

平成 20 年度知能システム科学専攻修士論文

Timing Control of Utterance and Body Motion in Human-Robot Interaction

コミュニケーションロボットにおける発話と身振りのタイミング制御



東京工業大学大学院総合理工学研究科

知能システム科学専攻

高杉 將司

Interdisciplinary Graduate School of Science and Engineering,
Department of Computational Intelligence and Systems Science,
Tokyo Institute of Technology

Shoji TAKASUGI

提出年月日 平成 21 年 2 月 17 日

主査教官 三宅 美博

審査教官 出口 弘

審査教官 寺野 隆雄

本研究は、二部構成で記述する。

第一部：

コミュニケーションロボットとの対話を用いた発話と身振りのタイミング機構の分析

Analysis of Timing Control Mechanism of Utterance and Body Motion using Dialog between Human and Communication Robot

第二部：

コミュニケーションロボットとの対話における交替潜時長と頷き先行時間長の影響評価

Estimation of the Influence of Pause Duration and Difference of Nod and Response Timing using Dialog between Human and Communication Robot

コミュニケーションロボットとの対話を用いた 発話と身振りのタイミング機構の分析

高 杉 將 司

Analysis of Timing Control Mechanism of Utterance and Body Motion
using Dialog between Human and Communication Robot

Shoji TAKASUGI

The purpose of this study is to clarify the effects of timing control of utterance and body motion in human-robot interaction. Our previous study has already revealed the correlation of timing of utterance and body motion in human-human communication. In the present study, we proposed the timing control model based on our previous study and estimated its influence to realize human-like communication using a questionnaire method. The results showed that the difference of effectiveness between the communication with the timing control model and that without it was observed. In addition, elderly people evaluated the communication with timing control much higher than the younger people. These results show not only the importance of timing control of utterance and body motion in human communication but also its effectiveness for realizing human-like human-robot interaction.

Key Words: communication robot, dialog, utterance, embodiment, timing control

1. はじめに

人はコミュニケーションを介して、他者との意思疎通を図ることができる。その際、言語によるバーバル情報だけではなく、周辺言語としてのパラ言語や、視線、傾き、表情、身振りなどの身体動作といった言葉によらないノンバーバル情報も重要な要素である。そして、これらの多様なコミュニケーション・チャネルを統合することでコミュニケーションを円滑に進めている¹⁾。たとえばBirdwhistell²⁾の報告によると、対話において言語によって伝えられるメッセージは全体の35%にすぎないとさえいわれる。これらのことから、言語的コミュニケーションとともに、非言語的コミュニケーションが重要と考えられるが、人間がそれらのチャネルから得られた多様な情報を用い、どのようなメカニズムで円滑なコミュニケーションを実現するのか、まだ明らかにされていないのである。

この非言語的コミュニケーションの中では、話し手はもちろん、話し手と聞き手などのインターパーソナルな関係において、ノンバーバル情報が相互に同期したり類似する現象(同調傾向)が、様々なコミュニケーション・チャネルで観察されてきた。

特にインターパーソナルな側面に関しては、2者間の発話に関する発話や身振りなどが相互に同期や類似する“同調傾向”が報告されている⁴⁾。この現象は、2者間の対話における話者間の発言量⁵⁾、交替潜時長(相手話者が発話を終了し

てから自らが発話するまでの時間長、沈黙時間、反応潜時とも呼ばれる)^{6), 7)}、発話速度⁸⁾などにおいて観察される⁹⁾。また、発話だけでなく、2者間における身体動作の同調¹⁰⁾や、呼吸の同期^{11)~13)}なども報告されている。さらに、乳児の身体動作と養育者の発話の同調^{14), 15)}や、そのロボットなどのインタフェースへの実装¹⁶⁾も進められている。

また、イントラパーソナルな側面に関しては、身体的リズムの引き込みに着目し、あいさつや情報提示インタラクションにおいて、その人自身の発話と身体動作の生成タイミングが分析されている^{17), 18)}。

このような先行研究の成果は、人間のコミュニケーションにおいては、言語だけではなく非言語的コミュニケーションが重要な役割を担っていること、そして、非言語的コミュニケーションの具体例として同調傾向が観察されることを意味しており、これらはコミュニケーション研究における大きな成果である。

しかしながら、これらの先行研究には、まだ大きな問題点が残されている。コミュニケーションとは言語的チャネルだけではなく、多様な非言語的チャネルも併用した重層的な現象であるにも関わらず、特定のコミュニケーション・チャネルを選択し、そのチャネルについてのみ分析を行っているからである^{19)~23)}。そのため、多様なコミュニケーション・チャネルがどのように統合され、円滑なコミュニケーションを実現するのか、そのメカニズムがほとんど明らかにされていない。

これまで、われわれの研究グループは、コミュニケーション

ンを特定のチャンネルに限定して分析するのではなく、複合したチャンネルとして捉え、パーバブル情報としての発話だけでなく、ノンバーバブル情報としての多様な身振りも同時に計測し、かつ、それらのチャンネルの組合せを定量的に分析する包括的なアプローチとして取り組んできた。さらに、インターパーソナルな側面とイントラパーソナルな側面の両方から人間の対話コミュニケーションの分析を行ってきた^{24), 25)}。その結果、これまであまり考慮されなかった発話と身振りのタイミングといった対話の時間的な構造において、3種類の有意な相関関係を見出したのである。

しかし、このような人間同士の対話において明らかにされてきたタイミングの相関関係が、実際の対話に対してどのような影響を及ぼしているのかについては、まだ調べられていない。そこで、われわれは、対話コミュニケーションを分析し理解するための第一歩として、コミュニケーション・チャンネルを人為的に制御可能なロボットやエージェントなどの人工的メディアを用いたインタラクションの再構成²⁶⁾が必要であると考えた。特に、人間との円滑なコミュニケーションを目的としたヒューマノイドロボットは、対話コミュニケーションの性能向上が強く求められているという背景をもつため、このようなコミュニケーションを再構成するにふさわしい。また、このようなロボットに人間の知見を再構成することで、新たなヒューマン-ロボット・インタラクションの在り方が明らかになる可能性も期待される。

そこで本研究では、人とロボットのインタラクションを用いて、われわれの先行研究から明らかにされた、発話と身振りのタイミングの相関関係が、対話コミュニケーションにどのような影響を与えるかについて調査することを目的とする。また、本研究では、高齢者と若年者の2つの世代間での比較も試みる。この理由は、コミュニケーションの非言語的チャンネルにおいては、主観的な時間が影響している可能性もあり、この基盤にある時間認知が加齢により変化することが知られている²⁷⁾からである。

以下、第2章で先行して行われた人間同士の対話の分析によって明らかになった相関関係について説明し、第3章でこの相関関係を人とロボットのインタラクションを用いて構造的に分析する手法について述べる。第4章で結果をまとめ、第5章で考察し、第6章でまとめを行う。

2. 人間同士の対話におけるタイミング機構

本章では、われわれの研究グループの先行研究である人間同士の対話コミュニケーションにおける発話と身振りの時間的構造の分析結果について述べる。

山本知仁ら^{24), 25)}は、2者間での指示・応答場面を実験対象とし、課題を次のように設定した。被験者は、Fig. 1に示すような10個の同じ形の積み木(木製、5×5×2.5cm)が置かれた机に、1.2m程度離れて2人が向かい合って座る。そして、以下の2つの発話と身振りからなる指示・応答対話を行った。

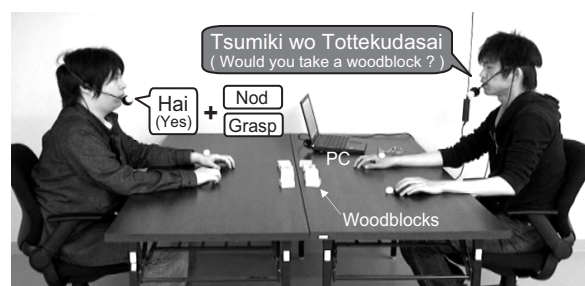


Fig. 1 Experimental task in our previous study

発話 1. 指示者が「積み木を取ってください」という指示を被指示(応答)者に出す

発話 2. 被指示者はその指示に対して「はい」という応答と頷き動作をしてから机の上の積み木の一つ取る

これらの実験課題において、発話速度の変化が発話行動の時間的な構造に与える影響を明らかにするために、指示者の発話速度を意図的に「はやい」、「ふつう」、「おそい」の三段階に変化させるよう指示し、上記の対話を10回繰り返すものとした。また、この実験には、20代(平均年齢:22.8歳)の男子学生4人が被験者として参加し、全ての組合せ12組分の実験を行った。

山本らは、この実験内容を映像と音声で記録した。記録には、ビデオカメラ(SONY社:DR-SR8)を使用し、音声はヘッドセット(Audio Technica社:PRO8HEW/P)より入力した。身振りについては、光学式モーションキャプチャシステム(ライブラリー社:Radish/3D)を用いて、指示者、被指示者の顎、手の4点を記録し、頷きに関しては、顎が下がり始めた時刻を頷き開始点とし、顎が下がりきった時刻を頷き終了点とした。掴みに関しては、手が動き始めた時刻を掴み開始点とし、積み木を掴むまでの時刻を掴み終了点とした。解析の精度については、音声データが1msec、身振りが6.7msec(150fps)で行った。その際、分析に用いる時間的特徴量をTable 1, Fig. 2に示す。

音声に関しては、指示者の指示発話長、被指示者の応答発話長に加え、インターパーソナルな量として、指示発話の終了から応答発話の開始に対応する「間(ま)」である交替潜時長の3つを用いた。身体動作に関しては、被指示者が応答時に行う頷き長と、積み木を取得する動作である掴み長に加え、イントラパーソナルな音声と身体動作の関係として、頷き時間と応答発話開始時間までの時間差(頷きの先行時間長)、掴み開始時間と応答発話開始時間までの時間差(掴みの遅延時間長)の4つを特徴量として用いた。

山本らは、以上の特徴量の全ての組み合わせについての相関分析を行うことで、指示・応答対話における発話と身振りのタイミングを包括的に分析した。その結果、人間同士の指示・応答対話において、被指示(応答)者の発話と身振りの開始タイミングが、指示者の発話長に依存して変化することを明らかにし、特にFig. 2に示すような3つの相関関係の存在

Table 1 Definition of indices of dialogue in Human-Human communication

Sd_i	指示者の発話長
Sd_r	被指示者の発話長
Pd	交替潜時長
Nd	被指示者の頷き長
Gd	被指示者の掴み長
Np	被指示者の頷きの先行時間長
Gp	被指示者の掴みの遅延時間長

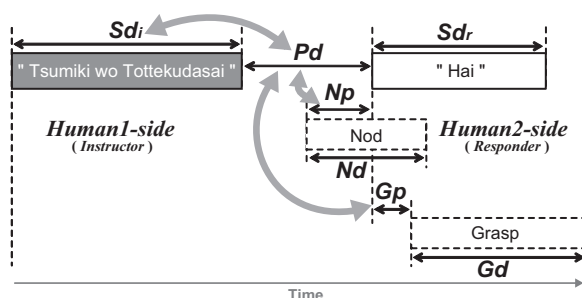


Fig. 2 Correlation in Human-Human communication

を報告した。

1. 発話長 (指示者)(Sd_i) - 交替潜時長 (Pd)
2. 交替潜時長 (Pd) - 頷きの先行時間長 (被指示者)(Np)
3. 交替潜時長 (Pd) - 掴みの遅延時間長 (被指示者)(Gp)

まず, $Sd_i - Pd$ の相関関係の一例を **Fig. 3** に示す. 同図のように, 指示発話長 (Sd_i) と交替潜時長 (Pd) の間に強い正の相関 (相関係数:0.820) が示された. この結果から, $Sd_i(Pd)$ が長くなると, $Pd(Sd_i)$ も長くなることが示唆された.

次に, $Pd - Np$ の相関関係の一例を **Fig. 4** に示す. 同図のように, 交替潜時長 (Pd) と被指示者の頷きの先行時間長 (Np) の間に強い正の相関関係 (相関係数:0.734) が示された. この結果から, $Pd(Np)$ が長くなると, $Np(Pd)$ も長くなることが示唆された.

最後に, $Pd - Gp$ の相関関係の一例を **Fig. 5** に示す. 同図のように, 交替潜時長 (Pd) と被指示者の掴みの遅延時間長 (Gp) の間に中程度の正の相関関係 (相関係数:0.433) が示された. この結果から, $Pd(Gp)$ が長くなると, $Gp(Pd)$ も長くなることが示唆された.

3. 相関関係の再構成とその分析

3.1 研究方針

本研究では, 山本知仁らが明らかにした指示・応答対話におけるタイミングの相関関係がどのように対話コミュニケーションに影響をおよぼすか, 人とロボットのインタラクションを用いて構成的に分析する. この目的のため, 人間同士での指示・応答対話で観察された相関関係に基づき対話タイミング制御モデルを構成した. そして, このモデルをロボットに実装し対話の印象評価実験を行うことで, タイミング制御モデルが指示・応答対話にどのような影響を与えるかを調べた. そのため, 本実験では山本らが用いた 2 者間での指示・応答

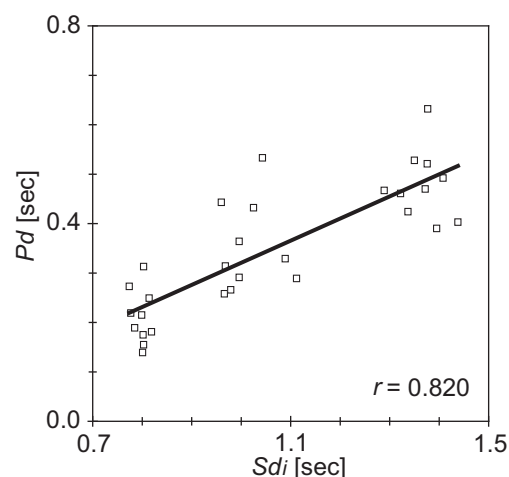


Fig. 3 Correlation between Sd_i and Pd

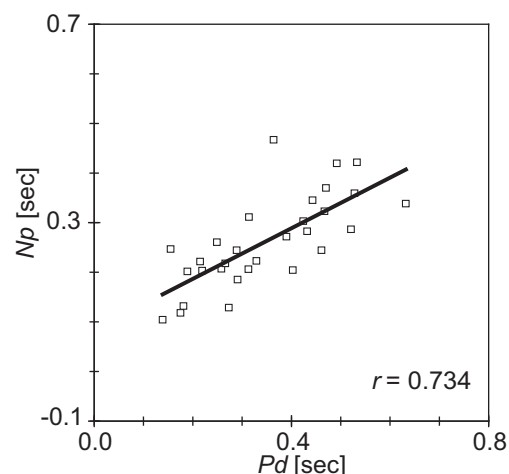


Fig. 4 Correlation between Pd and Np

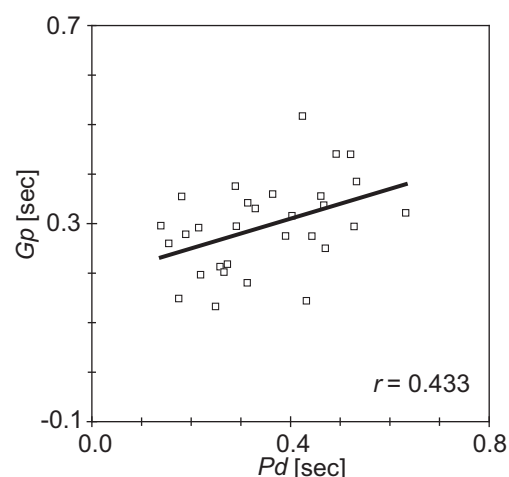


Fig. 5 Correlation between Pd and Gp

対話と同等の対話を用い, 被指示 (応答) 者側のみをロボットに置き換えた.

しかし, この設計方針は, 必ずしもロボットを人間と等価に設計することを意味しているわけではない. たとえば, 山

本ら^{24), 25)}の人間同士の指示・応答対話の分析では、平均交替潜時長は 300ms 程度であった。しかし、武藤ら²⁸⁾が行った人とアバターの指示・応答対話の分析においては、交替潜時長が 600ms～900ms の時に、エージェントの発話タイミングが自然であったという報告がある。このように、人間-エージェントの知見と、人間-人間の知見が異なる理由として、人が対話する相手が機械であると認識することにより人の発話速度が遅くなる可能性や、人が機械に対して期待する反応応答のタイミングが、人間同士の対話と異なる可能性が考えられる。このような点をふまえ、本研究のタイミング制御モデルは、人間の特性を考慮し設計するだけでなく、対人と対ロボットの違いも考慮してロボットに実装することが重要である。本章では、この実験の手法について述べる。

3.2 実験システム

コミュニケーションロボットを用い、発話と身振りのタイミングを制御できる、人とロボットのインタラクションを構成した。Fig. 6 に示すように、実験システムは被験者の指示に対して応答するロボットと、これを制御する PC で構成されている。ロボットは三菱重工工業株式会社が開発されたホームユースロボット“wakamaru”^{29), 30)}を使用した。ロボットには対話のタイミング制御モデルを実装する。そのモデルには、人間同士での指示・応答対話の相関関係を、Fig. 7 に示すように被指示者をロボットに置き換え、人間とロボットの 2 者間に対応させたタイミング制御モデルを用いる。

また、wakamaru にはいくつかの動作制御上の制約があるため、人間同士の指示・応答対話で観察された頷きと掴みについては、一括して身振りとして扱い、掴みと頷きの先行時間長を同じとした。そのため、今回の実験では、人間同士の指示・応答対話で観察された 3 つの相関関係のうち、2 つの相関関係 ($Sd_i - Pd$, $Pd - Np$) についてのみ考慮する。さらに、wakamaru の音声認識上の制約から、指示発話を「積み木を取って下さい」をやめ、「それちょーだい」に変更した。

3.3 実験課題

本実験では、山本らが用いた 2 者間での指示・応答対話と同等の対話を用い、被指示 (応答) 者側のみをロボットに置き換えた。

被験者は、Fig. 6 に示すような赤い三角形の積み木 (5×3×3cm) が置かれた机をはさんで、1.2m 程度離れてロボットと向かい合って座る。そして、次の 2 つの発話と身振りからなる指示・応答対話を行う。

発話 1. 被験者が「それちょーだい」という指示を被指示者であるロボットに出す。

発話 2. ロボットは被験者からの指示に対し、「はい、わかりました」という発話と頷き動作、掴み動作の 3 つの応答を示す (Fig. 9)。

発話 1 において、被験者がロボットに指示する際、山本が行った実験と同様に、被験者に対し、指示発話速度を「はい」、「ふつう」、「おそい」の 3 段階をセッションごとに順番に 1 つずつ指示し、発話速度を意図的に変化させる対話を行っ

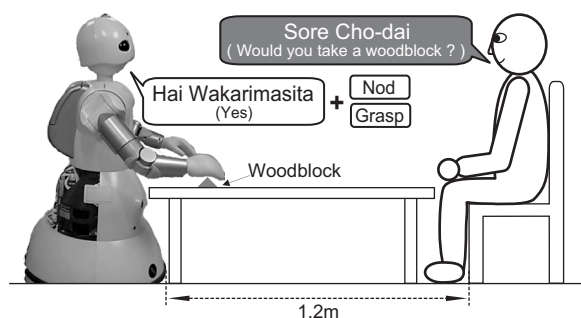


Fig. 6 Experimental task in the present study

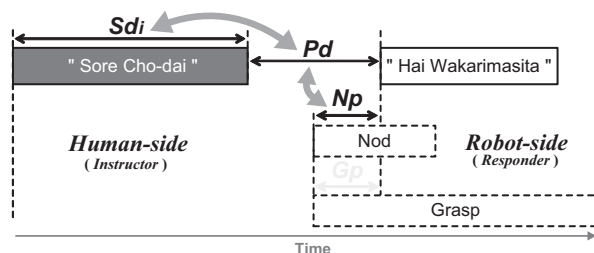


Fig. 7 Correlation used in this experiment

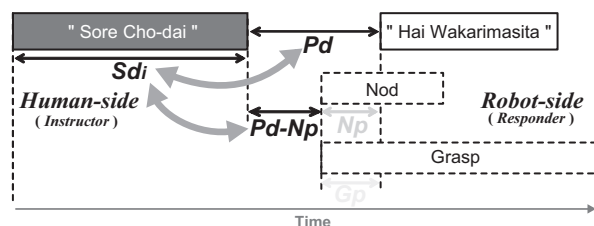


Fig. 8 Timing control model

た。これにより、被験者の発話速度の変化により、ロボットの応答タイミングが変化するタイミング制御モデル (Model 条件) と、それを使用しない場合 (Fix 条件) を比較する。

3.4 タイミング制御モデル

タイミング制御モデルは、人間同士の指示・応答対話で観察された相関関係に基づき、ロボットの応答発話開始タイミングと身振りの開始タイミングを決定するモデルである。

Fig. 7 に示すように、人とロボットのインタラクションにおける $Sd_i - Pd$ の相関関係により、ロボットの発話開始タイミングを決定する。この $Sd_i - Pd$ の相関関係では、指示者と応答者の時間的な前後関係から、 $Sd_i \rightarrow Pd$ の関係を仮定することが可能であり、人間 (指示者) の指示発話長 (Sd_i) を入力値、ロボットが発話開始するまでの交替潜時長 (Pd) を出力値とし、入力された Sd_i が長くなるとそれに応じて出力値の Pd が長くなるモデルとした。次に、 $Pd - Np$ の相関関係により、ロボットの身振りの開始タイミングを決定する。しかしながら、この $Pd - Np$ の相関関係では、Fig. 7 に示すように、 Pd と Np の終了が同一時刻であることから、因果関係を仮定するのは困難である。しかし、2 つの時間長のうち、 Pd は、 $Sd_i - Pd$ の相関関係により値を定めている。そこで、 Sd_i を入力とすることにより、 Np の値を定め

られる。つまり、 $Sd_i \rightarrow Pd \rightarrow Np$ といった関係を仮定することにより、ロボットが頷き開始する時刻からロボットが発話開始するまでの時間差、頷きの先行時間長 (Np) を定めることが可能となり、入力された Sd_i が長くなるとそれに応じて出力値の Np も長くなるモデルとした。

つまり、タイミング制御モデルとは、Fig. 8 に示すように、人間 (指示者) の指示発話長 (Sd_i) によって、タイミング制御モデルの交替潜時長 (Pd) と頷き先行時間長 (Np) の値が決まり、これによって、ロボットの応答発話 (Pd) と身振り ($Pd-Np$) の開始タイミングが決定するモデルである。

また、本実験でのタイミング制御モデルは、静的かつ線形なモデルとしている。タイミング制御モデルを構築する上で、様々なモデル化の方法が考えられる。例えば、動的なモデルや静的なモデル、1次相関の線形モデル、または2次や3次などの非線形モデルが挙げられる。しかし、現状では、山本らが観察した人間同士の指示・応答対話におけるタイミングの相関関係だけから、人とロボットのインタラクションにおける最適なモデルを決めることは難しい。そこで、本実験では、最適なモデルを決定するための第一歩として、基本的なモデルである静的かつ線形なモデルを用いることとした。

実験では、タイミング制御モデル (**Model 条件**) と、ある固定された交替潜時長と身振りのタイミングを提示するもの (**Fix 条件**) の2つを用意し比較する。

Model 条件は、以下のモデルに設定した。

$$Pd = 0.9347Sd_i + 110.15 \quad (1)$$

$$Np = 0.6667(Pd - 700) \quad (2)$$

Fix 条件は、以下の値に設定した。

$$Pd = 1000 \quad (3)$$

$$Np = 200 \quad (4)$$

なお、このような比較が唯一の方法ではないが、まずこのような対比からタイミング制御の影響を評価することを始めた。

また、上記のモデルのパラメータについては、3人の男子学生 (被験者 a: 23 歳, 被験者 b: 23 歳, 被験者 c: 25 歳) を対象に行った予備調査に基づいて定めた。まず Fix 条件では、交替潜時長 (Pd) について、ロボットが最も速く発話開始するタイミングの 700ms から 2500ms の間を 100ms 刻みで最も自然と感じるパターンを調査し、1000ms を Fix 条件の Pd の値に設定した。頷きの先行時間長 (Np) については、上記で決定した Pd の 1000ms から、-300ms ~ +800ms の間を 100ms 刻みで最も自然と感じるパターンを調査し、Fix 条件の Np を、発話開始よりも 200ms 先行して頷き開始する値に設定した。次に、Model 条件では、指示発話「それ、ちょーだい」を、被験者らが「ふつう」に話した際の平均指示発話長 (Sd_i) が 950ms 程度であることから、この結果と Fix 条件で設定した値を用いて、 Sd_i が 950ms 程度の時、 $Pd = 1000$, $Np = 200$ を通るように式 (1)(2) のパラメータを設定した。

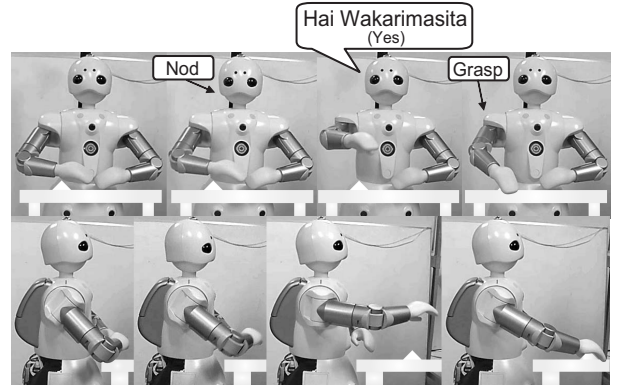


Fig. 9 Robot's response motion in the experiment

3.5 ロボットの身振り

実験におけるロボットの身振りとしては Fig. 9 に示したような身振りをを用いた。これは山本らが行った人間同士の指示・応答対話における被指示 (応答) 者の身振りに基づき設定したものである。

人間同士の指示・応答対話では、まず、手を机の上に置いた状態で実験を開始させていた。そして、指示者から指示されると、一番初めに頷き動作 (ロボットの頭が下がり始めてから、再び上がるまでの動作) を開始する。次に応答発話が始まり、そして、掴み動作 (腕が動き始めてから、積み木を掴むまでの動作) が開始していた。最後に、応答発話が終了した後に、掴み動作が終了する。ただし、本実験における掴みについてはすでに触れた通り、ロボットの制御上の制約によって掴み開始時間を頷き開始時間に設定した。また、頷きと掴みの開始時刻は、頷き動作および掴み動作の開始時刻とした。それ以外のロボットの身振りについては、上記の被指示者の身振りと同様にした (Fig. 9)。

3.6 実験手順

以下に本実験の手順を記す。なお全ての実験は、実験室内に設置してある防音室 (サイレントデザイン社製; 組立式防音室 3.0 帖ロング) の中で実施された。

- (1) 被験者に、Model 条件、Fix 条件のどちらか一方の条件に対し、どの条件であるかを告げず「A」の条件と提示し、第 3.3 節で示した実験対話を行った。提示する Model 条件、Fix 条件に関しては被験者間でランダムに行った。
- (2) 実験の対話開始のタイミングは、ロボットから「テスト」という音声による発話指示がなされてから始めた。また、被験者に、ロボットと対話する際は意図的に身体を動かすことを禁止した。
- (3) 1つの実験対話を終了後、次の対話の開始まで 2~5 秒程度の時間がランダムに与えられるようロボットに設定した。これは、同一条件の試行内での対話行動がリズム化してしまうのを防止するためである。
- (4) 1つの実験対話を 1セッションとし、同一条件内で 6セッション行う。6セッション目が終了後、その条件での実験を終了とした。

(5) 被験者にもう一つの条件を「B」の条件と提示し、上記(1)～(4)の手順に従い実験を繰り返す。

(6) 2つ目の条件の実験が終了した直後、被験者は2つの条件のロボットの応答タイミングの印象を比較し、Table 2に示す質問項目に対し、どちらの条件がより当てはまるかを回答する。

3.7 質問項目

本実験では、Model条件とFix条件のロボットの応答タイミングの印象について比較し、Table 2に示す質問項目に対し、どちらの条件がより当てはまるかを回答する。質問の内容については、質問項目1～3番の「自然さ」「信頼性」「知的さ」は、ロボットの対人的な印象について問う項目である。質問項目4、5番の「速さ」「近さ」は、被験者とロボットとの関係における主観的な時間と空間について問う項目である。質問項目6番の「肯定的」は、発話と身振りのタイミング制御によって、発話の意味解釈に影響があるかを問う項目である。

3.8 被験者

本研究では、高齢者と若年者の2つの年代を用いて印象評価実験を行なった。高齢者は、66歳から74歳まで(平均年齢:69.0歳)の18名(男性9名、女性9名)。若年者は、20代(平均年齢:22.9歳)の学生18名(男性9名、女性9名)が被験者として参加した。なお、専門知識をもたない被験者を集めるため、被験者アルバイトを募集した。

4. 結果

人間同士で観察された相関関係が、人間とロボットの間に再構成された指示・応答対話にどのような影響を与えるかを明らかにするために、ロボットに実装されたタイミング制御モデルが、対話の印象評価に与える影響を調べた。そのアンケート結果をFig. 10, 11に示す。

4.1 高齢者

高齢者における結果をFig. 10に示す。高齢者においては、タイミングを制御する場合(Model条件)と、それを使用しないタイミングを固定する場合(Fix条件)のあいだで対話の印象評価に顕著な差が観察された。そこで、タイミング制御モデルの有無による印象評価に違いがあるかどうかを調べるためにt検定を行った。その結果、Fix条件($m = 37.96\%$, $SD = 0.17\%$)よりもModel条件($m = 62.04\%$, $SD = 0.17\%$)の方が有意に評価が高く($t(10) = 9.97$, $p < 0.01$)、タイミング制御モデルの有無によって、対話の印象に差が現れることが示された。

さらに、差が現れた際、Model条件の印象評価が高かった。特に、質問項目「自然さ」「信頼性」「知的さ」「近さ」「肯定的」の5項目においてModel条件の評価が顕著に高かった。

4.2 若年者

若年者における結果をFig. 11に示す。若年者においては、Model条件とFix条件のあいだで対話の印象評価の差があまり見られなかった。

Table 2 Questionnaire items

1	もっとも 自然 に感じたものはどれですか (自然さ, natural)
2	もっとも 信頼 できると感じたものはどれですか (信頼性, reliable)
3	もっとも 知的 に感じたものはどれですか (知的さ, intelligent)
4	もっとも 速 いと感じたものはどれですか (速さ, fast)
5	もっとも 近い (心理的に)と感じたものはどれですか (近さ, close)
6	もっとも 肯定的 に感じた「はい、わかりました」はどれですか(肯定的, positive)

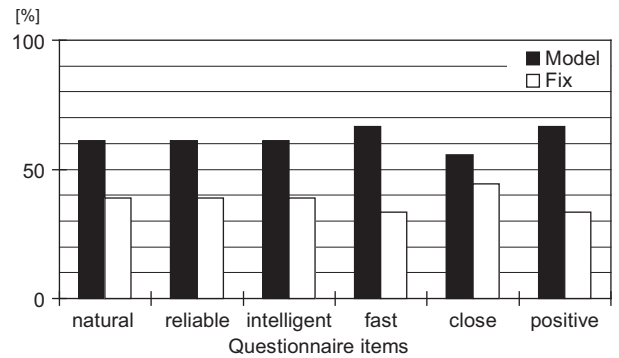


Fig. 10 Questionnaire result (Elderly participants N=18)

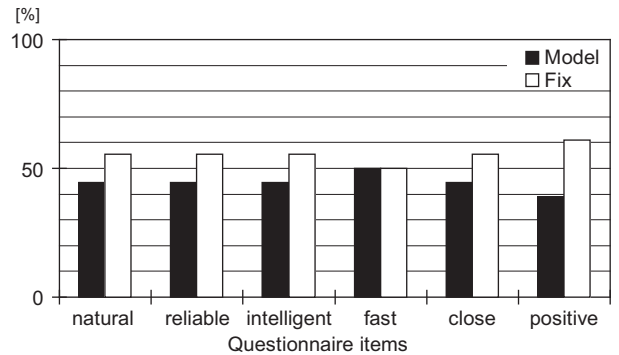


Fig. 11 Questionnaire result (Younger participants N=18)

5. 考察

5.1 結果のまとめ

上記の結果より、タイミング制御モデルを使用する場合(Model条件)と、それを使用しないタイミングを固定する場合(Fix条件)のあいだで対話の印象評価に差が観察されることが確認された。特に、高齢者においては差が顕著に現れた。

質問項目1～3番の「自然さ」「信頼性」「知的さ」は、ロボットの対人的な印象について問う項目である。この項目では、全ての項目でModel条件がFix条件を大きく上回った。これは、対話におけるタイミングが、自然で円滑なコミュニケーションをする上で重要な役割を担うことを意味している。質問項目4、5番の「速さ」「近さ」は、被験者とロボットとの関係における主観的な時間と空間について問う項目である。

この項目では、主観的な時間について Model 条件と Fix 条件の差が顕著に現れた。これは、対話におけるタイミングが、高齢者との対話において特に重要な要素になっていることを示唆している。質問項目 6 番の「肯定的」は、ロボットの発話タイミングや身振りタイミングを変えることによって、「はい、わかりました」という発話の解釈が影響を受けるのかどうか調査するために提示された質問である。この項目でも顕著な差が現れ、被験者は Fix 条件のロボットの応答よりも Model 条件のロボットの応答をより肯定的に解釈していることが明らかになった。この結果は、発話や身振りのタイミングが人間側の解釈にも影響している可能性を示唆している。

これらの質問紙法を用いた結果から、発話タイミングだけでなく、身振りも含めた対話におけるタイミングが対話の印象や言語メッセージの解釈に影響を与えていることが明らかになった。さらに、今後人がどのようにして円滑なコミュニケーションを実現させているかというメカニズムを解明していくためには、発話と身振りなどの機能について調査するだけでなく、それらがどのような時間関係で動けばいいのかというタイミングに関わる問題を明らかにしていくことが必要であることも示唆している。特に、タイミングから言語メッセージへの解釈にどのように影響を及ぼしているかをより明確にすることが重要になると考えられるが、そのためには言語の解釈がタイミングによって明確に変化することを示さなければならない。本実験では、「はい、わかりました」という相対的に強い肯定的な印象を付与された言語表現を用いたが、これを、例えば「はい」や「ええ」のような中間的な表現を用いることでタイミングからの影響をより確実に分析できる可能性がある。さらに印象評価の項目に、「肯定的」だけでなく「否定的」という形容詞も同時に加え、一対比較することによって、影響をより高い分解能を伴って分析することが可能になるであろう。今後さらなる調査を進めて行かなければならない。

これらの結果は、対話の時間的構造に基づいて発話と身振りのタイミングを制御することによって、はじめて明らかにされたことである。このことは、人間の対話を分析する上で、コミュニケーション・チャネルを包括的に分析することの有効性を示している。さらに、それを実証する上で、コミュニケーションロボットを用いる構成論的方法が適していることを示唆している。

さらに、高齢者において Model 条件と Fix 条件のあいだに差が現れた際、Model 条件の印象評価が有意に高かった。質問項目 1~3 番のロボットの対人的な印象について問う項目では、全ての項目で Model 条件の評価が顕著に高かった。これは、タイミング制御モデルを搭載したロボットの方が好ましいインタラクションを行うことを示唆する。質問項目 4, 5 番の被験者とロボットとの関係における主観的な時間と空間について問う項目では、主観的な時間について Model 条件の評価が顕著に高かった。これは、発話と身振りのタイミングが変化することによって、固定された場合よりも主観的に

速く感じることを示している。質問項目 6 番の発話の意味への影響を問う項目でも、Model 条件の評価が顕著に高く、タイミングが変化することで発話の解釈に肯定的印象を与えることが示された。

このことは、Model 条件のように対話におけるタイミングを変化させることによって、少なくとも高齢者に対しては、対話の印象を改善する効果があることを意味している。また、本研究のタイミング制御モデルは、若年者の知見に基づいて、若年者にあうように設定されていた。しかしながら、このような設定をされたにも関わらず、このモデルが若年者よりも高齢者に影響があり、評価が高かったという結果は重要である。このことから、少なくとも高齢者にとっては、対話においてタイミングが重要であることが示唆できるからである。ただし、Model 条件のパラメータが異なれば、高齢者における印象に逆効果をもたらす可能性も考えられることから、今後は、パラメータに依存して印象がどのように変化するかを調査する必要がある。

5.2 高齢者と若年者の違いについて

次に、Model 条件と Fix 条件の印象評価の差が高齢者には見られ、若年者にはあまり見られなかったことについて考察する。この結果が得られた原因として 4 つの可能性が考えられる。

まず、最初の原因としては、ロボットに対する心理的なイメージの違いからの影響が推測される。たとえばロボットをパートナーと捉えるか機械と捉えるかで応答は大きく異なってくるものと予想される。そして、このようなロボットに対する期待の違いが本実験の結果に影響した可能性がある。これを確認するためには、被験者のロボットに対する心理的イメージの調査を行い、それを世代間で比較することによって、ロボットに対する期待からの影響を評価することが可能になると考えられる。

第 2 の原因として、被験者の年齢に依存した認知的な違いからの影響が推測される。特に、人間は加齢により様々な感覚機能や認知機能が低下し、それによって高齢者は、若年者が容易に相手に合わせて発話スピードを速くしたり遅くしたりと変化させることが難しくなるため、高齢者は自分に合わせてくれることを望む傾向にあると言われている^{31), 32)}。また、人間の時間認知についても、加齢に伴って変化することが知られている²⁷⁾。これらによって高齢者と若年者で印象の違いが出た可能性がある。また、本研究で採用したタイミング制御モデルは、若年者で得られた相関関係に基づいて構築されているが、それによって高齢者のタイミング制御とのあいだに違いが生じた可能性も予想される。これを確認するためには、人間同士の対話の分析を、若年者だけでなく高齢者においても行う必要がある。これによって高齢者の発話と身振りのタイミング制御機構および時間認知機構が明らかになるからである。そして将来的には、タイミング制御モデルを構築する上で年齢を考慮することが重要であり、例えば、世代ごとに異なるタイミング制御モデルを用いることの有効

性なども期待される。

第3の原因としては、ロボットの動作上の制約がある。ひとつは、頷きの動作タイミングと掴みの動作開始タイミングを時間的にずらして制御できないという制約である。このため、人間同士の対話で観察された3つの相関関係のうち2つの相関しかロボットに実装できないという問題が発生してしまい、それによって高齢者と若年者で印象に違いが出た可能性も考えられる。さらに、ロボットの応答速度に関して、700ms程度の遅れ(応答ラグ)が定常的に生じており³³⁾、その結果、人間側の指示発話終了後700msより速いタイミングでのロボットの応答を再現出来なかったことも原因として考えられる。これらの制約の克服のためにはロボットの制御技術の改善が不可欠である。

最後に、第4の原因であるが、タイミング制御モデルのモデル化に関する問題が残されている。モデル化に際して今回考慮しているのは、山本らが観察した若年者同士の対話のタイミングの相関関係だけであり、その結果だけに基づいて、人間とロボットのインタラクションのモデル推定をすることには困難が伴う。そこで本研究では2つの仮説を導入した。ひとつは人間同士(若年者も高齢者も含む)のタイミング制御と人間とロボットのタイミング制御が定性的に対応することであり、もうひとつは、静的かつ線形なシステムとしてモデル化が可能とみなすことである。これらはあくまでも仮説であり、今後とも継続した調査を進めることが必要である。

5.3 対話における因果関係について

本研究のタイミング制御モデルは、山本らの指示応答対話で明らかにされたタイミングの相関関係に基づき、そこから因果関係を想定したモデルである。しかしながら、“相関関係がある”ということは、必ずしも“因果関係がある”ことを意味しない。このタイミング制御モデルにおいて、相関関係から因果関係を想定できると考えた理由としては、本研究で扱った実験課題が関係している。この実験課題では、指示者(人間)が話し終わった後に応答者(ロボット)が応答するという一方向的な作用関係のみを取り上げている。この一方向的な作用関係の課題であるという前提により、指示者と応答者の間で、指示者から応答者へという時間的な前後関係が存在し、さらに、指示者から応答者、そして、応答者から指示者へという双方向的な関係がないため、指示者の発話長と応答者の発話と身振りの開始タイミングとの間に、因果関係があると仮定することが出来る。

また、われわれは、人間が行っている円滑な対話コミュニケーションのメカニズムを解明することを目標に掲げ研究を進めている。ここで指す“対話”とは、自然対話、双方向的な作用関係がある対話である。この双方向的対話に関しては、相互行為の進行にともなって相互調整がされていることが、近年明らかになりつつある³⁴⁾。このような知見は非常に重要であると考えられる。しかしながら、この相互調整が、どのような因果関係から構成され、どのようなメカニズムで円滑なコミュニケーションが行われているのかは、自然対話、双方向

の対話の複雑性が原因となり、いまだ明らかになっていない。そこで、われわれは、双方向の対話のメカニズムを解明するための第一段階として、一方向的な実験課題を作成し、さらに、対話の多様なチャンネルを包括的に捉えるために、タイミングという時間的構造に注目することにより、因果関係ができるだけ明らかになる形で分析を行っている。そして、このような手法を用いることによって、最終的に双方向的なダイナミクスの解明につながると考えている。

5.4 今後の展開

本研究の構成論的方法によって、コミュニケーション研究に新しい視点を持ち込まれたことは確かである。従来の特定のコミュニケーション・チャンネルのみを扱う部分的なコミュニケーション研究とは一線を画している。本研究ではこれまでコミュニケーション研究において行われなかった包括的アプローチの有効性を実証した。加えて、コミュニケーションに発話と身振りのタイミングといった対話の時間的構造が影響することを示した。

ただし、本実験で取り上げたコミュニケーションの場面は、2者間での指示と応答からなる対話であった。本来人間のコミュニケーション場面は、2者間での対話のみでなく、3人以上の複数人の対話も行っている。さらに、あいさつや呼びかけ、質問など指示・応答以外の違った場面での対話もある。そこで、今後は、複数間での対話や様々な場面での対話において、包括的なアプローチを適用し、コミュニケーション研究の知見を蓄積していく予定である。

また、本研究の成果は、今後、社会的な様々な問題に対して広く応用されていく可能性が考えられる。例えば、少子高齢化社会の問題、特に高齢者のコミュニケーション支援などで、非言語的コミュニケーションをロボットに応用した取り組みが既に進められている^{35)~37)}。これらはsocial robotやsocial interactive robotとも呼ばれ、人間のコミュニティで社会性をもち、人間と共生・共存を目指して開発されている。したがって、本研究で示されたタイミング制御を、ロボットなどのインタラクションに応用することによって、より効果的な高齢者のコミュニケーション支援が期待できるであろう。このような社会的発展の基盤技術として、今後さらなる研究を進めなければならない。

6. ま と め

本研究では、人間同士の対話において、コミュニケーション・チャンネルの重層性を考慮した包括的なアプローチによって明らかにされた、発話と身振りのタイミング機構を、コミュニケーションロボットを用いて人とロボットのインタラクションとして再構成し、そのコミュニケーションへの影響を明らかにした。特に、指示・応答対話のタイミング制御モデルを構成し、このモデルの有無の違いを評価する実験を行い、タイミング制御が対話の印象に対してどのような影響を与えるのかを分析した。

その結果、このタイミング制御モデルの有無によって、対

話の印象に差が現れることが示された。特に、高齢者においてこの差が顕著に現れ、タイミング制御モデルを搭載したロボットのインタラクションが好ましい印象を与えることが明らかになった。また、タイミング制御の有無によって、言語的メッセージの解釈が変化することも示された。しかし、若年者においてはこの差はあまり見られなかった。

これらの結果は、本研究によって始めて明らかにされたことである。このことから、人間の対話を分析する上で、包括的なアプローチの有効性が示された。それとともに、人間同士の対話の分析によって得られた知見を実証するためのツールとしてコミュニケーションロボットが適していることを示した。そして、指示・対話コミュニケーションに発話と身振りのタイミングといった時間的構造が影響することを実証した。さらに、非言語的コミュニケーションが、発話の意味や解釈といった言語的コミュニケーションに影響を与える可能性を示唆した。

参 考 文 献

- 1) 大坊郁夫：しぐさのコミュニケーション -人は親しみはどう伝えあうか-, セレクション心理学 14, サイエンス社 (1998)
- 2) R.L. Birdwhistell : Kinesics and context : Essays on body motion communication, Philadelphia : University of Pennsylvania Press (1970)
- 3) 渡辺富夫：身体的コミュニケーション技術とその応用, システム制御情報学会誌, **49**-11, 431/436 (2005)
- 4) 大坊郁夫：同調傾向, 心理学辞典, 中島義明・安藤清志・子安増生・坂野雄二・繁 算男・立花政夫・箱田裕司 (編), 有斐閣 (1999)
- 5) J.D. Matarazzo, M. Weitman, G. Saslow, A.N. Wiens : Interviewer influence on durations of interviewee speech, Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior, **1**, 451/458 (1963)
- 6) J.D. Matarazzo and A.N. Wiens : Interviewer influence on durations of interviewee silence, Journal of Experimental Research in Personality, **2**, 56/69 (1967)
- 7) 長岡千賀, 小林政嗣, 中村敏江：対話における交替潜時長の 2 者間相互影響, 人間工学, Vol.38, pp.316-323 (2002)
- 8) J.T. Webb : Interview synchrony : An investigation of two speech rate measures in an automated standardized interview, In B. Pope and A.W. Siegman (Eds.), Studies in Dyadic Communication, New York, Pergamon, 115/133 (1972)
- 9) 大坊郁夫：対人コミュニケーションにおける同調傾向 -主に音声的行動について-, 山形心理学レポート, **4**, 1/15 (1985)
- 10) A. Kendon : Movement coordination in social interaction : Some examples described, Acta Psychologica, **32**, 101/125 (1970)
- 11) 中村敏枝：『間』における演奏者と伴奏者の呼吸の同期, 日本心理学会第 59 回大会発表論文集, 631 (1995)
- 12) 長岡, 小林, 中村：練習が演奏者間の呼吸の一致に及ぼす効果 -ピアノ連弾に関する事例的研究-, 日本心理学会第 64 回発表論文集, 603 (2000)
- 13) 渡辺富夫：身体的コミュニケーションにおける引き込み, 日本新生児学会雑誌, **34**, 734/738 (1998)
- 14) W.S. Condon and L.W. Sander : Neonate movement is synchronized with adult speech : interactional participation and language acquisition, Science **183**, 99/101 (1974)
- 15) F.J. Bernieri, J.S. Reznick and R. Rosenthal : Synchrony, pseudosynchrony, and dissynchrony: Measuring the entrainment process in mother-infant interactions, Journal of Personality and Social Psychology, **54**, 243/253 (1988)
- 16) 渡辺, 大久保, 小川：発話音声に基づく身体的インタラクションロボットシステム, 日本機会学会論文集 C 編, **66**-648, 2721/2728 (2000)
- 17) 山本, 渡辺：身体的エージェントの情報提示インタラクションにおける動作に対する発声タイミング制御の効果, ヒューマンインタフェース学会論文誌, **10**-2, 135/143 (2008)
- 18) 山本, 渡辺：ロボットとのあいさつインタラクションにおける動作に対する発声遅延の効果, ヒューマンインタフェース学会論文誌, **6**-3, 87/94 (2004)
- 19) 木村, 余語, 大坊：感情エピソードの会話場面における同調傾向の検討 -擬似同調傾向実験パラダイムによる測定-, 対人社会心理学研究, **4**, 97/104 (2004)
- 20) 大坊郁夫：対人行動としてのコミュニケーション, 対人行動の心理学, 対人行動学会 (編), 誠信書房, 193/224 (1986)
- 21) 伊藤哲司：ノンバーバル行動の基本的な表出次元の検討, 実験社会心理学研究, **31**, 1/11 (1991)
- 22) M.L. Patterson, 工藤力 (監訳)：非言語コミュニケーションの基礎理念, 誠信書房 (1995)
- 23) 和田実：好意, 対人距離, 話題が非言語行動と自己開示に及ぼす影響, 実験社会心理学研究, **26**, 1/12 (1995)
- 24) 山本, 武藤, 高野, 小林, 三宅：対話コミュニケーションにおける間 (ま) の創出と二重性, 第 8 回 SICE システムインテグレーション部門講演会講演論文集 (SI2007), 1141/1142 (2007)
- 25) 山本, 平野, 小林, 高野, 武藤, 三宅：対話コミュニケーションにおける 2 種類の発話タイミング相関, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2007 講演会予稿集, 631/634 (2007)
- 26) 渡辺富夫：身体的コミュニケーションにおける引き込みと身体性 -心が通う身体的 コミュニケーションシステム E-COSMIC の開発を通して-, ベビーサイエンス, **2**, 4/12 (2003)
- 27) T.R. Hibbard, J.N. Migliaccio, S. Goldstone and W.T. Lhamon : Temporal information processing by young and senior adults and patients with senile dementia, Journal of Gerontology, **30**-3, 326/330 (1975)
- 28) 武藤, 高野, 大良, 小林, 山本, 三宅：音声インタフェースにおける発話タイミング制御とその評価, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2007 講演会予稿集, 639/642 (2007)
- 29) 川内, 古結, 長島, 大西 日浦：ホームユースロボット wakamaru, 三菱重工技報, **40**-5, 270/273 (2003)
- 30) 塩谷, 塘中, 見持, 浅野, 大西, 日浦：人と暮らす世界初の本格的コミュニケーションロボット wakamaru, 三菱重工技報, **43**-1, 44/45 (2006)
- 31) 井上, 木村：新版 老年心理学, 朝倉書店 (1993)
- 32) D.C. Park, N. Schwarz : Cognitive aging: A primer, Psychology Pr. (1999)
- 33) K. Namera, S. Takasugi, K. Takano, T. Yamamoto and Y. Miyake : Timing control of utterance and body motion in human-robot interaction, Proc. of 17th IEEE International Symposium on Robot & Human Interactive Communication (IEEE RO-MAN 2008), 119/123 (2008)
- 34) 城, 細馬：多人数会話場面でみられる同期現象の考察, 日本認知心理学会発表論文集 **2008**, 20 (2008)
- 35) 伊吹, 木村, 武田：コミュニケーションロボットを用いた高齢者生活支援システム (工学技術と福祉関連産業 <小特集> 高齢社会のための機械テクノロジー -社会への寄与と産業としての期待-), 日本機械学会誌, **108**-1038, 392/395 (2005)
- 36) 後藤, 加納, 加藤：感性ロボットののための感情領域を用いた表情生成, 人工知能学会論文誌, **21**, 55/62 (2006)
- 37) 山本, 水谷：高齢者コミュニケーション支援システムの開発, 日本ロボット学会誌, **18**-2, 192/194 (2000)

コミュニケーションロボットとの対話における 交替潜時長と頷き先行時間長の影響評価

高 杉 將 司

Estimation of the Influence of Pause Duration and Difference of Nod and Response Timing
using Dialog between Human and Communication Robot

Shoji TAKASUGI

The purpose of this study is to clarify the influence of pause duration and difference of nod and response timing in human-robot interaction. We estimated those influence to realize human-robot communication using a questionnaire method. The results showed that the various changes those communication timings by questionnaire items. In addition, those influences in elderly people are more complex than young people. These results show possibility to have the relations that the timings of communication and the side of construe of communication depend on mutually, and possibility that elderly people regards the timings of communication as important than young people.

Key Words: communication robot, dialog, pause duration, difference of nod and response timing

1. はじめに

近年、ロボット関連の要素技術の進展により、人間との自然なコミュニケーションを目的とした自律型ロボットの研究開発が進んでいる^{1)~4)}。その結果として、発話だけでなく、表情^{5), 6)}・頷き^{7), 8)}・アイコンタクト・共同注意⁹⁾といった非言語的な機能をもつロボットが提案されてきた。

この背景として、これまでのコミュニケーション研究において、人間がコミュニケーションを介して、他者との意思疎通を図る際、言語情報だけでなく、周辺言語としてのパラ言語や、視線、頷き、表情、身振りなどの身体動作といった言葉によらない非言語情報も重要な要素であると考えられてきたことが挙げられる。この非言語情報は、言葉によって伝えられるメッセージに解釈を与え、さらに話者間の関係を調整する役割を果たしていると言われている。そして、人間はこれらの多様なコミュニケーション・チャネルを統合することで、コミュニケーションを円滑に進めている¹⁰⁾。

このことから、言語的コミュニケーションとともに、非言語的コミュニケーションが重要であると考えられているが、ロボットの言語的機能と非言語的機能をどのように統合し、人間とロボットの自然なコミュニケーションを実現していくかという工学的設計パラダイムは未だ明らかではない。

これまでのロボット設計では、発話や身体動作などの行為にのみ注目され、それらが独立した機能としてロボットに実装される段階にとどまっていた。そして、それらの発話や身体動作の機能が、ロボットと人間の間でどのような時間的な

相互関係に基づいて制御されることで、自然なコミュニケーションが実現されるのかという点については、ほとんど明らかにされていない。

これまで、筆者ら^{11), 12)}は、人間とロボットの自然なコミュニケーションの実現を目標に、コミュニケーションの時間的側面に注目してきた。そして、人間同士の対話における発話や身振りを時間軸上の事象としてとらえることにより、それらの時間的前後関係や相関関係を調査した^{13), 14)}。これによって明らかになった、発話と身振りのタイミング機構に基づき、ヒューマノイドロボットの発話と身体動作を統合し、それらの有効性評価を行った。具体的には、人とロボットのやり取りで多く見られる「指示・応答場面」をシナリオとして用い、人間同士の指示・応答対話で観察されたタイミングの相関関係に基づいて、ロボットの発話や、頷きなどの身体動作の開始タイミングを制御するモデルを構成し、このモデルの有無の違いを評価する実験を高齢者と若年者の2つの年代で行い、タイミング制御が対話の印象に対してどのような影響を与えるのかを分析した。

その結果、このタイミング制御モデルの有無によって、対話の印象に差が現れることが示された。特に、高齢者においてこの差が顕著に現れ、タイミング制御モデルを搭載したロボットのインタラクションが好ましい印象を与えることが明らかになった。また、タイミング制御の有無によって、言語メッセージの解釈が変化することも示された。この結果から、発話タイミングだけでなく、身体動作も含めた対話におけるタイミングが対話の印象や言語メッセージの解釈に影響を与

えていることが明らかになった。そして、タイミングという時間情報は単なる非言語的コミュニケーションの1つという以上に、円滑なコミュニケーションを実現させる上で重要な役割を担っていることを示唆した。

これらの成果は、コミュニケーションの時間的側面に注目したアプローチの有効性を明らかにすると共に、これまでに提案されているロボットの言語的・非言語的機能を統合していく上で、タイミングという時間的観点から統合することが重要なアプローチとなると期待される。

このことから、人間とロボットの自然なコミュニケーションを実現するためには、コミュニケーションの時間的構造の解析を深化させることが必要である。そのためには、発話と身体動作のタイミング制御モデルを再度分解し、発話と身体動作それぞれのタイミングが、人間とロボットのコミュニケーションにおいてどのような影響を及ぼすかを解明する必要がある。

そこで、本研究では、人とロボットの自然なコミュニケーションの実現を目標とし、人とロボットの対話におけるタイミング機構のさらなる解明のために、ロボットの発話開始タイミング(交替潜時長)および頷き開始タイミング(頷き先行時間長)が、人間とロボットの対話においてどのような影響を及ぼすかを調査する。具体的には、人間とロボットの指示・応答対話において、交替潜時長および頷き先行時間長を変化させ、人間側からの印象を6種類の形容詞を用いて主観的に評価した。手法としては、Scheffeの一对比較法(中屋の変法:7段階)^{18), 19)}を採用し、高齢者および若年者に対して適用した。

以下、第2章で人間とロボットの対話における交替潜時長および頷き先行時間長の影響を調査する手法について述べる。第3章で結果をまとめ、第4章で考察し、第5章でまとめるを行う。

2. 実験方法

2.1 研究方針

本研究では、人間とロボットの対話において、ロボットの交替潜時長および頷き先行時間長がどのような影響を及ぼすかを調査する。そのため、先行研究^{11), 12)}で用いた人とロボットの指示・応答対話を用い、応答者側をロボットに置き換えた。そして、次の2つの実験を行った。

実験1. 人間とロボットの対話における交替潜時長の印象評価実験

実験2. 人間とロボットの対話における頷き先行時間長の印象評価実験

まず1つめの実験は、ロボットの交替潜時長を人間とロボットの指示・応答対話において変化させ、ロボットの発話タイミングが対話にどのような影響を及ぼすかを調べた。

2つめの実験では、ロボットの頷き先行時間長を人間とロボットの指示・応答対話において変化させ、ロボットの発話と頷きの順序関係が対話にどのような影響を及ぼすかを調べた。

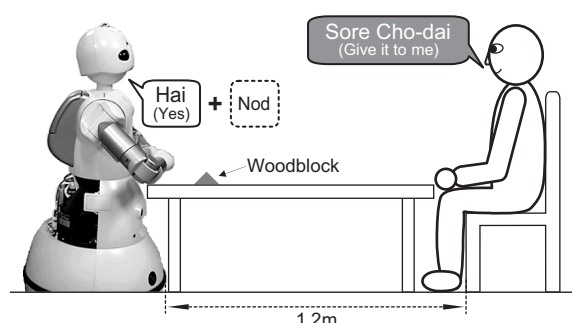


Fig. 1 Experimental task in the present study
(Ex 1 : Response Utterance only)
(Ex 2 : Response Utterance and Nod)

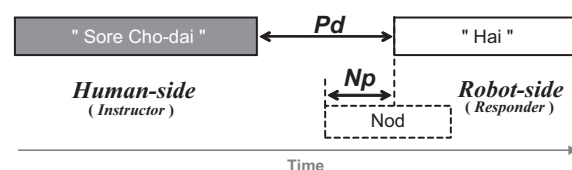


Fig. 2 Focused indices of dialogue in this experiment
(Ex 1 : Pd) (Ex 2 : Np)

2.2 実験課題

実験では、Fig. 1 に示すように、先行研究^{11), 12)}で用いた指示・応答対話と同様の対話をシナリオとして用い、次の2つの発話と身振りからなる指示・応答対話を行う。

発話1. 被験者が「それちょーだい」という指示を被指示者であるロボットに出す。

発話2. ロボットは被験者からの指示に対し、応答を示す。
(実験1:「はい」という応答発話のみ)

(実験2:「はい」という発話と頷き動作の応答)

実験1では、Fig. 2 に示すように、被験者の指示発話終了からロボットが応答発話開始するまでの発話タイミング(交替潜時長: Pd)を、950/1350/1750/2150msとし、計4種類の交替潜時長を刺激として用いた。この4種類の交替潜時長は、本研究で用いたロボットに実装可能である最も早い交替潜時長950msから、400ms刻みで変化させた値である。

実験2では、Fig. 2 に示すように、ロボットの頷き開始時間からロボットが応答発話開始するまでのタイミング(頷き先行時間長: Np)を、-600/-200/±0/+800msとし、計4種類の頷き先行時間長を刺激として用いた。±0msは、ロボットの発話と頷きの開始時間に差がないタイミングであり、-600msは発話の開始よりも頷きの開始が大きく先行して開始するタイミングである。-200msは、人間同士の指示応答対話で観察された^{13), 14)}頷き先行時間長の平均値(-184ms)に基づいたタイミングであり、+800msは発話の開始よりも頷きの開始が大きく遅延して開始するタイミングである。また、実験2で用いた交替潜時長(Pd)は1350msを用いた。これは、本実験で用いたwakamaruに特化した技術的問題として、頷き先行時間長を操作でき、かつ交替潜時長が早い値にするための限界値である。

2.3 実験システム

実験システムは、被験者の指示に対して応答するコミュニケーションロボットと、これを制御するPCで構成されている。ロボットは、三菱重工株式会社に開発されたホームユースロボット“wakamaru”¹⁵⁾を使用した。実験は、防音室(サイレントデザイン社製:組立式防音室 3.0 畳ロング)の中で行われた。Fig.1 に示すように、被験者とロボットは 1.2 m 離れて向かい合って座った。被験者とロボットの間の机には、ターゲットとなる赤い三角形の積み木 (5 × 3 × 3cm) が置かれた。被験者は実験中に意図的に身体を動かすことを禁じられた。

2.4 印象評価

人間とロボットの指示・応答対話において、実験 1 では交替潜時長を変化させロボットの発話タイミングについて、人間からの印象を 6 種類の形容詞 (「自然さ」「親しみやすさ」「丁寧さ」「好き」「知的」「肯定的」) を用いて主観評価を行った。6 種類の形容詞のうち「自然さ」「親しみやすさ」「丁寧さ」「好き」「知的」はロボットの対人的な印象について問う形容詞である。「肯定的」については、交替潜時長、または、領き先行時間長によって、言語的メッセージの解釈自体に影響があるかどうかを問う形容詞である。実験 2 では領き先行時間長を変化させロボットの発話と領きのタイミングについて、上記で記した実験 1 と同様の主観評価を行った。

実験 1, 2 では、第 2.2 節で示したそれぞれの 4 種の刺激を、2 つずつ組合せ計 6 組を被験者に提示した。

調査時には、どの刺激が提示されたかを隠すために、提示した順からそれぞれ「A」条件、「B」条件という名前に変えて提示した。被験者は、7 種類の形容詞から、ランダムに選ばれた形容詞について、Scheffe の一対比較法 (中屋の変法:7 段階) により、「A」「B」どちらの方が他方に比べてどの程度当てはまるかを回答した (A が非常に / A がかなり / A が少し / どちらも同じ / B が少し / B がかなり / B が非常に)。

また、2 つの条件の会話が 1 回で比較できない場合は、比較の往復をすることは任意とした。

教示は次のように行った (例:実験 1「自然さ」)。

これから「ロボットの発話タイミングに関する実験」を行います。発話タイミングを変化させることが出来るロボットと、簡単な会話を 2 回して頂きます。簡単な会話とは、「それちょーだい」とロボットに指示して頂き、それに対してロボットが「はい」と応答する会話です。この際、あなたが指示を終えてからロボットが「はい」と発話するまでのタイミングが 2 回の会話 (「A」条件、「B」条件) で異なってきます。あなたは、どちらのロボットの発話タイミングが、どれだけコミュニケーションとして“自然”だと思いますか? 下記のどの選択肢が一番よく当てはまりますか。1 つだけ選んで、数直線上に○をつけて下さい。ロボットとの会話を始めるタイミングは、ロボットから「A」(または「B」) という発話指示がされてから始めてください。また、2 回の会話でアンケートに答えられない場合は、繰り返し会話することが出来ます。何か質問はありますか? それでは、よろしくお願いします。

2.5 被験者

本研究では、高齢者と若年者の 2 つの年代を用いて印象評価実験を行った。

実験 1 の高齢者は、67 歳から 77 歳 (平均:71.7 歳) の 12 名 (男性 6 名、女性 6 名)、若年者は、19 歳から 26 歳 (平均:22.3 歳) の 12 名 (男性 6 名、女性 6 名) であった。

実験 2 の高齢者は、66 歳から 76 歳 (平均:71.1 歳) の 12 名 (男性 7 名、女性 5 名)、若年者は、20 歳から 27 歳 (平均:22.8 歳) の 12 名 (男性 6 名、女性 6 名) であった。

2 つの異なる年代を被験者とした理由は、ロボットが家庭というコミュニティで活躍していく上で、幅広い年代との対話が必要であり、それを実現させるために高齢者の心理特性を考慮していくことが重要であると考えたからである。

3. 結果

本実験では、Scheffe の一対比較法 (中屋の変法:7 段階) を用いた。「A」「B」2 つの条件のロボットの発話タイミング (交替潜時長) の間に差がないとする中間の段階 (「どちらも同じ」) を 0 とし、各評定段階に「A」条件を基準に-3 から+3 までの数値を与え (例: +3 = 「A が非常に」), 各被験者に対して形容詞ごとに集計し、嗜好度を求めた。

Fig. 3, 4, 6, 7 に、実験 1, 2 それぞれにおける形容詞ごとに各被験者のデータを集計した嗜好度とその平均嗜好度の印象評価の結果を示す。

そして、平均嗜好度の印象評価の結果から、主効果、主効果 × 個人 (個人差), および、組み合わせ効果の推定を行い、これらの推定値より分散分析を行った。実験 1 における分散分析の結果を Table 1 に、実験 2 における分散分析の結果を Table 5 にそれぞれ示す。

3.1 実験 1: 交替潜時長

3.1.1 若年者

実験 1 の印象評価の結果から、若年者は Fig. 3 に示すように、各被験者の評価は、平均嗜好度と同じような傾向を示しており、個人差に依存しないことが観察された。そして、各形容詞の評価は、「丁寧さ」を除く全ての形容詞で、交替潜時長が短いほど、評価が高くなる傾向が観察された。しかし、「丁寧さ」については、交替潜時長が変化しても、あまり評価が変わらない傾向がみられた。

ここで、「丁寧さ」が他の形容詞と異なることを示すために、平均嗜好度の結果から、Kendall の順位相関を用いて、各形容詞の関連性について明らかにした。この結果を、Table 2 に示す。Table 2 より、「丁寧さ」のみ、他の全ての形容詞との相関係数が「-0.33」と低く関連が弱いことが示された。「丁寧さ」以外の形容詞では、これらの形容詞同士の相関係数が全て「1.00」と高く関連が強いことが示された。このことから、「丁寧さ」は他の形容詞とは異なることが示された。

Table 1 に示した若年者の分散分析の結果において、主効果が有意であり、評価に個人差の影響が現れていない形容詞は、「親しみやすさ」「好き」「知的」「肯定的」の 4 つであっ

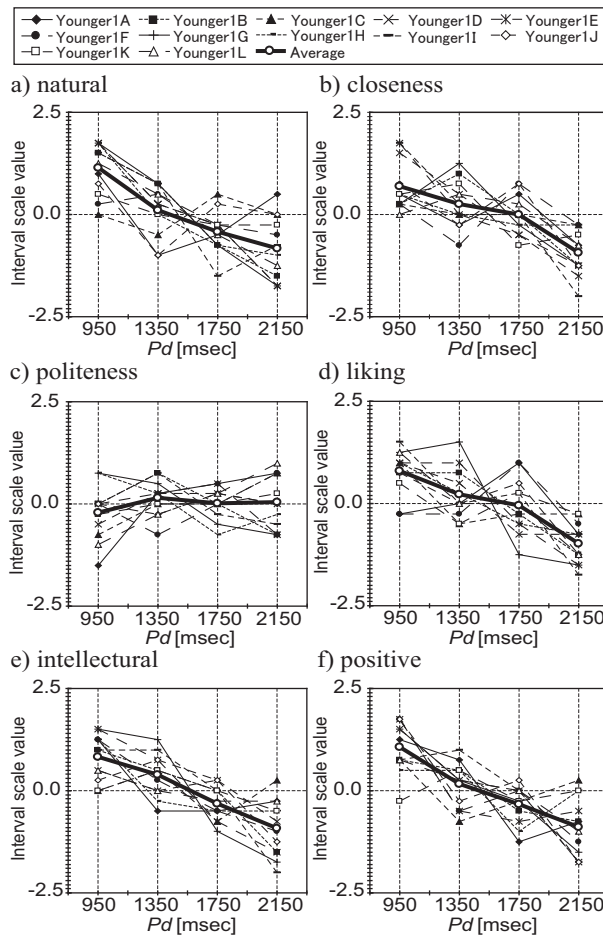


Fig. 3 Result of correlation between Pd and Interval scale value in the Ex 1 (Younger $N=12$)

た。また、「自然さ」は、主効果は有意であったが、各被験者の評価に個人差がみられた。「丁寧さ」については、主効果に有意性はみられなかった。

このように、ほとんどの形容詞において主効果が有意であり個人差の影響がみられないことから、平均嗜好度の結果から各刺激間の関連性を明らかにするために差の検定を行った。この結果を **Table 3** に示す。Table 3 より、個人差の影響がなく主効果が有意である形容詞では、ほとんどの刺激間で有意差がみられることから、交替潜時長によって、印象が変化することが示された。

以上の結果から、若年者は、個人差の影響が少なく、一様に交替潜時長の影響を受けている可能性が示された。そして、交替潜時長が対話に与える影響は、形容詞（対話の印象）によって、その評価が変化する傾向がみられた。特に、「丁寧さ」の印象については、他の印象と異なる変化をすることが示された。

3.1.2 高齢者

高齢者の場合は、Fig. 4 に示すように、交替潜時長によってそれぞれの形容詞で評価が変化しているが、若年者と比べ、各被験者の評価のばらつきが大きく、どのような傾向を示しているかが一概に示せない。

Table 1 Results of ANOVA in the Ex 1

	Main effects	Main effects × personal	Combination effects
(Elderly)			
natural	3.87 *	1.72	0.16
closeness	2.61	1.22	0.20
politeness	3.00 *	1.91 *	0.98
liking	6.93 ***	2.84 **	0.33
intellectual	2.96 *	2.84 **	0.51
positive	14.88 ***	1.84 *	1.80
(Younger)			
natural	30.56 ***	1.96 *	0.18
closeness	16.64 ***	1.25	0.77
politeness	1.25	1.85 *	0.89
liking	17.48 ***	1.24	0.55
intellectual	30.51 ***	1.75	2.86
positive	30.68 ***	1.76	0.42

***: $p < .001$, **: $p < .01$, *: $p < .05$

Table 2 Kendall's rank correlation in the Ex 1 (Younger $N=12$)

	1	2	3	4	5	6
(Younger)						
1. natural	—	1.00	-0.33	1.00	1.00	1.00
2. closeness	*	—	-0.33	1.00	1.00	1.00
3. politeness			—	-0.33	-0.33	-0.33
4. liking	*	*		—	1.00	1.00
5. intellectual	*	*		*	—	1.00
6. positive	*	*		*	*	—

Up : Kendall's τ / Low : Test of singificance (*: $p < .05$)

Table 1 に示した高齢者の分散分析の結果からも、主効果が有意であり、評価に個人差の影響が現れていない形容詞は「自然さ」のみであった。「丁寧さ」「好き」「知的」「肯定的」の形容詞は主効果が有意であるが個人差の影響が強く現れていた。このように、高齢者では、ほとんどの形容詞において、平均嗜好度の結果から交替潜時長による影響が現れているが、その評価は個人差の影響を強く受けていることが分かる。従って、対話の印象評価を被験者全員からの平均嗜好度で捉えるのではなく、被験者ごとに交替潜時長に対する印象評価の傾向を観察した。Fig. 5 にその一例を示す。

Fig. 5a のように、被験者 1C では、いずれの形容詞において、交替潜時長が変化してもその評価の変化が小さく、交替潜時長による対話への影響があまりないことが観察された。この結果は、交替潜時長が及ぼす影響が、若年者と比べ低下していることを示唆している。12 人中 4 人の被験者でこのような傾向が観察された。

しかし、Fig. 5b のように、被験者 1K では、交替潜時長による影響が若年者と比べて大きく、さらに、形容詞によってその評価が多様であることが観察された。ここで、被験者 1K の印象評価の結果から、Kendall の順位相関を用いて各形容詞の関係性を検証した。この結果を **Table 4** に示す。Table 4 より、「好き」「知的」「肯定的」の形容詞と、その他の形容

Table 3 Interval of samples and yardstick value in the Ex 1 (Younger N=12)

	(natural)			(closeness)		
	$\alpha_i - \alpha_j$	+Y	-Y	$\alpha_i - \alpha_j$	+Y	-Y
$\alpha_{950} - \alpha_{1350}$	1.04 *	1.64	0.45	0.44	1.08	-0.21
$\alpha_{950} - \alpha_{1750}$	1.56 *	2.16	0.97	0.69 *	1.33	0.04
$\alpha_{950} - \alpha_{2150}$	1.98 *	2.57	1.38	1.63 *	2.27	0.98
$\alpha_{1350} - \alpha_{1750}$	0.52	1.12	-0.07	0.25	0.90	-0.40
$\alpha_{1350} - \alpha_{2150}$	0.94 *	1.53	0.34	1.19 *	1.83	0.54
$\alpha_{1750} - \alpha_{2150}$	0.42	1.01	-0.18	0.94 *	1.58	0.29
	(politeness)			(liking)		
	$\alpha_i - \alpha_j$	+Y	-Y	$\alpha_i - \alpha_j$	+Y	-Y
$\alpha_{950} - \alpha_{1350}$	-0.35	0.16	-0.87	0.56	1.24	-0.12
$\alpha_{950} - \alpha_{1750}$	-0.23	0.28	-0.74	0.83 *	1.51	0.15
$\alpha_{950} - \alpha_{2150}$	-0.25	0.26	-0.76	1.77 *	2.45	1.09
$\alpha_{1350} - \alpha_{1750}$	0.13	0.64	-0.39	0.27	0.95	-0.41
$\alpha_{1350} - \alpha_{2150}$	0.10	0.62	-0.41	1.21 *	1.89	0.53
$\alpha_{1750} - \alpha_{2150}$	-0.02	0.49	-0.53	0.94 *	1.62	0.26
	(intellectual)			(positive)		
	$\alpha_i - \alpha_j$	+Y	-Y	$\alpha_i - \alpha_j$	+Y	-Y
$\alpha_{950} - \alpha_{1350}$	0.44	0.98	-0.10	0.90 *	1.47	0.32
$\alpha_{950} - \alpha_{1750}$	1.15 *	1.68	0.61	1.40 *	1.97	0.82
$\alpha_{950} - \alpha_{2150}$	1.75 *	2.29	1.21	1.96 *	2.54	1.38
$\alpha_{1350} - \alpha_{1750}$	0.71 *	1.25	0.17	0.50	1.08	-0.08
$\alpha_{1350} - \alpha_{2150}$	1.31 *	1.85	0.77	1.06 *	1.64	0.49
$\alpha_{1750} - \alpha_{2150}$	0.60 *	1.14	0.07	0.56	1.14	-0.01

*: $p < .05$

Table 4 Kendall's rank correlation (Elderly 1C, 1K)

	1	2	3	4	5	6
(Elderly 1C)						
1. natural	-	0.55	0.55	0.55	0.91	0.91
2. closeness	-	-	1.00	1.00	0.40	0.80
3. politeness	-	-	-	1.00	0.40	0.80
4. liking	-	-	-	-	0.40	0.80
5. intellectual	-	-	-	-	-	0.80
6. positive	-	-	-	-	-	-
(Elderly 1K)						
1. natural	-	1.00	-1.00	0.33	0.18	0.00
2. closeness	*	-	-1.00	0.33	0.18	0.00
3. politeness	*	*	-	-0.33	-0.33	0.00
4. liking	-	-	-	-	0.55	-0.67
5. intellectual	-	-	-	-	-	-0.91
6. positive	-	-	-	-	-	-

Up : Kendall's τ / Low : Test of singinificance (* : $p < .05$)

詞との相関係数は値が低く関連が弱い傾向がみられた。このように形容詞によってその評価が多様であることが観察された被験者は12人中6人であった。

また、その他の2人の被験者は、交替潜時長による対話への影響が観察されたが、全ての形容詞で一様に同じ傾向を示しており、1人は交替潜時長が短いほど評価が高くなり、もう1人は交替潜時長が長くなるほど評価が高くなっていた。

以上の結果から、高齢者は、交替潜時長の影響をあまり受けない被験者や、若年者と同様、あるいはそれ以上に形容詞(対話の印象)によってその評価が多様に変化する被験者がいることが示された。このことから、高齢者の方が若年者よりも交替潜時長による対話への影響が多様でより複雑なもので

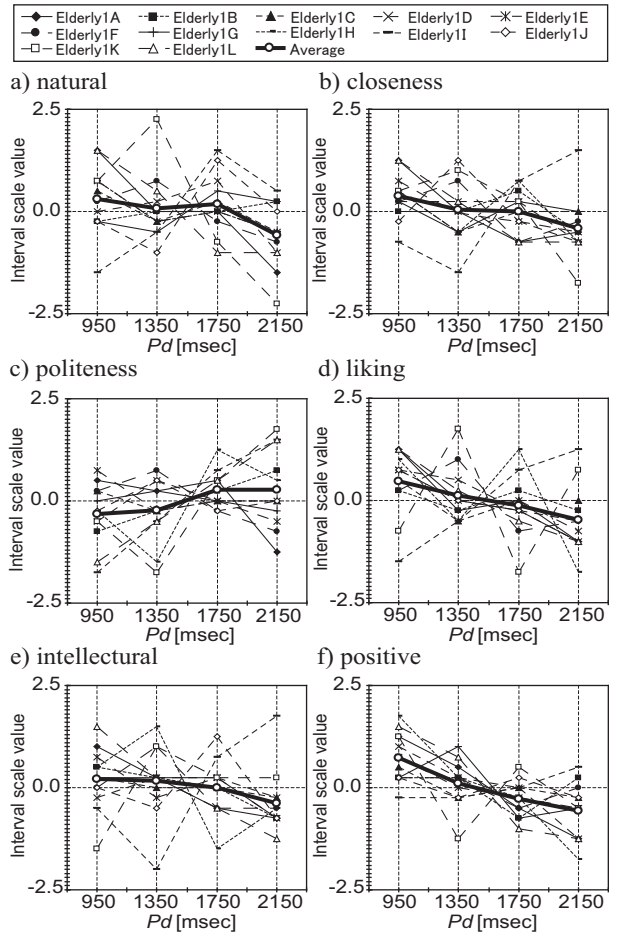


Fig. 4 Result of correlation between Pd and Interval scale value in the Ex 1 (Elderly N=12)

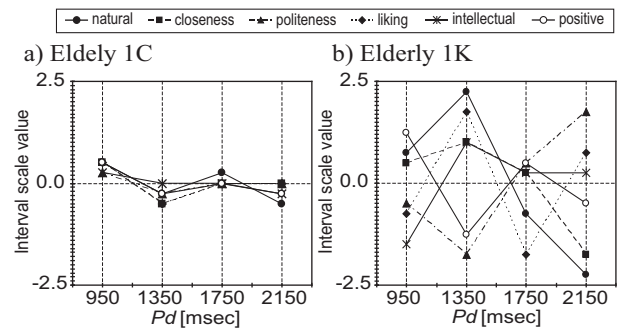


Fig. 5 Correlation between Pd and Interval scale value (a : Elderly 1C, b : Elderly 1K)

ある可能性が示唆された。

3.2 実験2：鎖き先行時間長

3.2.1 若年者

実験2の印象評価の結果から、若年者はFig. 6に示すように、各被験者の評価は、平均嗜好度と同じような傾向を示しており、個人差に依存しないことが観察された。そして、各形容詞の評価は、「丁寧さ」を除く全ての形容詞で、ロボットの鎖き開始タイミングが発話開始タイミングと一致する時に、評価が高くなる傾向が観察された。「丁寧さ」については、こ

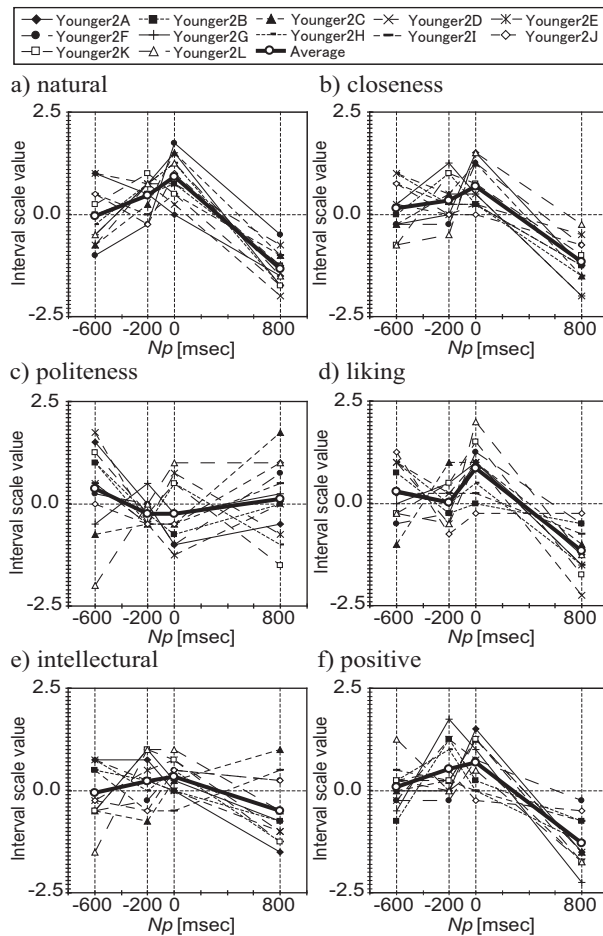


Fig. 6 Result of correlation between Pd and Interval scale value in the Ex 2 (Younger $N=12$)

これらの形容詞とは逆の傾向を示し、ロボットの頷き開始タイミングが発話開始タイミングと一致する付近での評価が最も低く、頷き開始が発話開始よりも大きく先行する、あるいは、遅延する時により丁寧な印象を感じる傾向がみられた。また、全体的に、頷き開始が発話開始よりも先行する時 (Np が負の値) と遅延する時 (Np が正の値) では、先行して行われる時の方が評価が高い傾向を示した。

ここで、「丁寧さ」が他の形容詞と異なることを示すために、平均嗜好度の結果から、Kendall の順位相関を用いて、各形容詞の関連性について明らかにした。この結果を、Table 6 に示す。Table 6 より、「丁寧さ」のみが、他の全ての形容詞との間に、負の相関係数を示し逆相関の傾向がみられた。このことから、「丁寧さ」は他の形容詞とは異なることが示された。

Table 5 に示した若年者の分散分析の結果において、主効果が有意であり評価に個人差の影響が現れていない形容詞は、「丁寧さ」を除く全ての形容詞で現れていた。「丁寧さ」については、主効果は有意であったが、各被験者の評価に個人差がみられた。

このように、ほとんどの形容詞において主効果が有意であ

Table 5 Results of ANOVA in the Ex 2

	Main effects	Main effects × personal	Combination effects
(Elderly)			
natural	2.57	1.46	0.36
closeness	2.14	1.28	1.22
politeness	0.93	1.05	0.43
liking	9.95 ***	2.68 **	0.72
intellectual	4.22 *	1.44	0.70
positive	0.97	0.51	1.56
(Younger)			
natural	49.94 ***	1.71	0.77
closeness	19.66 ***	1.06	0.36
politeness	4.36 *	3.49 ***	2.72
liking	29.37 ***	1.70	2.21
intellectual	4.33 *	1.49	0.87
positive	30.81 ***	1.46	0.54

***: $p < .001$, **: $p < .01$, *: $p < .05$

Table 6 Kendall's rank correlation in the Ex 2 (Younger $N=12$)

	1	2	3	4	5	6
(Younger)						
1. natural	—	1.00	-0.55	0.67	1.00	1.00
2. closeness	*	—	-0.55	0.67	1.00	1.00
3. politeness			—	-0.18	-0.55	-0.55
4. liking				—	0.67	0.67
5. intellectual	*	*			—	1.00
6. positive	*	*			*	—

Up : Kendall's τ / Low : Test of singificance (*: $p < .05$)

り個人差の影響がみられないことから、平均嗜好度の結果から各刺激間の関連性を明らかにするために差の検定を行った。その結果を Table 7 に示す。Table 7 より、個人差の影響がなく主効果が有意である形容詞は、ほとんどの刺激間で有意差がみられ、頷き先行時間長によって、印象が変化することが示された。

以上の結果から、若年者は、個人差の影響が少なく、一様に頷き先行時間長の影響を受けている可能性が示された。そして、頷き先行時間長が対話に与える影響は、形容詞 (対話の印象) によって、その評価が変化する傾向がみられた。特に、「丁寧さ」の印象については、他の印象と異なる変化を示ることが示された。

3.2.2 高齢者

高齢者の場合は、Fig. 7 に示すように、頷き先行時間長によってそれぞれの形容詞で評価が変化しているが、若年者と比べ、各被験者の評価のばらつきが大きく、どのような傾向を示しているかが一概に示せない。

Table 5 に示した高齢者の分散分析の結果からも、主効果が有意であり、評価に個人差の影響が現れていない形容詞は「親しみやすさ」のみであった。「好き」では主効果が有意であるが個人差の影響が現れており、その他の形容詞では主効果の有意性がみられなかった。このように、高齢者の結果は、

Table 7 Interval of samples and yardstick value in the Ex 2 (Younger N=12)

	(natural)			(closeness)		
	$\alpha_i - \alpha_j$	+Y	-Y	$\alpha_i - \alpha_j$	+Y	-Y
$\alpha_{-600} - \alpha_{-200}$	-0.50	0.03	-1.03	-0.19	0.51	-0.89
$\alpha_{-600} - \alpha_{\pm 0}$	-0.96 *	-0.43	-1.49	-0.54	0.16	-1.24
$\alpha_{-600} - \alpha_{+800}$	1.29 *	1.82	0.76	1.31 *	2.01	0.61
$\alpha_{-200} - \alpha_{\pm 0}$	-0.46	0.07	-0.99	-0.35	0.35	-1.06
$\alpha_{-200} - \alpha_{+800}$	1.79 *	2.32	1.26	1.50 *	2.20	0.80
$\alpha_{\pm 0} - \alpha_{+800}$	2.25 *	2.78	1.72	1.85 *	2.56	1.15
	(politeness)			(liking)		
	$\alpha_i - \alpha_j$	+Y	-Y	$\alpha_i - \alpha_j$	+Y	-Y
$\alpha_{-600} - \alpha_{-200}$	0.63 *	1.19	0.06	0.27	0.88	-0.33
$\alpha_{-600} - \alpha_{\pm 0}$	0.63 *	1.19	0.06	-0.56	0.04	-1.17
$\alpha_{-600} - \alpha_{+800}$	0.25	0.81	-0.31	1.46 *	2.06	0.85
$\alpha_{-200} - \alpha_{\pm 0}$	0.00	0.56	-0.56	-0.83 *	-0.23	-1.44
$\alpha_{-200} - \alpha_{+800}$	-0.38	0.19	-0.94	1.19 *	1.79	0.58
$\alpha_{\pm 0} - \alpha_{+800}$	-0.38	0.19	-0.94	2.02 *	2.63	1.42
	(intellectual)			(positive)		
	$\alpha_i - \alpha_j$	+Y	-Y	$\alpha_i - \alpha_j$	+Y	-Y
$\alpha_{-600} - \alpha_{-200}$	-0.29	0.40	-0.98	-0.44	0.18	-1.06
$\alpha_{-600} - \alpha_{\pm 0}$	-0.40	0.29	-1.09	-0.60	0.02	-1.23
$\alpha_{-600} - \alpha_{+800}$	0.44	1.13	-0.25	1.38 *	2.00	0.75
$\alpha_{-200} - \alpha_{\pm 0}$	-0.10	0.59	-0.79	-0.17	0.46	-0.79
$\alpha_{-200} - \alpha_{+800}$	0.73 *	1.42	0.04	1.81 *	2.43	1.19
$\alpha_{\pm 0} - \alpha_{+800}$	0.83 *	1.52	0.14	1.98 *	2.60	1.36

*: $p < .05$

Table 8 Kendall's rank correlation (Elderly 2D, 2F)

	1	2	3	4	5	6
(Elderly 2D)						
1. natural	-	0.00	-0.55	-0.18	0.80	0.18
2. closeness		-	0.55	0.18	-0.40	-0.18
3. politeness			-	0.00	-0.55	-0.67
4. liking				-	-0.55	0.33
5. intellectual					-	0.18
6. positive						-
(Elderly 2F)						
1. natural	-	0.00	0.00	0.18	-0.91	0.91
2. closeness		-	-1.00	0.55	-0.18	-0.18
3. politeness		*	-	0.55	-0.18	-0.18
4. liking				-	-0.40	0.20
5. intellectual					-	-0.80
6. positive						-

Up : Kendall's τ / Low : Test of singinificance (* : $p < .05$)

各被験者の評価のばらつきが大きいため、ほとんどの形容詞において、平均嗜好度による傾き先行時間長の影響を評価することが出来なかった。従って、対話の印象評価を被験者全員の平均嗜好度で捉えるのではなく、被験者ごとに傾きに対する印象評価の傾向を観察した。Fig. 8 にその一例を示す。

Fig. 8a のように、被験者 2D では、いずれの形容詞において傾き先行時間長が変化してもその評価が小さく、傾き先行時間長による対話への影響があまりないことが観察された。この結果は、傾き先行時間長が及ぼす影響が、若年者と比べて低下していることを示している。12 人中 5 人の被験者でこのような傾向が観察された。

しかし、Fig. 8b に示したように、被験者 2F では、交替潜

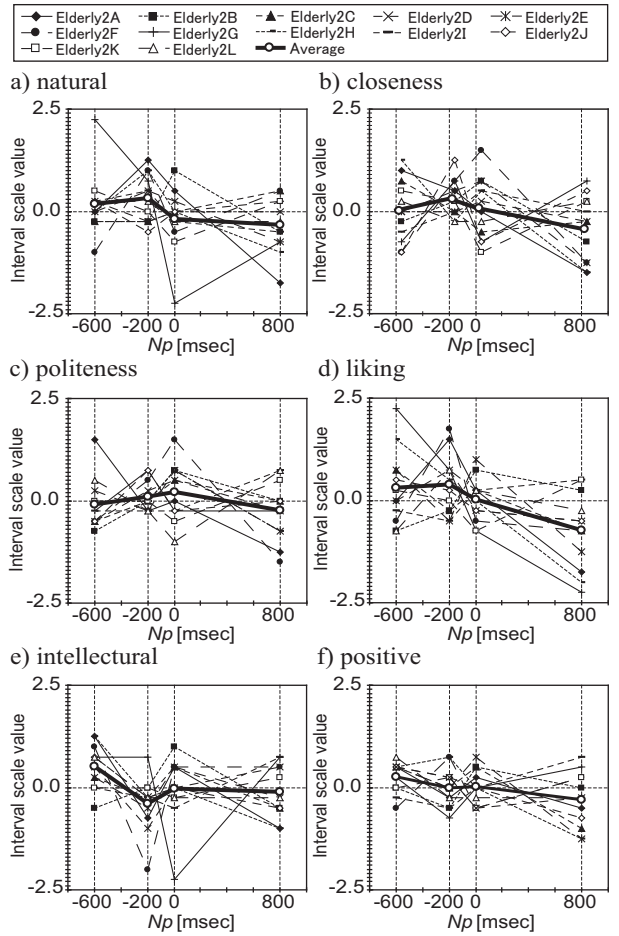


Fig. 7 Result of correlation between Pd and Interval scale value in the Ex 2 (Elderly N=12)

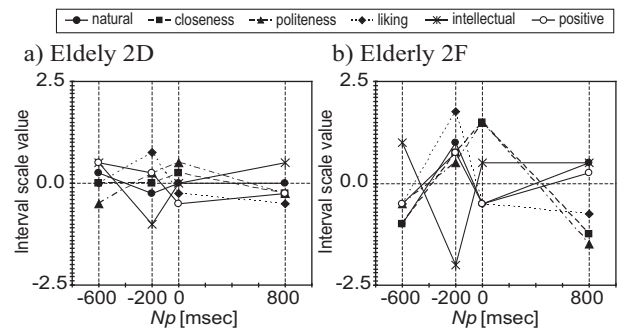


Fig. 8 Correlation between Pd and Interval scale value (a : Elderly 2D, b : Elderly 2F)

時長による影響が若年者と比べて大きく、さらに、形容詞によってその評価が多様であることが観察された。ここで、被験者 2F の印象評価の結果から、Kendall の順位相関を用いて各形容詞の関係性を検証した。この結果を Table 8 に示す。Table 8 より、相関係数にばらつきが多く、各形容詞の関連性が多様であることが示された。このように形容詞によってその評価が多様であることが観察された被験者は 12 人中 6 人であった。

また、その他の 1 人の被験者は、傾き先行時間長による対

話への影響が観察されたが、全ての形容詞で一様に同じ傾向を示しており、領き開始タイミングが発話開始タイミングと一致する時に評価が高くなっていた。

以上の結果から、高齢者は、領き先行時間長の影響をあまり受けない被験者や、若年者と同様、あるいはそれ以上に形容詞(対話の印象)によって、その評価が多様に変化する被験者がいることが示された。このことから、高齢者の方が若年者よりも交替潜時長による対話への影響が多様でより複雑なものである可能性が示唆された。

4. 考 察

4.1 若年者の結果について

本研究では、人間とロボットの指示・応答対話において、交替潜時長および領き先行時間長を変化させた際の人間側からの印象を調査した。

その結果、若年者においては、交替潜時長と領き先行時間長、共に個人差の影響があまりなく、タイミングの影響が一樣である可能性が示唆された。そして、交替潜時長および領き先行時間長による対話への影響は、形容詞によって、タイミングの印象評価やその傾向が多様に変化することが示された。特に、「丁寧さ」においては、他の形容詞とは評価や傾向が異なることが示され、他の形容詞とは異なったタイミング機構をもつ可能性が示唆される。

以上の結果から、人間とロボットの対話において、ロボットがコミュニケーションにおけるタイミングをダイナミックに変化させることで、人間が受ける印象が変化することが示された。さらに、その印象が項目によって多様な変化をすることが示された。このことから、人間が、ロボットからのタイミングを含めたメッセージをどのように解釈するかによって、ロボットの発話や身体動作のタイミングの評価が異なることが考えられ、対話の解釈がタイミングに影響を及ぼす可能性が示唆できる。

また、筆者ら^{11), 12)}は、人間側の指示発話長に応じて、ロボット側の交替潜時長や領き先行時間長を自動的に制御するタイミング機構を実装した条件と、タイミングを固定した条件の2つを用い、比較する実験を行った。その結果、タイミング機構を実装した条件において、対話における発話と身振りのタイミングが言語情報の解釈に影響を与えていることが示唆された。

これら2つの結果から、対話におけるタイミングと、対話における人間の解釈との間には、タイミングが解釈に影響を与えたり、逆に、解釈がタイミングに影響を与えたりと、相互に適応している関係があることが示唆される。

このことは、ロボットの発話や身振りのタイミングを制御する際に、ロボットを人間に対してどのような印象を持たせたいかということだけでなく、人間が対話をどう解釈するかといった人間の認知的な側面についても考慮し、タイミング制御を構築することが重要であることを示唆する。

4.2 高齢者の結果について

高齢者の結果は、交替潜時長と領き先行時間長、共に個人に依存して、タイミングの影響が多様に変化することが示唆された。そこで、タイミングの影響を、個人ごとに観察すると、タイミングによる影響をあまり受けない高齢者もいたが、若年者と同様、あるいはそれ以上に形容詞によってタイミングの評価が変化する高齢者もいた。つまり、高齢者は、人間によっても、対話の解釈に応じてタイミングの評価が異なっていることが観察された。

これらのことから、高齢者は対話におけるタイミング機構を多様に使い分けしている可能性が示唆できる。さらに、高齢者の中には、若年者よりも、対話における発話と身振りのタイミングを重要視している高齢者がいる可能性も考えられる。

これまでの高齢者に関する先行研究の中で、対話については、高齢者は対話スタイルを変えないことや、対話にぎこちなさを伴うことなどが明らかになってきている^{20), 21)}。また、能力についても、筋力や瞬発力、視覚や聴覚などの身体的面や、記憶や知能、言語運用能力などの精神・心理面などの様々な面から研究されている^{22)~24)}が、それらの多くは、加齢にしたがって能力は低下するという結果を示すものである^{16), 25)}。しかし、これらの結果から、単純に、高齢者が対話におけるタイミングを軽視すると判断するのは、高齢者の潜在的な能力を見誤ることにつながりかねない。また、高齢者の能力は、全ての能力が加齢に伴って低下するというわけではなく、経験の積み重ねにより獲得される能力、例えば、日常生活における知識、語彙数などは加齢によって向上することも示されている^{16), 25)}。このことから、対話におけるタイミングの能力についても加齢によって低下するのではなく、加齢によって向上するからこそ、タイミング機構を多様に使い分けできるようになる可能性が考えられる。これらを確認するためには、被験者の対話におけるタイミングの能力の調査および対話におけるタイミングに対する意識や期待の調査を行い、それを年代間、さらには能力や意識度などのカテゴリーごとで比較することによって、これらの影響を評価することが可能になると考えられる。

また、筆者ら^{11), 12)}は、これまで、人間側の指示発話長に応じて、ロボット側の交替潜時長や領き先行時間長を、自動的に制御するタイミング機構を実装し、タイミング固定の場合と比較することで、高齢者と若年者への印象を評価した。その結果、若年者では動的タイミング制御と固定の間に有意な差が観察されなかったが、高齢者においては顕著な有効性が示されており、このことから、高齢者は若年者よりも対話における発話と身振りのタイミングを重要視している可能性が示唆できる。

4.3 今後の展開

本研究から得られた知見は、人とのインタラクションを目的として開発されている Social Robot の設計においても、重要であると考えられる。Social Robotics の分野では、人間のコミュニティで社会性をもち、人間と共生・共存を目指し

て開発されている^{29), 30)}。近年では、少子高齢化社会の問題、特に高齢者のコミュニケーション支援などで、視線・身体動作・表情などの非言語的機能をロボットに応用した取り組みが進められている^{31)~33)}。このような取り組みにおいても、本研究で得られた知見を基に、高齢者の対話におけるタイミング機構をロボットなどのインタラクションに応用することによって、より効果的な高齢者のコミュニケーション支援が期待できると考える。このような社会的発展の基盤技術として、今後さらなる研究を進めなければならない。

5. ま と め

本研究では、人間とロボットの指示・応答対話において、ロボットの発話開始タイミング(交替潜時長)および傾き開始タイミング(傾き先行時間長)が、人間とロボットのコミュニケーションにおいてどのような影響を及ぼすかを明らかにした。特に、交替潜時長および傾き先行時間長を変化させ、人間側からの印象を6種類の形容詞を用い、それをScheffeの対比較を使用して評価する実験を行い、タイミングが対話の印象に対してどのような影響を与えるのかを分析した。

その結果、若年者において、交替潜時長と傾き先行時間長、共に個人差の影響があまりなく、タイミングの影響が一様である可能性が示唆された。そして、交替潜時長および傾き先行時間長による対話への影響は、形容詞によって、タイミングの印象評価やその傾向が多様な変化をすることが示された。高齢者では、個人間によってもタイミングによる影響が異なり、さらに、対話の意味解釈に応じてタイミングの評価が異なっていることが観察された。

これらの結果は、本研究によってはじめて明らかにされたことである。このことから、対話におけるタイミングと、対話における人間の意味解釈との間には、タイミングが意味解釈に影響を与えたり、逆に、意味解釈がタイミングに影響を与えたりと、両者の関係には、相互に適応している可能性を示唆した。さらに、高齢者は対話におけるタイミング機構を多様に使い分けていることや、高齢者の中には、若年者よりも、対話における発話と身振りのタイミングを重要視している高齢者がいる可能性も示唆した。

謝辞 修士課程の間、研究を進めるにあたり、格別のご指導と助言を下さいました、東京工業大学 三宅美博准教授に深く感謝申し上げます。大学時代、夜間の学校に通っていた筆者は、他の学生と比べると基礎知識に欠け、さらに、研究をどのように取り組むか自体もわかりませんでした。そんな筆者にとって、先生のお話は、全てが興味深く、そして学ぶことが大変多かったです。筆者の人生において、これとない貴重な2年間でした。この場をお借りしまして、お礼を申し上げます。

本研究は、NEDO「戦略的先端ロボット要素技術開発プロジェクト」として実施されたものです。このプロジェクトに参加させて頂きました三宅先生、さらには、プログラム設計にあたって、専門的助言を頂きました三菱重工業(株)主席研

究員 見持圭一様、同主任 日浦亮太様、同主任 宅原雅人様、同社員 宮内均様には、この場をお借りして、お礼申し上げます。

さらには、未熟な筆者に数々の指摘・提案・助言・協力をして下さいました武藤ゆみ子さん、山本知仁さん、高野弘二さん、そして一緒に研究を進めてくれた沖津健吾君、滑健作君、実験に協力して下さいました吉田祥平君、横山正典君、澤邊賢司君、石澤一紀君、野島満春君、青木清志君、西辰則君に深く感謝致します。また、実験に協力して下さいました被験者の方々、研究活動を進める上でたくさんの助言を頂いた三宅研究室の皆様は感謝の意を表します。

最後に、私を支え続けてくれた父、母、弟、多田洋子さん、そして親しい友人達に心より感謝します。

参 考 文 献

- 1) M. Kanoh, S. Iwata, S. Kato and H. Itoh : Emotive facial expressions of sensitivity communication robot: Ifbot, Kansei Engineering International, **5-3**, 35/42 (2005)
- 2) M. Imai, T. Ono and H. Ishiguro : Robovie: Communication technologies for a social robot, Artif. Life Robotics, **6**, 73/77 (2003)
- 3) M. Shiomi, T. Kanda, H. Ishiguro and N. Hagita : Interactive humanoid robots for a science museum, IEEE Intelligent Systems(Special Issues on Interactive with Autonomy), **22-2**, 25/32 (2007)
- 4) 石黒, 宮下, 神田 : 知の科学 コミュニケーションロボット -人と関わるロボットを開発するための技術-, オーム社 (2005)
- 5) T. Hashimoto, S. Hiramatsu and H. Kobayashi : development of face robot for emotional communication between human and robot, IEEE International Conference on Mechatronics and Automation(ICMA), 25/30 (2006)
- 6) C. Breazeal : Designing sociable robots, MIT Press (2002)
- 7) 渡辺富夫 : 身体的コミュニケーション技術とその応用, システム制御情報学会誌, **49-11**, 431/436 (2005)
- 8) T. Hashimoto, S. Hiramatsu, T. Tuji and H. Kobayashi : Realization and evaluation of realistic nod with receptionist robot SAYA, IEEE International Conference on Robot and Human Interactive Communication(IEEE RO-MAN 2007), 326/331 (2007)
- 9) H. Kozima, C. Nakagawa and H. Yano : Attention coupling as a prerequisite for social interaction, IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication(IEEE RO-MAN 2003) (2003)
- 10) 大坊郁夫 : しぐさのコミュニケーション -人は親しみはどう伝えあうか-, セレクション心理学 14, サイエンス社 (1998)
- 11) 高杉, 山本, 武藤, 阿部, 三宅 : コミュニケーションロボットとの対話を用いた発話と身振りのタイミング制御, 第9回 SICE システムインテグレーション部門講演会講演論文集 (SI2008), 107/108 (2008)
- 12) 高杉, 山本, 高野, 滑, 武藤, 三宅 : コミュニケーションロボットにおける発話と身振りのタイミング制御, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2008 講演会予稿集, 871/878 (2008)
- 13) 武藤, 高杉, 山本, 三宅 : ヒューマノイドロボットにおける発話と身振りのタイミング制御, ヒューマンエージェンティアインタラクション 2008 予稿集, 1A-2 (2008)
- 14) T. Yamamoto, Y. Kobayashi, Y. Muto, K. Takano, Y. Miyake, : Hierarchical Timing Structure of Utterance in Human Dialogue, IEEE Int. Conf. on Systems, Man and Cybernetics(SMC2008), 810/813 (2008)
- 15) 塩谷, 塘中, 見持, 浅野, 大西, 日浦 : 人と暮らす世界初の本格的コミュニケーションロボット wakamaru, 三菱重工技報, **43-1**, 44/45 (2006)

- 16) D.C. Park, N. Schwarz : Cognitive aging: A primer, Psychology Pr. (1999)
- 17) T.R. Hibbard, J.N. Migliaccio, S. Goldstone and W.T. Lhamon : Temporal information processing by young and senior adults and patients with senile dementia, Journal of Gerontology, **30**-3, 326/330 (1975)
- 18) 中屋澄子 : Sheffe の一対比較法の一変法, 第 11 回官能検査大会報文集, 1/12 (1970)
- 19) 佐藤信 : 統計的官能検査法, 263/270, 日科技連出版社 (1998)
- 20) S. Kemper, D. Vandeputte, K. Rice, H. Cheung and J. Gubarchuk : Speech adjustments to aging during a referential communication task, Journal of Language and Social Psychology, **14**-1-2, 40/59 (1995)
- 21) S.E. Bortfeld, S.D. Leon, J.E. Bloom, M.F. Schober and S.E. Brennan : Disfluency rates in conversation: Effects of age, relationship, topics, role and gender, Language and Speech, **44**-2, 123/147 (2001)
- 22) 辰巳格 : 成人における言語機能の加齢変化, 電子情報通信技術研究報告, TL, 思考と言語, **104**-316, 19/24 (2004)
- 23) 辰巳格 : 言語能力の加齢変化と脳, 人工知能学会誌, **21**-4, 490/498 (2006)
- 24) G.L. Maddox : エイジング大辞典 [新装版], 早稲田大学出版部 (1997)
- 25) J.L. Horn and R.B. Cattell : Refinement and test of the theory of fluid and crystallized intelligence, Journal of Educational Psychology, **57**-5, 253/270 (1966)
- 26) 武藤, 高野, 大良, 小林, 山本, 三宅 : 音声対話インターフェースにおける発話タイミング制御とその評価, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2007 講演会予稿集, 639/642 (2007)
- 27) 山本, 渡辺 : ロボットとのあいさつインタラクションにおける動作に対する発声遅延の効果, ヒューマンインタフェース学会論文誌, **6**-3, 343/350 (2004)
- 28) 山本, 渡辺 : 身体的エージェントとの情報提示インタラクションにおける動作に対する発声タイミング制御の効果, ヒューマンインタフェース学会論文誌, **10**-2, 265/273 (2008)
- 29) C. Breazeal : Toward sciabable robots, Robotics and Autonomous Systems, **42**, 167/175 (2003)
- 30) K. Dautenhahn, B. Ogden and T. Quick : From Embodied to Socially Embedded Agents -Implications for Interaction-Aware Robots, Cognitive Systems Research, **3**-3, 397/428 (2002)
- 31) 伊吹, 木村, 武田 : コミュニケーションロボットを用いた高齢者生活支援システム (工学技術と福祉関連産業 <小特集> 高齢社会のための機械テクノロジー -社会への寄与と産業としての期待-), 日本機械学会誌, **108**-1038, 392/395 (2005)
- 32) 後藤, 加納, 加藤 : 感性ロボットのための感情領域を用いた表情生成, 人工知能学会論文誌, **21**, 55/62 (2006)
- 33) 山本, 水谷 : 高齢者コミュニケーション支援システムの開発, 日本ロボット学会誌, **18**-2, 192/194 (2000)