

シリーズ「新・強震観測の最新情報」

(第3回) F-net

防災科学技術研究所 木村武志

はじめに

F-net (Full-range seismograph network of Japan) は、防災科学技術研究所 (防災科研) が運用する、全国を約 100 km 間隔で覆う 73 観測点 (2020 年 1 月 1 日現在) からなる広帯域地震観測網である (図 1)。防災科研は、1994 年に開始した特別研究「地震素過程と地球内部構造に関する総合的研究」(フリージア計画) に基づき、1997 年 3 月までに 20 の観測点からなる広帯域地震観測網を整備した。一方で、1995 年兵庫県南部地震 (阪神・淡路大震災) の発生を受け 1995 年 6 月に成立した「地震防災対策特別措置法」により、1995 年 7 月に「地震調査研究推進本部」(地震本部) が総理府に設置され (現在は文部科学省に設置) その下で推進される基盤的調査観測のうちの「陸域における広帯域地震計による地震観測」として観測網は引き継がれ、以降、防災科研がその整備と運用を担ってきた。

F-net の各観測点では、数スパンに区切られた長さ 30-50 m の横坑の最奥部に地震計を設置しており、使用して

いる広帯域地震計に対する温度変化の影響の軽減をはかっている。また、73 観測点のうち 25 点では、北海道大学、弘前大学、東北大学、東京大学、名古屋大学、京都大学、九州大学、鹿児島大学との共同研究協定のもとで各機関の地震・地殻変動観測施設を利用させていただいている。

観測装置

各観測点には 2 式の地震計が設置されている。1 つは Streckeisen 社製 STS-1 および STS-2 の広帯域地震計で、それぞれ周期 0.1-360 秒および 0.1-120 秒の地動速度に対して平坦な特性を持つ。また、2014 年からは STS-2 の後継として Kinometrics 社製 STS-2.5 を使用している。2020 年 1 月 1 日現在、STS-1、2、2.5 がそれぞれ 16、38、19 点で稼働している。

広帯域地震計の計測可能範囲 (最大入力速度) は ± 0.01 m/s 程度であり、近地における強震動の観測には適さない。そこで広帯域地震計に加えて速度型強震計を併設することで、広帯域かつ高ダイナミックレンジでの観測を可能にし

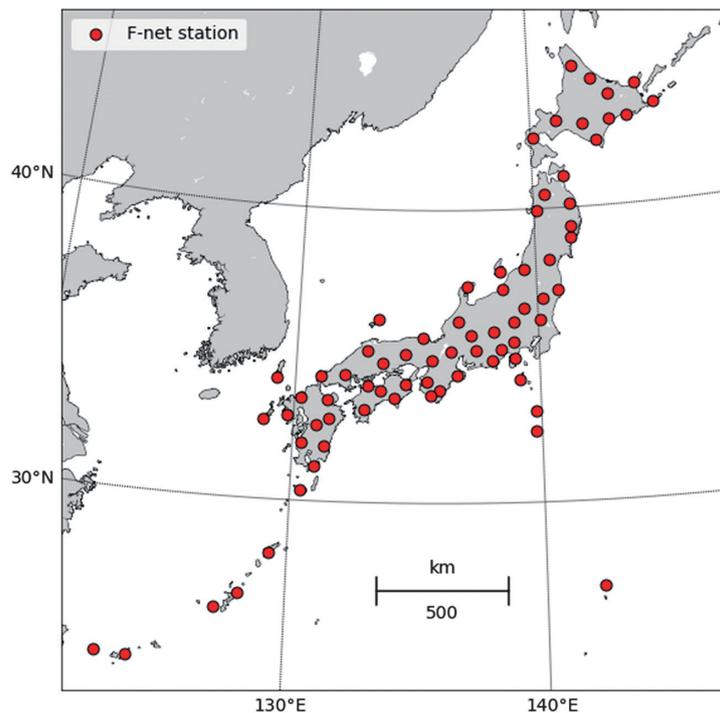


図 1 F-net の観測点分布 (2020 年 1 月 1 日現在)

ている。2020年1月1日現在、STS-2と同様に周期120秒までの地動速度に対して平坦な特性を持ち、最大入力速度が±2m/sである東京測振社製VSE-355G3を62点で使用している。また、周期100秒まで平坦な特性を持ち最大入力速度が±3m/sの東京計器社製TSM-1を11点で使用している。

データ収録装置は計測技研社製HKS-9200およびHKS-9300を使用している。観測された連続データはリアルタイムで防災科研のデータセンターに伝送されており、同様にリアルタイムでデータを連続収集している高感度地震観測網Hi-netと同型の収録装置を用いている。各観測点では、100Hzサンプリング、27bit分解能で6成分（広帯域地震計3成分、速度型強震計3成分）のデータ収録が行われている。収録データフォーマットは、WIN32形式である。2001年に現在の収録方式への移行を開始するまでは、Quanterra社製Q680を使用し、24bit分解能、80、20、1、

0.1、0.01Hzの5種類のサンプリング周波数による収録を行っていた。

データ収集と公開

各観測点で収録されたデータは、Hi-netなどの連続観測データと同様にIP-VPN網を介してデータセンターにリアルタイムで伝送している。各観測点からデータセンターには平均0.5秒以下という遅延時間でデータが伝送されている。

収集した地震波形データは、Hi-netや首都圏地震観測網MeSO-netなどの防災科研が運用する他の観測網の連続データと合わせて、一元的にWEBサイト (<https://hinet.www11.bosai.go.jp/auth/download/cont/>) から公開している。さらにF-netの波形データについては、長周期帯域の地震波形データの利便性を考慮し、データセンターで20Hzおよび1Hzサンプリングにデシメーションした波

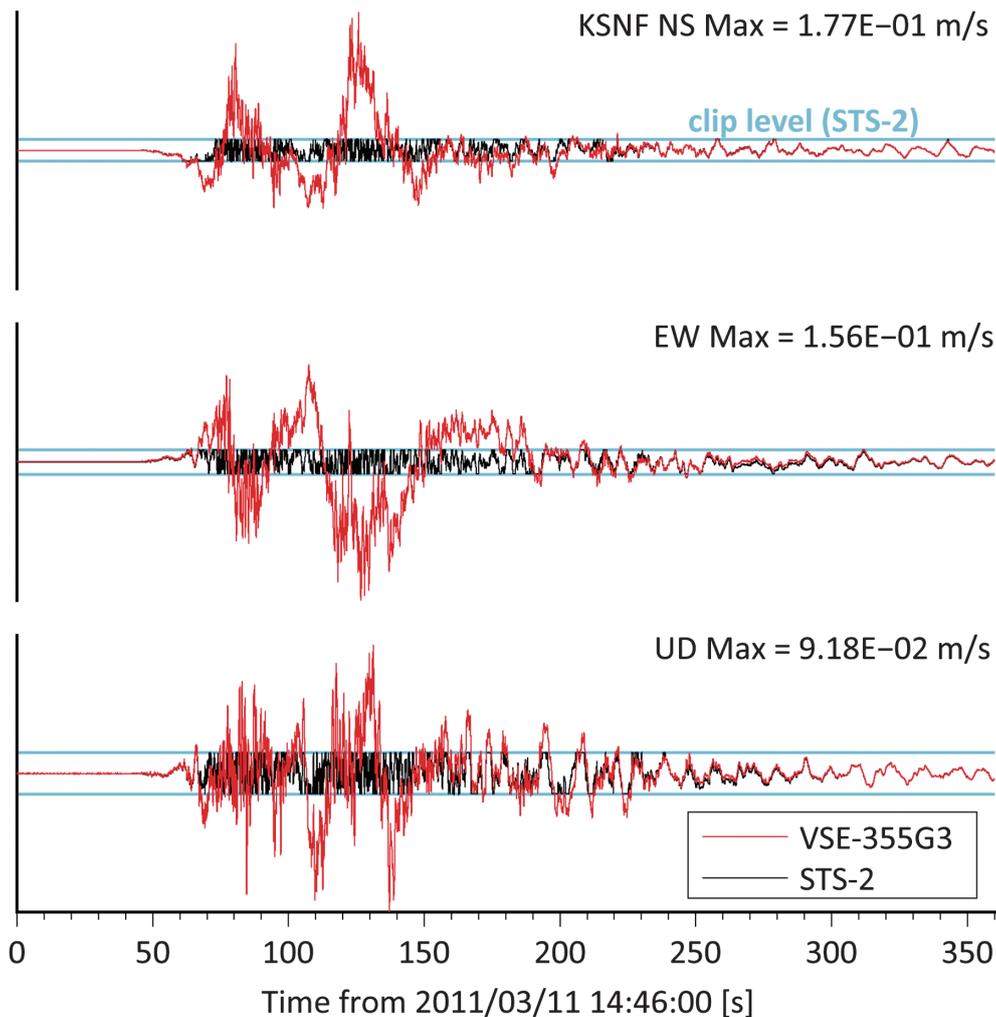


図2 2011年東北地方太平洋沖地震時のF-net気仙沼観測点の観測記録。上から南北成分、東西成分、上下成分である。赤線、黒線は速度型強震計、広帯域地震計の記録、水色線は広帯域地震計の計測可能範囲を示す。

形データも SEED 形式などで公開している (<http://www.fnet.bosai.go.jp/auth/dataget/>). このサイトでは、Q680 を使用していた期間の波形データも公開しており、さらに地震計の計器特性のチェック結果や背景ノイズの周波数特性などのデータ品質に関する情報も示している。両サイトは、事前にユーザー登録ページ (<https://hinetwww11.bosai.go.jp/nied/registration/>) から登録していただければ、認証の上どなたでも利用可能である。なお、F-net には「防災科研 F-net (NIED F-net)」としてデータ DOI (<https://doi.org/10.17598/NIED.0005>) も付与されている。

顕著な記録の例

F-net の特徴の 1 つとして、広帯域地震計と速度型強震計の併設による高ダイナミックレンジでの観測が挙げられる。図 2 は 2011 年東北地方太平洋沖地震時の気仙沼観測点での STS-2 と VSE-355G3 の記録である。STS-2 は計測可能範囲を超えているのに対して、VSE-355G3 では正常に観測できている。この地震の際には南西諸島の一部の観測点を除き F-net はほぼ全点の広帯域地震計で計測可能範囲を超えており、速度型強震計の有用性が示された。

おわりに

広帯域地震観測網 F-net の概要について紹介した。フリージア計画を含めると観測網構築から 25 年以上が経過し、広帯域・高ダイナミックレンジの観測データは地震の震源モデルや地下構造・地盤構造モデルの推定などに加えて、スロー地震や火山噴火・地すべりなどの様々な地殻活動のモニタリングに活用されてきた。引き続き、様々な目

的にこのデータが活用されれば幸いである。

参考文献

- 1) 福山英一・石田瑞穂・D. S. Dreger・川井啓廉, 1998, オンライン広帯域地震データを用いた完全自動メカニズム決定, 地震 2, **51**, 149-156. https://doi.org/10.4294/zisin1948.51.1_149.
- 2) 福山英一・石田瑞穂・堀貞喜・関口渉二・綿田辰吾, 1996, Freesia Project による広帯域地震観測, 防災科学技術研究所報告, **57**, 23-31. <https://doi.org/10.24732/nied.00001078>.
- 3) Kimura, T., H. Murakami and T. Matsumoto, 2015, Systematic monitoring of instrumentation health in high-density broadband seismic networks, Earth Planets Space, **67**, 55. <https://doi.org/10.1186/s40623-015-0226-y>.
- 4) 松本拓己・堀貞喜・松林弘智, 2009, 広帯域地震観測—防災科研 F-net の 10 年—, 地震 2, **61**, S9-S18. <https://doi.org/10.4294/zisin.61.9>.
- 5) 松村稔・伊藤喜宏・木村尚紀・小原一成・関口渉二・堀貞喜・笠原敬司, 2006, 高精度即時震源パラメータ解析システム (AQUA) の開発, 地震 2, **59**, 167-184. <https://doi.org/10.4294/zisin.59.167>.
- 6) Okada Y., K. Kasahara, S. Hori, K. Obara, S. Sekiguchi, H. Fujiwara, A. Yamamoto, 2004, Recent progress of seismic observation networks in Japan—Hi-net, F-net, K-NET and KiK-net—. Earth Planets Space, **56**, xv-xxviii. <https://doi.org/10.1186/BF03353076>.

(第 4 回) 気象庁における強震観測

気象庁地震火山部地震津波監視課 森脇嘉一

はじめに

現在、気象庁におけるデジタル強震観測・波形収集業務は、計測震度計 (07 型震度計) 及び多機能型地震観測装置により行っている。

計測震度計は、多くの気象官署に整備しているほか、人口の多い市街地近辺については、20 km を基本とした全国メッシュをカバーするような配置としている。内陸直下で M7 クラスの地震が発生すると地震被害が広域になると考えられるが、概ね震度 6 弱以上を確実に把握することが期待でき、国として震度の情報発表に必要な観測網としての機能を果たしている。

一方、多機能型地震観測装置は、津波地震早期検知網と

して整備した地点、一部の気象官署で既存の計測震度計を機能強化した地点、主要な空港に整備した地点などから構成される。地震動を常時観測し中樞へ伝送することで、規模の大きな地震を早期に検知し、地震の震源や規模を迅速に推定でき、地震津波災害の軽減・防止に必要な、津波警報・緊急地震速報・地震情報等の迅速かつ的確な発表につながっている。

気象庁の強震観測点数は、令和元年 (2019 年) 12 月 31 日現在、全部で 683 地点あり、その観測点分布図を図 1 に示す。

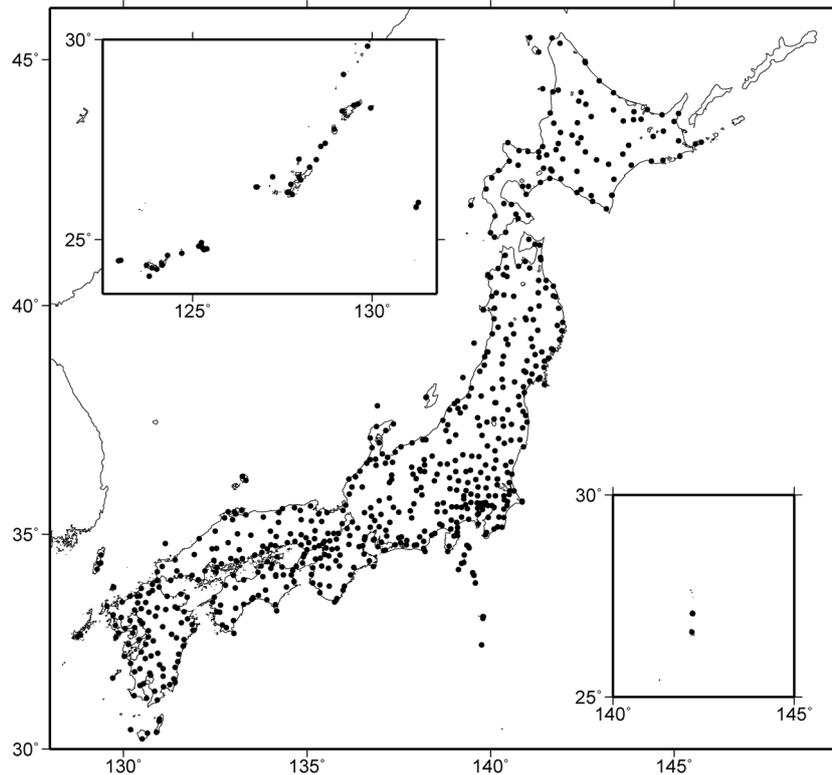


図 1 気象庁の強震観測点分布図（令和元年（2019年）12月31日現在）

強震観測機器

気象庁におけるデジタル強震観測・波形収集業務は、昭和63年（1988年）に気象官署の機械式強震計を廃止したのと同時に展開された87型電磁式強震計により開始した。87型電磁式強震計は、全国の気象官署のうち約80箇所に整備され、その後に整備・強化された計測震度計との比較・評価を経て、平成9年（1997年）に運用を終了した。

計測震度計による観測は、平成3年（1991年）に90型震度計を整備したことに始まり、震度観測が体感から計器による観測へ順次移行することとなったが、90型震度計は波形収録機能を実装していなかった。平成6年（1994年）に展開した93型震度計からデジタル波形の収録が可能となり、ICメモ리카ードにデータ収録を行った。平成7年（1995年）には、「平成7年（1995年）兵庫県南部地震」を契機として、95型震度計による既設震度計の機能が強化されるとともに、新設観測点や機動観測点が整備された。これにより、震度観測点数のうえではほぼ倍増し、現在とほぼ同じ観測点密度となった。その後、平成19年（2007年）からは、95型震度計を順次07型震度計に更新し、時刻校正方法を変更した。さらに、「平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震」を契機に、停電対策と地上回線切断対策強化を行った。

一方、多機能型地震観測装置は、「平成5年（1993年）

北海道南西沖地震」を契機として、平成6年（1994年）から津波地震早期検知網150地点を整備し、強震観測点の増加に貢献した。その後、平成16年（2004年）からの更新で多機能型地震観測装置として機能強化した。同時に、気象官署に整備していた計測震度計の一部を多機能型地震観測装置として機能強化した。平成19年（2007年）からは主要空港に新規で整備するなどして、緊急地震速報等への活用が拡大した。さらに、「平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震」を契機として、津波地震早期検知網タイプの新規観測点を整備した。また、平成31年（2019年）からは機器の更新に取り組んでいるところである。

計測震度計、多機能型地震観測装置の機能や性能は多くの点で共通している。100Hzサンプリングの3成分（NS、EW、UD）を記録し、加速度・速度波形によるトリガ処理に加え、計測震度0.5以上の場合に1分単位の強震波形をCFカードに保存する機能が共通点である。これ以外について、現在運用中の機器の詳細な諸元を表1に示す。製造元や用途に応じて仕様の異なる点はあるが、強震計としての基本的な性能に大差はない。

波形収集システム

95型震度計が電話回線による波形収集機能を搭載したことで、平成8年（1996年）10月から暫定的に、平成9

表 1 機器の性能特性（運用中の機器に限る）

項目		機器		計測震度計（07型震度計）				多機能型地震観測装置			
センサー部	入力範囲	±4.4G	±4G	±4G	±4G	±4.4G	±4G	±4G	±4G	±4.4G	±4G
	測定範囲	±3276.8 gal	±3000 gal	±3276.8 gal	±2048 gal	±3276.8 gal	±2048 gal	±3276.8 gal	±3000 gal	±3276.8 gal	±3000 gal
	周波数特性	450 Hz	200 Hz	200 Hz	200 Hz	200 Hz	200 Hz	450 Hz	200 Hz	450 Hz	200 Hz
信号変換部	カットオフ周波数	20 Hz	40 Hz	20 Hz	20 Hz	20 Hz	20 Hz	20 Hz	20 Hz	20 Hz	40 Hz
	A/D変換入力範囲	±3276.8 gal	±3276.8 gal	±3276.8 gal	±2048 gal	±3276.8 gal	±2048 gal	±3276.8 gal	±3000 gal	±3276.8 gal	±3000 gal
	出力	24 bit	24 bit	24 bit	24 bit	24 bit	24 bit	24 bit	24 bit	24 bit	24 bit
連続波形送信		なし				あり					

年（1997年）4月から本格的な波形収集業務を開始した。当時、現地で観測した強震波形は、気象庁本庁、札幌・仙台・大阪・福岡管区气象台、沖縄气象台のいずれかの中枢官署（中枢局装置）に集め、最終的に気象庁本庁へ集約していた。気象官署の計測震度計と中枢局装置間の一部を除いて専用線で繋がっていたが、これ以外の多くの計測震度計は公衆回線で中枢局装置と通信していた。通信条件の制約から、収集基準は最大震度4以上の地震で震度3以上を観測した地点としていた。なお、マニュアル操作により中枢局装置から特定の観測点に対して波形要求コマンドを送信し、現地に保存している強震波形を収集することが可能であった。その後、計測震度計と中枢局装置間がINS回線に変更され、通信速度が向上するなどして、収集基準の制限は徐々に緩和され、平成25年（2013年）4月からは、震度1を観測した場合に強震WIN32形式で気象庁本庁及び大阪管区气象台の2官署（中枢局装置）へ自動収集するようになった。

一方、多機能型地震観測装置は、整備当初から専用回線により加速度を含む波形データを定常的に中枢へUDP通信で伝送していた。ただし、現地でトリガ条件を満たした場合に保存している強震波形を手動でリモート収集することも可能であった。現状は、伝送網がIP-VPN回線（バックアップとしてINS回線）から順次光回線化してUniversal Oneサービスへ移行しているところである。現在は、WIN32形式の波形だけでなく、緊急地震速報に利用する電文も定常的に送信している。

データの提供

気象庁は観測成果としての強震波形を、気象庁のWebサイトで公開しているほか、（一財）気象業務支援センターを通じてメディアで提供している。なお、気象庁が公開している強震波形は、昭和63年（1988年）から記録のある87型電磁式強震計を含めると、10万弱の波形数となって

いる。

(1) 気象庁のWebサイト

主な地震については、「強震観測データ」のページ (<https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/kyoshin/jishin/>) に公開している。また、「長周期地震動に関する観測情報」の各ページに「観測点毎の加速度ファイル」として掲載している。

- ・長周期地震動に関する観測情報（最新） (<https://www.data.jma.go.jp/svd/eew/data/ltpgm/>)
- ・過去履歴（過去30日以内に情報発表した地震のリスト） (https://www.data.jma.go.jp/svd/eew/data/ltpgm/eq_list.html)

- ・長周期地震動階級1以上を観測した地震（2014年3月28日以降に長周期地震動階級1以上を観測した地震のリスト） (https://www.data.jma.go.jp/svd/eew/data/ltpgm_explain/data/past/past_list.html)

(2) （一財）気象業務支援センターでの提供

原則として年単位の資料を1枚のCD-ROMあるいはDVD-ROMの形式で（一財）気象業務支援センターを通じて「強震観測報告」、「強震波形データ」として提供している。連絡先は以下のとおりである。

一般財団法人 気象業務支援センター 気象データ担当
〒101-0054
東京都千代田区神田錦町3-17 東ネンビル
TEL：03-5577-2170 FAX：03-5281-0443

なお、地方公共団体が整備した震度計で観測された強震波形については、地震調査研究推進本部の取り決め（気象庁は、概ね最大震度5強以上を観測した地震に対し、概ね震度5弱以上を観測した地点の強震波形を消防庁との連名

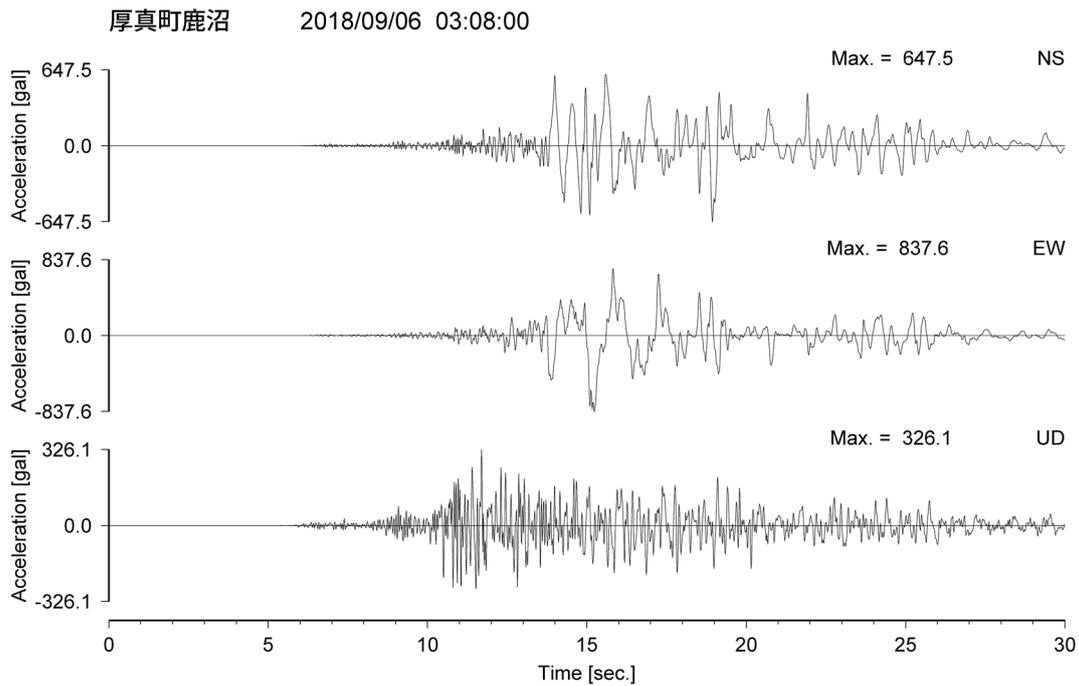


図 2 「平成 30 年北海道胆振東部地震」における厚真町鹿沼観測点での強震記録

で都道府県へ提供依頼する。都道府県からの提供協力を受ければ、原則として、地震学・地震工学等の調査研究を行う研究者に気象庁との共同研究という形態で収集した強震波形を提供する。)に基づき、一部を気象庁の Web サイト及び「強震波形データ」で提供している。

顕著な記録の例

気象庁の強震観測記録が計測震度や加速度値としてカタログ化されている平成 9 年（1997 年）1 月から令和元年（2019 年）12 月末までを対象に、3 成分合成加速度と震度について、それぞれ最も大きな値を記録した地震と観測点を紹介する。

3 成分合成加速度が最も大きい記録は、2011 年 3 月 11 日に発生した「平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震」の際、釜石市只越町で観測した 1503.7 gal（震度 5 弱、計測震度 5.4）であった。また、1000 gal を超える記録はこれを含め 9 事例あった。一方、最も大きな震度の記録は、2018 年 9 月 6 日に発生した「平成 30 年北海道胆振東部地震」の際、厚真町鹿沼で観測した震度 7（計測震度 6.5、3 成分合成加速度 967.3 gal）であった。この強震波形を図 2 に示す。なお、震度 7 はこの 1 事例、震度 6 強を観測した記録は 11 事例あった。

おわりに

気象庁の計測震度計は、その地域の標準的な地表面の地

震動（震度及び強震波形）を観測することを目的として、同一の観測・収録性能を有したものを同一設置条件となるように整備・更新しながら観測を継続している。性能面については、計測震度計全数を検定することにより担保している。設置場所については、特異な環境となっていないか、ノイズレベルが高すぎないかを事前に検討したうえで決定している。観測環境については、震度計の規格を統一することや、震度計設置環境基準に適合するか定期的に確認することで、観測条件が一定水準以上の同一性を保持するよう配慮している。

また、毎日の動作確認と定期的なメンテナンスを行うことにより、計測震度計の基本性能を維持している。その結果、地震発生時に観測した震度を迅速に通報するとともに、強震波形を確実に現地から収集することを可能にしている。

参考文献

- 1) 石垣祐三・高木朗充, 2000, 気象庁震度データベースの整備及び活用例について, 験震時報, 63, 75-92.
- 2) 気象庁, 1996, 震度を知る, ぎょうせい, 238pp.
- 3) 気象庁地震火山部, 2002, 地震観測業務履歴, 験震時報, 65 別冊, 401pp.
- 4) 原田智史, 2007, 多機能型地震観測装置の概要, 験震時報, 70, 73-81.