

早期地震警報の高度化(その2) ～ノイズ識別と警報判定の 同時予測機械学習モデルによる警報手法

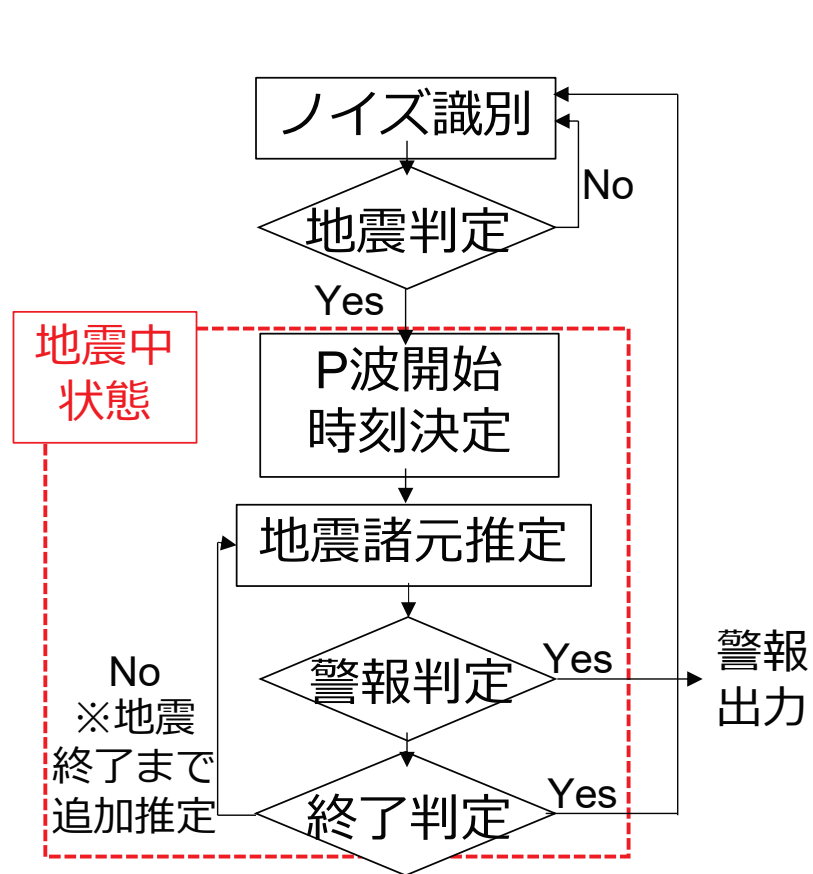
鉄道地震工学研究センター 地震解析研究室
主任研究員 野田 俊太

- 背景
- 成果①:従来处理フローに基づく機械学習法による
早期地震検知
- 成果②:ノイズ識別と警報判定の同時予測モデルによる
地震警報
- まとめと成果の活用

- 背景
- 成果①:従来处理フローに基づく機械学習法による
早期地震検知
- 成果②:ノイズ識別と警報判定の同時予測モデルによる
地震警報
- まとめと成果の活用

背景

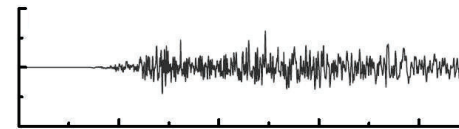
従来の早期地震検知手法(P波推定)→「**ノイズ識別**」や「**地震諸元推定**」を連続的に実行



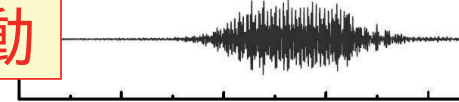
早期地震検知の従来处理フロー
(P波推定手法)

ノイズ識別

地震動



列車振動



地震計観測データの識別
⇒ 地震? or 列車振動
などのノイズ?

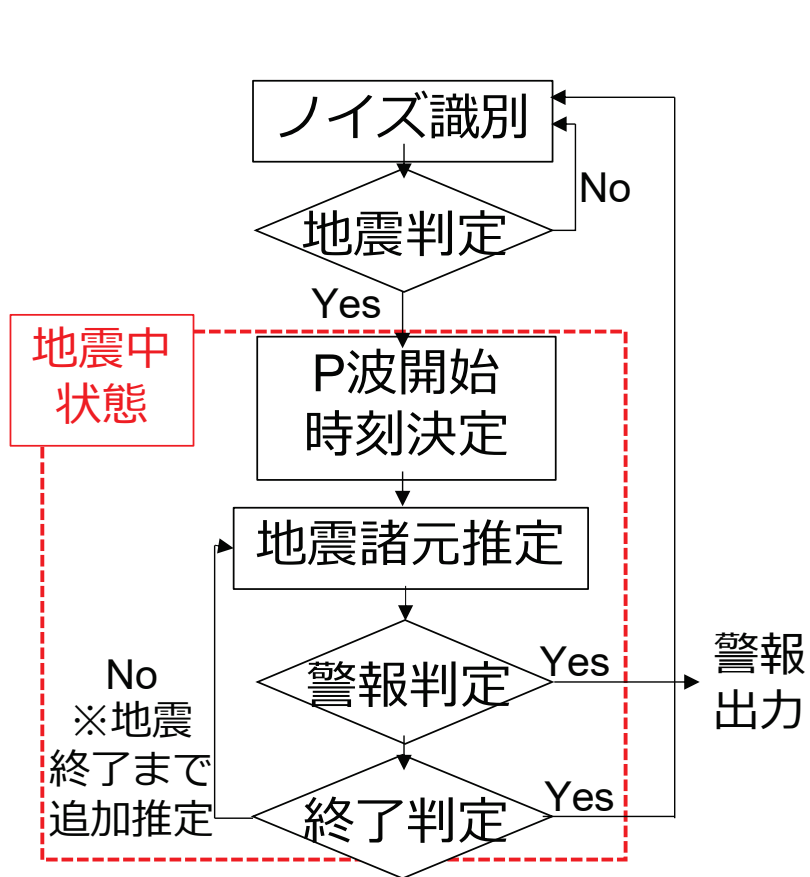
旧手法と現行手法の精度比較

	旧手法 (岩橋他,2004)	現行手法 (岩田他,2015)
列車振動 (ノイズ)	90.0%	90.0%
地震動	82.4%	89.8%

※値は再現率

背景

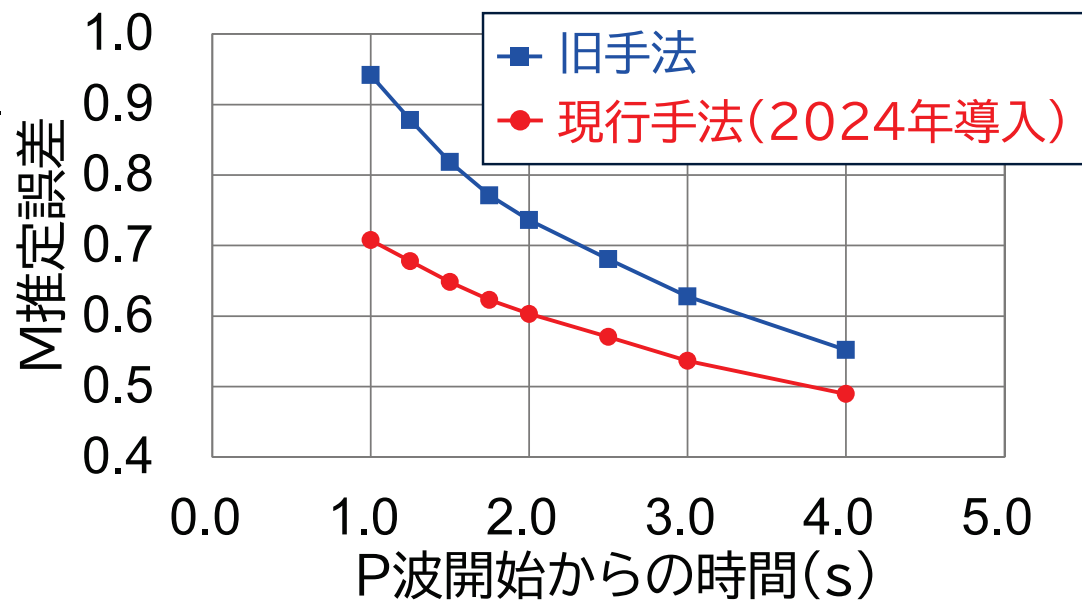
従来の早期地震検知手法(P波推定)→「**ノイズ識別**」や「**地震諸元推定**」を連続的に実行



早期地震検知の従来処理フロー
(P波推定手法)

地震諸元推定

マグニチュード
(M)推定の
改良



現行手法

⇒警報出力までの時間が**平均約2.6秒短縮**

(中島他,2024)

**ノイズ識別・地震諸元推定の精度向上が
安全性向上に直結**

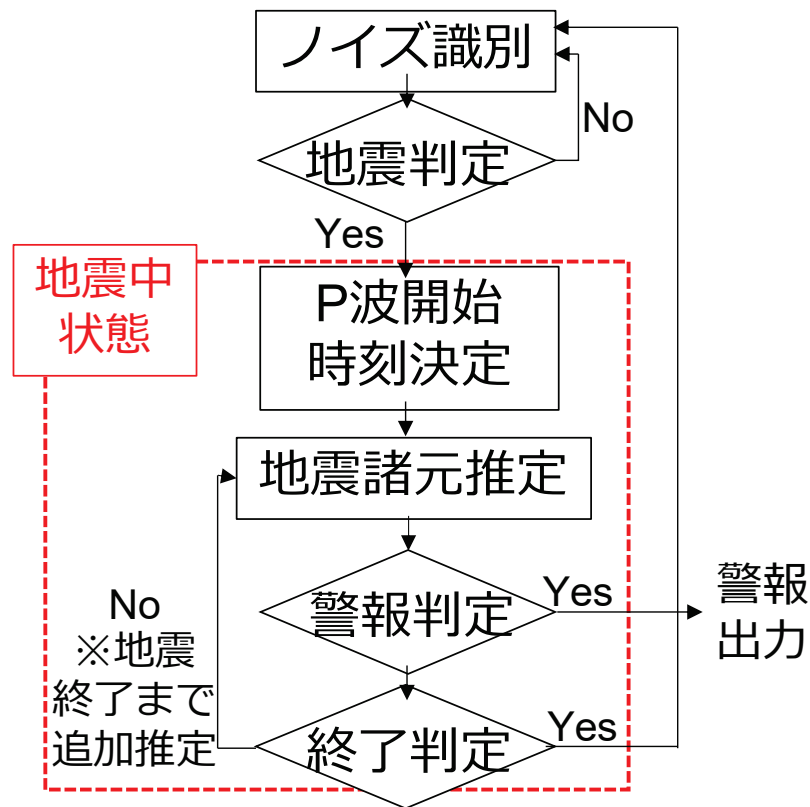
- 背景
- 成果①:従来处理フローに基づく機械学習法による
早期地震検知
- 成果②:ノイズ識別と警報判定の同時予測モデルによる
地震警報
- まとめと成果の活用

従来処理フローに基づく機械学習法による早期地震検知

Railway Technical Research Institute

従来の早期地震検知手法(P波推定)→「**ノイズ識別**」や「**地震諸元推定**」を連続的に実行

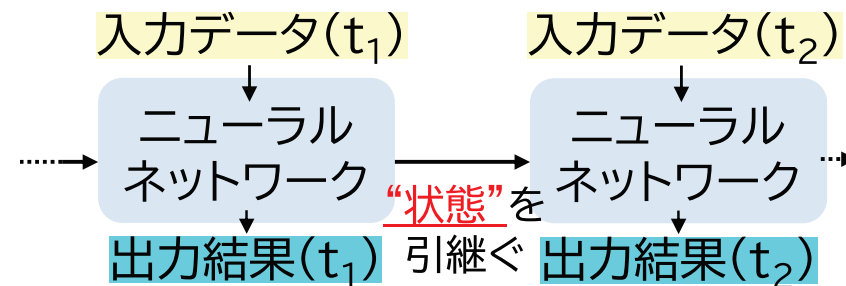
ここでのアプローチ ⇒ 従来フローの各処理を**個別の機械学習モデル**に置き換える



早期地震検知の従来処理フロー
(P波推定手法)

ノイズ識別

時系列処理に適した
RNN法の活用
(再帰型ニューラルネットワーク)



先行研究:【**常時微動**】【**列車振動**】【**地震動**】の3カテゴリ
本研究:【**常時微動・列車振動**】【**地震動**】の2カテゴリ
⇒**非地震動**: 前処理が簡略化

	現行手法	機械学習法 (RNN)
非地震動	90.0%	<u>98.2%</u>
地震動	89.8%	<u>98.2%</u>

※再現率

大幅な
精度向上

従来処理フローに基づく機械学習法による早期地震検知

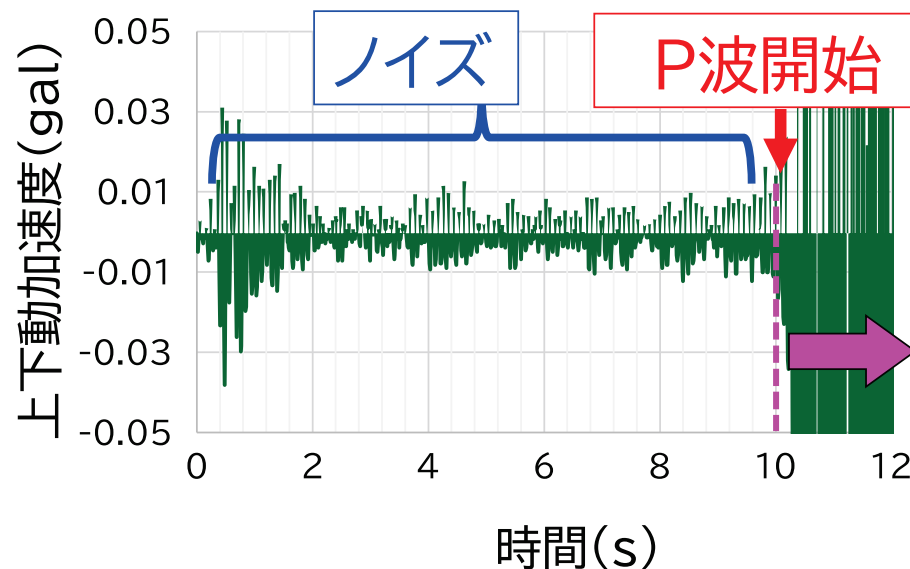
Railway Technical Research Institute

従来の早期地震検知手法(P波推定)→「**ノイズ識別**」や「**地震諸元推定**」を連続的に実行

ここでのアプローチ ⇒ 従来フローの各処理を**個別の機械学習モデル**に置き換える

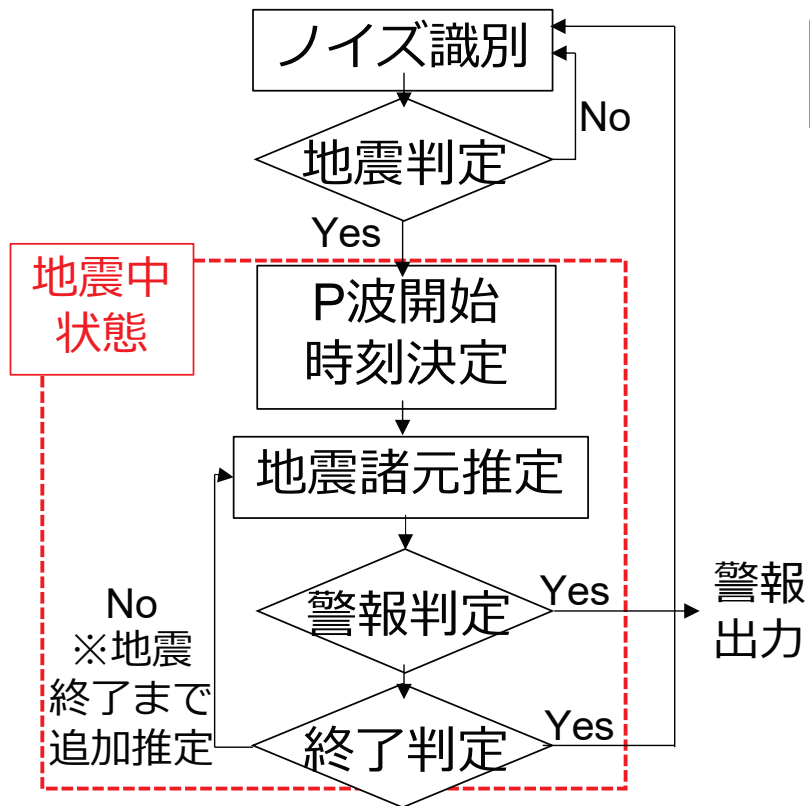
ノイズ識別

機械学習法による好パフォーマンス例



現行手法:
ノイズと判定

機械学習法:
P波開始部分から
地震判定



早期地震検知の従来処理フロー
(P波推定手法)

P波前ノイズ混入に対してもロバスト性高

従来処理フローに基づく機械学習法による早期地震検知

Railway Technical Research Institute

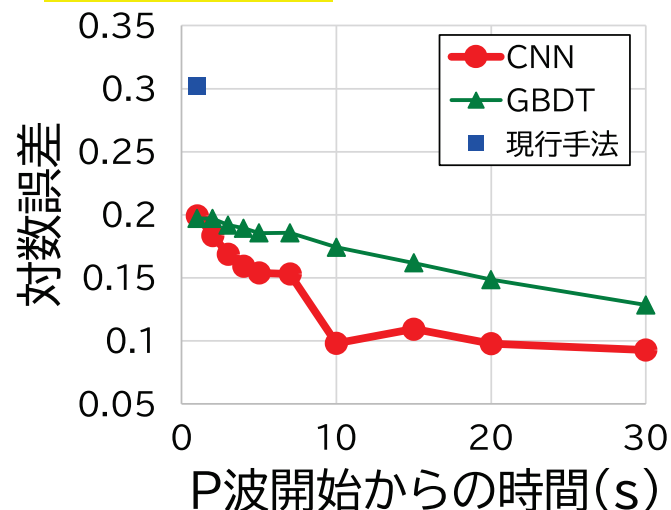
従来の早期地震検知手法(P波推定)→「**ノイズ識別**」や「**地震諸元推定**」を連続的に実行

ここでのアプローチ ⇒ 従来フローの各処理を**個別の機械学習モデル**に置き換える

地震諸元推定

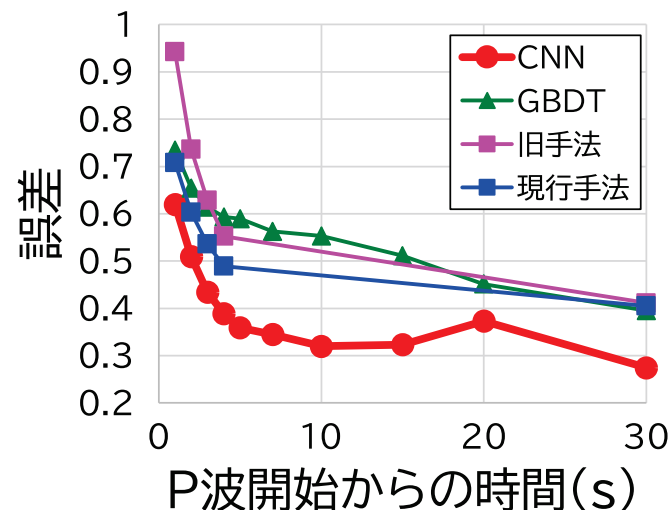
CNN(畳み込みニューラルネットワーク)および
GBDT(勾配ブースティング決定木)の活用

震央距離



現行手法=精度
倍半分 &
1度のみ推定
機械学習=精度
35%向上 &
時間経過で
さらに向上

マグニチュード



精度:
CNNが常に最良
⇒2024年導入の
現行手法より
さらに**32%改善**

機械学習法の導入により精度向上・信頼性向上可

- 背景
- 成果①:従来处理フローに基づく機械学習法による
早期地震検知
- 成果②:ノイズ識別と警報判定の同時予測モデルによる
地震警報
- まとめと成果の活用

ノイズ識別と警報判定の同時予測モデルによる地震警報

Railway Technical Research Institute

【課題】 従来フローでの機械学習モデル活用 ⇒ 地震時の処理負荷上昇

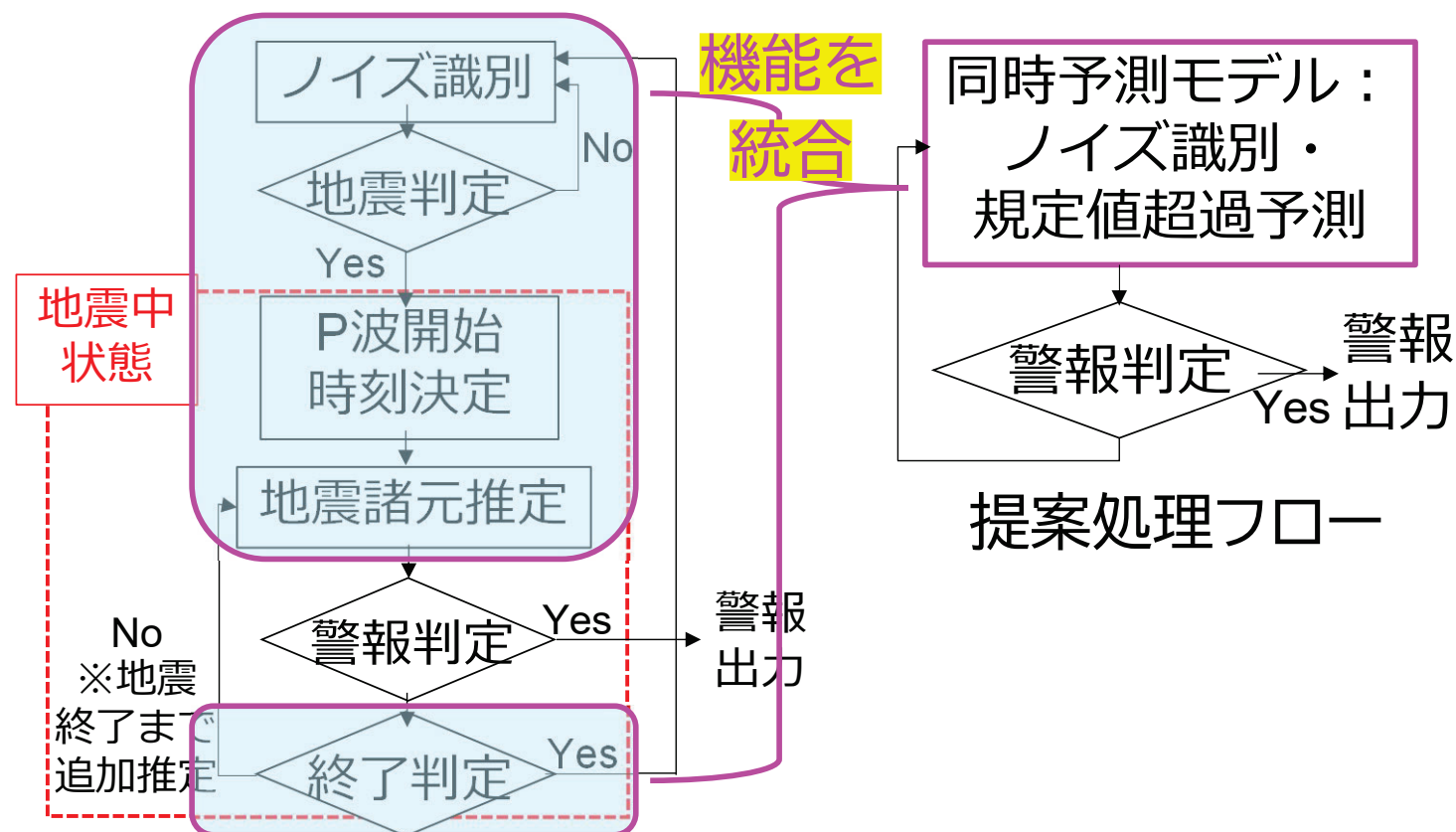
【解決方法】

成果①のノイズ識別:

常時微動と列車振動を
同一カテゴリでも高精度

⇒ 機械学習は多様な
データ特徴を柔軟に学習、
かつ目的変数が自由

⇒ 従来フローのように
処理を分割せず、
機能を統合させる



早期地震検知(P波推定手法)の従来処理フロー

ノイズ識別と警報判定の同時予測モデルによる地震警報

Railway Technical Research Institute

「ノイズ識別・規定値超過予測」同時予測モデルの開発

成果①のノイズ識別モデル ⇒ 2カテゴリ

【非地震動】: 常時微動・列車振動

【地震動】: 地震動 ⇒ 警報の規定値を超過するデータと、
超過しないデータに分かれる

同時予測モデル ⇒ 2カテゴリ

【規定値超過無し】: 常時微動・列車振動・地震動(超過なし)

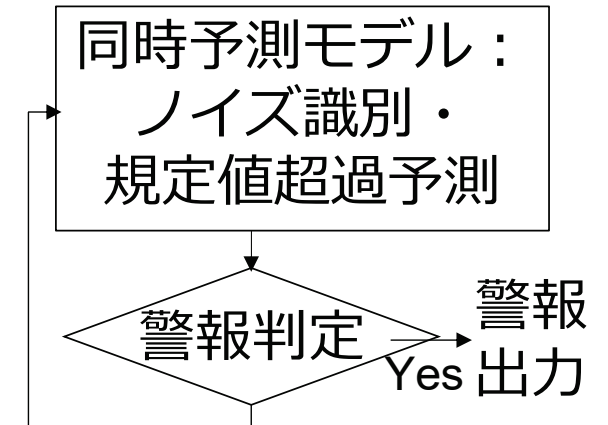
【規定値超過あり】: 地震動(超過あり)

☆ 地震動の強さの値は予測しない

⇒ 規定値超過無し／ありが目的変数

⇒ 目的変数: 超過無しを0、ありを1としてモデルを学習(作成)

⇒ 学習済モデル実装時の出力値は、0から1の間の確率値



提案処理フロー

単一モデルで完結
⇒ 常に処理負荷一定
⇒ **実装が容易**

ノイズ識別と警報判定の同時予測モデルによる地震警報

Railway Technical Research Institute

規定値: 警報用最大加速度**40gal**(沿線S波警報)

データ種別	同時予測モデル
①列車振動などのノイズ	<u>99.987%</u> のデータで超過無し判定
②規定値超過無しの地震動	<u>88.6%</u> のデータで超過無し判定
③規定値超過ありの地震動	<u>99.6%</u> のデータで超過あり判定

※再現率

※モデル出力値が**0.5未満**のとき**超過無し**
0.5以上のとき**超過あり**

として分類

①列車振動などのノイズを**ほぼ正確に分類することが可能**

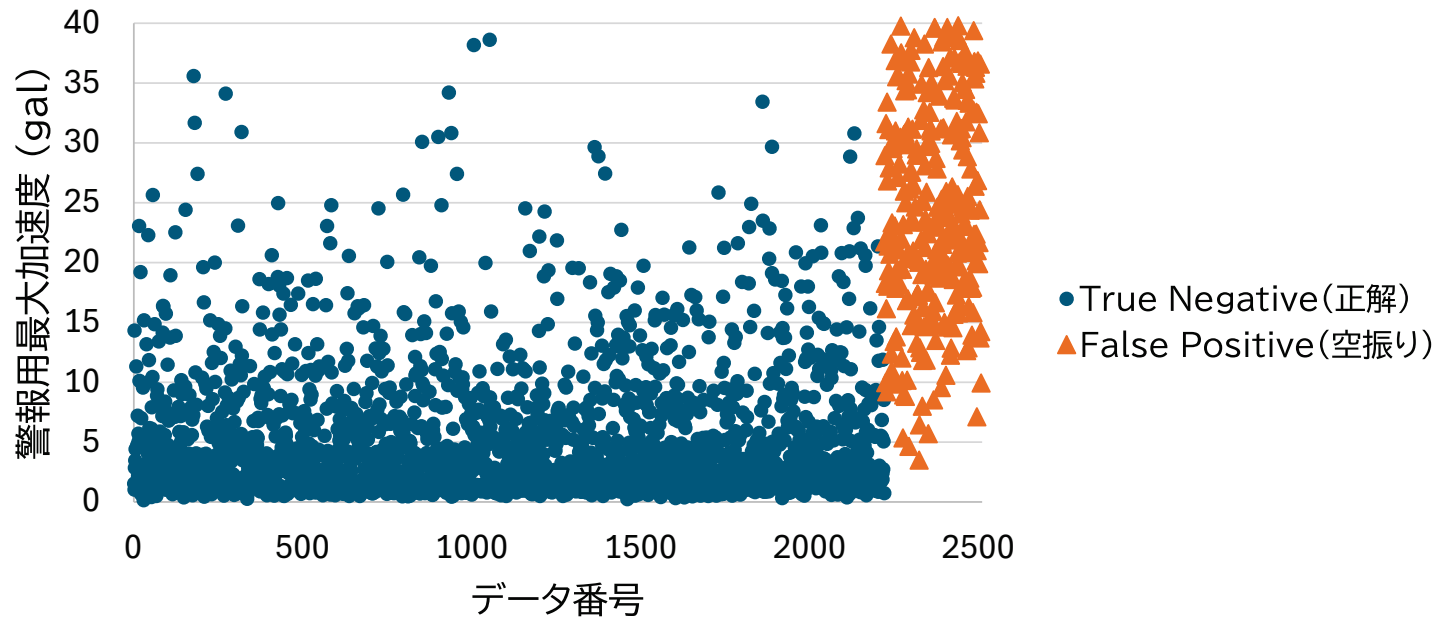
⇒ 列車振動などによって, 警報用最大加速度**40gal**を超過することはほぼない

⇒ 同時予測モデルは, このデータ特徴を適切に反映できている

ノイズ識別と警報判定の同時予測モデルによる地震警報

Railway Technical Research Institute

②規定値超過無し地震動の精度=88.6%



「規定値超過無し」を
【超過無し】と予測(正解)した
データの警報用最大加速度の
平均値 = 5.3gal

「規定値超過無し」を
【超過あり】と予測(空振り)した
データの警報用最大加速度の
平均値 = 24.2gal

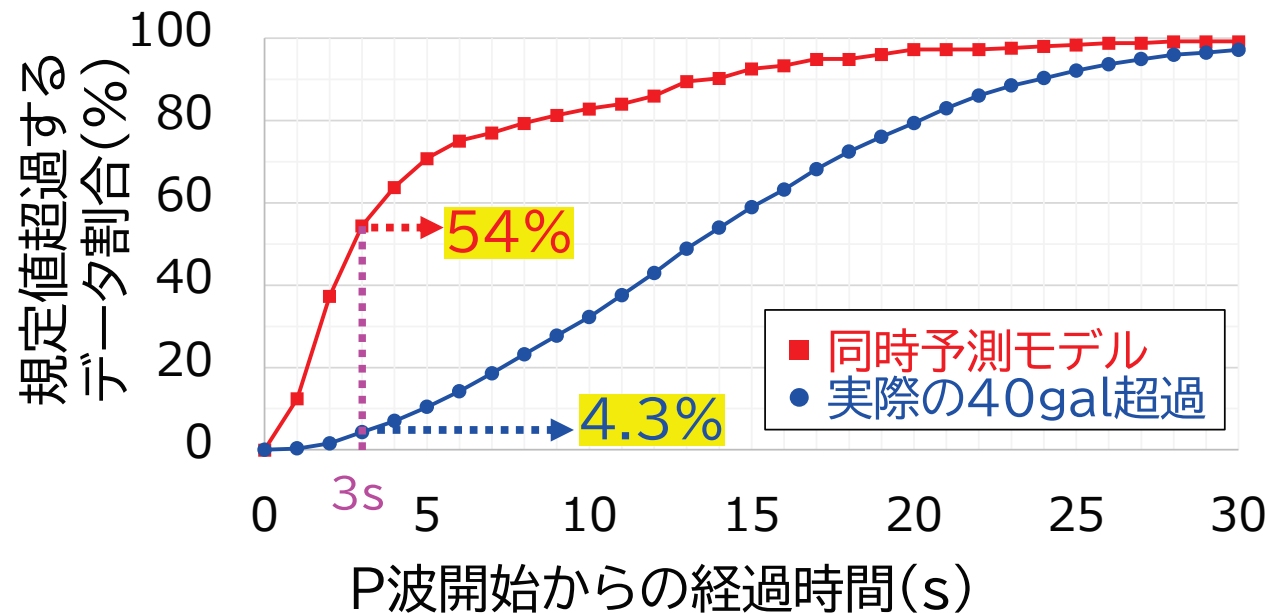
- ⇒ 原理的に、規定値(40gal)に近いデータほど、誤りの予測となる可能性が高まる
- ⇒ モデル出力値が0.5以上のとき【超過あり】に分類しているが、この値を上げると精度向上

ノイズ識別と警報判定の同時予測モデルによる地震警報

Railway Technical Research Institute

③規定値超過ありの地震動の精度=99.6%

⇒ ほぼ見逃しなく, 規定値超過予測(警報出力の判定)を行うことが可能



・実際のデータが規定値を超過するよりも早いタイミングで, 超過することを予測している

⇒ P波の時点で, S波の規定値超過を予測(事実上のP波規定値超過予測)

⇒ 高い耐ノイズ性と、警報即時性を両立

・今回の提案手法は自局向けの警報手法

⇒ 今後他局向けの手法も検討

- 背景
- 成果①:従来处理フローに基づく機械学習法による
早期地震検知
- 成果②:ノイズ識別と警報判定の同時予測モデルによる
地震警報
- まとめと成果の活用

まとめと成果の活用

まとめ

- 成果①：従来处理フローに基づく機械学習法による早期地震検知手法について、**個別の機械学習モデル**を開発した検討を行った。その結果、**ノイズ識別**については現行の約90%から約98%へと**精度が改善**することを確認した。地震諸元推定についても、現行手法よりも精度が改善する。
- 成果②：機械学習モデルを用いた新たなアプローチとして、**ノイズ識別から警報判定までを単一の機械学習モデル**によって行う手法を提案した。その結果、**100%に迫る非常に高いノイズ性と、警報出力の即時性を両立**させることが可能であることを確認した。

成果の活用

- 成果①および②の手法は、それぞれにメリット・デメリットがある。検討を進め、新幹線早期警報用地震計への実装を目指す。