

MR環境での舞台芸術に向けた 協調パントマイム動作のぶれの比較

安藤敏彦[†]

著者らはアバターやロボットなどの人工物と俳優が協調して行う舞台芸術のあり方を検討している。本研究では、そのような人工物の動作について知見を得るために、パントマイム動作を行う者が実際に人と対面して行う場合と、映像内の人物を相手に行う場合とで、動作のぶれについて比較を行った。ARモデルの分析では、映像の場合その人固有の遅延傾向が現れることが分かった。

Comparison of fluctuating pantomime motions for performing arts in MR environment

TOSHIHIKO ANDO[†]

The author and colleagues have been examining what the performing arts cooperatively played by actors and artifacts, such as avatars and robots, should be. Fluctuating motions of people performing pantomime are compared between on the front of a real person and on the front of the person on the screen to obtain the knowledge of such artifacts' behavior in this paper. The result of analysis using the AR model shows that each person has a tendency to have his own delay in the case of the screen.

1. はじめに

厚生労働省が2010年に介護・福祉ロボット開発・普及支援プロジェクト検討会を開催するなど、医療や介護の現場にロボットが入ってくることがほぼ現実となっている[1]。これらのロボットの導入は主に介護者の身体的負担を軽減させることが目的であるが、被介護者の精神的な好作用を目的としたセラピーロボットも既に多数が医療福祉施設に導入されており、今後、精神的支援を目的としてこれらのロボットの導入が本格化することが予想される。実際、産業技術総合研究所で開発された「パロ」[2]は東日本大震災の被災地の高齢者福祉介護施設や仮設住宅内サポートセンターにも導入され、震災で負担を強いられた高齢者や子供の心のケアに役立っている報告がなされている[3]。

セラピーロボットも含めたコミュニケーションロボットの研究は多くの観点から行われている。たとえば、小島らは幼児の精神発達の観点から幼児とロボットとのコミュニケーションの観察を行っており[4]、また、ロボットを人の存在感に限りなく近づける観点から石黒らの「ジェミノイド」[5]や産業技術総合研究所の「HRP-4C 未夢」[6]など、人の外見や動作に似せたロボットが開発されている。その一方、岡田らはそのような積極的に人に似せるような働きかけとは異なるアプローチ、言わば「引き算のデザイン」の概念を用いて、ロボットの形状や機能を極端に削ぎ落とし、ロボットが人に働きかけるよりもむしろ人の方が積極的にロボットに関わろうとする状況の発生について検討している[7]。さらに、石黒、平田らはロボットと人のコミュニケ

ーションを探る観点からロボット演劇プロジェクトを実施し、演劇作品を制作している[8]。

著者らは今後ロボットや仮想空間上のアバターを含む人工物が社会的な存在として人と関わる社会を想定し、人と人工物が共存するコミュニケーションのあり方をデザインするため、実験として複合現実感(mixed reality, 以降MR)環境内で人工物と俳優とが共存する演劇の制作を行うプロジェクト(Artifact Theater Project, 以降ATP)を進めている。特に、共同パントマイムのような協調性の高い舞台芸術の実現を目指している。このプロジェクトで使用する人工物としては、「引き算のデザイン」の考え方を踏襲し、簡単な機能の自律ロボットやアバターを用い、主に非言語コミュニケーションと若干の音声コミュニケーションを予定している。現在、自律ロボットを開発しているが、人工物の俳優の行動への応答パターンを段階的に検討しており、現時点では1対1における人・人工物間距離にもとづく応答のタイミングの生成手法を検討している。その準備として、これまで物を使う動作について、実際に物を使う場合と使わない場合との間の動作を被験者に行ってもらい、両者の違いを分析してきた。これは、MR環境で人とアバターが共同して仮想物体を持つ動作を実現するため、実際に物を使うかどうかで人の動作にどのような影響が調べるためである。

本稿では、この実験の際に観察された被験者の動作が、物体の有無によって本質的に変化を受けることを報告し、MR環境で協調パントマイムを実現するための問題点について考察する。2節ではATPの概要について述べ、3節と4節で実験の概要とその結果について述べる。5節ではMR環境での協調パントマイムの実現について考察し、6節で本稿をまとめる。

[†] 仙台高等専門学校
Sendai National College of Technology

2. ATP の概要

ATP の目的は、ロボットなど自律的に動く人工物や仮想空間上のアバタなどと人が互いに社会的な存在としてコミュニケーションを行うために、どのような形のコミュニケーションが可能かを検討するため、コミュニケーションの意識化・言語化に秀でている俳優の協力を得て人工物が俳優と対等な立場で登場する演劇を制作し、人・人工物間のコミュニケーションをデザインするための知見を得ることである。ATP は以下のような計画で進められる：

- ① ロボット・アバタ等の人工物の開発、
- ② 人工物を相手とする俳優の即興練習の観察と分析、
- ③ 演劇の制作、
- ④ 俳優・人工物間のコミュニケーションの分析、
- ⑤ 観客評価の分析。

このプロジェクトでは、人と人工物との間では主に非言語コミュニケーションを利用し、若干音声言語によるコミュニケーションを用いる。俳優と関わるロボットは人型、動物型、自然物型、抽象型の4種類を予定している。そのうち現在開発しているロボットは、人型と抽象型（球形）である（図1）。人型ロボットには人の動きを模した動きをさせるが、球形ロボットには「引き算のデザイン」を踏襲し、人に反応して揺れるだけの限定された機能を与える。また、ロボットの他にアバタについても開発を行っている。

これらの人工物の俳優の行動への応答パターンは以下の順に検討する：

- ① 1対1における応答のタイミング、
- ② 1対1における人工物の応答の方向・姿勢、
- ③ 集団における相対位置による応答の修正。

これらのタイミングや姿勢等については、人同士の場合の応答動作を参考に生成手法を検討している。

即興練習では俳優に特に教示を与えず、人工物に対する俳優の行動や反応について観察を行う。この即興練習の結果をもとに上演台本を製作し、演劇公演を行う。演劇公演には実際に観客を入れ、観客にアンケート調査を行うとともに、上演中の俳優・人工物のやりとりと観客の反応の相互関係を観察し、観客の受ける舞台上の関係の妥当性を分析する。あわせて、人・人工物コミュニケーションのデザイ



図1 ATPで開発中のロボット

Figure 1 Robots under construction in ATP.

ンのため、Labanotation [9]などの舞踊譜をもとに、コミュニケーション記法についても開発を行う予定である。

3. 協調パントマイムの観察

2節で述べた通り、本研究ではロボットやアバタが人の行動に対して行う応答動作を生成するため、人同士で行う応答動作を参考にタイミングを決定することを検討している。特に、本稿では実空間にいる人物とスクリーン上に提示されるアバタとが相互作用するMR環境を想定し、アバタの応答動作を対象とする。ここでは2人で行う協調パントマイムを、人と人工物との間で実現させることを目指しているため、協調パントマイムを行っている人同士の動作の相互作用を調べ、それを応答動作の生成に応用する。そこで、協調パントマイムの一つであるキャッチボールのパントマイムを4種類の異なる条件の下で被験者に行ってもらい、動作の違いを比較した。

【実験】

- (1) [対面キャッチボール] 2m程度の距離を置いた2名の被験者に、実際のボールを使ったキャッチボール練習の後、以下の4種類の条件でキャッチボールを行ってもらい、ボールの1往復を「ターン」と呼ぶことにし、約15ターン(約90秒)の一連の動作のモーションデータを採取する。

- A) 実際のボール小（直径30cm）
- B) 実際のボール大（直径50cm）
- C) 架空のボール小
- D) 架空のボール大

- (2) [仮想キャッチボール] 2m×2mのスクリーン上にキャッチボール動作をする人物が映し出され、被験者1名がスクリーンから4m離れて正対する。被験者には以下のA)、B)の2条件でスクリーンに表示される映像の人物のキャッチボール動作に合わせて捕球動作を行ってもらい、約15回(約90秒)の一連の動作のモーションデータを採取する。



図2 協調パントマイムの実験の様子

Figure 2 The snapshot of this experiment on cooperative pantomime.

- A) 実際のボールを使った映像 (ボール小)
- B) 架空のボール (ボールなし) を使った映像 (ボール小)

被験者は、実験(1)では 20 代の男性 2 名 1 組、実験(2)では 20 代男性 2 名である。実験に先立って行われたキャッチボールの練習では、まずボールの大きさや重さを確認させ、その上で捕球の際にできる限り音を立てないよう教示している。これは、ボールの存在を実感させ、捕球の際に相手が投げるボールの速度をできるだけ正確に把握するよう意識づけするためである。ボールの実感を保持できるよう、実験(1)と実験(2)を続けて行った。また、被験者には全身 20 ヶ所にマーカを装着し、Vicon 612 (Vicon Motion Systems 社)を使用し、サンプリングレート 120Hz でモーションキャプチャを行った。実験の様子を図 2 に示す。

4. 実験結果の分析

本稿では、このキャッチボール動作の特性を最もよく表すと思われる右指先の床高の時間変化を用いて分析を行った。

4.1 投球-捕球間時間の AR モデルによる分析

(1) 分析方法

人の動作に対する人工物の応答動作を生成することが目的であるので、AR モデルを用いて分析を行った。元のモーションデータのサンプリングレートは 120Hz であるが、実験(2)でビデオ映像から動作を抽出する都合上、移動平均を行ってサンプリングレートを 10Hz に統一し、平均値と分散で正規化した。

図 3 に実際のボール (ボール小) を使ってキャッチボールを行ったときの典型的な右指先の上下変動 (z 座標) を示す。被験者 1(RHND1)の投球後、被験者 2(RHND2)が両腕を差し上げ捕球しようとしている。投球から捕球までの時間は 0.3~0.4sec である。

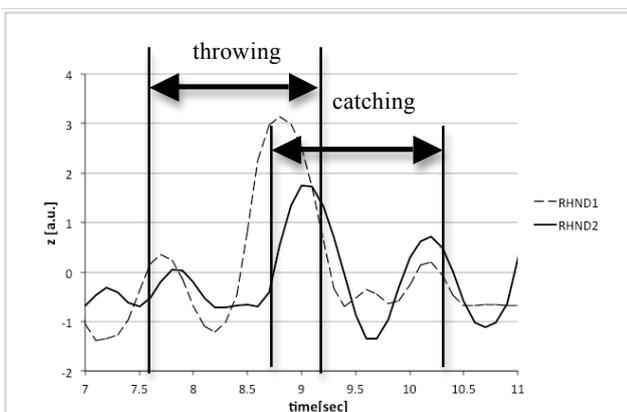


図 3 キャッチボールでの典型的な右指先の上下移動
 Figure 3 The typical vertical movement of right hands of two people playing catch.

各ターンで時系列を分割し、投球側(1)と捕球側(2)の上下変動の時系列 $y_n = (y_{1,n}, y_{2,n})^T$ に対し、式(1)に示す AR モデルを適用し平均をとった。

$$y_n = \sum_{k=1}^m A_k y_{n-k} + v_n \quad (1)$$

ここで、 m は AR モデルの次数であり、最小の AIC によって決定される。また、

$$A_k = \begin{pmatrix} a_{11,k} & a_{12,k} \\ a_{21,k} & a_{22,k} \end{pmatrix} \quad (2)$$

は AR 係数、 v_n は正規分布関数である。特に、本稿では

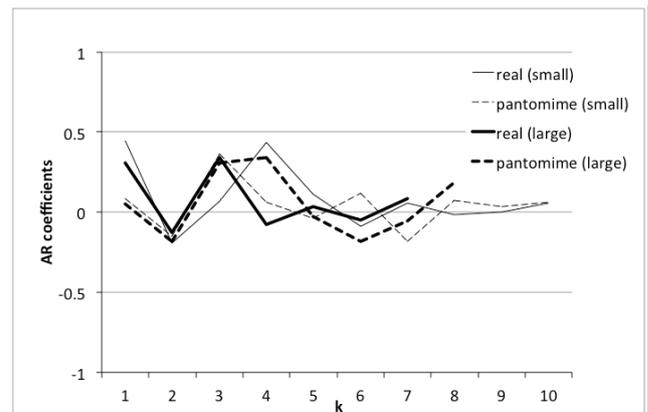


図 4 対面キャッチボールでの AR 係数 $a_{21,k}$ の比較

Figure 4 Comparison of $a_{21,k}$ s in the face-to-face playing catch.

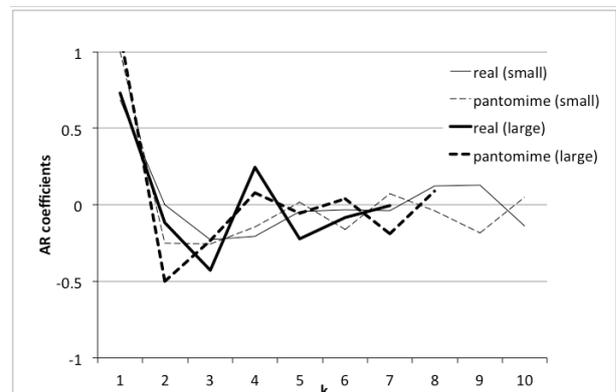


図 5 対面キャッチボールでの AR 係数 $a_{22,k}$ の比較

Figure 5 Comparison of $a_{22,k}$ s in the face-to-face playing catch.

投球側(1)の動作に対する捕球側(2)の動作を決定するための係数 $a_{21,k}$, $a_{22,k}$ に注目する.

(2) 実験(1) 対面キャッチボール

A)~D)の4条件について、対面キャッチボールに対するAR係数 $a_{21,k}$ および $a_{22,k}$ を比較した結果を図4および図5に示す. 一般に、 $a_{21,k}$ は捕球側への投球側の影響を示し、ある k 値でピークを示すことは、 $0.1 \cdot k[\text{sec}]$ だけ前の投球側の動作が捕球側の動作に大きく影響を与えていることを表す. 図4を見ると、実際のボールを使う場合(実線)では、 $k=1$ と $k=3$ ないし 4 でピークを示している. これは、直前 ($k=1$) および $0.3\sim 0.4\text{sec}$ 前の動作の影響が大きいことを示す. 後者は投球から捕球までの時間が $0.3\sim 0.4\text{sec}$ であることに対応する.

ボールの有無

ボールの有無が顕著に現れるのは $k=1$ であり、 $a_{21,1}$ の値は実際のボールを使う場(図4 実線)は $+0.3\sim +0.5$ であるのに対し、パントマイムの場合(図4 破線)はほぼ 0 である. これは、パントマイムの捕球動作が直前の相手の動作に影響を受けていないものと考えられる.

ボールの大小

ボールの大きさの違いによる影響は $a_{21,k}$ ではあまり見受けられないが、 $a_{22,k}$ についてはその影響が見てとれる. 図5を見ると、ボールの有無にかかわらず大きさが同じならば同じ分布傾向を示している. ボール大(図5 太線)では $k=2$ ないし 3 と $k=4$ にピークが現れているが、ボール小(図5 細線)では $k=1$ を除き、大きなピークは見られない. このことから、ある程度の大きさを持ったボールを支えながら行う一連の動作がある様式をもって行われていることが予想される.

(3) 実験(2) 仮想キャッチボール

ボールの有無

スクリーン上のボールの有無について、仮想キャッチボールに対するAR係数 $a_{21,k}$ および $a_{22,k}$ を比較した結果を図6および図7に示す. ボールの有無による違いは $a_{21,k}$ の分布に現れている. どちらの場合も負の値を持つ2つのピークが現れているが、ピーク間の間隔はボールが映っていない方が広がっており、このことはボールがある場合に比べ、投球から捕球までの時間に遅延が生じていることを示している. 一方、 $a_{22,k}$ では大きな違いは見られず、ど

ちらの場合でも同じ様式で動作を行っていると考えられる.

対面キャッチボールと仮想キャッチボールとの違い

実験(1)の対面キャッチボールと実験(2)の仮想キャッチボールについて、AR係数の分布を比較すると、 $a_{21,1}$ と $a_{22,2}$ に違いが現れている. すなわち、 $a_{21,k}$ の分布を比較すると、 $k=1$ で大きく異なり、対面キャッチボールでは $a_{21,1}$ が正であるのに対し(図4)、仮想キャッチボールでは負となっている(図6). また、 $a_{22,k}$ の分布を比較すると $k=2$ で大きく異なり、対面キャッチボールでは $a_{22,2}$ が負であるのに対し、仮想キャッチボールではほぼ 0 である.

捕球動作の再現

AR係数をもとに、投球動作のモーションデータから捕

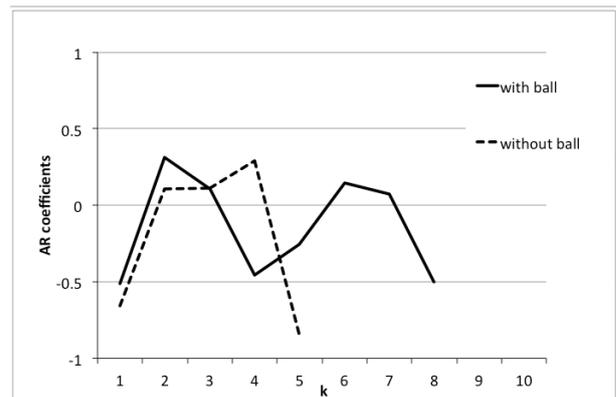


図6 仮想キャッチボールでのAR係数 $a_{21,k}$ の比較

Figure 6 Comparison of $a_{21,k}$ s in the virtual playing catch.

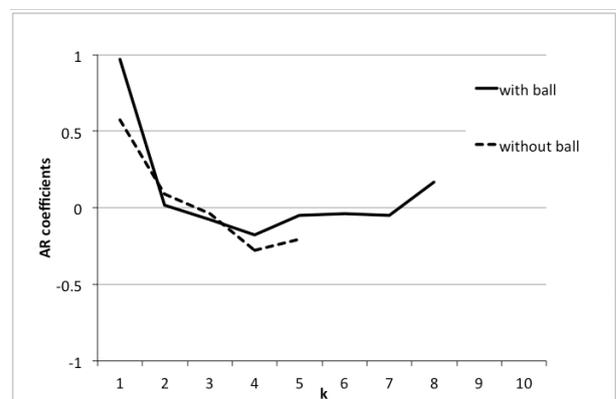


図7 仮想キャッチボールでのAR係数 $a_{22,k}$ の比較

Figure 7 Comparison of $a_{22,k}$ s in the virtual playing catch.

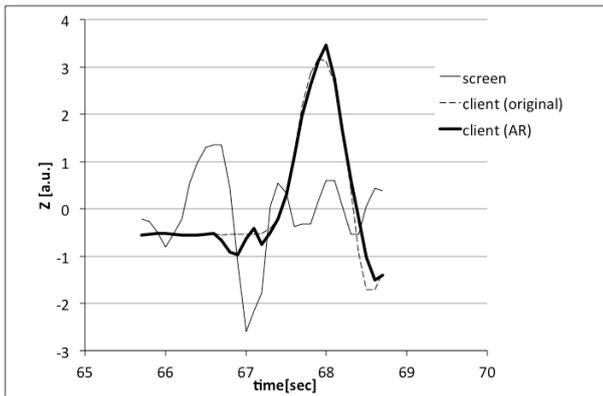


図 8 AR 係数による捕球動作の再現

Figure 8 The catching motion reproduced using the obtained AR coefficients.

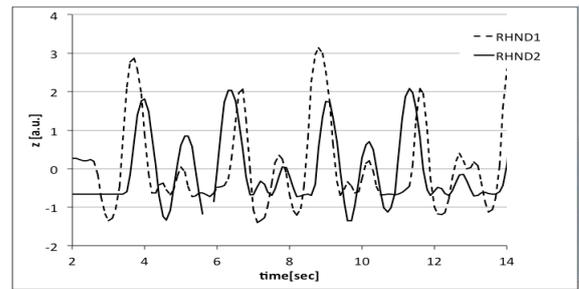
球動作が再現できるかどうか確認した。その一例として、図 8 に仮想キャッチボール（実際のボール）の実験から得た AR 係数を用いて、スクリーン上の人物の動作（細実線）をもとに被験者の捕球動作（太実線）を計算した結果を示す。この例では比較的良く元の動作（細破線）を再現できている。

4.2 時間経過による動作パターンの変化

4.1 に述べたように、対面キャッチボールと仮想キャッチボールとでは AR モデルでの特徴が異なっている。そこで、あらためて動作パターンの時間経過による変化を調べ、両者の違いを比較してみる。

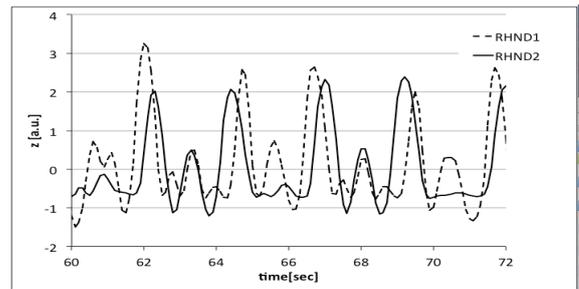
初めに実験(1)の対面キャッチボールの例を示す。実際のボール（ボール小）を使って行った試技の右指先の上下移動の時間経過を図 9 に示す。対面キャッチボールでは試技の開始直後（図 9 (a)）も後半においても動作はほとんど変わらず、捕球時に大きく沈んでボールを胸に戻すパターンを示している。これはボール大の場合も同様であった。また、架空のボールを使ったパントマイムにおいても、開始直後（図 10(a)）と後半（図 10(b)）とで動作が大きく変わることはなかった。

それに対し、実験(2)で仮想キャッチボールを行ったときの動作はそれとは異なる変化をしていた。実際のボールを使った映像の試技の例を図 11 に示す。仮想キャッチボールでは、試技の開始直後では対面キャッチボールの場合と同様に、捕球時に大きく沈んでボールを胸に戻す動作を行っているが（図 11(a)）、後半からは捕球時のボールの扱いが曖昧になるなど動作パターンがぶれ始め（図 11(b)）、試技の終盤では別のパターンに変わっている（図 11(c)）。このパターンは架空のボール（ボールなし）の場合には開始直後から現れており（図 12(a)）、時間経過に従ってパターンがぶれながらおおよそ同じパターンを維持している（図 12(b), (c)）。このパターンはキャッチボールを行う際の被験者固有の動作パターンであると考えられ、実験前に学習



(a) 開始直後

(a) Just after the start.

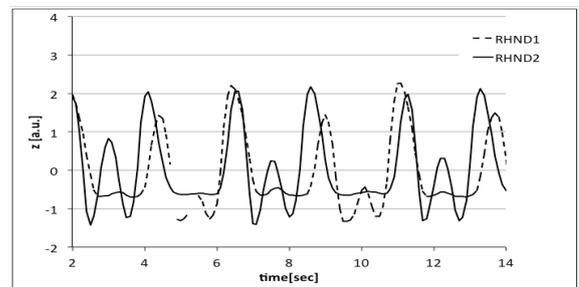


(b) 後半

(a) In the latter half of the attempt.

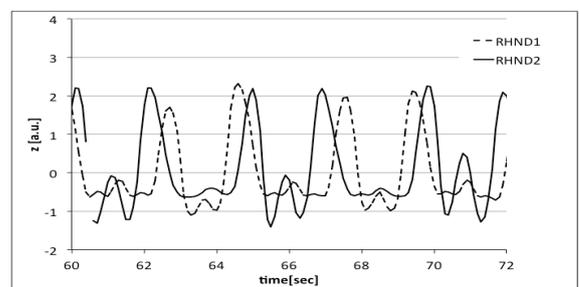
図 9 実際のボールを用いた対面キャッチボールにおける右指先動作の時間経過

Figure 9 The transition of the right hand motions in the face-to-face paying catch using a real ball.



(a) 開始直後

(a) Just after the start.



(b) 後半

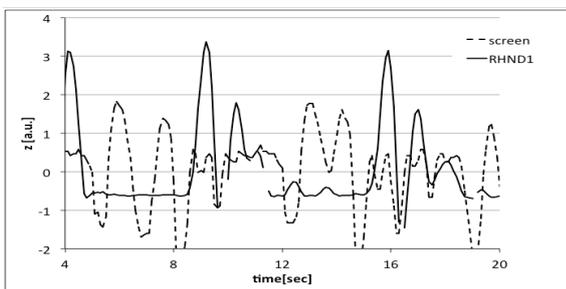
(a) In the latter half of the attempt.

図 10 対面パントマイムにおける右指先動作の時間経過

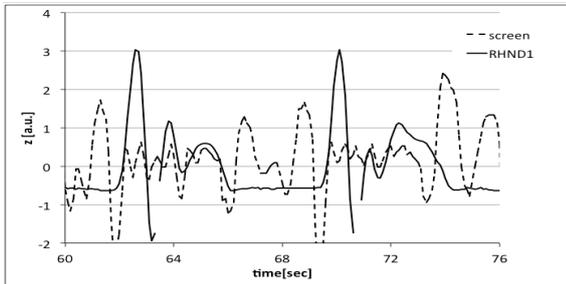
Figure 10 The transition of the right hand motions in the face-to-face pantomime.

した捕球動作のパターンとの間で動作が揺らいでいることが見受けられる。

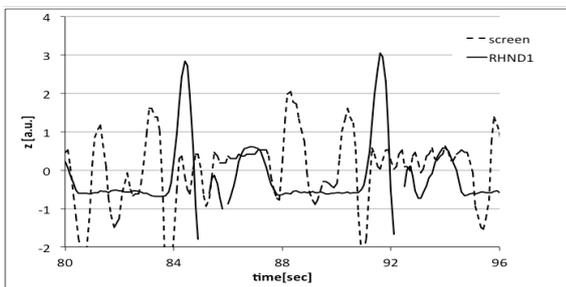
実際のボールを使う場合には、ボールの実感が動作に大きく影響し、このことは既に小早川らに指摘されており[10]、著者らが行った別の対人キャッチボールの実験でもボールの有無の影響が現れている[11]。それでも、協調行動を行うという点で、実空間では他の人物の存在があればある程度実現でき、協調パントマイムが可能である。ところが今回の実験で、映像の刺激のみでは、たとえその映像が協調的な動作のものであっても、実空間にいる人は必ずしもその映像の動作に合わせることはできず、その人固有の動作に陥ってしまい、協調パントマイムを実現させるには不十分であることが示唆された。



(a) 開始直後
 (a) Just after the start.



(b) 後半
 (a) In the latter half of the attempt.



(c) 終盤
 (c) In the last stage off the attempt.

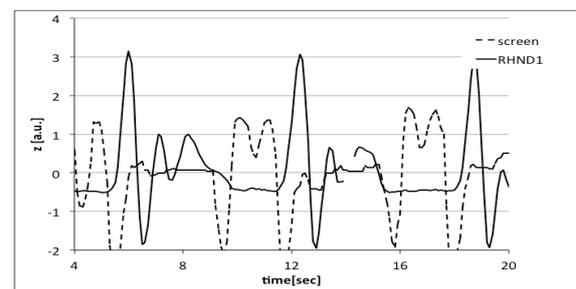
図 11 仮想キャッチボールにおける右指先動作の時間経過 (実際のボール)

Figure 11 The transition of the right hand motions in the virtual playing catch with a real ball.

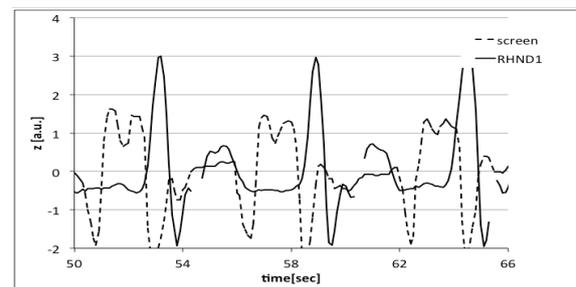
5. MR 環境での協調パントマイムの実現のための考察

4節で映像のみの提示が協調パントマイムを実現するには十分でないことを述べた。これを踏まえて、本節ではMR環境で協調パントマイムを実現させるための方針について考察する。

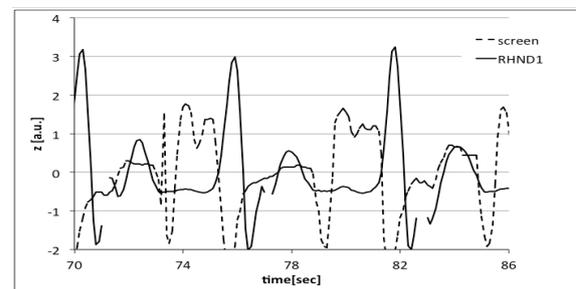
一般に、協調行動を行うためには自分が他者へ行う動作に対する他者からの応答が必要で、その応答に応じて自分の動作を修正し、この一連のフィードバックが連続と続く。そうすることで、その行動に関わる者の中には身体の各部で相互作用が生じる。著者らは別の協調行動についての実験で身体の各部で強い相互相関が生じることを見ている。



(a) 開始直後
 (a) Just after the start.



(b) 後半
 (a) In the latter half of the attempt.



(c) 終盤
 (c) In the last stage off the attempt.

図 12 仮想キャッチボールにおける右指先動作の時間経過 (架空のボール)

Figure 12 The transition of the right hand motions in the virtual playing catch with a virtual ball.

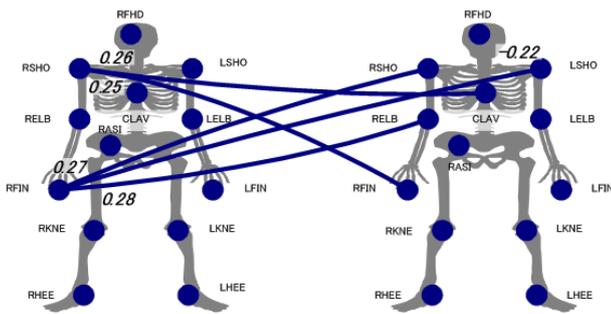


図 13 協調パントマイムにおける空間的相互作用

Figure 13 The inter-personal spatial interaction in a cooperative pantomime.

この実験では「棒つなぎゲーム」という即興練習の様子を分析している。このゲームは2名の者が1本の棒を互いの右指先で支え合いながら、棒を落とさないように様々な動作を続けるものである。図13に2名の俳優がこのゲームを行ったときの身体各部の間の空間的相互相関を示す。この例では、指先だけでなく、それを支える部位の他、棒を支えるための運動イメージに関わる部位の間にも強い相関が見られた[12]。

「棒つなぎゲーム」のような協調行動を継続させるには、一方の独断的な動作は許さず、常に他方への働きかけが必要になる。それは、他方への積極的な働きかけというよりは[7]でゴミ箱ロボットが子供たちに示すような穏やかな誘導のアフォーダンスの生成であるように思われる。そして、双方が小さな調整を繰り返しながら、動作を選択するシステムの修正を行っているのではないだろうか。

今回の仮想キャッチボールは瞬発的で交代のはっきりした行動であるが、この場合でも、上述のような相手に捕球を促すアフォーダンスの相互の生成が必要であると考えられる。今回の実験では被験者から映像へのフィードバックがなく、今後、スクリーン上のアバタに実空間の人物と協調的な動きをさせるために、少なくとも人の動きがアバタに反映される仕組みが必要である。その上で、アバタの動きを決定する際に次の2点を考慮する必要がある：

- ① 人からのフィードバックにおける遅延の効果、
 - ② 作り込みの動作と人からのフィードバックとの比重。
- この2点を調整することで、アバタの動作として、人物そのままの動作から作り込みの動作まで幅広く提示させることができると考えられる。今後、どのような条件の下で協調行動が実現できるかを検証する予定である。

現時点ではネットワークを介した遠隔地間での協調行動は考慮していない。MR環境で協調行動を実現させるのにネットワークによる遅延の影響は大きく、一般に大きな遅延は協調行動を妨げる。今後、遅延がある場合の動作の協調についても検討する予定である。

6. おわりに

本研究では、アバタと人の中で協調パントマイムを実現することを目的として、人が行うキャッチボール動作を対象に、ボールの有無および、対面で行う場合と映像に向かう場合について、動作の比較を行った。その結果、映像に向かう場合では学習した協調動作と各人固有のパターンの中で動作パターンが揺らぐことが見られた。その原因として人から映像刺激へのフィードバックの無さが考えらる。

今後、人からアバタへのフィードバックについて、その程度と遅延について検討し、協調パントマイムを実現させるための適切な条件を探る予定である。

謝辞 今回の実験の際に宮城県産業技術総合センターの運動解析システムを利用させていただいた。ここに感謝する。また、本研究は科学研究費補助金（基盤研究(C)・課題番号23611953）の支援を受けている。

参考文献

- 1) 厚生労働省介護・福祉ロボット開発・普及支援プロジェクト検討会
<http://www.mhlw.go.jp/stf/shingi/2r9852000000tfhq.html>
- 2) 柴田崇徳: メンタルコミットロボット・パロとロボット・セラピーの展開, 日本ロボット学会誌, Vol.24, No.3, pp.319-322 (2006).
- 3) 東日本大震災の被災地での事例紹介「パロ」,
<http://www.daiwahouse.co.jp/robot/paro/case/case01.html>
- 4) 小嶋秀樹, 仲川こころ: 療育・保育の現場でのヒューマン=ロボット=インタラクション, 情報処理学会研究報告, 2006-ICS-146, pp.25-30 (2006).
- 5) Ishiguro, H. and Nishio S.: Building artificial humans to understand humans, J. Artificial Organs, Vol. 10, pp.133-142 (2007).
- 6) 金子健二, 金広文男, 森澤光晴, 三浦郁奈子, 中岡慎一郎, 原田研介, 梶田秀司: サイバネティックヒューマンHRP-4Cの開発: プロジェクト概要からシステム設計まで, 日本ロボット学会誌, Vol.28, No.7, pp.853-864 (2010).
- 7) Yamaji, Y., Miyake, T., Yoshiike, Y., De Silva, P. R. and Okada, M.: STB: Human-Dependent Sociable Trash Box, Proc. HRI2010, pp.197-198 (2010).
- 8) 大阪大学コミュニケーションセンター (編): ロボット演劇, 大阪大学出版会 (2010).
- 9) Dance Notation Bureau,
<http://www.dancenotation.org/Inbasics/frame0.html>
- 10) 小早川睦貴, 小田桐匡, 大東祥孝: 物品使用パントマイムと実使用における行為対象の視覚的分析 -アイマークレコーダーを用いた比較-, 高次脳機能研究, vol.27, no.4, pp.290-297, 2007.
- 11) 安藤敏彦: 共同パントマイムにおけるジェスチャーの認識および生成, 電子情報通信学会 HCG シンポジウム, B1-2 (2009).
- 12) 安藤敏彦, 鈴木渉, 松本啓介: シアターゲームにおける非言語コミュニケーション, 信学技報, HCS2007-1, pp.1-6 (2007).