

# 地下鉄の車内および地上部における騒音測定を踏まえた騒音実態の把握

久保田 聡<sup>1</sup>・日比野 直彦<sup>2</sup>

<sup>1</sup>学生会員 政策研究大学院大学 大学院政策研究科 (〒106-8677 東京都港区六本木7-22-1)  
E-mail:mjd20403@grips.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 政策研究大学院大学教授 大学院政策研究科 (〒106-8677 東京都港区六本木7-22-1)  
E-mail:hibino@grips.ac.jp

地下鉄は急曲線が多く、列車通過時に車輪とレールが接触することにより生じる騒音が発生しやすいものの、その騒音はトンネル内であることから地上を走行する鉄道と比べ着目されていないことが問題である。地下鉄では、列車走行の安全確保に向けた様々な定期検査を実施しているが、その中に騒音測定は含まれておらず、音データの蓄積が無いことにより実態把握がされていない。本研究では、1) 車両内部において騒音を測定し管理一覧表を作成すること、2) それをもとに曲線半径、列車速度、騒音の関係を明らかにすることを目的とする。そして、分析結果より、トンネル内の曲線通過時に発生する騒音は、曲線半径や列車速度の影響が大きいものの、それだけで決定されるものでなく複数の要因に影響を受けるものであることを実測値から明らかにした。

**Key Words :** *subways, noise measurement, sharp curves, train speed, utilization of sound data*

## 1. はじめに

地下鉄は、用地取得の面から道路下での建設が基本とされてきた経緯があり、地上を走行する鉄道と比べ急曲線が多く、曲線通過時の騒音が発生しやすい特徴を持つ。トンネル内で発生する列車騒音は、列車内における快適性に限らず地上部にも悪影響を及ぼす恐れがあるものの、高速走行を実現してきた新幹線開発<sup>1)</sup>や地上部を走行する在来線<sup>2)</sup>と比較して、地下にあるトンネルという環境から着目されていないことが問題である。また、トンネル内で発生する騒音や振動が地上部へ与える影響の大きさは、当該箇所におけるトンネルの深さや重量、トンネル周辺の地盤等の多岐に渡る条件によって異なるため、地上側への対応は後手に回ってしまうことが多い。

地下鉄では、列車の走行安全性確保に向けて様々な検査を実施しているものの、その中に騒音測定の定期検査は含まれてなく、騒音の発生条件や新規発生箇所の傾向等の実態が把握されていない。そのため、従来の騒音測定は、発生箇所における後発的な定点測定を基本としており、既に発生を認識している騒音に対する対策検討や処置に重点が置かれている。騒音の特徴を把握することは、更なる騒音の早期発見や事前対策の充実に繋がる。これらの観点からも現状の騒音対策は不十分である。

本研究の目的は、1) 複数路線の列車内で収集した音デ

ータと線形情報および既存検査の情報を反映した管理一覧表(以下、カルテ)を作成すること、2) 相関行列・複数項目グラフを分析し、関係性の強い騒音の発生要因を示すこと、3) 列車内と地上部の同時騒音測定によって地下鉄で発生する騒音が地上部へ与える影響を示すこととする。具体的には、列車内において騒音を測定することにより、曲線半径や列車速度等の既存情報と騒音の関係性を明らかにする。これらが明らかになることで、対象となる騒音の実態把握を可能とし、騒音公害発生前の施策実行に資する音データの活用が期待できる。

将来、少子高齢化により鉄道施設の維持管理を行う作業員が減少していく可能性もあり、効率的な検査方法の検討や騒音の事前対策充実が求められている。それらに向けた基礎的な分析を行うことが本研究の意義である。

なお、本研究では、鉄道騒音のうち車両の駆動装置やブレーキ装置に起因する音および列車の警笛音は研究対象外とし、地下鉄トンネル内の急曲線通過時に車輪とレールの接触によって発生する騒音を対象とする。

## 2. 既往研究のレビューと本研究の位置づけ

鉄道騒音は、古くから西村<sup>3)</sup>により鉄道車両の騒音源の発生メカニズムや当時の防止対策がまとめられ、各対

策の積み重ねが重要であると示されている。地下鉄における振動および騒音の制御については、風巻<sup>9)</sup>が軌道面からトンネルに伝わる振動の伝達時間や振動加速度の実測値を用いて防振軌道の有効性を示し、市東・生方<sup>9)</sup>によって、地下鉄における車内騒音に対する対策の進歩と成果を線路側と車両側それぞれの面から明らかにし、振動防止対策について検討している。さらに、津野ら<sup>7)</sup>により、地下鉄シールドトンネルから伝播する振動の特性が示され、折原ら<sup>8)</sup>により、地下鉄開削トンネルから伝播する振動の解析による検討が行われている。また、鈴木<sup>9)</sup>により、応用心理学からのアプローチによる鉄道車両の乗り心地評価や評価方法の研究も行われ、岸川ら<sup>10)</sup>により新幹線の騒音・振動による主観的健康の低下に関する質問紙調査を実施している。

近年では、堀川ら<sup>12)</sup>はJR東日本研究開発センターが実施した新幹線車両の車内騒音低減対策と効果をまとめ、堀内ら<sup>13)</sup>は新幹線のトンネルに取り付ける吸音パネルの開発と実用化に向けた試験施工を行った。車両の機能向上に伴う防音および防振の進歩も大きい。軌道側に着目すると、いずれも発生した騒音に対し現地ごとの定点測定やメカニズムの解明を経て対策を実施している。小島ら<sup>14)</sup>は、列車の台車を中心に振動加速度とマイクロホンを取り付け、振動加速度と床下騒音から波状摩耗の検出に関する研究を行っている。

これらの背景を踏まえ、地下鉄における定点的な調査による振動および騒音の発生メカニズム解明や対策方法の検討は過去にも実施されているが、近年における新幹線に比べ着目されることが少ない。また、列車内からの振動および騒音測定結果のデータ活用も検討されてきているが、事前に複数の測定機器を車両台車に取り付ける必要があり、列車内からの簡易的な騒音測定は検討されていない。本研究は、移動する列車内から曲線通過時の騒音測定を実測することにより、各曲線で発生する騒音のデータを取得し、曲線半径等の線形情報と騒音の関係性を明らかにする実証研究として位置付ける。

### 3. 東京地下鉄の対策

東京地下鉄株式会社に寄せられる「ご意見・ご要望」の件数は、年間で約14,000件<sup>15)</sup>あり、その多くが運転やダイヤに関するものや車両の快適性に関するものである。それらを除いた「駅・構造物」の項目に含まれる振動・騒音に着目すると、件数そのものは多くはないが、毎年10件程度あり無視することはできない。

これまでに東京地下鉄では、各路線にて様々な振動および騒音対策を軌道構造の面で実施してきた。建設年度の古い路線では、一部区間にて防振性の高いバラスト道

床を振動対策として採用している。また、丸ノ内線や日比谷線では、レール継目部での列車通過衝撃による振動や騒音を無くすために、古くからトンネル内に敷設されているレールの溶接や長尺レールを採用している。千代田線以降の新しい路線では、丸ノ内線以降で実施してきた過去の振動騒音対策の実績や経験をもとに設計段階からコンクリート道床防振まくらぎ等の防振軌道構造の設計を標準とし、その防振構造は鉄道技術の進歩とともに年々と改良が進められている。設計当初では、現在の防振軌道構造が存在していなかった古い路線においても開業後に防振軌道構造へ改良する工事を順次進めている。しかしながら、既設トンネル内での大規模な軌道改良工事は、狭隘なスペースによる重機の使用制限や材料搬出入箇所までの運搬時間の増大により施工条件が厳しい。軌道改良工事は、効果が大きいものの対策完了までに時間を要するため、恒久対策と位置付けている。そこで、車輪とレールの接触による発生音に対する緊急対策は、レール削正やレール塗油などの日常補修で対応していることが多い。これらの日常補修は、敷設したレールの延命にも大きな効果があり、列車の走行安全性の観点からも重要性の高い保守作業である。さらに、車両構造の面においても、走行列車からの曲線通過時における摩擦調整剤噴霧や自己操舵台車を持つ新型車両の採用など、走行安全性の管理に付随する騒音低減対策を推進している。

## 4. 分析方法・分析データ

### (1) 分析方法

本研究における騒音測定の主対象は、東京地下鉄の地下トンネル内において、曲線通過時に発生するきしり音および波状摩耗に起因する転動音である。分析で用いる音データは、発生する騒音を列車内から著者自ら測定したものとする。また、路線による特徴を確認するために、等価騒音レベルではなく単発騒音暴露レベルを用いて、路線別の比較を行う。分析は、実測した騒音に対し1/3オクターブ分析を用いて各周波数に分解した数値と曲線半径や列車速度等の既存情報の関係性を見出していく。その結果を踏まえ、定量的に関係性が強いところを明確にすることにより、発生する騒音の発生要因の実態や傾向を把握し、その特徴に合わせた対応策を見つけていくこととする。なお、測定した音データは、人間の聴覚に近づけた補正を行うA特性を採用する。

### (2) 分析対象路線

図-1に、東京地下鉄の路線別曲線総延長を示す。路線によって敷設された曲線の曲線半径割合が異なり、特に建設年度の古い路線では曲線半径の小さい急曲線

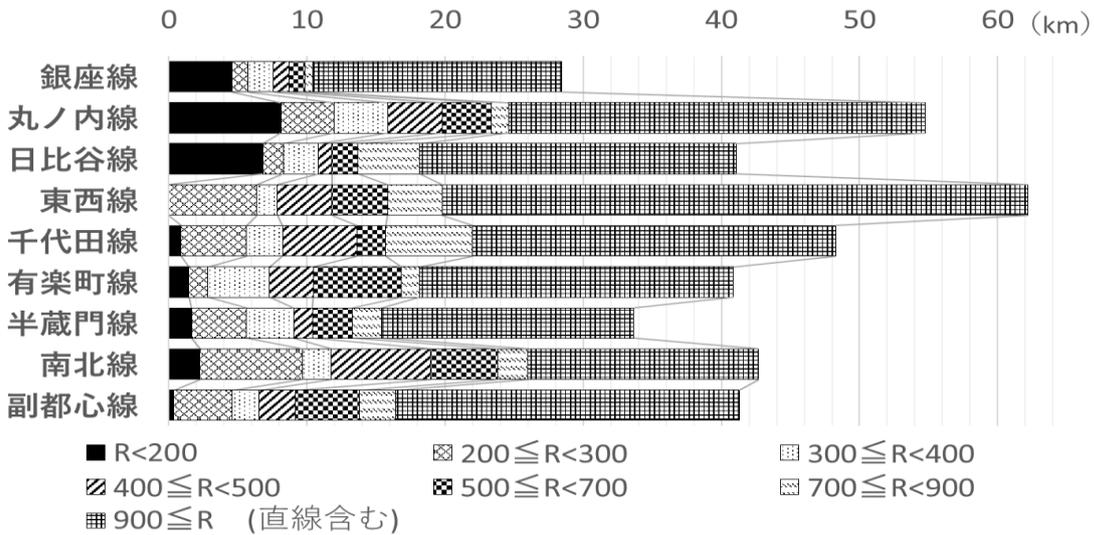


図-1 路線別曲線総延長

表-1 測定内容

路線名	測定日	分析対象	測定箇所			解析対象 曲線数	カルテ作成 データ数
			列車内	地上部	トンネル内		
A路線	2020/09/03	1曲線	4往復の同時測定			8	
	2020/09/10	1曲線	4往復の同時測定			8	
	2020/10/10	全線	2往復			122	62
	2020/11/02	1曲線	3往復の同時測定			6	
B路線	2020/12/11	全線	2往復			93	46
C路線	2020/10/20	全線	2往復			117	57

( $R=200\text{m}$ 未満)が多く敷設されていることが見て取れる。本研究では、トンネル区間が長いこと、測定時に乗務員室から通過を視認できる曲線数が多いこと、路線の違いによる特徴を明らかにすることを条件に3路線を選定し測定対象としている。なお、データ提供元の意向により、対象とする3路線はA路線、B路線、C路線と示す。

### (3) 測定内容

表-1に、測定箇所を示す。列車内の騒音測定は、乗務員室に騒音計を三脚で固定し曲線通過時の時分秒から通過した対象曲線を同定し記録する。なお、解析対象となる曲線は、乗務員室から通過を視認できる曲線かつ曲線通過時に警笛音等の研究対象外となる音を観測していない曲線とする。騒音計の測定に加え、測定時に感じるきしり音および波状摩耗に起因する転動音は、その不快さを定性的に評価したものを記録する。また、列車風やトンネル反響に伴う騒音は本研究の測定対象外とするため、その影響を低減させるために列車内測定は全て窓を閉じた状態という条件で実施する。

地上部の騒音測定は、急曲線内にある換気口付近に騒音計を三脚で固定し、列車内測定の対象列車の通過に伴う騒音を記録する。さらに、列車内と地上部の測点に加え、地下鉄トンネル内でも同時測定することにより、車

輪とレールの接触で生じる騒音が各測点に伝わるまでの程度変化するかを観測する。

## 5. カルテの作成および考察

列車内の乗務員室で測定したトンネル内曲線通過時の音データを用いて、各路線のカルテを作成することにより、取得した音データと既存情報の関係性について評価を行う。カルテは、各路線の片道測定1回で1つ作成することができる。なお、本稿では往路1回のデータから一部区間を抜粋したものを示す。図-2に、カルテの各項目における凡例を、図-3～図-5に、各路線のカルテをそれぞれ示す。カルテは、1) 駅分布、曲線半径、勾配、列車速度等の線形情報、2) 周波数別の騒音情報、3) 人の感覚、4) レール摩耗量の既存検査から構成される。3) 人の感覚は、測定時に著者が感じた不快な騒音、および過去に騒音・振動の項目で「東京地下鉄へのご意見」実績がある区間について表した定性評価の項目である。

図-3にて、A路線では曲線半径の小さな曲線が連続する区間において65dB以上の大きな騒音レベルを示している。それぞれ同一曲線において、人の感覚として記載した測定時不快音を確認できることから、各曲線通過時

に感じた不快音のピークとなる周波数を明らかにすることができた。また、すべての周波数において騒音レベルが65dB以下にも関わらず、測定時に不快音を感じている曲線も観測した。これは、前後の曲線通過時の騒音レベルが小さいため、相対的に不快音を大きく感じたと考えられる。同様に大きな音が連続する区間では、人の感覚が慣れることにより相対的に不快音を認識しにくいことが推察できる。

図-4に示すB路線において、A路線と比較すると全体的に列車速度が低く、すべての周波数帯で騒音測定結果が65dB以下と低い値となった。一方で、騒音と人の感覚を比べるとA路線と同様に測定時に不快音を感じている。B路線での騒音レベルが全体的にA路線よりも小さいことにより、僅かな騒音であっても不快に感じたと考察する。図-5に示すC路線のカルテにおいても相対的に

静かな曲線通過時に65dB以下の騒音レベルにて測定時の不快音を感じている。これらのことから列車利用時の騒音レベルを評価するには、発生した不快音の絶対的な大きさだけでなく、その連続性や暗騒音等を考慮した相対的評価も重要であると考えられる。

線形情報	曲線半径 (m)	■ -200 ■ 200-300 ■ 300-400 ■ 400-500 ■ 500-700 ■ 700-900 ■ 900-
	勾配 (%)	■ -30 ■ -30,-20 ■ -20,-10 ■ -10,0 ■ 0,10 ■ 10,20 ■ 20,30 ■ 30-
	列車速度 (km/h)	■ -35 ■ 35-45 ■ 45-55 ■ 55-65 ■ 65-
騒音測定	各周波数 (dB)	A特性 ■ -45 ■ 45-55 ■ 55-65 ■ 65-75 ■ 75-
	人の感覚	測定時 過去実績 ■ 小 ■ 中 ■ 大

図-2 カルテ凡例

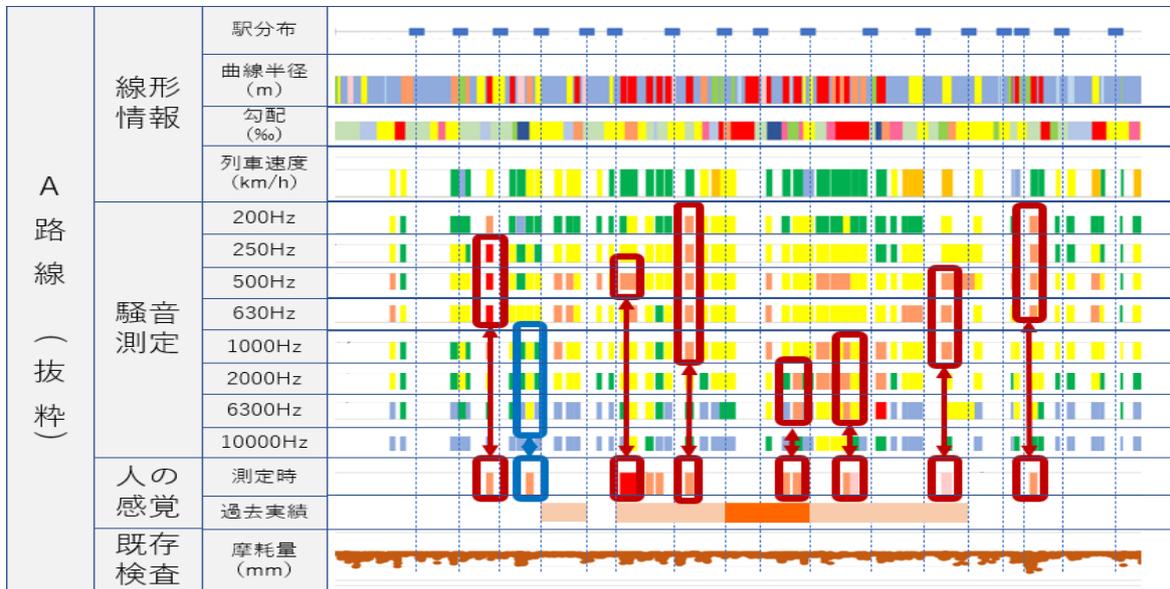


図-3 A路線カルテ (抜粋)

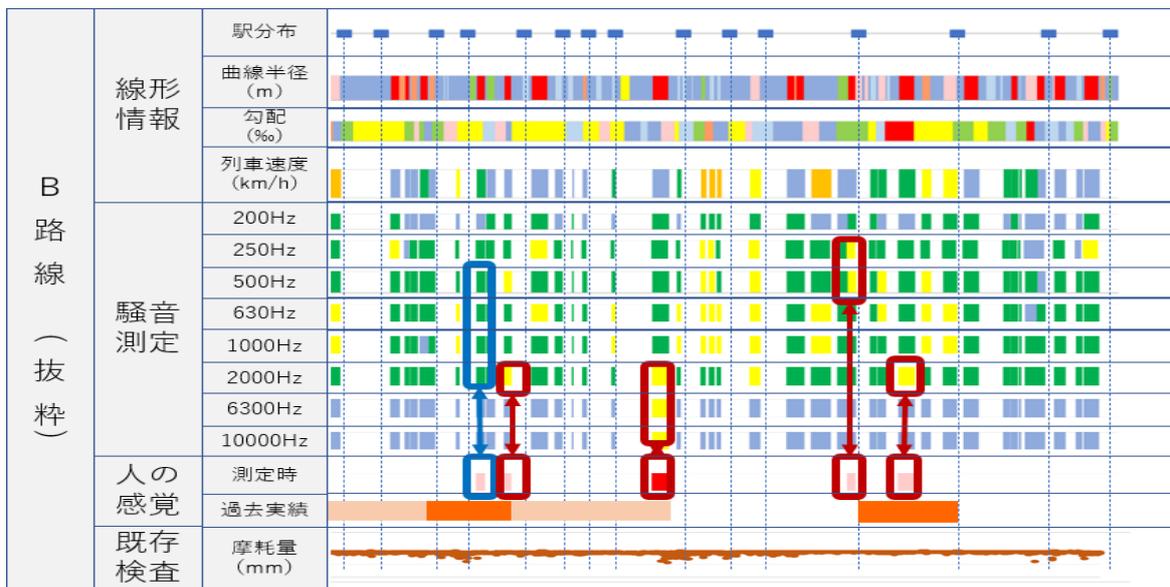


図-4 B路線カルテ (抜粋)

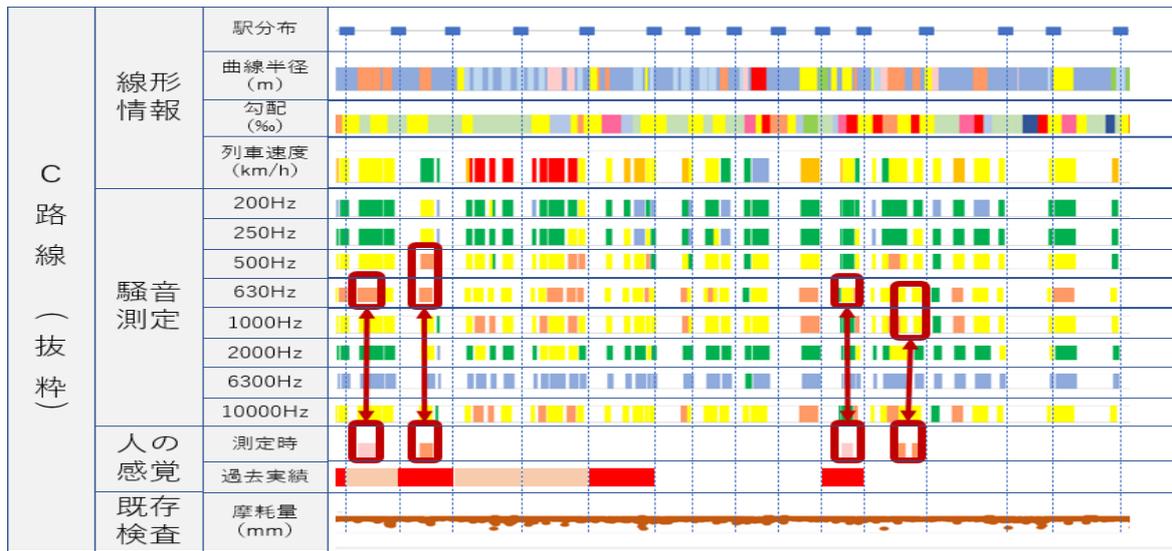


図-5 C路線カルテ (抜粋)

表-2 3路線の相関行列

3路線 集計	曲率	曲線 半径	列車 速度	勾配 (代表値)	勾配 (曲げ)	200 Hz	250 Hz	500 Hz	630 Hz	1000 Hz	2500 Hz	6300 Hz	8000 Hz	10000 Hz
曲率	1.00													
曲線半径	-0.67	1.00												
列車速度	-0.62	0.38	1.00											
勾配(代表値)	0.06	-0.03	-0.13	1.00										
勾配(曲げ)	0.01	-0.10	-0.05	0.48	1.00									
200Hz	0.16	-0.14	0.21	-0.10	0.04	1.00								
250Hz	0.28	-0.19	0.08	-0.12	-0.02	0.87	1.00							
500Hz	0.03	-0.10	0.35	-0.13	-0.05	0.75	0.74	1.00						
630Hz	-0.24	0.11	0.58	-0.15	-0.08	0.64	0.55	0.81	1.00					
1000Hz	-0.29	0.19	0.59	-0.14	-0.06	0.53	0.43	0.74	0.86	1.00				
2500Hz	0.24	-0.20	0.19	-0.15	0.05	0.59	0.59	0.65	0.56	0.60	1.00			
6300Hz	0.37	-0.26	0.00	-0.17	0.05	0.51	0.54	0.47	0.33	0.39	0.82	1.00		
8000Hz	0.41	-0.29	-0.07	-0.13	0.05	0.51	0.56	0.43	0.26	0.30	0.77	0.96	1.00	
10000Hz	0.40	-0.29	-0.05	-0.09	0.06	0.50	0.54	0.42	0.26	0.30	0.75	0.92	0.97	1.00

表-3 A路線の相関行列

A路線 集計	曲率	曲線 半径	列車 速度	勾配 (代表値)	勾配 (曲げ)	200 Hz	250 Hz	500 Hz	630 Hz	1000 Hz	2500 Hz	6300 Hz	8000 Hz	10000 Hz
曲率	1.00													
曲線半径	-0.80	1.00												
列車速度	-0.60	0.40	1.00											
勾配(代表値)	-0.16	0.16	0.02	1.00										
勾配(曲げ)	-0.04	0.04	0.00	0.62	1.00									
200Hz	0.38	-0.34	-0.04	-0.11	0.14	1.00								
250Hz	0.49	-0.39	-0.03	-0.20	0.02	0.85	1.00							
500Hz	0.31	-0.22	-0.03	-0.11	0.06	0.66	0.78	1.00						
630Hz	0.02	0.00	0.22	-0.13	0.01	0.56	0.64	0.78	1.00					
1000Hz	-0.08	0.26	0.23	-0.13	0.07	0.33	0.44	0.65	0.74	1.00				
2500Hz	0.41	-0.35	-0.03	-0.18	0.24	0.48	0.56	0.58	0.48	0.57	1.00			
6300Hz	0.60	-0.48	-0.21	-0.21	0.17	0.35	0.37	0.31	0.12	0.24	0.84	1.00		
8000Hz	0.59	-0.50	-0.15	-0.16	0.13	0.41	0.44	0.35	0.15	0.24	0.81	0.95	1.00	
10000Hz	0.57	-0.50	-0.14	-0.08	0.15	0.43	0.45	0.34	0.15	0.21	0.78	0.90	0.97	1.00

表-4 B路線の相関行列

B路線 集計	曲率	曲線 半径	列車 速度	勾配 (代表値)	勾配 (曲げ)	200 Hz	250 Hz	500 Hz	630 Hz	1000 Hz	2500 Hz	6300 Hz	8000 Hz	10000 Hz
曲率	1.00													
曲線半径	-0.63	1.00												
列車速度	-0.62	0.53	1.00											
勾配(代表値)	0.13	-0.07	-0.01	1.00										
勾配(曲げ)	0.01	-0.18	0.13	0.29	1.00									
200Hz	0.06	0.04	0.34	0.18	0.09	1.00								
250Hz	0.14	-0.02	0.32	0.14	0.01	0.78	1.00							
500Hz	-0.20	0.13	0.58	0.11	0.00	0.58	0.66	1.00						
630Hz	-0.42	0.45	0.79	0.04	-0.11	0.50	0.54	0.69	1.00					
1000Hz	-0.53	0.54	0.84	0.06	-0.15	0.39	0.37	0.62	0.90	1.00				
2500Hz	0.19	0.03	0.22	0.03	-0.08	0.15	0.18	0.34	0.34	0.31	1.00			
6300Hz	0.22	0.00	0.11	0.07	-0.05	0.14	0.15	0.11	0.24	0.22	0.71	1.00		
8000Hz	0.32	-0.10	-0.03	0.08	-0.01	0.10	0.13	0.05	0.08	0.07	0.65	0.96	1.00	
10000Hz	0.32	-0.11	-0.04	0.05	0.03	0.09	0.11	0.03	0.06	0.05	0.62	0.94	0.98	1.00

表-5 C路線の相関行列

C路線 集計	曲率	曲線 半径	列車 速度	勾配 (代表値)	勾配 (曲げ)	200 Hz	250 Hz	500 Hz	630 Hz	1000 Hz	2500 Hz	6300 Hz	8000 Hz	10000 Hz
曲率	1.00													
曲線半径	-0.74	1.00												
列車速度	-0.58	0.33	1.00											
勾配(代表値)	0.33	-0.23	-0.35	1.00										
勾配(曲げ)	0.07	-0.09	-0.30	0.55	1.00									
200Hz	0.04	-0.01	0.24	-0.01	-0.07	1.00								
250Hz	0.09	-0.02	0.26	0.03	-0.11	0.91	1.00							
500Hz	0.15	-0.13	0.22	-0.05	-0.23	0.60	0.71	1.00						
630Hz	-0.15	-0.04	0.44	-0.13	-0.15	0.60	0.61	0.69	1.00					
1000Hz	-0.10	-0.07	0.40	-0.10	-0.09	0.41	0.36	0.52	0.70	1.00				
2500Hz	0.15	-0.22	0.33	0.01	-0.08	0.53	0.53	0.60	0.56	0.66	1.00			
6300Hz	0.23	-0.26	0.05	0.02	-0.08	0.22	0.19	0.18	0.14	0.25	0.56	1.00		
8000Hz	0.19	-0.23	0.01	0.08	-0.02	0.25	0.21	0.17	0.17	0.26	0.47	0.93	1.00	
10000Hz	0.15	-0.20	0.01	0.06	0.00	0.24	0.22	0.20	0.21	0.30	0.48	0.90	0.91	1.00

## 6. 各項目の関係性および考察

### (1) 相関行列による評価

カルテ内の各項目の関係性について、相関行列を用いて各項目の定量的評価を行う。表-2 に3路線合計、表-3 にA路線、表-4 にB路線、表-5 にC路線の相関行列をそれぞれ示す。表-2 より、3路線の集計においては、曲率と、6300Hz から 10000Hz の高周波数帯の騒音レベルが、他の周波数と比べ相関が高いことが見て取れる。

次に、列車速度に着目すると曲率と関係性の高い高周波数帯の相関は著しく低い。一方で、列車速度と 500Hz から 1000Hz の周波数帯の相関が高く、周波数帯によって騒音レベルが大きくなりやすい項目が異なると推察できる。しかしながら、3路線の集計を各路線に分けて評価すると、表-3 に示すA路線では、曲率の相関が他の項目と比べ高い傾向にあり、表-4 に示すB路線および表-5 に示すC路線では列車速度の相関が高いことが明らかになった。

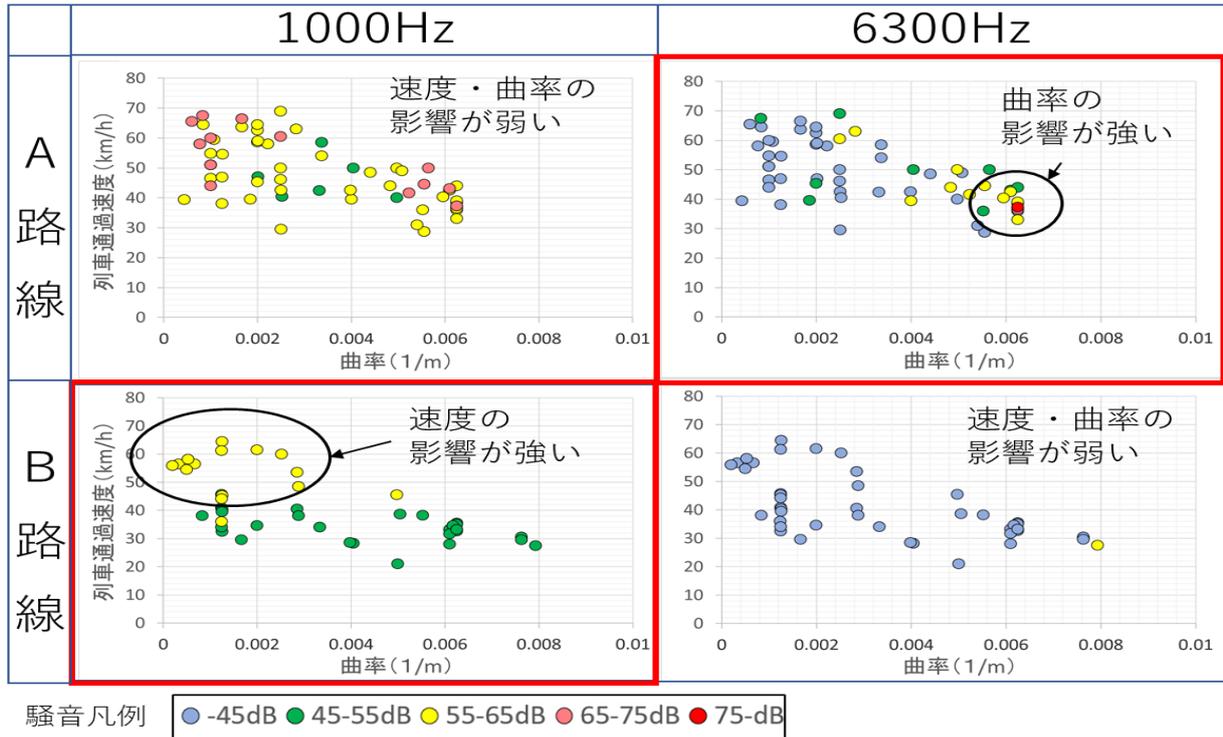


図-6 複数項目グラフ

(2) 複数項目による評価

ここで (1) において特徴が見られた相関のうち、列車速度と1000Hzの騒音レベル、曲率と6300HzについてA路線とB路線それぞれに着目した複数項目による評価を図-6に示す。各グラフの横軸は曲率の大きさを表し、急曲線であるほど右側に位置する。縦軸は列車速度を表し、列車速度が速いほど上側に位置する。前述の2項目に加え、各曲線を通過した際に生じた騒音レベルを色によって表す。なお、配色は図-2に示すカルテ凡例と同色とする。A路線における1000Hzでは、騒音レベルの分布に統一性が見られず、同路線の6300Hzでは、曲率が大きくなるにつれて騒音レベルが大きいことが見て取れる。一方で、B路線における1000Hzでは、列車速度が50km/h以上で騒音レベルが55dBから65dBとなる傾向がある。同路線の6300Hzでは、高速度・急曲線どちらも騒音レベルが低いことから、騒音レベルの分布に統一性は見られない。

このことから本研究の対象項目だけでは、騒音の実態が把握しきれないものの、各路線で列車速度や曲率等の影響を受けやすい周波数が異なり、発生する騒音のピーク周波数帯により、急曲線であっても騒音レベルが大きくなる曲線が存在することが明らかとなった。また、複数の曲線を比較することで、列車速度が重要な項目であるものの、列車の速度だけでなく加減速度等を組み合わせることで評価することが重要であると推察できた。

今後の課題として列車加速度や減速度、列車走行時における乗務員室の暗騒音、レールの塗油頻度と摩耗速度

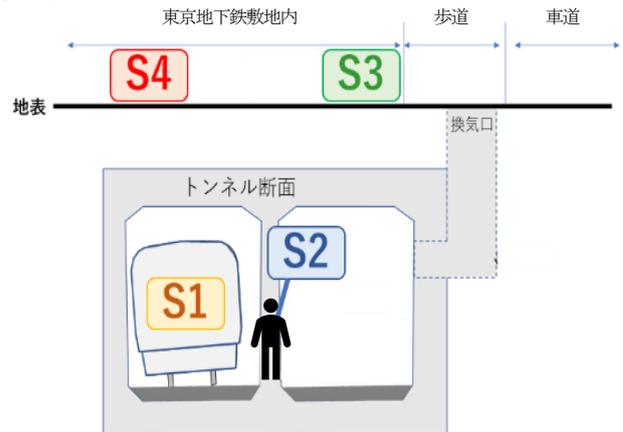


図-7 同時騒音測定時トンネル断面図

等の項目をカルテに追加する必要がある。上記のような既存情報を反映することにより、カルテや複数項目による評価が充実し、騒音の更なる実態把握が可能となる。

(3) 列車と地上部の同時測定

本測定は、図-7の断面図に示す列車内 (S1)、トンネル内 (S2)、地上部 (S3:換気口から1.2m地点)、地上部 (S4:換気口から12.5m地点) の4測点にて同時に行う。これにより、列車内から測定した曲線通過時の騒音レベルがトンネルから換気口を通じて地上部まで伝わることで、どのように変化するかを観測する。同時測定の結果を図-8に示す。騒音レベルのピークとなる周波数が4測点ともに200Hzから250Hzおよび500Hzにあり、グラフ波形が近くなっていることが見て取れる。各測点の騒音

レベルに着目するとトンネル内の測定値が一番大きく、測点が軌道から離れていくにつれて減衰していくことを実測した。この測定結果により、地下鉄トンネル内から換気口を通じて地上まで影響を及ぼす周波数帯の騒音は、列車内からの騒音測定で観測できることが明らかとなった。次に、騒音の特徴を確認するために当該箇所にてレール削正前後の比較を行う。図-9は、図-8で示すS1とS2の騒音レベルにレール削正前に測定したS1とS2の騒音レベルを破線で追加したものである。同箇所における2回の騒音同時測定結果を比較することにより、レール削正による騒音の低減効果を確認した。どちらの測点においてもレール削正により騒音レベルのピークが大幅に低減していることが見て取れる。これにより、当該箇所が発生していた騒音のピークとなる周波数帯を明らかにすることができた。

## 7. おわりに

### (1) 結論

本研究は、地下鉄を対象とし列車内から実測した音データをもとに各路線のカルテを作成したものであり、各周波数での騒音と既存情報および測定時に感じた定性的な不快感との関係性について分析したものである。分析結果より、騒音発生箇所の評価における相対評価の重要性を明らかにしている。また、定量的に相関行列および複数項目グラフを用いることで、1) 発生する騒音が周波数帯によって必ずしも急曲線や列車速度に強く影響して発生していないこと、2) 各路線でも騒音の特徴に違いがあることを実測値から示し、騒音の実態把握に向けた複数項目評価による重要性の一端を明らかにした。今後、新たな項目として1)列車加速度や減速度、2)列車走行時における乗務員室の暗騒音、3)レール塗油頻度とレール摩耗速度等を追加し、各項目の関係性を確認することにより騒音の更なる実態把握を行うことが重要である。上記の追加項目や騒音を業務経験で感覚的に認識している運転士や軌道保守作業員に対してアンケート調査を実施し、取得した音データと業務経験による感覚の関係性を整理していくことや、効率的な保守管理の実現に向けた音データの活用方法を検討していくことが今後の課題として挙げられる。

また、列車内と地上部の騒音同時測定により、地上に影響が大きいトンネル内における騒音の周波数を列車内から観測できることを示すことで、列車内騒音測定による地上部も考慮した騒音箇所の早期発見に関する有効性についても明らかにした。

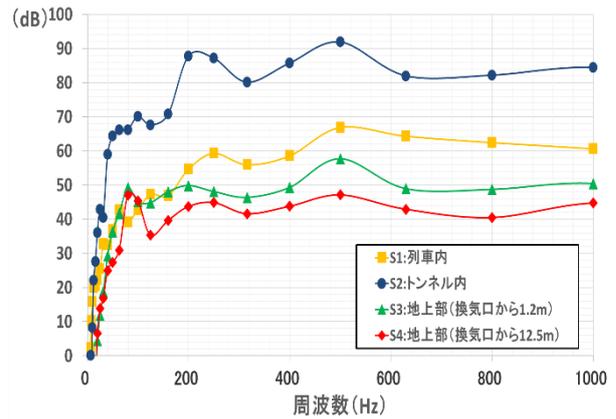


図-8 測点別の騒音比較

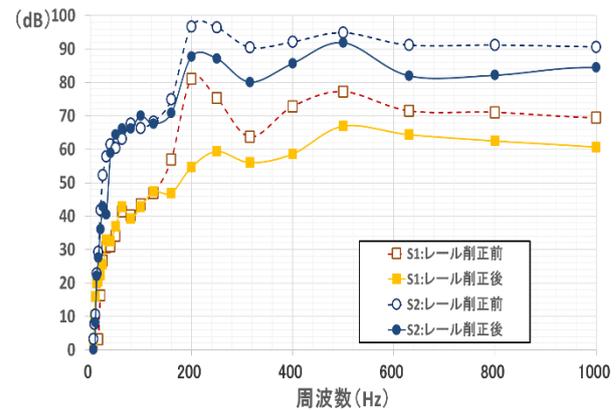


図-9 レール削正前後の騒音比較

### (2) 今後の展望

列車内からの音データ取得を続け、蓄積し更なる騒音の実態把握を進めることにより、発生する騒音の悪化状態の確認、既存情報だけでは見つけられていない騒音発生箇所の早期発見が期待できる。これにより、騒音公害の発生を予測し、未然に防ぐための施策を打つことが可能となる。具体的には、1) 建設年度が古く換気口の設置間隔が狭く、現在の換気能力では必要性が低くなっている換気口を塞ぎ、地上部へ伝わる騒音を減らすこと、2) 騒音が発生している付近のトンネル内や換気口へ新幹線トンネルでも実績のある吸音パネルを設置することが考えられる。どちらも費用対効果や改良後の維持管理、技術的な実現性の比較等が不可欠となるものの、新たな騒音対策の充実において蓄積する音データは重要である。また、相対的な不快感も考慮することは、今後の騒音対策において新たな指標として重要になると考えている。

**謝辞:** 本論文の執筆にあたり、東京地下鉄から多くのデータを使用させていただいた。また、大学内のゼミ等において、森地茂客員教授、井上聰史客員教授、稲村肇客員教授、家田仁特別教授より有益なコメントをいただいた。ここに記して感謝の意を表す。

## 参考文献

- 1) 環境省, 新幹線鉄道騒音測定・評価マニュアル, 2015.
- 2) 環境省, 在来線鉄道騒音測定マニュアル, 2015.
- 3) 西村誠一: 鉄道車両の騒音とその低減, 騒音制御, Vol.11, No.5, pp.242-246, 1987.
- 4) 風巻友治: 地下鉄による振動・騒音の防止, 騒音制御, Vol.1, No.3, pp.24-31, 1977.
- 5) 市東邦生, 生方伸幸: 地下鉄における車内騒音, 騒音制御, Vol.22, No.4, pp.211-215, 1998.
- 6) 市東邦生: 地下鉄の振動防止対策, 基礎工, Vol.3, No.6, pp.51-58, 1975.
- 7) 津野究, 古田勝, 藤井光治郎, 長嶋文雄, 日下部治: 地下鉄シールドトンネルから伝播する広帯域振動の減衰特性, 土木学会論文集, Vol.792, III-71, pp.185-197, 2005.
- 8) 折原佳帆, 津野究, 赤木寛一, 古田勝: 地下鉄開削トンネルから発生する振動の伝播性状に関する解析的検討, 土木学会論文集, Vol.72, No.1, pp.27-38, 2016.
- 9) 鈴木浩明: 鉄道車両の乗り心地評価に関する応用心理学的検討, 心理学評論, Vol.140, No.4, pp.432-456, 1997.
- 10) 鈴木浩明: 鉄道車両の車内快適性の評価法, 日本機械学会誌, Vol.102, No.965, pp.45-46, 1999.
- 11) 岸川洋紀, 松井利仁, 内山巖雄, 大門信也: 新幹線騒音・振動による主観的健康の低下—騒音感受性を考慮した質問紙調査—, 騒音制御, Vol.31, No.2, pp.158-165, 2007.
- 12) 堀川重成, 藤井義博, 栗田健: 新幹線車両の車内騒音低減に向けた研究開発, *JR EAST Technical Review*-No.53, pp.19-22, 2015.
- 13) 堀内章司, 荻野啓, 吉村登志雄, 山極伊知朗, 鳥越祐一: 新幹線向けトンネル緩衝工用アルミ微細多孔吸音パネルの開発と実用化, 神戸製鋼技報, Vol.65, No.1, pp.68-73, 2015.
- 14) 小島崇, 綱島均, 松本陽, 水間毅: 車上測定データによる軌道の異常検出 (第2報, プローブシステムの開発と検証), 日本機械学会論文集, No.75, Vol.754, pp.264-271, 2009.
- 15) 東京地下鉄株式会社, 東京メトログループサステナビリティレポート 2020, 2020.

UNDERSTANDING CURRENT SUBWAY NOISE LEVELS BASED ON  
IN-TRAIN AND ABOVEGROUND MEASUREMENTS AND CONSIDERATIONS  
FOR UTILIZATION OF COLLECTED DATA

Soichi KUBOTA and Naohiko HIBINO

There are many sharp curves in subway tunnels, and noise is often generated when trains pass these curves. However, the effects of noise are less easily recognized in subways than on railways that run aboveground. On the other hand, various inspections are conducted to ensure train safety, but sound data is not collected by regular noise measurement. This study identifies the relationship of sound data measured from inside the train versus factors such as railway curve radius, train speed, noise sensed by passengers, and maintenance data. Using a correlation matrix of sound data and various factors, in addition to a management list reflecting the collected sound data, it was identified that noise generated is not limited to curves and train speed, but is a phenomenon caused by multiple factors. As a result, it is shown that by collecting and utilizing sound data, it is possible to improve the efficiency of future maintenance work and optimize improvement plans.