

2（2）首都直下地震

「首都直下地震」総合研究グループリーダー 酒井慎一
(東京大学地震研究所)

はじめに

首都直下地震に関しては、『災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画（第2次）の推進について（建議）』の中で、「分野横断で取り組む総合的研究」の1つとして、位置づけられている。この総合研究は、前計画から始まった新しいカテゴリーで、「地震学・火山学的な見地のみならず災害科学的な重要性も鑑みて、複数の実施項目を横断する総合的な研究として推進する。総合的な研究を通して、専門分野の枠を超えた学際連携を現状よりも一層進め、地震学・火山学の成果を災害の軽減につなげるための方策を提案する。」とされ、他の8つの計画部会とは違った観点で構成される体制で研究が進められている。

第5章「研究を推進するための体制の整備」（2）分野横断で取り組む総合的研究を推進する体制の項では、「首都直下地震は、一旦発生すれば首都機能や我が国の経済活動全体に深刻なダメージを与える可能性が高い。想定される多様な震源について、発生メカニズムや発生可能性を評価する研究を進める。詳細な地盤構造や多様な震源モデルによる揺れの予測に、稠密観測データや地震史料の情報を反映し、新たな地震動予測手法の開発を目指す。また、複雑な地殻構造を用いた大規模数値シミュレーションに基づいて、地震動を高精度に予測する手法を高度化する。さらに、各項目の研究成果を有機的に結び付け、高度に集約化された社会環境下での防災リテラシー向上に資する総合的研究を実施する。」と書かれ、首都直下地震ならではの総合的な成果が期待されている。

しかし、地震・火山現象の解明のための研究、地震・火山噴火の予測のための研究、地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究、地震・火山噴火に対する防災リテラシーの向上のための研究の4分野に、広くまたがるような総合的な研究課題は存在しない。そのため、今年度は、それぞれの研究課題の中から、首都直下地震に関連したものを集め、それら同士をつなげていくことを、本総合研究グループの目標とした。

令和元年度から令和5年度の成果

産業技術総合研究所は、房総半島南部沿岸の海岸段丘について掘削調査を行い、得られた試料の年代測定値の統計処理を行うことで、離水年代の再評価を行った。これにより、過去の関東地震の発生年代と再来間隔について復元することができた。また、1703年元禄津波や相模トラフ沿岸を襲った津波の歴史記録について整理を行い、それに関連した野外調査を実行することで、当時の津波の高さについて検討を行った（産業技術総合研究所[課題番号:AIST08]）。活断層データベースは、これまで実施された約2万地点に及ぶ活断層調査地点の情報を収録するとともに、最新の知見もデータベースに取り込むことで、地震現象の解明に貢献した（産業技術総合研究所[課題番号:AIST01]）。

新潟大学は、1855年江戸地震の被害境界について、武蔵国多摩郡蔵敷（東京都東大和市）名主の『里正日誌』所収「安政二卯年十月二日大地震略記」を検討し、四ツ谷通り下町の割から中野宿（中野区）辺りまでになることを明らかにした。1923年関東地震について新潟県高田村（現柏崎市）神職の日記と『新潟新聞』の当日記事を検討し、当時の新潟測候所の所見が1917年以来の測候所の地震観測にあり、所見を述べた佐々木蘆蔵所長の地震学説は日下部四郎太の物理学的地震研究を基礎としていたことを確認した（新潟大学[課題番号：NGT_01]）。

東北大学理学研究科は、近地地震と遠地地震からの大量のP波走時データの同時インバージョンを行い、東日本地域の地殻と上部マントルの高分解能3次元P波速度構造と異方性分布を求めた。その結果、関東地方下に沈み込む太平洋プレートやフィリピン海プレートの形状の詳細が明らかになり、今後の震源断層モデルの推定に資する情報を得た（東北大学理学研究科[課題番号：THK_05]）。また、スラブ内地震では、同程度のマグニチュードの地殻・プレート境界地震に比べて破壊の継続時間が短く短周期地震動を励起しやすいこと、スラブ内の地震活動深さとプレート年代が相関することを明らかにした（東北大学理学研究科[課題番号：THK_06]）。さらに、繰り返し地震のモニタリングを通して、地震の発生サイクルにおける断層面のすべり・固着状態の短期・局所的な変動から長期・広域にわたる変化を明らかにした。地震の再来特性の調査および断層面の固着状態の推定のさらなる高精度化により、将来発生する大地震の発生ポテンシャルや発生予測につながることを期待できる。高精度震源再決定に基づき、大量の繰り返し地震を検出することが可能なことを示し、プレート境界でのすべりの時空間変化の把握に基づく予測のための基礎データ構築に貢献した（東北大学理学研究科[課題番号：THK_09]）。

東京大学地震研究所では、震源域近傍で記録された強震波形データを入力して、関東平野の都心部での長周期地震動の速度応答スペクトル及び地震波形を予測する深層学習（CNN）モデルを開発した。能登半島～山形沖の地震をターゲットとして、2004～2011年に発生したM4.5以上の地震の入力観測点（Hi-net群馬観測点；TAYHなど）における速度波形と、予測地点（Hi-net横浜観測点；YFTH）における速度応答スペクトルの関係を学習し、2011年以降に発生した大地震（ $M \geq 6.0$ ）の長周期地震動（1～10秒）の予測実験を行ない、速度応答スペクトルの高い予測性能（PV；スペクトルの予測／観測比＝0.8-1.2）を確認した。一方、2019年山形沖地震のように学習データに含まれない規模の大きな地震（ $M_w 6.7$ ）や、佐渡沖の地震のように学習データに含まれない場所での地震については予測性能が低くなった（ $PV=0.5-2$ ）。そこで、多様な位置と規模の地震波形を日本列島の地下構造モデル（JIVSM）を用いた差分法計算（OpenSWPC）から求め、これを訓練データに加えた強化学習を行ない、CNN予測モデルの汎用性を高めることに成功した（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_14]）。さらに、地震の災害誘因の事前評価手法の高度化に関する研究を実施し、シナリオ地震の強震動評価として、日本で開発された強震動予測手法を国際的なプラットフォームに実装するとともに、確率論的地震動評価に役立つ、地震動予測式の新エルゴード性の定量化を行った。その結果は、世界複数国の重要構造物の入力地震動として検討される可能性があり、災害の軽減に貢献する一助となる（東京大学地震研究所[課題番号：

ERI_16])).

現代の地震観測で得られる知見を史料の分析結果と結びつけ、歴史地震の震度を検証および定量化したいと考え、谷中・根津・千駄木および上野周辺において稠密観測を行った。安政江戸地震の揺れの検証を目的のひとつとし、観測点は同地震の被害史料の分析から被害場所が特定できた地点とその近隣地点にした。この4年間に文京区本郷で震度1以上を記録した地震は200回以上あり、それらのデータを用いた解析結果では、観測点ごとの卓越周波数や振幅の違いが確認できた。その違いは、過去の地震による建物被害の記述の地域差とおおむね対応していた。しかし、いくつか相違する地点も見つかっていて、それらには別の要因を考える必要があると思われる。たとえば、建物の築年数によって強度が低下したり、建築手法の違いによっても耐震強度に違いが出たりする可能性がある。それらの建物に関する情報を知ることは困難であるため、このような現代の地震観測を通して、地下構造や地盤特性以外による揺れと被害の関係性を見いだす必要がある（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_15]）。

京都大学防災研究所は、斜面崩壊の発生場抽出に関する成果として、過去の斜面崩壊に共通する地質的特徴の洗い出し、高密度航空レーザーデータや国土地理院による干渉SAR解析画像を用いた危険斜面の特定、地震時に斜面崩壊を発生しうるテフラの分布図（東日本版）の作成をおこなった。また、崩壊発生メカニズムに関する成果として、地すべり地における空間的に多様な地震動特性の抽出、地すべり変位の地震直前の安全率依存性、盛土材質による間隙水圧応答特性の違い、粘土鉱物ハロイサイトの構造の違いとせん断特性などについて明らかにした。これらのことから、現場安全率や現場地震動を考慮した斜面安定計算手法や地震時の斜面変位の見積もり手法について高度化を進める見通しを得た。さらに、地震地すべりの先行降雨の影響を見積もるため、および、強震後の長期的な斜面の変形を明らかにするため、傾斜計・間隙水圧計・インターバルカメラを設置し、令和3年度から観測を継続した。その結果、年間0.005度程度の傾斜変化を伴う定常的な変形が現在も進行していることを確認し、さまざまな降水イベントに対する土壌水分の時間変化を観測できた。地震後の長期的な斜面変形についての知見や先行降雨が地震時地すべりに与える影響を見積もるための基礎情報を得た（京都大学防災研究所[課題番号：DPRI10]）。

千葉大学は、地震に関連して発生する電磁気的な現象について、地震との有意相関解析や前兆性を評価するためのROC解析等に基づいて地震活動の短期予測に資する研究を国内外の研究者と協力して実施した。ULF電磁場変動や電離圏電子数変動、気象衛星ひまわりの衛星熱赤外データの解析結果は統計的には地震前兆的であることが示唆されつつある。また、電離圏電子変動の直前変動についてはその変動の規模と地震の規模等との経験則を示唆するデータが蓄積されつつある。地震動や津波、規模の大きな火山噴火に起因する電離圏電子数変動は物理機構まで解明されつつある。地球磁場変動や電離圏電子数変動などの地球物理観測データの統計解析により地震との有意相関性や地震前兆性を示す現象の存在が明らかとなってきた一方、単独の現象の解析では、現実的な予測の点からは合格点には至らないこともわかってきた（千葉大学[課題番号：CBA_01]）。

東京大学大学院情報学環は、地震に関する認知構造を把握したうえで、住民が理解

しうる情報（被害想定）体系を考案してきた。まず、首都直下地震に関する認知体系について、都民に対するアンケート調査を行い、国（内閣府）や東京都の公表している被害想定の内容に対する認知度が低く、信頼性に課題があることを示した。また、それらを住民が認知したとしても、その内容に沿った地震対策が行われるわけではないということを実証した。かつ、「都民の考える被害想定」も地震対策に結びついていないわけではないことがわかった。そこで、被害想定という科学的な成果としての情報の活用方策を検討するため、内閣府（2013）が公表した被害想定を基に制作され、実際に放送された『パラレル東京』の前後で、縦断型のアンケート調査を行った。住民が地震発生時の被害を想定（イメージ）することは、それほど重要ではなく、被害想定という情報の活用を考えたときに、感情を刺激することこそ、地震防災において重要であるという結論が得られた（東京大学大学院情報学環[課題番号：III_01]）。

そのほか、毎年、首都直下地震に関する意見交換会をオンラインで開催し、関連する課題の研究者たち約10名が集まり、それぞれの研究成果を紹介した。今後の総合研究としての研究計画の進め方を議論し、まずは、連携できる課題同士を探すところから始めることとしたが、コロナ禍で連携が不足した点もあったことが報告された（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_15]）。

次期計画以降の展望

首都直下地震が発生した場合には、我が国の首都機能や経済活動全体に深刻なダメージを与える可能性が高いことから、本総合研究グループは、分野横断的に取り組む総合的な研究として推進するテーマの一つとされてきた。関連があると思われる課題で、総合研究グループが構成されているため、それぞれの課題は独立している。そのため、課題ごとの成果があったとしても、その成果は総合研究グループに対する関与が薄く、何を本総合グループの成果とすべきかが曖昧である。網羅的に構成された研究課題群ではないので、首都直下地震に対して全体を通したストーリーを描けず、成果の寄与が不十分な研究課題に対応ができない体制であった。次期計画を策定する際には、総合研究グループとしての目標を掲げ、何をどこまで達成するのかを明確にし、それを実行するための課題群とそれらを運用する体制づくりが必要ではないだろうか。特に、これまで取り上げて来なかった首都圏ならではの問題点を明確にし、首都圏に焦点を当てた課題にも取り組むべきであると思われる。