律により義務付けられるなど、4章で取り上げたDのハザードマップの作成範囲の拡大、強化が進められた。しかし、浸水想定の見直しには時間がかかることから、現状では、多くの地域では河川整備計画に定められ

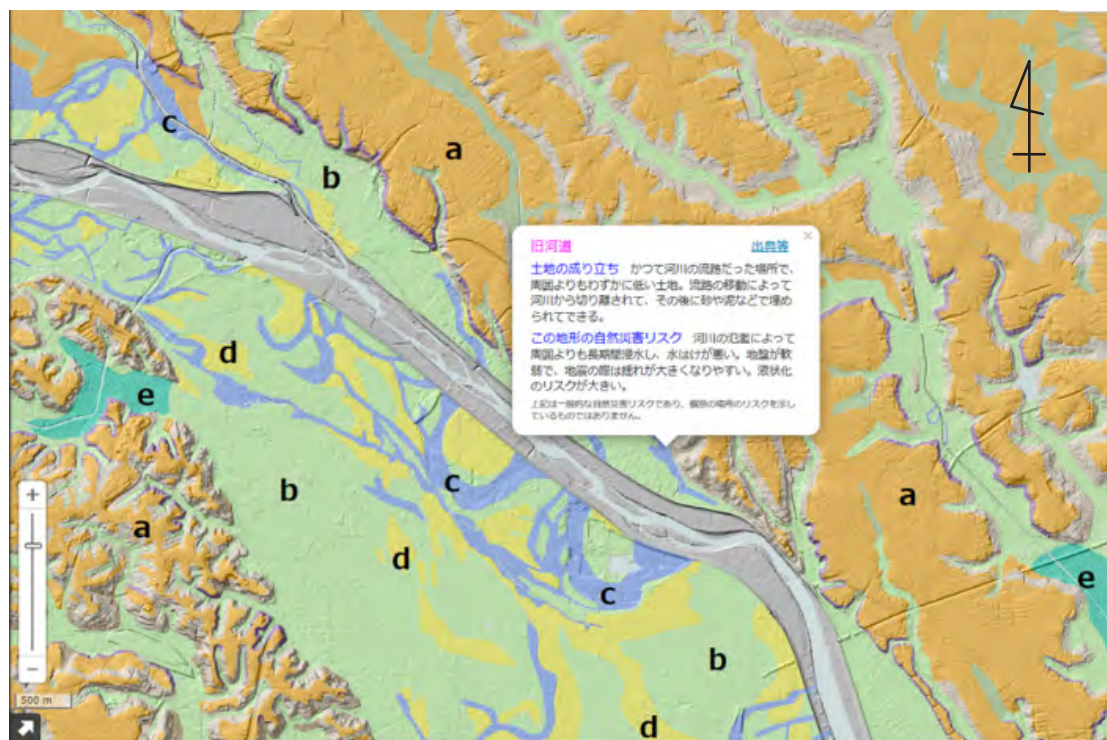


図4 東京都二子玉川，神奈川県武蔵小杉周辺の地形分類。a：台地・段丘 b：氾濫平野 c：旧河道 d：自然堤防 e：後背低地 地図上でクリックするとその地点の土地の成り立ちや災害リスクが表示される。地理院地図より作成。

た規模の洪水（30年～100年に一度程度）による浸水想定と，想定最大規模の洪水（1000年に一度程度）による浸水想定が混在する状態になっている。

2018年の西日本豪雨，2019年の台風19号（東日本台風）の際の洪水の浸水範囲がハザードマップの想定とおおむね一致したことから，行政は，ハザードマップを確認し，それに基づき避難行動をとることを住民に求めている。そのこと自体はきわめて重要なことなのであるが，Dのハザードマップを利用する際には，それが一定の仮定に基づく想定をベースにしていることに留意する必要がある。すなわち，「ハザードマップを信じるな」という言葉が示すように，狭義のハザードマップのベースになっている想定が，どのような仮定に基づいて行われているのかをよく把握し，想定と異なる現象が起こりうることを念頭に置いたうえで対応を考慮しておく必要がある。また，洪水ハザードマップに関しては，河川ごとに行われる浸水想定に基づいて作成されるので，例えば2つの河川の影響を受ける可能性のある地域では，河川ごとに別のハザードマップが作成，提供されているケースもあり，一方の河川のハザードマップだけを参照していると背後から不意打ちを食らうといったこともあり得る。

私たちのわずかな経験に基づく限定された想定を常に裏切って襲ってくる自然災害に臨機応変に対応

し，自らの命を守るためには，自分の足元がどのように成り立ってきたか，今後どのような自然の営みが働くのかを把握しておくことが基本になるのではないだろうか。そのためには，もちろんDの種類ハザードマップを用いて避難場所や避難方法を十分確認しておくことは必要なのであるが，それに加えて，Aの地図で身の回りの自然の営みを理解することが必要なのである。前述したように，Aの地図，すなわち地形分類図にも様々な種類があるが，まずは，自分の住む地域の成り立ちを，地理院地図の地形分類（ベクトルタイル提供実験）で見てみることをお勧めする。さらに，これに地理院地図の機能を用いて，陰影起伏図を重ね合わせると，より地形と土地の成り立ちが理解しやすい地図とすることができる（図4）。

6 液状化傾向図にみる新たな方向性

2020年12月，国土交通省が地形区分に基づく液状化の発生傾向図を公表した（国土交通省，2020）。液状化ハザードマップに関しては，従来は，離散的なボーリングデータに基づいて液状化指数（PL）を求めてボーリング地点の液状化評価を行い，これを土地の成り立ちを考慮せず機械的に内挿することにより作成されたものが多く，結果として適切な評

値が行われていないものが散見されていた（宇根ほか，2018，図5）。国土交通省が新たに公表した液状化の発生傾向図は，液状化の発生傾向の強弱を相対的に示すことを目的として，地形区分と過去の地震との関係を集計し，地形が示す一般的な地盤特性に対応した相対的な液状化の発生傾向の強弱を5段階区分で表したものである。災害リスクの評価にあたって，地形や土地の成り立ちに着目した新たな方向性を示したものとして注目したい（図6）。

〈参考文献〉

- 1) 宇根 寛ほか（2015）：我孫子市の液状化被害とそれを教訓としたハザードマップの改訂 地学雑誌 124（2）
- 2) 宇根 寛ほか（2018）：地球科学が液状化防災に貢献するために 地学雑誌 127（3）
- 3) 国土交通省（2020）：地形区分に基づく液状化の発生傾向図等 https://www.mlit.go.jp/toshi/toshi_tobou_tk_000038.html
- 4) 鈴木康弘編（2015）：「防災・減災につなげる ハザードマップの活かし方」 岩波書店



図5 東北地方太平洋沖地震に伴う我孫子市布佐地区の液状化の発生状況（宇根ほか，2015）と被災地域がかつて沼であったことを示す1947年米軍撮影空中写真（国土地理院）。土地の成り立ちを反映して液状化が発生したことは明らかだが，地震前に配布されていた液状化危険度マップでは液状化のおそれはないとされていた。

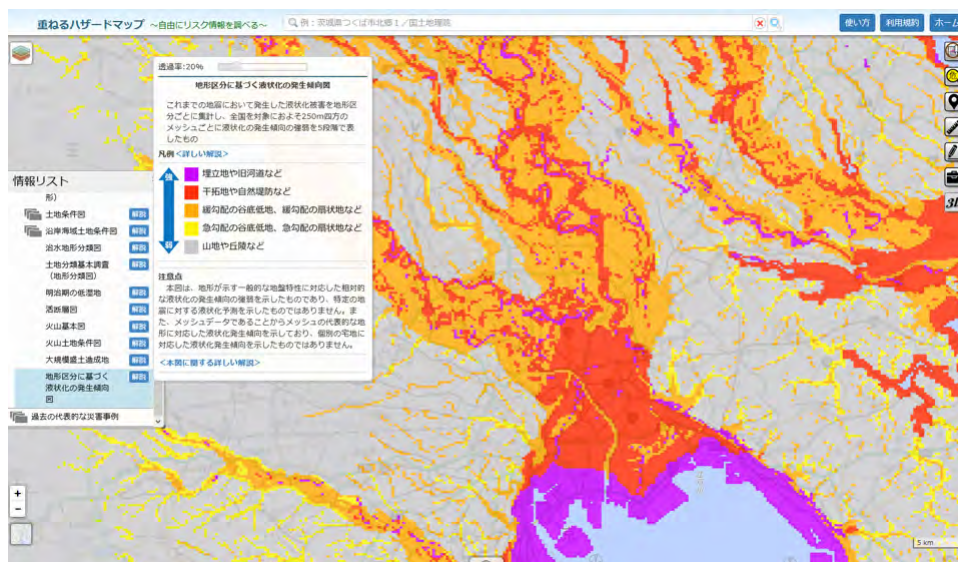


図6 地形区分に基づく液状化の発生傾向図。
ハザードマップポータルサイト「重ねるハザードマップ」より作成。

カシミール3D と3D 地形表現

すぎもと
DAN 杉本*

Key Word カシミール3D, DEM, 地形, スーパー地形, AR

1 はじめに

著者は1994年からパソコン用のソフトウェアである『カシミール3D』¹⁾(図1)の開発をおこなっている。このソフトウェアは当初から主に地形の3D表現にこだわった作りとなっており、各種DEM(標高モデル)や国土地理院の提供する基盤地図情報を含めて、可視化することに特化している。ここでは、『カシミール3D』の歴史を振り返りつつ、3D地形表現について俯瞰する。

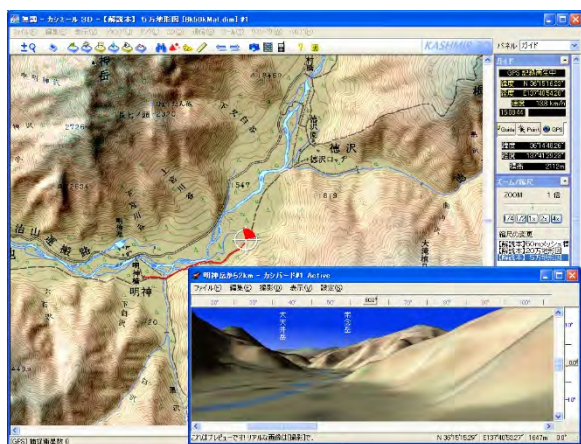


図1 カシミール3Dの画面

2 カシミール3Dの開発

パソコン用のOSであるWindows95が発売される以前、インターネット環境もそれほど普及してない1994年に「可視マップ」(図2)を生成、閲覧できるソフトとして発表した。

「可視マップ」はある地点が見通しできる場所を地図上に示した地図で、代表的なものとしては富士山が見える場所を示した「富士山の可視マップ」が



図2 可視マップ

有名である。それまでは紙の地図を使用して富士山から各方向に線を引き、経路上の見通しを一点一点計算してプロットしていくことで作製されていた。

当時ちょうど1kmや250mメッシュの数値地図がフロッピーディスクで提供されはじめ、標高データをパソコンで使う環境が整い出していたことも、カシミール誕生のきっかけの1つとなった。

「カシミール」という名前も、この可視マップから来ている。「可視マップ」を「見る」ソフトという意味であり、いわゆるカラコルム山脈麓のカシミールとの語呂合わせでもある。

カシミール3Dの進化に数値地図は欠かせない存在であった。

フロッピーディスクというメディアで登場した国土地理院の数値地図、とくにカシミール3Dの場合は標高データという種類のものを主に使用していた。当初、一般の人が入手できるものとしては、1kmメッシュや250mメッシュといった、1kmもしくは250m四方の中(もしくは平均値)の一点を記録した、現在から比べればかなり粗いデータで

*ソフトウェア作家

あった。一方これよりも細かい地形が再現できる50mメッシュはフロッピーディスク1枚が9700円で全国4000枚以上という高価なものであった。

ところが、1997年に50mメッシュはCD-ROM化され、3枚で全国をカバーするとともに、価格も1枚7500円と大幅に下がり、一気に趣味の範囲でも手の届く距離となった。これにより、カシミール3Dでも普通に標高データが使えるようになり、ダウンロード数が増えた。

2000年に10mメッシュ（火山周辺に限定していた）のCD-ROMが発売され、50mメッシュを見慣れていた目には、きわめて緻密な地形描写に驚いた記憶がある。

そして、カシミール3Dが山岳だけでなく、都市部の高低差探訪にも有力なツールとなることを示すきっかけとなったのが、2003年からはじまった5mメッシュの整備である。東京や横浜からはじまって、大阪、名古屋、福岡などが順次発売された。

一見、平坦に見える都市部においても、5mメッシュという緻密さで精査してみると、魅力的な高低差に溢れており、それが“スリバチ”の発見などにつながった。

現在は基盤地図情報に統合され、WEBからの無償ダウンロードとして提供されている。すでに50mメッシュや250mメッシュの提供は終了しており、現在は5mメッシュと10mメッシュのみの提供となっている。5mメッシュは全国カバーされていないが、10mメッシュは全国カバーされている。

2015年11月には、カシミール3D『スーパー地形セット』を公開。基盤地図情報をベースとし、全国を5mメッシュの高密度地形データでカバーするオンライン地図として提供を開始した。煩わしいデータのダウンロードや変換、読み込み処理が不要になるほか、整備されていないエリアが空白になる問題点を解決した。

3D 地形表現

地形を2D平面上で3D表現する方法として、等高線によるものを主体として、その背景として北西からの光を当てた陰影によるものを合成した手法が多く使われてきた。そもそも道路などが主題の場合のように、地図情報における地形情報の重要度の占める割合が少ない場合においては、あくまで目立たない背景としての用途では十分である。しかし、レーザ測量などの高密度データによって取得された地形データを扱うような場合においては、地形の情報を最大限取り出す必要が生じており、旧来の陰影のみ

の手法だけでは限界となっている。

このような要求を満たすものとして開発されてきた新しい地図表現手法として、赤色立体地図（アジア航測）²⁾ や、ELSA MAP（国際航業）³⁾、CS立体図（長野県林業総合センター）⁴⁾、陰陽図（朝日航洋）⁵⁾ などがある。スーパー地形表現は、実装先のソフトウェアであるカシミール3Dが登山などのアウトドアや地理探索や街歩きなど、多目的な使われ方をするため、色彩などがある程度いろいろな融通が利くものとして開発した。データのターゲットも主に国土地理院が提する5mメッシュ標高データによる再現地形の表現に置いており、さらなる高密度データを扱う場合は改良が必要になると思われる。

カシミール3Dで実装している地形表現としては、表1がある。

表1 カシミール3Dの地形表現

等高線図	DEMから等高線を生成したものの地図に最初から描かれているものではなく、DEMから計算して生成するので、より精緻である
段彩図	1cm単位での標高色分けにより色をつけたもの
陰影図	8方向から光を当ててできる陰影をつけたもの
方位図	8方向から光の方向と地形の角度から陰影をつけたもの
斜度図	地形の傾斜の大きさにより陰影をつけたもの
スーパー地形表現	陰影図と、斜度図、そして凹凸図を合成し、輝度成分のみで計算したものに、段彩図による色彩を合成したもの

これらの地形表現手法の特徴をまとめたものが以下である。

① 段彩図

標高ごとに色をつける（図3）

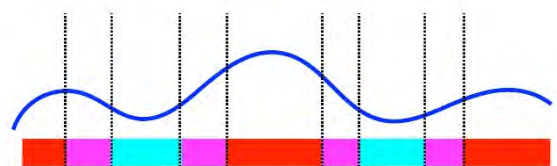


図3 段彩図の原理

○	絶対的な高さの違いが明確になる。
×	地形の凹凸が不明瞭。
×	地形の傾斜は再現できない。

②陰影図

一方向から光を当てて陰影をつける (図4, 5)

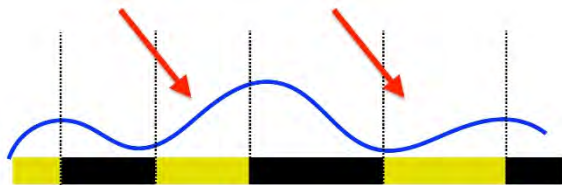


図4 陰影図の原理

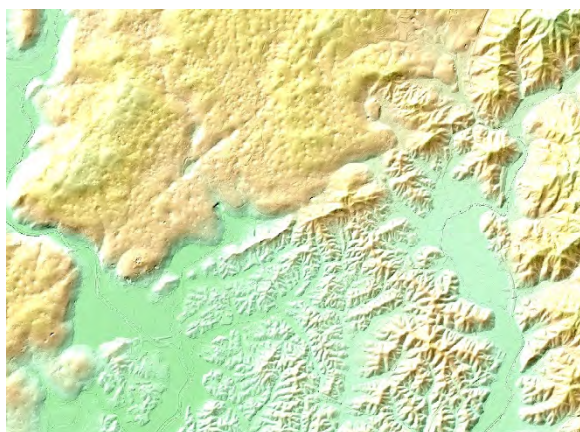


図5 陰影図の例

○	自然な立体感が得られる
×	光に平行な方向の地形成分が見えにくい
×	方向の依存性があり、光が北西から以外の方向だと立体の凹凸感が変化する

③方位図

一方向から光を当てたときの地形傾斜との角度差で陰影をつける

○	地形の微細構造が明確になる。
×	光に平行な方向の地形成分が見えにくい
×	方向の依存性があり、光が北西から以外の方向だと立体の凹凸感が変化する

④斜度図

傾斜の大きいところを黒くし、小さいところを白くする (図6, 7)

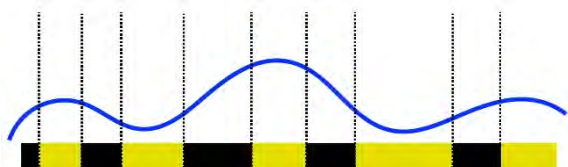


図6 斜度図の原理

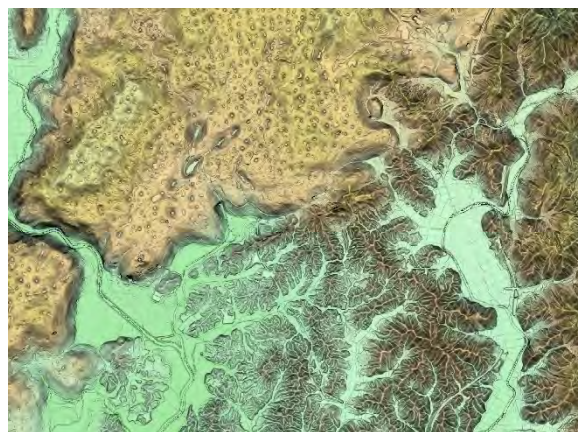


図7 斜度図の例

○	あらゆる方向の傾斜が表現できる
×	出張ているか窪んでいるかがわからない
×	尾根になっている部分と谷の部分が見える

⑤凹凸図

凸部を白く、凹部を黒くする

○	尾根になっている部分と谷の部分の見分けができる
×	傾斜の大きさは不明瞭
×	計算時間がかかる

⑥スーパー地形表現 (図8)

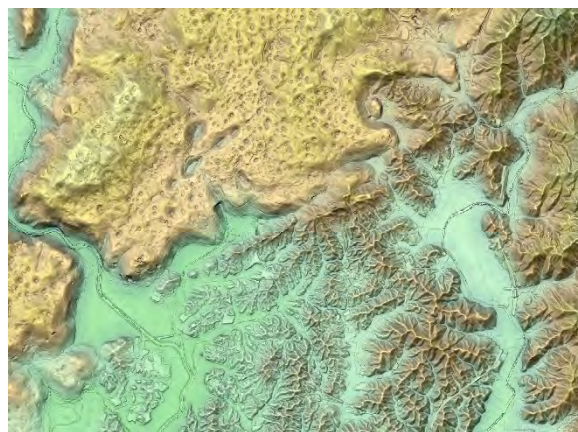


図8 スーパー地形表現

○	色相の非依存性=輝度のみで地形の形状を表現
○	段彩を自由に設定可能
○	大縮尺では斜度、凹凸成分が卓越し傾斜の緩急がわかる
○	小縮尺では陰影成分が卓越し立体感が得られる
×	方向依存性がある (陰影図と同じ)

スーパー地形表現は、陰影図と、斜度図、凹凸図のいずれの利点も有しているが、主に立体感を得るのに使用している陰影図の影響があるため、地図の方向依存性は残っている。その代わりに、地形の形状に関する情報をすべて輝度成分のみで構成し、色相や彩度成分については使用していないことから、段彩図による自由な色付けが可能であるところに特徴がある。

カシミール3Dでは「標高パレット」機能により1cm単位での段彩が可能であり、この機能を生かすためには、色の自由度がある必要があったためである。

また、大縮尺と小縮尺では、それぞれの成分が地形表現に寄与する割合が変化することから、縮尺が変わっても破綻が生じにくいという特徴がある。つまり、小縮尺では主に陰影成分が卓越するので、十分な立体感が持続する。斜度成分だけで構成した場合は小縮尺では立体感が失われてくる。一方、大縮尺では、斜度成分が卓越するので、傾斜の緩急が明瞭になり、陰影による方向依存性が少なくなる。

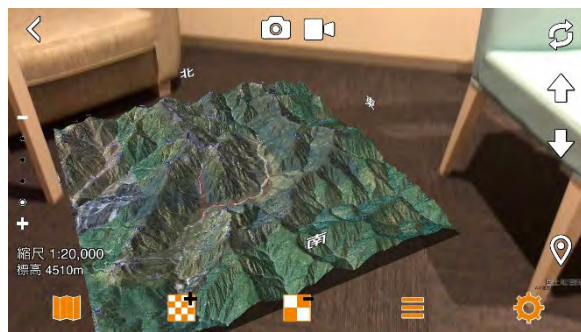


図10 ARによる3D地形模型

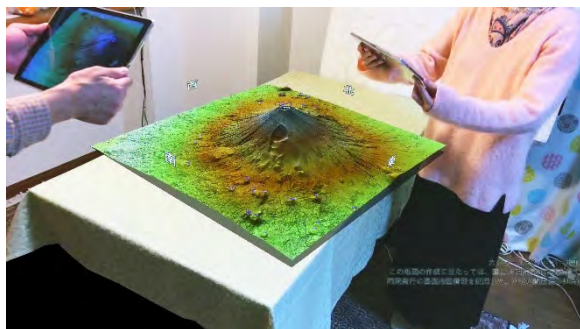


図11 ARによる3Dの共有

4 3D地図やAR地図

近年ではスマートフォンの処理能力の向上に伴い、3Dの描画もPCを凌駕する性能となった。カシミール3Dの多くの機能をスマートフォン上で実現するアプリも開発しており、『スーパー地形』⁶⁾という名前で公開している。「カシミール3D」の基本機能を継承しつつ、スマホの使い勝手や機動性を生かした機能を盛り込んだ(図9)。



図9 3D風景描画例

また実空間上で3D体験ができるものとして、AR機能を使用して、立体模型を目の前に提示し、複数人で共用する試みも行っている。ARの立体地形模型は2次元の地形表現良い点、地形の強調などの自由度などの地形模型の良い点と、完全な3Dでの俯瞰性を併せ持った点で有利である(図10, 11)。

5 おわりに

PCからスマートフォンまで、デバイスの描画速度の進化に伴って、3D地図は2D空間(画面など)での地形表現で3D感を得る方法、2Dへの投影としての3D地図、ARなどを利用した3D体験ができる3D地図など多彩に進化している。

今後はウォッチやグラスなど、ウェアラブルなデバイスの登場により、さらにこれまでとは違った表現方法が必要になると考えている。

〈参考文献〉

- 1) 「カシミール3D」
(<https://www.kashmir3d.com/>) (2021年2月28日)
- 2) 「赤色立体図」(<https://www.rrim.jp/>) (2021年2月28日)
- 3) 「エルザマップ」
(https://www.kkc.co.jp/service/base_technologies/earthchange/index.html) (2021年2月28日)
- 4) 「CS立体図」(<https://www.pref.nagano.lg.jp/ringyosogo/>) (2021年2月28日)
- 5) 「陰陽図」(<https://www.aeroasahi.co.jp/spatialinfo/inyouzu/>) (2021年2月28日)
- 6) 「スーパー地形アプリ」
(<https://www.kashmir3d.com/online/superdemapp/>) (2021年2月28日)

地図記号温故知新

こばやし せいとう
小林 政能*

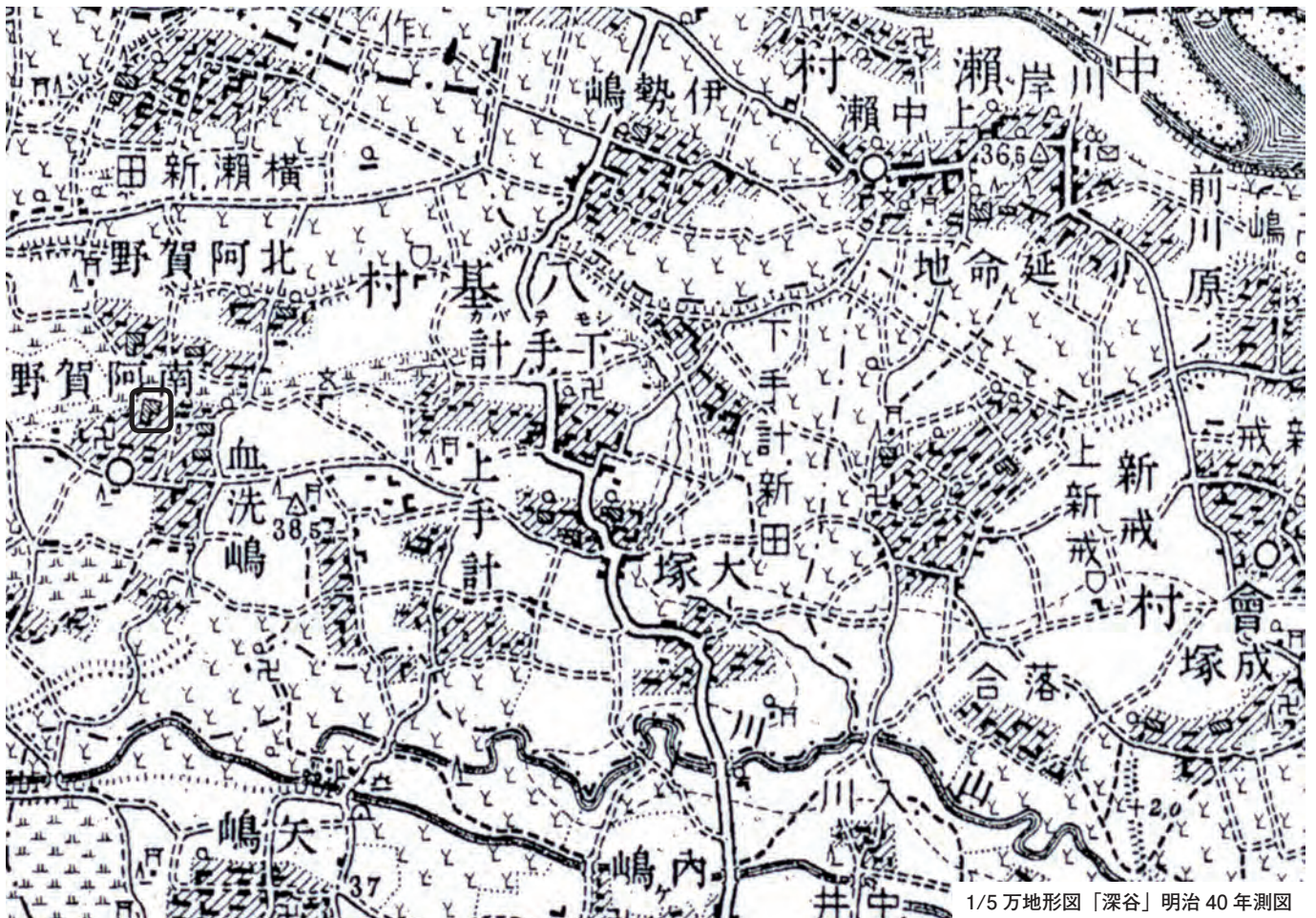
Key Word 地図記号, 地形図, 土地の変遷, 記号化, 外国人向け, 自然災害伝承碑

1. 渋沢栄一と使われなくなった地図記号

2024年度に刷新される新1万円札には、渋沢栄一が図柄になります。今年・2021年の大河ドラマの主人公でもある渋沢栄一の生家（下図・赤枠と推定）は、武蔵国血洗島村（現・埼玉県深谷市）で養蚕と藍玉の製造販売を行う豪農でした。明治時代の血洗島周辺の地形図を見ると、桑畑が一面

に広がっていることがわかります。

近年の2万5千分1地形図図式（以下、図式）中の「植生」の項目中、単一の品種の地図記号は



1/5万地形図「深谷」明治40年測図

*（一財）日本地図センター・月刊「地図中心」編集長，境界協会主宰



少なく、「桑畑」と「茶畑」の2種でした。この2種から製品化された「絹」と「茶」は、いずれも明治初期の日本の主要輸出品であり、明治文明開化期から日本経済を支えた作物とも言えます。東京では、江戸期には大名屋敷だった土地の多くが空き地となったところに、桑や茶を植えるようにという桑茶政策も行われました。明治初期の迅速測図原図（フランス式彩色図）に「桑」や「茶」などの注記が多く見られるのはそのためです。

しかし、この「桑畑」は、平成25年図式（2013年）からは用いられなくなりました。現在、地形図上

に記号があっても実際に桑が栽培されていることが非常に少なくなっていたために、時代の変化からやむを得ないことかもしれません。

「工場」と「その他の樹木畑」も、平成25年図式から使われなくなった地図記号です。この2つの地図記号と関連が深いのが、埼玉県川口市です。川口市の名産品として挙げられるのが、市南部の「鋳物」と市北部の「植木」。これがそれぞれ生産される場所は「工場」と「その他の樹木畑」で表されていました。

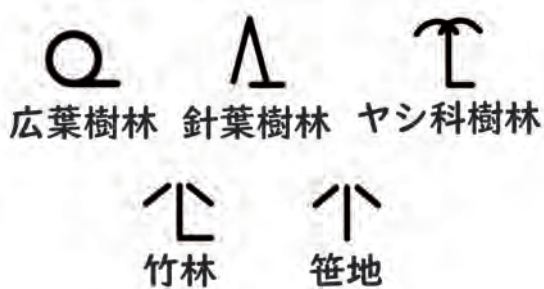
昭和戦後期、鋳物工場のキューポラは、川口市のシンボルでしたが、徐々に工場は減り、マンションへと姿を変えていきました。植木畑は「畑」の地図記号で描かれるようになり、植木畑自体も宅地に変わっていきました。新旧の地図を比較し、地図記号の変化を踏まえることで、土地の変遷を識ることができるのです。



2. 地図記号の光と影と風と雪

地図は、現実の空間を縮小して2次元に書き写すもの。その縮小する過程で、現実を記号化する必要が生じます。地図記号というと、建物や植生をイメージする方が多いと思いますが、地図は記号の集合体として描かれています。河川も道路も鉄道も等高線も行政界も、すべてが地図記号です。個別の地図記号は小さく、建物記号は2.5mm四方以下、植生記号は1.0mm四方以下です。その小さなスペースの中で、対象物を端的に表すにはいろいろな工夫を要します。その手法をいくつかご紹介します。

まずは「影」です。「広葉樹林」・「針葉樹林」・「ヤ



シ科樹林・「竹林」などの記号の右下に描かれている横線は、影を表しています。木や竹の高さを影で表現しているのです。それに対して、高くない「笹地」には影がありません。

このような影ができるためには、地形図中では左上＝北西からの光が指していることとなります。日本で現実的にはない光の方向ですが、左上からの光による右下側の陰影によって人の目は立体に感じることが、地図記号にも生かされています。平成25年図式からは、地形にも陰影を付けて立体感を表現しています。この陰影も地図記号の一つです。

次は「風」です。影ほど多くはないのですが「噴火口・噴気口」や「煙突」の記号では、煙が左から右にたなびいています。地形図中では左＝西か

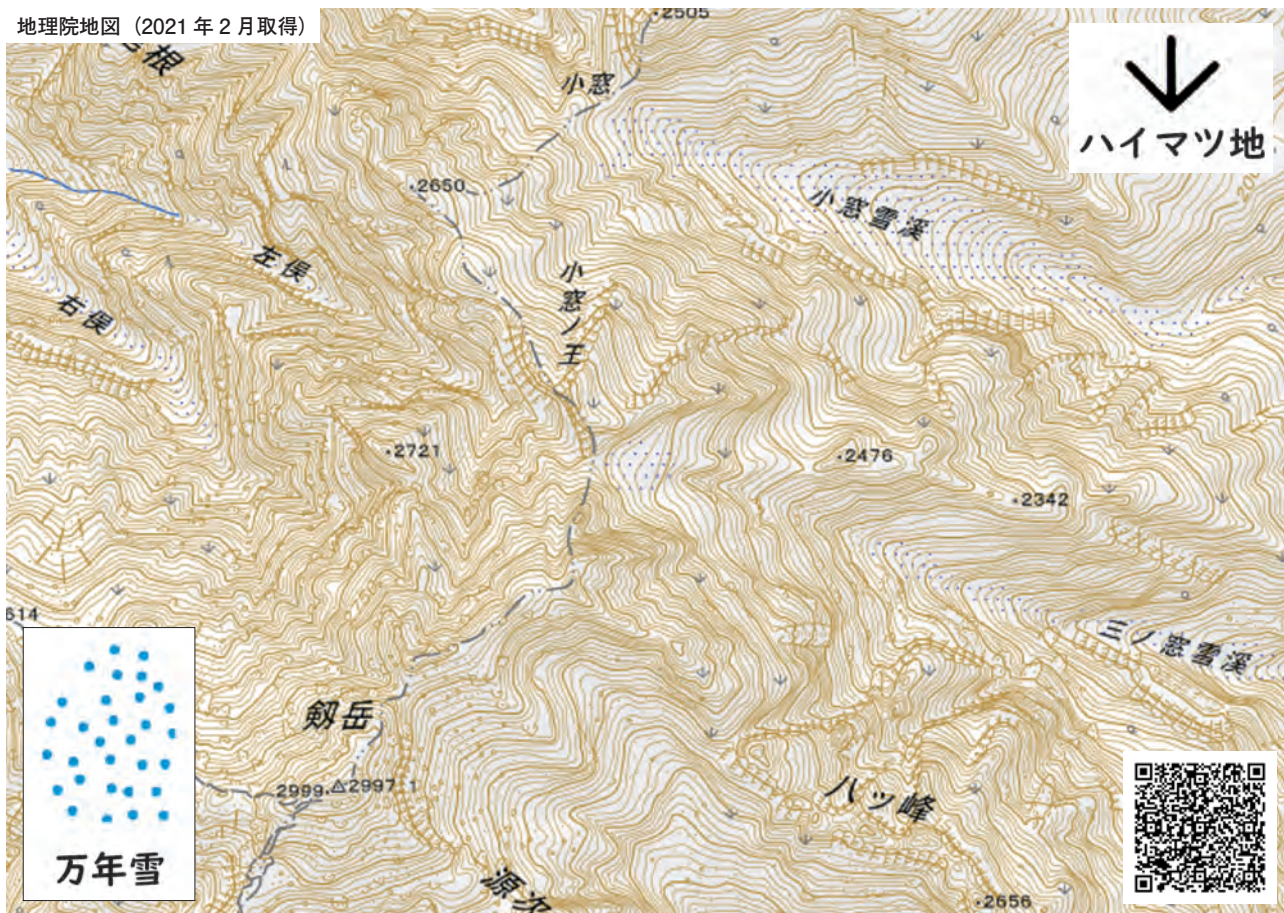
らの風が吹いているようです。風向き由来はわかりませんが、煙が逆向きにたなびくのを見ると違和感がありますね。「煙突」には、前述の影があるのも見逃せません。

地形図には「雪」も描かれています。「万年雪」の地図記号は、高山などで一年中積もった雪や氷が残っていて、9月の時点で50m×50m以上あるものを表示（青色のドット）しています。近年、この万年雪の中には、氷河であることが判明したものもあります。現時点で、日本の氷河は北アルプスに7カ所が確認されています。他にも、高山でしか見られないレアな地図記号としては「ハイマツ地」があります。ハイマツなどの樹高の低い矮小性の松が密生している地に適用されます。

3. 馴染みある文字由来と外国人向け地図記号

地図記号には、文字に由来するものもあります。

地理院地図 (2021年2月取得)





「郵便局」・「小・中学校」・「高等学校」・「寺院」・「官公署」などです。「郵便局」は、旧・逓信省のカタカナの頭文字「テ」の図案化。「小・中学校」・「高等学校」などは、漢字の「文」が由来とされていますが、実際には文部省の頭文字と推察しています。「寺院」は、寺でよく見る「卍」が由来。「官公署」は、建物記号が定められていない国の機関や外国の大使館などを表し、漢字の「公」のむかしの形を記号化したものとのこと。元の文字とのギャップがかなり大きいのがユニークです。

これらの文字由来の地図記号は、外国の方には意味が想像できないという問題点があります。ま

外国人向け地図記号と従来の地図記号の比較

項目	外国人向け地図記号	従来の地図記号	備考
郵便局			記号〒は日本では郵便局（看板等）や郵便ポストで広く使用されている
交番			交番の建物に警察官を模したデザイン
神社			2万5千分1地形図の地図記号を用いる
教会			十字架だけでは墓地と混合される恐れがあるので、建物と組み合わせている
博物館 / 美術館			2万5千分1地形図の記号の詳細化
病院			十字と建物の組み合わせ
銀行 / ATM			キャッシングサービスをイメージさせるピクトグラム
ショッピングセンター / 百貨店			ショッピングカートのイメージから施設を連想させる
コンビニエンスストア / スーパーマーケット			サンドイッチと飲み物をイメージ
ホテル			ベッドで休む人をイメージし照明器具を配してホテルである印象を持たせている
レストラン			フォークとナイフのデザインで、フォークの櫛を3本にして簡略化している
トイレ			男女の人型の間に仕切りとして縦線を入れたデザイン
温泉			現地でも広く使用され、2万5千分1地形図の地図記号で用いられている
鉄道駅			車両前面とレールをイメージ
空港 / 飛行場			飛行機そのもののシルエット



た、現在の地図記号では、外国の方に必要とされる施設には不足している場合があります。そのため、国土地理院では2016（平成28）年に「外国人向け地図記号」を定めています。

「郵便局」は手紙、「交番」は建物+警察官、「病院」は建物+十字などとなっています。一方、「神社」・「博物館」・「温泉」は、ほぼ地図記号どおり。「教会」は、十字架は外国で墓地を表す記号の場合もあるので、建物+十字架に。「空港/飛行場」の飛行機のシルエットは、地図記号が設定されたのは昭和30年頃ですので、飛行機の形状そのものが変化したことを表しているとも言えるでしょう。

4. 地図記号作ってみた

地図で街歩きをするとき用に、従来の地図記号以外にも記号が欲しくなって、オリジナルで作ってみたものがあります。

「貝塚」と「古墳」は、貝と埴輪で、遺跡めぐりのときには必須です。「几号水準点」は、明治初期



地理院地図と基盤地図情報を基図に調製

に水準測量のために設置された点で、江戸期からある石材に彫ってあることが多いです。「元寺院」と「元神社」は、「寺院」と「神社」の地図記号を白抜きにしました。

廃仏毀釈による移転や、震災や空襲による移転、軍事施設建設のための移転など理由は様々ですが、寺院や神社の移転はいたるところで行われていたのです。「富士塚」は、神社の敷地の多いですが、「富士塚跡」は必ずしも神社の跡ばかりではなく、元武家屋敷の敷地内に祀られていた場合もあります。

神宮外苑の街歩きでは、国立競技場の敷地に「元寺院」と「元神社」の記号が並びます。近くの鳩森八幡神社には富士塚もあって、オリジナル地図記号が役に立ちます。



5. 最新の地図記号・自然災害伝承碑

西日本を中心に全国的に多くの被害をもたらした平成30年7月豪雨災害を期に、過去に発生した津波・洪水・火山災害・土砂災害等の自然災害にかかわる記載がされている石碑やモニュメントを「自然災害伝承碑」として2019（令和元）年から表しています。「記念碑」の地図記号に文言を表す縦線が加わり、地形図上のサイズは「記念碑」の1.5倍に定められています。「自然災害伝承碑」と「記念碑」の地図記号にも「影」が付いています。

東京都江東区にある「自然災害伝承碑」のうち、4か所を訪ねてみました。①地蔵菩薩大慈大悲碑と②関東大震災横死者供養塔は、1923（大正12）年の関東大震災の横死者の供養のためのもの。③と④の波除碑は、1791（寛政3）年の高潮によって、多くの死者・行方不明者が出たため、この一帯を居住禁止の空地とすることを定め、その敷地の両端にこの碑を建てたもの。この空地は、後に浮世絵師・歌川広重の「名所江戸百景」の中でも名作とされる「深川洲崎十萬坪」として描かれることとなります。



名所江戸百景「深川洲崎十萬坪」歌川広重（国会図書館）

6. 地図記号への想い

地図は、現実を縮小するための工夫の積み重ね。地図記号もそのひとつです。地図記号に潜んでいる先人たちの想いを是非味わってください。



① 地蔵菩薩大慈大悲碑 ② 関東大震災横死者供養塔



③ 波除碑

④ 波除碑

〈注〉

- 1) 本稿において、地形図は地図記号参照用のため、スケールは省略する。
- 2) 地形図中にあるQRコードで、地理院地図 (<http://maps.gsi.go.jp/>) を参照することができる。

〈参考文献〉

- 1) 日本地図センター：「地図記号500」, 2015
- 2) 国土地理院：「平成25年2万5千分1地形図図式（表示基準）」
<https://www.gsi.go.jp/common/000218186.pdf>
- 3) 国文研ほか所蔵「日本古典籍くずし字データセット」：「椿説弓張月」（CODH加工）doi:10.20676/00000340
<http://codh.rois.ac.jp/char-shape/>
- 4) 国土地理院：「外国人にわかりやすい地図作成の取り組み」
<https://www.gsi.go.jp/kihonjohochousa/kihonjohochousa40072.html>
- 5) 国土地理院：「自然災害伝承碑」
<https://www.gsi.go.jp/bousaichiri/denshouhi.html>
（Webサイトは、2021年2月28日現在）

やさしい
知識

古地図の話

ひしやま たけひで
菱山 剛秀*

Key Word 古地図, 絵図, 田図, 行基図, 荘園図, 国絵図, 分間, 時空間情報

1. はじめに

作られたときに「古地図」という種類の地図は存在しない。歴史地図など特殊な例を除けば、地図が作られたときは最新の情報が描かれるが、時を経て情報が古くなっても保存され続けた地図がやがて「古地図」と称されるようになる。

日常使用する地図の多くは、数年ごとに修正され、新版が発行される。しかし新版が出る直前まで使われていた地図は、現状と合わない部分が多かったとしても、現在の地図として使用することは可能であり、古地図とは呼ばない。

では地図が「古地図」と称されるのはいつからだろう。広辞苑では「近代以前に作製された地図の称」とあり、日本地図学会が編纂した「地図学用語辞典」¹⁾では「近代測量ならびに印刷技術普及以前に作製された地図の総称。欧米では1900年あるいは19世紀中期以前の手描きあるいは木版・銅板の地図を指すことがある。わが国では、一般には江戸時代までの手描きあるいは木版刷りの地図をいい、明治以降の地図は含めない。」と解説されている。

これらの記述に従えば、古地図は江戸時代までに作られた地図ということになる。

2. 古地図の種類

一口に「古地図」と言っても、過去に作られた地図のすべてを指すことになるので、地図の種類は多岐にわたる。また、作られた時代によって表現対象や表現方法も一様ではない。

現存する古地図は、江戸時代に作られたものとそれより古い時代に作られたものでは、残存状況

や地図の種類が大きく異なる。

江戸時代より前に作られた古地図は、手描きの1枚ものがほとんどだが、印刷技術が発達した江戸時代には、多種多様な地図が刊行され、庶民の間にも地図の利用が広がっていた。

(1) 江戸時代以前の地図

江戸時代より前に作られた地図は、ある一つの目的のために作られることが多く、汎用性はなく、作られる枚数も限られていたため、現存するものは少ない。

時代を古代まで遡ると、地図が作られた記録はあるものの現存しないものもある。地図作成の最も古い記録は、日本書紀の大化2(646)年に遡る。

孝徳天皇 大化二年 八月十四日
宜観國々疆堺 或書或圖 持來奉示
國縣之名 來時將定

ここには「国々の境界を文書に記すか、或いは図に描いて持って来て示せ。」とあり、同書には後年、種子の国や信濃の国の地図が提出された記載も見られる。その後、続日本紀の天平10(738)年、日本後紀の延暦15(796)年にも国郡図の作成を命ずる記録が見られるが、これらの地図はいずれも失われてしまい、どのような地図が作られているのか知ることはできない。

このように、国や郡といった地域単位の地図が作られていたことから、それらの位置関係を描いた日本全体の地図も作られていたと考えられるが、当時のものは存在しない。現存する日本図に奈良時代の高僧行基が作ったと伝えられる地図がある。一般に「行基図」と呼ばれ、「国」の範囲(国界)を連ねた、白地図のような地図である。後世の写図ではあるが、年代の記録がある最古のものは、

*元国土地理院

京都の仁和寺に伝わるもので、嘉元3(1305)年の年記がある。日本図はこの様式のもものが江戸時代初期まで使用され続けていた。

律令体制下では、土地を管理するための大縮尺の地図も作られていた。大化2(646)年には、班田収受の法が制定され、公地公民制の下で校田図や班田図が作られていたはずだが、律令体制の崩壊とともに戸籍やこれらの地図も失われ、現存していない。

天平15(743)年に墾田永年私財法が制定されると、免税地である貴族や社寺の荘園が拡大し、荘園を管理するための荘園図が作られるようになる。荘園図には荘園の範囲を示した「開田図・墾田図」、「四至勝示図」、「差図」と土地の境界を巡る争いの結果を記録した「堺相論図」、「下地中分図」と呼ばれる地図がある。これらの地図は荘園の所有者であった寺社等に伝えられているものが現存している。正倉院には8世紀半ばの東大寺の所領を描いた開田図や墾田図が保存されており、律令体制下の「田図」の面影を残すものと考えられている。中世には荘園の境界をめぐる争いから武士が力を強める一方、貴族は次第に力を失い荘園制も崩壊していった。中世末期には土地の管理が武士に移り、郷村単位に年貢の徴収が行われるようになると、領地を管理するための郷村図が作られるようになった。

平安時代末期から鎌倉・室町時代に作られた荘園図や郷村図は、田図に見られた条里制の方格は消え、荘園内の地形や集落の位置を描いた絵画的表現の地図が多くなる。

条里制の下では、条里の方格(方眼)に条里名などを文字で記入した田図を「白図」と呼んだのに対し、方格以外の山川、湖沼、道路、家屋などを描いた田図を「絵図」と呼んで区別していた。条里制の崩壊とともに方格を描いた地図も作られなくなり、「白図」という用語は消えていったが、荘園や寺域を描いた図に絵図の表現は残ったため、その後も「絵図」の呼称は使われ続け、やがて地図全般を指すようになったという²⁾。

中世までは土地の管理を目的に作られた地図が残っているが、他の目的でも地図は必要だったはずである。例えば、戦国時代には、築城や合戦に地図は不可欠だったと思われるし、見知らぬ土地間を移動するにも地図は必要だったはずである。しかし、こうした日常の必要性から作られたであろう地図は、ほとんど残っていない。現在でも道案内用のメモのように、実用にせまられて手描きされた地図は目的を達した時点で廃棄されること

が多く、こうした地図は過去においても目的が達成された時点で廃棄されたと思われる。

中世に描かれた特殊な地図として、仏教の世界観を表現した図がある。法隆寺所蔵の「五天竺図」は、貞治三(1364)年に描かれたとされ、中央の須弥山の南に南瞻部洲を構成する東・西・南・北・中の五つの天竺とその周辺には「唐」など実在の地名も記載されている。

(2) 江戸時代の地図

江戸時代になると、幕府は行政上の必要から、国絵図や日本図を作成し、地方では検地図や村絵図、川や用水の地図など領地を管理するための地図が作られる。

一方、庶民も生活が安定すると観光に関心が高まり、市井では名所案内や道案内といった実用の地図が数多く刊行されるようになる。また、日本全体、国、郡の範囲を描いた地図から城下や都市の詳細な地図までさまざまな縮尺の地図が刊行されていた。さらに庶民の関心は国外にもおよび、世界図やアジア図も出版された。

1) 官製の地図

徳川幕府は、江戸時代を通じて、慶長、寛永、正保、元禄、天保の5期にわたり諸国から国絵図を提出させた。幕府は提出された国絵図を基に総図と呼ばれる日本地図も作成している。総図の作成時期は国絵図に対応し、寛永、正保、元禄、享保の4時期と伊能忠敬による「大日本沿海輿地全図」(以下「伊能図」という)の文政期である。享保日本図は、元禄国絵図を編集したものであり、伊能図が完成した直後の天保期の国絵図からは総図を作製していない。

このほか、正保期には国絵図とともに城下や城郭を描いた大縮尺の城絵図を提出させており、江戸城下については幕府が自ら実測図を作成した。また、寛政期には道中奉行に命じて五街道(東海道、中山道、甲州道中、奥州道中、日光道中)の間絵図(実測図)が作られた。

一方、各藩では領内の石高を把握し領地を管理するため、実測による村絵図や検地図と呼ばれる大縮尺の地図が作られていた。

これらの官製地図は、いずれも手描きの地図で複製する場合は筆写によらざるを得ず、一般には目にするのができなかったが、現在ではデジタル化が進められ、国絵図の一部は国立公文書館のホームページ³⁾から詳細な画像が閲覧できるようになっている。

2) 民製の地図

江戸時代以前の現存する地図は、ほとんどが官

製もしくは貴族や寺院といった土地の所有者が作成したものであったが、江戸時代になると庶民が使用した地図が数多く残されている。これは年代が新しいこともあるが、長期にわたり平穏な社会が続いたことで、庶民の関心が全国各地におよび、多くの地図が作られ、刊行されたためである。

江戸時代には、世界図から都市図までさまざまな縮尺の地図が刊行されていた。

世界図では、江戸時代初期に中国から伝わった宣教師マテオリッチによる大型の世界地図「坤輿万国全図」(1602年)を基に、これを小型化した世界図が幕末まで出版され続けた。さらに、享保期以降は、それまで禁止されていた西欧の文献等の輸入が可能になり、西欧で作られた地図を翻訳した世界図も出版されるようになった。

日本図は、江戸時代初期まで行基式の日本地図が刊行されていたが、貞享4(1687)年に浮世絵師石川流宣により各地の情報を詳細に描いた日本地図「本朝図鑑綱目」(以下、この系統の地図を「流宣図」という)が出版され、その後も版を重ね約1世紀にわたり出版され続けた。しかし、江戸時代後期になると、庶民の間でも科学的で正確な地図が求められるようになり、安永8(1779)年には長久保赤水による日本地図「改正輿地路程全図」(以下、この系統の地図を「赤水図」という)が出版される。その後は赤水図が流宣図に代わり版を重ね、幕末まで使い続けられた。

伊能図は文化4(1821)年に完成していたが、幕府内の利用にとどまり、伊能図を基にした日本図「官版実測日本地図」が幕府から刊行されたのは、明治維新直前の慶応3(1867)年になってからである。

日本図のほかに、国や郡単位の地図も出版されている。出版された国郡図は、小型化され1枚の地図として印刷されたものや縮小簡略化して綴り本の形で出版されたものもある。

都市図は、京都(内裏)、大阪、江戸、奈良、長崎などの地図が、それぞれの都市の版元から出版されていた。都市図は、街の中心部を対象に1枚に収めたものが多いが、江戸では都市域を小地域に分割した切絵図⁴⁾と呼ばれる大縮尺の都市図が出版されていた。

旅行用の地図は、道案内用の道中図のほか、観光地の様子を描いた名所図絵、社寺の境内図、江戸の鳥瞰図なども作られていた。

3. 古地図の見方

現在発行されている地図は、一般的に北を上に向

し、地名は上から下、あるいは左から右に向かって読むように統一されており、地図の縮尺は地上の距離に対する地図上の長さが分数で表示されている。地図に表示される記号も国土地理院の地形図に近いものが多く、読図に迷うことはほとんどないと思われるが、古地図には現代の地図と異なる表現が少なくない。

(1) 分間

刊行された古地図の名称に「分間」の文字が記載された地図がある。この地図は、測量に基づいて作られた地図であることを示している。「分間」は縮尺を意味し、後述するように、地図の1分が現地の1間で描かれていることを示す意味から、縮尺全般も指す用語となったものである。1分1間は1/600に相当し、土地の面積に関わるような大縮尺の地図に適用されていたと思われる。

測量に基づく地図のすべてに「分間」の名称があるわけではないが、慶安4(1651)年の幕府の命による北條氏長の諸国街道測量の結果を利用し、遠近道印が編纂して元禄3(1690)年に刊行された「東海道分間絵図」などが知られている。

幕府の命によって作られた国絵図や伊能図も実測に基づいて作られているが、小縮尺の地図の名称に「分間」の文字はない。

刊行された地図には、既存の地図や資料を編纂して作った地図も多く、流宣図や赤水図は実測によらず、既存の資料を編纂して作られている。

(2) 古地図の縮尺

現在の地図では地上の距離に対する地図上の長さを5万分の1のように分数で表現するのが一般的だが、古地図では「一寸一里」のように地図上の寸法に対する地上の距離を連記するのが一般的である。

たとえば、幕府による国絵図の縮尺は「六寸一里」、伊能大図は「三寸六分一里」または「一分一町」と表記されている。「六寸一里」とは、現地の一里を六寸で描いているということであり、「三寸六分一里」は、一里が三寸六分で描かれていることを示す。

江戸時代の長さの単位は、「尺」の6倍が「間」、間の60倍が「町」、町の36倍が「里」である。「尺」を細分した単位は、1/10が「寸」、1/100が「分」、1/1000が「厘」である。

国絵図の「六寸一里」の単位を尺に統一すると、6寸は0.6尺、一里は(6×60×36)尺であるから、分数で表すと0.06/(6×60×36)から1/21,600となる。伊能図の「三寸六分一里」の3寸6分は0.36尺であるから、同様に0.36/(6×60×36)か

ら1/36,000となる。

このように、江戸時代までは長さや距離の単位が現在とは異なるので、古地図を見る場合は当時の長さの単位の知識が必要になる。

(3) 地図の表現

幕府による国絵図は、国ごとに作られたため、提出された地図の仕様を統一する必要があった。

伊能図も大図は214枚で全国をカバーするため、地図に使用する記号や彩色は統一されている。

また、版行された地図は、不特定多数の人が使用するため、地図の空白を利用して記号や説明の凡例が記載されているものが多い。

現在の地図と異なるのは、絵画的な表現が目に着くことである。現在の地図は、地形の起伏が等高線で表されているが、「絵図」と呼ばれた江戸時代の地図は、一般に山地が側面から見た絵画風に描かれている。大縮尺の地図では、建物などを側面からの実景で描いたものもある。(図1)



図1 伊能大図99号(部分) 国立国会図書館蔵⁵⁾
山地は側面形で描かれ、森林は側面から見た樹形が描かれている。城郭は斜め上方から鳥瞰的に描かれ、寺院や民家は屋根の形が絵画的に描かれている。

小縮尺の地図では、国や郡の範囲が彩色され、地名も行政単位ごとに区別できるように、文字を囲む枠の形や枠内の色を塗り分けて表示されているのも現在の地図とは異なる特徴といえよう。

(4) 地図の体裁

刊行図は販売や携行を考慮し、表紙付きの折図になっているものが多いようである。

紙を貼り合わせた大きなサイズの地図は、折図にして、厚紙の表紙を付け、袋に入れて販売されており、表紙には題箋が貼られ地図の名称が書かれている。地図の名称は表紙だけでなく、地図本体に印刷された内題があり、袋にも印刷されているものがあるが、これらの名称が一致しないものも少なくない。

道中図のように横長の地図は、持ちやすい幅で

経本折りされ、両側に厚紙の表紙が付けられて、耐久性と旅の途中で必要な個所だけ開きやすいよう工夫されている。

4. 時空間情報としての古地図

古地図は愛好家による収集の楽しみや地図史における研究対象として扱われることが多いが、過去の空間を認識するための貴重な資料でもある。

時を経て地表の状況が変化すると、過去に記録された地理情報は現状と乖離するが、時を経ても変化しないものや変化の度合いにより現在も認識できる地理情報も含まれている。そうした現在も認識できる情報を位置の基準(GCP: Ground Control Point)にすることで、過去の地理情報を現在の空間に位置づけることができる。

地図の骨格となる河川や海岸線といった自然地形や道路などの公共的で規模の大きい人工構造物は、過去から変化していない可能性が高く、信仰の対象である神社仏閣も変化が少ない地物といえよう。

古地図は現在の地図と比較すると、位置精度が高いとはいえないが、現在の地図と対比することにより、古地図に描かれている情報を現在の地図に重ねることができ、時間軸による地理情報の解析が可能になる。

現代の情報技術により、骨董的価値しかなかった古地図を過去の情報を空間的に記録した資料として、利用し易くなっている。

今後、さまざまな分野で、古地図が利用されると考えられるが、利用にあたっては、古地図に描かれている事象や現在の地図との違いを知っておくことが必要であろう。

〈参考文献〉

- 1) 日本国際地図学会：「地図学用語辞典(増補改訂版)」, pp.94, 技報堂出版, 1998
- 2) うんのかずたか：「ちずのしわ」, pp.81, 雄松堂出版, 1985
- 3) 国立公文書館：「国立公文書館デジタルアーカイブ」, 重要文化財(国絵図等)
<https://www.digital.archives.go.jp/DAS/pickup/view/category/categoryArchives/0300000000/default/00> (2021年2月20日現在)
- 4) 国立国会図書館：「国立国会図書館デジタルコレクション」, 切絵図
<https://dl.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/1286255> (2021年2月20日現在)
- 5) 国立国会図書館：「国立国会図書館デジタルコレクション」, (大日本沿海輿地全図)第99図
<https://dl.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/1286646?tocOpened=1> (2021年2月20日現在)

かんき せんたろう*
神吉 千太郎*

Key Word 航空レーザ測量, LiDAR, ALB, グリーンレーザ, DEM, 数値標高モデル, 微地形表現図

1. はじめに

前編（2020年第2号（通巻156号））では、航空レーザ測量の原理、データ処理、取得されるデータについて概説した。後編の本稿では、航空レーザ測量データの利活用方法を中心に説明する。

航空レーザ測量で取得されたデータは、国土地理院基盤地図情報等⁽¹⁾から誰でも比較的簡単に入手することが可能なため、GISなどのソフトウェアを活用することによって様々な地形解析や表現を行うことが可能になってきている。

本基礎技術講座では、前編に引き続き地質技術者が航空レーザ測量成果の活用方法について紹介を行う。本講座が、地質調査において、航空レーザ測量成果を活用するきっかけとなれば幸いである。

2. 航空レーザ測量成果の入手方法

航空レーザ測量成果には主に4種類（①オリジナルデータ、②グラウンドデータ、③数値表層モデル（DSM：Digital Surface Model）、④数値標高モデル（DEM：Digital Elevation Model））のデータがある。（詳細は前編を参照されたい。）

①から③のデータについては、インターネット等では公開されていないため、これらのデータを利活用したい場合には、各測量実施者（管理者）に問い合わせを行いデータの入手を行う必要がある。航空レーザ測量成果の有無、計測時期、計測密度、測量実施者（管理者）は（公）日本測量調査技術協会が提供する「航空レーザ測量データポータルサイト」（図2-1）から確認することができる。なお、データ貸し出しの可否及び条件については各測量実施者（管理者）によって異なるため、各

測量実施者にご確認いただきたい。

各測量実施者が作成するデータは、「航空レーザ測量による数値標高モデル（DEM）作成マニュアル（案）（平成18年4月、国土交通省国土地理院）⁽²⁾に基づき作成されている。同マニュアル第4条（2）に基づき、座標値は平面直角座標及び日本水準原点を基準とする高さで作成されている。また、x,y座標軸は測地座標軸ではなく、数学（幾何）座標軸となっていることに留意する必要がある。

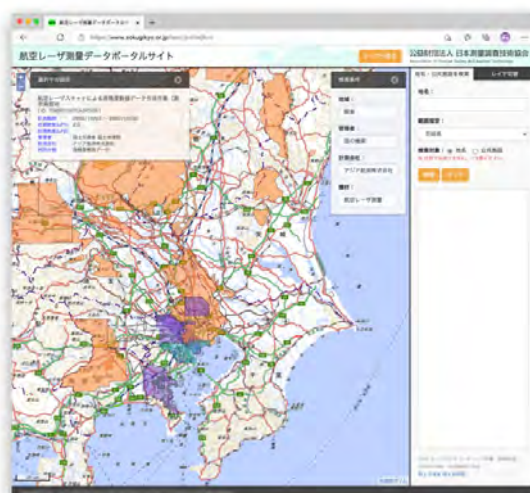


図2-1 航空レーザ測量データポータルサイト
出典：<https://www.sokugikyo.or.jp/laser/>

④の数値標高モデル（DEM：Digital Elevation Model）については、国土地理院基盤地図情報サイトより、5mメッシュDEM形式のデータがダウンロード可能である。（データ整備範囲については図2-2の「基盤地図情報の整備状況」より確認できる。）ダウンロードを行う時は、図2-3の5mメッ

* アジア航測株式会社 事業戦略部 技術部長

シュ DEM のダウンロード画面より 5m メッシュ 5A (航空レーザ測量) を選択し、データを入手したい範囲の選択を行いダウンロードする。(選択方法は、「地図上で選択」、「都道府県または市区町村で選択」、「メッシュ番号で選択」の 3 種類の方法で選択できる。)



図 2-2 国土地理院基盤地図情報
出典：<https://www.gsi.go.jp/kiban/>



図 2-3 基盤地図情報ダウンロードサービス画面
航空レーザ測量成果より作成された 5m メッシュをダウンロードするには、5A を選択する。
出典：<https://fgd.gsi.go.jp/download/menu.php>

基盤地図情報ダウンロードサービスよりダウンロードを行ったデータは、JPGIS 形式 (GML) で作成したものとなっている。近年では、各 GIS ベンダーのデータ読み込み形式が同形式の読み込みに対応しているものもあるが、多くの GIS では直接読み込むことができないため、「基盤地図情報ビューア」(図 2-4) を用いて XYZ 形式 (図 2-5)

や Shape 形式に変換を行うことで多くの GIS で本データを利活用することができる。



図 2-4 基盤地図情報ビューア
国土地理院基盤地図情報ダウンロードサービス (<https://fgd.gsi.go.jp/otherdata/tool/FGDV.zip>) よりダウンロード可能。

なお、国土地理院基盤地図情報サイトよりダウンロードできる DEM データは、緯度経度座標系の 0.2" × 0.2" (約 5m メッシュ) 格子でデータが整備されている。基盤地図情報ビューアを用いて平面直角座標系に変換することができるが、変換後のデータは厳密に 5m メッシュにならないことに留意しておく必要がある。



図 2-5 基盤地図情報ビューア
基盤地図情報ビューアから出力したデータ形式。ID,X,Y,Z の並びで出力される。

3. 利活用の事例

本章では、航空レーザ測量成果の活用事例を紹介する。

3.1 微地形表現図

基盤地図情報サイトから航空レーザ測量成果 (5mDEM) が容易に入手できるようになったことから、GIS 等を活用して微地形表現図の作成が誰でもできるようになってきた。また、国土地理院が提供するウェブ地図サービスである「地理院地図

(<http://maps.gsi.go.jp/>)」を使うことにより GIS 等を利用できない人でも簡単にいくつかの微地形表現図の作成が可能である。ここでは地理院地図で紹介されているいくつかの主題図について紹介する。

微地形表現図は様々な表現手法があるが、基本的には DEM データを標高、傾斜の 2 要素で処理を行い、それぞれの要素を単独もしくは組み合わせて使うことによって様々な表現を実現することができる。

図 3-1 は地理院地図を使って富士山周辺の地形を標高値によって色分けした図になる。(地理院地図の色別標高図は「自分で作る色別標高図」を使って色分け、階層区分、閾値等を任意で設定できる。)

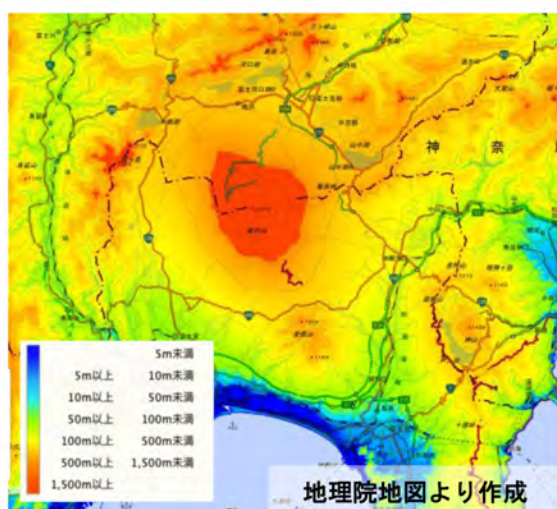


図 3-1 色別標高図 (陰影なし)

図 3-2 は地形を傾斜角で区分した全国傾斜量区分図⁽³⁾である。(地理院地図の全国傾斜量区分図は傾斜角と雪崩発生可能性から色分けを行っているものである。現在、地理院地図では色分けの設定は変更できないため、それぞれの目的に応じて、GIS を活用した色分け等が必要になる。)

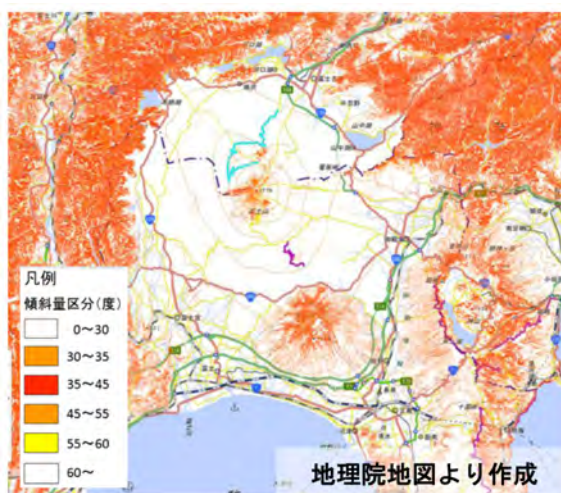


図 3-2 全国傾斜量区分図

次に図 3-3 の陰影起伏図は傾斜角と傾斜方向の地形条件を利用してある一定方向から光を当てた場合の影のつき方を用いて地形を表現したものである。地理院地図では北西方向から地表面に向かって光を当て、凸凹のある地表面の北西側が白く、南東側が黒くなるように作成している。尾根線、谷線の判別や断層の判読などに活用できる。

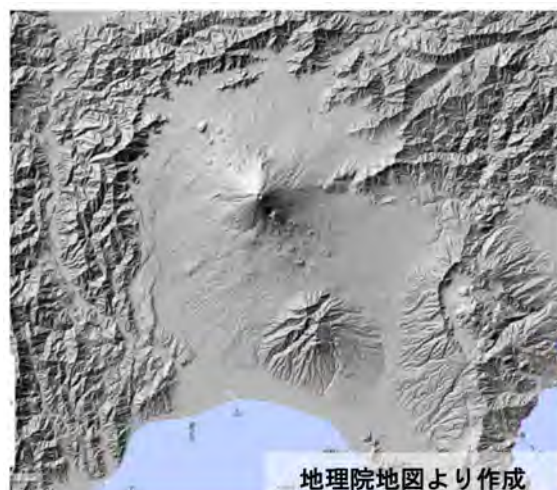


図 3-3 陰影起伏図

図 3-4 の色別標高図 (陰影付) は、図 3-1 の色別標高図と図 3-3 の陰影起伏図を重ねたものになる。陰影なしの図 3-1 と比較すると、より地形の高低差や起伏を鮮明に把握することが可能になる。

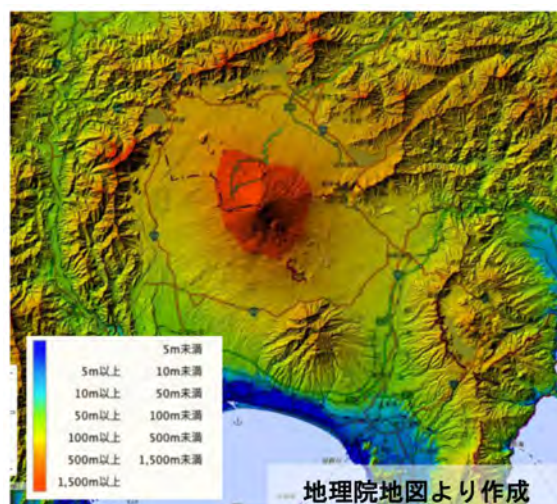
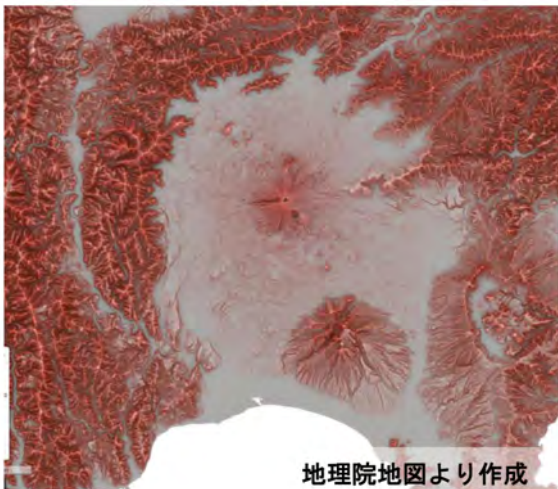


図 3-4 色別標高図 (陰影付)

図 3-5 の赤色立体地図⁽⁴⁾は 2002 年に航空レーザー測量結果を表現 (可視化) するためにアジア航測 (株) (特許 (第 3670274 号等)) が開発した手法である。同手法では、等高線という「線」で表現していた地形を、「赤色の彩度と明度」を使って「面」で表現し、傾斜が急な面が赤く、尾根は明るく谷が暗くなるよ

うに表現している。微地形と大地形が同時にわかるのが特長で、特に微地形の特徴抽出に優れている。



地理院地図より作成

図 3-5 赤色立体地図

3.2 差分解析

続いて2時期の航空レーザ測量成果を紹介する。本事例は2016年4月16日に発生した熊本地震本震前後の地盤高の変化を比較したものである。図3-6は本震前日の4月15日と本震後の4月23日の航空レーザ測量成果から作成したDSMの差分を比較したものである。赤色が隆起、青色が沈降を示したものである。このような2時期の差分をとることによって、災害時はどのような地盤高の変化が生じているのか、そしてその変化が被害状況にどのように影響を与えているのか、さらにその対策を行うために非常に有益な情報になりえる。

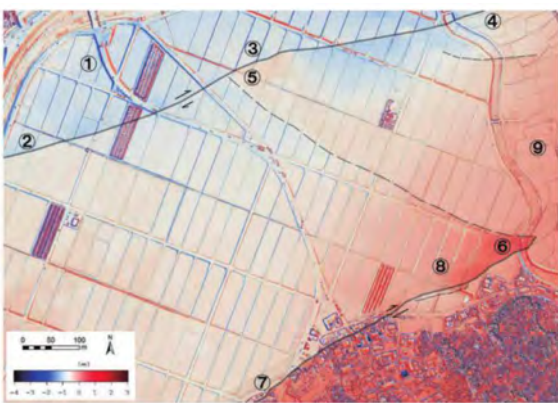


図 3-6 標高差分図と断層の判読結果⁽⁵⁾
2016年4月 熊本県益城町三竹周辺

3.3 航空レーザ測量データの活用事例

(1) 森林と土砂移動との関係性の分析

航空レーザ測量データを活用した事例として、森林と土砂移動との関係を分析した事例⁽⁶⁾が挙げられる。航空レーザ測量では、主にラストパルスの活

用で高精密な地表の地形モデルが、ファーストパルスを活用することで森林の表面の形状モデルを構築できる。さらに、表面の形状モデルから地表の地形モデルを差し引くと、樹高の分布モデルができ、また領域内のオリジナルデータ数とグランドデータ数の差と、オリジナルデータ数を比較することで、領域内の樹冠率も把握できる。経験的に植生の貧弱な斜面ほど豪雨時の崩壊が多く発生することが知られているが、図3-7に示した事例では植生に関係なく、凹型斜面であれば崩壊が発生している一方で、樹高が低くて樹冠率も低い、若い造林地のような場所では、平滑な斜面でも崩壊が多く発生していることが確認できている。



図 3-7 樹高階と崩壊地の抽出⁽⁶⁾

樹高の高いところほど緑色を濃く表現
出典：アジア航測ホームページ

3.4 氾濫解析

航空レーザ測量データを活用した2番目の事例として洪水浸水想定区域図の作成が挙げられる。洪水浸水想定区域図は、全国の洪水予報河川、水位周知河川を対象に作成が進められている。(令和3年2月に閣議決定した「特定都市河川浸水被害対策法等の一部を改正する法律案」⁽⁷⁾によりその対象は従来の約2,000河川から約17,000河川に拡大された。)洪水浸水想定区域図作成に最も影響を与える条件の1つに、地盤高データの精度がある。平成27年7月に公表された「洪水浸水想定区域図作成マニュアル(第4版)」⁽⁸⁾において、「氾濫解析に用いる地盤高データは航空レーザ測量等による数値標高モデル(DEM)データの使用を基本とする」と記載されたことから、同データを地盤高データに採用した浸水想定区域図の整備が進み、従来手法よりも解析精度が格段に向上している。



図 3-8 浸水想定区域図の事例⁽⁹⁾
出典：国土交通省京浜河川事務所

4. 最新の技術情報～ALB～

日本における航空レーザー測量は、1995年頃に日本に導入されて以降、ハードウェア（特に、レーザー発射頻度）の能力向上及び衛星測位システムの品質向上とともに、データ処理・解析技術も大きく発展し、国土の地盤高データの精度及び密度も飛躍的に向上した。しかし、従来の航空レーザー測量は近赤外波長（波長1,064ナノメートル：nm）を用いており水中の地盤高の計測できなかった。

近年、緑色波長（515nm又は532nm）のレーザーを搭載した航空レーザー測深機が普及してきており、河川や海岸等の水域の計測が可能になってきた。

緑色の波長を用いることからグリーンレーザーまたは、航空レーザー測深を英訳した Airborn LiDAR Bathymetry を略して ALB 呼ばれる。

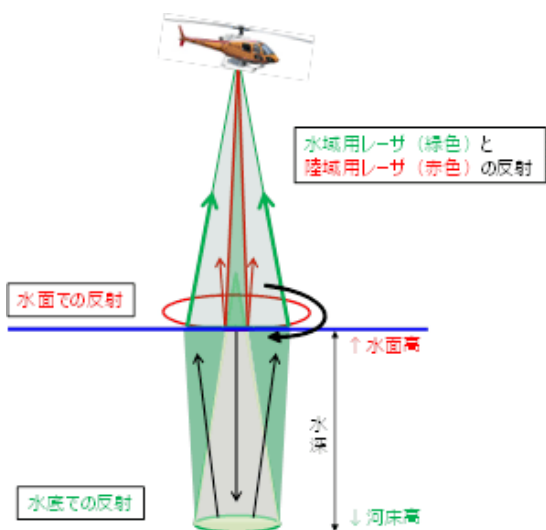


図 4-1 ALB の計測イメージ

ALB の測深可能な水深は、水中での光のエネルギーの散乱、減衰、反射（底質の硬さ）の作用によって決まり、中でも濁度（水の濁り具合）の影響を

強く受ける。目安としては、水の透明度の約 1.5 倍～2 倍といわれており、条件が良ければ水深 15 m 前後までの測深が可能である。ALB の利点は、人や船が測量しにくい干潟や河口などの浅瀬、崖地形・サンゴ礁地形といった浅海部を安全に計測できることである。

現在、日本において稼働している ALB はセンサーに陸域用レーザー（近赤外波長）と水域用レーザー（緑色）を同時に搭載している（図 4-1）ため、陸域から水域までシームレスに地形モデルを得ることができる。図 4-2 に和歌山県白浜町日置海岸での計測データを段彩図、赤色立体地図等として表現したものを示した。従来の航空レーザー測量では把握できなかった、河口部の河床の状況（図中では「うるこ状の砂れん」）や海岸の海底地形（図注では浅場や深掘部）を確認することができる。

これまで、水中の地形を把握するためには、船からの深浅測量や音響測深に頼っていたが、以下の課題があった。深浅測量の課題は、点・線による計測となるため面的な地形の把握が難しかったこと、また計測に多くの時間を要することが挙げられる。音響測深の課題は、船を利用するため浅瀬での計測が難しいということが挙げられる。また、双方ともに水中やボート上での作業を伴うことから計測上の安全性確保が課題であった。ALB では、空から陸域、水域を同時に面的に計測することができるため、これまでの測量時間を大幅に短縮すると同時に安全性も飛躍的に向上した。

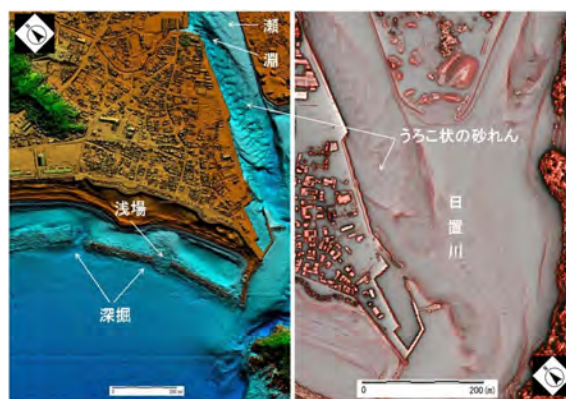


図 4-2 ALB の計測成果から作成した各種主題図
2016年2月4日・和歌山県白浜町日置海岸⁽¹⁰⁾

5. おわりに

本稿では、前編に引き続き、航空レーザー測量データの利活用方法について紹介を行った。

近年、航空レーザー測量の一般化、普及とともに、同成果を様々な方法で活用する事例が見られるよ

うになってきた。近年ではオープンソースの GIS も普及してきていることから、国土地理院基盤地図情報より航空レーザ測量成果をダウンロードして、オープンソースの GIS に取り込むことで誰でも気軽に微地形表現図の作成が可能になってきている。また、GIS の利用にハードルを感じる方は是非、地理院地図で様々な微地形表現図を閲覧してほしい。そして、航空レーザ測量成果を活用した地形・地質解析のイメージネーションを創造していただきたい。

2 回にわたり航空レーザ測量の原理から活用までを紹介した本技術講座により、航空レーザ測量成果の活用が促進され、地形・地質解析の高度化につながることを期待する。

〈参考文献〉

- 1) 国土地理院：基盤地図情報等 <https://www.gsi.go.jp/kiban/> (2021 年 2 月 10 日現在)
- 2) 国土交通省：航空レーザ測量による数値標高モデル (DEM) 作成マニュアル (案) (平成 18 年 4 月, 国土交通省国土地理院) <https://psgsv2.gsi.go.jp/koukyou/download/reza/310kouku.pdf> (2021 年 2 月 10 日現在)
- 3) 国土地理院：全国傾斜量区分図 (雪崩関連) の利用上の留意事項 https://cyberjapandata.gsi.go.jp/legend/attention_slopezone1map.pdf (2021 年 2 月 10 日現在)
- 4) アジア航測：赤色立体地図 <https://www.rim.jp> (2021 年 2 月 10 日現在)
- 5) 千葉達朗・織田和夫・高山陶子・藤田浩司：「航空レーザ計測差分による熊本地震本震前後の益城町近辺の変状解析」, 「写真測量とリモートセンシング」, VOL.55, NO.3, P160, 2016
- 6) アジア航測：ヘリコプターを用いた航空レーザ計測による土砂移動状況の把握 <事例報告> <https://www.ajiko.co.jp/product/4tb7pcqr/> (2021 年 2 月 10 日現在)
- 7) 国土交通省：特定都市河川浸水被害対策法等の一部を改正する法律案 <https://www.mlit.go.jp/report/press/content/001385278.pdf> (2021 年 2 月 10 日現在)
- 8) 国土交通省：洪水浸水想定区域図作成マニュアル (第 4 版) https://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/pdf/manual_kouzuishinsui_1507.pdf (2021 年 2 月 10 日現在)
- 9) 国土交通省関東地方整備局京浜河川事務所：鶴見川水系鶴見川浸水想定区域図 <https://www.ktr.mlit.go.jp/keihin/keihin00688.html> (2021 年 2 月 10 日現在)
- 10) アジア航測：航空レーザ測深 <https://www.ajiko.co.jp/product/571m8x1h/> (2021 年 2 月 10 日現在)

被圧地下水帯でのボーリング

かわの よしかつ
河野 好克*

K
ey Word

地質調査, 被圧地下水, 10 m足場, 甲府盆地, 扇状地堆積物

1. はじめに

長年ボーリング調査に携わっていれば、誰でもトラブルや事故にまつわる失敗例があると思う。今回は、事前の情報から失敗を回避し、初めて経験する地上10 mからのボーリング状況をお届けする。

2. 調査地の概要

調査地は、山梨県西部の国中地方に位置する南アルプス市である。南アルプス市は、山梨県中央部に位置する甲府盆地の西部にあり、東側の平坦部と西側の山間部に区分できる。今回の調査地は、平坦部である。この平坦部は、一級河川釜無川に注ぐ、御勅使川（一級河川富士川水系）の氾濫によって形成された国内最大級の扇状地堆積物から成る（御勅使川扇状地）。低地部から扇状地上部の緩斜面にかけては、ぶどう、桃、すもも、さくらんぼといった広大な果樹園として利用され、全国的にも有名である。特にすももの生産量は、南アルプス市が日本1位（2020年）を誇る。扇状地は、砂礫層で形成されることが多いことから、水はけが良いことにより、土が乾燥しやすく根腐れしにくいことや、扇端部分で湧水が多いこと、扇頂から扇端にむかって標高が低くなるため、日当たりの良い場所で育てられるという利点があると昔から言われている。今回の調査地は、この扇端部（扇状地末端）に位置することから、湧水が非常に多く水に恵まれており、水田やビニールハウスの広がる田園地帯となっている。

したがって、ボーリング掘削前から地下水が多いことが予想できた。

3. 調査地の地形・地質

調査地は甲府盆地の南西部に位置している（図1）。甲府盆地は、北を関東山地とその前山に、西を赤石山脈の前山にあたる巨摩山地に、南を御坂山地にそれぞれ囲まれた三角形の盆地で東西約25km南北約15kmである。盆地の標高は約250m～400mであり、南西部で最も低く、盆地の主要部分は、北部から南部に向けて傾斜している。

甲府盆地を形成する主な河川は釜無川と笛吹川で、盆地の中央部に扇状地を形成しているほか、これら河川に注ぐ支流が主に盆地の西部や南東部に様々な大きさの扇状地を形成している。盆地の西縁と南縁は、それぞれ活断層による直線的な崖で境され、隆起した更新世の台地・丘陵が山麓に分布する。



図1 甲府盆地周辺の地形¹⁾

甲府盆地北西部の御勅使川扇状地は、盆地内でも規模が大きく、この扇状地の張り出しによって、

*日本物理探査株式会社 関東支店 技術第一部長
一般社団法人 東京都地質調査業協会 技術委員 公益社団法人 地盤工学会 技術普及委員会 委員

釜無川は南東に向きを曲げられ、東方の荒川と合流扇状地を形成している。釜無川扇状地も大規模な扇状地で、笛吹川を堰き止めるように張り出している（図2）。このため、笛吹川は河床勾配を緩やかにし、氾濫原をなす。ここで流路は、自然堤防帯や三角州の河川のように1本にまとまって蛇行し、河床には砂が厚くたまり、うろこ状の砂州が見られる。笛吹川沿いの軟弱な堆積物が厚く堆積している場所では、関東大震災（1923年）や安政東海地震（1854年）のときの著しい被害が知られている。



図2 甲府盆地の扇状地と活断層¹⁾

調査地周辺の地質図を図3に示す。

調査地である甲府盆地の地質は、玉石を含んだ沖積層（礫、砂、粘土）が分布し、その下には洪積層（礫、砂、シルト）が火砕流堆積物とともに厚く盆地全体に堆積し、地下水も豊富である。図3では、白色で表現されている。

また、盆地南縁部に位置する曾根丘陵には曾根層群（礫、砂等）が分布し、北側の山麓部は太良ヶ峠火山岩類と水ヶ森火山岩類（ともに安山岩、凝灰角礫岩）が分布している。

盆地内は、中部更新統～完新統の砂礫層に厚く覆われており、基盤の花崗岩に到達している試錐は少ない。地下構造は爆破地震動観測、重力探査のデータおよび平成13年度、平成14年度に実施した構造調査（地震調査研究推進本部）からは基盤が南西方向に傾斜していることが推定され、盆地の南西部で最も深く、深度2,000m（堆積層が厚い）と考えられている。

甲府盆地を構成する礫種について、笛吹川の上流には花崗岩類の地域が広がっており、甲府盆地内の笛吹川では花崗岩類の風化物である砂床の区

間が存在する。また、釜無川の上流にも花崗岩類が分布するが、それ以外にも巨摩層群や八ヶ岳起源の火山岩類などいくつか地層群が分布するため、釜無川の河床構成堆積物は花崗岩類から凝灰岩の礫・シルトまでさまざまな礫種からなる。また、釜無川や笛吹川の支川の河床は巨摩層群や御坂層群の新第三系の泥岩・頁岩・凝灰岩・玄武岩などに由来する礫からなる。

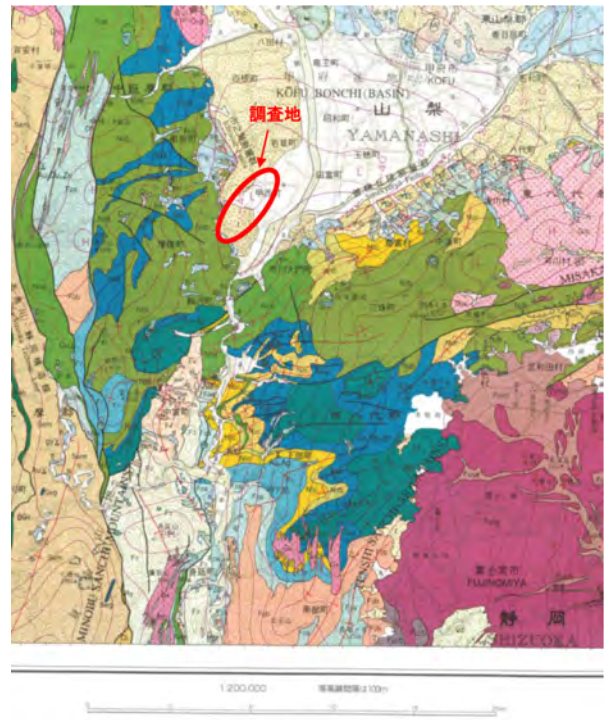


図3 調査地周辺の地質図²⁾

4. ボーリング足場仮設状況

本調査地は、2.調査地の概要及び3.調査地の地形・地質で述べたように、扇状地での扇端部（扇状地末端）に位置することから、地下水が豊富であることが予想された。また、調査地近辺で、井戸が設置されていたが、常時50L/minの地下水が水路に流されていたため、被圧地下水が地上以上の水圧を擁することが容易に予想できた。

したがって、過去の様々なボーリングデータを可能な限り集め、地下水位を確認したところ、被圧地下水位は、GL+10.0 mを記録することが確認できた。写真1～6に足場仮設、機材搬入状況の状況写真を示す。足場は、3.6 m × 3.6 m、最大高さは11.4 mである。足場を設置するにあたり、単管足場で高さ10 m上に、土質ボーリングの標準重量である1,300 kgが載ることから、風荷重強度計算（地域基準風速16 m/s）を実施し、作業員の安全を確保した。その結果、足場の下端は地面へアンカー

杭打設による強度増加を計るとともに、飛散防止メッシュシートを配置し、風圧による足場への負担を軽減、また、砂塵や掘削水の飛散防止に努めた。



写真1 足場仮設状況



写真2 足場仮設状況（地面にアンカー挿入）



写真3 足場仮設状況（作業員用の階段設置）



写真4 足場仮設状況（施工後）



写真5 ラフタークレーンによる機材搬入状況



写真6 ボーリング調査全景



写真7 足場上での景色（周辺で一番高い）

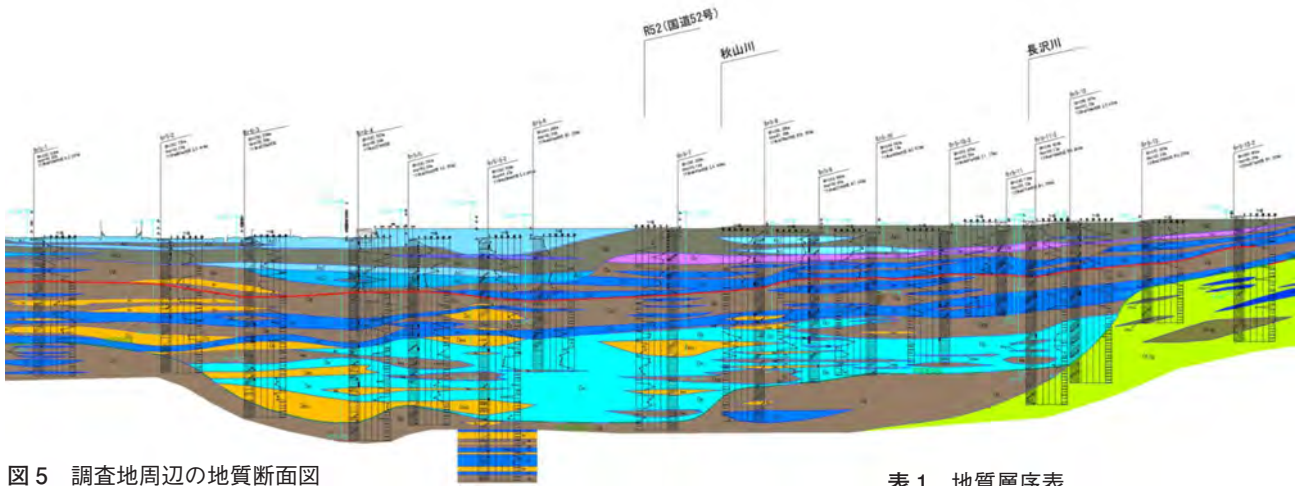


図5 調査地周辺の地質断面図

表1 地質層序表

地質時代	地層区分	地層記号	備考		
人工物	農土、礫土、埋土	硬質土、砂質土、粘性土	B		
	更新世	粘性土	Ac1	旧河川、堤防域に分布	
		沖積層 (江成扇堆積物)	砂質土		As1
		礫質土	Ag1		
第四紀	更新世	有礫質土	Ap1	長沢川、御吹川及びその支流の扇状地堆積物	
		粘性土	Ac2		
	更新世	沖積層 (扇状地堆積物)	砂質土	As2	長沢川、御吹川及びその支流の扇状地堆積物
		礫質土	Ag2		
	第四紀	洪積層 (扇状地堆積物)	粘性土	Dc	御吹川、長沢川及びその支流の扇状地堆積物
			有礫質土	Dp	
		砂質土	Ds		
		礫質土	Dg		
	更新世	洪積層 (埋没谷堆積物)	粘性土	Dm	埋没谷堆積物
			砂質土	Dms	
		礫質土	Dmg		
		洪積層 (扇状地堆積物)	粘性土	Ofuo	
砂質土			Ofds		
礫質土		Ofdg			
更新世	洪積層 (扇状地堆積物)	粘性土	Ts	扇状地堆積物	
		砂質土	Ts		
	礫質土	Tg			
更新世	層状層群	粘性土	Sc	層状層群	
		砂質土	Ss		
礫質土	Sg				
新第三紀	中新世	巨摩層群 礫砂山層	凝灰角礫岩	Ktb	—

5. 地上を遥かに超える被圧地下水帯

図5に示した地質断面図のとおり、御吹川、笛吹川、釜無川系の洪積～沖積の扇状地堆積物（砂礫層）が厚く堆積しており、その上部に氾濫原堆積物の沖積粘性土が分布している。この砂礫層は、扇端部にあたることから、その内部には豊富に地下水が溜まっていることが予想される。調査地上部の沖積粘性土を掘削し、砂礫層内に入ると予想どおり被圧地下水が一気に吹き出てきた。ベントナイト泥水による効果で、通常は10m以下に抑えられているが、湧水圧試験等により孔内を洗浄し清水に入れ替えた場合は、最大で機械高さに同等のGL-11.20mを記録した（図6）。10m足場で対応できる限界であった。

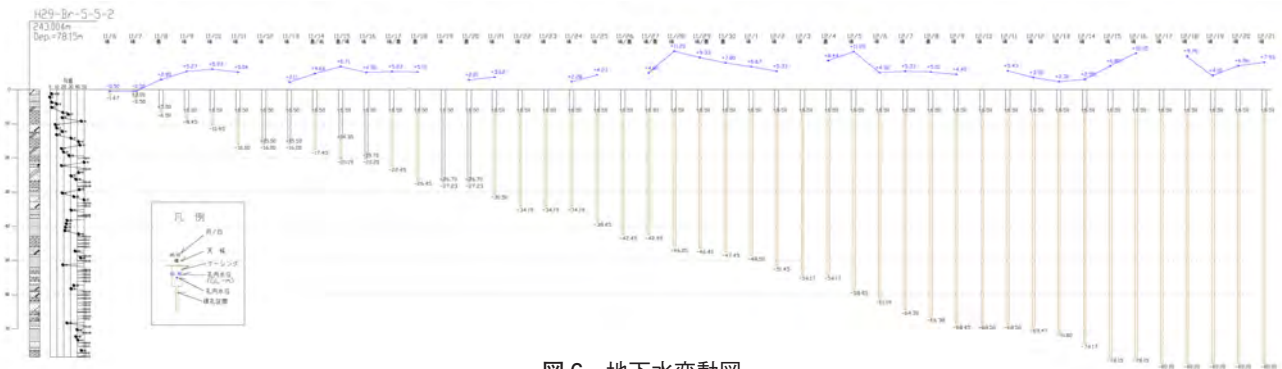


図6 地下水変動図

6. まとめ

今回の調査では、ボーリング実施前に、被圧地下水圧を把握できたため、問題なく対応できた。しかし、事前に情報を掴めていなかった場合は、調査地周辺に水害を引き起こすことが予想され、周辺の民家や耕作地に多大な被害が予想できる。改

めて事前調査が大事なことを思い出させてくれた現場であった。

〈参考文献〉

- 1) 町田洋編他：「日本の地形5 中部」東京大学出版会 2006
- 2) (独)産業技術総合研究所地質調査総合センター編：「20万分の1地質図 甲府」2002

大地の恵み

有明海の恵み～広大な干潟と海産物，そして軟弱地盤対策

1. 有明海の干潟

1) 広大な干潟

有明海には広大な干潟がある（写真-1）。そして、有明海の湾奥部では最大6mの大きな干満差があり、200km²に及ぶ広大な干潟が発達している。干潟の幅は、とくに佐賀県南西部の鹿島市沖では数kmに達する。



写真-1 有明海の広大な干潟

この有明海の干潟は、泥質干潟、砂泥質干潟、砂質干潟に大きく分類される¹⁾。そして、有明海北西部から西部にかけて泥質干潟が発達している。この理由として、東側海域に流れ込む河川（主に筑後川）の火山性土砂の粒径が大きいものが東側海域に堆積し、浮遊性のシルトや粘土が概ね反時計回りの湾流に沿って流れ、流速が小さい有明海北西部で堆積しやすいことである。

有明海沿岸の干潟の形成は、4回に及ぶ阿蘇4（ASO-4）火砕流に起因し、9万年前に阿蘇火口カルデラが形成された時と同時期とされる¹⁾。そして、有明海の干潟の発生は、大きな潮位差による浮泥の発生と、その繰返しにより浮泥が堆積し干潟化が進行したものと考えている。

沖合数kmに及ぶ干潟を歩くイベントが行われている。股まで足がのめり込む「ヌルヌル感と夏場の

ヒンヤリ感」がたまらないと評判である。写真-2は小城市芦刈町の六角川河口付近であり、県外から干潟遊びにくる人が多い。



写真-2 干潟遊び

2) 浮泥の堆積

一方では、有明海沿岸では浮泥の堆積が恒常的であり、浚渫しても1年後には元に戻っている。とくに、河川河口の流量確保や港湾漁港の航路泊地の水深確保のために、浚渫等を繰り返し実施しなければならない状況がある。

3) 干潟に咲くシチメンソウ



写真-3 干潟に咲くヒチメンソウ（令和2年11月）

11月の佐賀県沖の干潟は、赤いじゅうたんになる（写真-3）。佐賀市の東与賀海岸に群生するシチメンソウは、晩秋になると紅葉し海岸に赤いじゅうたンを広げた様相を見せる。しかしながら、二年前ほど前に原因不明の立ち枯れがあった。その後、地

元ボランティア活動等により、令和2年度の晩秋には写真のようにシチメンソウが一部で再生した。今後も有明海干潟に風物詩として順調に再生に向かうことを願っている。

2. 多様な生物と佐賀海苔

1) 多様な生物～前海（まえうみ）もん

広大な干潟には「前海もん」という、干潟に棲む珍しい姿・形の魚介類（ムツゴロウ、アゲマキ、タイラギ、シャコ等）が生息している。いずれもうまい海産物である（写真-4）。²⁾



写真-4 有明海の前海（まえうみ）もん

2) 有明海の佐賀海苔

佐賀海苔の生産は、有明海の大きな干満差が寄与している。この干満差を利用した支柱養殖が、ノリ生産システムを支えている。多くの河川が流入することで豊富な栄養分がある。満潮時に海の栄養分を吸収し、干潮時に太陽の光を吸収してうま味が蓄積され「おいしい佐賀海苔」が生まれる。また、広大な干潟に多くの網を張ることで、生産量日本一に寄与しているという（写真-5）。²⁾



写真-5 佐賀海苔の養殖風景

3. 軟弱地盤対策の進展

1) 有明海沿岸の軟弱地盤

有明海沿岸特有の超軟弱粘性土は、大きな鋭敏性をもつ土である。乱さなければ静かにしている（安定している）。しかし、一旦、乱すと強度が低下して扱いにくくなる。しかし、この粘性土は乱れても、しばらくすると元氣（固さ）が回復する。

現場では、設計時の変形挙動予測、工事中の変形挙動、さらに工事終了後供用後の変形挙動について、予測計算値と現場の一致はあまり期待できない。

また、軟弱粘性土特有の圧密により広域的に地盤沈下が発生している。橋梁橋台は固い地盤で支持されているが、取付け部が沈下して車両通行に支障が生じていた。また、道路近辺の家屋では車両通行の影響により家屋が傾くことが多い。

2) 地盤工学研究の宝庫

有明海沿岸域の軟弱地盤は、地盤工学研究を大きく進展させた。軟弱地盤上に生活基盤や社会基盤の建設が必要に迫られてきたためである。

そこで、地元佐賀大学の専門家による研究開発が進展し、そして国県等の施工事例を検証しながら有明海沿岸部の軟弱地盤対策（盛土構造物、橋梁取付部段差解消等）を進めてきた。

3) 高盛土による道路建設（有明海沿岸道路）

この軟弱地盤の沈下・変形特性の予測と現場挙動の整合性が、道路建設を進める上で重要なテーマであった。事業を進める上で、軟弱地盤を改良することになるが、施工中のほか施工後・供用中も構造的安全性が確保されなければならない。このため、事前に現場試験（盛土試験等）を実施して、その変化量予測の信頼性を高めてきた。

なお、改良強度の発現には、以下の課題が存在する。①何らかの理由（有機物、塩分濃度、地層成因、堆積物等）で改良強度が想定どおり発現しない。②同種同量の固化材でも改良強度が異なる。③事前情報と異なる地質地形（現地形から不明な過去の土地利用、様々な遺骸や滞留物の介在）が存在する。これら軟弱地盤改良のリスクを抱えてはいるが、軟弱地盤の改良強度の信頼性を高める工夫を重ねながら道路整備を行っている。

4. 最後に

「おいしい佐賀海苔、うまい多様な海産物（前海もん）は、有明海のみぐみである。そして有明海の沿岸には、厄介ではあるが技術者の研究心をくすぐる地質地盤が存在している。これも「有明海のみぐみ」ではないかと思う。

[南里 勝：(株)精工コンサルタント]

〈参考文献〉

- 1) 下山正一・松浦浩久・日野剛徳：佐賀地域の地質，独立行政法人産業技術総合研究所 地質調査総合センター平成 22 年
- 2) 佐賀県庁水産課提供，佐賀県有明海漁業協同組合 HP

各地の博物館巡り

岐阜県関市

岐阜県博物館



博物館正面玄関

はじめに

岐阜県博物館は、13万点におよぶ資料や標本などを活用し、岐阜県の生き立ちや今の姿を日本の歴史とも対比しながら、自然・人文の両分野から丹念に紹介している総合博物館です。常設展示室には、動物・植物・地学等に関する資料を展示する「自然展示室1・2」、考古・歴史・民俗・美術工芸等に関する資料を展示する「人文展示室」があります。また、県民やゆかりのある方の収集品等を展示する「マイミュージアムギャラリー」があります。

各フロアのご案内

館内は次のようなエリアとなっています。

■マイ・ミュージアム棟（1F, 2F, 3F）

受付、マイミュージアムギャラリー、けんぱくホール
(マイ・ミュージアム棟のみの入館は無料)

■本館 3F

メインホール、ミュージアムショップ、みんなの部屋、自然展示室1、自然展示室2、研修室、講堂、飲食コーナー

■本館 4F

人文展示室、企画展示室、特別展示室、図書資料室、休憩コーナー

以下では、このうちのメインホール、自然展示室1、自然展示室2について紹介します。

展示内容

【メインホール】

メインホールでは、恐竜の全身骨格、岐阜県で発見された恐竜の歯や足跡を展示しており（写真1、2）、スケールの大きさに圧倒されます。



写真1 ジュラ紀最大級の肉食恐竜
全長約8mのアロサウルス全身骨格



写真2 大白川の恐竜足跡化石露頭

【自然展示室 1】

岐阜県の大地の成り立ちを先カンブリア時代から新生代に至るまで紹介し、山や川、それらへの人の関わり方について紹介しています。

各年代における岩石（写真3）の他、貝の化石や半海棲の生物の化石等（写真4）が多数展示されており、現在内陸である岐阜が、かつて海であったことを教えてくれます。



写真3 上麻生礫岩に含まれる約20億年前の片麻岩（2019年までは日本最古の岩石でした。）



写真4 半海棲の生物デスモチルスの頭骨（下部）
パレオパラドキアシアの全身骨格（上部2頭）

【自然展示室 2】

現代における岐阜県の植物、動物、岩石などを分野別に紹介しています。

岐阜県には、多種の岩石が存在しており、岐阜県内で見られる代表的な実物の岩石（火成岩、堆積岩、深成岩）と偏光顕微鏡で見た写真とをあわせて展示しています。（写真5）

また、岐阜県では多様な自然環境に適応した哺乳類が56種類確認されており、シカやイノシシなどの大型哺乳類や、博物館がある公園内で確認された中型の哺乳類の剥製を展示しています。（写真6）



写真5 岩石と顕微鏡写真の展示



写真6 岐阜県に生息する哺乳類の剥製の展示

謝辞

岐阜県博物館のご担当者様には、博物館及び展示物等について、種々のご教示を頂きました。ここに記して、感謝の意を表します。

ご利用案内

●所在地・電話番号

岐阜県関市小屋名1989（岐阜県百年公園内）
TEL：0575-28-3111 FAX：0575-28-3110

●アクセス

東海北陸自動車道 関インターから車で5分

●開館時間

4月から10月 午前9時～午後4時30分
11月から3月 午前9時30分～午後4時30分
（入館は午後4時まで）

●休館日

月曜日（月曜日が休日の場合は、その翌平日）
年末年始（12月29日から1月3日）

●料金

一般 通常：340円 特別展開催時：600円
大学生 通常：110円 特別展開催時：300円
高校生以下 無料

●ホームページ

<http://www.gifu-kenpaku.jp/>

〔(一社) 中部地質調査業協会 編集委員会
ホームページワーキング 小倉 直也〕

各地の残すべき

地形・地質

井戸沢断層（福島県）

1. はじめに

東日本大震災から今年で10年となります。改めてまして震災で亡くなられた方々のご冥福をお祈り申し上げます。

2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震では甚大な被害をもたらされ震災の記憶が深く刻まれています。その1か月後に福島県浜通りの地震で出現した地震断層は、大震災の記録に含まれ単独で話題になることは稀です。この地震断層は、図1に赤で示すように井戸沢断層と湯ノ岳断層に沿って出現しています。今回は、福島県の残すべき地形・地質である両断層のうち変位量の大きかった井戸沢断層の現況を紹介します。

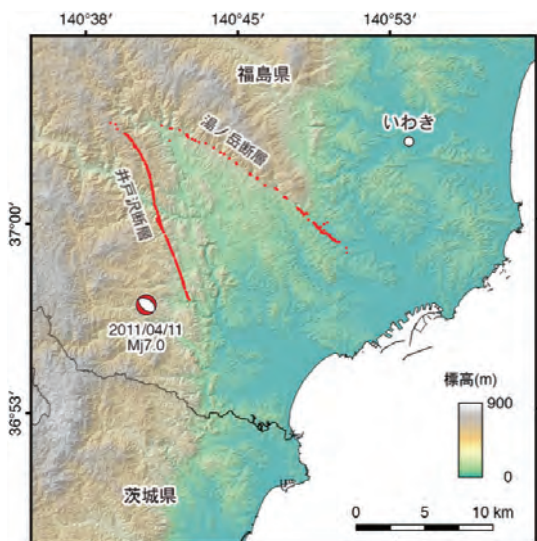


図1 井戸沢断層と湯ノ岳断層の位置

2. 2011年4月11日福島県浜通りの地震

2011年4月11日福島県浜通りの地震は内陸直下型の地震であり、気象庁によるとマグニチュード7.0、死者4名、負傷者10名でした。家屋が多数倒壊し、地震断層のずれにより、生活道路が複数箇所寸断されました。井戸沢断層に沿う地震断層

は、国研)産業技術総合研究所のHPによれば、いわき市田人町大久保南方から同市綱木北西に至る約13kmにわたり全体として北北西-南南東走向に伸びているのが確認されています。

3. 井戸沢断層の学術的意義

井戸沢断層は、「地質と調査」2016年第3号に既述のとおり、地元で地震断層の保存活動が興り、2年後の2018年にいわき市の天然記念物に指定されています。同様の地震断層としては、2016年に発生した熊本地方を震央とする最大震度7の地震で布田川断層沿いに出現した地震断層が2018年に国の天然記念物となりました。ほかにも根尾谷断層、丹那断層、千屋断層、野島断層が国の指定となっています。これらの断層は、逆断層か横ずれ断層であり、数m程度地震時に地表がずれたものです。一方、井戸沢断層は、日本で初めて確認された正断層の地震断層で、最大2m程度縦にずれました。また、海溝型超巨大地震に誘発されて内陸の活断層が活動した我が国初の地震断層でもあります。このように、ずれの量が大きく学術的に貴重であるにもかかわらず、社会的な認知度が低く地元の熱心な保存活動がなければ市の天然記念物に指定されなかったと思われます。

4. 井戸沢断層の現況

地震後10年を経てこの井戸沢断層を確認しますと、断層変位で寸断された道路は、その後速やかに復旧され、大きかった段差も今はゆるやかなスロープに変わり、地震断層が道路を切断した箇所がわかりにくくなっています。また、地震直後には、水田に多くの亀裂や段差あるいは相対的な沈下による水たまりが生じていましたが、こちらも圃場

の整備により位置が不明確になっています。しかし、井戸沢断層は多くの区間で山地を通過しており、ひとたび山の中に入れば10年が過ぎた今も刻まれた地震の爪痕を見ることができます。

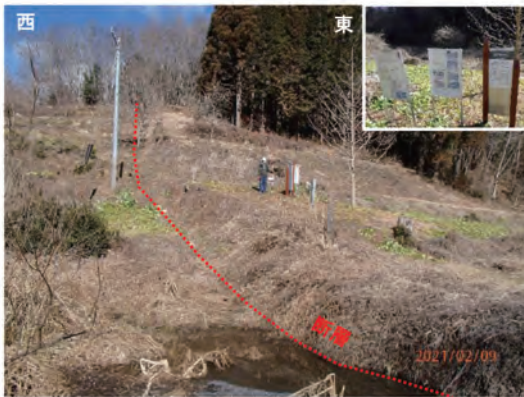


写真1 文化財に指定された塩ノ平の断層崖

写真1は、いわき市の文化財に指定された塩ノ平地区の地震断層です。南北に比高1～2mの崖が延び、崖の落下側には堰き止めによる池が生じています。崖の近傍には標示木のイチョウがあります。また、地域の皆さんの定期的な草刈りによりきれいに崖が保存され、わかりやすい案内板も設置されています(写真1右上)。

井戸沢断層のような正断層は地盤の落下側がすべり台を滑り落ちるようにずれるため逆断層より崖面が保存されやすい傾向もあります。写真2は、写真1の北方斜面に位置し、断層面がほぼ地震時のまま保たれています。崖面には礫岩が露出しています。写真3は近影です。

写真4は、齊道北方の山地斜面に出現した断層池です。この付近で断層は上下に約1.4mずれ谷を堰き止めました。断層に沿った池の幅は約5mです。井戸沢断層沿いにはこのような堰き止めが多数確認されます。断層はさらに尾根・谷を切って北方や南方へ続いています(写真5)。



写真4 堰き止めによって出現した断層池(齊道)



写真2 高さ2mにおよぶ断層崖(塩ノ平)



写真5 尾根を切る断層(塩ノ平)



写真3 断層崖の近影(塩ノ平)

5. おわりに

地元の田人地域振興協議会により井戸沢断層の保存活動が継続され、毎年4月11日には地震の発生時刻に合わせて断層上にイチョウの木が植樹されます。今年は滑石という地区で植樹を行います。断層が観察できる塩ノ平地区には多くの見学者が訪れ、学校の生きた教材として役立つ学術的にも貴重ですので、井戸沢断層はいつまでも残されるべき地形・地質であると考えます。

〔株〕ダイヤコンサルタント 齋藤 勝

NEXCO 総研における 橋梁研究グループの取組みについて

はがたに としひこ はぎわら ゆうき にしたに ともあき
長谷 俊彦*・萩原 裕樹**・西谷 朋晃***

Key Word 高速道路, 特定更新, 橋梁構造物, 基礎, 土圧

1. はじめに

今回の報告では、株式会社高速道路総合技術研究所（NEXCO 総研）の橋梁研究グループの取組みについて紹介する。

NEXCO 総研橋梁研究室では、特定更新工事に関する設計・施工の効率化や生産性向上に向けた規準化の取組み、高速道路橋の信頼性向上にかかる耐震補強技術や耐震性能照査技術の高度化に資する研究を進めている。高速道路の橋梁事業においては、社会環境の多様化および10年後の人口減少や技術者不足に対応しながら、老朽化する橋梁構造物の保全業務を効率的、効果的に継続していくために必要となる研究課題に取り組んでいる。

本報告においては、橋梁の基礎構造に関する耐震性能照査技術の研究の取組みについて紹介する。

2. 橋梁基礎の耐震設計に関する研究

熊本地震において、高速道路の高架橋の橋脚が甚大な被害を受けた。本橋では鋼製支承の損傷とそれに伴う桁の座屈や路面沈下のほか、橋脚梁部の損傷等の様々な被害が確認された。

これにより、緊急交通路としての機能の確保に時間を要し、高速道路に求められる社会的役割¹⁾の重要性を再認識することとなり、「耐震性能2」²⁾で要求される供用性・修復性の確保が急務となった。

被災橋脚の損傷原因として、本来、可動支承であった支承が損傷により擬似固定化したことで、設計水平力以上の地震時慣性力が橋脚に作用したことや、鋼管杭とフーチングの接合方法がフーチングの損傷に影響を及ぼした可能性が報告されている³⁾。本研究では、当該フーチングの損傷メカニ

ズムの検証及び耐震性評価を行うため、供試体による載荷実験を実施した。

2.1 中間橋脚部の被害状況

(1) 鋼製支承の損傷

桁と橋脚がずれたことによる排水管の破損や、橋座面に破損したサイドブロックが確認されており、現地の状況から前震の段階で支承が損傷したと考えられた。

写真1に被災橋脚天端の破損状況を示す。支承のサイドブロックが損傷し、上沓と下沓の間にピンローラーを挟み込む形で上沓が脱落していた。



写真1 鋼製支承の損傷

(2) 橋脚及びフーチングの損傷

本震後の橋脚及びフーチングの損傷状況について写真2に示す。当該橋脚は平成14年～16年に補強主鉄筋をフーチングに定着しないRC巻立て工法の耐震補強を行っていたが、柱部では起点側に約3.2°の傾斜を確認した。柱基部では、フーチング上面から最大70mm程度の浮き上がりを計測したことから、柱基部のフーチングへの押込みの作用が生じていた。一方、フーチングに関しては、フーチング上面の既設柱前面からフーチング下端にか



写真2 橋脚およびフーチングの損傷

けて貫通ひび割れが発生していた。さらに、ひび割れに伴うフーチングの傾斜が生じており、ひび割れを挟んで起点側で2.6°、終点側で1.7°の傾斜が確認されたことから、地震によりフーチングの回転も生じていたと判断される。このほか、鋼管杭本体に変形や亀裂等の損傷は確認されなかったが、フーチング内に埋め込まれた杭頭接合部のスタッドの破断が確認されている。

(3) 可動支承の擬似固定化

当該橋脚の支承は可動支承であり、写真1に示すとおり、ピンローラーが上沓と下沓に挟まれたことで上部構造の水平移動が拘束され、可動支承が疑似的に固定化されたため、図1に示すように、当該橋脚に設計水平力以上の上部構造慣性力が作用したものと考えられる。ここで、設計で想定していた可動支承の摩擦力相当の上部構造慣性力は515 kN (=Rd × 0.15) 程度であるのに対し、支承が疑似的に固定化した場合の上部構造慣性力は、柱基部が損傷していたことから、柱の終局耐力相当の1,600 kN程度と推定され、これは設計水平力の3倍以上に相当する。

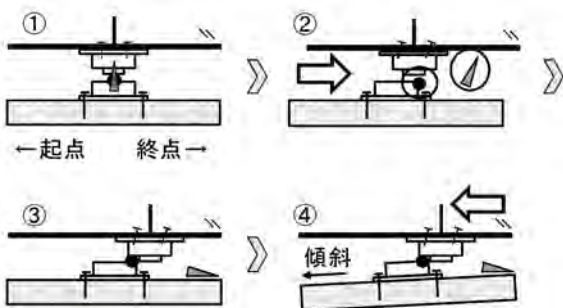
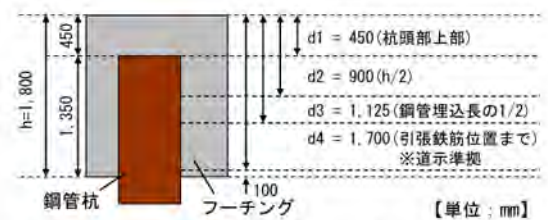


図1 可動支承の損傷に伴う疑似固定化

(4) フーチングのせん断破壊

当該フーチングは柱前面から杭位置までの距離がフーチング厚の1/2よりも短く、現行基準⁴⁾ではせん断照査が不要となる形状であり、被災時のようなせん断破壊は想定していない。また、当該橋脚の杭種は鋼管杭で、杭とフーチングとの接合方法は、杭をフーチング内に埋込む「方法A」⁵⁾が採用されている。

せん断破壊は柱前面とフーチング内に定着された杭外面で生じていた。そこで、フーチングについて有効高をパラメータとし、コンクリート負担分のせん断耐力とそれに相当するせん断力を発生させる橋脚天端での水平力との関係をはりモデルを用いて算出した。その結果、図2に示すように、当該フーチングは設計上想定している有効高との相違により、早い段階から杭頭上部付近でひび割れが発生していた可能性が考えられた。



Case	有効高 (mm)	せん断耐力 Sc (kN)	橋脚天端 水平力 P (kN)
d1	450	4,107 (0.24)	147
d2	900	10,571 (0.62)	1,572
d3	1125	12,264 (0.72)	1,945
d4	1700	16,964 (1.00)	2,982

図2 有効高さコンクリート負担分のせん断耐力 (実橋)

2.2 模擬供試体による破壊メカニズムの実験検討

(1) 実験ケース

A-1 供試体は結合方法を「A方法」として実橋を模擬したもの、B-1 供試体は結合方法を「方法B」としたものの、A-2 供試体は「方法A」で柱基部と杭頭の間隔を標準的なせん断スパン比1.13とした3体の比較を行った(図3)。

(2) 試験方法

載荷方法は、単調増加方式による漸増載荷とした。供試体には実橋の1/3に相当する死荷重1,143kNを軸力として載荷した状態で、水平ジャッキを用いて供試体の破壊もしくは載荷ジャッキの制限に達するまで水平力を載荷した。載荷制御方法は、フーチングの軸方向鉄筋が初降伏に達するまで荷重制御とし、それ以降は変位制御で載荷を行った。

(3) 実験結果

各供試体の載荷点位置における荷重 P と変位 δ の関係を図4に示す。供試体 A-1 の荷重変位関係は、水平荷重 600kN で柱の引張側となるフーチングの後趾側において鉛直ひび割れが発生し、1,000kN を越えた時点でフーチング上面主鉄筋が初降伏に達した。水平荷重の増加に伴い、ひび割れ範囲がフーチング全体に拡大し、5 δy の時点で水平荷重が最大 (1,973kN) に達した。その後は耐力低下とともに変位が増大し、10 δy に達した時点で載荷を終了した。供試体 B-1 の荷重変位関係は、水平荷重 690kN で供試体 A-1 と同様に柱の引張側となるフーチングの後趾側において鉛直ひび割れが発生

し、1,000kN を越えた時点でフーチング上面主鉄筋が初降伏した。水平荷重の増加に伴い、ひび割れがフーチング全体に拡大し、3 δy の時点で水平荷重が最大 (1,587kN) に達した。その後は耐力低下とともに変位が増大し、7 δy に達した時点で載荷を終了した。供試体 A-2 の荷重変位関係は、水平荷重 340kN でフーチング下面にひび割れが発生し、1,500kN を越えたところでフーチング下面主鉄筋が初降伏に達した。水平荷重の増加に伴い、ひび割れ範囲がフーチング全体に拡大し、6 δy の時点で水平荷重が最大 (2,480kN) に達した。その後は耐力低下とともに変位が増大し、9 δy に達した時点で載荷を終了した。

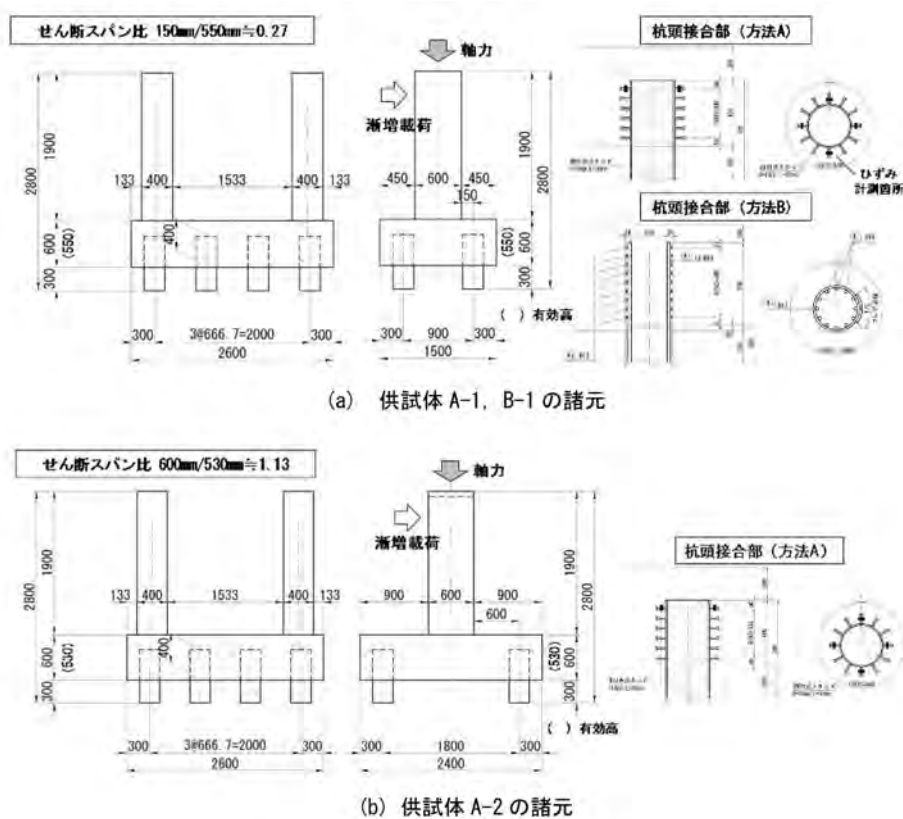


図3 供試体の諸元および載荷方法

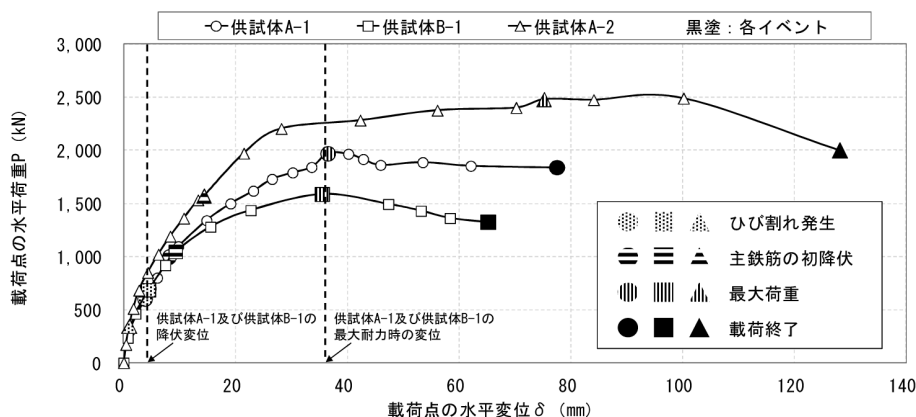


図4 各供試体の荷重変位関係

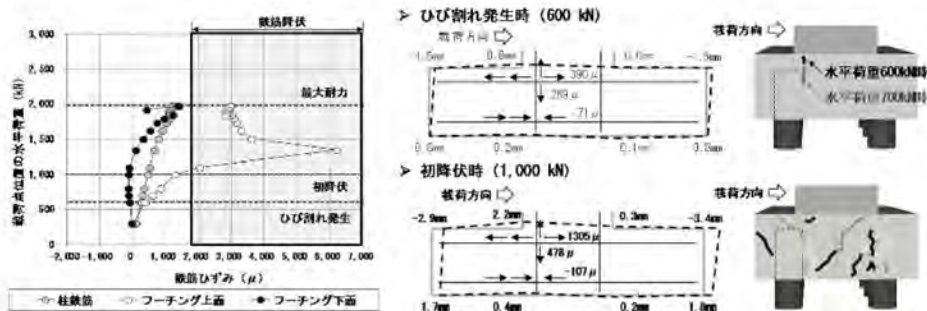


図5 A-1 供試体の鉄筋ひずみ及びひび割れ分布

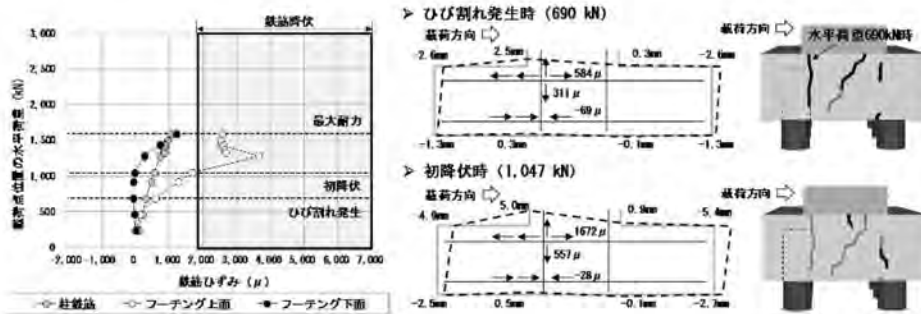


図6 B-1 供試体の鉄筋ひずみ及びひび割れ分布

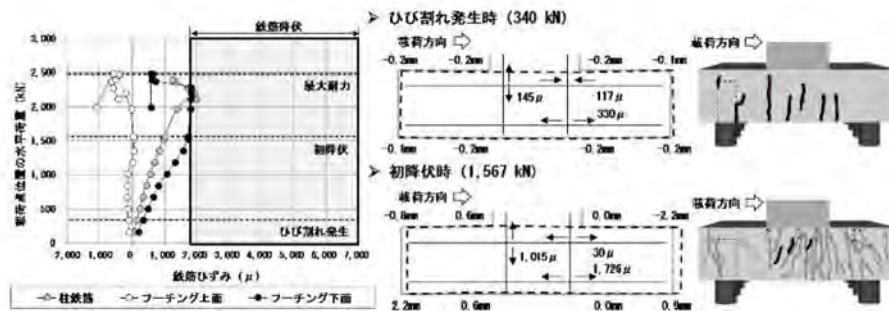


図7 A-2 供試体の鉄筋ひずみ及びひび割れ分布

(4) せん断スパン比の影響

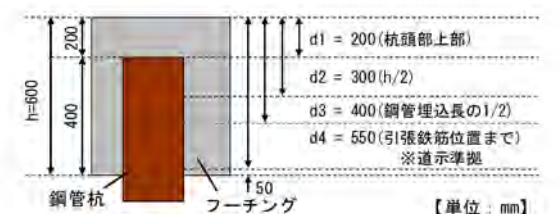
せん断スパン比が小さい供試体 A-1 のひび割れ発生時の鉄筋ひずみ分布に着目すると、図5に示すとおり、ひずみはフーチング上面で引張方向に大きく、フーチング下面で圧縮方向となっている。また、柱主鉄筋に沿って鉛直方向に断面力作用が確認されることから、柱の引張側となるフーチングの後趾側では割裂や鉛直方向のせん断力により、鉛直方向のひび割れが発生したと考えられる。この傾向は、図6に示す供試体 B-1 についても同様であった。一方、せん断スパン比が大きい供試体 A-2 のひび割れ発生時の鉄筋ひずみ分布は図7のとおり、ひずみはフーチング上面で圧縮方向、フーチング下面で引張方向に作用していた。また、破線で示す変位計測結果より、フーチング下面に発生したひび割れは曲げひび割れと推察される。こ

のように、せん断スパン比によってフーチングの耐荷機構が異なることが確認された。なお、杭頭スタッドのひずみは、いずれも弾性領域に留まっていた。

(5) 杭頭接合方法の影響

杭頭接合方法の違いによる影響を確認するため、杭頭接合方法が異なる供試体 A-1 及び供試体 B-1 に着目する。図5に示すとおり、供試体に最初に発生した鉛直せん断ひび割れは、実橋と同様に、埋込まれた鋼管杭の外縁とほぼ同位置に発生していたため、鋼管埋込み部が構造上の弱点となった可能性が考えられた。そこで、フーチングの有効高をパラメータとし、フーチングのせん断耐力とそれに相当するせん断力を発生させる載荷点位置での水平力を検討した(図8)。

供試体 A-1 は、水平力 600kN でひび割れが発生



Case	有効高d (mm)	せん断耐力Sc (kN)	Sc相当発生時の橋脚天端での水平力P (kN)
d1	200	309 (0.18)	540
d2	300	491 (0.29)	618
d3	400	924 (0.54)	798
d4	550	1,707 (1.00)	1,100

(供試体 A-1, 供試体 B-1)

図8 フーチングの有効高とせん断耐力

し始め、これは有効高が 200 mm の場合 (case-d1) のフーチングにせん断ひび割れが発生する水平力 540kN に相当する。また、供試体 B-1 は水平力 690kN でひび割れが発生し始め、有効高が 300mm の場合 (case-d2) のフーチングにせん断ひび割れが発生する水平力 618kN に相当する。このように、杭頭接合方法が「方法 A」の場合、実際にせん断耐力に寄与した有効高さが設計上の有効高よりも小さいことを確認した。

3. 斜材付きπ型ラーメン橋の遠心力模型実験

高速道路などで跨道橋として用いられる斜材付きπ型ラーメン橋 (以下、斜π橋とする) は、一般に、2 基の下部構造のみで支持される構造として設計される⁴⁾が、現実には地震時に斜材背面などの地盤抵抗が発揮されると考えられる。

NEXCO 総研で実施した斜材背面地盤等を考慮した静的フレーム解析では、地盤抵抗の影響を考慮することで耐力や剛性は大きくなること、斜材背面では上下端に地盤反力が発生する一方、斜材中央部では地盤反力を受けない場合があり、その結果変形モードが変わることが確認されている³⁾。

しかし、地震時の動的応答において、斜材背面地盤の非線形性が斜π橋の耐力や終局挙動に及ぼす影響は未解明であり、設計でその影響を考慮するには、斜材背面ばねの合理的な設定方法の検討が必要であった。そこで、橋梁-斜材背面地盤全体系による遠心模型実験により、主に地震時の地盤と斜材の相互作用に着目し、斜π橋の地震時応答の特徴を把握することとした。

(1) 実験模型

検討対象は橋長約 50m の変形 PC 斜π橋⁵⁾をプロトタイプとし、図 9 に示す橋梁全体模型を製作し

た。モデル化は単純化のため対称形とし、勾配もなしとした。模型縮尺は $s=1/50$ とし、遠心重力 50g における振動実験を行った。橋梁模型はアルミブロックを削り出して作製した。機械加工可能な寸法で各橋台部と桁中央径間を 3 分割で製作し、溶接により一体化した。基礎形式は直接基礎であるが、境界条件明確化のためフーチングは土槽底板に固定した。地山は軟岩相当のソイルセメント (目標強度 $qu=1MN/m^2$) で模擬した。斜材裏込は切土を想定した地山ケース 1、埋土を想定した埋戻土ケース 2 とした。埋戻土には砂質土を用い、遠心載荷場で水分保持が可能である含水比 7% に調整して締固め度 95% を管理値として締固めた。

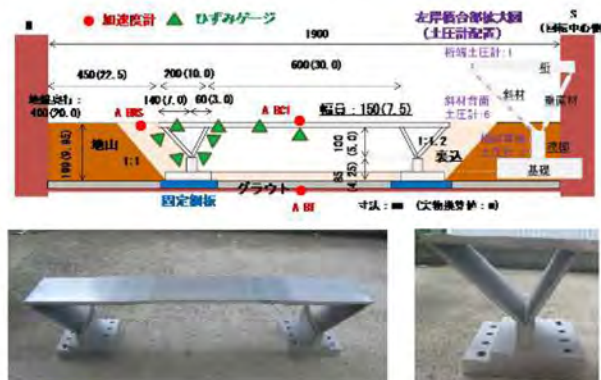


図9 斜材付きπ型ラーメン橋の遠心力模型実験

(2) 加振方法

遠心重力 50g を載荷後、図 10 (a) に示す振動数 50Hz の正弦波 (実物換算 1Hz) を段階的に振幅レベルを増大させて加振実験を実施した。加振手順は正弦波 150m/s² まで加振の後、時間軸を 1/50 に調整した地震波が図 10 (b) による最大加速度振幅 150m/s² の加振を挟み、一旦遠心重力を開放して裏込地盤の損傷を修復して遠心重力を再載荷の後、正弦波 300m/s² での加振を実施した。

実験では桁および地盤の加速度、橋梁斜材裏込部の土圧および橋梁 (桁、斜材および垂直材) のひずみを、サンプリング時間 0.5ms (1/2,000s) で計測した。

(3) 遠心載荷による斜π橋の挙動

本実験では、地震時の斜材と裏込土の相互作用に着目し、斜材背面に作用する土圧を分析した。

代表的な計測結果として、図 10 にケース 2、d4 (加速度 150 m/s²: 実物 3m/s² 相当) および d8 (同 300 m/s²: 実物 6m/s² 相当) 加振における斜材背面での地震時土圧 (初期土圧をゼロとした動土圧: 以降、「土圧」とする。圧縮正) 時刻歴を示す。桁端部 E-B1、橋脚部 E-B8 は加振開始直後に土圧が

発生し始めるのに対し、斜材中間部 E-B4 はやや遅れて増加し始め、振幅も小さい。d8 加振、E-B1 は $t=0.25\text{s}$ 付近からは振幅が減少した。

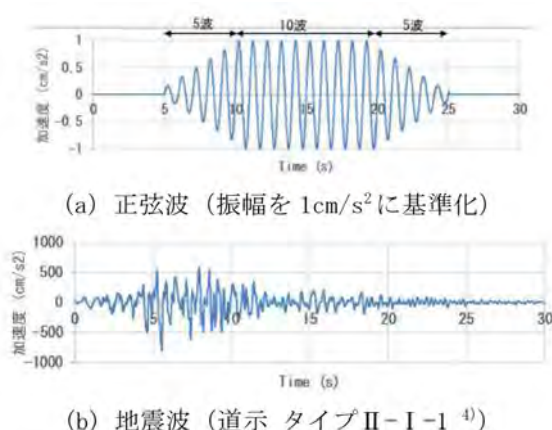


図 10 入力地震動加速度時刻歴 (実物換算値)

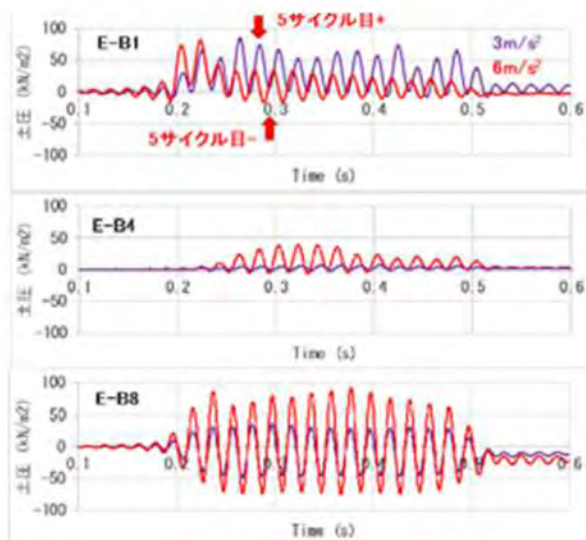


図 11 斜材背面地震時土圧時刻歴

(4) 斜材背面地震時土圧の特徴

図 12 に同データから抽出した加振 5 サイクル目・正負ピーク時刻での斜材背面土圧分布を示す。図中プロットの着色は桁の移動方向 (青と茶) と対応する。d4 加振では桁が裏込方向 (青) に移動した場合に桁端部土圧 E-B1 が卓越するとともに、E-B8 ~ E-B9 区間では土圧が負 (土と斜材が離れる方向) となる。一方、桁が谷方向 (茶) に移動した場合には E-B1 ~ E-B6 はほぼゼロとなり、E-B8 ~ E-B9 は正の土圧となる。これらより、E-B1 は桁変位によって土圧が生じるが、E-B2 ~ E-B7 では変動量が小さいことがわかる。これらは初期土圧が小さく、斜材の変位量も小さいため発生土圧が小さいと考えられる。これに対して比較的深度の大きな E-B8 ~

E-B9 では桁谷向きにおいて正の土圧が生じる。この要因は、裏込土の斜材方向への変形によると推察できる。加速度の大きな d8 加振においては斜材上部の E-B2 ~ E-B4 区間で正の土圧が生じているが、桁端部 E-B1 はゼロに近い。これは図 11 の土圧時刻歴で確認できるとおり、5 サイクル目より前に桁端部地盤が損傷するためである。さらに、E-B1 で発生する土圧の減少に伴い、E-B4 で見られるように斜材部の土圧分担が増加することがわかった。

(5) 斜材背面地盤条件の影響

図 13 にケース 1、実物 3m/s^2 相当加振における加速度 5 サイクル目での斜材背面土圧分布を示す。裏込が地山の場合には遠心重力载荷時に桁端部に大きな初期土圧が発生するため、地震時土圧の振幅は正負とも比較的大きくなる。橋脚部付近 (E-B8 ~ E-B9) で発生する地震時土圧は裏込が埋戻土のケース 2 よりも小さいが、これは地盤変形よりも橋梁全体の変形モードの影響による橋脚部と地盤の相互作用に起因すると考えられる。一方、斜材中央部においては地震時土圧がほとんど発生していない。これは、桁端地盤が損傷せず裏込方向に変形しにくい解析検討⁶⁾の考察と整合する。

(6) 斜π橋の背面土圧の影響

裏込の変形のないケース 1 では解析検討での斜材の変形モードと整合する斜材背面土圧分布となった。一方、裏込が埋戻土の場合 (ケース 2)、裏込土の斜材方向への変形により発生する土圧が見られること、桁端部地盤の損傷により土圧分布が変わること等、解析検討の前提とは異なる性状が示唆された。

4. おわりに

NEXCO 総研の橋梁研究室における研究では、NEXCO3 社の高速道路事業における橋梁の技術的な課題や事業の効率化・高度化に資する研究開発を課題としている。本報告で紹介したほかにも、高速道路の橋梁に関する維持管理の点検・診断技術、鋼橋、PC 橋、橋梁附属物の補修・補強や耐震照査技術、材料の性能評価技術など様々な課題を対象としている。これらの研究成果を通じて、高速道路の安全・安心を持続可能とすることにより我が国の社会に貢献していく所存である。

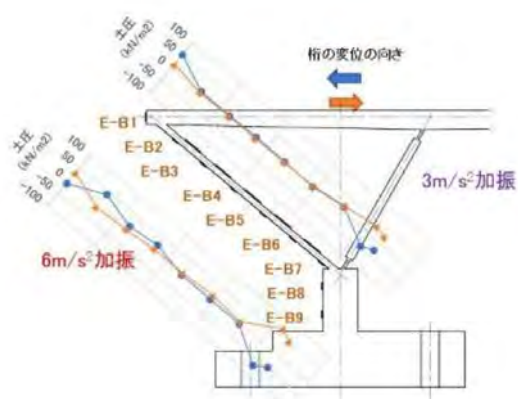
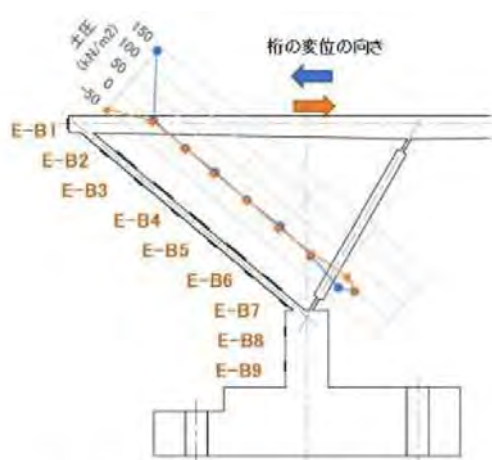


図 12 5 サイクル目の斜材背面土圧分布 (裏込埋戻土)



(ケース 1) d8 : 実物 3m/s² 相当

図 13 斜材裏込地山ケースの背面土圧分布

〈参考文献〉

- 1) NEXCO 西日本グループ：コミュニケーションレポート，2018.
- 2) (社) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編，2017.
- 3) (社) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 IV 下部構造編，2002.
- 4) 東・中・西日本高速道路 (株)：設計要領 第二集 橋梁建設編，2016.8.
- 5) 堺 淳一，運上茂樹：H16 年新潟県中越地震における斜材付 π 型 PC ラーメン橋の損傷分析，土木技術資料，49-8，pp.22-pp.27，2007.
- 6) 中村，武田，稲荷：斜材付き π 型ラーメン橋の耐震性能における斜材背面抵抗の影響，I -392，第 73 回土木学会年次学術講演会，2018.

全地連「技術フォーラム2021」の開催について(開催予告)

毎年、多くの方々にご参加を頂いています全地連技術フォーラムにつきまして、2021年度は下記のとおり開催いたします。

「全地連 技術フォーラム 2021」大阪 開催概要

- 主 催：一般社団法人全国地質調査業協会連合会
- 協 力：一般社団法人関西地質調査業協会
- 後 援：国土交通省近畿地方整備局，大阪府，大阪市
- 協 賛：国立研究開発法人土木研究所
- 開催日程：令和3年9月16日（木）～17日（金） 2日間
- 開催場所：大阪国際会議場 大阪市北区中之島5-3-51

技術フォーラムの一般参加者募集（技術発表会、技術者交流懇親会）や開催内容に関する詳細は、7月になりましたら全地連のホームページでご案内する予定です。なお、技術発表会の原稿募集受付は、4月上旬で終了しました。多数のご応募をいただき、ありがとうございました。

地盤情報の電子納品と検定のポイントについて

（一財）国土地盤情報センターでは、ボーリング柱状図等の電子成果品と検定のポイントをまとめた資料を作成し、令和3年1月にホームページで公開しました。

同センターでは、全国から集まる電子成果品（ボーリング柱状図および土質試験結果一覧表）の検定を行っておりますが、検定結果のエラーが少ない状況を踏まえ、電子成果品の作成方法を分かりやすくご紹介した本資料を作成した次第です。

電子成果品のエラーは、地質調査会社にとって大切な地盤情報の利活用の妨げにつながるおそれがあるほか、発注者への納品遅れにもなりかねません。電子成果品の作成担当者におかれましては、資料を是非参考にしてください。

資料名：「電子納品の現状と対応について」

▶▶▶ センターホームページ <https://ngic.or.jp/>

「電子納品の現状と対応について」 説明内容

- | | |
|---|---|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. 電子成果品の公開について <ul style="list-style-type: none"> - 電子成果品の公開、2次利用 - 電子成果品の品質の重要性 2. 電子納品について <ul style="list-style-type: none"> - 電子納品要領・基準の版（バージョン） - フォルダ構成，ファイル形式 - 業務の共通仕様書，特記仕様書の規定内容 - 各ソフトでの対応 | <ol style="list-style-type: none"> 3. 検定について <ul style="list-style-type: none"> - 検定の義務化 - 検定の流れ，内容 - 検定申込サイト - 検定データの事前チェック - 品質管理評価，優秀者の公表 4. よくあるエラー事例 <ul style="list-style-type: none"> - エラー事例と対応 |
|---|---|

全地連資格制度

令和3年度の検定試験および登録更新の実施概要について (地質調査技士, 地質情報管理士, 応用地形判読士)

■ 検定試験（地質調査技士, 地質情報管理士, 応用地形判読士（一次試験））

試験日：7月3日（土）

試験地：全国10会場（札幌, 仙台, 新潟, 東京, 名古屋, 大阪, 広島, 高松, 福岡, 沖縄）

願書受付：4月9日（金）～5月12日（水）

合格発表：9月10日（金）

その他：試験申込みに関する詳細は、全地連のホームページをご覧ください。

■ 検定試験（応用地形判読士（二次試験））

試験日：11月27日（土）

試験地：東京

願書受付：9月10日（金）～10月12日（火）

合格発表：令和4年2月21日（月）

その他：試験申込みに関する詳細は、全地連のホームページをご覧ください。

■ 登録更新（地質調査技士）

受講対象者：2016年度検定試験に合格し資格登録した方
2016年度登録更新の手続きを完了された方

申込日：9月中旬～10月上旬

更新方法：講習会受講形式またはCPD記録報告形式

その他：詳細は、申込み開始日になりましたら全地連のホームページでご案内いたします。

■ 登録更新（地質情報管理士）

受講対象者：2018年度検定試験に合格し資格登録した方
2018年度登録更新の手続きを完了された方

申込日：12月上旬～翌年1月下旬

更新方法：CPD記録報告形式

その他：詳細は、申込み開始日になりましたら全地連のホームページでご案内いたします。

■ 登録更新（応用地形判読士）

受講対象者：2016年度検定試験に合格し資格登録した方

申込日：12月上旬～翌年1月中旬

更新方法：CPD記録報告形式

その他：詳細は、申込み開始日になりましたら全地連のホームページでご案内いたします。

講習会の開催情報（令和3年度）

令和3年度に実施予定の全地連主催講習会および関連講習会は、下記のとおりです。なお、今後新たな講習会の開催が決まりましたら、全地連のホームページでご案内いたします。

●「道路防災点検技術講習会」

主催：（一社）全国地質調査業協会連合会

後援：国立研究開発法人土木研究所

開催地・日程：仙台：6月11日（金） 東京（1）：6月29日（火） 熊本：7月16日（金）

大阪：10月1日（金） 東京（2）：11月19日（金）

その他：全地連のホームページにて申込みを受け付け中です。

●「地質リスクマネジメント事例研究発表会」

主催：地質リスク学会，一般社団法人全国地質調査業協会連合会

開催地：東京都千代田区

日程：11月26日（金）

その他：開催内容の詳細が決まり次第、全地連のホームページでご案内いたします。

●「地質調査」研修

共催：（一財）全国建設研修センター

（一社）全国地質調査業協会連合会

後援：国土交通省 全国知事会・全国市長会・全国町村会 ほか

開催地：全国建設研修センター（東京都小平市）※ライブ配信による受講形式も準備予定

日程：5月12日（水）～5月14日（金）（3日間）

その他：開催内容や申し込みは、全国建設研修センターのホームページをご覧ください。

●「地質調査業務 計画と積算」研修

共催：（一財）全国建設研修センター

（一社）全国地質調査業協会連合会

後援：国土交通省 全国知事会・全国市長会・全国町村会 ほか

開催地：全国建設研修センター（東京都小平市）※ライブ配信による受講形式も準備予定

日程：6月14日（月）～6月15日（火）（2日間）

その他：開催内容や申し込みは、全国建設研修センターのホームページをご覧ください。

●「土質設計計算（基礎講座）」研修【オンデマンド配信】

共催：（一財）全国建設研修センター

（一社）全国地質調査業協会連合会

後援：国土交通省 全国知事会・全国市長会・全国町村会 ほか

開催地：オンデマンド配信形式で実施

日程：7月5日（月）～7月11日（日）（7日間）

その他：開催内容や申し込みは、全国建設研修センターのホームページをご覧ください。

●「土質設計計算」研修

共催：（一財）全国建設研修センター

（一社）全国地質調査業協会連合会

後援：国土交通省 全国知事会・全国市長会・全国町村会 ほか

開催地：全国建設研修センター（東京都小平市）

日程：9月13日（月）～9月16日（木）（4日間）

その他：開催内容や申し込みは、全国建設研修センターのホームページをご覧ください。

編集後記

本小特集では、近年のデジタルデータ化で変貌を遂げた地図データに着目し、「地図データの活用」に関する話題を取り上げました。

近年、公開ウェブ地図サービスの普及により地図データは我々の生活に身近な存在になりつつあります。その背景には、2007年の地理空間情報活用推進法の制定以降、国土院より基盤地図情報が無料で公開され、地図データの活用が一挙に進んだ経緯があります。

本特集では、地図データを活用した代表的な事例を取り上げました。プロジェクションマッピングでは、一般の人でも細かな地形の起伏を可視的に把握できるようになりました。数値標高データ (DEM) の活用により、活断層等の微地形の把握が容易にできるようになり、詳

細な活断層位置図が作成されるようになりました。

一方、WebGISの活用により、地理空間情報の共有および利用が容易になり、減災、防災にも活用されるようになりました。また、カシミール3DなどGISソフトウェアの発達により、登山などレジャーにも広く活用されている状況があります。

このように、本小特集を一通り読んで頂ければ、近年の地図のデジタル化の動向と地図データがどのように活用されているのかが分かるような構成となっています。

最後になりましたが、お忙しいところ本号の執筆に協力して頂いた執筆者の方々には心から感謝の意を表します。

(2021年4月 細矢記)

機関誌「地質と調査」編集委員会

一般社団法人全国地質調査業協会連合会

委員長 鹿野 浩司

委員 尾高 潤一郎、加藤 猛士、佐護 浩一、谷川 正志、細矢 卓志、土屋 彰義、須見 徹太郎、池田 俊雄、高橋 暁、小口 隼人、各地区地質調査業協会

委員 北海道：徳江 俊一 東北：庄子 夕里絵 北陸：桜井 幹郎 関東：藤本 泰史 中部：和田 昌樹
関西：東原 純 中国：西田 宣一 四国：大岡 和俊 九州：鳥羽 美幸 沖縄県：砂川 尚之

一般社団法人全国地質調査業協会連合会

〒101-0047 東京都千代田区内神田 1-5-13 内神田 TK ビル 3 階 TEL. (03) 3518-8873 FAX. (03) 3518-8876

北海道地質調査業協会	〒060-0003	北海道札幌市中央区北 3 条西 2 丁目 1 (カミヤマビル)	TEL. (011) 251-5766
東北地質調査業協会	〒983-0852	宮城県仙台市宮城野区榴岡 4-1-8 (パルシティ仙台 1 階)	TEL. (022) 299-9470
北陸地質調査業協会	〒951-8051	新潟県新潟市中央区新潟町通 1 ノ町 1977 番地 2 (ロイヤル礎 406)	TEL. (025) 225-8360
関東地質調査業協会	〒101-0047	東京都千代田区内神田 2-6-8 (内神田クレストビル)	TEL. (03) 3252-2961
中部地質調査業協会	〒461-0004	愛知県名古屋市中区葵 3-25-20 (ニューコーポ千種橋 403)	TEL. (052) 937-4606
関西地質調査業協会	〒550-0004	大阪府大阪市西区靱本町 1-14-15 (本町クィーパービル)	TEL. (06) 6441-0056
中国地質調査業協会	〒730-0017	広島県広島市中区鉄砲町 1-18 (佐々木ビル)	TEL. (082) 221-2666
四国地質調査業協会	〒761-8056	香川県高松市上天神町 231-1 (マリッチ F1 101)	TEL. (087) 899-5410
九州地質調査業協会	〒812-0013	福岡県福岡市博多区博多駅東 2-4-30 (いわきビル)	TEL. (092) 471-0059
沖縄県地質調査業協会	〒903-0128	沖縄県中頭郡西原町森川 143-2 (森川 106)	TEL. (098) 988-8350

機関誌 「地質と調査」 '21 年 1 号 No.157

2021 年 4 月 15 日 印刷

2021 年 4 月 20 日 発行

編集 一般社団法人全国地質調査業協会連合会

〒101-0047 東京都千代田区内神田 1-5-13 内神田 TK ビル 3 階

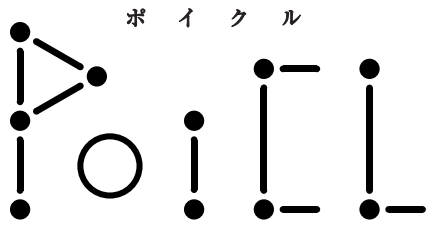
発行所 株式会社ワコー

〒102-0072 東京都千代田区飯田橋 3-11-7 TEL. (03) 3295-8011 FAX. (03) 3230-2511

印刷所 株式会社 高山

無断転載厳禁

印刷物・Web 上等に本誌記事を掲載する場合は、一般社団法人全国地質調査業協会連合会に許可を受けてください。



ポイクル

— 3D点群作成システム —

写真だけで **すぐ** **誰でも** 3D点群ができる!

PoiCLは国土交通省が推進している
i-Construction によって急速に普及が進んでいる
3D点群データがカンタンに作成できるアプリです!



スマホもOK!

写真を撮るだけで





スマホで
撮るだけ!

誰でも操作が
カンタン!

コストもリスクも
大幅削減!

様々な地形を 3D点群化!

開発:  五大開発株式会社
 砂防エンジニアリング株式会社

販売:  五大開発株式会社
〒921-8051 金沢市黒田1丁目35番地
TEL:076-240-9587  pp-sales@godai.co.jp

RG社検層一筋40年、土木地質から資源分野まで豊富なプローブとウインチに加え、強力なデータ処理ソフト「Winlogger」を提供しています。

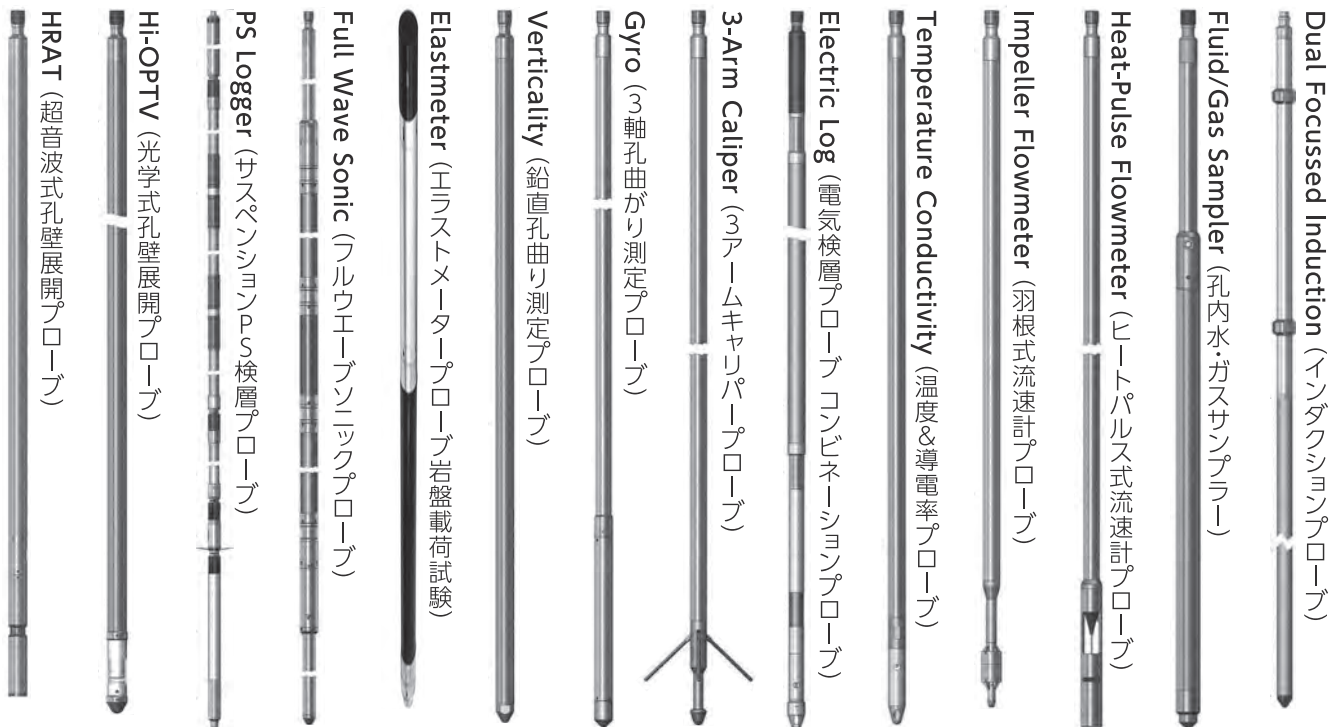
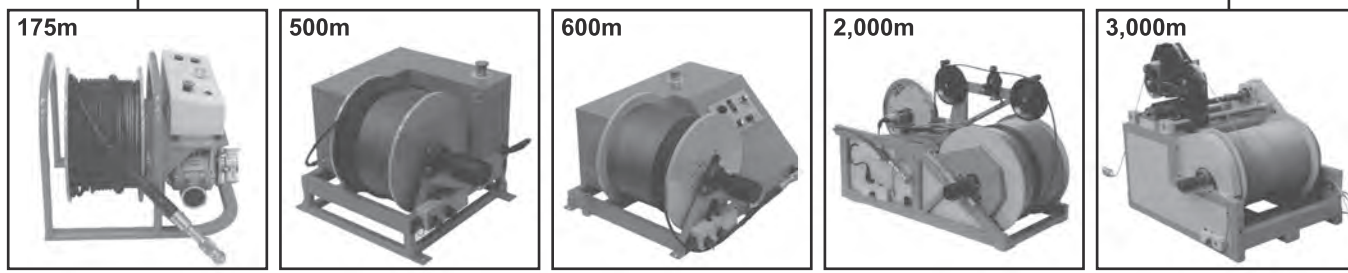
Micrologger-2



Winlogger Software



Cableは、同軸又は4芯アーマードで最大3,000m可能



株式会社 ジオファイブ

URL <http://www.geo5.co.jp/>

〒336-0931 埼玉県さいたま市緑区原山 1-12-1

TEL 048-871-3511 FAX 048-871-3512

Email sales@geo5.co.jp

■業務内容■

計測機器販売 : 地質調査機器・土木計測機器・非破壊検査機器

計測機器レンタル : 地質調査機器及びその他計測機器レンタル

計測業務 : 現場計測業務・測定機器設置・3D計測業務

計測機器設計製作 : 各種地盤計測機器の設計製作



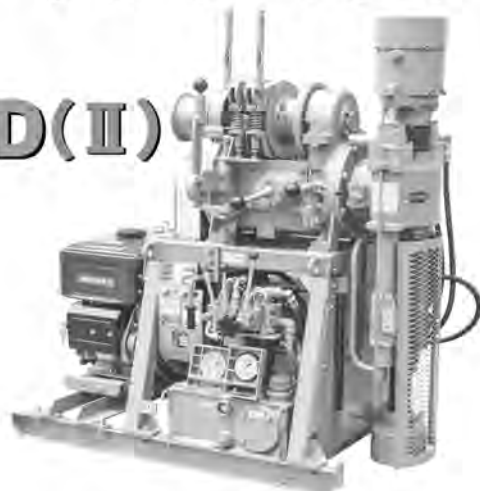
TOHO
DRILLING EQUIPMENT

小型ボーリングマシン

DM-03

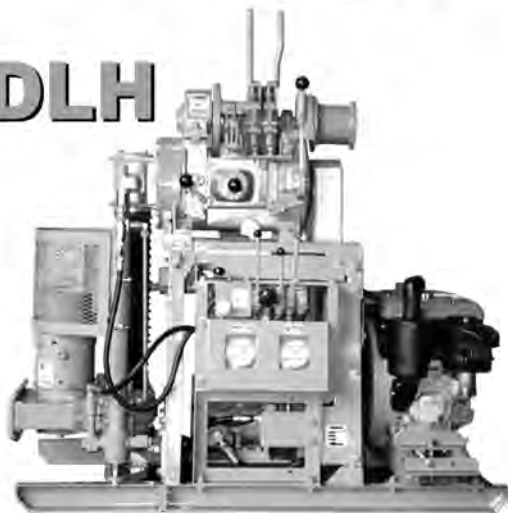


D0-D(Ⅱ)



D1-C

D0-DLH



試錐機には小型ボーリングポンプが内蔵できます。(DM-03を除く)

機種名		DM-03	D0-D(Ⅱ)	D0-DLH	D1-C
穿孔能力	m	30	100	100	280
回転数	min ⁻¹	65,125,370	(A)60,170,330 (B)110,320,625※	(A)60,170,330 (B)110,320,625※	(A)65,130,170,370 (B)90,170,320,490※
スピンドル内径	mm	47	43	43	48,58
ストローク	mm	400	500	500	500
巻上げ力	kN(kgf)	3.9(400)	5.9(600)	5.9(600)	10.8(1100)
スライド	mm		油圧式300※	油圧式300※	油圧式300
動力	kW/HP	3.7/5	3.7/5	3.7/5	5.5/8
質量	kg	180	350(油圧チャック装着時)	475	550
寸法	H×W×L mm	960×550×1115	1225×655×1285	1440×890×1415	1390×735×1580

右操作、左操作をご用意しております。 ※はオプションです。



東邦地下工機株式会社

東京都品川区東品川 3-15-8 TEL 03 (3474) 4141
福岡市博多区西月隈 5-19-53 TEL 092 (581) 3031
URL: <http://www.tohochikakoki.co.jp>

福岡 092(581)3031
東京 03(3474)4141
札幌 011(376)1156
仙台 022(235)0821
新潟 025(284)5164
金沢 076(235)3235

名古屋 052(798)6667
大阪 072(924)5022
山松 089(953)2301
広島 082(533)7377
山口 083(973)0161
熊本 096(232)4763

地質調査

通巻157号