単音節明瞭度試験法による帯域騒音及び聴力損失が 音声情報伝達に及ぼす影響の評価について

EVALUATION OF EFFECT OF HEARING LOSS ON SPEECH INTELLIGIBILITY BY MONO-SYLLABLE ARTICULATION TEST UNDER SOUND FIELDS WITH 1/1 OCTAVE BAND NOISE

佐藤 洋*, 長友宗重**, 吉野 博***

Hiroshi SATO, Muneshige NAGATOMO and Hiroshi YOSHINO

The purpose of this paper is to observe the difference in hearing ability between normal hearing and impaired hearing for the parameters of AI, and to know the effects of frequency characteristic of masking noise on syllable perception. This study includes the articulation tests and determines AI of the experiment sound fields by varying its parameters.

The results of articulation test indicate that the effect of S/N on speech discrimination is different in each octave band noise, and the difference of articulation score between normal hearing and impaired hearing becomes larger in 0.5 or 1 [kHz] band. As a result of considering hearing loss in AI calculation, it is able to reflect hearing ability by optimizing its parameters. And considering syllable appearance in sentences, it is limited to the use of syllables of highest impact.

Keywords: *syllable articulation, presbycusis, band noise, articulation index*

音節明瞭度, 老人性難聴, 帯域騒音, 明瞭度指数

1. はじめに

近年, 高齢社会を迎え, 公共空間の利用者に高齢者の割合が増加しているため, 公共放送等の音声情報伝達を行う際に聴力損失をともし高齢者に対する配慮が欠かせない。そのため, 騒音や残響といった空間内の音声聴取上の妨害因子が, 聴力損失を伴った受聴者が音声を聴取する際にどのような影響を及ぼすかを定量的に把握する必要がある。

聴力損失が音声伝達に及ぼす影響に関して, Pavlovicらは, 限定された条件下ではあるが, 聴力レベルの特性を考慮することにより AI (Articulation Index)¹⁾ によって, 音声聴取状況の予測が可能であると報告している²⁾³⁾。また, 坂田らは, 明瞭度と損失情報量の観点から, 聴力損失は音声伝達に対する影響は大きいと報告しており⁴⁾, 落合らは, 4kHzにおける聴力レベルと音節明瞭度の関係を環境音の有無により比較し, 聴力レベルが大きくなるにつれて環境音の影響が大きくなると報告している⁵⁾。

また, 音源系の検討に関しては, 音声情報の内容として, 文章中の音節出現率に関する検討が行われており, 出現頻度で重みづけを行った明瞭度試験用音表を用いた結果, 飯田⁶⁾, 山田⁷⁾は大きな違いはないと報告している。一方, 坂田らは平等率音表の結果からシミュレーションを行い, 出現頻度の影響は大きいと報告している⁴⁾。

以上のことから, 本研究では実験室内における1/1オクターブ帯域騒音付加音場を用い, 単音節明瞭度試験実験⁸⁾⁹⁾により騒音の帯域及び聴力損失の音声情報伝達への関与の仕方を実験的に調べる。また, 騒音が音声情報伝達に与える影響を, 聴力損失を考慮したうえで定量的に評価するため, AIを評価指標として用い, AIのパラメータを最適化し, 聴力損失を考慮するための検討を行う。さらに, 騒音場における発声音節の受聴状況と文中の音節出現頻度から, 音声情報伝達を行う上で, 健聴者及び高齢者にとって重要な異聴を抽出することにより, 音声情報伝達時に考慮すべき音節を示し, 非常放送等の音源デザインを行う際の基礎資料を提供する。

2. 各帯域騒音付加音場における単音節明瞭度試験実験

2.1 実験音場

実験は東北大学工学部建築学科の簡易無響室内において行った。実験系のブロックダイアグラムを図1に示す。試験用音源は音源用スピーカーから, 付加騒音は音源スピーカーの両脇に配置した騒音用スピーカーから各条件ごとに表1に示すレベルで提示した。なお, 音源の提示レベルは被験者の耳元における各音節のピークレベル平均(時定数:Fast)である。実験に用いた騒音の1/3オクターブバンドレベルを図2に示す。

* 東北大学工学部建築学科 助手・工修

** 鹿島建設株式会社 工博

*** 東北大学工学部建築学科 教授・工博

Research Assoc., Dept. of Architecture, Faculty of Engineering, Tohoku Univ., M. Eng.

Kajima Corporation, Dr. Eng.

Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Engineering, Tohoku Univ., Dr. Eng.

2.2 実験用音源

音源は、日本音響コンサルタント協会編、単音節明瞭度試験用音源テープ（1979年版，男声）を用いた。

2.3 被験者及び音表数

被験者には聴力検査の結果、聴力健常と認められた20歳代の学生（以下健聴者）を19名、及び加齢による聴力損失を持つ50～70歳代の者（以下高齢者）を13名用いた。また、各条件毎の平均音表数は健聴者群については32音表，高齢者群については18音表である。各被験者群の平均聴力レベル及びその標準偏差を図3に示す。高齢者の聴力のばらつきはISO7029-1984 (E)¹⁰⁾に示されている通り非常に大きいことがわかる。

2.4 各帯域騒音のSN比と単音節明瞭度

図4に各帯域騒音付加音場におけるSN比と単音節明瞭度の平均値・標準偏差を示す。特徴として以下の点があげられる。①低い周波数帯域（500Hz，1kHz）の騒音場においてはSN比の悪化に伴い明瞭度が急激に下降し始める点がみられる。②高い周波数帯域（2kHz，4kHz）の付加騒音場においてはSNに対する明瞭度の変化は緩やかである。③500，1kHz帯域騒音付加音場において，明瞭度が急激に下降し始める点以降，及びその他の音場では，両被験者群を比較するとその傾向は類似している。

また，高齢者が健聴者と同程度の明瞭度を得るには，SN比におい

て5～10dBAの改善が必要である。500Hz帯域騒音場における明瞭度の急激な下降は，母音の正聴率の急激な下降と対応しており，この帯域においては母音の識別が明瞭度に与える影響が大きいことを示している。

高齢者の明瞭度は，500，1kHzの騒音が付加された場合にばらつきが大きくなり，かつ健聴者との差も大きい。これは被験者間の聴力のばらつき及び健聴者と高齢者の聴力差が小さいこと，低い周波数帯域が騒音により妨害された場合，音節の受聴は被験者間のばらつきが大きく，聴力損失の程度も大きい高い周波数域の聴力に依存するためである。

3. 単音節明瞭度と明瞭度指数

音場評価の際の物理的側面から，聴力損失を考慮する場合について明瞭度指数による検討を行った。

3.1 明瞭度指数の算定手続き

本節において，明瞭度指数はANSI¹⁾の新1/1オクターブバンド法を基本とし，STI (Speech Transmission Index) 算出における手続

図1 実験系ブロックダイアグラム

表1 各SN比条件における音源・騒音の提示レベル

SN比	0	-10	-15	-20	-25
音源レベル	60	60	55	50	45
騒音レベル	60	70	70	70	70

単位：dBA

図2 付加騒音の1/3オクターブバンドレベル

図3 被験者群の平均聴力レベル

図4 各帯域騒音付加音場における健聴者と高齢者の単音節明瞭度

き^{11) 12)}を参考として、式(1)～(3)のように扱う。

$$SNR_k = L_{sk} - L_{nk} \quad \dots (1)$$

$$TI_k = (SNR_k - S)/R \quad \dots (2)$$

$$AI = \sum W_k \cdot TI_k \quad \dots (3)$$

ただし、

SNR_k : 帯域 k の帯域SN比

L_{sk} : 帯域 k の音声レベル[dB]

L_{nk} : 帯域 k の騒音レベル[dB]

TI_k : 帯域 k の明瞭度要素

S : シフト因子, SN比が明瞭度に寄与しなくなる最小のSN比[dB]

R : SN比が明瞭度に寄与するレンジ[dB]

W_k : 帯域 k の明瞭度に対する寄与率

式(2)におけるシフト因子 S とレンジ R について、概念図を図5に示す。ANSIの基準では、式(2)のシフト因子 S がゼロとなっているが、前節の結果から、SN比がゼロ以下の条件においても、SN比が音節明瞭度に関係していることから、シフト因子 S についての検討が必要となる。また、レンジ R については、ANSIにおいては $R=30$ となっているが、本報では、電話伝送系における結果ではあるが、日本語に関して求められた三浦による $R=35$ を用いる¹²⁾。

3.2 最小可聴音声レベルの測定によるシフト因子 S の導出

本報ではSN比が明瞭度に寄与しなくなる最小のSN比を、ある騒音条件と最小可聴音声レベルのSN比と同義と仮定し、実験的にシフト因子 S を求めた。実験は図6に示した系を用いて行った。音源として、図7に示した特性を持つ継続時間4秒の男声アナウンスを、騒音として音声と同じ特性を持つ定常騒音を用いた。明瞭度試験において用いた音場は帯域制限された騒音を用いた音場であったが、ここでは、AIやSTIを算出する際に、 S を全ての周波数帯域について共通に用いていることから、本検討ではマスキングの効果を大きく保つために音声と同様の周波数特性を持つ広帯域騒音を用いた。騒音のレベルは50, 60, 70, 80 [dBC]¹³⁾の4条件とし、被験者にランダムに3回提示し、それぞれのレベルの騒音下で音声が入り聞き取れなくなるレベルに被験者自身が調整し、音声の提示時間平均レベルを測定した。なお、音声の提示時間平均レベルとピークレベル(時定数:Fast)の関係はあらかじめ求めておき、本報における結果の提示はピークレベルによるものとする。被験者として健聴者9名、高齢者14名を用いた。なお、健聴者は全て、高齢者は7名を第

2章において用いた明瞭度試験実験の被験者と重複して用いた。

各ノイズレベルにおける最小可聴音声レベルの平均値とノイズレベルとのSN比を図8に示す。ノイズレベルの上昇に伴いSN比は低くなる。このことは S がノイズレベルにより変化することを示している。この結果は電話伝送系における三浦の結果¹²⁾と異なっており、伝送系の違いによるものと考えられる。SN比について、健聴者群と高齢者群で差が生じているのは、高齢者群の最小可聴値が聴力損失により低下しているためである。また、騒音レベルが増加するにしたがってSN比が低下する理由としては、騒音と音源のスピーカーが異なるため、音源と騒音の到来方向が異なり、音源を騒音下から抽出しやすいことが一因となっていると推察でき、抽出しやすいの程度は健聴者の方が高いことがあげられる。この結果より、以後のAIの検討には明瞭度試験実験における騒音レベル60dBAの条件(SN比0dBの条件)に関しては $S=-12.9$ (健聴者)、 $S=-10.1$ (高齢者)を、騒音レベル70dBAの条件(SN比0dB以外の条件)に関しては $S=-15.8$ (健聴者)、 $S=-12.2$ (高齢者)を用いる。

3.3 単音節明瞭度と明瞭度指数の関係

第2章で行った明瞭度試験実験の結果とパラメータを変化させた明瞭度指数の関係を図9に示す。図9の曲線は健聴者について三浦により¹²⁾求められたものである。明瞭度指数をANSIの基準と同様に $S=0$ とし、 W_k についてもANSIの基準と同様にして算出した場合、健聴者と高齢者の対応はとれず、また三浦による予測曲線との対応も良くない。4.2節で求めたシフト因子 S を用いて明瞭度指数を算出した場合、三浦による予測曲線との対応はよくなり、重相関係数は0.88となった。これより、明瞭度指数による音声伝達性能評価の際には、シフト因子 S の調整により加齢による聴力損失を考慮できることが示された。

さらに W_k を被験者群ごとに三浦による予測曲線に当てはめることを試みた。その結果、表2に示したパラメータを用いた場合、重相関係数は0.97となり、非常に対応が良くなった。 W_k は、健聴者については1kHz帯域を境に周波数が高くなるにつれて小さくなっていることがわかる。これは健聴者が母音を異聴しにくいことから、母音が優勢な帯域の寄与が小さくなった結果と捉えることができる。高齢者につ

図5 シフト因子 S とレンジ R の概念図

図6 最小可聴音声レベル測定実験ブロックダイアグラム

図7 音声及び定常騒音の1/3オクターブバンドレベル

図8 各騒音レベルにおける最小可聴音声レベルと騒音レベルの比(SN比)

毎の重要性の違いも明らかにする。

5.1 重み付け明瞭度の定義

文中の子音をもつ音節の出現率で重み付けされた明瞭度 (ASw) を式 (4) で定義する。

$$ASw = \sum_{i=1}^m PA_i \cdot \frac{n_{ci}}{n_{pi}} \quad [\%] \quad \cdots (4)$$

ただし、

PA_i : 子音 i を持つ音節の出現率 [%]

$$\sum_{i=1}^m PA_i = 100$$

n_{ci} : 正聴した子音 i の数

n_{pi} : 提示した子音 i の数

m : 子音の種類数

なお、通常の明瞭度は式において

$PA_i = 100/m$ とした場合と同等とみなせる。また、母音の異聴については取り扱わず、「あ行」の母音のみの音節については子音が付加されて受聴された場合に子音を異聴したものとして扱う。

5.2 重み付けに用いた子音出現率

子音の出現率は、仙台市内の9つの公共施設で用意されている非常放送文の子音出現率の平均値を用いた。表3に音節の出現率を示す。なお、集計に用いた音節の総数は3083音節である。出現率に関しては飯田¹⁴⁾や山田¹⁵⁾による調査結果と大きな差はない。

5.3 子音異聴率と子音出現率の関係

5節の結果より求めた子音の異聴率と非常放送文中の子音出現率の関係を、健聴者群と高齢者群に分け、4kHz・SN比-20dBの条件についてそれぞれ図11、図12に示す。図中の太字で示された音節は、重み付け明瞭度中の誤答の80%を占める音節である。これより、健聴者と高齢者で差が大きかった拗音の異聴が、拗音の

表3 非常放送文における各子音出現率 [%]

子音	出現率	子音	出現率
*(母音)	19.20	Y	1.75
B	1.39	By	0.03
G	4.09	Gy	0.03
D	5.32	Ry	0.06
R	4.83	Zy	0.68
Z	1.43	Sy	0.68
S	7.75	Hy	0.00
Sh	6.00	Py	0.00
H	3.47	Ky	0.81
P	0.06	Cy	0.42
K	10.35	My	0.00
T	7.72	Ny	0.03
Ch	0.88	NN	5.25
TS	1.14		
M	6.26		
N	8.76		
W	1.62

図14 通常の明瞭度 (AS) と重み付け明瞭度 (ASw) における健聴者と高齢者との差の比較

図11 子音出現率と子音異聴率の関係 (健聴者: 4kHz, SN比 = -20dB)

図12 子音出現率と子音異聴率の関係 (高齢者: 4kHz, SN比 = -20dB)

出現率が小さいため重要でないことがわかる。また、太字で示された子音は、健聴者、高齢者ともほぼ同じ子音が示されており、また、子音数も少ない。このことから音声情報伝達上、重要な音節は多くないといえる。

5.4 各帯域騒音付加音場における重み付け明瞭度

各帯域騒音付加音場における通常の明瞭度 (AS) 及び重み付け明瞭度 (ASw) を図13に示す。ASwはASと比べて値が大きい。これ

図13 各帯域騒音付加音場における通常の明瞭度 (AS) と重み付き明瞭度 (ASw) の比較

は異聴が起りやすい拗音の出現率が小さいことによる。母音の異聴の割合が大きい500Hz帯域騒音付加音場においてはASとASwの差は小さい。それとは対照的に、子音の異聴の割合が大きい2kHz, 4kHz帯域騒音付加音場においてはASとASwの差が大きくなる。

健聴者と高齢者のASとASwの差を検討するため、健聴者の明瞭度から高齢者の明瞭度を差し引いた値について、ASとASwとの関係を図14に示す。これより、健聴者と高齢者の明瞭度の差について、重み付け明瞭度は通常明瞭度の約80%となり、健聴者と高齢者の差が小さくなる傾向がある。これは通常の平等率音表による明瞭度が、高齢者が異聴しやすい拗音の影響を大きく受けているためであり、音源特性を考慮した場合、通常の平等率音表による明瞭度は明瞭度の低下を大きく見積もる可能性がある。

以上から、子音が異聴しやすい帯域の騒音が卓越している音場においては、通常明瞭度は騒音が音声伝達に及ぼす影響を大きく評価している可能性があり、音源の特性を考慮した場合、音声情報は高齢者について通常明瞭度により評価される場合よりも健聴者との差が小さくなる場合があるといえる。

6. まとめ

本研究により、以下のことが明らかとなった。

- ① 高齢者が健聴者と同程度の明瞭度を得るには、SN比において5～10dBAの改善が必要である。
- ② 被験者間の聴力のばらつき及び健聴者と高齢者の聴力差が小さい低い周波数帯域が騒音により妨害された場合、音節の受聴は被験者間のばらつきが大きく、聴力損失の程度も大きい高い周波数域の聴力に依存する。
- ③ 明瞭度指数による音声伝達性能評価の際には、シフト因子Sの調整により加齢による聴力損失を考慮できる。
- ④ 健聴者と高齢者の異聴傾向の比較を行い、それぞれの特徴を明らかにした。
- ⑤ 文中の子音出現頻度による重み付け明瞭度を用い文を受聴する際に重要となる子音を抽出した。
- ⑥ 重みづけ明瞭度により音声情報伝達品質を評価した場合、高齢者と健聴者の明瞭度の差が通常明瞭度より20%程度小さくなることを示し、文章聴取の観点から、平等率音表による通常明瞭度は騒音場における聴力損失の影響を大きく評価していることを示した。

文章聴取という観点からは、文章理解度の検討が必要となり、子音のみならず音節、単語、文の構成といった要因が音声情報伝達に及ぼす影響を明らかにする必要がある。

謝辞

本研究を進めるにあたり、被験者として仙台市シルバー人材センターの御協力を得た。また鹿島建設(株)技術研究所に機材等のご援助を受けた。ここに厚く感謝の意を表す。

本論文は文部省科学研究費補助金(平成1～3年度、課題番号01460196一般研究(B)研究代表者:長友宗重、及び平成6年度、課題番号06750620奨励研究(A)研究代表者:佐藤洋)、ならびに鹿島学術振興財団研究助成金によって実施された研究の一部である。

注

- 1) 2節の実験音場においては聴取上のラウドネスを考慮し、騒音レベルをdBAで定義したが、本検討では全帯域騒音を扱う上でSN比を定義しなければならないので、精度上dBCで定義した。
- 2) 明瞭度を提示した音節に対する正聴した音節の割合ととらえ、これを子音について拡大解釈したものを本報では子音明瞭度と

呼ぶ。

- 3) 本論文は参考文献15)～22)を加筆・修正し、まとめたものである。

参考文献

- 1) ANSI S3.5-1969 : Methods for the calculation of the articulation index American National Standards Institute, New York (1969)
- 2) Chaslav V. Pavlovic : Use of the articulation index for assessing residual auditory function in listers with sensorineural hearing impairment, J.Acoust.Soc.Am., 75 (4) , pp.1253-1258, 1984
- 3) Chaslav V. Pavlovic : An articulation index based procedure for predicting the speech recognition performance of hearing-impaired individuals, J.Acoust.Soc.Am., 80 (1) , pp.50-57, 1986
- 4) 坂田展甫、吉田拓正、徳山久雄、春田千秋、大鶴 徹 : 騒音場における音声伝達の特性解析 一明瞭度と損失情報量による受聴系の基礎解析一、日本建築学会論文報告集, No.276, pp.79-86, 1979
- 5) 落合博明、牧野康一、山田一郎、館野誠、村瀬真理子 : 環境騒音下での言葉の明瞭度に関する基礎的研究 (2)、日本音響学会講演論文集, pp.473-474, 1995.9
- 6) 飯田重隆 : 建築空間における明瞭度研究について、日本音響学会第1回シンポジウム「試験用音声の標準化」, pp.1-9, 1985.6
- 7) 山田由紀子 : 明瞭度試験における異聴の傾向と日本語の了解度、明治大学科学技術研究所紀要, Vol.14, No.10, 1975
- 8) 明瞭度標準テープ (1965) の制作過程ならびに取り扱い要領について、日本音響学会明瞭度委員会, 1965
- 9) 単音節明瞭度テープ [解説]、日本音響コンサルタント協会, 1979
- 10) ISO 7029-1984 (E) : Threshold of hearing by airconduction as a function of age and sex for otologically normal persons
- 11) T.Houtgast & H.J.M.Steeneken : The Modulation Transfer Function in Room Acoustics as a Predictor of Speech Intelligibility, Acustica, 28, pp.66-73, 1973
- 12) 小椋靖夫、浜田晴夫、三浦種敏 : 音場における音声伝送品質のためMTFとSTIについて、日本音響学会誌, 40巻3号, pp.181-191, 1984
- 13) 三浦種敏 : 日本語に対する定量的な伝送品質と伝送特性との関係、日本電信電話公社、研究実用化報告, 第3巻第4号, pp.468-501, 1954
- 14) 飯田重隆 : 明瞭度テストにおける異聴の傾向、日本音響学会誌, 29 (9) , pp.527-534, 1973
- 15) 長友宗重、佐藤克久 : 音声伝達における聴力損失の影響に関する研究 その2 各帯域騒音場における単音節明瞭度、日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.375-376, 1989.10
- 16) 嶋田泰平、長友宗重、田原 誠 : 音声伝達における聴力損失の影響に関する研究一その3 騒音帯域及びSN比と単音節明瞭度一、日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.271-272, 1990.10
- 17) 田原 誠、長友宗重 : 音声伝達における聴力損失の影響に関する研究一その4 帯域SN比及びAIと単音節明瞭度一、日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.345-346, 1991.9
- 18) 長友宗重、嶋田泰平、田原 誠、佐藤 洋 : 聴力損失のある高齢者の各種音場における聴取明瞭度、日本機械学会第1回環境工学シンポジウム'91講演論文集, pp.418-422, 1991.7
- 19) 佐藤 洋、長友宗重 : 音声情報伝達における聴取条件の影響と評価方法に関する研究-残響付加音場における無意味三連音節明瞭度試験-, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.343-344, 1991.9
- 20) 佐藤 洋、長友宗重 : 各種音場における高齢者の音節受聴特性、日本音響学会建築音響研究会資料, 資料番号AA93-48, 1993.10
- 21) Hiroshi SATO, Muneshige NAGATOMO, Hiroshi YOSHINO : INVESTIGATION ON PARAMETERS OF ARTICULATION INDEX FOR HEARING IMPARMENT IN NOISE FIELDS, Proceedings of INTER NOISE 94, pp.1855-1858, 1994.8
- 22) 佐藤 洋、長友宗重、吉野 博 : 文章中の音節出現頻度を考慮した無意味三連音節明瞭度、日本音響学会講演論文集, pp.795-796, 1995.9

(1996年6月10日原稿受理, 1996年11月27日採用決定)