

# ヒューマノイドロボットの歩行動作による感情表現

伊豆井 尊宗<sup>†1</sup>    ベンチャー ジェンチャン<sup>†1</sup>  
ミルビユー イザベル<sup>†2</sup>

人間同士のコミュニケーションを円滑に行う際に、他者の感情を予測することは重要である。ロボットが人間と同じ環境下において役割を担うとき、ロボットの感情表現を行う能力は人間とのコミュニケーションをより円滑にする。この感情表現についての研究では会話や表情、簡単なジェスチャーによるものが主である。しかし、様々な場面での感情表現を可能にするために別の手段による表現方法が必要である。本研究では、人間が他者の歩行動作から感情を予測していることに注目し、ヒューマノイドロボットの歩行動作による感情表現の有効性を検討した。ヒューマノイドロボットの感情的な歩行動作を5種類生成した。被験者はそれを観察し、どのようなロボットの感情を予測したかをアンケートによって回答した。本実験は日本とフランスで行い、文化的な違いについても調査した。その結果、ヒューマノイドロボットの歩行動作によって感情を表現することは可能であること、感情予測に文化的な違いがあることが分かった。

## Expressing Emotions using Gait of Humanoid Robot

TAKAMUNE IZUI<sup>†1</sup>    GENTIANE VENTURE<sup>†1</sup>  
ISABELLE MILLEVILLE<sup>†2</sup>

Reading other's emotions is the key of a successful human-human communication. If we imagine using robots in human environment, the ability of robots to express emotions will help human communicate with the artificial agents. In studies about robots' expressing emotions, conversations, facial expression and simple gestures are mainly used. However, another way to express emotions is necessary to enable the expression in various scenes. This study focused on emotions conveyed by gait and examined the effectiveness of expression of emotions of a humanoid robot during gait. In the experiment, we generated 5 kinds of robot's emotional gait and showed them to the participants. Then participants forecast robot's emotion. This experiment was performed in Japan and in France, to investigate some cultural differences. As a result, this study shows that it is possible to convey emotions by gait for a humanoid robot and also that there is a cultural difference in forecasting emotions.

### 1. 緒言

人間と密接に関わるロボットが普及しつつある。さらに、独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) と経済産業省が発表した推計によると、2035年にはサービスロボットの市場が5兆円にも達すると期待されている<sup>1)</sup>。田中らは博物館におけるロボットの展示支援に関する実験を行った<sup>2)</sup>。また人間の日常生活をサポートするロボットは既に実社会に適応できる水準に達しているとの主張がある<sup>3)</sup>。近い将来ロボットがより人間の社会に進出し、我々はロボットから様々なサービスを受け取ることになると考えられる。

人間が他者のことをより理解し行動するためには、相手の感情を知覚し、自身の感情を適切に制御するための Emotional Intelligence と呼ばれる能力が必要であるという報告がある<sup>4)</sup>。これはコミュニケーションにおいて感情の知覚・表現が重要な役割を担っていることを示している。すなわち、ロボットが自身の感情を適切に表現することで、人間にとって自然なコミュニケーションを図ることが可能になる。

現在のヒューマンロボットインタラクション (HRI) の分

野において、ロボットの感情表現には会話や顔の表情、ジェスチャーを用いるものが主である。ヒューマノイド・Romeo は人間とのコミュニケーションのために首と眼球の姿勢を細かく定義できる<sup>5)</sup>。Erden は32種類のヒューマノイドロボット動作を生成し、怒り、悲しみ、喜びの3種類の感情を最もよく表すジェスチャーを調査した<sup>6)</sup>。上出らはヒューマノイドロボットによる聴衆へのプレゼンテーションを行った<sup>7)</sup>。この中で、聴衆が内容を正しく理解するためにはロボットのアイコンタクトとジェスチャーの両方が必要であると述べている。

しかし、人間は声が出せず両手がふさがっている場合など、会話やジェスチャーを用いることができない場面においても、自分の感情を全身のあらゆる動作で表現し、他者はその行動の変化から感情を予測することができる。ベンチャーらは、人間が他者の歩行動作から読み取ることができることを示した<sup>8)</sup>。このように、人間は会話やジェスチャーを用いない様々な場面において、他者の感情を予測している。ヒューマノイドロボットが会話やジェスチャーによらない感情表現を行うことができれば、より幅広い場面において人間と円滑にコミュニケーションを行うことができる。

本研究では、人間が他者の感情をその歩行動作から予測していることに注目し、ロボットの歩行動作による感情表現の有効性について検討した。ロボットの歩行動作を変化さ

<sup>†1</sup> 東京農工大学  
Tokyo University of Agriculture and Technology

<sup>†2</sup> Institut de Recherche en Communications et Cybernétique de Nantes.

せ、それを見た被験者がロボット可能をどう予測したかアンケートを用いて調査した。この結果より得られた被験者の感情認識率から、ロボットの歩行動作による感情表現について評価する。また一般的に、言語を介さないコミュニケーションにおいては文化的な違いが存在するといわれている<sup>9)</sup>。そこで、ロボットの歩行動作による感情表現の認識による文化的な背景の影響を評価するために、日本とフランスの2か国で実験を行い実験結果の比較を行った。

## 2. 歩行動作生成

本研究ではヒューマノイドロボットの歩行動作による感情表現について評価する。

例えば、人間は他者が前屈みでゆっくり歩いているのを見ると、対象が悲しんでいると予測することができる。このように人間の歩行動作には感情表現における特徴が存在する。ベンチャーらの研究<sup>8)</sup>では、人間の5つの基本感情(Neutral, Fear, Sadness, Joy, Anger)を表す歩行動作の特徴が示されている。これらの特徴を考慮し、アバターの5種類の歩行アニメーションを作成した。被験者はこれらのアニメーションを観察し、アバターがどのような感情を抱いているかを予測した。その結果、恐れ以外の4つの感情について平均感情認識率69%を示し、人間が歩行動作から他者の感情を予測していることを示した(Figure 2, 緑)。

本実験では、ベンチャーらの研究<sup>8)</sup>によって示された感情的な歩行動作の特徴を、Figure 1に示したヒューマノイドロボットNAOに表現させた<sup>10)</sup>。歩行動作の特徴は首および腰の関節角度、歩行速度で定義されている。5つの基本感情の特徴を考慮し、NAOの感情的な歩行動作を生成した<sup>11)</sup>。Table 1に各歩行動作のパラメータを示した。NAOにおける歩行速度は歩行周期と歩幅によって定義される。

Table 1 Features of synthesized gait motions for the humanoid robot NAO

emotion	Head inclination [deg]	Torso inclination [deg]	Gait frequency [step/s]	Step length [mm]
Neutral	0	0	0.5	40
Fear	20	0	0.5	40
Sadness	20	4	0.2	40
Joy	-4	-4	1.0	40
Anger	20	4	1.0	80

## 3. 実験

本実験の目的は、NAOの歩行動作による感情表現の可能性を、得られた感情認識率によって評価することである。さらに歩行動作による感情表現における文化的な違いを調査した。本実験は日本とフランスの2か国で同様の内容のものを実施した。

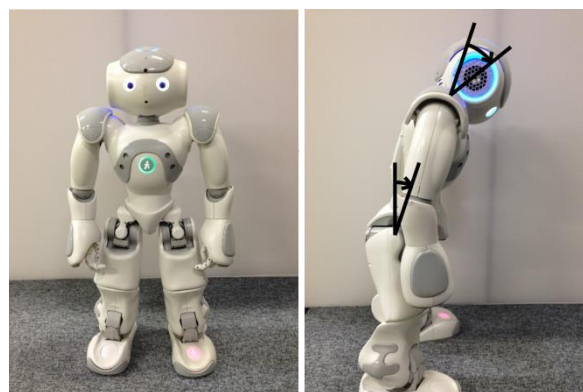


Figure 1 Humanoid robot NAO (left) and the movement of Head and Torso angles (right).

### 3.1 実験概要

本研究における実験の流れを説明する。被験者は実物のロボットによる歩行動作を観察した直後に、その動作から予測したロボットの感情をNeutral, Fear, Sadness, Joy, Angerの5つの選択肢から選び、アンケートに回答した。この試行は、生成された5種類の各感情を表現する歩行動作を、それぞれ2回ずつ無作為に並び替えたものを用いて計10回行った。すべての試行を終了した後、被験者は本実験の感想を記入した。この実験を日本とフランスの2か国で同様に行った。

### 3.2 日本での実験条件

- 被験者：18歳から24歳まで(平均21.6歳)の32人(男性19人、女性13人)
- 実験場所：東京農工大学工学部小金井キャンパス
- 実施期間：2014/05/22-2014/07/03

アンケートはGoogle Driveによって作成し、被験者はタブレットPC(ASUS T100TA-DK32G)で回答した。

### 3.3 フランスでの実験条件

- 被験者：24歳から64歳まで(平均35.0歳)の27人(男性18人、女性9人)
- 実験場所：Institut de Recherche en Communications et Cybernétique de Nantes
- 実施期間：2014/10/20-2014/10/24

アンケートは日本で使用したものを英訳、仏訳し、印刷したものを使用した。

## 4. 実験結果および考察

まず、ロボットの歩行動作による感情表現の有効性について考察する。生成した動作に対する感情認識率をFigure 2に示す。本実験によって得られた日本とフランスの総合認識率を青色で示し、Ventureらの研究<sup>12)</sup>によって得られたアバターの歩行動作に対する被験者の認識率を緑色で示す。アンケートでは5つの選択肢を設けていたため、すべての選択肢において回答の期待値は20%である。したがって、認識率が20%を超えているSadness, Neutral, Joy, Angerにつ

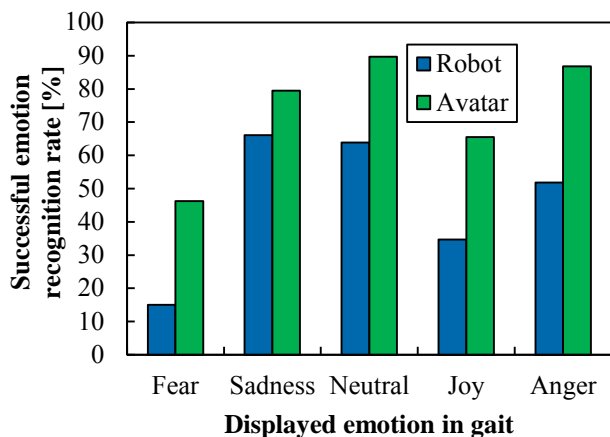


Figure 2 Successful emotion recognition rates when looking at a small humanoid robot (blue) or at a human avatars' animation<sup>12)</sup> (green).

いては、歩行動作による感情表現が可能であると判断した。一方、恐れを表現する動作 (Fear) に対する感情認識率は他の動作に比べて著しく低く、期待値である 20%に満たない。日本人とフランス人の歩行動作に対する回答傾向を Figure 3 に示す。Fear に対する回答では、日本人とフランス人の両方の場合で、「ロボットが悲しんでいる」と予測した回答が最も多かった。この割合は悲しみを表現した歩行動作 (Sadness) に対する感情認識率と同程度である。このことから、Fear と Sadness の歩行動作の差が十分ではなく、被験者はその違いが判断できなかつたと考えられる。Table 1 に示したように、Fear と Sadness の動作は、腰の関節角度と歩行周期が異なっている。腰の関節角度の差は 4deg と少なく、NAO の全身における上肢長さの割合が低いため、腰の関節角度の変更による動作の見た目への影響が小さかつたと考えられる。

Figure 2 より本実験で得られたロボットの歩行動作に対する感情認識率は、人間の歩行動作に対するものに比べて低い。このことから、Fear と Sadness の歩行動作に限らず、ロボットの腰の関節角度の変更による見た目の印象への影響が小さかつた可能性が考えられる。各歩行動作における腰の関節角度の差をより大きくする、または腰の関節角度による影響の大きいロボットを用いて実験を行うことで、改善が可能であると考えられる。しかし、二足歩行ロボットに対して腰の関節角度に大きな値を入力すると、歩行時の安定性が失われてしまう。このため、腰の関節角度の変更のみでは十分な感情認識率の改善が行われないと考えられる。したがって、より適切な感情表現を実現するためには、ロボット上肢の他のパラメータを追加した歩行動作を生成する必要がある。

次に、被験者の文化的な違いが与える感情認識への影響について考察する。日本人とフランス人のそれぞれの回答

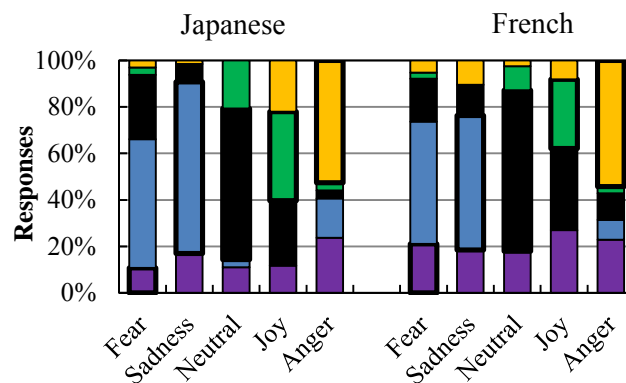


Figure 3 Distribution of the Japanese (left) and French (right) participants' responses of emotion for a small humanoid robot's emotional gait. The colors (purple, blue, black, green, and yellow) correspond to perceived emotions (fear, sadness, neutral, joy, and anger).

傾向に対し、Welch の t 検定と Mann-Whitney の U 検定を用いて差の検定を行った。Table 2 は 2 種の検定における p 値を示したものである。喜びを表現する動作 (Joy) において、p 値がどちらの検定手法においても 0.01 未満になった。またそれ以外の動作においては、p 値が 0.1 以上となった。これは、日本人とフランス人の回答傾向が喜びを表現する動作においては異なること、それ以外の動作では差がなかつたことを示している。

Table 2 p values for successful rate of emotion recognition in gait of a small humanoid robot by Japanese and French calculated by Welch's t test and Mann-Whitney U test.

motion	Welch's t test	Mann-Whitney U test
Neutral	p = 0.45	p = 0.39
Fear	p = 0.54	p = 0.32
Sadness	p = 0.14	p = 0.30
Joy	p = 0.0087	p = 0.0075
Anger	p = 0.62	p = 0.66

また、Figure 3 より日本人に比べてフランス人が「ロボットが恐れている」と予測した割合が高いと分かる。日本人とフランス人の回答率に対し、Welch の t 検定と Mann-Whitney の U 検定を用いて差の検定を行った。その結果、Welch の t 検定において p = 0.031、Mann-Whitney の U 検定において p = 0.076 となった。このことから、回答率において、日本人とフランス人との間に恐れという感情に対する予測のしやすさにくらか有意な差があるように考えられる。

したがって、ロボットに対する感情予測に文化的な違いが存在する可能性があることが分かつた。

## 5. まとめ

本稿では、会話やジェスチャーを用いないヒューマノイドロボットの感情表現方法として、歩行動作の有効性を検証した。その結果、ロボットの歩行動作によって感情を表現することができることが分かった。一方で、本実験では恐れを表現することができなかつた。これは被験者が悲しみを表現する動作との区別ができなかつたことが原因であると考えられる。したがって感情認識率を改善するために、他のパラメータを追加した歩行動作の改善が必要であると考えられる。

また、日本人とフランス人の回答傾向を比較することにより、ロボットの歩行動作による感情表現には文化的な違いが存在する可能性があると考えられる。より多くの被験者に対して実験を行うことで、この違いがより明確に表れると考えられる。

## 6. 課題と今後展望

日本で実施した実験では、被験者は主に理系大学の学生であり、20代が多く年齢が限定的だった。一方、フランスで実施した実験は、年齢の幅が広く、実験条件が揃っていない。したがって、これらのデータを比較した結果、確認された両者の感情認識の傾向における差異は、被験者の文化的背景の違いによるものだけでなく、年齢によるものが含まれていた可能性がある。今後、このような可能性を排除し適切な比較検討を行うためには、実験条件を統一し、多くのサンプルを必要とすると考えられる。

日本とフランスの2か国で実施した本実験より、文化的な違いが存在する可能性があることがわかった。このような違いが今回実験を行わなかつた他国においても存在する可能性がある。また、文化的な背景の影響として、居住国だけでなく、興味のある分野、学生の専攻など様々なものが考えられるため、今後これらに注目し実験を行うことで特徴的な違いを発見できる可能性がある。

本実験において被験者は実験室に呼び出され、実験方法の説明を受けた後ロボットの歩行動作から感情を予測した。これは限定的な環境での実験であり、被験者による自然な感情予測が行われなかつた可能性が高い。そこで現在、実験環境において歩行による感情表現の有効性を検証する実験を行っている。

## 参考文献

- 1) 独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構, “プレスリリース「ロボットの将来市場予測を公表」,” [http://www.nedo.go.jp/news/press/AA5\\_0095A.html](http://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_0095A.html), 2010 (参照日 2014年12月11日)
- 2) 田中千晶, 檜山敦, 岸啓補, 安藤真, 谷川智洋, 廣瀬通孝, “展示鑑賞における空間利用を考慮した半自律遠隔ギャラリートークシステム,” 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 14(3), pp. 295-304, 2009.
- 3) W. Burgard, A. Cremers, D. Fox, D. Hähnel, G. Lakemeyer, D.

Schulz, W. Steiner, and S. Thrun, “The interactive museum tour-guide robot,” In AAAI/IAAI, pp. 11-18, 1998.

- 4) P. Salovey and J. D. Mayer, “Emotional intelligence,” *Imagination, Cognition, and Personality*, vol. 9, pp. 185-211, 1990.
- 5) N. Pateromichelakis, A. Mazel, M. Hache, T. Koumpogiannis, R. Gelin, B. Maisonnier, and A. Berthoz, “Head-eyes system and gaze analysis of the humanoid robot Romeo,” *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp. 1374-1379, 2014.
- 6) M. Erden, “Emotional Postures for the Humanoid-Robot Nao,” *International Journal of Social Robotics*, vol. 5, issue 4, pp. 441-456, 2013.
- 7) H. Kamide, K. Kawabe, S. Shigemi, and T. Arai “Nonverbal behaviors toward an audience and a screen for a presentation by a humanoid robot”, *Artificial Intelligence Research*, Vol. 3, No. 2, pp. 57-66, 2014.
- 8) G. Venture, H. Kadone, and A. Berthoz, “Recognizing Emotional Conveyed by Human Gait,” in *proceedings of the International Society for Posture and Gait Research*, pp. 333-334, 2012
- 9) M. Vargas, 石丸正 訳, 非言語コミュニケーション, 株式会社新潮社, 1987.
- 10) D. Gouaillier, V. Hugel, P. Blazeovic, C. Kilner, J. Monceaux, P. Lafourcade, B. Marnier, J. Serre, and B. Maisonnier, “Mechatronic design of NAO humanoid,” *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp. 769-774, 2009.
- 11) M. Cagnetti, P. Mohammadi, G. Oriolo, and M. Vendittelli, “Task-oriented whole-body planning for humanoids based on hybrid motion generation,” *2014 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2014)*, pp. 4071-4076, 2014.
- 12) G. Venture, H. Kadone, T. Zhang, J. Grezes, A. Berthoz, H. Hicheur, “Recognizing Emotions Conveyed by Human Gait,” *Int. J. of Social Robotics*, Vol. 6, No. 4, pp. 621-632, 2014.