

Wavelet 変換を用いた軌道状態計測手法

AE17105 持田知哉

指導教員 藤田吾郎

1. はじめに

鉄道事業において軌道管理は安全を保つ上で非常に重要な役割を担う。^[1]しかし、日本では少子高齢化が進行しており、将来的に15-64歳の生産可能年齢が減少していくことが予想される。図1に年度別の人口の推移の予想とその割合を示す。また、軌道保全の職員数も減少している^[2]ことから、特に地方中小鉄道事業者において労働力確保が困難になる事で軌道の安全を保つことが難しくなる可能性がある。

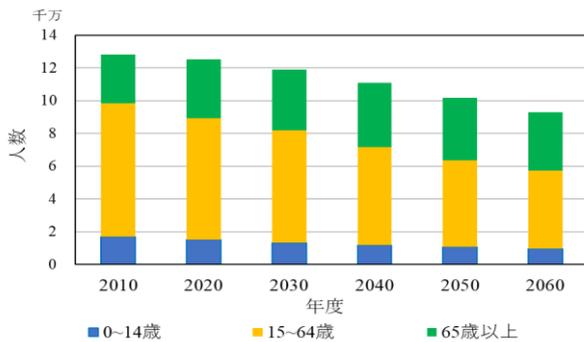


図1 日本の人口推移の予想

また、軌道検測は列車が走行しない夜間の短時間で行う必要があるが、人間の感覚を用いながら検測している場合がほとんどであり、多くの時間と労働力を要するため、予算の確保が難しい地方中小鉄道会社ではその頻度が少なくなってしまう。大手鉄道会社であると、軌道検測は専用の軌道検測車両や営業車両にモニタリング装置を備え付け、軌道を常時監視することで安全の品質を高くしている。一方、中小鉄道会社であるとそのような専用の機器の導入はコスト的に難しい。

2. 研究目的

上記の問題から、簡易的な機器を用い、得られたデータから軌道状態を把握することができれば、メンテナンスコストを削減することができると考えた。本研究では世間一般に普及しているスマートフォンにあるマイクと3軸加速度センサーを用いて、列車内で発生する音と進行方向の加速度を測定し、音はWavelet変換を用いて周波数-時間解析し、それを加速度データと比較することで簡易的に軌道の状態を検測することを目的とする。

3. データ測定機器

今回、データを測定する上で簡易的な機器として、携帯端末を使用した。以下にその端末と使用したアプリを示す。

携帯端末：Xperia XZ1 Compact (SO-02K)

音声アプリ：ボイスレコーダー (quality apps 社)

加速度アプリ：Accelerometer Analyzer (Mobile Tools 社)

4. 対象区間および測定方法

対象は秋田県にある由利高原鉄道である。今回この区間を選定した理由を以下に示す。また、表1に今回実施した路線の測定条件を示す。

- ① 前線開業から約80年経過していることで、開業当時と軌道状態が変わっている可能性がある。
- ② 全区間がほぼ単線であり(中間駅に行き違い設備が1つある)、列車のすれ違いによるジョイント音の損失の影響が受けづらい。
- ③ 全区間でロングレール(長さが200m以上のレール)の区間が一切なく、ほぼ定尺レール(25m)を用いていることからつなぎ目の音を測定しやすい。

表1 測定条件の詳細

| | |
|----------------|-------------------------------------------------|
| 測定日 | 2020年11月15日 |
| 測定時間 | 06:55~16:26 |
| 測定距離 | 23.7 km (駅数12) |
| 測定車両 (列車番号) | YR-3001 (1D, 5D, 6D, 14D) YR-3003 (13D, 18D) |
| 天気 | 晴れ |
| 気温 | 本荘市 最低2.8℃ 最高15.2℃ 矢島町 最低0.9℃ 最高14.7℃ |

計測機器は車両端部の運転台近くの床面に設置し、走行中の音データと進行方向の加速度データを計測した。

5. 解析方法

解析方法としては、採取した音データをMATLABのWavelet Toolboxを用いて雑音除去を行う。そしてそのデータからジョイ

ント音を判定し、その間隔を測定することで車両の速度を推定する。速度の導出式を下に示す。

$$V_A = 3.6 \times \frac{25}{t_{A+1} - t_A} \quad (1)$$

V_A : A 地点の定尺レール間の速度[km/h]

t_{A+1} : A 地点のレールの一方のジョイント音の発生時間[s]

t_A : A 地点のレールのもう一方のジョイント音の発生時間[s]

(1)の式によって車両の速度を把握することができる。

また、加速度データから台形公式より数値積分を行い、速度データを求める。その際、 $V(t_{stop}) = 0$ となるように加速度を補正する。補正式を(2)に示す。

$$a_{x_c}(t) = a_x(t) - \frac{1}{t_{stop} - t_{start}} \int_{t_{start}}^{t_{stop}} a_x(t) dt \quad (2)$$

$a_{x_c}[t]$:時間(t)における補正された加速度[m/s²]

$a_x[t]$:時間(t)における補正前の加速度[m/s²]

t_{start} :発車時刻[t] t_{stop} :発車時刻[t]

6. 解析結果

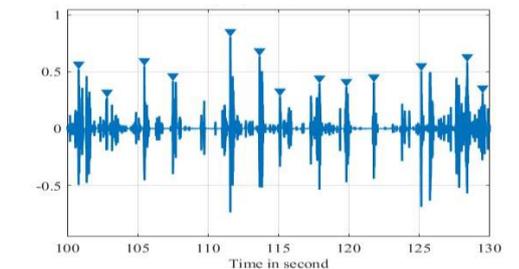


図2 ジョイント音の検出

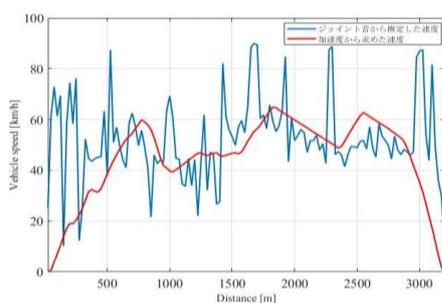


図3 速度推定値と実測値の比較

図3に由利高原鉄道で取得した音データからウェーブレット変換を用いて雑音除去³¹⁴⁾を行い、ジョイント音を判定した図を示す。この図から一定間隔でジョイント音が取れていることがわかる。図4にジョイント音から推定した速度と進行方向加速度から求めた速度のグラフを示す。2000 m 付近から 3000 m 付近では速度の誤差が小さい。一方、速度が遅い所は推定した速度

の精度が落ちていることが分かった。

また、ジョイント音から推定した距離の誤差を図5に示す。

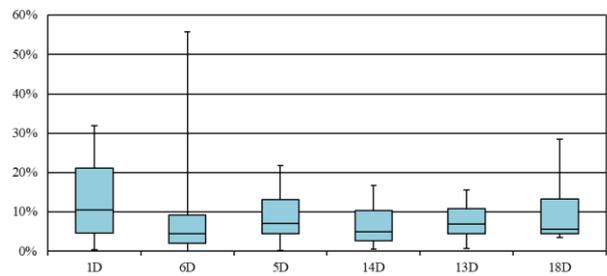


図4 ジョイント音から推定した駅間距離の誤差

1Dを除き、駅間距離の平均誤差は10%を切っていることが分かった。1Dでのデータのばらつきの原因は、線路に霜が降りていたことによる空転が発生したことで、台車と車体のずれる音をジョイント音として検知したからと考えられる。

7. まとめと今後の課題

本研究では携帯端末を用いて音データと進行方向の加速度データを測定し、音データをウェーブレット変換で処理することでジョイント音を検出し、加速度データから求めた速度データと比べることで、軌道の異常が確認できるかを検証した。解析結果からジョイント音から推定した速度と進行方向加速度からの求めた速度の誤差が小さい所があり、その区間に関しては異常がないと推測する区間があることが分かった。

課題として、それぞれの速度が著しく離れている区間ではジョイント音を正しく検出ができていない。車内で音を測定する際、台車と車体のずれによる非正常な音をジョイント音として検出してしまっているため、雑音除去の閾値を変更するなどして、検出精度を向上させる必要がある。今後はこのデータを基に現場にてデータとの関係性を確認し、より正確な解析の必要がある。

参考文献

- [1] 総務省統計局「人口の推移と将来人口」
- [2] 国土交通省、「地域鉄道対策 地域鉄道の現状」
- [3] 蘇迪, 佐野聡, 田中博文, 長山智則, 水谷司: 加速度と車内音の相互補正による鉄道車両の位置同定手法, 構造工学論文集 Vol. 62A (2016年3月)
- [4] 宮西寛奈: ウェーブレット変換を用いた呼吸異常音の特徴抽出, 高知工科大学学士學位論文, 2014