

# PLUM法による震度予測情報を活用した 地震時列車運転制御

鉄道地震工学研究センター 地震解析研究室

研究員 森脇 美沙

# 本日の発表内容

## ◆ 緊急地震速報とPLUM法情報

- 鉄道における緊急地震速報の利用状況
- 緊急地震速報の技術的課題と改善
- 緊急地震速報およびPLUM法の概要

## ◆ 地震時運転制御へのPLUM法情報の適用事例(小田急電鉄様)

- 導入効果の評価手法
- 警報基準値の設定手法

## ◆ まとめ・成果の活用

# 本日の発表内容

## ◆ 緊急地震速報とPLUM法情報

- 鉄道における緊急地震速報の利用状況
- 緊急地震速報の技術的課題と改善
- 緊急地震速報およびPLUM法の概要

## ◆ 地震時運転制御へのPLUM法情報の適用事例(小田急電鉄様)

- 導入効果の評価手法
- 警報基準値の設定手法

## ◆ まとめ・成果の活用

# 鉄道における緊急地震速報の利用状況

現在、多くの鉄道事業者が緊急地震速報を利用した地震時列車運転制御を実施している

## 【現行の地震時列車運転制御方法の例】

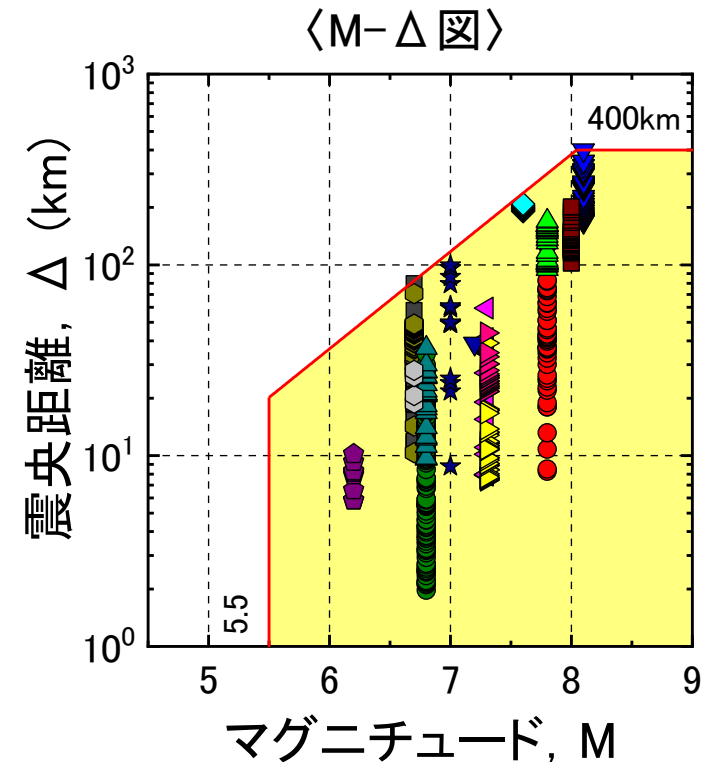
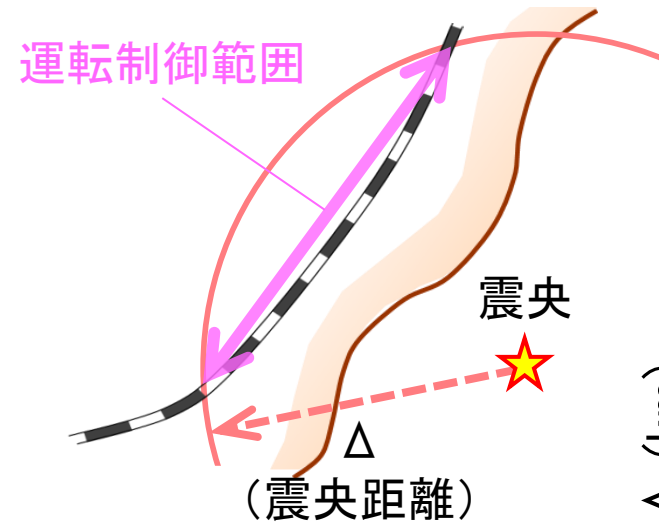
### M-Δ法

気象庁の緊急地震速報の電文受信  
または 早期警報用地震計による推定

→ 地震諸元(震央位置・マグニチュード)  
の推定情報を得る

→ M-Δ図に基づき運転制御範囲を決定

※その他、震度予測方式など



# 気象庁の緊急地震速報の技術的課題と改善

2011年東北地方太平洋沖地震では、関東地方に対して警報を発表できなかった

## 【原因・課題】

緊急地震速報は震源を点とみなして各地の揺れを予測する

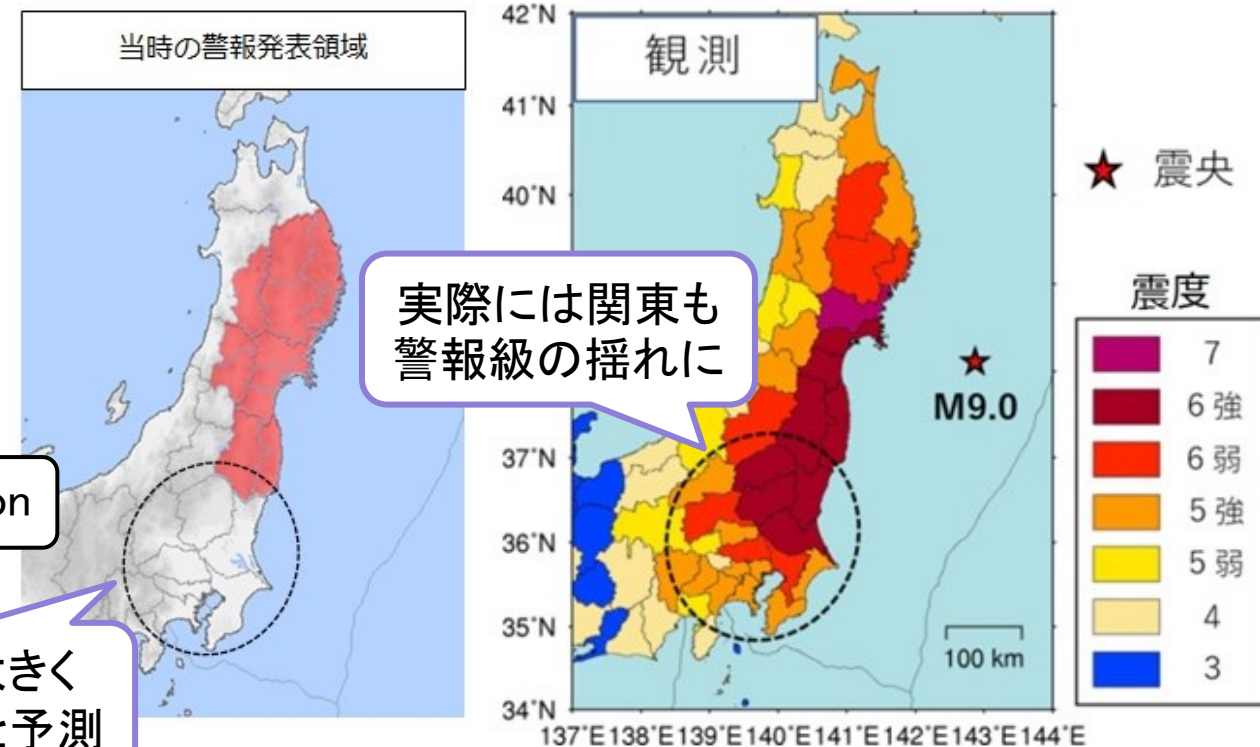
→ 巨大地震の場合は震源域の広がり  
を反映できず震度を過小評価する

## 【技術的改善】 Propagation of Local Undamped Motion

気象庁による**PLUM法**の開発

2018年から配信開始

緊急地震速報と併用して運用  
＝ハイブリッド法

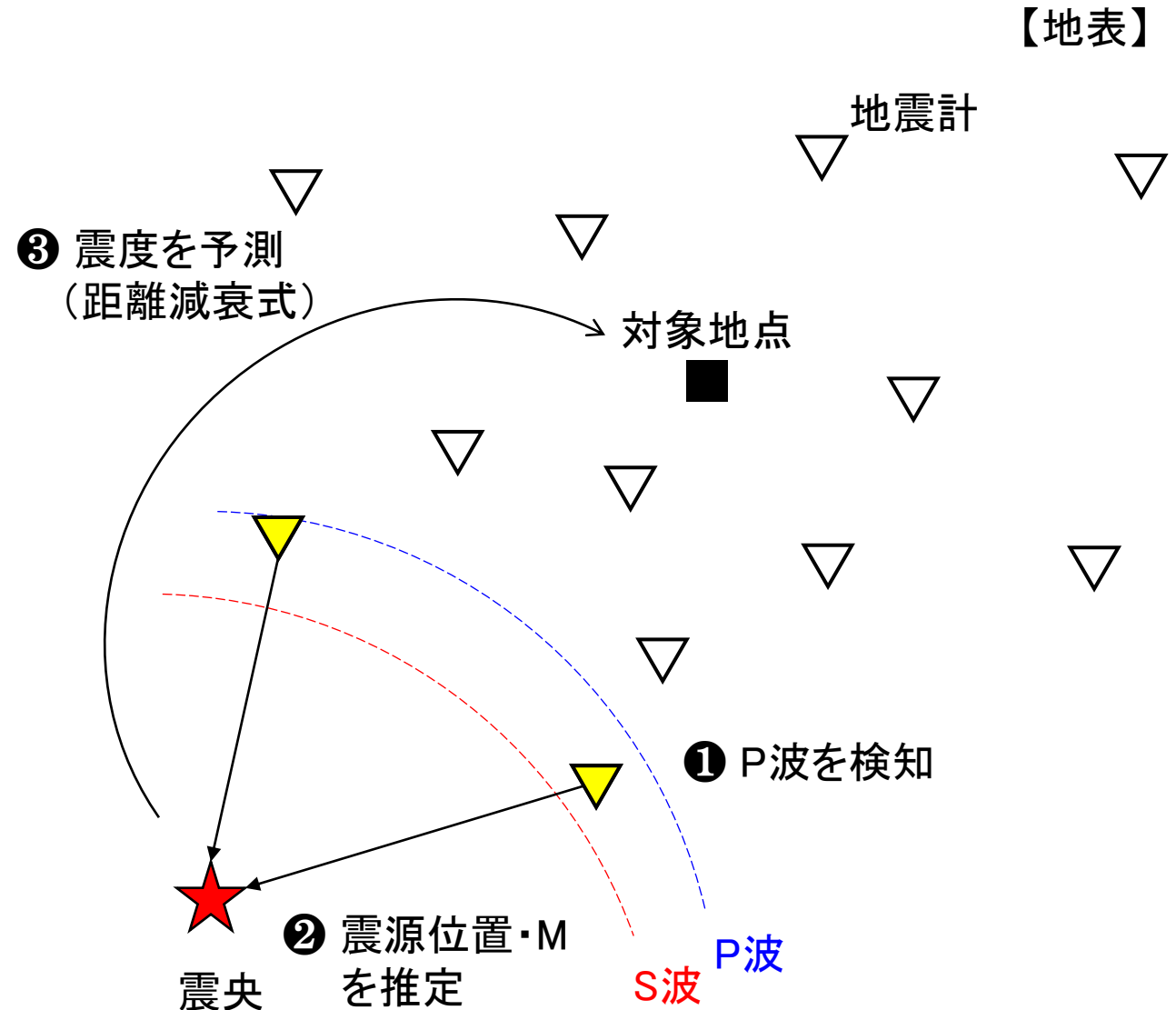


(左) 当時警報を発表した領域 (右) 実際に観測された震度

※出典: 気象庁ホームページ

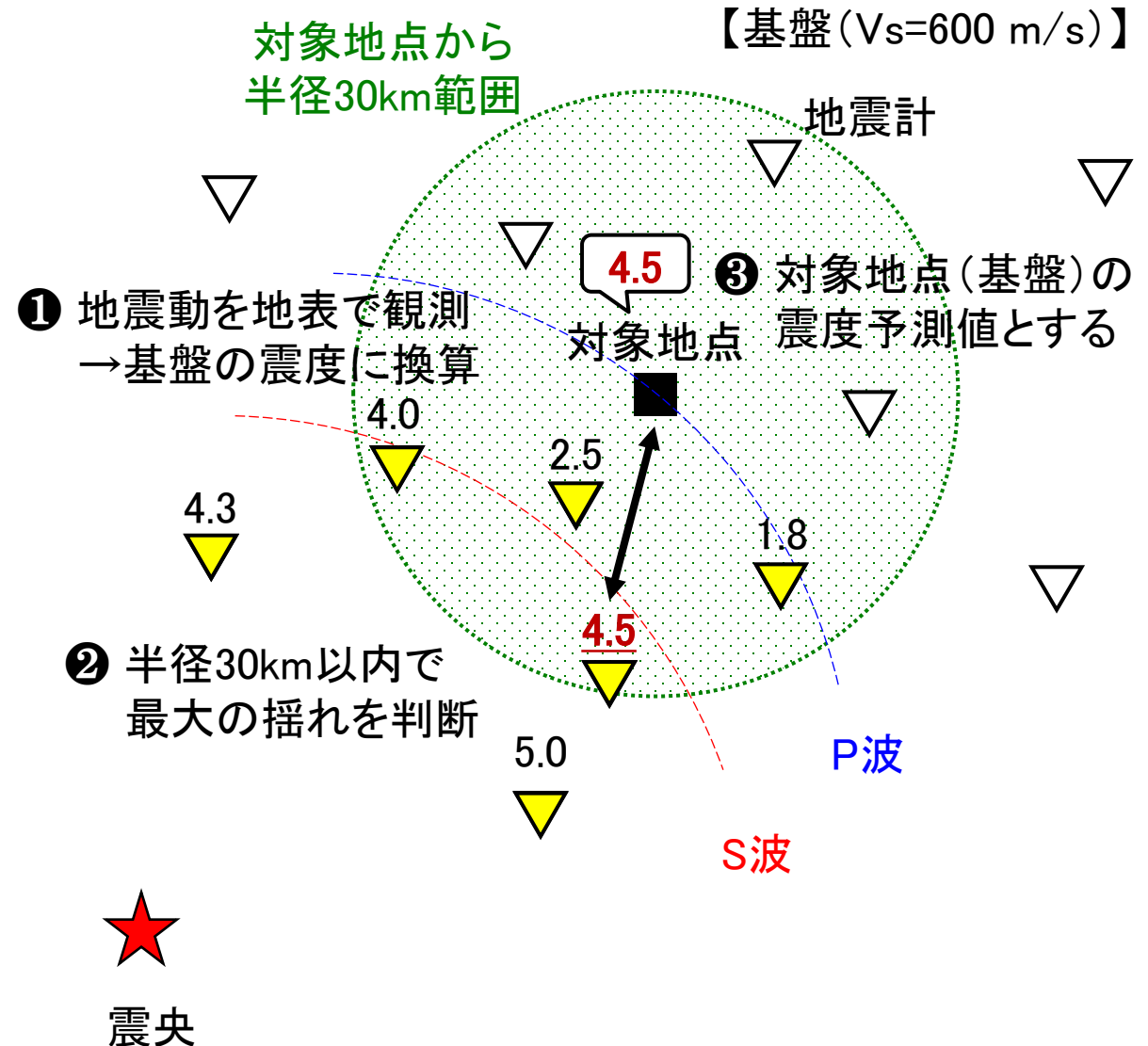
# 緊急地震速報による震度予測のしくみ・特徴

- 検知したP波の情報から震源位置とマグニチュードを推定
  - 距離減衰式を用いて対象地点の震度を予測する
    - ※ 鉄道では、例えばM-Δ法を用いて運転制御範囲を決める
- 震源と観測点、対象地点の位置関係によっては猶予時間を確保できる
- 点震源仮定のため、震源断層の破壊の進展などの影響は考慮できない



# PLUM法による震度予測のしくみ・特徴

- 対象地点から半径30km以内の気象庁観測点における基盤上の揺れと、対象地点における基盤上の揺れが同じであるとみなす  
→ 震源の推定を介さずに震度予測する
- 見逃しなく確実に警報を発表できるが猶予時間はあまり長く確保できない
- 対象地点の近傍で地震が発生した場合には、緊急地震速報より数秒早く警報を発表できる可能性がある



# 本日の発表内容

## ◆ 緊急地震速報とPLUM法情報

- 鉄道における緊急地震速報の利用状況
- 緊急地震速報の技術的課題と改善
- 緊急地震速報およびPLUM法の概要

## ◆ 地震時運転制御へのPLUM法情報の適用事例(小田急電鉄様)

- 導入効果の評価手法
- 警報基準値の設定手法

## ◆ まとめ・成果の活用



# 地震時列車運転制御へのPLUM法情報の適用

## 【小田急電鉄株式会社様における実用化事例】

- 2006年から鉄道事業者として初めて緊急地震速報を利用した早期地震警報システムを運用
- 2011年東北地方太平洋沖地震では、緊急地震速報に基づく警報が適切に発表されなかった
  - 震央から沿線までの距離が、M- $\Delta$ 法による運転制御範囲の上限(300km)を超えていた



早期地震警報システムの画面例

- 将来発生する南海トラフ地震への対策として、PLUM法情報導入の検討開始
- 導入効果の評価手法や警報基準値の設定手法について鉄道総研と検討を実施

# 導入効果の評価手法

警報発令から沿線に揺れが到達するまでの「**余裕時間**」で評価を行う

【算出方法】 PLUM法情報のみで警報が発令されると仮定

$$\text{余裕時間} = \frac{\text{沿線の震源距離}}{\text{S波速度}} - \frac{\text{気象庁観測点の震源距離}}{\text{S波速度}} - \text{演算時間} - \text{伝送時間}$$

なお、今回の検討では以下のように設定した

演算時間 : 0.0 s (基準値を超過したら直ちに警報発令)

伝送時間 : 1.0 s (システムの通信ネットワーク性能による)

S波速度 : 気象庁の速度構造データ(JMA2001)を使用

# 導入効果の評価手法

【南海トラフ地震を想定した場合】

確保可能な余裕時間は

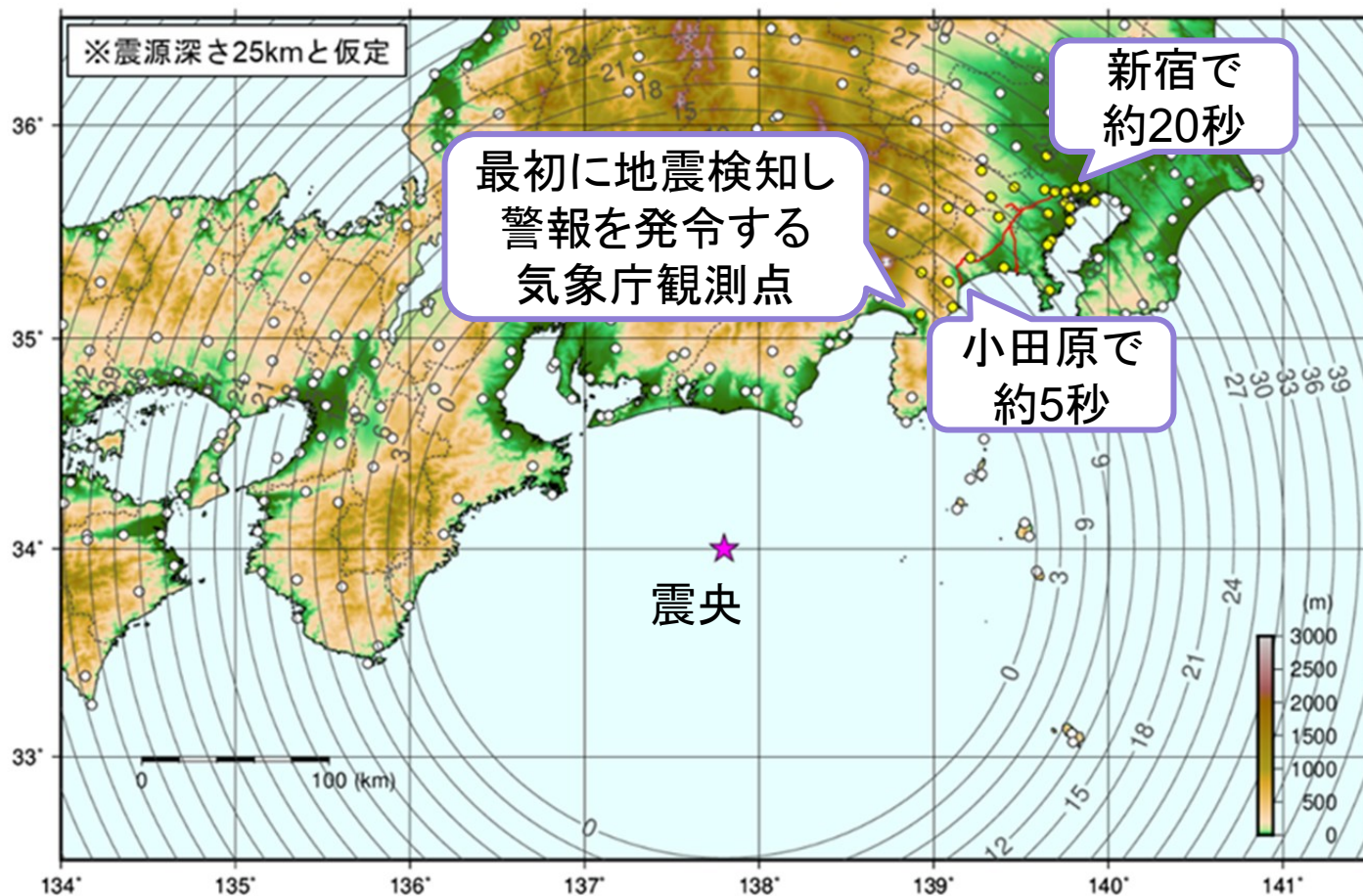
最も震源に近い小田原駅：約5秒

最も震源から遠い新宿駅：約20秒

緊急地震速報で見逃しが生じても  
PLUM法を導入すれば約5～20秒の  
余裕時間を確保できる



沿線にS波が到達する前に列車を  
減速・停止させることが可能になる

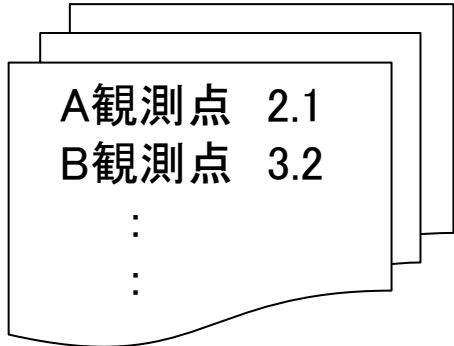


小田急電鉄沿線の余裕時間(例:1854年安政東海地震)

# 警報基準値の設定手法

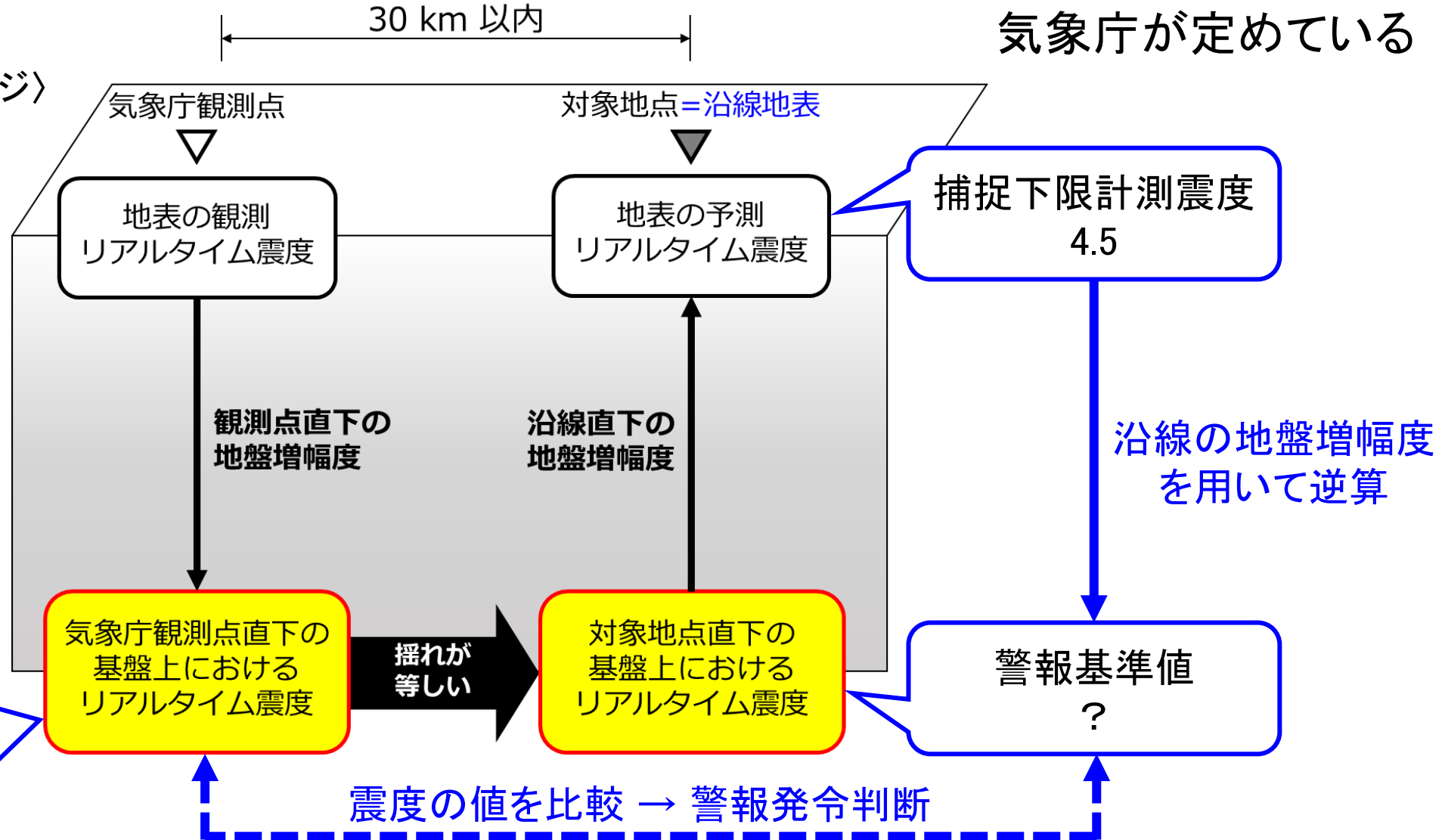
詳細な計算方法は  
気象庁が定めている

〈リアルタイム震度電文イメージ〉



各観測点の基盤の  
リアルタイム震度が  
時々刻々と送られてくる

気象庁から送信される  
PLUM法による  
「リアルタイム震度電文」  
に記述される値



# 警報基準値の設定手法

## 【鉄道へPLUM法を適用する際の課題】

- 対象地点が線状に広く展開している
- 沿線の地盤増幅度が場所によって異なる

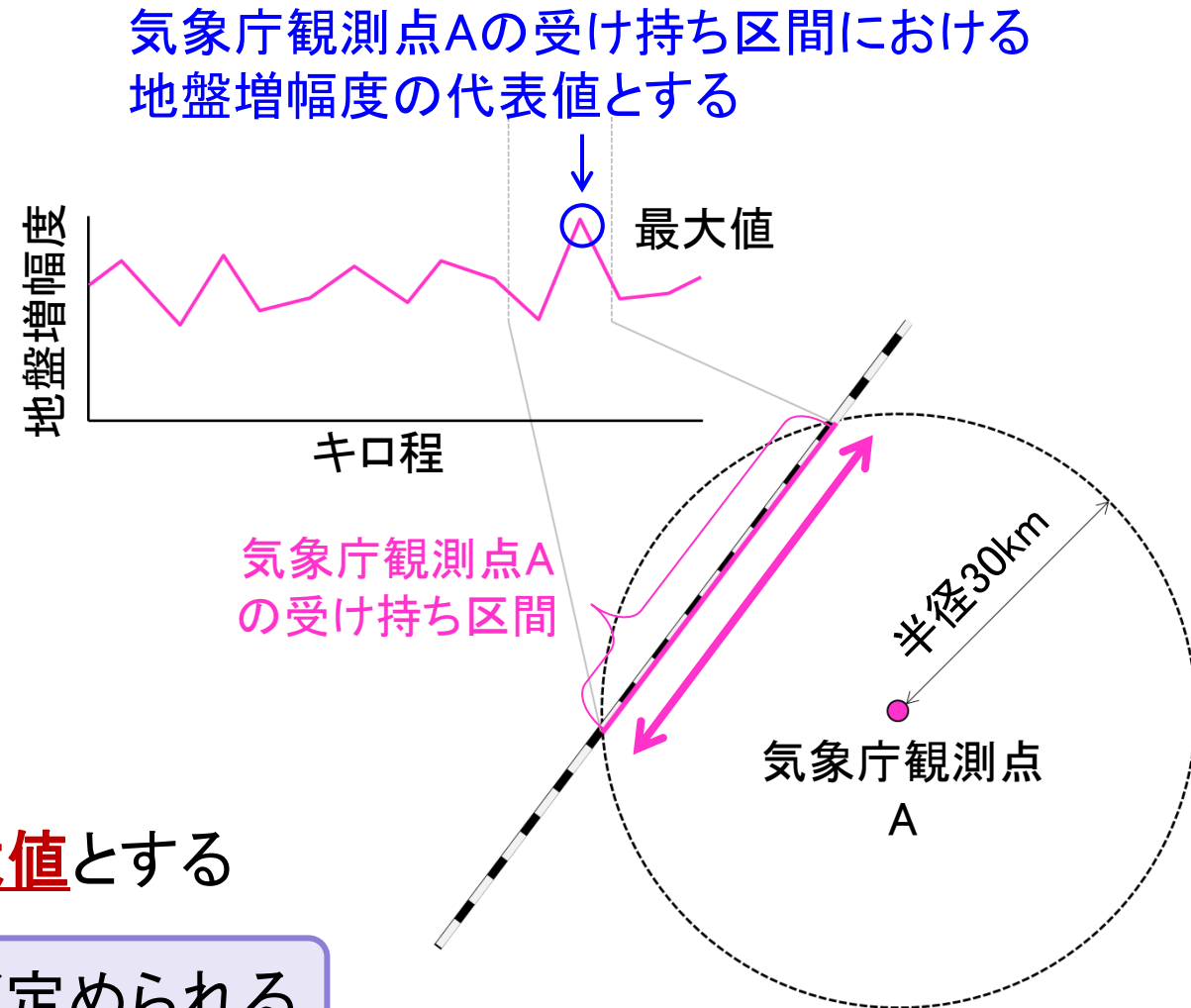
### → ① 受け持ち区間を設定

: 気象庁観測点から30km圏内に含まれる沿線上の区間

### ② 受け持ち区間内の地盤増幅度の代表値を定めて警報基準値を算出

本検討では地盤増幅度の代表値 = **最大値**とする

警報基準値は気象庁観測点ごとに異なる値が定められる



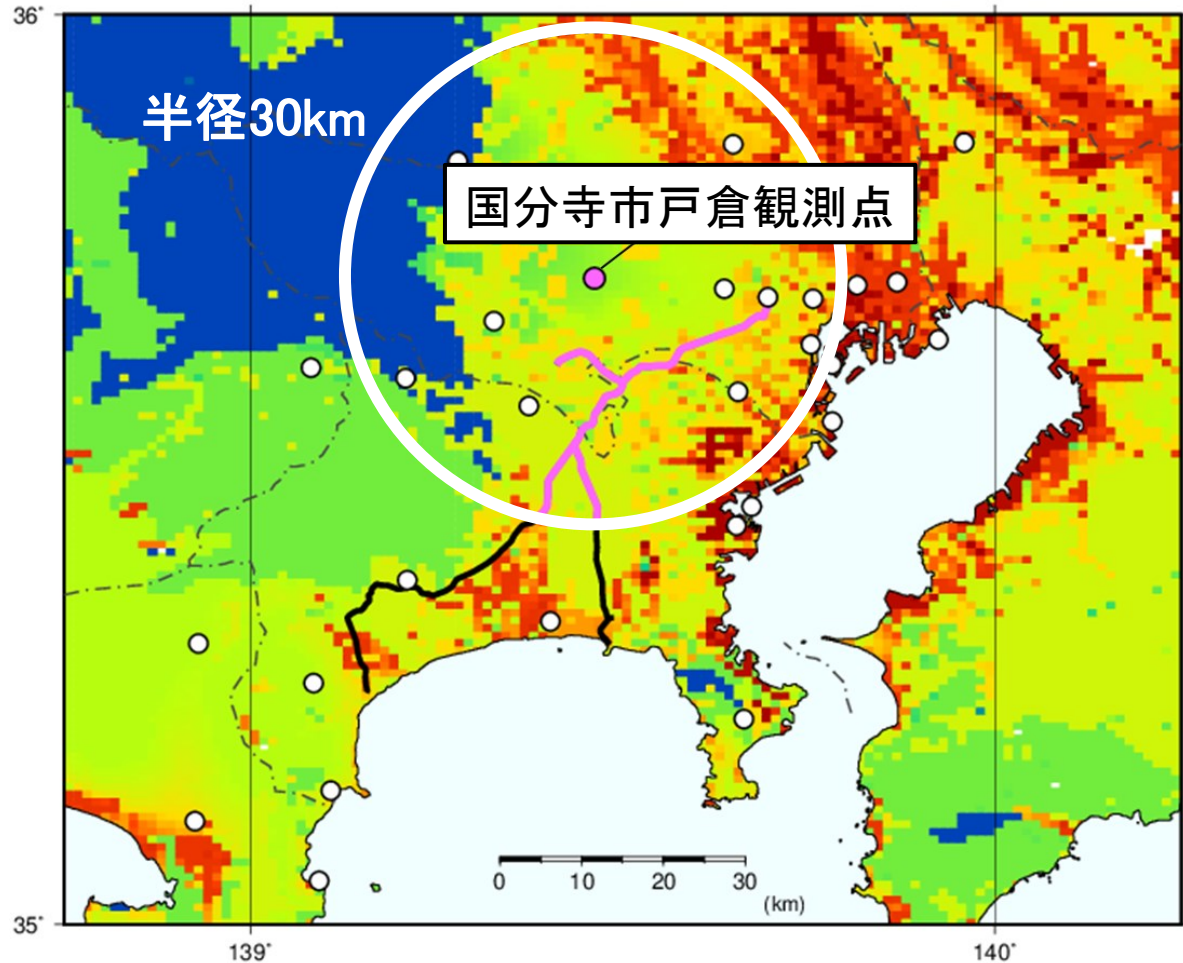


# 警報基準値の算出例

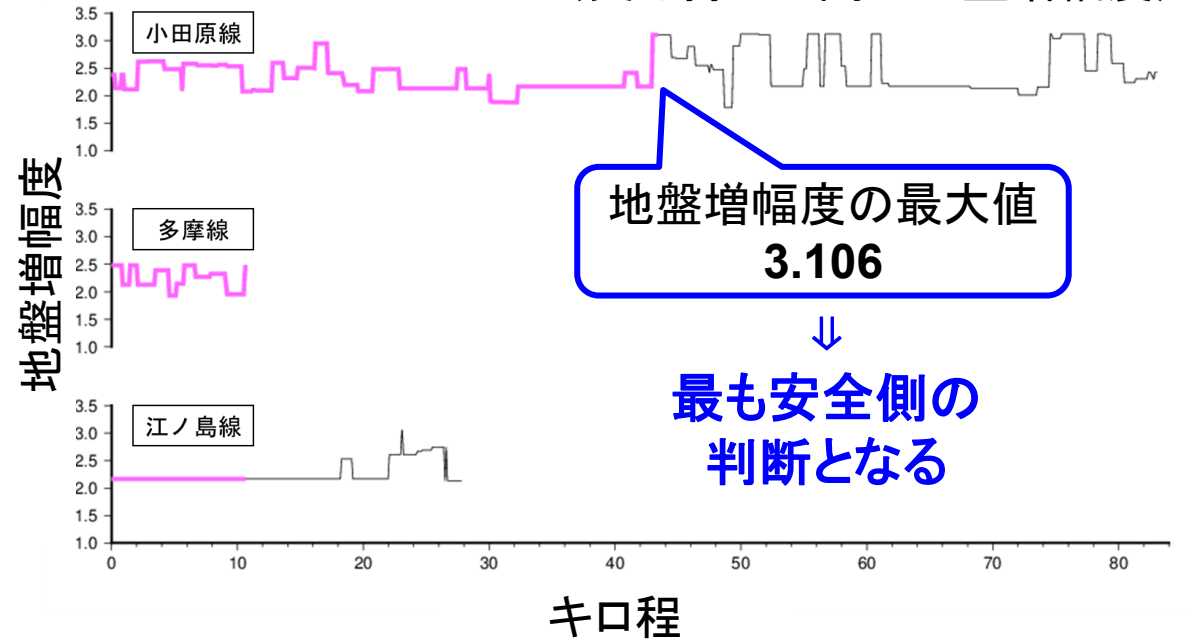
【例：国分寺市戸倉観測点】

〈地盤増幅度マップ〉

— 受け持ち区間



〈受け持ち区間の地盤増幅度〉



観測点名	国分寺市戸倉		
捕捉下限計測震度	4.5		
受け持ち区間の 地盤増幅度代表値	最大値	最小値	平均値
	3.106	1.881	2.257
警報基準値	3.9	4.0	3.9

# 本日の発表内容

## ◆ 緊急地震速報とPLUM法情報

- 鉄道における緊急地震速報の利用状況
- 緊急地震速報の技術的課題と改善
- 緊急地震速報およびPLUM法の概要

## ◆ 地震時運転制御へのPLUM法情報の適用事例(小田急電鉄様)

- 導入効果の評価手法
- 警報基準値の設定手法

## ◆ まとめ・成果の活用

# まとめ・成果の活用

- ◆ PLUM法の導入により余裕時間がどの程度確保できるかを評価した
  - 南海トラフ地震を想定した場合、小田急電鉄沿線では約5~20秒確保可能
- ◆ 警報基準値の設定手法について検討を行った
  - 沿線30km圏内に位置する気象庁観測点ごとに受け持ち区間を設定
  - 受け持ち区間内の地盤増幅度の最大値を用いて警報基準値を算出
- ◆ 早期地震警報システムへの導入
  - システム改修を実施し、2021年9月23日初電より運用開始

PLUM法による震度予測情報を地震時の列車運転制御に活用することで  
見逃しなく確実に警報発令でき、地震時の鉄道の安全性が向上する



# 参考文献

- ◆ 前原有, 野辺亮太郎, 森脇美沙, 岩田直泰: 新たな震度予測手法(PLUM法)を活用した列車制御, JREA 64(10), pp.45470-45473, 2021.10
- ◆ 森脇美沙, 岩田直泰, 前原有, 野辺亮太郎, 猪口忠明: 地震時列車運転制御におけるPLUM法情報の活用, 鉄道工学シンポジウム論文集 26, pp.233-238, 2022.7

# PLUM法による震度予測情報を活用した 地震時列車運転制御

鉄道地震工学研究センター 地震解析研究室

研究員 森脇 美沙