

多人数対話における傍参与ロボットの 身体ねじりの変化が人の内部推定に与える影響

Effects of Changes in Body Torque of a Side-Participant Robot on Human Internal Estimation in Multi-Party Conversations

高木カレブ^{1*} 坂本孝丈¹ 市川淳¹ 竹内勇剛¹

Karebu TAKAGI¹ Takafumi SAKAMOTO¹ Jun ICHIKAWA¹ Yugo TAKEUCHI¹

¹ 静岡大学

¹ Shizuoka University

Abstract: 人は多人数対話場面において、視線やジェスチャーといった身体的シグナルを手がかりに、他者の内部状態を推定しながら円滑なコミュニケーションを行っている。多人数対話において、参加者はそれぞれ異なる役割（発話者、聞き手、傍参与者など）を担い、対話の流れに応じてその役割を変化させる。特に、対話に直接関与しない傍参与者（ロボット）の身体的シグナルが、他の参加者の意図推定や対話選好行動にどのような影響を与えるのかは十分に検討されていない。本研究では、身体ねじり（body-torque）の知見に基づいて、多人数対話における傍参与者の胴体の向きと頭部の振り向き動作が、他の参加者の意図推定や他者への態度の表出に与える影響を検討する。本稿では、映像視聴実験を通じて、一人称視点の映像課題を用い、傍参与者の身体シグナルが対話の認知や参加行動に及ぼす影響を分析する。実験では、傍参与者の胴体の向きを発話者に向けるか聞き手（参加者）に向けるか、頭部の振り向き動作を発話者側に行くか聞き手側に行くかを操作し、それぞれの影響を調査した。実験の結果、胴体の向きによって傍参与者（ロボット）の快適さに対する評価が変化することが確認された。また、頭部の振り向き動作については、特定の条件で意図性が感じ取られる傾向が示唆された。本研究の知見は、多人数対話におけるロボットの身体的シグナルの設計や、対話の流れに応じたインタラクションデザインに貢献することが期待される。

キーワード 身体ねじり, 多人数インタラクション, 参与枠組み, 対話構造

1 はじめに

近年、コミュニケーションロボットは多人数対話場面での活用が期待されており、ロボットが人間と自然に対話を継続するためには、参加者の身体的シグナルを適切に解釈し、対話への関与の度合いを調整する必要がある [1]。特に、対話に直接関与しない傍参与者の身体的シグナルが、他の参加者の認知や行動にどのような影響を及ぼすかを理解することは、ロボットの向社会的な振る舞いを設計する上で重要である。

多人数対話における先行研究では、参加者間の空間的な身体配置とその調整（移動）によって、対話への参

与の度合いが変化することが示されている [2, 3]。このような空間的身体配置は、他者の対話への関与や興味関心を示すために重要であるが、単に空間配置を調整するだけでなく、対話相手の気持ちや関心を推測し、それに基づいて自らの行動を調整する必要がある。そして参加者は、他者の視線やジェスチャーだけでなく、上半身と下半身の方向付けの違いによって発生する「身体ねじり（body torque）」を手がかりに、他者の内部状態を推定し、対話の進行を調整することが知られている [4]。しかし、このような対人認知の側面を多人数対話において身体ねじりの観点から体系的に分析した研究は十分に行われていない。

筆者らの先行研究では、日本科学未来館でのフィールド実験でロボット2体を設置し、多人数対話場면을

*連絡先：静岡大学情報学部情報科学科
〒432-8011 静岡県浜松市中央区城北3-5-1
E-mail: takagi.karebu.19@shizuoka.ac.jp

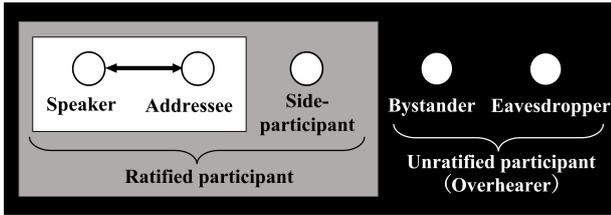


図 1: 対話の参与構造 (坊農真弓 (2004) の図を加筆, 修正)

再現した. この実験では, 参加者とロボット 2 体のインタラクションを観察することで, ロボットの頭部や胴体の向きが新規参加者の発話行動や対話持続時間に影響を及ぼすことを明らかにした [5, 6, 7].

また, 直接対話しているロボットだけでなく, 傍参与しているロボットの身体ねじりが参加者の振る舞いに影響を与える可能性も示唆された. しかし, 対話中の動的な身体方向の変化に関する分析は未検証であり, フィールド実験における環境要因の影響も十分に統制されていなかった.

そこで本研究では, 統制された環境においてロボットの身体的シグナルが参加者の対人認知や意図推定に与える影響を検討するため, 映像視聴実験を実施する. 実験では, 参加者に聞き手の立場として一人称視点の映像を視聴してもらい, ロボットの胴体方向と頭部の振り向き動作が, 対話の選好やロボットの意図推定に与える影響を分析する. 本研究は, 多人数対話における身体ねじりが対人認知や対話選好に及ぼす影響を明らかにすることで, ロボットの自然な対話行動設計に資する知見を提供することを目的とする. 得られた知見は, ロボットが複数の人間と適応的に対話を行うための行動設計の基盤となることが期待される.

2 関連研究

2.1 対話の参与構造

多人数対話における参加者の役割は, 各参加者によって異なり, 参与を承認された者と参与を承認されていない者に二分することが可能である [8, 9, 10, 11] (図 1). 承認された参加者として, 対話場で現在話している人物である「話し手 (Speaker)」に対して, 発話を受ける人物を「受け手 (Addressee)」と, 聞き手として選ばれていないが, 対話場には入っている「傍参与者 (Side participant)」が存在している. さらに, 承認されてい



図 2: 身体ねじりとか関与の方向

ない参加者として, 対話を外から見ている人物を「傍観者 (Bystander)」, 対話を盗み聞きしている者を「盗聴者 (Eaves-dropper)」が存在している. 対話の参与役割は話者交替が起きるたびに動的に変化し, 参与役割は「話し手」「聞き手」「傍参与者」の順で会話の中核を占めている.

本研究では, 直接言葉を交わしていない傍参与者の身体的シグナルが, 他の参加者の内部推定にどの程度影響を及ぼすのかを検証するための実験デザインを行う.

2.2 身体ねじり (Body torque)

身体ねじりとは下半身を固定したまま上半身をひねるという分岐的振る舞いのことを指し, 安定性の高い下半身の方向付けは主要関与 (main involvement) を表し, 一時的な上半身の方向付けは副次的関与 (side involvement) を表す [4][12] (図 2). すなわち, 人の安定性の高い下半身の方向付けは一時的な上半身の方向付けに比べてより関与の強い活動に向く. 身体ねじりの知見は上半身と下半身に限定されず, 身体の各部位がどこに向いているかはその人がどの活動にどの程度関与しているかを表すシグナルとして機能すると指摘されている.

先行研究ではロボットの身体ねじりが相互作用上の意味を持ち, 人の行動に影響を及ぼすことが明らかになっている [13, 14, 15]. その一方で, 身体ねじりに基づく対人認知と内部推定のプロセスについて深く議論した研究はこれまでになかった.

本研究では, 身体ねじりの知見に立脚して実験条件を設定し, ロボットの身体ねじりが人間の内部推定に与える影響を分析する.

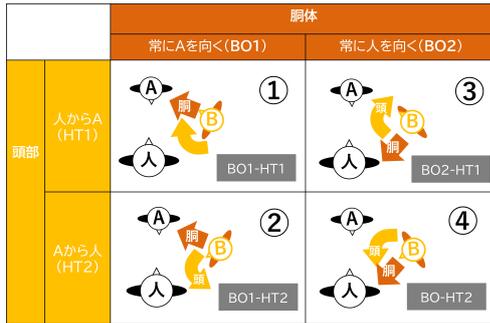


図 3: 条件



図 4: 参加者に提示した対話映像

3 実験

3.1 目的

本実験では、傍参与者であるロボットの胴体の向きと頭部の振り向き動作が、対話中の人間の対人認知や意図推定に与える影響を検証する。

3.2 条件

ロボット B の身体動作は、胴体の向きと頭部の振り向き動作の 2 要因×2 水準の組み合わせで構成される。胴体の向きは「ロボット A を向く (BO1)」または「一人称視点の人物を向く (BO2)」の 2 種類、頭部の振り向き動作は「人からロボット A に向き直す (HT1)」または「ロボット A から人に向き直す (HT2)」の 2 種類とした。これらの組み合わせにより、BO1-HT1、BO1-HT2、BO2-HT1、BO2-HT2 の 4 条件を設定し、各映像に割り当てた (図 3)。

3.3 手続き

本実験では参加者が一人称視点の 4 本の映像 (各 1 分前後) を視聴し、それぞれの映像を視聴した後に各ロボットの印象を評価するセクションアンケートと、全映像を視聴した後の全体アンケートに回答した (図 4)。

参加者に提示する 4 本の映像は本来の実験意図を隠すために対話シナリオが異なる。セクションアンケートでは映像ごとの影響を測定し、全体アンケートではロボットの動作が対人認知に与える総合的な評価を行った。

実験は予備試行と本試行の 2 回に分けて実施した。予備試行には静岡大学の学生 58 名 (男性 48 名, 女性 10 名, 平均年齢 19.6 歳), 本試行には 16 名 (男性 13 名, 女性 3 名, 平均年齢 21.4 歳) が参加した。予備試行では対話シナリオの提示順が回答に与える影響を検討し、映像に対応する条件の提示順を固定した。一方、本試行では条件の提示順をラテン方格法で統制し、シナリオ順は固定することで映像の提示順による影響を精査した。すべての参加者は各自の PC とイヤホンを使用し、視聴環境を統一した。

映像内では、発話者であるロボット A が一人称視点の参加者に福袋を提案し、終盤で購入を促す。傍参与者であるロボット B はこの発話のタイミングで頭部を動かし、身体ねじりの変化を生じさせることで、胴体と頭部の向きが意図推定に与える影響を分析した。

3.4 観察項目

各映像視聴後のセクションアンケートでは、ロボット A の信頼性や親密さ、ロボット B の快適性や態度、関与度、さらに福袋の魅力度について 7 段階のリッカート尺度で評価を行った。

全映像視聴後の全体アンケートでは、福袋の選択と満足度、ロボット A および B の影響度を 7 段階のリッカート尺度で評価し、「ロボット B の振り向き動作に対する印象」の自由記述を通じて、ロボット B の振る舞いの意図性や対話への影響を考察した。「ロボット B の振り向き動作に対する印象」の自由記述項目については、テキスト解析を用いて回答を分類し、ネガティブな評価、意図性の認識、役割・立場の認識、ポジティブな評価、その他の 5 つのカテゴリに整理した。

以上のセクションアンケートと全体アンケートの回答から、ロボット B の胴体の向きと振り向き動作によってロボットに対する印象や情報の信頼度がどの程度変化するかを分析した。

アンケートの各設問の内容と評価方法を付録の表 6 に提示する。

3.5 仮説

本実験では、ロボット B の身体的振る舞いが意図推定や役割認識に与える影響を検証するため、以下の仮説を設定した。

まず、ロボット B の胴体の向きが対話における役割認識に与える影響を考える。身体ねじりの知見によれば、安定性の高い胴体の方向付けは、瞬時に変えることができる頭部の方向付けに比べて強い関与を示すとされている ([4])。そのため、ロボット B の胴体が一人称視点の人物に向いている場合、ロボット A と協力関係にある販売員のように認識され、購買促進の意図が強調される可能性がある。一方で、ロボット A に向いている場合、観察者や評価者として認識される可能性がある。

次に、ロボット B の頭部の振り向き動作が参加者の態度推定に与える影響を検討する。ロボット B がロボット A から人に向き直す場合、ロボット A の発話を支持する意図が伝わる可能性がある。逆に、人からロボット A に向き直す場合、内容への関心や懐疑的な態度として解釈される可能性がある。さらに、胴体の向きと頭部の振り向き動作の交互作用が、意図解釈に影響を及ぼすかどうかを検証する。例えば、胴体が人に向いている場合、頭部の動きが対話の圧力を増幅し、ロボットの意図性がより強く知覚される可能性がある。

4 結果

4.1 シナリオ間での比較

表 6 のセクションアンケート (Q1~Q9, Q12) の 10 設問について、シナリオの内容が回答に影響を及ぼすかを検討するため、各設問の回答スコアについて、シナリオ 4 つの間での差を検証するために 1 要因被験者内分散分析を実施した。その結果、予備試行では Q1 および Q4 でシナリオに主効果が認められた。さらに多重比較の結果、Q1 では「シナリオ A」と「シナリオ C」の間に有意な差が確認され、Q4 では「シナリオ B」と「シナリオ D」で有意な差が認められた ($Q1: F(3, 171) = 5.84, p < .01; Q4: F(3, 171) = 9.00, p < .01$)。また、Q12 では統計的に有意な差は見られなかったものの、有意傾向が示された ($F(3, 171) = 2.23, p < .1$) (表 1)。

一方、本試行では Q4, Q6, Q7, Q8, Q9 でシナリオ間に主効果が認められた。多重比較の結果、Q4 では「シナリオ A」と「シナリオ C」、Q6 では「シナリオ B」

表 1: 予備試行におけるシナリオ間の比較結果

設問	F 値	有意性	効果量 (f)	多重比較の結果 (Holm)
Q1	5.84	**	0.3201	A > D, B > D, C > D
Q2	0.85	n.s.	0.1223	-
Q3	0.68	n.s.	0.1088	-
Q4	9.00	**	0.3973	A > D, C > D, B < C
Q5	0.76	n.s.	0.1153	-
Q6	0.85	n.s.	0.1221	-
Q7	0.25	n.s.	0.0657	-
Q8	1.48	n.s.	0.1613	-
Q9	0.90	n.s.	0.1254	-
Q12	2.23	+	0.1978	n.s.

注: **は $p < .01$, *は $p < .05$, +は $p < .1$, n.s. は有意差なしを示す。

多重比較の結果は Holm 法による検定を表記している。

表 2: 本試行におけるシナリオ間の比較結果

設問	F 値	有意性	効果量 (f)	多重比較の結果 (Holm)
Q1	0.94	n.s.	0.2508	-
Q2	2.26	+	0.3885	n.s.
Q3	2.26	+	0.3885	n.s.
Q4	4.24	*	0.5318	A > D, C > D
Q5	2.77	+	0.4301	A < C
Q6	3.56	*	0.487	A < C
Q7	3.56	*	0.487	A < C
Q8	3.01	*	0.4479	n.s.
Q9	4.52	**	0.5491	A < C
Q12	0.88	n.s.	0.2422	-

注: **は $p < .01$, *は $p < .05$, +は $p < .1$, n.s. は有意差なしを示す。

多重比較の結果は Holm 法による検定を表記している。

と「シナリオ D」、Q7 では「シナリオ C」と「シナリオ D」、Q8 では「シナリオ A」と「シナリオ B」、Q9 では「シナリオ A」と「シナリオ D」でそれぞれ有意な差が確認された ($Q4: F(3, 171) = 4.24, p < .05; Q6: F(3, 171) = 3.56, p < .05; Q8: F(3, 171) = 4.24, p < .05; Q9: F(3, 171) = 4.52, p < .01$) (表 2)。

また、Q2, Q3, Q5 では有意傾向が見られたが ($Q2: F(3, 171) = 2.26, p < .1; Q3: F(3, 171) = 2.26, p < .1; Q5: F(3, 171) = 2.77, p < .1$)、Q1 および Q12 では統計的な差は確認されなかった ($Q1: F(3, 171) = 0.94, n.s.; Q12: F(3, 171) = 0.88, n.s.$)。予備試行と本試行の詳細な結果については、表 1 および表 2 にて提示する。

4.2 セクションアンケートの結果 (Q1-Q9)

セクションアンケートの回答のうち、ロボットの印象や態度、情報の信頼度に関わる設問の回答に対して、ロボット B の胴体要因 (BO: Body Orientation Factor) および頭部要因 (HT: Head Turn Factor) を独立変数とした 2 要因被験者内分散分析を実施した。予備試行および本試行における各設問の統計分析の結果を、付録の表 8, 表 9 に示す。

その結果、予備試行では Q2, Q5, Q6, Q8 において胴体要因 (BO) の主効果が認められ、「BO1 (ロボット A 向き)」と「BO2 (人向き)」の間では、いずれも BO2 の条件でスコアが高くなった (Q2: $F(1, 57) = 12.52, p < .01$; Q5: $F(1, 57) = 8.24, p < .01$; Q6: $F(1, 57) = 9.84, p < .01$; Q8: $F(1, 57) = 10.86, p < .01$)。

さらに、Q9 では頭部要因 (HT) の主効果が認められ、「HT1 (ロボット A に向き直る)」と「HT2 (人に向き直る)」の間に有意な差が確認され、HT2 の条件でスコアが低くなった ($F(1, 57) = 8.98, p < .01$)。

一方、本試行では設問 Q6 においてのみ胴体要因 (BO) の主効果が認められ、「BO1 (ロボット A 向き)」と「BO2 (人向き)」の間では、BO2 の条件でスコアが高くなった。 ($F(1, 15) = 7.98, p < .05, \eta^2 = 0.3472$)。その他の設問では、いずれの要因においても統計的に有意な差は確認されなかった ($p > .05$)。

このことから、予備試行では複数の設問で胴体要因の効果が認められたものの、本試行ではその影響が Q6 に限定されたことが示唆される。

4.3 福袋の魅力度と順位付け (Q12, Q14)

予備試行および本試行において、福袋の魅力度 (Q12) の 7 段階評価に対して、胴体要因 (BO)、頭部要因 (HT)、およびその交互作用 (HT × BO) を独立変数とした 2 要因被験者内分散分析を実施した。

その結果、いずれの要因においても主効果および交互作用効果は認められなかった ($p > .05$)。また効果量 (η^2) は、胴体要因で 0.0011、頭部要因 0.0546、交互作用 0.0062 であった。各条件の平均スコアを表 3 に示す。

次に、福袋の順位付け (Q14) に関してフリードマン検定を実施したが、4 条件間に有意な差は確認されなかった (予備試行: $\chi^2(3) = 7.634, p = .054$; 本試行: $\chi^2(3) = 4.125, p = .248$)。さらに、Q14 の順位スコア (1 位=4 点, 2 位=3 点, 3 位=2 点, 4 位=1 点) を用い

表 3: 各条件の魅力度 (Q12) の平均スコア

条件	予備試行 (M)	本試行 (M)
BO1-HT1	3.71	4.38
BO1-HT2	3.91	4.62
BO2-HT1	3.53	4.69
BO2-HT2	3.98	4.81

表 4: BO 要因・HT 要因の t 検定結果

要因	試行	M_{BO1}	M_{BO2}	$t(df), p$
BO 要因	予備試行	2.65	2.35	$t(57) = 1.70, p = .094$
BO 要因	本試行	2.531	2.469	$t(15) = 0.235, p = 0.817$
要因	試行	M_{HT1}	M_{HT2}	$t(df), p$
HT 要因	予備試行	2.50	2.50	$t(57) = 0.00, p = 1.00$
HT 要因	本試行	2.812	2.188	$t(15) = 1.908, p = 0.076$

た対応のある t 検定を実施した結果、いずれの要因についても有意な差は確認されなかった (表 4)。

以上の結果から、福袋の魅力度 (Q12) および順位付け (Q14) に対するロボット B の胴体や頭部の動作の効果は確認されなかった。

4.4 ロボット B の振り向き動作に対する評価

3.4 節のラベリングの基準に基づき、Q20 「ロボット B の振り向き動作に対してあなたはどのように感じましたか」の自由記述回答をラベリングし、各ラベルの数を数えることでロボット B の振り向き動作に対する印象を評価する。分析結果を表 5 に示す。

予備試行 58 名と本試行 16 名をあわせた 74 名の回答のラベルを計上した結果、ロボット B の振り向き動作に対するネガティブな印象を示した Label1 は 47 名、意図性を感じ取った Label2 は 27 名、役割や立場を感じ取った Label3 は 11 名、ポジティブな印象を示した Label4 は 2 名、その他の Label5 は 3 名という結果となった。

5 考察

5.1 実験デザインに関する検討

予備試行ではシナリオの提示順を、本試行では条件の提示順をラテン方格法で入れ替えることでそれぞれの要因の効果と、提示順の影響を分析した。

表 5: Q20 自由記述回答のラベル分類結果

ラベル	内容	出現頻度
Label1:	ネガティブな感情	47 名
Label2:	意図性を感じた	27 名
Label3:	役割や立場を感じた	11 名
Label4:	ポジティブな感情	2 名
Label5:	その他	3 名

4.1 節での、両試行でのシナリオ間での比較の結果、シナリオの順序効果が統制されていた予備試行では Q1, Q4, Q12 でのみシナリオ間の有意差が確認されたが、本試行では Q1, Q12 を除く 8 項目で有意差または有意傾向が確認された。同様に、両試行での胴体要因、頭部要因間の比較では、予備試行では Q2, Q5, Q6, Q8, Q9, Q12 の 6 項目で有意差または有意傾向が見られたが、本試行では Q4 と Q6 の 2 項目のみであった。これは、実験デザインがシナリオと条件両方の順序効果の影響を受けやすいものであることを示しており、純粋な胴体要因と頭部要因の影響を検証するためには、本試行の回答を中心に分析する必要がある。そのため、以降の章では本試行の結果を中心に考察を行う。

5.2 ロボット B の動作に関する考察

5.2.1 セクションアンケート

4.2 節の本試行の Q6 (「あなたはロボット B の存在が快適だと感じた」) では、胴体要因に主効果が確認された。

Q6 の平均スコアを比較すると、胴体がロボット A に向いている条件 (BO1) では 2.97、胴体の人に向いている条件 (BO2) では 3.91 であり、後者の方が快適に感じられる傾向が見られた。また、効果量 (η^2) は 0.3472 と非常に大きく、ロボット B の胴体の向きが参加者の快適さの評価に強く影響を与えることを示している。

さらに、両条件において平均スコアは中央の 4.0 を下回っており、ロボット B の存在そのものは快適とは言い難い。しかし、胴体が自身を向くことで不快感が軽減される可能性がある。この結果は、ロボット B の胴体の向きが対人関係において肯定的な態度を示す要素となり得ることを示唆している。

以上の結果から、本試行ではロボット B の胴体の向きが参加者から他者への態度を示している可能性が示唆された。

5.2.2 福袋の魅力度 (Q12) と順位付け (Q14) を踏まえた議論

4.3 節の福袋の魅力度 (Q12) および福袋の順位付け (Q14) に関する分析では、胴体要因 (BO)、頭部要因 (HT)、およびその交互作用に有意な効果は確認されなかった。

特に Q12 では胴体要因、頭部要因、交互作用のいずれも効果量 (η^2) が小さく、Q14 でも順位スコアを用いた分析で有意な差は見られなかった。また、予備試行と本試行で結果が一貫していることから、ロボット B の身体的シグナルが福袋の評価や順位付けに与える影響は限定的であると考えられる。

さらに、効果量が極めて小さいことは、サンプルサイズを増やしても結論が大きく変わらない可能性を示唆しており、ロボット B の身体的シグナルが普遍的な推薦効果を持たない可能性を示す重要な知見である。

5.2.3 自由記述 (Q20) の結果を踏まえた補足議論

一方で、ロボット B の振る舞いが完全に無意味であったとは言い切れない。

4.4 節の自由記述分析では、「意図性を感じた」「推薦の意図を持っていると感じた」といった回答が 3 割程度の参加者で見られたほか、一部の参加者はロボット B を「威圧的」または「自分に向けた態度を示している」と感じていた。これは、ロボット B の振る舞いが状況や個人の解釈に依存し、特定の条件下では意図の表出につながる可能性を示唆している。

Q12, Q14 で一貫した意図性が観測されなかったのは、参加者の特性や映像の提示順などの外部要因による影響が大きいためと考えられる。つまり、ロボット B の行動は全参加者に均一な意図を伝えるものではなく、特定の状況下でのみ推薦や威圧といった意図的な印象を与える可能性がある。

5.3 総合考察

本研究で実施した映像視聴実験は、映像の提示順序の影響を受けやすく、条件の提示順序が固定されていた予備試行では一部の主効果が確認されたが、本試行では統制された条件下でその効果は限定的であった。また、本試行において胴体要因や頭部要因の効果はほとんど統計的に有意でなく、ロボット B が身体動作によ

て意図性や役割を一貫して表出する能力が十分でないことが示唆された。

一方で、ロボット B の胴体の向きが参加者の快適さの評価に影響を与えることが確認された。特に、ロボット B の胴体が人に向く条件では、A に向く条件よりも快適さが高く評価された。これは、身体の向きが安心感や快適さに関与する可能性を示している。また、Q20 の自由記述では、ロボット B の振る舞いに意図性や役割を感じ取った参加者が一定数存在し、特定の条件下では身体的シグナルが限定的ながら影響を与える可能性が示された。

しかし、本試行ではロボット B の身体的シグナルが一貫した意味を持たず、福袋の推薦意図や評価への影響も限定的であった。これは身体ねじりといった身体的シグナルの解釈は文脈や環境要因の影響を受けやすいため、解釈が様でなく対話状況や参加者間の関係性に応じて動的に変化するためであると考えられる。

本研究では再現性を確保するために映像視聴環境と事前に用意されたシナリオを用いたが、この制約により参加者が対話に直接参与している感覚が薄れ、ロボットの身体的シグナルの効果が限定的になった可能性がある。今後の研究では、実空間で自由な対話を伴う実験を実施することで、身体的シグナルの解釈がどのように状況に応じて変化するかをより明確に検証する必要がある。

6 おわりに

6.1 まとめ

本研究では、多人数対話におけるロボットの身体ねじり (body torque) が人間の行動や認知に与える影響を検討した。特に、対話に直接関与しない傍参与ロボットの胴体の向きと頭部の振り向き動作が意図推定や対話構造に及ぼす影響を、映像視聴実験を通じて分析した。

実験の結果、ロボット B の身体的シグナルによる意図推定への一貫した影響は確認されなかったものの、一部の参加者がロボットの動作に対して意図性や役割を認識する傾向が見られた。また、胴体の向きについては、ロボット B の存在を快適に感じる評価が条件によって変化することが示された。

本研究の貢献は、従来の 1 対 1 対話の枠を超え、多人数対話における傍参与ロボットの身体シグナルが対話構造を調整し、人間の行動や認知に影響を与える可能性を実証した点にある。これにより、複数ロボット

が参与する対話環境におけるロボットの役割設計に新たな知見を提供した。

6.2 今後の展望

本研究の結果から、身体ねじりやジェスチャーの解釈は一律ではなく、対話状況や参加者間の関係性に応じて動的に変化することが示唆された。今後の研究では、ロボットの身体的シグナルが文脈や環境要因とどのように相互作用するかを詳細に検討する必要がある。例えば、ロボット B の胴体方向は、ある状況では「受容的」と解釈される一方、別の状況では「干渉的」と認識される可能性がある。今後の研究では、ロボットの身体表現がどのように文脈に適應し、対話の流れを促進・阻害するかを、長時間の対話データやシミュレーションを通じて検討する必要がある。

特に、複数のロボットが参与する対話場面で、各ロボットの身体シグナルがどのように組み合わせられて全体の対話構造を形成するかを明らかにすることが重要となる。最終的には、ロボットが対話状況に適應し、人間の意図を適切に理解しながら柔軟に関与できる動的な行動生成モデルの構築を目指す。これにより、ロボットが社会的エージェントとして円滑なコミュニケーションを実現し、人間と自然に対話できる未来につながることを期待される。

謝辞

本研究は MEXT 科学研究補助金 (22H04862) による研究の一部である。また本研究での実験実施にあたって、実験環境の提供およびご協力していただいた日本科学未来館と、そのスタッフ各氏にお礼申し上げます。

参考文献

- [1] David McNeill. *Psycholinguistics: A new approach*. Harper & Row Publishers, 1987.
- [2] Adam Kendon. *Conducting interaction: Patterns of behavior in focused encounters*, volume 7. CUP Archive, 1990.
- [3] David McNeill. Gesture, gaze, and ground. In *Machine Learning for Multimodal Interaction: Second International Workshop, MLMI 2005*,

- Edinburgh, UK, July 11-13, 2005, Revised Selected Papers 2*, pages 1–14. Springer, 2006.
- [4] Emanuel A Schegloff. Body torque. *Social research*, pages 535–596, 1998.
- [5] 高木カレブ, 坂本孝丈, 市川淳, 竹内勇剛, et al. 身体ねじりを伴うロボット同士の対話への人の新規参与とその持続. In 人工知能学会全国大会論文集 第 37 回 (2023), pages 2O6OS2b04–2O6OS2b04. 一般社団法人 人工知能学会, 2023.
- [6] Karebu Takagi, Takafumi Sakamoto, Jun Ichikawa, and Yugo Takeuchi. Effects of robots’ “body torque” on participation and sustaining multi-person conversations. In *2023 32nd IEEE International Conference on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN)*, pages 38–43. IEEE, 2023.
- [7] Karebu Takagi, Takafumi Sakamoto, Jun Ichikawa, and Yugo Takeuchi. Analysis of behaviors that promote new participation based on body torque of others in robot-human interactions. In *Proceedings of the 11th International Conference on Human-Agent Interaction*, pages 335–342, 2023.
- [8] 坊農真弓, 鈴木紀子, and 片桐恭弘. 多人数会話における参与構造分析—インタラクション行動から興味対象を抽出する. *認知科学*, 11(3):214–227, 2004.
- [9] Herbert H Clark. *Using language*. Cambridge university press, 1996.
- [10] Erving Goffman. *Forms of talk*. University of Pennsylvania Press, 1981.
- [11] 高梨克也. 会話構造理解のための分析単位: 参与構造 (連載チュートリアル 多人数インタラクションの分析手法 [第 6 回]). *人工知能学会誌*, 23(4):538–544, 2008.
- [12] 坊農真弓 and 高梨克也. 会話構造理解のための分析単位: F 陣形 (連載チュートリアル 多人数インタラクションの分析手法 [第 6 回]). *人工知能学会誌*, 23(4):545–551, 2008.
- [13] 川口一画, 葛岡英明, 山下淳, and 鈴木雄介. ロボットによる身体ねじりが対話者の身体配置に与える影響に関する研究. *情報処理学会インタラクション 2016 論文集*, pages 21–28, 3 2016.
- [14] Hideaki Kuzuoka, Yuya Suzuki, Jun Yamashita, and Keiichi Yamazaki. Reconfiguring spatial formation arrangement by robot body orientation. In *Proceedings of the 5th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction, HRI ’10*, pages 285–292. IEEE Press, 2010.
- [15] 山崎晶子, 荻野洋, 山崎敬一, et al. 科学博物館における身体ひねりを用いたロボット (talktorque-2) と観客との相互行為の分析. *電子情報通信学会論文誌 D*, 97(1):28–38, 2014.

表 6: アンケート項目

ロボットAの対話精度	評価方法	選択肢
ロボットAの発話内容は自然だったか	7段階	まったく当てはまらない or 非常によく当てはまる
ロボットAの応答は早かったか	7段階	まったく当てはまらない or 非常によく当てはまる
ロボットAは人間のように感じた	7段階	まったく当てはまらない or 非常によく当てはまる
ロボットAとの対話はストレスだと感じた	7段階	まったく当てはまらない or 非常によく当てはまる
ロボットたちの態度と動作	評価方法	選択肢
ロボットAは自分に親身に接してくれた	7段階	まったく当てはまらない or 非常によく当てはまる
ロボットAに質問しやすかった	7段階	まったく当てはまらない or 非常によく当てはまる
ロボットAの情報は信頼することができた	7段階	
ロボットBの振り向き動作に気が付いた	2択	はい・いいえ
ロボットBの振り向き動作に対してあなたはどう感じましたか	自由記述	
ロボットBが会話に参加していると感じたか	7段階	まったく当てはまらない or 非常によく当てはまる
ロボットBの存在が快適だと感じた	7段階	まったく当てはまらない or 非常によく当てはまる
ロボットBの存在が邪魔だと感じた	7段階	まったく当てはまらない or 非常によく当てはまる
ロボットBはどのような存在・立場だと感じましたか	自由記述	
ロボットBのあなたに対する態度はどうだったか	7段階	忌避 or 受容
ロボットBのロボットAに対する態度はどうだったか	7段階	忌避 or 受容
あなたはロボットAに対してどのように接することを意識しましたか	自由記述	
あなたはロボットBに対してどのように接することを意識しましたか	自由記述	
ロボットAとロボットBはどのような関係だと感じましたか	自由記述	
すべての映像視聴を通じて	評価方法	選択肢
今回の実験で1番欲しいと思った袋は何本目の映像の袋ですか	4択	A・B・C・D
今回の実験で1番要らないと思った袋は何本目の映像の袋ですか	4択	
今回の実験であなたは納得のいく選択ができた	7段階	まったく当てはまらない or 非常によく当てはまる
袋を選択するにあたってどのような点を重視していたか	自由記述	
ロボットの発話は袋の選択に影響を与えたと思う	7段階	まったく当てはまらない or 非常によく当てはまる
ロボットの動作は袋の選択に影響を与えたと思う	7段階	まったく当てはまらない or 非常によく当てはまる
十分ロボットから情報を聞き出すことができた	7段階	まったく当てはまらない or 非常によく当てはまる

表 7: 対話シナリオ

発話者	映像A(特別な福袋)
人	こんにちは、福袋を選びに来ました。
ロボットA	はじめまして！僕の名前は アレク 。
ロボットA	実は、この A の袋、これはちょっと特別なんです。
人	特別って、どういう意味ですか？
ロボットA	守秘義務があるので…開けてからのお楽しみです。でも、その分、ドキドキはどの福袋よりも大きいですよ。
人	うーん、それは確かにワクワクしますね。でも、失敗する可能性もあるんじゃないかな…？
ロボットA	それも含めて楽しいじゃないですか！
ロボットA	サプライズを楽しみたいなら、このAの福袋を選んでみませんか？
ロボットA	分かりました。他の袋も見てから考えてみますね。
ロボットA	どれを選んでもいい福袋間違いなしですよ。ゆっくり考えてみてくださいね！
発話者	映像B(希少価値の高い福袋)
人	こんにちは、福袋を選びに来ました。
ロボットA	はじめまして！僕の名前は ベン 。
ロボットA	どの袋も魅力的ですが、この B の袋、これは、特別に用意されたんです。
人	特別って、どういうことですか？
ロボットA	実は、ここにあるのはほんのわずかしなくて、今しか手に入らないんです。
人	え、それってもう二度と手に入らないんですか？
ロボットA	確実に入手できるのは、今だけです。限定品が好きなら、この福袋は絶対におすすめですよ。
ロボットA	このチャンスを逃したくないなら、このBの福袋を選んでみませんか？
ロボットA	そうなんです…、他の袋も見てから考えてみます。
ロボットA	どれを選んでもいい福袋間違いなしですよ。ゆっくり考えてみてくださいね！
発話者	映像C(人気の福袋)
人	こんにちは、福袋を選びに来ました。
ロボットA	はじめまして！僕の名前は クリス 。
ロボットA	この C の福袋は、すごく人気なんです。
人	人気ってどれくらいですか？
ロボットA	一番選んでいる人が多い袋ですよ。やっぱり、みんなが選ぶのには理由があります。
人	なるほど。でも、他の袋も素敵でしたけど…。
ロボットA	確かに、どの袋も魅力的です。でも、多くの人を選ぶというのは、それだけ満足度が高い証拠でもありますよ。
ロボットA	ぜひ、この福袋Cの購入を検討してみてください。
ロボットA	そうなんです。すぐに決められないので、後で考えてみます。
ロボットA	どれを選んでもいい福袋間違いなしですよ。ゆっくり考えてみてくださいね！
発話者	映像D(オススメの福袋)
人	こんにちは、福袋を選びに来ました。
ロボットA	はじめまして！僕の名前は ダニエル 。
ロボットA	もし迷っているなら、この D の福袋がぴったりですよ。
人	どうしてですか？
ロボットA	人に合うものと考えて、この袋を用意しました。
人	え、本当に？何を基準に選んだんですか？
ロボットA	それは…秘密です。でも、人にとって一番満足できる内容になっているはずですよ。
ロボットA	人に合うのは、このDの福袋です。選んでみませんか？
ロボットA	すごいですね。一度検討してみます。
ロボットA	どれを選んでもいい福袋間違いなしですよ。ゆっくり考えてみてくださいね！

表 8: 予備試行における要因間の比較結果

設問	要因	SS	F 値	効果量 (η^2)	有意性
Q1	胴体要因 (BO)	0.2759	0.33	0.0057	n.s.
	頭部要因 (HT)	0.431	0.46	0.0081	n.s.
	交互作用 (BOxHT)	1.3966	1.35	0.0231	n.s.
Q2	胴体要因 (BO)	14.5	12.52	0.1801	**
	頭部要因 (HT)	3.3793	3.92	0.0644	+
	交互作用 (BOxHT)	0.069	0.07	0.0012	n.s.
Q3	胴体要因 (BO)	1.1034	0.61	0.0106	n.s.
	頭部要因 (HT)	2.0862	1.02	0.0176	n.s.
	交互作用 (BOxHT)	0.2759	0.15	0.0026	n.s.
Q4	胴体要因 (BO)	1.1034	0.61	0.0106	n.s.
	頭部要因 (HT)	2.0862	1.02	0.0176	n.s.
	交互作用 (BOxHT)	0.2759	0.15	0.0026	n.s.
Q5	胴体要因 (BO)	18.2112	8.24	0.1262	**
	頭部要因 (HT)	0.7284	0.64	0.0112	n.s.
	交互作用 (BOxHT)	1.2457	1.08	0.0185	n.s.
Q6	胴体要因 (BO)	18.2112	9.84	0.1472	**
	頭部要因 (HT)	0.1078	0.1	0.0018	n.s.
	交互作用 (BOxHT)	0.0388	0.03	0.0006	n.s.
Q7	胴体要因 (BO)	4.4138	2.53	0.0424	n.s.
	頭部要因 (HT)	0.1552	0.08	0.0013	n.s.
	交互作用 (BOxHT)	1.1034	1.15	0.0197	n.s.
Q8	胴体要因 (BO)	16.569	10.86	0.1601	**
	頭部要因 (HT)	0.6207	0.41	0.0071	n.s.
	交互作用 (BOxHT)	1.1034	1.18	0.0202	n.s.
Q9	胴体要因 (BO)	0.0388	0.02	0.0004	n.s.
	頭部要因 (HT)	15.0043	8.98	0.1361	**
	交互作用 (BOxHT)	1.9009	1.68	0.0287	n.s.
Q12	胴体要因 (BO)	0.1552	0.06	0.0011	n.s.
	頭部要因 (HT)	6.2241	3.29	0.0546	+
	交互作用 (BOxHT)	0.8448	0.36	0.0062	n.s.

注: **は $p < .01$, *は $p < .05$, +は $p < .1$, n.s. は有意差なしを示す。

表 9: 本試行における要因間の比較結果

設問	要因	SS	F 値	効果量 (η^2)	有意性
Q1	胴体要因 (BO)	0.3906	0.36	0.0233	n.s.
	頭部要因 (HT)	0.7656	1.92	0.1134	n.s.
	交互作用 (BOxHT)	0.0156	0.05	0.0033	n.s.
Q2	胴体要因 (BO)	0.0625	0.04	0.0026	n.s.
	頭部要因 (HT)	1.0000	1.50	0.0909	n.s.
	交互作用 (BOxHT)	1.0000	1.00	0.0625	n.s.
Q3	胴体要因 (BO)	0.0156	0.01	0.0010	n.s.
	頭部要因 (HT)	0.7656	0.41	0.0266	n.s.
	交互作用 (BOxHT)	0.7656	0.72	0.0457	n.s.
Q4	胴体要因 (BO)	16.0000	4.44	0.2286	+
	頭部要因 (HT)	0.2500	0.16	0.0109	n.s.
	交互作用 (BOxHT)	1.0000	0.28	0.0182	n.s.
Q5	胴体要因 (BO)	1.0000	0.38	0.0247	n.s.
	頭部要因 (HT)	4.0000	1.19	0.0734	n.s.
	交互作用 (BOxHT)	0.0625	0.05	0.0036	n.s.
Q6	胴体要因 (BO)	14.0625	7.98	0.3472	*
	頭部要因 (HT)	0.2500	0.10	0.0063	n.s.
	交互作用 (BOxHT)	0.5625	0.53	0.0341	n.s.
Q7	胴体要因 (BO)	5.0625	2.24	0.1298	n.s.
	頭部要因 (HT)	0.0000	0.00	0.0000	n.s.
	交互作用 (BOxHT)	0.0625	0.04	0.0025	n.s.
Q8	胴体要因 (BO)	0.7656	0.35	0.0227	n.s.
	頭部要因 (HT)	4.5156	1.02	0.0638	n.s.
	交互作用 (BOxHT)	0.0156	0.03	0.0018	n.s.
Q9	胴体要因 (BO)	0.1406	0.06	0.0042	n.s.
	頭部要因 (HT)	0.1406	0.06	0.0040	n.s.
	交互作用 (BOxHT)	4.5156	1.34	0.0817	n.s.
Q12	胴体要因 (BO)	1.0000	0.51	0.0328	n.s.
	頭部要因 (HT)	0.5625	0.50	0.0321	n.s.
	交互作用 (BOxHT)	0.0625	0.02	0.0010	n.s.

注: **は $p < .01$, *は $p < .05$, +は $p < .1$, n.s. は有意差なしを示す。