

⑥ 道路交通騒音の基準超過要因把握のための 新たな騒音源可視化装置の開発

—プロトタイプシステムの製作—

環境研究領域 ※宝渦 寛之 坂本 一朗 西 孝弘
神奈川工科大学 石濱 正男
株式会社小野測器 猿渡 克己

1. はじめに

騒音に係る環境基準の達成率は、全体として緩やかな改善傾向にあるものの、幹線道路の近接空間等では引き続き厳しい状況にある。現状の環境騒音は、図1に示す通り、マイクロホン1本で測定されているため、道路全体の騒音レベルはわかっても、個々の車両が発する騒音レベルを測定することはできない。そのため、基準超過となる要因までは把握することはできない。そこで本研究では、個々の騒音源を分離して計測し音源別に系統立てて評価を行うことが可能なシステムの構築を行うことを目的とする。このように音源別に寄与率の評価を行うことにより、対策すべき優先順位をつけることが可能となる。

図2に、製作するシステムの概要を示す。システムは、マイクロホンアレイとカメラを用いて、自動車の騒音発生部位別に騒音を評価可能とする。これまでに筆者らが開発を行った道路交通騒音の可視化装置¹⁾は、道路の片側に設置するのみであったため、複数車線を対象とした測定を行うことは不得手であった。し

かしここでは、はじめから複数車線での測定を想定しシステム構成を考案した。音源探査は、マイクロホンアレイにて挟まれる垂直断面内についてのみ実施し、その評価を行う。得られた音源情報は、別途、カメラにて撮影された画像より、画像処理を行い、音源発生部位と組み合わせてデータを扱う予定である。

本稿では、まずは、従来よりも高い精度が求められる音源探査法について検討を行ったので、その結果について述べる。また、開発の第一段階としてプロトタイプシステムを構築し、低速走行を行う車両を対象とした検証試験を行ったので、その結果を紹介する。

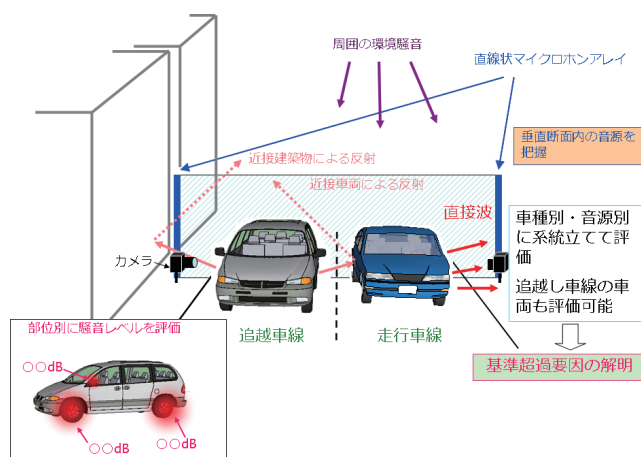


図2 システム概念図

2. 反射波を考慮した音源探査法

本研究では、音源位置特定精度を向上すべく、従来は音源からの直接波のみ考慮されていた手法を拡張し、地面や車などの障害物による反射を考慮したビームフォーミング法を採用した。

従来のビームフォーミング法は、扱う信号をすべて直接波と仮定して計算を行うが、本研究では、二回反



図1 道路交通騒音の測定の様子

射による伝播まで考慮して計算を行うことに特徴がある。図3に、位置Sにある音源から観測点Mまでの直接波と地面による反射波の伝播の様子を模式的に示す。このとき、音源からパルス波が発生したと仮定すると、各マイクロホン（図3のM1～4）における観測信号は、図4のようになる。各マイクロホンにおいて、音源から直接到達するパルス波と地面によって反射して到達するパルス波が到達経路長の差に応じて、それぞれ時差をもって観測される。この場合、直接波のみを考慮する従来のビームフォーミング法による信号処理を模式的に示したのが、図5の上の図である。音源位置から各マイクロホンまでの距離に基づき信号処理を行うと、目的の信号を元の信号の4倍の大きさにて信号を観測することができる。一方、図のように反射波まで考慮して信号処理を行うと、目的の信号を、元の信号の8倍の大きさにて信号を観測することができる。なお、Sの位置に音源が存在しない場合、図5の下の方の図のように信号が重なり合わず強調された信号として観測することができない。このように、加味する伝達経路の数が増えると、よりS/Nの高い計測を行うことができる。なお、ここでは説明のために一回の反射までの扱いとしたが、多数回の反射であっても、計算は複雑にはなるものの、同じ原理が成り立つ。

本研究では、二回の反射までを考慮したビームフォーミング法を用い、伝達経路は虚像法によって求めた。このような反射を考慮したビームフォーミング法を実行するにあたっては、反射物の位置と断面形状は既知であることを前提とする。また本研究では、音の反射は完全反射と仮定しており、回折や距離減衰は考慮していない。

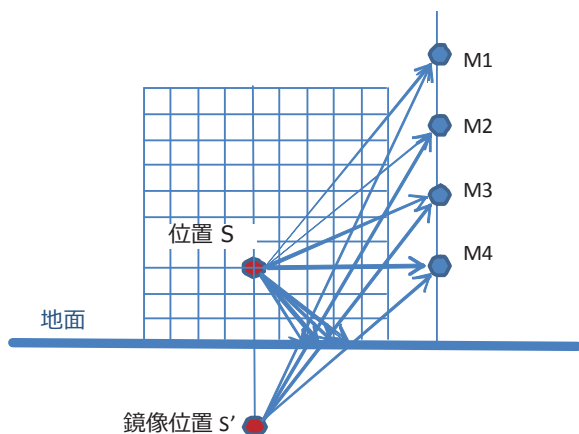


図3 位置Sからの音の伝播模式図

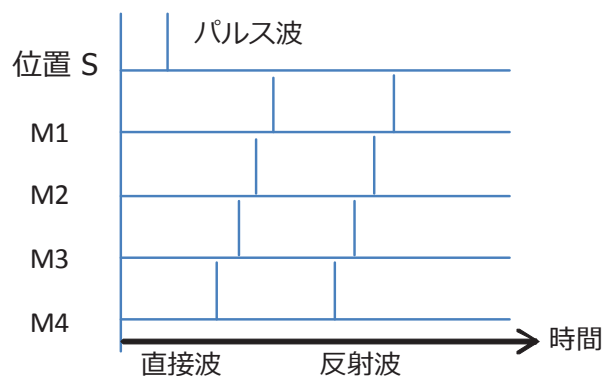


図4 発生パルス波と各点における観測信号

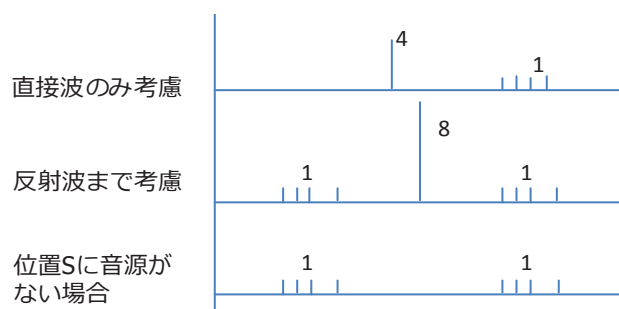


図5 各条件における信号処理結果の模式図
(図中の数字は、信号の相対的な大きさを示す)

3. スピーカー試験

実際の環境下において、反射波まで考慮したビームフォーミング法の有効性を検証すべく、スピーカーを用いた基礎試験を実施した。図6にスピーカー試験の様子を示す。実験では、0.12m 間隔にマイクロホンを直線状に16本配置したマイクロホンアレイを2つ用意し、 $x=0.0\text{m}$ の地点と $x=2.5\text{m}$ の位置にそれぞれ設置した。2つのマイクロホンアレイの間に、反射物（幅0.9m×高さ0.3m）と音源となる小型スピーカーを設置し、スピーカーからはトーンバースト音を発生させた。音源探索は、マイクロホンアレイにて囲まれる垂直断面内について実施した。

本試験は、スピーカー位置を変えて複数の条件について実施したが、ここでは紙面の都合上、スピーカーを反射物に接するように設置した場合のみについて、結果を示す。図7は直接波のみを考慮した場合の結果であり、図8は反射波まで考慮した場合の結果である。いずれの結果も、同一の測定データからそれぞれ解析を行っており、得られた騒音レベルの分布をコンターマップ（赤色が最も高い値）として示している。直接波のみ考慮した場合は、障害物の壁面や地面によ

る反射の影響で、実際の音源とは異なる位置が騒音の大きな位置として現れている。一方、反射を考慮した場合の解析結果においては、スピーカー設置位置を正確に音源として捉えており、音源の存在しない領域ではより騒音レベルが小さい値として示されている。従って、反射波まで考慮したビームフォーミング法は、従来手法よりも音源探査の空間分解能が高いことが判明した。

マイクロホンアレイ (x=0)

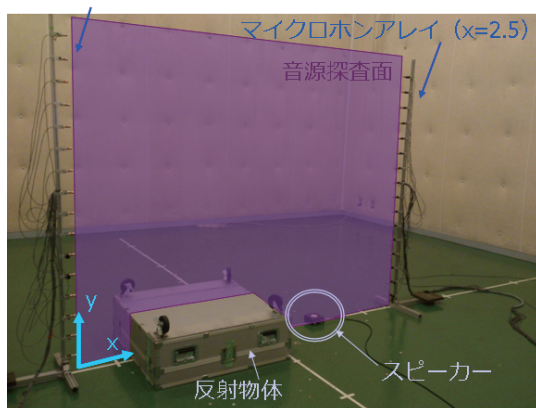


図 6 スピーカー試験の様子

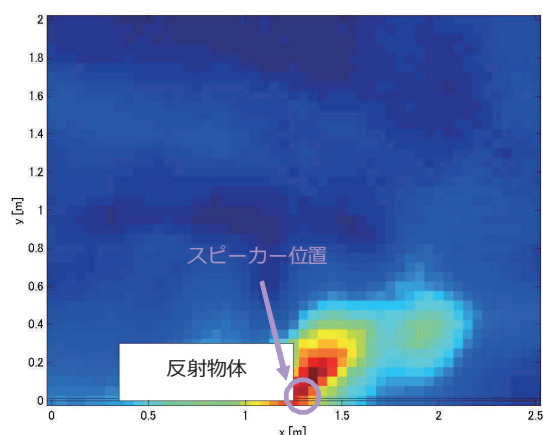


図 7 音源探査結果（直接波のみ考慮）

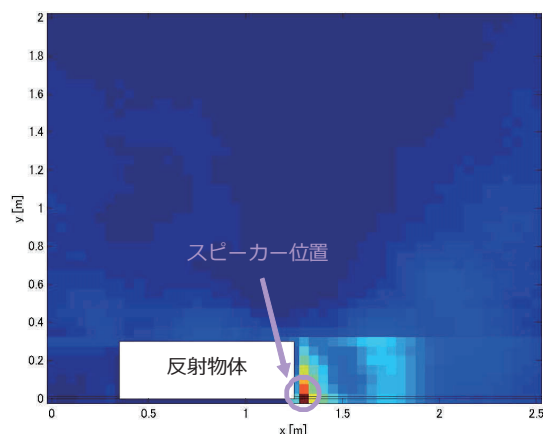


図 8 音源探査結果（二回反射まで考慮）

4. システム構成

図 9 に製作したプロトタイプシステムの構成図を示し、表 1 に使用した機器の一覧を示す。システムは、マイクロホンアレイ、ラインスキャンカメラ、データ収録装置、計測用パソコンから構成され、それぞれ一式ずつ道路の両端に設置を行う。本システムでは、離れた地点に設置されたマイクロホンアレイにて得られたデータについて信号処理を行うことから、高精度に同期して計測を行うため、GPS モジュールから GPS 信号を取得して用いた。結果の解析は測定終了後に実施することができ、反射波まで考慮したビームフォーミング法のみ実装した。

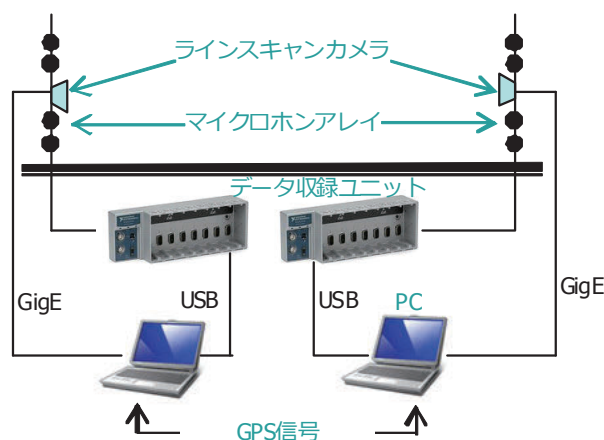


図 9 システム構成図

表 1 構成機器一覧

品名	メーカー	型番
マイクロホン	小野測器	MI-1433
プリアンプ	小野測器	MI-3111
データ計測ユニット	ナショナルインスツルメンツ	NI cDAQ-9178 NI 9234
カメラ(ラインスキャンカメラ)	e2v	AViVA EM1
GPSモジュール	古野電気	高性能GPSモジュール

5. 走行試験

5. 1 実験概要

製作したプロトタイプシステムの検証を行うべく、低速走行時の車両を対象に、試験を実施した。図 10 に走行試験の様子を示す。マイクロホンアレイは、片側 12 本のマイクロホンを 0.15m 間隔にて配置したものを、道路の両側に 1 本ずつ設置した。音源探査は、車両中心線から 1m の位置に設定した解析対象ライン上について、40msec ごとに行った。試験は、改造のない標準的な乗用車 1 台が、10km/h にて走行する場合について実施した。実験は、独立行政法人交通安全環境研究所の敷地内にて行い、暗騒音は 48dB 程度であった。

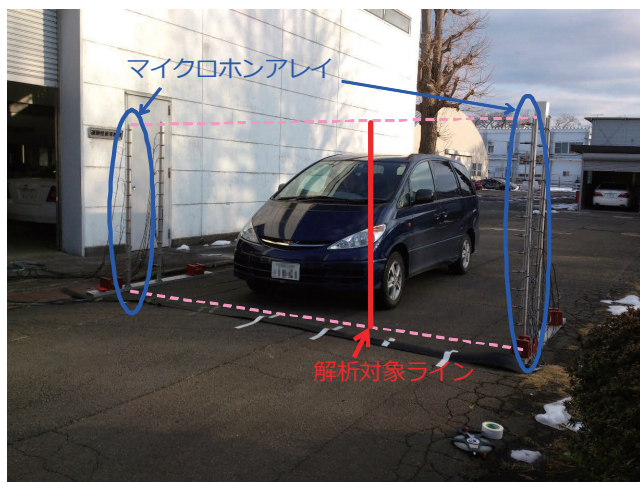


図 10 走行試験の様子

5. 2 実験結果

反射波まで考慮したビームフォーミング法を実施するためには、反射物の位置と断面寸法が既知である必要がある。しかし、これらは今後のシステム改良において取り組む予定であるため、本稿では、車両諸元に記載の寸法を用いて解析を行った。結果を図 11 に示す。この結果は、図 10 の解析対象ライン上における音源分布の時間履歴とラインスキャンカメラでの撮影画像を時系列に並べた画像を重ね合わせた図である。音源分布は、騒音レベルのコンターマップで示した。図中の横軸は時間、縦軸は高さを表す。図より、高い騒音レベルとなっているのは、車両前後の地面周辺であることがわかる。これは、タイヤ騒音によるものであり、タイヤ騒音がタイヤ前後に放出されるため、車両通過前後にも音源として現れていると考えられる。本研究では、無指向性のマイクロホンを直線状のマイクロホンアレイとして用いているため、2つの

マイクロホンアレイで挟む断面の外からの音も混入し、S/N が低下したと考えられる。本研究では、音源別に騒音を捉えて評価することを目的としているため、今後、時間分解能（図 11 の横軸方向の分解能）を向上させる必要がある。

6. おわりに

音源の位置特定精度を向上すべく、二回反射まで考慮したビームフォーミング法を採用し、地面や車などによる反射を考慮した、道路交通騒音を対象とした騒音源の可視化装置のプロトタイプを製作し検証を行った。反射まで考慮したビームフォーミング法については、スピーカー試験により従来手法との比較を行い、空間分解能が向上することを示した。また、プロトタイプシステムについて検証試験を行った結果、時間分解能について、さらなる改善が必要であることがわかった。

今後は、まずは、二回反射まで考慮したビームフォーミング法的前提となる反射物の寸法や位置について、画像処理により情報を取得できるよう、システム改造を行う予定である。

参考文献

- 1) Hiroyuki, Houzu, et al., "Development of sound source localization system to detect noisy vehicles from traffic flow", Proceeding of inter-noise 2011, CD-ROM (2011)

謝辞

本研究は、国土交通省の交通運輸分野技術開発推進制度にて実施しました。謹んでお礼申し上げます。

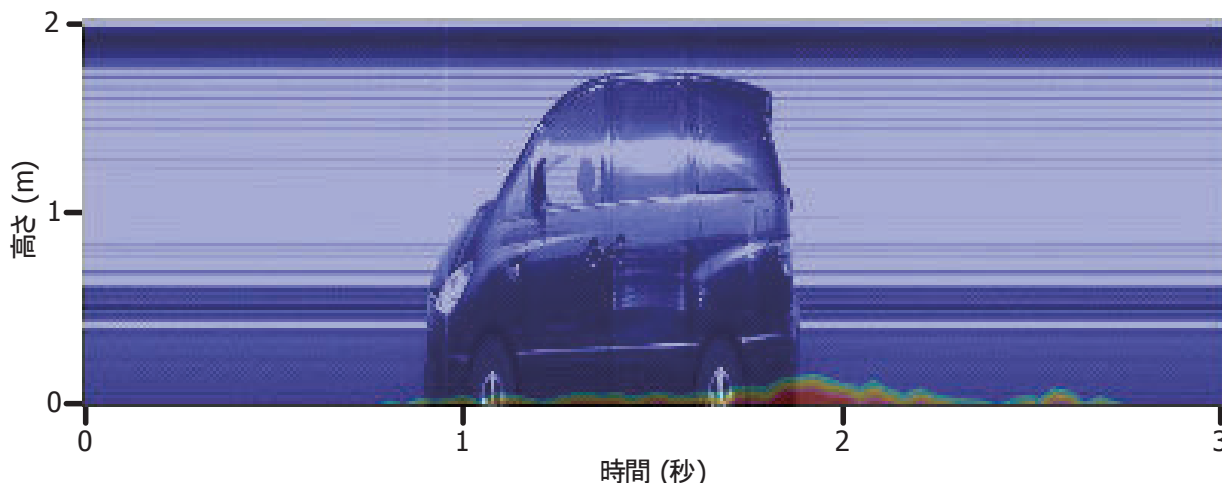


図 11 走行試験結果（二回反射まで考慮したビームフォーミング法）