音声明瞭度向上に関する基礎的検討

大島静夫・鈴木正之*・木谷貴則**

Basic Study on Enhancement of Speech Articulation under Noisy Environment

Shizuo OHSHIMA, Masayuki SUZUKI and Takanori KIYA

(1994年8月22日受理)

1. はじめに

騒音下における音声の明瞭度向上に関する研究は，古く1950年代頃から行われている。近年，商店街や地下街などの騒音レベルの上昇とともに音環境の保護が求められ，騒音レベルの上昇を抑制しつつ，明瞭度を向上させる方法等が検討され始めている。

R.J. Niederjohn 等は振幅コンプレッサと HPF を用いることにより明瞭度が向上することを報告している[1]。久野等は，騒音下における最適な放送レベルを調査検討するとともに[2]，子音区間を3倍増幅し，子音区間を強調することによる明瞭度の改善[3]，栗栖等は明瞭度を維持するために，PA 装置のイコライザーの調整をファジイ，ニューラルネットワークなどの手法を用い熟練したオペレータの動作の一部を代行し，自動調整するシステム[4]を検討している。

ここでは，騒音下における明瞭度向上に関する基礎的な検討を行うために第一歩として，パソコンを用いて単音節の録音・再生を行うシステムを構築し，疑似的な騒音としてホワイト・ノイズを付加した単音節明瞭度試験を行い，異聴傾向について検討を行った。

2. 実験方法

2・1 単音節の録音

明瞭度試験には100音節を用いることとし，単音節の録音は，周囲の雑音に影響されないように簡易な防音室内で行った。話者は本実験には参加しない40歳代の男性に依頼した。音声信号はあらかじめ，遮断周波数 8 [kHz] の LPF，および誘導ノイズ防止のための50[Hz]の HPF を通している。ADC の量子化量は12[bit]，サンプリング周波数は16.$\dot{6}$[kHz]である。単音節の収録に際しては，子音立ち上がり部分のデータが失われることのないように特に留意した。そのために音声がトリガーレベルに達するまでは，リングメモリ的な (1,000 Word) 配列に信号を記録し，トリガーレベル以降は一次元配列に直接記録している。収録後リングメモリの部分も含め音声波形を画面表示させ，子音部分が録音されていることを，モニター上および再生音で確認している。また実験ではホワイト・ノイズを疑似的な騒音として用いたが，これも同様な方法で CD(CBS/SONY 48 DG 3)から録音している。単音節/re/の録音波形例を図1に示す。

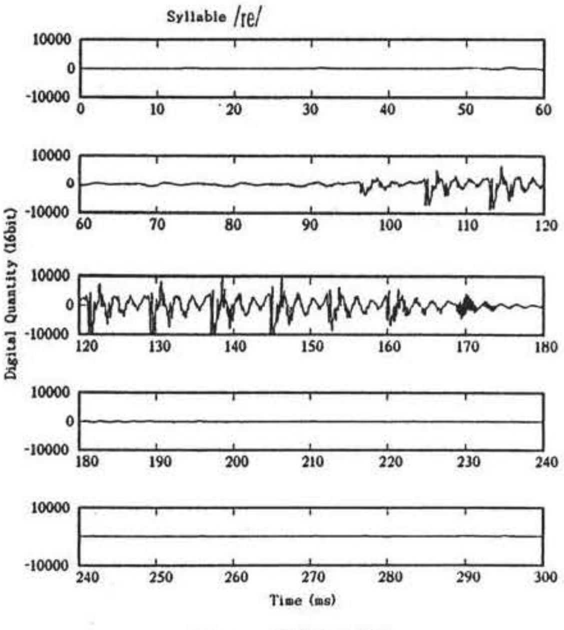

図1　時間波形例

*NTT ドコモ(株)
**秋田県高度技術研究所

2・2　試験音の提示方法

単音節明瞭度試験は，図2のシステムで行った。図において，チャンネル1にはノイズ信号，チャンネル2には単音節を送っている。これらの信号はサンプリング周波数16.6[kHz]のDACでアナログ信号に変換し，遮断周波数10[kHz]のLPFを通して信号を円滑にしている。またディジタル・アッテネーターで，各信号のレベル制御を行い，音声信号とノイズ信号をミキシングアンプで混合し，ヘッドホーン（YAMAHA YHD-3）で再生している。音圧の校正には6[CC]カップラーを(アコー社)用いた。

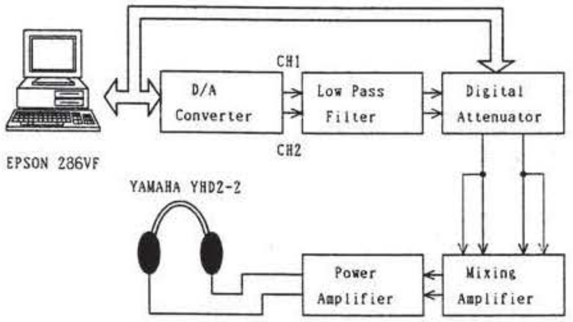

図2　試験音再生システム

試験音の提示時間構成は図3のようである。まずホワイト・ノイズの立ち上がり部と立ち下がり部の区間を20[ms]と定め，クリック音防止のために図3のような窓関数をかけている。またノイズと音声が同時に立ち上がった際に，単音節判断に必要な情報が失われ，音声明瞭度が低下することも考えられ，これも一つの実験要素となるが，ここではノイズが安定した状態での明瞭度試験に限定した。単音節はノイズに対し提示遅れ時間を150～180[ms]の間で乱数化し，ノイズと音声の立ち上がり部分が毎回同じタイミングで始まることを防止している。

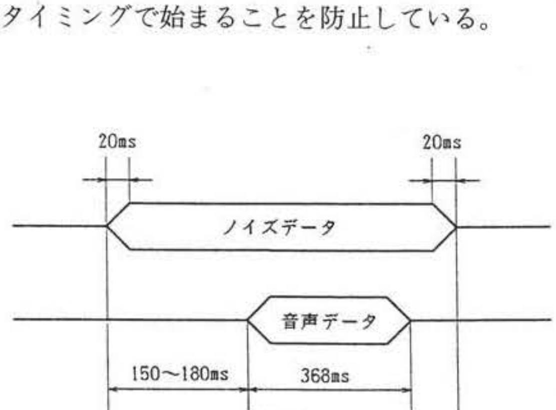

図3　試験音の提示方法

3．明瞭度試験の実験結果

明瞭度試験は，100音節で行った。単音節の出現順序は20種類の乱数表によっている。被験者は19～20歳の男子学生4名と40代の男性1名である。全員実験の目的は熟知している。実験は音声のレベルが50, 60, 70, 80, 90[dB]の5レベル，ノイズのレベルが音声のレベルに対し，−5，−10，−15，−20，−25，−∞[dB]の6段階であり，実験総数は1名につき30回となる。ただし1名の被験者が90[dB]でのレベルが音量が大きすぎるとしたため，150実験の内14実験のデータが欠落している。各音声レベルでの明瞭度試験結果を図4に示す。図において60～90[dB]のレベルでの明瞭度の試験結果はほぼ一致している。50[dB]の曲線だけが他の試験結果より下方にずれているが，これは音声レベルが低いためであり，また−20[dB]付近での平坦部は，ノイズレベルが音声との相対値であるために，ノイズがいき値以下のためと考えられる。

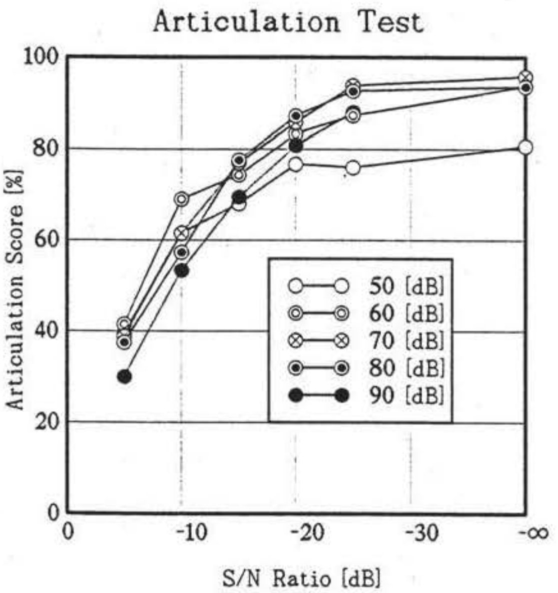

図4　明瞭度試験

4．実験結果の検討

明瞭度試験の結果を文献[3]と同様な異聴表としてまとめた結果を表1に示す。表の縦方向には提示音を，横方向には応答した音節の子音部を対応させている。横方向の[他]の項は，母音部分を間違えた場合，および単音節を判断できなかった場合を示している。傾向は文献[3]で得られた結果とほぼ同様

であり，本実験で用いた単音節および実験システムについても大きな問題はないといえる。

表1において，異聴の大きな部分は，左上隅の無声音部分，中央付近の有声音部分，そして鼻音部分が上げられる。さらに表2としてどの音素が異聴を起こしやすいかを子音別の異聴率表として示した。表2より調音上は

1) /d//b//g/　破裂音有声音
　/r/　ふるえ音唇音
2) /k//p/　破裂音無声音
　/h//s/　摩擦音声門音，摩擦音歯音無声音

の2つのグループが異聴を起こしやすく，また

1) /y//w/　半母音
2) /z/　摩擦音歯音有声音

が異聴を起こしにくい音素であることがわかる。また逆にどのような音素を異聴しやすいかを表3に示した。表3より

1) /p//t//k/　破裂音無声音
2) /h/　摩擦音声門音
3) /b//d//g/　破裂音有声音
4) /r/　ふるえ音唇音

のグループに異聴が集中しやすく，また

1) /y//w/　半母音

に異聴が集まりにくいことがわかる。全体としてどの単音節間で異聴が発生しやすいかを表4に示す。

表1　異聴表

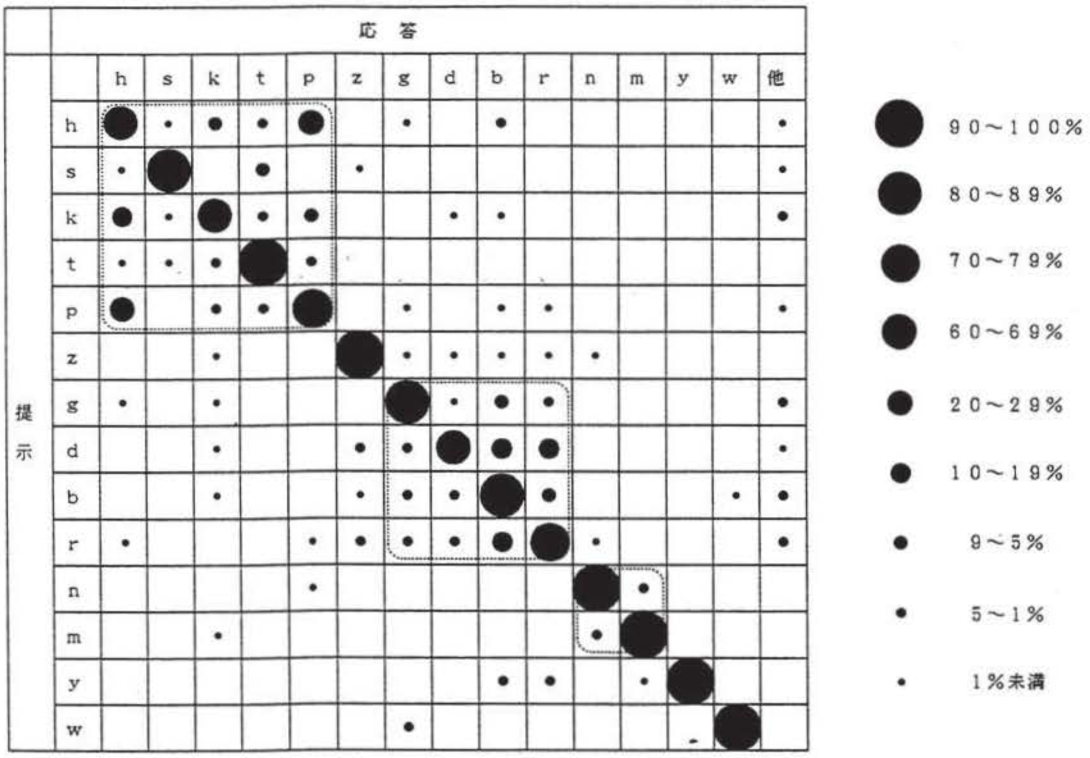

表2　提示子音別異聴率

	d	h	k	r	p	b	g	s	t	n	y	m	z	w
異聴個数	49	130	123	98	94	61	40	40	21	20	6	12	8	1
提示音素数	135	360	360	360	360	360	360	360	360	360	135	360	360	·45
異聴率(%)	36.2	36.1	34.1	27.2	26.1	16.9	11.1	11.1	5.83	5.55	4.44	3.33	2.22	2.22

表3　応答子音別異聴率

	p	h	b	d	t	k	r	g	m	z	n	w	s	y
異聴個数	137	133	97	25	64	56	50	41	19	15	13	1	3	0
応答音素数	403	363	396	111	403	293	312	361	367	367	353	45	323	129
異聴率(%)	38.0	36.9	26.9	18.5	17.7	15.5	13.8	11.3	5.27	4.16	3.61	2.22	0.83	0

表4　異聴の多い単音節の組み合わせ

異聴	個数	異聴	個数	計
h-p	84	p-h	62	146
b-r	24	r-b	45	69
k-p	37	p-k	18	55
b-g	14	g-b	22	36
d-r	16	r-d	15	31
m-n	11	n-m	18	29
r-h	66			66
s-t	34			34
h-k	27			27
d-b	20			20
r-g	15			15
k-t	13			13
t-p	13			13

表4からは

1)　/h/-/p/, /p/-/h/, /k/-/p/, /p/-/k/
2)　/b/-/r/, /r/-/b/, /b/-/g/, /g/-/b/
　　/d/-/r/, /r/-/d/
3)　/m/-/n/

間での相互的な異聴の割合が大きい。ここまでは明瞭度試験を行った音素全てを検討の対象としたが，実際にどのように判断してよいか不明の音節もかなり含まれているので，更に50%以上の明瞭度を示す60, 70, 80[dB]の実験データにより，後続する母音・半母音別による異聴傾向を図5に示した。図5において横軸は，単音節の子音部を，また縦軸は異聴を発生した子音を後続する母音および半母音に分類したものである。また図中（-＊）の記号は，最初の子音が失われ後続する母音および，半母音を受聴単音節として応答した場合を示している。また縦軸は，異聴回数が50回で最大である。

図5からは後続する母音により異聴を引き起こす子音が異なる傾向がうかがえる。また半母音も同様に後続する半母音により異なる異聴傾向を示すとも思われたがここでは/ya/, /yu/, /yo/の傾向は母音に比較的に類似していると思われる。更に詳しくは検討の必要がある。

5．まとめ

騒音下における音声明瞭度の向上に関する基礎的な研究を行うにあたり，基準となる単音節の録音・

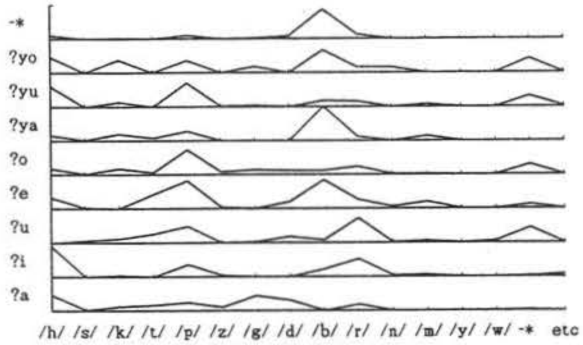

図5　母音および半母音別異聴傾向

再生システムを構築した。他の文献の明瞭度試験との比較結果よりデータベースとした単音節に問題はないと考えられる。また少なくとも本実験で用いている単音節においては，ホワイトノイズを用いた明瞭度試験の結果より，

1)　半母音は異聴を起こしにくい
2)　/p/を中心とする異聴がある
3)　/r/を中心とした異聴がある
4)　/b/-/g/, /m/-/n/間の異聴がある

などの傾向を確認することができた。これらの結果を引き継ぎ，デジタル信号処理的な音素加工による明瞭度の向上について検討したいと考えている。

参考文献

1) Russell J. Niederjohn and James H. Grotelueschen., “The Enhancement of Speech Intelligibillity in High Noise Levels by High-Pass Filtering Followed by Rapid Amplitude Compression”., ASSP, pp. 277-282 (1976)
2) 城戸・野呂・井・久野，騒音下における最適な放送レベルについて：EA91-9: pp. 39～45 (1991)
3) 安藤・長田・野呂・井・久野，「子音区間の補強による明瞭度の改善効果について」: EA91-7: pp. 25～30 (1991)
4) 栗栖・福山，ファジイ，ニューラルネットワークを用いた拡声音制御システム─騒音下における明瞭性改善のための知識獲得─：EA93-82: pp. 1～8 (1993)