論文

音韻特徴を捉えた音声伸長・短縮の了解度への影響と適応話速変換方法の提案

Difference in the Effect of Time-Expanded and Time-Contracted Speech on Intelligibility by Phonetic Feature and Adaptive Rate Control Strategy

学生会員 渋谷 徹^{†,††}, 渡辺 瞳^{†*}, 小林 洋介[†], 近藤 和弘[†]Toru Shibuya^{†,††}, Hitomi Watanabe^{†*}, Yosuke Kobayashi[†] and Kazuhiro Kondo[†]

Abstract We have been investigating the effect of speech rate alteration on Japanese speech intelligibility, especially the differences caused by phonetic feature. We evaluated this difference in intelligibility using the Japanese Diagnostic Rhyme Test (DRT) on artificially speed-altered speech, such as time-expanded speech (1.6 times the original length, or 60% time expansion) and time-contracted speech (0.6 times the original length). Artificial speaking rate alteration was shown to have some effect or degradation on the Japanese speech intelligibility depending on the phonetic feature, initial consonant feature, and succeeding vowel context. Nasal and voiced affricates were relatively unaffected by speed alteration. Syllables with vowel context /i/ showed 10% higher intelligibility when time-expanded. Furthermore, we showed that the intelligibility was affected by only the time length of the initial consonant by comparing the evaluation results of simple expansion/contraction and phonetic expansion/contraction. These results suggest guidelines for feature-dependent intelligible speed alteration methods.

キーワード：話速変換，日本語了解度，DRT(Diagnostic Rhyme Test)，音韻特徴，映像音声同期

1. ま え が き

放送番組などの視聴において，話す速度が速いと音声が開きとりにくいと感じることがあるが，その解決手段のひとつに話す速度を変える話速変換がある．話速変換の研究および実用化に関しては，「ゆっくり話すとわかりやすい」等の先行研究¹⁾でもその効果が報告されている．リアルタイム処理においては，話速伸張を行ったことにより絶対時間に対する遅れが生じてしまうという問題があるので，無音区間を短縮して音声伸長の時間に割り当てる手法を取り入れて時間遅れの吸収を行っている．さらに，言語間のポーズ（“間”）の時間長制御と有声区間の伸長倍率の制御方法に関する検討²⁾や無声区間の伸長方式の検討³⁾，言語発声時の特徴を捕らえた“はじめゆっくり徐々に早く”の制御手

法の検討⁴⁾など，話速変換と時間制御に関する研究が進められてきた．いずれも話速変換を行う区間を定めてその区間内を一律に伸長する方法であり，音韻種別での影響を調査したものはなかった．また，これらの先行研究での評価指標は，主に高齢者を対象にした“ゆっくり感”や“聞きやすさ”を尺度としており，文献³⁾では，高齢者の場合に原音で42.9%だった聞き取りやすさが伸長率1.4倍で85.7%に向上したことが報告されている．

爾寝らは難聴者向けにピッチを変えずに速度を遅くするリアルタイム小型端末を開発し⁵⁾，これらの装置が実用に供されている．この装置の話速変換手法は，パワーが大きい区間だけを閾値判定して，1.25倍や1.5倍で話速変換を行っている方式であり，音韻種別での影響を調査したものではない．この装置を用いて，種々の時間分解能をもつ難聴者に対して評価を行った結果，話速変換した音声の単語明瞭度の向上が得られなかったことと，聞き取りやすさが被験者の時間分解能に依存していることを明らかにした上で，時間分解能が悪い難聴者に対しての補聴効果が期待できると結論付けしている⁶⁾．他の音声伸張に関する研究では，単音節の子音部のみを2倍に伸長した条件で中等度感音性難聴者を対象に行った評価の結果，鼻音や半母音で明瞭度の向上が見られたとの報告⁷⁾があり，難聴者向けにも話速変換が有効であると考えられる．一方，音声短縮につ

2012年4月8日受付，2012年7月8日再受付，2012年8月3日採録

[†] 山形大学 大学院理工学研究科

(〒992-8510 米沢市城南 4-3-16, TEL 0238-26-3319)

^{††} 日本電気通信システム (株)

(〒980-0021 仙台市青葉区中央 3-4-7, TEL 022-212-5917)

* 仙台高等専門学校

[†] Graduate School of Science and Engineering, Yamagata University (3-16 Jonan-4chome, Yonezawa-city, Yamagata, 992-8510 Japan)

^{††} NEC Communication Systems, LTD.

(4-7, Chuo-3chome, Aoba-ku, Sendai-city, Miyagi 980-0021 Japanx)

* Sendai National College of Technology

いては、視覚障がい者向けのテキスト音声読み上げ装置での実用化がある。視覚障がい者においては、短い時間で効率よく情報を得たいため、早い話速のときでも聞き取りやすい合成音声が必要とされており、テキスト合成エンジンの高性能化が論じられている⁸⁾。これらの用途における話速は20 モーラ/秒といった超早口音声で、例えば、ニュース音声の通常の速さ8.5 モーラ/秒⁴⁾に比べると2.5 倍程度の速度である。

このように話速変換に関する先行研究では、蝸牛の劣化が主要因の老人性難聴に対する聞き取りやすさの評価が主体であったこと、話速短縮の場合は視覚障がい者向けの超早口音声の対象であったことがあげられ、音韻種別に理解度の影響を調査した研究はなされていなかった。

そこで、本研究では、伸長することで理解度が向上する音韻や、短縮しても理解度が低下しない音韻といったような日本語音声の音韻の特徴に着目したときの話速と理解度の関係を調査し、適応的に音声を伸長したり短縮したりすることで、ゆっくりの速度でも大きな時間遅れがない音声伸長方式や、早聞きでも理解度が低下しない音声短縮方式といった適応話速変換方式による聞き取りやすい音声信号の実現を目指している。なお、本研究は現段階では高齢者や難聴者に特定せずに検討を進めている。

本論文では、はじめに話速変換した音声信号の理解度を測定する方法として用いた二者択一型の理解度試験について述べる。次いで、話速と音韻の関係を調査するために行った、原信号の時間長の1.6 倍の音声伸長と0.6 倍の音声短縮の理解度試験(単純伸長・短縮試験)について述べる。次に、語頭子音と後続母音の伸長や短縮の影響を調査するために行った、語頭子音のみを伸長した場合や後続母音以外を短縮した場合といったような音韻のみの伸長や短縮パターンでの理解度試験(CV 伸長・短縮試験)について述べる。これらの試験結果を元に、音声伸長時に伸長する音韻と伸長しない音韻、音声短縮時に短縮してよい音韻、短縮しない音韻を整理し、適応話速変換方法を提案する。また、映像音声の相対時間差の観点から適応話速変換の時間的な効果を示し、最後にまとめと今後の課題を述べる。

2. 理解度の試験方法

2.1 理解度試験(DRT)の方法

本研究では、音声を時間伸長(あるいは短縮)することにより理解度が向上(あるいは劣化)する音韻や逆に変化がない音韻を調査することで、理解度が向上する音韻だけを伸長する、あるいは、劣化する子音は短縮しない、といった適応話速変換方法を提案することにある。

話速と音韻の関係を調査するにあたっては、主観音質の評価手法として、受聴音のわかりやすさを評価する明瞭度・理解度試験であるDiagnostic Rhyme Test (DRT)⁹⁾を用いた。DRTは語頭一音素のみ異なる単語対を用いた理解度試験で、単語対のいずれか一方を試験者に聴取させる二者

択一型の評価試験である。本研究では言語的な文脈の影響を排除し、音韻の識別に集中したい意図があり、DRTを使用して単語理解度を計測することとした。また、DRTは明確に実験方法が定義されており、PCを使った実験の実施や結果の処理が簡単であることや、被験者に特段の訓練を必要としない点などもDRTを選択した理由である。

本研究では、文献9)で報告されている日本語の2 モーラ単語対リストを用いた。この単語対は、有声性(Voicing)、鼻音性(Nasality)、継続性(Sustention)、不規則性(Sibilant)、拗音性(Graveness)および集中性(Compactness)の6種類の音韻特徴に分類されており、それぞれ10単語対(各20単語)から構成される。また、この120単語の語頭子音(initial consonant)は、鼻音(nasal:/m/, /n/ (22単語)), 有声破擦音(voiced affricate: /z/, /dz/ (7単語)), 有声破裂音(voiced plosives: /b/, /d/, /g/ (25単語)), 半母音・流音(semivowel and liquid: /y/, /w/, /r/ (8単語)), 無声破擦音(unvoiced affricate: /s/, /ʃ/, /ts/ (17単語)), 無声破裂音(unvoiced plosives: /p/, /t/, /k/ (30単語)), 渡り音(glide: /h/ (11単語))の七つの子音特徴に分類することができる。なお、子音に後続する第一音節の母音(succeeding vowel)は日本語の五つの母音/a/, /i/, /u/, /e/, /o/が各24単語ずつ均等に配列されている。したがって、本DRTを適用することで、話速と音韻の関係を比較的簡単に評価することが可能である。

2.2 話速変換方法

話速変換の音声加工には、フリーソフトのPraat¹⁰⁾を用いた。PraatはPitch Synchronous Overlap Add (PSOLA)法を使用しており、ピッチを変えずに伸長短縮を行えるものである。原信号に対して1.6 倍の時間に伸長した“1.6x-slow”と0.6 倍の時間に短縮した“0.6x-quick”, 原信号と同じ速度の“1.0x-altered”を同ツールで加工して作成した(図1)。この3種類に原音“original”を加えて試験を行った。

ここで、伸長倍率については先行研究の文献2)~6)では1.0 倍~1.5 倍を、文献7)では2.0 倍を用いていること、短縮倍率については音声付映像速覧(いわゆる“早見早聞き”)では0.5~0.8 倍が使用されていること、および、話速を0.4 倍~2.0 倍(0.2 倍刻み)で行った本研究の基礎実験段階での聴取試験の結果から、伸長と短縮の両端での効果を測定することとし、“伸長倍率は1.6 倍”, “短縮倍率は0.6 倍”とした。

また、話速変換時の分析合成に伴う信号処理歪みを全サンプルで共通に与え、極力話速変換の影響のみを評価するために、敢えて話速不変のサンプルにも分析合成処理を適用することとし、“1.0x-altered”も試験対象に加えた。

2.3 DRT 条件と試験方法

理解度試験の実施方法と条件について、前述のコーパスや話速のほか、重畳したノイズ、提示方法と回答入力方法、被験者、正答率について以下説明する。また、これらの試

験条件を表 1 に示した。

- ノイズ：周りが騒がしい環境下での利用を想定しているため、外乱としてバブルノイズ（マルチトーカーノイズ：男女複数人の混合音声雑音）¹¹⁾ を使用した。試験に使用する 120 単語の時間総和の信号レベルと同一レベルになるノイズレベルを 0 dB としてレベル統制を行った。試験に使用するノイズレベルは、原音に対して 0（音声と同じレベル）、4, 8, 12, 16 dB のバブルノイズを印加したものとした。また、比較用にノイズを重畳しない“ノイズなし（no-noise）”を加えて試験を行った。

- 提示方法：発話者は 60 代女性の 1 種類で、2 モーラ単語の平均速度は 6.1 モーラ/秒である。被験者に提示する音声信号は、開始点はノイズ音とし、開始点から 300 ms 後に音声信号が重畳されるように時間統制を行った（図 1 参照）。試験に用いた単語数は、120 単語×音声速度 4 種類×6 種類の計 2,880 単語である。この 2,880 単語の提示順番は被験者ごとにランダムに再生し、ヘッドホンで提示した。

- 回答入力：実際の試験は、例えば、“ダク”が提示されたときに、被験者は「どちらの単語を発話したように聞こえたか？」を PC 上に表示される応答入力のダイアログボックス（図 2）で選択する（この図の場合は誤答である）という手順である。選択後はすぐに次の単語の聴取試験に移行する。1 単語あたりの所要時間は 3 秒程度であり、試験全体の所要時間は約 2.5 時間である。

- 被験者：被験者は日本語を母国語とする健聴者の 20 代男性 6 名*とした。なお、提示音圧はすべての音源がはっきり聞こえるように、予め調整したレベルを被験者全員が使用した。DRT においては、学習の影響が極めて小さい⁹⁾ ことを確認しているので試験回数は 1 回とし、繰り返し試験は行わない。また、試験に先立ち、試験の方法や機器操作に慣れてもらうことと健聴者であることを確認するため、24 単語を使った簡単なトレーニングを実施した。その結果に極端な異常が見られないことから健聴者であることを確認した。

- 正答率：この試験は二者択一型の試験であるため、まったくでたらめに回答しても正答率が 50% になることから、評価値としては式 (1) により偶発性を排除した調整正答率⁹⁾：CACRR (chance-adjusted correct response rate) を使用した。

$$\text{調整正答率 (CACRR)} = \frac{\text{正答数} - \text{誤答数}}{\text{総単語数}} \quad (1)$$

* DRT 試験は通常 5～10 人程度で実施している。本研究の基礎実験段階で実施した試験結果や筆者らの報告¹³⁾ では、6 名の場合でも有意差検定で話速の違いが検出できていることから、被験者数は 6 名とした。

図 1 話速変換加工した音声信号の例“ダク”
Waveform examples of artificially speed-altered speech (“daku”).

表 1 単純伸長短縮試験の DRT 条件
DRT conditions for simple expansion and contraction.

項目	条件	種類
単語リスト	語頭子音のみ異なる2モーラ単語対	60単語対 (120単語)
音声速度	等速加工 (1.0x-altered) ゆっくり (1.6x-slow) 早く (0.6x-quick) 原音 (original)	4種類
話速変換	Praat	—
ノイズ種類	バブルノイズ(マルチトーカーノイズ)	1種類
ノイズレベル	0, 4, 8, 12, 16 dB, ノイズなし	6種類
被験者	20代男性 (健聴者)	6人

図 2 応答入力のダイアログ・ボックスの例
Example for selection input dialog box.

3. 単純伸長・短縮試験の結果

3.1 音韻特徴別の了解度

図 3 はノイズ量に対する全音韻特徴（120 単語）の正答率を被験者別に算出した平均値を話速ごとに示したものである。この図から、“0.6x-quick”は“original”や“1.0x-altered”，“1.6x-slow”に比べて了解度が低下していることがわかる。話速 4 水準とノイズなしを含まないノイズレベル 5 水準（0, 4, 8, 12, 16 dB）の被験者内要因計画とした二元配置分散分析の結果は、 $[F(3, 15) = 38.78, p < 0.001]$ で有意水準 1% で有意であった。さらに有意水準 5% で下位検定を行ったところ，“original”と“1.0x-altered”以外に有意差がみられた。

図 3 から、“1.6x-slow”は“original”や“1.0x-altered”に比べて差がないことが観測できるが、ノイズレベル 12 dB および 16 dB では劣化している傾向が読み取れる。このことが上記分散分析では有意差がある結果になったと考えられる。そこで、ノイズレベルを 0, 4, 8 dB の 3 種類に限定して同様に分散分析を行ったところ，“original”との比較では $p = 0.062 > 5\%$ ，“1.0x-altered”では $p = 0.070 > 5\%$ であり、共に差がないことがわかった。これらのことから、

図3 DRT 結果 (全音韻特徴)
DRT result of over all phonetic features.

ノイズを印加した状態においては、単純伸長・短縮共に了解度に影響していること、音声伸長においてはノイズレベルが小さい範囲 (0, 4, 8 dB) では“1.0x-altered”との了解度の差がないことがわかった。なお、被験者ごとの個人差は特に観測されなかった。

3.2 先頭子音の特徴別の評価結果

図4は話速と了解度の関係を調査するために、ノイズ条件 (0, 4, 8, 12, 16 dB) を集計したときの被験者別に算出した正答率の平均値を、“1.0x-altered”に対する“1.6x-slow”の差分、および“1.0x-altered”に対する“0.6x-quick”の差分として示した図で、先頭子音を七つの子音特徴別に分類*したものである。話速4水準とノイズレベル5水準の被験者内要因計画とした二元配置分散分析の結果を求めた後、有意水準1%で“1.0x-altered”と比較した下位検定を行った結果で有意差があったものを図中の「**」あるいは「*」に示した。また、レファレンス (“1.0x-altered”) の平均値に対する被験者の標準偏差を同図に示した。

これらの結果から、“1.6x-slow”においては無声破裂音で了解度が向上する傾向がみられたが、他の子音特徴では向上がみられなかった。“0.6x-quick”では有声破裂音、半母音・流音、無声破擦音で劣化がみられた。一方では、鼻音、有声破裂音のように“1.0x-altered”と差がない音韻特徴も見られた。このことから、鼻音、有声破裂音では両方の速度で、有声破擦音では伸長時に、渡り音では短縮時にそれぞれ了解度に影響を与えることなく話速変換できる可能性があることがわかった。

3.3 後続母音特徴別の評価結果

図5は話速と了解度の関係を調査するために、ノイズ条件 (0, 4, 8, 12, 16 dB) を集計したときの被験者別に算出した正答率の平均値を、“1.0x-altered”に対する“1.6x-slow”、および“1.0x-altered”に対する“0.6x-quick”の差分として示した図で、五つの母音別に示している。話速4水準とノイズレベル5水準の被験者内要因計画とした二元配置分

図4 七つの子音特徴で分類した DRT 結果
Noise-averaged CACRR by seven consonant features.

図5 母音特徴で分類した DRT 結果
Noise-averaged CACRR by five vowel features.

散分析の結果を求めた後、有意水準1%で“1.0x-altered”と比較した下位検定を行った結果で有意差があったものを図中の「**」あるいは「*」に示した。また、レファレンス (“1.0x-altered”) の平均値に対する被験者の標準偏差を同図に示した。

これらの結果から、/u/は両方の速度で劣化がみられた。“1.6x-slow”においては/i/で了解度が向上する傾向がみられ、“0.6x-quick”では、/o/は大きく影響を受けないことがわかる。このことから、/o/は両方の速度で、/a/と/e/は伸長時にそれぞれ了解度に影響を与えることなく話速変換できる可能性があることがわかった。

4. 単純伸長・短縮試験の考察

4.1 先行論文との対比

3.1節で述べたように、ノイズレベル0, 4, 8 dBにおいては、“1.6x-slow”は“1.0x-altered”や“original”に対して了解度の差がないことがわかった。この結果は、難聴者を対象としたノイズなしの環境で評価した結果、音声伸張で明瞭度の向上が得られなかった文献6)の結果とも一致する。しかし、図4や図5からわかるように音韻特徴別に観察すると、無声破裂音や/i/のように了解度が向上する音韻など、音韻特徴によって話速と了解度の違いが出てくることがわかった。

また、子音部伸張を行った文献7)の結果によれば、鼻音と半母音で明瞭度が向上したとの報告がある。この結果は、単音節の/ma/, /na/, /ra/の子音部のみ2.0倍に伸長した

* 具体的には、単語対である“ダク”と“タク”においては、“ダク (daku)”を提示したときの正答率は“有声破裂音 /d/”に、“タク (taku)”を提示したときの正答率は“無声破裂音 /t/”に分類した。なお、これらの単語は、後続母音特徴では/a/に分類される。

図 6 無声破裂音の DRT 結果
Noise-averaged CACRR for unvoiced plosives.

図 7 音声波形とフォルマント “piza”
Waveform and formants of “piza” at various speed.

条件において明瞭度の改善に有効であったという報告である。本研究の試験結果では鼻音では変化がなく半母音・流音では劣化した一方、無声破裂音で向上がみられた。この違いは、試験で使ったコーパスや伸長速度、試験条件などの違いによるものと考えられ、一対一で比較することは困難であるが、子音伸長による効果が期待できるという観点では一致しており、今後さらに効果のある音韻について研究を深める意義があると考えられる。

4.2 無声破裂音の分析

図 4 に示すように、音声伸張 “1.6x-slow” 時に無声破裂音では “1.0x-altered” に比べて了解度の向上がみられた。図 6 は図 4 の無声破裂音の結果をさらに音素 (/p/, /t/, /k/) ごとに示したものである。“1.6x-slow” においては、音素 /p/ と /t/ が有意に向上していることがわかる。

DRT 単語に含まれる “piza” は、“1.6x-slow” で了解度の向上がみられた音素 /p/ と /i/ の組合せである。図 7 に話速ごとの音声波形およびフォルマント波形を示した。/p/ は低域の周波数が支配的な子音であること、および、/i/ は他の母音に対して、F1 が低く F2 が高いという特徴を持つ口蓋音であることから、/p/ から /i/ へのフォルマント移行時間が音声伸張により安定化された効果によって、これらの音素では音声伸張により了解度が向上したと考えられる。

したがって、子音伸長処理においては子音区間とフォルマント移行区間をあわせて伸長する必要があると考えられる。適応話速変換においては、子音区間や母音区間のみならず、その間の移行時間の扱いについても検討する必要がある今後課題と考える。

5. CV 伸長・短縮試験の方法

5.1 CV 伸長と CV 短縮の試験パターン

第 3 章の単純伸長・短縮試験で了解度が向上する音韻や劣化する音韻が明らかになったので、次に子音 (consonant) ごとや母音 (vowel) ごとの伸長および短縮、すなわち CV 伸長および CV 短縮での了解度の変化を測定することを目的に、以下の伸長・短縮パターンでの音声加工を実施した。なお、すべての条件での試験を実施すると試験単語数が膨大になることから、単純伸長・短縮試験の結果で特徴があった音韻の単語のみを抜き出して試験を実施することとした。

図 8 は 2 モーラの単語の “語頭子音 + 後続母音 + 第 2 子音 + 第 2 母音 (C1+V1+C2+V2)” の場合の CV 伸長および CV 短縮の方法を説明するための図である。CV 伸長においては、了解度の向上があった無声破裂音 (/p/, /t/, /k/) と後続母音 /i/ を含む単語と DRT の対となる単語の計 62 単語に対して、図 8(a) に示すような、語頭子音 C1 のみ伸長する “1.6x-C”，語頭子音 C1 と後続母音 V1 を伸長する “1.6x-CV”，および、後続母音 V1 のみ伸長する “1.6x-V” の 3 パターンの音声伸長を行った。

CV 短縮においては、短縮して了解度の劣化があった有声破裂音 (/b/, /d/, /g/)，半母音・流音 (/r/, /w/, /y/)，無声破擦音 (/s/, /ʃ/, /ts/) および母音 (/a/, /u/, /e/) を含む単語と DRT の対となる単語の計 80 単語に対して、図 8(b) に示すような、語頭子音 C1 以外を短縮する “0.6x-nC”，語頭子音 C1 と後続母音 V1 以外を短縮する “0.6x-nCV”，および、後続母音 V1 以外を短縮する “0.6x-nV” の 3 種の音声伸長を行った。

子音区間や母音区間のラベリングは、音声波形およびフォルマント、ピッチを観察しながら行った。また、子音から母音への移行区間 (フォルマント移行区間) は子音区間に含めて加工した。なお、これらの試験パターンのうちの一部では C1 と V1 で時間伸長 (短縮) 率が異なる事象、すなわちモーラの等時性に反する事象になるが、音源の聴取実験では特に違和感を覚えることはなかった。

5.2 その他の試験条件

CV 伸長・短縮試験の話速の種類は上記 CV 伸長 3 パターンと CV 短縮 3 パターンに、比較基準としての単純伸長 “1.6x-slow”，単純短縮 “0.6x-quick” および等速の加工 “1.0x-altered” の 3 パターンを加えて DRT により了解度試験を実施した。なお、その他の DRT の条件は単純伸長・短縮の評価試験と同じ条件 (表 1) に設定した。

この試験にあたっては、特に伸長と短縮は分けずに 9 パターンを同時に実施した。また、途中休憩を可とした。なお、試験に用いた単語数は、伸長 62 単語 × 音声速度 5 種類 × ノイズ 6 種類の 1,860 単語と短縮 80 単語 × 音声速度 5 種類 × ノイズ 6 種類の 2,400 単語から共通の “1.0x-altered” の 192 単語を引いた合計 4,548 単語でおおよそ所要時間は 3.5 時間である。

図 8 CV 伸長・短縮のパターン
Speed alteration examples of CV expansion and contraction.

6. CV 伸長・短縮試験の結果

6.1 子音特徴別の評価結果

図 9 は、ノイズ量に対する被験者別に算出した正答率の平均値を、CV 伸長と CV 短縮の各パターンでの“1.0x-altered”に対する差分を示した図である。図 9(a) は試験に用いた 62 単語のうち先頭子音が無声破裂音 30 単語*を、図 9(b) は試験に用いた 80 単語のうちの有声破裂音 25 単語、半母音・流音 8 単語、無声破裂音 17 単語の計 50 単語**を用いた。音声伸長と音声短縮それぞれについて、話速 5 水準とノイズレベル 5 水準の被験者内要因計画とした二元配置分散分析の結果を求めた後、有意水準 1% で“1.0x-altered”と比較した下位検定を行った結果で有意差があったものを図中の「**」あるいは「*」に示した。また、レファレンス (“1.0x-altered”) の平均値に対する被験者の標準偏差を同図に示した。CV 伸長において 4 種類のパターンで有意差があったのは/u/である。母音/u/を含む音節では、子音を伸張したことによる了解度の劣化があることがわかった。CV 短縮においては、母音/i/では“0.6x-nCV”以外は“1.0x-altered”に比べて有意に劣化した。すなわち、母音/i/を含む音節では C1 と V1 両方を短縮しないほうが短縮時の了解度向上につながるということが伺える。この特徴は母音/i/のみで観測されており、4.2 節で述べた/i/が口蓋化された母音であることとの関係が示唆されたと考えられる。

CV 伸長においては、“1.6x-C”の了解度は、“1.6x-slow”と同程度であった。すなわち、無声破裂音のみを伸長することで、単純伸長と同程度に了解度が向上することがわかった。CV 短縮においては、“0.6x-nC”、“0.6x-nCV”のように一部を短縮しても“1.0x-altered”と同程度の了解度が得られた。すなわち、有声破裂音、半母音・流音、無声破裂音の子音のみを短縮しないことで、“0.6x-quick”に比べて了解度が向上することがわかった。

6.2 母音特徴別の評価結果

図 10 は母音特徴別の評価結果で、ノイズ量に対する被験者別に算出した正答率の平均値を、CV 伸長・短縮の各パ

図 9 CV 伸長・短縮における子音特徴での正答率の変化
Noise-averaged CACRR by CV expansion and contraction.

ターンの“1.0x-altered”に対する差分を示した図である。図 10(a) は試験に用いた 62 単語を母音特徴別に分類した (/a/: 10 単語, /i/: 24 単語, /u/: 10 単語, /e/: 10 単語, /o/: 8 単語)。図 10(b) は試験に用いた 80 単語を母音特徴別に分類した (/a/: 16 単語, /i/: 16 単語, /u/: 18 単語, /e/: 14 単語, /o/: 16 単語)。音声伸長と音声短縮それぞれについて、話速 5 水準とノイズレベル 5 水準の被験者内要因計画とした二元配置分散分析の結果を求めた後、有意水準 1% で“1.0x-altered”と比較した下位検定を行った結果で有意差があったものを図中の「**」あるいは「*」に示した。また、レファレンス (“1.0x-altered”) の平均値に対する被験者の標準偏差を同図に示した。CV 伸長において 4 種類のパターンで有意差があったのは/u/である。母音/u/を含む音節では、子音を伸張したことによる了解度の劣化があることがわかった。CV 短縮においては、母音/i/では“0.6x-nCV”以外は“1.0x-altered”に比べて有意に劣化した。すなわち、母音/i/を含む音節では C1 と V1 両方を短縮しないほうが短縮時の了解度向上につながるということが伺える。この特徴は母音/i/のみで観測されており、4.2 節で述べた/i/が口蓋化された母音であることとの関係が示唆されたと考えられる。

7. 適応話速変換の提案

7.1 応話速変換の方法

3 章の単純伸長・短縮試験の結果および 6 章の CV 伸長・短縮試験の結果を元に、効果のある音韻だけを伸長する、あるいは、劣化する子音は短縮しない、といった音韻の特徴を捉えた適応話速変換のひとつの例を表 2 に示した。この例を用いることで、単純伸長とは違って時間遅れをさほど

* 残りの 32 単語は先頭子音が無声破裂音ではない後続母音/i/の単語と無声破裂音の単語対のもう一方の単語である。

** 残りの 30 単語は先頭子音が有声破裂音、半母音・流音、無声破裂音ではない単語対の一方の単語である。

図 10 CV 伸長・短縮による母音特徴の正答率の変化
Noise-averaged CACRR by CV expansion and contraction.

表 2 適応話速変換方法の例
Guidelines for adaptive speech rate control.

Initial Consonant	Succeeding vowel									
	Time expansion					Time contraction				
	/a/	/i/	/u/	/e/	/o/	/a/	/i/	/u/	/e/	/o/
Nasal: /m/, /n/			0			Cont	Cont	Cont	Cont	Cont
Voiced Affricate: /z/, /dz/			0			Cont	Cont	Cont	Cont	Cont
Voiced Explosion: /b/, /d/, /g/			0			nC	nCV	nC	nC	Cont
Semivowel and Liquid: /y/, /w/, /r/	0	0	0	0	0	nC	nCV	nC	nC	Cont
Unvoiced Affricate: /s/, /ʃ/, /ts/	0	0	0	0	0	nC	nCV	nC	nC	Cont
Unvoiced Explosion: /p/, /t/, /k/	Cexp	Cexp	Cexp	Cexp	Cexp					Cont
Glide: /h/	0	0	0	0	0	Cont	Cont	Cont	Cont	Cont

0: no-expansion, Cexp: expansion for initial consonant, No-marked: irrelevant, Cont: contract, nC: contraction without consonant, nCV: contraction without initial consonant and succeeding vowel.

気にせずに音声伸張できることや、レコーダ再生時の“早聞き”のさらなる時間短縮、あるいは、同一の再生速度での了解度向上につながると考える。

7.2 時間長に対する一考察

適応話速変換方法の利点の一つに、効果のある音韻だけを伸長・短縮することで、音声再生の時間短縮に寄与できることがあげられる。図 11 は、DRT で使用した 120 個の単語の原音の速度“1.0x-altered”の平均値 (335 ms) を基準として、“0.6x-quick”, “0.6x-nC”, “1.6x-C”, “1.6x-slow”の時間長の計測結果を示したものである。

例えば、単純伸長“1.6x-slow”の場合は、原音の速度 1.0x に比べて平均で 201 ms, 最大で 286 ms の時間遅れとなる

図 11 話速パターンによる時間長変化
Time length difference by speed alteration.

可能性があるが、“1.6x-C”では平均で 41 ms, 最大で 83 ms の時間遅れにとどめることができる効果がある。

次に映像と音声の時間ずれの観点で考察する。音声の時間遅れの解消を目的とした先行研究文献 4) によると文内休止時間の平均が 400 ms, 許容限が 200 ms であることや、テレビの映像と音声の相対時間差の調査報告¹³⁾によると映像と音声遅れの場合の相対時間差の許容限が 182 ms である。“1.6x-C”の時間遅れ (最大 83 ms) はこれらの許容値に収まっていることから、適応話速変換の手法を取り入れることによって、映像音声の同期についての問題も解決でき、時間遅れを気にしない音声伸長システムに適用できる可能性が示唆される。また、音声のみを単純伸長したときの映像と音声の“ずれ”の検知限と許容限が、4 モーラ単語では約 230 ms と 333 ms, 7, 8 モーラ単語においては約 407 ms と 574 ms との報告がある¹⁴⁾。このことから適応話速変換方法を用いて伸長したときの伸長率は、単語発話終了時の遅延時間が許容限以下になるように制御する必要がある、今後の検討課題である。

一方、音声短縮“0.6x-quick”の平均値-134 ms と“0.6x-nC”の平均値-107 ms を比較したときの時間差は-27 ms であり、これは音声が進んでいるときの映像と音声の相対時間差の許容限 78 ms¹³⁾ 以下である。時間短縮はレコーダによる“早見早聞き”などで実用に供されており、映像のスキップフレーム等で映像音声の同期合わせが実現できていることから、了解度を損ねることなく視聴できるメリットにつながると考えられる。

なお、これらの考察は 2 モーラの単語のみの結果からの類推であることも含め、実用に供するためには、リアルタイムの話速変換手段の導入やそのアルゴリズムの定義などの課題があると考えられる。

8. むすび

話速変換による日本語音声の了解度の変化を、音声伸張“1.6x-slow”, 音声短縮“0.6x-quick”および原音と等速の加工音声“1.0x-altered”の 3 種類の話速において、バブルノイズを印加した状態における二者択一型の DRT 了解度試験で検証した (単純伸長・短縮試験)。その結果、音声伸張では無声破裂音と母音/i/で了解度が向上し、音声短縮で

は殆どの子音と母音で劣化がみられたが、鼻音、無声破擦音、母音/o/では大きな劣化がなかった。これらの結果は、音韻に着目した話速変換が有効であることを示唆している。

さらに、音声伸長においては、伸長によって了解度が向上した無声破裂音について、C1のみ伸長する“1.6x-C”，C1とV1を伸長する“1.6x-CV”およびV1のみ伸長する“1.6x-V”のCV伸長3パターンと単純伸長“1.6x-slow”とDRTで比較した（CV伸長試験）。同様に、音声短縮においては、短縮して了解度の劣化があった有声破裂音、半母音・流音、無声破擦音、および母音（/a/, /u/, /e/）について、C1以外を短縮する“0.6x-nC”，C1とV1以外を短縮する“0.6x-nCV”およびV1以外を短縮する“0.6x-nV”のCV短縮3パターンと単純短縮“0.6x-quick”をDRTで比較した（CV短縮試験）。

その結果、子音の話速の影響が支配的であることが確認できたが、一方では、母音/u/を含む音節では子音を伸長したことによる劣化が顕著であることや、音声短縮において、母音/i/を含む音節は、子音と/i/の両方を短縮しないほうが了解度向上につながる事が判った。これらの結果を踏まえ、効果のある音韻だけを伸長する、あるいは、劣化する子音は短縮しない、といった音韻の特徴を捉えた適応話速変換方法の提案を行った。また、この適応話速変換において子音のみの伸長を行った場合には、単純伸長よりも再生時間が短く、そのため先行研究文献4), 13)で示された時間遅延の許容範囲内に収まり、映像音声の同期についての問題も解決できる可能性があることが示唆された。このように適応話速変換は、音声伸張による了解度の改善のほか、了解度の劣化が少ない“早聞き”が可能になると考える。

今回の評価結果は、語頭子音のみ異なる2モーラの単語に着目した結果である。今後は、母音には含まれた子音（VCV連鎖におけるC）の影響の検討や、会話音声での有効性についての検討、あるいは、使用環境を想定したノイズ重畳による解析などを行う一方、放送のリアルタイム性を考慮したときの映像音声の相対時間差との関連性の検討などを計画している。また、今回の評価試験では話速を1.6倍と0.6倍で実施したが、伸長時に効果のある話速の範囲や、子音ごとにどの話速まで聞き取れるかといった許容値あるいは限界値を見出すことも検討課題である。

【文 献】

- 1) 今井, “[招待論文] ゆっくり話せば話がはやい (話速変換技術)”, 信学技報, CQ2007-29, pp.85-89 (Jul. 2007)
- 2) 今井, 都木, 安藤, 宮坂, “映像との同期を考慮した話速変換方式の一検討”, 信学技報, SP96-128, pp.7-14 (Mar. 1997)
- 3) 中村, 清山, 池沢, 都木, 宮坂, “リアルタイム話速変換型受聴システム”, 音響学誌, 50, 7, pp.509-520 (Apr. 1994)
- 4) 今井, 池沢, 清山, 中村, 都木, 宮坂, 中林, “ニュース音声を対象にした時間遅れを蓄積しない適応形話速変換方式”, 信学論, J83-A, 8, pp.935-945 (Aug. 2008)
- 5) 福寝, “[解説] 聴覚補助のための話速変換装置”, 信学誌, 78, 5, pp.462-465 (May 1995)
- 6) 福寝, 池田, 今村, 泉, 伊福部, 松島, “難聴者による話速変換方式の評価”, 信学技報, SP1992-150, pp.25-31 (Mar. 1993)
- 7) 安達, 小寺, 寺島, 前川, 館野, “デジタル音声処理の子音明瞭度への

- 影響”, Audiology Japan, 47, 3, pp.181-191 (Jun. 2004)
- 8) 大島, 西本, 渡辺, “視覚障害者用早口合成音声による慣れの効果”, 信学技報, SP2005-81, WIT2005-43, pp.19-24 (Oct. 2005)
- 9) 近藤, 泉, 藤森, 加賀, 中川, “二者択一型日本語音声了解度試験方法の検討”, 音響誌, 63, 4, pp.196-205 (Apr. 2007)
- 10) P. Boersma, D. Weenink, “Praat: doing phonetics by computer,” <http://www.praat.org/>, (2011)
- 11) Rice University: Signal Processing Information Base (SPIB), <http://spib.rice.edu/>
- 12) T. Shibuya, Y. Kobayashi, H. Watanabe, K. Kondo, “Differences in the effect of time-expanded and time-contracted speech on intelligibility by phonetic feature,” Proc. IEEE ICASSP 2012, SP-P6, pp.4489-4492 (Mar. 2012)
- 13) 黒住, 赤井田, 岡田, “テレビの映像と音声の相対時間差に関する検討”, テレビ学技報, HIR'96-93, pp.37-42 (Oct. 1996)
- 14) 沼畑, 坂本, 田中, 今井, 都木, 鈴木, “単語知覚における話者映像と時間伸張音声のずれの検知限および許容限”, 信学技報, HIP2007-139, pp.55-60 (Dec. 2007)

しぶや とおる
渋谷 徹 1981年, 山形大学工学部電子工学科卒業。1983年, 同大学院電子工学専攻修了。同年, 宮城日本電気(株)入社。現在, 日本電気通信システム(株)。2009年より, 山形大学大学院理工学研究科博士後期課程に在学。話速変換に関する研究に従事。学生会員。

わたなべ ひとみ
渡辺 瞳 2012年, 山形大学工学部電気電子工学科卒業。現在, 仙台高等専門学校勤務。山形大学在学中, 音声システムの日本語了解度に関する研究に従事。

こばやし ようすけ
小林 洋介 2008年, 山形大学工学部電気電子工学科卒業。2010年, 同大学院理工学研究科博士前期課程修了。現在, 同大学院博士後期課程在学中。主として音声システムの日本語了解度の推定に関する研究に従事。

こんどう かずひろ
近藤 和弘 1982年, 早稲田大学理工学部電子通信卒業。1984年, 同大学院理工学研究科修士課程修了。同年(株)日立製作所入社。1992年, (株)テキサス・インスツルメンツ入社。1999年, 山形大学工学部准教授。主として通信用音声・音響信号処理システムの研究教育に従事。工学博士。