

母音のエネルギー一定常部抑圧による高齢者に対する音節強調の検討*

小林 敬^{*1} 安 啓一^{*1} 程島奈緒^{*1}
荒井隆行^{*1} 進藤美津子^{*2}

【要旨】 超高齢社会で必要性が増すと予想される高齢者の言葉の聞きとりの改善を目的として、定常部抑圧処理（荒井ら、音講論集, 1, 449-450, 2001; Arai *et al.*, *Acoust. Sci. & Tech.*, 23(4), 229-232, 2002)を用いた音声強調の効果を検討した。この音声強調は、音声の知覚に比較的重要ではない母音の定常部のエネルギーを抑圧することにより、子音部、ホルマント遷移部を相対的に振幅増幅する。24種類の日本語単音節の音声強調を行って、48人の高齢者を対象に明瞭度実験を行った。その結果、特に難聴者に対して有効であり、実験で使用した子音の調音方法に関わらず明瞭度の改善が見られた。また、高齢者によく見られるラ行音などへの異聴が減少した。

キーワード 子音強調, 母音抑圧, 聴覚障害, 高齢者, 補聴器, 補聴援助システム

Consonant enhancement, Vowel suppression, Hearing-impaired, Elderly listeners, Hearing aids, Assistive listening devices

1. はじめに

我が国では2015年には高齢者が3,000万人（人口の25%以上）を超える超高齢社会を迎える。高齢者は一般的に加齢により聴力 [1], 継時マスクング [2] などの聴覚機能の低下が見られる。聴力はまず左右耳で同等に高音域が低下し、次第に中・低音域の聴力も低下していくが、常に高音漸傾型を示すのが特徴である [1]。また、継時マスクング量が増加することにより、単音節の子音の知覚において後続母音による逆向性マスクングの影響が増加することが考えられる [3]。これらの聴覚機能の低下に伴って高齢者の語音聴力も悪化し [4], 65歳以上では語音弁別能が約70%以下になるという [5]。

聴力レベルの低下や継時マスクングの低下を補償することにより、高齢者の語音弁別能の改善が期待される。特に日本語の単音節はCV（子音-母音）の構成を持つのが特徴で、子音の聴取能力の向上が明瞭度改善に重要である。残念ながら現在の補聴器に対して最も不満なことは言葉がはっきり聞こえないことであり、

言葉の聞き易い機能が最も求められているという [6]。子音を多く含む音声ははっきり聞こえる補聴器あるいは補聴援助システムの音声処理研究は、今後ますます重要であることを、我々は再認識せねばならない。

以前より我が国では難聴者の聞こえの改善を目的とした様々な子音強調処理の検討が行われてきた [3, 7-10]。特にデジタル補聴器に関する研究では、振幅の圧縮増幅による子音強調 [11-14], 子音部時間伸張加工 [15], 継時マスクング補償関数等を用いた子音部もしくは子音部と子音から母音への遷移部の増幅強調 [16, 17], ホルマント強調 [18, 19], 時間領域変換 [20] などがある。このように多くの音声処理の研究報告が行われているが有効性ははっきりせず、多くの難聴者の聞こえの改善に対して明確な方向はまだ示されていない。その理由として聴覚障害の個人差のほか、音声自身が持つ特性が処理によって変化することが挙げられよう。上述の子音強調処理は、音声自身が持つ知覚のための重要な特性が変わる問題点がある。例えば有声閉鎖音は Voice Onset Time (VOT) が同定のために重要な情報だが [21], 継時マスクングや時間分解能を補償する目的から持続時間を伸ばしたり子音と母音の間隔を広げたりする音声処理を加えると VOT が変化してしまう。また、子音を振幅強調する場合は適切な加工区間の切り出しが問題になる。

子音を同定するための特徴要素は、VOT, 周波数成分, ホルマント遷移などがある [21]。連続する単音節においては続く単音節の子音の同定のために、直前の単音節の母音の出わたり（遷移部）や子音の直後の母音

* A study of syllable enhancement for elderly listeners by suppressing energy of steady-state portions of vowels,
by Kei Kobayashi, Keiichi Yasu, Nao Hodoshima, Takayuki Arai and Mitsuko Shindo.

^{*1} 上智大学理工学部情報理工学科

^{*2} 上智大学言語聴覚研究センター

（問合先：荒井隆行 〒102-8554 東京都千代田区紀尾井町 7-1 上智大学理工学部情報理工学科
e-mail: arai@sophia.ac.jp）

（2007年6月7日受付, 2007年11月19日採録決定）

への入りわたりが重要な場合がある [22]。更に単音節間の調音結合の存在は、感音性難聴者の聞き取りの向上に貢献するという報告もある [23]。従って、VOT、周波数成分、ホルマント遷移、母音の遷移部、調音結合などの音声の知覚に重要な特性を失わずに、かつできるだけ多くの子音に対して強調処理が有効に働くことが必要である。

本研究では、上述の単音節の同定に重要な特性を損わずに子音強調を行うことに着目する。Furui [24] は日本語の CV の先頭及び最後尾から 10 ms 間隔で切断した音声を用いて明瞭度実験を行った結果、エネルギーが比較的大きかつ定常である母音の核部分がなくても明瞭度はほぼ 100%であったと報告している。音声の定常部は遷移部と比較するとそれほど重要ではないという報告もある [25]。これらの知見から荒井ら [26, 27] は音声の定常部のエネルギーを抑圧する定常部抑圧処理を提案し、補聴器の明瞭度の改善に使用できることを示唆した [28]。定常部抑圧処理を用いて母音の定常部区間を抑圧することにより、子音区間、ホルマント遷移区間、母音の遷移部（入りわたりと出わり） [22] を、人工的な処理を加えることなく相対的に強調することが可能である。詳細は 2 章で説明する。

定常部抑圧処理を用いた先行研究として、程島ら [29-31] は定常部抑圧処理が残響環境下における音声の明瞭度の改善に効果があることを示した。更に宮内ら [32] は 50 名の高齢者による残響下の聴取実験を行い、若年者よりも明瞭度が改善されることを確認した。しかし高齢者による残響のない環境における音声の明瞭度改善の検討はまだ行われていない。

本研究の目的は、母音の定常部のみを抑圧して相対的に子音を強調した CV が高齢者の明瞭度の改善に対して有効であるかどうかを検討することである。第 2 章では定常部抑圧処理による子音強調処理を述べる。第 3 章、第 4 章では実験の内容及び結果を述べる。第 5 章の考察では次の 6 節に分けて考察する。5.1 節では実験の結果を単音節の持つ特性と高齢者の知覚の特徴を交えて検討する。5.2 節では今回の実験結果の特徴として見られた無声摩擦子音の立ち上がりの同定の問題を取り上げ、定常部抑圧処理の影響を検討する。5.3 節～5.4 節では処理音声の特徴を更に詳しく述べる。5.5 節では処理音声と逆向性マスキング及び補充現象の関係について補足する。5.6 節では比較的長い定常部を持つ子音を持つ単音節に対する追加処理と実験結果について述べる。

2. 定常部抑圧と子音強調

荒井ら [26, 27] によって提案されている定常部抑圧処理を用いて母音の定常部を抑圧することにより子音

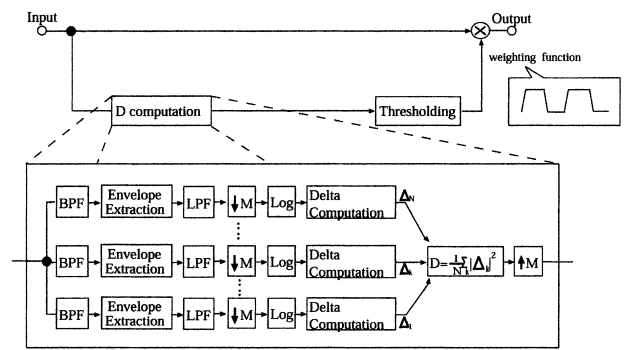


図-1 定常部抑圧処理のブロックダイアグラム (程島ら [31] より抜粋)

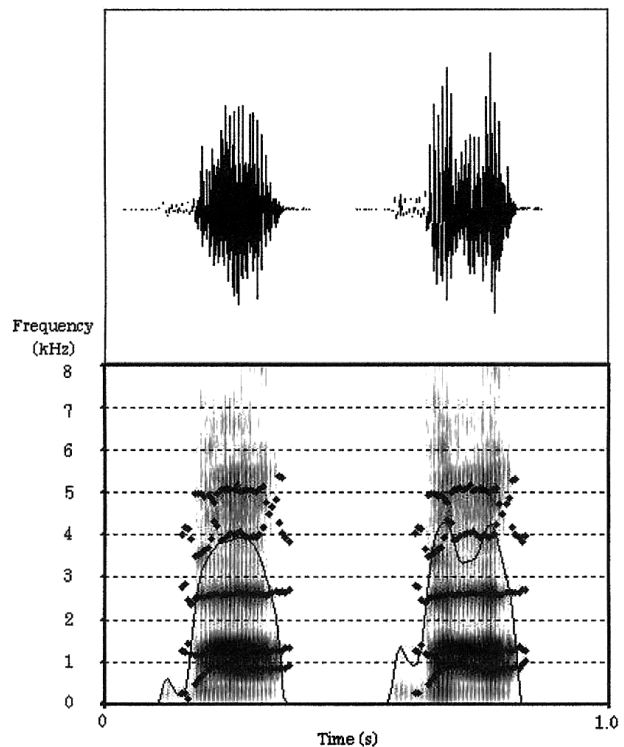


図-2 子音強調を施した単音節 /ba/ (左:原音声, 右:処理音声)

強調を行う。図-1 に定常部抑圧処理のブロックダイアグラムを、以下に手順を箇条書きで示す。

1. 入力音声（標準化周波数 16 kHz）を聴覚特性である臨界帯域を模擬して 1/3 オクターブ幅で帯域分割する（図-1 の BPF ブロック）。
2. 各帯域で、時間包絡の回帰係数を以下の手順で算出する。
 - ヒルベルト包絡をとり、カットオフ周波数 35 Hz のローパスフィルタで帯域制限する（図-1 の Envelope Extraction ブロック及び LPF ブロック）。
 - ダウンサンプリング（100 Hz）後、対数をとる（図-1 の ↓ M ブロック及び Log ブロック）。
 - 時間系列で前後 2 サンプル（計 5 サンプル）を用いて回帰係数を算出する（図-1 の Delta Computation ブロック）。

3. 10 ms ごとに各帯域の回帰係数を全帯域に渡って 2 乗平均する (= D , 図-1 の D ブロック)。ここで, D は Furui [24] にならい音声のスペクトル遷移を表すパラメータを表す。
4. D の時間系列を元の標本化周波数 (16 kHz) に戻す (図-1 の $\uparrow M$ ブロック)。
5. D が一定の閾値以下の区間に対して, 振幅を 40% に抑圧した音声を出力とする。ここで, 抑圧を開始する際や解除する際に急激に振幅が変化しないように線形傾斜を掛けながら抑圧する。

以上の定常部抑圧処理によって母音の定常部を抑圧した単音節 (処理音声) と原音声の単音節の実効値を揃えることにより, 抑圧されなかった子音部等の区間が相対的に増幅される。原音声と処理音声の例を図-2 に示す。図-2 の上図は時間波形, 下図はスペクトログラムを示す。また, 左側が原音声, 右側が処理音声である。図-2 の下図の濃い黒の点はホルマント, 細線はインテンシティを示す。図-2 より母音の定常部 (核) が抑圧されている様子が分かる。また, 子音区間やホルマント遷移区間の振幅が相対的に増幅されている様子が分かる。子音区間の雑音等の周波数成分やホルマント遷移区間のホルマント成分に対して, 周波数軸や時

間軸に対する加工処理は一切行っておらず, 原音声と同様な特性である。更に母音の語尾の遷移部は抑圧していない。この語尾の振幅は, 定常区間と非定常区間の境で抑圧を解除する際の傾斜を変更することによって調整可能である。

3. 聴取実験

3.1 刺 激

補聴器装用時の明瞭度検査として行われる語音弁別能の検査に単音節が使われていることから, 本実験では単音節を刺激に用いた。刺激は日本語の CV で, C として, /p/, /t/, /k/, /b/, /d/, /g/, /s/, /ʃ/, /h/, /tʃ/, /dʒ/, /dʒ/, /m/, /n/ を, V として, /a/, /i/ を用いた (合計 24 種類)。刺激は, ATR 研究用日本語音声データベース (40 歳男性話者) を使用し, 同じ母音の CV セットごとに実効値を正規化した。この CV セットは程島ら [29-31], 宮内ら [32] が用いた刺激と全く同じであり, 若年健聴者に対する聴取実験 [31] ではほぼ 100% の正解率を得ている。この CV セットを原音声, 定常部抑圧による子音強調処理を施した刺激を処理音声とする。処理音声の語尾 (非定常区間) の振幅は抑圧していない。表-1 に本実験で用いる刺激を

表-1 実験で使用した単音節 (CV) の分類と子音対母音のエネルギー比

カテゴリ	単音節 (CV)	原音声 (dB)		処理音声 (dB)		子音強調 (dB)	
		CV 比 (A)	平均	CV 比 (B)	平均	B - A	平均
無声閉鎖音 + 母音	/pa/	0.5	-2.7	5.1	1.1	4.5	3.8
	/pi/	-1.1		-0.2		0.8	
	/ta/	-2.3		2.3		4.6	
	/ka/	-5.9		1.4		7.4	
	/ki/	-4.6		-3.1		1.6	
無声摩擦音 + 母音	/sa/	-6.2	-4.8	-1.8	-1.4	4.3	3.3
	/ʃi/	-2.9		-2.3		0.6	
	/ja/	-3.8		0.3		4.1	
	/ha/	-5.4		-1.2		4.2	
	/hi/	-5.8		-2.2		3.5	
無声破擦音 + 母音	/tʃa/	-1.9	-2.8	2.2	0.6	4.1	3.4
	/tʃi/	-3.6		-0.9		2.7	
有声閉鎖音 + 母音	/ba/	-4.5	-6.5	-0.9	-2.8	3.6	3.7
	/bi/	-3.2		-0.5		2.7	
	/da/	-7.3		-2.4		4.9	
	/ga/	-6.2		-2.9		3.2	
	/gi/	-11.4		-7.3		4.1	
有声破擦音 + 母音	/dʒa/	-5.0	-5.8	0.3	-1.6	5.3	4.2
	/dʒa/	-7.8		-3.2		4.5	
	/dʒi/	-4.7		-2.0		2.7	
鼻音 + 母音	/ma/	-2.4	-1.8	2.0	2.5	4.3	4.3
	/mi/	0.0		4.5		4.4	
	/na/	-3.5		0.9		4.4	
	/ni/	-1.4		2.9		4.3	

表-2 健聴者グループの聴力（良耳側。一番右の列は3分法による聴力レベルを示し単位はdB HLである。最下段に平均年齢（歳）及び平均聴力レベル（dB HL）を示す。また、Subjects #10の年齢は未申告のため該当欄は空白である。）

Subjects	Age	Hearing level (dB HL)							Average
		125 Hz	250 Hz	500 Hz	1,000 Hz	2,000 Hz	4,000 Hz	8,000 Hz	
1	63	25	30	25	20	25	15	45	23
2	69	25	20	5	20	25	10	25	17
3	57	25	20	15	0	10	10	15	8
4	59	25	30	30	20	20	5	35	23
5	60	10	10	20	10	10	30	50	13
6	75	20	25	10	15	20	10	35	15
7	61	15	20	15	15	25	25	30	18
8	69	30	25	20	5	15	35	35	13
9	60	20	20	15	15	25	25	50	18
10		15	15	15	10	15	15	20	13
11	63	30	25	20	25	20	35	50	22
12	66	25	20	10	15	30	30	45	18
13	66	20	30	15	15	25	30	20	18
14	67	15	20	15	20	20	10	20	18
15	70	25	20	15	20	35	20	30	23
16	66	20	30	25	25	20	15	40	23
17	73	30	25	20	20	25	10	25	22
18	67	15	15	10	5	15	15	5	10
19	63	25	25	15	10	10	10	35	12
20	56	20	25	20	25	30	20	35	25
21	71	30	20	10	10	20	20	30	13
22	72	20	15	10	15	10	15	25	12
Average	65.4								17.3

示す。表中のCV比は、子音部とその直後のホルマント遷移部のエネルギーと母音部（ただし前述のホルマント遷移部を除く）のエネルギーの比を示す。子音強調の度合を処理音声のCV比（B）と原音声のCV比（A）の差（B - A）で示した。また、本処理による子音強調は母音の抑圧と相対的に子音の振幅や長さを強調するために調音位置よりも調音方法の情報を強調するので、表中では調音方法（及び有声・無声の区別）ごとにカテゴリ分けしている。

3.2 参加者

実験参加者は、東京都千代田区に在住する56歳から90歳までの日本語を母語とする男女50名の中から片耳難聴2名を除いた48名である。全員痴呆等の症状はみうけられず、補聴器の装用経験もない。参加者の平均年齢は68.0歳（未申告の1名を除く47名の平均）、平均聴力レベルは21.5 dB HL（3分法で算出）である。

良耳側のオージオグラムにより参加者を健聴者グループ（22名、平均年齢65.4歳、平均聴力レベル17.3 dB HL）と難聴者グループ（26名、平均年齢70.0歳、平均聴力レベル25.1 dB HL）に分類した。各グ

ループの被験者の聴力レベル（良耳側）を表-2、表-3にそれぞれ示す。ここで健聴者グループとは125 Hz～4,000 Hzの聴力閾値が35 dB HL以下でかつ平均聴力閾値が30 dB HL未満（3分法）を示し、更に高音域漸傾型や特定の周波数の低下が見られない者とした（1～22）。難聴者グループとは高音域漸傾型（23～40）や特定の周波数の低下（41～48）の難聴を呈する者とし、125 Hz～8,000 Hzのいずれかにおいて40 dB HL以上の聴力閾値を示す。括弧内の数字は表-2、表-3のSubjects番号を示す。

3.3 手順

実験は防音室で行った。刺激音の呈示はヘッドホン（STAX SR-303）を用い、あらかじめ参加者ごとに聞き取り易い音圧レベルに調整した。実験の形式に慣れさせるため、本番前に参加者に対して1～2回の試行練習を行った。実験の手順は、各試行においてまず刺激音を1度だけ呈示し、呈示終了後回答用紙に聞こえたと思う単音節を記入させた。記入が終わるとパソコンの画面をマウスでクリックさせて、次の刺激を呈示した。各参加者に対して、計48種類の刺激（原音声24種類、処理音声24種類）をランダムな順番で呈示

表-3 難聴者グループの聴力（良耳側。一番右の列は3分法による平均聴力を示し単位はdB HLである。最下段に平均年齢（歳）及び平均聴力レベル（dB HL）を示す。）

Subjects	Age	Hearing level (dB HL)							Average
		125 Hz	250 Hz	500 Hz	1,000 Hz	2,000 Hz	4,000 Hz	8,000 Hz	
23	65	10	5	20	35	50	55	60	35
24	68	40	35	30	25	25	30	50	27
25	74	35	35	35	35	50	45	55	40
26	72	35	35	25	15	40	60	70	27
27	71	20	25	30	25	15	40	60	23
28	79	15	15	15	20	30	50	45	22
29	72	20	25	15	10	20	35	65	15
30	73	15	10	10	10	15	45	75	12
31	60	25	25	15	20	30	15	50	22
32	74	35	30	25	30	45	50	70	33
33	73	20	25	25	25	30	50	60	27
34	68	10	10	15	10	25	25	55	17
35	57	20	25	20	10	25	35	50	18
36	90	30	30	35	30	40	55	70	35
37	66	25	25	15	5	20	40	30	13
38	74	35	30	30	20	35	40	55	28
39	73	30	30	20	30	30	55	55	27
40	73	15	10	5	10	25	30	70	13
41	65	35	40	40	30	45	45	45	38
42	71	40	35	20	10	20	25	25	17
43	69	30	30	20	20	20	10	50	20
44	67	40	40	40	30	25	25	55	32
45	69	35	40	20	20	20	10	45	20
46	68	40	30	20	25	30	40	55	25
47	63	15	15	15	20	20	45	30	18
48	67	55	55	45	50	50	45	80	48
Average	70.0								25.1

した。

4. 実験結果

両参加者グループの原音声と処理音声それぞれの正解率と標準偏差及び *t* 検定による有意確率を表-4 に示す。更に表-5~表-8 に両参加者グループの原音声と処理音声それぞれの単音節の正解率、カテゴリ内正解率、平均正解率、及び異聴した音声を示す。ここで表-5~表-8 に示したとおり、同じ調音方法を持つ子音及び有声・無声の区別ごとにカテゴリ分けしている。正解率とは参加者グループによる単音節 CV の平均の正解率を示す。カテゴリ内正解率とは単音節 CV の子音 C が同じカテゴリに同定した割合を参加者グループの平均で示す。カテゴリ内正解率が高いほど参加者が調音方法をよりよく同定していると言える。また、平均正解率とは上述の正解率をカテゴリ内で平均したものである。

表-4 実験結果

グループ	原音声		処理音声		有意確率
	正解率 (%)	標準偏差	正解率 (%)	標準偏差	
健聴者	92.0	5.28	93.4	4.75	0.148
難聴者	82.1	13.1	86.5	12.7	0.001

5. 考察

5.1 定常部抑圧処理の効果

表-4 より、健聴者グループ、難聴者グループとも定常部抑圧処理による単音節の正解率の上昇が見られたことが分かる。原音声の正解率と処理音声の正解率の間の有意差については、健聴者グループは有意差が認められなかったが ($p = 0.148$)、難聴者グループは有意差が認められた ($p = 0.001$)。健聴者グループは無声摩擦音と有声閉鎖音を除いて原音声の正解率が約95%以上に達し天井効果が見られ、残響のない本実験

表-5 健聴者グループの正解率及び異聴音声 (原音声)

カテゴリ	呈示 単音節	参加者 (名)	正解者 (名)	異聴した音声	正解率 (%)	カテゴリ内 正解率(%)	平均正解率 (%)
無声閉鎖音 + 母音	/pa/	22	21	/ba/	95.5	95.5	96.2
	/pi/	22	21	/bi/	95.5	95.5	
	/ta/	22	22		100.0	100.0	
	/ka/	22	22		100.0	100.0	
	/ki/	22	22		100.0	100.0	
無声摩擦音 + 母音	/sa/	22	22		100.0	100.0	81.8
	/fa/	22	20	/tfa/ 2 件	90.9	90.9	
	/fi/	22	8	/tʃi/ 14 件	36.4	36.4	
	/ha/	22	22		100.0	100.0	
無声破擦音 + 母音	/hi/	22	18	/ʃi/ 2 件, /tʃi/ 2 件	81.8	90.9	100.0
	/tʃa/	22	22		100.0	100.0	
	/tʃi/	22	22		100.0	100.0	
	/ba/	22	22		100.0	100.0	
有声閉鎖音 + 母音	/bi/	22	15	/ri/ 7 件	68.2	68.2	86.4
	/da/	22	19	/ra/ 3 件	86.4	86.4	
	/ga/	22	22		100.0	100.0	
	/gi/	22	17	/ri/ 5 件	77.3	77.3	
有声破擦音 + 母音	/dʒa/	22	22		100.0	100.0	100.0
	/dʒa/	22	22		100.0	100.0	
	/dʒi/	22	22		100.0	100.0	
鼻音 + 母音	/ma/	22	22		100.0	100.0	94.3
	/mi/	22	22		100.0	100.0	
	/na/	22	17	/ma/ 2 件, /ra/ 3 件	77.3	86.4	
	/ni/	22	22		100.0	100.0	

表-6 健聴者グループの正解率及び異聴音声 (処理音声)

カテゴリ	呈示 単音節	参加者 (名)	正解者 (名)	異聴した音声	正解率 (%)	カテゴリ内 正解率(%)	平均正解率 (%)
無声閉鎖音 + 母音	/pa/	22	21	/ba/	95.5	95.5	98.2
	/pi/	22	21	/bi/	95.5	95.5	
	/ta/	22	22		100.0	100.0	
	/ka/	22	22		100.0	100.0	
	/ki/	22	22		100.0	100.0	
無声摩擦音 + 母音	/sa/	22	22		100.0	100.0	81.8
	/fa/	22	21	/tfa/	95.5	95.5	
	/fi/	22	6	/tʃi/ 16 件	27.3	27.3	
	/ha/	22	22		100.0	100.0	
無声破擦音 + 母音	/hi/	22	19	/ʃi/ 2 件, /tʃi/ 1 件	86.4	95.5	97.7
	/tʃa/	22	22		100.0	100.0	
	/tʃi/	22	21	/dʒi/ 1 件	95.5	95.5	
	/ba/	22	22		100.0	100.0	
有声閉鎖音 + 母音	/bi/	22	18	/ri/ 4 件	81.8	81.8	90.9
	/da/	22	21	/ra/ 1 件	95.5	95.5	
	/ga/	22	22		100.0	100.0	
	/gi/	22	17	/ri/ 5 件	77.3	77.3	
有声破擦音 + 母音	/dʒa/	22	22		100.0	100.0	100.0
	/dʒa/	22	22		100.0	100.0	
	/dʒi/	22	22		100.0	100.0	
鼻音 + 母音	/ma/	22	22		100.0	100.0	97.7
	/mi/	22	22		100.0	100.0	
	/na/	22	20	/ma/ 2 件	90.9	100.0	
	/ni/	22	22		100.0	100.0	

表-7 難聴者グループの正解率及び異聴音声 (原音声)

カテゴリ	呈示 単音節	参加者 (名)	正解者 (名)	異聴した音声	正解率 (%)	カテゴリ内 正解率(%)	平均正解率 (%)
無声閉鎖音 + 母音	/pa/	26	21	/ha/ 3 件, /ba, /a/	80.8	80.8	81.5
	/pi/	26	19	/ki/, /tʃi/, /gi/, /ri/ 4 件	73.1	76.9	
	/ta/	26	24	/sa/, /ma/	92.3	92.3	
	/ka/	26	24	/ka/, /ga/	92.3	92.3	
	/ki/	26	18	/ʃi/, /hi/, /tʃi/ 6 件	69.2	69.2	
無声摩擦音 + 母音	/sa/	26	20	/ta/ 2 件, /ha/ 4 件	76.9	92.3	80.8
	/fa/	26	22	/tʃa/ 3 件, /tʃi/	84.6	84.6	
	/ʃi/	26	19	/hi/, /tʃi/ 6 件	73.1	76.9	
	/ha/	26	26		100.0	100.0	
	/hi/	26	18	/ki/ 2 件, /ʃi/ 2 件, /tʃi/ 2 件, /ʒi/, /ri/	69.2	76.9	
無声破擦音 + 母音	/tʃa/	26	21	/sa/, /ʃa/ 3 件, /ʒa/	80.8	80.8	88.5
	/tʃi/	26	25	/ʃi/	96.2	96.2	
有声閉鎖音 + 母音	/ba/	26	25	/ma/	96.2	96.2	68.5
	/bi/	26	8	/ri/ 18 件	30.8	30.8	
	/da/	26	19	/ba/, /ra/ 6 件	73.1	76.9	
	/ga/	26	25	/da/	96.2	100.0	
	/gi/	26	12	/ni/, /ri/ 11 件, /i/, /de/	46.2	46.2	
有声破擦音 + 母音	/ʒa/	26	25	/ra/	96.2	96.2	91.0
	/ʒa/	26	20	/ka/, /da/, /ʒa/ 4 件	76.9	92.3	
	/ʒi/	26	26		100.0	100.0	
鼻音+母音	/ma/	26	26		100.0	100.0	90.4
	/mi/	26	25	/ni/	96.2	100.0	
	/na/	26	20	/ma/, /ra/ 4 件	76.9	84.6	
	/ni/	26	23	/ri/, /i/, /u/	88.5	88.5	

表-8 難聴者グループの正解率及び異聴音声 (処理音声)

カテゴリ	呈示 単音節	参加者 (名)	正解者 (名)	異聴した音声	正解率 (%)	カテゴリ内 正解率(%)	平均正解率 (%)
無声閉鎖音 + 母音	/pa/	26	20	/ha/, /ba/ 4 件, /a/	76.9	76.9	87.7
	/pi/	26	20	/tʃi/ 2 件, /bi/, /ri/ 2 件, /dei/	76.9	76.9	
	/ta/	26	25	/sa/	96.2	96.2	
	/ka/	26	25	/ga/	96.2	96.2	
	/ki/	26	24	/tʃi/ 2 件	92.3	92.3	
無声摩擦音 + 母音	/sa/	26	19	/ta/ 2 件, /ha/ 4 件, /fa/	73.1	88.5	77.7
	/fa/	26	23	/tʃa/ 3 件	88.5	88.5	
	/ʃi/	26	18	/tʃi/ 7 件, /wa/	69.2	69.2	
	/ha/	26	26		100.0	100.0	
	/hi/	26	15	/ʃi/ 11 件	57.7	100.0	
無声破擦音 + 母音	/tʃa/	26	24	/ʃa/, /ʒa/	92.3	92.3	94.2
	/tʃi/	26	25	/tʃa/	96.2	100.0	
有声閉鎖音 + 母音	/ba/	26	26	/ma/	100.0	100.0	81.5
	/bi/	26	14	/ri/ 12 件	53.8	53.8	
	/da/	26	24	/ra/ 2 件	92.3	92.3	
	/ga/	26	25	/da/	96.2	100.0	
	/gi/	26	17	/bi/, /ri/ 8 件	65.4	69.2	
有声破擦音 + 母音	/ʒa/	26	26		100.0	100.0	94.9
	/ʒa/	26	22	/da/, /ʒa/ 3 件	84.6	96.2	
	/ʒi/	26	26		100.0	100.0	
鼻音+母音	/ma/	26	26		100.0	100.0	93.3
	/mi/	26	24	/ni/ 2 件	92.3	100.0	
	/na/	26	24	/ma/, /ra/	92.3	96.2	
	/ni/	26	23	/i/, /u/ 2 件	88.5	88.5	

環境では本処理の有効性を検証することができなかった。表-5~表-8に示す結果から、本処理によって正解率が低下した単音節は健聴者グループでは /ʃi/, /tʃi/ 難聴者グループでは /pa/, /sa/, /ʃi/, /hi/, /mi/ である。

カテゴリ内正解率が上昇した単音節の数は表-5~表-8に示すとおり健聴者グループでは5件の単音節に対して、難聴者グループでは14件の単音節に対して上昇が見られた。また、難聴者グループでは、原音声では100%のカテゴリ内正解率を示す単音節が5件であったのに対し、処理音声では9件と上昇している。一方、カテゴリ内正解率が低下した単音節は、健聴者グループでは1件 (/ʃi/)、難聴者グループでは3件 (/pa/, /sa/, /ʃi/) である。いずれも単独の正解率でも低下しており、定常部抑圧処理によって若干明瞭度が悪化したと言える。/ʃi/ 及び /sa/ については後述の無声摩擦音の段落及び5.6節で、また、/pa/ については後述の無声閉鎖音の段落で、それぞれ詳しく考察する。

母音の異聴は、健聴者グループでは見られず、難聴者グループでは見られたが異聴率は0.5%以下と非常に低かった〔原音声で計1,152件(24音×48名)中3件、処理音声で計1,152件(24音×48名)中5件〕。このことから母音の定常部が母音の知覚にあまり重要ではないという報告[25]を本実験結果においても支持していると言えよう。次段落以降では、子音の調音方法ごとに本処理による知覚の変化を考察する。

有声閉鎖音は処理による明瞭度改善の効果が最も見られた子音である(健聴者グループの正解率は原音声86.4%, 処理音声90.9%, 難聴者グループの正解率は原音声68.5%, 処理音声81.5%)。両参加者グループとも原音声の正解率が比較的低いのは、原音声をラ行音に異聴する傾向が両参加者グループともに見られたためである。原音声の /bi/ は全体の約半数(48名中25名)の参加者が /ri/ に異聴した。原音声の /da/ は全体の約20%(48名中9名)の参加者が /ra/ に異聴した。また、原音声の /gi/ (実際に呈示していたのは鼻濁音の /ŋi/) でも全体の約1/3(48名中16名)が /ri/ と異聴した。進藤[33]によると、中等度感音難聴例においても、子音の異聴が主体であり、特に /r/ 音への異聴が指摘されている。これは日本語の音韻の持つ物理的性質の反映であるという。例えば /da/, /dza/ やサ行音の子音部をカットすると、カットの仕方によってラあるいはラ行音に聴こえる傾向があるという。本実験では健聴者グループにおいてもラ行音に異聴していることから (/bi/ は22名中7名が /ri/ に、/da/ は22名中3名が /ra/ に異聴)、オーゾグラム上の聴力劣化だけではなく、例えば加齢による継時マスキ

ング量の増加が関係して、ラ行に聞こえた可能性がある。本処理はラ行に異聴した原音声に対する改善効果が大きかった。閉鎖音は音節の頭に現れる閉鎖区間及びその直後のホルマント遷移区間が極めて短いという特徴を持つ[21]。本処理によってこれらの区間が後続の母音に対し相対的に振幅強調された効果があったと考えられる。

鼻音でも有声閉鎖音と同様、両参加者グループにおいて原音声の /na/ を /ra/ に異聴する傾向が見られたが、処理によって異聴が減少した(健聴者グループは3名が原音声の /na/ を /ra/ に異聴していたのが処理音声では0名に減少、難聴者グループは原音声で4名が異聴していたのが処理音声では1名に減少)。鼻音のホルマント遷移と有声閉鎖音のホルマント遷移は非常によく似ているので[21]、上述の /bi/, /da/ と同様にラ行音に異聴し易い現象が現れたと考えられる。そして両参加者グループとも鼻音と有声閉鎖音の弁別に本処理が有効であった。

無声閉鎖音は、健聴者グループでは先述のとおり天井効果が見られたが、難聴者グループでは処理による明瞭度の改善が見られた(原音声81.5%, 処理音声87.7%)。難聴者グループでは原音声の /ki/ を有声破擦音の /tʃi/ へ異聴しているのが目立ったが(26名中6名)、処理音声ではその異聴していた全員が正しく同定した。/ki/ と /tʃi/ はともに短い子音区間及びホルマント遷移区間を持つが、この区間が定常部抑圧処理によって相対的に振幅強調されたことによるものであると考えられる。難聴者グループで明瞭度が低下した単音節は /pa/ であり、正解率及びカテゴリ内正解率とも処理によって若干低下している(正解率及びカテゴリ内正解率とも原音声80.8%, 処理音声76.9%)。しかしその異聴の内容を見ると、原音声で無声摩擦音の /ha/ へ異聴した4名の参加者のうち3名が処理音声では有声閉鎖音の /ba/ と知覚している。このことから、参加者は無声・有声の違いは捉えられなかったものの、閉鎖音の音響的な特徴を捉えることはできていると考えられる。

破擦音は、健聴者グループでは先述のとおり天井効果が見られたが、難聴者グループでは処理による改善が見られた(有声破擦音は原音声91.0%に対して処理音声94.9%, 無声破擦音は原音声88.5%に対して処理音声94.2%)。難聴者グループは原音声で無声破擦音の /tʃa/ を無声摩擦音の /sa/, /ʃa/ へ異聴する傾向が見られたが(4名)、処理音声では異聴が減少している(1名)。破擦音は閉鎖音のように声道の完全な障害を伴って生成されかつ摩擦音の摩擦区間よりも短い摩擦区間を持つ傾向にある[21]。そのため閉鎖音同様にこの比較的短めの雑音エネルギーを持つ子音区間のレ

ベルが本処理によって強調されることによって明瞭度が改善したと考えられる。

無声摩擦音は、健聴者グループの /j/ と難聴者グループの /sa/, /ji/, /hi/ の正解率が処理によってそれぞれ低下した。これは無声摩擦音の子音区間は比較的長い雑音エネルギーを多く含むが一部が定常雑音であり本処理はその部分を抑圧した場合があったためであった。そこで定常部抑圧処理に更に 1 次モーメントを用いた子音判定を加えたアルゴリズムを考案し追試の実験を行ったので 5.6 節で再検討する。なお、/hi/ は、原音声では他の子音カテゴリへの異聴が見られたが処理音声ではすべて同じ無声摩擦音の /j/ に異聴が集中しており、カテゴリ内正解率は著しく上昇している (原音声 76.9%, 処理音声 100%)。

5.2 /j/ と /tʃ/ の同定

健聴者グループにおいて、/j/ の原音声の正解率が 36% と著しく低く、異聴した者は全員が /tʃ/ と回答するという興味深い結果が得られた。破擦音と摩擦音を区別する主な音響的キューは、音節の頭の位置における雑音エネルギーの立ち上がり時間と摩擦の持続時間であるとされる [21, 34]。今回の刺激は若年健聴者に対する聴取実験 [31] ではほぼ 100% の正解率を得ていたため、高齢者はこの音響的キューが判別しにくいことが示唆される結果となった。

そこで我々は立ち上がり時間の異なる /j/ を若年健聴者 1 名と高齢者 25 名に呈示して /j/ と /tʃ/ のどちらに同定するかその割合 (反応率) を調べた [35]。/j/ の子音部のエネルギー最大点を基準に前方に 0~120 ms の直線傾斜を掛けて立ち上がり時間の異なる刺激を呈示した結果、若年者と比べて反応曲線が緩い結果を得た。60 歳以上の高齢者は /ba/ を /wa/ に異聴する傾向が見られるという研究 [36] によると、高齢者はホルマント遷移の時間的変化を捉える能力の低下があるために /ba/ と /wa/ の同定能力の低下があるという。本実験でも、時間的変化を捉える能力が低下していたために /j/ と /tʃ/ の立ち上がり時間の差が判別しにくかったと考えられる。

今回の実験において定常部抑圧処理による明瞭度の改善は得られなかった。また、上述の高齢者の反応率の実験においても定常部抑圧処理による明瞭度の改善は得られていない。/j/ は子音区間が比較的長いので、本処理による母音の定常部の抑圧が先行する子音の立ち上がりの知覚に影響しなかったと考えられる。本処理によって後続母音による先行子音への逆向性マスキングの減少が /j/ の摩擦の持続時間の知覚を変化させる可能性もあり引き続き検討中である。本処理の逆向性マスキングに対する影響については 5.5 節で述べる。

5.3 CV 比

本実験で用いた定常部抑圧処理は、子音部及び母音への遷移部の直後 (10 ms 以内) の母音の定常部を原音声の 40% の振幅比に抑圧している。これによって子音と母音のエネルギー比が変わり、更に単音節全体の RMS を揃えることによって結果的に子音のレベルが原音声と比べて大きくなるので子音強調の効果が得られる。今回の強調量 (原音声と処理音声の各 CV 比の差) は表-1 に示したとおりカテゴリごとの平均で 3.3 dB から 4.3 dB の範囲である。各単音節の子音の強調量は 0.6 dB から 7.4 dB とばらつきがあるが、これはそれぞれの子音のエネルギー量と母音の定常部のエネルギー量に依存するためである。Gordon-Salant [7] は、子音と母音のエネルギーの比が 10 dB の条件で子音強調した CV が高齢者の明瞭度の改善に対して有効であったという。Gordon-Salant [7] と本実験で用いた子音と母音の境界条件がそれぞれ違うので単純に比較はできないが、本処理では 10 dB より少ない CV 比でも明瞭度改善に有効であることを確認できた。

5.4 Modulation transfer function

音声のある帯域における振幅やパワーの時間変化のスペクトルは変調スペクトル、その周波数次元は変調周波数と言い、音声の知覚において一部の變調周波数が他の成分に比べて重要であることが知られている [37, 38]。音声の知覚に重要な變調周波数は 1~16 Hz であり [37, 39]、4 Hz 付近は音節速度を、10 Hz 以上は音素速度を反映する [40]。程島ら [31] は定常部抑圧処理を施した処理音声 (キャリアセンテンスを含む) が原音声と比較して 4 Hz 付近と 10 Hz 付近以上を強調していることを示した。本実験では子音すなわち音素が強調されていることを確認するために modulation transfer function を用いる。まず原音声と処理音声において本実験で用いたすべての単音節を連結してから帯域ごと (0~800 Hz, 800~1,600 Hz, 1,600~3,200 Hz, 3,200~8,000 Hz) の變調スペクトルを得る。そして各帯域において処理音声の變調スペクトルを原音声の變調スペクトルで除算して求めた。こうして求めた modulation transfer function を図-3 に示す。各帯域とも 10 Hz~20 Hz 付近にピークが見られ、すなわち子音が効率的に選択強調されていることが確認できる。なお、4 Hz 付近では一部 modulation transfer function が 1 より若干低いすなわち処理による變調スペクトルの劣化を示しているが、これは今回の検証では音素速度を検証する便宜上 250 ms 前後の単音節を単純に連結した文であり本当の連続発話文ではないために 4 Hz 付近では誤差が発生しているものである。

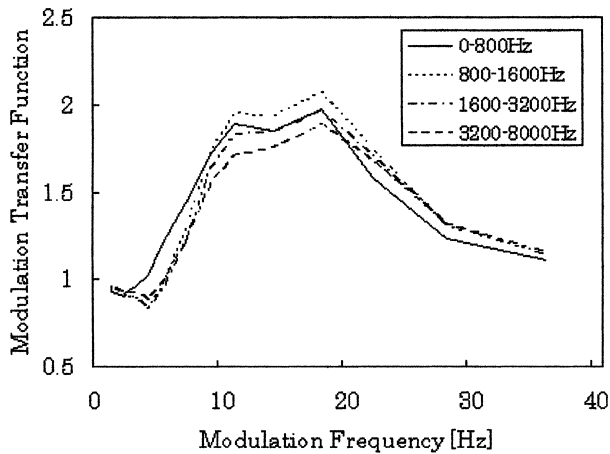


図-3 原音声と処理音声の modulation transfer function

5.5 逆向性マスキング及び補充現象

本処理による単音節の明瞭度の改善が見られた理由として、逆向性マスキングの影響が改善された可能性も考えられよう。太田ら [3] の感音性難聴児に対する日本語 CV 単音節 (C は閉鎖音, V は /a/, /e/, /o/) の明瞭度試験でも、後続母音が「持続時間の短縮 (2/3 又は 3/4) × 音圧の減衰 (4dB 又は 9 dB)」のときに明瞭度の改善が見られている。特に CV 単音節の後続母音 /a/ の第 2 ホルマントは、子音からの変移量が小さいので後続母音による子音成分への逆向性マスキングが起き易い [41, 42]。更に難聴に見られる補充現象によって入力音声の少しのレベルの変化で大きな知覚の変化が起き、レベルの大きな母音が先行する子音に対してより大きく知覚されて逆向性マスキングを増加させる可能性もある。

本処理は定常部のエネルギーを検出してそのエネルギーを抑圧するので、後続母音による直前の遷移部及び子音への逆向性マスキング量を低減させることが可能である。また、補充現象の程度により定常部の抑圧量を適切に調整することも可能である。今回は元の振幅の 40%つまり元の振幅に対して約 8dB の圧縮を定常部のエネルギーに対して行った。逆向性マスキング及び補充現象と本処理の関連は今後更に詳しく検討する必要がある。

5.6 無声摩擦音に関する追加実験

5.1 節で述べたとおり、健聴者グループも難聴者グループも無声摩擦音の明瞭度が定常部抑圧処理によって低下した。子音区間の雑音成分の定常部を抑圧しないようにするために、定常部抑圧処理に簡単な子音判定処理を加えることによって処理の精度を改善することが可能である。すなわち、周波数エネルギーの 1 次モーメントが一定のしきい値 (3,750 Hz) 以上の場合には子音区間と見なして D の値に関わらず抑圧しないよ

うにできる。

3.3 節と同様の手順で単音節明瞭度試験を行った。原音声は 3.1 節と同じデータベースから無声摩擦音 (/sa/, /fa/, /fi/, /ha/, /hi/) を用いた。抑圧率は 50%とした。参加者は新たに 64 歳から 91 歳までの 18 名で、健聴者グループは 6 名 (平均年齢 71.0 歳, 平均聴力レベル 14.8 dB HL), 難聴者グループは 12 名 (平均年齢 73.8 歳, 平均聴力レベル 26.9 dB HL) である。実験の結果、健聴者グループは原音声, 処理音声とも正解率 97%で天井効果が見られ、残響のない本実験環境で本処理の有効性を確認できなかった。難聴者グループは、原音声の正解率 78%, 処理音声の正解率 83%と定常部抑圧処理によって明瞭度が改善された (t 検定による有意確率は 0.191)。

6. ま と め

本研究における音節強調の特徴は、母音の定常部のみを抑圧することで CV の子音区間とホルマント遷移区間の特性を一切加工せずに振幅増幅することができる点である。定常部抑圧処理 [26, 27] によって母音の定常部を抑圧した日本語単音節 (CV) を用いて高齢者の音声明瞭度を調査した結果、難聴者グループ (26 名) の正解率の上昇に有意差が見られた。今回用いた子音では有声閉鎖音と有声破擦音で最も定常部抑圧処理による明瞭度の改善があった。本研究の最終的な目標として超高齢社会における補聴器あるいは補聴援助システムへの応用を目指している。本処理は音声の定常部判定の為に 20~30 ms の遅延を要し、ノイズに対する頑健性も考慮していない。しかし厳密なりアルタイムを必要とせずノイズの混入が少ない機器例えばホールや駅などでの場内放送用の音響装置やパソコンの音声ガイド機能などにおいて、出力音声の本処理で前処理することによって明瞭度を改善するような利用が考えられる。本研究が超高齢社会における補聴援助システムの発展に寄与できれば幸いと考えている。

謝 辞

本研究は、科学研究費補助金 (A-2, 16203041) の助成を受けて行った。実験にご協力いただいた社団法人千代田区シルバー人材センター及び実験参加者の皆様に感謝いたします。

文 献

- [1] 八木昌人, 加我君孝, 中枢性聴覚障害の基礎と臨床 (金原出版, 東京, 2000), pp. 155-159.
- [2] S.E. Gehr and M.S. Sommers, "Age differences in backward masking," *J. Acoust. Soc. Am.*, **106**, 2793-2799 (1999).
- [3] 太田富雄, 吉野公喜, "聴覚障害児の語音知覚における Backward Masking—破裂語音の明瞭度を中心に—," *心身障害学研究*, **10**, 23-30 (1986).

- [4] 佐藤恒正, “老人性難聴,” *CLIENT* 21(6) 聴覚 (中山書店, 東京, 2000), pp. 414–424.
- [5] 濱田豊彦, “厚生相談所に来所する高齢難聴者の語音弁別能,” *Audiol. Jpn.*, **38**, 697–698 (1995).
- [6] 河野康徳, 補聴器供給システムの在り方に関する研究 1 年次報告書 (補聴器供給システムの在り方研究会, 東京, 2002), pp. 68, 87.
- [7] S. Gordon-Salant, “Recognition of natural and time/intensity altered CVs by young and elderly subjects with normal hearing,” *J. Acoust. Soc. Am.*, **80**, 1599–1607 (1986).
- [8] E. Kennedy, H. Levitt, A.C. Neuman and M. Weiss, “Consonant-vowel intensity ratios for maximizing consonant recognition by hearing-impaired listeners,” *J. Acoust. Soc. Am.*, **103**, 1098–1114 (1998).
- [9] 加藤弓子, 林 治博, 松永 亨, 大山 玄, “感音難聴における日本語加工音節に対する異聴の分析,” *Audiol. Jpn.*, **34**, 779–785 (1991).
- [10] 米本 清, 倉内紀子, “感音性難聴者の聴覚機能と音声加工の効果,” 信学技報, SP89-132, pp. 9–15 (1990).
- [11] 鈴木陽一, 高橋 辰, 曾根敏夫, 高坂知節, “ラウドネス補償型デジタル補聴器 CLAUDHA,” *JOHNS* 11(9) (東京医学社, 東京, 1995), pp. 1294–1300.
- [12] 堀 清治, 設楽仁一, “デジタル補聴器デジタリオンとその効果,” *JOHNS* 11(9) (東京医学社, 東京, 1995), pp. 1281–1288.
- [13] 設楽仁一, 小寺一興, 三浦雅美, “騒音下のデジタル圧縮増幅とリカバリタイム,” *Audiol. Jpn.*, **40**, 379–380 (1997).
- [14] 設楽仁一, 小寺一興, 鈴木真澄, “デジタル圧縮による子音異聴の改善,” *Audiol. Jpn.*, **39**, 284–290 (1996).
- [15] 安達忠治, 小寺一興, 寺島邦男, 前川直子, 館野 誠, “デジタル音声処理の子音明瞭度への影響—子音部時間伸長加工の検討—,” *Audiol. Jpn.*, **47**, 181–191 (2004).
- [16] 鈴木良二, 吉住嘉之, 目片強司, 山田義則, 田中 豊, 河野 淳, 船坂宗太郎, “継時マスキングを補償する音声強調方法の検討,” *Audiol. Jpn.*, **34**, 335–336 (1991).
- [17] 新井雅之, “聴取能改善のための単音節音声加工に関する研究,” 日本耳鼻咽喉学会, **97**, 1494–1503 (1994).
- [18] 目片強司, 山田義則, 鈴木良二, 田中 豊, 河野 淳, 船坂宗太郎 “補聴器への応用を目的としたホルマント強調の一見当り明瞭度を尺度とした評価—,” 信学技報, SP93-35, pp. 1–8 (1993).
- [19] 星野 聖, “スペクトルのローカル・ピーク強調による子音明瞭度の改善,” *Audiol. Jpn.*, **37**, 57–63 (1994).
- [20] 金子賢一, 庄司和彦, 児嶋久剛, 本庄 巖, “時間領域変換型デジタル補聴器 (TD1) の装用効果,” *Audiol. Jpn.*, **40**, 377–378 (1997).
- [21] レイ D. ケント, チャールズ リード, 荒井隆行/菅原勉 (監訳), 音声の音響分析 (海文堂出版, 東京, 1996), pp. 129–173.
- [22] W. Strange, J. Jenkins and T.L. Johnson, “Dynamic specification of coarticulated vowels,” *J. Acoust. Soc. Am.*, **74**, 695–705 (1983).
- [23] 小寺一興, 平石光俊, 三浦雅美, “調音結合の語音明瞭度への影響—無意味 2 音節語音の検討—,” *Audiol. Jpn.*, **40**, 189–194 (1997).
- [24] S. Furui, “On the role of spectral transition for speech perception,” *J. Acoust. Soc. Am.*, **80**, 1016–1025 (1986).
- [25] H. Hermansky and N. Morgan, “RASTA processing of speech,” *IEEE Trans. Speech Audio Process.*, **2**, 578–589 (1999).
- [26] 荒井隆行, 木下慶介, 程島奈緒, 楠本亜希子, “音声の定常部抑圧の残響に対する効果,” 音講論集, pp. 449–450 (2001.10).
- [27] T. Arai, K. Kinoshita, N. Hodoshima, A. Kusumoto and T. Kitamura, “Effects on suppressing steady-state portions of speech on intelligibility in reverberant environments,” *Acoust. Sci. & Tech.*, **23**, 229–232 (2002).
- [28] T. Arai, K. Yasu and N. Hodoshima, “Effective speech processing for various impaired listeners,” *Proc. Int. Congr. Acoustics*, Vol. 2, pp. 1389–1392 (2004).
- [29] N. Hodoshima, T. Inoue, T. Arai, A. Kusumoto and K. Kinoshita, “Suppressing steady-state portions of speech for improving intelligibility in various reverberant environments,” *Acoust. Sci. & Tech.*, **25**, 58–60 (2004).
- [30] N. Hodoshima, T. Arai, T. Inoue, K. Kinoshita and A. Kusumoto, “Improving speech intelligibility by steady-state suppression as pre-processing in small to medium sized halls,” *Proc. Eurospeech*, pp. 1365–1368 (2003).
- [31] N. Hodoshima, T. Arai, A. Kusumoto and K. Kinoshita, “Improving syllable identification by a pre-processing method reducing overlap-masking in reverberant environments,” *J. Acoust. Soc. Am.*, **119**, 4055–4064 (2006).
- [32] Y. Miyauchi, N. Hodoshima, K. Yasu, N. Hayashi, T. Arai and M. Shindo, “A preprocessing technique for improving speech intelligibility in reverberant environments: The effect of steady-state suppression on elderly people,” *Proc. Interspeech*, pp. 2769–2772 (2005).
- [33] 進藤美津子, “中枢聴覚伝導路障害の局在部位と言語音の認知・理解に関する研究,” 帝京医学雑誌, **10**, 393–405 (1987).
- [34] P. Howell and S. Rosen, “Production and perception of rise time in the voiceless affricate/fricative distinction,” *J. Acoust. Soc. Am.*, **73**, 976–984 (1983).
- [35] 安 啓一, 小林 敬, 荒井隆行, 八田ゆかり, 南畑伸至, 進藤美津子, “高齢者による無声摩擦・破擦子音の知覚—子音の立ち上がり時間の変化に対する影響—,” 音講論集, pp. 487–488 (2006.3).
- [36] 阿部晶子, 斎藤佐和, 遠藤邦彦, “老年者における日本語 /ba/・/wa/ の同定能力とフォルマント遷移の弁別能力の関係,” 特殊教育学研究, **40**, 13–23 (2002).
- [37] R. Drullman, J.M. Festen and R. Plomp, “Effect of temporal envelope smearing on speech reception,” *J. Acoust. Soc. Am.*, **95**, 1053–1064 (1994).
- [38] R. Drullman, J.M. Festen and R. Plomp, “Effect of reducing slow temporal modulations on speech reception,” *J. Acoust. Soc. Am.*, **95**, 2670–2680 (1994).
- [39] T. Arai, M. Pavel, H. Hermansky and C. Avendano, “Syllable intelligibility for temporally filtered LPC cepstral trajectories,” *J. Acoust. Soc. Am.*, **105**, 2783–2791 (1999).
- [40] A.J. Duquesnoy and R. Plomp, “Effect of reverberation and noise on the intelligibility of sentences in cases of presbycusis,” *J. Acoust. Soc. Am.*, **68**, 537–544 (1980).
- [41] E.M. Danaher and M.P. Wilson, “Backward and Forward masking in listeners with severe sensorineural hearing loss,” *Audiology*, **17**, 324–338 (1978).
- [42] 太田富雄, 聴覚障害児の語音識別に関する実験的研究 (風間書房, 東京, 1994), pp. 87–104.



小林 敬

1992年上智大学理工学部機械工学科卒業, 1994年同大学院理工学研究科機械工学専攻博士前期課程修了。同年ソニー(株)入社。コンシューマー向け電気商品の開発設計等に従事。2005年上智大学大学院理工学研究科電気・電子工学専攻博士後期課程満期退学。同年同大学理工学部共同研究員。現在, オークランド大学(ニュージーランド)研究員。オーディオロジー支援機器, 耳鳴り等の研究に従事。日本音響学会会員, 日本聴覚医学会準会員。



安 啓一

2002年上智大学理工学部電気・電子工学科卒業, 2004年同大学院理工学研究科電気・電子工学専攻博士前期課程修了, 2005年同大学院博士後期課程中退。2005年~2008年同大学理工学部電気・電子工学科助手, 現在, 同大学院理工学研究科理工学専攻情報学領域博士後期課程在学中。聴覚障害者のための音声信号処理等の研究に従事。IEEE, IEICE, 日本音響学会等各会員。

程島 奈緒

2002年上智大学理工学部電気・電子工学科卒業。2005~2007年日本学術振興会特別研究員DC2。2007年同大学院理工学研究科電気・電子工学専攻博士後期課程修了。博士(工学)。同年, 同大学理工学部電気・電子工学科助教, 2008年同大学同学部情報理工学科特別研究員として現在に至る。音声信号処理, 音声知覚に関する研究に従事。日本音響学会, アメリカ音響学会, ISCA 各会員。



荒井 隆行

1989上智大・理工卒, 1994同大学院理工学研究科電気・電子工学専攻(博士後期課程)修了。同年上智大助手。1992~1993及び1995~1996 Oregon Graduate Institute of Science and Technology (USA) 客員研究員。1997~1998 California 大学 Berkeley 校付属研究機関 International Computer Science Institute (USA) 客員研究員。2003~2004 Massachusetts Institute of Technology (USA) 客員研究員。1998上智大専任講師, 現在同大学教授。音声コミュニケーション等の研究に従事。日本音響学会, アメリカ音響学会, 電子情報通信学会, IEEE 等各会員。博士(工学)。