

令和 4 年 6 月 3 日現在

機関番号：32644

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2021

課題番号：18K04666

研究課題名（和文）音声の生成・知覚メカニズムを応用した公共空間で明瞭な非常用音声案内の作成

研究課題名（英文）Developing intelligible public address announcements in emergencies based on speech production and perception

研究代表者

程島 奈緒（Hodoshima, Nao）

東海大学・情報通信学部・准教授

研究者番号：40453609

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,000,000円

研究成果の概要（和文）：駅や空港など残響過多な公共空間で、災害時に明瞭な避難用音声の作成が最終目的である。人の発話は周囲の音環境や発話者の意図により変化する現象を応用し、公共空間の残響をモニタしながら発話した音声（提案法1）・緊迫感を意図して発話した音声（提案法2）を録音し、公共空間を模擬した残響を付加して聴取実験及び音響分析を行った。両提案法の方が、従来の音声よりも若年者と高齢者ともに明瞭となる話者・聴取条件を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

駅・空港・大型商業施設などの屋内では、残響過多で災害時の緊急放送が不明瞭となる。残響は若年者よりも高齢者や非母語話者の音声明瞭度を低下させるため、我が国の超高齢化社会と在留・訪日外国人の増加に及ぼす影響は大きい。本研究結果を受けて、公共空間の音声案内を提案法で録音・合成した音声を用いる、もしくは緊急放送・誘導のための音声ガイドラインの作成により、災害時により多くの人に適切な情報伝達が可能になることが考えられる。

研究成果の概要（英文）：This study aims to develop intelligible public address announcements in reverberant public spaces such as train stations and airports. Since people modify the way they speak in challenging acoustic environments and by speakers' intentions, this study proposed two speech modification approaches; speech spoken in the presence of reverberation and speech spoken in urgent style. Listening tests and acoustical analyses were conducted in reverberant environments simulating public spaces. Both proposed approaches were more intelligible than normally spoken speech for younger and older adults under the specific speaker and listening conditions.

研究分野：音声処理

キーワード：音声 音声生成 音声知覚 明瞭度 残響 公共空間 高齢者 非母語話者

1. 研究開始当初の背景

駅や空港などの公共空間は、室容積や内装の材質により残響過多のため、音声案内が不明瞭なことがある。残響は若年者よりも高齢者や非母語話者の聞きとりを低下させる【1】ため、我が国の超高齢化社会や在日・訪日外国人数の増加を受け、災害時に明瞭な音声案内の提供が急務である。公共空間で音声の明瞭化をする場合、建築的な手法(吸音材など)や電気音響的な手法(スピーカアレイなど)が用いられているが、大きなコストと改修工事が必要となる。

人は発話中に自発話や周囲の音をモニタしながら、聞き手に伝わるように話し方を調整する。雑音環境下での発話は静かな環境での発話と比べて、雑音環境下で聞くと明瞭になる【2】。また、残響環境下での発話(残響をモニタしながらの発話)でも残響環境下で聞くと同様に明瞭になる【3,4】。さらに、音声明瞭度は話者の意図でも変化し、緊迫感を意図して発話した音声の方が、通常に発話した音声よりも残響環境下で明瞭になる【5】。先行研究【3-5】では、明瞭度は話者により変化したが、使用話者・聴取条件が少なく、これらの発話が有効な範囲は明らかではない。

2. 研究の目的

最終目的は、駅や空港など残響過多な公共空間で、音声自体を加工して公共空間のスピーカから拡声することにより、災害時に明瞭な避難用音声を作成することである。本研究の目的は、残響をモニタしながらの発話(提案法1)・緊迫感を意図した発話(提案法2)に対して、話者によらない音響的な特徴量があるか明らかにすること、明瞭になる残響条件・聴取者群(若年者・高齢者)を明らかにすることである。

3. 研究の方法

話者の音声を、静かな環境で通常発話(従来法)・公共空間の残響をモニタしながらの発話(提案法1)・緊迫感を意図した発話(提案法2)の環境で録音した。発話内容は、親密度を統制した単語を文章内に挿入したものである。提案法1では、モニタする残響音の音圧レベルや残響時間を各数種用いた。録音音声の音響分析を行い、音響的な特徴量(音圧レベル、時間長、基本周波数など)を話者毎に算出した。

録音音声に雑音や残響(公共空間の残響時間を参考に、2~4秒の範囲で数種類作成)を加え、公共空間での音声聴取を模擬した刺激音を作成した。刺激音を若年者や高齢者に聴取させ、単語の正解率を得る実験を行った。

4. 研究成果

提案法1

提案法で音声作成する際、モニタする雑音に含まれる音声の基本周波数と話者の基本周波数の違いが、音響的特徴や明瞭度を変化させるか調査した。話者4名(男性M1, M2, 女性FM1, FM2)が静音下(Q)・提案法1(MR: 男性の音声から作成したバブルノイズ・残響下, FMR: 女性の音声から作成したバブルノイズ・残響下)の計3条件で発話した音声の音響分析を行った。その結果、時間長は静音下と比べ提案法1の方が長くなり、さらに男性話者ではFMRの方がMRよりも・女性話者ではMRの方がFMRよりも長くなった。基本周波数は静音下での発話と比べ提案法1の方が高くなり、さらに男性話者ではFMRの方がMRよりも・女性話者ではMRの方がFMRよりも高くなった。以上より、提案法1の方が時間長は長く、基本周波数は高くなり、それらの変化量は話者の基本周波数と雑音の基本周波数が離れた方が大きく変化することが示された。つまり、話者は雑音の周波数帯域を避けるように発話することが分かった。

続いて、上記の音声をバブルノイズ[MR・FMRの信号対雑音比(SN比)5dB]・残響下(残響時間3.6s)で若年者24名が聴取する実験を行った。その結果を図1に示す。明瞭度は、発話条件はMRの方が、静音下・FMRよりも有意に高くなり、聴取条件は女性雑音の方が男性雑音よりも有意に高くなった。提案法1の明瞭度と基本周波数との間に相関はみられなかった。以上より、公共空間で提案法1を実装する際は、公共空間の雑音に応じて明瞭度が変わる可能性があり、適切な話者を選択することで明瞭度の高い音声を作成できる可能性がある。

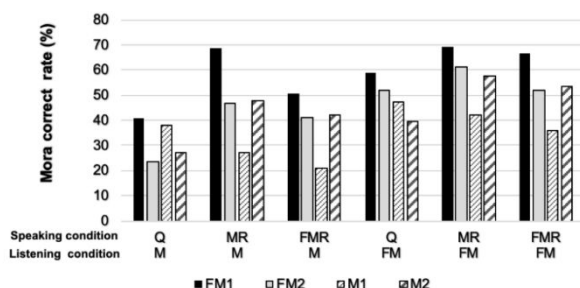


図1 提案法1で雑音と話者の基本周波数を変数とした明瞭度試験の結果【6】

次に、残響の質によって提案法 1 の明瞭度が変化するか調査した。話者 4 名（男性 M1,M2、女性 FM1,FM2）が静音下 Q・提案法 1 で発話した音声を、残響下（残響時間 2.2 s）で若年者 16 名が聴取する実験を行った。提案法 1 でモニタする残響は、残響時間は同じで D 値（音声明瞭性を示す室内音響指標の一つであり、値が小さいと明瞭度が低くなる）の異なる 3 種類（表 1）を用意した。その結果を図 2 に示す。D 値が低い条件である R,RA 条件で提案法 1 の方が静音下の発話より明瞭度が有意に高くなった。以上より、直接音が届きにくいような聞き取りづらい環境では、提案法の効果がより得られる可能性が示唆された。

表 1 D 値の異なる残響条件[7]

発話条件	使用したインパルス応答	D 値[%]
Q (静音下)		
R (残響下)		48
RS (残響下)	R の 1k Hz-2k Hz の帯域の振幅を 1.5 倍にしたもの	52
RA (残響下)	R の直接音から 50 ms 以内をカットしたもの	22

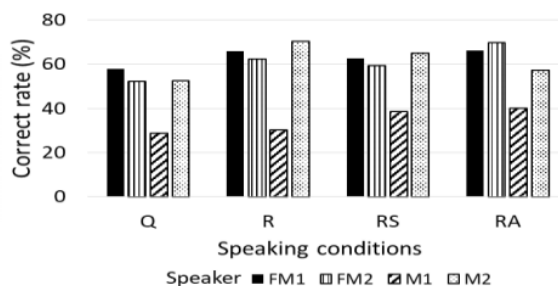


図 2 提案法 1 で D 値を変数とした明瞭度試験の結果[7]

先の残響下での聴取時において、どのような要因が明瞭度向上に繋がったのかを調査するために、明瞭度試験の結果から発話条件と話者条件別の異聴分析を行った。その結果を表 2 に示す。異聴率が高かった音素は、女性話者で/g, b, h/がそれぞれ 42%、44%、36%、男性話者で/b, h/がそれぞれ 38%、41%であった。静音下の発話と比較した提案法 1 の発話の異聴率は、/g, h/では残響下 3 条件で約 5~7%低下し、/h/では条件 R で 20%・条件 RA で 15%低下、/s, /r/では条件 R と RA は 9%・条件 RS は 11%低下、/n, z, dz/では残響下 3 条件で約 15~20%低下した。提案法により異聴率が低減することが明らかになった。

表 2 提案法 1 の発話条件別・音素毎の異聴率[8]

	条件Q	条件R	条件RS	条件RA
k	23(45)	26(34)	23(35)	24(37)
t	35(67)	23(50)	27(46)	31(48)
g	42(67)	35(63)	40(63)	35(56)
d	25(55)	30(55)	20(40)	25(35)
b	33(58)	46(75)	38(63)	46(75)
n	28(61)	28(40)	30(48)	24(46)
m	28(54)	21(42)	30(51)	26(38)
s/ʃ	26(39)	17(31)	15(28)	17(25)
h	44(67)	33(56)	38(56)	40(56)
z/dz	31(59)	22(34)	25(41)	25(38)
ts	12(29)	18(29)	12(25)	12(18)
r	23(50)	23(43)	27(42)	27(43)
j	27(44)	10(38)	12(38)	25(44)
w	35(60)	20(45)	35(50)	40(60)

音声生成の観点からどのような要因が明瞭度の向上に寄与したのかを調査するために、話者 6 名（男女各 3 名）が静音下・提案法 1 で発話した音声の音響分析を行った。発話環境は静音下、明瞭度が向上した残響下 2 条件（先の条件 R, RA）、D 値が 63%の条件 RP の計 4 条件である。その結果、女性話者の平均では残響下の発話においてターゲット長、基本周波数、第一フォルマント周波数、第二フォルマント周波数が静音下と比較して上昇した。また男性話者の平均ではターゲット長、発話レベル、基本周波数、第二フォルマント周波数が静音下と比較して上昇した。全話者で共通の音響的特徴の変化は確認されなかったことから、残響下の発話における音響的特徴の変化は話者によって異なると考えられる。

次に、話速が提案法 1 の明瞭度に与える影響を調査した。話者 4 名（男性 M1,M2、女性 FM1,FM2）が静音下（Q）・提案法 1（R、残響時間 3.6 s）で発話し、その音声の話速を 0.7 倍（QS と RS）と 1.2 倍（QF と RF）に変更して残響下（残響時間 3.6 s）で若年者 18 名が聴取する実験を行った。その結果を図 3 に示す。明瞭度は、提案法 1 の方が静音下の発話より有意に高く、発話が遅くなる方が有意に高く、女性話者よりも男性話者の方が有意に高くなった。以上より、提案法 1 の明瞭度は話者の性別と話速によって変化し、提案法 1 を公共空間に実装する際は音声案内の話速を通常よりも遅くすることで明瞭な音声になる可能性が示唆された。

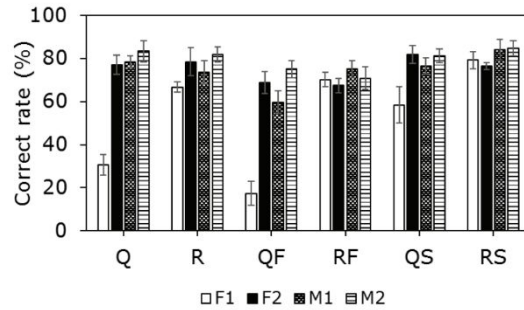


図3 提案法1で話速を変数とした明瞭度試験の結果[9]

提案法2

プロの声優4名(男女各2名)が、通常の発話・提案法2の発話をし、雑音(SN比10dBのバブルノイズ)・残響下(残響時間2.0s)で若年者32名が聴取する実験を行った。その結果、通常の発話の方が提案法2よりも明瞭度が有意に高くなり、話者の性別間では明瞭度に差はみられなかった。音響分析の結果から、発話条件間の話速や基本周波数は話者により異なった。オーバーな演技をした発話では明瞭度が逆に低下することが明らかになった。

提案法2の明瞭度および緊迫感が発話トレーニングによって上昇するかを調査した。発話訓練経験がない学生1名が、通常の発話・発話トレーニング(腹式呼吸法、発声練習、ニュース原稿の読み込みなど)後に提案法2の発話をし、雑音(SN比10dBのバブルノイズ)・残響下(残響時間1.5s)で若年者18名が聴取する実験を行った。その結果、発話トレーニング後の提案法2の方が通常の発話より緊迫感の評価は有意に高くなったが、明瞭度が有意に低下した。話者を増やして引き続き調査を行う必要があるが、公共空間で提案法を実装する際には、明瞭かつ緊迫感が高くなる音声が生産できるようなガイドラインの作成が課題である。

文字情報が提案法2の明瞭度に与える影響を調査した。演技経験のある話者1名が通常の発話(Normal)・提案法2の発話(Urgent)に、文字情報[提示なし(No text)、ターゲット語と一致(Congruent text)、ターゲット語と不一致(Incongruent text)]を先行させ、雑音(SN比10dBのバブルノイズ)・残響(残響時間2s)下で若年者(YA)18名と高齢者(OA)24名が聴取する実験を行った。その結果を図4に示す。明瞭度は提案法2の方が通常の発話よりも有意に高く、若年者の方が高齢者よりも有意に高く、音声・文字が一致した方が不一致/文字情報なし条件よりも有意に高くなった。高齢者では、音声・文字が不一致の条件で若年者との差が顕著であった。音響分析の結果から、提案法2の方が通常の発話よりも話速・基本周波数ともに上昇した。以上より、文字情報が提案法2の明瞭度に影響を与え、文字と音声情報が一致する場合に比べ、実際の災害現場のように文字と音声情報が一致しない場合は明瞭度が低下する可能性が示された。

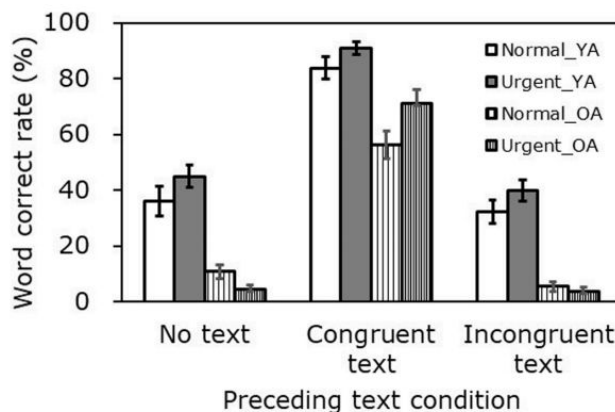


図4 提案法2で先行する文字情報を変数とした明瞭度試験の結果[10]

参考文献

- [1] Nablek and Robinson, "Monaural and binaural speech perception in reverberation for listeners of various ages" J. Acoust. Soc. Am., 71, 1242-1248, 1982.
- [2] Lane and Tranel, "The Lombard sign and the role of hearing in speech" J. Speech Hear. Res., 14, 677-709, 1971.
- [3] Hodoshima et al., "Intelligibility of speech spoken in noise/reverberation for older adults in reverberant environments" Proc. Interspeech, 2012.

- [4] Hodoshima *et al.*, “**Lombard-like effect against reverberation improves speech intelligibility in reverberation**” Proc. Western Pacific Acoustics Conference, 93-97, 2015.
- [5] Hodoshima, “Effects of urgent speech and preceding sounds on speech intelligibility in noisy and reverberant environments” Proc. Interspeech, 2016.
- [6] 小松, 程島, “**Lombard** 効果に応用した雑音・残響下の明瞭な音声の作成 話者の性別・発話環境による比較 ” 日本音響学会秋季研究発表会講演論文集, 747-748, 2021.
- [7] 神林, 程島, “ 時間・周波数特性が異なる残響下での発話音声の明瞭度に与える影響” 日本音響学会聴覚研究会資料, 48(7), 671-675, 2018.
- [8] 神林, 程島, “**Lombard** 効果に応用した残響下の発話音声に対する語音異聴分析” 日本音響学会秋季研究発表会講演論文集, 761-762, 2019.
- [9] Hodoshima, “**Reverberation-induced speech improves intelligibility in reverberation: Effects of taker gender and speaking rate**” Proc. International Congress on Acoustics, 6225-6229, 2019.
- [10] Hodoshima, “Effects of urgent speech and congruent/incongruent text on speech intelligibility for older adults in the presence of noise and reverberation” *Speech Communication*, 134, 12-19, 2021.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Kambayashi, C., and Hodoshima, N.	4. 巻 41(1),
2. 論文標題 Improving intelligibility of speech spoken under reverberant environment conditions: Effect of reverberation frequency characteristics on speech intelligibility	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Acoustical Science and Technology	6. 最初と最後の頁 418-419
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1250/ast.41.418	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Hodoshima, N.	4. 巻 -
2. 論文標題 Effects of Urgent Speech and Congruent/Incongruent Text on Speech Intelligibility in Noise and Reverberation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proc. Interspeech 2019	6. 最初と最後の頁 3113-3117
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.21437/interspeech.2019-1902	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Hodoshima, N.	4. 巻 -
2. 論文標題 Reverberation-induced speech improves intelligibility in reverberation: Effects of taker gender and speaking rate	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of the ICA 2019 and EAA Euroregio : 23rd International Congress on Acoustics	6. 最初と最後の頁 6225-6229
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.18154/RWTH-CONV-239923	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Hodoshima, N.	4. 巻 134
2. 論文標題 Effects of urgent speech and congruent/incongruent text on speech intelligibility for older adults in the presence of noise and reverberation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Speech Communication	6. 最初と最後の頁 12-19
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.specom.2021.08.001	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 神林千尋, 程島奈緒
2. 発表標題 Lombard効果を応用した残響下の発話音声に対する語音異聴分析
3. 学会等名 日本音響学会秋季研究発表会講演論文集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kambayashi, C and Hodoshima, N.
2. 発表標題 Improving intelligibility of speech spoken under reverberant environment conditions: effect of reverberation frequency characteristics on speech intelligibility
3. 学会等名 Proc. International Symposium on Universal Acoustical Communication 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 神林千尋, 程島奈緒
2. 発表標題 時間・周波数特性が異なる残響下での発話音声の明瞭度に与える影響
3. 学会等名 日本音響学会聴覚研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hodoshima, N.
2. 発表標題 The importance of intelligible speech in public spaces
3. 学会等名 Proc. The 3rd Japan-Taiwan Symposium on Psychological and physiological Acoustics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------