

これまでに実施した緊急地震速報処理の改善について

1. M 計算式の改善

【問題点】

- ・ M が大きめに推定されている事例が関東付近の地震を中心に多い。

【具体的な事例】

1. 関東付近のやや深発地震で M が大きく推定されることが多い。
2. 関東以外の地域でも、震源が深いと M のずれが大きくなる傾向が見られる。

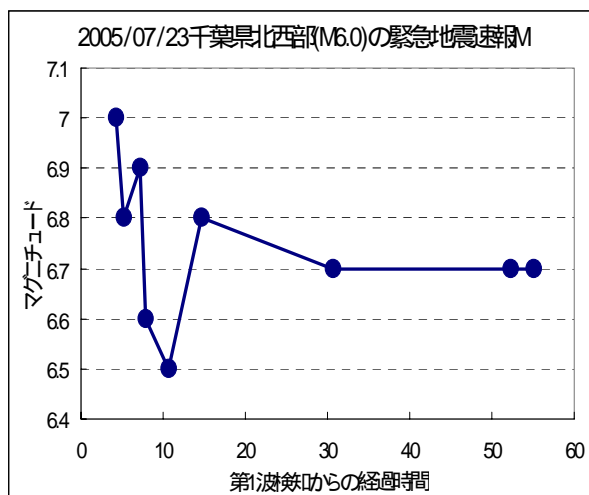


図 1 M が大きめに求められた事例 (2005 年 7 月 23 日千葉県北西部の地震の M 時系列図：確定値は M6.0 であるが、緊急地震速報処理では最終値でも M6.7 と過大評価されている)

【考えられる原因】

1. M 計算式に深さに関する減衰項が存在しない。
2. M 計算式の作成時に使用したサンプルが少なく、その中に深い地震が少なかった。
3. ノイズの多い気象官署等に設置している地震計とノイズの少ない津波地震早期検知網として設置している地震計で同じ係数を用いている。

【津波地震早期検知網の観測点についての改善方法】

- ・ 津波地震早期検知網が展開された 1994 年 10 月からの振幅データを用い、緊急地震速報の M 計算式の改善を検討。
- ・ 計算式は深さの補正項を導入したものと、Two Step Stratified 法を利用。

- ・新しく係数を求めたM計算式で再評価を実施

新しく係数を求めた M 計算式

$$M = \log(\text{Amp}) + \log(\quad) + \quad * \quad + \quad * \text{depth} +$$

Amp : 3 成分合成変位振幅

: 震央距離、depth : 震源の深さ

(参考) 現行の M 計算式

$$M = \log(\text{Amp}) + \log(R) + \quad * R +$$

- ・ 関東付近のやや深発地震については、現行で用いていた震源距離式は過大評価傾向であったこと、一元化処理で用いている M 計算式も震央距離で求めているため、新 M 計算式として震央距離式を採用。

【ノイズの多い観測点についての改善方法】

- ・ 主にノイズの多い気象官署に設置された地震計については、実証実験開始以降（2004年2月以降）のデータしかなく、サンプルが少ないため、これらについては坪井の変位 M 式を使用。
- ・ 坪井の式は震央距離で M を求めているため、P 波部分の M 計算式は津波地震早期検知網の変位 M 式の係数で求めた定数項の差 0.5908 を加える。

【改善状況の評価】

再計算を行った例（一元化震源の M） 従来の式による M 新計算式による M

関東付近の地震

2004/07/17	房総半島南東沖 (5.5)	6.1	5.9
2004/08/06	千葉県北西部 (4.6)	5.6	5.1
2004/10/06	茨城県南部 (5.7)	6.5	5.9
2005/02/08	茨城県南部 (4.8)	5.1	4.9
2005/02/16	茨城県南部 (5.3)	6.1	6.0
2005/04/11	千葉県北東部 (6.1)	6.2	6.1
2005/06/20	千葉県北東部 (5.6)	5.6	5.6
2005/07/23	千葉県北西部 (6.0)	6.7	6.5
2005/08/07	千葉県北西部 (4.7)	5.5	5.1
2005/10/16	茨城県南部 (5.1)	5.1	5.2
2006/02/01	千葉県北西部 (5.1)	5.5	5.1

その他の地域の地震

2004/09/05	紀伊半島南東沖 (7.1)	6.8	6.9
2004/09/05	東海道沖 (7.4)	7.0	7.1
2004/10/18	新潟県中越地方 (6.8)	6.8	6.9
2005/08/16	宮城県沖 (7.2)	7.0	7.2

2. 震源の浅い地震を深く推定してしまうことに対する改善

【問題点】

- ・浅い地震に対する一連の情報の中で、震源の深さが一時的に深く推定される。

【具体的な事例】

- ・2004年の紀伊半島沖・東海道沖の余震活動や2004年新潟県中越地震の余震などにおいて、一連の情報の中の初期の段階の情報で震源が深く推定される事例が発生。

【原因】

- ・3点及び4点処理のグリッドサーチでは浅い地震にもかかわらず、震源の深さを深く（200km以上）と推定される可能性がある。

【改善方法】

- ・5点処理では浅い地震が深く決まった事例は存在しないことから、3点及び4点処理のグリッドサーチでは深いグリッドの震源決定を行わないように改修。（実際に深い地震では、3つの観測点に地震波が到達後、ごく短時間で5点に到達することから、本改修を行っても情報発表の遅延はほとんどない。）

【改善の状況】

- ・改修以降、浅い地震の震源を200kmより深く求めるような事例はない。

3. M計算式の切替タイミングの改善

【問題点】

- ・一連の情報の中で、一時的にMを大きく推定する。

【具体的な事例】

- ・2004年の紀伊半島沖・東海道沖の地震活動などにおいて、震源及び深さは適切に推定しているにも関わらず、途中でMが一時的に大きくなる現象がたびたび発生。

【原因】

- ・同海域の地震では、S波の最大振幅が理論S波到達時刻の直前に発現する場合があります、本来全相M計算式で計算すべきところをP波M計算式で計算していた。

【改善策】

- ・緊急地震速報のM計算式は図2のとおり、理論S波到達時刻まではP波M計算式で計算していたが、この事例のように理論S波到達時刻前にS相の最大振幅到達が

到達すると M を過大評価してしまう。このため、P 波 M 計算式の適用を理論 S 波到達時刻よりも少し前までとし、そこから先は固定 M に切り替えるようにした。

- ・ 計算式の切り替えタイミングは紀伊半島沖・東海道沖の地震などから経験的に理論 S-P 時間の 0.7 倍とした。

【改善の状況】

- ・ M 計算式の切り替えタイミングを早くすることで S 波以降の最大振幅を P 波式で M 計算することはなくなり、計算処理途中で M が大きく変動することを回避できた。

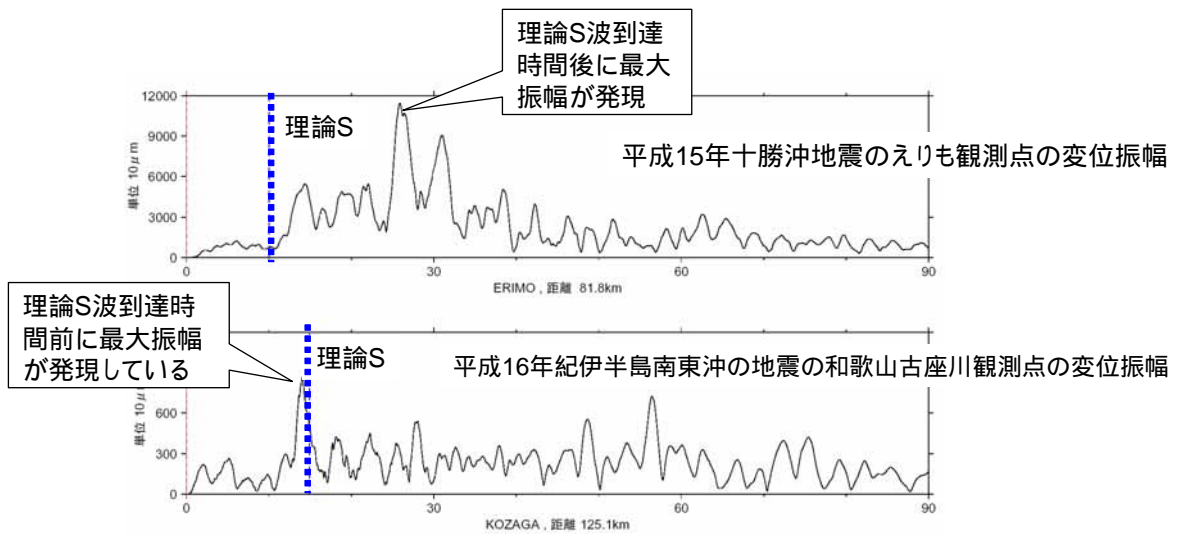


図2 様々な地震による観測点の変位振幅（絶対値）

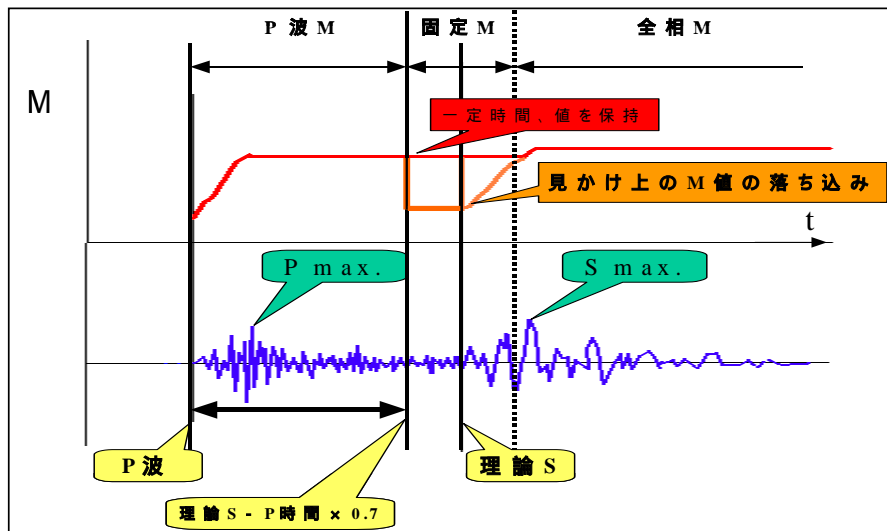


図3 M 計算式の遷移を示す概念図

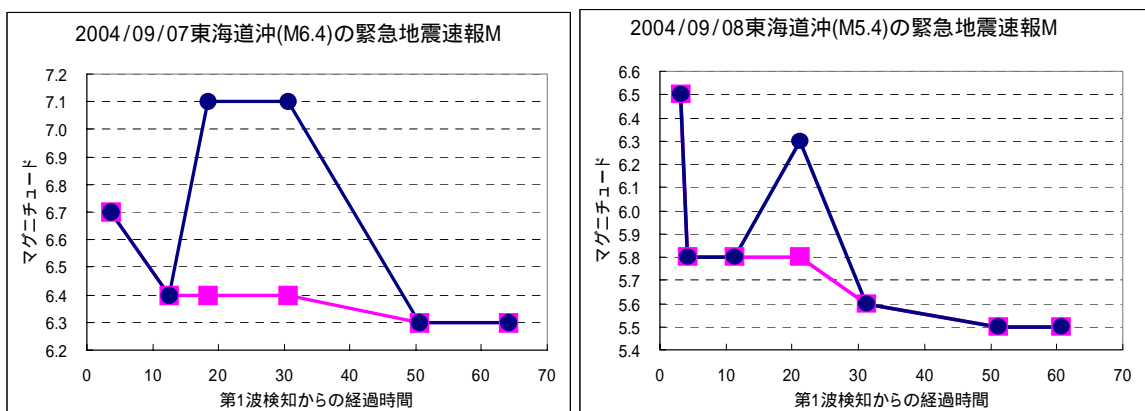


図4 切替タイミング導入に伴う M 時系列図の変化
 （青色：変更なし ピンク色：切替タイミング導入後）

4. 島嶼部観測点のキャンセル報対策

【問題点】

- ・ 島嶼部で発生した地震について、実際に地震が発生しているのにキャンセル報が発信される。

【原因】

- ・ 島嶼部は観測点密度が疎らであるため、地震が発生しても1観測点でしかトリガ検出しないことがある。

(緊急地震速報処理では、1点しかトリガが検出されない場合は誤報とみなしてキャンセル報が自動で発信される)

【改善方法】

- ・ 実際の地震では、トリガ状態が長く継続するが、ノイズの場合はトリガ状態が長く継続せず、概ね数秒程度(すべて15秒以下)で終了している。
- ・ 図5で示す島嶼部観測点については1点しか検知しない場合でも15秒以上トリガ状態が継続するとキャンセル扱いをしないように処理を改修した。

【改善の効果】

- ・ 島嶼部でキャンセル報が発信された6例について検証したところ、5例はキャンセル報を発信しないことが分かった。

<キャンセル報とならないイベント>

- 2004/11/11 新島・神津島近海 (M2.6)
- 2005/01/08 新島・神津島近海 (M2.7)
- 2006/01/19 新島・神津島近海 (M2.8)
- 2006/04/05 奄美大島近海 (M3.2)
- 2006/04/05 奄美大島近海 (M3.4)

<キャンセル報と判別されるイベント>

- 2005/01/12 新島・神津島近海 (M2.6)
トリガ継続時間は14秒

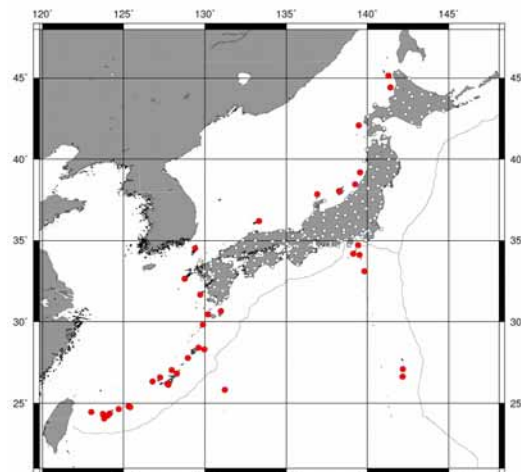


図5 島嶼部判定を採用した観測点分布(赤丸の観測点)

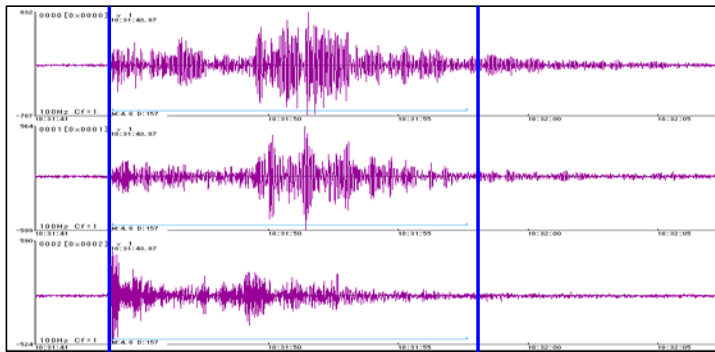


図6 実際の地震波形とトリガ継続時間の関係、青線ではさんだ時間がトリガ継続時間を示す。
 島嶼部観測点はトリガ継続時間が15秒以上で本当の地震であると判断する。

5 . Hi-net 震源データ等との統合による改善

防災科研の展開する Hi-net を処理した震源データと気象庁多機能型観測点処理を用いた震源データについて、2006 年 6 月 8 日からそれぞれが決定した震源データレベルでの統合化処理を実施した。

【統合の基本的なロジック】

1 . 震源

観測点数の多い防災科研震源データの方が早い段階でほぼ最終値に近い妥当な位置に決まることが多いため、下記の基準を満たした震源データについては、気象庁処理の震源データに優先して採用。

Hi-net 震源データ採用の条件

P 波観測点数が 3 地点以上 5 地点未満かつ深さが 30km 以下かつ SD が 0.1 秒未満
P 波観測点数が 5 地点以上 10 地点未満かつ深さが 50km 以下かつ SD が 0.5 秒未満
P 波観測点数が 10 地点未満かつ SD が 1.0 秒未満

南西諸島などには Hi-net 観測点が設置されていないため、種子島以南の領域については気象庁観測点による処理の方が精度が高いため、種子島以南の領域については、常に気象庁処理の震源データを採用。

2 . マグニチュード

- Hi-net 観測点は短周期速度型地震計を用いており、長周期成分を多く含む規模の大きな地震については、規模の正確な推定が困難。
- 気象庁観測点は加速度波形を 2 階積分して変位振幅を求めていることから長周期成分についても比較的有効。また、M 計算については、P 波部分と S 波部分と使い分けていることなどから、早い段階から最終値に近いマグニチュードが求まる傾向にある。

以上から、マグニチュードは気象庁処理による変位マグニチュードを優先して採用。

【統合の評価】

- 気象庁処理だけでは第 1 報発表までに時間がかかっていた M が小さな事例などについては Hi-net データ活用により、早期に発表することが可能となった。
- 2005 年 8 月 16 日の宮城県沖の地震のように規模が大きくかつ沖合いで発生した地震の場合は気象庁処理が先行することもある。

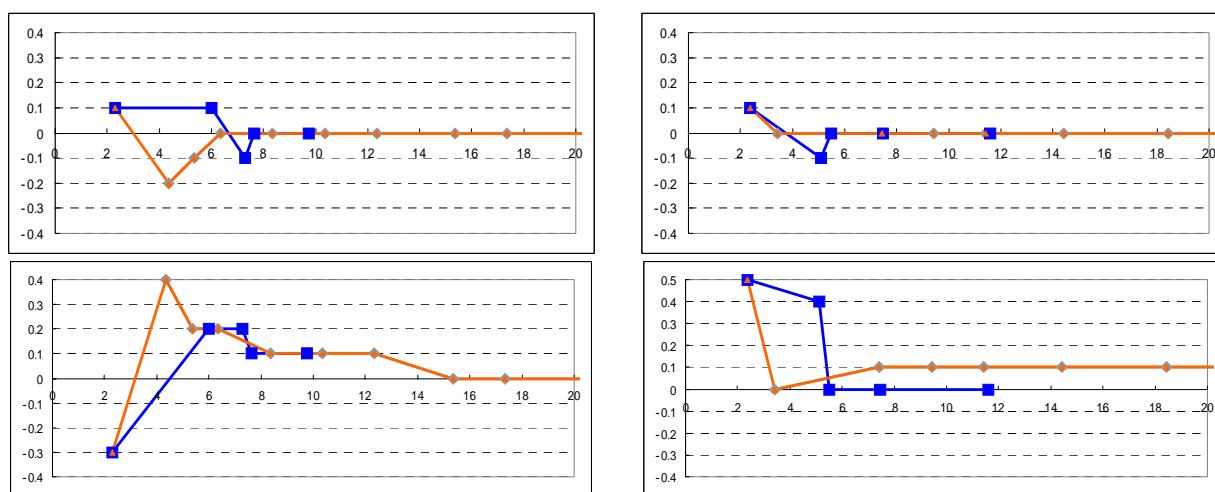
- そのため、Hi-net 震源データ及び気象庁震源データのどちらか一方が障害によりダウンしても緊急地震速報処理そのものは止まらないような冗長性を持たせて運用。

	長所	短所
気象庁緊急地震速報システム (気象庁システム)	単独観測点処理を用いているため、迅速に情報発表できる場合もある。 島嶼部にも観測点があるため、海域での情報発表が早いことがある。	単独観測点処理では、機器ノイズや事故などによるフォールスアラームを完全になくすことは困難。 観測点密度が相対的に低いため、「信頼度の高くなり方」の時間が遅い。
防災科研システム	最低でも2地点のデータを用いて処理を行うので、ノイズに強い。 観測点密度が高いため「信頼度の高くなり方」の時間が早い。	島嶼部には観測点がないため、海域の地震では内陸ほど情報が早くない場合がある。 観測点がない南西諸島などは震源精度が悪い。

表1 震源位置に関するそれぞれの処理システムの特徴

2005年8月16日の宮城県沖地震(M7.2)の処理

2005年10月12日の宮城県沖地震(M4.7)の処理



上段:緯度方向
 下段:経度方向
 最終報からの相違を示す
 灰色 : Hi-net震源結果
 青色 : 気象庁処理結果
 橙色 : 統合処理結果

図7 それぞれの手法による震源決定時間および統合化した場合の震源選択の時系列図

6. 様々なノイズ対策の実施による改善

【誤報の事例】

緊急地震速報の実証実験を開始してから 26 例の誤報（地震以外の原因により発信される緊急地震速報）が発生

原因の内訳は以下のとおり。

操作手順の誤りなど	7 例
（観測点作業	3 例）
（中枢局作業	2 例）
（試験データ誤送信	2 例）
落雷によるサージや地動など	4 例
（落雷によるサージ	3 例）
（付近の除雪作業による地動	1 例）
地震計の機器不良・障害など	15 例
（センサー等の機器異常	12 例）
（処理ソフトのバグ	3 例）

【誤報防止対策】

ハードウェア及びソフトウェアの両面から、誤報を防止するための改善を実施。主な対策を以下に示す。

1 ドアセンサーの設置

多機能型観測点での現地作業時には、中枢局側にて当該観測点の緊急地震速報処理を停止しておく必要があるが、連絡ミスなどにより 3 例の誤報が発生した。

これについては、観測局処理部にドアセンサーを設置し、ドアが開かれると現地観測点処理データにエラービットが入るようにして処理に用いることができないように改修を行った。

2 現地観測点処理の強化

中枢局側から当該観測点にリモートでコマンド投入を行った際の波形の乱れを処理部がコマンド投入と認識せずに処理したために誤報が発生した。リモートコマンドが発行された場合は、影響がなくなるまでの一定時間の間、緊急地震速報処理を停止させるように処理を改修した。

なお、現地観測点処理ソフトのバージョンアップを実施した際にバグが入り込んだため、誤報が 3 例発表された。

3 緊急地震速報処理ソフトの改善による対処

現地観測点処理で行っている震央距離予測値で、200km 以上の値を出力しているデータについては、異常とみなして震源決定処理以降を行わないよう処理を改

善した。

なお、2点目以降のトリガーデータが入電すると誤報ではないと判断して、震源決定処理等は再開される。

【誤報防止対策の効果】

以上の措置により、これまでに発生した26例の誤報のうち、16例は抑止できる見込み。

また、試験運用開始当初と比較して、平成17年度以降では誤報の事例はかなり減少している。

【さらなる誤報対策】

現在、多機能型地震計の波形を常時監視するために波形状態監視装置を整備し、波形異常などについて自動的に報知・対処できるようパラメータの調整を行っている。

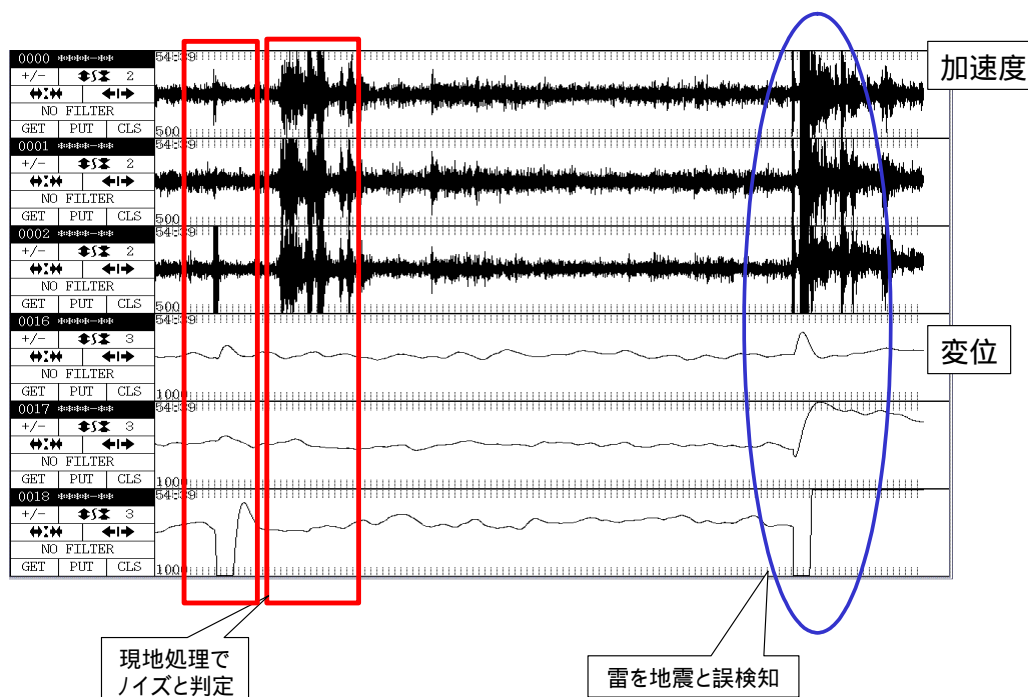


図8 雷によるサージ及び地動による誤報を行った観測点（滋賀永源寺）の波形状態

誤報直前も雷によると思われるサージなどが混入していたが、現地処理でノイズと判断していたが、すべてに対処できるわけではない。なお、この事例は震央距離による制限で対処可能である。