鉛直方向の腹話術効果に及ぼす音響再生系の影響

Evaluation of the Ventriloquism Effect in the Vertical Influenced by Audio Reproduction Systems

正会員 佐藤 純生[†], 福江 一智^{††}, 木下 雄一朗^{†††}, 小澤 賢司^{†††}Junsei Sato[†], Kazutomo Fukue^{††}, Yuichiro Kinoshita^{†††} and Kenji Ozawa^{†††}

Abstract Vertical orientation on the ventriloquism effect inherent to flat panel display televisions has been evaluated. The stimuli were an image of a metronome and its accompanying sound. These evaluations were aimed at understanding the extent of the effect during real use. The results show that with loudspeakers placed in a low position the effect was too minor to lift a sound image to the upper part on the screen.

キーワード：腹話術効果, 音像定位, スピーカ, 音圧バニング

1. ま え が き

FPD(Flat Panel Display) 技術の進歩に伴うテレビ画面の大型化が顕著である。画面が小さい場合には腹話術効果¹⁾によって映像と音像との乖離が問題とされることはなかったが、画面の大型化に伴い、その乖離が懸念されてきている。

これまでにテレビ視聴時における腹話術効果について研究がなされてきた^{2)~8)}。画面が大きい場合には、ステレオ音像と映像との水平方向の相互作用^{2)~4)}に加えて、鉛直方向の相互作用が話題となる^{5)~7)}。中林⁷⁾によると、水平方向において音像が強く引き寄せられるのは、映像と音像の開き角が $0^{\circ} \sim 10^{\circ}$ の範囲に留まるのに対して、鉛直方向では 17° の開き角でも音像が映像に引き寄せられている。更にその影響は水平角度で 20° 程度まで映像と音像が離れている場合にも観測されている。ここで、先行研究^{5)~7)}で使用された実験システムでは、スピーカは視覚的に遮蔽されているが、実際のテレビ視聴環境では、スピーカのおおよその位置が視聴者に判別できる場合が少なくない。また、

同先行研究でのスピーカは画面の両脇に設置され、その高さは画面の中心位置よりやや下となっているが、現在市場に出ている薄型テレビは、画面下端よりもさらに下にスピーカが設置されているモデルが多い。以上のように、先行研究の実験条件と実際のテレビ視聴環境には少なからず差異がある。そこで本稿では、実際の視聴環境での音響再生系が、鉛直方向の腹話術効果にどのような影響を及ぼすのかについて検討を行った。

2. 実 験 方 法

2.1 実験環境

本研究では、実機による検証を行うため、液晶テレビおよびラックスピーカシステムとして(a)液晶テレビ:SHARP AQUOS LC-65RX1W(アンダースピーカ: $10 \times 4 \text{ cm} \times 2$ 個, $\phi 2.0 \text{ cm} \times 2$ 個, $\phi 5.5 \text{ cm} \times 1$ 個), (b)ラックシステム:SHARP AQUOS オーディオ AN-ACR1(スピーカ: $\phi 10.0 \text{ cm} \times 2$ 個, $\phi 2.5 \text{ cm} \times 2$ 個, $\phi 16.0 \text{ cm} \times 1$ 個)を用いた。また、先行研究^{5)~7)}との比較も考慮し、テレビ側方の外付けスピーカとして(c)外付けスピーカ:YAMAHA NS-3MX(方式:1ウェイ・バスレフ・ブックシェルフ型, 単一音源とするためにバスレフの穴を粘土で塞いで使用, 使用ユニット:全帯域用, $\phi 12 \text{ cm}$ コーン型)を用いた。なお、音響系の機能設定については、工場出荷時の値とした。

これらの機材を図1に示すとおりに配置した。提示する映像としては、先行研究^{5)~7)}と同様にメトロノーム画像を用い、画面中央で仰角 17° , 7° および -3° の3種類の位置の一つに提示した。ただし、本実験では図2に示すように、実際のメトロノームを撮影して映像として用いたため、先行研究^{5)~7)}で用いられた画像(W:最大部で片側 $4^{\circ} \times$

2008年8月29日受付, 2008年11月4日再受付, 2008年11月18日採録

[†]シャープ株式会社 先端映像技術研究所

(〒261-8520 千葉県美浜区中瀬 1-9-2, TEL 043-299-8443)

^{††}山梨大学工学部

(〒400-8511 甲府市武田 4-3-11, TEL 055-220-8586)

^{†††}山梨大学大学院医学工学総合研究部

(〒400-8511 甲府市武田 4-3-11, TEL 055-220-8586)

[†]Advanced Image Research Laboratories, SHARP Corporation

(1-9-2 Nakase Mihama-Ku Chiba 261-8520, Japan)

^{††}Faculty of Engineering, University of Yamanashi

(4-3-11 Takeda, Kofu 400-8511, Japan)

^{†††}Interdisciplinary Graduate School of Medicine and Engineering, University of Yamanashi

(4-3-11 Takeda, Kofu 400-8511, Japan)

図 1 実験配置図
Arrangement for the experiments.

図 2 メトロノーム映像（針の支点位置を映像の位置とする）
Picture of a metronome. The position of the pendulum pivot represents its visual image location.

H: 9°) に比べると、高さの見込み角はほぼ等しいが横幅は小さい。音刺激は、先行研究⁶⁾⁷⁾を参考にして、左右チャンネルのレベル差を以下の 11 通り (-20, -12, -8, -4, -2, 0, 2, 4, 8, 12, 20 dB) のいずれかに設定して再生した。聴取位置での音圧レベルは 70 dB とした。また、それぞれのスピーカ系に接続された 3 台の MIDI 音源 (Roland, SD-20) のいずれかを用いて、メトロノームの音色を 60 拍/分で 5 回分提示した。なお、先行研究^{5)~7)}では、カーテンによってスピーカを視覚的に遮蔽していた。しかし、実際の視聴環境においては、スピーカの位置は視聴者にとって既知であることが多い。本研究では、実際の環境で視聴者が知覚する現象を観測するために、視覚的な遮蔽は行わないこととした。ここで、3 種類のスピーカ系の音質の影響については、複数の評定者からの内観報告により、音質でスピーカ系を判定することは困難であったことが確認されている。

2.2 実験手順

実験条件の組合せは 3 (スピーカ系) × 4 (映像なし + 仰角 3 条件) × 11 (左右レベル差) = 132 通りであり、同一条件の判定回数は 5 回である。すなわち、被験者一人あたりの総試行回数は 660 回であり、これを 3 セッションに分けて実施した。各セッションの冒頭には、黒色画面の左右中央で仰角 0° の位置に × 印 (視覚約 1°) を約 2 秒間提示し、

被験者に注視するように教示した。その後、上記の実験条件をランダム順に実施した。このとき被験者には映像を注視するように教示した。刺激提示時間は上述のとおり、メトロノーム 60 拍/分の 5 拍分であるから 5 秒間である。被験者は着座して映像および音刺激の提示を受け、その終了後 5 秒以内にマウスで画面上をクリックすることにより、音像が定位した位置を回答した。なお、被験者には、どのスピーカを使用するかは教示せずに実験を行った。被験者は 20 歳代の 11 名である。

3. 実験結果および考察

3.1 スピーカ系ごとの音像定位位置

全実験結果に関する分散分析を実施したところ、要因「スピーカ系」が関係する交互作用が有意であったので、本節では 3 種類のスピーカ系ごとに検討する。横軸を左右レベル差とし、縦軸を音像定位位置の仰角として表示した実験結果を図 3 に示す。グラフの縦軸の範囲は、画面の上下の端に対応する。なお、誤差棒は全データについての標準偏差を示しているが、重なって見づらくなることを防ぐために上側または下側のみに表示し、かつ映像条件ごとにデータを左右にずらして表示した。

図から、映像の有無・提示角度によって音像の定位位置が鉛直方向で変化する腹話術効果があることがわかる。ただし、表 1 に被験者内計画モデルによる分散分析表の一例として (a) ディスプレイ付属スピーカ系の場合を示すとおり、各スピーカ系について交互作用「映像 × 左右レベル差」が有意であり、映像が音像定位位置に及ぼす影響は左右の音圧レベル差が大きくなると収斂する傾向が見られる (他のスピーカ系についての交互作用の有意性: (b) ラックシステムでは $F(15, 150) = 2.318, p < .01$, (c) 外付けでは $F(15, 150) = 1.913, p < .05$)。要因「映像」の単純主効果を検討するために、代表的な条件として、画面中央付近 (0 dB 条件の結果) と両端付近 (20 dB および -20 dB 条件の結果) を取り上げて分析を行う。まず、画面中央付近について下位検定を行い、どの映像条件間で有意差が生じるかを調べた。その結果を、音像の仰角 (平均値) が降順となるように映像条件を左から列挙し、LSD 検定による多重比較の結果として有意差のない組合せを下線で結ぶことで以下に表示する。

(a) ディスプレイ付属: 17° 7° 映像なし -3°

(b) ラックシステム: 17° 7° 映像なし -3°

(c) 外付け: 17° 7° 映像なし -3°

次に、画面両端付近においても要因「映像」が有意であったので、同様な多重比較を行った結果を以下に示す。

(a) ディスプレイ付属: 17° 7° 映像なし -3°

(b) ラックシステム: 17° 7° 映像なし -3°

(c) 外付け: 17° 7° 映像なし -3°

以上のように、画面の中央に映像を提示した場合についての鉛直方向の腹話術効果は、画面の両端付近では小さくな

図 3 映像の仰角
Elevations in sound localization.

表 1 映像の仰角に関する分散分析表-(a) ディスプレイ付属スピーカ系

Results of ANOVA for elevations in sound localization.

要因	SS	df	MS	F
被験者の個人差 (S)	56387.3	10	5638.7	
映像 (Image)	10412.0	3	3470.7	12.078**
S × Image	8620.4	30	287.3	
左右レベル差 (Level)	3322.0	5	664.4	10.994**
S × Level	3021.6	50	60.4	
Image × Level	1495.4	15	99.7	3.439**
S × Image × Level	4349.0	150	29.0	
全体	87607.8	263		

SS: Sum of Square, df: degree of freedom, MS: Mean Square

** $p < .01$

図 4 提示映像の仰角と映像の仰角の関係
Relation between the elevations of the presented images and sound localization.

ることが示された。

3.2 スピーカ系の相違による映像定位位置の相違

本節では、スピーカ系の相違による実験結果の相違に着目して検討する。ここでも、左右レベル差が 0 dB の場合と 20 dB および -20 dB の場合を取り上げ、提示した映像の仰角を横軸に、映像定位位置の仰角を縦軸にとったグラフを図 4 に示す。この図から、鉛直方向の腹話術効果の量

としては、本実験で取り上げた 3 種のスピーカ系について同様であることがわかる。ただし、0 dB 条件の場合に比べて、20 dB および -20 dB 条件の場合に、腹話術効果が小さいのは前節で述べたとおりである。また、スピーカが画面より下側にある (a) ディスプレイ付属や (b) ラックシ

テムのスピーカ系では、(c) 外付けスピーカ系に比べて音像が下部にあり、特に提示映像の仰角が 17° の場合には、映像位置との乖離は大きくなっている。音像の仰角について要因「スピーカ系」の単純主効果に関する多重比較の結果を、まず左右レベル差が 0 dB の場合について以下に示す。

- ・映像なし： (c) 外付け (a) 付属 (b) ラック
- ・仰角 -3° ： (c) 外付け (a) 付属 (b) ラック
- ・仰角 7° ： (c) 外付け (a) 付属 (b) ラック
- ・仰角 17° ： (c) 外付け (a) 付属 (b) ラック

続いて、左右レベル差が 20 および -20 dB の場合について以下に示す。

- ・映像なし： (c) 外付け (a) 付属 (b) ラック
- ・仰角 -3° ： (c) 外付け (a) 付属 (b) ラック
- ・仰角 7° ： (c) 外付け (a) 付属 (b) ラック
- ・仰角 17° ： (c) 外付け (a) 付属 (b) ラック

以上のとおり、(c) 外付けスピーカ系による音像仰角が有意に上にある。(a) ディスプレイ付属と (b) ラックシステムのスピーカ系は、画面中央では有意差がない場合が多いが、画面両端では有意差が生じている。これは、両端付近ではスピーカの実体に近く、その物理的な上下の関係が反映されているものと考ええる。

3.3 考察

3.1 節では、画面中央に映像を提示した場合、左右両端付近では鉛直方向の腹話術効果が小さくなることが示された。また、3.2 節では、(a) ディスプレイ付属系と (b) ラックシステム系が (c) 外付けスピーカ系よりも音像仰角が下となり、図 4 に示すように (c) 外付けスピーカ系の場合でさえ、音像の追従性が良いとはいえない結果となった。これらは先行研究^{5)~7)}の結果とは異なるものであり、その原因として、スピーカを視覚的に遮蔽しないなど視聴環境を想定した本実験条件の、先行研究に対する差異が挙げられる。以上の結果から、画面より下側に設置されたスピーカ系を用いた場合には、腹話術効果だけで画面上方に音像を定位させることは困難であることが示された。今後、映像と音像との乖離を小さくすることを目指した音響再生システムを考案する必要性が示唆されたものと考えている。

4. む す び

本研究では、大型液晶テレビの実機を用いて鉛直方向の腹話術効果について検討を行った。その結果、ディスプレイ付属のアンダースピーカ系やラックシステムのスピーカ系により (工場出荷時の設定で) 音を提示した場合には、腹話術効果だけで画面上方に音像を定位させることは困難であることが示された。

〔文 献〕

- 1) G. M. Stratton: "Vision without inversion of the retinal image", Psychol. Rev., 4, pp. 341-360 (1897)
- 2) 中林克己, 辻本廉, 二階堂誠也: "ステレオ音像とテレビ映像の相互作用に関する基礎実験", 昭 54 春季日本音響学会講演論文集, pp. 245-246 (Mar. 1979)

- 3) 中林克己, 辻本廉, 二階堂誠也: "ステレオ音像とテレビ映像の相互作用に関する基礎実験 (2)", 昭 54 秋季日本音響学会講演論文集, pp. 293-294 (Oct. 1979)
- 4) 中林克己, 辻本廉, 二階堂誠也: "ステレオ音像とテレビ映像の相互作用に関する基礎実験 (3) —注目度の定量化について—", 昭 55 春季日本音響学会講演論文集, pp. 113-114 (Mar. 1980)
- 5) 小宮山拱, 中林克己, 辻本廉, 二階堂誠也: "大画面テレビ映像とステレオ音像の相互作用に関する基礎実験 —垂直方向の音像定位について—", 昭 56 春季日本音響学会講演論文集, pp. 613-614 (Mar. 1981)
- 6) 小宮山拱, 中林克己, 二階堂誠也: "大画面テレビ映像とステレオ音像の相互作用に関する基礎実験 —垂直方向の音像定位について (2)—", 昭 56 秋季日本音響学会講演論文集, pp. 225-226 (Oct. 1981)
- 7) 中林克己: "ステレオ音像とテレビ映像の相乗効果", テレビ誌, 37, 12, pp. 984-991 (Dec. 1983)
- 8) 小宮山拱: "大画面テレビ視聴時における音像定位", 音響誌, 43, 9, pp. 225-226 (Sep. 1987)

さとう じゅんせい
佐藤 純生 1999 年、東北大学大学院工学研究科修士課程修了。同年、シャープ株式会社に入社。正会員。

ふくえ かずとし
福江 一智 2004 年、山梨大学工学部コンピュータ・メディア工学科情報メディアコース入学。音響工学に関する研究に従事。

きのした ゆういちろう
木下 雄一郎 2007 年、立命館大学大学院理工学研究科一貫制博士課程フロンティア理工学専攻修了。同年より、山梨大学大学院医学工学総合研究部助教。博士 (工学)。ヒューマンインタフェース、ヒューマンファクター、感性工学に関する研究に従事。

おざわ けんじ
小澤 賢司 1988 年、東北大学大学院修士課程修了。同年、東北大学電気通信研究所助手。東北大学助教授、山梨大学助教授を経て、2007 年、山梨大学大学院医学工学総合研究部教授。メディア感性工学、音響信号処理などの研究に従事。