

## 防災無線屋外拡声器の音声に対して 降雪や風向及び風量が音声了解度に与える影響

○大澤拓海, 佐々木渉吾, 近藤和弘, 小坂哲夫 (山形大学)

### 1 はじめに

災害時に用いられる防災行政無線の屋外拡声子局は、避難先などを伝える重要な情報伝達手段である。しかし、雪の影響で音の伝達特性が変化するため[1]、正確な情報を聞き取れないことが起こりうる。東北地方のような豪雪地域でも降雪時に音声の情報を正しく聞き取れることが重要である。また、風速も音声の伝搬に影響を与えるパラメータであることは知られている[2]。実際に能登半島地震が起こった際、福井県長橋町では津波警報発令時に防災無線の放送を行ったが、住民の避難が完了したのは警報発令から20分後だった。その時、防災無線の音声の聞き取りが困難だったことが報告されている。

先行研究では、積雪量、降雪量、雪の密度、温度、湿度、風速といった環境パラメータに加え[3]、スピーカーの高さの音声了解度への影響の評価を行っていた[4]。その結果、降雪量が大きく影響していることがわかった。一方、風向を考慮した風量の影響度については明らかになっていない。

以上より、本研究では各パラメータに加え風向を考慮した風速を定量的に測定し、雪が降っていない状態、及び降雪時での風が音声了解度に与える影響を明らかにする。

### 2 降雪時における伝達特性

#### 2.1 インパルス応答測定実験

本研究では屋外での音の伝達特性を取得するためにインパルス応答測定実験を行う。屋外にて測定信号を再生し、録音した音声に対してフーリエ変換を行った後、測定信号の逆特性計算を行い、逆フーリエ変換、雑音低減処理を施し、インパルス応答を取得した。測定信号にはlog-ss信号[5]を用い、雑音低減処理には10回の同期加算と帯域別切り出しを行った。

#### 2.2 インパルス応答測定環境

インパルス応答測定実験は、屋外でできる限り周囲に建物が少なく静かな場所で行うため、山形大学工学部グラウンドで測定した。

再生用と録音用の2台のPCを使用し、スピーカーとマイクロホンは地表から1.5mの高さに設置した。マイクロホンはスピーカーから40m~100mの位置に20m刻みで設置した。Fig. 1とFig. 2にそれぞれ距離60m地点で実際に測定した雪が降っていない状態(以下、無雪時と呼ぶ)と降雪時の周波数特性を示す。この時降雪量は33mm/h、積雪量88mmである。この結果より降雪時では中音域のパワーが低下していることが分かる。これは雪の吸音性によるもので、降雪時では人の喋り声が聞こえづらくなることが分かる。

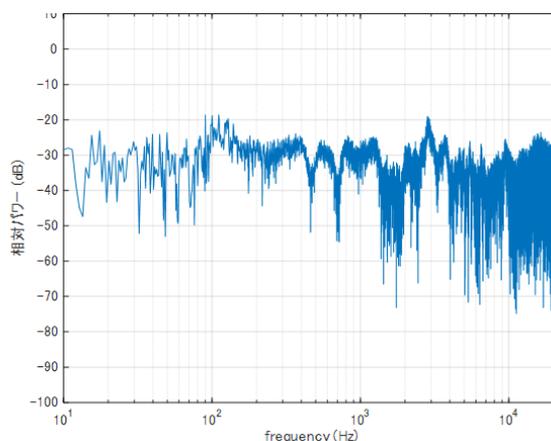


Fig. 1 無雪時の周波数特性

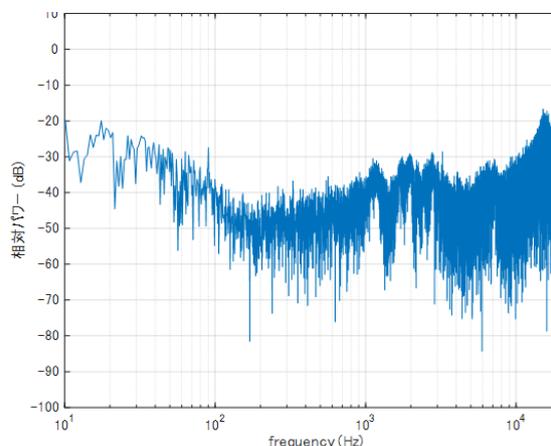


Fig. 2 降雪時の周波数特性

### 2.3 環境パラメータの測定方法

本研究では、積雪量、降雪量、密度、温度、湿度、風速、風向の測定を簡易的な手法で行った。積雪量は測定地点付近で積雪の高さを測定した。降雪量は測定地点で1時間あたりに積もった高さ測定した。密度は体積が既知の容器に雪を摺り切りいっぱい入れ、質量を測定した。温度、湿度は測定実験毎に温湿度計で測定した。風速、風向は測定実験毎に測定信号を流している間の値を測定した。この時、スピーカーが向いている方向を基準として0°とし、測定した風速値を基準方向へ射影した値を風量として算出した。

Table 1 に無雪時、Table 2 に降雪時に実際に測定した環境パラメータの結果を示す。この各環境パラメータと音声了解度との関係进行分析し、その相関を求める。

Table 1 無雪時の環境パラメータの測定結果 (降雪量: 0 mm/h)

距離_回数	後方からの風(m/s)	湿度 (%)	気温 (°C)
40m_1	0	46	22
40m_2	0.9	47	21.7
40m_3	4.3	57	16.2
60m_1	0.9	36	18.1
60m_2	1.2	46	21.3
60m_3	1.2	51	26
80m_1	1.6	30.4	17.8
80m_2	2.1	32	27.7
80m_3	3.2	51	28
100m_1	1.1	30	17.5
100m_2	2.8	52	17.5
100m_3	3.5	54	26

Table 2 降雪時の環境パラメータの測定結果 (降雪量: 33 mm/h)

距離_回数	後方からの風(m/s)	湿度 (%)	気温 (°C)
40m_1	2.53	47	1.1
40m_2	0	65	1.9
60m_1	0	50	3.5
60m_2	0.92	72	1.2
80m_1	5.08	74	0.5
80m_2	0.92	76	0.3
100m_1	0.57	61	4
100m_2	0.83	60	3.8

### 3 主観評価について

本研究では音声了解度の主観評価方法に日本語版 DRT 試験を用いた。日本語版 DRT 試験とは日本語について語頭子音を 6 特徴に分類し、その語頭子音のみ異なる単語対のうち 1 単語を被験者に聴取させ、単語対のどちらの音声が聞こえたかを選択させる了解度試験法である[6]。今回実施した試験では被験者として 20 代の健聴者 5 名を対象として行った。評価音声には日本語版 DRT 試験の 60 単語対の合計 120 単語、距離 40 m、60 m、80 m、100 m、各距離について測定回数 2 回の合計 2400 音声を用いた。

### 4 主観評価結果

#### 4.1 距離別の主観評価結果

Fig. 3 に無雪時と降雪時の各距離ごとの音声了解度の評価結果を示す (無雪時のプロットが各距離 3 点ずつ、降雪時のプロットが各距離 2 点ずつあるが、これは単純に測定回数毎の値であることにご留意いただきたい)。

無雪時には、距離が延びることによって音声了解度は合計 5 %ほど減少する。また、100 m 地点であっても約 90 %の了解度が得られていることから、無雪時の音声については少なくとも距離 100 m までは了解度を改善する必要がないと考えられる。つぎに降雪時について、距離が延びることによって音声了解度が合計 15~30 %ほど減少しており、距離 80 m~100 m にかけて了解度が大幅に減少する。これは、降雪によって伝搬する音が吸音されているからと予想され、伝搬距離が延びることによってその影響が顕著に増加すると考えられる。一方、同一各距離における了解度の差については測定時の環境パラメータの違いにより得られた可能性がある。

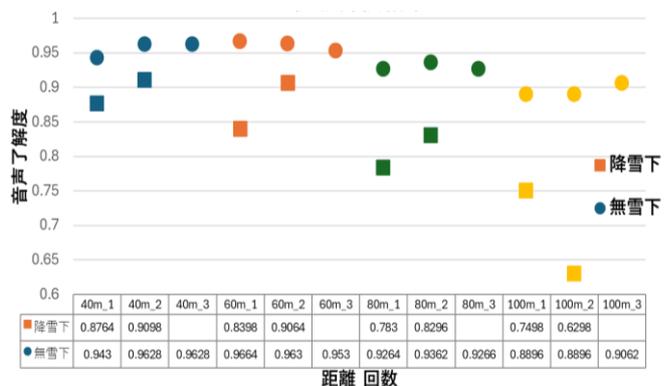


Fig. 3 主観評価結果

### 4.2 環境パラメータとの相関

Table 3 に各環境パラメータとの相関係数を示す。この結果より、無雪時と降雪時ともに強い相関はみられなかった。降雪時における気温との相関について、ある程度強い負の相関がみられたが、降雪時のこれらの少数の測定では気温差が小さかったため必ずしも気温の影響を反映しているとは言えない。風量のパラメータについても現時点では顕著な傾向は得られなかった。これは他のパラメータも同様であり、了解度に影響を与えるほど大きな差を伴うパラメータが測定点に含まれないため、相関値に反映されなかった可能性がある。今後は各パラメータ間に十分な差が観測される測定点を収集する必要がある。

### 4.3 子音特徴別の音声了解度

Table 4 に日本語版 DRT 試験に用いる単語の語頭子音の子音属性とその特徴について示す。この6つの特徴毎の音声了解度を評価することで、特に劣化の大きい特徴を改善する方法を検討していく。また、Table 5 はそれぞれの子音特徴別の単語対の表である。

Fig. 4、Fig. 5 にそれぞれ無雪時、降雪時における子音特徴別の音声了解度の評価結果を示す。この結果より、無雪時では継続性と抑音性の特徴の了解度が他の子音特徴と比較して距離を追うごとに下がる傾向があり、100 m 地点ではともに約 77% まで了解度が減少

Table 3 各環境パラメータと音声了解度の相関係数

	相関係数		
	気温	湿度	風量
無雪時	0.01	0.14	-0.26
降雪時	-0.53	-0.01	-0.1

Table 4 子音属性とその特徴

属性	特徴
有声性 (Voicing)	声帯の振動を伴う有声音と振動を伴わない無声音の分類
鼻音性 (Nasality)	主として鼻腔から呼気を出す音とそうではない口音の分類
継続性 (Sustention)	音の始まりが緩やかな狭窄音と急な閉鎖音の分類
不規則性 (Sibilation)	不規則な波形の粗擦音とそうではない円熟音の分類
抑音性 (Graveness)	スペクトル上のエネルギーが低周波数に集中する抑音と高周波数に集中する鋭音の分類
集中性 (Compactness)	スペクトル上のエネルギーが1つのフォルマント周波数に集中するか、分散するかの分類

Table 5 日本語版 DRT 試験の子音特徴別の単語対

有声性 (Voicing)	鼻音性 (Nasality)	継続性 (Sustention)	不規則性 (Sibilation)	抑音性 (Graveness)	集中性 (Compactness)
財(サイ) - オ(サイ)	万(マン) - 番(バン)	箸(ハシ) - 菓子(カシ)	ジャム(ジャム) - ガム(ガム)	柺(ワク) - 楽(ラク)	焼(ヤク) - 沸(ワク)
抱(ダク) - 炊(タク)	無い(ナイ) - 台(ダイ)	旗(ハタ) - 型(カタ)	着(チャク) - 角(カク)	パイ(パイ) - 鯛(タイ)	貝(カイ) - パイ(パイ)
議事(ギジ) - 記事(キジ)	ミス(ミス) - ビス(ビス)	私利(シリ) - 地理(チリ)	式(シキ) - 引き(ヒキ)	見栄(ミエ) - 煮え(ニエ)	銀(ギン) - 瓶(ビン)
銀(ギン) - 金(キン)	見る(ミル) - ビル(ビル)	昼(ヒル) - 着る(キル)	知事(チジ) - 記事(キジ)	ミス(ミス) - ニス(ニス)	気障(キザ) - ピザ(ピザ)
髓(ズイ) - 粹(スイ)	無理(ムリ) - 鱈(ブリ)	好き(スキ) - 月(ツキ)	中(チュウ) - 空(クウ)	剥く(ムク) - 抜く(ヌク)	黒(クロ) - プロ(プロ)
寓(グー) - 食う(クウ)	無視(ムシ) - 武士(ブシ)	砂(スナ) - 綱(ツナ)	純(ジュン) - 群(グン)	無視(ムシ) - 主(ヌシ)	夕(ユウ) - ルー(ルー)
税(ゼイ) - 生(セイ)	面(メン) - 弁(ベン)	変(ヘン) - 剣(ケン)	シエア(シエア) - ヘア(ヘア)	面(メン) - 年(ネン)	弦(ゲン) - 弁(ベン)
出刃(デバ) - 手羽(テバ)	練る(ネル) - 出る(デル)	縁(ヘリ) - 蹴り(ケリ)	シェル(シェル) - 経る(ヘル)	ペン(ペン) - 天(テン)	剣(ケン) - ペン(ペン)
象(ゾー) - 僧(ゾウ)	門(モン) - 盆(ボン)	星(ホシ) - 腰(コシ)	条(ジョウ) - 号(ゴウ)	毛(モウ) - 脳(ノウ)	語気(ゴキ) - 簿記(ボキ)
誤字(ゴジ) - 孤児(コジ)	野良(ノラ) - 銅鑼(ドラ)	掘る(ホル) - 凝る(コル)	所持(ショジ) - 保持(ホジ)	ポロ(ポロ) - とろ(トロ)	余暇(ヨカ) - ろ過(ロカ)

している。降雪時でも同様に継続性と抑音性の特徴について他の子音特徴と比較すると了解度が著しく低下する傾向があり、100 m 地点では、継続性の特徴の了解度は約 47 %、抑音性の特徴の了解度は約 54 %まで低下している。

また、Fig. 4 と Fig. 5 を比較すると降雪時にはすべての子音特徴で無雪時より音声了解度が低下し、なかでも継続性、抑音性の特徴については距離を追うごとにその差は大きくなり、40 m 地点では約 10 %だった差が、100 m 地点では約 20~30%までになった。そして集中性の特徴についても降雪時ではその了解度が 80 m 地点から大幅に下がり、無雪時と比較すると 100 m 地点ではその差が約 25 %程となった。これは、空気伝搬ないしは降雪による吸音性により、特に摩擦音のエネルギーが減衰し、判別が難しくなったことや、調音位置の違いによるスペクトル上のピークが見えづらくなっていることが考えられる。これらの課題を改善する方法として、スペクトログラムやスペクトルを定量的に分析し、摩擦音の強調フィルタやスペクトルのピークの強調フィルタの設計を検討していく。

## 5 まとめ

本研究では降雪の有無や風向及び風量が音声了解度に与える影響を分析し評価した。その結果、降雪の有無による音声了解度の影響は確認され、その了解度の差は距離が延びるごとに大きくなっていくことが分かった。また、同距離での測定結果において了解度に違いがある原因として各環境パラメータの影響を相関係数から分析したが、どのパラメータについても影響はみられなかった。

また、日本語の子音特徴についてその特徴別に無雪時と降雪時のそれぞれで音声了解度を評価した。結果として、無雪時と降雪時ともに継続性と抑音性の子音特徴について他の特徴と比べて了解度が低い傾向があるが、降雪の有無によるその了解度の差は、距離を追うごとに大きくなった。また、降雪時では集中性の特徴についても 80 m 地点から了解度が低下し 100 m 地点ではその了解度は約 65 %となった。

これらの結果から今後の展望として、無雪環境にてインパルス応答測定を行い、降雪を考慮しない各環境パラメータと音声了解度の相関を明らかにしたい。そのためにデータ数を増やすことは必須である。また、日本語の

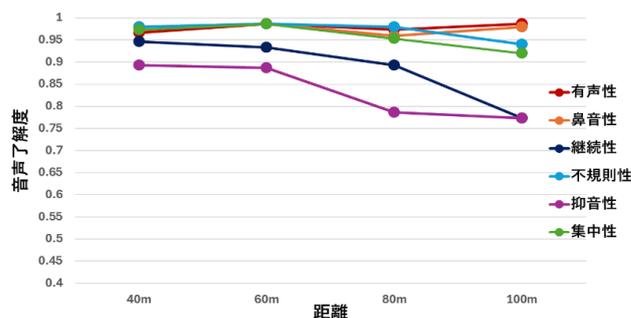


Fig. 4 無雪時における子音特徴別音声了解度

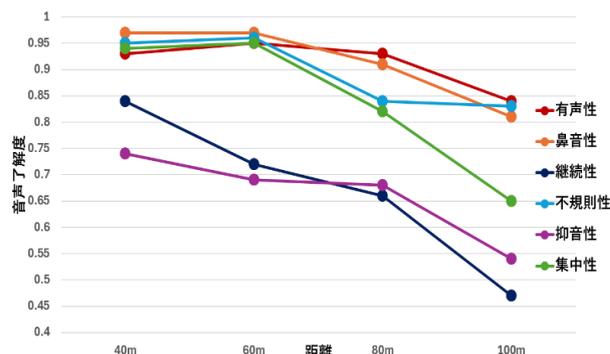


Fig. 5 降雪時における子音特徴別音声了解度

子音特徴について降雪時に著しく音声了解度が低下した継続性と抑音性の特徴について、その特徴のスペクトログラムやスペクトルを分析し、劣化した部分を補償できるようなフィルタの設計を行っていきたい。

## 参考文献

- [1] 岩瀬, “積雪面上における音響伝搬特性”, 騒音制御, Vol. 21, No.3, pp.148-151, 1997.
- [2] 吉久, “騒音伝搬に対する風の影響”, 騒音制御, Vol.14, No.1, p.13~17, 1990.
- [3] 丸山, 近藤, “雪が音声了解度に与える影響—風速、温度、湿度の影響—”, 東北地区若手研究者研究発表会, 2021.
- [4] 佐々木, 近藤, “雪が音声了解度に与える影響—再生音源の高さ依存性の検討—”, 東北地区若手研究者研究発表会, 2023.
- [5] 藤本, 「低域バンドでの SN 比改善を目的とした TSP 信号に関する検討 -高調波歪の除去-」, 音響誌, pp. 555-556, 2000.3
- [6] 近藤, 泉, 藤森, 加賀, 中川, 「二者択一型日本語音声了解度試験方法の検討」, 音響誌, Vol. 63, No. 4, pp. 196-205, 2007