

## 音響信号機音の定位性向上を目的とした オクターブ音付加による帯域幅拡大の試み

藤井厚紀 田内雅規 平田仁

**要旨** 本研究では、音響信号機 (Audible Traffic Signals; ATS) の音源定位性の向上を図るために、現行の音響信号機音 (原音: 2種類の擬音) のオクターブ音を付加して周波数帯域を拡大した新音を制作することを試みた。新音の制作はPCソフトウェアにより行い、拡大した帯域幅は時間周波数解析による確認を行った。各音種の新音の音源定位性を評価するため、原音と新音について2音源弁別法による比較実験を行った結果、新音の一種について音源定位性が顕著に優れていることが認められた。この結果から、信号音の周波数拡大の効果は原音の特性と関連性のあることが示唆された。

**キーワード**: 音響信号機、音源定位、視覚障害者、周波数、横断歩道

### 1. はじめに

音響信号機 (Audible Traffic Signals; ATS) は擬音 (鳥の鳴き声) やメロディーなどの信号音を吹鳴させ、青の信号相を知らせることで、視覚障害歩行者の道路横断を支援する設備である。現在普及しているATSの多くは、横断歩道の両端に設置されたスピーカから同じタイミングで「カッコー」や「ピヨ」といった信号音を吹鳴させる「同種音同時吹鳴方式」であるが、このようなATSでは、横断のタイミングの把握はできるが、視覚障害者が道路横断する際の必要不可欠な作業である、(1) 正確な横断方向の決定と、(2) 横断中の方向維持については、ほとんど手がかりにならない。横断方向の手がかりが乏しいと、それは心理的ストレスの増大のみならず、横断歩道からの逸脱といった大変危険な状況を引き起こすことになる。

このような問題を解決するために、最近新しいATS (「鳴き交わし方式」) が開発された<sup>1)</sup>。このATSは、横断歩道の両端に設置されたスピーカから信号音を交互に吹鳴させることによって、利用者が横断歩道を渡る前や横断途中においても、進行方向前方のスピーカから吹鳴される信号音で音源定位することが可能であり、利用者はそれを進むべき方向の手がかりとすることができる。この方式を用いることによって道路横断達成率の大

幅な改善が見られたが、それでもなお完全に確実な方式とは言えず、さらなる改良の必要性があると考えられる。

この問題を解決する方法の一つに、信号音の物理的特性を変化させて音源定位性の向上を図ることが考えられる。人間の音源定位性は、音の物理パラメータのうち、周波数にも依存することが報告されており<sup>2)</sup>、さらに広帯域音 (ノイズ) は単一周波数音 (純音) に比べ、音源定位により有効であることが報告されている<sup>3)</sup>。現在の音響信号機音の周波数帯域は比較的狭いため、その拡大は効果を発揮する可能性が考えられる。しかし、利用者の適応を考慮すれば、帯域幅の拡大は現在使われている信号機音の聞こえの印象 (音色) を大きく損ねることがないように、それを実現することが望ましいと考えられる。

本研究では、より音源定位性に優れた信号音を開発するため、周波数帯域の拡大を、現行の信号音 (原音) に対して原音の周波数成分を1/2~2オクターブ変化させたものを付加することによって行った。時間周波数解析によって確認した新音は、音源定位性を評価するため、原音と新音について2音源弁別法による比較実験を行った。その結果、周波数帯域の拡大による音源定位性向上の効果が認められたので報告する。



## 2. 方法

### 2. 1 被験者

被験者は、晴眼者20名（男性11名、女性9名）で、平均24.4歳であった。聴覚には異常がないことを申請により確認した。

### 2. 2 試験音の制作

試験音の制作にはMetricHalo社のSpectraFoo Signal Generator（以下：Signal Generator）を用いた<sup>4)</sup>。音響解析にはExcula社製のDIGITAL Mephistoを用いた。また、試験音の再生にはパワーアンプ（YAMAHA、型名：P2080）を介して、スピーカの音量は57dBとなるように調節し、再生の制御にはMotu社製のDigital Performer 2.7を用いた。

### 2. 3 実験のセットアップ

実験は、半無響特性の防音暗室（幅6.5m×高さ3.0m×奥行き8.3m）で行った。被験者の着座位置（固定椅子）の前方6mに2個のスピーカ（BOSE、型名：101MM、再生周波数特性：70Hz-17KHz、サイズ：幅232mm×高さ154mm×奥行き152mm）を被験者と向き合うように設置した。スピーカは、直線レール上に設置し、被験者の正中線を中心に左右に60cm移動できるようにした。なお、それぞれのスピーカの中心は床から110cmの高さになるように設置した。

### 2. 4 実験手順について

実験を行う前に前室で実験の内容と手順を含めた教示を行い、その後アイマスクを着用して実験室に入り、椅子に着席してもらった。その際、被験者の外耳孔が設置されたスピーカの高さ（110cm）に一致するように椅子の高さを調節した。数回の練習試行を行い、要領を理解してもらった上で本実験を行った。

本実験では、2個のスピーカ間距離を60cm、80cm、100cm、120cmの4つに設定して行った。各位置において試験音を両スピーカから1,500msの時間差で一回ずつ吹鳴させた後、被験者に対して2音源弁別判定を行わせた。試験音に用いた音種は原音2種（カッコー音、ピヨ音）、新音2種（新

カッコー音、新ピヨ音）とした。試行回数は各人につき、各音種で1位置1回、計4試行とした。

### 2. 5 評価方法について

信号音の音源定位性の評価は、2音源弁別法に基づいて行った<sup>5)</sup>。スピーカを吹鳴させた後、被験者が独立の音源が2箇所と判断した場合を「正答」、1箇所と判断した場合を「誤答」とし、スピーカ間距離と正答数の関係を求めた。また、判断に対する確信度を4件法（1. 全く自信がない、2. あまり自信がない、3. まあまあ自信がある、4. 非常に自信がある）により評価した。

## 3. 結果と考察

### 3. 1 原音の制作

本研究ではまず、原音について以下に示す警察庁の仕様<sup>6,7)</sup>に基づき、方法の項で述べたSignal Generatorを用いて制作した。

原音のカッコー音の波形を図1に示す。図の横軸は時間[ms]、縦軸は音圧レベル[dB]を示す。また、図中のAからDの各ポイントにおける音の構成要素のパラメータを表1に示す。音を構成する要素のうち、周波数に着目すると、カッコー音は周波数が時間によらず一定な音（純音）の組み合わせにより表現されることが分かる。

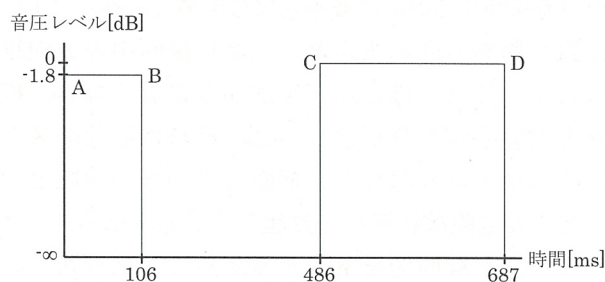


図1 音波形の概略図（カッコー音）

図中の横軸は時間[ms]、縦軸は音圧レベル[dB]を示している。

表1 図1の各点（A, B, C, D）における音の構成要素のパラメータ（カッコー音）

	Time [ms]	Level [dB]	Frequency [Hz]
A	0	-1.8	1109
B	106	-1.8	1109
C	486	0	889
D	687	0	889



原音のピヨ音の波形と音の構成要素のパラメータをそれぞれ図2と表2に示す。これらからピヨ音は時間経過に伴い周波数が連続的に変化する音（スweep音）であることが分かる。以上のことから、カッコー音とピヨ音は、時間軸に対する周波数成分変化の有無の点から、互いに音の物理的性質が異なる信号音であることが分かる。

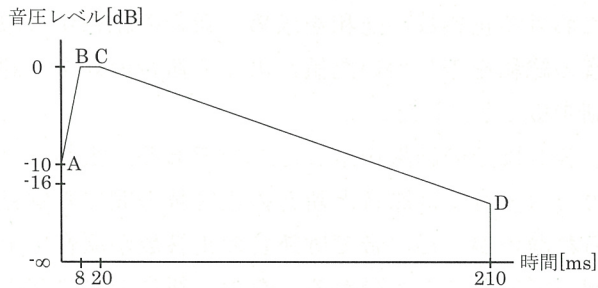


図2 音波形の概略図（ピヨ音）

図中の横軸は時間[ms]、縦軸は音圧レベル[dB]を示している。

表2 図2の各点（A, B, C, D）における音の構成要素のパラメータ（ピヨ音）

	Time [ms]	Level [dB]	Frequency [Hz]
A	0	-10	2349
B	8	0	2349
C	20	0	2349
D	210	-16	1362

### 3. 2 新音の制作

新音は、原音が持つ周波数成分を基にして制作した。原音を基準にして、それを-1、-1/2、+1、+2オクターブ変化させた4つの周波数成分を作成し、原音と合成した。これは、原音の聞こえ（音色）の印象が大きく変化しないようにするための工夫である。合成時の音圧の比率は、原音の周波数成分を1とし、その他の成分は原音の1/3とした。また、カッコー音では、「コー」にあたる音のみを対象に成分付加を行い、ピヨ音では全体に付加した。

### 3. 3 原音と新音の時間周波数解析

制作した原音と新音について、制作意図が忠実に反映されているかどうかを確認するため、時間周波数解析を行った。カッコー音についての解析結果を図3に示す。図は時間、周波数および音圧レベルを立体表示により表したものである。横軸は

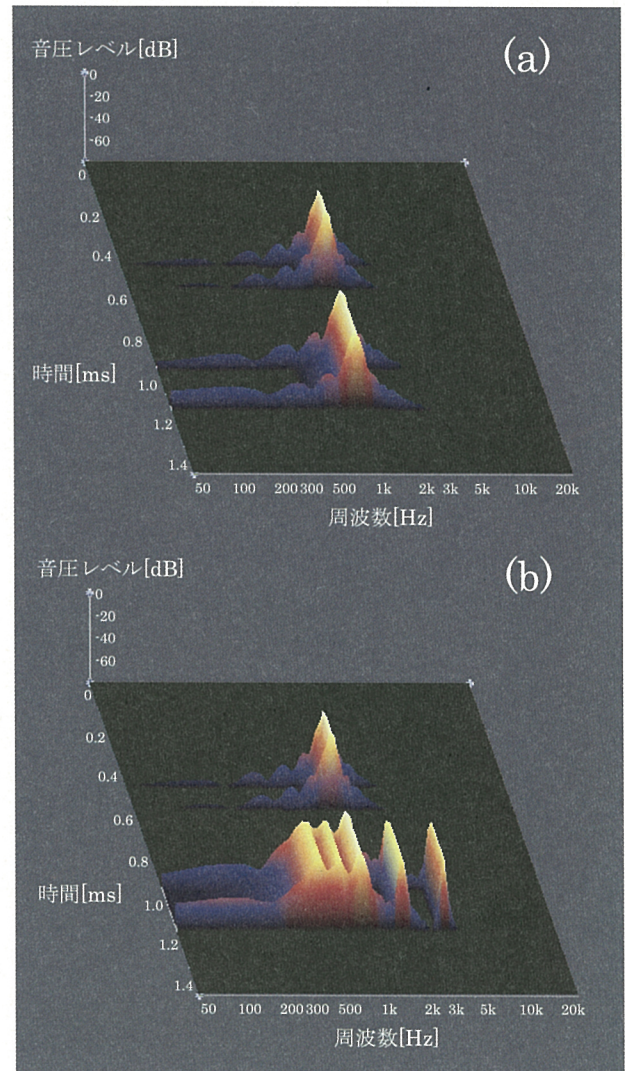


図3 原音と新音の時間周波数解析結果（カッコー音）

横軸は周波数[Hz]、縦軸は時間[ms]、Z軸は音圧レベル[dB]を示している。音圧レベルの値は高さで色で示しており、黄色に近づくほど値が大きいことを示す。(a)が、原音のカッコー音の結果を示し、(b)が新音のカッコー音についての結果を示している。

周波数[Hz]（対数軸）、縦軸は時間[ms]、Z軸は音圧レベル[dB]を示している。

図3(a)の結果をみると、原音の時間軸全体でみた周波数成分は表1の仕様に示したとおり、1109Hzと889Hzをピークとする2種類の成分で構成されていることが分かる。これに対して制作された新音の周波数成分は、原音の周波数成分に4つの成分（445Hz、629Hz、1778Hz、3556Hz）が付加され、制作意図が忠実に反映されていることが分かる(b)。その結果、最小445Hz、最大3556Hzで帯域幅はおよそ3000Hzとなる。



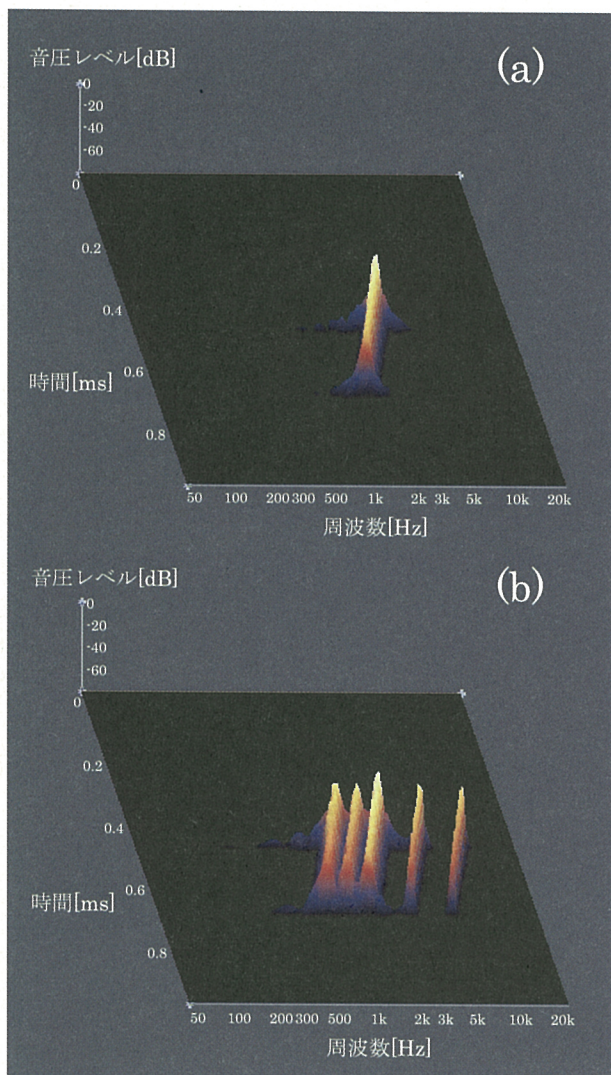


図4 原音と新音の時間周波数解析結果 (ピヨ音)

横軸は周波数 [Hz]、縦軸は時間 [ms]、Z 軸は音圧レベル [dB] を示している。音圧レベルの値は高さとして示しており、黄色に近づくほど値が大きいことを示す。(a) が、原音のピヨ音の結果を示し、(b) が新音のピヨ音についての結果を示している。

ピヨ音における解析結果を図4に示す。図4(a)のピヨ音の原音を見ると、表2に示したとおり 2349Hz から 1362Hz まで時間経過とともに周波数が下降するスweep音であることが分かる。一方、新音(b)では4つの周波数成分 (681Hz-1175Hz、963Hz-1661Hz、2724Hz-4698Hz、5448Hz-9396Hz) が付加され、最小681Hz、最大9396Hzで帯域幅がおよそ8700Hzとなる。その結果、新音のピヨ音は新音のカッコ音の帯域幅に比べて、およそ3倍の広さをもった広帯域音になることが分かる。

### 3. 4 2音源弁別実験の結果

制作した新音の音源定位性を評価するため、原音と新音それぞれについて2音源弁別実験を行った。

ここでは、正答した被験者のうち確信度が3 (まあまあ自信がある) あるいは4 (非常に自信がある) のみをデータとして扱った。この条件で、カッコ音およびピヨ音の原音と新音それぞれについて、各スピーカ間距離 (60cm、80cm、100cm、120cm) における正答数の総和を求め、新音の総和から原音の総和を差し引いた値によって新音の効果を評価することにした。

表3はその結果を示したものである。表から、カッコ音では原音と新音の正答数の間に差は見られないが、ピヨ音では新音の正答数が原音を上回っていることが分かる。なお、新音のピヨ音の効果は、スピーカ間距離が狭い時により顕著に認められた。これらの結果から、新音のピヨ音は、新音のカッコ音に比べて音源定位性に優れていることが示唆された。

表3 各音種について原音と新音の正答数とその差分

	正答数 * [人]		正答数の差分 [人]
	原音	新音	新音－原音
カッコ音	37	37	0
ピヨ音	27	40	13

\* 正答した被験者数のうち、確信度が3または4であった数

今回の音源加工によって、ピヨ音のみに音源定位性向上の効果が認められたが、その理由については今後の更なる検討を要する問題である。可能性として、ピヨ音の原音はスweep音であり、純音であるカッコ音に比べて元々周波数帯域が広いという違いが挙げられる。そのため、オクターブ音付加による新音の周波数帯域はピヨ音の方が数倍大きくなり、それが音源定位性の向上に寄与した可能性も考えられる。それ以外にも、スweep音であること自体が音源定位のしやすさに寄与している可能性も考えられる。

今後、周波数、周波数帯域及び周波数の時間的変化等のパラメータと音源定位性との関係を更に詳細かつ系統的に求めていくとともに、より精度の高い音源定位性試験の開発も進めてゆく必要があると考えられる。



## 謝 辞

本研究を遂行するにあたり、貴重なご助言をいただきました岡田淳二氏に深く感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 田内雅規, 澤井元, 高戸仁郎, 増田勝義, 吉浦敬, 竹内浩平 (1997) 「鳴き交わし方式」音響式信号機のナビゲーション機能の評価. 第23回感覚代行シンポジウム発表論文集, 51-56.
- 2) Mills, A.W. (1958) On the minimum audible angle. Journal of the Acoustical Society of America 30, 237-246.
- 3) Shigeno, S. and Oyama, T. (1983) Localization of speech and non-speech sounds. Japanese Psychological Research 25, 112-117.
- 4) 藤井厚紀, 平田仁, 田内雅規 (2003) ソフトウェアを用いた簡便な信号音の制作と評価. 岡山県立大学保健福祉学部紀要第10巻, 48-52.
- 5) 平田仁, 荒谷望美, 田内雅規 (2003) 音響信号機の音源定位性向上を目的に作成した新音と現行信号音の比較. 第12回視覚障害リハビリテーション研究発表大会論文集, 95-98.
- 6) 社団法人新交通管理システム協会 (2002) 交通信号付加装置A13形インタフェース規格.
- 7) 社団法人新交通管理システム協会 (2002) 交通信号付加装置A12形インタフェース規格.



## The effects of frequency range expansion by addition of octave components on sound localization of audible traffic signals

ATSUNORI FUJII, MASAKI TAUCHI, JIN HIRATA

*Department of Welfare System and Health Science, Okayama Prefectural University,  
111 Kuboki, Soja-shi, Okayama 719-1197, JAPAN*

Key words : audible traffic signals, sound localization, vision impaired person, frequency, crosswalk

### Summary

In the present study, we tried to improve sound localization of audible traffic signals by expanding frequency range of two kinds of sound signals (original sounds) presently used nationwide. The sound modulation was made by addition of octave sounds of original sounds on computer and the result of modulation was confirmed by prosecuting time-laps frequency component analysis. The evaluation of modulated sounds was made using two sound sources discrimination test. It was found that effect of sound modulation was prominent for one kind of original sounds. From the results, it was suggested that expansion of frequency range is effective for sound localization when original sound has a certain characteristics.