

1. 研究の背景と目的

阪神・淡路大震災（1995）では、崩壊した家の下敷きになったり、家の中に閉じ込められたりして身動きの取れなくなった被災者が多く発生し、居場所の確認に時間がかかった。これを契機に大規模災害発生時に素早く確実に自分の居場所を伝える手段として防災用救助笛（防災笛）の使用が提唱され始めた^{[1][2]}。スポーツ用ホイッスルに関しては聴者の主観と音質の関連を明らかにする研究が行われているが^[3]、防災笛に関してはまだ行われていない。そこで本研究は、防災笛の聴き取りやすさと吹きやすさを決定する要因と笛の構成要素との関連を明らかにすることを目的とする。

2. 基礎調査

2-1. 聞き取り調査 防災笛のメーカーに対する聞き取り調査の結果、音質に関する明確な基準を持たないメーカーが多く、基準の内容も異なることが分かった。

2-2. 構成要素の検討 防災笛の発音メカニズムなどの観点から、笛の構成要素として吹き口（穴）の形状や、本体の大きさ・重量などに着目した。

2-3. 調査対象の選定 調査対象候補の笛（13種類）を構成要素の特徴に基づき分類した。その中から表1に示す特に性能の高い4種類を本研究の調査対象とした。

表1 調査対象の笛（4種類）の分類

	A	B	C	D
吹き口（穴）の形状	細口	細口（複数）	半円形（大）	半円形（小）
本体の大きさ・重量	中程度	中程度	大きい	小さい
	9.82g	6.60g	32.36g	10.85g



図1 実験 I a の現場と様子



図2 実験 I b の現場と様子

3. 実験

3-1. 実験の流れ 笛の聴き取りやすさを評価するため、実験 I a・I b で聴認実験を行い、実験 III で吹き方の強弱による相対的な音の大きさ・周波数を調べる。また、実験 II で笛の吹きやすさに関する主観評価を行う。

3-2. 実験概要

[実験 I a] 聴認実験 日中の屋外（鶴舞公園内）で約200m離れた場所から1分間に3回笛を吹く。被験者（9名）の笛の音に対する反応時刻と実際に笛の音があった時刻とを比較し、音をどの程度正しく聴き取れたかを調べる。実験は各笛2回ずつ計8回行った（図1）。

[実験 I b] 聴認実験 実験 I a と同様の方法を用い、夕方から夜の屋外（本学構内）で被験者（10名）が各笛の音をどの程度正しく聴き取れたかを調べた（図2）。

[実験 II] 主観評価実験 笛の吹きやすさに関して、14名の被験者による主観評価を行う。サーストンの一対比較法を用い、音の出しやすさ（強く吹く場合・弱く吹く場合）、笛のくわえやすさの3項目から評価した。

[実験 III] 音質解析 無響室内で被験者（5名）が強弱を変えて吹いた笛の音を録音し、FFT 解析を行うことで相対的な音の大きさと周波数を調べた。

表2 使用した混合行列と聴認率の定義

		実際の音	
		ある	ない
被験者の判定	ある	音がある時「ある」と判定 (True Positive)	音がない時「ある」と判定 (False Positive)
	ない	音がある時「ない」と判定 (False Negative)	音がない時「ない」と判定 (True Negative)

$$\text{聴認率} = \sqrt{\text{感度} \left(\frac{TP}{TP + FN} \right) \times \text{特異度} \left(\frac{TN}{FP + TN} \right)}$$

「ある」判定における正答率
「ない」判定における正答率

表3 聴認率等の一覧(実験 I a)

	TP	TN	FP	FN	感度	特異度	聴認率
A	39	176	4	15	72.22%	97.78%	84.03%
B	37	177	3	17	68.52%	98.33%	82.08%
C	6	176	4	48	11.11%	97.78%	32.96%
D	5	178	2	49	9.26%	98.89%	30.26%

表4 聴認率等の一覧(実験 I b)

	TP	TN	FP	FN	感度	特異度	聴認率
A	53	200	0	7	88.33%	100.00%	93.99%
B	57	199	1	3	95.00%	99.50%	97.22%
C	51	199	1	9	85.00%	99.50%	91.96%
D	15	198	2	45	25.00%	99.00%	49.75%

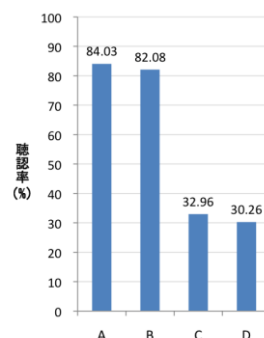


図3 実験 I a における聴認率

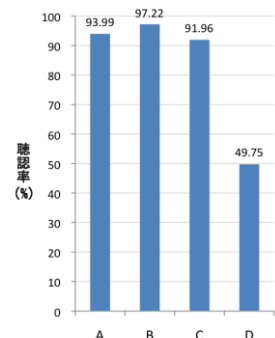


図4 実験 I b における聴認率

4. 実験結果

4-1. 実験 I a 被験者の笛の音の有無に対する判定（4種類）を混合行列にまとめ、この正答率から音の聴き取りやすさを表す聴認率を定義し（表2）、算出した聴認率を比較した（表3）。笛A・Bは8割超の高い聴認率を、笛C・Dは3割程度の低い聴認率を示した（図3）。しかし、天候や時間帯・場所等の条件による実験結果への影響を考慮し日時と場所を変え実験 I bを行った。

4-2. 実験 I b 実験 I aでの定義に則り各笛の聴認率を算出した（表4）。笛A・B・Cは9割超の高い聴認率を、笛Dは5割弱の低い聴認率を示した（図4）。

4-3. 実験 II 主観評価結果についてサーストンのケースVと呼ばれる仮定^[4]に基づいて解析を行い、各笛の評価の相対的な差を表す距離尺度を求めた（表5、図5）。

4-4. 実験 III FFT解析により音の大きさを表すパワー（実効値）と高さを表す周波数が得られる（図6・7）。被験者ごとに笛Aのパワーの最大値を1と仮定して他の笛の比率を求め、全被験者の平均比率を比較することで相対的な音の大きさを調べた（表6・7、図8・9）。

4-5. 実験結果 音の聴き取りやすさに関しては、実験 I a・I bで得られた聴認率と実験 IIIで得られた相対的な音の大きさ・周波数とを比較した。吹き口の穴が細口の笛A・Bはともに聴認率が高く、同程度の周波数を持つことが分かった。笛Dは聴認率が低く、音は最も小さかった。笛Cは笛Aと音の大きさ（強く吹く場合は同程度だが、場所や環境等の条件により聴認率が低くなる場合があった。また、弱く吹く場合は半円形の笛C・Dが細口の笛A・Bより大きな音を出した。吹きやすさに関しては、音の出しやすさは強く吹く場合・弱く吹く場合ともに穴が半円形の笛が細口の笛より高く評価された。くわえやすさに関しては本体の重量が軽いほど高く評価され、本体の大きさが中程度の笛A・Bが高く評価される傾向があった。

5. まとめと今後の課題

実験結果から、笛の音の聴き取りやすさは、音の大きさや周波数により決定することが確かめられた。音の大きさは吹き口の穴の形状に依存していると考えられる。一方、笛の吹きやすさは、音の出しやすさにより決定することが確かめられた。音の出しやすさは吹き口の穴の形状に依存し、くわえやすさは本体の重量・大きさに依存していると考えられる。本研究において笛の聴き取りやすさと吹きやすさを決定する要因を明らかにすることができたが、調査対象の笛のうち、全ての要因を満たす笛はみられなかった。さらに音が聴き取りやすく吹きやすい防災笛を開発するためには、これらの要因を同時に満たすような構成要素を併せ持つ必要がある。そのためには、本研究で着目した構成要素をさらに詳しく検討した上で、より構造的な観点から笛の構成要素を抽出する必要がある。

表5 距離尺度の一覧

	A	B	C	D
音の出しやすさ(強)	0.047	-0.556	0.106	0.403
音の出しやすさ(弱)	-0.096	-0.278	0.050	0.325
くわえやすさ	0.161	0.931	-1.000	-0.092

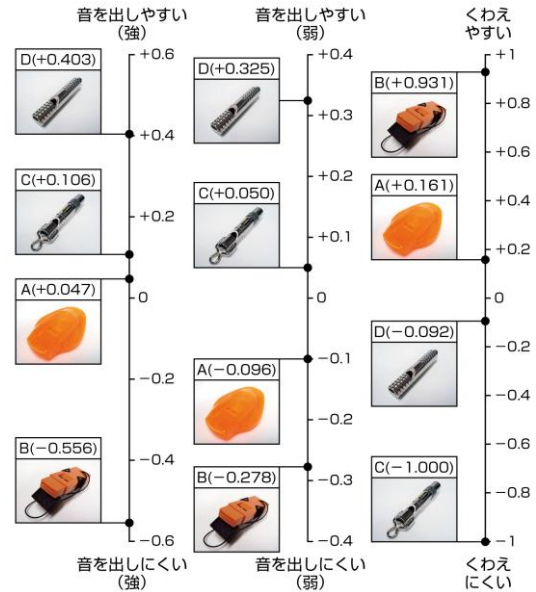


図5 距離尺度の一覧

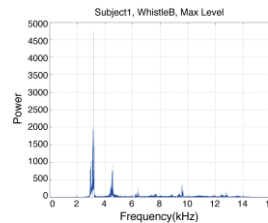


図6 波形の一例(笛B、強)

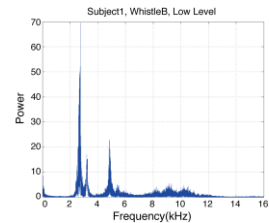


図7 波形の一例(笛B、弱)

表6 各笛のパワー比較(強)

	A	B	C	D
被験者1	1.000	0.973	0.541	0.157
被験者2	1.000	0.995	0.612	0.740
被験者3	1.000	1.600	0.997	0.506
被験者4	1.000	4.262	1.269	1.436
被験者5	1.000	1.225	1.247	0.579
平均	1.000	1.811	0.933	0.683

表7 各笛のパワー比較(弱)

	A	B	C	D
被験者1	1.000	0.632	1.537	3.516
被験者2	1.000	1.092	3.124	11.721
被験者3	1.000	0.650	2.532	1.900
被験者4	1.000	0.753	0.167	5.800
被験者5	1.000	0.324	1.366	3.291
平均	1.000	0.690	1.745	5.246

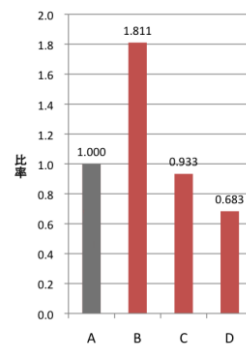


図8 各笛のパワー比較(強)

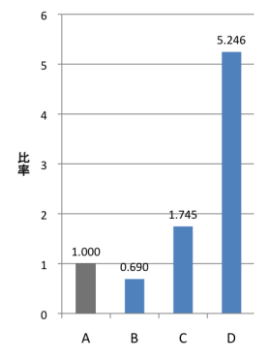


図9 各笛のパワー比較(弱)

【参考文献】

- [1] 地震ITプロジェクト『地震ITモニター』木楽舎,2007
- [2] 山村武彦『大地震発生！公的支援が来るまでの200時間を生き延びる知識と知恵』小学館,2006
- [3] 坂本賢志、松尾弘毅、西脇剛史；スポーツ用ホイッスルの音質解析、スポーツ産業学研究,Vol.19, No.1(2009),9-16
- [4] 佐藤信『統計的官能検査法』日科技連出版社,1985