

原著論文

## 長距離伝搬に頑健な津波警報候補音の作成

崔 正烈\*, 増見 洋治\*, 岩谷 幸雄\*\*, 勝本 道哲\*\*\*, 坂本 修一\*, 鈴木 陽一\*

\* 東北大学電気通信研究所, \*\* 東北学院大学, \*\*\* (株)勝本総研

### Design of a Tsunami Warning Sound Robust for Long-distance Propagation

Zhenglie CUI\*, Yoji MASUMI\*, Yukio IWAYA\*\*, Michiaki KATSUMOTO\*\*\*,  
Shuichi SAKAMOTO\* and Yôiti SUZUKI\*

\* *Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University*

\*\* *Tohoku Gakuin University*

\*\*\* *Katsumoto Design Laboratory, LTD.*

**Abstract :** We developed a signal sound which robustly inform citizens of disaster information even if speech signal is hardly intelligible because of long-path echoes and intense background noise. To do this research, we examined various factors required to develop such a signal sound under actual out-door conditions as well as laboratory (in-door) conditions with long-path echoes by use of multidimensional psychophysical evaluation for several candidate signal sounds as well as some other alarm signal sounds. Based on the experiments, we have finally chosen a single good candidate sign sound.

**Keywords :** *Outdoor sound transmission systems, Sign signal, Factor analysis*

#### 1. はじめに

防災行政無線システム(屋外拡声系)は、屋内外を問わず、受け手が特別な装置を必要としないことから、有効な災害情報の伝達手段であり、その役割は極めて重要である。実際東日本大震災においても、住民の津波警報や避難の呼びかけに対する情報入手手段の約半数が屋外拡声系によるものであった[1]。しかし、地震の後、屋外拡声系からの避難情報を聞いた人のうち、音声内容をはっきり聞き取れた人は、約半数の56%に留まったとの報告がなされている[2, 3]。

その原因として、地震や津波による機器の損害や停電による影響もあるが、長い遅延時間を伴って到来する反射音や隣接の屋外拡声系からの音が、直接音と混ざり合って聞き取りが困難になる妨害音の影響も挙げられる。このような妨害音はロングパスエコーと呼ばれる。音声了解度を改善するためには、ロングパスエコーを考慮した屋外拡声系の音声伝達性能の向上が急務である。その一方、ロングパスエコーの影響が極めて大きい場合や、高いレベルの環境騒音がありSN比が低くなるような環境では、音声伝達性能が充分でない地域や場合がどうしても存在する。その場合、テレビ放送における緊急地震警報のメロディーや、携帯端末の緊急速報メールの着信音のように、特定の事象を高い認識率で表すことのできるサイン音の提示が有効であると考えられる。

しかし、津波警報専用のサイン音は未だに存在せず、既存のサイレン音を代用しているのが現状である。例えば、気象庁により、大津波警報はサイレンの吹鳴時間と休止時間を3sと2sずつ、津波警報は同じサイレン音の吹鳴時間と休止時間を5sと6sずつ繰り返す等、同じ音色のサイレン音の吹

鳴時間と休止時間をパラメータとした、4段階の津波警報と津波注意報が定められている[4]。しかし、普段の落ち着いた聴取環境とは異なり、災害時の一刻を争う緊迫した環境の中で、音刺激の吹鳴回数と休止間隔に気を配り、同じ音色のサイン音から地震と津波の到来、津波警報と津波注意報を分けるのは、極めて難しいと考えられる。

そこで、音声了解度が充分確保できない場合でも認識することが可能な、長距離伝搬に頑健な津波警報音の開発を目指して研究を進めてきた[5, 6]。屋外の音環境では、前述のように、空気伝搬による減衰やロングパスエコー等の影響が大きく、これら物理環境における人間の聴覚知覚特性を考慮して音刺激を作成する必要がある。そこで、先行研究の知見を踏まえて3種類8つの津波警報候補音群を作成し、屋外フィールドで聴感特性の調査を行った。屋外フィールド実験の結果から、ロングパスエコーに比較的頑健な音響的パラメータの抽出を目指した。これについては、3章にてその詳細を述べる。

一方、津波警報音は、危険性や緊迫感を喚起させるのと同時に、びっくりし過ぎて冷静な避難行動が止まってしまうほどの過度の緊張感を与えないような音刺激であるべき[4]と考えられる。実際、災害時の警報音として広く使われているNTTドコモの緊急地震速報ブザー音や、NHK緊急地震速報のチャイム音も、緊急性・緊迫感を伝えつつも過度な緊張感を与えないように、いわゆる「適切な緊張感」を誘起させるべく作られたと言われている[7, 8]。それでは、「適切な緊張感」という感性を誘起させるためには、音刺激の心的パラメータをどのように設定すべきだろうか。

本研究では、開発した津波警報候補音群と、広く使われている既存の警報音群を用いての音刺激への心的印象を評価するといった感性工学的な実験手法を採用し、適切な

緊張感を表す音刺激の心的パラメータの抽出を目指した。先行研究 [9-11] によると、統計的な手法を用いた音刺激への心的印象は、おおそ「美的因子」、「金属性因子」と「迫力因子」の3つの因子に集約できる。開発した津波警報候補音の場合においても、類似する3つ程度の評価因子が抽出されるとの仮説を立て、既存の警報音と開発した津波警報候補音との各因子の得点を比較した。得られた各因子の相関関係から既存の警報音における「適切な緊張感」を定義し、それに沿って津波警報最終候補音を作成した。これらについては、4章と5章で詳細を述べる。

以降、開発に際して用いた津波警報候補音群の概要と、屋外フィールドでの聴感評価実験、開発した津波警報候補音と既存の複数の警報音を用いて行った印象評価実験、及び、津波警報最終候補音の選定について紹介する。

## 2. 津波警報候補音群の概要

危険を知らせるサイン音に関する研究は、従来から存在しており、数多くの報告がなされている。例えば、Edworthyら [12] は、非倍音成分の音や、繰り返し回数を増やす音ほど、緊急性が向上されると報告した。このことは、音スペクトルの調和性を崩し、断続の繰り返し成分を持たせることで、緊張感が高まることを示す。Kuwana [13] は、500 ms をかけて2オクターブ変化する音を10回繰り返す音刺激を用いて比較実験を行い、周波数が変化する音成分を持ち、かつ広帯域に周波数成分を含む音ほど、より危険を感じられると報告した。桑野 [14] は、警報音を用いて心理評価実験を行い、危険を知らせる警告信号音としては、周波数が変化し、広帯域の信号で、かつ速い周期で変化する音が適していると指摘した。佐伯ら [15] は、避難誘導音の前後に定常部を有する周波数スイープ音を用いて評価実験を行い、緊迫感をより高める音は、スイープ時間が短く、周波数成分をより多く含むものであると報告した。

これら以外にも、和音の成分が警報感に及ぼす影響を検討した報告もなされている。岩宮ら [16] は、西洋音楽において典型的に用いられる三和音を対象として、和音の種類とその機能イメージ及び印象の関係を、印象評価実験によって検討した。その結果、CdimやCminorが、持続時間のパターンによらず、警報感の強い傾向を持つことが示された。福江ら [17] は、三和音の構成音を基に、分散和音が音刺激のイメージに与える影響について検討した。その結果、先述の岩宮らの実験結果と同様に、CminorやCdimを用いることによって、「警報感」や「異常感」が強くなることを明らかにした。

以上の先行研究の結果をまとめると、

- 広帯域に周波数成分を持つこと
- 高周波数成分を有すること
- 早く変化する周波数スイープ成分を持つこと
- 繰り返し頻度が高いこと
- 適切な和音を構成すること

等の特徴を持つ音ほど、危険を知らせるサイン音としてふさ

わしいと考えられる。そこで、これらの要素を考慮して津波警報音の開発を進めた。

本研究で想定している津波警報音は、屋外の長距離伝搬による聴感への影響や、屋外拡声スピーカの出力特性等も考慮に入れる必要がある。例えば、屋外拡声系で使用されている典型的なスピーカは500 Hz以下及び4 kHz以上の出力特性が悪く、この範囲の成分を含む音は音色が変わってしまい、意図する警報音として認識されない可能性が生じる。したがって、低周波数または高周波数成分を多く含む音が警報音に望ましいという先行研究の知見 [13, 18] は、逆に阻害要因となる可能性がある。また、屋外における数100 msから数sほどの長さのロングパスエコーの影響を考えると、無音の時間や定常部を意図的に設け、ロングパスエコーを吸収する方法が有効である可能性も考えられる。

以上のことを総合的に考慮して、以下の3種類8個の津波警報候補音を作成した。作成した候補音の特徴をまとめて、表1に示す。

### (1) 分散和音 (TU\_A, TU\_B)

警報感が強いとされる音の組み合わせ (C, D<sup>b</sup>, A<sup>#</sup>) を用いて、分散和音で、かつ音が上昇していくパターンを持つ断続音を作成した。候補音TU\_Aはすべてを純音で作成し、候補音TU\_Bは、候補音TU\_Aを基に純音を重ね合わせて作成した。候補音TU\_Bのスペクトログラムを図1に示す。

### (2) スイープ主体の音 (TGU\_A, TGU\_B, TGU\_C, TGU\_D) [19]

スイープ部は、和音が定常状態から1オクターブスイープするパターンとした。用いた和音は警報感が強いとされるAdim (A, C, E<sup>b</sup>) と Am7<sup>-5</sup> (A, C, E<sup>b</sup>, G) である。候補音TGU\_AとTGU\_BはAdimであり、候補音TGU\_CとTGU\_DはAm7<sup>-5</sup>を用いている。候補音TGU\_AとTGU\_Cは倍音成分を持たない正弦波の重ね合わせであり、候補音TGU\_BとTGU\_Dは、それぞれ、候補音TGU\_AとTGU\_Cにレベルの等しい5倍音成分を重ねたスペクトル構造とした。候補音TGU\_AとTGU\_Bのスペクトログラムを、図2と図3に示す。

### (3) 繰り返しの音 (KDL\_A, KDL\_B)

Am (A, C, E) の和音を用いて、繰り返しの音として作成した。候補音KDL\_Bは、同じ和音を用いているが、

表1 津波警報候補音群の特徴

	TU_A	TU_B	TGU_A	TGU_B	TGU_C	TGU_D	KDL_A	KDL_B
構成音	C, D <sup>b</sup> A <sup>#</sup>		A, C, E <sup>b</sup> , G				A, C E	
広帯域に周波数成分を含む (成分数が多い)	×	△	×	○	×	○	△	×
高周波数(4 kHz以上)を含む	×	×	×	○	×	○	×	×
早い周期で周波数が変化する (スイープを持つ)	×	×	△	△	△	△	○	○
スペクトルの調和性がない (非倍音成分で構成されている)	×	○	△	×	△	×	×	×
断続スピードが速い (繰り返し頻度が高い)	×	×	×	×	×	×	○	○

長距離伝搬に頑健な津波警報候補音の作成

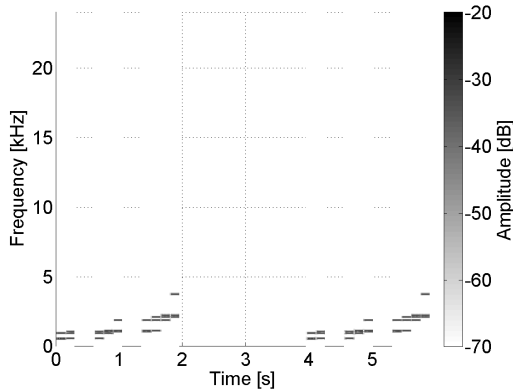


図1 候補音 TU\_B のスペクトログラム

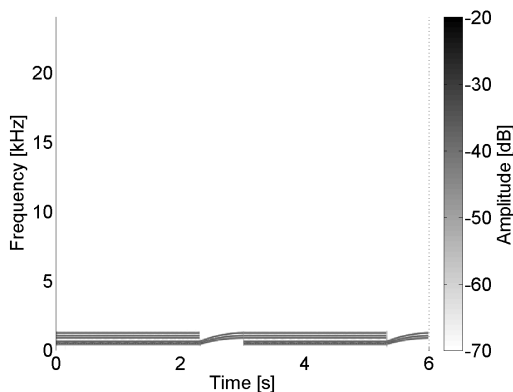


図2 候補音 TGU\_A のスペクトログラム

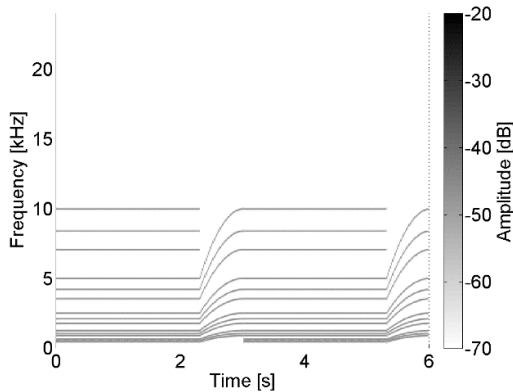


図3 候補音 TGU\_B のスペクトログラム

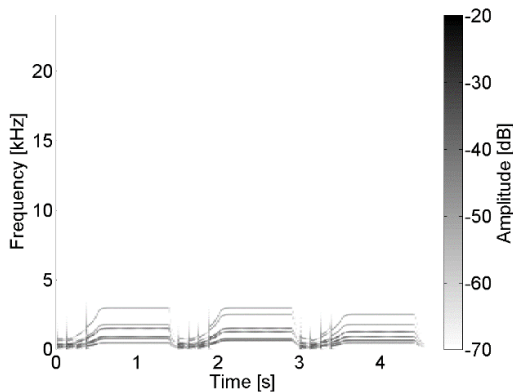


図4 候補音 KDL\_B のスペクトログラム

繰り返すたびにスイープ部を構成する各周波数のパワーバランスを変化させ聴感上は異なる和音になるようにした。候補音 KDL\_B のスペクトログラムを図4に示す。

3. 屋外における聴感評価実験

屋外フィールドにおいて、風等による空気伝搬特性やロングパスエコーが警報音の認識にどのような影響を与えるかを確認するため、宮城県仙台市若林区荒浜地区において聴感評価実験を行った。実験日は2012年10月15日、実験当日の天候は晴れ、気温は $21 \pm 1.5$ 度、相対湿度は $46 \pm 9.5$ %、気圧は1012.5 hPa、平均風速は2.8 m/sであった。当地区は、津波による被害が大きく、家屋が1棟も存在しない広野である。そのため、広範囲で長時間に渡る拡声音の放射が可能であった。

3.1 実験方法

実験では、構築した8つの津波警報候補音に加え、それらに、宮城県東松島市肘曲地区ひじまがりで測定したインパルス応答を畳み込んだ刺激を用意した。したがって、使用した音刺激（テスト刺激）は16種類となる。この地区は津波による直接的な被害はなく、山や田畑、民家等の地形的な要素を多く含んでおり、ロングパスエコーが比較的大きい場所であった。ここで利用したインパルス応答は、屋外拡声系の3つの子局から1個ずつ音を放射したときに、ある1点において得られる3つのインパルス応答の時間列を揃えたものである。これらのテスト刺激は、ホーンスピーカ（広指向性拡声スピーカ、TOA SC-61）から1 m離れた地点における音圧レベルがそれぞれ90 dBと120 dBとなる2種類とした。聴取位置は、スピーカから50, 100, 200, 400 m離れた4地点とした。聴取位置は、図5に示したスピーカを載せるクレーン車の底面と聴取者までの直線距離を指す。ホーンスピーカは地面より15 mの高さに設置した。聴取者はホーンスピーカの正面を向いてイスに着席し、音刺激の聴取及び評価を行った。

屋外聴感実験の風景を図5に示す。16種類のテスト刺激は各聴取点ごとにランダムに提示順番を決め、対応する基準刺激の提示直後に、聴取者から50～400 m離れたホーンスピーカから出力した。各聴取点では、ひとつの基準刺激とひとつ



図5 聴取点50 mでの実験風景



のテスト刺激の対を1試行とし、提示音圧レベル条件ごとに16試行(1セッション)ずつ2セッション実施した。セッションの実施順番は、提示音圧レベル120 dB条件を先に、その後90 dB条件を実施した。基準刺激は、聴取点に設置したモニタースピーカ(FOSTEX PM0.5 MKII, 図5の中央, 実験者の左側にあるもの)から提示した。提示音圧レベルは、スピーカから1 m離れた地点で騒音計(RION NA-21)を用いて計測した結果、69 dBであった。聴取者には、基準刺激とテスト刺激が同じ警報音として聞こえるかを、1(全く違う)~7(全く同じ)の7段階で評価するように求めた。聴取者は、正常な聴覚を有する大学生および大学院生10名(うち女性1名)と、50歳以上の男性5名の、計15名であった。

実験当時の現場周囲は復旧工事が行われており、音刺激を放射する際には、作業音が聞こえない時間帯を選びながら実験を行った。被災地における復旧工事さなかの屋外実験であったため、実験は午前10時から午後4時までの長時間に渡って行っており、実験パラメータごとに安定した気温と湿度条件を設けることはできなかった。ただし、実験を行った時間帯での気温の変化は±1.5度とそれほど大きくなく、湿度と気圧も大きな変化はなかった。実験当日の風速は、各聴取点ともに平均2.8 m/s程度であり、聴取距離や時間帯による風の影響はそれほどないと考えられる。

テスト刺激を提示するホーンスピーカの周波数特性を図6に、基準刺激を提示するモニタースピーカの周波数特性を図7に示す。モニタースピーカの周波数特性がほぼすべての

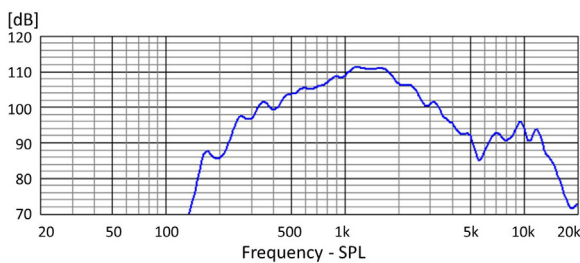


図6 テスト刺激提示用スピーカの周波数特性 (TOA SC-61)

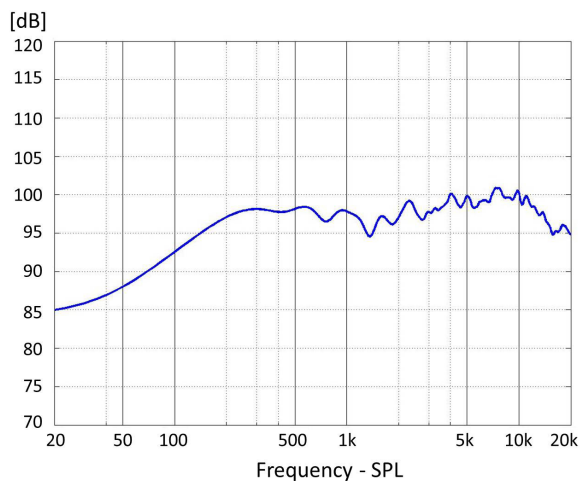
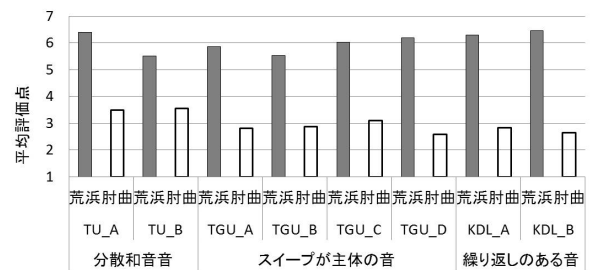


図7 基準刺激提示用スピーカの周波数特性 (FOSTEX PM0.5 MKII)

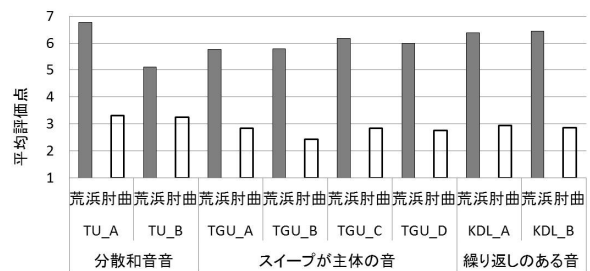
可聴域で安定しているのに対して、ホーンスピーカの周波数特性は200 Hz以下と5 kHz以上で出力特性が悪く、この範囲の成分を含む津波警報候補音の音色が変わってしまい、意図する警報音として認識されない可能性がある。

### 3.2 実験結果

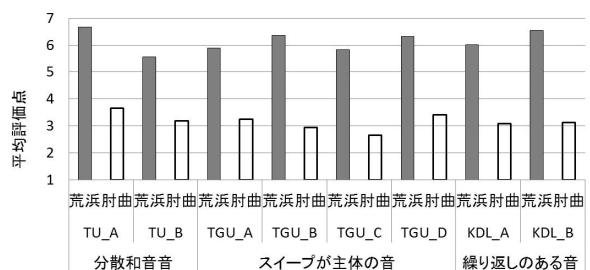
聴取距離ごとの聴取者全員の平均得点を算出し図8に示す。音圧レベル90 dB条件においては、ホーンスピーカから出力した音源が、遠距離条件(400 m)で聞こえなかった聴取者が多数いたため、実験結果の分析には提示音圧レベル120 dBのデータのみを用いた。図中の「荒浜」が原音条件、「肘曲」が宮城県東松島市肘曲地区のインパルス応答を畳み込んだエ



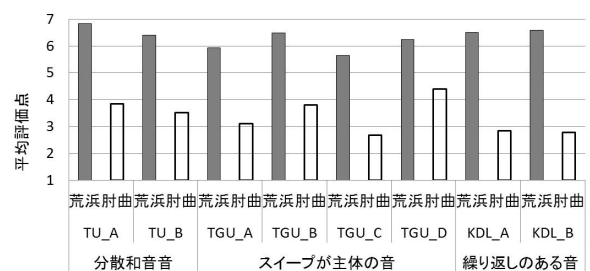
(a) 聴取距離 50 m, 提示音圧 120 dB 条件



(b) 聴取距離 100 m, 提示音圧 120 dB 条件



(c) 聴取距離 200 m, 提示音圧 120 dB 条件



(d) 聴取距離 400 m, 提示音圧 120 dB 条件

図8 聴取距離ごとの聴感実験結果

長距離伝搬に頑健な津波警報候補音の作成

コーあり条件を表す。縦軸は、聴取者全員の平均評価点を表す。

音源（8種類）とエコーの有無（2条件）、聴取距離（4箇所）を被験者内要因として、3要因の分散分析を行った。その結果、音源の主効果 ( $F(7, 98) = 4.99, p < .001$ )、エコー有無の主効果 ( $F(1, 14) = 300.36, p < .001$ )、音源×エコー有無の交互作用 ( $F(7, 98) = 5.29, p < .001$ )、音源×聴取距離の交互作用 ( $F(21, 294) = 4.52, p < .001$ )、音源×エコーの有無×聴取距離の交互作用 ( $F(21, 294) = 3.61, p < .001$ ) に有意差が認められた。

Ryan法 ( $p < .05$ ) による多重比較の結果、聴取点に関係なく、全ての音刺激のエコーあり条件での評価点が、原音の場合と比べて有意に低かった。原音の場合に限って見ると、聴取距離50 mでは、候補音TU\_A, TGU\_D, KDL\_A, KDL\_Bが候補音TU\_Bよりも評価が高く、聴取点100 mでは候補音TU\_Bが他の全ての音源よりも評価が低かった。聴取点200 mでは候補音TU\_A, TGU\_B, KDL\_Bが候補音TU\_Bよりも評価が高く、聴取点400 mでは候補音TU\_Aの評価が一番高かった。即ち、候補音TU\_Bの評価が相対的に低く、候補音TU\_AやTGU\_B, TGU\_D, および候補音KDL\_AとKDL\_Bの評価が全体的に高かった。

エコーあり条件の場合は、聴取距離50 mでは、候補音TU\_AがKDL\_Bより、候補音TU\_BはTGU\_AやKDL\_Bより評価点が高く、聴取距離200 mでは、候補音TU\_AがTGU\_Cよりも評価が高かった。聴取距離400 mでは、候補音TU\_AがTGU\_CやKDL\_A, KDL\_Bより、候補音TGU\_B, TGU\_Dが候補音TU\_B, TGU\_A, TGU\_C, KDL\_A, KDL\_Bよりも評価が有意に高かった。即ち、エコーのある条件では、候補音TGU\_AやTGU\_C, KDL\_Bの評価が全体的に低く、候補音TU\_Aや、TGU\_B, TGU\_Dの評価が相対的に高かった。

聴取距離の単純・単純主効果について多重比較を行った結果、原音条件での候補音TU\_Bと、エコーあり条件での候補音TGU\_B, および候補音TGU\_Dの聴取点400 mでの評価点が、他の聴取距離条件の場合よりも有意に高かった。また、原音条件の場合、候補音TGU\_Bの聴取点200 m, 400 mの評価は、聴取点50 mの場合よりも有意に高かった。

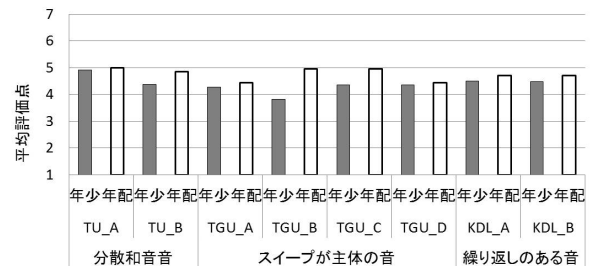
若年者と年配者による聴感への影響を比較するために、大学生及び大学院生を若年者に、50歳以上の聴取者を年配者に分け、それぞれの平均評価点を算出した。各聴取距離ごとの平均評価点を図9に示す。図から、若年者と年配者の平均評価点がほとんどの音源条件において差がないが、スイープ主体の音刺激と警報音TU\_B, KDL\_Aの場合、年配者の評価点が全体的に若干大きい傾向が見取れる。

年齢層（2条件）と音源の種類（8種類）、エコーの有無（2条件）、聴取距離（4箇所）を被験者内要因として、4要因の分散分析を行った。分析の結果、年齢層の主効果に有意差は認められなかった ( $F(1, 13) = 0.27, p = .61$ )。また、年齢×音源種類の交互作用 ( $F(7, 91) = 1.78, p = .10$ )、年齢×エコー有無の交互作用 ( $F(1, 13) = 2.40, p = .15$ )、年齢×聴取距離の交互作用 ( $F(3, 39) = 1.25, p = .30$ ) ともに、有意差が認められなかった。

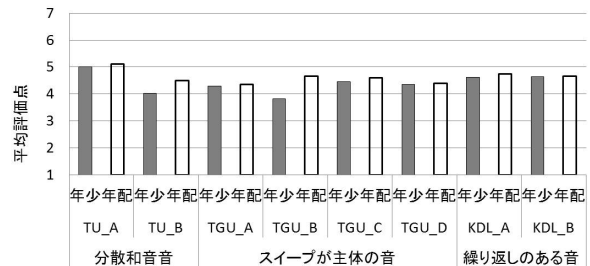
年齢×音源の種類×エコーの有無×聴取距離の交互作用にも、有意差は認められなかった ( $F(21, 273) = 1.35, p < .15$ )。このことから、今回の実験条件の範囲内では、年齢層による聴感上の違いはそれほどなかったと言える。

3.3 考察

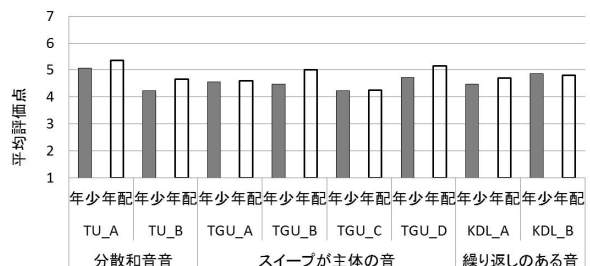
実験の結果、インパルス応答を畳み込んだ場合の聴感評価が、聴取距離に関係なく全体的に低かった。このことから、ロングパスエコーの影響により、提示する候補音の聴感上の印象が変わる可能性が考えられる。津波警報音の開発に当たっては、ロングパスエコーの影響を考慮すべきであることが言えよう。



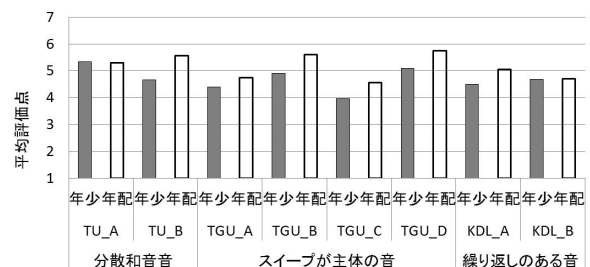
(a) 聴取距離 50 m, 提示音圧 120 dB 条件



(b) 聴取距離 100 m, 提示音圧 120 dB 条件



(c) 聴取距離 200 m, 提示音圧 120 dB 条件



(d) 聴取距離 400 m, 提示音圧 120 dB 条件

図9 年齢層別の聴感実験結果

原音の場合、候補音TU\_Bの評価が低く、候補音TU\_AやTGU\_B, TGU\_D, KDL\_AとKDL\_Bの評価は、相対的に高かった。エコーあり条件の場合は、候補音TGU\_AやTGU\_C, KDL\_Bの評価が全体的に低く、候補音TU\_A, TGU\_B, TGU\_Dの評価は相対的に高かった。同じ分散和音の成分を持ち、かつ音が上昇していくパターンを有する音刺激TU\_Bや、同じスイープ部を持つ音刺激TGU\_AとTGU\_Cの評価点が低いことから、倍音成分を持つことが、ロングパスエコーが存在する環境における警報音の安定した認識につながると考えられる。

聴取距離別にみると、エコーの有無に関係なく、候補音TU\_Bの評価が相対的に低く、候補音TU\_AやTGU\_B, TGU\_Dの評価が相対的に高かった。このことから、スピーカからの聴取距離が、音の認識に影響を与えることが言える。可能性として、長距離伝搬による高周波数域の空気吸収減衰による影響が関連するとも考えられる。また、候補音TGU\_BとTGU\_Dの聴取点400 mにおける評価は、他の聴取点（50, 100, 200 m）よりも高かった。可能性として、候補音TGU\_BとTGU\_Dに高周波成分が含まれていることが評価に影響を及ぼしたのではないかと考えられる。より遠くまで、安定して警報音を伝えるためには、候補音TGU\_BやTGU\_Dのように、より広帯域に成分を持つべきであると考えられる。

今回の屋外聴取実験においては、音源距離やロングパスエコーの有無による年齢層への影響を調べるために、50歳以上の聴取者のグループと若年者のグループの評価値を比較した。予想としては、聴取距離の増加に伴い年長者の評価値が低下すると考えたが、今回の実験の結果からは年齢層による統計的な有意差は認められなかった。今回の実験条件の範囲内（50～400 m）においては、開発した津波警報候補音が聴感上同じ警報音と認識できると考えられる。特に、スイープ主体の音刺激に対しては、年配者が若年者よりも評価点が高い傾向にあった。安定して警報音を伝えるためには、広帯域に成分を持つべきであることが言えよう。ただし、今回の聴取実験においては、年齢層の比較を行ったとはいえ、すべての実験参加者が聴覚的に正常な聴取者であった。緊急性や避難情報を伝える警報音としては、聴覚能力が低下している高齢者に配慮した音の質が重要であり、今後聴覚的に不自由な高齢者をターゲットに更なる検討が必要であると思われる。

なお、一般的な屋外拡声用ホーンスピーカの出力特性の周波数特性は広いものではなく、200 Hz以下及び5 kHz以上ではかなりの減衰を示す。今回使用したホーンスピーカの場合も、200 Hz以下及び5 kHz以上の帯域ではピーク時と比べて20 dB以上の減衰があった（図6参照）。10 kHzを中心に若干のピークが表れるが、基準刺激提示用スピーカの周波数特性（図7参照）と比べると、かなりの減衰幅を持つ。したがって、これらの周波数帯域を含む津波警報候補音の場合には音色が変わってしまい、聴感上意図する警報音として認識されない可能性が考えられた。しかし、実験結果を見る限り、ホーンスピーカの出力特性は今回開発した津波警報候補音の認識にそれほど影響を及ぼさなかったと判断される。

また、今後は、従来用いられてきたスピーカよりも周波数特性の優れたものが使用されることも考えられる。したがって、今回提案する音刺激の200 Hzから5 kHzまでの周波数帯域は、諸条件に適い、また、実用上も問題のない適当なものだと判断する。

#### 4. 印象評価実験

緊張感を表すパラメータを抽出するために、作成した8つの津波警報候補音と、既存の4種類の警報音を用いて、SD (Semantic Differential) 法による印象評価実験を行い、候補音の多次元性を調べた。

##### 4.1 実験方法

実験室にて、25種類の形容詞対を用いて、7段階評価尺度の印象評価実験を行った。実験に用いた形容詞対は、過去の研究[20, 21]を参考に、音色を表現する形容詞（音色表現語）と、音を聞いた際に人が抱く感情を表現する形容詞（感情表現語）の2つのグループから、緊急性を伝えるサイン音の特徴を考慮して選別した。実験に使用した形容詞対を表2に示す。実験においては、評価にバイアスがかからないように、これら25種類の形容詞対の並び順と左右の順番を、ランダムに6種類作成して評価に用いた。

刺激音は、作成した候補音8種類に、NTTドコモが提供しているエリアメールの緊急地震速報専用ブザー音 (Areemail)、NHK緊急地震速報のチャイム音 (Jishin)、映画「サイコ」(1960年)の殺人シーンに使われている背景音 (楽曲名は「The murder」)の一部 (The murder)、和歌山県で使用されているサイレン音(Siren)の計4種類を加え、

表2 実験に用いた形容詞対

音色 表現語	美しい 快い 落ち着いた 金属性の 迫力のある 騒々しい 豊かな 鋭い 柔らかい 明るい 音量感がある あたたかい	汚い 不快な 甲高い 深みのある 物足りない 静かな 貧弱な 鈍い 硬い 暗い 音量感がない 冷たい
	安心する 気が楽になる 腹が立つ その場にいたい 気になる 聞き続けたい 気が抜ける 焦りを感じる いらいらする 眠くなる 注意を引く 緊迫感がある 危険を感じる	不安になる 気が重くなる 気が和む その場にいたくない 気にならない 聞き続けたくない 緊張する ほっとする 落ち着く 目が覚める 注意をそらす 緊迫感がない 危険を感じない



長距離伝搬に頑健な津波警報候補音の作成

12種類を用いた。これは、作成した候補音と、緊急情報を音によって伝えるために広く使われている既存の警報音や、緊張感や恐怖感を伝えている背景音として広く知られている映画の効果音等と比較を行い、緊迫感をもたらす音刺激の特徴を選別・抽出するためであった。

音刺激の長さは、5～10 s程度で、警報音 The murder が 10 s ほどで一番長かった。音刺激の提示条件として、上記の 12 種類の音（原音条件）と、距離減衰を模擬した条件（距離減衰条件）、反射の影響を見るために 150 ms の遅れ時間を付けて重畳して出力するように加工したもの（反射条件）の、計 3 条件を設けた。距離減衰を模擬して作成した刺激は、空気吸収減衰をモデル化したフィルタ [22] をかけ、音圧レベルを 10 dB 下げたものであった。

以上の音刺激計 36 種類を、視聴室内で、聴取者から 1 m 離れた地点に設置したスピーカ (FOSTEX PM0.5 MKII) から提示した。提示音圧レベルは 60 dB であり、聴取者ごとにランダムな順番で提示した。聴取者は、正常な聴覚を有する大学生および大学院生 20 名であった。なお、前述の屋外聴感実験の結果、開発した候補音に対しての年齢層による印象への違いが認められなかったため、本実験では若年者のみを実験対象とした。実験に参加したすべての聴取者は、屋外聴感実験とは異なる聴取者であった。実験においては、20 名の聴取者を 1 回に 2～3 名ずつの 8 グループに分け、ひとつの音刺激を提示した後その都度アンケートを実施した。ひとつの実験は 1 回の休憩 (10 分間) をはさんで 36 試行実施され、計 1 時間程度行った。

4.2 実験結果

25 種類の形容詞対について、因子分析（主因子法、プロマックス回転）を行った。因子の数は、固有値が 1.0 以上と、累積負荷量が 60 % までを基準にして決めた。その結果、3 因子が抽出され、第 1 因子は「緊迫性因子」、第 2 因子は「美的因子」、第 3 因子は「柔らかさ因子」と解釈した。表 3 に抽出された因子の負荷量と寄与率を、表 4 に因子得点の各実験条件の平均値を示す。表中の正の数値は「非常にそう思う」方向であり、負は「まったくそう思わない」方向である。各因子別に、12 種類の音刺激と 3 つの提示条件（原音と距離減衰条件、および反射条件）を被験者内要因として、2 要因の分散分析を行った。

分析の結果、緊迫性因子の場合、音源の主効果 ( $F(11, 209) = 43.40, p < .001$ )、提示条件の主効果 ( $F(2, 38) = 70.70, p < .001$ )、音源 × 提示条件の交互作用 ( $F(22, 418) = 1.71, p < .05$ ) に有意差が認められた。多重比較 (Ryan 法,  $p < .05$ ) の結果、原音条件における候補音 TGU\_B と TGU\_D、KDL\_A および既存の警報音 4 種類の因子得点が、他の刺激音の場合と比べて有意に高かった。反射条件と距離減衰条件の場合も、原音条件の場合と同様に、候補音 TGU\_B と TGU\_D、KDL\_A および既存の警報音 4 種類の因子得点が高かった。距離減衰条件の場合は、候補音 TGU\_B と TGU\_D、KDL\_A に加え、候補音 KDL\_B も既存の警報音と同様の傾向を示し、因子得

表 3 印象評定尺度の因子分析の結果

因子	評定項目	因子負荷量		
		1	2	3
緊迫性因子	迫力のある	0.91	0.19	-0.05
	音量感がある	0.89	0.33	-0.09
	豊かな	0.81	0.37	0.39
	注意を引く	0.67	-0.22	0.01
	目が覚める	0.65	-0.05	-0.18
	気になる	0.65	-0.25	0.04
	緊迫感がある	0.60	-0.24	-0.08
	緊張する	0.60	-0.24	-0.11
	静かな	-0.56	0.13	0.20
	危険を感じる	0.47	-0.43	0.02
ほっとする	-0.46	0.46	0.03	
美的因子	聞き続けたい	-0.04	0.81	0.00
	快い	-0.11	0.74	0.04
	気が楽になる	-0.16	0.72	-0.11
	明るい	0.34	0.68	-0.15
	安心する	-0.28	0.66	-0.03
	その場にいたい	-0.33	0.59	-0.07
	気が和む	-0.03	0.57	0.22
	いらいらする	0.11	-0.53	-0.24
美しい	0.29	0.52	0.19	
柔らかさ因子	柔らかい	0.02	-0.05	0.88
	金属性の	-0.15	-0.02	-0.78
	落ち着いた	-0.26	-0.10	0.71
	鋭い	0.37	0.32	-0.68
あたたかい	0.26	0.34	0.59	
寄与率 (%)		50.83	5.17	4.65

表 4 因子得点の平均値

候補音	提示条件	緊迫性因子	美的因子	柔らかさ因子
TU_A	原音	-0.90	0.88	0.72
	距離減衰	-1.51	0.77	0.99
	反射	-0.52	0.90	0.61
TU_B	原音	-0.97	0.84	0.66
	距離減衰	-1.44	0.62	0.67
	反射	-0.69	0.63	0.24
TGU_A	原音	-0.47	0.16	0.52
	距離減衰	-1.07	-0.15	0.55
	反射	-0.52	0.09	0.55
TGU_B	原音	0.94	-0.45	-1.05
	距離減衰	0.39	-0.25	-0.72
	反射	0.91	-0.24	-1.08
TGU_C	原音	-0.28	0.09	0.48
	距離減衰	-1.19	0.14	0.74
	反射	-0.40	-0.01	0.32
TGU_D	原音	0.93	-0.42	-1.19
	距離減衰	0.21	-0.24	-0.55
	反射	0.82	0.00	-0.80
KDL_A	原音	0.35	-0.10	-0.44
	距離減衰	-0.14	-0.27	0.17
	反射	0.27	-0.24	-0.10
KDL_B	原音	-0.31	0.47	0.81
	距離減衰	-0.39	0.47	0.84
	反射	-0.02	0.25	0.50
Areamail	原音	0.70	-0.46	-0.43
	距離減衰	0.19	-0.61	-0.03
	反射	0.68	-0.46	-0.06
Jishin	原音	0.91	-0.33	-0.38
	距離減衰	0.26	-0.24	0.17
	反射	0.91	-0.17	-0.33
The Murder	原音	0.77	0.02	-0.34
	距離減衰	0.17	-0.29	-0.23
	反射	0.57	-0.10	-0.34
Siren	原音	0.45	-0.42	-0.47
	距離減衰	-0.26	-0.48	-0.28
	反射	0.67	-0.39	-0.74

点が有意に高かった。以上のように、候補音TGU\_BとTGU\_D、KDL\_Aは、反射条件や距離減衰の場合においても原音の場合と同様に緊迫感が一貫して高かったが、これら以外の候補音の場合は、音刺激の提示条件によって緊迫性に関する印象が変わることが明らかとなった。

美的因子の場合は、音源の主効果 ( $F(11, 209) = 21.12, p < .001$ )、提示条件の主効果 ( $F(2, 38) = 11.61, p < .001$ ) が有意となった。多重比較の結果、候補音TU\_AとTU\_Bの因子得点が高く、候補音TGU\_BとTGU\_D、KDL\_Aおよび既存の警報音4種類の因子得点が有意に低かった。

柔らかさ因子の場合においても、音源の主効果 ( $F(11, 209) = 28.53, p < .001$ )、提示条件の主効果 ( $F(2, 38) = 33.75, p < .001$ ) が有意となった。多重比較の結果、候補音TU\_AとTU\_Bに加え、候補音TGU\_AとTGU\_Cの因子得点が高く、候補音TGU\_BとTGU\_D、KDL\_Aおよび既存の警報音4種類の因子得点が有意に低かった。

以上のように、同じ音刺激であっても、反射や距離減衰等、刺激の提示条件が変わる場合、音に対する印象自体も変わり得ることが示された。そこで、全36個の実験条件について、各条件間で似ている評定結果同士をグルーピングするために、因子得点の平均値を元に、クラスタ分析（階層クラスタ分析、Ward法）を行った。図10にデンドログラムを示す。

Ward法を使用するデンドログラム(再調整された距離クラスタ結合)

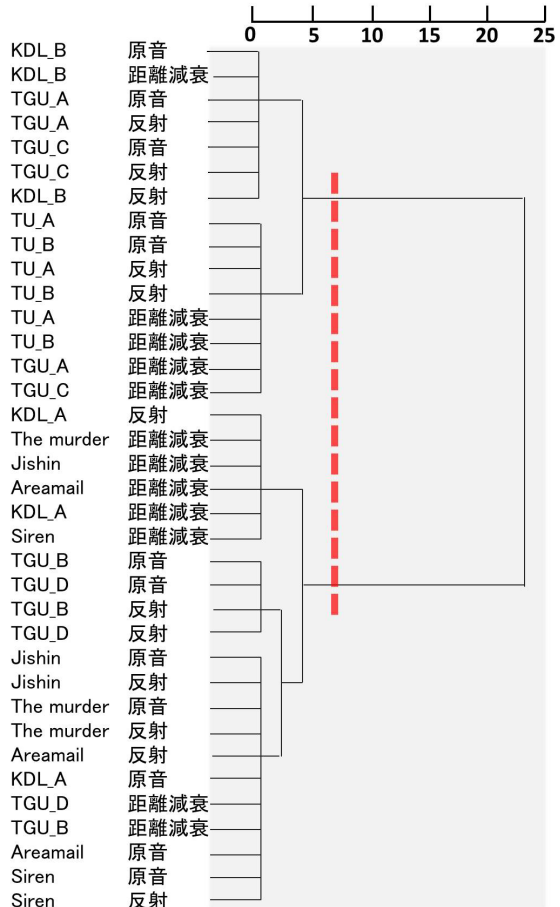


図10 クラスタ分析の結果（デンドログラム）

デンドログラムから、反射や距離減衰等の音刺激の提示条件に関係なく、候補音TGU\_B、TGU\_D及びKDL\_Aと、既存の4つの警報音をひとつのグループに、その他の候補音と提示条件をもう1個のグループに分けられることが分かった（図10の縦の点線の左側参照）。即ち、候補音TGU\_BとTGU\_DおよびKDL\_Aは、反射や距離減衰の場合においても、既存の警報音の場合と同様に、音刺激への印象が変わり難い可能性が示された。

### 4.3 考察

因子分析の結果、先行研究[9-11]と同様に、音刺激への心的印象を3つの因子に集約できることが分かった。先行研究の「迫力因子」は「緊迫性因子」に、「金属性因子」は「柔らかさ因子」に当てはまると言えよう。即ち、既存の警報音の各因子の相関関係から、「適切な緊張感」という感性指標を導き出せる可能性が考えられる。これについては、以下に考察を行う。

実験の結果、音刺激の提示条件に関係なく、候補音TGU\_BとTGU\_D、KDL\_Aの緊迫性因子の得点は、既存の警報音と同様に高かった。また、これら3つの候補音の美的因子の得点は低く、既存の警報音と同様の傾向を示した。緊急情報を伝えるサイン音としては、緊迫性因子の得点が高いほど、美的因子の得点が低いほど、津波警報音としてふさわしいと考えられる。候補音TGU\_BとTGU\_Dの柔らかさ因子の得点は、既存の警報音よりも低かった。これから、この2つの候補音は、既存の警報音よりも甲高く冷たいイメージを強調でき、緊張感をより出すことができるかも知れない。

これら抽出された因子の関係性を見るために、3つの因子間の相関を算出した（表5参照）。表5から、緊迫性因子と美的因子の間に強い負の相関が認められた。美的因子の得点が低いほど、緊迫性因子の得点が高くなることにつながると考えられ、本研究で開発した候補音TGU\_BとTGU\_D、KDL\_Aは、緊迫性を求める観点から、既存の警報音と同様に警報音としてふさわしいと考えられる。即ち、スイープが主体の音に、数倍の倍音成分を加えた音ほど、緊迫性を強調させる可能性のあることを意味する。また、繰り返しのある音ほど、緊迫性の向上に貢献できる可能性が考えられる。

緊迫性因子と柔らかさ因子の間には、相関係数が-0.67と強い相関は認められなかった。本研究で開発した候補音TGU\_BとTGU\_Dの柔らかさ因子の得点は、既存の警報音よりも低く、一見既存の警報音より緊迫感を伝えやすいと考えられたが、柔らかさ因子得点の低下が必ずしも強い緊

表5 因子間相関

	緊迫性因子	美的因子	柔らかさ因子
緊迫性因子	1	-0.75	-0.67
美的因子	-	1	0.68
柔らかさ因子	-	-	1



## 長距離伝搬に頑健な津波警報候補音の作成

迫性をもたらすとは限らない可能性がある。ただし、強い相関は認められなかったものの、相関係数が $-0.67$ と緊迫性因子と柔らかさ因子の間に負の相関があることから、緊急性を伝える候補音としては、適度な柔らかいイメージを含む必要があることが考えられる。即ち、災害時において迅速かつ冷静な行動をとる必要があるとの観点から考えると、必要以上に警報感や恐怖感を与えることは、必ずしも津波警報音としてふさわしいとは言えないかも知れない。

今回の実験においては、心理アンケート手法を用いて緊迫性の有無を調査した。今後は、心拍数や脈拍等、生理データとの比較を行い、更なる検討を行っていきたい。

### 5. 最終候補音の作成

屋外フィールドにて行った聴感実験の結果、候補音TGU\_BとTGU\_Dが、ロングパスエコーの有無によらず、評価値が高かった。室内で行った因子分析の結果からも、候補音TGU\_BとTGU\_Dの緊迫性因子の得点は既存の警報音と同様に高かった。このことから、スイープが主体の音に数倍の倍音成分を加えた音ほど、緊迫感が強まるのみならず、ロングパスエコーが存在する環境においても、安定して認識できることが示された。

また、候補音TGU\_BとTGU\_Dの柔らかさ因子の得点は、既存の警報音よりも低かった。この2つの候補音は、既存の警報音よりも甲高く冷たいイメージを強調でき、緊張感を強調する警報音としてふさわしいと言えよう。一方、災害時において迅速かつ冷静な行動をとるべきであるとの観点から考えると、必要以上の警報感や恐怖感を与える音は、必ずしも津波警報音としてふさわしいとは言えない可能性も考えられる[9-11]。以上の知見を基に、屋外拡声系による長距離伝搬を考慮した津波警報の最終候補音を作成した。

最終候補音(KDL\_C)は、屋外聴取実験と室内で実施した印象評価実験の知見を基に、ロングパスエコーを吸収する定常部と、緊急性を強調するスイープ部で構成される音とした。定常部は、柔らかさ因子の得点が既存の警報音と同じ傾向を示した候補音KDL\_Aの繰り返し成分を取り入れ、和音(Cdim7)を3回繰り返すパターンとした。これは、繰り返し成分を定常部に入れることにより、ロングパスエコーを吸収しつつ緊張感を保つためであった。

スイープ部は、候補音TGU\_BやTGU\_Dと同様の上昇スイープとした。ただし、候補音TGU\_BとTGU\_Dの上昇し続けるパターンを改めて、上昇スイープが0.7 s続いた後、0.3 sの定常区間を経て、最後は0.3 sの下降スイープ部を持つ音とした。これは、スイープ部に和音の不安定性を持たせることにより、危機感を更に強調させる狙いであった。なお、基本となる波形は、440 Hzの正弦波を基準に、正弦波70%、矩形系ノイズが20%、ノコギリ波が10%で合成した。

周波数帯域については、以下のように考えた。屋外聴感評価実験の結果からは、より遠くまで、安定して警報音を伝えるためには、より広帯域に成分を持つべきであるとの結論が

得られた。実際、緊迫性因子の得点が一番高かった候補音TGU\_BやTGU\_Dは、10 kHzまでの広範囲の周波数帯域を含むものであった。人間の可聴域は20 Hz～20 kHzの範囲であるが、一般的には300 Hz～8 kHzの周波数帯域であれば聞こえるとされている[23]。しかし、高齢者や聴覚弱者にも聞きやすい警報音を用いるべきであるとの観点からは、むやみに高周波数帯域の成分を多く含むべきではないことも考えられる。一般的に高齢者は、4 kHz以上の高い周波数の聴力が低下する[14, 4]。総務省が策定した警報サイレンに関する規定[23]や、消防庁における国民保護運用会議資料[24]等によると、警報音選定の基本的な考え方として、要援護者への配慮の観点から聴覚弱者にも聞きやすい警報音を選定すべく、多数の周波数を含んでいることが望ましいとされつつも、特に800 Hzから1 kHzの範囲の周波数を含んでいることが望ましいとされている。これらの知見を総合的に考慮して、最終候補音は、広範囲の周波数成分を有しつつ、4 kHz以下の周波数帯域を強調した音刺激として作成した。作成した候補音KDL\_Cのスペクトログラムを図11に示す。

以上の実験結果と考察を踏まえて、緊迫感を強調しつつ、ロングパスエコーの影響を吸収することが可能な候補音KDL\_C[25]を、長距離伝搬に頑健な津波警報音の最終候補音として決定した。

### 6. まとめ

本研究では、3種類8つの津波警報候補音群を作成し、屋外フィールドにて聴感評価実験を実施して、ロングパスエコーが作成した候補音の認識にどのような影響を与えるかを調べた。また、開発した8つの候補音群と既存の警報音を用いて印象評価実験を実施し、「適切な緊張感」という感性を誘起しうる警報音が具備すべき要件を明らかにした。また、屋外聴感実験と印象評価実験結果を基に、津波警報最終候補音を作成した。

今回の聴取実験においては、年齢層の比較を行ったとはいえず、すべての実験参加者が聴覚的に正常な聴取者であった。

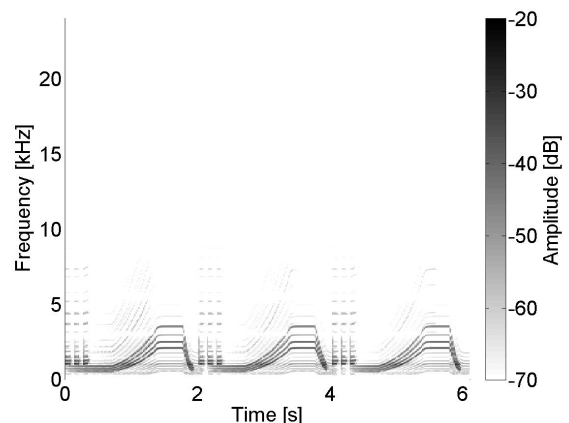


図11 最終候補音KDL\_Cのスペクトログラム

聴覚能力が低下している高齢者に配慮した音の質が重要であり、今後聴覚的に不自由な高齢者をターゲットに更なる検討が必要であると考えられる。また、印象評価実験においては若年者のみを実験対象としたが、類似度の評価と音刺激への印象評価が必ずしも一致するとは言い切れず、高齢者を実験対象とした印象評価実験を実施して若年者の実験結果との比較を行う等、更なる検討が必要であるかも知れない。これも、今後の課題のひとつである。今後は、上記の課題解決に向け検討を進めると同時に、作成した津波警報音の社会実装を行うための努力を進めて行きたいと考えている。

## 謝 辞

本研究の一部は、総務省平成23年度第3次補正予算による「情報通信ネットワークの耐災害性強化のための研究開発」—「多様な通信・放送手段を連携させた多層的な災害情報伝達システム研究開発」の一部として実施されたものである。日頃ご議論いただく本プロジェクト参画者各位に深く感謝する。

## 参 考 文 献

- [1] 東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会(第7回), 内閣府中央防災会議東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会, 2011.
- [2] 総務省電波利用ホームページ, <http://www.tele.soumu.go.jp/j/adm/system/trunk/disaster/change/>
- [3] 東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会(第7回)資料, <http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/higashinohon/7/1.pdf>
- [4] 岩宮眞一郎: サイン音の科学—メッセージを伝える音のデザイン論—, コロナ社, pp.1-7, 2012.
- [5] 増見洋治, 崔正烈, 安倍卓也, 岩谷幸雄, 齋藤文孝, 坂本修一, 鈴木陽一: 津波警報音の空気伝搬特性の聴感評価, 日本音響学会2013年春季研究発表会, 2013.
- [6] 崔正烈, 増見洋治, 岩谷幸雄, 坂本修一, 齋藤文孝, 鈴木陽一: 長距離伝搬サイン音の聴感評価と因子分析による印象評価, 信学技報, 113(134), pp.27-32, 2013.
- [7] 小久保隆: サイン音制作の現場より, 日本音響学会2013年秋季研究発表会, 2013.
- [8] 筒井信介(著), 伊福部達(監修): ゴジラ音楽と緊急地震速報—あの警報チャイムに込められた福祉工学のメッセージ—, 株式会社ヤマハミュージックメディア, 2012.
- [9] 岩宮眞一郎: よくわかる最新音響の基本と応用, 秀和システム, p.92, 2011.
- [10] 難波精一郎: 聴覚ハンドブック, ナカニシヤ, 1984.
- [11] 境久雄: 聴覚と音響心理, コロナ社, 1995.
- [12] J. Edworthy, S. Loxley, I. Dennis: Improving Auditory Warning Design - Relationship between Warning Sound Parameters and Perceived Urgency Human Factors, The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society, 33, pp.205-231, 1991.
- [13] Kuwano Sonoko, Namba Seiichiro, Schick August, Högeo Holger, Fastl Hugo, Filippou Thomas: Florentine Mary: Subjective impression of auditory danger signals in different countries, Acoustical science and technology, 28(5), pp.360-362, 2007.
- [14] 桑野園子: 警告信号音の心理的評価, 騒音制御, 25(1), pp.3-7, 2001.
- [15] 佐伯徹郎, 藤井健生, 山口静馬: 避難誘導音の音響特性と心理評価に関する一考察, 騒音制御, 27, pp.137-144, 2003.
- [16] 岩宮眞一郎, 中嶋としえ: サイン音に和音を用いることの効果の検討, The Japanese journal of ergonomics, 45(6), pp.329-335, 2009.
- [17] 福江一起, 岩宮眞一郎: 分散和音をサイン音に応用する試み—音高変化がサイン音の機能イメージに及ぼす影響—, 音楽音響研究会資料, MA2011-31, 2011.
- [18] 青木弘行, 久保光徳, 鈴木邁, 後藤忠俊, 下畦聡司: 音色イメージを考慮した信号音の操作特性, デザイン学研究, 91, pp.37-44, 1992.
- [19] Y. Iwaya, T. Anbe, Z. Cui and Y. Suzuki: Alert sound design considering musical-chord and frequency-sweep effects, International Congress and Exposition on Noise Control Engineering (INTER-NOISE), 2013.
- [20] 曾根敏夫, 城戸健一, 二村忠元: 音の評価に使われることばの分析, 日本音響学会誌, 18(6), pp.320-326, 1962.
- [21] 安倍幸治, 小澤賢司, 鈴木陽一, 曾根敏夫: 言語による音源情報の予示が環境音の知覚に与える影響, 日本音響学会誌, 55(10), pp.697-706, 1999.
- [22] L. C. Sutherland: Review of experimental data in support of a proposed new method for computing atmospheric absorption losses, DOT-TST, pp.75-87, 1975.
- [23] 総務省「国民保護法, 基本指針におけるサイレンに関する規定」, [http://www.fdma.go.jp/html/intro/form/pdf/kokumin\\_050628\\_s5.pdf](http://www.fdma.go.jp/html/intro/form/pdf/kokumin_050628_s5.pdf)
- [24] 消防庁国民保護運用会議資料, <http://www.hiroi.iii.u-tokyo.ac.jp/index-iinkai-risk-keiho-sairen-02.pdf>
- [25] <http://www.ais.riec.tohoku.ac.jp/tsunami/index-j.html>

## 長距離伝搬に頑健な津波警報候補音の作成

**崔 正烈** (非会員)

2004年九州大学大学院システム情報科学府博士後期課程修了。同年同大学COE研究員・ユーザーサイエンス機構研究員を経て、2009年より東北大学電気通信研究所研究員。現在に至る。人の感性・生理・心理特性に関する研究、人工現実感環境生成法等の研究に従事。電子情報通信学会、日本音響学会、バーチャルリアリティ学会等の会員。博士（工学）。

**増見 洋治** (非会員)

2013年東北大学工学部情報知能システム総合学科卒業。現在、東北大学大学院情報科学研究科博士課程前期2年の過程在学中。音空間の知覚過程に関する研究に従事。

**岩谷 幸雄** (非会員)

東北学院大学工学部教授。博士（情報科学）  
1993年東北大学博士課程前期課程修了。秋田大学助手、講師、東北大学准教授を経て現職。音空間のレンダリングと知覚過程の解明に従事。

**勝本 道哲** (非会員)

1997年東洋大学大学院博士課程終了。同年郵政省通信総合研究所（現・独立行政法人情報通信研究機構）入所。実空間立体音響に関する研究に従事。2010年より現職。日本音響学会、情報処理学会、映像メディア学会、

IEEE Computer Society, ACM各会員、工学博士。

**坂本 修一** (正会員)

1997年東北大学大学院情報科学研究科修士課程修了。同年（株）日立製作所入社。2000年から東北大学電気通信研究所。現在、同所准教授。博士（工学）。単語知覚過程に関する研究に従事するほか、近年ではマルチモーダル感覚情報処理過程に関する研究にも注力。日本音響学会、電子情報通信学会、日本バーチャルリアリティ学会、日本感性工学会等の学会会員。

**鈴木 陽一** (正会員)

1981年東北大工学研究科博士課程修了（工博）。1999年から東北大電気通信研究所教授。3次元音空間知覚やラウドネス等の聴覚情報処理過程とマルチモーダル知覚過程、3次元聴覚ディスプレイの研究に従事。2005年～2007年日本音響学会会長。現在、日本VR学会理事、同学会及び電子情報通信学会、米国音響学会フェロー。著書に音響学入門（コロナ社）など。