

114 無意味雑音存在下での音声聴取時における 心理的印象と聴取成績に対する評価尺度

Evaluation Indices of Psychological Impression and Listening Score
for Listening to Audio Signal with Noise

○ 為末 隆弘 (山口大) 山口 静馬 (山口大)
佐伯 徹郎 (山口大) 加藤 裕一 (島根大)

Takahiro TAMESUE, Yamaguchi University, 2-16-1 Tokiwadai, Ube, Yamaguchi, 755-8611 Japan

Shizuma YAMAGUCHI, Yamaguchi University

Tetsuro SAEKI, Yamaguchi University

Yuichi KATO, Shimane University, 1060 Nishikawatsu-cho, Matsue, 690-8504 Japan

A useful index for evaluating the two psychological responses to the audio signal and noise and the listening score is first discussed in the case of listening to audio signal under the existing of meaningless steady noise. Hereupon, the mutual relationship between the power spectral level of audio signal and that of external noise is reflected in the above evaluation index. Then, an estimation and/or prediction problems of the two psychological impressions and the listening score of monosyllable audio signal are considered. The predicted values of the psychological impressions and listening score are compared with the experimental data. The observed results are good agreement with the predicted values.

Key Words: monosyllable audio signal, meaningless noise, annoyance, speech audibility, psychological impression, listening score, evaluation index, spectral distance

1 縮言

音声信号を伝達・聴取する現実の場においては、様々な雑音が存在するのが常である。この場合、聴取者が雑音に悩まされることなく、音声の聴取に専念できる快適な音場を実現することが重要である。明瞭な音声を聴取できる快適な音場を設計する(例えば外来雑音低減のための効率的な遮音材の選定や音声信号の音量調節など)ためには、音声と雑音の振幅・周波数特性等に関する相対的關係とそのときに生じる雑音のうるささや音声の明瞭性に関する心理的印象および音声の聴取成績等との関連性を定量的に事前に把握しておくことが重要となる。我々はこれまで、講演や放送などの音声聴取を行っている人間に対して、白色または有色の無意味ランダム雑音がどのような心理的印象を与えるかについて考察してきた^{(1), (2), (3), (4)}。しかし、これらの研究においては音声聴取時における外来雑音のうるささに関する心理的印象のみを考察対象としており、そのときの音声の明瞭性に関する心理的印象や音声聴取成績の検討までには立ち入っていない。

他方、音声聴取成績に関しては、その評価尺度である音節明瞭度や文章了解度等と雑音特性との関係について以前より多くの研究者によって考察され、その成果が蓄積されている^{(5), (6), (7), (8), (9), (10), (11)}。しかしこれらの多くは音声をどの程度正確に聞き取れるかといった点に考察の力点が置かれており、その音場が心理的に快適であるかどうかに関係する雑音や音声に対する心理的評価までは検討されていない。本報告は雑音に対する心理的評価の考察内容をさらに発展させたものである。即ち、音声聴取時の雑音に対するうるささや音声の明瞭性に関する心理的印象、およびそのとき音声をどの程度正確に聞き取れているのかといった聴取成績の3つの側面を考慮して、これらと音声と雑音の振幅・周波数特性に関する相対的關係との関連性を定量的に把握しようとしている。具体的には、音声として最も単純かつ基本的な単音節音声に限定し、上記の3つの側面を同時に説明するために合理的と考えられる8つの指標を予め導入してこれらの中から最も有効な指標を選定している。次の

でこの指標を用いて、雑音や音声の心理的印象および音声聴取成績に対する予測問題について考察し、予測結果と音声聴取心理実験による実測データとの比較を行っている。その結果、両者のほぼ良い一致が認められた。

2 音声聴取心理実験の概要

我々が行った室内音声聴取心理実験の概要を以下に示す。

実験 I

この実験は音声聴取時の雑音のうるささや音声の明瞭性に関する心理的印象および音声聴取成績に対する回帰関数を求めるのに必要なデータを得るためのものである。

[I-A] 実験場所

山口大学工学部簡易防音室。縦: 5.1 m × 横: 3.3 m × 高: 2.2 m の容積をもち、暗騒音の音圧レベルは約 37 dB (A 特性音圧レベルでは約 21 dB(A) 程度) であった。

[I-B] 実験時期・時間

次に示す2回の時期に行った。

(I-i) 8月下旬~9月下旬の午前10時~午後6時

(I-ii) 10月下旬~11月下旬の午前8時~午後9時

[I-C] 被験者

聴力正常な20歳代の男女学生計384名である。2回の実験時期に対する被験者の内訳は次の通りである。

(I-i) 男子学生161名と女子学生31名の計192名

(I-ii) 男子学生176名と女子学生16名の計192名

各雑音条件に対する被験者の割当については [I-D] の項で示す。

[I-D] 提示音

(I-D-1) 音声信号 補聴器適合評価用 CD (TY-89)^{(12), (13), (14)} に収められている単音節語表 (各表は 50 個の単音節音声から成っている) をそのまま再生した。用いた単音節語表と音声信号のピーク音圧レベル値 (被験者の耳の位置で固定) は次の通りである。

(I-i) 単音節語表の第 1 表～第 8 表の 8 種類 (音圧レベル値: 62.5 dB)

(I-ii) 単音節語表の第 1 表と第 2 表 (音圧レベル値: 62 dB)

(I-D-2) 外來雑音 白色雑音をオクターブ帯域フィルタに通した帯域制限白色雑音を用い、被験者の耳の位置でそれぞれ次に示す音圧レベル値となるようにゲイン調節を行った。

(I-i) 音圧レベル値: 55, 65, 75 dB

(I-ii) 音圧レベル値: 52, 62, 72 dB

オクターブ帯域フィルタは中心周波数がそれぞれ 63, 125, 250, …, 4000, 8000 Hz の計 8 種類である。上記の 48 種類の雑音条件ごとに被験者 8 名の音声聴取心理実験を行った。即ち、音声信号への慣れ等の影響を避けるため、各雑音条件ごとに被験者は全て異なったものになっている。

[I-E] 測定方法

8 名の被験者が同時に音声聴取心理実験に参加した。被験者に対してスピーカから単音節音声と雑音を同時に放射した。スピーカから 2.2 m 離れた位置に 8 名の被験者が座り、聴取した単音節音声を手元の記録紙に記入した。さらに、1 種類の語表を通しての雑音のうるささと音声の明瞭性に対してどのような心理的印象をもったかを調べた。具体的には、雑音に対する心理的評価尺度として、従来^{(1), (2), (3), (4)}と同様、七つにカテゴリー化されたうるささに関する尺度⁽¹⁵⁾ (F_1 : 全く気にならない, F_2 : 気にならない, F_3 : あまり気にならない, F_4 : 少しうるさい, F_5 : うるさい, F_6 : かなりうるさい, F_7 : 非常にうるさい) を採用した。また、音声に対する明瞭性の心理的評価尺度としては電波法に基づく省令を参照して、五つにカテゴリー化された尺度⁽¹⁶⁾ (A_1 : 悪い, A_2 : かなり悪い, A_3 : かなり良い, A_4 : 良い, A_5 : 非常に良い) を用いた。被験者は上記の心理的印象 F_i ($i = 1, 2, \dots, 7$) と A_i ($i = 1, 2, \dots, 5$) の中からそれぞれ一つを選んで記録紙に記入した。但し、実際の音声聴取心理実験における教示において、 A_1 が明瞭性の最も悪い評価であり、 A_5 が最も良い評価であるという順序に従って判断するように指示している。1 種類の雑音条件に対する被験者を同一の 8 名に固定し、各語表毎の実験の間に休憩を入れながら各語表分の音声聴取心理実験を繰り返した。

実験 II

この実験は音声聴取時の雑音と音声に対する心理的印象および音声聴取成績についての予測値と比較する実測データを得るためのものである。

[II-A] 実験場所

実験 I と同じである。

[II-B] 実験時期・時間

実験 I と同じである。

[II-C] 被験者

聴力正常な 20 歳代の男女学生計 56 名である。実験 I の被験者とは全く別の被験者である。2 回の実験時期に対する被験者の内訳は次の通りである。

(II-i) 男子学生 26 名と女子学生 6 名の計 32 名

(II-ii) 男子学生 23 名と女子学生 1 名の計 24 名

各雑音条件に対する被験者の割当については [II-D] の項で示す。

[II-D] 提示音

(II-D-1) 音声信号 実験 I と同じである。

(II-D-2) 外來雑音

(II-i) 音声信号が単音節語表の第 1 表～第 8 表の 8 種類 (音圧レベル値: 62.5 dB) の場合

(a) 帯域制限された雑音: 中心周波数が 500, 1000 Hz の 2 種類のオクターブ帯域制限白色雑音をパワー比 1 対 1 で合成したものをを用いた。音圧レベル値を被験者の耳の位置で 55, 65, 75 dB となるように設定した。

(b) 疑似音声雑音: 補聴器適合評価用 CD(TY-89) に収められている疑似音声雑音をそのまま再生して用いた。被験者の耳の位置での音圧レベル値を 55 dB となるように設定した。

(c) 外來雑音が存在しない場合

(II-ii) 音声信号が単音節語表の第 1 表と第 2 表 (音圧レベル値: 62 dB) の場合

(d) 無意味音声雑音: 補聴器適合評価用 CD(TY-89) に収められているマルチ・トーカー・ノイズをそのまま再生して用いた。被験者の耳の位置での音圧レベル値を 52, 62 dB となるように設定した。

上記の 7 通りの各雑音条件に対して同一の被験者を 8 名に固定して、音声聴取心理実験を繰り返した。各雑音条件毎に被験者が異なっている理由は実験 I と同様である。

[II-E] 測定方法

基本的に実験 I と同様である。但し、雑音条件 (c) の場合については雑音のうるささに対する心理的印象は調査していない。

3 最適指標の選定

音声と雑音の振幅・周波数特性に関する相対的關係等を踏まえて、雑音のうるささや音声の明瞭性に関する心理的印象および音声聴取成績を説明するために合理的と考えられる次の 8 つの指標を予め導入し、これらの中から上記 3 つの側面を同時に説明するために最も有用と思われる指標を選定する。

3.1 指標の導入

本報告では、明瞭度を予測するために用いられる明瞭度指数^{(11), (17)} や、会話妨害に関する評価として用いられる会話妨害レベル⁽¹⁸⁾ 等の従来から提案されている評価指標に加えて、新たに設定した指標を含め、次の 8 つの指標を考察対象として導入する。

A 音圧レベル値を用いた信号対雑音比 (SN)

B A 特性音圧レベル値を用いた信号対雑音比 (SN_A)

C 明瞭度指数 (AI)

D 会話妨害レベル (SIL)

E 信号対妨害雑音比 (SI)

会話妨害レベルの算定で採用されている中心周波数が f_i ($f_4 = 500, f_5 = 1000, \dots, f_7 = 4000$ Hz) の四つのオクターブバンドに着目し、各バンドにおける A 特性音圧レベル値を用いた SN 比の算術平均値として与えたものである。具体的には次式で算定される。

$$SI = \frac{1}{4} \sum_{i=4}^7 [L_{AS}(f_i) - L_{AN}(f_i)] \quad (1)$$

ここに $L_{AS}(f_i)$ と $L_{AN}(f_i)$ は音声と雑音に関する中心周波数 f_i のオクターブバンドにおける A 特性音圧レベルである。

F スペクトル距離 (SPD)

明瞭度指数に含まれている各周波数帯域毎の重みを指標の中で考慮したものであり、具体的には次式で与えられる。

$$SPD = \sum_{i=1}^8 a_i [L_S(f_i) - L_N(f_i)] \quad (2)$$

ここに、 $L_S(f_i)$ と $L_N(f_i)$ は音声と雑音に関する中心周波数 f_i におけるオクターブバンド音圧レベルである。 a_i ($i = 1, 2, \dots, 8$) は音声理解に等しく寄与する 20 の周波数バンド⁽¹⁹⁾ が中心周波数 f_i ($f_1 = 63, f_2 = 125, \dots, f_8 = 8000$ Hz) の 1/1 オクターブバンド内に含まれる割合を考慮して算出した重みであり、具体的には次のような値である。

$$\begin{array}{ll} a_1 = 0.000000 & a_2 = 0.000000 \\ a_3 = 0.063794 & a_4 = 0.140096 \\ a_5 = 0.226255 & a_6 = 0.319855 \\ a_7 = 0.227360 & a_8 = 0.022640 \end{array}$$

G スペクトル距離 2 (SPD2)

音声と雑音の 8 つのオクターブバンド音圧レベル値を用いた SN 比の算術平均値であり次式で与えられる。

$$SPD2 = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 [L_S(f_i) - L_N(f_i)] \quad (3)$$

H スペクトル距離 3 SPD3

音声と雑音の 8 つのオクターブバンドの A 特性音圧レベル値を用いた SN 比の算術平均値であり次式で与えられる。

$$SPD3 = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 [L_{SA}(f_i) - L_{NA}(f_i)] \quad (4)$$

3.2 心理的印象と指標の関係

最適な指標の選定にあたっては、できる限り多くのデータを踏まえることが合理的であるとの観点から、実験 I・II で得られた全データを用いて 8 種類の各指標と雑音のうるささや音声の明瞭性に関する心理的印象との関係を考察する。これらの間の関係をとらえるためのモデルとして次の回帰モデルを採用する。

線形関数

ロジスティック関数⁽²⁰⁾

修正指数関数⁽²⁰⁾

Tab.1 残差平方和

	うるささ 線形関数	明瞭性 線形関数	聴取成績 ロジスティック関数 (線形関数)
SN	37.79	7.14	5067.80 (5065.11)
SN_A	22.12	3.03	3219.10
AI	26.62	3.74	1959.58
SIL	24.74	3.12	1796.55
SI	23.92	3.12	1790.01
SPD	24.66	2.98	1458.62
SPD2	24.83	3.66	2784.89
SPD3	24.83	3.66	2784.89

実験 I・II で得られた実測データを用いて、8 つの各指標とうるささとの関係を調べた。AIC⁽²¹⁾ の値を最小にするという意味での最適な回帰関数は線形関数であった。明瞭性に関してもうるささの場合と同様に最適な回帰関数は線形関数となった。

3.3 聴取成績と指標の関係

[I-E] でも述べたように、被験者は聴取した単音節音声を手元の記録用紙に記入した。各語表は 50 個の単音節音声からなっており、被験者が正確に聞き取った語数の全個数 (50 個) に対する割合を聴取成績と定義した。実験 I・II で得られた実測データを用いて 8 つの各指標と聴取成績の関係を求めた。この場合の最適な回帰関数はロジスティック関数となった (信号対雑音比 (SN) を除くすべての指標に対して同様の結果を得た)。

3.4 最適指標の検討

最も有効な指標を選定するための評価基準として、各回帰関数からの残差平方和を考える。各指標ごとに求めたうるささ、明瞭性および聴取成績に関する残差平方和の結果を表 1 に示す (指標の中で値の最も小さいものには下線を付した)。表 1 より次の点を読みとることができる。

- (1) 指標として A 特性音圧レベル値を用いた信号対雑音比 (SN_A) を採用した場合、うるささや明瞭性との関係は単純な線形関数で捉えることができ、しかも実測データのばらつきは他の指標に比べて小さくなっている。しかしその反面、聴取成績に関する実測データのばらつきがかなり大きくなっている。
- (2) スペクトル距離 (SPD) と信号対妨害雑音比 (SI) を採用した場合は、うるささ、明瞭性および聴取成績の 3 つの側面に共通して実測データのばらつきが他の指標と比べて相対的に小さい。
- (3) 明瞭度の説明を主目的として考案された明瞭度指数 (AI) を採用した場合においても、聴取成績との対応は極端に良好な結果は得られていない。

以上の結果を踏まえると、本報告のようにあくまでも雑音のうるささ、音声の明瞭性、聴取成績の 3 つの項目を共通に把握できる指標を選定するとの立場に立つ時は、スペクトル距離 (SPD) または信号対妨害雑音比 (SI) を指標として選定するのが合理的であることがわかる。

4 心理的印象と聴取成績の予測

実験 I で得られた実測データを用いて、雑音のうるささ、音声の明瞭性および聴取成績とスペクトル距離 (SPD) との回帰関係を設定し直した。その結果を次に示す。

$$\begin{array}{l} \text{雑音のうるささ: } y = -0.05x + 4.29 \quad (5) \\ (y: \text{うるささ}, x: \text{スペクトル距離}) \end{array}$$

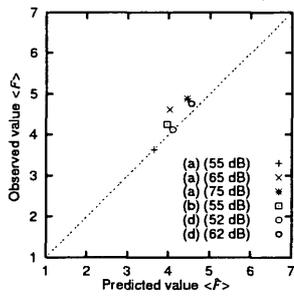


Fig.1 Comparison between predicted and observed value of $\langle F \rangle$.

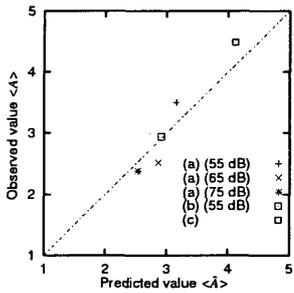


Fig.2 Comparison between predicted and observed value of $\langle A \rangle$.

$$\text{音声の明瞭性} : y = 0.04x + 2.66 \quad (6)$$

(y : 明瞭性, x : スペクトル距離)

$$\text{聴取成績} : y = \frac{101.13}{1 + 0.28e^{-0.06x}} \quad (7)$$

(y : 聴取成績, x : スペクトル距離)

これらの結果を用いて、単音節音声を取取しているときに様々なパワースペクトル形状や音圧レベル値を有する無意味雑音が侵入してきた場合に雑音のうるささや音声の明瞭性に関する心理的印象および音声聴取成績がどのようになるのかを予測することを考える。実験 II(II-D-2) で示した種々の雑音条件に対して(5)~(7)式を用いて予測値を算定し、これらの値と実測値との比較を行った。その結果をそれぞれ図1、図2、図3に示す。図1、図2の予測誤差はいずれの雑音条件においても半カテゴリー以内におさまっており、予測値と実測値のほぼ良い一致を読みとることができる。また図3の聴取成績に関しては、(d)無意味音声雑音(52 dB)の場合で約十パーセント程度の誤差が生じているが、他の雑音条件下ではほぼ良い一致が認められる。

5 結言

本報告では、音声聴取時の外来雑音に対する心理的印象のみを考察対象とした従来の考察を更に発展させ、雑音に対するうるささの心理的印象に加えて音声信号の明瞭性に関する心理的印象および音声の聴取成績まで考察対象とした。そして、上記の3つの側面を共通に説明するための指標について検討した。その結果、スペクトル距離(SPD)または信号対妨害雑音比(SI)が有効であるとの知見を得た。この結果を踏まえて、雑音のうるささ、音声の明瞭性および音声聴取成績との関係を回帰関数の形で捉え、音声聴取時に侵入してくる様々な無意味外来雑音に対して予測問題を考察した。実験的確認に供した幾つかの具体例について検討した結果、上記の2つの指標を採用した場合は高い予測精度が得られることが確認された。

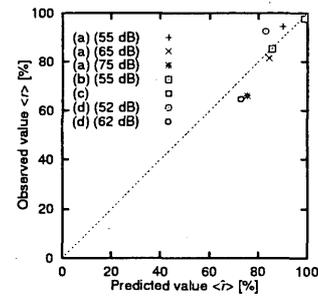


Fig.3 Comparison between predicted and observed value of $\langle t \rangle$.

謝辞

本研究に多大の援助を頂いた浅井美希、中島聡也、平田龍一、漆崎一平、田口寛之の各位に深謝の意を表す。本研究は日本学術振興会 科学研究費補助金(No.11832016)による。

【参考文献】

- (1) 山口静馬, 老松建成, 加藤裕一, 佐伯徹郎, “音声聴取時の外来雑音に対する心理的評価,” 電子情報通信学会論文誌(A), J77-A, 11, 1433-1442 (1994).
- (2) 山口静馬, 佐伯徹郎, 老松建成, “ファジー理論に基づく音声聴取時の有色外来雑音に対する心理的評価手法,” 電子情報通信学会論文誌(A), J79-A, 4, 845-857 (1996).
- (3) 山口静馬, 佐伯徹郎, 老松建成, “二次元メンバシップ関数による音声聴取時の無意味外来雑音に対する心理的応答予測,” 電子情報通信学会論文誌(A), J82-A, 1421-1427 (1999).
- (4) 佐伯徹郎, 山口静馬, 加藤裕一, “音声聴取時の無意味ランダム雑音に対する心理的応答の文脈効果,” 日本音行学会誌, 56, 3, 186-193 (2000).
- (5) 植松道治, 曾根敏夫, 二村忠元, “ランダム変動騒音下の音声明瞭度と了解度に関する基礎実験(変動騒音の言語聴取妨害に関する研究 その1),” 日本音行学会誌, 34, 9, 516-521 (1978).
- (6) 吉田拓正, “定常広帯域騒音下における連続音声と単音節音声の主観的了解度の評定,” 日本音行学会誌, 40, 10, 707-713 (1984).
- (7) 曾根敏夫, 植松道治, 金指久則, 二村忠元, “ランダム変動騒音下の音声明瞭度の予測(変動騒音の言語聴取妨害に関する研究 その2),” 日本音行学会誌, 35, 2, 58-62 (1979).
- (8) 渡辺真吾, 井研治, “残響の明りょう度に及ぼす影響について,” 日本音行学会誌, 35, 3, 97-103 (1979).
- (9) 飯田茂隆, “建築分野の明瞭度試験,” 日本音行学会誌, 41, 10, 704-708 (1985).
- (10) 三浦種敏, “音声明瞭度評価の展望,” 日本音行学会誌, 43, 7, 489-536 (1987).
- (11) 電子情報通信学会誌, “新版聴覚と音声,” 448, コロナ社, 東京(1994).
- (12) 米本清, “CD(TY-89)について(技術報告),” 文部省 補聴器適合評価用機器の試作に関する研究報告 61-63年度, 3-24, 3-7 (1989).
- (13) 米本清, 立石恒男, 木場興次, 倉内紀子, “補聴器適合評価用 CD(TY-89) 及び 57-S 語表の単音節明瞭度と音圧,” Audiology Japan, 32, 5, 429-430 (1989).
- (14) 米本清, “補聴器適合評価用 CD(TY-89) の特徴,” JOHNS, 11, 1395-1401 (1995).
- (15) 降旗建治, 柳沢武三郎, “各種騒音源の心理的影響を共通に評価できる評価尺度の構成に関する検討,” 日本音行学会誌, 45, 577-582 (1989).
- (16) 電気通信振興会, “教育用電波法令集,” 松田トレス, 東京(1999).
- (17) 甘利吾吾, 庄司茂樹, “通信システム工学ハンドブック,” ラテイス, 東京(1968).
- (18) 日本音行学会誌, “音行用語辞典,” コロナ社, 東京(1994).
- (19) 日本建築学会誌, “騒音の評価法 各種評価法の系譜と手法,” 彰国社, 東京(1981).
- (20) 長谷川勝也, “Excel 統計解析,” 共立出版, 東京(1995).
- (21) 坂元慶行, 石黒真木夫, 北川源四郎, “情報量統計学,” 共立出版, 東京(1984).