

# 転倒するロボットに対する人間の行動・情動特性の評価

## An Evaluation of Human Action and Emotional Characteristics Regards to Fall Down Robots

樋口 由樹<sup>1\*</sup>      棟方 渚<sup>1</sup>  
Yoshiki Higuchi<sup>1</sup>      Nagisa Munekata<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 京都産業大学コンピュータ理工学部

<sup>1</sup> Computer Science and Engineering, Kyoto Sangyo University

**Abstract:** 人間側の適応を促すことを狙いとして、ロボットにあえて欠点をもたせるといった研究が行われている。この設計手法は、ロボット単体では達成できないタスクにおいても、人間側の適応を自然に引き出すことでタスクを実現させられることが示唆された。しかし、人間側の適応を引き出せるかどうかは対象となる個人の特性に依存するため、必ずしもこの手段が有効に働くとは限らない。そこで本研究では、ロボットの失敗に対して人間がどのような印象をもつのか調査し、特性の分類を試みた。具体的には、ロボットの失敗に直面した際の行動およびそれに伴う情動変化について、質問紙・行動分析・生体信号の三つの手法を用いて調査し、人間の特性を分類した。

## 1 はじめに

人間と対話することを目的としたコミュニケーションロボットなど、身近な環境で動作するロボットの研究開発が盛んにおこなわれている。近年では、専門家のみならず一般向けのコミュニケーションロボットも販売されており、今後さらに身近な存在となると考えられる。

Human-Agent Interaction(HAI)研究の一つの事例として、人間側の適応を促すことを目的とし、あえてロボットの振る舞いに不完全さをもたせる設計手法が提案されている。この設計手法は、周囲の人の自然な適応(利他的な援助行動など)を引き出し、親しみを感じるといった効果を示した。しかし、人間側の適応は対象ユーザの特性(個々の経験や嗜好)に大きく依存するため、ロボットの不完全な振る舞いは、必ずしもインタラクションに有効な手段であるとは限らない。例えば、ロボットに対して高度な機能や明確な役割を求めるユーザについては、不完全なロボットの振る舞いは、適応ギャップ[1]を生じさせる原因となり、長期的なインタラクションは期待できない。このような問題を解決するためには、対象となる個々のユーザの特性(性格および経験や嗜好)に応じて、ロボットの振る舞いを適宜調整する機能が必要となる。

そこで本研究では、失敗するロボットに対する個々の反応(利他的な援助行動など)や印象について調査・分

類することを目的とし、ユーザの性格特性や行動およびそれに伴う情動変化について、質問紙、行動分析、生体信号の三つの手法を用いた分類を試みた。

## 2 欠点をもたせたロボット

一般的にロボットの開発は、人間に与えられたタスクを効率よく、かつ確実にこなせるように性能の向上を目指すことが多い。産業用ロボットは工場の効率化などの明確な目的が存在しているため、性能が最も重要視される。一方で、コミュニケーションロボットは単にロボット自体の性能が向上するだけでは、柔軟な思考能力をもつ人間との対話は実現出来ない。そのため、相手のもつ特性を考慮した設計も検討する必要がある。

人とロボットとの関係構築の手法の一つとして、ロボットにあえて欠点をもたせる研究が行われている。古川ら[2]の研究では、単体では手に持っているティッシュを配ることができないロボットが提案された。このロボットは、人間の動きに俊敏に合わせて動けるような高度な機能を備えておらず、人間からの適応(受けとる側が手を差し伸べる行為など)が無ければタスクを達成することはできない。機能的な不完全さが、周囲の人の適応を引き出し、結果としてティッシュの手渡しを可能としたことが報告されている。また、谷郷ら[3]の研究では、言葉に詰まる・言い淀むなどの、人間味のある失敗を繰り返すロボットについて、ユーザが人間らしさや親しみやすさを感じることができると示した。これらの研究は、ロボットにあえて欠点をもたせ、

\*連絡先: 京都産業大学コンピュータ理工学部  
〒603-8555 京都市北区上賀茂本山  
E-mail: munekata@cc.kyoto-su.ac.jp



図 1: あえて欠点をもつロボット([2]より引用)

不完全な振る舞いを呈示することで、人間側の適応(利他的な援助行動など)を自然に引き出すことができること、好印象を与え得ることを示した。しかし、人間らしい失敗を繰り返すロボットは同時に、有能でないとネガティブに判断されることが結果として挙げられている。実験中における短期的な対話では、「親しみやすい」といったポジティブな印象が、有能であるか否かより優先される傾向が観察されたが、長期的なインタラクションにおいても効果が持続されるかどうかは明らかにされていない。さらに、人間側の適応は対象となる個人の特性に依存するため、必ずしも相手に対し、不完全な振る舞いがインタラクションに有効に働く手段であるとは限らない。具体的には、「ロボットであれば、完全に振舞えるものであり、ユーザの利便性を向上させるものでなくてはならない」という思考をもつ人間に対して、このような不完全な振る舞いの呈示は、適応ギャップを生じさせる原因となり、ユーザとの関係性にネガティブな影響を与えると考えられる。

## 3 実験

### 3.1 実験の概要

失敗するロボットに対する個々の反応(利他的な援助行動)や印象について調査・分類するため、完全なロボットからは想定されない失敗をするロボットとの対話を被験者に行ってもらい、被験者に観察させる「失敗するロボット」の振る舞いとしてシナリオを用意した。このシナリオは、まずロボットが被験者に飴を渡すことを伝え、次に床に置いてある飴の入った缶を把持しようと努力するが、その後バランスを崩して転倒するといったものである。ロボットが転倒する瞬間から転倒後(ロボットが暗示的に援助を必要としている状況)に生じる被験者の情動変化を、質問紙・行動分析・皮膚電気活動から分析する。



図 2: NAOの周辺環境

### 3.2 被験者

被験者は応募(インターネットや掲示物での情報提示)によって、参加を希望した情報系の大学生18名(男性16名・女性2名、年齢19~22歳)を対象とした。可能な限り、被験者の自然な反応を観測するため、実験内容に関する事前説明は、「ロボットの印象評価をしてもらう実験である」という旨のみを伝え、具体的な内容は知らせなかった。実験後、被験者には一律1,000円の報酬を支払った。また、本実験は京都産業大学研究倫理委員会の承認を得て実施した。

### 3.3 実験環境

まず、ロボットはAldebaran社の小型ヒューマノイドロボットNAOを使用した。実験中に、ロボットが物を把持する場面があるが、製品仕様に記載された把持可能な重量および手の開閉する範囲から、今回の実験で把持させる対象は、個別包装された小さな飴と、それが多数入れられたアルミニウム製の軽い缶とした。また、NAOを繰り返し転倒させることを想定しているため、転倒によるNAOへの損傷を考慮し、図2のように床に敷いたジョイントマットの上で動作させた。

実験は実験者2名と被験者1名で実施した。ロボットの動作は、Wizard of Oz法で実施するため、実験者のうち1名はロボットの操作を行う役割とし、被験者の目につかないスペースに待機させた。もう1名の実験者は、ロボットの操作者の代わりに実験の説明と進行をおこなう役割とする。実験室の配置は図3のとおりである。

### 3.4 手続き

実験は以下の手順で行なった。

1. 実験室(図3)に移動してもらい、椅子に着席させる。
2. 実験の概要と同意書について説明を行い、被験者の同意を得てから、皮膚電気活動測定のための電

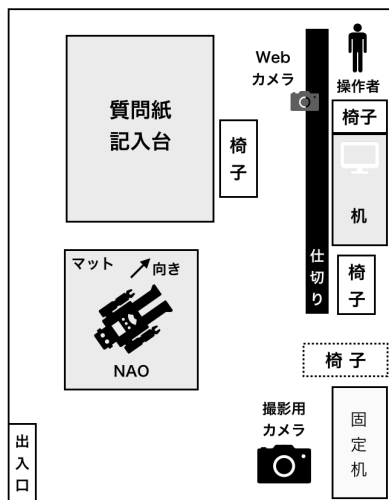


図 3: 実験室の配置

極(Ag/AgClディスク電極, 日本光電)を利き手と逆の手掌に装着した。

この時点では、「性格特性とロボットの印象の関係性」を調べることを目的としていると説明し、本来の目的は説明しない。また、質問紙記入台の近くにロボットが設置されている理由として、特定の質問紙で対象としている「ロボット」について、設置されたロボットを想定して回答してもらうため、との説明を行った。

3. 各心理尺度(多次元的共感性尺度[4], ロボット否定的態度尺度(NARS)・ロボット不安尺度(RAS)[5])についての回答方法の説明を行い、心理尺度に回答してもらう。
4. 回答の回収後、実験者が「実験参加のお礼として、ロボットがお菓子をくれるので受け取ってほしい」とロボットの前に誘導し、以下の振る舞いを順に観察してもらう。その際、ロボットには自由に触れて良いことを説明をする。
  - シナリオ1 (順応課題)  
ロボットが実験参加のお礼(台詞とお辞儀)をしたのち、手に把持している飴を被験者に渡す。
  - シナリオ2  
ロボットがもう一つ飴をプレゼントしたい、と被験者に伝えたのち、床に置いてある飴が入った缶を把持しようと努力するが、バランスを崩して転倒する。
5. ロボットの転倒後、一定時間経過したのち、被験者の状態にかかわらず実験者が実験の終了を伝える。

6. 最後に、ロボットが転倒した際の印象および行動・その理由(特に転倒したロボットへの援助行動の有無)について質問紙に記入してもらう。記入が終わり次第、事後説明を行い、実験を終了させ報酬を渡した。

### 3.5 測定内容

被験者とロボットの対話において、ロボットが転倒する瞬間から転倒後(ロボットが暗示的に援助を必要としている状況)にかけて表出される情動変化(共感によるもの)を調べるために、皮膚電気活動を測定した。皮膚電気活動は、緊張や動揺などによって生じる精神性の発汗を電氣的に捉えたものである。通電法を用いた皮膚電気活動は、1対の電極を装着し電極間に微弱な電流を流している間の発汗によって生じる測定部の抵抗値の変化から測定できる。本研究では、緩やかな基線の変化で観察できる信号であるSCL(Skin Conductance Level)を用いた。SCLはユーザの精神的不安や安静状態の時系列的な評価として用いる場合、他の皮膚電気活動(SCR)より有効であると示されている[6]。

SCLの測定装置はAffectiva社のQ Sensorを参考に実装したもの(図4)を使用し[7]、計測システムはPython3.6を用いて実装した。このシステムは測定装置に内蔵されたBluetoothモジュールを通じて、サンプリング周期20HzでSCLを取得し、記録する。



図 4: 皮膚電気活動の測定器

## 4 各イベントのSCL

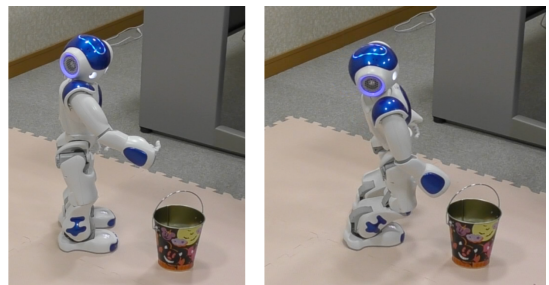
ロボットとの対話時(シナリオ2のおよそ3分間)にSCLを測定した。シナリオ中のイベントにおける被験者の情動変化を分析するため、SCLの時系列データは以下のように抽出する。また、各イベントに該当するロボットの台詞と動作を表1に示した。表中の「開始時間」は呼びかけイベントの開始から、その台詞または動作が始まるまでの時間を表している。

表 1: 各イベント(シナリオ2)におけるロボットの台詞と動作

イベント名	ロボットの台詞・動作	開始時間[s]
定常状態	-- 何も発話せず直立姿勢をとる --	-
呼びかけ	「ちょっと待って！もう1度お菓子をプレゼントさせて」	0.0
	「まだ缶にお菓子がいっぱいあるのでもっとあげるよ」	約8.0
	-- 飴が入った缶を拾う態勢へ移行開始 --	約13.0
転倒	「あっ... コケる... コケる... コケちゃった」	約15.5
	-- 台詞と同時に転倒する動作を始める --	
	-- 完全に転倒(仰向け状態) --	約17.5
転倒後の呼びかけ	「あららら... コケてしまった... 起き上がれないよ」	約22.5
	-- 転倒した姿勢を維持 --	-

● 定常状態

シナリオ1から2に進む間、ロボットは直立した状態で待機する。次の「呼びかけ」イベントの5秒前～「呼びかけ」直前までがこのイベントに該当する。待機中のロボット(ロボット動作せず直立している)を観察している状態での被験者のSCL反応を定常状態とするためにこのイベントを用意した。



● 呼びかけ

ロボットが被験者に対し呼びかけして、対話を開始するイベント。具体的には、ロボットは図5(左図)のように缶を注視しながら、再度、被験者に飴をプレゼントすることを伝える。その後、缶を手を取るため、図5(右図)のように体勢を変えたといい振る舞いが該当する。

図 5: 「呼びかけ」における動作



● 転倒

ロボットが転倒し、援助を必要とするイベント。具体的には、図6(左図)のようにバランスを崩した状態を演出すると同時にロボットが台詞(表1を参照)を述べ、最終的にはバランスを崩して転倒してしまう振る舞いが該当する。

図 6: 「転倒」における動作

● 転倒後の呼びかけ

転倒してから一定時間経過後、ロボットが助けを借りずには起き上がれないことを伝える台詞(表1参照)を述べる。

情動が生じることをSCLの測定結果から分析する。イベント要因による効果を調べるために、1要因参加者内分散分析を行なった。その結果、イベント要因の効果は有意であった( $F(2,17)=7.81, p<.001$ )。Bonferroni法による多重比較によれば、「定常状態」と「呼びかけ」イベント間には有意差は認められなかったが、「定常状態」と「転倒」イベント間および「呼びかけ」と「転倒」イベント間には有意な差がみとめられた。

## 5 実験結果

### 5.1 各イベントにおける情動評価

ロボットや装置の不調等で分析に使用できないデータを除き、18名の被験者から得られた結果の分析を行った。はじめに、ロボットの転倒を観察したユーザは強い

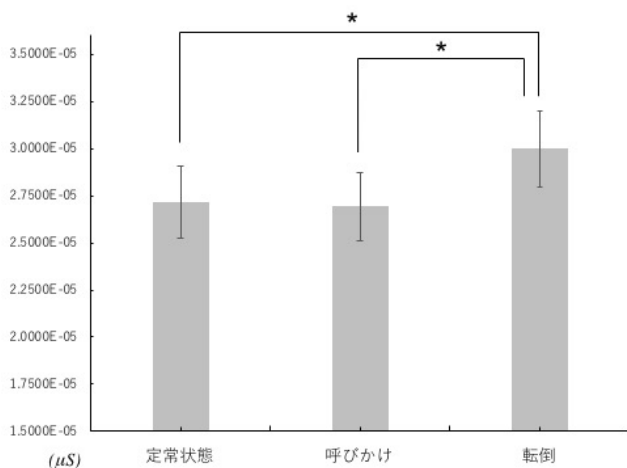


図 7: 各イベントにおけるSCLの平均

表 2: SCL上昇までの時間(印象: 正)

被験者	T1[s]	T2[s]
A	0.29	-
C	1.42	-
D	2.11	-
F	0.10	-
H	0.97	-
M	1.34	-
P	0.07	-
B	2.14	0.14
E	3.09	1.09
G	2.87	0.87
I	2.72	0.72
J	3.18	1.18
N	3.12	1.12
Q	2.94	0.94
R	3.10	0.10

T1: 転倒の前兆から上昇が確認されるまでの時間

T2: 転倒から上昇が確認されるまでの時間

## 5.2 転倒するロボットに対する印象評価

被験者の内省報告をもとに、ロボットの失敗(転倒)に対する正負の印象を調査し、被験者を分類した。具体的には以下の条件に基づいて分類した。

- 条件1

「飴を渡してくれる行為に対してどう感じたか?」という質問に対して「好意的に感じた」と回答した場合は正の印象と分類した。(16名/18名が該当)

- 条件2

ロボットの転倒に対して「可愛い」「かわいそう」「放っておけない」「助けてあげたい」「頑張っている」のような肯定的な評価を複数回答した場合は正の印象と分類した。(15名/18名が該当)

上記の2つの条件に該当した人は18名中15名となった。この15名をロボットの失敗に対して正の印象をもつ群とした。これに該当しなかった3名の被験者に着目すると、条件1: 飴を渡してくれる行為に対して3名中2名が「好意的に感じなかった」と回答した。次に条件2: ロボットの転倒に対して肯定的な評価をせず、3名中2名が「無能」「みっともない」「役に立たない」のような否定的な評価をした。よって、条件1・条件2のいずれかに該当しない3名については、ロボットの失敗に対して負の印象をもつ群とした。

## 5.3 転倒するロボットに対する情動評価

ロボットの失敗に対して正の印象をもった被験者と負の印象をもった被験者について、転倒イベントにおけ

表 3: SCL上昇までの時間(印象: 負)

被験者	T1[s]	T2[s]
K	3.99	1.99
L	SCLの上昇なし	
O	SCLの上昇なし	

T1: 転倒の前兆から上昇が確認されるまでの時間

T2: 転倒から上昇が確認されるまでの時間

る情動変化を比較した。5.2章の分類をもとに、ロボットが転倒する前兆(図6・左図)からSCLの上昇の有無および上昇までにかかった時間を算出した。得られたデータには、ロボットが転倒する前兆がみられた時点で強い情動が発生するタイプ、転倒してから強い情動が発生するタイプ、イベント中には強い情動が発生しなかったタイプの3パターンが存在した。個人ごとにロボットが転倒することを認識する(予測できる)タイミングは異なると考えられるため、転倒してから強い情動が発生するタイプのみ、ロボットが転倒してからSCLの上昇が確認されるまでの時間も算出した。表2,3におけるT1は転倒の前兆からSCLの上昇が確認されるまでの時間、T2はロボットが完全に転倒した状態からSCLの上昇が確認されるまでの時間を表している。

分析の結果、表2のようにロボットの失敗に対して正の印象をもった群では、全員にSCLの上昇が確認された。一方で、表3のようにロボットの失敗に対して負の印象をもった群では、3名中2名のSCLの上昇が確認されなかった。図8はロボットの失敗に対して正の印象を

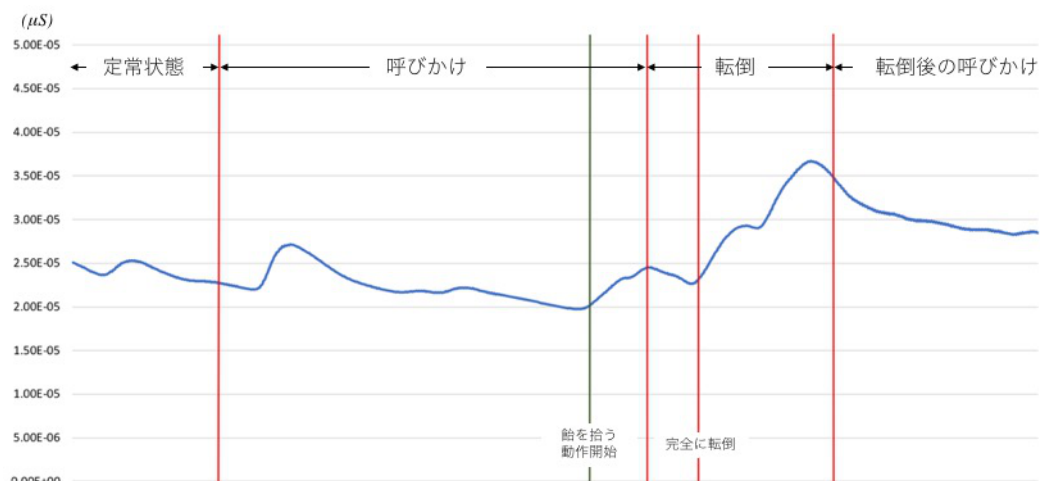


図 8: 失敗に対し正の印象をもった被験者のSCL変動(一例)

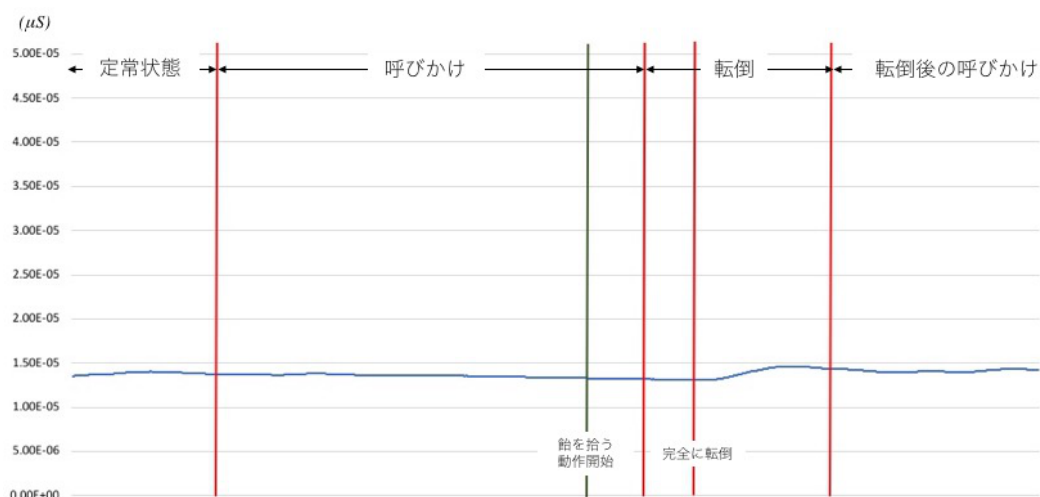


図 9: 失敗に対し負の印象をもった被験者のSCL変動(一例)

もった被験者のデータ、図9はロボットの失敗に対して負の印象をもち、かつSCLの上昇が確認されなかった被験者のデータである。図8と図9の比較をすると、転倒イベントにおいてSCLの上昇が確認されなかった被験者と確認された被験者では、情動変化の過程に大きな違いが生じていることがわかる。

次に、ロボットの失敗に対して正の印象をもち、転倒してからSCLの上昇が見られた被験者と、ロボットの失敗に対して負の印象をもち、転倒してからSCLの上昇が見られた被験者で、SCLが上昇するまでの時間(T1基準)を比較した。その結果、正の印象をもった群は平均2.89[s](標準偏差: 0.31)でSCLの上昇がみられたのに対し、負の印象をもった群は3.99[s]でSCLの上昇がみられ、比較的遅い時間で情動変化が生じているこ

とが確認された。

## 6 考察

### 6.1 転倒するロボットに対する印象

質問紙による調査結果では、ロボットの転倒に対して「可愛い」「かわいそう」「放っておけない」「助けてあげたい」「頑張っている」のような肯定的な評価をする被験者が大多数を占めた。これは、人間らしい失敗をするロボットに親しみやすさを感じるという谷郷ら[3]の研究結果を支持するものであった。しかし、本研究においてはロボットが鮎を渡す行為自体に好感をもたなかったり、「無能」「みっともない」「役に立たない

などの否定的な評価をしたりする被験者が確認された。以上により、失敗をするロボットのもつ利点を有効的に活用するためには、対象ユーザの特性に合わせて振る舞いの調整をすることが必要である。

また、ロボットの失敗に否定的な印象をもつ群のうち、ロボットが飴を渡す行為自体には好感をもったと答えた被験者が確認された。これは、ロボットの行為は受け入れることができるものの、その際の失敗を許容出来ないということの意味する。このようなユーザにおいては、ロボットの失敗の呈示は逆効果となると考えられる。

## 6.2 転倒するロボットに対する情動変化

失敗するロボットに対して正の印象をもった被験者は、ロボットが転倒した際(転倒イベント)に大きなSCLの上昇がみられる傾向があった。また、SCLの上昇がみられるタイミングは被験者ごとに異なるものの、転倒(転倒の前兆)から短時間で情動が表出された。一方で、負の感情をもった被験者は、SCLの上昇がみられない、あるいは転倒からSCLが上昇するまでの時間が比較的遅いことが確認された。

また、正の印象をもった被験者はロボットが転倒する際、咄嗟に転倒を防ごうとしたり、転倒してからロボットを起き上がらせるために援助を行う人が多く、ロボットの転倒という刺激に対して強い情動が生じた可能性が高いと考えられる。一方で、負の印象をもった被験者(特に否定的だった被験者L)はロボットの転倒に対する反応が小さく、転倒後も静観し続けるといった様子がみられた。

この結果から、失敗するロボットに対する個々の反応や印象は、そのロボットに対して引き出せる情動の強さ(感情移入)が関係しているとみられる。ロボットの失敗する振る舞いが、ユーザから積極的な援助行動や強い情動を獲得できる場合、人間の興味や正の感情を引き出すことに成功していると考えられ、インタラクションにおいて有効な手段である可能性が高い。一方、失敗する振る舞いがユーザから無視されたり、情動を引き出せない場合は、ユーザの嗜好に適しておらず、適応ギャップを生じさせる原因につながると考えられる。

## 6.3 心理尺度(態度・不安)の関係性

ロボットが飴を渡してくれる行為に好感をもてない、失敗するロボットに対し「無能」などの否定的な印象をもつ、転倒するロボットに対して情動反応が生じな

表 4: NARSの比較

印象群	NARS-S1		NARS-S2		NARS-S3	
	Ave.	Std.	Ave.	Std.	Ave.	Std.
正	27.1	2.0	16.7	4.2	9.8	1.8
負	21.0	1.4	13.6	1.7	10.6	2.6

※ NARS-S1: ロボット対話否定的態度 / NARS-S2: ロボット社会的影響否定的態度 / NARS-S3: ロボット対話感情否定態度

表 5: RASの比較

印象群	RAS-S1		RAS-S2		RAS-S3	
	Ave.	Std.	Ave.	Std.	Ave.	Std.
正	11.8	3.9	10.1	2.5	13.2	2.8
負	14.6	2.4	11.3	2.4	17.0	5.7

※ RAS-S1: ロボット会話能力不安 / RAS-S2: ロボット行動特性不安 / RAS-S3: ロボット対話不安

い被験者は、ロボットの失敗の有無にかかわらず、根本的に“ロボット”に対し否定的な印象をもっている可能性がある。そこで、野村らが開発した「ロボット否定的態度尺度 (Negative Attitudes toward Robots Scale: NARS)」と「ロボット不安尺度 (Robot Anxiety Scale: RAS)」[5]に着目した。NARSとRASどちらも、各下位尺度ごと(NARS-S1: ロボット対話否定的態度, NARS-S2: ロボット社会的影響否定的態度, NARS-S3: ロボット対話感情否定態度 / RAS-S1: ロボット会話能力不安, RAS-S2: ロボット行動特性不安, RAS-S3: ロボット対話不安)に合計点数の算出をおこなう。NARSは各下位尺度の合計得点が高いほど、ロボットに対する否定的な態度が低く、RASは各下位尺度の合計得点が高いほど不安が低い傾向となる。

NARSの2つの下位尺度(NARS-S1・NARS-S2), RASの全ての下位尺度において、失敗するロボットに対し負の印象をもつ被験者は、正の印象を持つ被験者に比べ、否定的な態度や不安が高い傾向がみられた。負の印象をもった被験者数が3名であり、統計的な比較や議論はおこなえないが、失敗するロボットに対し負の印象をもつ被験者はロボットの対話(接し方)や行動への不安、またロボットの技術発展に対する不安が高い可能性がある。

## 7 おわりに

本研究では実験室実験の範囲であるものの、ユーザの特性(性格および経験や嗜好)によって、失敗するロボットの振る舞いに対する印象や情動変化が異なることが確認された。また、質問紙、行動観察、情動変化

を調査することで、ユーザの特性を分類できることが示唆された。

今回の実験における被験者は公募の都合上、コンピュータサイエンスを専攻する学部生に限定された。この被験者にはロボットに関する研究に携わっている者はいなかったが、コンピュータ使用歴やプログラミングの経験はロボットへの印象に関係が深いことを示す研究[8]もあり、注意が必要である。本研究で得られた結果が一般性をもつか議論するためには、様々な条件の被験者から得られたデータサンプルをもとに、再現性を確認する必要がある、今後の課題として挙げられる。

## 参考文献

- [1] 小松 孝徳, 山田 誠二: 適応ギャップがユーザのエージェントに対する印象変化に与える影響, 人工知能学会論文誌24巻2号, pp.232-240, (2009)
- [2] 古川 真杉, 香川 真人, 柄戸 拓也, 田村 真太郎, 岡田 美智男: アイ・ボーンズ:オドオドしながらティッシュを配ろうとするロボット, HAIシンポジウム, (2016)
- [3] 谷郷 力丸, 高橋 卓見, 廣田 敦士, 早川 博章, 岡 夏樹, 西崎 友規子: 失敗する演出を施したロボットは人と円滑な関係を築くか, 2016年度 情報処理学会関西支部 支部大会公演論文集, (2016)
- [4] 登張 真稲: 青年期の共感性の発達 –多次元的視点による検討–, 発達心理学研究14巻2号, pp.136-148, (2003)
- [5] 野村 竜也, 神田 崇行, 鈴木 公啓, 山田 幸恵, 加藤 謙介: Human-Robot Interaction(HRI)における人の態度・不安・行動, *26th Fuzzy System Symposium*, pp.554-559, (2010)
- [6] 梅沢 章男, 黒原 彰: バイオフィードバック指標としての皮膚コンダクタンス変化と皮膚電位活動の比較, Vol.21, pp.29-36, (1994)
- [7] 御手洗 彰, 水丸 和樹, 本田 健悟, 棟方 渚, 坂本 大介, 小野 哲雄: 人狼プレイヤの皮膚電気活動の解析: 情動変化を利用したソシオメータの実現へ向け、情報処理学会 インタラクシオン, pp.885-888, (2018)
- [8] 神田 崇行, 石黒 浩, 石田 亨: 人間ロボット間相互作用に関わる心理学的評価, 日本ロボット学会誌, Vol.19, No.3, pp.362-371, (2001)