

英会話学習システムにおける 応答タイミング練習方法の有効性の検証

鈴木 直人^{1,a)} 廣井 富² 藤原 祐磨² 千葉 祐弥¹ 能勢 隆¹ 伊藤 彰則¹

概要: 本研究では言語学習 (Computer-Assisted Language Learning, CALL) システムを利用した英会話学習における, 学習者の応答タイミングに着目する. 一般的に学習段階において応答タイミングは適切なものに比べ遅くなりがちであるが, システムとの英会話では応答タイミングを意識しにくい. そこで対話相手として CG キャラクタを導入し, 応答を要求する表現であるタイムプレッシャー表現を付加する練習方法を提案した. 本稿では, 短期及び中期的に使用する実験を通じて提案手法の有効性について検討した. 結果を人同士での練習と比較したところ, 速いプレッシャーを与えた場合には短期間で効果が得られ, 遅いプレッシャーを与えた場合は期間を空けて再度練習することで効果が得られることが明らかになった.

1. はじめに

1.1 研究背景

国際化社会の中で, 英語が共通のコミュニケーション手段として使用されることが一般的である. 英語学習の一つの目標は, 英語での円滑なコミュニケーションである. これには会話練習が必要となる. 理想的な練習方法は教師とのマンツーマンによる学習だと考えられる. また, 近年では Skype などの Web を利用したサービスによる練習も増えている [1], [2]. しかしこうした練習方法は, 時間的・経済的な制約を受けることや, 初心者には気軽に選択することができない可能性があることが問題である. これらを補完する方法として, コンピュータを利用した言語学習 (Computer-Assisted Language Learning, CALL) システムがある [3]. CALL システムは, リスニングやドリル形式の学習形態を取るシステムだけでなく [4], 音声認識技術を利用した発音や韻律の評価を行うシステムも開発されている [5]. 今後はロボットなどとの音声対話を利用して, 英語を学習するシステムが想定されるが [5], [6], 実現には非母語話者音声認識の精度の問題など, 様々な課題がある. その中でも本研究では英会話学習者とシステムとのインタラクションに注目する.

円滑なコミュニケーションを実現するために, 初期の学

習段階においては, 学んだ内容を活かして手軽に対話を行える場があることが望ましい. なぜなら, 非母語での会話において, 文章の構築などを無意識に行えるようになるには繰り返し練習を行う必要があるからである [7]. このような反復練習によって, 語彙の選択などの他に, 対話の間に関しても自動化が行われることで, ネイティブに近い円滑な会話を実現される [8].

学習段階における対話の間, とりわけ応答タイミングは一般的に長くなりがちである. 本研究ではこの「対話の間」, すなわち学習者の交替潜時 (Switching Pause) に着目する. 交替潜時は, 会話の円滑さ [9] や会話の種類 [10] に関連しているといわれる. 交替潜時は相手にはっきりと伝わる特徴であるため, 適切でない場合に, 発話した文章の相手に伝わるニュアンスが異なってしまうことがある [11]. 類似した考えとして, 話者移行適格場 (Transition-relevance Place; TRP) がある [12]. TRP は話者交替が的確にされるべき時間間隔とされている. 文献 [12] において, 英語の TRP は先行する発話者の発話終端から前後約 1 秒あたりであると報告されている. こうしたことから, 学習した英文を適切な応答タイミングで話すことは重要であることがわかる. しかし, CALL システムを相手に英会話練習をする場合は, 相手が機械であるため, 質問に対して学習者が長時間考えてしまうことを許す原因となってしまう. そうした状況において, 学習者が効率的に円滑なコミュニケーションをとるための技能を身に付けることは困難である. そこで, 自動音声対話による英会話学習において, 学習者が適切な応答タイミングで発話を行うように誘導することは, 会話学習の CALL システムにとって重要な機能だ

¹ 東北大学
Tohoku University
aoba 6-6-5, Aramaki, Aoba-ku, Sendai, Miyagi
² 大阪工業大学
Osaka Institute of Technology
omiya 5-16-1, Asahi-ku, Osaka, Osaka
a) naoto.s@spcom.ecei.tohoku.ac.jp

と我々は考える。

学習者の応答タイミング練習方法として、我々は「タイムプレッシャー表現」を英会話学習に用いることを提案してきた [13]。タイムプレッシャー表現には、CG キャラクターの表示を時間的に変化させることにより、学習者に応答タイミングの手がかりを与え、意識させる目的がある。タイムプレッシャー表現の有無の2条件でCG キャラクターと英会話学習を行う実験を実施したところ、タイムプレッシャー表現のある場合に、ない場合と比較して交替潜時の値が減少し、その差に有意差が認められた [13]。したがって、タイムプレッシャー表現を用いることで、応答タイミングを意識した英会話学習を行うことが可能であることが示唆された。しかしながら、タイムプレッシャー表現を付加した状態での英会話学習が反復練習時においてどの程度有効であるかは明らかになっていない。

そこで本稿では、提案手法を用いて反復練習することが有効であるかを検証することを目的とする。短期的および中期的使用における効果に注目し、学習者の交替潜時がどのように変化するかについて調査を行った結果を基に議論を行う。

2. 英会話学習システムの概要

先述のように、本研究では反復練習を行う。その練習方法にはシナリオを用いたロールプレイング形式の英会話を採用した。すなわち、英会話の内容を学習者に事前にシナリオとして提示し、学習者は暗記した文を使って会話を行うことを想定する [14]。したがって、対話システムは一つの発話に対し組となる応答を返し、シナリオを進行させるもので十分であるため、一問一答型の対話システムをベースにして作成した [13], [15]。これにより、非母語話者の英語音声の音声認識の難しさ [16] に対応し、複雑な対話制御を行わずに実験を行うことが可能な対話システムを構築することができた。学習者の発話が認識されてから、約1秒後にシステムの応答が返されるように設定した。これは予備実験を基に決定した値である。英文のシナリオとして、帽子を買いに行く内容と、Tシャツを買いに行く内容の二つを用意した。例として帽子を買いに行くシナリオを表1を示す。シナリオは英語ネイティブ話者(アメリカ人)による校正を受けた。音声認識には Julius[17] を用い、音響モデルは ERJ コーパス [18] 中の日本人による英語発話音声から学習した。言語モデルはシナリオ中の英文を全て用いて学習した。音声合成には Festival[19] を使用し、女性音声を合成した。

次に、対話相手として使用したCG キャラクターを図1に示す。CGにはAR (Augmented Reality) を利用し、CG キャラクターの描画には ARToolkit[20] を用いた。CG キャラクターは首を縦に振る頷き動作のみを行い、表情を含むその他の部分は変化しない。CG キャラクターの提示にはヘッ

表 1 帽子を買いに行くシナリオ

Speaker	Speech
Learner	Hello.
System	Hello, may I help you?
Learner	Yes, I'm looking for a hat. Do you have one?
System	Yes, we do. What kind do you want?
Learner	A green one.
System	Like this?
Learner	Yes, like that one. Can I see it?
System	Yes. Here you are. Would you like to buy it?
Learner	I'm sorry. This isn't exactly what I wanted.
System	How about another product?
Learner	No, thank you.

ドマウントディスプレイ (SONY HMZ-T2) に Web カメラ (Logicool HD Pro Webcam C920) 固定し、ビデオシースルー環境を構築したものを利用した。CG キャラクターの大きさ、学習者との距離の統制は文献 [21] に準じ、図2のようにし、実験参加者がCG キャラクター全体を捉えられるように設定した。

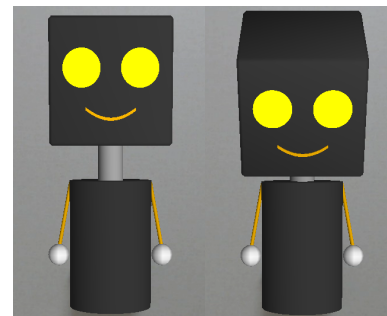


図 1 CG キャラクター

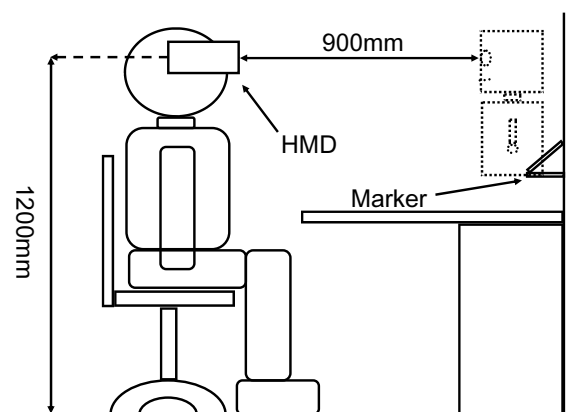


図 2 実験統制図(人-システム)

2.1 タイムプレッシャー表現

タイムプレッシャーは図3のようにCG キャラクターの頭部の下部から1段階ずつ赤い部分が増えることによって与えた。例えば、1秒ごとに赤い部分が増える場合は4秒

後に頭部が赤くなりきる。タイムプレッシャーは4段階であり、4回目で頭部が赤くなりきるように設定した。学習者の発話が検出されるとタイムプレッシャー表現が停止する。また、タイムプレッシャー表現はターンごとのシステムの発話終了時にリセットされる。CGキャラクターは常に頷く動作を行う。これはCGキャラクターが話し相手として自然であるという感覚を学習者に持たせるためである[21]。頷き動作は1分間に30回のペースで行われる。

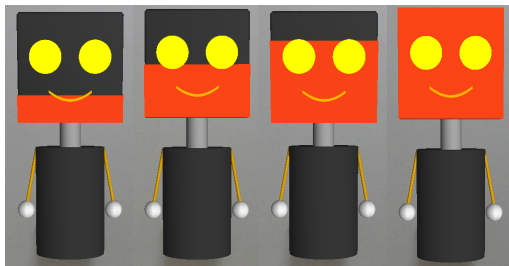


図3 タイムプレッシャー表現

3. 短期・中期使用実験

3.1 実験概要

上記のシステムを利用し、反復練習を行うことで提案手法が英会話学習に有効であるかどうかを議論する。一度に3回英会話を行う実験を短期使用実験、同じ練習を期間を空けてもう一度実施した実験を中期使用実験と呼ぶこととする。

タイムプレッシャー表現を用いたCGキャラクターとの英会話練習を行う場合と、人同士での英会話練習、そして対話による練習を行わない場合を比較する。1回目の練習における学習者の交替潜時の値について着目するほかに、短期間のうちに複数回に渡りシステムを使用することで、学習者の交替潜時の値がどのように変化するかを検証するとともに、練習後に実際の人と英会話を行ってもらい、その様子についても分析を行う。さらに、中期使用実験として、約2週間後に同様の実験を短期使用実験を実施した実験参加者の半数に実施する。これにより、数週間程度の間を空けた場合の練習がどのような意味を持つかについて調査する。

また、タイムプレッシャー表現について文献[13]の実験における自由記述のアンケートで最も言及されていたのは赤い部分すなわちプレッシャーが増加する速さに関することである。したがって、プレッシャーの変化速度が学習者の交替潜時の値の変化に大きく影響していると考えられるが、これまでの実験結果からは交替潜時が減少した値との関係を考察することが困難である。そこで、プレッシャーが増加する速さを2種類用意し、学習者の交替潜時の値の変化、主観的な印象を調査することで、有効なプレッシャーの増加速度について議論する。

3.2 実験方法

実験条件は以下の4条件である。各実験条件につき10人、計40人(M: 33, W: 7)の大学生または大学院生に実験に協力してもらった。実験参加者の英語学習歴は11年前後で、英会話教室への通学や留学経験はなかった。約2週間後に実施した中期使用実験に関しては各実験条件から5人ずつ無作為に抽出し、計20人(M: 18, W: 2)に実験を依頼した。

A: CGキャラクターと英会話練習(プレッシャーを1秒ごとに増加)

B: CGキャラクターと英会話練習(プレッシャーを0.5秒ごとに増加)

C: 人との英会話練習

D: 1人で自身の発話内容を朗読する練習

それぞれの条件で3回練習を行い、最後に同じ内容で人間と英会話を行った。3回の練習はシステム等の準備を行う時間約10秒ほどのインターバルを空けて行い、練習後の人との対話における対話相手は筆者のうちの一名がすべて行った。条件Cにおいて、練習相手役には英語が堪能な(TOEIC 850以上)学生一名に協力を依頼した。4条件における練習実験手順は以下の通りである。

- (1) シナリオの文を暗記する。
- (2) 筆記試験を行う。
- (3) 暗記したシナリオに従って英会話練習を行う。
- (4) 練習した内容に沿って、人と英会話を行う。
- (5) 実験に関するアンケートに回答する。

短期効果実験では帽子を買いに行くシナリオを、中期効果実験ではTシャツを買いに行くシナリオを用いた。手順3のシステムとの対話の前に、実験参加者には以下の三つのディレクションを行った。

- システムから応答がない場合、各自の判断で再度発話すること
- 英文を思い出せない場合は自分で英文を考えて発話してもよいこと
- (タイムプレッシャー表現のある場合)キャラクターが全て赤くなる前に応答すること

三つ目のディレクションはタイムプレッシャー表現の意図の理解にばらつきが現れるのを防ぐために行った。人同士が対話をする場面において、すなわち条件Cにおける練習相手および最後の会話相手の人に対しては、次のような指示を行った。

- 実験参加者の発話する内容をすべて聞き取ったのちに応答を返すこと
- 発話速度を実験参加者ごとに変えず、システムの合成音声の再生速度に近い形で発話すること

人との対話を行う際においては、図 2 に示す CG キャラクタとの距離統制に準じる形で、距離統制を行った。また、実験において、システムとの対話を行う際の様子を図 4 に示す。システムとの対話は防音室で行い、その様子をビデオカメラで撮影した。合成音声はスピーカで呈示し、音声入力には接話マイクを用いた。実験参加者の位置を統制したうえで、ヘッドマウントディスプレイの見え方、音声入力、再生される音声の音量を調整した後に実験を行った。

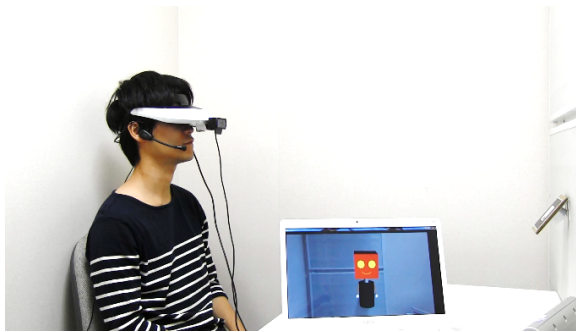


図 4 防音室での実験の様子

3.3 交替潜時計測結果・考察

実験手順 2 の筆記試験において、全ての実験参加者が英文を覚えていることを確認した。実験終了後、ビデオの映像と音声から、各セッションの交替潜時を計測した。1 回目の対話における、実験条件ごとの交替潜時の平均を図 5 に示す。誤差棒は標準偏差を表す。条件 D は 1 人で朗読を行う練習のため、3 回の対話において交替潜時を取得できない。よって図 5 には条件 A から C の結果のみが表示されている。三つの実験条件間の 1 要因で 1 元配置分散分析を行ったところ、有意傾向 ($F(2) = 3.06, p = 0.0978 < .10$) という結果となった。すなわち、プレッシャーが増加する速さが交替潜時に影響するとは言えない、という結果であった。また、2 回目の対話、3 回目の対話に関して同様の分析を行ったが、どちらも有意差が得られず、有意傾向もなかった。

次に、各条件内での回数間における実験参加者の交替潜時の違いに着目する。したがって、各回数で交替潜時を取得できる条件 A から C のみでの分析となる。条件ごとに、対話回数の 1 要因で 1 元配置分散分析を行ったところ、条件 A ($F(2) = 3.05, p = 0.0149 < .05$) と条件 B ($F(2) = 3.05, p = 0.0230 < .05$) で有意差が得られた。条件 C は有意傾向となった ($F(2) = 3.05, p = 0.0554 > .10$)。条件 C は人との練習のため、1 回目の練習から交替潜時の値が低く、3 回の練習では有意差が得られるほど交替潜時の値が短くならなかったのだと考えられる。Tukey 法によるそれぞれの条件内での多重比較検定の結果、条件 A のみは 1 回目と 2 回目の対話間に有意差 ($p = 0.0312 < .05$) が、条件 A と B おいて、1 回目と 3 回目の対話間に有意差

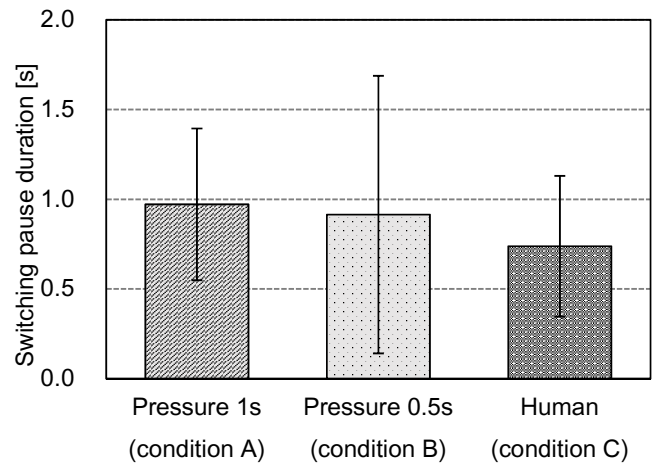


図 5 対話 1 回目における実験参加者の交替潜時の違い

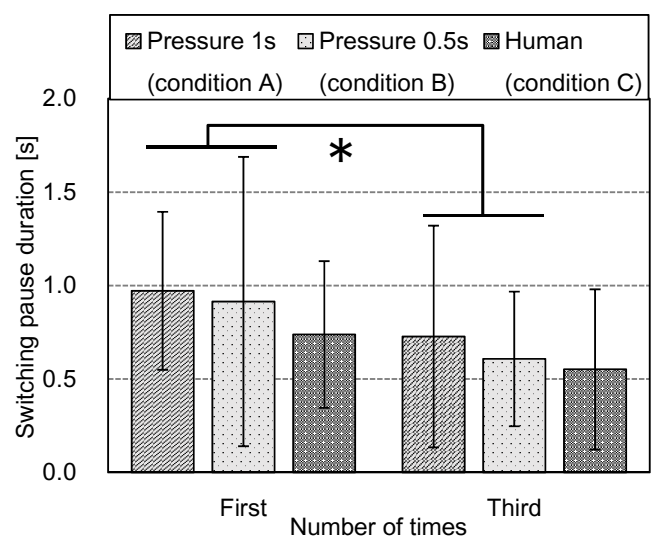


図 6 対話 1 回目と 3 回目における実験参加者の交替潜時の違い (*: $p < .05$)

(条件 A: $p = 0.0319 < .05$, 条件 B: $p = 0.0274 < .05$) が認められた。図 6 に 1 回目と 3 回目の対話時における各条件の交替潜時の平均を示す。誤差棒は標準偏差である。1 回目と比較し、3 回目における実験参加者の交替潜時は、条件 A と条件 C は約 200ms、条件 B では約 300ms 減少している。人同士での交替潜時に近づいているのは条件 B の方であり、短期間での練習によって人同士の対話のテンポに近づくにはプレッシャーを速く増加させる方が有効だと考えられる。

各実験条件で 3 回の英会話練習を行った後に、人を相手に対話を行った際の交替潜時の平均を図 7 に示す。誤差棒は標準偏差である。実験条件の 1 要因で 1 元配置分散分析を行ったところ、有意差が認められた ($F(3) = 2.65, p = 0.000352 < .01$)。Tukey 法を用いた条件間の多重比較検定を行った結果、条件 B と D ($p = 0.000573 < .01$)、条件 C と D ($p = 0.00231 < .01$) の間に有意差が認められた。すなわち、速いプレッシャーの増加によってタイムプレッシャーをかけて行う練習は人同

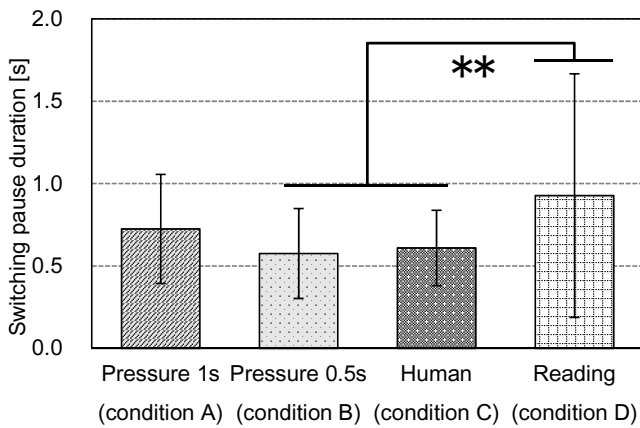


図 7 練習後の人との対話における実験参加者の交替潜時の違い (**: $p < .01$)

士での英会話練習によって得られる効果と同様の傾向を示しており、1人で朗読する練習よりも交替潜時が短期間で有意に減少することが明らかになった。

図 8 は短期使用実験と中期使用実験における、3回の対話中の交替潜時の平均を各条件について示したものである。誤差棒は標準偏差である。3回の対話それぞれから交替潜時を取得できる条件 A から C の分析となる。条件 A から条件 C のそれぞれについて、実験間の 1 要因で 1 元配置分散分析を行ったところ、有意差があったものは条件 A ($F(1) = 4.04, p = 0.0184 < .05$) と条件 C ($F(1) = 4.04, p = 0.0203 < .05$) であり、条件 B では有意差が得られなかった ($F(1) = 4.04, p = 0.155 > .05$)。この結果から、速いプレッシャーの増加によってタイムプレッシャーをかけることは短期間での効果が得られる利点があるが、日を改めて再度練習を行う場合はプレッシャーを遅く増加させるほうが効果があることが確認された。したがって、学習者の目的意識に応じてプレッシャーの増加の速さを変更し、タイムプレッシャーをかけることで効果的に応答タイミングを意識した練習が可能になることが示唆された。

図 9 は人との対話時の交替潜時の平均について短期使用実験時に取得した値から中期使用実験時に取得した値の差を取ったものを条件ごとに示したものである。短期使用実験と中期使用実験における、実験間の 1 要因で 1 元配置分散分析を行ったところ、条件 A から C に関しては有意差 ($F(1) = 4.04$, 条件 A: $p = 0.0172 < .05$, 条件 B: $p = 0.0114 < .05$, 条件 C: $p = 0.0267 < .05$) が認められたが、条件 D に関しては有意差が認められなかった ($F(1) = 4.04, p = 0.149 > .05$)。図 9 が示すように、実験参加者の交替潜時は、条件 A と B については約 200ms、条件 C は約 140ms 有意に減少したことがわかる。このことから、ある程度期間を空けた状態で繰り返し行う英会話練習において、タイムプレッシャー表現が交替潜時の短縮に役立つことが分かった。しかし、条件 C の交替潜時の絶対

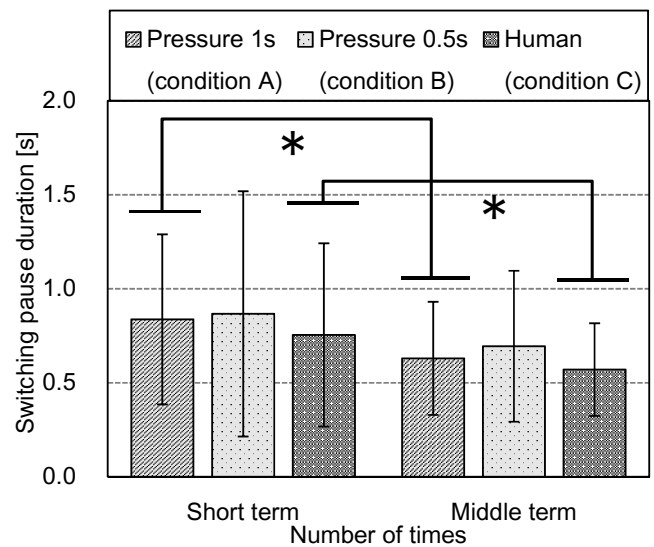


図 8 短期使用実験と中期使用実験における実験参加者の交替潜時の違い (*: $p < .05$)

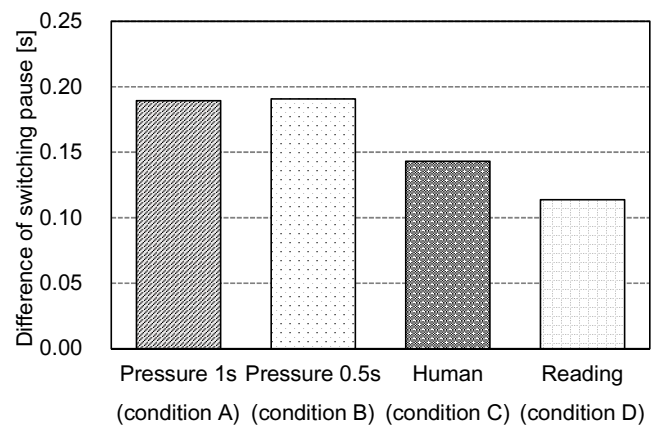


図 9 短期使用実験と中期使用実験での練習後の人との対話における交替潜時の平均の差

的な値と比較したところ、プレッシャーの増加する速さが速い条件 B の方が交替潜時の値が短くなっていった。一般的に対話においてただ速く応答をすればよいとは考えられず、したがって交替潜時の値は必ずしも短ければよいというものではない。ゆえに、何度も練習機会を設けて英会話学習を行う場合には、プレッシャーの増加する速さは速すぎない方がよいことを示された。

3.4 考察

短期使用実験における、システムを利用した練習及び人との練習を行った 1 回目の英会話練習での結果では、プレッシャーの増加する速さに関して有意差は見られなかった。3回の練習による学習者の交替潜時の減少値に関しては、プレッシャーの増加が速いほうが約 300ms であり、プレッシャーの増加が遅い場合と比較して約 100ms 多く減少していることが分かる。さらに練習後の人との対話においても、1人で朗読を行う練習との間に有意に違いが現れたのはプレッシャーの増加が速い場合と人と練習した場合で

ある。こうした点を踏まえると、英会話練習において人との練習と同等の効果を得るには、プレッシャーの増加を速くすることでタイムプレッシャーをかける方が効果的であると考えられる。しかし、英会話練習を続けていくにあたり、期間を空けた複数回の練習を行う場合も想定される。中期使用実験での結果では、短期使用実験と比較して、プレッシャーの増加が遅い場合の練習と、人同士の練習において交替潜時の値が減少しており、その差に有意差があることを確認した。プレッシャーの増加が速い場合にも交替潜時の値が減少していたが、人同士の練習結果よりも交替潜時の値が低くなってしまっていた。これは、すべての文章に同じタイムプレッシャーを提示したことが要因として挙げられる。文章ごとに適切な応答タイミングがあることを考えるのが一般的である。今回のように、一様に速く応答しすぎてしまうのも自然な「人同士での練習」に近づくとは言えない。したがって、続けて学習を行うことの考慮した場合に関しては、タイムプレッシャー表現としてのプレッシャーの増加は速くし過ぎない方が効果的であるが、適切なプレッシャーを文章などの要因を照らし合わせて検討することも必要である。

実験において、タイムプレッシャー表現がある場合に、発話が促されるのではなく、焦りにより逆に応答が遅くなったという場合もあった。学習者の学習段階によっては練習レベルを下げる工夫も必要であると考えられる。

4. まとめと今後の課題

本稿では先行研究において提案していた、CG キャラクタを利用したタイムプレッシャー表現によって応答タイミングを練習する手法を用いた、英会話学習の反復練習時の効果について検証した。その結果、短期的な使用時にはプレッシャーの増加が速い方が、中期的な使用時にはプレッシャーの増加が遅いほうが有効であることを確認した。したがって、学習者に応じて適切なプレッシャーの速さを設定することで、効果的に応答タイミングが練習できることが明らかになった。

今後はプレッシャーの増加する速さに関する主観的な評価の違いについて分析を行う予定である。

謝辞 本研究は、JSPS 科研費（挑戦的萌芽）24652111 の助成を受けた。

参考文献

- [1] Skype: <http://www.skype.com/> (2015.01.27).
- [2] 河原達也, 峯松信明.: 音声情報処理技術を用いた外国語学習支援, 電子情報通信学会論文誌 D, vol. J96-D, no. 7, pp. 1549–1565, 2013.
- [3] Bax, S.: CALL-past, present and future, *System*, vol. 31, no. 1, pp. 13–28, 2003.
- [4] Warshauer, M. and Healey, D.: Computers and language learning: an overview, *Language Teaching*, vol. 31, no. 2, pp. 57–71, 1998.

- [5] Eskenazi, M.: An overview of spoken language technology for education, *Speech Communication*, vol. 51, no. 10, pp. 832–844, 2009.
- [6] Raux, A. and Eskenazi, M.: Using Task-Oriented Spoken Dialogue Systems for Language Learning: Potential, Practical Applications and Challenges, *Proc. INSTIL/ICALL*, Venice, 2004.
- [7] Hjalmarsson, A., Wik, P. and Brusik, J.: Dealing with DEAL: A dialogue system for conversation training, *Proceedings of SIGdial*, pp. 132–135, 2007.
- [8] Gatbonton, G. and Segalowitz, N.: Creative Automation: Principles for Promoting Fluency Within a Communicative Framework, *TESOL Quarterly*, vol. 22, no. 3, pp. 473–492, 1988.
- [9] 長岡千賀, 小森政嗣, 中村敏枝.: 音声対話における 2 者間の相互影響—時間的側面からの検討—, 電子情報通信学会技術研究報告 HCS, vol. 103, no. 113, pp. 19–24, 2003.
- [10] Trimboli, C. and Walker, B. M.: Switching pauses in cooperative and competitive conversations, *Journal of Experimental Social Psychology*, vol. 20, no. 4, pp. 297–311, 1984.
- [11] Boltz, G. M.: Temporal Dimensions of Conversational Interaction: The Role of Response Latencies and Pauses in Social Impression Formation, *Journal of Language and Social Psychology*, vol. 24, no. 2, pp. 103–138, 2005.
- [12] Heldner, M. and Edlund, J.: Pauses, gaps and overlaps in conversations, *Journal of Phonetics*, vol. 38, no. 4, pp. 555–568, 2010.
- [13] 鈴木直人, 廣井富, 藤原祐磨, 黒田尚孝, 戸塚典子, 千葉祐弥, 伊藤彰則.: AR キャラクタとの英会話練習時における交替潜時のタイムプレッシャーによる制御, 情報処理学会研究報告, vol. 2013-SLP-99, no. 9, 6 pages, 2013.
- [14] Kweon, P. O., Ito, A., Suzuki, M., Makino, S.: A grammatical error detection method for dialog-based CALL system, *Journal of Natural Language Processing*, vol. 12, no. 4, pp. 137–156, 2005.
- [15] 三宅真司, 廣井富, 伊藤彰則.: 10 日間で作るロボット音声対話システム, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2011 論文集, 2416S, pp. 579–582, 2011.
- [16] Doremalen, V. J., Cucchiari, C. and Strik, H.: Optimizing Automatic Speech Recognition for Low-Proficient Non-Native Speakers, *EURASIP J. on Audio, Speech and Music Processing*, vol. 2010, no. 2, 2010.
- [17] 河原達也, 李晃伸.: 連続音声認識ソフトウェア Julius, 人工知能学会誌, vol. 20, no. 1, pp. 41–49, 2005.
- [18] 峯松信明, 富山義弘, 吉本啓, 清水克正, 中川聖一, 壇辻正剛, 牧野正三.: 英語 CALL 構築を目的とした日本人及び米国人による読み上げ英語音声データベースの構築, 日本教育工学会論文誌, vol. 27, no. 3, pp. 259–272, 2004.
- [19] The Festival Speech Synthesis System: <http://www.cstr.ed.ac.uk/projects/festival/> (2015.01.27).
- [20] 加藤博一.: ARToolKit, 映像メディア学会誌, vol. 62, no. 1, pp. 48–51, 2008.
- [21] 廣井富, 伊藤彰則.: 拡張現実感を用いたロボットデザインの評価, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, vol. 18, no. 2, pp. 161–170, 2013.