筑波大学
University of Tsukuba

IMAGINE THE FUTURE.

車両振動中の
橋梁上走行区間判別モデルの構築

筑波大学理工学群工学システム学類環境開発工学専攻

201811095

金子 直樹

Naoki KANEKO

背景

- 全ての橋梁は目視による点検が義務化[1]
  - 人的資源・公共資源の減少傾向[2] [3] →継続的な詳細点検は困難
  - 低コストかつ短時間に点検できないか？

橋梁点検イメージ

橋梁モニタリング手法

- 橋梁振動分析：橋梁振動を直接計測
- 車両応答分析[4]：車両振動から橋梁応答を抽出

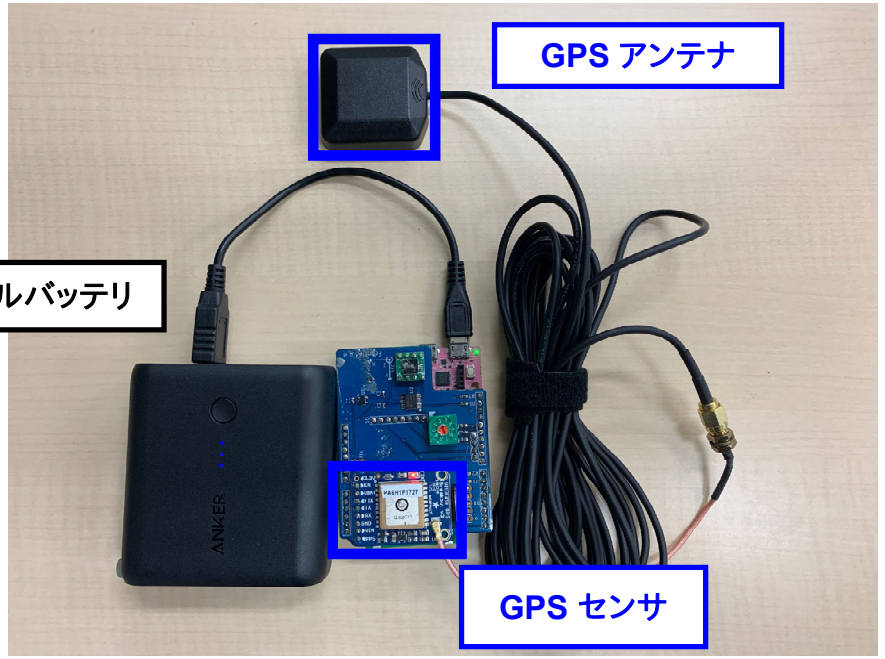
→ 本研究では**車両応答分析**を採用

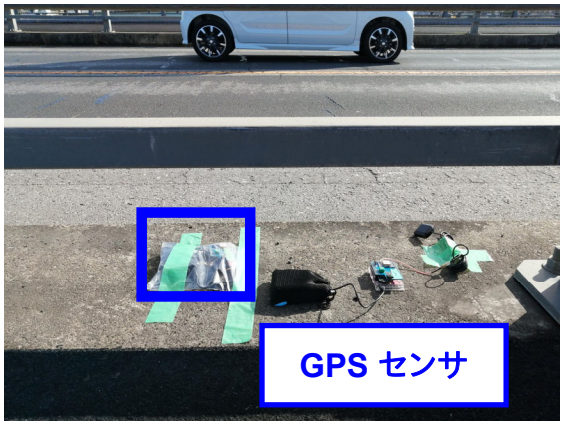
→ **橋梁上**を走行した車両振動が必要

[1] 国土交通省「道路法施行規則の一部を改正する省令及びトンネル等の健全性の診断結果の分類に関する告示」
[2] 総務省「令和元年 労働力調査年報」
[3] 国土交通省「令和2年度国土交通省関係予算概要」
[4] Y. B. Yang , C.W. Lin , J. D. Yau: Extracting bridge frequencies from the dynamic response of a passing vehicle , Journal of Sound and Vibration, 2004

実験概要(橋梁)

- 筑波大学周辺の4橋梁
  (計測日:2021/07/19～21)
- 土浦市周辺の20橋
  (計測日:2021/12/08～10)

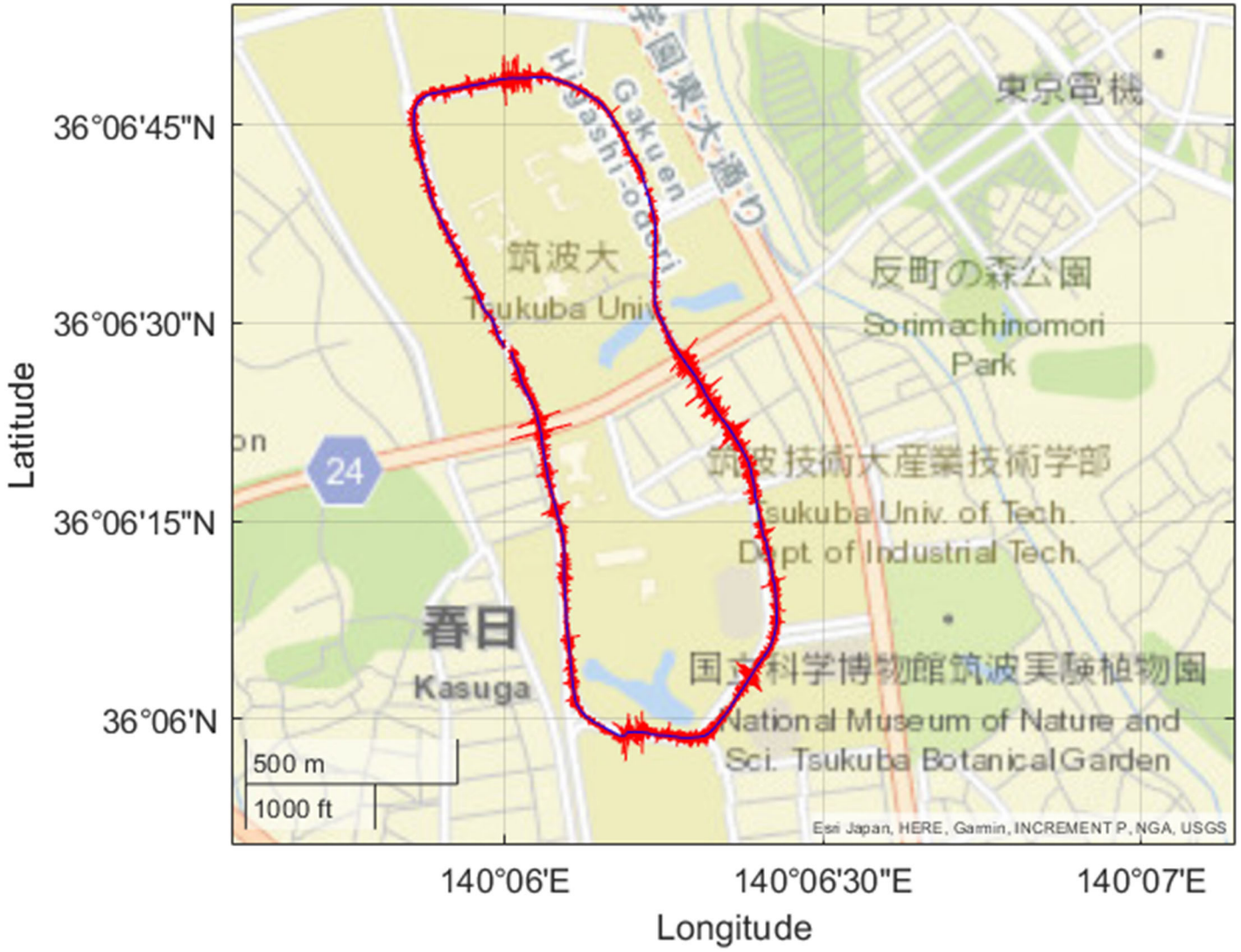




実験概要(車両)

- 総重量14tのトラック
- 全加速度センサ数：12個
- 全GPSセンサ数：3個
- 車内に電源，PCを設置

車両振動計測結果（2021年07月）



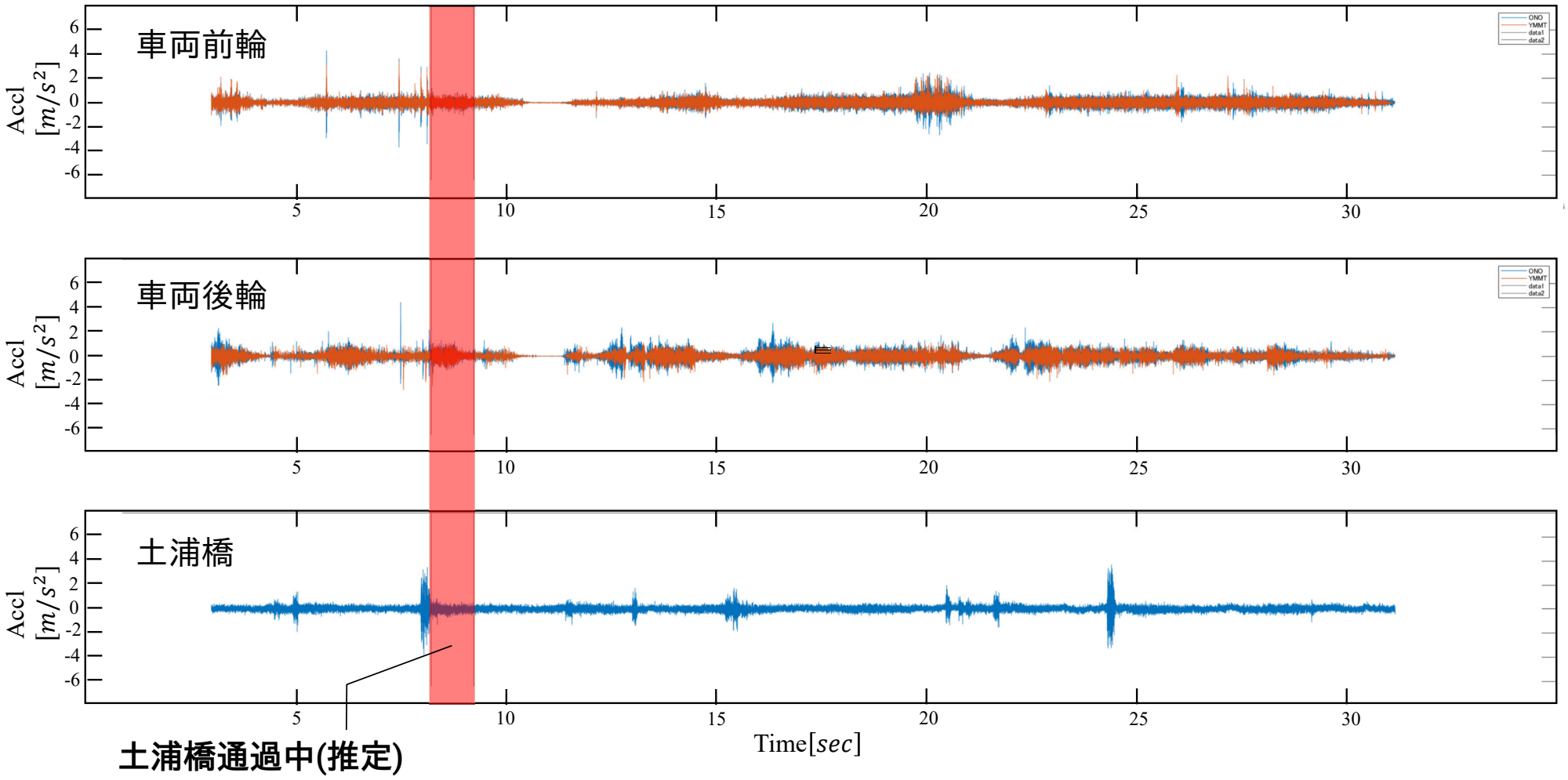
車両振動計測結果（2021年12月）

車両振動計測結果（2021年12月）

- 土浦市周辺車両振動
- 経路を変更し，様々な橋梁上を走行

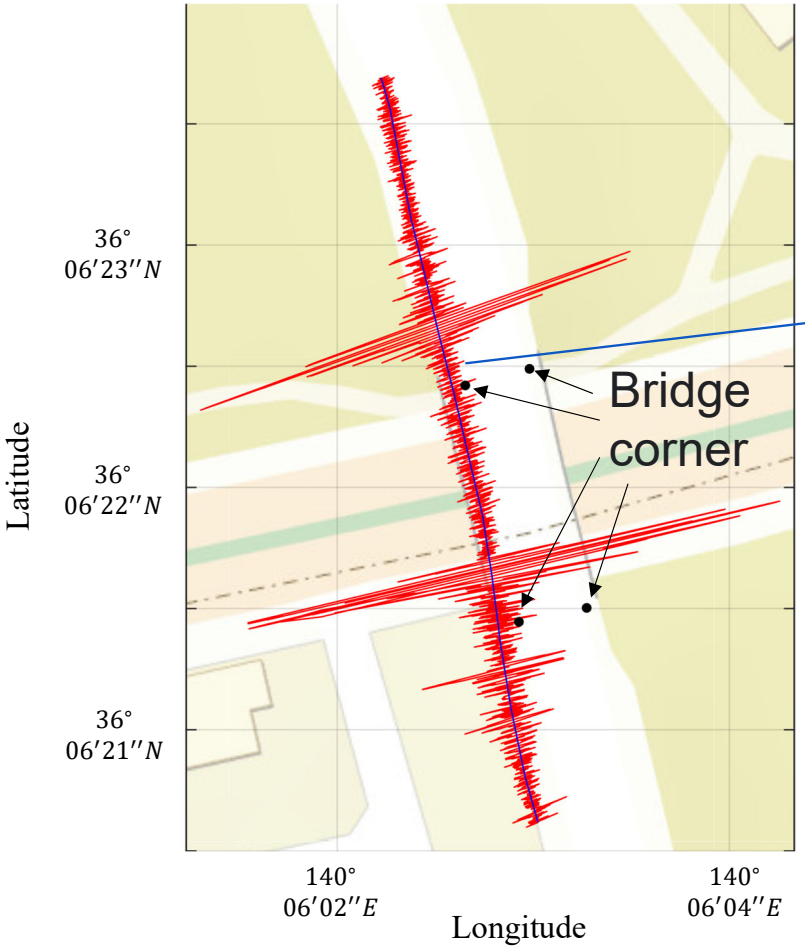
車両振動計測結果（2021年12月）

本研究では，使用していないが，**橋梁振動**も同時に計測した



土浦橋通過中(推定)

車両応答分析の問題点



車両振動データの内，**橋梁走行部分**を分析したいが...

- 車載GPSセンサと地図データの位置情報との**誤差**が大きい

他にも...

- 橋梁の位置情報に***cm*単位**の精度は保証されていない
- 全国に**管理者不明橋**が多く存在する

本研究の目的と手法

目的：社会実装を考慮すると，**車両振動のみ**で橋梁走行中の車両振動を特定したい

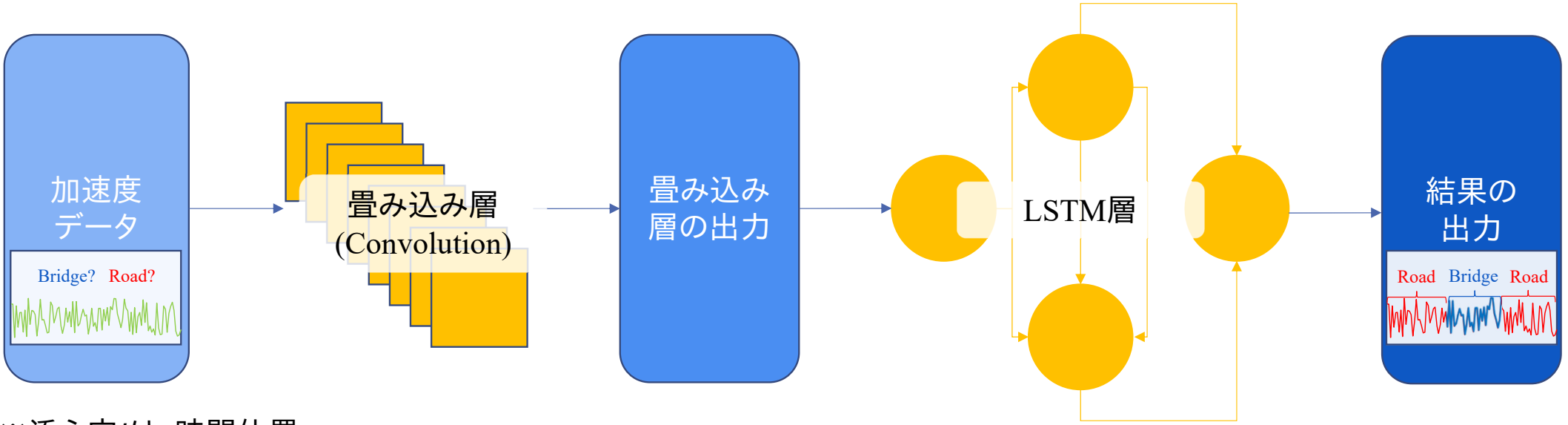
橋梁走行中の振動は，車両-橋梁相互作用[5]により**地盤上走行時**の振動と**異なる**

深層学習であれば，橋梁上と地盤上の振動波形の**変化**を**検知**できるかもしれない

- 手法
  - C-LSTMを用いた教師あり学習
- 正解データの作成
  - 新たな正解データの手法を検討

[5] Yang, Y. B., & Lin, C. W. 2005. Vehicle–bridge interaction dynamics and potential applications. Journal 33 of sound and vibration 284(1-2):205-226.

C-LSTMとは

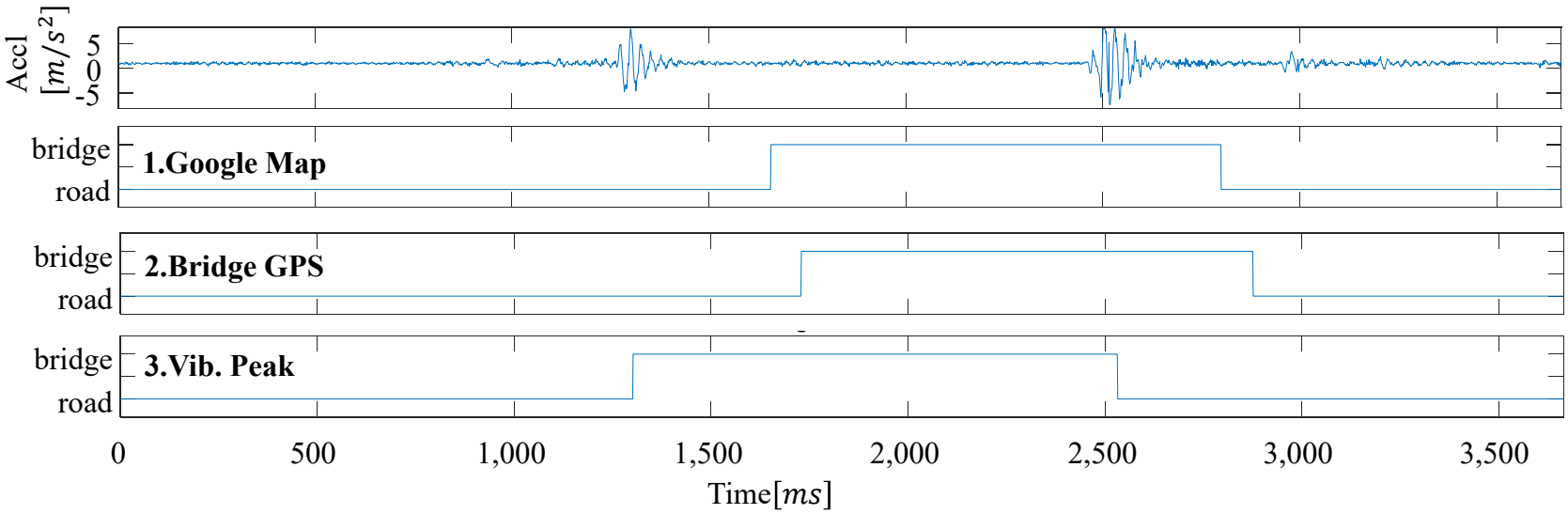


※添え字iは，時間位置

加速度データの学習にはLSTMが向いているが，**並列計算**に弱い

➡ 並列計算を得意とするCNNと，LSTMを組み合わせたC-LSTMを採用

正解データの作成



(Google Mapに基づいた正解データ)

(橋梁GPSセンサに基づいた正解データ)

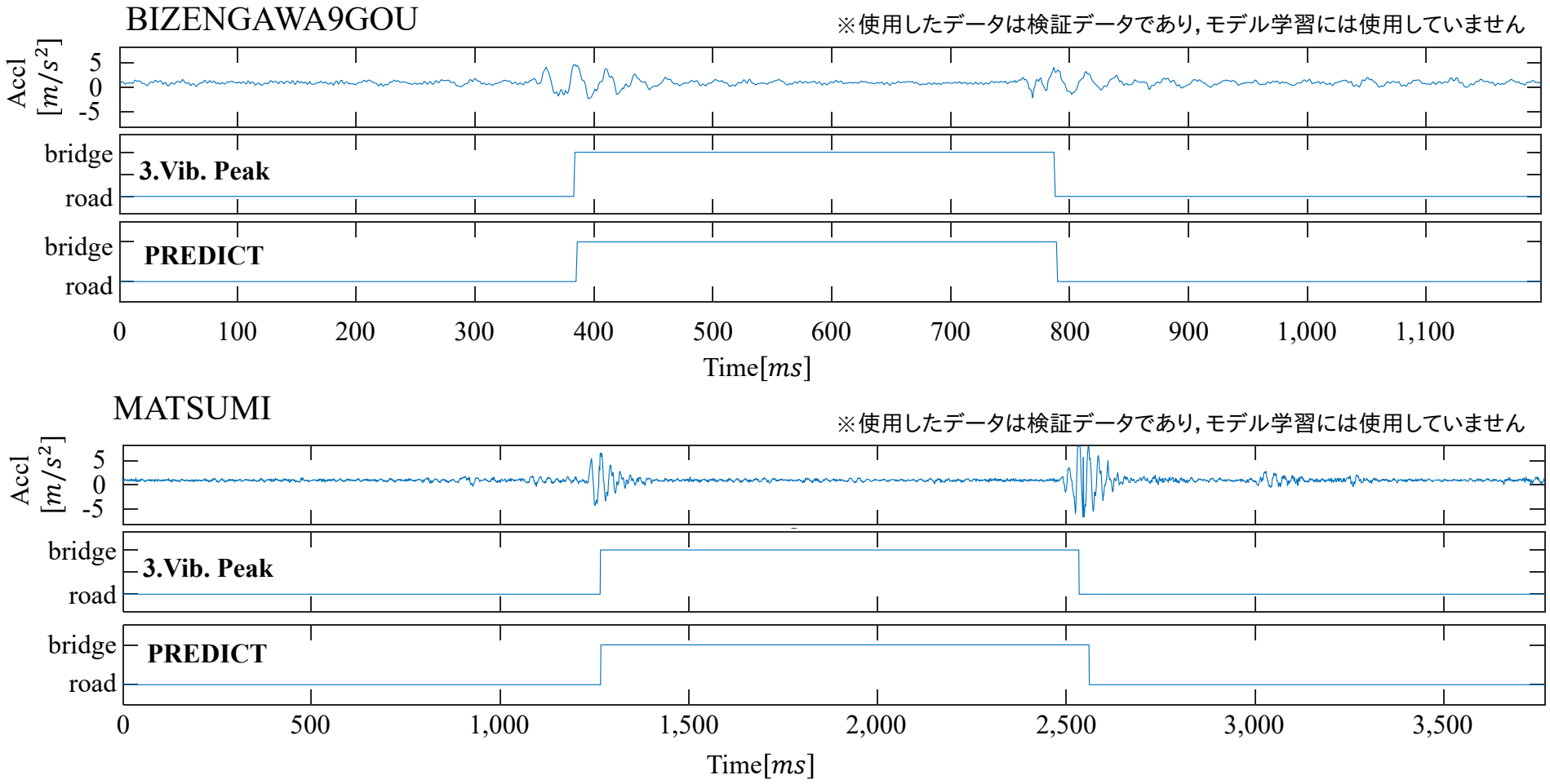
(振動ピークに基づいた正解データ)

- 既往の研究[6]では，1番のGoogle Map正解データを使用しており，正答率は約70%
- 1番と2番のラベルはほぼ一致

➡ 本研究では，**3番のピーク間正解データ**を採用

[6] Shin Ryota, Okada Yukihiko and Kyosuke Yamamoto,Field Experiments and Predicting using C-LSTM Networks of Bridge Position Estimation, Proc. of World Congress on Engineering 2021, pp.351-355, London, U.K., July 7-9, 2021.

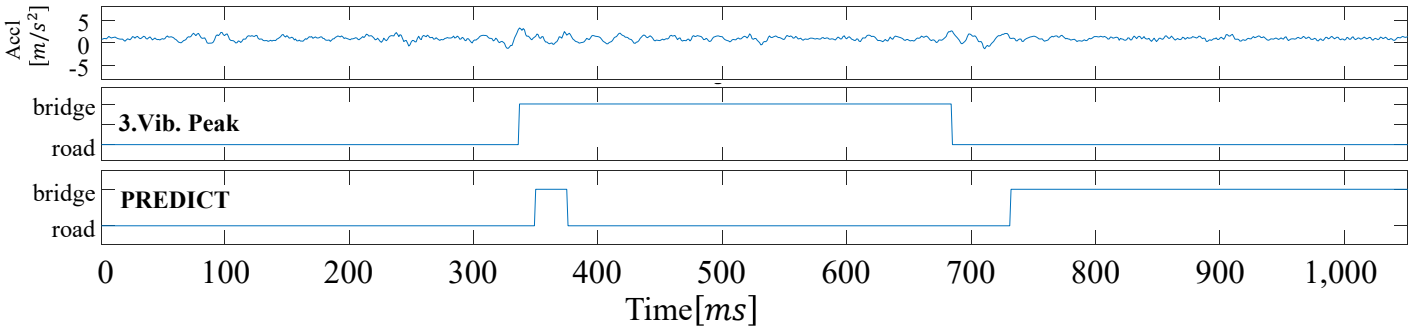
学習結果（成功例）


BIZENGAWA9GOU
※使用したデータは検証データであり，モデル学習には使用していません
Accl $[m/s^2]$
5
0
-5
bridge
road
3.Vib. Peak
bridge
road
PREDICT
0
100
200
300
400
500
600
700
800
900
1,000
1,100
Time$[ms]$
MATSUMI
※使用したデータは検証データであり，モデル学習には使用していません
Accl $[m/s^2]$
5
0
-5
bridge
road
3.Vib. Peak
bridge
road
PREDICT
0
500
1,000
1,500
2,000
2,500
3,000
3,500
Time$[ms]$

学習結果（失敗例）

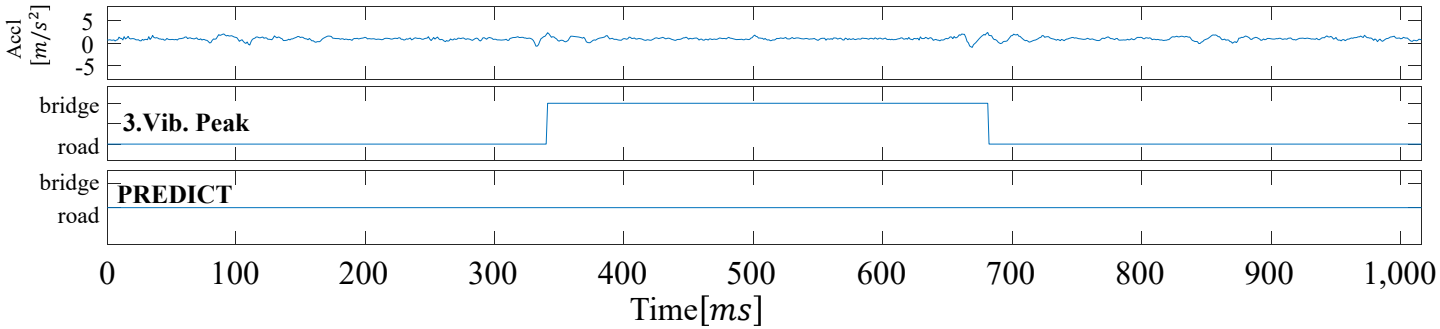
NAKAYA

※使用したデータは検証データであり，モデル学習には使用していません



TAKAMARU

※使用したデータは検証データであり，モデル学習には使用していません



車両振動のピークが出ていない波形は判別が難しい

学習結果のまとめ

- トレーニングデータ
  - 損失関数の値は0.073
  - 正解率の値は97.33%
- テストデータ
  - 損失関数の値は0.23
  - 正解率の値は80.90%
- 2つのピークを識別することができた振動は，橋梁走行中の車両振動を特定可能
- 大きくピークが発生していない車両振動の特定は困難
- 成功した全ての結果は，完璧な橋梁走行中の振動データを特定したわけではない

本研究のまとめと今後の課題

- 本研究で，**車両と橋梁の同時計測システム**を実現できた

- 車両と橋梁の位置同定技術には改善が必要
  - 車両と橋梁で別種のGPSセンサを使用した為，位置精度が悪化したと考えられる
  - 今後の計測では，同種のGPSセンサの使用が求められる

- 対象橋梁は1径間の橋梁である
  - 複数径間の単純桁橋梁の場合，ピークが複数回発生すると考えられる
  - 本研究で提案したピーク間正解データだと，精度が著しく悪化する可能性がある為，別手法の検討が必要

- 単一車両を用いたデータを使用している
  - 異なる種類や劣化状況の車両における検証が必要

筑波大学
University of Tsukuba

IMAGINE
THE
FUTURE.