

携帯情報端末を用いた車内音による波状摩耗の検出精度の向上策の検討

東京大学 学生会員 ○ 長瀬 航太
 東京大学 正会員 蘇 迪
 鉄道総合技術研究所 正会員 田中 博文
 東京大学 正会員 長山 智則

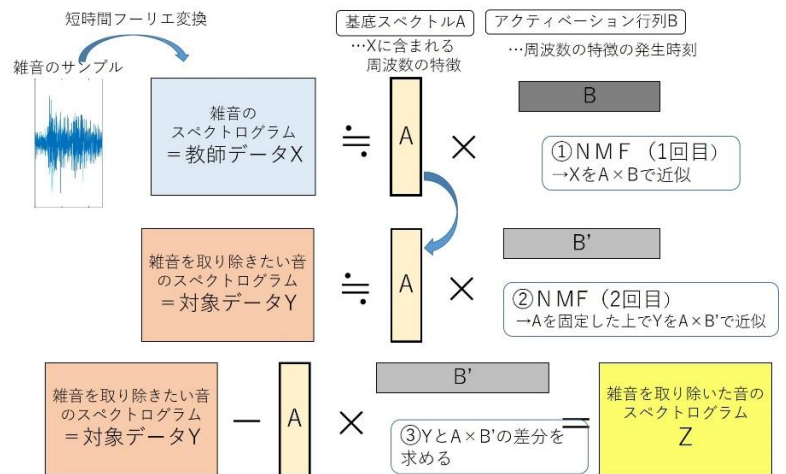
1. 研究の背景・目的

鉄道軌道に発生する変状として波状摩耗が挙げられる。波状摩耗とは鉄道のレールの頭頂面が周期的に摩耗する現象であり、車両が波状摩耗の発生した区間を走行すると騒音や振動が発生するため、乗客への乗り心地に大きな影響を及ぼす。近年では、営業車両上で測定された加速度や音データを基に波状摩耗を検出するためのモニタリングシステム装置¹⁾が開発されているが、維持管理に大きな予算を回すことができない中小の鉄道事業者も多く、より簡易的な波状摩耗の検出手法が求められている。そこで、近年普及した安価な携帯情報端末は加速度計とマイクロフォンを内蔵しているため、本研究ではそれを利用して測定した音データから波状摩耗を検出する際の検出精度の向上策について検討する。

2. 検出手法の概要

営業車両内で録音した音データにはモーター音や空力音など様々な雑音が含まれている。その中でも車両がレールの継目上を通過する際に発生するレール継目音の周波数は波状摩耗由来の音の周波数帯域と重なっているため、より精度よく波状摩耗音を検出するためにはレール継目音の除去を行う必要がある。本研究では、音響雑音除去など様々な分野で応用されている教師付き非負値行列因子分解 (NMF: Non-negative Matrix Factorization) と呼ばれる手法を採用し、レール継目音の除去を試みる²⁾。

教師付き NMF と呼ばれるこの手法では、取り除きたい雑音のサンプルをあらかじめ複数用意し、それらに対して短時間フーリエ変換を適用し時間軸と周波数軸のスペクトログラムを得る。このスペクトログラムを行列として捉え、NMF を適用することで雑音に頻出する周波数パターンを抽出することが可能となる。次に、雑音を取り除きたい音データのスペクトログラムに含まれる雑音の周波数パターンを、再度 NMF を適用することで抽出する。以上の大まかな手法の概念図を図 1 に示す。



以上の大まかな手法の概念図を図 1 に示す。

3. 検出手法の適用

本手法を、在来線の営業車両の運転室内に設置した iPod touch によって録音したデータに適用した。あらかじめ波状摩耗の存在が確認された 4 つの曲線区間とその前後を走行した際の音データを対象に教師付き NMF を行った。図 2 に、NMF を行う前後におけるスペクトログラムを示す。図中の、黒い四角で囲まれた区間は波状摩耗の存在が確認された 4 つの曲線区間である。また、図の上部に曲線区間の線路の平面線形情報を示す。黄色の台形が曲線区間を示しており、図中に記されている C、R はそれぞれ曲線区間中の線路のカントの高さ (mm) と曲線区間の曲率半径 (m) を示している。

キーワード 波状摩耗, 携帯情報端末, 車内音
 連絡先 〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1 東京大学社会基盤学専攻 TEL03-5841-4739

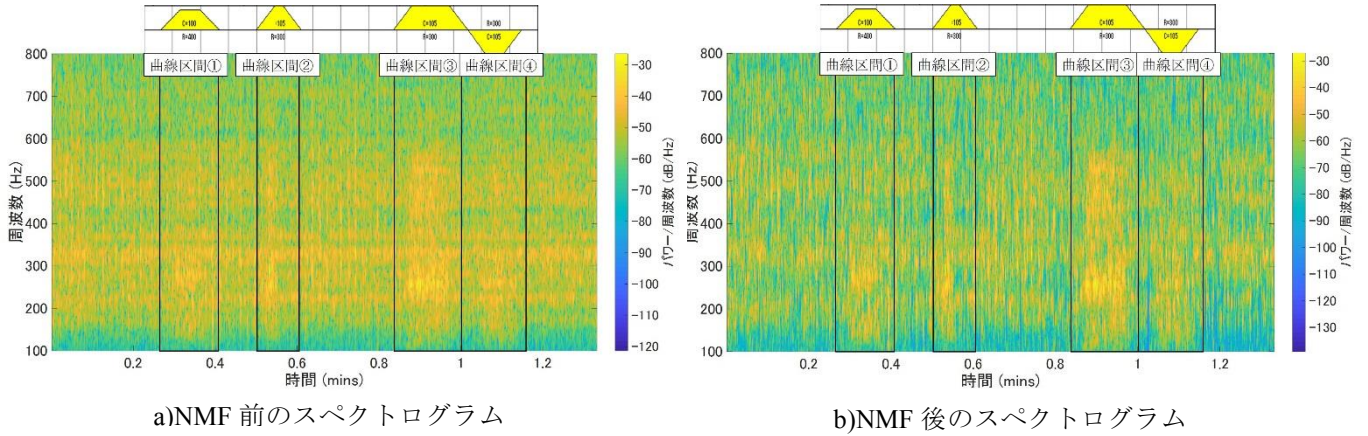


図 2. 手法の適用結果

同図より，レール継目音を完全に取り除くことはできなかったが，NMF 後のスペクトログラムには曲線区間中にスペクトルの強度が高くなっている箇所を確認できる．その周波数帯域は約 150Hz ～ 300Hz 前後に集中しており，波状摩耗の波長と列車速度から，波状摩耗由来の音と考えられる．次に，これらの波状摩耗音を定量的に評価するために，式(1)で示すように，車両の走行速度に応じた波状摩耗音の周波数帯域におけるスペクトログラムのスペクトルの強度を時刻方向で足し合わせ，本研究ではスペクトル体積と呼ぶ．NMF の前後でこのスペクトル体積の 2 秒間の移動平均を計算

$$V = \sum_{t=1}^{T/t_L} \sum_{f_1/\omega_L}^{f_2/\omega_L} |F(\omega, t)|^2 \times \omega_L \times t_L \quad (1)$$

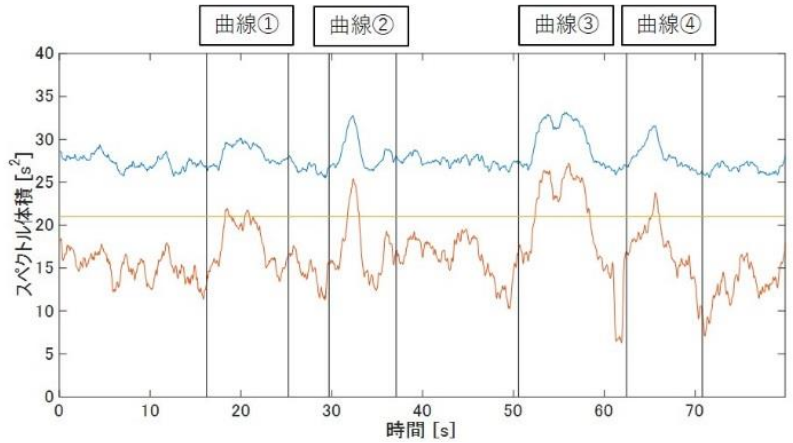


図 3. NMF 前後のスペクトル体積の変化

した結果を図 3 に示す．青線が NMF 前で赤線が NMF 後を示している．NMF 前と後ではいずれも曲線区間で値が大きく増加していることが確認できるが，NMF 後のほうがその増加量が顕著である．NMF を行うことでレール継目音を低減され，波状摩耗音が強調された結果であると言える．また，直線区間と曲線区間でのスペクトル体積の増加量が顕著になったことから，閾値設定を行うことで波状摩耗の有無を判定することが容易になったと言える（閾値設定の一例として図 3 に水平実線で示す）．また，今回分析に用いた 4 つの曲線区間の他に，同一路線の 121 の曲線区間に対して同様の処理を施し，図 3 で設定した閾値例を用いて波状摩耗の発生区間を判定したところ，往路と復路でそれぞれ 43 区間と 51 区間（うち往路と復路で両方検出したのは 37 区間）という結果が得られた．

4. 結論

本研究では NMF を用いて営業車両内で録音された音から主な雑音となるレール継目音の除去を行い，波状摩耗を音から検出する方法の精度向上案を検討した．その結果，車内音からレール継目音を低減させ波状摩耗音を強調することに成功した上，定量的に波状摩耗音を評価することもできた．車内音からの雑音の除去にはまだ不十分な点もあるが，他の雑音に対しても同様の手法を適用することで更なる精度の向上が期待できる．

参考文献

- 1) 田中博文，芳賀昭弘：車上からレール波状摩耗をとらえる，RRR，2011 年 4 月号，pp10-13，2011.
- 2) 澤田宏：NMF の基礎と信号解析への応用，電気情報通信学会誌，95 巻 9 号，pp.829-833，2012.9.