

人間と同程度に高精度な地震波自動読み取りシステムの開発

Automatic arrival time picking as accurate as picking by a seismologist

堀内 茂木 [1]; 堀内 優子 [2]; 飯尾 能久 [3]; 中村 洋光 [4]; 長谷見 晶子 [5]

Shigeki Horiuchi[1]; Yuko Horiuchi[2]; Yoshihisa Iio[3]; Hiromitsu Nakamura[4]; Akiko Hasemi[5]

[1] ホームサイスマメータ; [2] ホームサイスマメータ; [3] 京大・防災研; [4] 防災科研; [5] 山形大・理・地球環境

[1] Home Seismometer

; [2] Home Seismometer; [3] DPRI, Kyoto Univ.; [4] NIED; [5] Earth and Environ. Sci., Yamagata-Univ.

<http://www.homeseismo.com>

1. はじめに 地震観測点数を現在の10倍に増やすことができれば、地震活動、地下構造の研究が飛躍的に促進されると期待される。インターネットの普及で、通信費が不要な観測網の整備が可能になり、従来の数十分の1のコストでの観測網の整備が可能になった。このため、近い将来、観測点数を現在の10倍程度に増やすことも可能であると思われる。

観測データの解析には、P波、S波到着時刻の読み取り、震源決定が不可欠である。P波、S波到着時刻の自動読み取り手法の開発は1970年代より、多くの研究者により行われている。しかし、それらは、数学的、統計的方法のみを用いるもので、読み取り精度は低い。現在、約1000点の高感度観測点の読み取りに、数10人が従事しているが、観測点が10倍になると、読み取りに必要な人数も10倍になる。このため、観測点数を大幅に増やすには、高精度の自動解析システムの開発が不可欠である。

1970年代に比べ、コンピュータの処理能力は、飛躍的に向上した。将棋、チェスでは、プロの棋士に勝つソフトウェアが開発されている。地震波読み取りについても、地震の専門家と同程度、あるいは、同程度以上に高度な判断に基づき、読み取りを行なうソフトウェアの開発は可能であると思われる。本研究では、地震の専門家と同様の判断を組み込んだ地震波自動読み取りソフトウェアの開発を行った。

2. P波到着時刻の読み取り 地震の専門家が到着時刻を読み取る場合、ノイズや地震波の特徴、震源決定した場合の走時残差を総合的に判断して行っている。到着時刻は、振幅が平均的ノイズレベルに比べ大きくなる位置であると考えられることから、前回の報告と同様に、ノイズに比べ、振幅が大きくなる位置を、最大10個まで選び、到着時刻の候補とした。各候補について、S/N比、時間差、卓越周波数、振幅の時間変化に関するパラメータを求め、それを、候補の中でどれが適切であるかを判定する処理に適用することにより、一つの候補を選ぶようにした。この判定処理は、約1000個の係数で、上記パラメータを比較し、適切な候補を選ぶようになっている。また、短周期ノイズや、遠地地震による長周期ノイズが混入しているかのチェックを行い、混入している場合には、混入していることを考慮に入れて読み取りを行うようにした。50Hzの電氣的ノイズが含まれている場合は、それを自動的に取り除くようにした。本研究では、長野県西部での10KHz、トリガー方式の地震観測データを用いて開発を行った。S波でトリガーし、P波が含まれていない場合は、P波が含まれていないと判断するアルゴリズムも加えた。

3. S波到着時刻の読み取り

多くのS波部分の水平動2成分の記録を、20度毎に方向を変えプロットした。その結果、初動と思われる位置は、方向によって変わることが示された。このため、S波の読み取りでは、先ず、読み取りを行う成分を決定する必要がある。ここでは、以下で表せるベクトルのローテーション成分を用いることにした。

$$R(t) = (S(t) \times U(t-t) / |U(t-t)|) \cdot Ez \quad (1)$$

$S(t)$ 、 $U(t-t)$ 、 Ez は、それぞれ、時刻 t におけるベクトル、 $t-t$ での移動平均ベクトル、Z方向の単位ベクトルである。 $R(t)$ は、時刻 t におけるS波と、その t 秒前のS波移動平均(単位ベクトル)とのベクトル積のZ成分である。S波の初動付近では、(1)式は、P波コーダ波から推定されるSH波成分と一致する。(1)式を使うメリットは、S波が同じ方向に回転運動を行っている区間で、符号が一定になるため、見かけの周期が長くなる点である。

到着時刻の読み取りは、P波の場合と同様に、到着時刻の候補を選び、多くのパラメータで読み取るようにした。S波は、P波に比べS/Nが低く、地表付近からのSP変換波が直前に到来する。このため、地震の専門家でも、初動に対応する位相がどれであるかを正確に判断することが難しい場合が多い。そこで、読み取り終了後、震源決定を行い、走時残差が大きい場合には、候補を変更するようにした。ただし、走時残差が小さくても、S波が既に到着しているのが確実で、不適切であると判断される候補は選ばないようにした。この選択にも、パラメータを使うようにした。

4. 結果 長野県西部での10KHzサンプリングの観測データを用いた結果では、P波の99%が、読み取り誤差1-2m以下で読み取れるようになった。S波についても、かなり正確に読み取れるようになったと思われる。課題は、著者が、S波のどこを読み取れば良いかを正確に教えられない点である。