

# 地質調査

2020

# 第1号

(通巻155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

≫ AIで地質調査の技術継承を

大阪大学教授 大学院工学研究科 環境エネルギー工学専攻  
矢吹 信喜

### 総論

≫ 地質調査技術者のための  
人工知能概論とAIの適用事例

京都市立大学名誉教授 大西 有三

### 小特集 AIで地質調査はどう変わるのか

≫ ディープラーニングの活用による  
点検・調査業務省力化

…………… 全 邦 釘

≫ ~Human in the Loop~  
AIとの「共創」で自然災害に立ち向かう

…………… 谷口 寿俊・三谷 泰浩

≫ 地すべりの破碎度区分の深層学習  
による判定技術の研究

…………… 西澤 幸康・山内 政也・谷川 正志

≫ 深層学習を用いた  
土砂災害地形自動抽出の検討事例

…………… 高山 陶子・濱田 耕平・角田 里美

≫ 地質調査に機械学習を導入して  
得られた結果と課題

…………… 齊藤 龍太・新宮 直人・新宮 敦弘

### 教養読本

≫ AIと気象を利用した需要予測

…………… 中野 俊夫・吉開 朋弘

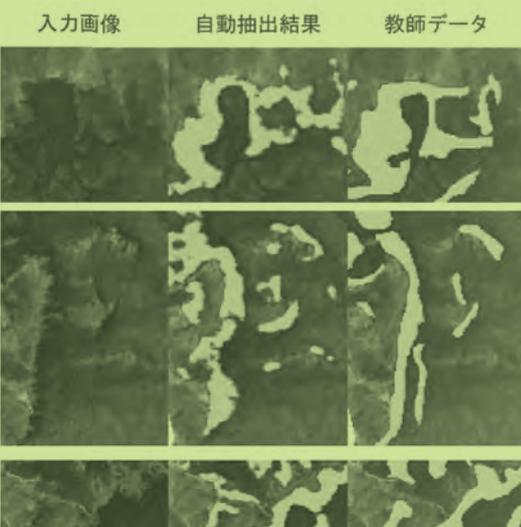
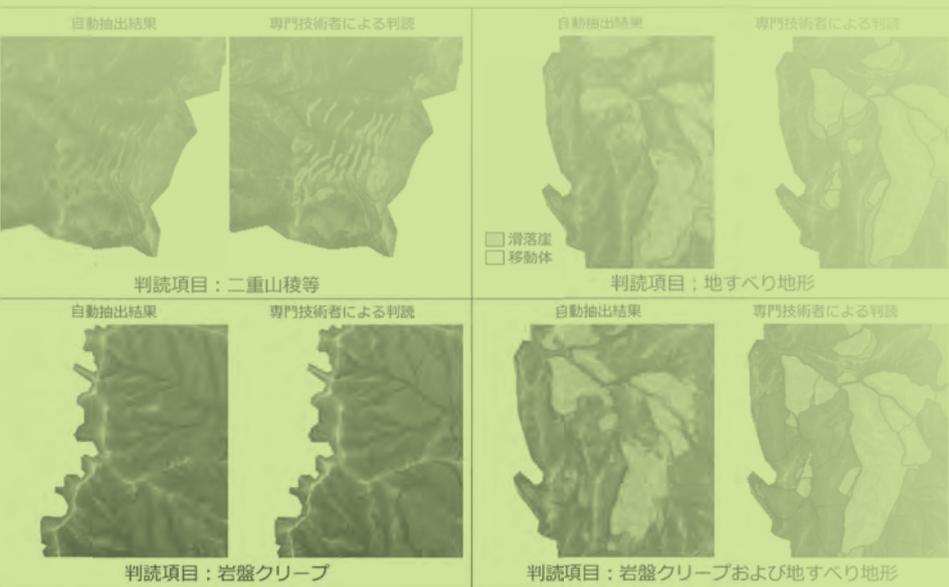
### やさしい知識

≫ 人工知能入門

…………… 市瀬 龍太郎

### 基礎技術講座

≫ 地形判読 (後編) …………… 西村 智博



緩みにくいガイドロッド

SWT TOOLS



標準貫入試験用安全デッキ

FSD-1A

Safety Deck



# 標準貫入試験時の 安全対策に：

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！



組立質量：25kg  
サイズ：(L×W×H)：  
645×570×1075 (mm)

三脚ヤグラ上の作業を  
より安全に

軽量・コンパクト

スパナ1本で  
組立・分解が  
出来ます！

QRコードにて **YouTube** をご覧ください

 **FUSO**

<http://www.kk-fuso.co.jp>

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

★最寄の支店にお問い合わせ下さい

巻頭言	≫ AIで地質調査の技術継承を 大阪大学教授 大学院工学研究科 環境エネルギー工学専攻 矢吹 信喜 …… 1
総論	≫ 地質調査技術者のための人工知能概論と AIの適用事例 京都大学名誉教授 大西 有三 …… 2
小特集	■ AIで地質調査はどう変わるのか ≫ ディープラーニングの活用による点検・調査業務省力化 全 邦釘 …… 8 ≫ ～ Human in the Loop ～ AIとの「共創」で自然災害に立ち向かう 谷口 寿俊・三谷 泰浩 ……14 ≫ 地すべりの破碎度区分の深層学習による判定技術の研究 西澤 幸康・山内 政也・谷川 正志 ……18 ≫ 深層学習を用いた土砂災害地形自動抽出の検討事例 高山 陶子・濱田 耕平・角田 里美 ……22 ≫ 地質調査に機械学習を導入して得られた結果と課題 齊藤 龍太・新宮 直人・新宮 敦弘 ……26
教養読本	≫ AIと気象を利用した需要予測 中野 俊夫・吉開 朋弘 ……32
やさしい知識	≫ 人工知能入門 市瀬 龍太郎 ……36
基礎技術講座	≫ 地形判読 (後編) 西村 智博 ……39
私の経験した現場	≫ 災害対応現場での協力体制について - 厚真川水系日高幌内川外斜面崩壊地質調査 - 大和田 敦 ……45
私の経験した現場	≫ 現場での気づきと拘り 小原 茂樹 ……51
各地の博物館巡り	≫ 富山県富山市 富山市科学博物館 辻合 秀一 ……55
各地に残すべき地形・地質	≫ 琉球石灰岩の自然壕 (沖縄県) 井上 英将 ……57
研究所からの報告	≫ 日本原子力研究開発機構東濃地科学センター 土岐地球年代学研究所の概要と現況 石丸 恒存 ……61
地質だより	■ 2019年度 応用地形判読士資格検定試験 …… 67 二次試験合格者3名が決定 ■ 全地連「技術フォーラム2020」の開催について (開催予告) …… 67 ■ 地質調査技士資格登録更新 (令和2年度) 実施予定 …… 68

## 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](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
145 号	2016 年 4 月	小特集：火山災害
146 号	8 月	特定テーマ：△山の日△
147 号	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

## 次号予告

**地質調査** 2020 年 第 2 号 (通巻 156 号) 内容 (予定) 令和 2 年 11 月発行予定

小特集テーマ：防災・減災－豪雨災害の被害軽減に向けて－

\*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。

# AIで地質調査の技術継承を

やぶき のぶよし\*  
矢吹 信喜\*Key  
WordAI, 深層学習, 画像認識, 地質屋, 岩種, 地層の変化, エキスパートシステム,  
自然言語処理, 知識, データ

AIも一時期に比べると、最近は少し落ち着いてきた感があるが、研究や実務にAIを応用しようという意気込みは相変わらず強い。AIは実は1980年代に第二次ブームがあり、当時、専門家の知識を論理的なルールとして記述した知識ベースを作成し、推論エンジンを駆動させることにより、人間と同じような思考ができるエキスパートシステムが一世を風靡した。「知識は力なり」という言葉が流行した。しかし、知識を専門家にインタビューをし、ルールとして記述するためには膨大な時間と費用がかかる割に便益が小さかったため、AIはほとんど「死語」になってしまった。

現在の第三次AIブームは、ニューラルネットワークの階層を非常に深くし、畳み込みなどの工夫を施した深層学習によって火が付いた。深層学習では畳み込みニューラルネットワーク(CNN)のモデルに大量のデータを学習させると重みなどのモデルに付随するデータ群が調整・最適化されて、写真から種々の物体を認識したり、言語を理解しているように振舞わせたりすることができるのである。現在は差し詰め「データは力なり」と言えよう。

ところで以前、筆者は電源開発株式会社に土木職社員として勤務していた時、「地質屋さん」と呼ばれる地質を専門とする社員数名の方々と一緒に仕事をし、各種プロジェクトの地質について説明を何回か聞いたことがあった。その際、現地踏査、地形図、航空写真、ボーリングなどの試験データ、その他文献などから、地質図を作成して、何万年何億年にも及ぶ地質・地層の変化をあたかも見ていたかのように生き生きと、そして理路整然と語るのに驚愕したものであった。また、一緒に現場に行くと、露頭やトンネル切羽で各地層の長い名称の岩種を瞬時に言い当てるのを見て、とても真似できないと思った。

こうした地質調査業務に携わる技術者も、他の職種同様、高齢化が進む一方、若手が少なく、担い手不足と技術継承が喫緊の課題となっており、AIが何か役に立つのではないかと期待されている。第三次のAIすなわち深層学習では、画像認識が格段に進んでおり、写真に写っている物体が何かを当てるだけでなく、その物体の範囲をきちんと捉えるセマンティック・セグメンテーションまでできるようになっている。この技術を応用すれば、露頭やトンネル切羽、あるいは岩そのものの写真からどの部分が何の岩種なのか言い当てることはできるはずであり、実際そうしたシステムを既に実用化した会社がある。

一方、地形図や写真、ボーリングデータ、文献などから地質図を描いたり、地質生成のプロセスを推測することは、現在のAIでは到底できないと考えられる。その理由は、地形や地質、環境のパターンが千差万別であり、それに対して教師となるデータが少なすぎるからである。従って、地質屋さんの仕事がAIに奪われることは当分ないが、技術継承は問題である。

そこで筆者は、地形図や写真、文献などをデジタル化してAIで地形の特徴や岩種を認識させるとともに、地質技術者が地質図をどのようにして描いたのかを、各種データを根拠に説明するところをビデオに撮影しておくことを提唱したい。今後、自然言語処理AIが進化していけば、ビデオの音声データを文字に変換し、それをさらにルールとして記述することもできるようになり、アイトラッキングにより何を見ているのかがわかるだろう。そうなれば、第二次AIで問題となった知識ベースの作成コストの課題は解決できるのである。いわば、第二次の知識、第三次のデータを基にした両AIを融合させることによって、困難な課題を解決しようというわけである。

\*大阪大学教授 大学院工学研究科 環境エネルギー工学専攻

# 地質調査技術者のための 人工知能概論と AI の適用事例

おおにし ゆうぞう\*  
大西 有三\*

**K**ey Word Society 5.0, ビッグデータ, 人口知能, 自動化 RPA, 機械学習,  
ニュートラルネットワーク

## 1 はじめに

最近の科学技術に関する話題として、マスコミ一般紙が取り上げているトピックスは、IoT、ドローン、AI（人工知能）、ロボット、5G、ブロックチェーン、業務の効率化や自動化 RPA（Robotic Process Automation）などであり、機械学習を取り込んだ人工知能は日常生活にどんどん浸透している状況である。

政府は第 5 次科学技術基本計画（2016 年）において我が国が目指すべき未来社会の姿として、「Society5.0」を提唱している。「Society5.0」とは、狩猟社会（Society1.0）、農耕社会（Society2.0）、工業社会（Society3.0）、情報社会（Society4.0）に続く新たな社会を目指すもので、サイバー空間（仮想空間）とフィジカル空間（現実空間）を高度に融合させたシステムにより実現される。フィジカル空間のセンサーからの膨大な情報がサイバー空間に集積、ビッグデータ化され、サイバー空間では、このビッグデータを人工知能（AI）が解析し、その解析結果がフィジカル空間の人間に様々な形でフィードバックされることになる。現代社会（Society4.0）では、人間が情報を解析することで価値が生まれてきたが、Society5.0 では膨大なビッグデータを人間の能力を超えた AI が解析し、その結果がロボットなどを通じて人間にフィードバックされることで、これまではない新たな価値が産業や社会にもたらされることとなる（図-1）と謳い上げられている<sup>1)</sup>。関連して、近い将来必要無くなる職業の一覧とか、人手不足を補う人工知能の活用などの記事が連日のように紙面を飾っている。

建設業に関しては、国交省は 2016 年を「生産性革命元年」と位置付け、「i-Construction」により

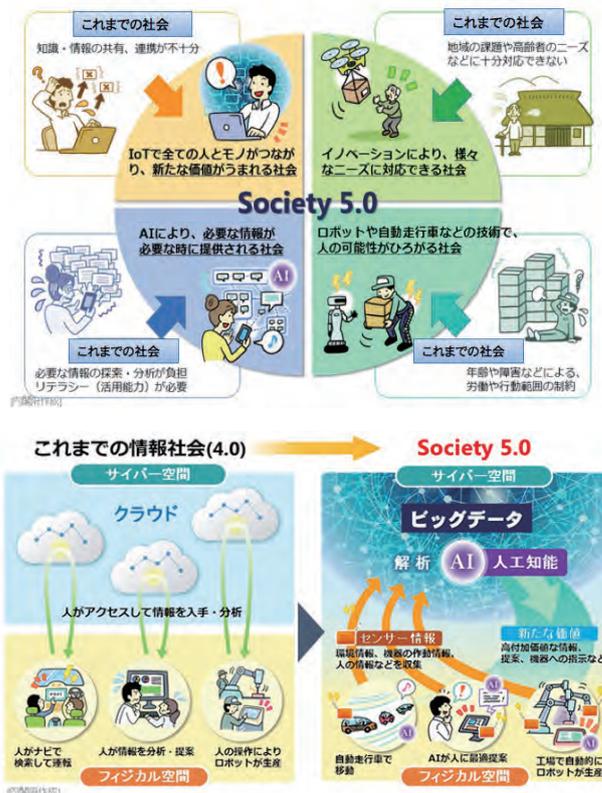


図-1 Society 5.0 のしくみ（内閣府ホームページから）

2025 年までに建設現場の生産性を 2 割向上させるとしている。“i-Construction”は、建設生産・管理システム全体を 3 次元デジタルデータで繋いで、ICT や AI などの新技術、新材料、新工法などを積極的に活用することによって生産性の向上を目指すものであり、中でも AI（人工知能）は最も期待されているトピックスの一つである。

さて、このように AI はもてはやされているが、地質調査の分野にはどのように関わってくるのか考察してみたい。AI に関しては身の回りのあらゆる

\*京都大学名誉教授

ところに活用されているというニュースが流れているが、特に将棋や囲碁勝負に適応したものが有名である。ディープ・ラーニングで強化されたコンピュータに、もはや普通では人間が勝つのは無理な状況になっている。しかし、AIといっても適用範囲を上手く限定して人間の固有の能力を生かす形の対応をしていけば、人間活動の支援システムとして相当役に立つものを作ることが出来ると考えられているため、その長所、短所を探ってみよう。

## 2 人工知能 AI とは何か

現在、AIを巡る国家間、企業間の競争は激化しており、2020年現在アメリカと中国が抜きん出ているといわれている。我が国ではデジタル対応の出来る人材、AI開発人材の不足が叫ばれており、若年層からの教育システムの変革が推進されつつあるが、両国との差は大きい。

世界的には、AIはすでに我々の生活の一部になりつつある。これまで人間に特有の知的な行動と思われていたこともAIが上回る例も多くなっているが、現在のAIは、万能ではない。そのために、適材適所でAIアルゴリズムを使い分ける必要がある。人とAIの違いを考慮しながら導入先を吟味する必要があるとされている。まだまだ人間しか出来ないこともたくさん残っている。

では、そもそもAIとは何なのかを考えてみよう<sup>2)</sup>。AIの定義は幅広く、現状何でもありの様相を呈しており、人によってとらえ方が異なる。仮名漢字変換でさえAIと呼ばれていたコンピュータが未発達の時代を経て、今は、AIを実現するための技術、高性能のコンピュータ、AIに必要な大量のビッグデータなど、AIを支える環境が充実し、実用化が進んできている。しかし、極端にいうと、AIとは中身は何でもいいという状況であるので、利用するにも注意が必要である。

AIソフトウェアは大量のデータを処理するので、実行するコンピュータには高い演算処理性能、大容量のメモリー、高速な外部記憶装置といったものが求められる。ただし、個人的に試してみる分なら普通のパソコンで十分であるが、更に効率化を目指すのであれば、GPU (Graphic Processing Unit: 画像処理に使われる演算装置で主にゲームマシンに使われている) をAIの処理に利用する方法がある。

AIを実現するソフトウェアは人間のプログラマーが作成するが、その際に使われるプログラミング言語として中心的役割を果たしているのが無料のPython (パイソン) である。Pythonは1991年に開

発が始まった汎用プログラミング言語であるが、理解し易いことから子供用に教育現場でも使われている。Pythonには数値計算、科学計算を行う無料のライブラリーが充実しており、AIプログラムを簡単に記述できる。また、使いやすいように例題を含め、様々な環境が整えられており、コミュニティも数多くある。

AIを大きく分類すると、特化型と汎用タイプに分けられる。特化型AIは、「将棋用」「自動運転用」など特定の用途でのみ使える人工知能である。想定された用途では人間と同等かそれ以上の能力を発揮出来るがそれ以外の領域では対応が出来にくい。一方、汎用AIは人間と同等の知能を持った存在で、人間と同じように問題を解決出来る人工知能であるが、まだ実現の目処は立っていない。

AIには様々な手法があるが、AIを実現するため近年最も技術的に飛躍したのが画像認識技術としての機械学習 (ML) であり、大量のデータからコンピュータが学習を重ねていく方法である。

### 2.1 機械学習 (ML: Machine Learning)<sup>3)</sup>

機械学習の方法として、教師あり学習と教師なし学習がある。大抵の場合、機械学習で取り扱うのは、特定の問題に対して、トレーニングしてモデルを構築することである。問題特化型のモデルを利用して答えを出すので、汎用的に使えるモデルにはならない。なぜ特化した問題でトレーニングするかというと、ある問題に特化しないと特徴量が類似するケースが増えて、想定した識別や予測をする範囲が大きくなり、答えの精度が低くなるためである。

たとえば画像の物体を識別できるように訓練する場合、令和2年の干支「ネズミ」の画像データに「ネズミ」という正解をセットして学習させ、コンピュータは大量の「ネズミ」の画像を分析して、ネズミの特徴を捉える。訓練が終わったら、未知の画像を見せて学習の効果を確認する。教師あり学習は、ラベルの作成に手間がかかるが学習データが増えれば増えるほど一般的に正解率が高くなっていく。一方、教師なし学習は、データだけが与えられても、正解はなく、大量のデータの中から何らかのパターンや傾向、規則性をつかむ方法である。

機械学習でも答えを間違えることもある。もし識別率が低ければ識別不能として答えが出しやすいのも機械学習の特徴と言える。機械学習ならつじつまを合わせるような修正を行わないため、モデルで判定すると分類精度や確かさが低い値で表現される。例えば犬らしい猫がいたとして、その写真を画像認識させると、犬78%、猫12%、猿2%、鳥0%のよ

うに数値が示されるであろう。この数値を見て人間が「実は犬なんだ」とか、「犬っぽい猫だ」と解釈できるが、機械学習では絶対的な答えを得られないことも多いのである。

## 2.2 ニューラルネットワーク (NN: Neural Network)

機械学習の一分野として、人間の脳神経細胞(ニューロン)を模した人工ニューロンがソフトウェア的な神経回路網を作り上げたニューラルネットワークがある。ニューラルネットワークでは、ニューロンを重ねて層としてセットすることが多い。すなわち、データを受け取った入力層がデータを処理し、中間層で更に処理し、出力層を経て結果を出力する。ニューラルネットワークの中間層を多数の層を重ねた多層構造にして複雑な処理を可能にしたディープラーニング(DL: Deep Learning)という手法が近年飛躍的な発展を遂げ、一般的に使われている。

ディープラーニングの学習は「誤差逆伝搬法」というアルゴリズムを用いて、誤差がだんだん小さくなるようにユニット間の重みを調整していくことで実現される。その中で代表的な畳み込みニューラルネットワーク(CNN)は、主に画像解析に用いられるモデルで、出力層側のユニットが、隣接する入力層側の特定のユニットに結合されている順伝播型ネットワークである。局所的な領域の情報を畳み込む処理を行う層(畳み込み層)と特徴を集約するプーリング層を多層に組み合わせて構成しているCNNでは、畳み込み層は入力データに対し、重みを持つフィルター(行列)をかけることにより特徴マップを得ることが出来る。異なるフィルターをかけると、違った特徴を持つ特徴マップが得られるので、様々な調整を行って適値を求める。プーリング層は、特徴マップのある領域の代表値を抽出する機能を有している。こうした手法を組み合わせて、一般的なCNNでは、入力データが、畳み込み層、プーリング層、(畳み込み層、プーリング層・・)、全結合層を経由し、最終的に出力層でクラスの確率が算出されることになる。実際の適用例は後ろの4節に示すが、ここでは典型的な解析プロセスを図-2に例示する<sup>4)</sup>。

ディープ・ラーニングを極めていくと、人間が特徴を認識し得ないデータでも特徴量抽出が可能になる。ディープ・ラーニングは汎用性が高いが、独自の学習モデルの構築には大量のデータを準備する必要があり、データ・セット作成に多くの人手が必要となる。

一方、解析精度を上げるためにはデータに適した

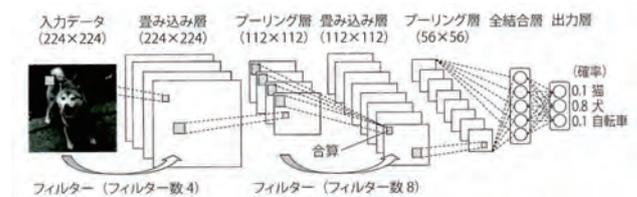


図-2 一般的な畳み込みニューラルネットワーク

独自のテンソル構造やパラメータを用意しなければならず、データに特化したチューニングが必要である。俗に言う「黒魔術的」なチューニングが必要となってくる場合もある。最適パラメータを見つけるために試行錯誤を繰り返してチューニングを行うが、数多くの組合せを試すと多大の時間と労力を要するので、この点は高度な技術者のスキルが求められる。

PCや小型コンピュータなどでスモール・データを用いた機械学習により培われたノウハウや経験はビッグ・データ活用にも役立つはずである。規模が大きくなっても大きな課題を小さな課題に切り分けて並列処理することが効率化につながるわけである。これまで述べてきた通りいろいろ工夫することでディープ・ラーニングを利用しなくても統計的機械学習で十分に成果が得られることも多いで、モデル構築を成功させるためにはデータ・セット作りと特徴量抽出、最適なアルゴリズムとパラメータの選択がポイントになることを、技術者は頭に入れておく必要がある。

### 3 建設分野における AI

地質調査を含む建設分野へのAIの適応はどうかという点、現時点では心許ない。AIが効力を発揮するのは、データの質と量が揃ってからである。良質なデータが大量にある場合、すなわちある領域をカバーするビッグデータがあって初めてAIが効果的に利用できる。そう考えると、建設関連分野におけるビッグデータの存在は極めて少ないと気づかれるだろう。さらに、業界内でデータを集積するシステムが出来上がっておらず、組織間でバラバラ、またあったとしても整理されていない(例えば、紙ベースのまま蓄積されていて、電子データとして使えない(pdfは基本的に役立たない))。それでは、このまま他分野の後塵を拝してよいかというと、そうではなく挽回のチャンスはある。対応できるのは、強力な技術者集団を擁している建設業界であり、過去から現在のデータ集積を精査できる能力が残されている。

建設業でのAI導入において問題となるのは、データ取得とそのデータが極めて少ない点であることは既に述べた。さらに、一般のAIコンサルタントに相談しても、肝心の建設業の中身が把握できていないため、迷走してしまうことが多く見られる。やはり、建設業の専門家が主導権を握りリードしないと、業態にマッチした良いものは出来ないとと思う。どんな目的でAIを導入したいのか、その目的のためにどんなデータが組織内に蓄積されているのか、これからどんなデータをどのように集めるのか、少ないデータをどう生かすのか等、十分な検討を重ねて結論を出すべきである。そのためには、関連分野で勉強会や意見交換をおこなったり、成功した先行事例を参考にするのが得策と考える。AIを使ってみると分かるが、そこそこのデータがあり手順を間違えなければ、70%から80%の答えは出せる。すなわち、そこそこの答えで良いというのなら十分使えるが、これを95%以上の正解率に上げるとなると至難の業であり、膨大な資金と時間を投入しなければならないので、見極めが必要である。

建設業においてAIは役に立つのかという質問には、「イエス」と答えざるを得ない。条件さえ整えば近い将来非常に役立つ道具と考えられるからである。その条件とは、質の良いデータが数多く揃えられること、何を目的にどのように利用するか的设计がしっかりできていること、組織でAIを採用する場合には、組織全体のコンセンサスを得ること、責任者が明確に指名出来ていることであろう。AIがもてはやされた最初の頃はバラ色の夢があったが、今では何となくAIを導入しようとして失敗した事例が沢山報告されている。しかし、今後こうした課題をクリアしてAIがますます発展するのは間違いではないであろう。上記の条件を満足させて挑戦する気概があれば、建設業で十分役に立つAIシステムを構築できると信じている。AIを敵視するのではなく、上手に付き合っていくことが肝要である。

#### 4 地質調査業でのAI適用の可能性

地質調査業においてAIを適用しようとした時に、何を対象にするかを熟考する必要がある。そもそもAI適用に対応できるデータにはどんなものがあるのだろうか。将来は別にして、過去には多くのボーリングデータ、地質観察結果(スケッチ)、地形データが取得され、蓄積されているが、残念ながらほとんどが電子化されていない。また、組織間でフォーマットが異なる、鮮明な写真がないなどAIを動かすための基礎データが標準化されていないという欠

陥が露呈しているため、早急な対策が必要とされる。

AIが適用できそうな地質調査関連トピックスとしては、地表から取得できる精密な3次元デジタル地形図(ドローンの活用)からの地形判読(リニアメント抽出や地すべり地形の同定など)の補助、ボーリングデータ間を内挿して地層の繋がりを構築する場合の線や面の作成補助、岩盤や地盤露頭の写真から岩種判定や割れ目抽出などが考えられる。

日常的に行われている業務の中で、岩盤判定や岩種の同定に従来から使われて来たエキスパートシステムなどの仕組みとAIとの最大の違いは、コンピュータが学習する(機械学習)ところにある。しかし、学習するためには、人間と同様に、コンピュータに教師データを与えなければならない。その時に、注意すべき条件「出力に見合った入力があること」を忘れてはならない。すなわち、無から有は生じないということである。例えば、画像による岩種の同定の場合、教師データに入っていない岩種を見つけることは出来ない(相当するモノがないという情報は得られる)。必要となるデータが揃わない状況で機械学習させると、出力が出ない、あるいは誤った答えを導くことになりかねない。

#### 4.1 トンネルにおける岩判定の事例<sup>5)</sup>

ここで、トンネル切羽での岩判定に対し、AIを適用した具体的な事例を示す。また、AIによる岩判定を行う場合、図-3のような画像データを与えるが、その際、写真の鮮明さ(ボケていないこと)以外に、別の留意点がある。すなわち、原則として“画像データのサイズは統一する事”という制約がある(この例では、128X128ピクセルで統一)。トンネル岩判定においては、評価の内容として割れ目間隔を問うものがあり、1m以上から未固結状態まで4区分が設けられている(近畿地方整備局の場合)。画像データとして一定サイズの統一を図る際に、写真の縮尺(1枚に写る切羽の領域)をある程度揃えることが重要であり、これを忘れると誤った判定に到達する可能性大となる。

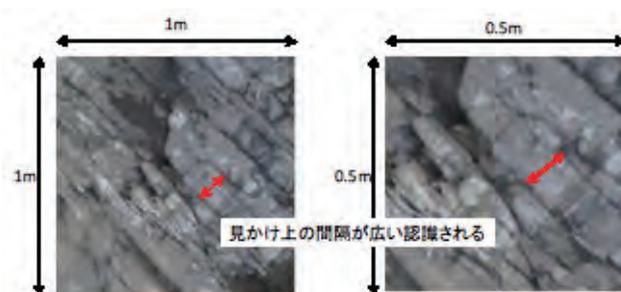


図-3 縮尺の違いによる誤認識イメージ

## 4.2 切羽画像データの解析手順

画像処理の機械学習において用いられる手法として、前述のように畳み込み方式とプーリング処理を繰り返すパターンが一般的である。畳み込み処理では、フィルターと呼ばれる一定ピクセル領域で特徴（凹凸や色の変化）を数値マップ化し（図-4）、プーリング処理において、マップから代表値を抽出することで画像内の特徴を抽象化するとともに、画素数を低減する。図-5に示すようにこれらの処理を繰り返すことにより1枚の写真に含まれた情報を抽象化する事で『木を見て森を見ず』の形の学習内容に陥らないように工夫しているのである。図-6に、抽象化処理を経て機械が認識した切羽の割れ目状況写真を示す。機械学習では認識した画像と解答（例えば区分3など）を大量のデータセットで分析し、関連パラメータの重み付けを算出することで、未知の画像を見たときに回答できる能力を身に付けていくわけである。

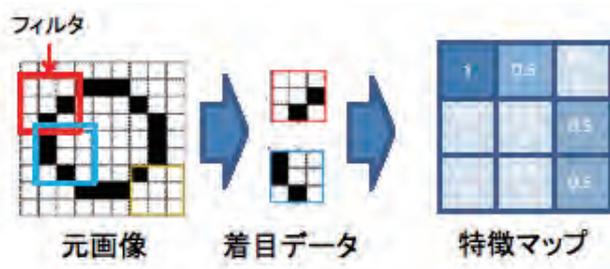


図-4 畳み込み処理のイメージ

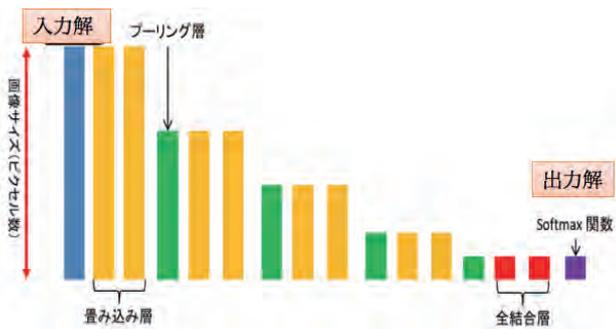


図-5 抽象化と画素数の関係

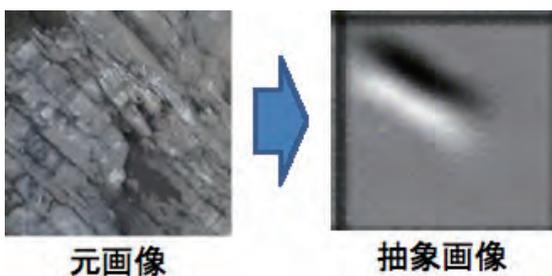


図-6 機械が認識した画像

AIが出した答えは、あくまでもAI独自の基準に基づくものである事に注意が必要である。人間が従来のルールで判断するプロセスと同一であるかは分からない点があり、ブラックボックス化されてしまう事に注意が必要である。説明可能なAIが研究されているが、現時点では人間が納得し得るレベルまで達していない状況と考えられる。

## 5 おわりに

世の中、働き方改革、生産性向上が叫ばれ、AIの活用も急速に進んできている。しかし、過度にAIに依存することは危険で、AIは人間と異なり膨大なデータを迅速に処理できる反面、与えられたデータに忠実に学習するため、データの不備（画質が悪い等）の影響を受けてしまうため、質の良いデータの取得が必須である。しかし、地質調査業を含む建設業全体での質の良い様々なデータの蓄積への関心は従来から低く、工事誌や日報、成果としての工事記録としてデータを残してきたが、AIの普及に向けて学習データとして活用可能なデータの在り方について、技術者が考えて行くことが重要になっていることを認識すべきである。

今後少子高齢化で労働人口が減少し、市場が縮小していくであろう日本において、グローバル化やAIの影響を受けるかもしれない地質調査業界は、絶え間ない革新と変化が要求されることになる。世界全体の動きを見ると、日本は先端技術研究では欧米に水をあけられ、猛烈に追い上げられていた中国には既に追い抜かれたという報道も散見される。世の中の価値観の変化を読み、何が求められているか、自分の役割はないかを常に考えておく必要がある。チャレンジ精神に富み、好奇心旺盛で、広い視野で物事を考え、革新を起こす意識を持つ若者を育ててなければならない。こうした若者が、危機感を持って新しい課題解決に知恵を出せば、世界が変わってくる。例えば、機械化が進み、将来的には、ボーリング機械を操作している作業員の動きを記録し、現場のデータと機械の動きのデータをAI学習し、ICT建機の自動制御機能と組み合わせることで無人による自動化ボーリング調査が可能となるような後術開発は夢があり、若者たちを引きつけるであろう。

AIの影響で先細りする業種一覧が発表されている<sup>6)</sup>が、その中に地質調査業を含むコンサルタント業も入っている。その場合前提条件として、定型化されたルーチン（決まったことをする）業務を変化もなく継続していればの話である。定型化された業

務は、RPA を活用した AI の方が正確かつ早く遂行できるため、代替される可能性がある。相手の意図や状況を汲み取りながら臨機応変に対応する業務や新たに企画する業務は今後に残ると想定され、業態を変化していかなければ、AI に取って代わられる。専門的知識と経験を蓄積し、それをどのように生かして最適な解を提供するかが問われる。しかし、これは現在の我が国の社会システム、教育システムの現状を考えると容易なことではない。

---

#### 〈参考文献〉

- 1) 石原康弘：Society5.0 を実現する建設技術政策，道路建設，pp.9～11，2019
- 2) 中島能和：自分で動かす人工知能，(株)インプレス，2017
- 3) 葦原祐介：いちばんやさしい機械学習プロジェクトの本，Chapter 2，(株)インプレス，2018
- 4) 藤田一弥，高原歩：(株)フォワードネットワーク：実装 ディープラーニング，第2章，(株)オーム社
- 5) 大西有三・西尾彰宣：巻頭言 建設業と AI，および 新たな技術潮流 ①建設業界への人工知能導入，近畿建設新技術活用通信，第5号，pp.11～12，2019
- 6) 雑誌 ニュートン (Newton) 9月号，人工知能のすべて，pp.74～85，2019

# ディープラーニングの活用による 点検・調査業務省力化

ちよん ばんじょ  
全 邦釘\*

Key Word

ディープラーニング, AI, 点検, 地中レーダ, 埋設物探査

## 1 はじめに

近年、ディープラーニングに代表される人工知能（以下、AI）技術が急速に発展してきている。筆者の専門分野は、橋梁やトンネルなどのインフラ構造物の維持管理であり、AIを活用した効率化・高度化に関する研究を行っている。

インフラ構造物は老朽化が大きな問題となっており、例えば橋梁については、2028年には老朽化率が50%となると予測されている（図-1）。適切に維持管理しながら利用していくためには点検・診断が重要であるため、国土交通省は「橋梁定期点検要領」を公開し、点検手法や評価手法について定めている。同点検要領では、「定期点検は、供用開始後2年以内に初回を行い、2回目以降は、5年に1回の頻度で行うことを基本とする。」と定めている。点検は点検作業員の近接目視が中心であるが、図-1に示すように橋梁の総数は73万橋以上であり、しかもそれらは高所にあることも多く、点検に膨大な労力、コストがかかっている。また、近接目視点検は、点検作業員の経験や知識、力量などによりばらつくという課題もある。

そういった点検および診断時の負担を軽減するため、また点検ミスを防ぐために、AIの助けを借りたい、さらにいえば全てをAIに自動でやってほしいと考える人は多い。しかし現状は人間の代替となるほど点検・診断の精度が高くない。またAIによる点検・診断に誰が責任を持ち、どのように品質を担保するか、といった問題もある。さらに、点検・診断に続く措置を適切に行うためには、「なぜそのように診断したか」という根拠、損傷の発生要因についての洞察も求められる。

本稿ではAIの中でも発展が著しいディープラー

ニングに対象を絞り、筆者の専門分野における研究結果の一部をまず紹介する。上記のように筆者の専門分野は橋梁やトンネルなどの構造物であるが、ディープラーニングで実現可能な事項は分野依存ではないため、例えば地盤工学など他分野に応用できる事項も多い。その一環で、例えば地中レーダ画像からの地下埋設物検出についての研究も筆者らは行っており、これについても紹介する。

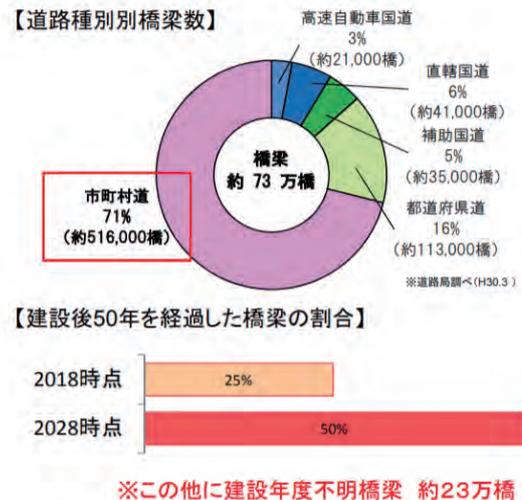


図-1 道路種別別橋梁数および建設後50年を経過した橋梁の割合<sup>1)</sup>

## 2 インフラメンテナンスへのAI活用

ICT化の効果を高めるためのAIと人的資源との関係についてまずここで述べる。文献2)、3)において、業務は、定型手仕事業務（あらかじめ定められた基準に対して正確な達成が求められる身体的作業）、定型認識業務（管理、検査などあらかじめ定められたルーティン的な処理による事務的作業）、

\*東京大学大学院 工学系研究科 総合研究機構 特任准教授

非定型手仕事業務（状況に応じて個別に柔軟な対応が必要となる身体的作業）、非定型相互業務（交渉、管理、助言などコミュニケーションを通じた価値の創造、提供）、非定型分析業務（研究、調査、設計など抽象的な思考による課題解決）、と分類されている（図-2）。

現状で、インフラメンテナンスのAIは主に非定型手仕事業務の代替などへの活用が考えられている。なお明確な基準値などがある定型手仕事業務はAIを活用せずとも自動でICT技術により解決できる業務が多く、非定型相互業務や非定型分析業務、定型認識業務への活用は難しいために後回しになっている。

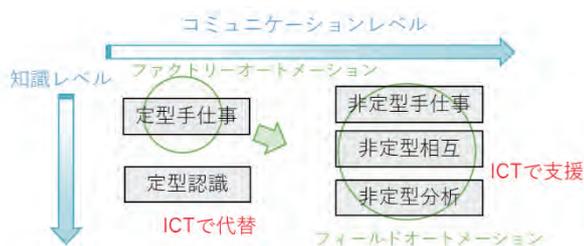


図-2 業務の種類とICT化の効果<sup>4)</sup>

以下、インフラメンテナンスの非定型手仕事業務へのAI活用について数例を紹介する。

## 2.1 橋梁部材損傷度判定

鈴木、西尾は橋梁の主桁、床版、支承を対象に、撮影画像から損傷度を判定するCNNを構築し、その性能検証を行っている<sup>5)</sup>。以下の図-3はそのうち支承の例である。



(a) 損傷なしと分類



(b) 損傷ありと分類

図-3 支承の損傷有無の分類例

近年発達が著しいディープラーニング技術は、このように画像をカテゴリごとに分類するような能力に特に長けている。これは、ディープラーニング技術の一種、畳み込みニューラルネットワーク（CNN）の高い性能によるものである。CNNとは、畳み込み層やプーリング層と呼ばれる、特徴的な機能を持った層の組み合わせによって成り立つネットワークであり、特に画像解析に高い性能を発揮する。

この分類器を構築するために行っていることは、損傷している支承の画像と損傷していない支承の画像を集め、それぞれに「損傷あり」「損傷なし」というようにラベル付け（アノテーション）をし、そしてCNNに与えて学習させるというプロセスである。最近、CNNを簡単に使えるようなフレームワークが整備されていることを考えると、CNNによる解析を行うことはさほど敷居が高くない。

むしろ、データ収集とアノテーションという、地道な部分に対して苦勞がつかまとう。この苦勞に対して、非定型手仕事の業務の労力がどの程度軽減されるか、ということと比較しながらAIを構築・導入することとなる。本事例の場合、支承の写真を撮影するために結局近接して観察することを考えると、AIによって解消される手間が大きいとは言えず、現状では釣り合っていない。しかしドローンなどの機械による自動点検・省人化／無人化点検が今後普及してくれば、自動で判定することには大きな意味が生じることを考えると、将来的な活用を見据えた研究であると言える。

## 2.2 コンクリートのひび割れ検出

コンクリート構造物に発生するひび割れは、健全性評価のための重要な指標である。特に、ひび割れの幅や長さは重要なパラメータであり、求める必要がある。そこで筆者らは画素単位でコンクリートの

ひび割れを検出する手法を構築した<sup>6~8)</sup>。結果例を以下の図-4に示す。

図よりわかるように、ひび割れ位置の大まかな検出だけでなく、画素単位でどこに何があるかを検出しているため、幅や長さの測定も可能である。このような画像解析はセグメンテーションと呼ばれ、この研究では特にMask R-CNNと呼ばれる手法を用いている。ただこのような画素単位での検出の実現のためには、元々の学習の際に、画素単位でどこに何があるかを定義した学習データを用意する必要がある。具体的には、画像を詳細に見て、1枚1枚、ひび割れの画素を丁寧に指定する作業が必要となる。つまり、膨大なアノテーション労力を要することとなる。

この場合もやはり先ほどの事例と同様に、省力化される手間と、アノテーション労力の比較で導入の是非を決めることとなる。橋梁のコンクリート部材の場合、形状が複雑なため現状では自動で網羅的に写真撮影をすることが困難であり、また大量の写真数にはなりづらいため、AIによる自動化のメリットはやや小さい。一方でトンネルの場合、撮影車両を走らせることのできる環境であれば大量の写真が網羅的に集まるため、その自動解析はメリットが大きく、現状で実用化されているものもいくらか存在する。



(a) 解析前画像



(b) 解析結果

図-4 コンクリートのひび割れ検出結果<sup>6)</sup>

についても、点検をした上で適切な措置を取ることが重要である。現状では、道路パトロールカーで巡回し、ひび割れなどを見つけるとそこで逐次評価するというプロセスが取られているが、極めて効率が悪く、それゆえに中規模程度以下の自治体では行われていない。そこで筆者らは、車両に設置したカメラで路面を撮影し、その画像を解析し、損傷を検出する手法を開発した。

解析結果例を図-5に示す。ひび割れについては赤い四角で、ポットホールについては青い四角で囲まれて検出される。図よりわかるように、コンクリートの場合と異なり、ひび割れやポットホールを画素ごとに調べているのではなく、あくまでも領域で調べている。これは、アスファルト舗装のひび割れが重要ではないというわけではないものの、それよりは亀甲状かどうかといった形状や、ポットホールの存在有無のほうが重要であるためである。

このようなAI構築のためのアノテーションは、画像内のどの領域に何が存在するかということのを四角形で囲って作ればいだけであるので、2.2の画素ごとのアノテーションよりもはるかに負担は小さい。それに比べて本手法で自動化出来る作業量は多く、メリットがある。それゆえ、例えば9)など、実用化に向けた取り組みも存在する。



(a) ひび割れを検出している例



(b) ポットホールおよびひび割れの双方を検出している例

図-5 アスファルト舗装からのひび割れおよびポットホール検出

### 2.3 アスファルト舗装の損傷検出

コンクリート構造物と同様に、アスファルト舗装

## 2.4 撮影画像の言語化

2.1 から 2.3 で示したように、撮影画像から損傷を検出するための AI の構築は、特に非定形手仕事業務においては現実に可能となってきた。また、その AI 構築の労力・コストと比較して得られる労働削減量が大きければ、実装される事例もいくらか見られるようになってきた。

しかし、損傷を観察した上で、これまで蓄積されている知識と結びつけ、損傷発生要因の解明や補修工法の提案を行えるといったような、**図-2** の非定形分析作業に該当する AI の実現が期待されている。しかし、経験則が文章化された知識資産が主体である土木分野では、得られた画像解析結果を、既存知識のデータベースと直接的に結びつけるタスクは難易度が高い。

そこで、Image Captioning 技術により画像解析結果を一旦は言語として解釈すれば、文章化された知識資産へのアクセスも可能となると考え、そのような研究を進めている。Image Captioning 技術とは画像の内容を説明する文を自動的に生成する AI であり、現在情報工学の分野で積極的に研究が進められている技術である。解析結果の例を**図-6**に示す。



図-6 損傷の説明文の出力<sup>10)</sup>

この場合、学習データとして必要なのは画像と文章の組み合わせであり、やはりアノテーションの負荷が大きい。精度についてもまだ実用段階にないため、自動化出来る作業量との比較は行わないが、非定形分析作業へのアプローチ事例としてここでは紹介を行った。

### 3 地中レーダ画像からの地下埋設物検出

2章では、筆者の専門分野であるインフラの維持管理について、AI の活用事例を示し、また主に非

定形手仕事業務への活用が行われているということも紹介した。本章では、地盤工学での活用事例として、地中レーダ画像からのディープラーニングによる地下埋設物検出について研究を進めているので紹介する。

地下利用が進展し、都市の路面下に埋設された上下水道、電気、ガス、通信などの埋設管が増えるにつれて、これらの埋設管が設計施工上の障害となることが多くなってきている。掘削を行わずに地下埋設管の埋設位置を確認する技術として地中レーダ探査が広く用いられているが、現状地中レーダによる探査結果は目視によって分析されており、分析のコスト・労力と客観性が問題視されている。

そこで、地中レーダによって取得された地中可視化画像から、目視によらずに、ディープラーニングにより自動的に地下埋設管を検出する手法の構築を進めている。これも、**図-2** に従えば非定形手仕事業務の自動化に分類される。

地中レーダによる埋設管の検出原理は**図-7**に示す通りである。送信アンテナがまず電磁波を発生させる。電磁波は地中を伝搬し、比誘電率が異なる物体が存在する地点で反射し、そして受信アンテナで受信する。埋設管の長手方向の向きに直角にアンテナを移動させながら計測すると、**図-8 (a)** のような画像が得られる。**図-8 (a)** で見られる双曲線状の模様は埋設管からの反射波である。ここから、2.3 節で示したような物体検出手法の 1 つ、YOLOv3<sup>11)</sup> で埋設管の位置を検出することを試みた。その結果を**図-8 (b)** に示すが、的確に検出できている様子がわかる。またアノテーションの労力も、2.3 節と同様に、さほど大きくない。

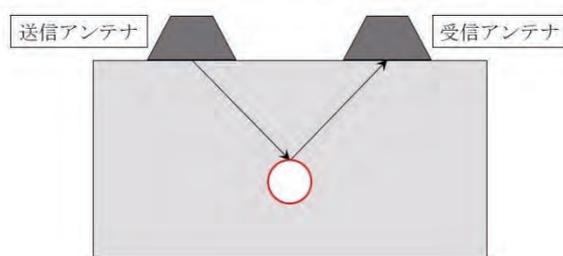
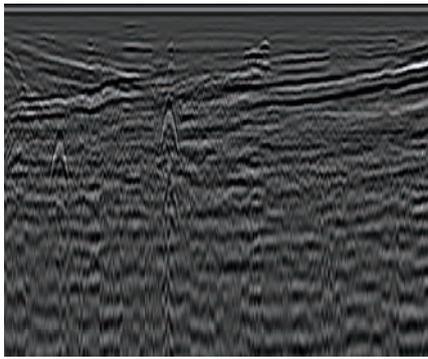
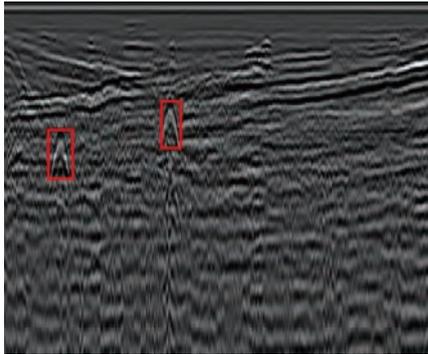


図-7 地中レーダによる埋設管の検出原理



(a) 地中レーダで得られる画像



(b) 双曲線状の模様の検出

図-8 埋設管からの反射波の検出例

このような検出を数10cmおきに手作業で行うのは多大な労力を必要とする。本研究の手法に従えば、自動化への道筋が拓け、人間はより創造的な業務に専念できるようになる。

また、このような検出結果から、双曲線を構成する形状パラメータの特定まで行うことができれば、管径などの情報も得られると考え、現在研究を進めている。

#### 4 構造工学での AI 活用に関する研究小委員会

2章、3章で筆者らによる AI 活用事例を示したが、AI 技術の土木・構造分野への活用はまだまだ黎明期にあるため、研究者、技術者間での情報交換は綿密ではなく、データを分析した事例も少ない。そのため土木技術者が AI 技術を新たに習得することが難しく、情報工学分野での技術発展の成果を活かすことが出来ていない。

そこで筆者は、2018年10月に「構造工学での AI 活用に関する研究小委員会」を土木学会の構造工学委員会内に立ち上げ、活動を行っている。委員会においては、委員各自が利用可能な範囲でデータを持ち寄り、抱えている問題の解決案やさらなる活用に

ついて議論し、またその過程で多岐に渡る人工知能技術を習熟することを目指している。

事前に想定していた以上に AI 活用に関する関心は高く、参加者は101名となっている。内訳は、民間より45名、国研や管理団体より13名、大学・高専より43名となっている。必然的にWGを多く作って活動することとなるが、WG間で連携する仕組みとして、図-9に示すようなマトリックス形式のWG構成とした。横軸は適用先を示し、縦軸はどのような活動をするかを示している。このようにしておくことで、横軸が同じWG間（例えばWGのIV、V、VIなど）や、縦軸が同じWG間（例えばWGのIとIVなど）は連携がしやすい。現在、WGの活動を徐々に進めている段階である。

また、AIに関する委員会ということで、色々と先駆的な取組を試行している。電子メールでのコミュニケーションはファイルサイズに制限があったり、議論のリアルタイム性に欠けていたりと難点があるのは周知の通りであるが、この解決のために Slack を導入し、Slack 上でコミュニケーションを取るようにしている。最終成果物についても、従来の報告書形式では技術発展のスピードについていけないと考えており、インタラクティブな形式での成果物を、arXiv<sup>12)</sup> や GitHub<sup>13)</sup> を参考に作成することを視野に入れている。

なお本委員会は、「構造工学での AI 活用に関する研究小委員会」となっているが、実質は構造工学以外にも取り扱っているため、地盤工学分野の方もご興味をお持ちいただければぜひ私の連絡先にご連絡いただき、ご参画いただければと思っている。

	共通基盤技術 (画像、時系列、言語、データ開化など)	構造 (設計・施工・補修補強)	材料 (設計・施工・材料性能・耐久性)	防災	維持管理 (点検・診断・マネジメント)
方法論 プログラミング 教材開発 (人材育成・カリキュラム) (成果は教材)	I				IV
データ駆動/データ共有 (実験データなど、できるところから試験的に) (解析してほしいことがある人はデータを提供してよい) (提供されたデータの解析) (成果はデータプラットフォームおよび論文形式の報告) 先端研究/実証研究/ニーズレビュー				III	V
展望 (成果は論文形式の報告、各WG1篇以上)	II				VI

図-9 委員会のWG構成

## 5 まとめ

本稿では、まず筆者が専門とするインフラメンテナンスの分野において、ディープラーニングを活用している事例を紹介した。現状では主に非定形手仕事業務への活用が考えられていることをまず示し、ついで筆者が行っている非定形分析作業へのアプローチ事例についても紹介した。

そして、地盤工学分野へのアプリケーションということで、地中レーダによる埋設管検出の事例について述べた。ここでもやはり行われていることは非定形手仕事業務への活用である。

今後は、そういった非定型手仕事業務を超えて、非定形分析作業など新たな領域への応用など、活用の幅を拡げて行くことを目指している。そのためにAI活用に関する小委員会を立ち上げ、積極的な意見交換や共同研究を行っており、その紹介も行った。

2章と3章の共通性を見てもわかるように、AI技術などの情報技術は、構造工学や地盤工学など土木工学内の分野をまたがって活用できる、いわば共通言語である。ということは分野にこだわらず連携することで生み出されるものもあるはずであり、そのような分野横連携、水平展開が今後頻繁に起こることを期待している。

- 9) NEC プレスリリース：福田道路と NEC、AI 技術を活用した舗装損傷診断システムを開発～路面の映像からわだち掘れとひび割れを同時に検出～[https://jpn.nec.com/press/201701/20170131\\_01.html](https://jpn.nec.com/press/201701/20170131_01.html) (アクセス日：2020/2/13)
- 10) 土木学会構造工学委員会：これだけは知っておきたい橋梁メンテナンスのための構造工学入門，建設図書，2019.
- 11) Redmon, J. and Farhadi, A.: Yolov3: An incremental improvement. arXiv preprint arXiv:1804.02767., 2018.
- 12) <https://arxiv.org/> (アクセス日：2020/2/13)
- 13) <https://github.com/> (アクセス日：2020/2/13)

### 〈参考文献〉

- 1) 国土交通省：道路構造物の現状，[https://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/yobo1\\_1.pdf](https://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/yobo1_1.pdf) (アクセス日：2020/2/13)
- 2) D. Autor, F. Levy, R. Murnane : The Skill Content of Recent Technological Change: An Empirical Exploration, The Quarterly Journal of Economics, November 2003
- 3) D. Autor, D. Dorn : The Growth of Low-Skill Service Jobs and the Polarization of the US Labor Market, American Economic Review, 103 (5) , pp.1553-1597, 2013
- 4) 杉崎光一，阿部雅人，全邦釘，河村 圭：AIによるインフラメンテナンスの生産性向上，第44回土木情報学シンポジウム，2018.
- 5) 鈴木達也，西尾真由子：橋梁定期点検における部材損傷度判定への深層学習の適用に関する検討．土木学会論文集 F3 (土木情報学)，75 (1)，48-59, 2019.
- 6) 山根達郎，全邦釘：Deep learning による Semantic Segmentation を用いたコンクリート表面ひび割れの検出．構造工学論文集 A, 65, 130-138, 2019.
- 7) 全邦釘，嶋本ゆり，大窪和明，三輪知寛，大賀水田生：ディープラーニングおよび Random Forest によるコンクリートのひび割れ自動検出手法．土木学会論文集 F3 (土木情報学)，73 (2)，I\_297-I\_307, 2017.
- 8) 全邦釘，井後敦史：Random forest によるコンクリート表面ひび割れの検出．土木学会論文集 F3 (土木情報学)，71 (2)，I\_1-I\_8, 2015.

## ～ Human in the Loop ～ AIとの「共創」で自然災害に立ち向かう

たにぐち ひさとし    みたに やすひろ  
谷口 寿俊\*    三谷 泰浩\*\*

**K**  
ey Word

自然災害, 地域防災, 意思決定支援, 説明可能な AI, Human in the Loop

### ▼1 はじめに

2011年3月の東北地方太平洋沖地震では、激しい揺れと巨大津波が発生し、20,000名を超える死者・行方不明者を出すとともに、莫大な経済被害を受けた。2016年に発生した活断層直下型地震である熊本地震では、震度7の激しい揺れが短期間で二度も発生する等、大きな恐怖と被害を被った。発生が懸念されている南海トラフ巨大地震や首都直下型地震においては、日本経済を牽引する太平洋ベルト地帯や政治・経済・金融活動の中核である首都圏に対して壊滅的被害を与えると推計されている。このように、我が国の国土に広く分布する活火山や活断層によって引き起こされる災害は、全国の自治体と住民に対して深刻な被害をもたらすこととなる。さらに、人間活動に起因する地球温暖化に伴う気候変化の影響による災害の不安も増大している。2015年に発生した鬼怒川の堤防決壊に加えて、2016年に北海道・東北地方で発生した集中豪雨、線状降水帯の発生によってもたらされた2017年の九州北部豪雨など、深刻な水害が確認されている。また、2018年7月に発生した西日本豪雨では、西日本から東海地方を中心とした広範囲において洪水氾濫や土砂災害を引き起こし、多くの死者・行方不明者を出した。このように、昨今の激しい降雨や前例のない台風の動きは、地球温暖化に伴う気象の極端化が現実の脅威として発現しているのではないかと懸念されている。これらの脅威に対して、我が国は、国土強靱化に加えて水防災意識社会の再構築等、ハードとソフトの両面から自然災害に備えていく必要がある。

一方、これらの進行性の災害は、被害発生までの猶予時間を持つ。たとえば、豪雨による災害発生メカニズムは、降雨から河川への流出、流下、斜面崩

壊、氾濫、浸食が時系列で発生するため、降雨から被害の発生までの猶予時間がある。この猶予時間の中で適切な避難行動を取れば、洪水や土砂災害が発生しても、人命を守り被害を抑制できる。そのため、市町村では状況に応じて避難勧告・指示等の発令を行っている。

### ▼2 市町村の災害対応の現状

市町村は、災害対応の責任かつ実施主体である一方、対応可能な職員数は限られている。また、災害対応の経験が乏しくその知見や経験が共有できていないケースも多い。現場では、災害発生時の切迫度の高まりに伴い、災害に関する気象情報や特別警報、洪水警報、土砂災害警戒情報、雨量・水位観測データ等の確認すべき情報が爆発的に増加する。さらに、水防団員や住民からの通報への対応があるため、状況確認や判断、情報伝達、意思決定、現場への支持、避難所開設や運営等が円滑かつ適切なタイミングで実施することは極めて困難である。結果として、本来避難すべき地域を特定できず全住民と地域に対して避難勧告を発令せざるを得ない、もしくは避難勧告・指示等の発令が遅れる等の課題を抱えている。また、災害対応時における意思決定の経験知やベストプラクティスが他の市町村に共有されておらず、市町村によって対応内容とその負担に大きな格差が生じていることが大きな課題となっている。各市町村では、状況改善のために防災情報システムの導入やその利活用に取り組んでいるが、膨大な災害や防災に関する情報の中で、避難勧告等の発令に必要な重要な情報を包括的に確認し、適切な意思決定に繋げることは困難であることから、結局は一部の情

\*九州大学大学院工学研究院助教    \*\*九州大学大学院工学研究院附属アジア防災研究センター教授

報のみを頼りに意思決定を行っていることが実情であり、避難勧告等の円滑かつ適切なタイミングでの発令や緊急活動の優先付け等に十分に利活用できているとは言い難い。そのため、膨大な災害・防災情報から必要かつ重要な情報を取捨選択し、優先順位や重みづけを行った上で、それらを包括的かつ一元的に意思決定へ利用できるよう情報内容を指標化することで要約するなど、市町村の適切な状況判断と意思決定を支援するための情報提供の方策と手段が求められている。また、実際の災害時において、災害対策本部や部局拠点が的確な意思決定や円滑な行動を取るためには、平時から様々な状況が発生することを考慮に入れた多様なシナリオに基づいた災害対応訓練を行い、体制の改善や災害に対するリテラシーの向上に取り組む必要がある。

### 3 防災分野における意思決定支援へのAI活用

我が国の防災分野における最上位計画である「防災基本計画」<sup>1)</sup>では、2017年および2018年に実施された修正において「国及び地方公共団体等は、被害情報及び関係機関が実施する応急対策の活動情報等を迅速かつ正確に分析・整理・要約・検索するため、最新の情報通信関連技術の導入に努めるものとする。」「必要に応じて見直しを図るとともに、個別の情報毎に、関係機関間での共有及び利活用に向けた調整・検討を関係機関と行うものとする。その

際、AI、ビッグデータ、宇宙技術等の活用も併せて検討するものとする。」との文言が追加された。このように、昨今あらゆる分野において注目されている人工知能（AI: Artificial Intelligence）は、防災・減災の分野においても重要な技術として位置づけられており、その利活用が検討されている。

内閣府では、戦略的イノベーション創造プログラム（SIP: Cross-ministerial Strategic Innovation Promotion Program）の第2期SIP「国家レジリエンス（防災・減災）の強化」<sup>2)</sup>の中で、国や自治体が行う災害対応に関する意思決定を支援する情報提供を目的とした研究開発を進めている。特に、テーマⅦでは、図-1に示すように、災害時に大量の災害情報が発生する中で、市町村が迅速かつ適切な避難勧告・指示や緊急活動の優先順位付け等の判断を下せるよう、AIを活用して災害情報を処理することで避難対象エリアと避難タイミングの合理的な抽出を行い意思決定を支援する市町村災害対応統合システムを開発している。

このように、防災・減災分野でのAIの利活用においては、様々な自然災害の予測への活用が鋭意検討されている中で、それらの予測結果を如何にして効率的かつ適切に市町村長の意思決定や市民の避難行動へ繋げるかの検討がはじまっており、「人とAIを繋げる技術」は社会実装という点において非常に重要な役割を担っている。

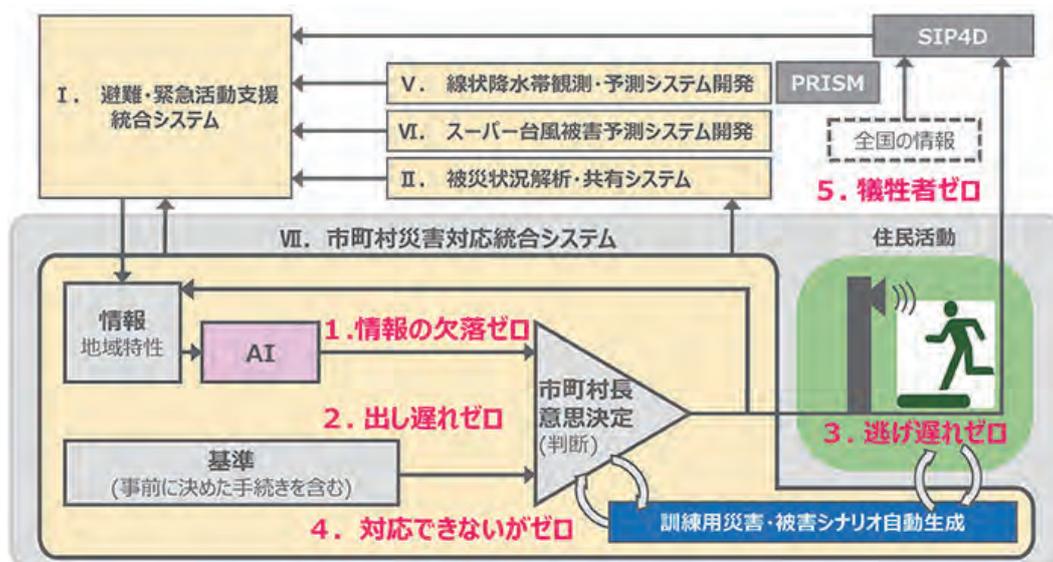


図-1 市町村災害対応統合システムの概要<sup>3)</sup>

#### 4 「説明可能な AI」の必要性

昨今のビックデータ分析・機械学習・深層学習等の AI 技術への期待の高まりと並行して、これら新技術への不安も高まりを見せている。その背景には、AI の中でも特に注目を集める深層学習によるモデルの複雑さに起因する「予測・判別の根拠のブラックボックス化への不安」がある。総務省では、2017 年に策定した「国際的な議論のための AI 開発ガイドライン案」<sup>4)</sup>において、AI 開発の原則として透明性およびアカウンタビリティへの留意を明記している。このように、今後、AI の社会実装を進めるにあたって、その予測や判別結果を人が解釈できるよう支援する技術は必須であることがうかがえる。近年では、図-2 に示すように、関連研究の論文数も飛躍的に増加しており、AI 研究におけるホットトピックのひとつとなっている。

AI の予測・判別結果を解釈するにあたって、アカデミアの世界では、結果に対する説明変数の寄与率や相関係数等がその根拠として用いられることが多いが、それらが万人にとって根拠の説明として機能するとは言い難い。一般の利用者が安心して AI の予測・判別結果を利用するためには、その結果となった根拠を分かりやすい形で提示する工夫が必要となる。具体例としては、図-3 に示すように、AI の判別結果において重要な特徴は何だったかを自然言語で説明する手法等が提案されている。一方、AI 研究のホットトピックとして、説明に類する手法が

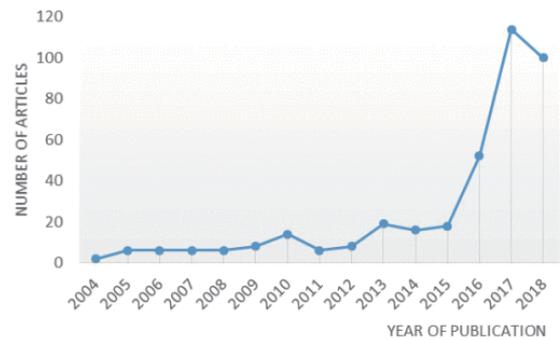


図-2 AI の説明に関する研究論文数の推移<sup>5)</sup>

多数提案されているにも関わらず、ブラックボックス化への不安が解消に向かっていないとは言い難い。この理由としては、応用分野によって、学習に用いるデータの性質が大きく異なり、説明すべき内容も異なってくる点が挙げられる。そのため、各分野における説明手法のスタンダードが確立されにくいと考えられる。

AI は、膨大な過去の実績から経験知を形式知化して再利用できるという点で、防災先進国である日本の防災・減災分野においても、その有用性は非常に高いと考えられる。一方、AI が自律的に導出する回答は、学習データの偏りや過学習等の影響を受けて人間の価値判断や合理性と乖離した結果となるリスクをはらんでいることから、市町村長による避難勧告・指示等の社会的に影響範囲の大きい判断の

Bronzed Cowbird		<p><b>Ground truth descriptions:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>...there is a <b>black bird with a black beak and red eyes.</b></li> <li>...this bird has a <b>large, black, curved bill, black tarsuses and feet, and a black throat, breast, and belly.</b></li> <li>...a <b>large black bird with a red eye and hooked black bill.</b></li> <li>...a <b>medium sized bird that is all black with red eyes</b></li> <li>...<b>angular beak and red eye</b>, this otherwise nondescript black bird has <b>alarmingly large feet.</b></li> </ul> <p><b>Description:</b> ...this bird is <b>nearly all black with a short pointy bill.</b></p> <p><b>Explanation:</b> ...this is a <b>black bird with a red eye and a pointy black beak.</b></p>
Tropical Kingbird		<p><b>Ground truth descriptions:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>...the bird has a <b>yellow breast and throat as well as small bill.</b></li> <li>...this bird has a <b>yellow belly, black tail, and a grey head and throat.</b></li> <li>...a <b>yellow bird with a grey head, black wings and rectrices.</b></li> <li>...a bird with a <b>gray head, medium pointed bill and yellow belly.</b></li> <li>...a <b>tiny yellow bellied bird who is slender in nature with a grey and white colored head, small pointed beak and dark overcoat.</b></li> </ul> <p><b>Description:</b> ...this bird has a <b>yellow belly and breast with a gray crown and green back.</b></p> <p><b>Explanation:</b> ...this bird has a <b>yellow belly and breast with a gray crown and long pointy bill.</b></p>
Red Winged Blackbird		<p><b>Ground truth descriptions:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>...this bird is <b>stark black from outer rectrices to beak, with bright orange wing bars and yellow secondaries.</b></li> <li>...this is a <b>black bird with orange wings and a pointy black beak.</b></li> <li>...this is a <b>black bird that has orange coverts and a yellow wingbar.</b></li> <li>...this bird is <b>black and orange in color with a black beak, and black eye rings.</b></li> <li>...<b>black bird with bright orange stripes on the wing bars and black eyes.</b></li> </ul> <p><b>Description:</b> ...this bird is <b>black and orange in color with a black beak and black eye rings.</b></p> <p><b>Explanation:</b> ...this is a <b>black bird with a red wing and a pointy beak.</b></p>

図-3 AI の判別結果を自然言語で説明した例<sup>6)</sup>

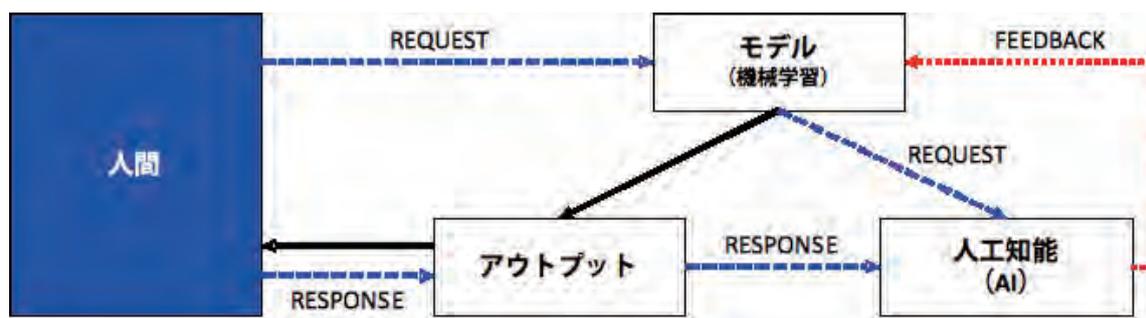


図-4 Human in the Loop のイメージ

トリガーを漫然と AI の予測結果に委ねることは大きなリスクを伴う。そのため、AI の真なる社会実装のためには、利用者である人間が AI の予測・判別結果および思考プロセスを理解した上で最終的な判断にその結果をどう活かすかを考えることが重要であり、その過程を経て利用者と AI 間の信頼関係を醸成することが肝要となる。防災・減災分野においても各種自然災害の予測や災害対策の意思決定支援に AI の活用が鋭意検討されているが、それらと並行して「防災・減災分野における AI の説明手法」のスタンダードを検討し、確立していく必要があると考えられる。

## 5 AI の継続性：Human in the Loop

AI の特筆すべき特長として「成長する」という点が挙げられる。成長は、システムの陳腐化を防ぎ、継続性へと繋がることから、AI を用いたシステムを構築する上で、持続的な学習のスキームを確保しておくことは重要である。一方、先述したように、AI は人間の価値判断や合理性と乖離するリスクをはらんでいることから、学習の過程において、如何にそれらを取り込んでいくかが肝要となる。そこで、昨今の AI 研究においては、「Human in the Loop」(図-4) という概念が注目されている。「Human in the Loop」とは、人間参加型機械学習を指し、AI が人のリクエストやアウトプットへのレスポンスを学習しモデルへフィードバックするループを構築することで、AI がより実社会に即した予測や判断を行えるようにすることを目的としたデザインパターンである。「Human in the Loop」は、AI の誤りの代償が極めて高いケースや妥当かつ必要なデータが不足・偏在しているケースにおいて有効と考えられている。一方、その実現のためには、人が AI の提示するモデルや回答を解釈して適切なフィードバックを行う必要があることから、先述した AI の説明

手法が重要な技術要素となる。このように、今後の AI の社会実装においては、「説明可能な AI」と「Human in the Loop」を念頭に置いて、人と AI が共に成長できる仕組みを構築することが重要と考えられる。

## 6 おわりに

本稿では、地域防災の現状とその課題に対する具体的な取り組みを紹介するとともに、AI による意思決定支援の必要性とその社会実装に向けて検討すべき技術的・研究的要素について所見を述べた。AI を人が育て、人がその AI を活用して能力を拡張することで、人と AI が「共創」して自然災害に立ち向かう新たな地域防災のあり方が見えてくると思われる。そのためにも、Society 5.0 への過渡期である現在において、人と AI との信頼関係および共創を醸成する技術的・社会的基盤を十全に整えておく必要がある。

### 参考文献

- 1) 内閣府：防災基本計画  
<http://www.bousai.go.jp/taisaku/keikaku/kihon.html>  
(2020年2月15日現在)
- 2) 防災科学技術研究所：国家レジリエンス（防災・減災）の強化  
<http://www.nied-sip2.bosai.go.jp/>  
(2020年2月15日現在)
- 3) 防災科学技術研究所：市町村災害対応統合システム開発  
<http://www.bosai.go.jp/nr/nr7.html>  
(2020年2月15日現在)
- 4) 総務省：国際的な議論のための AI 開発ガイドライン案  
[https://www.soumu.go.jp/main\\_content/000490299.pdf](https://www.soumu.go.jp/main_content/000490299.pdf)  
(2020年2月15日現在)
- 5) Amina Adadi, Mohammed Berrada：「Peeking Inside the Black-Box: A Survey on Explainable Artificial Intelligence (XAI)」, [IEEE Access], Vol.6, pp.52138-52160, 2018.9
- 6) Lisa Anne Hendricks, Zeynep Akata, Marcus Rohrbach, et al.：「Generating Visual Explanation」, [ECCV 2016], Part.4, pp.3-19, 2016.10

# 地すべりの破砕度区分の 深層学習による判定技術の研究

にしざわ ゆきやす やまうち まさや たにがわ まさし  
西澤 幸康\*・山内 政也\*・谷川 正志\*\*

**K**ey Word 地すべり, 破砕度区分, 業務効率化, 画像認識

## 1 はじめに

地すべりは斜面の一部が地下の地層中に形成される地質的不連続面（すべり面）を境にして下方に移動する現象で、台風や集中豪雨、地震などにより引き起こされ、大きな被害が人的、物理的にもたらされる<sup>1)</sup>。このような人家や公共施設に被害を生じるおそれのある地すべり危険箇所は、全国に約1万箇所認定されている<sup>2)</sup>。地すべりの対策工事では、すべり面の形状や分布状況を調査し、その発生原因や危険性などを明らかにすることが重要である。

地質的特徴を調査する方法のひとつにボーリング調査がある。従来のボーリングによる地すべり調査では、削孔時に用いる水（掘削流体）により細粒分が流出しやすく、脆弱な部分のコアを採取することが困難であった。しかし、近年、サンプラー先端のビット部の改良や界面活性剤を用いた高品質ボーリングが開発され、品質の高いボーリングコアを採取が可能となった。コア観察はJACIC様式によるボーリング柱状図作成とともに、破砕度区分の判定を加え、地すべり移動体の破砕の状態やテクトニクスを起因とする破砕などの判定が行われている<sup>3)</sup>。しかし、ボーリングコアの観察の数量が膨大となる場合には、破砕度区分の判定に長い時間がかかることも少なくない。また、破砕度区分の判定は技術者の経験に頼ることが多く、観察する技術者により判定結果にばらつきが生じることもある。

一方、機械学習のひとつである深層学習は、ニューラルネットワーク（CNN）を多層にした構造により、複雑な問題を解けることから近年幅広い分野で注目されている。この技術は、画像処理や自然言語処理、音声処理、強化学習など多岐にわたり、その中でも画像処理は開発が目覚ましい。画像認識コンペティ

ションのILSVRC（ImageNet Large Scale Visual Recognition Challenge）では様々な企業や研究機関から毎年改良され、VGG16<sup>4)</sup>などのモデルが画像分類部門で発表されている。

本研究では破砕度区分の判定の手段として、深層学習を用いた画像認識技術を適用し、自動判定を試みた。さらにソフトウェアを開発し、ボーリングコアの画像ファイルの読み込みから、破砕度区分の自動判定までを一括で処理するシステムを開発した。本稿では、これらの研究成果について報告する。

## 2 学習用データの生成と学習

### 2.1 画像認識

ボーリングコア写真の画像からの破砕度区分の判定には、画像認識が得意な深層畳み込みニューラルネットワークを利用した。一般的に教師あり学習の場合は、学習したデータだけに適応しすぎないように、訓練データとテストデータに分けて学習を行う。そこで手順のはじめに、訓練用とテスト用のデータを作成した。撮影されたボーリングコア画像からコア箱などを除いたボーリングコアの部分（図1）を10cm深さごとに分割した。そして、その分割された画像ファイルに対して技術者が判定した破砕度区分の11分類（Cr1, Cr2, Cr3, Cr4, Sh1（開口切れ目を細粒物が重点しており、かつ断層構造）、Sh2, Sh3, Sh4, Cl, 表層, 未破砕）ラベル付けした。それらの画像データとラベルを訓練用（13000枚）とテスト用（1500枚）に分けた。

破砕度区分では表1に示すようにボーリングコアの角礫の中央粒径や粒度分布が区分を判定する基準となるため、コア写真の地層の色の違いや画像の輝

\*応用地質株式会社 メンテナンス事業部、\*\*応用地質株式会社 計測システム事業部

表1 地すべり移動体および断層岩類の識別と破砕度区分<sup>3)</sup>

記号		破砕の状態	構成物質		粒度分布		複合面構造		
			角礫の中央粒径	基質の量					
地すべり	断層	地すべり・断層共通		地すべり	断層	地すべり	断層		
Cl	Cl	粘土～砂		粘土～砂		連続		場合によってあり	
Cr4	Sh4	角礫岩		2-5mm	60%以上	不連続		なし	
Cr3	Sh3			5-15mm	30-60%				
Cr2	Sh2			15mm以上	30%未満				
Cr1b		開口割れ目を細粒物が充填				連続		あり	
Cr1a		開口割れ目				不連続		なし	

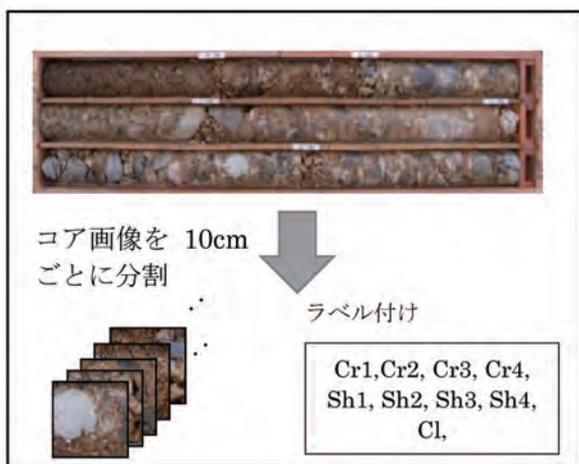


図1 学習データの作成

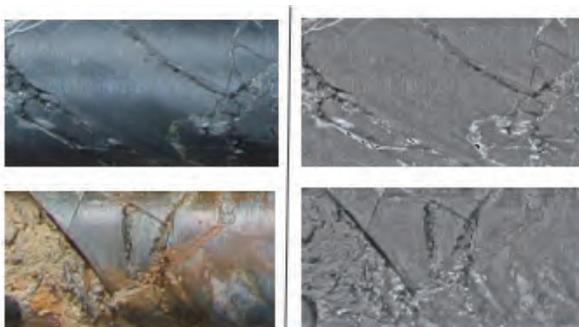


図2 Medianフィルタの適用例 (左:補正前, 右:補正後)

度の違いを取り除くことで画像認識の精度向上が期待できる。そこで前処理として、それらの要素を除去するMedianフィルタ<sup>5)</sup>を用いて補正処理を行った。Medianフィルタの計算式を式①に示す。

$$I_a(i, j) = \frac{I_b(i, j) \times 0.5b_m}{I_m(i, j)} \quad \text{式①}$$

ここで、式①のijは着目している画素のピクセル位置、Iaは補正後の画像、Ibは補正前の画像、Imは補正前の画像にMedianフィルタを適用したものの、bmは光度値の最大値とした。Medianフィルタによる補正により、図2のように明暗や色合い

が除去され、亀裂が強調できた。

画像認識コンペティションで認識精度が高いとされたモデルでも、地すべりの破砕度区分の分類において最適なモデルとは限らない。そのため、VGG16のような初期のモデル(図3)を含めた3種類(VGG16, InceptionV3<sup>6)</sup>, Xception<sup>7)</sup>)の画像認識モデルでそれぞれ学習を行った。表2に各モデルの説明を示す。また、これらのモデルで学習する際には、別のデータセットで学習済みモデルのパラメータを用いて、新しいニューラルネットワークのパラメータの初期値として使うFine-tuningを行った。Fine-tuningでは、特に学習に利用できる訓練データや学習時間が限られている場合に、有効なことが示されている<sup>8)</sup>。

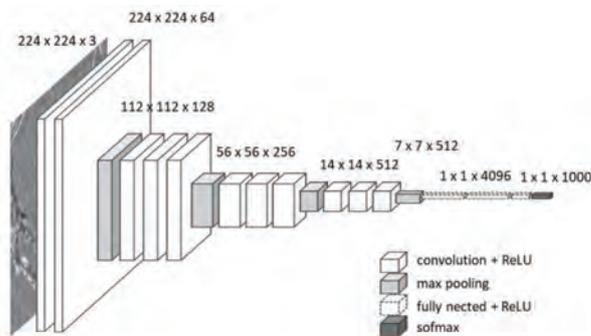


図3 VGG16の畳み込みニューラルネットワーク概念図

表2 画像認識モデルの説明

モデル	発表年	説明
VGG16	2014年	畳み込み層とプーリング層の16層から構成されるシンプルなネットワークのモデルである(図3)
Inception V3	2015年	約70層からなる複雑なモデルであり、ILSVRCで使われるImageNetではtop-5エラー率が3.5%と高い精度を誇る。
Xception	2016年	inception-v3をさらに改良したモデルで、より高精度といわれている

人による判定では破砕度区分が不明瞭で区分の判定が難しい場合、前後の破砕度区分を考慮して決定することもある。たとえば、不明瞭なCr2が明瞭なCr1に囲まれた場合はCr2をCr1と判定することがある。そのため、画像認識の推定結果の後処理として、前後の画像の破砕度区分の推定確率に重みを掛け合わせて、破砕度区分を再評価する補正を行った(式②)。重みは勾配降下法を用いて推定誤差が最小となる値とした。

$$P'_k = \sum_i P_{k,i} \times w_i \quad \text{式②}$$

ここで、 $P'_k$ は深度kセンチメートルのコア写真における補正後の推定確率、 $P_{k,i}$ は深度k-iセンチメートルのコア写真における補正前の推定確率、 $w_i$ は対象深度からiセンチメートルにおける重みとした。

## 2.2 物体検出

ここまでは手動で切り取った画像に対する処理だが、画像の分割を自動化するためには、コア箱など周辺を含む写真からコアそのものの位置を検出する必要がある。そこで、画像中の物体の位置を検出し、その物体の名前を予測できる一般物体検出モデルを利用した。モデルは、物体検出の中でも精度が高いといわれるYOLOv3 (You Only Look Once version 3)<sup>9)</sup>を利用した。学習データには、検出対象とするボーリングコアの画像と、検出したい領域の検出位置の情報の組み合わせが必要となる。学習データは2000枚となった。

### 3 学習結果

分割したボーリングコア画像を前処理 (Median補正) した後に、3種類の画像認識モデルで学習した。学習したパラメータを用いて、テストデータで破砕度区分の推定を行い、ラベルと比較することで推定精度を評価した。学習回数は図4に示すように学習データに過度に対応した過学習にならないために、テストデータと訓練データの正解率が離れないよう注意した。その結果、訓練データではInceptionV3が最も正解率が高く80%となり、テストデータではVGG16が最も正解率が高く73%となった(表3)。そのため、テストデータの正解精度が高いVGG16を最適なモデルとした。

さらに、VGG16の推定後の処理として、式②に示した周辺の破砕度区分の推定結果を考慮した重み付けをすることにより、正解率が3%改善し、76%と

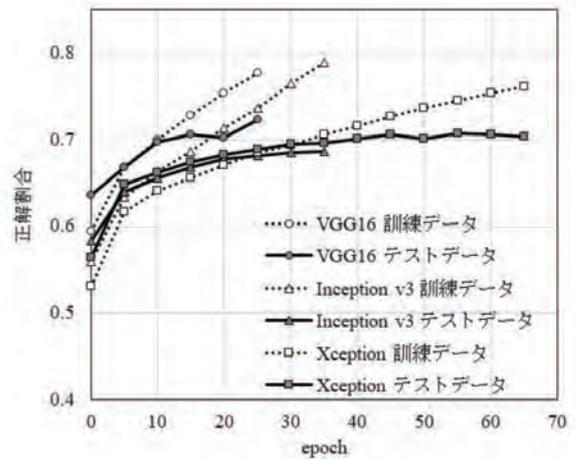


図4 画像認識モデルごとの正解率の推移

表3 画像認識モデルごとの訓練とテストデータの正解率

	訓練データ	テストデータ
<b>VGG16</b>	78%	73%
<b>InceptionV3</b>	80%	68%
<b>Xception</b>	75%	71%



図5 ボーリングコアの検出例

なった。

YOLOv3を用いた物体検出では、図5に示すようにコア箱を含むコア写真から、ボーリングコアの位置(黒枠)認識できた。コアの途中に隙間がある場合もボーリングコアの位置を検出できた。

これにより、コア箱を含むコア写真からボーリングコアの領域を抽出することができ、抽出画像を学習済みのVGG16に出力することで破砕度区分を自動判定するためのシステムを構築することができた。

## 4 成果および今後の展望

本研究では、深層学習による破碎度区分の判定を行い、正解率が76%となった。しかし、実用化にはまだ改良の余地がある。本システムの推定精度が人間を上回ることは当面難しいことから、あくまでも判断を支援する位置づけであり、最終的には技術者による確認が必要である。

一方、ボーリングコア写真から破碎度区分を推定するまでの全ての処理をプログラムで構築した。撮影した画像から短時間で破碎度区分を推定できるため、これまで長い時間を必要とした作業がコア100mあたり数十秒に短縮することができ、作業の工数が削減できたことを確認した。

表4にVGG16を用いた判定結果の正解と予測の対応表を示す（統計的ばらつきを少なくするため、テストデータだけでなく訓練データも含めた結果）。例えば、深層学習による予測が「Cr1」の場合、6464画像が正解、続いて264画像が「Cr2」で不正解となり、正解の回答の割合が最も多い。予測した結果が正解となる割合がどの区分でも多くなっており、区分による誤認識の偏りは見られなかった。そして、Cr1とCr2などの判定基準が近い区分同士で不正解となる場合が多かったことから、角礫の中央粒径や粒度分布などにより破碎度区分を判定していると考えられる。今後は、技術者による破碎度区分の判定結果を平均化することや、破碎度区分を地質別に判定することにより正解率の向上、岩級区分への応用を図りたいと考えている。

表4 VGG16を用いた予測結果（訓練とテストデータ）

		予測											非破碎	
		cr1	cr2	cr3	cr4	sh1	sh2	sh3	sh4	cl	dt			
正解	cr1	6464	463	39	5	11							23	145
	cr2	264	1613	48		1							36	5
	cr3	45	193	281	7				1				26	
	cr4	33	30	70	89							1	7	
	sh1	118	12			1182	13	1	1				31	61
	sh2	19	35	3		26	150		2	1			41	8
	sh3	4	7	2	2	8	29	71	3				49	
	sh4			3	5	2		4	7	32			12	1
	cl	11	5	19	2					1	9		1	
	dt	45	157	34		44	13	1					1183	26
	非破碎	321	6			8							3	981

### 〈参考文献〉

- 1) 国土交通省. 地すべりとその対策. [http://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sabo/jisuberi\\_taisaku.html](http://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sabo/jisuberi_taisaku.html) (2019/7/10 閲覧).
- 2) 国土交通省. 都道府県別土砂災害危険箇所. <http://www.mlit.go.jp/river/sabo/link20.htm> (2019/7/10 閲覧).
- 3) 脇坂安彦, 上妻睦男, 綿谷博之. 豊口佳之. 地すべり移動体を特徴づける破碎岩一四万十帯の地すべりを例として. 応用地質, 2012, 第52巻, 第6号, p.231-247.
- 4) K. Simonyan, A. Zisserman. Very Deep Convolutional Networks for Large-Scale Image Recognition. ICLR2015.
- 5) 蔵本直弥, 全邦釘. 決定木によるアスファルト舗装ひび割れの検出. 土木学会論文集, 2015, A2, 71, (2) I\_823-I\_830.
- 6) C. Szegedy, V. Vanhoucke, S. Ioffe, J. Shlens, Z. Wojna. Rethinking the Inception Architecture for Computer Vision. CVPR, 2016, 308.
- 7) F. Chollet. Xception: Deep Learning with Depthwise Separable Convolutions. arXiv preprint, 2017, arXiv:1610.02357.
- 8) P. Agrawal, R. B. Girshick, J. Malik. Analyzing the Performance of Multilayer Neural Networks for Object Recognition. CoRR, 2014, Vol. abs/1407.1610.
- 9) J. Redmon, A. Farhadi. YOLOv3: An Incremental Improvement, arXiv preprint arXiv:1804.02767 full waveform acoustic logs in cased boreholes. Geophysics. 2018, 49, p.1051-1059.

# 深層学習を用いた土砂災害地形 自動抽出の検討事例

たかやま とうこ はまだ こうへい かくだ さとみ  
高山 陶子\*・濱田 耕平\*\*・角田 里美\*\*\*

Key Word

AI, 深層学習, 斜面防災, 地形判読, 航空レーザ, 赤色立体地図

## 1 はじめに

我が国では毎年多数の土砂災害が発生し被害をもたらしている。防災・減災のためには、災害リスクのある場所を精度良く抽出することが重要であり、空中写真や地形図、地形表現図等を用いた微地形判読により地形特性を把握することが多い。しかしながら、微地形判読は技術者の経験に基づくあいまいで定義の難しい「特徴」によっているため、判読結果には技術者の技能差などによるばらつきが大きい。また経験豊富な技術者の高齢化が進んでおり、技術伝承の課題もある。

一方で近年の、人工知能（Artificial Intelligence, AI）、なかでも「深層学習」（Deep Learning）の発展により、地形判読のような定性的な分野においてもコンピュータの活用が期待できるようになってきた。

そこで、落石崩壊や地すべりなど、土砂災害の災害地形判読に深層学習を適用し、地形情報を入力とした自動的な抽出の可能性について検討した。

## 2 手法の概要

深層学習は、AIの分野のうち機械学習（Machine Learning）の一種であるが、対象を識別するための「特徴」を人間が定義することなく、コンピュータが学習によって自動的に定義することができる点で機械学習と異なっている。すなわち、機械学習では例えば、地すべりを抽出させようとした場合「傾斜60°以上の崖の下方に30°未満の緩斜面が存在する」といった条件を人間が指示しなければならない。これに対し深層学習では、明示的に指標やしきい値を示さなくとも、機械が学習により自動的に特徴量を

抽出できる。

深層学習を行うにあたって、入力画像と出力画像のセットからなる学習データを作成すれば、機械学習モデルの構築と機械判読ができる pix2pix<sup>1)</sup>を使用した。pix2pix とは Generative Adversarial Network（敵対的生成ネットワーク）の手法を基にして、入力画像から出力画像を生成するアルゴリズムである。学習データ（入力）を地形判読基図、教師（出力）を技術者による判読図として学習を実施し、得られた学習モデルを検証地域に適用して、自動抽出の可能性について検討した。

地形判読の基図には、航空レーザ計測（Airborne Laser Scanning, 以下 ALS）による詳細地形データから作成した地形表現図（赤色立体地図）を用いた。

赤色立体地図<sup>2)</sup>は、地形データの演算により得られた「傾斜」「地上開度」「地下開度」の計算結果を画像に変換・合成した一種の疑似カラー画像である。傾斜が急なほど赤く、見通しが良い（地上開度が大きい）ほど白く、見通しが悪い（地下開度が大きい）ほど黒くなるように調整し合成することで、微地形から大地形までが立体感をもって表現される。ALSデータから作成した赤色立体地図を判読基図に用いることで、落石源となる露岩帯や、地すべりブロック、崩壊跡地等の微地形を精度良く判読できる。赤色立体地図のみでこれらの要素を判読可能であることから、災害地形抽出に必要なファクターを含んでいるものと考えた。

## 3 事例検討結果

具体的な抽出処理のフロー図を図-1に示す。抽出処理は、教師データの作成、学習モデルの構築、

\*アジア航測株式会社 社会インフラ技術部 技術部長

\*\*アジア航測株式会社 社会インフラ技術部 地質コンサルタント課

\*\*\*アジア航測株式会社 先端技術研究所 センシング研究室

自動抽出の工程から構成される。

教師データの作成において、pix2pix は標準では幅 256 画素×高さ 256 画素の小画像単位で処理を行うため、このサイズに対象画像の分割を行った。その際、1 枚の分割画像の中に抽出対象となる地形が含まれるよう、表示縮尺の調整を行った。

同範囲・同サイズの赤色立体地図と判読データを結合した画像を用いて学習を行い、学習モデルを構築した。構築した学習モデルを用い、検証領域を対象として、自動抽出を試みた。

### 3.1 落石発生源の抽出例<sup>3)</sup>

対象地域は中生代の花崗岩・花崗閃緑岩が分布する流域で、急壁をなす露岩地や浮石状に露岩が点在すると推測される場所が多くみられ、落石源となっている。これらを「露岩地」として、ALS による 1m メッシュ地形データ (Digital Elevation Model,

DEM) から作成した赤色立体地図上で技術者が判読したものを教師データとし、学習モデルを構築した。

この学習モデルを、検証用領域 (対象流域を 2 分割したうち、学習に用いなかったエリア) に適用したところ、多少のバラツキはあるものの、技術者の判読とほぼ同様のエリアが抽出できた (図-2)。概して抽出されるエリアがやや狭くなる傾向があるが、入力画像 (赤色立体地図) と比較すると抽出結果は概ね妥当と判断される。人の手で GIS データ入力するよりも、細かな地形を反映できている可能性がある。

当該地区では、現地踏査に基づく点検を行っており、着目箇所とされている露岩部が抽出されているかについても確認した。その結果、ほとんどの箇所が抽出されていたが、一部、人工地形と見誤りやすい直線状の急崖部が抽出されていなかった。

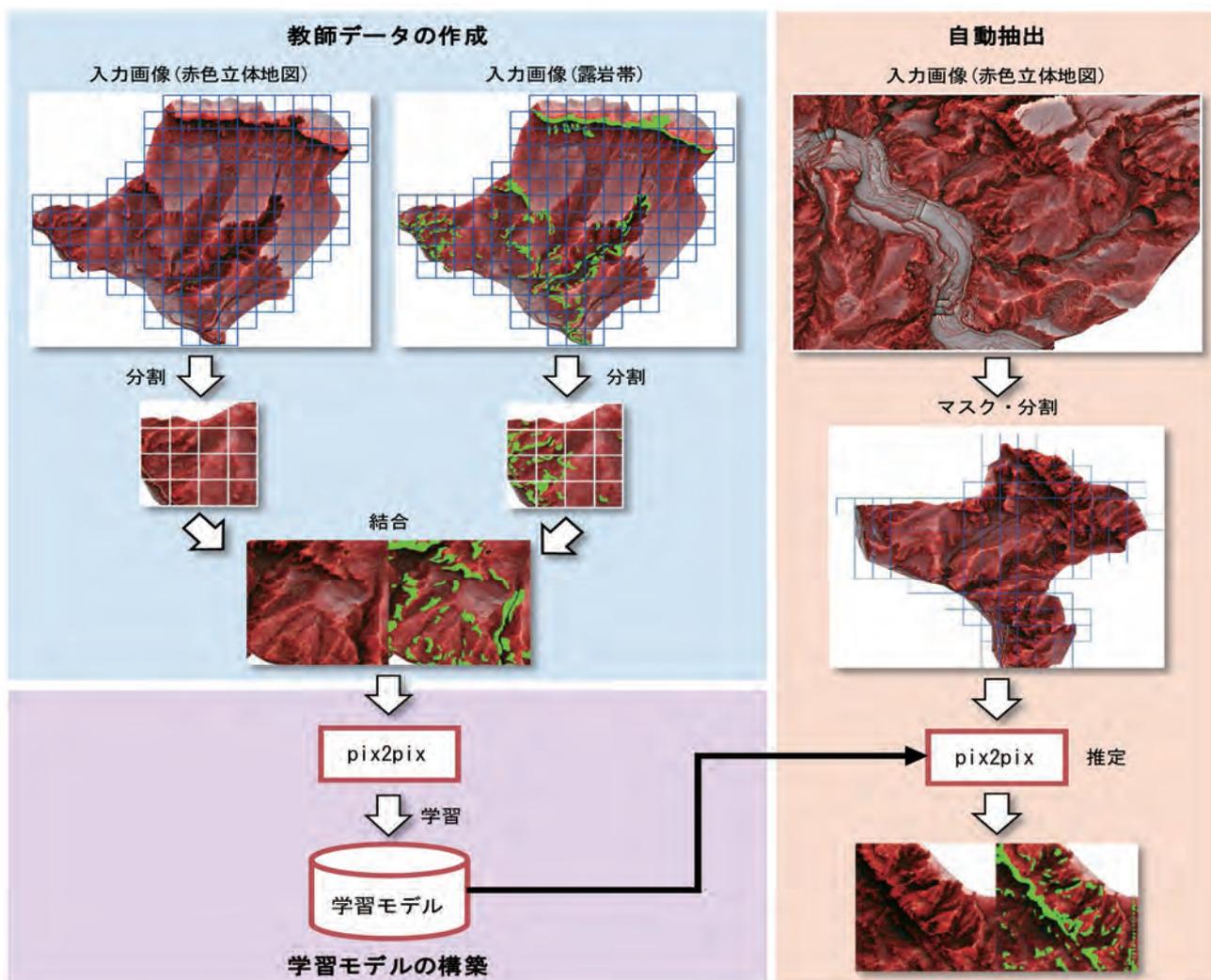


図-1 抽出処理フロー図<sup>3)</sup>

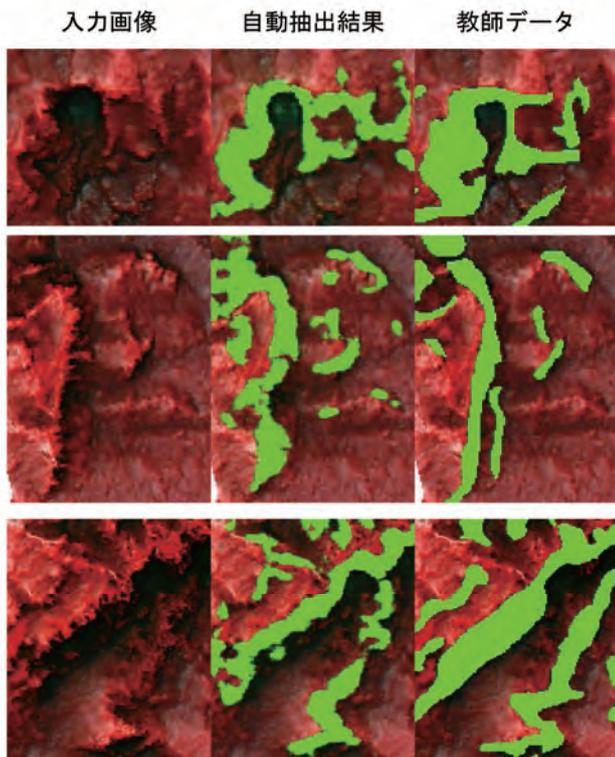


図-2 深層学習による露岩地の自動抽出結果例<sup>3)</sup>

### 3.2 地すべり地形・深層崩壊微地形の抽出例<sup>4)</sup>

深層崩壊の相対的な危険度が高く、大規模崩壊や地すべりが発生している地域をモデルとして、関連する微地形の抽出可能性を検討した。一般に大規模崩壊はその発生前に長年の重力影響による地形の変

化（二重（多重）山陵や円弧状クラック等の微地形）が生じると考えられている。深層崩壊の発生に関連する微地形要素<sup>5)</sup>のうち、「二重山稜等（多重山稜、幅の狭い線状凹地、山向き小崖を含む）」「岩盤クリープ斜面」「地すべり地形」を検討の対象とした。

学習は、ALSによる1mDEMから作成した赤色立体地図を用い、微地形要素ごとのほか、地すべり地形と岩盤クリープ斜面を両方一度に与えた場合の4ケースで実施した。また、画像の範囲（縮尺）を数パターン変化させて、解析結果に違いがあるかを確認した。抽出結果例を図-3に示す。

その結果、次のようなことがわかった。

二重山稜等はほぼ自動抽出できなかった。二重・多重山稜や山向き小崖など、規模の異なる地形を一括していることや、線的な構造であることなどが理由として考えられる。

地すべり地形や岩盤クリープ斜面は、概ね同様のエリアが抽出できた。ただし抽出の範囲がやや狭くなる傾向がある。

地すべりと岩盤クリープ斜面を同時に学習させた結果では、大多数は正しく判別されたが、違う区分となった箇所もある。

微地形が画像全体に含まれるよう、適切な解像度の設定が必要であると考えられる。

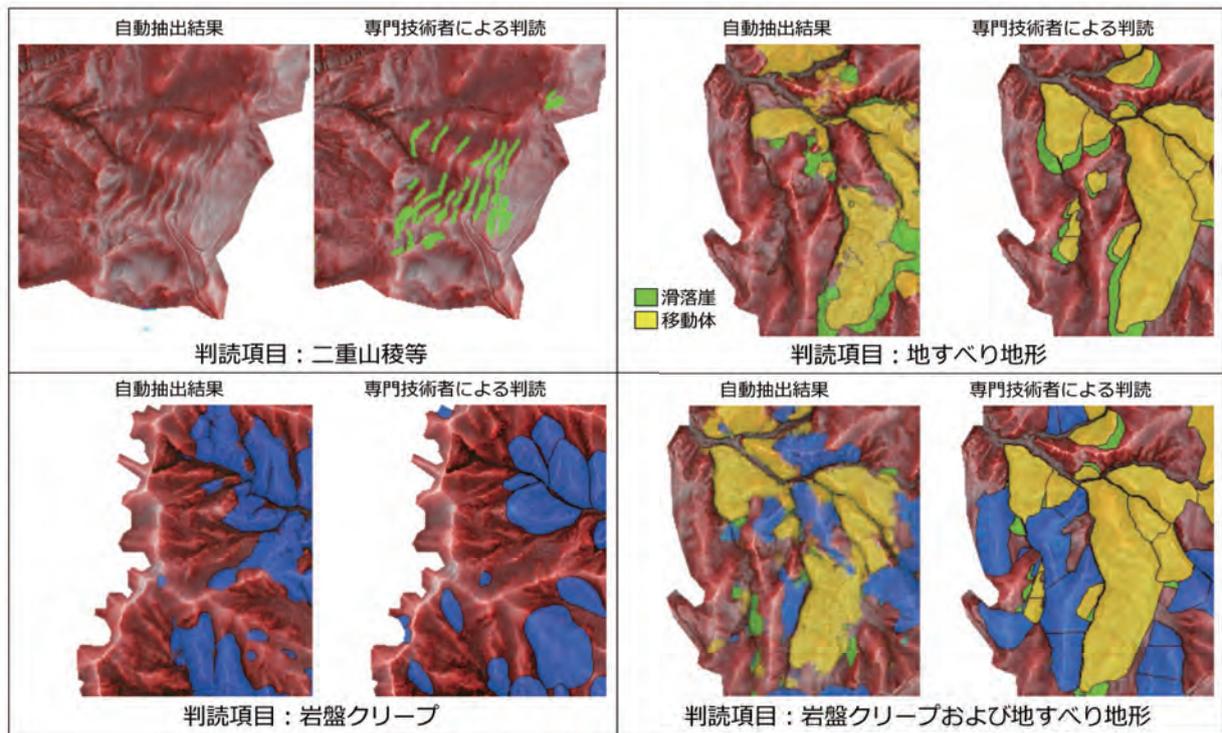


図-3 深層崩壊による大規模崩壊微地形要素の抽出結果例<sup>4)</sup>

## 4 まとめと今後の課題

上記の検討結果より、現状で災害地形の完全な自動抽出は困難であるが、ある程度候補地域を示すことは可能と考えられる。現時点では、技術者の判読補助（漏れ防止、技術者によるばらつきの防止）として用いるのが妥当であろう。

今後実場面で適用していくためには課題が残っていると考えられ<sup>6)</sup>、今後も事例を積み重ね、改善をすすめていくことが望まれる。いくつかの課題について以下に述べる。

### (1) 入力データの品質

入力データの解像度（メッシュサイズ）は、目的とする項目の地形規模に応じたサイズである必要がある。今回の事例ではいずれも1mDEMを用いたが、概ね妥当なサイズと考えられた。落石源に関しては、より詳細であればなお望ましい。

### (2) 入力データの情報

赤色立体地図は、傾斜と開度（地形の凹凸を表す地形量）を合成しRGB値で表したものである。判読基図として1枚で大地形から微地形まで読み取ることができるので、赤色立体地図のみで抽出は可能と考えている。地質の違いも地形情報に含まれるとみなしているが、地質分布や地表被覆、起伏量等を別レイヤとして取り入れた場合に抽出率が向上するか、試行する余地はある。

### (3) 教師データの精度と数

深層学習を行う上で最も問題となるのが、教師データの量と質である。特に、人工地物と異なり自然の地形を対象とするため、精度を一律に保つことが難しい。露岩帯が他と比べ良く抽出できた要因として、判読が比較的容易で技術者による差異が少ないことが考えられる。それに対し地すべりや岩盤クリープは、同一判読者による教師データを与えたものの、ばらつきが生じやすい項目である。可能な限り精度を統一した教師データの用意が望ましい。

教師データの量に関しては、多くの量を用意することは困難であるため、回転や切り出し範囲のシフトなどで増量する対応などが考えられる。

### (4) 汎用モデルの構築

今回の事例ではいずれも、同一の地質分布地域を学習エリアおよび検証エリアとして検討を行った。しかしながら、異なる地域で評価を行う都度、学習モデルを構築することは現実的ではない。

落石にせよ地すべりにせよ、厳密には、地域により構成地質や構造が異なれば発生メカニズムも異なり、災害地形の形状も同じではないことが考えられる。

異なった地質や地形の地域で作成された学習モデ

ルがどの程度汎用的に利用可能であるか、またどの程度の誤差であれば許容するのか等、検討を進める必要がある。

### 〈参考文献〉

- 1) Phillip Isola, et.al.: [Image-to-Image Translation with Conditional Adversarial Networks], arXiv:1611.07004, <https://arxiv.org/pdf/1611.07004v1.pdf>, 2016.11 (2020年2月20日現在)
- 2) 千葉達郎, 鈴木雄介: [赤色立体地図—新しい地形表現方法—], 『応用測量論文集』, Vol.15, pp.81~89, 2004.6
- 3) 高山陶子, 澤陽之, 富田康裕, 影山高史, 熊倉歩, 吉田崇博: [踏査困難な斜面におけるUAVを用いた落石源の抽出と斜面管理への活用], 『平成31年度砂防学会研究発表概要集』, pp.595-596, 2019.5
- 4) 高山陶子, 濱田耕平, 花井健太, 織田和夫, 角田里美: [ディープラーニングと赤色立体地図を用いた微地形自動判読手法の検討], 『平成30年度砂防学会研究発表概要集』, pp.697-698, 2018.5
- 5) 土木研究所: [深層崩壊の発生の恐れのある溪流抽出マニュアル(案)], 『土木研究所資料第4115号』, p.10, 2008.11
- 6) 高山陶子: [土砂災害への深層学習適用に関する考察], 『第58回(2019年度)(公社)日本地すべり学会研究発表会講演集』, pp.47-48, 2019.8



# 地質調査に機械学習を導入して 得られた結果と課題

さいとう りゅうた \*   しんぐう なおと \*\*   しんぐう あつひろ \*\*\*  
齊藤 龍太 \* ・ 新宮 直人 \*\* ・ 新宮 敦弘 \*\*\*

Key Word

機械学習, 地下水解析, 地すべり運動予測, 検証, 課題, デジタル労働者

## 1 はじめに

最近のAI技術の進展が目覚ましいため、弊社でも何かしらの方法で取り入れることはできないかと考えていた。土木分野では、トンネルのひび割れ診断、地形判読技術などが先行技術としてある。自動車のワイパー稼働状況で天気予報を行う技術を開発中というニュースも聞いた。ニュースといえば、囲碁や将棋の世界では人間より、すでにAIの方が強いらしい。

そんなAIを新技術として期待できそう、取り入れたいと思う一方で、耳慣れない言葉の印象から、様子見の態度を決め込む人が大半なのではないか。実際に使えるのか、との疑念も持っておられる方も多いはず。正直なところ、かつての私もそうだった。

そんななか、機会に恵まれAI技術を試したところ、予想に反して導入自体はそれほど難しくなかった。実際に、今回の地下水解析プログラムは、知合いのIT技術者にお願いしてから、たった数週間で試作版が完成したとの連絡があった。

だから、AI技術は地質調査の業界内でも、UAVと同じように、あるときを境に爆発的に普及するだろう。そのことに多くの人はずいぶん気づくだろうし、数年後には当たり前で使用されている可能性がある。

技術が完成し、普及してからでは見えなくなることもある。特に、AI技術は「プロセスは見えないことが前提」なのが厄介だ。できあがった汎用品を実務で使うのであれば、なおさらである。

技術は現場で育つのに、育った過程が見えなくなるのは大問題だ。そこで、弊社の試行錯誤の状況をシェアすることを目的に、現状までに得られた結果と感じた課題を執筆した。大きな課題と感じたこと

も、今後に期待できそうなことも両方あった。AI技術が発展途上の今だからこそ、現場の声をあなた届けることで、技術の発展に貢献できればとても嬉しい。

## 2 地下水解析<sup>1)</sup>

### 2-1. 機械学習を導入した理由

地すべり地の地下水位の挙動はタンクモデルで解析するケースが多い。タンクモデルは考え方がシンプルで有用であるが、係数設定等に困惑することも多い。現場ではモデルに反映しにくい複雑な要素が含まれるためと推測される。

そこで、事象をシンプルにモデル化して解くのではなく、複雑なまま取扱うことができれば、解析そのものは容易になるはずだと考えた。

AI技術の本質は、パターンマッチングにある。降水量と地下水位の変動そのものは相関性が高いので、機械学習に向いていると推測した。

### 2-2. 現地状況と地下水位解析実施の背景

島根県松江市の造成地において、谷埋め盛土を主体とする地すべりが発生した。地すべりの中心付近に旧谷地形があり、この旧谷地形に流れ込む地下水が、地すべりの誘因となっていた。

住宅が隣接しており、観測期間中に伸縮計で2.9mm/日の確定変動レベルの変位が観測されたことから、緊急的に排水ボーリング工を実施した。

排水ボーリング後に地すべりは抑制されたが、効果を確認するため孔内水位観測を継続した。そこで、工事前の孔内水位を解析し、もし排水ボーリングを未施工だった場合の孔内水位をシミュレーションす

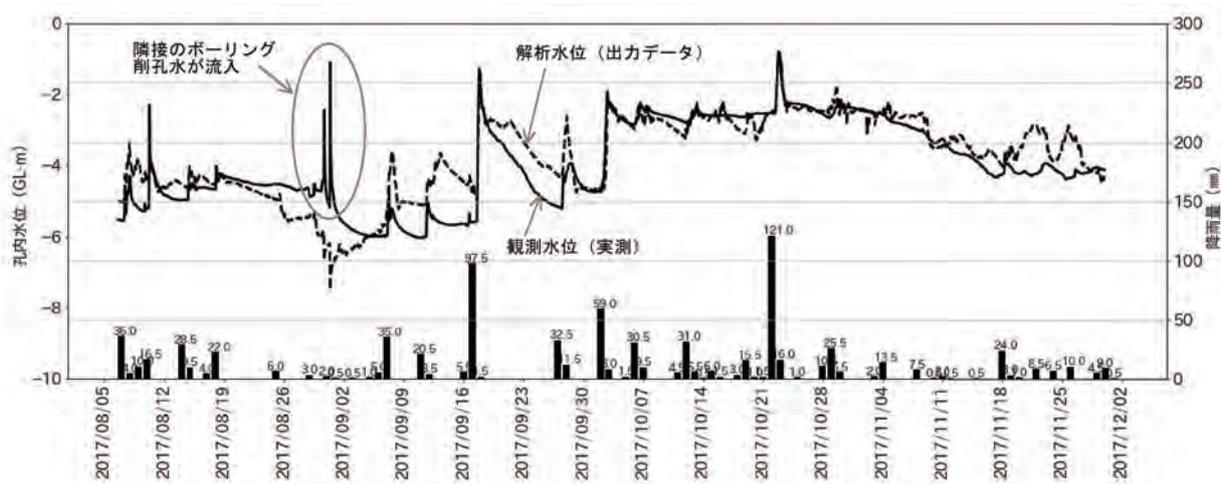


図1 排水ボーリング工事前の機械学習による解析水位と観測水位

ることで、排水機能の評価を試みた。

## 2-3. 解析手法の概略と結果

### (1) 機械学習の概略

孔内水位の解析には、機械学習の一手法であるニューラルネットワークモデルと呼ばれる学習アルゴリズムを用いた。ニューラルネットワークモデルは、脳の神経ネットワークを模して考案されたアルゴリズムである。

ニューラルネットワークモデルに、入力データを与えると初期パラメータにより計算された値が出力される。この出力値がお手本となる教師データに近づくように、モデル内の重み付け係数を自動的に調整することから、大量のデータを用いて重み付け係数の値を収束させる。

係数の調整が終了したモデルに、同一の入力データを与えると、同一の出力データが得られる。そのため、タンクモデル等と同様に、学習済みのニューラルネットワークモデルを用いることで、現地特性を反映させた地下水解析モデルが作成できると考えた。

### (2) 解析方法

孔内水位の解析は下記の手順により実施した。

#### モデル作成

- ①解析に用いる孔内水位として、地すべり中央付近にあるボーリング孔を選定。
- ②入力データ、教師データの選定および機械学習。
- ③解析モデルによる出力データ（解析水位）の確認。

#### 排水機能の評価

- ①排水ボーリング工事後の入力データを用いて、工事をしなかった場合の水位を推定（推定水位）。

- ②推定水位と実測した孔内水位を比較。

### (3) 解析条件

地下水解析モデル作成に使用した入力データを下記に示す。

- ・1時間雨量（松江）：気象庁データ
- ・1時間雨量（鹿島）：気象庁データ
- ・1時間雨量（現場周辺）：近隣で観測
- ・すべり面付近の歪計変位量

今回の地すべりでは、運動中に孔内水位が低下しにくい傾向があったため、すべり面付近の歪計変位量を入力データに加えてみた。すると、降水量だけの場合に比べて、歪計の変位量を加えた方が、孔内水位の低下速度の解析精度は向上した。また、実測水位の一部に隣接のボーリング削孔水が流入した影響があり、その部分は学習期間から外した。教師データは、孔内水位の実測値を用いた。

## 2-4. 解析結果

図1に、今回の現場で作成した地下水解析モデルによる解析水位と観測水位（実測）を示す。作成したモデルがどの程度再現できたかの確認するのが目的である。

解析水位は観測水位に比べるとやや高い水位を示す傾向にあるが、豪雨後のピーク水位や、その後の低下傾向はよく再現できているように思える。そのため、定性的ではあるが、シミュレーションの結果には一定の信頼性があると判断した。

図2に、推定水位と観測水位を示す。もし、排水ボーリング工をしなかった場合のシミュレーション結果である。

観測水位のピーク後の低下速度は、推定水位よりも速くなっている。この差が、排水機能の効果といえる。推定水位を見える化したことで、管理者に分

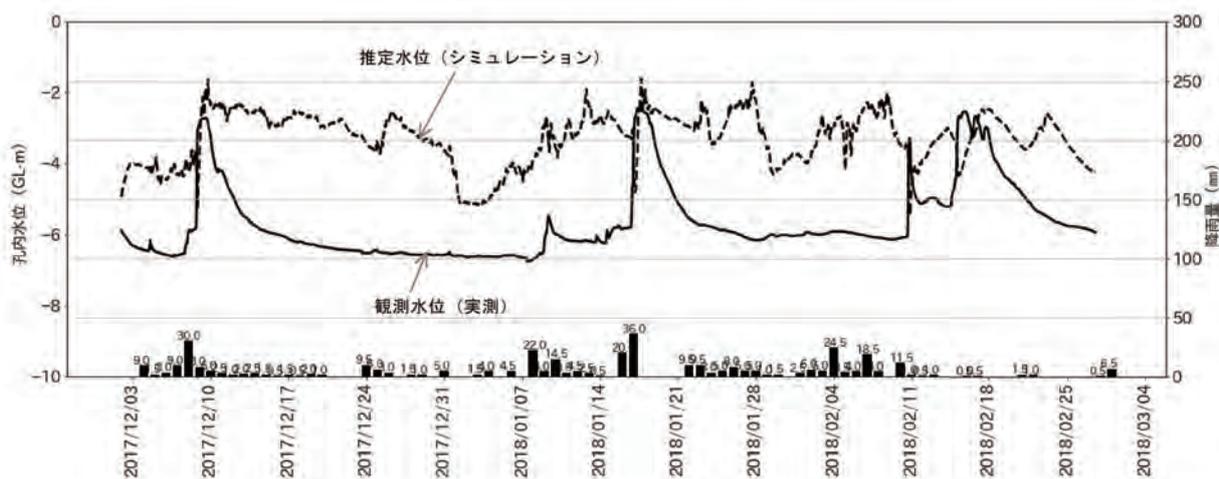


図2 排水ボーリング後の学習済みのニューラルネットワークモデルによる推定水位と観測水位

かりやすく提示することができた。

## 2-5. 課題

推定水位の解析には以下の課題も残った。

始めに、入力データの質である。排水ボーリング工時前の学習時の入力データは、台風など豪雨による雨量だが、工事後のシミュレーション時の雨量データには、降雪によるものも混在している。同列に降水量として入力したが、技術者の感覚として、これらを同じに扱ってよいか疑問が残った。

次に、入力データの選定方法である。推定水位の入力データに用いた歪計変位量は、実際には排水ボーリングで抑制した「運動していない」状態のパラメータであり、厳密な意味では前提条件が変わってしまっている。

歪計変位量を入力データに加えたほうが、解析結果が向上したことも、現状では説明が付きにくい。試算する過程で、思いつきで加えたところ、「結果として出力データの精度が向上した。

このように機械学習の成果は、出力データを算出した過程が見えないため「入力データに加えたら、出力データがよくなった」という、ある種の数値遊びの領域を出ることができない。しかし、地すべり運動中は非排水せん断に近い間隙水圧が発散されにくかったのでは等と、今までにない新しい関連性を取り込んだ理論モデルを考察する1つの材料になるかもしれない。

## 3 地すべり運動予測<sup>2) 3)</sup>

### 3-1. 地すべり崩壊予測プログラム開発の目的

道路法面で地すべりが発生した場合、伸縮計を設置して、インターネットに観測結果を表示し、常時

監視することが多くなってきた。地すべり速度が一定以上となると、警備体制を敷き、現地で動きを監視することもある。加速が続くと、常時監視データから崩壊予測を行い、通行止め判断について、道路管理者と相談になる。このような経験を重ねる中、以下のジレンマを多く感じてきた。

- 1) 事前に想定した警報基準を上回る速度となり、変位が二次クリープを示しても、地すべりは崩壊まで至らないことも多い。そのため、交通量が多い路線等では、通行止めに伴う社会的リスクや空振りを心配し、管理者が判断を躊躇してしまうことが多い。
- 2) 通行止めの後、観測結果によると、変位速度は減速しているが、雨量レーダーでは「やや」強い雨雲が近づいている場合は、解除には踏み切れない。このとき特に難しくなるのは、緊急体制解除の判断である。

緊急体制に駆り出されるのは、なぜか夜中や休日が多い印象があり、その度に「監視中の地すべり運動を予測したい」と思うようになった。

もう少し厳密に言うと、技術者の頭の中にある「経験則による地すべり運動予測」を見える化し、道路管理者と共有したい。そうすれば解除の判断に関する有用な情報源の一つとなる可能性がある。

### 3-2. 地すべり運動予測プログラムの概要

地すべりの誘因の多くは降雨である。降雨により間隙水圧（と連動している孔内水位）が上昇し、有効応力が低下するため、地すべり変位が発生する。このうち、2章で示したように降水量と孔内水位を解析できるのであれば、孔内水位と相関がある地す

べり変位を予測できる可能性がある」と想定した。

図3に、AI技術による地すべり崩壊予測プログラムの概要を示す。

第一段階として、設置した現場付近の降水量データと、現地に設置した伸縮計から送信される地すべり変位データから、両者の関係を機械学習させる。

第二段階として、機械学習させたプログラムに、気象庁が発表する予報雨量を与えることで、「未来の」地すべり変位を算出する。これが地すべりの運動予測となる。

観測中の地すべり運動が加速し、二次クリープの状態となると、変位の実測値および予測値から、 $1/v$ を算出する。予測値を含めた $1/v$ グラフ形状から、崩壊予測を行えるはずである。

今回はこの試みが上手くいくか検証するため、観測中に幾度か地すべりが活動した(崩壊には至らず)データを使用して解析を行った。対象とした現場は2章と同じである。

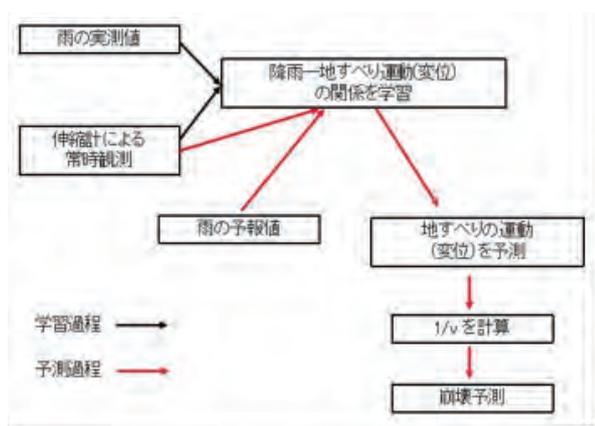


図3 地すべり運動予測プログラムの概要

### 3-3. 解析手法の概略と結果

#### (1) 機械学習の概略

機械学習の方法には複数あり、地すべり運動予測には、ランダムフォレストを使用した。

ランダムフォレストは、入力データのパターンと、それらに対する教師データを比較しながら、出力データを分類する「決定木」を構築する手法である。たとえば、入力条件として「丸い」「オレンジ」「直径5cm」の出力(答え)は「みかん」、入力条件「丸い」「黄色」「直径15cm」の出力は「はっさく」というように、様々な入力条件でパターンを学習させる。そこへ「丸い」「黄色」「直径5cm」という条件を与えたときに、これは何かと分類させる手法である。

この手法は、説明変数の依存が少ない為、データが少々不足していてもある程度結果を見込むこと

ができる。

#### (2) 解析方法

地すべり運動予測に使用した入力データを下記に示す。

- ・1時間雨量：気象庁データ
- ・10分ごとの伸縮計変位(変位速度)

教師データは、伸縮計の実測変位である。雨量と伸縮計の入力に時間差があるため、伸縮計の値は各1時間内の最大値を代表値として抽出した。

対象地はこれまでに降雨によって複数回地すべり運動した。いずれも崩壊まで至らず、加速と減速を経験している。観測全期間のうち、前半を学習期間、後半を比較区間に分けて検証した。

まず前半の地すべり運動を3回程度経験した期間について降雨と伸縮計変位の関係を学習させた。次に観測期間後半の雨量データのみを与えたときに出力した予測変位を、実測変位と比較した。

#### 3-4. 解析結果の考察と課題

図4に、機械学習による地すべり予測変位と実測変位の比較を示した。予測した変位量の値は、桁がずれる等の大きな差はなかった。

比較区間のうち、降雨による実際の地すべり変動が3回発生し、このうち2回は動き出しを予測できているように見える。

また、7月から8月はほぼ降水がなく、予測変位は変わらないのに対し、実測変位は継続的な引張傾向を示した。現地確認を行い、降雨とは別要因が想定されたが、相関性を示すことができる系統的なデータは取得できなかった。

降雨がない時期に動いたことは、実際のところ著者らにとって想定外であった。そのため、入力データとしても、雨量データ以外を学習させていない。学習させていないことは、今回の手法では、AIでも予測できない。

比較結果を見ると、実務ですぐに使えるような段階ではないといえる。ただし、不完全であることを認識しているのであれば、地すべりの動き出しのタイミングについては、参考情報程度に使えるような感触を持たせた。

#### 4 リアルタイムに予測修正できる可能性

伸縮計の変位は10分間隔に情報が増えていく。これは、10分毎に教師データも増えることを意味する。定期的に機械学習プログラムを作動させれば、実際の雨量と地すべり変位の経験を、自動的に学習できる。

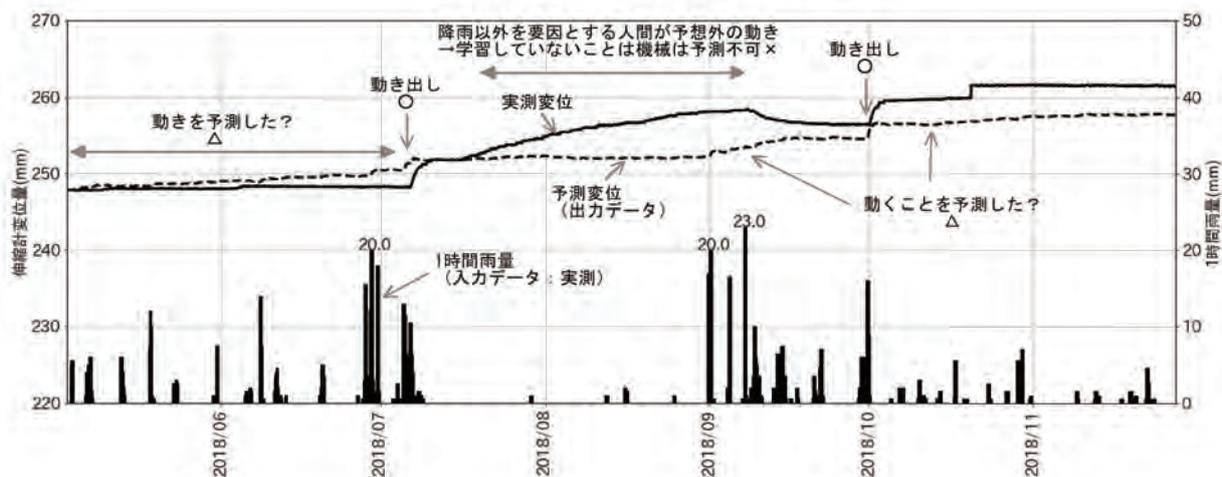


図4 機械学習による地すべり予測変位と実測変位

これにより、理想的には観測期間が長くなるほど、設置箇所における降雨と伸縮計のパターンを学習し、予測変位は現地条件を反映した結果に修正されるはずである。

その可能性を検証するため、過去の地すべり運動のうち、解析時刻を変えた結果を比較した(図5)。予測時点までのデータで出力される予測変位が、時間の経過とともに変化するかの確認である。入力データ、教師データ、機械学習アルゴリズムは3章と同じである。

図5(a)では、予測時点で大雨予報が出ている状況であるが、予測変位はこのあとわずかに動き出すが、すぐに減速する。

図5(b)は図5(a)の時点から18時間後の時点である。予測に反して地すべりは加速中であり、かつ数時間後に雨が止む予報となった。この時点の予測変位は、速度に問題はあるが、しばらく地すべり運動が継続する傾向を示した。

図5(c)は、図5(b)から約1週間後であり、実際の地すべり運動はわずかに継続中である。この時点の予報雨量は図5(a)と比較して小さいが、予測変位は、地すべりが動き続ける傾向を示した。

図5(a)の大雨予報では動かない予測が、図5(c)の少雨予報では動く予測に変わった。教師データが増えた(経験が増えた)ことで、予測が修正されたように見える。

ただし、計算過程は見えないため、実際の運用上は注意が必要である。予測精度が上がったのか、あるいは改悪されてしまったかについては、次の地すべり運動が発生するまで分からない。

## 5 AI技術の導入を試みて感じた全体的な課題

### (1) 技術的な課題

機械学習による解析精度を高めるためには、お手本となるデータ数が多い方がよい。しかも、質の良いデータが必要である。特に、地すべりの動きを予測するためには、動いているデータセットで学習させる必要があるが、地すべりは日常的には停止しており、まれな豪雨時にしか動きを観測することができない。必然的に地すべりの動きを学習させるデータセットは限られてくる。教師データの収集は、大きな課題として挙げられる。

また、地すべりの地域性という課題もある。地すべり運動を特徴づける上で、少し考えただけでも、地形地質、土質定数、すべり面形状や勾配等の多様な要素が挙げられる。現場特性を考慮しようとする、さらにデータが限られてしまい、学習自体が困難となる。

### (2) AI技術との向き合い方

今回の取り組みで認識を強くしたことは、AIの強みは「パターンマッチング」である。地質調査の現場では、特にこの認識が重要となる。

学習時点で人間が無意味であると判断した要素については、AIも学習しない。しかし、手当たり次第にデータを学習させると、本質的に重要な要素の重みが下がってしまい、かえって予測精度が低下することもありえる。

ただし、これまで地質技術者の頭の中にだけ存在していた「何となくの経験的なもの」が見える化できることは、大きな前進である。専門知識のない道路管理者に対して、分かりやすく説明しやすくなるからである。

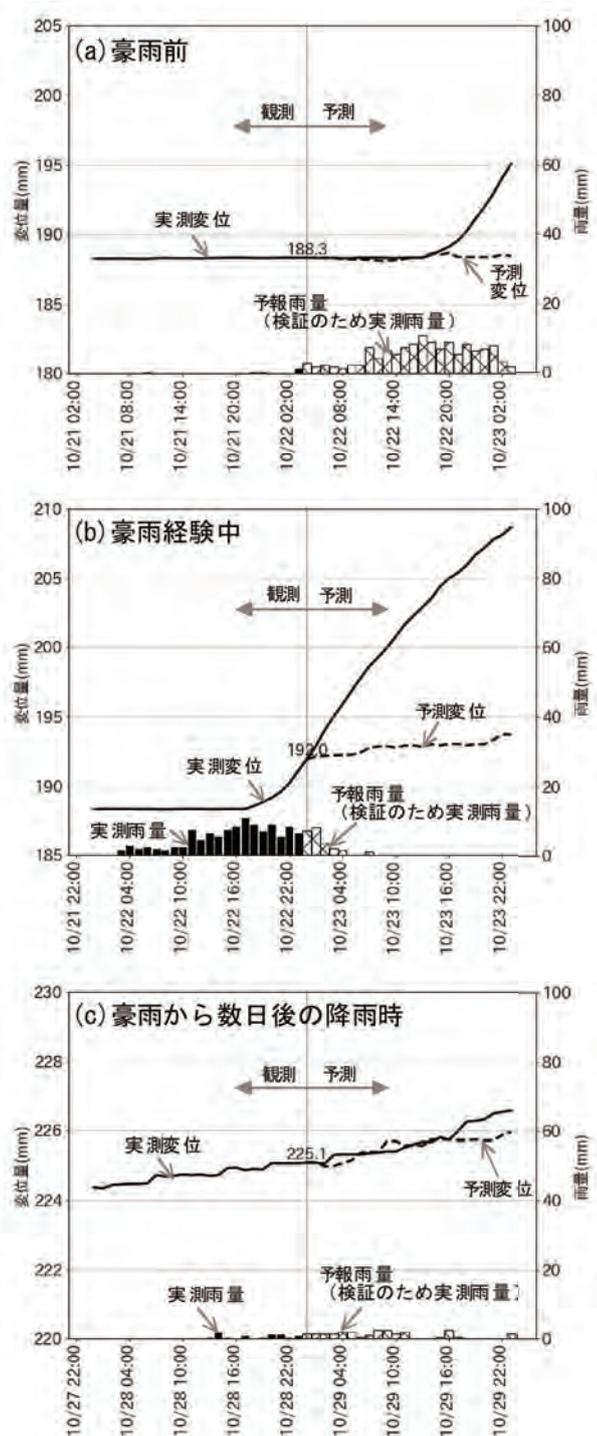


図5 降雨経験とともに変化する予測変位

最後に、AIが地質技術者の後継者となるかについて私見を述べたい。梅田<sup>3)</sup>は、AIをデジタル労働者として考えた時に、どんな働きを期待するかを下記のようにまとめている。

- ・単純作業を黙々とミスなくやってくれる働き者
- ・24時間戦える現代の企業戦士
- ・熟練者の技術を習得して継承する熟練社員
- ・大量データを即時に読んで判断する聖徳太子
- ・人間ができなかったことをやってくれる天才社員

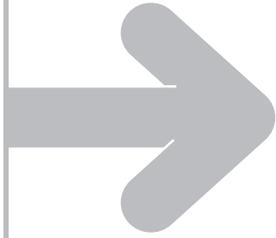
この分類に照らすと、現段階では「淡々と予測する企業戦士、ただし予測結果は新人レベル」といえる。ただ、個人的には熟練社員や聖徳太子レベルまで成長してくれることを期待している。それには教える側のレベルが問われる。凡人が教えたら、凡人レベルの精度の予測しか得られない。

また、自分の予想と反した結果をAIが示した場合に、その解釈について常に評価できる技量が必要となる。自然現象はある程度のパターンがあり、解明できればAI技術と親和性が高いと感じる。一方で、現場では常に想定外の出来事が発生し、これはAIが苦手な分野である。解析結果はあくまで参考情報とし、最終判断は必ず技術者（人間）が行うことが重要である。

結局のところ、我々の業界でAI技術の導入をしようとしたとき、最も問われることになるのは、人間側の技術力だ。

#### 〈参考文献〉

- 1) 齊藤龍太, 藤井俊逸, 新宮敦弘, 木村忍:「機械学習を用いた地すべりの地下水解析の事例紹介と今後の課題」, 全地連「技術フォーラム2018」高松
- 2) 齊藤龍太, 新宮直人, 新宮敦弘, 木村忍:「開発中の機械学習による地すべり崩壊予測プログラムの紹介～β版プログラムの概要～」, 全地連「技術フォーラム2019」岡山
- 3) 齊藤龍太, 新宮直人, 木村忍:「開発中の機械学習による地すべり崩壊予測プログラムの紹介～β版プログラムの概要～」, 全地連「技術フォーラム2019」岡山
- 4) 梅田弘之:「エンジニアなら知っておきたいAIのキホン 機械学習・統計学・アルゴリズムをやさしく解説」, 株式会社インプレス, 2019



# AIと気象を利用した需要予測

なかの としお よしかい ともひろ  
 中野 俊夫\*・吉開 朋弘\*

**K**  
 ey Word

AI, Deep Learning, 気象予測, 需要予測

## 1. はじめに

近年、あらゆるものがインターネットにつながりデータ化するIoT (Internet of things) 社会が現実のものになってきている。データトラフィックは10年間で100倍のペースで増加しており、今後も同じようなペースで増加していくとされている<sup>1)</sup>。このような大量のデータ(ビッグデータ)が収集される世界では、人がすべてのデータを網羅し理解するのは困難で、AI(人工知能)など機械の力を利用する必要性が生じてきている。また、我が国では少子高齢化が進み生産年齢人口が減少し、経験や勘といった無形の知識を持った技能者が大量に引退を迎え、今後はデータやAIをより利用して効率的に業務を行うことが求められてきている。

こうした課題に対し、我が国では平成27年度に国立研究開発法人産業技術総合研究所に人工知能研究センターが新設され、改正個人情報保護法が成立・交付されるなど、ビッグデータ・AIを利用する環境が整備されてきている。また、令和元年に日本経済再生本部から発表された成長戦略実行計画ではAI、ビッグデータなど第4次産業革命のデジタル技術とデータ活用を通して経済社会システム全体の再構築を図ることが目標とされている。

一方、近年、気象は地球温暖化やヒートアイランド現象によって大きく変化しており、特に東京では図-1に示すように100年間に3度平均気温が上昇するなど、これまで経験したことのない猛暑や暖冬などが発生してきている。例えば、2015年5月は該当月において観測史上もっとも高い平均気温を記録した。同年の典型的な夏商材である冷やし中華の販売数量を見ると(図-2)、例年は7月に

ピークを迎えるものの、同年は5月に最初のピークを迎えており、気象の変化によって経済活動も大きく影響を受けていることが分かる。

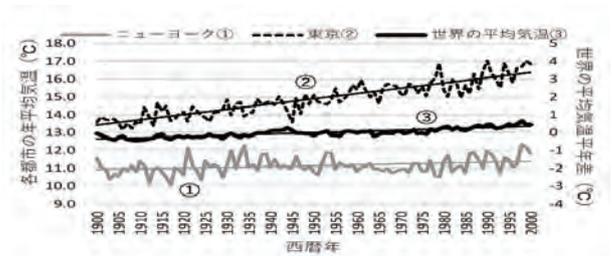


図-1 世界の平均気温の推移

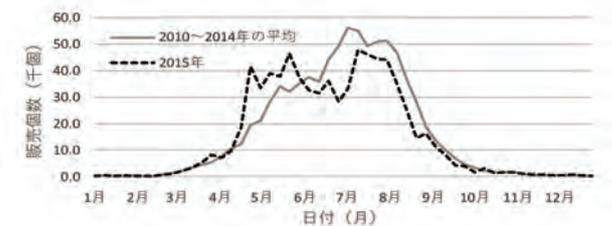


図-2 冷やし中華つゆの販売数量(個数)  
 株式会社インテージの全国2,953店舗のPOSデータをもとに拡大推計した全国小売店パネル調査SRI

このように、現在は経済分野にも気象の影響が生じてきており、気象予測やその変化を考慮した需要予測の精度向上がより必要とされている。本稿では、日本気象協会における気象予測や需要予測の精度向上の試みについて述べる。

\*一般財団法人 日本気象協会



### 3. 需要予測

本章では前章で紹介した気象予測を利用した需要予測について述べる。需要予測は様々な分野で必要とされているが、本事業では食品分野に着目した。これは、食品分野はもっとも気象との関係性が強い分野の1つで、食品ロスが年間643万トン発生しており、非効率なオペレーションが大きな問題となっているためである<sup>3)</sup>。

ここでは、小売業向けに日々の発注に利用する短期の需要予測と、製造業向けに生産調整に利用する中長期の需要予測を構築した。

#### 3.1 小売業向け需要予測モデル

小売店を対象にした需要予測モデルでは、数百店舗×数千商品に対応する需要予測モデルを構築しなければならない。そのため、それぞれの店舗×商品に対して予測式を構築する必要があり、膨大な数の特性を考慮しなければならない。そこで、本事業では、将来的な自動発注システムの構築を見据え、深層学習の技術を用いた汎用的な需要予測モデルの構築検討を行った。

深層学習はデータから特徴量を学習することが可能であり、現在の人工知能技術の発展の核となっている要素技術である。ここでは、約200店舗の小売店における飲料の翌日の販売数を予測するモデルを構築した。学習には過去28日間の全店の販売実績および、気象、暦を使い、翌日の気象予測を与えた場合に各店舗の飲料カテゴリ販売数(前週比)が5段階(70%以下, 70~90%, 90~110%, 110~130%, 130%以上)のどの階級に分類されるかという条件でモデルの精度検証を実施した。検証結果を表-1に示す。

表-1 需要予測モデルの精度検証結果

モデル	予測精度 (的中率[%])
ロジスティック回帰 (Logistic Regression)	47%
機械学習 (Random Forest)	49%
深層学習 (Deep Learning)	60%

目的変数である5段階の販売実績とその予測値が一致した割合(的中率)で評価を行ったところ、従来のロジスティック回帰では47%、機械学習(Random Forest)では49%であった的中率と比較して、深層学習による手法は60%と約10%の精度向上が見られた。このように、200店舗の過去の実

績データなどのビッグデータを用いて需要予測を構築する場合は深層学習などのAIが有用であることが示された。

#### 3.2 製造業向け需要予測モデル

製造業はサプライチェーンの川上にあるため、製造業向けの需要予測は小売業向けと比較してリードタイムが長くなる。特に冷やし中華などの季節商品では必要なリードタイムは数か月となる。また、生産調整などの予測を利用するため店舗ごとの細かな需要は必要ではなく地域全体の需要量が重要である。

図-6は2009~2013年の南関東における冷やし中華つゆの市場売上を対象に実施した解析結果である。冷やし中華つゆの需要は夏場に集中する一方、秋になると一気に減少する傾向がある。従来の予測手法では、売上上昇時は売上を説明できるが下降時には説明できないという問題があった。これは、少しでも気温が下がり始めると消費者は体感気温から夏の終わりを感じてしまい、まだ気温としては暑いにも関わらず夏商材を購入しなくなるためである。本事業では過去からの気温の経緯などの消費者の体感気温の変化を考慮することで、売上下降時の傾向を説明できる予測モデルを構築した。その結果、従来の決定係数0.59を0.97に向上し、気象で説明できない売上を41%から3%に減少させることに成功した。

本モデルは、詳細は伏せるが気象予測で利用している従来の重回帰手法と、小売業向け需要予測モデルで利用しているAI手法を融合したモデル構造としている。

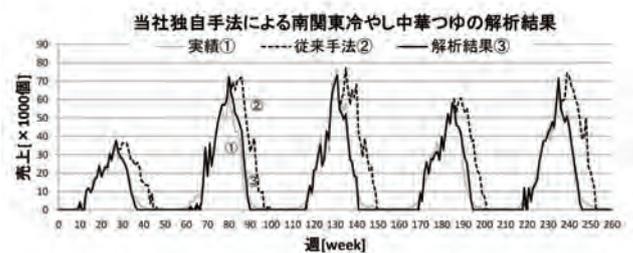


図-6 冷やし中華つゆの市場規模需要予測結果

このように、本事業では気象予測には従来から利用されてきた重回帰モデルを適用し、小売業向け需要予測には深層学習を利用したAIモデルを、製造業向け需要予測には従来手法とAIを融合したモデルを利用している。

これは、気象のようにこれまで経験していない現象が頻発しているものには過去を学習する必要

のない物理学的モデルと重回帰モデルを組み合わせ、小売業など多くの商品・店舗が存在し売上と説明変数の関係性が非線形なものにはAIを利用するためである。

## 4. 予測結果の利用

本事業ではこれらの需要予測を様々な企業のオペレーションに利用している。本章では豆腐の生産調整と冷やし中華の最終生産調整について記述する。

### 4.1 豆腐の生産調整

豆腐は日配品であり、生産に2日を要するが小売からは1日前に発注されるため、小売からの発注量を予測して生産する見込み生産が行われている。しかし、小売からの発注は、曜日や特売、気象によって大きく変動する。これまでは担当者の経験と勘で発注量を予測してオペレーションを実施していたが、この精度が十分でないために食品ロスが発生していた。

そこで、もっとも気象の影響が大きく売上規模の大きい寄せ豆腐を対象に需要予測を行い、その需要予測をもとに生産を調整した。対象期間は2015年5～9月とし、その前年のオペレーションと比較した。その結果、需要予測を利用した生産調整では、経験と勘で生産調整を行っていた前年同時期と比較して需要予測精度が約30%向上し、食品ロスが減少した。

### 4.2 季節商品の最終生産調整

冷やし中華つゆは夏商材で5～8月の夏場に需要が増加するが、秋以降に大きく減少する商品である。これまでは担当者が秋以降の売上を経験と勘で予測してオペレーションを行っていたが、売上予測が外れた場合は最終在庫が残り、次の季節まで賞味期限が持たないため食品ロスが発生する場合があった。

そこで、開発した需要予測モデルを用いて秋以降の売上を予測した上で最終生産量を決定し、生産調整を行ったところ最終在庫が20%削減でき、食品ロスが減少した。

ただし、これらの結果は需要予測の精度向上、配信の結果（外的要因）だけでなく、製造会社が気象を利用するオペレーションに変更（内的要因）することで達成された結果である。ビッグデータやAIを利用することでこれまでより多くの情報を得ることは可能になるが、どのように利用してい

くかは解析者、オペレーション実施者が協議して決定していく必要がある。

## 5. おわりに

ビッグデータやAIはあらゆる業種の企業・社会が協力して構築することで効果を最大限に発揮することが可能になる。

例えば、正確な需要予測には気象データだけでなく各小売店やECの売上データ、広告や販促、各セグメントの人の行動などサードパーティのデータが必要である。また、サプライチェーン全体でのオペレーション最適化にはデータの標準化・共有化による注文量のミスマッチの削減など社会全体での取り組みが重要である。

本事業では、気象予測・需要予測を通じて様々な企業とのコミュニケーションを行い、社会全体の効率化を目指す。

### 〈謝辞〉

本事業は経済産業省の平成26～28年の補助事業次世代物流システム構築事業補助金を利用しました。深く御礼申し上げます。

### 〈参考文献〉

- 1) Rene-Jean Essiambre, Senior Member IEEE, and Robert W. Tkach, fellow IEEE : Capacity Trends and Limits of Optical Communication Networks, Proceedings of the IEEE, 2012
- 2) Japan Meteorological Agency, Outline of operational numerical weather prediction at Japan Meteorological Agency, Numerical weather forecasting Japan, 2009

人工知能, 知能, 探索, オントロジー, 知識グラフ, 機械学習,  
深層学習, 強化学習

## 1. 人工知能とは？

最近、マスメディア等で「人工知能」がよく取り上げられるようになってきた。そもそも、人工知能とは何であろうか。改めて「人工知能」とは何かを問うと、戸惑う人も多いだろう。実は、「人工知能とは何か」という問いに対する答えは、単純ではない。人工知能の専門家の間でも、大きな議論があり、それだけで1冊の本になってしまう程、見解の異なるものである<sup>注</sup>。そのような中で、共通する部分を引き出し、筆者なりに一言でまとめると、「人間と同じ知的作業をする機械を工学的に実現する技術」と言えるだろう。ここでのポイントは、「知的作業をする機械」と、「工学的に実現する」という点である。

まず、簡単な後者の「工学的に実現する」という点から説明しよう。ここで「工学的に実現」というのは、実際に役立つものを作るという意味が含まれている。おそらく、読者は、深層学習 (Deep Learning) という言葉を聞いたことがあるであろう。一般の報道等で、「人間の脳と同様の仕組みを用いた深層学習」といった解説を見ることがあるが、人工知能の技術の一つである深層学習も工学的な技術である。そのため、人間の脳から最初のヒントは得ているが、工学的に有用な方向で発展した結果、現在の深層学習技術は人間の脳とは似ても似つかないものになっている。つまり、「工学的に実現する」とは、人間の知能と同じように動作すれば、人間と同じ仕組みでなくても構わないことを含意している。

次に、前者の「知的作業をする機械」という点を説明する。「知的作業」というのは、「力作業」とは対照的に、岩を動かすなどの物理的な力を必

要とする作業ではなく、ビジネスにおける意思決定といった知能が作用する作業のことを指す。そのため、対話とか、将棋のプレイなどは、確かに知的作業であり、それを機械 (コンピュータ) が行えば、人工知能と言えるであろう。ただし、ロボットにおいては、腕や足といった物理的なハードウェアとそのハードウェアをどのように動かすかというソフトウェアは分けて考える必要があり、一般的には、ハードウェア自体は機械工学の技術、それを動かすためのソフトウェアが人工知能の技術となる。

上記の説明で、一点、重要な部分の議論が抜けている。何が、「知的」という点である。人工知能の議論で一番難しい部分だが、この「知的作業」を遂行する「知能」とは何かという点である。人工知能は、文字通り、人工的に知能を作る学問であるが、実は、「知能」が何かというのは、定義が難しく、考え方も時代と共に変化している点だが、人工知能研究者達により、指摘されている。昔は、計算機を動かすために人間に分かる計算機言語から、計算機が分かるような命令に変換する作業を人間が行っていたため、それを代替する「人工知能」を作ることが試みられていた。しかし、それが一旦、機械で自動的にできるようになると、機械ができるのが当たり前になってしまい、もはや、誰も「人工知能」とは呼ばないようにになっている。つまり、人間がやっている複雑で難しい作業には、知能が必要であるが、一旦、それが、機械で当たり前のように実現できるようになってしまうと、もはやそれを知的作業と呼ばず、その作業をこなしても人工知能と呼ばなくなってしまうのである。そのため、人間にしかできない知的な作業の代替方法

\*国立情報学研究所 人工知能学会編集委員長

注) 興味のある方は、「人工知能とは、人工知能学会監修、近代科学社、2016」をご覧ください。

を永遠に模索する学問が人工知能ともいえるのである。

## 2. 人工知能の歴史

人間の知能が様々なタスクをこなせるように、人工知能は様々なタスクに対応する必要がある。そのため、それぞれのタスクに応じた多様な要素技術がこれまでに開発されてきた。

人工物に人間の知的作業を代替させようという考え方は、古い時代までさかのぼることができる。しかし、現在の人工知能につながる考え方が出現するのは、計算機が登場する1900年代半ばまで、待つ必要があった。1943年になると、脳神経細胞（ニューロン）の人工モデルが提案され、その後、このモデルを使って学習を行うための方法論が示された。それにより、学習する機械を作成する機運が広がり、1950年代になると、人工知能の実現に向けた様々な取り組みがなされるようになった。そのような中で、人間の知能を機械的に実現するための様々な取り組みに関して意見交換する会議、ダートマス会議が1956年に開催された。当時は、研究分野自体が確立していなかったため、数学者や心理学者など幅広い分野の研究者が参加し、それぞれの研究成果が紹介された。ダートマス会議で、特筆すべきことは、人工知能（AI: Artificial Intelligence）という研究分野を指す用語が決まった点である。そのため、人工知能の歴史を語る際に、人工知能は1956年から始まったとされる。その頃の人工知能は、知的作業を様々な事項の組み合わせにより表現し、組み合わせの中から適切な解をいかに効率よく探すのかという課題が中心的に取り組まれた。例えば、将棋を指す場合、様々な手の組み合わせの中から、勝利につながる手を効率よく探すことが求められる。それを探すための手法が「探索」とよばれる技術である。この技術により、数学の定理証明など人間にも難しい作業が機械でできるようになった。しかし、現実の問題に適用しようとする、問題は複雑であり、単純な手の組み合わせを考えるだけでも、膨大な数になり探索が困難であった。また、機械翻訳も盛んに取り組まれた課題であったが、辞書や単純な構文の組み合わせ操作だけでは人間のような翻訳が難しく、翻訳する対象に対する知識も考慮しなければ正確な翻訳にならなかった。そのような問題の解決方法の一つとして、注目されたのが知識処理である。

人間は、様々な知識を持ち、知識を利用することで、的確かつ効率的に問題を解決することができる。例えば、プロ棋士であれば、定石などの知識を利用することで、的確な手を将棋で指すことができる。このように、人工知能において、知識を用いる技術が「知識処理」と呼ばれる技術であり、1970年代は、知識をどのように扱うかが中心的な課題であった。この技術は、血液感染症診断システム MYCIN や有機化合物の構造推定システム DENDRAL など広く使われ、1980年代に起こったエキスパートシステムを中心とする人工知能ブームを支える要素技術となった。日本においても、鉄鋼業界などで積極的にこの技術が導入され、プラントの運転などに応用された。しかし、知識を人工知能で利用するためには、知識を聞き取り調査し、人手で詳細に作成しなければならず、その手間が膨大であったため、知識処理技術は、主に巨大な産業分野での利用に限られた。そのため、知識を人工知能が自分で獲得するための技術として、学習が必要なものと考えられるようになった。たとえば、棋士は、対局を通して、勝つための知識を自ら学習することができ、それと同様の機能を人工知能が持つことが求められた。機械が自動的に知識を学習する技術は、「機械学習」と呼ばれ、機械学習は、現在の人工知能ブームを支える重要な技術となっている。

## 3. 人工知能の現在

1980年代の知識処理技術では、知識構築方法論が未確立であり、知識の再利用性などの点で大きな問題があったが、その後の研究により、現在の状況は大きく異なる。知識は、「オントロジー」と呼ばれる標準化された技術を利用することで、知識の構築論が整備され、再利用性や記述の容易性が大きく高まった。そのため、石油掘削会社での環境モニタリングや医薬品開発での安全性評価など、オントロジーの応用が広がってきている。さらに、インターネットの普及、オープンガバメント・オープンデータの流れなどにより、知識を独自に作成しなくとも、さまざまな知識がインターネット上で容易に取得できるようになってきている。現在では、記述した知識を計算機が理解できる、「Linked Data」と呼ばれる方式が普及し、その形式で様々なデータが公開されている。Linked Data を用いると、連想ゲームのように、関連した事項をたどれるため、関連する知識を多く集めることができる。例えば、そのようなデータを利用すると、

ユーザが現在いる地域と、それに関連した情報を結びつけることができ、関連する知識を幅広く利用することができるようになる。

Linked Dataなどを集約することで、知識のデータベースを作成することができる。このような知識のデータベースは、「知識グラフ」と呼ばれる。知識グラフは、〈東京港, 所在地, 東京都〉のように、それぞれの物・人・場所などの関係を示した知識を大量に集約したものであり、このような知識は、さまざまな疑問に答える質疑応答システムやWeb検索システムを作成する際に必須のものとなっている。Google, マイクロソフト, Facebook, IBMなどの大手IT企業は、膨大な知識グラフを利用しており、人間の代わりに質問に答えるシステムを作る際の中核技術となっている。

機械学習は、学習能力を持つ人工知能を実現することを目指す人工知能研究の一分野である。人間は、学習能力を持ち、知識を新たに獲得することができる。例えば、人間の子供は、猫を見た際に、親から「猫がいるよ」と教えてもらうことにより、猫には耳があるなどの特徴を学習し、次に猫を見た際に、そこにいるのが猫と識別する知識を学習できる。機械学習においては、機械に対して例を与えることで、その例に共通する特徴を知識としてデータから抽出するのが、学習の大まかな枠組みである。機械学習を行う際には、基本的にはデータが多ければ多程、学習の精度が向上するため、電子的に大量の情報を収集する基盤が必須のものとなる。近年になり、インターネットの発達、大規模データベースの整備により、そのような基盤を容易に利用できる環境が整ったことに加え、機械学習技術自体が進展したことにより、高い精度で有用な知識の学習ができるようになり、注目を浴びる技術の一つとなっている。

機械学習の技術の一つに、「深層学習」がある。人間の脳の機構を模した「ニューラルネットワーク」という学習技術が長年研究されてきたが、それを発展させたものである。ニューラルネットワークでは、人間の脳神経細胞に相当する素子を階層状に積み上げることで学習を行う。従来は、階層が多く（深く）なると学習がうまくできない問題点があった。しかし、近年、深い階層でも学習が行える技術が開発され、深層学習として利用されるようになった。深層学習では、階層を深くすることで、データに存在する階層的な特徴表現を抽出できるようになり、その結果、学習の精度が向上した。例えば、従来型の機械学習技術では、猫の画像を認識する際に、予め、耳があるか否か、

髭があるか否か、色は何色か、といった特徴を機械に与えなければならなかったが、深層学習では画像のデータを直接与えるだけで、識別に関連する耳や髭といった特徴を低い階層で抽出し、高い階層でそれらを統合して猫の判断を行なう特徴表現を抽出することができる。深層学習は、大量のデータが利用可能な場合に、大きな威力を発揮し、画像認識や音声認識といった分野で性能を大きく向上させることに貢献している。その結果、自動運転車やロボットなどの分野では、大きな技術進歩が見られた。

別の機械学習手法として、「強化学習」という手法も、近年、注目を集めている。動物は、ある行動の系列を実行した後に、餌が与えられるなどの報酬を得られると、その行動の系列が良かったものとし、その行動がより好まれるように強化される。これを模倣した学習手法が強化学習と呼ばれる手法である。従来、強化学習はロボット学習、Web環境などで用いられてきた学習手法であるが、近年は、深層学習などの他の人工知能の要素技術と組み合わせることにより、より高度な学習ができるようになってきている。例えば、Google傘下のDeepMindは、深層学習、強化学習、探索などの技術を組み合わせることにより、囲碁のトップ棋士よりも強い人工知能の開発を行っている。

#### 4. おわりに

人工知能は、上述したように、単一の技術で構成されているわけではなく、探索、オントロジー、深層学習など様々な技術があり、長年の研究の結果、近年、各技術が大きな進歩を遂げている。それらの技術を解きたいタスクに応じて、組み合わせることにより、これまで人工知能の利用が不可能と考えられていた領域でも適用が可能となり、労働環境の改善、コストの削減、事故の防止などにつなげられるようになってきている。

人工知能を導入する際には、これまで人間が行っていたタスクを、予測問題、探索問題、最適化問題、異常検知問題などに再定義し、それに合った人工知能技術を利用すればよい。また、業務プロセスに合わせて、人工知能を導入を図るのみならず、人工知能ができることに合わせて、業務プロセスを見直すことで、大幅に業務改善ができる場合もある。これを機会に、人工知能の導入を検討して頂ければと思う。

にしむら ともひろ\*  
西村 智博\*

**K**ey Word 地形判読, 地形図, 空中写真, 航空レーザ測量, DEM, 低地, 山地, 地すべり, 土石流, 火山地形, 断層地形

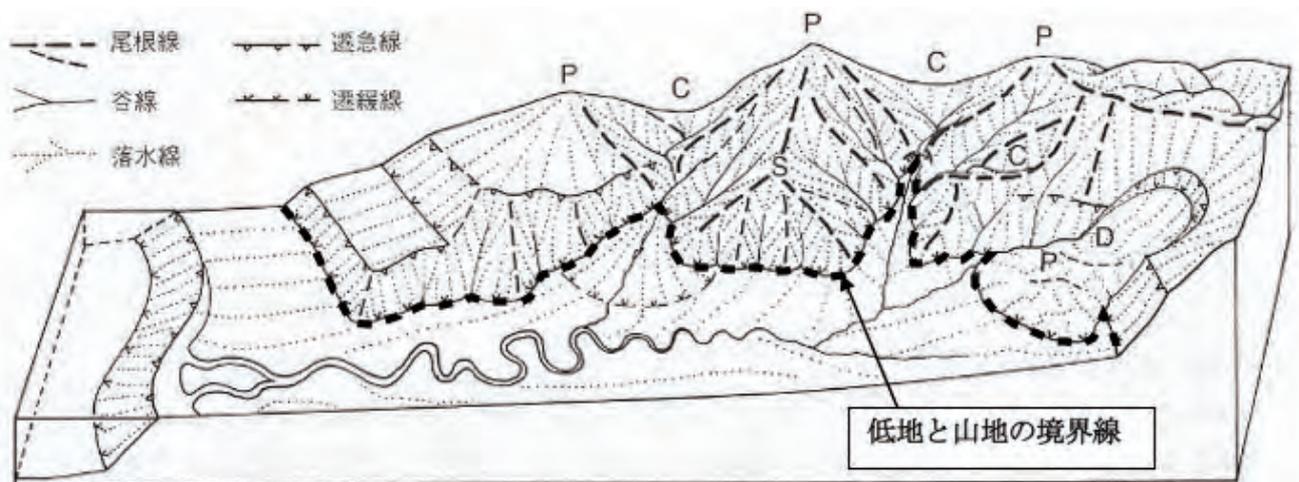
### 1. 大きな地形境界を決める

前編でも述べた通り, 地形判読とは「地形の特徴を把握・分析し, その形成過程を解釈する」ことである。つまりは地形の境界 (= 地形界線) を見つけ, 同様の形成過程で成り立っていると考えられる範囲にその特徴を示す名称をつけて区分する作業に他ならない。多くの地形界線は勾配の変化点として現れていることが多く, これらを如何にうまく見つけ出すかが地形判読のポイントとなる。

地形断面図上で斜面上方から下方に向かって勾配が急になる地点を「遷急点」, 緩くなる地点を「遷緩点」と言い, これらが平面的に連続する線を「遷急線」, 「遷緩線」と呼ぶ。遷急線・遷緩線および水涯線で括られる範囲が同様の性質を示していれば, それが一つの地形種として識別できる (図-1)。

地形界線として認識しやすいのは, 水部と陸の境界 (水涯線) や山地と低地の境界 (遷緩線) であろう。手始めに, これらの大きな地形境界を丹念に読み解くところから地形判読を始めたい。ただし, 図-1の模式図のようにいつも地形界線が明瞭であるとは限らず, 急斜面から緩斜面, 緩斜面からいつの間にか平坦に変化していくところも多い。このようなところでは, 平坦地の外縁を区切る遷緩線もしくは急斜面の下端を区切る遷急線を見つけて出すと良い。前編で紹介したDEMデータを利用して, 標高区分図や詳細な等高線を作成すると, 微妙な勾配変化の識別が容易になる。

低地と山地の境界が概ね区分できたら, それぞれの範囲の中でより小さな地形の区分を進めていこう。



細点線: 落水線, 破線: 尾根線, 実線: 谷線, P: 凸点 (山頂), D: 凹点, C: 鞍部, S: 山脚

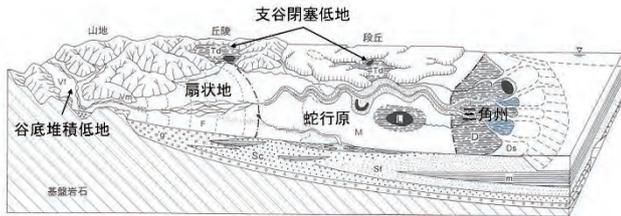
図-1 地形界線の模式図 (鈴木, 1997<sup>1)</sup> に低地と山地の境界線を加筆)

\* 国際航業株式会社 国土保全部

## 2. 低地の地形

### 2.1. 低地の地形の概要

ひとくちに低地と言っても、山に挟まれた狭隘なものもあれば、海岸に面した低平で広大なものもある。鈴木（1998）<sup>2)</sup>によれば、低地は谷底堆積低地・扇状地・氾濫原・三角州および支谷閉塞低地の5種に区分できる（図-2）。



Vf: 谷底堆積低地, Vm: 谷口, F: 扇状地, M: 蛇行原, D: 三角州 (Ds: 水底三角州), L: 湖沼, Td: 支谷閉塞低地, g: 礫層, Sc: 粗粒・中粒砂層, Sf: 細粒砂層, m: 泥層 (シルト・粘土層) 一点太破線は、扇状地、蛇行原および三角州の境界線

図-2 5種の河成複式堆積低地の模式図 (鈴木,1998<sup>2)</sup>に地形種の文字を追記)

ここでは、多くの人々が活動し、ひとたび災害が起きると甚大な被害が発生しやすい蛇行原を中心に判読の考え方を述べる。

蛇行原の地形は、大きく自然堤防・後背低地・旧河道（名残川）の3種に区分できる（図-3）。

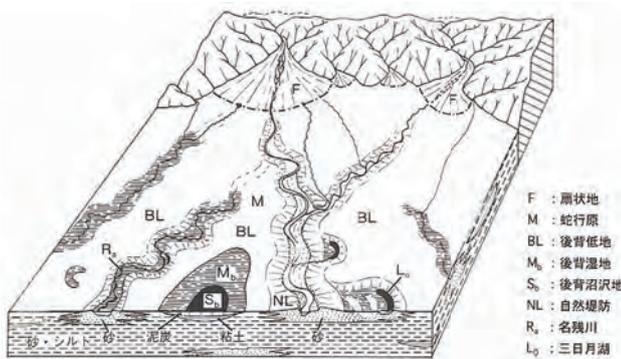


図-3 蛇行原の模式図 (鈴木,1998<sup>2)</sup>)

自然堤防は、現河道や旧河道沿いに形成された微高地で、河川が運搬してきた砂が洪水時に河道からあふれ、流速が急激に低減する河道周辺に堆積してできた地形である。一般に砂質で、周辺の低地よりわずかに高いことから、洪水時にも浸水しにくく、浸水しても短時間で水が引くと言われており、古くから集落が発達していることが多い。また、水はけが良い（利水の便が悪い）ことから、田圃としての利用は少なく、畑などとなっているところが大半である。

後背低地は、自然堤防の背面に広がる広大な低平地で、洪水時に氾濫した水に含まれる細粒の砂

やシルトが長時間の浸水時に堆積してできた地形である。一般に泥質で、河道とは自然堤防で隔てられていることから、水はけが悪く地下水位の高い軟弱地盤を形成していることが多い。広大な後背低地では、さらに低湿な後背湿地や、依然として水面が残る後背沼沢地に区分できることがある。

旧河道は、河道の変遷により取り残された溝状の地形であるが、連続的に分布が追跡できるものから、一部の水面が取り残されて三日月湖と呼ばれる形態となっているものも見られる。

### 2.2. 氾濫原における災害

氾濫原における主な災害は、河川の氾濫による洪水が挙げられる。近年でも、2015年9月の関東・東北豪雨災害、2016年8月の北海道豪雨災害、2017年7月の九州北部豪雨災害、2019年10月の台風19号災害など、毎年のように各地で洪水が発生し、甚大な被害が生じている（図-4）。



図-4 2015年9月関東・東北豪雨の浸水状況写真 (茨城県常総市周辺, 撮影: 国際航空・バスコ<sup>3)</sup>)

これらの浸水被害は主に氾濫原で発生しているが、微高地となっている自然堤防とその背後に広がる低平な後背低地では、被害の形態や湛水時間が大きく異なる。図-5からは、鬼怒川の2箇所から氾濫した水が、氾濫平野や後背湿地に長時間湛水した様子を読み取れる。

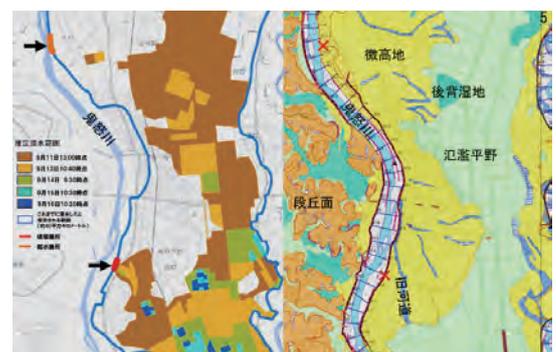


図-5 2015年9月関東・東北豪雨の推定浸水範囲の変化<sup>4)</sup>(左)と治水地形分類図「石下」図幅<sup>5)</sup>(右) (国土地理院, 破堤地点および凡例の文字を加筆)

このほか、地震時の液状化による被害や、地盤沈下などが発生しやすいと言われている。

### 2.3. 氾濫原の地形判読

氾濫原の地形は、高低差が非常に小さいため、やみくもに空中写真判読を始めてもなかなか判別が難しい。そこで、あらかじめ各種の資料を用いて予察を行い、それぞれの地点の土地利用や標高の特徴を頭に入れてから、最終的に空中写真で境界を特定するという手順をお勧めしたい。

旧版地形図からは、かつての河道の形態や土地利用が読み取りやすい(図-6)。また、地形図に示された地名は、その土地の成り立ちを示すことが多く、これらも参考となる。まずは旧版地形図をじっくり眺めて、土地利用と地形の関係を確認したい。これらの作業は近年の地形図でも可能であるが、市街化が進んだ地域では人工改変が著しく、土地利用や高低差が読み取りにくい。

次に、近年急速にデータ整備が進められている航空レーザ測量によるDEMを用いて、低地の高低差を強調した標高区分図を作成することにより、地形の違いは明確に把握できる(図-7)。検討対象としている地域について、例えば標高差1mごとに色が変化するような標高区分図を作成すると、全く起伏がないように見える低地にも意外と大きな凸凹があることに気づくだろう。ただし、これらのDEMは人工改変後の地形を示していることに留意が必要である。人工改変地形は直線的だったり、きわめて平坦な形態を示していることが多く、地形の成り立ちを考えると不自然なことがわかる。

旧版地形図と標高区分図を見比べてみると、かつての土地利用は地形にかなり制約を受けていたことがよくわかる。

これらの情報を持ちながら空中写真判読を行うと、当初は見えていなかった地形の境界が見えてくる(図-8)。現在の河道やかつての河道に沿ってはシャープな標高差が見つられる。そこは河川の水流によって河道が掘り込まれた現河道や旧河道である。これらの河道沿いには周辺より1~2m高い微高地が連続しているだろう。人家や社寺が立ち並び、畑が多く、やや白っぽく見える所は自然堤防に区分できる。自然堤防は河道から離れるにしたがって徐々に低く不明瞭になるため、後背低地との境界を厳密に決めるのは難しい。写真で見える階調の違いや土地利用の境界で地形境界を設定しよう。自然堤防の外に広がる低平な田圃は後背低地であるが、低湿の程度によってさらに区分できることがある。



図-6 旧版地形図の例(1906年測図「粕壁」)<sup>6)</sup>

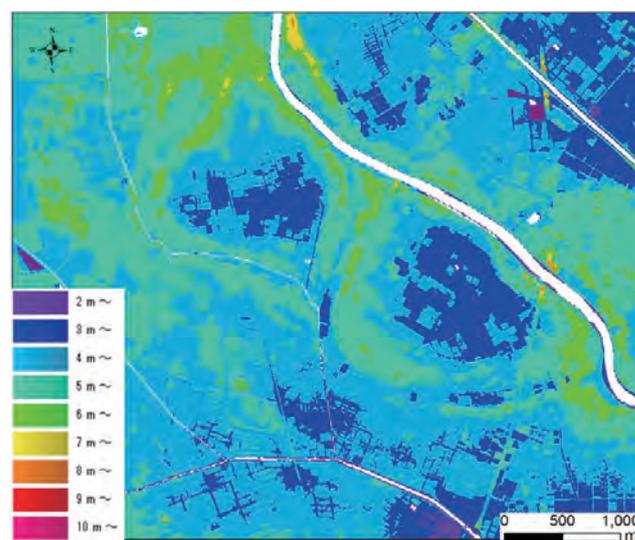


図-7 1mごとに色分けした標高区分図の例  
(基盤地図情報5mDEM<sup>7)</sup>から作成)



図-8 空中写真の例  
(国土地理院1961年撮影, MKT613-C32-6~7<sup>8)</sup>)



難しいため、DEM データによる判読を重点に行いたい。

なお、全ての地すべりが模式図のような典型的な形態を示しているわけではなく、古いものは形態が不明瞭になっていたり、侵食や人工改変によって一部の地形が欠けているものも多い。

### 3.2. 土石流によって生じた地形

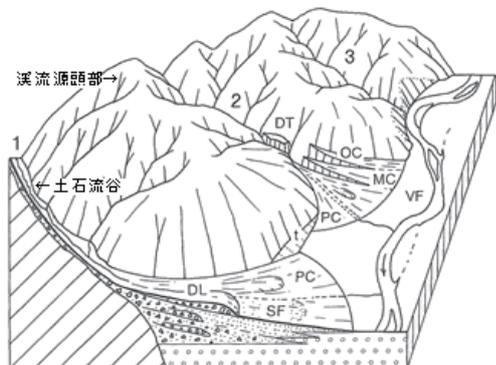
わが国では、毎年のように豪雨災害が発生し、特に土石流によって谷出口に位置する家屋に著しい被害が生じている(図-13)。



図-13 2014年8月広島豪雨の被害状況  
(広島市安佐南区周辺, 撮影: 国際航業・パスコ<sup>3)</sup>)

災害が起きるたびに「何十年も住んでいるが、このようなことは一度もなかった」、「まさか土石流が押し寄せてくるとは思わなかった」といったコメントが聞かれる。しかし、地形を丹念に検討すれば、少なくとも土石流に襲われる可能性がある土地かどうかは事前に判別できたはずである。

土石流がつくる地形の模式図を図-14に示す。



PC・MC・OC: 現成・中期・古期の沖積錐, DT: 土石流段丘,  
DL: 土石流堆, SF: 土砂流原, VF: 河成堆積低地, t: 崖錐,  
1: 沖積錐を伴う谷, 2: 沖積錐と土石流段丘を伴う谷, 3: 土石流は発生するが、本流の側刻のために沖積錐の発達しない谷。

図-14 土石流がつくる地形の例  
(鈴木, 2000<sup>9)</sup> に一部文字を加筆)

土石流は繰り返し発生することから、谷の出口には沖積錐や土石流段丘が形成されている。上流域の地質や発生頻度によって形態は異なるが、谷出口から扇状に緩傾斜地が形成されている場合は土石流が作った地形であると考えてよい。ただし、河川の侵食等によって沖積錐が失われているケースもあることに注意が必要である。

また、空中写真やDEMからは上流域の荒廃状況が確認できることがある。崩壊地や崩壊跡地、地すべり地がある場合には、土石流が繰り返し発生する可能性が高いと考えられる。

一方、沖積錐などの緩斜面は開発が進み、宅地として利用されていることが多い。開発が進むと地形の判別が難しくなるが、旧版地形図やDEMをうまく利用してその範囲を特定したい(図-15)。

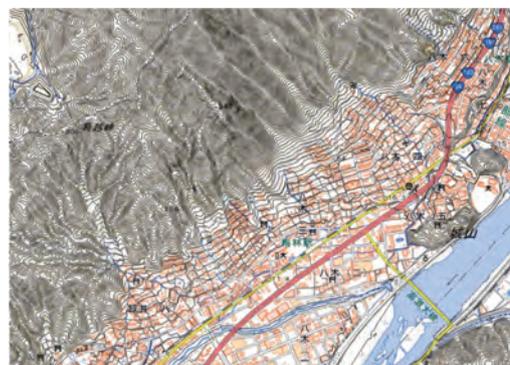
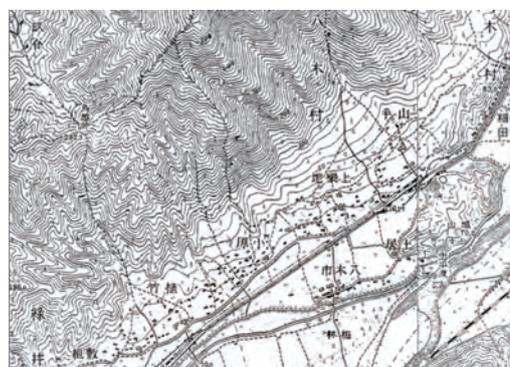
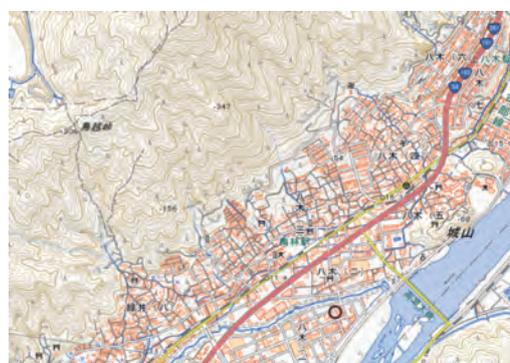


図-15 広島市安佐南区周辺の地形情報  
上段: 地理院地図<sup>10)</sup>  
中段: 旧版地形図(大正14年測図「祇園・深川」<sup>6)</sup>)  
下段: 5mメッシュDEM<sup>7)</sup>より作成した5m等高線

## 4. 特殊な地形

これまで述べてきた地形のほか、わが国では火山活動や断層活動によって形成された地形が見られる地域がある。それぞれ特徴的な地形をしていることから、基本的な判別方法をマスターしておくとうい。

### 4.1. 火山の地形

火山地域では、噴火活動や火山灰・火砕流の降下・堆積、溶岩流、山体崩壊など、火山特有の活動によって特徴的な地形が形成されている(図-16)。

通常の侵食・堆積でできる地形とは規模や形態が異なることから、火山周辺では、火山地形の存在を念頭に判読を行うべきである。

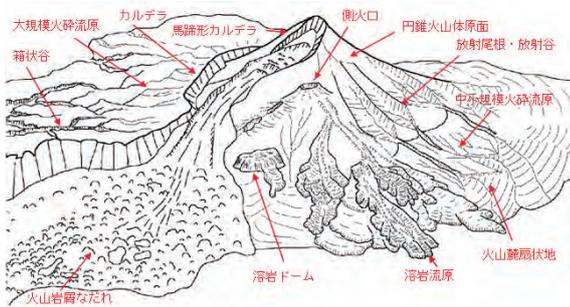
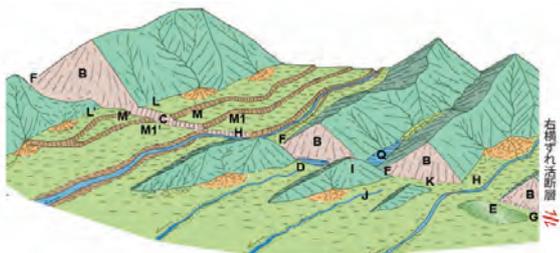


図-16 火山地域に発達する地形種の模式図(西村原図)

### 4.2. 断層による地形

断層とは、地下の岩盤がずれ動くことで生じた地質構造の不連続であり、このような地質構造を反映して形成される地形を総じて断層地形と呼んでいる。このうち、活断層のずれが地表付近に達して地表面が切断されたり、周囲の地形が変位(変形)して形成された地形種が断層変位地形である(図-17)。一方で、断層周辺の岩盤は破碎されて脆いため、差別削剝を受けて特異な地形種を生じることがある。このように断層(断層破碎帯)の存在に起因する差別削剝で生じる地形種は断層削剝地形と呼び、断層変位地形と区別されている。



B: 三角末端面, C: 低断層崖, D: 断層池, E: ふくらみ, F: 断層鞍部, G: 地溝, H: 横ずれ谷, I: 閉塞丘, J: 截頭谷, K: 風隙, L-L': 山麓線の食い違い, M-M': 段丘崖の食い違い, Q: 堰止性の池

図-17 右横ずれ断層による断層変位地形の諸相(活断層研究会編, 1992<sup>[2]</sup>)

## 5. おわりに

本稿では、限られた紙面の中で地形判読法の一部を紹介した。

地形図や空中写真、DEMを利用した各種地形の実務的な判別方法は、著者を含む10名の応用地形判読士が分担して執筆した日本測量協会編「いまさら聞けない地形判読」<sup>[13]</sup>に詳述されている(図-18)。興味のある方は、是非こちらも参照していただきたい。

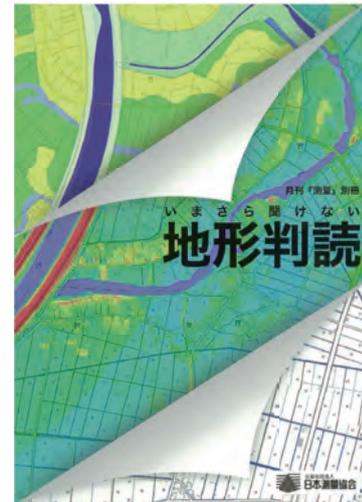


図-18 「いまさら聞けない地形判読」の表紙

### (参考文献)

- 1) 鈴木隆介:「建設技術者のための地形図読図入門(第1巻 読図の基礎)」,朝倉書店,1997.
- 2) 鈴木隆介:「建設技術者のための地形図読図入門(第2巻 低地)」,朝倉書店,1998.
- 3) 国際航業株式会社:災害調査活動  
<http://www.kkc.co.jp/service/bousai/csr/index.html>
- 4) 国土地理院:防災関連情報「平成27年9月関東・東北豪雨の情報」,<http://www.gsi.go.jp/BOUSAI/H27.taihuu18gou.html>
- 5) 国土地理院:治水地形分類図(更新版)  
[https://www.gsi.go.jp/bousaichiri/fc\\_list\\_a.html](https://www.gsi.go.jp/bousaichiri/fc_list_a.html)
- 6) 時系列地形図閲覧サイト「今昔マップ on the web」(©谷謙二),<http://ktgis.net/kjmapw/note.html>
- 7) 国土地理院:基盤地図情報ダウンロードサービス  
<http://www.gsi.go.jp/kiban/index.html>
- 8) 国土地理院:地図・空中写真閲覧サービス  
<http://mapps.gsi.go.jp/maplibSearch.do#1>
- 9) 鈴木隆介:「建設技術者のための地形図読図入門(第3巻 段丘・丘陵・山地)」,朝倉書店,2000.
- 10) 国土地理院:地理院地図 <https://maps.gsi.go.jp/>
- 11) 防災科学技術研究所:1:50,000地すべり地形分布図「早岐」図幅,2008.
- 12) 活断層研究会編:「日本の活断層図一地図と解説」,東京大学出版会,1992.
- 13) 日本測量協会編:「いまさら聞けない地形判読」,日本測量協会,2019.

※ホームページの情報はいずれも2020年2月14日現在

# 災害対応現場での協力体制について

## —厚真川水系日高幌内川外斜面崩壊地質調査—

おおわだ あつし\*  
大和田 敦\*

Key Word

大規模土砂災害, 情報共有, 安全管理, 工程管理

### 1. はじめに

2018年9月6日に発生したマグニチュード6.7最大震度7を記録した北海道胆振東部地震によって、厚真川支流の日高幌内川右岸にて大規模な岩盤すべりが発生し河道を閉塞した。移動した土塊の規模は幅500m長さ1000m、移動距離は500mであった(写真1)。河道閉塞部の高さは50m程度、閉塞区間は1000mにも及んだ。本報告は、災害対応のため発注者・設計者・施工者と地質調査担当各社が協力して行った現地作業についてまとめたものである。

### 2. 災害協力要請から現地着手までの経緯

9月19日

北海道開発局・日本工営(株)・建設業協会・北

海道地質調査業協会による4者協議開催

9月21日

北海道地質調査業協会による現地踏査

9月29日

日本工営(株)・岩田地崎建設(株)・地質調査7社による合同現地踏査

10月2日

厚真川水系土砂災害復旧事業所(現在の厚真川水系砂防事業所)設置

10月5日 8:58 震度5弱 余震発生

10月6日 台風25号接近

10月8日 台風通過後の現場状況確認

10月9日 現地作業着手

10月15日 厚真町幌内に調査拠点設置

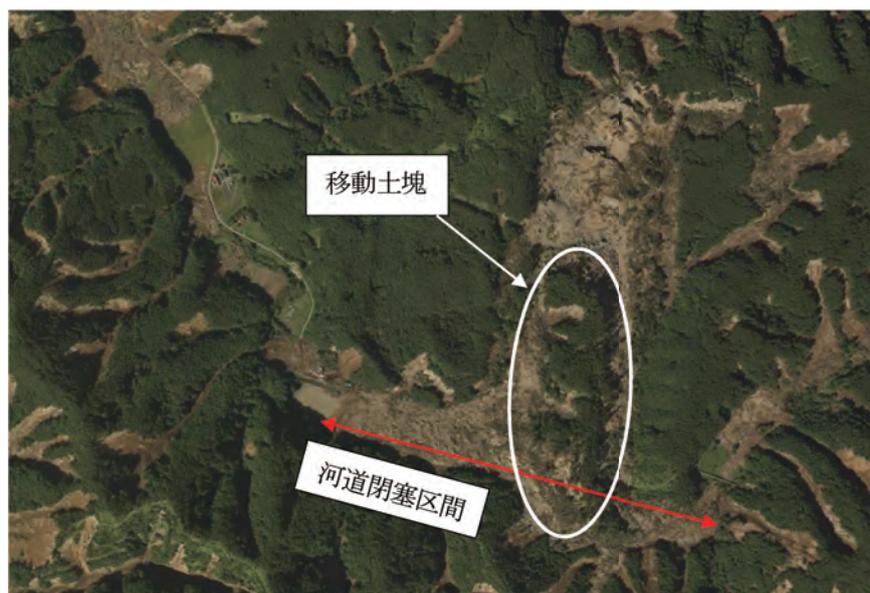


写真1 日高幌内川河道閉塞状況<sup>1)</sup>

\*大地コンサルタント 株式会社 常務取締役

### 3. 北海道開発局本局 4 者協議への参加

北海道開発局本局で行われた対策会議に北海道地質調査業協会技術委員として出席し現地踏査や写真判読により確認されている移動土塊の状況、閉塞箇所背後の湛水状況について説明を受けた。また、この会議において河道閉塞部の越流浸食による大規模な洪水災害を防ぐため対策工を融雪時期までに完成させなければならないこと。対策工設計及び土塊の安定について検討するための地質調査計画を提示された。調査計画はこの後、数回変更され最終的に以下の内容で決定された（図1）。

- ボーリング調査 40 孔 総延長 1620m
- パイプ歪み計 6 箇所 330m
- 水位観測孔 11 箇所
- 孔内傾斜計 2 箇所 180m
- ボアホールスキャナ・PS 検層
- 密度検層・現場透水試験

（図1 調査計画平面図）

### 4. 9月21日 現地踏査

搬入路の状況・仮設方法・給水方法や現場の安全性を確認するため、9/21に現地に向かった。

厚真町市街から現場までの主要道路である道道上幌内早来停線は地震により寸断されていたため、町道や堤防管理道路・農道に迂回し、15kmほどの道のりを経て現地へ到着したのは、厚真町市街地

を出てから1時間半後であった。

移動土塊には新たに作業道が刻まれており、道幅は狭いが上流まで4DW車での通り抜けが可能となっていた（写真2）。作業道には待避所はあるが、荷下ろし可能な駐車場所は無かった。作業道から調査地点の間には深さ1m～2mの凹地があり、地表部には樹木が折り重なっていた。また移動土塊や左岸斜面には多くの滑落崖と不安定土塊が分布していることを確認した（写真4～6）。

倒木処理や搬入路の整備など建設機械による作業が不可欠であり、また調査と並行して施工が行われることから、施工者との協力関係を構築することが重要になると改めて認識し現地踏査を終えた。



写真2 下流から閉塞土砂頂部を望む。

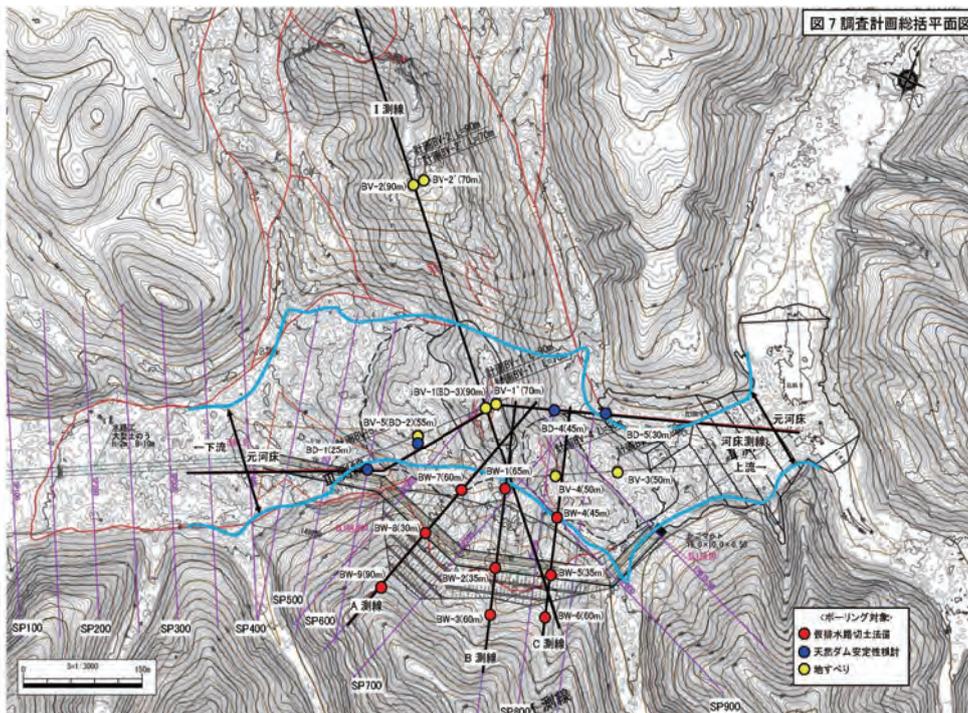


図1 調査計画平面図



写真3 河道閉塞土砂頂部から下流側を望む。  
沢部は岩屑と倒木によって埋め尽くされている。  
荷下ろしに必要な広い場所が無い。



写真6 凹地と倒木の状況  
倒木は大きくしなつたものや枝が絡み合ったものなど人力処理では危険な状態であった。



写真4 閉塞土砂頂部から左岸斜面を望む。  
左岸斜面には土砂が残っている箇所があり、降雨や余震時に再滑動する恐れがある。



写真5 移動土塊中に見られる滑落崖  
このような小規模な滑落崖が多く見られた。

## 5. 9月29日 合同現地踏査

日本工営(株)・岩田地崎建設(株)・地質調査担当の上山試錐工業(株)・(株)エーティック  
トキワ地研(株)・(株)ドーコン・北海道土質コンサルタント(株)・(株)ユニオンコンサルタント・大地コンサルタント(株)7社による合同現地踏査を行い以下の内容について協議を行った(写真7)。

- ・荷下ろし可能な駐車場所の確保
- ・建設機械による搬入経路の倒木処理と整地
- ・給水経路の確保
- ・機械搬入日時の調整

二次災害を防止し、作業を円滑に進めるための方法や注意事項を確認し合同現地踏査と協議を終えた。現地着手後は毎日午後1時から、連絡会議を行い、作業内容・場所・工程等の情報共有を行うこととした。



写真7 合同現地踏査状況

### 6. 10月2日 事業所設置と幹事会社要請

10月2日に厚真川水系土砂災害復旧事業所（現在の厚真川水系砂防事業所）が設置され、調査の準備作業が本格的化した。事業所開設後すぐに監督員から地質調査幹事会社の要請を受け、翌年3月まで続く幹事会社としての仕事がこの日より始まった。

### 7. 余震と台風

調査準備を進めている最中、10月5日に震度5弱の余震が発生した。10月6日～10月7日には台風25号の接近が予想されたため10月6日の作業を中止し、台風通過後の10月8日に現地状況を確認し作業開始時期を決定することにした。

現地確認は厚真川水系土砂災害復旧事業所職員・日本工営（株）担当員に同行した。道路に面した沢の流量は増えていたが濁りはなく、道路に流出した土砂は既に除去されていた。河道閉塞箇所では新たな崩壊や土砂の流出、湧水などは見られなかったため10月9日からの作業を決定し、地質調査各社に連絡を行った。

表 1 最大震度 4 以上の地震<sup>2)</sup>

番号	発震時		震央地名	深さ	M	最大震度
1	9月6日	3時07分	胆振地方中東部	37	6.7	7
2	9月6日	3時17分	胆振地方中東部	33	4.7	4
3	9月6日	3時20分	胆振地方中東部	36	5.5	4
4	9月6日	3時23分	胆振地方中東部	32	4.8	4
5	9月6日	3時22分	胆振地方中東部	34	4.6	4
6	9月6日	4時10分	胆振地方中東部	32	4.7	4
7	9月6日	6時04分	胆振地方中東部	31	4.4	4
8	9月6日	6時11分	胆振地方中東部	38	5.4	5弱
9	9月7日	13時25分	胆振地方中東部	35	4.5	4
10	9月7日	22時43分	胆振地方中東部	36	4.4	4
11	9月8日	18時21分	胆振地方中東部	34	4.2	4
12	9月9日	22時55分	胆振地方中東部	35	4.9	4
13	9月11日	4時58分	胆振地方中東部	31	4.5	4
14	9月11日	19時07分	胆振地方中東部	34	4.2	4
15	9月12日	18時24分	胆振地方中東部	33	4.5	4
16	9月14日	6時54分	胆振地方中東部	26	4.6	4
17	9月17日	2時51分	胆振地方中東部	28	4.6	4
18	9月30日	17時54分	日高地方西部	37	4.9	4
19	10月1日	11時22分	胆振地方中東部	35	4.7	4
20	10月5日	8時58分	胆振地方中東部	31	5.2	5弱
21	10月8日	21時54分	胆振地方中東部	30	4.4	4
22	10月9日	2時45分	胆振地方中東部	30	4.2	4
23	10月12日	9時14分頃	胆振地方中東部	約30	4.6	4

### 8. 調査開始

10月9日の現場作業着手は搬入台数を制限したため、特に混乱などなくスムーズに行うことが出来た。その後岩田地崎建設（株）による搬入路と作業箇所の整備の進捗に合わせ逐次機械搬入を行い、7社9班の掘削が始まったのは10月18日である。

岩田地崎建設（株）現場代理人の方には搬入路の整備、給水経路の確保、作業道の切り替えなど

も調査を優先する形で協力していただいた（写真9、10）。



写真9 搬入路整備前 円内



写真10 搬入路整備後 円内

### 9. 現場での安全確認

二次災害を防止するため調査地点の決定時、調査実施時に以下の取り組みを行った。

#### (1) 調査地点選定

調査地点は、解析・設計を担当した日本工営（株）により二次災害の恐れがない場所として選定されていたが、繰り返す余震によって現地状況が変化していくため、調査開始前に周辺の状況を確認し最終調査地点を決定した。

#### (2) 調査開始前

移動土塊内には開口亀裂が随所であり、降雨や余震時は変動の有無を確認しながら作業を進める必要があった。日本工営（株）より提供された情報をもとに担当各社が調査箇所に直接関係する不安定土砂の有無、亀裂位置を確認し、変位計設置の必要性について検討した。

#### (3) 調査実施時

調査地点背後には処理仕切れない倒木や急崖があり、降雨・強風・余震時の2次災害を防ぐため、

斜面の点検・倒木の傾斜に留意し調査を行った。

11月1日には、ばらまき型傾斜計が移動土塊上に設置され、変位状況とこれに基づく現場作業上の警戒エリアの情報が提供されるようになった。



写真8 調査地点背後の滑落崖の確認

#### (4) 降雨時の作業休止決定

降雨時には、日本工営(株)担当者と現地を確認し作業の休止について検討した。

10月27日(土)には、降雨により現場へ通じる道路で沢水の増加と濁りが生じたため、作業休止を決定した。調査員の待避を確認後、監督員に待避完了の報告を行った。幸いなことに降雨や余震による作業休止は一度だけであった。

### 10. 情報共有など

#### (1) メールによる情報共有

現場期間中は、関連業務との連携を図るため調査全体の工程表を作成し、作業箇所や進捗状況を共有した。毎週金曜日に2週間分の情報を更新し、監督員及び関連各社にメールで配信した。

#### (2) 監督員への報告

調査会社全体の作業内容と翌日の予定をとりまとめメールにて報告した(表2)。また休日作業時は、各社の現場入場及び現場退場を確認し監督員に電話とメールにて報告を行った。

表2 実際に使用した工程表(一部分)

日付	22	23	24	25	26	27	28
曜日	月曜日	火曜日	水曜日	木曜日	金曜日	土曜日	日曜日
BW-1* (55m)	掘削			検尺			
BW-1 (65m)					移設	掘削	
BW-7* (50m)	掘削						
BV-1* (70m)			搬入	搬入	搬入	仮設	
BW-2 (35m)	掘削	掘削	掘削	掘削	掘削	掘削	検尺

#### (3) 連絡会議

作業を円滑に進めるため、設計・施工・調査3者による連絡会議を毎日行い、以下の内容について協議を行った。

- ・進捗状況と翌日の作業予定の報告
- ・運搬路等の整備依頼
- ・運搬路・ポンプ・送水ホース等の配置の調整
- ・倒木処理、造成等に伴う制限の通知
- ・仮排水路施工に伴う制限の通知
- ・安全上の連絡事項(安全訓練の実施)

協議時間は10分~30分程度であったが、現場の一体感を形成するのに大きな役割を果たしたと考えている。

#### (4) 拠点設置

厚真町幌内マナビィハウス敷地内に調査拠点(スーパーハウス)設置し、コア保管及び現場管理事務所として使用した(写真11)。調査拠点設置は、発注者監督員の尽力と厚真町の厚意により実現したものである。この場所は現場に最も近い携帯電話通話エリアである。インターネット接続可能な拠点を得たことにより現場管理の能率が向上した。



写真11 調査拠点(電源は発電機を使用)

### 11. 調査の進捗と完了

関係者の協力を得て作業は順調に進み、最大11班が調査に従事し、実施可能な39箇所1600mの調査を終えたのは12月24日、撤去が完了したのは12月28日であった。

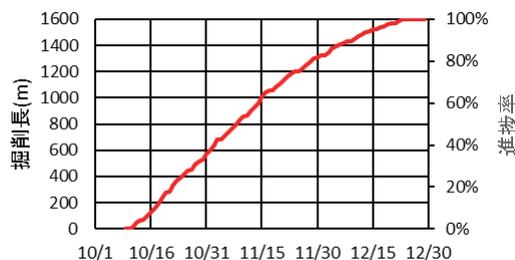


図2 掘削進捗図

現地条件が整うまで保留していた1箇所は1月22日に着手した。全ての調査を終えたのは2月5日であり、10月9日の現場着手から120日が過ぎていた。

## 12. おわりに

災害現場で作業を円滑に進めるためには「情報共有」が重要であり、連絡会議による「報告・連絡・相談」は、情報共有と現場の一体感を形成する上で重要な役割を果たしたものと考えている。

また、災害現場では二次災害の防止対策が通常の業務以上に重要であるが、単独で実現することは難しく、現場に係わる全ての者が協力して初めて実現可能であることを改めた実感した。

---

### 〈参考資料〉

- 1) 国土地理院撮影の空中写真（2018年9月11日撮影）に加筆  
平成30年度北海道胆振東部地震 垂直写真  
厚真東部地区 C6-0045
- 2) 北海道胆振東部地震の評価  
平成30年10月12日  
地震調査研究推進本部地震調査委員会より引用

## 現場での気づきと拘り

おぼら しげき  
小原 茂樹\*

K  
ey Word

地盤情報, コア観察, 土質調査, 軟弱地盤, 液状化, 経験

### 1. はじめに

地質・土質調査に従事し、かつての上司からどのような技術者になりたいかと問われ『自分でボーリングし、土質試験を行い、報告書を書きたい』と答えてから早30年以上になる。

私の担当業務は震災毎に大きく変わった。

入社から4年目に『'78 宮城沖地震』があり、ボーリングの助手から現場管理、現場代理人の業務についた。ボーリング機長としてレバーを握って『ボーリングする』という立場から、現場情報を発注者や設計者に伝える役割が変わった。

『'95 阪神・淡路大震災』後に、耐震点検・耐震対策に従事し、河川堤防の耐震対策に携わった。

そして『3.11 東日本大震災』後は、多くの被災現場を回り被害状況の把握、地盤調査、耐震対策の設計業務をフォローした。

これらの現場経験の中から、ネット社会の方々にも通じると思われる気づきの部分を紹介したい。

### 2. 調査ボーリングとコア

土質ボーリングにオールコア単価がないように、N値さえ解れば十分だという方もいる。私はコア重視の環境にいたこともあり、地盤調査や土質調査でもコアに拘っている。したがって自分が機長になれなかった分、ボーリング機長には常に敬意を払っている。

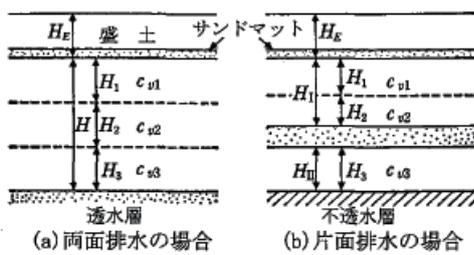
助手時代は軟弱地盤のコアは無水掘削で採取されたものが大半だったが機長の背中を見て『如何にきれいなコアを採取するか』を考えていた。コア観察に従事する中、新たな上司から『コアの表面を削り、コアを割って深部のコアで土質名を特定しろ』と言われ、きれいに採取されたコアの表面を削って乱す

ことへの反発と深部を観察することが正確な地盤情報を提供するための正しい行為だと納得するまで葛藤した記憶がある。

現在は地盤調査、軟弱地盤調査でもビニール内蔵のエラスティックチューブ（コアパック）でコア採取されることも多く、乱れの少ないコアを目の当たりにする機会が多い。容易にコア観察ができ、正確な地盤情報の提供に役立っていると思う。しかし、コアパックを用いる際には送水を行うため、コア採取以浅をケーシングで保孔することが多く、掘進中の孔内水位の変化と孔壁の経時変化情報は得難くなっているように思う。昔はボーリング機長から泥水で抑えた孔壁がその後の掘進作業で崩壊し、ジャミングしそうになったという話を聞いたことがある。地盤の評価や土質定数を設定する際に、ボーリングの孔壁変化も一つのヒントになると考えている。また、同じ地盤でも無水掘削で採取したコアとコアパックのコアでは見た目が違うことにも留意し、柱状図にはコアの採取方法を記載しておくことも重要と考える。

私がコアへの拘りが強くなったのは軟弱地盤解析結果と動態観測結果の整合を図ろうとした時期からである。特に圧密沈下時間は軟弱地盤解析<sup>1)</sup>等では粘性土は圧密沈下層、砂・砂質土および砂礫層は排水層と区分される。排水層は次の標準貫入試験までの50cm間に潜んでいる可能性があり、圧密沈下対象層の層厚にも大きく影響するのでコア観察に拘っている。

\*株式会社 復建技術コンサルタント 調査保全部 技術一課 副技師長



解図 5-7 圧密層の区分の例

東北地質調査業協会では発注者側（宮城県）主催の技術講習会でコア観察実習を行っている。一般職の方も含まれているためコアは勿論のこと、柱状図にも接する機会のない方もいる。地盤調査の周知のため、設計の基本となる地盤情報の重要性を再認識していただける貴重な機会なので、協会には今後も継続していただくことを願っている。

### 3. 液状化現象と液状化対象層

液状化を対象とする現場にも多く携わった。

『'95 阪神・淡路大震災』後の耐震点検・耐震対策では、2つの大きな経験をした。

一つ目は『液状化する地盤を疑似体験』した。河川堤防の耐震対策として『サンドコンパクションパイル工法』を施工した堤内側の水田で液状化時に視られる『噴砂』が確認された。わずかな手持ち資料が残っているだけで、貴重な噴砂の記録写真は無いが、発注者の担当課長に液状化地盤であることを改めて納得していただいたことを思い出す（図-3.1）。

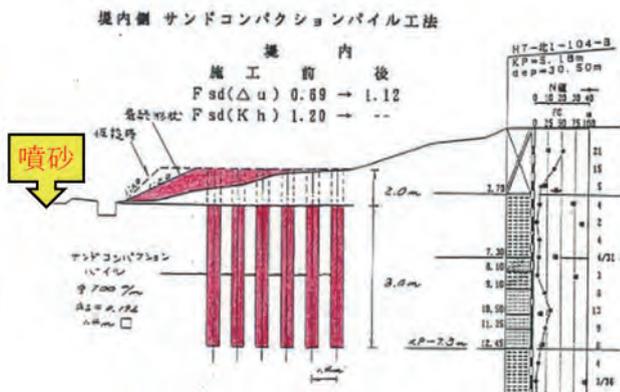
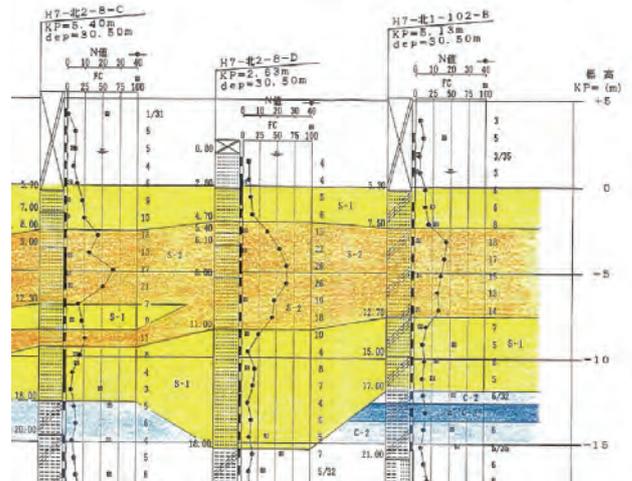


図-3.1 対策工と噴砂発生位置概念図

二つ目はドレーン系の対策工の検討にあたり、細粒分50%以上を非液状化層として対策工の下端深度とした記憶がある。当時、N値10以下の緩い砂は液状化するという先入観が優先したもので、現在の判定基準には合致していない。

しかし、ここではN値や土質特性の適切な判断が如何に重要かを再確認した（図-3.2）。



凡 例

土質区分	N値の範囲	記号	備考
堤体		B n	
粘性土	$N \leq 4$	C-1	軟弱な層
	$4 < N \leq 6$	C-2	軟弱な層
	$6 < N < 20$	C-3	
砂質土	$N \leq 10$	S-1	軟弱な層
礫質土	$10 < N \leq 20$	S-2	

図-3.2 液状化検討モデル図

『3.11 東日本大震災』後には『'78 宮城沖地震』で被災し液状化対策（サンドコンパクション、以後SCPと表記）が実施された海岸堤防の追加検討業務を担当した（写真-3.1）。液状化対策後の追跡調査ではN値4程度の砂地盤がSCPによりN値12程度になり、N値12以下の箇所では細粒分が多かったことが報告されていた。



写真-3.1 昭和53年 宮城沖地震被害状況<sup>2)</sup>

『3.11 東日本大震災』では震災後のN値から、東日本大震災で宮城沖地震より大きな地震力を経験したにもかかわらず、液状化被害が軽微であったことを勘案すると、図-3.3に示すSCP工法による地盤改良効果があり、現況の砂層は改良当時の地盤強度を有していると判断された。

『3.11 東日本大震災』ではSCPの杭間の液状化により、側溝脇の噴砂や亀裂が確認された。

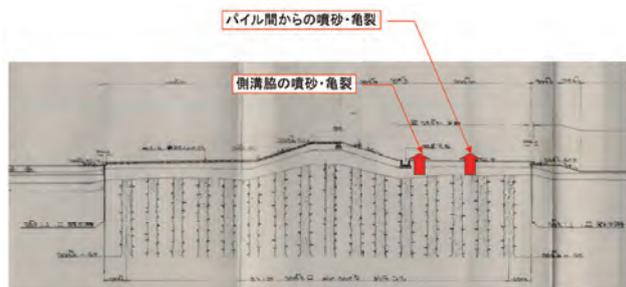


図-3.3 SCP工法概念図<sup>2)</sup>  
 【宮城県沖地震被害の復旧について手樽地区より抜粋】に噴砂箇所追記

この一連の追跡業務では、経年変化により何がどの程度変わったのか、定量的な検討の必要性を改めて確認させられた。

液状化対象層の判断で、砂礫層が液状化対象か否かの問合せに対応したことがある。砂礫層は平均粒径が大きく、地震時に過剰間隙水圧の上昇が考え難いという定性的な説明で納得が得られず、定量的な説明を求められて実施したものである。液状化対象層は道路橋示方書Ⅳ等に示されているように平均粒径D 50や10%粒径D 10で判断する。一般に液状化検討はN値との関係を重視するため標準貫入試験試料を用いた粒度試験結果から対象層か否かを判断する。この中で平均粒径D 50に着目し、近傍の橋台基礎掘削土を用いて粒度試験を行い、その結果から液状化対象外層と特定した。



写真-3.2 粒度試験対象土状況

発生土の『地盤材料の粒度試験』を実施し、試験結果を土質材料（75 mm以下）と地盤材料（125 mm以下）にわけて図-3.4の粒径加積曲線に整理した結果、地盤材料は平均粒径（50%粒径）D 50は20.7907 mmであった。

道路橋示方書・同解説Ⅴ耐震設計編<sup>3)</sup>では液状化の判定を行う必要がある土層条件のうち、3)平均粒径D 50が20.7907mmとなるため、液状化判定を行う必要がない土層に区分される。

3) 平均粒径が10 mm以下で、かつ10%粒径が1 mm以下である土層

この現場では、一般的定説を納得させられなかった自分自身の反省と、定量的説明の重要性を学んだ。

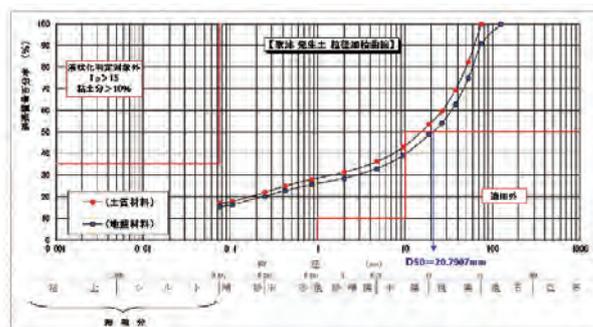


図-3.4 発生土の粒径加積曲線図

#### 4 施工につながる地盤情報

『3.11 東日本大震災』から6年後に千葉市の液状化対策工事の支援業務を担当した。液状化被害対策<sup>4)</sup>は官民一体となって実施する図-4.1の地下水低下工法で、現況の地下水位1.0 mを3.0 mまで低下させて非液状化層を増加し、液状化被害を抑止する工事であった。

工事監督支援業務のため、違った立場から現場に接することとなった。工事監督員のため、地盤情報を明らかにするというものではなく、出来上がった設計内容をスムーズに工事に反映させ、課題の解決と工程管理が求められた。

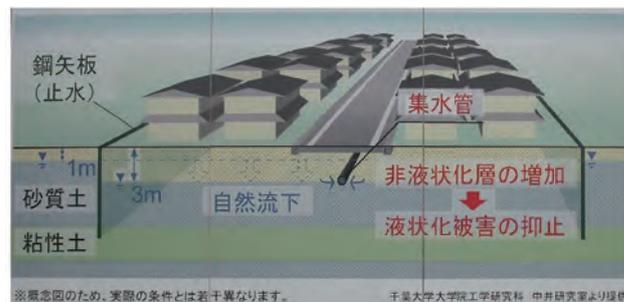


図-4.1 現場事務所に掲載した対策工法概要説明図

市街地の限られた用地でボーリング調査を行っていることや、浚渫土砂の埋立地であることを勘案すると、想定外の難透水層が分布するリスクが懸念され、リスクの周知とリスク回避案が必要であった。

この業務では地盤調査と設計者との連携、さらに施工段階の設計者のフォローの重要性を痛感した。単に調査屋に留まることなく、広い視野を持つこと、何より事業を進めるうえでの地元説明会や地元対応の重要性を学んだ。

これらは後輩の方にも必要な部分である。

### 5. 液状化層の孔内水位

つい最近、ネット検索で『道路土工分野の技術基準と維持管理』<sup>5)</sup>を見つけた。この中に盛土内に水位があり、地下水位以下の盛土材およびサンドマット層が液状化した事例が掲載されていた。私はこの事例の地盤調査を担当した。

現場の石巻市は周辺が古生層の粘板岩分布地で、盛土の表層処理には一般にグラベルマットが用いられる。地元の常識に左右されずに一般盛土とサンドマットを識別し、盛土内の水位を柱状図に記載していたこと、さらに柱状図のコア鑑定者に自分の名前を見つけて改めてコア判定の重要性を痛感した(図-5.1)。

### 6. おわりに

インターネットを駆使することで地盤情報が入手でき、UAVにより容易に現地の微地形が把握できる時代である。調査対象地の全景写真を半日かけて対岸からフィルムカメラで撮影した時代とはけた違いである。

ただ、不可視の部分を探るにはボーリングに頼らざるを得ない。ボアホールカメラで覗くことはできるが、コア観察、指による感触、有機臭の有無の確認はできない。少しコア観察に時間もかけても良いと考えている。

地盤情報を速く伝える技術は進歩しても、若い技術者には経験豊富な先輩のアドバイスに耳を傾ける余裕と、より正確な地盤情報を伝えるための気づきの部分を持ってもらいたいと願う。

私自身も、技術士の指導をいただいた大先輩から問われた『幼稚園児に液状化を説明してみなさい』という課題に取り組んでいきたい。

(参考文献)

- 1) 社団法人日本道路協会：道路土工 軟弱地盤対策工指針(平成24年度版), 平成24年8月
- 2) 宮城県沖地震災害の復旧について 手樽地区
- 3) 公益社団法人日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編、平成29年11月
- 4) 千葉市 液状化対策  
<https://www.city.chiba.jp/toshi/toshi/shigaichi/documents/iso3seibikeikkausyo.pdf> (2020年2月10日現在)
- 5) 国立研究開発法人 土木研究所  
[https://www.pwri.go.jp/caesar/lecture/pdf08/lecture\\_02.pdf](https://www.pwri.go.jp/caesar/lecture/pdf08/lecture_02.pdf) (2020年2月10日現在)

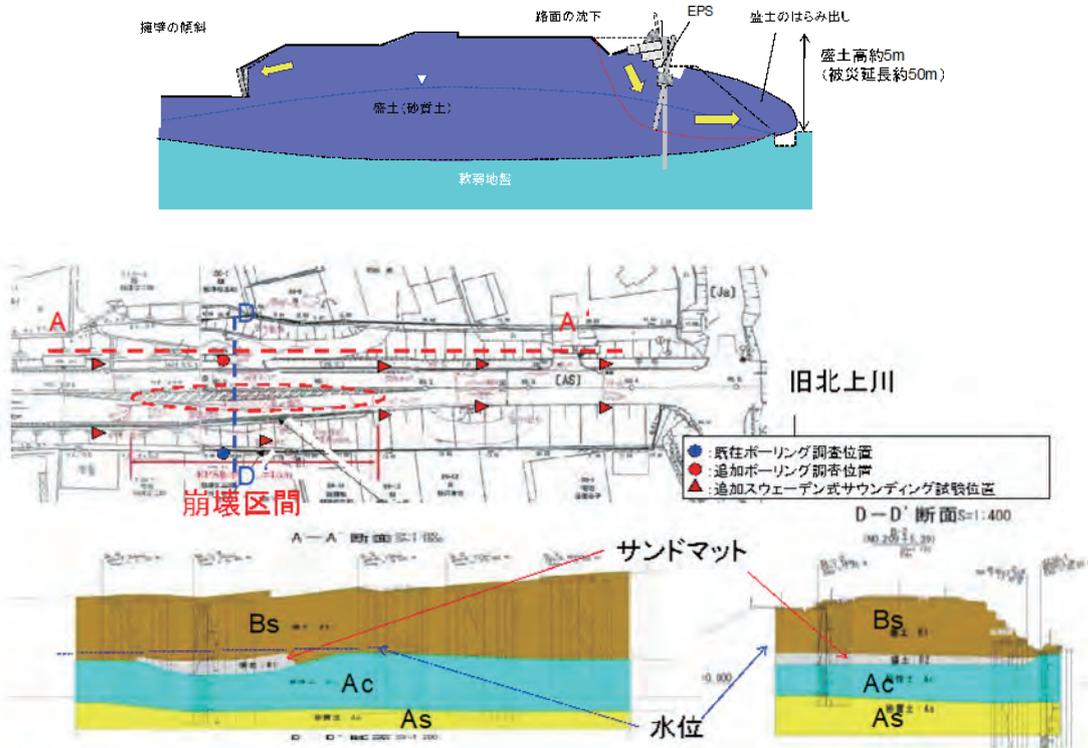


図-5.1 地下水位以下の盛土材及びサンドマット層の液状化に関する調査事例

# 各地の博物館巡り

富山県富山市

## 富山市科学博物館



全景

### はじめに

富山市科学博物館は、富山の自然の科学的な視点による紹介を中心として、展示、普及教育、調査研究、収集保管の各事業、プラネタリウムの投影、各種出版物の発行をしています。そして、富山市出身の田中耕一氏（化学賞）をはじめ、富山市ゆかりの利根川進氏（生理学・医学賞）、小柴昌俊氏（物理学賞）、梶田隆章氏（物理学賞）がノーベル賞を受賞されたことを記念したコーナーが設けられており、また関連してスーパーカミオカンデのリアルタイムモニターを見ることができます。



写真2 富山で採取された岩石などの展示



写真1 とやま・ノーベル賞受賞者コーナー

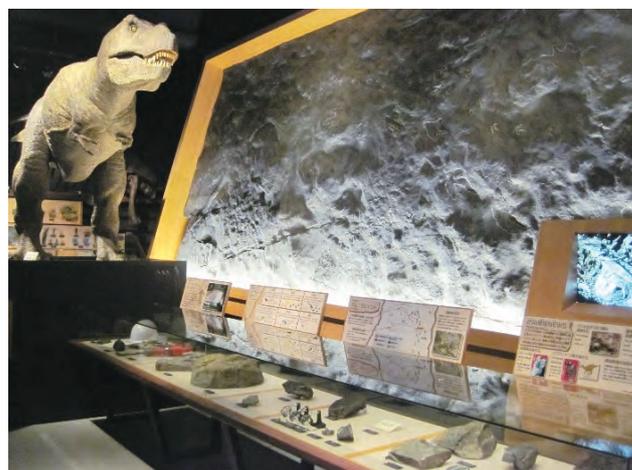


写真3 恐竜の足跡化石（レプリカ）と動く恐竜ロボットの展示

### 展示室の概要

この博物館では、1階に「とやま・時間のたび」、2階に「とやま・空間のたび」と「とやま・ノーベル賞受賞者コーナー」、「おもしろ実験広場」、3階に「宇宙へのたび」とプラネタリウムがあります。

#### (1) とやま・時間のたび

このコーナーでは、富山の大地をつくる地層・岩石や、恐竜の足跡化石をはじめとする化石標本を見ることができます。

#### (2) とやま・空間のたび

このコーナーは、標高 3,000m の立山連峰から

水深 1,000m に達する富山湾の自然を体験しながら学ぶことができます。動植物の標本が多く展示されています。



写真 4 富山の自然についての展示

### (3) 宇宙へのたび

このコーナーは、隕石を含む宇宙についての解説があります。そして、隕鉄で作られた流星刀一振りを富山市科学博物館が所蔵しています。この刀は、特別に展示されることがあります。

同じ階に、プラネタリウムもあります。



写真 5 隕石の展示

### (4) プラネタリウム

プラネタリウムは、直径 18m、水平ドームで座席数は 242 席あります。プラネタリウムというと星空鑑賞をイメージしますが、プロジェクタにより全天にさまざまな映像を投映することができるようになっています。プラネタリウムで音楽のコンサートが行われたり、全天周コンテンツコンテスト上映会が行われたりします。子供の参加型イベントとして、「どんぶり de プラネタリウム」が開催され、発泡スチロールのどんぶり内に描かれた絵をプラネタリウムに投影する試みが行われています。

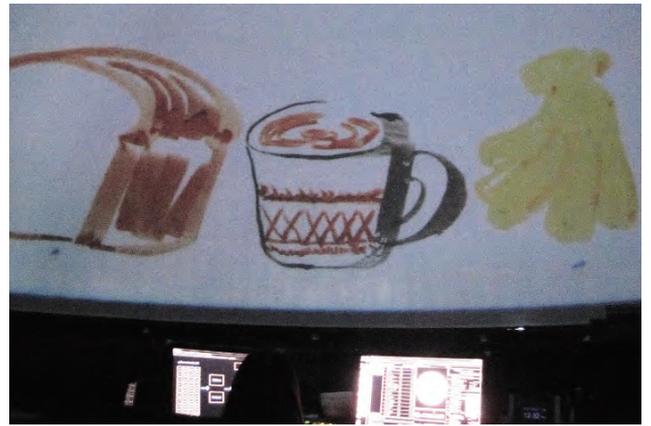


写真 6 「どんぶり de プラネタリウム」のイベントテスト中のプラネタリウムとオペレータ画面

## ご案内（お問い合わせ）

### ●住所・電話番号

富山市西中町一丁目 8 番 31 号（城南公園内）  
TEL 076-491-2123 FAX 076-421-5950

### ●観覧料

		観覧料	プラネタリウム 追加料金
大人	個人	530 円	210 円
	団体 (20 人以上)	420 円	150 円
高校生以下		無料	

観覧料には、プラネタリウム 1 回の観覧料を含みます。

### ●開館時間

9:00 ~ 17:00（入館は 16:30 まで）

### ●休館日

年末年始（12 月 28 日から翌年 1 月 4 日）  
臨時休館日

### ●ホームページ

<http://www.tsm.toyama.toyama.jp/>

[富山大学 辻合 秀一]

## 各地の残すべき

## 地形・地質

## 琉球石灰岩の自然壕（沖縄県）

## 1. はじめに

沖縄は太平洋戦争中、激しい地上戦（沖縄戦）が行われた地であり、戦時中～戦後の遺跡が多数残されています。ここでは、その内、住民、日本軍が壕として利用した石灰洞を紹介します。

## 2. 自然壕（ガマ）について

壕には、人工壕と自然壕の2種類があります。人工壕は、日本軍が指令部壕や病院壕として利用するため新第三紀島尻層群泥岩及び砂岩層等に造った規模の大きいものから、住民が自衛避難のため掘った小規模なものまで多数あります。

自然壕は琉球石灰岩（第四紀更新世に形成したサンゴ礁堆積物）中の石灰洞を利用した壕です。琉球石灰岩は、沖縄本島中南部等に広く分布しています（図1参照）。琉球石灰岩は、「うるま変動」と呼ばれる地殻変動に伴い隆起し、沖縄本島では階段状に標高20～160m程度の台地の上に帽岩しています。

琉球石灰岩中の石灰洞は沖縄の方言でガマ（洞窟、窪みの意）と呼ばれており、住民はガマに避難することで空襲等の戦火から身を守りました。

戦線が読谷方面より南下し地上戦が始まると、日本軍は南部へ後退しながらの交戦となりました。当初、住民の避難所として利用されていたガマの中には、日本軍が住民を追い出したり、軍民共用となる事で、惨劇の舞台となったものもあります。

また、ガマの中には米軍による爆弾、火炎放射等の攻撃の痕跡が未だに残っているものもあります。

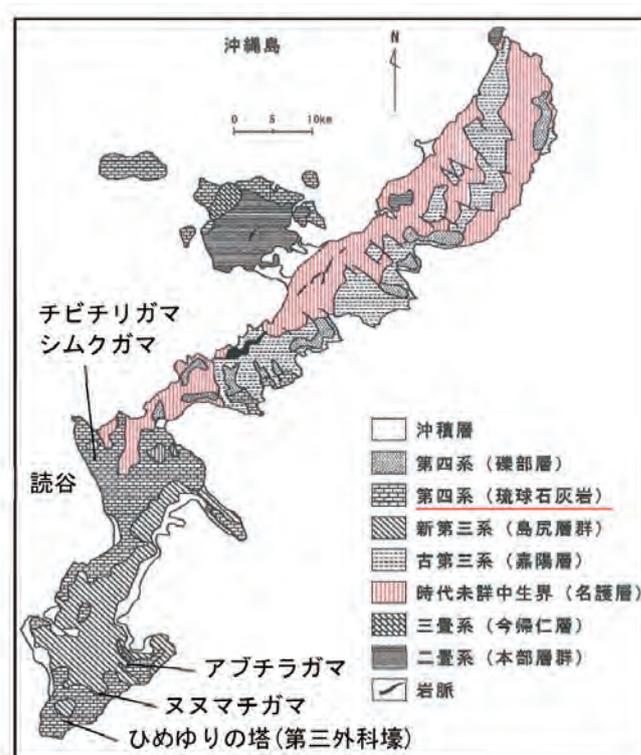


図1 琉球石灰岩の分布状況<sup>1)</sup>、主要な自然壕を追記

## 3. 平和教育としての利用と入壕者の保安

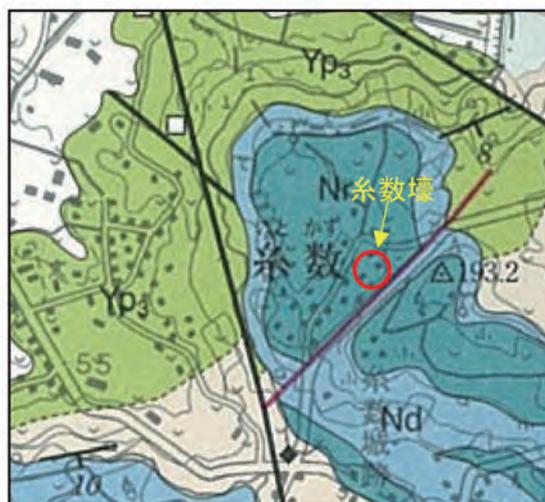
避難壕として利用されたガマは、戦後、放置されたもの（写真1参照）もありますが、戦争中の悲惨な歴史を後世に伝えるべく、慰霊、平和教育の場として利用されているガマもあります。

石灰洞の宿命として、溶食、浸食、落盤による地下空洞の拡大～陥没に至る過程は避けられない自然の過程です。避難壕として利用されたガマも落盤の可能性を内在しています。危険性が指摘され、立入り禁止措置が取られているガマもあります。

本稿では、平和学習の場として利用されており、かつ保安整備が進められているガマとして沖縄県



写真1 戦後、放置され、ゴミ捨て場として利用された自然壕の例



Nr, Nd: 琉球石灰岩, Yp3: 島尻層群泥岩,  
黒線: 断層, 黒赤線: 実存断層  
図2 周辺地質図<sup>2)</sup>

南城市字糸数にあるアブチラガマ（糸数壕）（図2参照）を紹介します。

#### 4. アブチラガマの紹介

アブチラガマは延長200m、地表からの深さは6

～17m、空洞幅12～30mとなっています。戦時中は、現存する洞窟のほぼ全域が壕として活用されていました。そのため、概ね洞窟内全体が見学ルートとなっております（図3、写真2参照）。

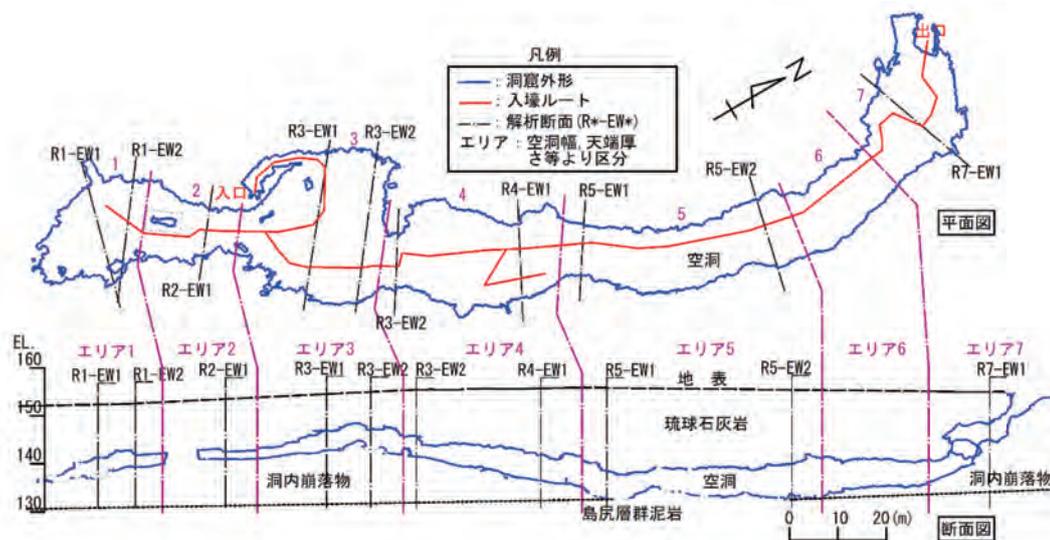


図3 アブチラガマ（糸数壕）の形状（平面、断面図）



写真2 アブチラガマ（糸数壕）の入口付近（エリア3）の状況。空洞幅が30m以上と本壕中で最も広い。天端岩盤の厚さは6～8mと薄く、後述の検討委員会において安全性の懸念が指摘された。

アブチラガマの整備は昭和50年代頃より有志の手により徐々に、階段の設置、補強等が行われ、現在は非常灯、無線設備等も整備されております。因みに、年間の入壕者は約11万人に上ります。

平成22年頃、「降雨後の壕への流入水量の増加傾向の指摘～壕の安全性への懸念」が平和ガイドより挙がり、入壕者の安全確保のため、壕の安全性について検討・評価する必要が生じました。

そこで、南城市の協力の下、岩盤工学の有識者による検討委員会が立ち上げられ、各種解析による天端（石灰洞の天井部）の陥没等に対する定量的な安全性の評価、および評価に基づいた入壕者の安全性の向上のための対策計画が立案され、現在整備が行われています（図4参照）。



図4 アブチラガマで行われた検討・評価の流れ

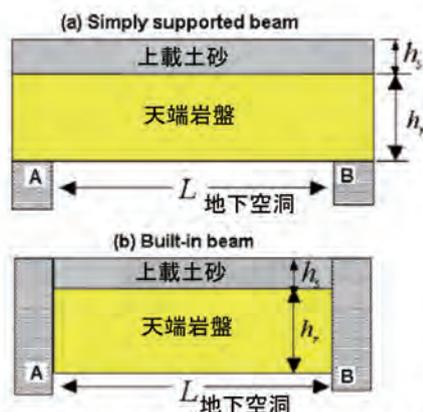
## 5. 自然地下空洞の安定性の評価方法

琉球石灰岩の地下空洞の安全を評価する方法は、藍檀(1989)<sup>3)</sup>、渡嘉敷(2011)<sup>4)</sup>、藍檀ら(2011)<sup>5)</sup>により、経験的・解析的方法が提起されています。

アブチラガマでは、地下空洞を深度、形状、天端の構成物等を考慮し、7つのエリアに区分し、エリア単位での評価を行っております（図3参照）。

## 6. 解析的評価について

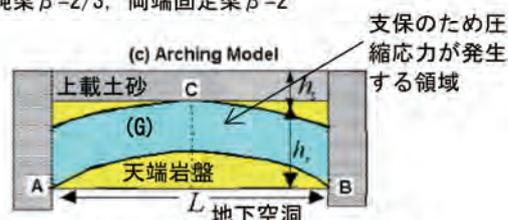
地下空洞の天端の支保については、渡嘉敷(2011)<sup>4)</sup>により、支保の状態を単純梁と両端固定梁、アーチ構造の3つのモードで定式化されています（図5参照）。解析的評価は、地下空洞がどのモードで支保されているのかを判定する方法で



○単純梁、両端固定梁での天端の限界空洞幅の算出式

$$\frac{L}{h_r} = \sqrt{\beta \frac{\sigma_t}{(\gamma_r h_r + \gamma_s h_s)}}$$

単純梁  $\beta=2/3$ , 両端固定梁  $\beta=2$



○アーチモデルでの天端の限界空洞幅の算出式

$$\frac{L}{h_r} = \sqrt{\beta \frac{\sigma_c}{(\gamma_r h_r + \gamma_s h_s)}}$$

L: 地下空洞幅, hr: 天端石灰岩厚さ, hs: 上載土砂厚さ, A, B: 地下空洞側部の岩盤, G: 支保のため天端岩盤内に発生する圧縮応力のアーチ構造

図5 解析的評価に利用する地下空洞の天端の支保のモード<sup>4)</sup>

す。判定は藍檀ら(2014)<sup>6)</sup>が提起した新しい岩盤評価手法「RMQR」を用いて行いました。

[解析的評価の大まかな方法]

(STEP1) 対象とする地下空洞断面の設定, 図化 (STEP2) 調査ボーリングコア等を利用した天端岩盤のRMQR値の設定

(STEP3) 室内試験で得た岩盤の引張・圧縮強度( $\sigma_{ti}$ ,  $\sigma_{ci}$ )に, STEP2で設定したRMQR値を利用し, 下式より算出される低減係数 $\alpha$ を乗じ, 解析箇所为天端の強度( $\sigma_{tm}$ ,  $\sigma_{cm}$ )を算定する。→Aとする。

$$\alpha = \alpha_0 - (\alpha_0 - \alpha_{100}) \frac{RMQR}{RMQR + \beta(100 - RMQR)} \quad 6)$$

$\alpha_0, \alpha_{100}, \beta$ : 実験定数

$$(\sigma_{tm}, \sigma_{cm}) = (\sigma_{ti}, \sigma_{ci}) \times \alpha$$

(STEP4) 図5中の天端の支保の式を用い, 解析断面の地下空洞幅(L), 天端の岩盤厚さ(hr)等で

天端が支保されるために必要な天端岩盤の強度 ( $\sigma_t, \sigma_c$ ) を各モード毎に算定する。→ B とする。  
 (STEP5) STEP3 と STEP5 で算出した強度を対比し、 $A \geq B$  となる支保のモードを把握する。

現地で確認された地下空洞の状態と各モードの限界線との関係を図 6 に示します。これより、アーチ構造のみで支保されている領域は、実際の地下空洞で安定と不安定なものが混在しており、将来的な不安定性の可能性が危惧される状態にあることがわかります。アブチラガマでは、エリア 3 が最も留意すべき状態にあります。

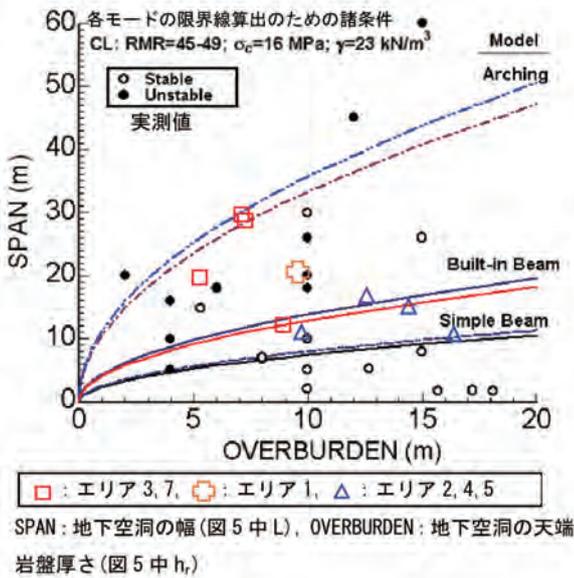


図 6 各モードで支保される地下空洞幅 - 天端岩盤厚さの関係の限界線と実測値との並記図<sup>4)</sup>へアブチラガマのデータを追記

### 7. 自然壕の保全について

平和学習に利用されている壕の内、人工壕は人為的に作られた壕であるため、安全対策には構造物を用いた剛的な対策が行われることが多い傾向にあります。

これに対し、自然壕は自然の状態を維持することが重要です。アブチラガマの保全整備においても、地元の方々よりなる管理団体は、壕内の当時の状態が失われる規模の保全対策は望まれませんでした。

これよりアブチラガマでは、安全性が危惧された箇所において、いずれ（何百年、何千年先かもしれません）生じるであろう陥没を止めるのではなく、入壕者の安全性の向上のための各種対策が選定され、実施されております。（写真 3 参照）



写真 3 安定性に懸念がある箇所（エリア 3）に設置中の入壕者を局所的な落盤から保護する施設（ただし天端の陥没には耐えられない）

### 8. むすびに

平和学習に利用されている自然壕はアブチラガマ以外にもいくつもありますが、様々な理由で、立ち入り禁止としている自然壕もあります。

戦争の悲惨さを後世に伝えるための戦跡として、このような自然壕は歴史的背景も鑑みつつ、可能な限り残し、活用してゆくことが望まれます。

[株式会社南城技術開発 井上 英将]

#### （参考文献）

- 1) 沖縄地学会,1997
- 2) 産業技術総合研究所：那覇及び沖縄市南部 2006
- 3) Aydan, Ö., 1989. The stabilization of rock engineering structures by rockbolts. Doctorate Thesis, Nagoya University, 204 pages.
- 4) 渡嘉敷直彦 (2011)：琉球石灰岩の工学的特性と琉球石灰岩盤および石積み構造物の安定性評価に関する研究，早稲田大学大学院 博士論文集 ,p221
- 5) Aydan, Ö. and Tokashiki, N. (2011) : A comparative study on the applicability of analytical stability assessment methods with numerical methods for shallow natural underground openings. The 13th International Conference of the International Association for Computer Methods and Advances in Geomechanics, Melbourne, Australia, pp.964-969.
- 6) Aydan, Ö., Ulusay, R. & Tokashiki, N. 2014. A new rock mass quality rating system: Rock Mass Quality Rating (RMQR) and its application to the estimation of geomechanical characteristics of rock masses. Rock Mech Rock Eng 47: 1255-1276.

# 日本原子力研究開発機構東濃地科学センター 土岐地球年代学研究所の概要と現況

いしまる つねあり  
石丸 恒存\*

**K**ey Word 高レベル放射性廃棄物, 地層処分, 深地層の科学的研究  
地質環境, 長期安定性, 年代測定技術, 加速器質量分析

## 1. はじめに

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構は、我が国唯一の総合的な原子力研究開発機関である。このうち、東濃地科学センターでは、高レベル放射性廃棄物の地層処分技術に関する研究開発の一環として、「深地層の科学的研究」を土岐地球年代学研究所と瑞浪超深地層研究所の2つの研究施設で進めている。

前号<sup>1)</sup>の「研究所からの報告」においては、東濃地科学センターの歩みと瑞浪超深地層研究所の概要について紹介した。本号では、土岐地球年代学研究所の概要と研究内容を紹介する。

## 2. 土岐地球年代学研究所の概要

岐阜県土岐市に所在する土岐地球年代学研究所は(図-1)、加速器やRI施設などといった施設を活用して、最先端の放射年代測定技術の開発、テフクロノロジーなどを含めた編年技術の高度化と年代測定手法の標準化を目指した年代測定に関する研究施設を有している。特に、加速器棟には、平成9年に導入した大型(5MV)の加速器質量分析装置(AMS)に加え、令和2年に小型(300kV)のAMSを新たに設置した。

地層処分の長期的な安全性を考える上では、地下深部の地質環境に影響を及ぼす可能性のある地震活動・断層運動、火山・熱水活動、隆起・侵食、気候・海水準変動などの自然現象の特徴や過去の履歴、影響の程度などを把握する必要がある。

このため、土岐地球年代学研究所では、年代測定に関する研究施設の整備を進めながら、「深地層の科学的研究」の一環として、上述の自然現象を

研究対象とした「地質環境の長期安定性に関する研究」に取り組んでいる(図-2)。



図-1 土岐地球年代学研究所の主な施設

## 3. 地質環境の長期安定性に関する研究

日本列島は、プレートの収束帯に位置しており、安定大陸に比べて地殻変動や火成活動が活発であることから、地層処分ではこれらの影響が小さい安定な地域や岩盤を選定した上で、そこに適切な多重バリアシステム(人工的な安全防護機能と地質環境が本来的に備える隔離性・包蔵性を最適に組み合わせた多層の防護システム)を構築するという対策をとることとしている<sup>2)</sup>。

地層処分の長期的な安全性を確保する上では、多重バリアシステムの性能が著しく損なわれないように地質環境が長期にわたって安定なサイトを適切に

\*国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 東濃地科学センター 地層科学研究部次長

選定することが前提となる。また、選定されたサイトでは、想定される自然現象による地質環境の長期的な変化を見込んで地層処分施設を適切に設計・施工（工学的対策）し、長期的な安全性を評価（安全評価）する必要がある。

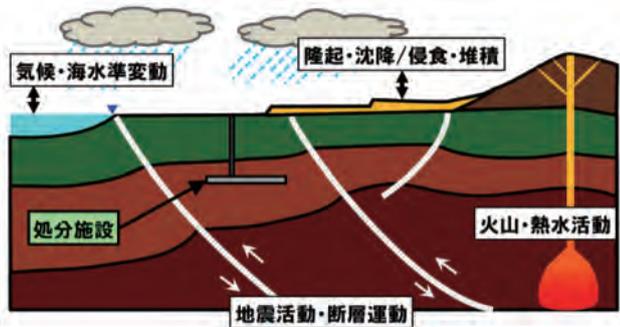


図-2 地質環境の長期安定性に関する研究で対象とする自然現象

サイト選定にあたっては、地層処分に関する「科学的特性マップ」<sup>3)</sup>にも示されているとおり、サイトやその周辺においてマグマの貫入・噴火や断層運動に伴う岩盤の破壊など、多重バリアシステムに著しい影響を及ぼす現象が発生する可能性を予め排除する必要がある。また、隆起・侵食などの広域かつ緩慢な地殻変動によって地形変化などが生じ地質環境（例えば、水理場、化学場、力学場、熱環境）が長期的に変化する可能性は排除することができないため、このような現象は適切に予測・評価することが重要となる。

このため、「地質環境の長期安定性に関する研究」では、①過去の自然現象の記録や現在の状況を調査するための体系的な技術の整備（調査技術の開発・体系化）および、②将来の自然現象に伴う地質環境の変化を予測・評価するための手法の開発（長期予測・影響評価モデルの開発）の2つの枠組みを設定している。合わせて、両者を進める上では、過去の自然現象の活動した時期や変動の傾向や速度をいかに精度良く把握することが極めて重要となるために、①②の信頼性向上のための基盤技術として、③最先端の機器分析装置による放射年代測定技術を含めた編年技術の高度化（年代測定技術の開発）に取り組んでいる<sup>4)</sup>。

現状の個別の研究課題については、「地層処分研究開発に関する全体計画（平成30年度～平成34年度）」<sup>5)</sup>に基づいて設定しており、地層処分の事業（サイト選定、工学的対策、安全評価）や安全規制に必要となる調査技術や評価手法の整備に重点を置いている。

## ① 調査技術の開発・体系化

サイトの選定プロセスにおいて、既知の活断層や第四紀火山は避けることが前提になるが、調査を進める段階において見つかった断層の活動性や将来の熱水活動などの可能性についての調査・評価が必要となる。

そのため、現状の個別の研究課題として、以下を設定している。

### ○断層の活動性に係る調査技術

ボーリング孔や坑道等の掘削によって地下で遭遇した断層には、活断層の調査で通常用いられる上載地層法を適用することが困難となる。このような上載地層法が適用できない断層の活動性を評価するため、断層岩や割れ目充填鉱物などの微細構造や化学組成、年代値などの物質科学的アプローチによって各種手法の実用化を進めるとともに、適用事例の蓄積を行っている<sup>例え6)</sup>。

### ○地殻構造の高空間分解能イメージング技術

地殻中部での微小地震の集中域や地殻深部に流体等が存在するような領域の付近では、将来の活動によって、地殻浅所まで破断が伸展することやそれに伴って地下深部の高温流体などが流入する可能性も考えられる。このため、地表からの調査段階において、地下深部の不均質構造（震源断層や高温流体・溶融体などの存否）を把握するための調査技術として、地震波トモグラフィ法や地磁気・地電流（MT）法の高度化などを進めている<sup>例え7)</sup>。

### ○深部流体の分布に関する調査技術

非天水起源の深部流体には、高温で低pH、炭酸化学種濃度が高いものが存在し、これらが流入する範囲では地質環境として好ましくない熱環境や化学場が形成される可能性が考えられる。このため、深部流体の分布について「地殻構造の高空間分解能イメージング技術」を活用した適用事例の蓄積とともに（図-3）、地震波速度異方性解析による深部流体の流入・移動経路に関する検討などを進めている。

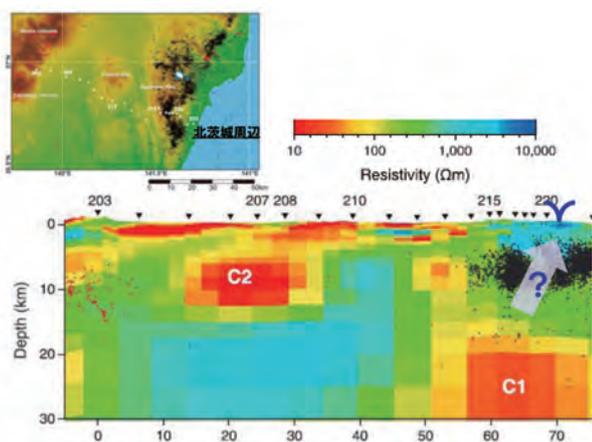


図-3 MT法による比抵抗構造の二次元断面の例<sup>8)</sup>  
 低比抵抗構造 (C1,C2) を検出。  
 いわき群発地震に伴う長期湧水は深部流体の存在 (C1) と関連している可能性を示唆。

## ② 長期予測・影響評価モデルの開発

地層処分多重バリアシステムの将来数万年にわたる安全評価を行うためには、自然現象を発端とする様々な地質環境への影響について、自然現象の発生する可能性と地質環境の将来的な変動幅を予測・評価する必要がある。その際、内在する不確実性を含めて示していくことも重要となる。

予測・評価についての方法論としては、過去から現在までの現象の変動傾向（一様継続性が前提）を将来に外挿する方法や、発生頻度や規模・範囲などに基づいて現象を確率的に扱う方法などが基本となる<sup>例え9) 10)</sup>。また、経験則に加えて、現象のメカニズムや地質環境の変化のプロセスを考慮した数値シミュレーションによる方法があるが、いずれにしても、科学的な信頼性の向上を図っていくことが重要となる。

ここでは、現状の個別の研究課題としては、以下を設定している。

### ○稀頻度自然現象による地質環境への影響の評価技術

2011年東北地方太平洋沖地震の発生に伴い、内陸地震が活発化した地域や1m以上の沈降を生じた地域も現れ、地下水位の低下や異常湧水といった水理場の変動も生じた。このような稀頻度の自然現象が地質環境の特性に及ぼす影響およびその復元性の把握は、安全評価にとって重要な課題となる。このため、地震に伴う異常湧水などの現象に係る国内外の情報・知見の整理を行うとともに、湧水発生のメカニズムや湧水と深部流体との関連性についての検討を事例的に進めている。

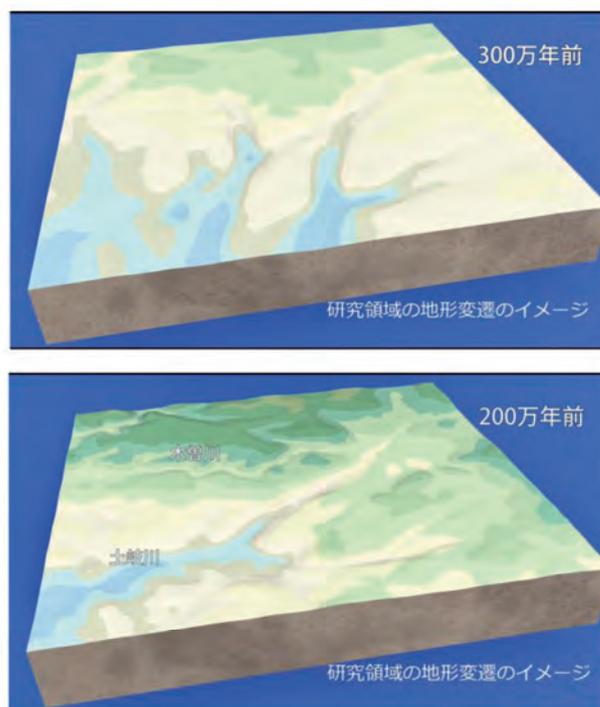
### ○時間スケールに応じた地圏環境変動の予測技術

地層処分における将来の地質環境の予測・評価は、過去の自然現象の偏在性や変動傾向に基づき、将来へ外挿することが基本となる。しかしながら、過去のイベントや変動パターン・規模に係る記録は、遡る年代や地域によって識別できる分解能が異なることから、予測結果に伴う不確かさも様々である。また、時間スケールごとの変動方向や速度が大きく異なる場合、その地域は変動の一様継続性が成立しておらず、単純な外挿による予測には大きな不確実性を伴うことになる。

平成29年度までに、山地発達プロセスの推定に係る堆積物の供給源を把握する後背地解析技術<sup>11)</sup>などの要素技術の高度化とともに、百万年ないしそれ以上の時間スケールで、過去から現在までの地質環境の変化を三次元的に表現できる数値モデル（地質環境長期変動モデル）の構築・可視化を山間部（東濃）（図-4）および平野部（幌延）を事例として進めた<sup>12)</sup>。

平成30年度からは、特にサイトによらず調査が不可欠となる隆起・侵食の予測・評価の信頼性向上に向けて、地形学的手法や各種年代測定手法などを用いた過去数百万年～数十万年前からの隆起量・侵食量を精度よく把握するための技術の整備を重点的に進めている<sup>13)</sup>。

また、新規火山や断層の発生に係る超長期の予測については、確率的なアプローチによる手法の開発を引き続き進めている。



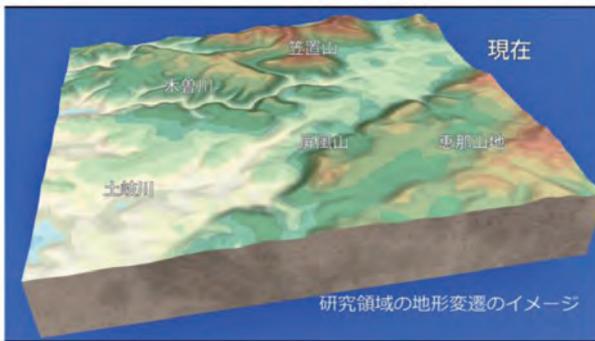
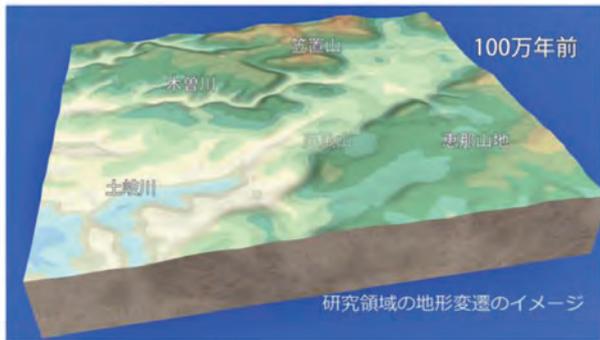


図-4 山間部を事例とした地形変遷の可視化の例  
動画は以下の URL で視聴可能。  
[https://www.jaea.go.jp/O4/tono/gsp/kashika\\_kaisetsu\\_tono.html](https://www.jaea.go.jp/O4/tono/gsp/kashika_kaisetsu_tono.html)

### ③ 年代測定技術の開発

過去の自然現象の活動した時期や変動の傾向や速度を精度良く把握することができれば、長期間における予測・評価の結果に対して、不確実性の低減につながり、信頼性を向上させることができる。そのため、放射年代測定法を含めた編年技術を整備していくことは特に重要となる。

土岐地球年代学研究所では、加速器質量分析装置(図-5)を用いて、より多くの宇宙線生成核種が測定可能となるように改良・整備を進めるとともに、レーザーアブレーション誘導結合プラズマ質量分析装置(LA-ICP-MS)(図-6)などの最先端の分析装置を導入し、様々な目的や状況に対応できるよう、各種の年代測定技術の開発・整備を進めている(表-1)。

表-1 土岐地球年代学研究所で実施している年代測定技術開発

対象装置	年代測定法	主な反映先	対象物質
加速器質量分析装置	$^{14}\text{C}$	断層運動	地下水 有機物
	$^{10}\text{Be}$	侵食速度	石英
	$^{26}\text{Al}$	侵食速度	石英
	$^{36}\text{Cl}^*$	地下水年代	地下水
希ガス質量分析装置	$^{129}\text{I}$	地下水年代	地下水
	K-Ar	断層運動	自生雲母 粘土鉱物
四重極型質量分析装置	(U-Th)/He	侵食速度	アパタイト ジルコン
光ルミネッセンス測定装置	OSL	断層運動	石英
		隆起速度	長石
電子スピン共鳴装置	ESR*	断層運動	石英 炭酸塩鉱物
			希ガス 質量分析装置
電子プローブマイクロアナライザー	CHIME	後背地解析	モザイト ジルコン
レーザーアブレーション誘導結合プラズマ質量分析装置	U-Pb	後背地解析	ジルコン
フィッシュトック自動計測装置	FT	侵食速度	アパタイト ジルコン

\*開発中

各手法には適用可能な年代範囲や対象物質に違いがあるため、表-1に示すように、複数の年代測定法を整備することによって、より幅広い年代範囲をカバーすることができ、また、様々な対象物質に対応することが可能となる。



図-5 加速器質量分析装置 (5MV)  
(NEC 社製 15SDH-2 system)



図-6 レーザーアブレーション誘導結合プラズマ質量分析装置装置 (TFS 社製 NEPTUNE-plus)

年代測定法のうち、四重極型質量分析装置 (図-7) による (U-Th) /He 法は国内では唯一測定が可能となっており、主に熱年代学的手法により、侵食速度や低温の熱水活動の時期の推定などに利用している<sup>14)</sup>。



図-7 四重極型質量分析装置 (ASI 社製 Alphachron)

また、LA-ICP-MS では、ウラン系列の放射年代測定 (U-Pb 法) によって岩石中に普遍的に存在するカルサイトなどの炭酸塩鉱物の形成年代を推定することを目的として、複数の研究機関 (海洋研究開発機構、(株)京都フィッシュン・トラック、東京大学、学習院大学) との共同研究を進め、試料の分析可能な領域を判別するための同位体イメージング技術などを用いて、国内で初めて炭酸塩鉱物の微小領域の年代測定に成功している<sup>15)</sup>。LA-ICP-MS はこの他にも、火山ガラスなどの主成分・微量元素同時分析によるテフラ同定手法の開発に活用している。

#### 4. 現状と展望

年代測定法の個別の手法については、大学や他の研究機関などでも行われているが、一つの施設内でこれだけ多くの年代測定ができる研究拠点は稀であると考えられる。試料のサンプリングから試料の分離・調整、各種の測定を1つの施設内で一貫して自ら行えることは、単に科学的知見のみならず、年代測定や化学分析に係る幅広い経験、ノウハウなどの蓄積のほか、データの不確実性や品質の取り扱いとそれに基づく編年の判断根拠などの知見を蓄積していくことが可能となる。

特に編年技術に関しては、放射年代測定で得られた測定値の精度や確度、年代値の地質学的な要件も含めた解釈など、幅広くかつ専門的な判断能力が要求されるため、基盤技術としての年代測定技術を通じて、外部への技術的な支援や人材の育成にも貢献したいと考える。

人材育成という観点では、これまでにも、大学や研究機関との共同研究の一環などを通じた学生の受入れや、応募による学生実習生や夏期休暇実習生の受入れを行ってきている。

今後とも、年代測定技術を基盤として、地層処分サイトの選定の各段階における調査に貢献するだけでなく、原子力施設の耐震安全性や災害要因となる自然現象の理解といった地球科学に係る統合的な研究拠点となるように、機構内外の関係箇所への協力や、大学・研究機関との共同研究などをさらに進めて、また人材育成の場としての役割も果たせるように、土岐地球年代学研究所を発展させていきたいと考えている (図-8)。



図-8 土岐地球年代学研究所の役割

〈参考文献〉

- 1) 笹尾英嗣：日本原子力研究開発機構東濃地科学センターの歩みと瑞浪超深地層研究所の概要，地質と調査，通巻154号，pp.67-72，2019
- 2) 笹核燃料サイクル開発機構：わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性—地層処分研究開発第2次取りまとめ，JNC TN1400 99-020，634p，1999
- 3) 笹経済産業省資源エネルギー庁：科学的特性マップ，2017  
[https://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity\\_and\\_gas/nuclear/rw/kagakutekitokuseimap/index.html](https://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/nuclear/rw/kagakutekitokuseimap/index.html)（2020年1月31日現在）
- 4) 笹石丸恒存ほか：地質環境の長期安定性に関する研究 年度計画書（令和元年度），JAEA-Review 2019-010，46p，2019  
<https://jopss.jaea.go.jp/pdfdata/JAEA-Review-2019-010.pdf>（2020年1月31日現在）
- 5) 笹経済産業省資源エネルギー庁：地層処分研究開発調整会議，地層処分研究開発に関する全体計画（平成30年度～平成34年度），44p，2018  
[https://www.meti.go.jp/report/whitepaper/data/pdf/20180329001\\_01.pdf](https://www.meti.go.jp/report/whitepaper/data/pdf/20180329001_01.pdf)（2020年1月31日現在）
- 6) 丹羽正和ほか：地球科学の原子力安全への貢献（その2）破砕物質の鉱物・化学分析と断層の活動性評価，日本原子力学会誌，vol.58，no.3，pp.167-171，2016
- 7) Asamori, K. ほか：Teleseismic shear wave tomography of the Japan subduction zone, Geophysical Journal International, vol.203, no.3, pp.1752-1772, 2015
- 8) Umeda, K. ほか：Triggering of earthquake swarms following the 2011 Tohoku megathrust earthquake, Journal of Geophysical Research: Solid Earth, vol.120, no.4, pp.2279-2291, 2015
- 9) 地質環境の長期安定性研究委員会編：日本列島と地質環境の長期安定性，日本地質学会，地質リーフレット4，ISSN 2185-8543，2011
- 10) 梅田浩司，ほか：地殻変動の一様継続性と将来予測：地層処分の安全評価の視点から，地学雑誌，vol.122，no.3，pp.385-397，2013
- 11) Shimizu, M. ほか：Provenance identification based on EPMA analyses of heavy minerals: Case study of the Toki Sand and Gravel Formation, central Japan, Island Arc, vol.28, no.2, 2019, doi:10.1111/iar.12295.
- 12) 日本原子力研究開発機構：平成29年度 高レベル放射性廃棄物等の地層処分にに関する技術開発事業 地質環境長期安定性評価確証技術開発 5か年報告書，112p，2018  
[https://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity\\_and\\_gas/nuclear/rw/library/2017/25-29fy\\_tyoukiannteisei\\_torimatome.pdf](https://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/nuclear/rw/library/2017/25-29fy_tyoukiannteisei_torimatome.pdf)（2020年1月31日現在）
- 13) 日本原子力研究開発機構：平成30年度 高レベル放射性廃棄物等の地層処分にに関する技術開発事業 地質環境長期安定性評価技術高度化開発 報告書，200p，2019  
[https://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity\\_and\\_gas/nuclear/rw/library/2018/30fy\\_choukianteisei.pdf](https://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/nuclear/rw/library/2018/30fy_choukianteisei.pdf)（2020年1月31日現在）
- 14) 末岡 茂ほか：低温領域の熟年代学の発展と日本の山地の隆起・剝削史研究への応用，地球科学，vol.69，no.1，pp.47-70，2015
- 15) Yokoyama, T. ほか：U-Pb dating of calcite using LA-ICP-MS: Instrumental setup for non-matrix-matched age dating and determination of analytical areas using elemental imaging, Geochemical Journal, vol.52, no.6, pp.531-540, 2018

### 2019年度 応用地形判読士資格検定試験 二次試験合格者 3名が決定

全地連理事会は2020年2月、本検定試験（二次試験）の合格者3名を決定しました。  
合格者は、資格登録手続きを経て「応用地形判読士」の称号が付与されます。合格者全員の登録手続きが完了しますと、「応用地形判読士」の全登録者数は109名になります。

### 全地連「技術フォーラム2020」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、2020年度は下記のとおり開催します。

#### 「全地連 技術フォーラム 2020 沖縄」 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：沖縄県地質調査業協会
- 後 援：内閣府沖縄総合事務局，沖縄県，那覇市
- 協 賛：国立研究開発法人土木研究所，沖縄地盤工学研究会
- 開催日程：令和2年11月4日（水）～5日（木） 2日間
- 開催場所：沖縄ハーバービューホテル  
〒900-0021 沖縄県那覇市泉崎 2-46  
TEL：098-853-2111 <https://oka-hvh.com/index.html>

#### ■プログラム概要

第1日目 11月4日（水）	第2日目 11月5日（木）
開 場 13:30	技術発表会 9:00～15:00（5会場）
開会式 14:15～14:30	
特別講演会 14:30～16:30	
技術者交流懇親会 18:00～19:30	

## 地質調査技士資格登録更新（令和2年度）実施予定

令和2年度地質調査技士登録更新は、下記の日程で実施する予定です。詳細が決まり次第、全地連のホームページでご案内します。更新対象者の方は、更新手続きをお忘れのないようにご予定ください。

### 令和2年度 地質調査技士登録更新 実施概要（予定）

- 更新対象者：  
平成27年度（2015年度）の「登録更新講習会」を受講した方  
平成27年度（2015年度）の「地質調査技士資格検定試験」に合格し、登録した方
- 更新手続き期間：令和2年（2019年）9月中旬～10月中旬（約1か月間）
- 更新方法：講習会受講形式またはCPD記録報告形式（任意選択）
- 講習会受講地および講習日：  
全国12会場 各会場で定める令和2年11月～翌年1月のうちの1日間
- その他：  
更新対象者の方には、8月下旬に更新案内はがきをご自宅宛に郵送する予定です。案内が万一届かない場合は、更新手続き期間中に全地連のホームページを直接ご確認の上、手続きを進めてください。

## 編集後記

第4次産業革命を迎え、あらゆるものをデータ化し、インターネット等を通して集約・分析・活用することで、新たな価値を生み出す時代となった。第4次産業革命のコアの一つであるIoTおよびビッグデータは、交通、気象、物流等の様々な場面で利用され、ユーザーの便益に繋がっており、地質調査業でもボーリングから得られた物理値の利活用がなされている。

一方、第4次産業革命のコアであるAIは、製造業が非製造業を上回るかたちで利用が促進されているが、地質調査業での利活用の事例は少ない。

第155号の小特集のテーマである「AIで地質調査はどう変わるか」は、地質調査業界に大きなインパクトとイノベーションをもたらす可能性のあるAIについて、AIが齎す社会、AIを活用するための業界としての課題、

その課題の中で利用した事例、を整理しておく必要があると考えた。

この小特集がこれからのAIの利用の動機に繋がり、地質調査業者の働き方の革命や、地質調査業従事者の高度な技術的判断の有用化が生まれることを大いに期待している。

ご執筆の依頼時には、年度末の多忙な時期と重なるため、小特集の趣旨について面談をさせて頂いたが、それぞれに明確なご意見があり、大変頼もしく感じたものである。

最後にご執筆にご協力して頂いた各位には、心から感謝すると共に御礼を申し上げる次第である。

(2020年4月 応用地質 谷川 正志記)

## 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、中川 直、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：向井 雅司 四国：大岡 和俊 九州：植田 雅典 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」 '20 年 1 号 No.155

2020 年 4 月 15 日 印刷

2020 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。

物探技術者待望の New Seismograph!

GeoSEIS-24 & GeoSEIS-48

geo5

## 操作性と機動性を追求した all in one 構造の土木物探用サイсмоグラフ

- 24bit、20 $\mu$ sec の高速・高分解能サンプリング
- リアルタイム感覚の高速性を実現したノイズモニター
- 業界初、ショットマーク信号無線伝送機能
- 直射日光下でも見易い高輝度カラー LCD 搭載
- 小型軽量・低消費電力（48 成分で 4.3Kg、待機時 0.6A）
- 24 成分 +2Aux を 48 成分 +2Aux に増設可能な柔軟設計
- データ収録は、取扱の容易な SD カード
- 各種ソフトウェアに対応可能な SEG-1、SEG-2 標準 format



\*本装置は、株式会社日本地下探査との共同開発品です。

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・工業計測機器
- 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



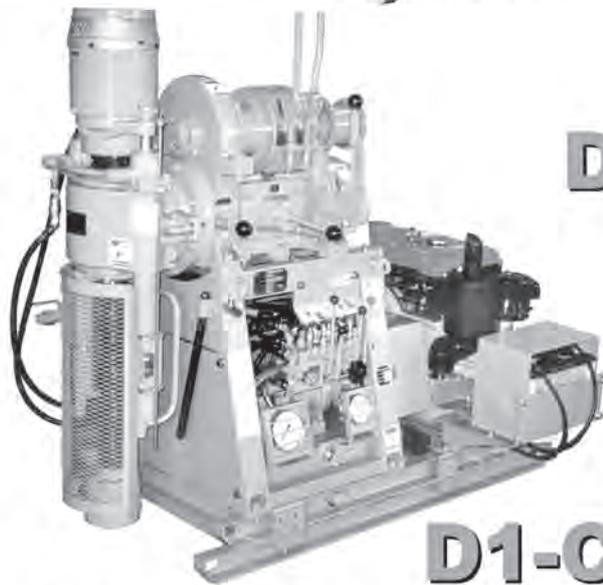
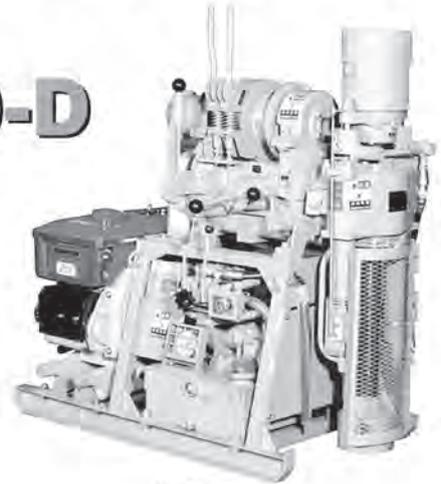
**TOHO**  
DRILLING EQUIPMENT

# 小型ボーリングマシン

**DM-03**

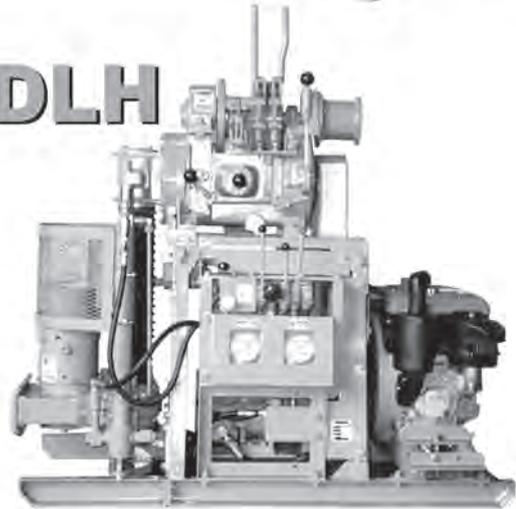


**D0-D**



**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	D0-DLH	D1-C
穿孔能力	m	30	100	100	280
回転数	min <sup>-1</sup>	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	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	315	475	550
寸法	H×W×L mm	960×550×1115	1200×660×1180	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155号