

早期地震警報の高度化(その1)

近地地震のための P波規定値超過判定手法

鉄道地震工学研究センター 地震解析研究室
主任研究員 森脇 美沙

- 従来の警報手法の概要
- P波規定値超過判定手法の概要
- 2004年新潟県中越地震への適用例
- 本手法の導入に向けた検討
- まとめ
- 成果の活用

従来の警報手法の概要

【S波規定値超過判定手法】

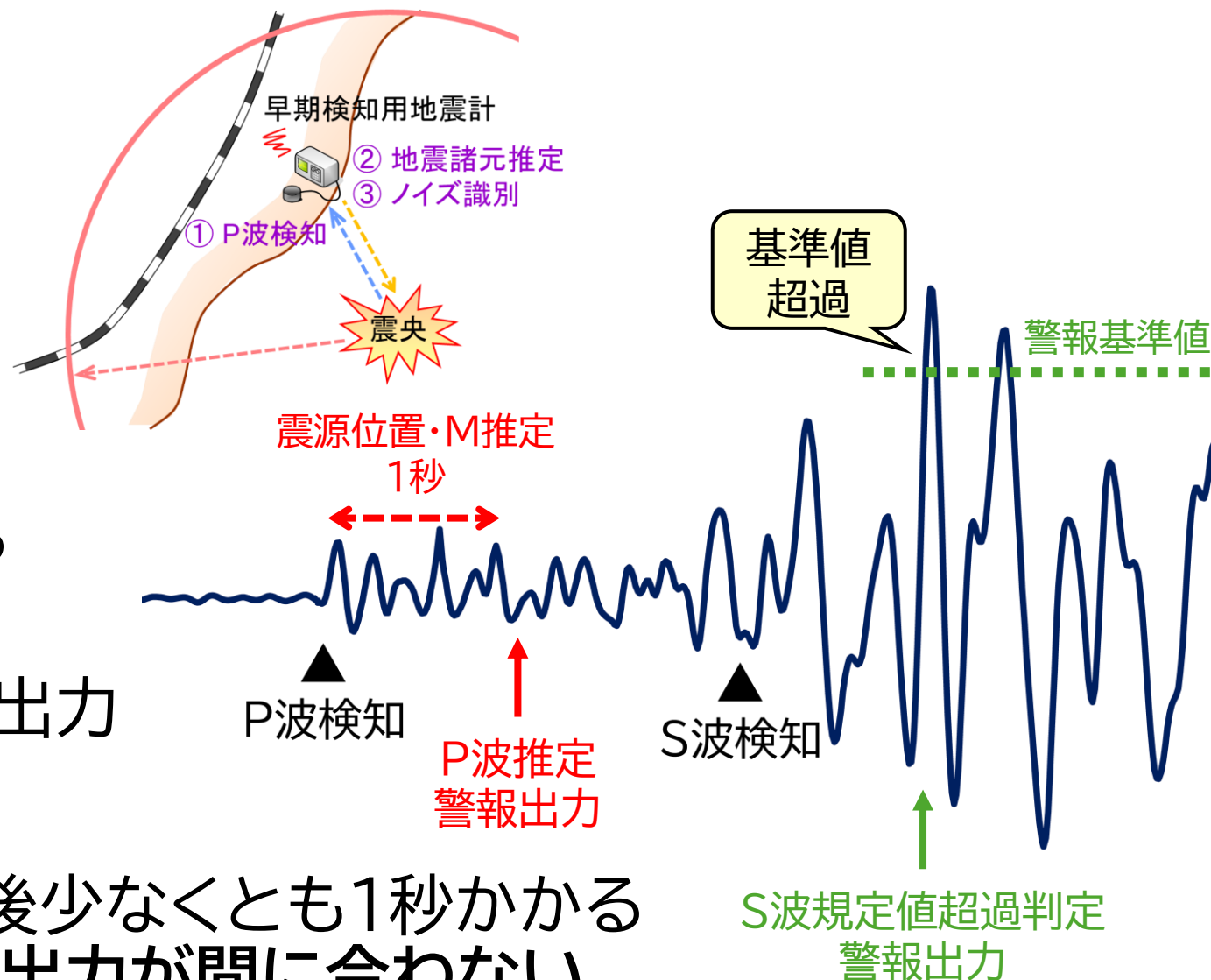
警報基準値を超過したとき
(主にS波到達後)に警報出力

【P波推定手法】

P波検知後最短1秒のデータから
地震諸元(震央位置・M)を推定

Mの大きさに応じた範囲に警報出力

⇒ 課題: 警報出力にはP波検知後少なくとも1秒かかる
震源断層近傍では警報出力が間に合わない



P波規定値超過判定手法の概要

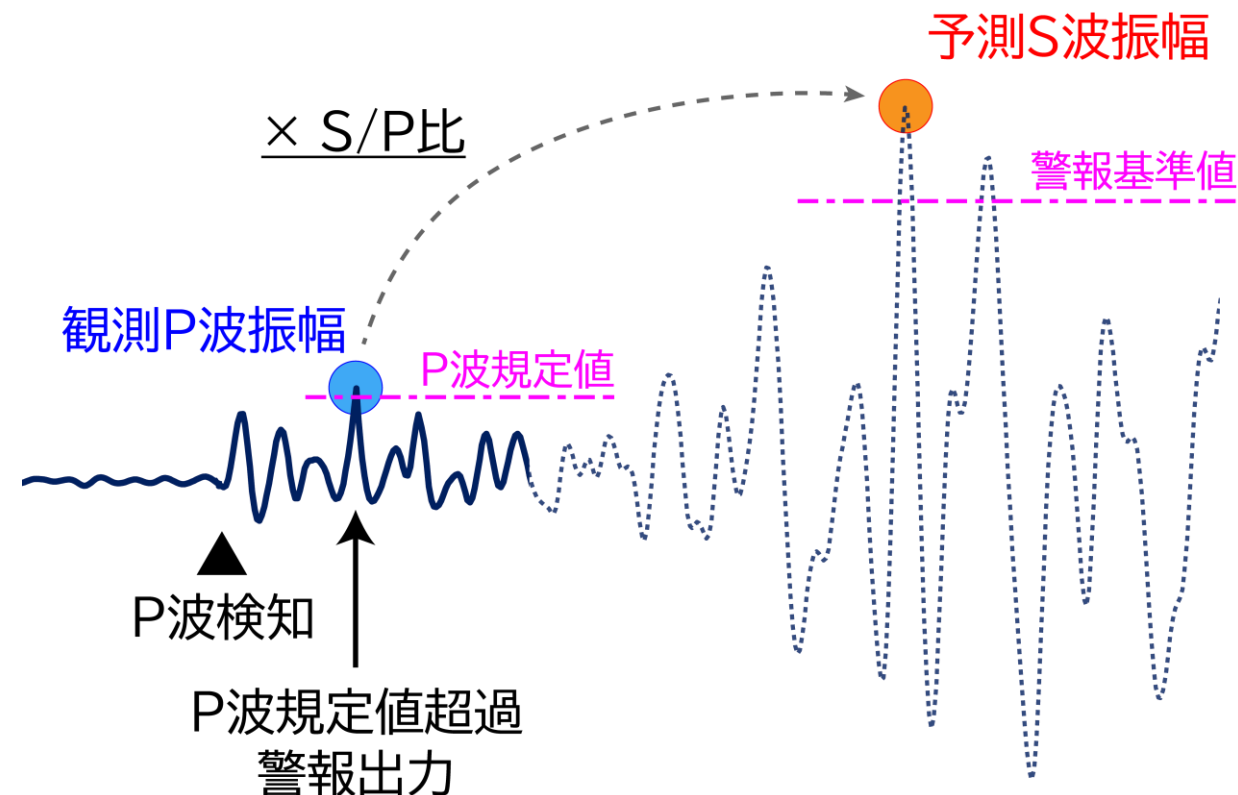
- P波振幅からS波振幅を直接予測する
- 地震検知点ごとに固有のS/P比を利用
- 演算方法がシンプル
- 地表でのP波とS波のフーリエスペクトル $O^P(\omega)$ 、 $O^S(\omega)$ の関係

$$\log O^S(\omega) = \log O^P(\omega) + \underline{b(\omega)}$$

$\underline{b(\omega)}$ は震源・伝播経路・サイトの影響を含む

地表S波／基盤P波は震源・伝播経路より
サイトの影響を強く受ける(宮腰・津野, 2015)

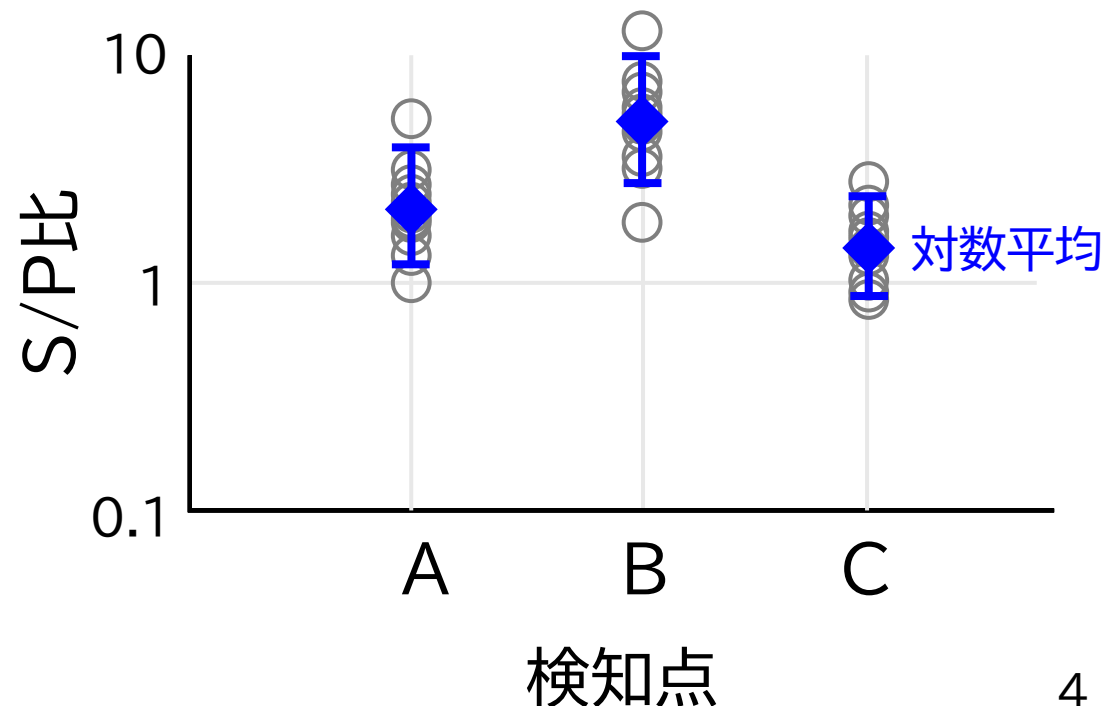
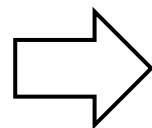
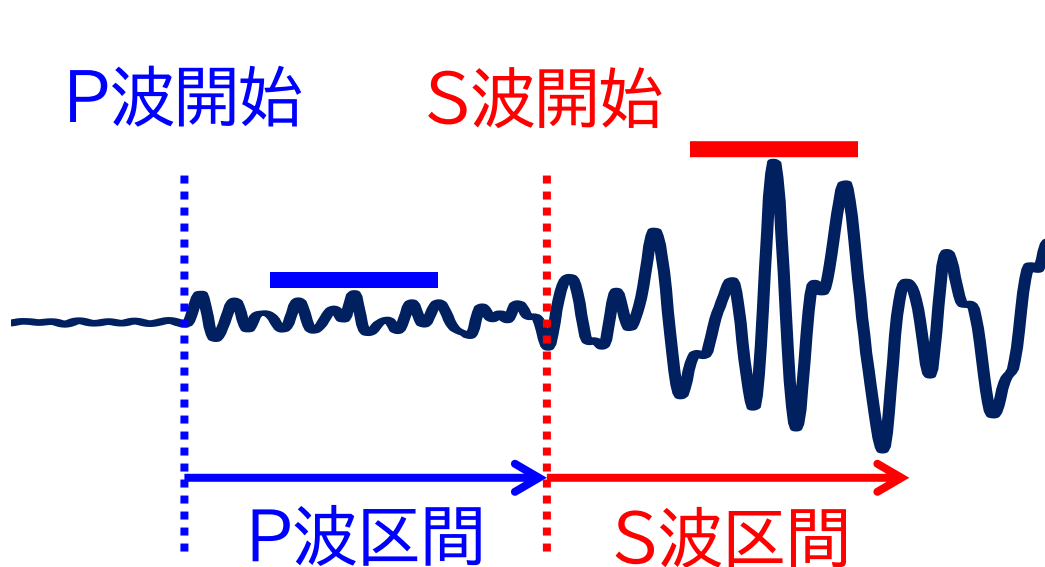
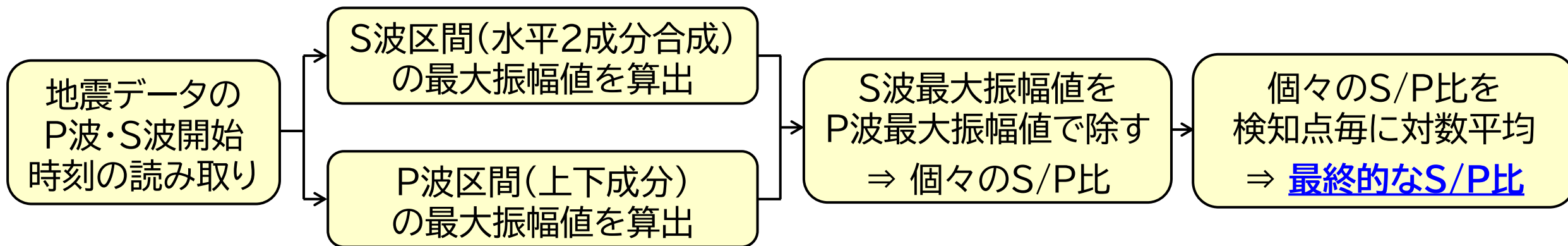
そこへP波のサイト増幅特性を付加しても同様に
震源・伝播経路の影響は小さい(津野・宮腰, 2019)



リアルタイムで観測P波振幅にS/P比を乗じてS波振幅予測・警報出力判断

P波規定値超過判定手法におけるS/P比算出手順

Railway Technical Research Institute



- 従来の警報手法の概要
- P波規定値超過判定手法の概要
- 2004年新潟県中越地震への適用例
- 本手法の導入に向けた検討
- まとめ
- 成果の活用

2004年新潟県中越地震への適用例：S/P比の算出

Railway Technical Research Institute

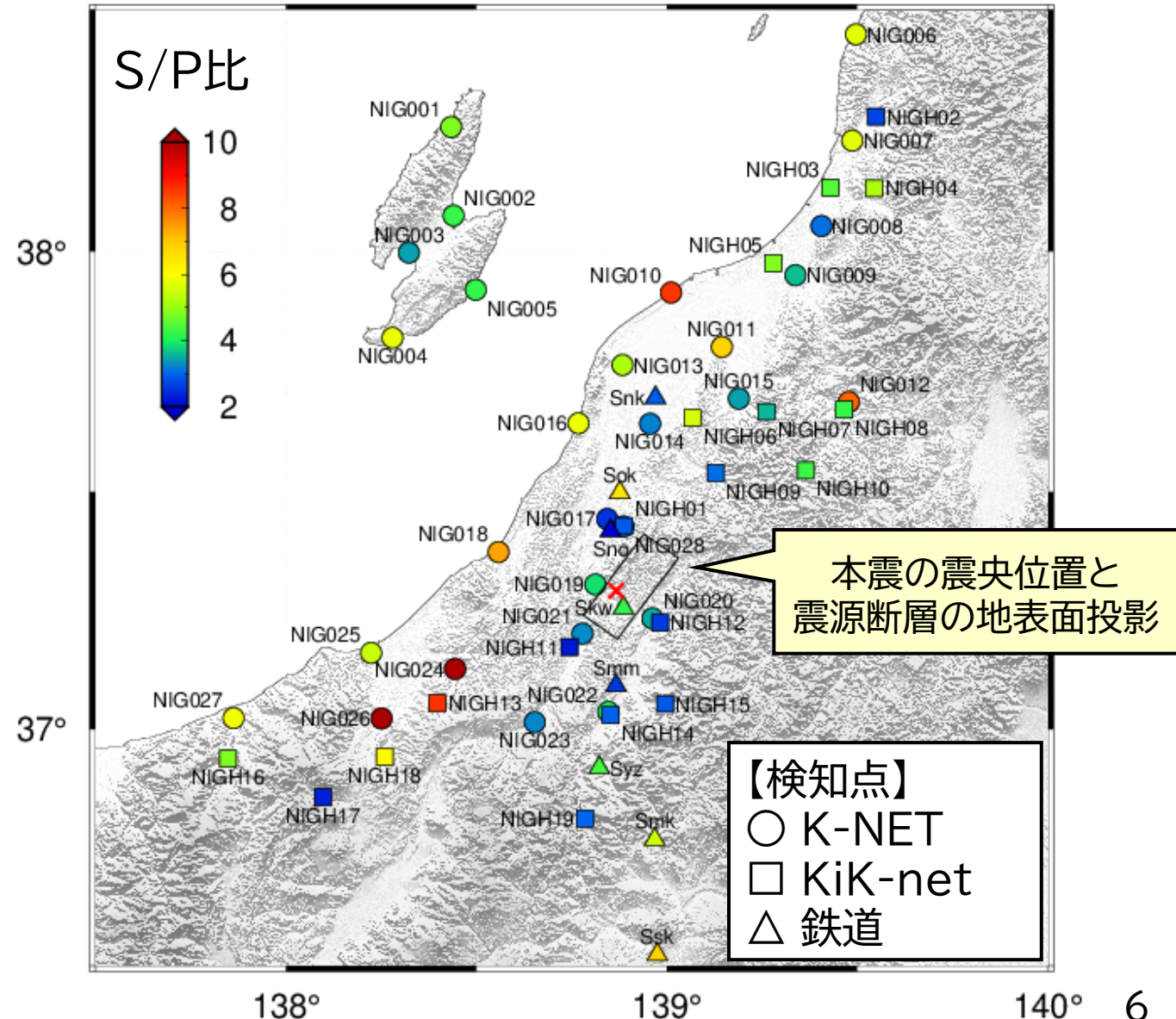
【S/P比の算出】

- 87の中小地震データ
- 期間:2006～2014年
- 規模: M_j 4.0～5.9

検知点によりS/P比の値が
約2～10倍と変動している



地点ごとに把握することの
重要性を示している

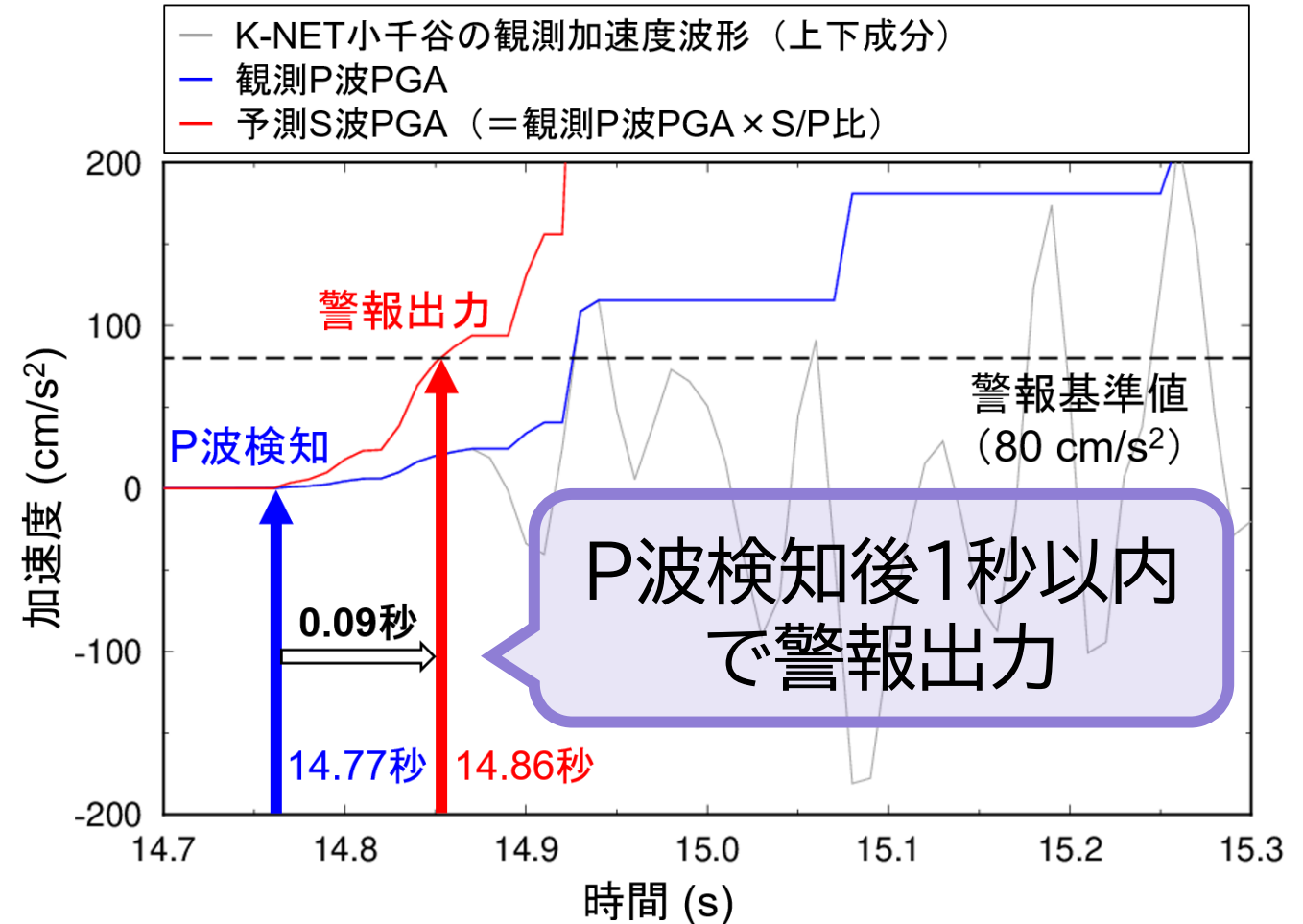


2004年新潟県中越地震への適用例：警報出力判断

Railway Technical Research Institute

【K-NET小千谷における本震データへの適用例】

- 地表面最大加速度(PGA)に適用
 - 予測S波PGA
= 観測P波PGA × S/P比
 - K-NET小千谷のS/P比は3.86
 - 予測S波PGAが80gal超過したら警報出力と仮定
- ⇒ P波検知からわずか
0.09秒後に警報出力

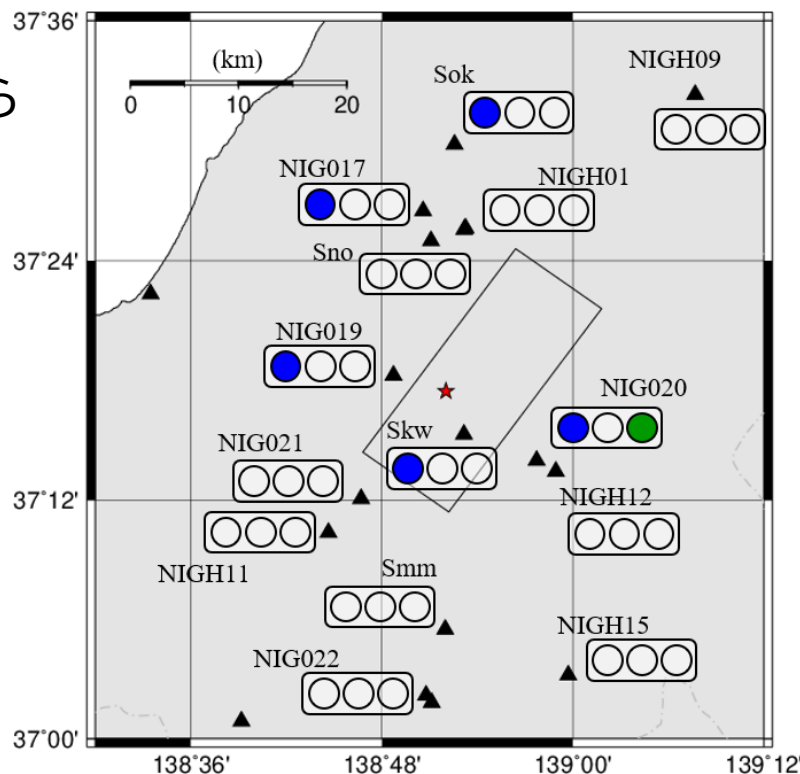


2004年新潟県中越地震への適用例：警報手法間比較

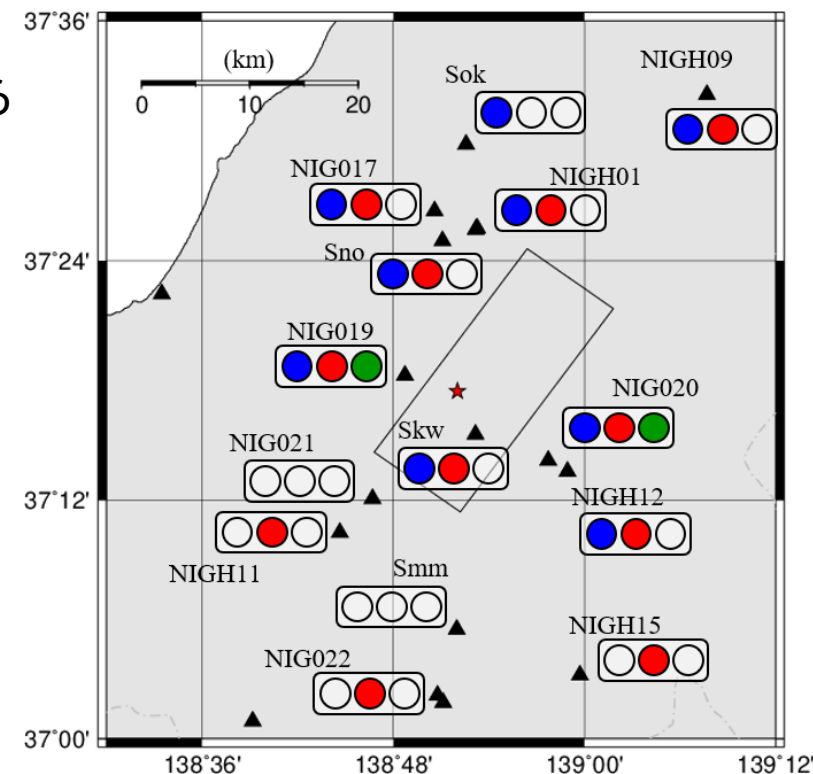
Railway Technical Research Institute

警報出力：●P波規定値超過判定手法，●P波推定手法，●S波規定値超過判定手法

P波検知から
0.64秒後



P波検知から
1.28秒後



震源近傍域では提案手法による警報が最も早く出力される
他の警報手法と併用することで安定的に警報出力できる

- 従来の警報手法の概要
- P波規定値超過判定手法の概要
- 2004年新潟県中越地震への適用例
- 本手法の導入に向けた検討
- まとめ
- 成果の活用

P波規定値超過判定手法の導入に向けた検討

- S/P比を安定的に算出するにはどうすればよい？
 - ⇒ 過去地震データの選び方や必要数などについて検討
 - ⇒ 運転規制で用いられている警報用最大加速度(JRPGA)で検討
- 空振り警報(S波振幅の過大評価)はどの程度増加する？
 - ⇒ 輸送影響評価手法を開発, 空振り(過大)／見逃し(過小)の評価
- 早期地震警報システム全体として、警報の迅速性はどの程度向上する？
- // 運転制御範囲はどう変化する？
 - ⇒ 地震時列車運転規制シミュレータを開発(岩田ほか, 2026)
 - ⇒ 警報発令時間や運転制御範囲を評価

S/P比の安定的な算出手法の検討①

【地震データ要件の検討】

条件①: S波JRPCGA上位から順に選定

条件②: // 下位から順に選定

条件③: マグニチュード上位から順に選定

条件④: // 下位から順に選定

条件⑤: ランダムに選定

→ データをわざと偏らせた上で使用データ数を変化させたときのS/P比の推移を確認する

[右図] ある沿線検知点(N=318)の例

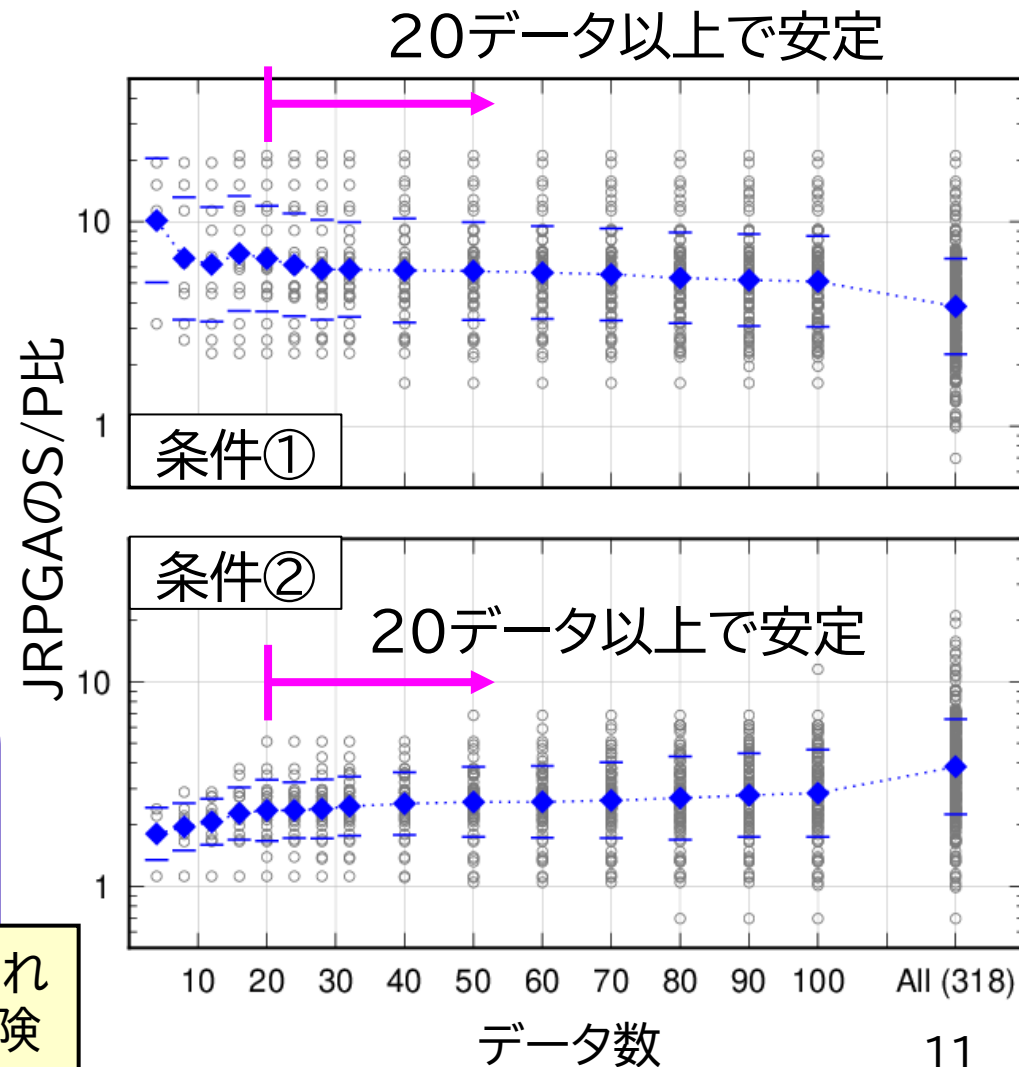
S/P比の算出に必要な地震データは**20以上**

JRPCGAの小さい地震データを使用すると

S/P比の値が小さくなる傾向にある

警報が発令され
づらくなり危険

○ 個々のS/P比 ◆ 平均のS/P比 — 平均±σ



S/P比の安定的な算出手法の検討②

【地震データ要件の検討】

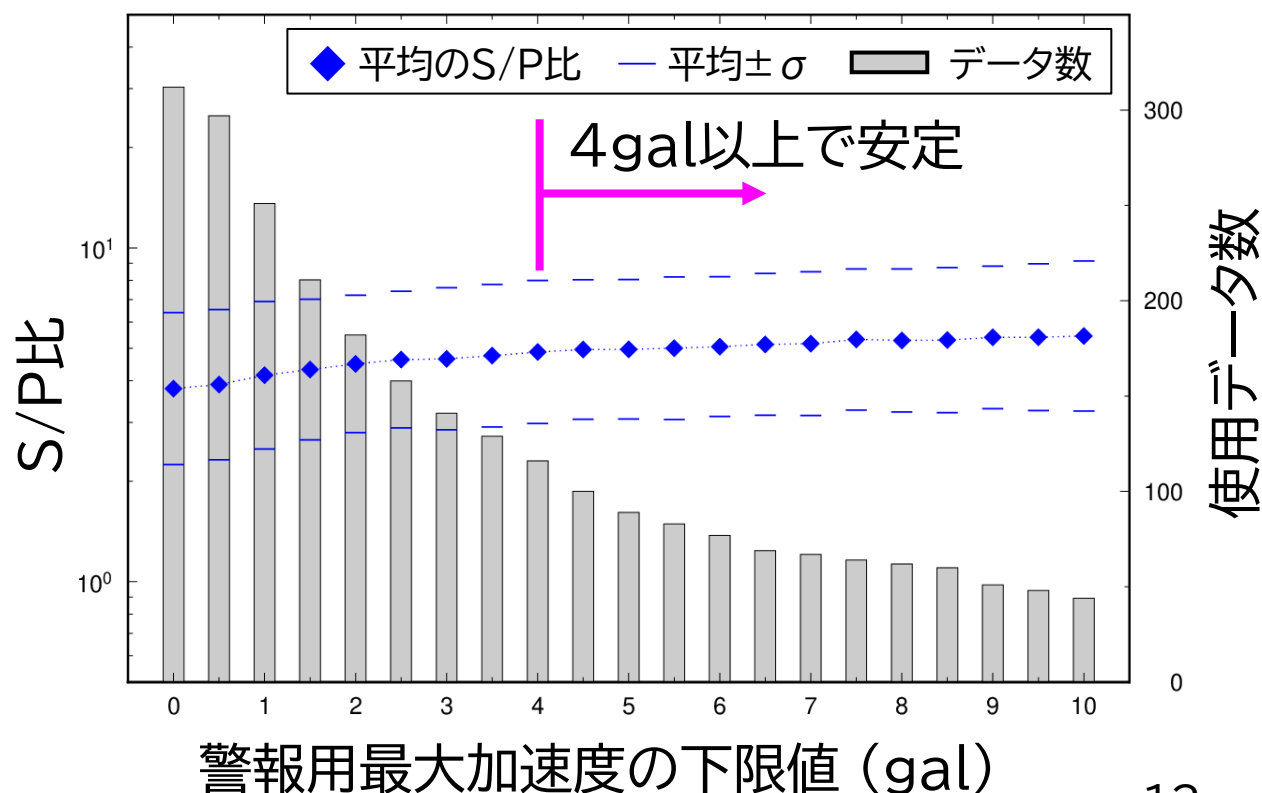
上限値: 地盤の非線形化の影響を避けるため**50gal**とする

下限値: 0.5galずつ引き上げていき、S/P比の推移を確認する

[右図] ある沿線検知点(p.11と同じ)の例

- 下限値を引き上げるほどS/P比が徐々に大きくなるが、使用データ数が減少する
- 概ね**4gal**からS/P比の値が安定し地震データ数も確保しやすい

S/P比算出に用いる地震データ要件は
「**4-50galの地震データを20以上**」

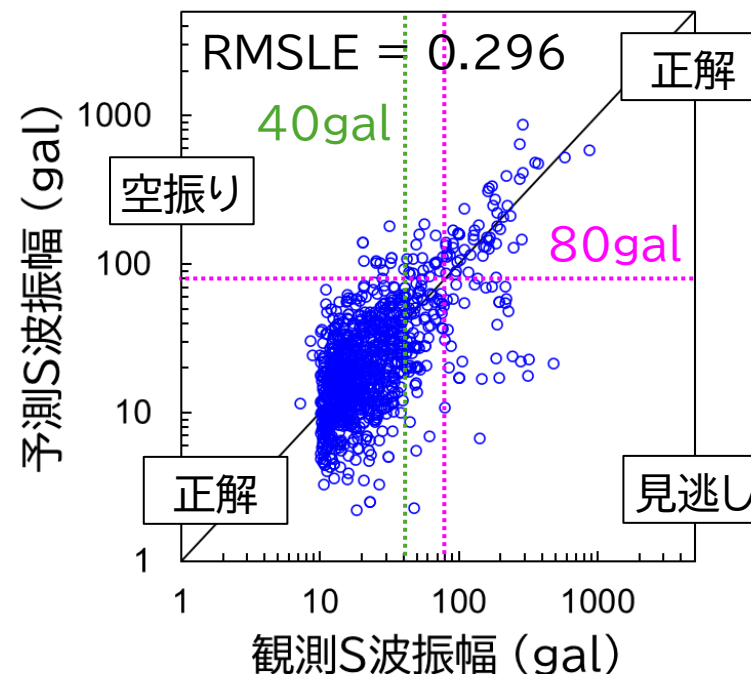


多数の中小地震に対する輸送影響評価

[検討条件] 沿線検知点52ヶ所を対象とする

- 本手法の警報基準値 : 40, 80, 120gal
- 従来のS波規定値超過判定手法の警報基準値 : 沿線40gal
- S波検知 : V/H法
※現行のP波推定手法で利用している
→S波検知したら演算停止
- 適合率(空振り)、再現率(見逃し)、空振り増加率の各指標で輸送影響を評価

本手法の警報基準値を80galとした場合、空振りは従来比で+5%程度に抑えられる



N=1010			
警報基準値	40gal	80gal	120gal
S波検出失敗		38	
適合率(空振り)	0.579	0.655	0.688
再現率(見逃し)	0.685	0.663	0.600
空振り増加率	1.47	1.05	1.01

地震時列車運転規制シミュレータによる検討

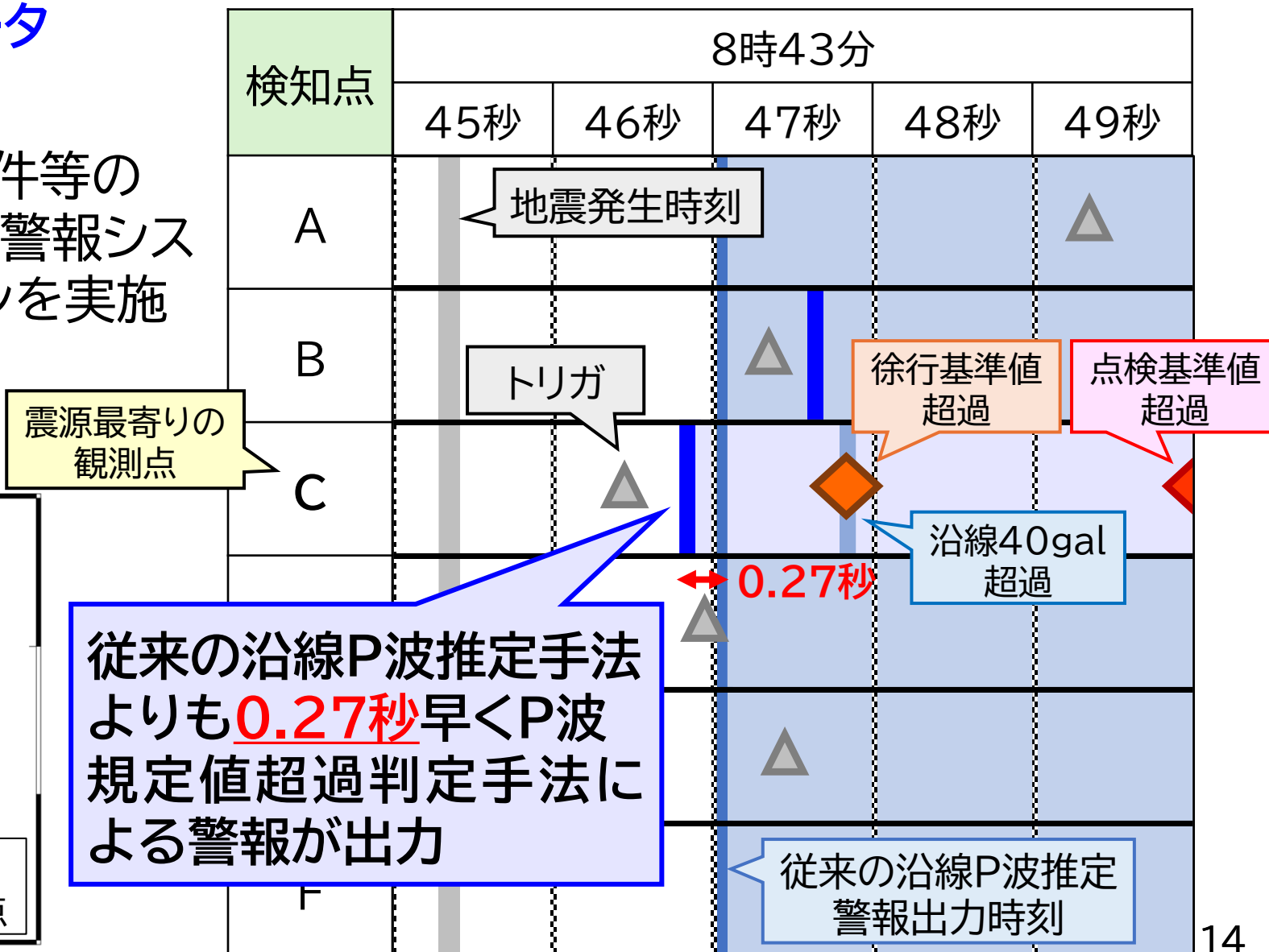
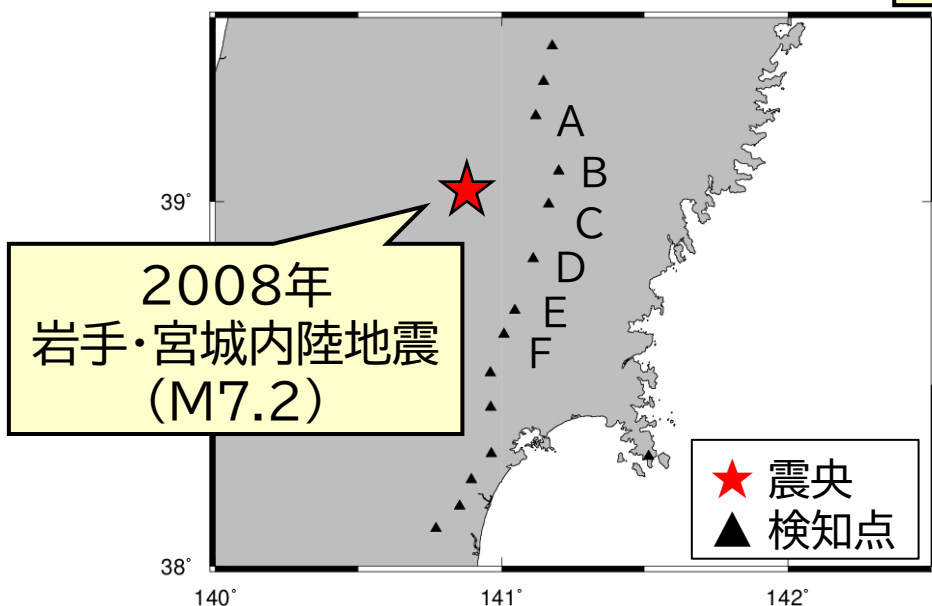
Railway Technical Research Institute

地震時列車運転規制シミュレータ

による検討

路線、地震検知点、警報出力条件等の
情報を入力し、実際の早期地震警報シス
テムを模擬したシミュレーションを実施

【シミュレーション例】



- 従来の警報手法の概要
- P波規定値超過判定手法の概要
- 2004年新潟県中越地震への適用例
- 本手法の導入に向けた検討
- まとめ
- 成果の活用

- 主に震源近傍でP波検知後1秒以下で警報出力することが可能なP波規定値超過判定手法を開発した
- 2004年新潟県中越地震の本震データに適用したところ
震源近傍ではP波検知後1秒以下で警報出力できていることを実証
- 既存の警報手法と併用することで安定した警報出力が可能
- 本手法で使用するS/P比を安定的に算出するには、JRPGAが4-50galの過去地震データが20以上必要であることを示した
- 新警報手法の導入可否判断のための検討に利用できる
輸送影響評価手法と地震時列車運転規制シミュレータを開発した

- 今後はP波規定値超過判定手法の**アルゴリズム仕様書**の作成を進め、実験機による**連続稼働試験**を実施予定
 - 警報基準値や検知点ごとのS/P比の設定、地震時列車運転規制シミュレータによる輸送影響評価などは、コンサルティング・受託で支援
- ⇒ 本手法の早期地震警報システムへの導入が可能に

【P波規定値超過判定手法】

- 1) 地震基盤P波と地表S波の係に及ぼす震源・伝播経路・サイト増幅特性の影響評価—オンサイト早期地震警報への利用を目的として—, 地震2輯, 68, pp.91-105, 2015
- 2) 津野靖士, 宮腰寛之: S波/P波の振幅比を利用したP波規定値の地震警報に関する検討, 日本地震工学会論文集, 19(5), pp.105-115, 2019
- 3) 津野靖士, 是永将宏, 森脇美沙, 丹羽健友: 震源近くの列車をより早く止める, RRR, 80(1), pp.32-37, 2023
- 4) 森脇美沙, 津野靖士, 是永将宏: P波規定値超過判定手法による早期地震警報の即時性と正確性の検証, 鉄道総研報告, 39(4), pp.33-40, 2025

【地震時列車運転規制シミュレータ・輸送影響評価】

- 1) 岩田直泰, 森脇美沙, 是永将宏: 鉄道に対する早期地震警報の導入効果と輸送影響の評価, 日本地震工学会論文集, 26(2), pp.88-106, 2026