

地方鉄道における営業車両を活用した 軌道状態の監視に関する取組

交通システム研究部 研究員 森 裕貴

発表内容

1. 背景
2. 測定装置と評価指標
3. 営業車両による軌道監視例
4. まとめと今後の課題

近年の脱線事故発生状況

一たび列車の脱線や衝突等が発生すれば、多数の死傷者を生じるおそれ踏切事故や自然災害によるものを除いても、脱線の撲滅に至っていない

<軌道異常を主原因とする脱線事故の例>

※運輸安全委員会発表資料より集計



年度	JR	大手民鉄	準大手	中小民鉄	貨物	公営	第三セクタ
2016	-	-	-	3	1	-	1
2015	-	-	-	2	-	-	-
2014	-	-	-	-	1	-	-
2013	-	-	-	4	1	-	-

<交通研として>

モニタリング技術の普及や新たな保守指針等の提案により、故障や異常を未然に防ぎ、脱線事故等の防止に活かす取組が必要

地方鉄道にて軌道異常を主原因とする脱線事故が多く発生していることから、経営状態の厳しい線区でも実現可能な軌道の状態監視の方法について検討

軌道の検査

〈軌道検測車による計測〉



特殊な構造の専用車両による検査

長所: 精密な計測が可能

短所: 高価な設備費、維持管理

⇒ 地方鉄道では軌道検測車の維持・管理は困難

〈保線係員の巡視による計測〉



鉄道車両の荷重が負荷されない
静的な検査が多くを占める

保線係員が軌道の巡視や、簡易な計測機器による検査

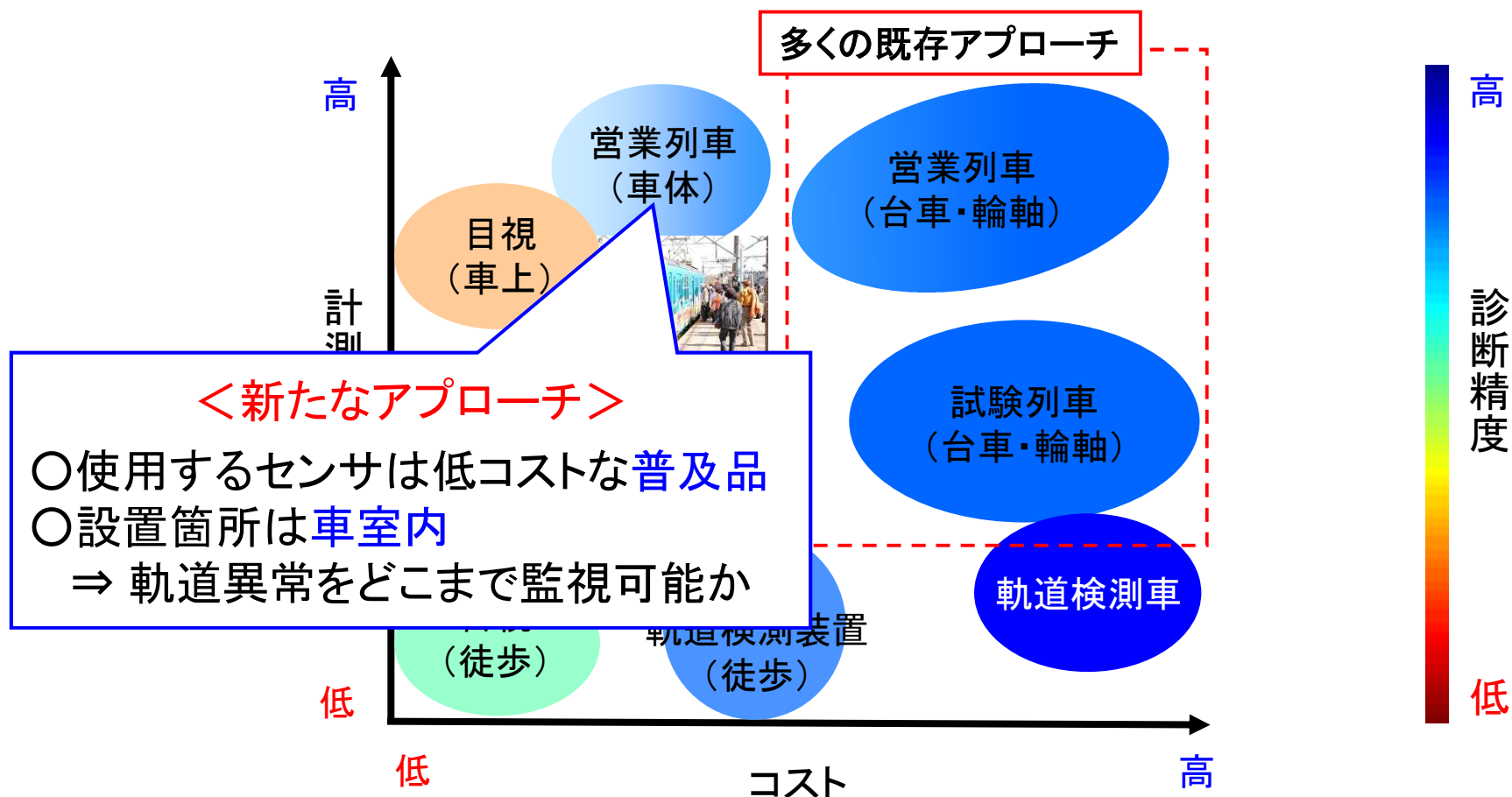
長所: 専用車両を必要としない

短所: 計測に多くの人員と時間が必要

計測頻度と範囲の制限

⇒ 試験列車では高頻度の測定は困難
営業列車による測定が望ましい

営業列車による軌道の状態監視



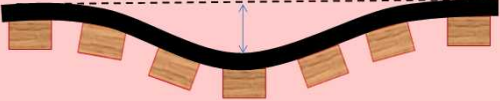
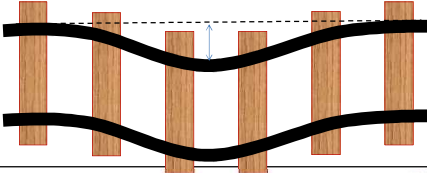
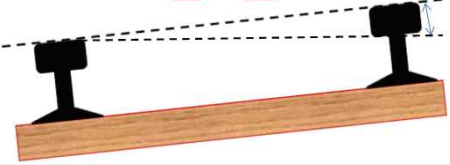

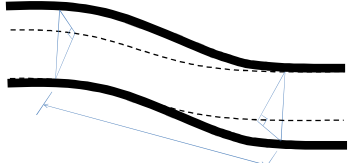
⇒ 革新的なコスト削減のためには、軌道変位以外の評価指標が必要

本発表の構成

1. 背景
2. 測定装置と評価指標
3. 営業車両による軌道監視例
4. まとめと今後の課題

軌道変位の種類

地方鉄道では高低変位の発生が顕著
ある事業者では年間軌道保守の83%が上下方向に影響する異常

高低変位	レール長手方向の上下変位	
通り変位	レール長手方向の左右変位	
水準変位	左右レールの高低差	
軌間変位	左右レールの間隔差	
平面性変位	レールの平面性に対するねじれ	

測定装置に求められる要件

大前提として低コストで測定可能であること

測定装置単体はもとより、大幅な車両改造等が発生しない装置であることが必要

○測定が簡単

⇒鉄道事業者に負担をかける装置では普及は困難

○測定データが容易に回収可能

⇒測定同様、負担をかけない方法および頻度

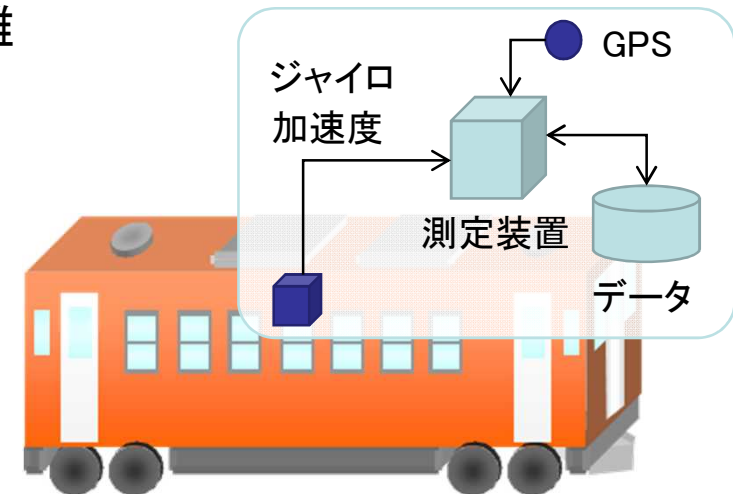
○小型で耐久性が良い

⇒営業車両であるため、設置場所が限定

⇒機器箱の中など、粉塵の影響が考えられる

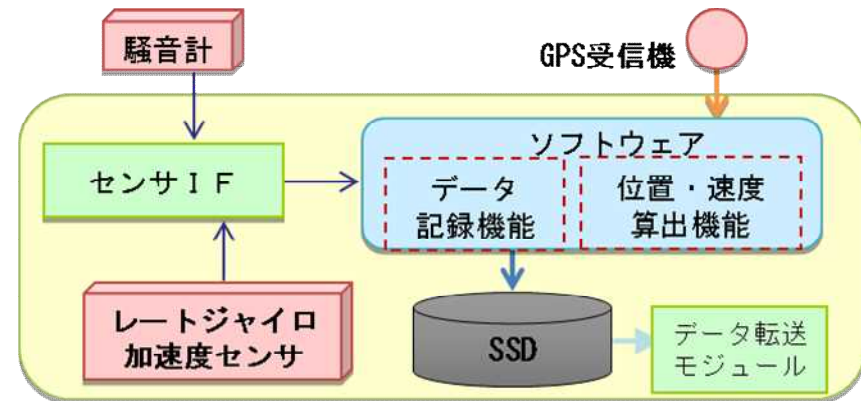
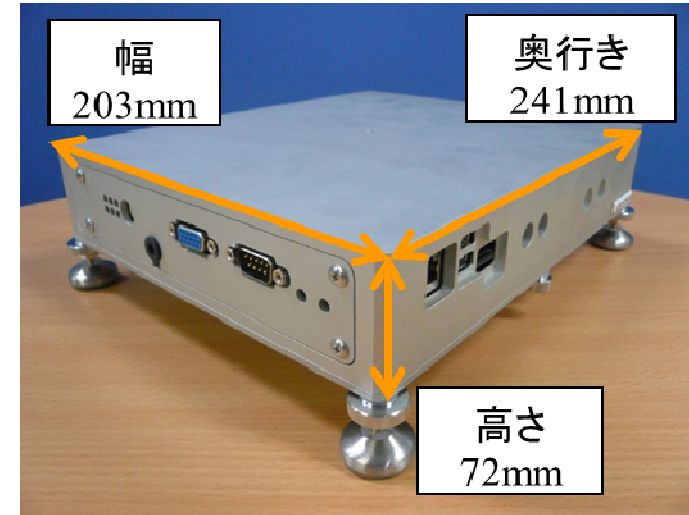
○長時間の測定が可能

⇒外部より給電が得られなくとも、始発駅～終点駅の測定が可能



測定装置の概要

- 測定センサ
 - MEMS (Micro Electro Mechanical Systems)
⇒ 車体3軸加速度・角速度
 - GPS受信機
- オプション機能
 - 測定結果を自動で収集
 - 携帯電話回線によるデータ転送
 - 車内騒音測定
- 保存データ形式 : .csvファイル
- 保存メディア : SSD, microSD
- 測定サンプリング : 820 Hz, 82Hz



測定装置の設置例



<ソフトウェア>

- 測定の**自動化**
 - ⇒ スイッチのON/OFF操作(可搬)
 - ⇒ 外部給電、電源断(常設)
- データ回収の**簡略化**
 - ⇒ microSDの交換(可搬)
 - ⇒ 携帯回線を利用したデータ転送(常設)

<ハードウェア>

- 筐体の**小型化**
 - ⇒ アルミ筐体とすることで密閉性を保ちながら、**排熱問題**をクリア(共通)
- 連続稼働時間の**長期化**
 - ⇒ バッテリ駆動で6時間の連続計測(可搬)
 - ⇒ 車両より給電(常設)

車体動揺による軌道評価

① RMS (Root Mean Square) 値

軌道評価に使用される車体動揺のp-p値が著大な区間を速やかに特定

⇒ 軌道異常発生地点の特定、軌道状態の経年変化を監視

活用例

軌道全線のうち、どの軌道異常を優先的に補修すべきかの判断に活用
車体動揺が正常な状態から乖離した場合、現地確認に行く指標として活用

② ウェーブレット変換

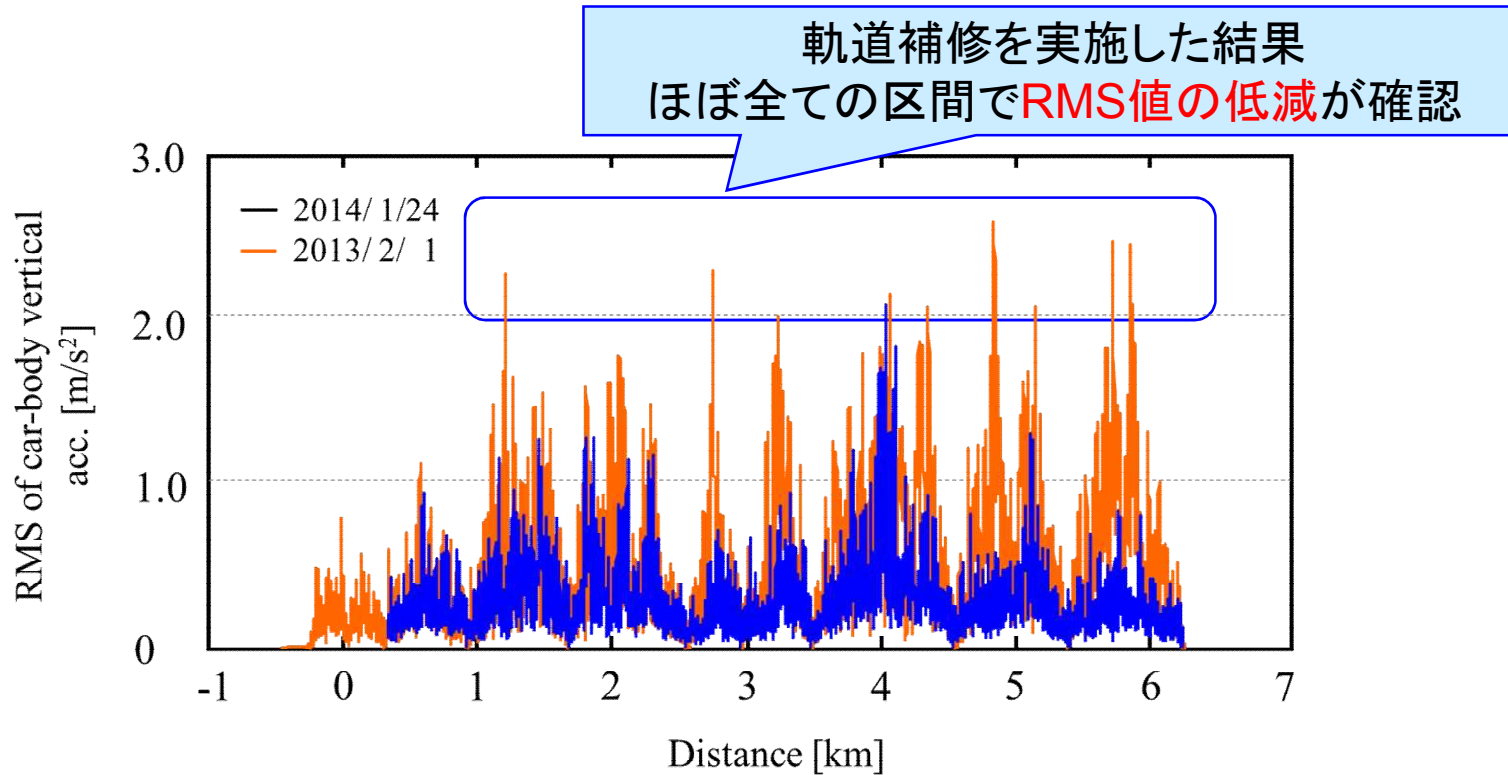
対象とする信号の持つ周波数情報が得られる時間-周波数解析の中でも、
広い周波数域を同時に解析可能

⇒ 軌道異常の原因特定、複数の軌道異常を一度の解析で評価

活用例

RMS値では軌道異常の種別を判別することが困難なため、レールの高低変位
を補修すべきか、継ぎ目を補修すべきかといった判断に活用

RMS値による軌道異常の発見例



鉄道事業者への情報提供を行うと共に、軌道補修前にRMS値が 2.0m/s^2 を超える区間へ現地調査を実施

現地調査結果



雨水による浸水



土砂の流入



憤泥区間

- ・ RMS値が著大な区間ほぼ全てで軌道異常を確認
- ・ 盛り土や砕石が不十分な傾向
- ・ 水はけの悪い区間が多い

優先して補修すべき箇所を客観的数値で特定できた

⇒ RMS著大区間に対して、**突き固め**のみでなく、重点的な**砕石補充**を提案



著大な軌道不整を確認

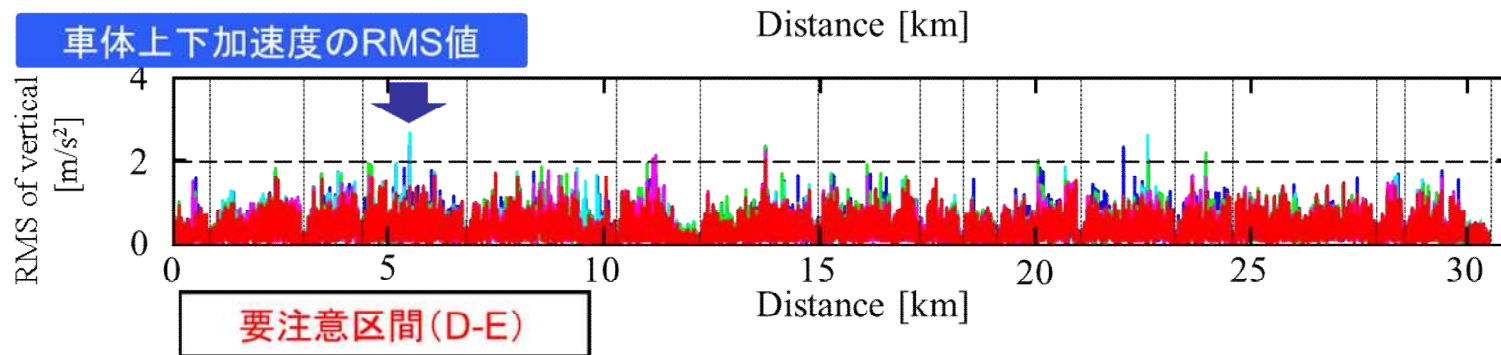
本発表の構成

1. 背景
2. 測定装置と評価指標
3. 営業車両による軌道監視例
4. まとめと今後の課題

路線Aにおける測定

軌道補修の効果を評価した事例

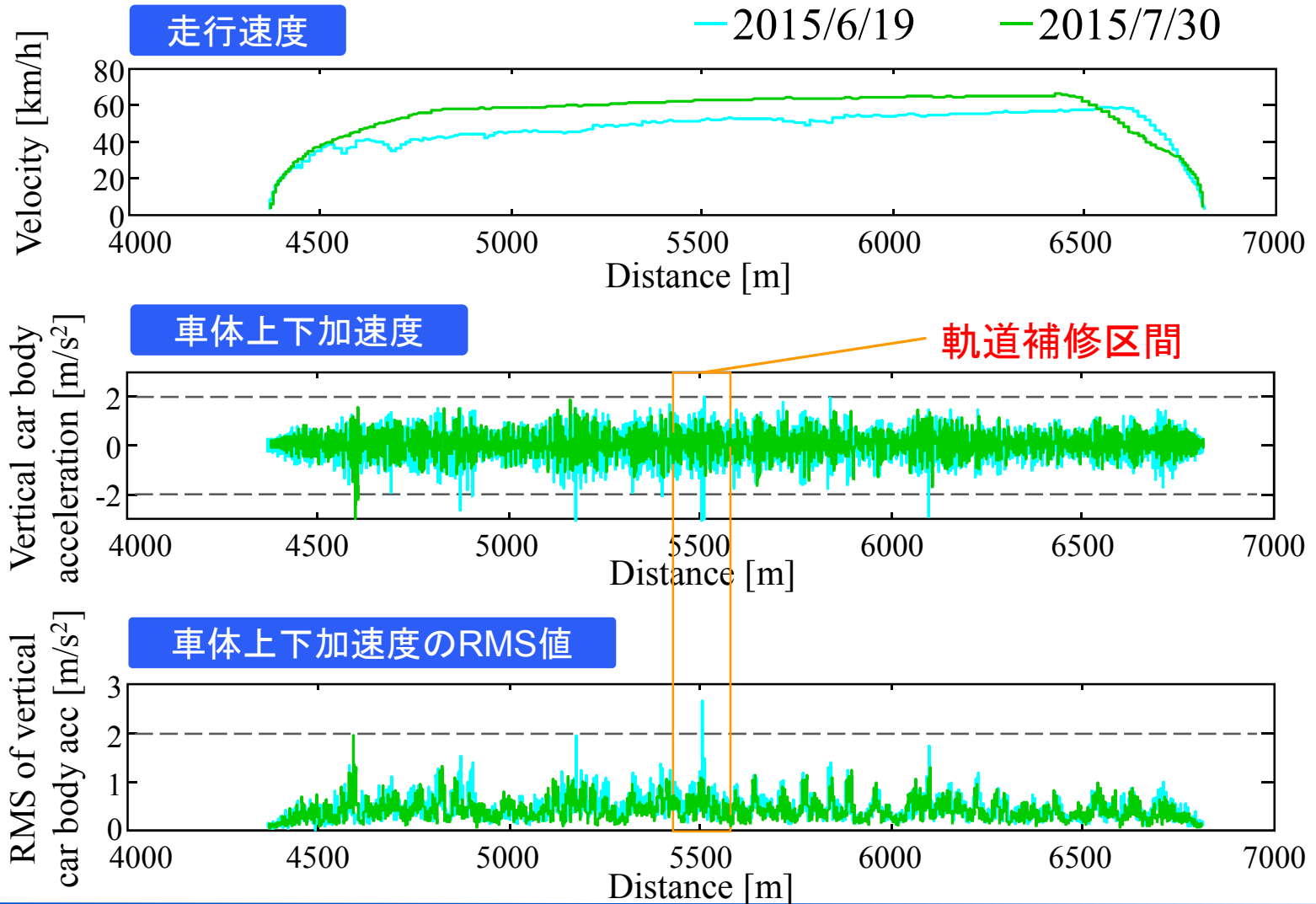
測定路線：路線A（路線長が長く、直線区間が多い）
測定装置：可搬型



<設置風景>

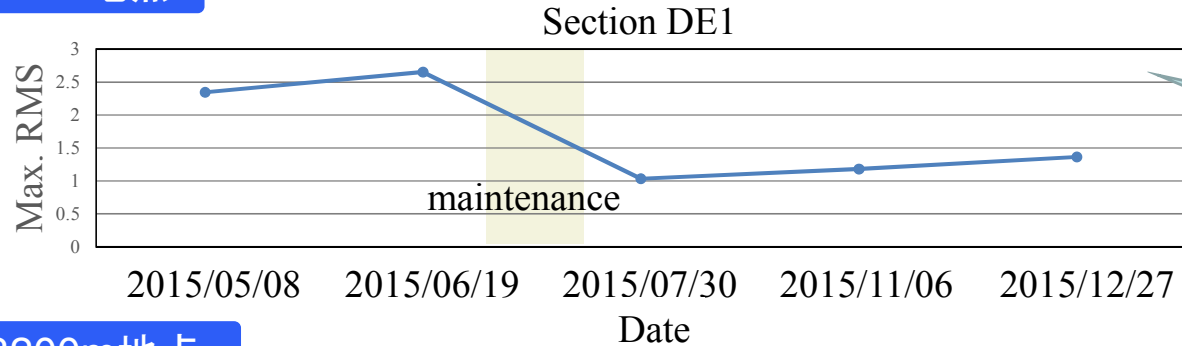
- 設置場所
: 先頭車両の運転席横

営業車両による測定結果

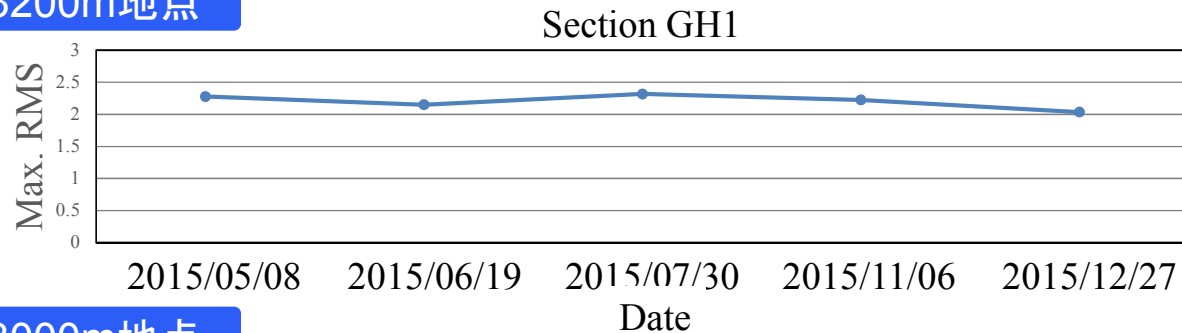


RMS値による評価

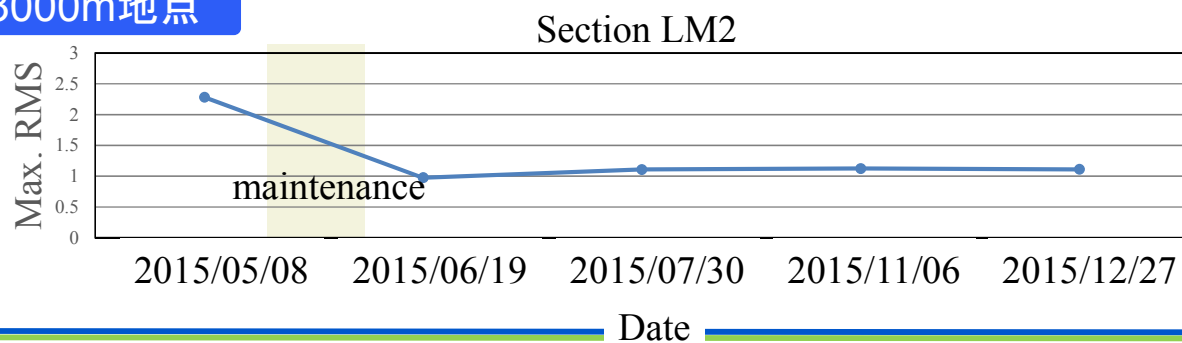
5500m地点



13200m地点



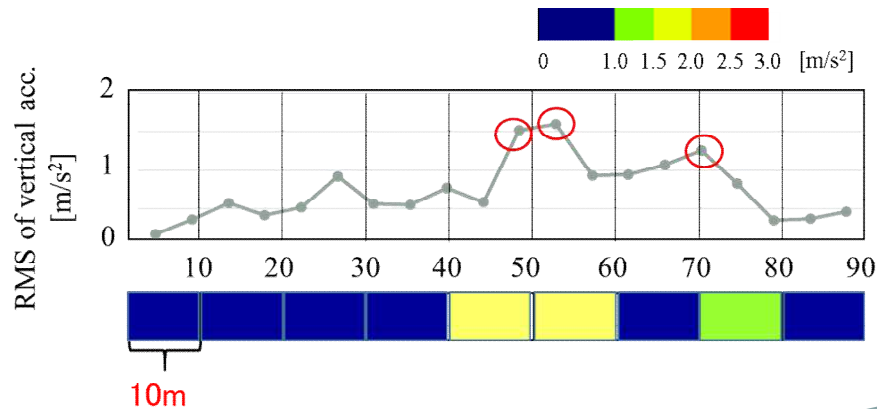
23000m地点



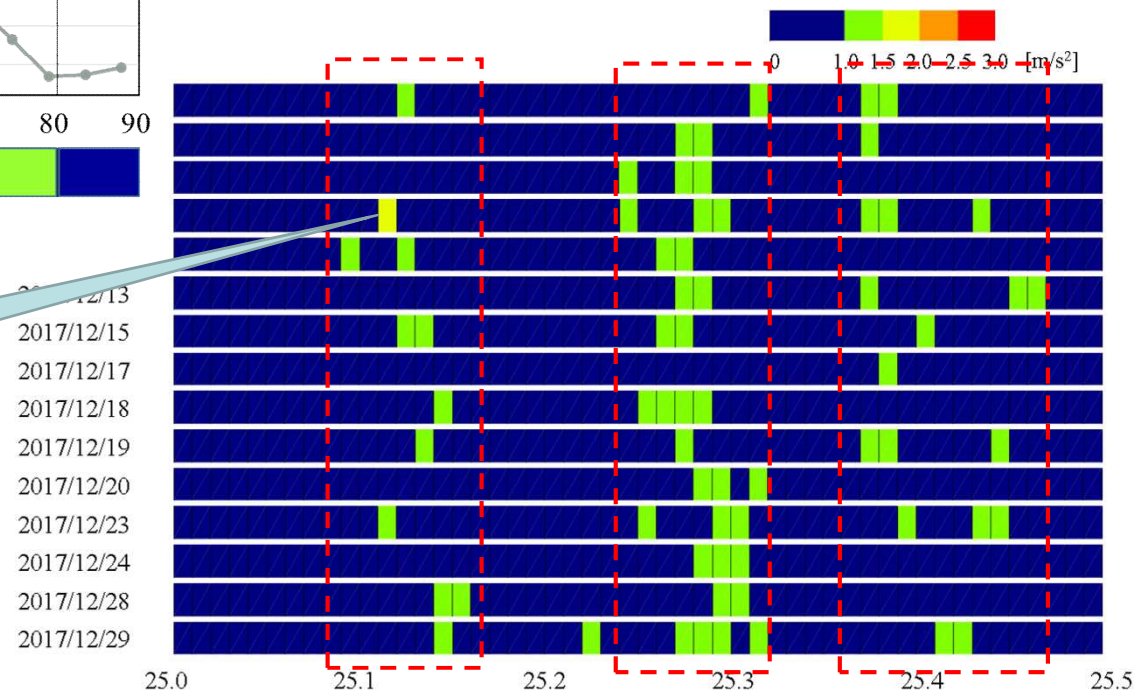
<課題>

軌道監視を行う区間が追加されるごと、測定回数が増えるごとにデータ処理量が増加

カラーマップによる評価



測定路線: 路線A
測定装置: 常設型



運転速度や旅客重量の
差で多少のばらつきが発生

最大値は25.1kmであるが、1.0m/s²の閾値を頻繁に超えているのは25.3km付近
軌道補修を行う目安としては、要注意(1.5m/s²)の閾値越えが頻出した頃を推奨

路線Bにおける測定

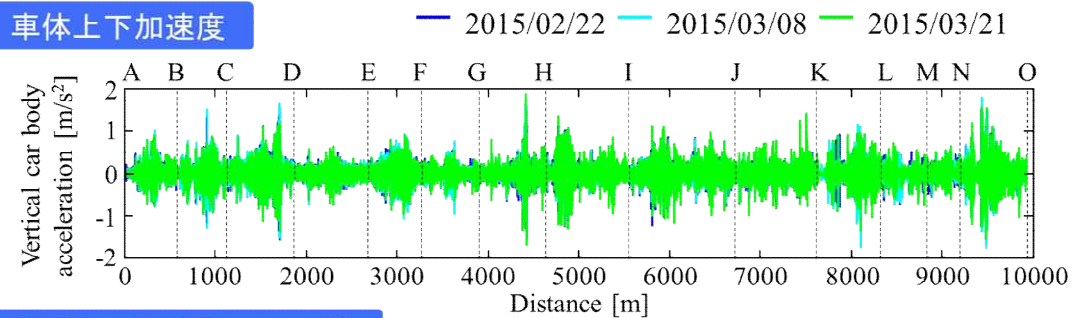
軌道異常と踏切を分離した事例

測定路線：路線B（沿線は住宅街が多く、踏切や曲線が多い）

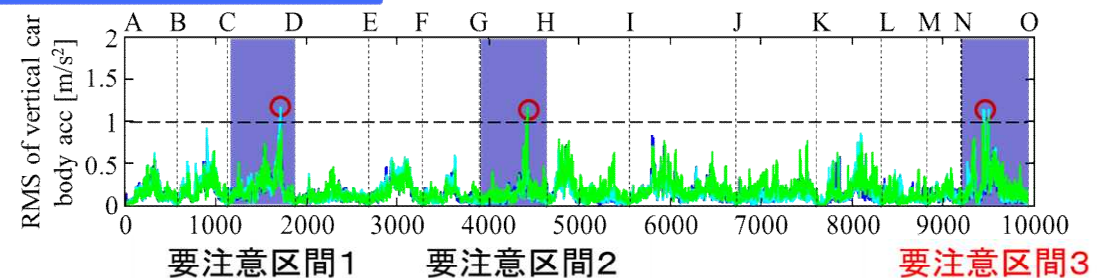
測定装置：常設型



車体上下加速度



車体上下加速度のRMS値



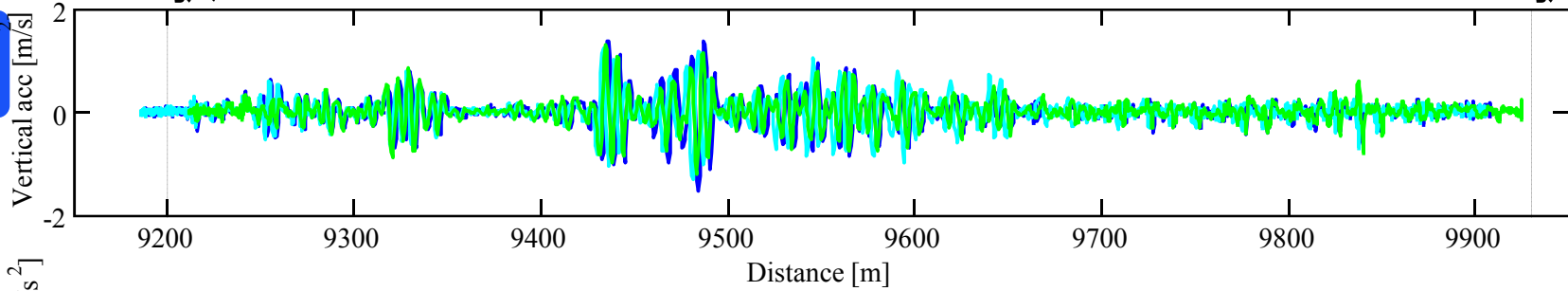
- 設置場所：運転室内床面

現地確認

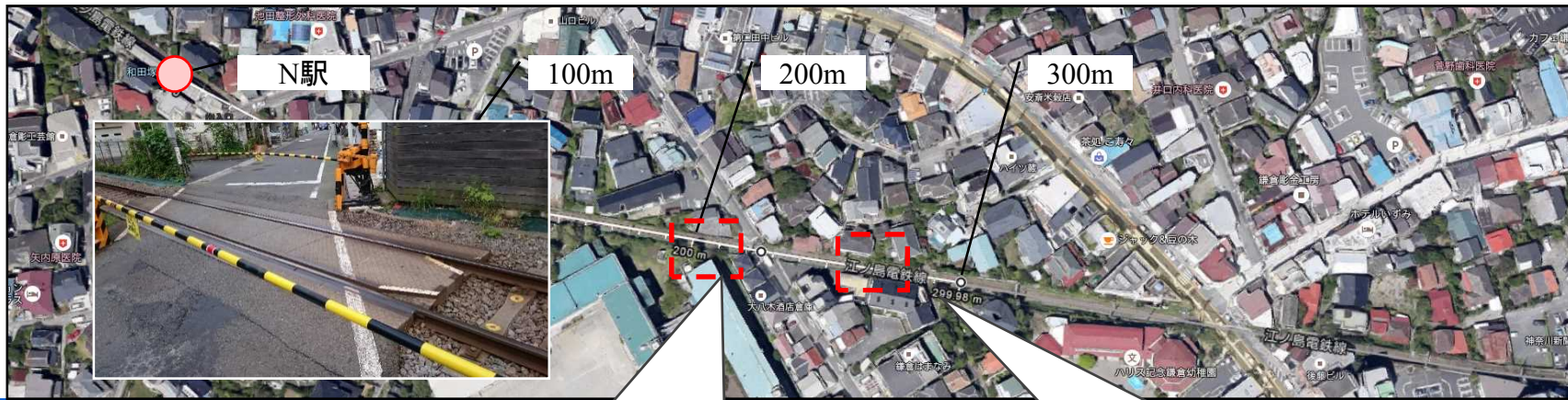
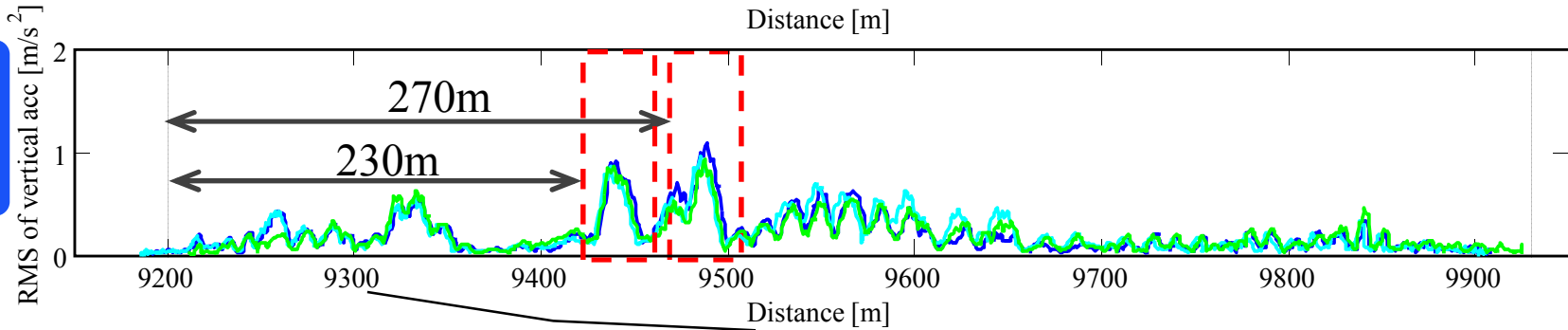
N 駅

O 駅

車体上下
加速度



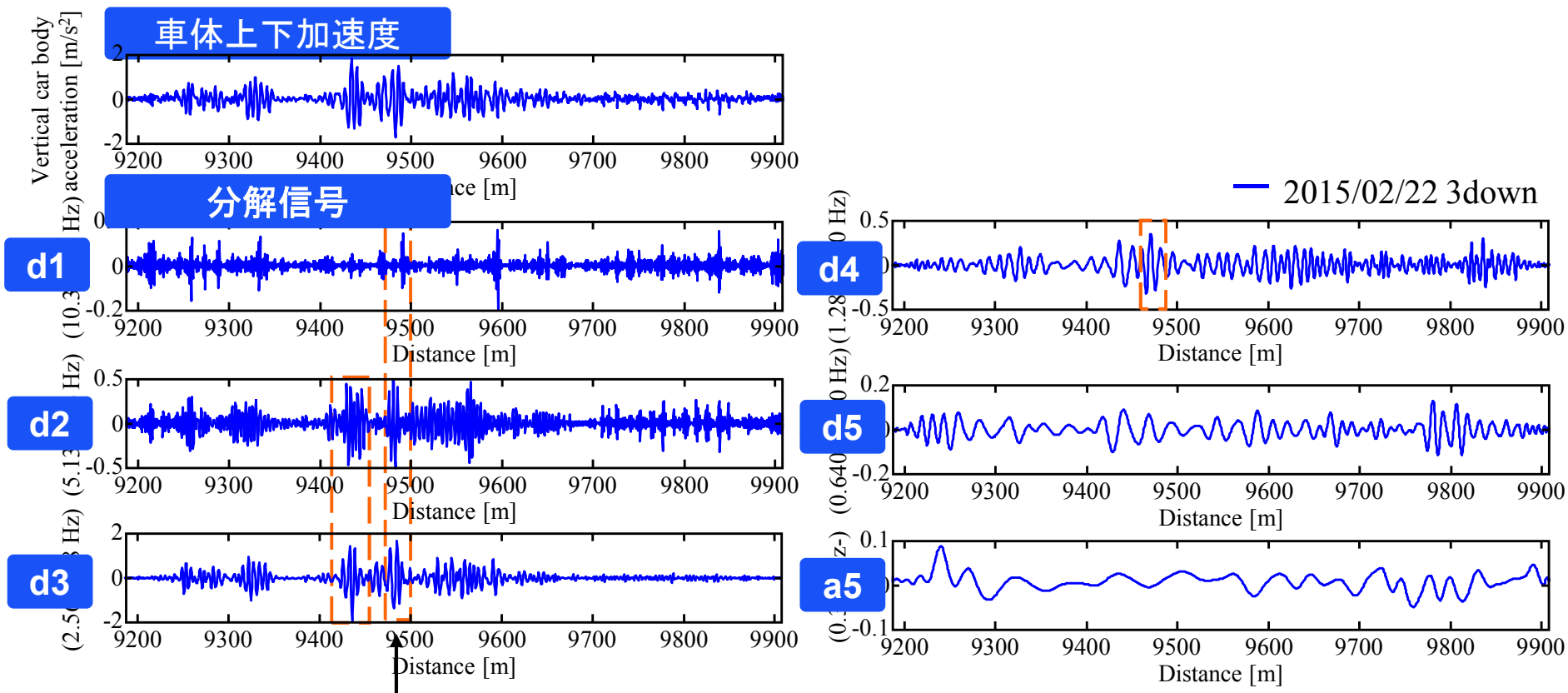
車体上下
加速度の
RMS値



踏み切り通過の影響

軌道異常の影響

ウェーブレット変換による評価



踏切通過時より**広い周波数帯**に
ピークが分布



鉄道事業者へのヒアリングの結果
継ぎ目落ちと**高低不整**の可能性

RMS値による評価では困難であった、軌道異常の区別をすることが可能

本発表の構成

1. 背景
2. 測定装置と評価指標
3. 営業車両による軌道監視例
4. まとめと今後の課題

結論

地方鉄道において実現可能な動的で高頻度の軌道監視を実現するために、営業車両における軌道の監視手法を検討

- I. 車室内にて比較的容易に測定可能な車両動揺から、軌道状態を評価する評価手法(RMS, ウェーブレット変換)を提案した
- II. 軌道異常を検知するために必要な車体の状態量を的確かつ、簡易に測定可能な測定装置を検討、測定の自動化を可能とした

上下系の軌道異常(上下変位、締結不良、継ぎ目落ち等)を検出可能であることを営業車両で確認

カラーマップによる評価を導入することで、自動測定で計測される膨大なデータを視覚的に評価可能とした

今後の課題

I. 軌道異常の検出範囲拡大

- ⇒ 本講演においては、軌道補修実績の多い上下方向を中心に検証
- ⇒ 軌道異常の検出範囲拡大、評価手法の検証は引き続き実施

II. 測定装置のさらなる小型化

- ⇒ 携帯端末等の既に普及している装置による測定の可能性を検討

ウェーブレット変換による評価

連続ウェーブレット変換

- ✓ 時間-周波数解析の一種
- ✓ 広周波数域の解析に

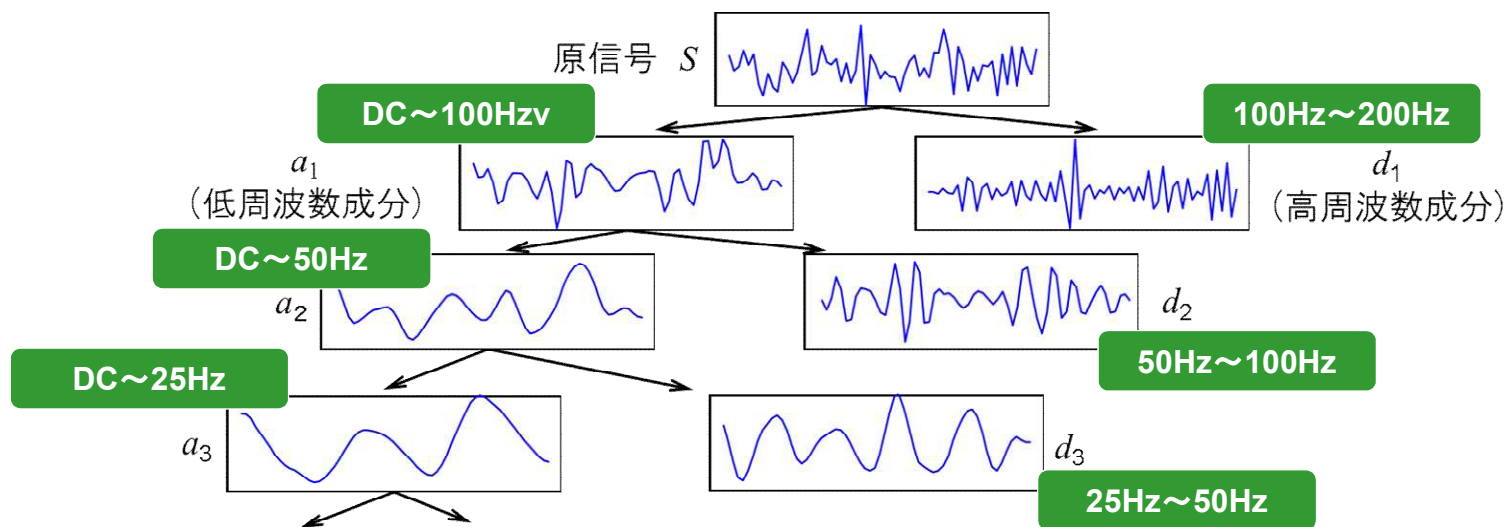
$$(W_\psi x)(a, b) = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) x(t) dt$$

↓
aとbを離散化

$\psi(x)$: マザーウェーブレット
 a : スケールパラメータ
 b : シフトパラメータ

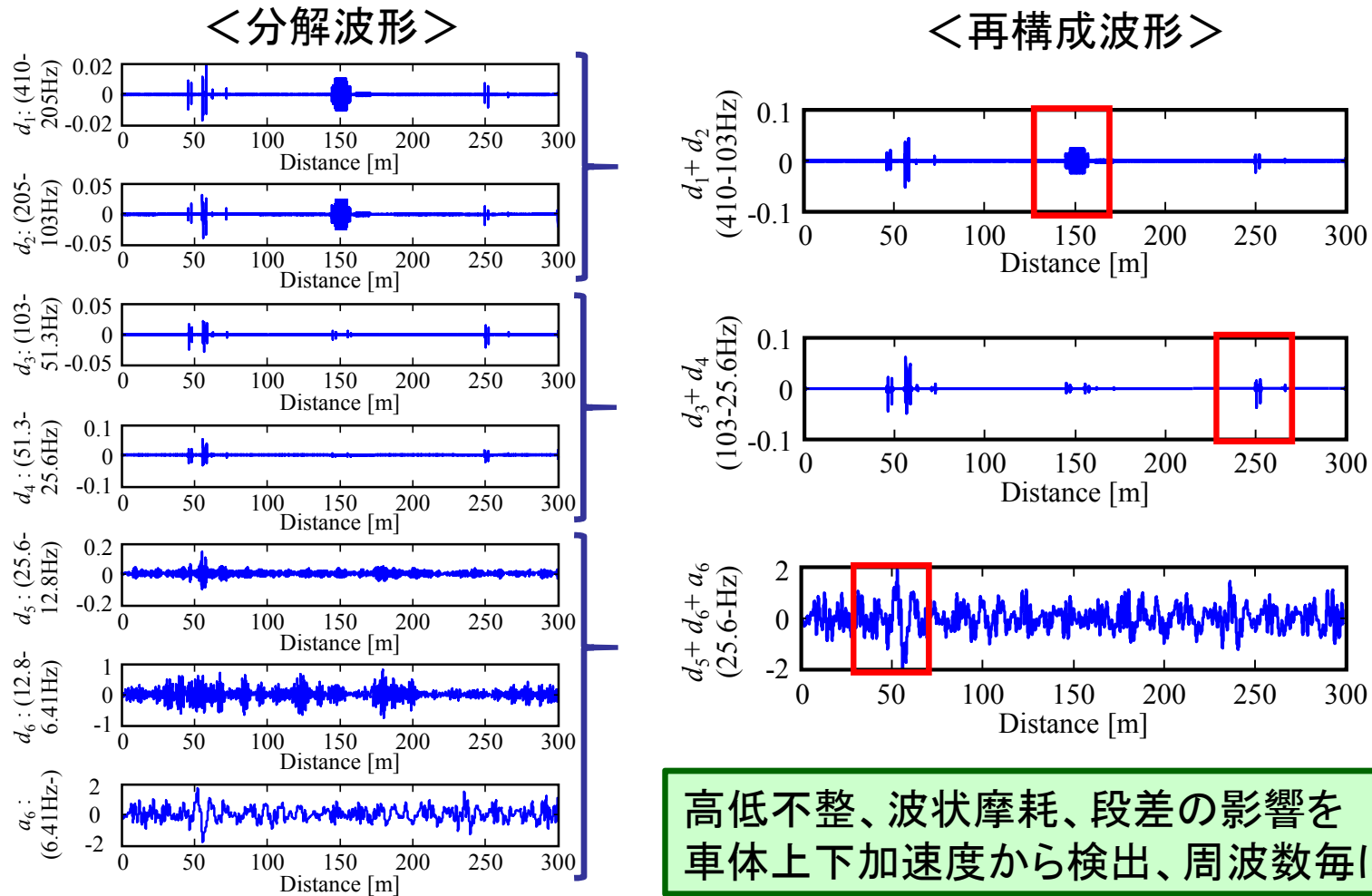
離散ウェーブレット変換による多重解像度解析

- ✓ 離散ウェーブレット変換を用いて低周波成分と複数の高周波成分に分解



- 軌道異常が複数混在している場合、RMS値では原因特定は困難
- 離散ウェーブレット変換により周波数成分を分解・抽出し、その特徴を掴む

離散ウェーブレット変換による評価



軌道不整と評価手法の対応

軌道不整		評価手法	
名称	特徴	RMS	ウェーブレット
高低不整 (10m弦正矢)	レール長手方向の 上下変位	○	○
通り不整 (10m弦正矢)	レール長手方向の 左右変位	○	○
水準不整	左右レールの 高低差	○	○
軌間不整	左右レールの 間隔差	×	△
平面性不整	レールの平面性に 対するねじれ	△	△

○: 検出可能と想定
×: 検出不可と想定

△: 統計的解析等との組合せにより検出の可能性