

## 人間が人工物の意図的な動作を解釈する過程の分析

寺田和憲 社本高史 伊藤昭†

本報告では、人間が知的人工物とどのように物理的相互作用を行うか、また明示的なプロトコルが存在しない状態でどのように人工物の意図的な動作を解釈するかについて調べた。我々は、被験者が自発的に動く人工物と相互作用できる環境を用意し、その中で人間がどのように振舞うか観察し、分析を行った。実験結果によって、人工物の動作から意図を推測することができるかどうかは被験者の基本的なスタンスに依存していることが分かった。

### Analysis of How Humans Comprehend Intentional Behavior of Artifact

KAZUNORI TERADA TAKASHI SHAMOTO AKIRA ITO†

In this study, we investigated how humans physically interact with a smart artifact and how humans become aware of its intention without explicit communication protocols. We provided a situation in which the subject is allowed to spontaneously interact with a movable artifact controlled by experimenter. The result shows that whether the subject can comprehend the artifact's intention or not depends on a subject's basic stance to the artifact.

#### 1. はじめに

近年知的人工物やスマート環境などが注目されている。埋め込みコンピュータやアクチュエータによって明示的なインタフェースが消失し、機械と物理的な相互作用を経験する機会が増えることが予想される<sup>1)</sup>。しかし、知的人工物の登場によって次のような新たな問題が生じることが考えられる。すなわち (1) どのように物理的相互作用を設計するべきか? (2) 人間がどのように人工物の振舞を理解するか? という問題である。

本研究では、人間がどのように人工物と物理的な相互作用を行うか、明示的なコミュニケーション手段がない状態で人間がどのようにして人工物の意図を理解するかについて調べる。我々は、被験者に可動な人工物と自由に相互作用を行うことができる環境を提供し、被験者の行動を調べる。実験においては、実験者は遠隔操作する人工物を用いて被験者に意図を伝達することを目的とする。実験者は意図伝達のためにディスプレイやスピーカなどの明示的な意図伝達手段を用いることができず、人工物の動作そのものによって意図を伝達しなければならない。一方、被験者は実験室で自由に行動することを求められるだけである。

#### 2. 機能発現と身体的相互作用

我々はこれまでに、人工物と人間が協調して機能を発現させる過程として能動的アフォーダンスを提案している<sup>2)</sup>。アフォーダンスとは環境と身体の関係によって規定される機能のことである。また、人間が主体的に意志決定を行っているときとされる場面においても、「環境側が人間の振舞を誘導している」のように比較的環境に主導権があるかのように解釈するものである。アフォーダンスは人間が環境に働きかけて初めて顕在化する。例えば、椅子の「座る」という機能を顕在化させるためには、適当な高さの座面と適当な角度の背もたれという形状だけでなく、人間の座るという行為が必要である。我々は、この機能顕在化の過程をさらに促進するための枠組として能動的アフォーダンスを提案している。先に述べたようにアフォーダンスは人間が働きかけない限り顕在化しない。しかし、我々はアフォーダンスを顕在化すべき機会はそれ以外にも存在すると考える。人間の働きかけにはそれに先行して意図が存在する。しかし、意図そのものが曖昧であったり、潜在的であった場合にはアフォーダンスが提示されていても働きかけが行われず、アフォーダンスは顕在化されない。しかし、人工物が動くことによって人間を覚醒させ、潜在的意図を顕在化することが可能になる。このように、人工物が人間に働きかけること

† 岐阜大学  
Gifu University

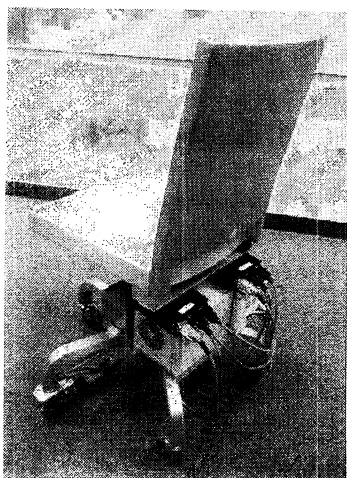


図 1 自律移動椅子 (AMC).  
Fig. 1 Autonomous mobile chair (AMC).

によって協調的に機能を顕在化させる過程を能動的アフォーダンスと呼ぶ。

能動的アフォーダンスの概念は Fogg<sup>3)</sup> の挙げる説得を実現させるための 7 つのツール (Persuasive technology tools) の中で提案 (Suggestion) に類似している。Fogg は人間に対してなんらかの提案をするときにはタイミングが重要だと述べている。人間は、自分の現在の価値観が意味を成さないと分かったときに説得を受け入れやすく、また説得を受け入れるかどうかは心的状態や社会的状態に依存する。このような状況を的確に捉えて提案をすることによって効果的に説得が実現されると述べている。

本研究では、人間が実際に意図を持った人工物と相互作用する過程を観察することによって、どのように能動的アフォーダンスが知覚され、受け入れられるかについて調べる。

### 3. 実験

本実験では、実験者が被験者を特定の場所に座らせるように駆動輪を有する椅子を遠隔操作し、その動きを見た被験者がどのように反応するかについて調べる。

#### 3.1 実験装置

我々は市販のアルミニウム製の椅子を改造し、自律移動椅子 (Autonomous Mobile Chair, 以下 AMC) を製作した (図 1 参照)。本実験ではこの椅子は実験者によって制御されるので自律的に動くわけではないが、この椅子は自律移動することを目標に作られているので自律移動椅子と呼ぶ。AMC は、二つの駆動輪を持つ。使用したモータは maxon A-max 32、電源は

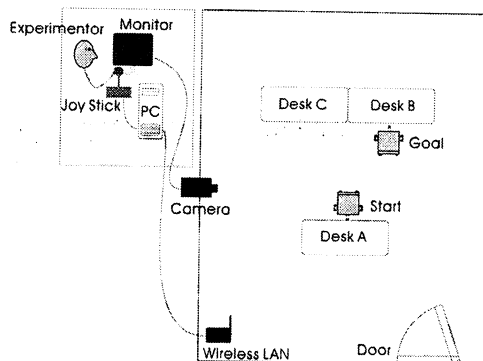


図 2 実験環境

Fig. 2 Experimental environment.

24V である。駆動輪はコンピュータの RS-232C ポートに接続されたモータドライバ (maxon mip 20) によって左右独立に制御される。

#### 3.2 実験手順

被験者は実験者によって、入室後感じた通りに行動するように指示される。それ以外の事項、例えば実験の目的や部屋の中に何があるかについては一切知らされない。図 2 は実験に使用された環境の概略図である。実験者は別の部屋からカメラを通じて実験室の様子を監視することができる。カメラは実験室の天井に取り付けられている。実験者は AMC をジョイスティックによって操縦する。ジョイスティックは USB によって PC に接続されている。この PC と AMC は無線 LAN によって接続しているため、遠隔操作が可能になる。ジョイスティックによって生成可能な動作は前進、後退、右回転、左回転の簡単な行動要素である。回転半径は真地回転から直進に近い大きいものまでジョイスティックのアナログ値によって制御される。

実験者に課せられた目標は、机 B の前で被験者を AMC の上に座らせることである。操作の習熟による AMC の動作のばらつきを無くすために全実験を通じて同一の実験者が AMC を操作する。実験は被験者が目的地で椅子に座った場合、もしくは入室から 4 分経過した時点で終了する。

#### 3.3 着座を誘導するための戦略

被験者を特定の場所で AMC に座らせるために我々は下記の戦略を考えた。

- 同一の行動系列を出力する。
- 被験者が椅子に対して人間のアナロジーを適用することを利用する。

最初の戦略は動作系列の繰り返しによって、被験者がその動作系列に何か意味があるのではないかと思います。

表 1 AMC の動作カテゴリーと動作要素  
Table 1 Action categories and units for the AMC.

Category	No.	Action
Induction	ac1	Simulate a motion which is needed to be sit down
	ac2	Point the subject and the goal position alternately
	ac3	Move to the goal point
Communication	ac4	Rotate according to the subject's position
	ac5	Move toward the subject
	ac6	Face into the subject
	ac7	Pass the turn to the subject
Meaningless	ac8	Move away from the subject
	ac9	Just move (Not categorized into the other actions)
	ac10	Just stay in the same place

せるためのものである。我々は、動作が繰り返されるとそこになんらかの意味が含まれていると感じる。二番目の戦略は、椅子の前面をや動物における正面と解釈したり、後退を逃げると感じたりすることを利用するものである。

実験者が生成する動作系列は次の 3 つのカテゴリーに分類される (表 1 参照)。以下の説明の中では椅子の背もたれの前面すなわち、人間が椅子に座ったときに背中が当たる面を前、その裏を後と考える。被験者の方を「向く」とあるのは、前面を被験者の方に向ける動作である。

**誘導動作** このカテゴリーの動作は被験者を AMC の上に座るように誘導するためのものである。ac1 は通常人間が椅子に座るときに必要とされる椅子の動きを模倣するものである。これはつぎの動作を順次実行することで実現される。

- (1) 目的地点すなわち Desk B の前に移動する。
- (2) 1m 程度後退する。
- (3) 被験者の方を向く。
- (4) 机の方を向く。
- (5) 机に向かって移動し、元の位置に戻る。

ac2 は目的地点と被験者を交互に指し示す。実際には回転して椅子の前面を向ける。ac3 は目的地点に移動する。これは ac1 の最初の動作と同じである。

**コミュニケーション動作** このカテゴリーの動作は被験者が AMC とコミュニケーションを行っているように信じさせるための動作である。ac4 から ac6 は AMC が被験者に興味を持っていると思わせるための動作である。ac7 は通常の会話におけるター

ンテイクングのように相手にターンを渡す動作である。これは、実際には AMC が自身の動作を終了した後に、被験者の方を向いて止まる動作である。この動作は被験者の返答を促すものである。

**無意味** AMC を動かす上で発生する雑多な動作であり、その動作自体に実験者は特別な意味を含めるものではない。

実験者は誘導動作を被験者が入室した直後に行わない。被験者の典型的な入室直後の動作は次のようなものである。(1) ドアを閉める。(2) 部屋の中を見渡す。(3) 机 A の側を通って部屋の中央へ歩いて移動する。実験者は被験者が (3) の動作を行っている途中に最初の動作を行う。最初の動作をあいさつ動作と呼ぶ。この動作は次の簡単な 2 つの動作から成る。(1) 机から後退する。(2) 被験者の方を向く。この動作によって、ほとんどの被験者は動く椅子の存在に気づく。この動作の後、実験者は被験者に対して上述の 3 つカテゴリーの動作を生成する。実験者は主観によって被験者の行動を解釈し、適切な動作を選択する。実験者は、被験者が目的地以外で着座しようとした場合に、被験者から椅子を遠ざけるように動かし、回避行動を取る。

### 3.4 被 験 者

21 歳から 41 歳までの男性 14 人、女性 7 人が本実験の被験者となった。どの被験者もこれまでに AMC に接した経験がなく、今回の実験が AMC を見る初めての機会である。

### 3.5 観 測

被験者の行動はハードディスクレコーダに記録される。映像は実験室の天井に取り付けられたカメラから送られたもので、実験者が見ている映像と同じものである。

## 4. 実験結果

### 4.1 実験結果の概要

16 人の被験者が目的地で AMC に着座した一方で 5 人の被験者は 4 分経過しても着座しなかった。着座したグループが着座するまでに要した時間は平均で 1 分 29 秒である。

被験者の行動は大きく次の 3 つに分けることができる。すなわち (1) 着座のための行動、(2) 観察行動、(3) 消極的な行動である。着座のための行動は完全に着座する行動だけでなく座ろうとする行動も含む。この行動の特徴は、被験者の背面が椅子の方を向いた状態で顔だけ椅子の方を向いていることである。観察行動は椅子の動きを見ることによって椅子の振舞を理解しようとする行動である。このとき被験者は椅子をさ

まざまな角度から見るために場所を移動する。消極的な行動では被験者はほとんど動かないで椅子の動きを眺めるだけである。この3つの行動傾向によって我々は被験者を3つのグループに分類する。

**信念グループ** このグループの被験者は最初から最後まで座る意志があった。このグループに属する被験者は8人である。

**観察グループ** このグループの被験者は、最初何をすべきか分からなかったが、AMCの動作を見ているうちにAMCの要求に気づき、最終的に椅子に座った。このグループに属する被験者は8人である。

**消極グループ** このグループの被験者は消極的で、AMCの意図に気づかず何をすべきか最後までわからなかった。このグループに属する被験者は5人である。

下記ではそれぞれのグループの特徴について詳述する。

#### 4.2 信念グループ

このグループの被験者の特徴は、座ろうという強い意志を最後まで持続したことである。着座までの平均時間は37秒であった。被験者は入室後、椅子のあいさつ動作によって椅子に気づくが、その直後から椅子に注目する。そして、椅子のあいさつ動作(初期位置から後退し、被験者の正対する)を座ることを誘発する動作と理解し、座ろうとする。しかし、椅子が着座拒否行動をとるため、被験者はその場所で椅子に座るべきでないことに気づく。しかし、このグループの被験者は椅子に座ろうという意志を継続する。拒否行動の後、AMCは机Bの前まで移動し、誘発動作を行い被験者をAMCに座らせようとし、被験者は結果的に椅子に座る。しかし、この着座は誘導されて座ったと言うよりむしろ、椅子の動作を無視して座ろうとする意志を突き通して動き回った結果、椅子の動作と被験者の動作が偶然一致した形で着座に至ったという印象が強い。最終的にこのグループの全ての被験者は61秒以内に着座した。

あいさつ行動を誘発動作として解釈することからわかるように、このグループは椅子の要求を受け入れやすい。着座した理由をインタビューによって聞くと、かならずしも椅子の誘発行動によって着座したのではないことが分かった。着座の理由は、「椅子は座るものだから最初から座りたいと思った」、「机と椅子があれば座るもの」、「自分が机に近付いたら椅子が下がったので」等であった。すなわち、最初から座ろうという信念を持ち、座るタイミングを計っていたということ

表2 被験者の動作カテゴリと動作要素

Table 2 Action categories and units for the subject.

Concern Level	No.	Action
Level 1	as1	Look around the room
	as2	Stay with looking at no-AMC
	as3	Move around the room
Level 2	as4	Step back from the AMC
	as5	Stay with looking at the AMC
	as6	Move with keep same distance from the AMC
	as7	Move to the rear of the AMC
	as8	Move to the side of the AMC
	as9	Look over the mechanism of the AMC
Level 3	as10	Move toward the AMC
	as11	Move to the front of the AMC
	as12	Touch the AMC
	as13	(Try to) sit down on the AMC

である。

#### 4.3 観察グループ

このグループの被験者の着座までの平均時間は2分22秒であった。被験者の初期の行動は信念グループと同じであった。すなわち、あいさつ行動を着座誘導と間違え、着座しようとするものの椅子の拒否動作によって自分の信念が間違えていることに気づくのである。しかし、信念グループが最初から最後まで座ろうという意志をもっている一方で、観察グループは当初の信念を一旦取り下げ観察行動に入る。その後、被験者はAMCの誘導行動を観察する中でAMCが座ることを要求していることに気づく。着座までに必要な誘導行動(ac1, ac2, ac3の合計)の平均は14回であった。これは信念グループの5.6倍である(信念グループは2.5回)。

#### 4.4 消極グループ

このグループの特徴は動きが少ないことである。ほとんど眺めているだけで、結局何をしたらよいか分からなかったグループである。最終的に4分経過しても着座しなかった。

### 5. 行動分析

本章では各グループの行動の特徴を統計的に明らかにする。我々は、記録された映像を詳細に調べ、AMCと被験者の動作をそれぞれ動作要素に分類した。動作分類はフレームレートの精度で行い、全ての時間においてなんらかの動作単位に分類されているようにした。

表 3 動作解析結果

Table 3 Motion analysis result.

		Level 1			Level 2					Level 3					total
		as1	as2	as3	as4	as5	as6	as7	as8	as9	as10	as11	as12	as13	
Frequency [n/min]	Conviction	1.4	0.3	1.8	2.3	8.6	1.2	0.4	0.0	0.4	1.7	4.4	2.0	4.1	28.6
	Observation	0.3	0.5	0.6	1.6	5.8	2.3	0.3	0.0	0.8	0.8	1.2	1.2	1.1	16.4
	Passive	0.2	0.3	0.2	0.9	3.8	1.8	0.1	0.1	0.7	0.4	0.4	0.4	0.1	8.7
Ratio [%]	Conviction	4.7	1.0	6.2	9.2	30.1	4.4	0.9	0.0	1.3	6.6	14.4	7.0	14.1	100
	Observation	2.4	3.3	4.0	9.2	34.6	13.4	1.6	0.1	6.0	4.4	7.0	7.4	6.4	100
	Passive	3.5	2.8	3.7	12.0	41.5	17.1	0.7	0.4	5.2	3.6	5.7	2.9	0.8	100

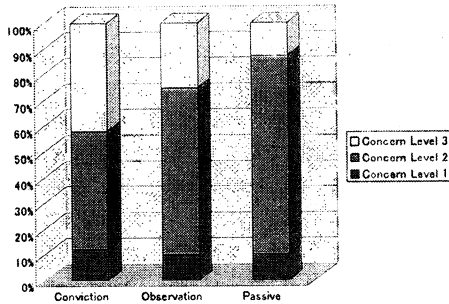


図 3 各グループの 3 つの関心レベルの動作の割合

Fig. 3 Average ratio of each concern level for the subject.

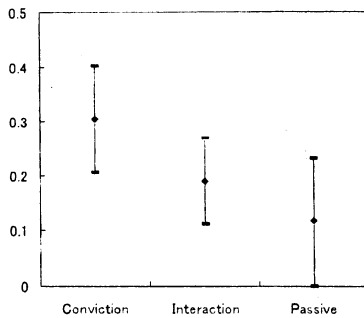


図 4 動作のオーバーラップの割合

Fig. 4 Rate of action overlap.

AMC の振舞は表 1 の 10 個の動作要素に分類される。AMC の動作を行った実験者と分類を行った人物は異なっており、AMC の動作出力時に意図していたものと異なった分類をされることもある。被験者の振舞は表 2 の 13 個の動作要素に分類される。さらに被験者の動作要素を 3 つの大きなカテゴリーに分類する。この動作カテゴリーは被験者の AMC に対する関心のレベルを表す。関心レベル 1 の動作群は AMC にほとんど興味がないことを表し、関心レベル 3 の動作群は

AMC に強い関心を持っていることを表す。関心レベル 2 はその中間に位置する。

表 3 は動作解析の結果である。上の 3 行は 3 つの被験者群においてそれぞれの動作要素の発生頻度 (1 分あたり何回発生したか) を示している。下の 3 行は 3 つの被験者群において、それぞれの動作要素が発生した全ての動作要素に対してどれぐらいの割合を占めているかを示している。図 3 はそれぞれのグループの動作の関心レベルがどの程度の割合になるかを示している。

一元配置の分散分析 (ANOVA) を用いてグループ間の比較を行った。着座動作 (as13) の頻度については 3 グループの間で統計的に有意な差があった ( $F = 13.869$ ,  $p < 0.001$ )。これは信念グループが椅子に何度も座ろうとしていることを意味する。着座するまでの平均時間は 37 秒なので、着座までに平均 1.5 回着座を試みていることになる。一方で、消極グループの着座動作は 1 分あたり 0.1 回である。実験は 4 分で終了するため、このグループの半分以上の被験者は一度も着座を試みなかったと言える。

図 4 は AMC の動作と被験者の動作がどれぐらいの時間重なって出力されていたかを示す。信念グループでは実験中 30% の時間動作が重なっていたことが分かる。また、被験者が椅子を見ながら静止 (as5) していた時間 (1 分あたり) を調べたところ、信念、観察、消極グループそれぞれ 15.4 秒、25.6 秒、42.8 秒であった ( $F = 19.058$ ,  $p < 0.001$ )。これらの結果は、信念グループの被験者は椅子の動きをじっくり観察することなく、動き回っていたことを意味する。しかし、それにもかかわらず、比較的短時間で着座できたということは常に椅子の動きに同調して動き、座るタイミングを計っていたためだと考えられる。

次に、我々は被験者と AMC の相互作用についての分析を行った。図 5 は AMC の生成した全ての動作要素に対する各動作要素カテゴリーの生成割合を示している。ただし、コミュニケーション動作カテゴリーの中からターンを渡す動作だけを抽出して別のカテ

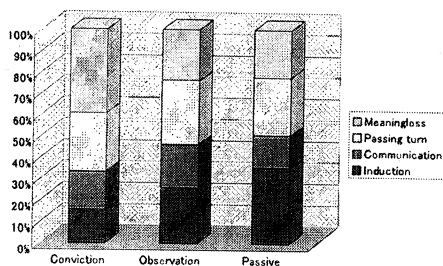


図5 AMCが3つの被験者群に生成した動作の割合  
Fig. 5 Average ratio of each behavior for the AMC.

リーとして表示している。AMCが出力した動作の中で、ターンを渡す動作の割合については被験者の3グループで有意な差は見られない。しかし、誘導動作の割合は消極グループで高く、信念グループで低い。これは、誘導動作を頻繁に行い、ターンを渡して被験者に行動を促したとしても、消極グループでは椅子に座らせることに失敗していることを意味する。一方で、信念グループは誘導動作の割合が比較的低いにもかかわらず短時間で着座している。

## 6. 議 論

以上の結果から、被験者がAMCに座るかどうかはAMCがどのような動作を生成するかによるよりむしろ被験者のAMCに対する基本的な姿勢に依存していると考えられる。消極グループでは被験者は実験を通じて全くAMCの意図を理解できなかったと思われる。これはDenett<sup>2)</sup>が主張する意図スタンスを取らなかったためと考えられる。意図スタンスでは、人間は観察対象の振舞をその対象が意図を持っていると仮定して理解する。Denettはその他のスタンスとして物理スタンスと設計スタンスを挙げている。物理スタンスは対象の振舞を規定しているものを物理法則であると考えたスタンスであり、設計スタンスはなんらかの設計原理に基づいて対象の振舞を捉えるスタンスである。人間は一般に人工物に対しては、設計スタンスを取ると考えられる。確信グループと観察グループがどのスタンスを取ったかは定かではないが、少なくともAMCの振舞いに意図性を見出していたものと考えられる。これは、たとえ身体性が人間と全く異なる人工物であったとしても、人間が人工物の振舞に対して意図スタンスをとることが可能であることを意味する。

我々の実験はプロトコルが不定な状況でいかに意図伝達を行うことができるかという問題を含んでいる。プロトコル不定な状態で意図伝達を行うためには、適

当なシンボルに対して共通の意味を割り当てる作業が必要である。小松らは、二人の被験者が協調的なタスクを遂行する中で、未知の音声に対して意味付を行う過程について分析を行った<sup>6)</sup>。その中で小松らは、結果を報酬によって評価するような強化学習的な意味付のプロセスと、両者がともに相手の行動に応じて戦略を変化させることによって相手のことを学習するという相互適応的なプロセスの重要性を指摘している。相互適応においては、他者の行動出力を観測し、その観測に対する内部状態のマッピングの学習を行う必要がある。このマッピングの学習を行うためには、山田<sup>4)</sup>からも指摘するように、強化学習的な条件付が必要不可欠となる。すなわち、自身の行動出力に対する相手の反応になんらかの評価を行うという、探索-強化というプロセスが必要なのである。しかし、我々の行った実験から言えることは、そのような相互適応的なプロセスを経ることなくコミュニケーションが可能な場合があるということである。本実験を開始する以前の我々の想定する意図伝達(理解)の過程のモデルは下記のようなものであった。

- (1) きっかけ (trigger)
- (2) 探索動作 (probing)
- (3) 確信 (confirmation)

(1)のきっかけは相手が何か伝えるべき意図を持っていることに気づくことである。入室後のあいさつ動作がこれに相当すると考えられる。そして、一旦相手が意図を持っていることが分かると、その意図が何であるかを(2)の探索動作によって調べる。すなわち、自身の発生した動作に対する相手の応答によって相手の内部状態を推測するのである。しかし、我々の実験結果が示すように、as5やas9の観測動作は見られたが、積極的に探索して相手の意図を確かめようとする行動、すなわち相互適応的な行動は見られなかった。それにもかかわらず、多くの被験者が椅子に座ることができたのは、身体の物理的拘束に由来して獲得されている情報基盤、すなわちアフォーダンスの暗黙的理解が存在し、そのアフォーダンスを過剰に演出するという能動的アフォーダンスが機能したからに他ならない。

標準的なアフォーダンスは通常無意識に理解され、その機能発現の過程は人間側に主導権がある。しかし、我々の実験で見られたように、人工物の動きはそれだけで人間を無意識の動作から覚醒させる強い力を持っている。すなわち、それ以前には環境の静的なアフォーダンスに従い、言わば環境に無意識に同調した行動を取っていた人間が、人工物の動きによって行動を遮られ覚醒状態になるのである。能動的アフォーダ

ンスにおいては、(1) 環境との同調的行動からの覚醒、(2) 誘導による別のフェーズへの移行、(3) 新たな別のフェーズにおける同調行動への引き込みの 3 つの段階が効果的に実現されなければならない。我々の実験においては、入室後最も無意識的に行動していたのは信念グループである。一方、消極グループの被験者は入室時から警戒的な行動をとり、無意識的に環境のアフォーダンスに同調するのではなく、覚醒した状態で周囲の状況と自身の行動に意識を向けて行動していた。その後の行動を見ると、信念グループは、動作とのオーバーラップが 30% と高い割合を取り着座に至ったのに対して、消極グループでは別のフェーズへの誘導もさらなる同調も実現されことなく終わった。

Fogg<sup>3)</sup> は説得を実現するためにタイミングが重要であると述べている。タイミングの重要性は我々の実験によっても明らかになった。実験後のインタビューで、ある被験者は「座ろうとしたその瞬間に椅子が動いたので座ってはいけなかった。それによって椅子が何を求めているかわからなくなった」と述べた。Fogg の述べるタイミングの重要性の意味するところは、適切な機会を逃さないということであるが、それ以上に、我々の結果は機会を間違えると逆効果になることを示唆する。すなわち、協調的機能健在化の過程はタイミングを誤ると一瞬にして崩壊するということである。これは、我々が以前に行った自律移動する椅子 (人間が制御するのではなく自動で動く椅子) と人間との相互作用を調べた実験結果<sup>5)</sup> と一致する。

## 7. おわりに

我々は、人間が人工物の意図的な動作をどのように理解するかを調べる実験を行った。具体的には、被験者を特定の場所に座らせる目的を持っている動く椅子と人間が自発的に行動できる環境を用意し、その中で発生した相互作用を記録した映像の分析を行った。分析の結果、被験者は信念グループ、観察グループ、消極グループの 3 つの特徴的なグループに分けることができた。これらのグループを規定するのは、被験者の基本的な性質であると考えることができる。能動的アフォーダンスの成否から言うと、消極グループでは成功したとは言いがたい。真に親和的な身体的インタフェースを設計するためには、ユーザの性質に影響されない方法を考えることが必要である。

## 参 考 文 献

- 1) Special issue: The disappearing computer. *Communications of the ACM*, Vol. 48, No. 3,

2005.

- 2) Daniel Clement Dennett. *Kinds of minds : toward an understanding of consciousness*. Basic Books, 1996.
- 3) B.J. Fogg. *Persuasive Technology Using Computers to Change What We Think and Do*. Morgan Kaufmann Publishers, 2003.
- 4) 山田誠二, 山口智浩. 人間とロボットの相互適応 - aibo をしつける -. 第 58 回人工知能学会「知識ベースシステム」研究会, 2002.
- 5) 寺田和憲, 伊藤昭. 能動的人工物における協調的動作補完. 人工知能学会第 62 回知識ベースシステム研究会合同エージェンツワークショップ&シンポジウム (JAWS) 2003 特別セッション「HAI (Human Agent Interaction)」, pp. 419-425, 2003.
- 6) 小松孝徳, 鈴木健太郎, 植田一博, 開一夫, 岡夏樹. パラ言語情報を利用した相互適応的な意味獲得プロセスの実験的分析. 認知科学, Vol. 10, No. 1, pp. 121-138, 2003.