

# なみふる



2020.8

日本地震学会  
広報紙

No.  
122

Contents

- 2 地震学の火星への挑戦
- 4 AIが拓く新たな地震学研究
- 6 天災不忘の旅 震災の跡を巡る  
その15 東京駅警備巡查派出所：無用の長物からの大変身
- 8 コラム 地震計でみる新型コロナウイルスの流行に伴う  
人間活動の低下  
イベント案内 日本地震学会2020年度秋季大会と  
一般公開セミナーのお知らせ



地球から見た火星。詳しくは2ページをご覧ください。(ハッブル宇宙望遠鏡撮影 (c) NASA) ▲



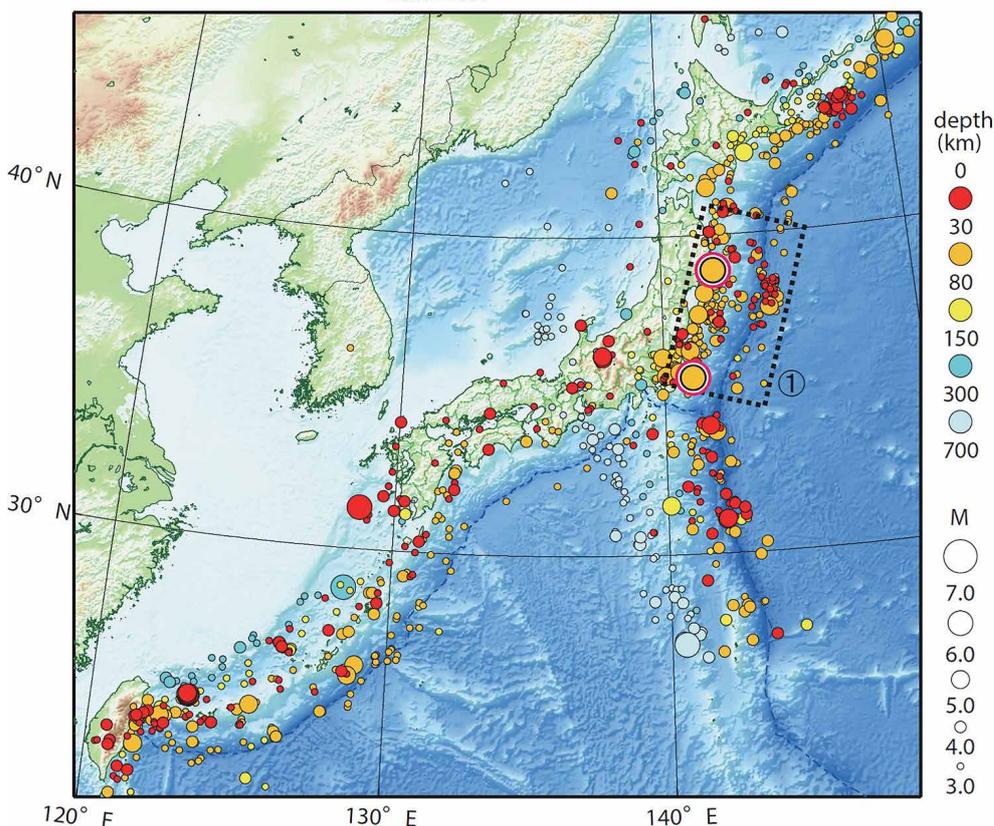
## 主な地震活動 2020年4月～2020年6月

気象庁地震予知情報課  
草野 利夫

2020年4月～2020年6月に震度4以上を観測した地震は22回で、震度5弱以上を観測した地震は1回でした。図の範囲内でマグニチュード(M) 5.0以上の地震は53回発生しました。

「平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震の余震活動」、「震度5弱以上」、「被害を伴ったもの(国内)」、「津波を観測したもの」のいずれかに該当する地震の概要は次のとおりです。

2020年4月1日～2020年6月30日 M $\geq$ 3.0  
地震回数 = 1441



### 「平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震」の余震活動

余震域(図中の矩形内)では、M5.0以上の地震が9回発生しました。今期間内の最大は4月20日05時39分に発生した宮城県沖の地震(M6.2、最大震度4)です。また、6月25日04時47分に発生した千葉県東方沖の地震(M6.1)では、千葉県旭市で震度5弱を観測しました。

### 世界の地震

今期間、M7.5以上の地震、あるいは死者・行方不明者50人以上の被害を伴った地震は発生しませんでした。

# 地震学の火星への挑戦

Report

1

九州大学大学院 辻 健  
パリ地球物理研究所 川村 太一

火星にも活断層があり、地震が発生している。今年になってこのようなニュースを聞かれた人も多いと思います。これは、2018年11月に火星への着陸を成功させたNASAの探査機InSight（インサイト）による地震観測の功績です。夜空に赤い点で輝く火星から、今も地震計の連続データが地球に届いているなんて、ちょっと驚きではないでしょうか？ここでは火星に設置された地震計で得られた成果の中でハイライトをいくつか紹介します。

## 火星に設置された地震計

火星は、地球よりも過酷な環境です。例えば昼と夜で温度が大きく変化し、強風や強い放射線の問題もあります。これらの過酷な環境から地震計を守るため、地震計は保護容器の中に入っています。地震計を設置した後、それを覆う遮蔽カバーを設置し、風による振動も防いでいます（図1）。この地震計の設置作業に、2ヶ月もの時間を要しています。

設置された地震計は、ゆっくりとした揺れ（低周波）を含む広い周波数帯の観測に利用する広帯域地震計と、小刻みな揺れ（高周波）の観測に適した短周期地震計の2種類です。さらに3方向（上下・南北・東西）の振動を記録でき、この地点の揺れの全体像が把握できます。地震計が設置されて以降、火星の地震・微動を継続的に記録することに成功しており、様々な火星のダイナミクスが明らかになってきました。

## 火星の地震

火星の地震は、Marsquake（マーズクエイク、火震）とよばれています。2019年12月31日までの約1年間に、約300回の地震活動が観測されています。そのうち、マグニチュードが2以上と比較的大きい火星地震は、40以上観測されています。これまでに記録された中で最も大きい地震は、マグニチュード4程度と推定されています。この最大の地震を含む2回のイベントは、山岳地帯のセラベルス・フォッセ地域（Cerberus Fossae）で発生している可能性が高いと考えられています<sup>1</sup>。この場所は、InSightの着陸地点から約1000kmの距離にあり、衛星画像のデータから数百kmにも及ぶ割れ目噴火地帯と考えられている場所です（図2）。この結果から、火星でも地球と同様に、断層型の地震が発生していることが強く示唆され、これまでの火星ダイナミクスの考え方が見直されつつ

あります。

## 火星の内部構造

火星では、大きく分けて、2種類の特徴の異なる地震波形が記録されていることが分かってきました<sup>2</sup>。(1) 振動の周波数が高く、P波やS波がはっきりしない波形、(2) 高周波から低周波までの広い帯域の振動からなり、P波とS波が明瞭に区別・観測できる波形です（図3）<sup>3</sup>。(1)の波形は1970年代にアポロ計画で観測された月の地震に類似していることが明らかになってきました（伝播にともなう波動の散乱が大きい）。一方、(2)の波形は散乱が比較的弱く、地球で見られる波形に近いことがわかりました。震源との距離を検討すると、(1)の高周波数タイプは比較的距離が近い場所で発生した地震で観測され、(2)の広帯域タイプは遠い震源から伝わって来た地震波と考えられます。これらの結果を総合的に考えると、火星は月に似た、地震波を強く散乱する、隕石衝突などで生じた細かい砂礫がゆるく堆積した地層（レゴリス層といいます）を含む乾燥した表層と、地球に似た含水構造の両方の性質を有している可能性があることが分かってきました。この2種類の波形がどのような震源や伝搬経路の構造的違いに起因するのかを正確に理解することは、現在の火星の環境や火星の内部構造を知る上で重要な情報源となると考えられ、引き続きデータ解析が行われています。

## 着陸地点の浅部構造

地震波形を用いた地下構造の推定は、地球でもよく行われています（地震探査）。

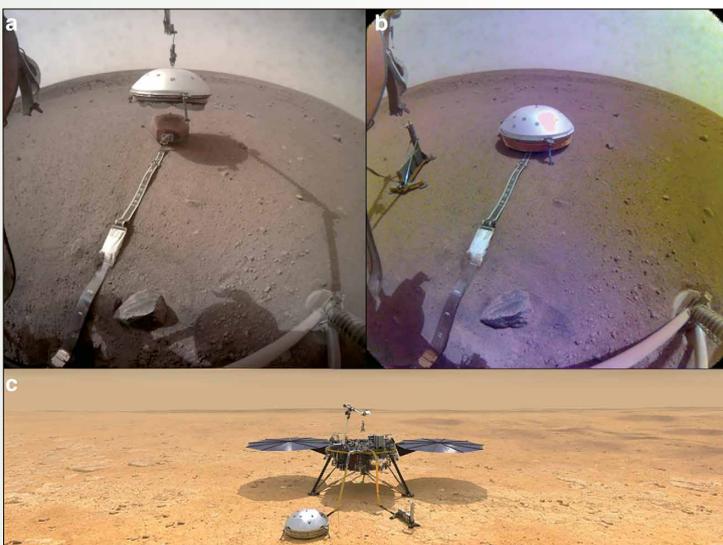


図1 (a, b) 地震計設置作業（遮蔽カバーを設置しているところ）、(c) 着陸船の全景<sup>3</sup>

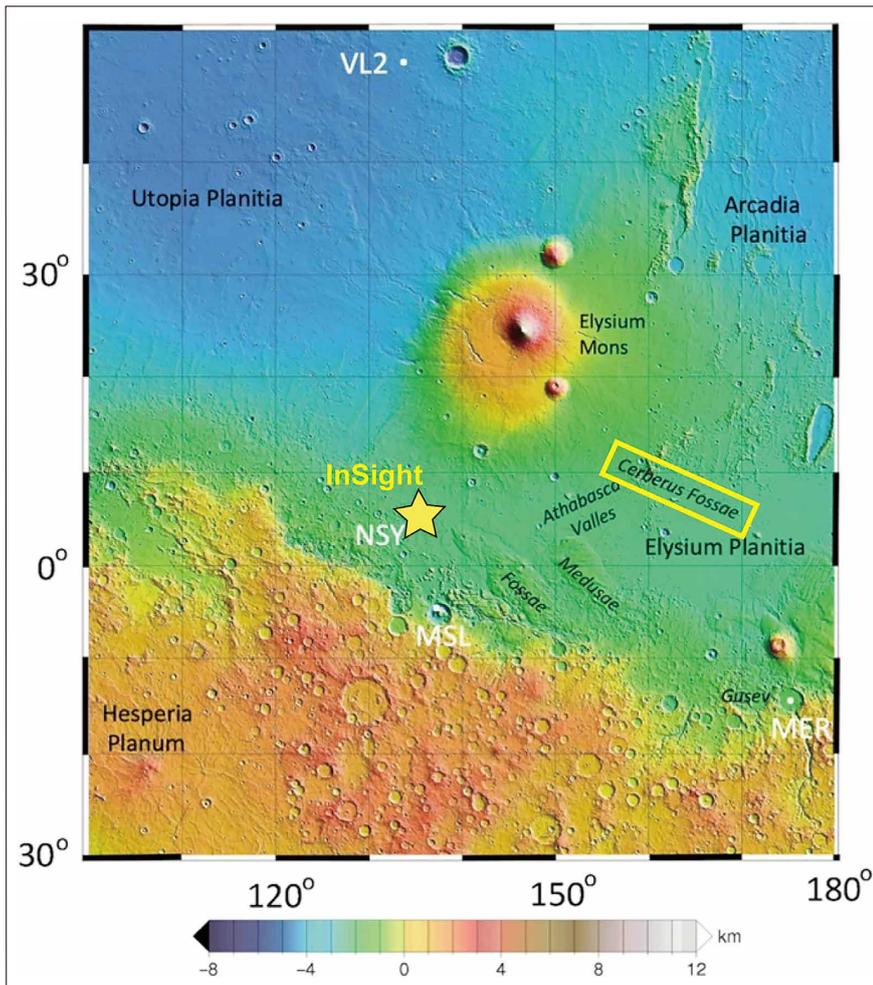


図2 InSight着陸地点周辺の地形図<sup>6</sup>。InSightの着陸地点(星印)と、大きな地震が発生しているとされるCerberus Fossae(黄色の四角)の場所を示す。地形図が広範囲であり、図中に距離を示すことはできないが、赤道で緯度経度10度(1グリッド)が592 kmである。

今回、InSight地震観測と、火星で頻繁に発生するダストデビルというつむじ風や、熱流量計を設置する際に生じる振動を震源と

して用いて、着陸地点周辺の深度10m程度までの浅部構造を推定することに成功しています<sup>4</sup>。この結果から、火星の表面は、

厚さ数mのレゴリス層に覆われていることが分かりました。これは火星で地震探査を実施した、初めての結果になります。また探査船で生じる微小な振動ノイズを震源として利用し、着陸地点直下の地層境界を可視化した結果も報告されています<sup>5</sup>。地球では、地下を調べる際に、多くの地震計や人工震源を利用することができます。しかし火星では、地震計や人工震源が限られており、利用できる情報を最大限に利用する試みがなされています。

## 惑星地震学の幕開け

地震学は、地球だけでなく、火星などの地球外惑星でも活躍できる学問分野となりつつあります。アポロ計画で設置された月震計の精度は高くありませんでしたが、InSightによって火星に設置された地震計のデータは、地球での観測と遜色のない精度を有しています。さらにこのような火星で記録された地震計データがWebサイト(例えば、<https://www.iris.edu/hq/sis/insight>)から全世界に公開され、誰でもデータにアクセスできる状況にあります。この火星の地震計データを解析することにより、地球の研究にもフィードバックできる可能性もあります。地震に興味をお持ちの皆様は、火星のデータにも興味を持っていただければと思います。また遥か彼方で頑張っている記録を続けている地震計に思いを馳せていただければと思います。

### 参考文献

- Giardini D *et al.* 2020, The seismicity of Mars. *Nat. Geosci.* **3**, 205–212
- Lognonné, P. *et al.* 2020, Constraints on the shallow elastic and anelastic structure of Mars from InSight seismic data. *Nat. Geosci.* **13**, 213–220
- Knapmeyer-Endrun, B. & Kawamura, T. 2020, NASA's InSight mission on Mars—first glimpses of the planet's interior from seismology. *Nat. Commun.* **11**, 1451
- Banerdt, W. B. *et al.* 2020, Initial results from the InSight mission on Mars. *Nat. Geosci.* **13**, 183–189
- Suemoto, Y. *et al.* 2020, Temporal variation and frequency dependence of seismic ambient noise on Mars from polarization analysis. *Geophys. Res. Lett.* **47**, e2020GL087123.
- Golombek, M. *et al.* 2020, Geology of the InSight landing site on Mars. *Nat. Commun.* **11**, 1014.

### 火星の地震計データ公開サイト

<https://www.iris.edu/hq/sis/insight>

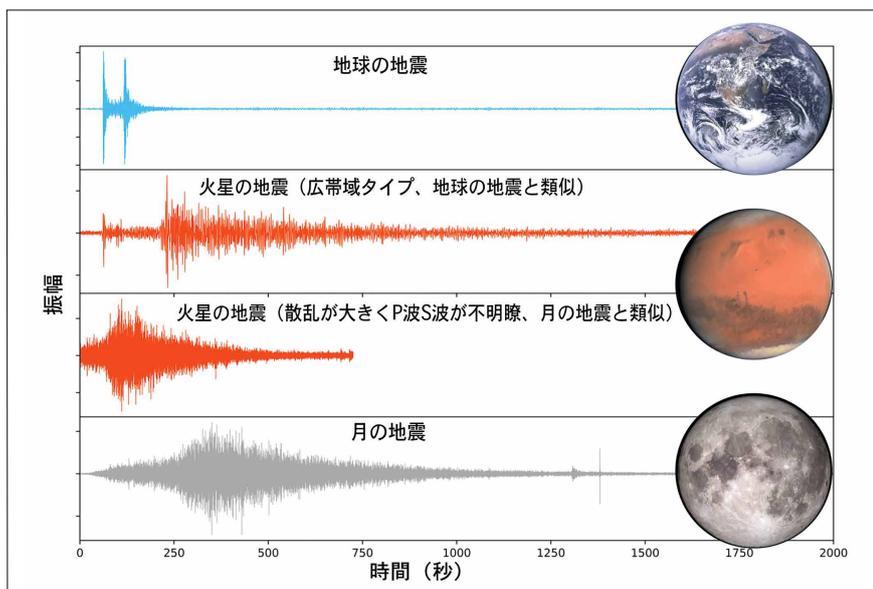


図3 上から地球で記録した地震波形。火星で記録された地震波形(広帯域タイプの地震と、散乱の激しいP波S波が不明瞭な地震)。月面で記録された地震波形。

# AIが拓く 新たな地震学研究

Report

2

国立研究開発法人 産業技術総合研究所 地質調査総合センター 内出 崇彦

様々な分野で革新をもたらすと期待されている人工知能（AI）は、地震学の研究の世界にも入ってきました。一体どのようにしてAIが地震研究や地震防災を変えていくのでしょうか。その一環として現在、日本全国の地下に働く応力を知るために大量の微小地震の発震機構解（断層面と断層のずれ動きの方向）を推定する取り組みを進めています。

## はじめに

ここ数年で、いろいろな場面で人工知能（AI）という言葉が聞くようになりました。この言葉のイメージは人それぞれかもしれませんが、例えば、画像に含まれる人や動物などをコンピュータが自動的に認識したり、人の話し声から言葉を認識したりする処理がよく知られています。史料のくずし字を読み取るのにもAIが活用されています（なみふる No.119参照）。これらは全て、複雑なデータの中から必要な情報を取り出しています。

AIで主に使われている技術は、機械学習と呼ばれるものです。よく行われているデータ解析は処理の方法が事前に決まっているのに対して、機械学習ではデータ処理の方法自体を、実際のデータの特徴によく合うように自動的に調整します。この調整のことを学習と呼び、学習のためのデータを学習データと呼びます。

機械学習の一種として、ニューラルネットワーク（直訳すると「神経網」、図1）と呼ばれるモデルを用いたものがあります。生物の神経細胞のつながりにヒントを得て提案されたものです。多数の層からなるニューラルネットワークモデルを使った機械学習を特に深層学習と呼びます。多層ニューラルネットワークには複雑なデータの特徴をよく表現できるという性質があります。そのため、深層学習によって、認識や分類といった複雑な処理ができるようになります。

## 深層学習の 地震学への応用

地震学においても、深層学習は使われ始めています。地震波形データは、各時

刻における地面の揺れの速度や加速度を計測した数値の並びなので、深層学習を導入しやすくなっています。

深層学習が活躍すると期待されている場面の一つが、地震が発生したときに、P波やS波がいつ地震計に到着したのかを地震波形データから読み取る処理（検測）の自動化です。人の目ではP波やS波の到達が読み取れる場合でも、ノイズや地震の波にいろいろなパターンがあるため、それら全てに対応した自動化システムを作るとは難しいです。自動検測は長年研究されてきていますが、未だにその結果は人手によるものより信頼性が劣ると見なされています。

それ以外にも様々な場面で深層学習の応用が検討されています。地震波形の特徴（例えば、普通の地震と低周波地震とノイズ）を分類する研究は数多く行われています。緊急地震速報では地震の発生位置やマグニチュードを素早く計算することが必要ですが、このような計算に深層学習を活用しようという動きもあります。マグニチュードや震源からの距離といったパラメータから各地の揺れの大きさをよりよく推定しようとする研究もあります。そのほか、余震の発生予測を目指している研究もあります。

## 微小地震の発震機構推定への応用

私たちの研究グループでは、地震が発

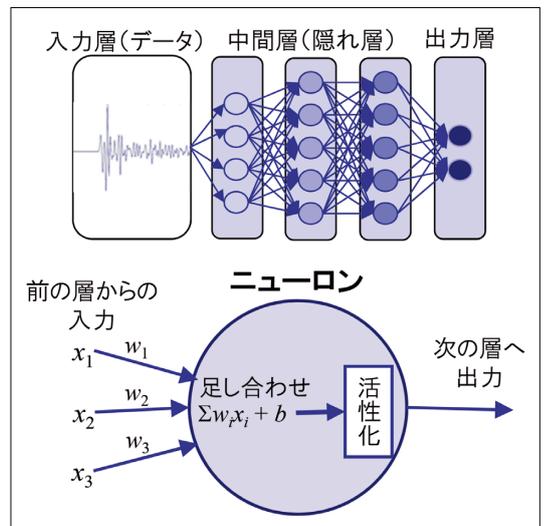


図1 ニューラルネットワークの例。(a)に示すように、ニューロン（○印）が層を成して並んでいて、各層の間はつながっています。各ニューロンは、(b)に示すように、前の層からの入力 $x_i$ に重み $w_i$ を掛けて足し合わせ、バイアスと呼ばれる数 $b$ を加えます。それに、活性化と呼ばれる処理をして、次の層に渡します。活性化の例としては、正のときはそのまま、負のときは0を出力するというものです。ここで、 $w$ や $b$ はデータに合わせて自動的に調整します。これを学習と呼びます。

生する可能性を評価したり、実際に発生した場合にどのように断層が破壊されるかを予測したりする研究のために、日本列島の内部にかかる力（応力）を調べ、データベースとしてまとめています（地殻応力場データベース：<https://gbank.gsj.jp/crstress/>）。世界においても、World Stress Map（世界応力地図；<http://www.world-stress-map.org/>）が取りまとめられており、応力の空間分布は地震やテクトニクスの中で注目されている研究課題の一つです。応力を知る手掛かりの一つが、数多く発生する微小地震の発震機構解というものです。地震は断層のずれ動きによって発生しますが、発震機構解は断層面の向きと断層がずれ動い

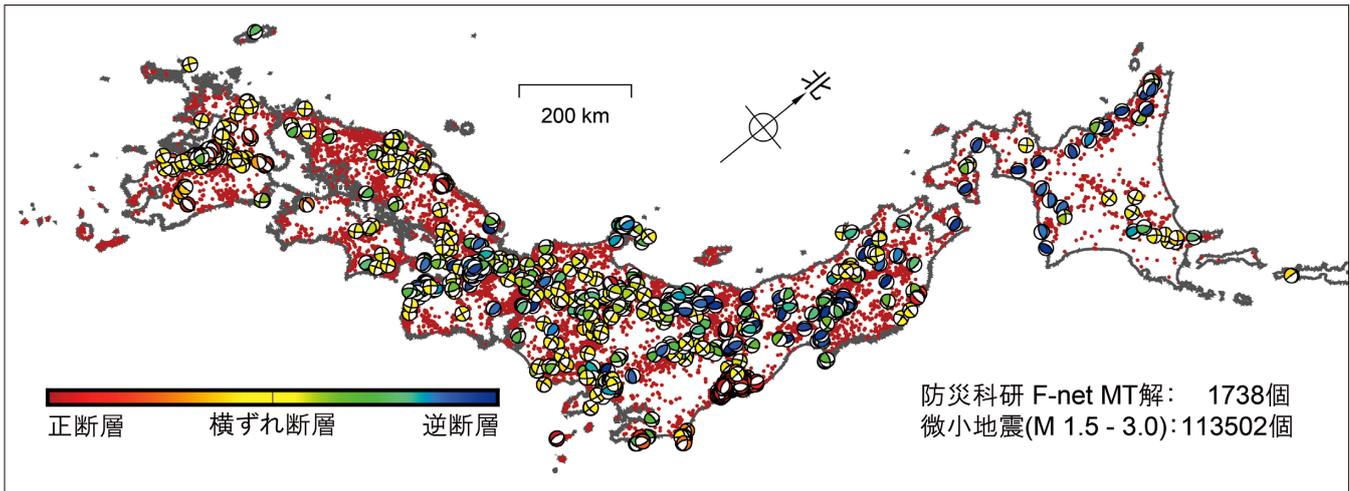


図2 2005年から2019年までに日本全国内陸部の20km以浅で発生した地震について、防災科学技術研究所 F-net MT解（ビーチボール）と微小地震（M1.5～3.0）（赤点）の分布の比較。微小地震はF-net MT解が求まっている地震（概ねM3.5以上）の100倍発生しています。赤点がビーチボールからはみ出ているところが、微小地震を解析することによって初めて応力場の推定ができるようになる地域です。

た方向によって決まるものです。ある向きの断層面がある方向にずれ動く微小地震が発生しやすいならば、それに対応した向きの応力がかかっていると考えられます。これまで、気象庁や防災科学技術研究所によって日常的に解析され、蓄積されている発震機構解を使って、日本列島における応力の方向が推定されてきました。しかし、このような日常的な解析はマグニチュード（M）3程度以上の地震に限られるという問題点があり、解析された地震が存在しない地域が広く残っていました。そのような空白域を埋めるには、より小さい地震の発震機構解まで求める必要があります。防災科学技術研究所のF-net MT解と呼ばれる発震機構解が解析されてい

る地震の数と比較すると、微小地震はおよそ100倍発生しており、F-net MT解の空白域にも多数分布しています（図2）。

微小地震の場合、「初動発震機構解」をP波の最初の揺れが上向きに動いているか、下向きに動いているかという「P波初動極性」を使って推定します（詳しくは、なるふるNo.118、5ページのコラム参照）。震源での断層のずれ動き方によってP波初動極性が決まります（図3）。逆に、P波初動極性が多くの観測点でわかれば、どのような向きの断層がどうずれ動いたかがわかるわけです。P波初動極性の読み取りは人によって行うことが多く、大変時間がかかります。例えば、私の研究グループでは、1人が1か月に100個程度の地震（それぞれ数十観測点）の初動発震機構解を求めるというスピードで処理をしています。そこで、微小地震まで含めた大量の地震を解析するために、深層学習によって読み取りの高速化を試みているところです。

気象庁によって読み取られた概ねM3以上の地震のP波初動極性の膨大な記録と、産総研で読み取った微小地震のP波初動極性の記録を利用して、多層ニューラルネットワークモデルに学習させます。それを使って、日本全国の微小地震のP波初動極性を自動的に読み取り、発震機構解を決定するという研究を現在進めています。

今後、このような研究成果を基にして、さらに細かい地域の応力の特徴を明らかにすることで、どこでどのような地震が発生する可能性があるかというシナリオ作り

に貢献したり、そのような応力場を作るテクトニクスを明らかにしたりしていきたいと考えています。

### これから

地震学にはまだまだAIを応用できる研究課題があると思います。それを多くの研究者とともに探している最中です。一方で、AIを使った研究には気を付けなければならない点もあります。まず、AIは何でもできる夢の手法として語られることもありますが、冷静にAIの実力を見極めることもとても大事です。また、AIには、結果を出してきた理由がわからないという「ブラックボックス」問題が知られています。経過を説明できないと災害に直結する情報の提供に使うのが難しくなってしまいます。これに対しては、XAI（eXplainable AI；説明可能なAI）の研究が進められており、これも地震学に取り込んでいきたいと考えています。地震波形から信頼できる情報をできるだけ吸い出して、地震研究や地震防災における判断材料を即座に豊富に提供できるようにすることで、これらの進歩に貢献していきたいと考えています。

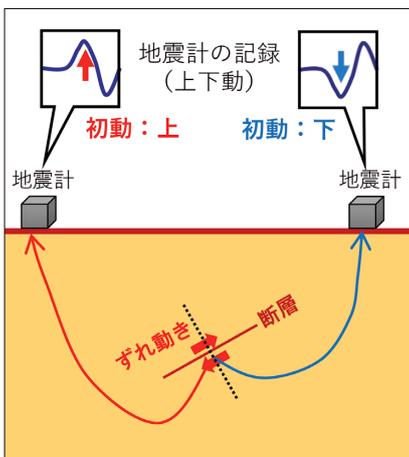


図3 P波初動極性と初動発震機構解との関係。震源と地震計を結んだ細線の矢印は地下で発生した断層運動（震源）から地震観測点まで地震波が伝わる経路を示します。発震機構解は、断層面と断層ずれ動きの方向を表します。断層がずれ動く先ではP波初動極性は「押し」（上下動で上向き）になります。

# てん さい わす れじ 天災不忘の旅

## 震災の跡を巡る

### その15 東京駅警備巡查派出所： 無用の長物からの大変身

Report

3

名古屋大学減災連携研究センター 武村 雅之

東京駅開業時、駅前広場に開設された東京駅警備巡查派出所。開業当時の東京駅は利用客がとても少なく、いわば“無用の長物”とも人々からは見られていましたが、関東大震災の折には多くの避難民が集い、耐震設計のため無傷であった駅舎は雨風をしのぐ場所となりました。派出所も尋ね人の張り紙が多く張られ、その役目を果たしました。派出所は戦後に博物館明治村へ移設されましたが、今も当時の出来事を思い起こさせます。

### SLで東京駅へ

前回、2019年の4月号で「その14」をお届けしてから早や1年がたちました。「その14」では、愛知県犬山市にある博物館明治村を取り上げて、園内の建物に数多くの関東大震災の記憶が眠っているという話をし、次回から具体的に事例を紹介するとの約束をしました。その約束がやっと果たせることになり、今回、「その15」としてお届けします。

博物館明治村に行かれた人なら誰でも乗ってみたいと思う人気者は、園内を走る蒸気機関車（SL）です。明治時代のSLと聞いて、皆さんがすぐに思い浮かべるのは、明治5（1872）年に新橋-横浜間を初めてSLが走ったということでしょう。その2年後の明治7年に英国から輸入され、実

際に新橋-横浜間を走っていたのがこの蒸気機関車12号です（写真1）。明治村のほぼ中央部にあるSL名古屋駅と北入口近くのSL東京駅間を3輦の客車を牽いて今も元気に走っています。明治村にあるもう一つのSLは蒸気機関車9号です。この機関車は明治45年に米国から輸入され富士身延鉄道を走っていたもので、日によってどちらかのSLが走るようになっています。終点の2駅では機関車の方向を変える転車台の操作も見られます。明治村はいつでも手軽に実物のSL体験ができる全国でも珍しい施設でもあります。

大正12（1923）年の関東大震災当時のSLは、明治村にあるものよりは新型だったかもしれませんが、ここでは、各建物を巡る第一歩として、被災地東京を訪れる気分で、SL名古屋駅からSL東京駅へ向かっ

てみることにしましょう。

### 陛下の駅の面目

SL東京駅に着くとそこは5丁目地区です（なみふる117号；その14の図1参照）。そのほぼ中央（60番地）に隅切り八角形の外形に化粧煉瓦を貼った東京駅警備巡查派出所があります（写真2）。一方、写真3は関東地震発生直後の東京駅の駅前広場の様子です。一旦ここに難を逃れ、座り込み、立ち話をする多くの避難民の中、よく見ると南口の前にこの派出所が立っていることがわかります。警官の姿は見えず戸は閉まっているようです。さらに写真4は、多少時間が経ってからの派出所の様子です。尋ね人の張り紙が所狭しと張られていることがわかります。



写真1 新橋-横浜間を実際に走った蒸気機関車12号（2015年5月撮影）。SL東京駅の転車台で方向転換をした直後の様子



写真2 明治村5丁目60番地にある東京駅警備巡查派出所（2017年8月撮影）



写真3 関東地震直後の東京駅の駅前広場の様子【北原（2010）より】



写真4 尋ね人の張り紙が所狭しと張られた東京駅警備巡查派出所【内務省社会局（1926）】

東京の鉄道は中央停車場がないままに大正期を迎えました。新しい中央停車場の建設は明治41（1908）年から本格化し、大正3（1914）年竣工、東京駅と命名され開業しました。その際、駅前広場を整備する中で、この派出所が生まれたのです。

できた頃の東京駅はまさに「陛下の駅」で、市民が多く活動する八重洲側は外濠に面していて入り口がなく、反対側の皇居に面した駅舎の中央には皇室専用の出入口や貴賓室が設けられていました。一般乗客の乗車口と降車口はそれぞれ南口と北口に分離して設置され、その距離は300m近くも離れていました。このため、開業当初は一般乗客のほとんどが、列車も電車もとまる新橋駅の方を利用し、大停車場は旅客もまばらで、駅員も尋ね回らなければ見あたらないありさまだったといえます。「こんな無用の長物をこしらえて……」というのが市民の偽らざる感想だったようです。

そんな東京駅が市民のために役立ったのが震災の時でした。「陛下の駅」の面目躍如といったところでした。

### 耐震設計の賜

駅舎は、日本の近代建築を切り開いた辰野金吾が設計した鉄骨煉瓦造三階建てで、地震に対してはびくともせず、地震直後から避難者を雨風から守る空間を提供しました。東京駅は火災も免れたために、当初、駅付近の避難者は3万人にも達しました。その後徐々に減少し、最後まで残っていた避難者150名が上野方面に移り、翌年2月下旬に避難所の役目を終えて元の中央停車場に戻ったのです。

東京駅舎のある地域は、もともと新橋付近から日比谷入江と呼ばれる海が侵入していた場所で、徳川幕府が成立した慶長年間に埋め立てられたところです。このため地盤が軟弱で周りに比べて揺れが大きくなります。そのような中、十分な基礎工事も含め辰野金吾による耐震設計は見事なものでした。

明治村にある東京駅警備巡查派出所は無傷の東京駅舎やそこに避難してきた人々の一部始終を駅前広場から見ていたに違いありません。その後、第二次世界大戦の空襲による被害の復旧で、駅舎はドーム部分の形が多少変わりましたが、平成19（2007）年から、外観を創建当時の姿に戻し、さらに全体を免震化する工事が行われ、平成24年に完成しました。写真5は

復原された現在の東京駅です。もちろん派出所は明治村に移築されているのでそこにはありません。なお、東京駅警備巡查派出所が明治村に移築されたのは昭和47（1972）年で、平成16年からは国の登録有形文化財となっています。

### 参考文献

- ・武村雅之、2018、『減災と復興—明治村が語る関東大震災』、風媒社、全213頁
- ・北原糸子、2010、『写真集関東大震災』吉川弘文館、全419頁
- ・内務省社会局、1926、『大正震災志写真帖』、全166頁



写真5 復原工事で元の姿に戻った東京駅（2018年1月撮影）

