

人間集団内で発生する 動的な対人距離の変化に合わせて移動するロボットの評価

Mobile Robot Adapting Changes of Personal Space in Human Groups

布施 陽太郎¹, 徳丸 正孝²
Yotaro Fuse¹ and Masataka Tokumaru²

¹ 関西大学大学院

¹ Kansai University Graduate School

² 関西大学

² Kansai University

Abstract: 本研究では人とロボットが共存する集団で動的に変動する距離感を考慮する自律移動ロボットの開発を目指す。人間は他者と空間を共有する時、その場の状況に依存して発生する距離感を保とうとする。人とロボットが共存する社会でも、人間集団に所属するロボットは諸要因に依存して変動する距離感に適応する必要がある。そこで、適応のための自律移動ロボットを開発し、その検証実験を実施した。実験ではロボットが変動する距離感に適応して移動可能であると明らかになった。

1 はじめに

今日、少子高齢社会の到来による労働人口減少に伴いロボットへの期待が高まっており、人がロボットと共生する社会の到来が予想される。今後ロボットが人間とインタラクションしていく中、ロボットには人間に親しみを与えつつ不安感を与えないような人間らしい振舞いが求められる。

しかし、ロボットに対する親しみや不安感は直接的なインタラクションの中のみで生まれるものではなく、間接的に関わりあう状況にある人間とロボットの間にも生まれると考えられる。間接的に関わりあう状況の一例として対人距離が挙げられる。人間は対人距離と呼ばれる他者に近づかれて不快に感じる空間を持ち、その空間を常に保ちながら集団内で自らの立ち位置を決めている [1]。人間同士は距離感を保つことによって、自らの周囲の空間を快適にしようと努める中、ロボットも対人距離を考慮して移動する必要がある。

そこで人間に威圧感を与えないように、パーソナルスペースを考慮しながら移動するロボットの開発がなされている [2]。人間が保ちたがる距離感は、対面する人間との社会的な関係に基づいて大きく4種類に分類されている [1]。そこで、ロボット移動に伴う人間の不快感を低減させるため、従来のロボット移動に関する研究もまた4種類の距離の保ち方を基に進められている [2]。

上記の間接的なインタラクションの例としての対人

距離に加えて、ロボットは集団内の和を保って振舞う必要がある。人間社会を生きる人間はその場に現れるその集団特有の暗黙のルールを感じ取ったうえで振舞う。そうした集団で共有される価値判断や行動様式の規準は集団規範と呼ばれ、集団規範の共有はメンバー間の情報交換に流動性を与え、他者の行動を予測しやすくする [3]。この共有によって、他者から受ける不安感もまた軽減される。ロボットが人間社会に一層参入するためには人々が守る暗黙のルールを学習することが必要であり、ロボットが人間の作り出す集団規範を学習して振舞うための行動モデルが提案されている [4]。

人間社会のコミュニティの集団規範の具体例として、人と人が集団内で保つ対人距離があげられる。対人距離は大きく4つに分類されるが、その場の状況や環境といった社会的文脈に依存して動的に変動する [1]。しかしながら、人間はその場で対人距離の変動に臨機応変に適応して移動可能である。また、ロボットに対する人間の対人距離がロボットの振舞いによって変動するという報告があることから [5]、ロボットは対人距離の動的な変動に考慮する必要があると推察できる。しかしながら、人間集団を取り巻く状況に依存して動的に対人距離を変動するロボットはほとんどない。よって、ロボットが人のコミュニティに能動的に参加する場合、コミュニティメンバーが保ちたいと感じる距離に合わせて自らの立ち位置を決めるロボットを開発する必要がある。

そこで著者らは先行研究において、人とロボットが

共存するコミュニティにおける 対人距離の規範を考慮して移動するロボットモデルを提案し、シミュレーションにおいてそのモデルの有効性を検証した [6]。しかしながら、先行研究では実ロボットを用いた検証がなされていない。そこで、本研究では提案モデルを搭載した実ロボットと複数人の人間の集団が同的に移動する環境において実施される実験タスクの中で、ロボットが集団内で適応的に移動可能であるか否か検討する。

2 評価実験

2.1 実験概要

本実験の目的は、コミュニティ内の人々の距離感が縮まっていく中で、ロボットも同様に距離感を保って自らの立ち位置を見つけながら移動可能か検証することである。ロボットの移動の様子を検証するために、人間被験者はロボットと共に集団を形成し、ロボットと共に実験環境内で移動を必要とする実験タスクに取り組む。ここでは1人の人間被験者と1体のロボットの他に実験主催側の人間2人が存在し、3人と1体で集団を形成する。実験タスクを通して、人間被験者はロボットが集団の一員として適応的に移動できているか否かをアンケートによって評価する。

2.1.1 実験環境

図1に実験環境の鳥瞰図を示す。人とロボットの集団は図1に示すような6.4m×3.7mの長方形の実験環境で実験タスクに取り組む。実験タスク開始時に集団内の人間もしくはロボットは図1の中で1,2,3,Eと示される場所に位置づけられる。特に、実験被験者とロボットは1もしくは2のどちらかに、実験主催側の人間は3とEに位置づけられる。

この実験環境内での実験タスクに集団が取り組むことによって、1,2,3の位置に立つ人間もしくはロボットがEの位置に立つ人間に向かって距離感を合わせながら接近する。その過程でロボットもまたその接近の状況に適応して移動可能かどうかを検証する。

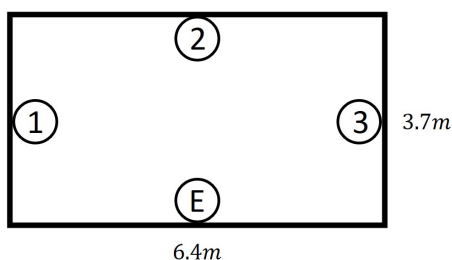


図1: 実験環境の鳥瞰図

2.1.2 ロボット

図2に本実験で用いたロボットの実物の写真を示す。台車型のロボットに円筒型の身体を搭載することによって図2のロボットを実現した。

ロボットは円筒型をしており、全長は1.3mで、底面の直径は約0.4mである。被験者がロボットは集団の一員であると感じるようにするために、人間とロボットが共有する空間の一部をロボットは存在感をもって占有しているという印象を被験者に与える必要があった。そこでロボットは人間が直立した状態でインタラクション可能な大きさであることが望ましい。したがって、全長を1.3mとした。また、ロボットはオムニホイールによって全方向に移動可能である。加えて、ロボットの目と口によって、集団内の人間はロボットがどの方向を向いているのかを知ることが可能である。

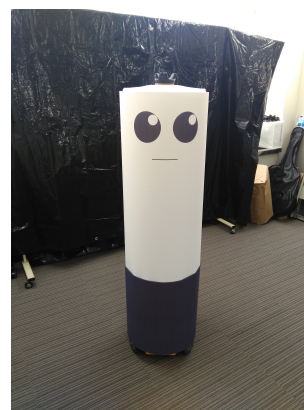


図2: 実験に使用したロボット

2.1.3 被験者

被験者は12人の大学生もしくは大学院生(男:女=9:3)で、平均年齢は21.25歳、全員工学を専攻している。全ての被験者は本研究の内容について事前に知らされていない状態で実験に参加した。

2.2 実験全体の流れ

実験全体としては、実験主催者は被験者にロボットを紹介した後に、ロボットの評価実験を実施する。実験タスクに集団で取り組む前に、被験者はまずロボットが移動の様子を観察する。この時、被験者はロボットが実験主催者を追いかける様子を観察することによって、ロボットの移動の仕方を実験タスクを実施する前に知ることになる。その後、実験タスクについての説明を被験者に行い、実験を実施する。

実験タスクを実施するためにはまず、図1に示す1, 2, 3, Eの位置に人間被験者とロボットを含む集団メンバは移動する。1, 2, 3, Eは実験タスクにおける初期位置とする。その後、実験主催者の命令に従って、1, 2, 3の位置にいる人間もしくはロボットが移動する。この時、Eに立っている実験主催者のうちの一人である人間は移動しない。命令によって移動している人間もしくはロボットはEに立っている実験主催者に向かって接近した後に立ち止まる。その後、集団の一員として共に移動したロボットの印象について被験者はアンケートで回答する。以上の初期位置に立つところからアンケートに回答するまでを実験タスク1試行分とする。1人の被験者に対して、この試行を4回実施した。また、4試行のうち2試行は提案モデルによって操作されるロボットが参加し、残りの2試行は比較モデルによって操作されるロボットが参加した。

2.3 実験タスク

実験タスクに取り組む人間とロボットの集団は実験被験者・ロボット・実験主催側の人間2人の合計4人によって構成される。実験タスク実施にあたり、それぞれの試行において実験被験者とロボットは図1の初期位置1もしくは2の位置に立つ。一方、すべての試行において、実験主催側の人間の1人は図1の位置Eに立ち、もう一人は実験タスク実施時には位置3に立つ。前者を実験主催者、後者を実験協力者と定義する。

実験タスクでは、実験主催者が図1の位置1, 2, 3に立つ集団メンバに命令を与え、それに従い他の集団メンバが移動することによって移動が発生する。命令とは「先導者の立ち位置に合わせて集団としての和を保ちながら移動せよ」というもので、先導者とは位置3に立つ実験協力者である。先導者は他者の存在を考慮せず積極的に実験主催者に向かって移動する役割を持ち、先導者の存在によって集団の和は破られる。そこで、集団の和を保つために実験被験者とロボットは先導者である実験協力者の移動の度合いに追従して移動する必要があり、集団全体としてはメンバ全員が距離感を保つことに繋がる。加えて、実験タスクでは、実験協力者はただ実験主催者に接近するのではなく、途中でしばらく一時停止してから移動を再開する。この移動に対応するためには、追従する被験者とロボットはいったんその停止に合わせて距離感を保てる位置で同様に停止する必要がある。

したがって、被験者は初期位置1もしくは2から実験タスクに取り組む中で、同様にそのタスクに取り組むロボットの印象をアンケートによって回答する。

2.4 比較用ロボット

提案モデルと先行研究でのロボットを比較するために、本実験では比較用ロボットを用意した。比較用のロボットは図2のロボットと同様のデザインだが、指定された移動経路を移動するのみである。つまり、比較用のロボットは移動の方法の点において提案モデル搭載ロボットと異なる。

比較用のロボットの移動経路生成のために、本実験環境において実験タスクを人間のみの集団で実施し、その集団が移動する様子を記録した。具体的には、各集団メンバの実験タスク開始時と終了時の立ち位置を記録した。したがって、人間集団のうちのメンバ2人が図1の初期位置1, 2から移動して最終的に立ち止まった地点までの2つの経路が得られた。よって、人間とロボットの集団での実験タスクでは、比較用ロボットが立つ初期位置は1か2のどちらかであるので、事前に人間から得られた経路を基に比較用ロボットは移動する。

2.5 印象調査のためのアンケート

被験者は各試行が終わるごとに、その試行に参加したロボットについての印象を評価する。被験者は「Xという印象を受けたか」という質問に対して{0: かなり同意できない, 1: 同意できない, 2: やや同意できない, 3: やや同意できる, 4: 同意できる, 5: かなり同意できる}の6つの選択肢を基に評価する。Xには表1の評価項目が入る。

表1のアンケート項目によって、実験タスクを集団で取り組む中で、被験者はロボットが適応性を持っていると感じたかどうか、集団の中でのロボットの振舞いから受ける印象を調査する。前者には表1の質問番号1から6までが対応しており、後者は質問番号7から11までが対応している。加えて、被験者は1回の実験の中で提案モデル搭載ロボットと比較用ロボットと共にそれぞれ2試行分ずつ実験タスクに取り組む。したがって、それぞれのロボットのアンケートの結果が得られることで、その結果の差を検討することが可能になる。

2.6 結果

図3と図4にアンケートの結果を示す。図3はロボットの適応性に関する質問の結果で、図4はロボットの全体的な印象に関する質問の結果である。凡例にはproposed modelとmodel for comparisonの2つがあり、それぞれ距離感モデル搭載ロボットと比較用ロボットを指す。各質問項目では提案モデル搭載ロボッ

番号	評価項目
1	ロボットに適応性がある
2	ロボットが他者本位である
3	ロボットは従属的である
4	ロボットは融通が利かない
5	ロボットは無作法である
6	ロボットは自分本位である
7	ロボットは機械的である
8	ロボットは知的である
9	ロボットには意識がある
10	ロボットは他者に対し反応的だ
11	ロボットに親しみやすい

トと比較用ロボットの間には、有意差があることが確認された。統計的仮説検定の手法には、小さいサンプルに利用可能な Brunner-Munzel 検定 [7] を用いた。

図 5 には代表的な集団の移動経路を示す。X-Y 平面に対して縦軸 time step を加えることによって、各 time step における各集団メンバの立ち位置を 0.5 秒ごとに示している。それぞれの移動経路では動かない実験主催者 (Examiner) に他の集団メンバが移動している様子が分かる。上 2 つのグラフは提案モデル搭載ロボットが参加した集団で下 2 つのグラフは比較用ロボットが参加した集団を示している。

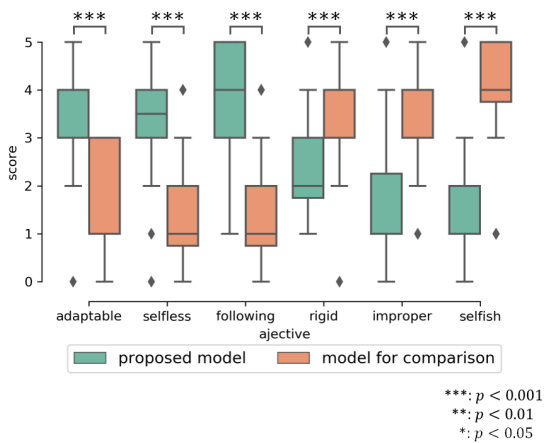


図 3: ロボットの適応性についてのアンケート結果

2.7 考察

図 3 より、全体的に適応性に関する指標では提案モデル搭載ロボットが比較用ロボットを上回っている。加えて、図 4 より知性・反応性・親密さについては高いスコアかつ比較用ロボットとの有意差があることが分

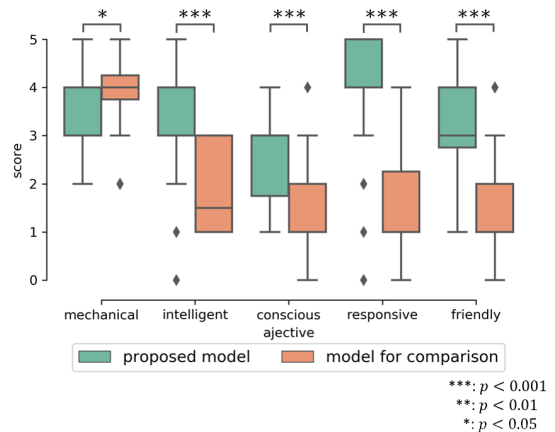


図 4: 実験タスクを経験する中のロボットに対する印象についてのアンケート結果

かる。しかしながら、提案モデル搭載ロボットについては mechanical のスコアが高い傾向にあったため、ロボットは生き物らしい自然な動きを実現できなかった可能性がある。よって、アンケートの結果から、提案モデル搭載ロボットは比較用ロボットに比べて適応的に移動し、被験者に対して知性や反応性の良さ、親密さを印象付けられたことが明らかになった。

図 5 の上 2 つのグラフでは Leader (実験協力者) が立ち止まる中でロボットも距離感を合わせて停止していることが分かる。一方で、比較用ロボットは周囲の状況にかかわらず Examiner (実験主催者) に接近したことが分かる。よって、移動経路の記録からも、提案モデル搭載ロボットは集団の変動的な移動に適応して移動できたと明らかになった。

3 まとめ

本研究はロボットが人のコミュニティ内のメンバとして参加する場合、その場の人々の位置からその場に合った距離感を学習し、自らの位置を決定するモデルを評価したものである。人間はコミュニティ内において他者との距離を親密さや社会的文脈といった構成要素に依存して決定する。そこで、ロボットと人が共存するコミュニティにおいて、ロボットは人々が持つ他者との距離感を学習し、その場の距離感に合わせて自らの立ち位置を決定する必要がある。そのために、本研究は先行研究 [6] において提案された立ち位置決定モデルを実ロボットに搭載し、実空間での人間とロボットの集団においてその性能を評価した。実験の結果、人間の被験者は提案モデルを搭載したロボットが比較対象と比べて集団に対して適応性があると感じることが分かった。

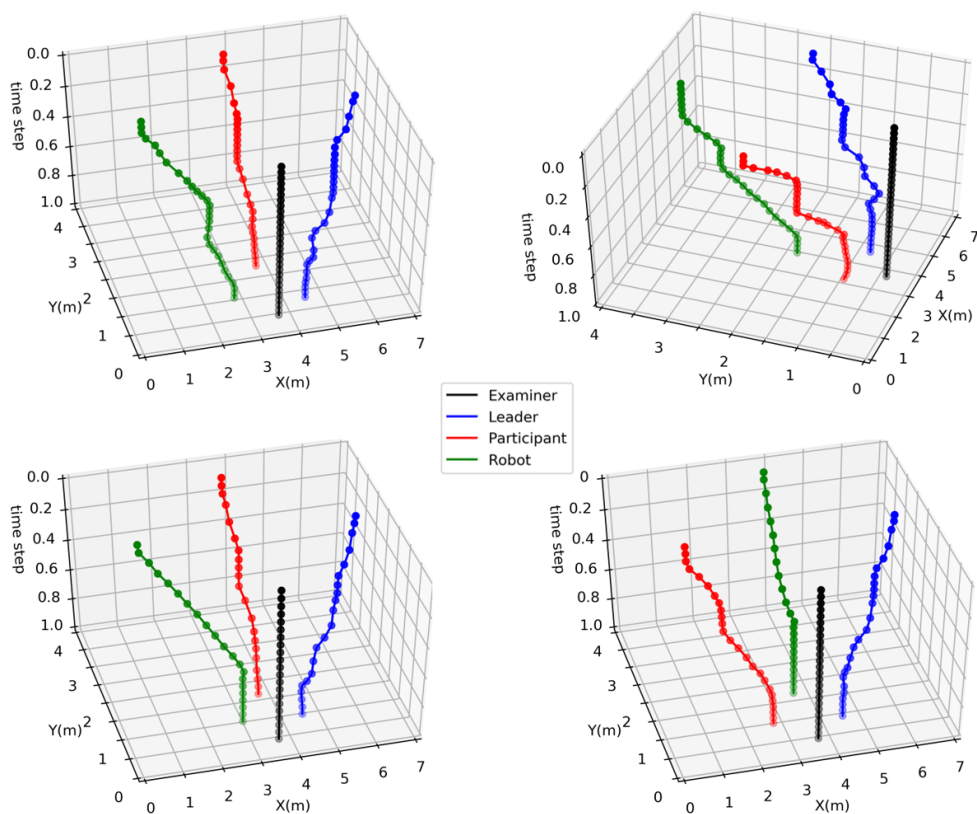


図 5: 実験タスクにおける代表的な 4 つの移動経路。上 2 つは提案モデル搭載ロボット, 下 2 つは比較用ロボットの移動経路。

今後は、立ち位置決定モデルの改良を進めるとともに、様々なシチュエーションにおいて人間の動的な移動の仕方に適応して移動可能か調査する。

参考文献

- [1] E. Sundstrom et al.: Interpersonal relationships and personal space: Research review and theoretical model, *Human Ecology*, Vol.4, No.1, pp.47-67 (1976)
- [2] J. Cheng et al.: Autonomous Navigation by Mobile Robots in Human Environments: A Survey, *2018 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO)*, pp.1981-1986 (2018)
- [3] D. C. Feldman: The Development and Enforcement of Group Norms, *The Academy of Management Review*, Vol. 9, No. 1, pp. 47-53 (1984)
- [4] Y. Fuse et al.: Social Influence of Group Norms Developed by Human-Robot Groups, *IEEE Access*, Vol. 8, pp. 56081-56091 (2020)
- [5] L. Takayama et al.: Influences on proxemic behaviors in human-robot interaction, *2009 IEEE/RSJ Intl. Conf. on Intelligent Robots and Systems*, pp. 5495-5502 (2009)
- [6] Y. Fuse et al.: Navigation Model for a Robot as a Human Group Member to Adapt to Changing Conditions of Personal Space, *Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics*, Vol. 24, No. 5, pp. 621-629 (2020)
- [7] K. Neubert et al.: A studentized permutation test for the non-parametric Behrens-Fisher problem, *Computational Statistics and Data Analysis*, Vol. 51, pp. 5192-5204 (2007)