

もう一つの満点計画 —長野県西部における 10kHz サンプリング観測の 26 年—
Another Manten Project -26 Years of the 10kHz Sampling Observation in the Western
Nagano Prefecture-

○飯尾能久
Yoshihisa IIO

In the western Nagano prefecture, seismic data have been accumulated for more than 26 years from June 1995 by high-precision seismic observation by 10kHz sampling. The maximum number of observation stations was 57, and they were installed mainly in the eastern part of the aftershock area of the 1984 Western Nagano Prefecture Earthquake. In August 2008, continuous observation by the “Manten” system was also added. 10kHz sampling records 10,000 points per second, which is two orders of magnitude different from normal data, and is another ideal image for seismic observation.

1. 1. はじめに

長野県西部地域では、10kHz サンプリングによる高精度地震観測により、1995 年 6 月から 26 年以上にわたって、単独点でのトリガー方式による地震データが蓄積されている (Iio et al., 1999, Doi et al., 2013, Iio et al., 2017)。観測点は最大 57 カ所で、長野県西部地震の余震域の東部を中心に設置された。2008 年 8 月には満点システムによる連続観測 (最大 29 カ所) も追加された。観測点間隔は、約 500m~6km、平均で 1km 程度となっている。10kHz サンプリングは、1 秒間に 1 万点という、通常に比べて 2 桁違いのデータを記録するものであり、地震観測において、もう一つの理想像と言えるものである。

2013 年 8 月には、GPS ユニットのロールオーバーが発生して、時刻が 1024 週分後戻りした。長期間の使用により観測システムは限界を迎えているように見え、撤収の検討を始めていた矢先の 2017 年 6 月 25 日に、Mj5.6 の地震が観測網のど真ん中で発生した。最後の力を振り絞って余震活動を記録し続けていたが、来年度には撤収する予定である。

長野県西部地域は、1979 年の御岳の噴火前後から地震活動が活発化し、1984 年に長野県西部地震 (Mj6.8) が発生した。この地域は、1) 地温勾配が 50 度/km と高く (NEDO, 1987)、地震の深さ分布の下限は最も浅いところで深さ 5km 程度、上限は深さ 1km 程度である。2) 浅部まで高速度で、速度偏差が小さい (Doi et al., 2013)、3) 林道が多数整備されている、4) 県道沿いなどを除けば、ノイズ

レベルが 10~100 ナノメートル/秒と小さいなど、高感度の地震観測には非常にふさわしい場所である。これまで記録された最小の地震のマグニチュードは $M=-1.3$ であり (飯尾, 1987)、卓越周波数が 100Hz を超えるような微小地震も多数記録されている。本講演では、これまで行われた観測・データ処理・解析についてふり返る。

2. 観測

用いている地震計は、地表点では 2Hz の速度型地震計 L-22D の 3 成分である。3 カ所には、150m、100m、800m のボアホール地震計がある。地震が発生している領域の直上で密な観測点配置を実現するため、データロガーは、基本的には DC 電源で駆動している。サンプリング周波数が高いため、低消費電力化には限界があり、当初はバッテリー 2 個を 2 週間おきに交換していた。また、冬季にアクセス出来ない観測点も多く、当初は冬前に撤収して春に再設置していたが、2002 年 7 月にソーラーを導入し、通年で観測できるようになって、労力を大幅に減らすことが出来た。記録媒体としては当初 512MB の RHD (リムーバブルハードディスク) を用いており、湿気や電圧低下によるためか欠測が多かったが、2007 年に CF に交換してからは欠測率が大幅に減少した。しかしながら、データロガーをプラケースに収納しただけの観測点では特に、ここ数年故障が多く発生し、稼働している観測点数も十数点に減っていた。地震計についても、直射日光が当たる点などで、内部に結露が発生するためか、欠測が発生していた。

3. 解析結果

10kHz サンプリングとしたのは、速度波形のゆっくりした立ち上がり (SIP:Slow Initial Phase) (Iio, 1992) を詳しく調べることが最大の理由である。これは、震源特性ではなく非弾性減衰を反映しているのではないかという疑念が寄せられていた。ほとんど同じ震源を持つ地震群の波形を比較すると、800m ボアホールにおいては、一部に、初動後 1ms 以降では速度波形が直線的に立ち上がり、円形クラック的な単純な破壊過程で説明出来るものがあることが分かった (Iio, 2009)。これから、直線的に立ち上がっていない地震の SIP は震源過程を反映していることが確実となった。

この直線的な立ち上がりを、破壊停止の効果を含んだ扇形の震源モデルにより再現することが出来た (飯尾・他, 2006)。その結果、Iio (1992) が推定していたように、SIP は、破壊伝播速度やすべり速度が準静的なものに近い「ゆっくり」した速度であるためではなく、定常的な破壊伝播速度に達した後さらに「加速」しているためであることが明らかになった。

多数の地震群の立ち上がりの波形を比較することにより、多数の前震を伴った 1999 年 4 月 5 日の M3.7 の地震に関して、本震の立ち上がりが、通常地震よりゆっくりしていることが見出された。

サンプリング周波数が高く、ノイズレベルが小さいことから、P 波初動の手動読み取り精度が 2ms 程度と高く (Doe et al., 2013)、震源やトモグラフィの精度も高い。Doi et al. (2013) は、1km グリッドの地震波速度構造と震源分布を比較して、 V_p/V_s の小さいところで地震活動が活発であることを見出した。これは、一般的に言われているように、水が地震活動を直接引き起こしているのではない可能性を示唆している。長期間継続して観測データが得られている点を生かして、震源分布や 3 次元速度構造の時間変化を解析し (野田・他, 2007)、2003 年頃から深さ 1km 程度の浅い地震活動が減少し、一部で速度変化が見られたことを報告した。絶対時刻を用いず S-Ptime のみを波形相関により読み取った相対震源決定では、1m 程度の精度が達成されている (Cheng et al., 2007)。

近年は、高精度・高分解能の応力場の解析に力を入れ、その空間不均質について調べている (Yukutake et al., 2010 など)。

応力場に関して、近接して発生する地震群にお

いても、メカニズム解がばらつく理由として、応力場が不均質である (Smith and Heaton, 2011) という考えがあった。長野県西部地域では、1984 年の長野県西部地震の断層近傍を除いて、均質な応力場の仮定の下でも、すべり方向の misfit の RMS が 10 度以下と精度良く説明できる領域が多い。一方、その領域内の任意の地震ペアの P 軸の方位の差は、地震間の距離に依存しないことが分かった (Iio et al., 2017)。このことは、応力場は均質と見なせるが、断層の強度は不均質であることを明瞭に示している。

2017 年 6 月 25 日 7 時 2 分 Mj5.6 の長野県南部の地震は、Doi et al. (2013) によって推定された顕著な低速度異常域の付近で発生した。2008 年に追加された満点観測網は、その低速度異常域を詳細に調べるために設置されたものだったが、はかrazも、Mj5.6 を直上で待ち受ける体制が構築されていた。幸運なことに、その発生直前の 6 月 22 日ごろに、トリガー方式である 10kHz サンプリング観測点の CF カードの交換を行っていた。多くの点では翌日 6 月 26 日の正午くらいで CF フルとなってしまうが、それでも発生直後の余震活動を多数記録することが出来た。発生後に初めてデータ回収を行うことが出来たのは 7 月 1 日であり、その間は欠測となる観測点も多かったが、その後も 1, 2 週間間隔でデータ回収を行い、欠測を最小限とするように努めた。これらのデータを活用して、付近の地震分布や応力場を詳しく検討している (野木・他, 2021)。

謝辞: 高精度地震観測は、防災科研の特別研究「直下型地震のダイナミクス」により開始され、地震及び火山噴火予知のための観測研究計画、災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画や科研費 (課題番号 19204043) のプロジェクトで維持されてきた。全体統括と観測は主に飯尾が行ってきたが、データ処理は当初は大見士朗氏が、2002 年頃から堀内茂木氏が担当して下さった。10kHz 観測では産総研のボアホール地震計データを、2008 年 8 月以降には、防災科研、名古屋大学、気象庁による定常地震観測点のデータも使わせていただいている。10kHz サンプリングデータロガー (EDR-6600) は近計システムと共同で開発された。観測においては、長野県王滝村・木曾町、木曾森林管理署、長野県林務課、名古屋市市民休暇村ほか、地元の方々に大変お世話になっている。

