

2006年7月27日

緊急地震速報高度化の 今後の取り組み

防災科学技術研究所 堀内茂木

文部科学省



高度即時的地震情報伝達網実用化プロジェクト(2003-2007)

緊急地震速報を実用化させることを目標とし、1)リアルタイムで収録されている地震波形データを瞬時に解析、2)結果を多数のユーザに配信、3)地震情報を有効活用するためのシステム開発、を行う。

地震波波形処理と提供の研究

防災科研・気象庁（～H20/3）

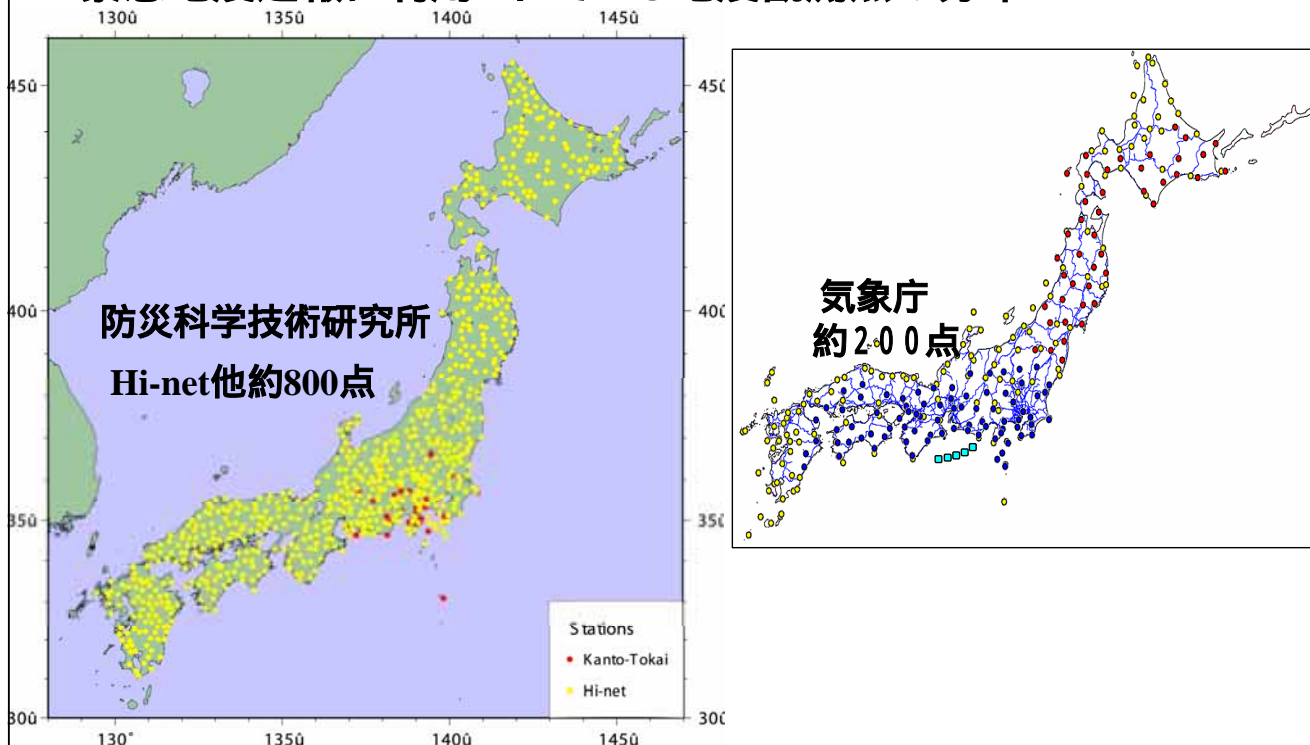
地震波波形処理と提供の研究
地震情報収集・提供システムの開発
地震情報解析システム及び地震動作確認システムの開発研究
受信側の基礎データシステム開発

利活用に関する実験・調査

リアルタイム地震情報利用協議会・気象協会・気象庁・防災科研（～H20/3）

リアルタイム地震情報の利活用の実証的調査・研究（特定非営利活動法人（NPO）リアルタイム地震情報利用協議会に委託）
地震情報の実用化に向け14分野について、実証実験を通じて改善点を抽出する

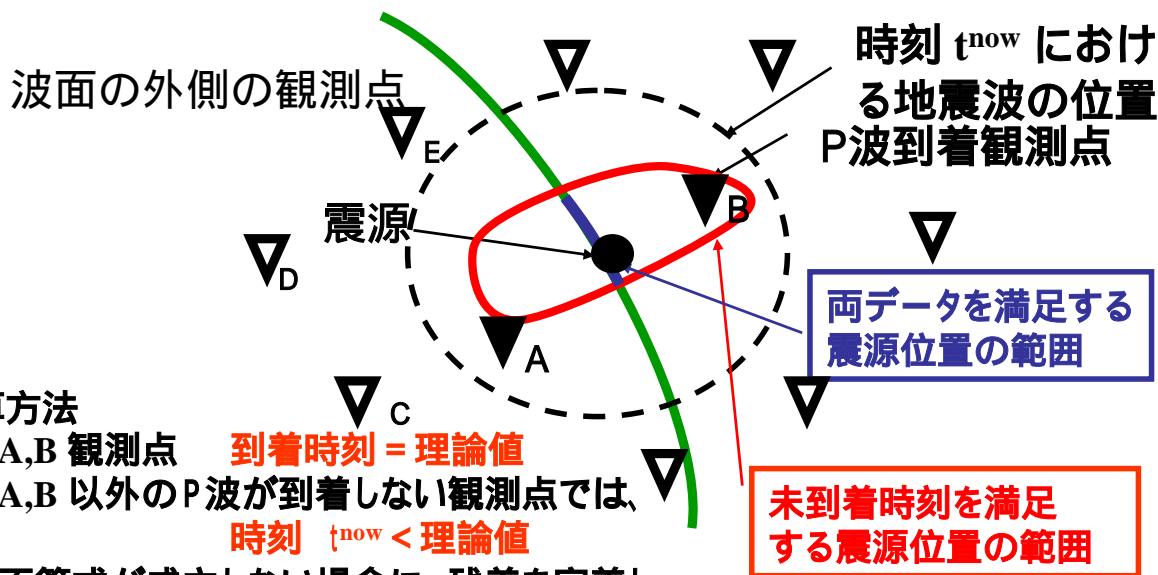
緊急地震速報に利用されている地震観測点の分布



即時処理システムは、2点以上の観測点の地震波を検出すると、震源の位置とマグニチュードを自動決定する。

1. 着未着法による震源決定

観測点A,BのP波到達時刻を満足する曲線



計算方法

- A,B 観測点 **到着時刻 = 理論値**
- A,B 以外のP波が到着しない観測点では、**時刻 $t^{now} < 理論値$**
- 不等式が成立しない場合に、残差を定義し、数値計算で解を推定

ノイズや、別の地震のデータが混入すると、殆どの場合、両式を満足する解が存在しない。解が存在しない場合、間違ったデータが混入したと判断し、それを除去するアルゴリズムを加えた。これにより、**99%の地震**がほぼ正確に処理できるようになった。

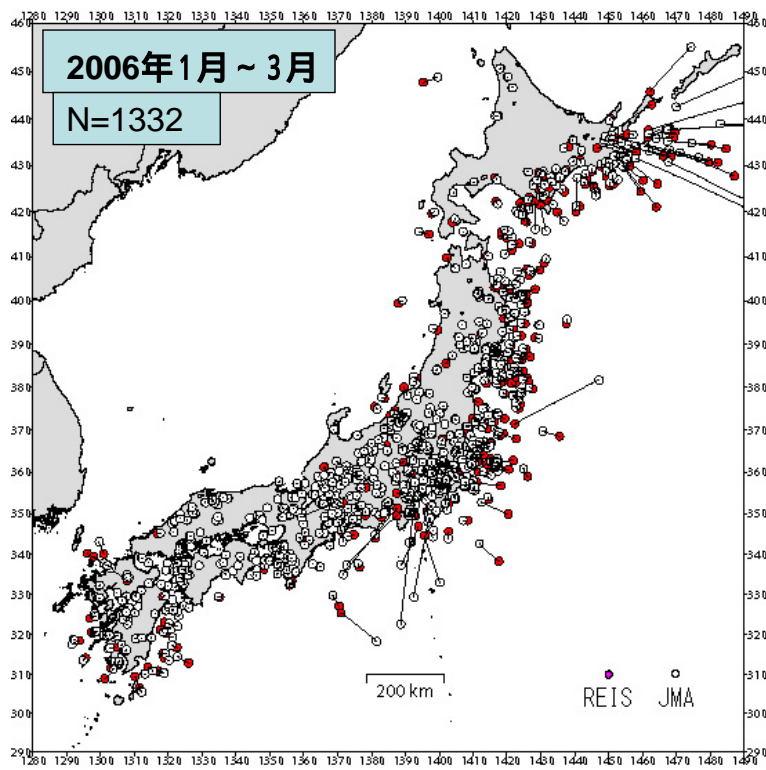
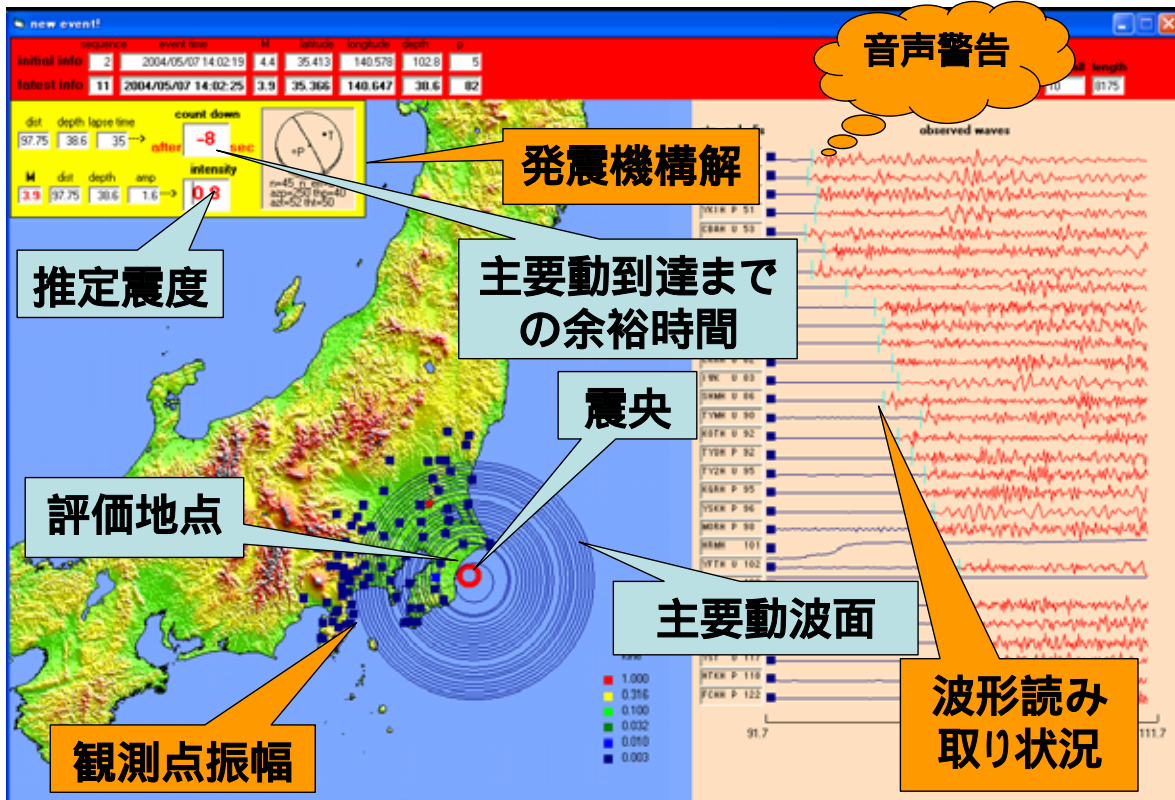


図3. 緊急地震速報のための即時震源システムによる震央位置(第一報)と、気象庁によるマニュアル処理結果との比較。着未着法の導入、複数の地震発生やノイズ混入時にも正しく処理できるよう、ソフトウェアの改良を行った結果、99%の地震の震源がほぼ正確に求められるようになった。

即時地震情報の受信・表示システム (地震時表示画面)



現プロジェクトで、大地震の即時震源決定システムの開発が行われ、地震検出後の数秒間で、ほぼ正確な震源パラメータの推定が行われるようになった。

2. 震度マグニチュードの導入

気象庁マグニチュード (M_{JMA}) の定義式

$$M_{JMA} = 1.73 \log \quad + \log A - 0.83 \quad (1)$$

; 震央距離、A; 変位振幅の最大値

計測震度 (I_k) の定義式

$$I_k = 2 \log (Va) + 0.94 \quad (2)$$

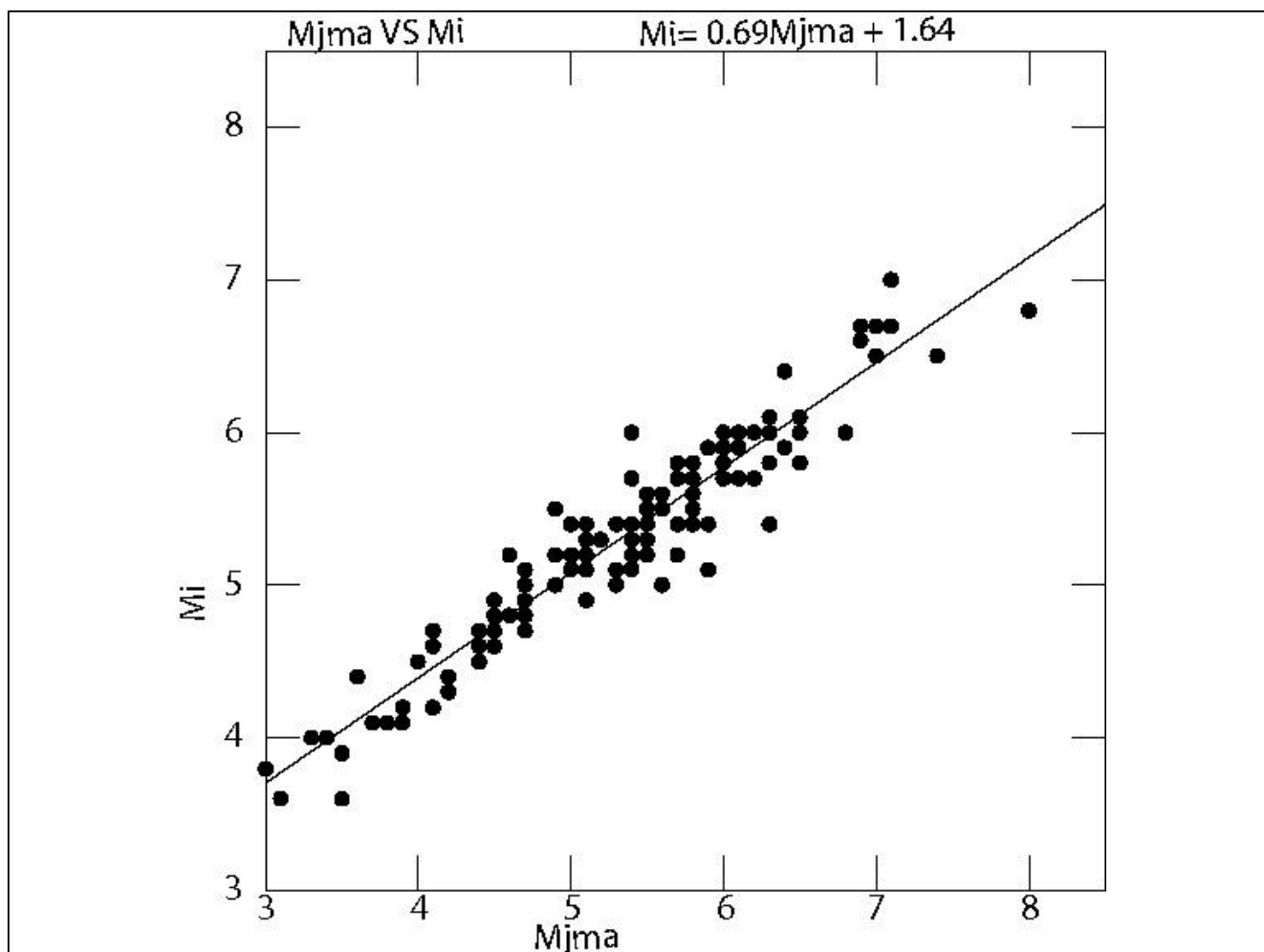
Va; フィルター後の加速度 (gal) の最大値

従来の震度の推定は、 M_{JMA} を用いて行われている。
これは、変位を計って、加速度を予測していることに対応している。
加速度は、加速度から、予測されるべきである。

震度マグニチュードの導入

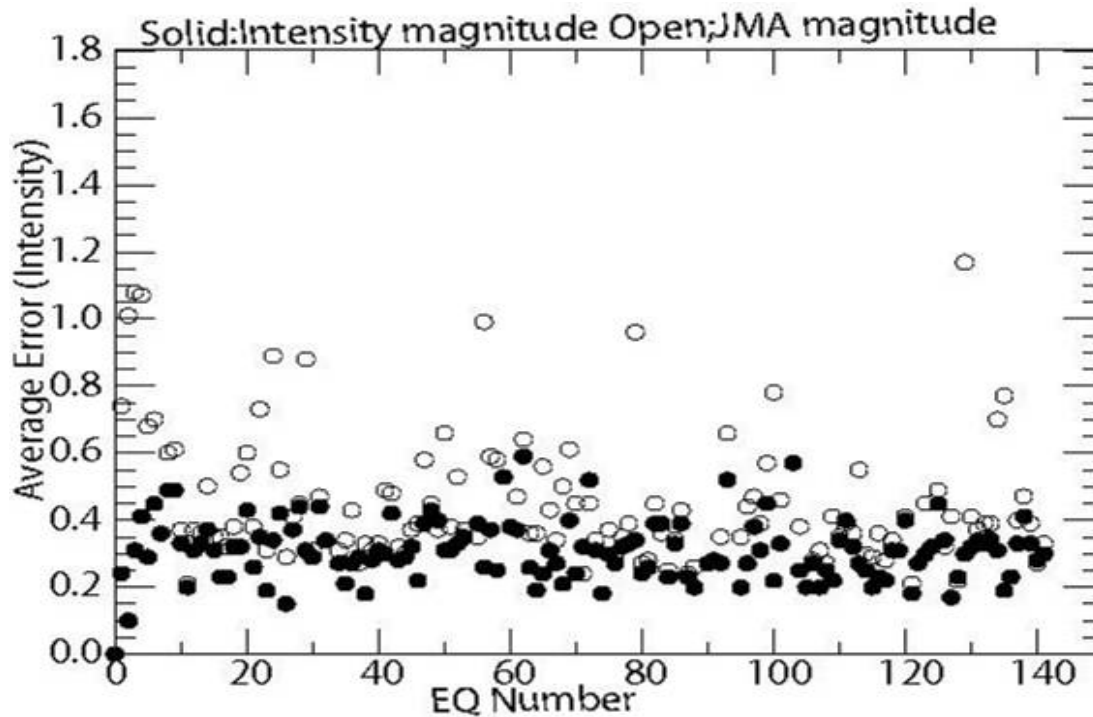
$$M_i = I_k / 2 + \log (\quad) + f Ts / (2.3Q) - \log(b) + C_j \quad (3)$$

f = 3 Hz、Ts; S波走時、Q: 400、 b; 定数、C_j; 観測点補正值
 M_i は計測震度から直接定義されている。

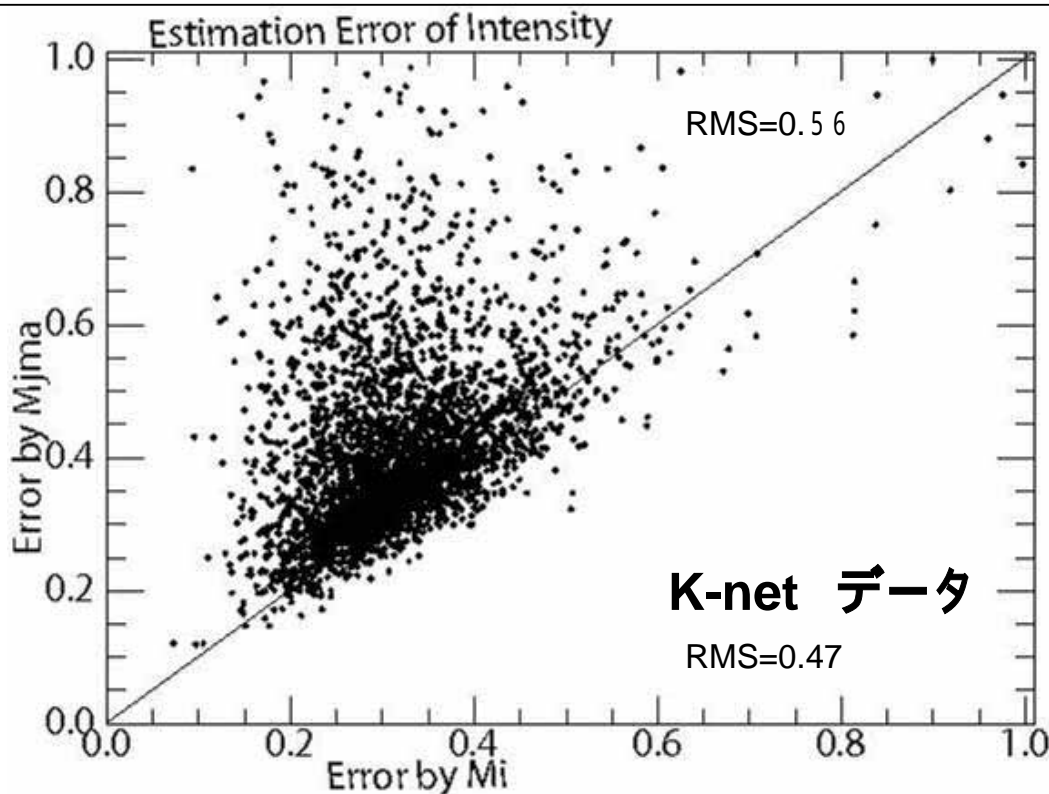


震度マグニチュード導入の効果(1)

—震度推定の高精度化—

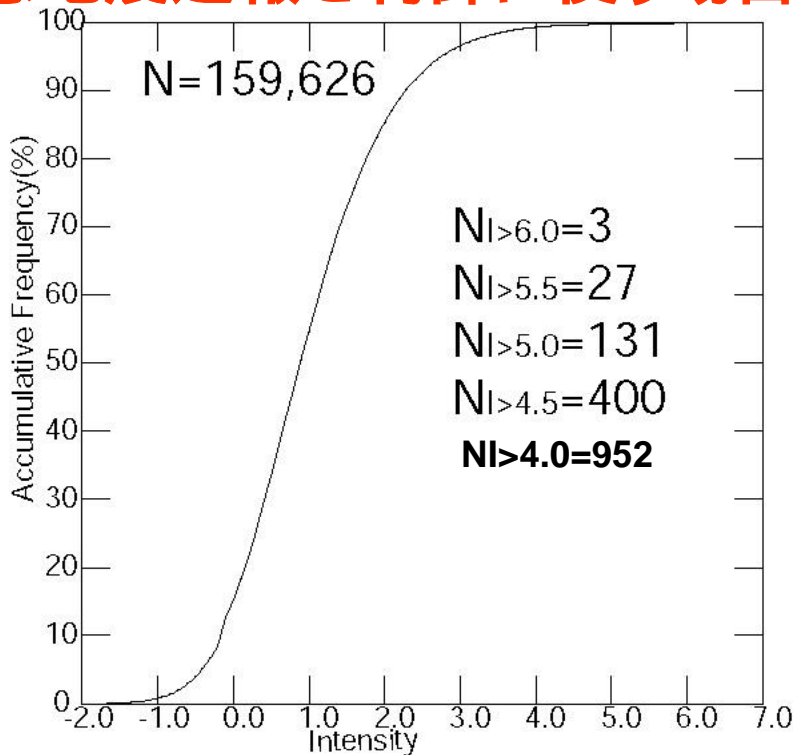


気象庁マグニチュードを用いる場合(白丸)と、震度マグニチュード(●)を用いる場合の、震度の推定誤差の比較。震度マグニチュードの導入により、震度の推定誤差が約22%減少している。



震度マグニチュードによる震度の推定誤差の平均値(横軸)と、気象庁マグニチュードによるそれとの比較。45度の直線より下側のプロットは、距離減衰式の違いに原因している。

3. 緊急地震速報を制御に使う場合の課題



K-net観測点の震度別積算回数(%)。震度6.0,5.5,5.0,4.5,4.0以上が観測された回数は、それぞれ、3,27,131,400,952回である。震度が6.0,5.5,5.0から1小さい揺れの、発生頻度は、 $1/44$ 、 $1/15$ 、 $1/7$ になっている。

緊急地震速報を制御に用いる場合の適切な制御の割合

震度の平均的推定誤差	適切な制御と不適切な制御の割合
± 1.0	1 / 100
± 0.5	1 / 10
± 0.4	1 / 6
± 0.3	1 / 4 (到達目標)

1. 震度マグニチュードを用いる場合

誤差 = 0.47以上, 割合8.7

2. 気象庁マグニチュードを用いる場合

誤差 = 0.56以上, 割合13.2

3. P波センサー

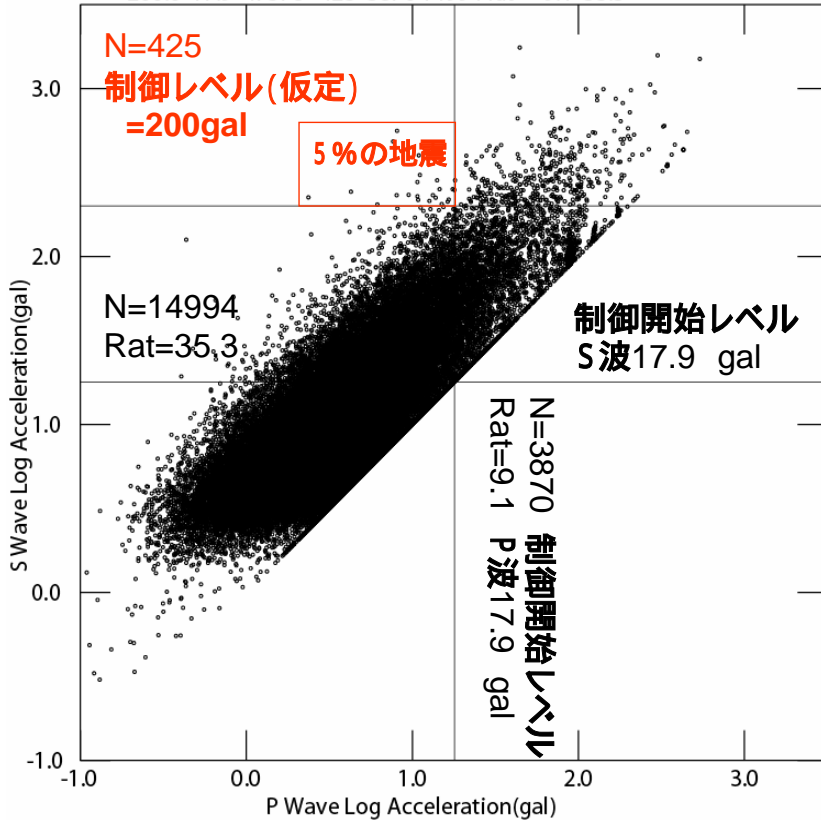
誤差 0.54, 割合 9.1

緊急地震速報なし 35.3

仮定

- 震度がある敷居値以上になると95%の確率で制御できる。
- 震度の推定誤差は正規分布に従う。

200.0 17.9 47578 425 3870 14994 rat= 9.1 35.3

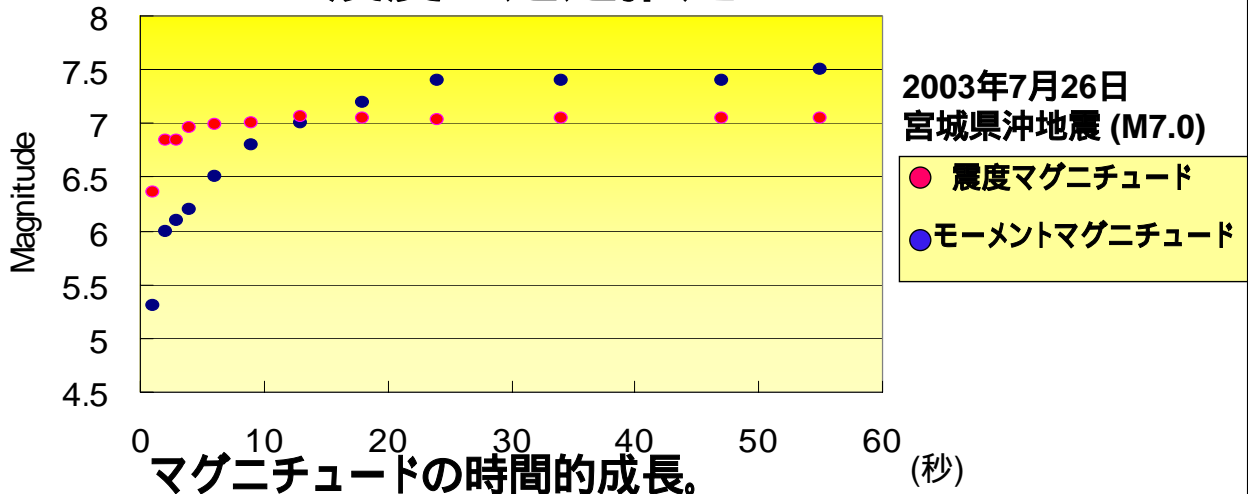


P波センサーを用いる場合の適切な制御の割合。

- 1) 200galを越える地震について制御を行うと**仮定**
- 2) 200galを越えた観測回数は、425回。
- 3) その5%のP波部分の振幅は17.9gal以下。
- 4) 17.9gal以上が観測された場合に制御を開始するように設定。
- 5) 17.9gal以上の観測回数は、14994回。
- 6) P波部分が17.9galを越えた回数は3870回。
- 7) P波センサーを用いる場合、制御レベルを超える地震は、35.3回に一回。緊急地震速報等の情報で、P波とS波を区別できる場合には、9.1回に一回。

K-netによる、P波部分の最大加速度の対数(横軸)と、最大加速度の対数(縦軸)との関係。

震度マグニチュード導入の効果(2) —震度の迅速推定—

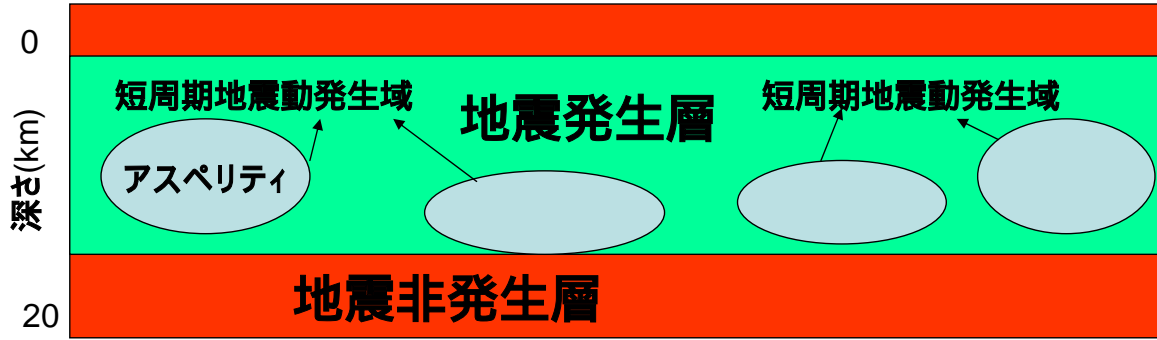


2003年7月26日
宮城県沖地震 (M7.0)

● 震度マグニチュード
● モーメントマグニチュード

一般に、大きい地震は、成長するのに時間がかかる。宮城県沖地震の場合、断層運動は約20秒間継続したが、震度マグニチュードは約4秒間でほぼ一定となっている。この結果は、4秒間で正確な震度の予測が行えることを示している。別の多くの地震の結果も同様であり、断層運動の初期段階、即ち、断層が拡大している最中に、最終的な震度の予測が可能である。

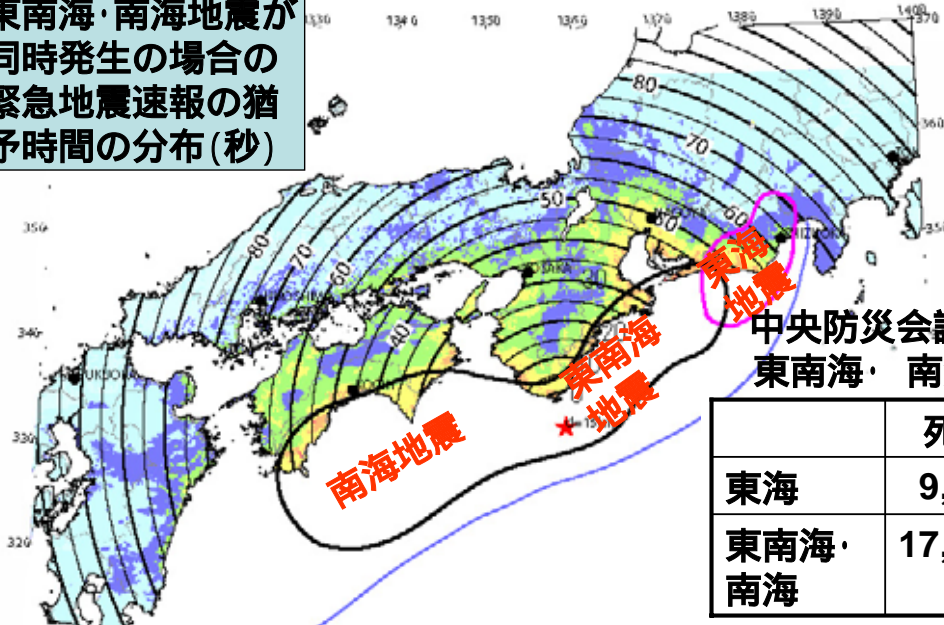
断層の鉛直断面図



震度マグニチュードが断層運動の初期段階で推定可能な理由を示す模式図。1) 短周期振幅は主にアスペリティ領域で生成される、2) アスペリティの面積は断層面積の22%、であることが知られているが、短周期地震動は位相が一致しなく、和はルートで大きくなるため、2番目以降のアスペリティ領域が破壊しても、短周期振幅はあまり大きくならない。このため、震度マグニチュードは、最初のアスペリティが破壊した時点で、ほぼ決定される。

Rydelec and Horiuchi, Is earthquake rupture deterministic?, NATURE, 441, 8 June 2006.

東南海・南海地震が同時発生の場合の緊急地震速報の猶予時間の分布(秒)



中央防災会議による想定東海、東南海・南海地震の被害額

	死者	被害額
東海	9,200人	37兆円
東南海・南海	17,600人	57兆円

課題: 緊急地震速報は、数百万～数千万人に地震情報を流す国家的プロジェクトであると思われるが、東海地震、東南海、南海地震が発生した場合、大部分のHi-net観測網データは振り切れてしまい、有効な情報が配信できない可能性が強い。Kik-netのリアルタイム化が必要である。また、これらの地震による、津波、地震動による被害軽減には以下の研究を積極的に行う必要がある。

- 1) 震源域の面的広がりを1 - 2分程度で推定するための技術開発。
- 2) 揺れの強さをより正確に推定するための技術開発。

緊急地震速報高精度化のための開発、整備、訓練について

- 1) Kik-netリアルタイム化と震度マグニチュードの配信、それを利用した震度推定**
- 2) 観測点情報配信と、近傍の観測点の振幅情報を用いた地震動予測**
- 3) 震源の面的広がりの即時推定とそれを考慮した震度推定手法の開発**
- 4) 3次元減衰構造の補正 (誤差 0.47→0.38)**
- 5) 発震機構の補正**
- 6) 長周期地震動のリアルタイム推定**
- 7) 地下構造データベースの整備**
- 8) 東海地震発生等の情報の配信と訓練の開始**