

鉄道業界における 早期地震警報に関する最近の 取り組み

鉄道総合技術研究所
野田 俊太, 山本 俊六, 是永 将宏



発表内容

実用化に関する取り組み

- 新しいP波検知手法を搭載した地震計の開発
- 海底地震計データによる地震警報の実用化

さらなる高度化に向けた取り組み

- 新たなマグニチュード推定手法の開発



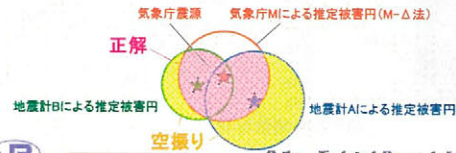
新しい地震検知アルゴリズム

	現行手法	新しい手法
P波検知	STA/LTA法	STA/LTA法+レベルトリガ法
震央距離	B-Δ法(2秒)	C-Δレベル C-Δ法(0.5秒) 粘性減衰を考慮
震央方位	固定ウィンドウ法 (1.1秒)	可変ウィンドウ法 (1.0秒以内, 平均0.58秒)
マグニチュード	変位M	推定タイミングの追加 変位M+加速度M 粘性減衰を考慮
ノイズ識別	振幅特性	振幅特性+周波数特性
警報時間	最短2.0秒 (標準設定)	最短1.0秒 (標準設定)

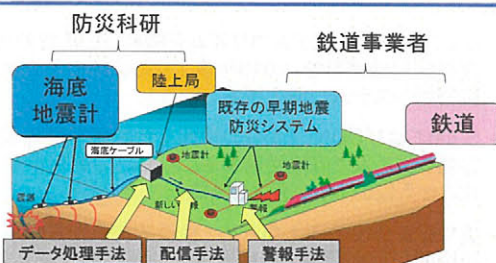
新しいアルゴリズムの総合的な性能検証

	現行手法	新しい手法
正解	0.87	0.93
空振り	8.83	3.25

- ・マグニチュード5.0以上の154地震を対象にK-NETデータ(8476波形)を用いて計算
- ・“正解”は気象庁の結果を用いた被害円に含まれる推定被害円の面積比の平均
- ・“空振り”は気象庁の結果を用いた被害円から外れた推定被害円の面積比の中央値



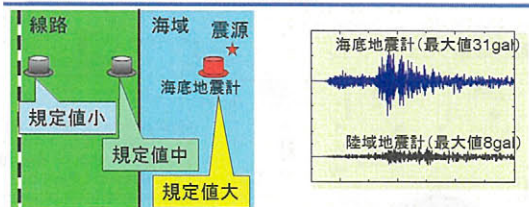
海底地震計情報による列車制御



- 鉄道総研の役割: データ処理手法、配信手法、警報手法を開発・提供することにより、より早く確実な早期運転規制を目指す



規定値超過による警報



- 沿線からの距離に応じて規定値レベルが変わる
- 海域では陸域に比べて振幅が大きくなる傾向がある

規定値=距離の影響 * 振幅増幅の影響

経験的な増幅特性の把握



信頼性の高い配信・データ処理手法

鉄道事業者で保守管理のできない部外情報

信頼性を確保するための配信・データ処理手法

品質管理フラグ

複数観測点処理

●データの信頼性を評価して、
●規定値超過+隣接観測点の振幅データと共に配信

●規定値超過+隣接観測点の振幅レベル上昇で警報出力

品質管理フラグの例
(サンプル間で極端な振幅の変化があった場合はノイズの可能性が高いと考える)

2017年11月より運用開始(JR東日本)

Railway Technical Research Institute

相似的成長からの離脱時間 (T_{dp}) と M

Noda & Ellsworth (2016)

T_{dp} : M依存 & 最大振幅到達前

$M_w = 2.29 \times \log T_{dp} + 5.95$
(※ただし現状ではM7クラスまで)

【検証結果】
(模式図) 最大振幅
M大
M中
M小
 T_{dp} : 離脱するタイミング

M依存性無し 時間(対数)

M	最大振幅までの時間 (s)	T_{dp} (s)
5	1.5	0.38
6	3-4	1.05
7	10	2.87

T_{dp} は最大振幅到達までの約3割程度

Railway Technical Research Institute

T_{dp} を活用したM推定

Noda & Ellsworth (2017)

T_{dp} 発生後のデータのみを用いて
P波振幅とMの関係式を求める

(距離補正されたP波振幅)
 $= b \cdot M + c[T]$

T (s)	b	c[T]
1.00	0.69	-3.30
1.25		-3.25
1.50		-3.22
1.75		-3.17
2.00		-3.16
2.50		-3.10
3.00		-3.03
4.00		-2.95

⇒ 切片を時間依存化

Railway Technical Research Institute

T_{dp} を活用したM推定

Noda & Ellsworth (2017)

- Data: 5 nearby K-NET stations for each event (medians of the estimated M at each station (black or gray))
- Filter: 0.075 - 3 Hz
- Assumptions:
 - Manual P picks
 - The hypocenter locations are known
 - P wave arrives simultaneously at each station

本提案手法: 速さ○, 精度○

Railway Technical Research Institute

T_{dp} の物理的メカニズムに関する議論

Murphy & Nielsen (2009)による動的破壊シミュレーション

- Initial asperityでの破壊は、速いモーメント解放を生む。
- Initial asperityが小さい場合、周辺での破壊はやがて停止する。
- Initial asperityの大きさが一定を越えると、自発的に破壊が広がる。

⇒ Initial asperityでの破壊が T_{dp} に相当する?
⇒ M7より大きい場合、(統計的には) 自発的な破壊伝播が発生する?

Fraction lag: Rate & State dependent (Dieterich, 1979)
Rupture propagation computation: Finite difference (Madariaga, 1976)

Railway Technical Research Institute

まとめ

- C- Δ 法などの改良アルゴリズムを搭載した新型の早期検知用地震計を、2018年度より新幹線の早期地震警報システムに導入予定。
- S-netおよびDONETからの情報を新幹線早期地震警報システムで直接受信することにより、列車を停止させる(2017年11月より開始)。
- 更なる安全性の向上のため、相似的成長からの離脱時間 (T_{dp}) を考慮したM推定の即時性向上手法を提案。
- T_{dp} の物理的背景については現在調査中。

Railway Technical Research Institute