

## 2次元音圧レベル分布を用いた新幹線騒音推定手法

環境工学研究部 騒音解析研究室

主任研究員 山崎 展博

### 1. はじめに

新幹線の高速化が図られる中で、車両の各部位から発生する騒音の低減は重要な課題となっている。一般に新幹線騒音は近接軌道中心から25m側方における地上1.2m高さ(以下25m地点)で評価される。新幹線車両の各部位から発生する騒音が沿線騒音に与える影響を調べる上では、音源の強さのみならず高架橋の防音壁を考慮した伝播経路での減衰効果等を正確に把握することが必要である。本研究では、上下方向にも音源を分離することが可能な二次元マイクロホンアレイを活用することにより、車両の上部と下部における音圧レベルを直接的に測定した上で、防音壁の回折減衰等の効果を考慮した沿線騒音レベル予測手法を開発した。

### 2. 二次元音圧レベル分布図を用いた騒音レベル予測手法

本手法により25m地点での騒音レベルを予測するまでの手順を図1に示す。本推定手法では、まず図2(a)に示す通り防音壁の無い区間において車両周りの二次元音圧レベル分布を測定し、各領域の音源強さを算出する(Step 1, Step 2)。次に防音壁の無い区間および図2(b)に示す25m地点で二次元マイクロホンアレイでの測定を行い、防音壁による回折減衰等の影響を推定する(Step 3)。その結果をもとに、防音壁の設置されている高架橋区間(地上25m地点)における沿線騒音に対する各音源の寄与度を推定する(Step 4)。

車両まわりの音圧レベル分布の計算に際しては、図3に示す通り移動する車両上に設定した照準点における音圧レベルをビームフォーミング処理<sup>(1)</sup>により算出した。マイクロホンアレイにより得られた二次元音圧レベル分布図上の格子点を複数包含した領域として、図4に示す音源要素領域 $S_k$ を定義し、その音源要素領域からの寄与を表わす音圧レベル(以下音源要素音圧レベル)とする。音源要素音圧レベル $L_E$ を「 $k$ 番目の音源要素から放射される音波の1m離れた位置における音圧レベル」と定義すると、 $L_E$ および騒音評価点における推定音圧レベル $L(R, f, t)$ は式(1)で表わされる。

$$L(R, f, t) = 10 \log_{10} \left[ \sum_k 10^{\{L_E(k, f, \theta)/10\}} / \left\{ R^2 + (x_b^F)^2 \right\} \right] - \Delta L_d(f) - \Delta L_s(f) \quad (1)$$

ここで、 $R$ は音源から観測点までの距離、 $f$ は周波数、 $\theta$ は $x^F - y^F$ 平面内で、 $y^F$ 軸がマイクロホンアレイ中心と照準点座標 $x_s^M$ を結ぶ線との成す角である。また $\Delta L_d$ は防音壁による回折

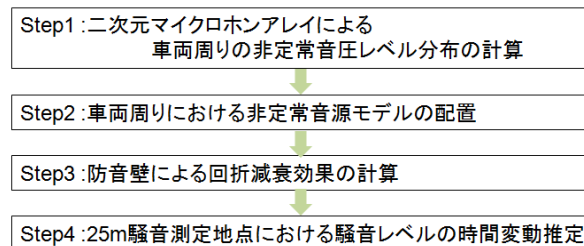


図1 騒音レベルの推定手順

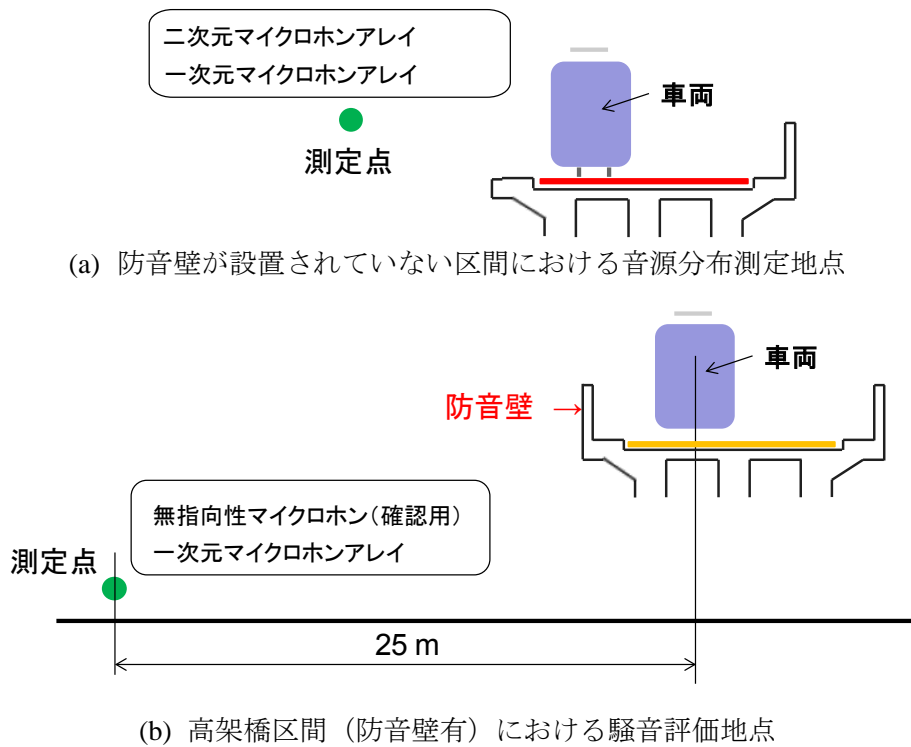


図2 車両まわりの音源分布測定地点ならびに地上25m地点における騒音評価地点

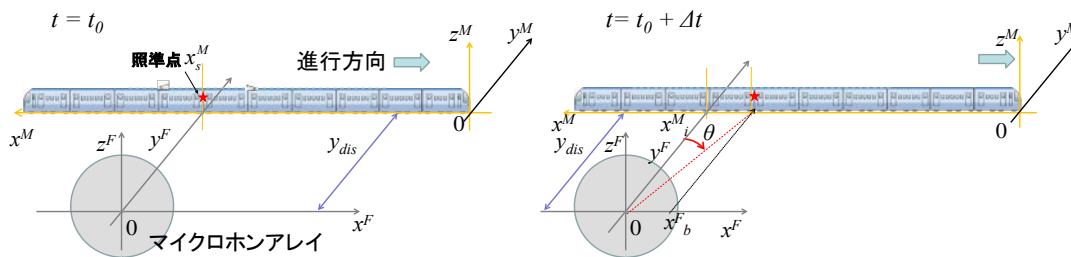


図3 マイクロホンアレイと車両との位置関係

減衰を考慮するための補正值（以下、回折減衰補正值）、 $\Delta L_s$ はマイクロホンアレイによる測定地点と騒音レベルを予測する区間で軌道条件、構造物条件や走行速度等が異なる場合に、音源自身のパワーが変化することによる補正值（以下音源パワー補正值）を表わす。本研究では二次元的な音圧レベル分布図を取り扱うため、各音源要素を1辺3.2mの正方形として、車両上部、集電部及び下部に配置した（図4）。なお防音壁が設置されていない区間で測定した二次元音圧レベル分布の測定結果においては上部領域音が車両下部音の影響を強く受けることを考慮し、アレイ装置の指向特性の広がりに基づく補正を行っている。

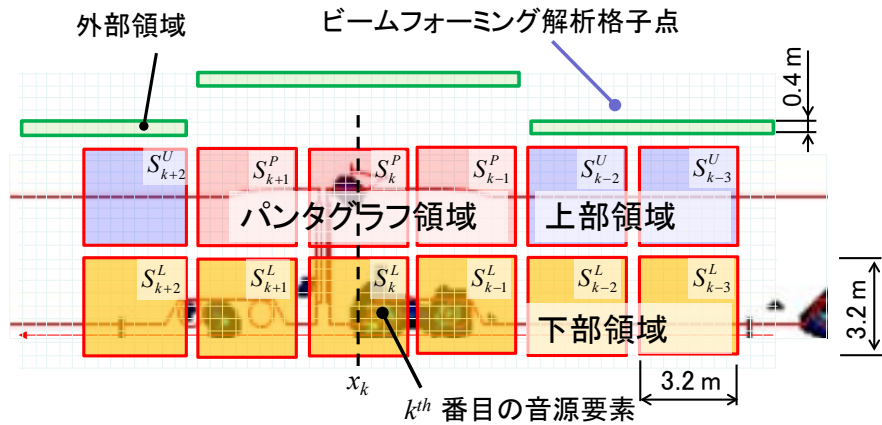


図4 車面上での音源要素の配列

### 3. 回折減衰補正值等の推定方法

本推定手法では式(1)に示す通り、伝播経路のモデル化にあたって距離減衰、回折減衰補正值及び音源パワー補正值を考慮する。このうち回折減衰補正值と音源パワー補正值については、観測点の軌道条件等によって大きく状況が異なることや音の多重反射が生じることなどから実態に即した補正值を適用することが望ましいと考えられる。ここでは、従来一般的に用いられている一次元マイクロホンアレイの測定結果を活用することで、これらの補正值を見積もることとする。

防音壁の無い区間（二次元マイクロホンアレイによる測定地点）と 25m 地点で同型の一次元アレイを用いて測定した音圧レベル分布の例を図5に示す。なおこの図中に示すそれぞれの波形レベルに対して観測点までの距離換算は施していない。車両先頭部付近の騒音がほぼ下部領域で発生していると仮定し、図中に示す通り防音壁の無い区間および 25m 地点で測定した当該箇所におけるピーク値の差  $\Delta L_c$  を各周波数帯で求める。この  $\Delta L_c$  には回折減衰補正值  $\Delta L_d$ 、音源パワー補正值  $\Delta L_s$  および距離減衰の影響が含まれている。そこで点音源を仮定した場合の距離減衰による影響を  $\Delta L_c$  から差し引いた結果を補正值  $-(\Delta L_d + \Delta L_s)$  として式(1)に適用する。

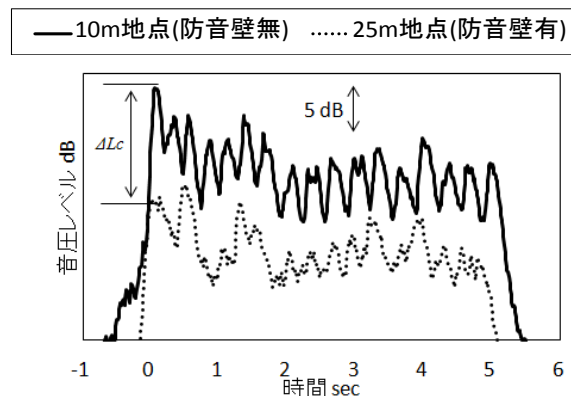


図5 一次元マイクロホンアレイ測定結果の測定地点による比較

#### 4. 音源モデル化手法の妥当性検証試験

本推定手法の妥当性を検証するため、現地試験での測定結果と比較、検証を行った<sup>(2)</sup>。二次元マイクロホンアレイによる測定は近接軌道中心から 11.5m 側方に離れた位置で行った。二次元マイクロホンアレイ中心高さは R.L.+2.5m である。直径 4m の円形領域内に 114 本のマイクロホンがらせん状に配列されている。また、3章で示した補正値の算出に用いるため、正面のみに鋭い指向性を有する一次元マイクロホンアレイを用いた測定を防音壁の無い区間および 25m 地点で行った。測定対象とした列車は6両編成および10両編成の併結車両であり、列車速度は約 270 km/h である。

回折減衰補正値  $\Delta L_d$  と音源パワー補正値  $\Delta L_s$  の和の算出例を表 1 に示す。この補正値を下部領域の音源要素音圧レベルに適用し、25m 地点における騒音レベルを推定した結果を図 6 に示す。推定値は概ね  $\pm 2\text{dB}$  の精度で実測値と一致しているといえる。また、推定値(総合音)の内訳から、防音壁が設置されている区間においても車両下部音が支配的であることが示されている。

#### 5. まとめと今後の課題

本研究では、二次元車両音源分布データを用いた 25m 騒音レベルの計算方法および音源分離手法について検討を行った。実測値との比較を行ったところ、概ね 2dB 程度の誤差範囲で一致することを確認した。さらに上下方向を含めた車両の音源分離ならびにそれぞれの寄与度を推定した。今後は、二次元音圧レベル分布の推定精度の向上や回折減衰補正値等の推定手法の改良を行う予定である。

#### 参考文献

- (1) 高野 靖:2次元マイクロホンアレイによる高速車両の音源位置識別,騒音制御, Vol. 22, No.1, p.14, 1998
- (2) Yamazaki, N., Nagakura, K. and Kitagawa, T., Noise level estimation of a high- speed train using two-dimensional sound pressure level distribution, Proceedings of the International Workshop on Environment & Engineering (2014), Paper No. 101.

表 1 回折減衰補正値と音源パワー補正値の和 ( $-(\Delta L_d + \Delta L_s)$ ) の算出例 [dB]

250 Hz 帯	500 Hz 帯	1000 Hz 帯	2000 Hz 帯
-5.4	-9.1	-7.8	-13.2

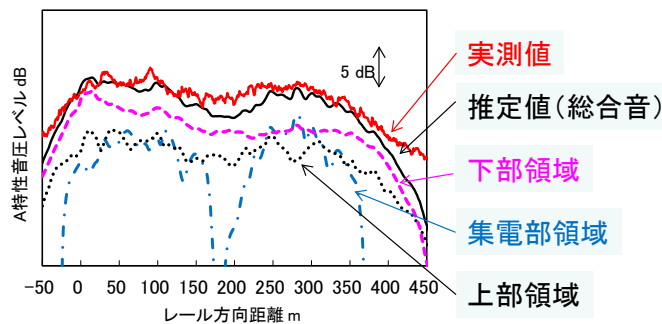


図 6 25m 地点での騒音レベルに対する音源寄与度 (1kHz 帯)