

動作の多様性に基づく人間の自然な動作モデルの作成と評価

港隆史 (ERATO JST) 石黒浩 (ERATO JST, 阪大)

Construction and Evaluation of a Model of Natural Human Motion based on Motion Diversity

*Takashi MINATO (ERATO JST), Hiroshi ISHIGURO (ERATO JST, Osaka Univ.)

Abstract— This paper hypothesizes that a motion diversity generated with independent of an actor's intention contributes a human-likeness of motions of robots and humans. In order to verify the hypothesis, we have constructed a model of motion diversity through an observation of persons' motion, specially, a motion to touch others. The psychological experiments have shown that the presence of the motion diversity in an android motion influences the impression towards the android.

Key Words: Human robot interaction, Social interaction, Android, Reaching

1. はじめに

人間の日常生活の中で活動が期待されるヒューマノイドロボットを設計する上に必要となるのは、人間との自然な相互作用を実現・維持するための原理である。人間との相互作用を表層的なロボットの動作の作り込みにより実現したとしても、長期的な社会的相互作用を維持するのは困難である。我々はこれまでに、人間とロボットのコミュニケーションの原理を探るために、人間に酷似したアンドロイドによるアプローチ [1] を用いてきた。人間とロボットの自然なコミュニケーションの実現の背景には、人間がロボットに対して示す無自覚的な対人反応があると考えられる。この知覚的社会的錯覚 [2] と呼ばれる対人反応を引き出す条件が、自然なコミュニケーション実現のメカニズムに関わると考えられる。アンドロイドを用いたアプローチでは、アンドロイドの人間らしさを実現する方法を探りながら、アンドロイドに対して人間が無自覚的に対人反応を示す境界条件を追究する。

アンドロイドの人間らしい振る舞いを実現するためには、体の動きの人間らしさが必要である。人間らしい運動を生成するための研究として、人間の運動軌跡の生成モデルに関する研究 [3, 4, 5], 人間の運動軌跡生成をモデル化してマニピュレータを制御する研究 [6], CG エージェントの運動の人間らしさが動きノイズの付加により向上することを示した研究 [7, 8] などがある。これらの研究はコミュニケーションという文脈とは関係なく考えられたモデルであるが、本研究では他者との相互作用における動きの人間らしさのモデルを考える。

人間は同じ意図の動作を繰り返しても全く同じ動きを生成することはない。ロボットがある目的のために精密に同じ動きをを何度でも繰り返すことができることは対照的に、人間の動きは同じ意図でも、ノイズ、感情、身体的状況、社会的状況などによって多様に変化するという複雑さを持つ。この動きの多様性をアンドロイドで表現することにより、感情、身体的状況、社会的状況などをアンドロイドに帰属させることができれば、アンドロイドの人間らしさを向上させることが



Fig.1 A touch gesture to be modeled.

できると考えられる。

ここではさらに多様性を分解して考える。人間の動作を、(a) 元の動作の意図を示す動きと (b) 元の動作の意図を示さない動き (a を変化させる動き) に分解して考えると、上述の多様性は (b) の多様性である。(b) の多様性を考慮した研究として、signal-dependent noise (信号由来雑音) を考慮した運動生成モデル [9, 10] があるが、これらは抑制しようとする自覚しても生じる多様性である。これに対して、緊張やためらいに伴う動きの変化は自覚すれば抑えることができる多様性である。我々は、これらの動きの変化は観測しわづかであるが、アンドロイドの振る舞いの人間らしさに影響を与えると考える。本論文では、動作の意図と無関係な動きの変化の内、緊張やためらいなどに伴う自覚すれば抑制可能な動きの変化が、アンドロイドの振る舞いの印象の変化に寄与するという仮説を提案する。特に本論文では他者との社会的関係の違いに起因する動きの変化に注目する。具体的には人が手を伸ばして他者に触れる動作を取り上げ、極端な例として、他者が人と物体の2つの場合の動きの違いをモデル化する。そして、そのモデルに基づいてアンドロイドの動作に多様性を与えた場合に、多様性がない動作と比較して、第3者に与える印象が変化することを実験により示す。

2. 社会的関係の変化に伴う人間動作の変化のモデル化

本論文では、自覚的に抑制できないノイズとは独立に現れる動きの多様性が人間の動作の人間らしさをもたらすという仮説を立てる。この仮説を検証するため、具体的に人が他者に手を伸ばして触れる動作 (Fig.1)

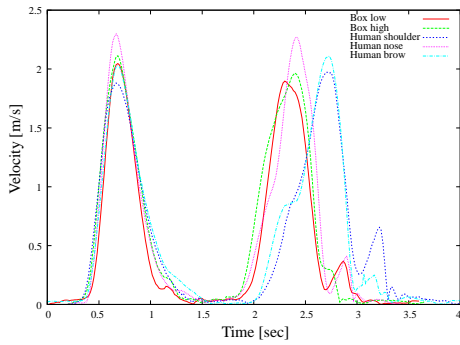


Fig.2 An example of a subject's hand velocity.

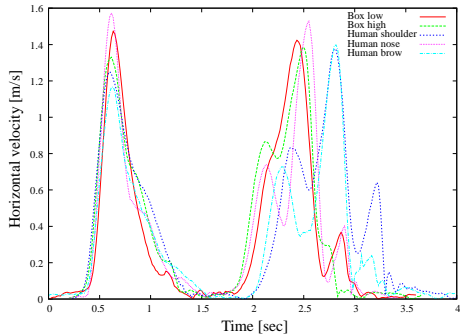


Fig.3 The horizontal velocity in the figure 2.

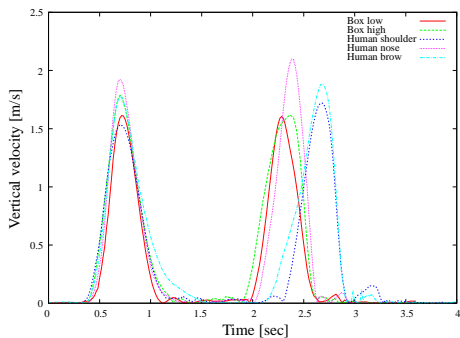


Fig.4 The vertical velocity in the figure 2.

において、他者との社会的関係の違いにより現れる多様性をモデル化する．本論文では極端な例として、他者が人間あるいは物体（箱）である場合を考え、そのときの腕の動きの違いをモデル化する．すなわち社会的関係に対人関係と対物関係という違いがある場合の動きの違いを調べる．

モデル化するために、実際に数名の人の動きをモーションキャプチャで計測した．このデータを定性的に解析してモデルを作成する．ここでは7名の男子大学生被験者に、(B) 目前に置かれた箱と (H) 目前の女性実験者に右手で触れる動作を行わせ、そのときの手先（手の甲）の軌跡を計測した．触れる個所は (H) の左肩、鼻、額および (B) の表面の左肩と額の高さとも一致する個所の計5箇所、各被験者に (B)→(H) の順に各箇所一度ずつ触れさせた．

解析を容易にするため手先の速度絶対値の1次元データに変換し、速度変化の対物・対人の違いを調べた．典型

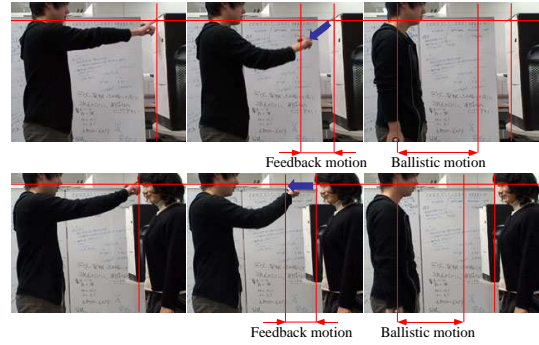


Fig.5 The model of variation of return motion.

的な例としてある被験者の結果を Fig.2 に示す．Fig.2 では最初のピーク時刻が一致するように各グラフをシフトしている．最初の山が対象に触れるまで（到達時）、2つ目の山が対象に触れたあと（戻り時）の速度である．このとき次のような特徴が見られた．

- 到達時の速度パターンは、被験者によらず対物・対人ともに単峰の釣鐘型の形状になる．
- 戻り時の速度パターンは、対象によって変化する傾向がある．

戻り時の速度パターンを詳しく調べるため、速度絶対値の水平成分と垂直成分を調べた．Fig.2 の速度の水平成分と垂直成分をそれぞれ Fig.3,4 に示す．戻り時には次のような特徴が見られた．

- 水平速度最大ピークまでに一度ピークが現れる．これは対人時に多い．
- 垂直速度パターンは被験者・対象によらず単峰の釣鐘型の形状になる．
- 垂直速度の立ち上がりが水平速度の立ち上がりより遅い．この遅れは対物より対人の方が大きくなる傾向がある．

これらのことは、対象から手を離すときに、対人では手をまず水平方向に動かしたのち下に下ろすが、対物では最初から手を下に向けて動かしていることを示している．一般的にこの実験の戻り時のような動作では、まず手先をフィードバック制御的に動かし、その後重力に従ったバリスティックな動きをしていると考えられる．そこで、対物と対人の違いを表すモデルとして、対象から手を離すときに対象の近接空間ではフィードバック運動の目標位置が対象により異なるというモデルを構築する (Fig.5)．対物では手を最短で元に戻せる位置にフィードバック運動の目標位置が決められる (上段) が、対物では相手の近身体空間から最短で離れる位置に目標位置が決められる (下段)．すなわち、手を離すときのフィードバック運動の目標位置が対象との関係により変化するというモデルである．

3. 動作モデルの評価

3.1 評価実験

上述のモデルによる動作を、人間に酷似した成人女性型アンドロイド Repliee Q2[1] に実装し、モデルに基づく動きの多様性が人間らしさに関わる印象に与える影響を調べた．モデルに基づいて生成したアンドロイ



Fig.6 The android motions generated by the constructed model.

Table 1 The experimental conditions.

	Android A	Android B	Android C
Toward object	Motion M1	Motion M2	Motion M1
Toward person	Motion M2	Motion M2	Motion M2

ドの動作を Fig.6 に示す．上段が手を速く元に戻す動作（動作 M1），下段が手を相手から速く離す動作（動作 M2）である．Repliee Q2 は空気アクチュエータで制御されているため，単純なフィードバック制御で人間のような素早くかつ滑らかな手先軌道を生成するのが困難である．本実験では，準静的とみなせる速度で，Fig.6 に示す運動を生成した．評価実験で用いるビデオ刺激上では，高速再生してすることにより通常での運動を表現した．

作成した動作で対象に触れるアンドロイドをビデオ刺激として被験者に見せ，第 3 者の立場からアンドロイドの印象を評価させた．動きの多様性の有無による印象の違いを調べるため，Table 1 に示す 3 通りの動作を示すアンドロイドを準備した．条件 A は対象に関わらず動作 M1 を，条件 B は対象に関わらず動作 M2 を行うアンドロイドで，条件 C は対象に応じて動作が変わるアンドロイドである．対人ではアンドロイドは対面して座っている相手の肩に触れる動作を行う．期待する結果は，人間らしさの評価が

Android C > Android A, Android B,

となることである．

1 条件にあたり，3 つの対象物体（カレンダー，ビデオカメラ，小棚）および 3 人の対象人物（男子大学生）を用意した．すなわち 1 条件につきアンドロイドは 6 回対象に触れる動作を行う．ビデオ刺激は Fig.6 の動作をビデオで撮影したものを高速再生した動画と，対象の動画を合成して作成した．各条件で対人・対物が交互に出現するようにした．対象物体・対象人物の出現する順序はランダムである．各条件ごとにアンドロイドに対する 7 つの項目「礼儀正しい」、「正確な」、「知的な」、「丁寧な」、「親しみやすい」、「上品な」、「人間らしい」について評価させた．各項目は 1 点（そう思わない）から 5 点（そう思う）の 5 段階で評価させた．

3.2 実験 1:条件 A と C の比較結果

Repliee Q2 を見知っている大学生被験者 24 人に対して，条件 A と条件 C のアンドロイドの動作の印象を回答させた．条件の提示順序は被験者ごとに入れ替え

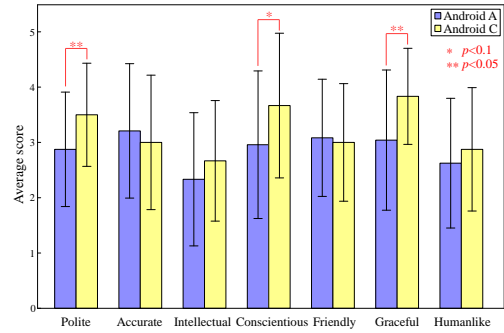


Fig.7 The result of questionnaire about impression of the android A and C.

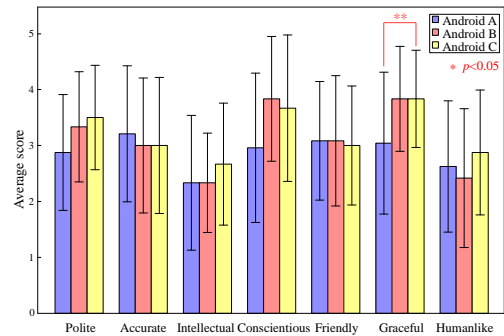


Fig.8 The result of questionnaire about impression of the android A, B and C.

た．印象回答は各条件のビデオ刺激提示ごとに行われた．印象の点数の平均値を Fig.7 に示す．各項目の点数を t 検定により検定したところ，「礼儀正しい」、「丁寧な」、「上品な」の項目で，条件 C が条件 A より有意に点数が高いという結果が得られた．「人間らしさ」の項目では有意差はなかったが，条件の違いが人間らしさに関わる印象に影響を与えることが示された．

ここで条件 A と C の違いを考える．条件 C では対象に応じて腕を戻すときの軌跡が変化する．それ以外にも条件 A には動作 M2 が現れないが，条件 C には動作 M2 が現れるという点も異なる．対象との社会的関係に応じた多様性の影響であることを示すためには，動作 M2 の有無の影響ではないことを示す必要がある．そこで条件 B の印象評価実験を追加した．

3.3 実験 2:条件 A,B,C の比較結果

1 つ目の実験被験者の中の 12 名の被験者に対して，条件 B のアンドロイドの動作の印象を回答させた．3 条件の印象の点数の平均値を Fig.8 に示す．ライアンの方法による平均値の多重比較の結果，条件 A-C 間の「上品な」の点数のみに有意差が現れた．期待した条件 B-C 間の統計的な有意差は現れなかった．

次に条件の順序の影響について考察した．この実験では (O1) 条件 A→C→B および (O2) 条件 C→A→B の 2 通りの刺激提示順序がある．そこで条件順序要因と動作要因の二元配置分散分析を行った．その結果「知的な」、「丁寧な」、「親しみやすい」、「人間らしい」の項目で交互作用に有意差 ($p < 0.05$) あるいは有意傾向

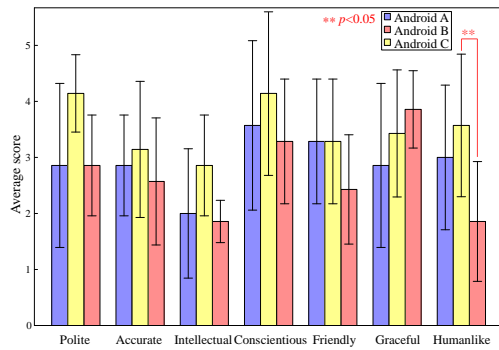


Fig.9 The result of questionnaire about impression of the android A, B and C.

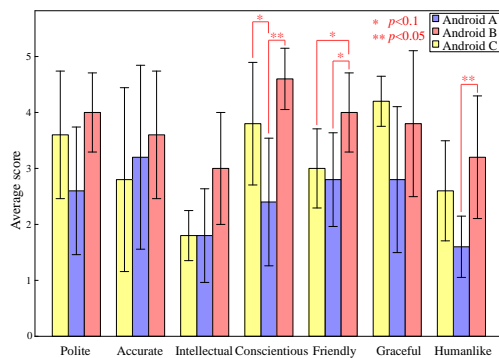


Fig.10 The result of questionnaire about impression of the android A, B and C.

($p < 0.1$)があった。条件の提示順序により印象点数の大小関係が変化している可能性がある。そこでデータを順序 O1 と O2 に分けて印象の点数の比較を行った。O1 および O2 で実験した被験者の印象の点数をそれぞれ Fig.9,10 に示す。これらグラフから

- 条件 C 直後の条件の各項目の印象点数が、条件 C における点数を下回る傾向がある。
- 条件 A 直後の条件の各項目の印象点数が、条件 A における点数を上回る傾向がある。

ということが分かる。ライオンの方法による平均値の多重比較の結果、いくつかの項目で条件間に有意な差が見つかった。特に、順序 O1 の「人間らしさ」で条件 C > 条件 B, 順序 O2 の「丁寧な」について条件 C > 条件 A となる有意差が見つかった。

3-4 まとめ

実験 1 および 2 の結果より、条件提示順序の影響下でアンドロイド動作の多様性がアンドロイドに対する印象を変える(印象がよくなる)ことが示された。2 節では、被験者が見せた動きの多様性を、他者との社会的関係の要因に基づくものとしてモデル化したが、実際に各被験者の無自覚的な動きの変化が、社会的関係の要因に基づくものであるかどうかは、2 節の計測結果だけでは判断できない。また 3 節の実験で、構築したモデルに基づくアンドロイドの印象が他の条件と異なる結果が得られたが、ここには被験者がアンドロイ

ドに社会性を帰属させたこと以外の原因も考えられる。実験により無自覚的な動きの多様性が、アンドロイドの印象、とくに人間らしさを向上させることを示したが、得られた結果が社会的関係という要因に基づくものであるかどうかを明らかにするためには、更なる調査が必要である。

4. おわりに

本論文では、動作の意図と無関係な動きの変化の内、ためらいなどに伴う自覚すれば抑制可能な動きの変化が、アンドロイドの振る舞いの印象の変化に寄与するという仮説を立てた。この仮説を検証するために、実際に人間の動作の観測を通して他者に触れる動作の多様性モデルを構築した。そして印象評価実験により、プライミング効果はあるが、動きの多様性の有無によりアンドロイドに対する印象が変化することを示した。

本実験の結果は、アンドロイドの他者に触れる動作に特化した結果である。しかしこれはロボットの自然な動作をもたらす原理を探る足がかりとなる。本論文で、わずかな動きの多様性が振る舞いの印象に影響を与えるという現象が、最低限、人間に酷似したアンドロイドのある動作に現われることが示された。ここからどのような見かけのロボットやどのような動作にこの現象が現われるか、どこに境界があるのかを探ることできる。これが自然なコミュニケーションの原理探求につながると考えている。

- [1] H. Ishiguro. Android science -toward a new cross-interdisciplinary framework. In *Proceedings of the International Symposium of Robotics Research*, 2005.
- [2] P. Jacob and M. Jeannerod. The motor theory of social cognition: a critique. *Trends in Cognitive Sciences*, Vol. 9, No. 1, pp. 21–25, 2005.
- [3] T. Flash and N. Hogan. The coordination of arm movements: An experimentally confirmed mathematical model. *Journal of Neuroscience*, Vol. 5, pp. 1688–1703, 1985.
- [4] M. Kawato. Optimization and learning in neural networks for formation and control of coordinated movement. In D. Meyer D and S. Kornblum, editors, *Attention and performance XIV*, pp. 821–849. MIT Press, 1992.
- [5] S. Schaal and D. Sternad. Origins and violations of the 2/3 power law in rhythmic 3d movements. *Experimental Brain Research*, Vol. 136, pp. 60–72, 2001.
- [6] 加島正, 石動善久. ヒトの運動軌道を目指したマニピュレータの軌道計画. *日本ロボット学会誌*, Vol. 16, No. 8, pp. 1131–1137, 1998.
- [7] K. Perlin. Real time responsive animation with personality. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Vol. 1, No. 1, pp. 5–15, 1995.
- [8] B. Bodenheimer, A. V. Shleyfman, and J. K. Hodgins. The effects of noise on the perception of animated human running. In *Proceedings of Eurographics Animation Workshop*, pp. 53–63, 1999.
- [9] E. Todorov and M. I. Jordan. Optimal feedback control as a theory of motor coordination. *Nature Neuroscience*, Vol. 5, No. 11, pp. 1226–1235, 2002.
- [10] H. Miyamoto, E. Nakano, D. M. Wolpert, and M. Kawato. Tops(task optimization in the presence of signal-dependent noise) model. *Systems and Computers in Japan*, Vol. 35, pp. 48–58, 2004.