

Pelat Computing: フラフラ・ヨタヨタが引き出す〈ちから〉について

伊藤 夏樹^{1,a)} 佐々木 直人¹ 竹田 泰隆¹ デシルバラビンドラ¹ 岡田 美智男^{1,b)}

概要: ようやく歩き始めた幼児のヨタヨタと歩く姿を思わず目で追いかけてしまう。少しでも倒れそうになるなら、思わず手を差し伸べてしまう。こうしたヨタヨタ・フラフラした姿には、人を思わず揺り動かしてしまうような〈ちから〉を備えているのではないだろうか。本研究では、人のミラーニューロンを刺激することで生じる、力動的なインタラクションの場の創出を「ペラット・コンピューティング」と呼び、これに基づく新たなメディアの可能性を探るためのプラットフォーム"Pelat"を構築した。本発表では、その基本的な概念と基本動作をデモンストレーションによって紹介する。

Pelat Computing: Force field emerged from unstable behavior of Pelat

ITO NATSUKI^{1,a)} SASAKI NAOTO¹ TAKEDA YASUTAKA¹ P.RAVINDRA S. DE SILVA¹ OKADA MICHIO^{1,b)}

Abstract: The unconscious behavior will process automatically in our mind without correlating with memory, affect, and motivation. Since, this process will educe when people emergent the unstable behaviors in our space. In this study, we develop a pendulum type robot to explore how people dynamically adjusting their own interactive relationship and associated patterns while dynamically contemporising the unstable behaviors of the Pelat platform. The entire process, we would define as "Pelat Computing" which has a novel dynamic computing on the unconscious interactions. In this paper, we will discuss about the concept and behavioral interactions of the Pelat platform.

1. はじめに

幼ない子どもが危なげにフラフラ・ヨタヨタと歩く様子や生後間もない子鹿がおぼつかなく歩くのを見かけることがあるだろう。その様子を見た人はそのおぼつかない振る舞いに、思わず手助けをしたくなるとともに周囲と調整を図っている様子から、その対象が生きているのだという感覚を覚えることがある。Miyashita[1]らは、倒立振子のようなゆらぎを持った対象(ロボット)に対して、生き物らしさや親しみを感じさせる可能性を示唆している。

なぜ、人はおぼつかない振る舞いに生き物らしさや親しみを感じ、その結果、生き物にするそれと同様にロボットに対してもアシストをしてしまうのだろうか。そのおぼつ

かない振る舞いは、人を思わず揺り動かしてしまうような〈ちから〉を備え、他者からのアシストを引き出すための「場」を作り出しているのではないだろうか。また、この現象は人のミラーニューロンを刺激し、幼児などに感じるものと同様にロボットに対しても、人は他者を理解しようとし、思わず手助けをしてしまうのではないだろうか。

本研究では、先に述べた現象の持つ可能性を、人とロボットのかかわりあいを研究するHRI(Human-Robot Interaction)の観点から探るためのプラットフォームとして、倒立振子制御ロボット"Pelat"(図1)を構築した[2]。

私たちは、Pelatによる他者からのアシストを引き出す力動的なインタラクションの「場」の創出を"Pelat Computing"(ペラット・コンピューティング)と呼び、メディア・エンタテインメントにおける新たな可能性を探っている。

本稿では、Pelatがどのようなコンセプトで構築されたのかを紹介し、その構成・基本原理を述べる。また、展示

¹ 豊橋技術科学大学 情報・知能工学系
TUT, Toyohashi, Aichi 441-8580, Japan

^{a)} ito@icd.cs.tut.ac.jp

^{b)} okada@tut.jp

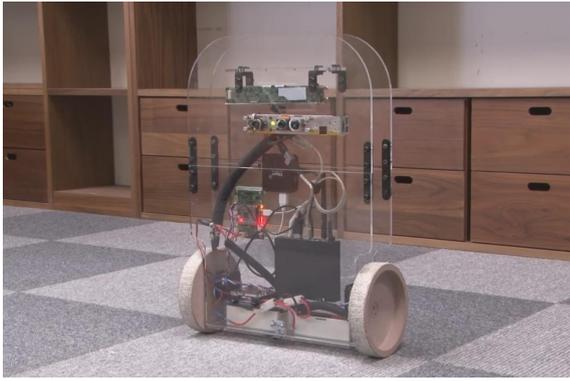


図1 倒立振り型ロボット「Pelat」

機会でのデモンストレーションを通して得られた、意見や知見を踏まえて実験を行った。その結果から、おぼつかない振る舞いから立ち現れてくる性質について述べる。最後に、その性質を利用することで考える"Pelat Computing"についての展望を述べる。

2. 研究背景

2.1 関係としての同型性

目にした対象に対して意図や生き物らしさを感じることをアニメシー知覚 (animacy perception) と呼んでいる [3]。Heiderらは単なる幾何学図形が動き回る動画を見せ、その図形についてどのような様子であったかを答えさせる心理実験を行った [4]。実験参加者らはそれら幾何学図形に対して「ためらった」「あきらめた」などの何らかの意図を感じている旨の説明をした。つまり、単なる図形であってもアニメシー知覚は生じるということを示したのである。

一方、Ishiguroらの開発したジェミノイド [5]、産業技術総合研究所による HRP-4C「未夢」 [6] など、人と同じ身体構造を持たせることによって生き物らしさ、人らしさを追求するものがある。

単なる図形、人に限りなく似せたロボット、それぞれに生き物らしさを感じるのは、これらが人間・生き物と同型な性質を備えているからであると考えられる。我々は、人と同じ身体構造を持つという意味での同型性を「実体としての同型性」と呼んでいる。対して、人々と同じように環境とかかわる上で、その環境との切り結びの様式が同型であるという意味での同型性を「関係としての同型性」 [7] と呼んでいる。この考えに基づけば、単なる幾何学図形の振る舞いは、生き物のそれと同じような環境とのかかわり方を行っている、「関係としての同型性」を備えているがゆえに生き物らしさを感じたと考えられる。

2.2 ミラーニューロン

ニューロン (神経細胞) とは、脳を構成している器官である。脳内で神経回路を構成し、神経を通して手や足などの各運動器官と電気信号のやりとりを行って、私たち人間に

高度な機能を実現させている。いわゆる通常のニューロン (標準ニューロン) のはたらきは、その人自身の運動と密接に関わっている。体を動かして何かを行おうとしたとき、脳内で対応した運動を司るニューロンが対応して発火するのである。また、視覚から得た情報にも対応して発火するニューロンがある。たとえば、マグカップをつかむとき、ボールをつかむとき、つかみ方は違うだろう。ここで、つかもうとしているもののや形、色などに呼応して発火するのである。視覚から得た情報と、対象物をつかもうとする意図を複合的に処理して、それぞれのものをつかむことができるのである。

一方、1996年に、標準ニューロンとは異なる場合に発火するものが発見された [8]。G.Rizzolatti et al. はマカクザルというサルの脳内に電極を埋め込み、サルがエサを拾い上げたときの標準ニューロンの活動を記録しようとしていた。通常、サルがエサを欲し拾い上げようとして、初めてニューロンが発火するのである。ところが、サルではなく実験者がエサを拾い上げたとき、サル自身が拾い上げたときと同様に発火するニューロンが現れたのである。これが今日、ミラーニューロンと呼ばれているものである。ミラーニューロンは、自身ではなく他者の行為を視覚的にとらえたときに、対象の他者に模倣し共感するかのように活動を示すことが知られている [9]。

2.3 Pelat: 「関係としての同型性」をもつロボット

本研究では、フラフラとした倒立振り子の動きを参考に、重力に逆らいながらおぼつかない振る舞いで、人々と距離を調整しあうロボット"Pelat"を研究プラットフォームとして利用した。Pelatは自身のおぼつかない動きに意味や役割を完結した形で与えられない不定さをもっている点や、歩行という行為を大地とともに「委ねる/支える」という関係を築きながら行っている点で、私たちと「関係としての同型性」をもった存在といえる。

2.4 Pelat Computing

幼児のヨタヨタ・フラフラした姿に、人が思わず揺り動かされてしまう。私たちは、おぼつかない振る舞いが何らかの「場」を生み出し、その影響で人が揺り動かされてしまうのではないかと考えている。また、他者のおぼつかない振る舞いを目の当たりにし、思わず手を差し伸べるのはミラーニューロンの影響なのではないかと予測している。Pelatの振る舞いを視覚的に捉え、ミラーニューロンが発火することで無意識的に揺り動かされているのである。

私たちは、ロボットが見せるおぼつかない振る舞いの〈ちから〉によって人のミラーニューロンが発火し、それによって生じた力動的なインタラクションの「場」の創出を"Pelat Computing"(ペラット・コンピューティング)と呼んでいる。

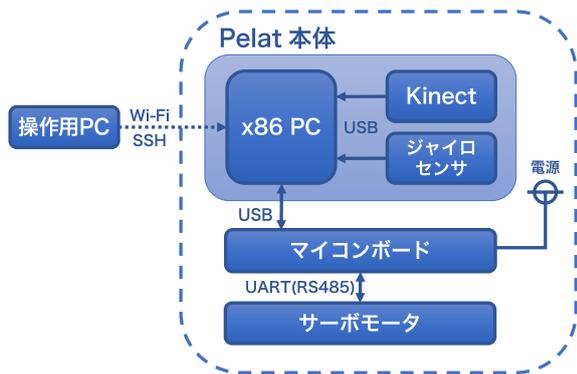


図2 システム全体構成

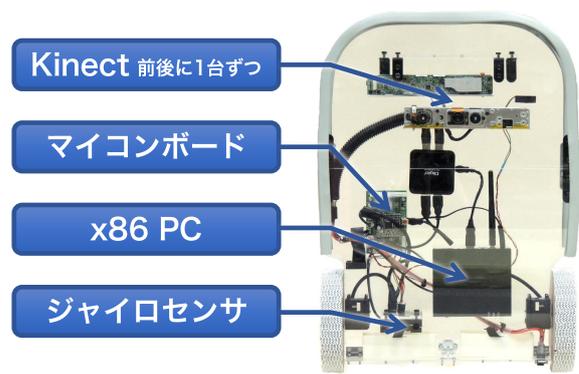


図3 Pelat 主な構成

3. Pelat:システム構成

本研究において利用したプラットフォーム"Pelat"のシステム構成を図2に示し、詳細を以下より述べる。

まず、主な役割を持つ構成要素(図3)について解説する。

Kinect: Pelat には、前面と背面に1台ずつ深度センサデバイス「Kinect」が搭載されている。RGBカメラ、深度センサが搭載されており、センサに映った人への距離などを得ることができる。

マイコンボード: モータやセンサの制御を行うためのマイコンボードが搭載されている。これは、SH2マイコンと電源回路などの周辺回路で構成されている。Pelatの構成では、車輪を回すためのサーボモータの制御に用いている。

x86 PC: Pelat にはロボット全体の管理・制御を行うために小型のx86 PC(GIGABYTE社BRIXシリーズ)が搭載されている。表1にこのPCのスペックを示す。

表1 x86 PC スペック

	BRIX(GB-BXi7-4500)
CPU	Intel Core i7-4500U 1.8GHz / 3.0GHz
GPU	Intel HD 4400 graphics
メモリ	4GB
OS	Ubuntu 14.04 LTS

ジャイロセンサ: 倒立振り子制御を行うため、ロボットの傾きや、加速度を計る6軸ジャイロセンサ(ZMP社IMU-Z Lite)を搭載している。

4. 動作原理

図4にPelatにおける倒立振り子制御を実現するための原理を説明する。

まず、Pelatに備えられたジャイロセンサを利用し本体の傾き、加速度を検知する。この値を利用し、PID制御を用いることによって自立を実現させている。ここで、PelatにおけるPID制御の式を示す。

$$S = R \cdot G_p + \int R \cdot G_i + R' \cdot G_d \quad (1)$$

ここでは S :モータへの出力値, R :角度, $\int R$:角度の積分値, R' :角速度, G_p, G_i, G_d :各項のゲインパラメータを表す。実運用上、モータにデジタルサーボを用いているため、モータの出力を制御するには、0~1023の範囲の整数値で指定をする必要がある。適切に量子化を行い、各サーボモータに初期パラメータ(最大トルクなど)を与える必要がある。

PID制御の特徴として、制御が安定するまでに、信号がバタつく時間がある。今回は、この様子をおぼつかない振る舞いを表現するために利用することにした。しかし、PID制御を適切に実装した場合、これらのバタつきはさほど生じることはない。そのため、こういったバタつきを際立たせることを目的としてPID制御に与えるセンサの実測値にノイズを加算している。このノイズによって、ロボットのおぼつかない振る舞いを表しやすくしている。しかし、あくまでおぼつかない振る舞いは周囲との調整の過程に現れるものであり、おぼつかない振る舞いの本質はPID制御の部分が環境とのかかわり方を表していることに留意されたい。

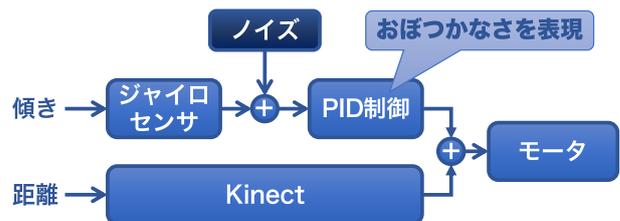


図4 Pelat:動作原理

5. 実験概要

本実験の目的はPelatの振る舞いの変化によって、力動的な「場」を介したインタラクションにどのような影響があるか調査することであった。Pelatのおぼつかない振る舞いに対して、人がどのような反応を示しているのかを観察した。

5.1 実験方法

今回の実験では、Pelatの二種類の動作モードのインタラ

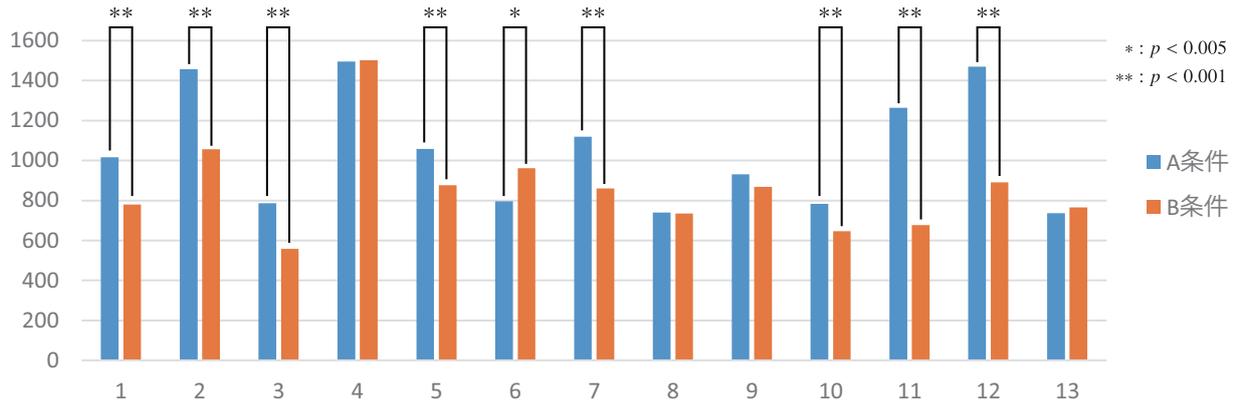


図7 各実験参加者の人とロボットの平均距離

クッションに対する振る舞いを比較する。二種類の動作モードは前述の原理で述べた通り、PID 制御による動作モード 1 と制御に与えるセンサの実測値に外乱を加算して生成した動作モード 2 を用意した。実験では、動作モード 1 を A 条件、動作モード 2 を B 条件とする。

実際の実験の様子を図 5 に示す。実験参加者にはスタートライン（図 5 右側）からゴールライン（図 5 左側）に Pelat を誘導してもらおうタスクを設定した。Pelat は Kinect によって正面に人を認識すると人の方向に進むように制御した。試行中、スタートラインからゴールラインに誘導する際の人と Pelat の距離を記録した。試行後、実験参加者は印象評価のための質問に回答した。この試行を各実験参加者に対して、A 条件と B 条件で行う。なお、各条件を試行した順序による影響を避けるため、実験参加者に対して、A 条件と B 条件の順序を入れ替えつつ試行を行った。



図5 実験の様子

5.2 実験参加者

実験参加者は 18 歳から 25 歳の男子 11 名、女子 4 名の計 15 名であった。なお、募集した実験参加者らは、本研究に関連した実験経験の無い者を募った。

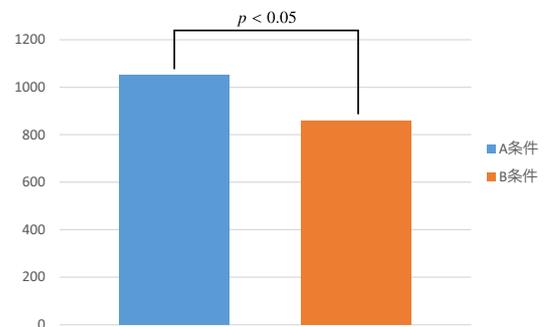


図6 実験参加者全体の人とロボットの平均距離

6. 実験結果

参加者 15 名のうち、13 名から有効な結果が得られた。以下よりそれぞれの結果に対して行った分析結果について述べる。

6.1 実験参加者全体の平均距離

実験条件 A, B で実施した試行における実験参加者全体の人とロボットの平均距離の結果を図 6 に示した。

6.2 各実験参加者の人とロボットの平均距離の分析

実験条件 A, B で実施した試行における各実験参加者の人とロボットの平均距離の結果を図 7 に示した。これらの結果に対して t 検定を行ったところ、13 名中 9 名において有意水準 5 % の統計的有意差を確認できた。

6.3 距離データの時間変化

Pelat はどのように人の距離調整を引き出しているのか、人とロボットの時間あたりの距離の変化を観察した。統計的有意差が確認できた実験参加者のデータから、時間ごとの距離を表したグラフを実験条件 A, B でそれぞれ図 8 と

図9に示した。

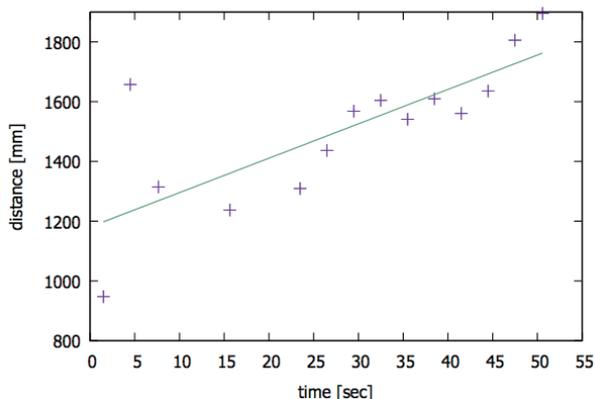


図8 人とロボットの時間あたりの距離:A 条件

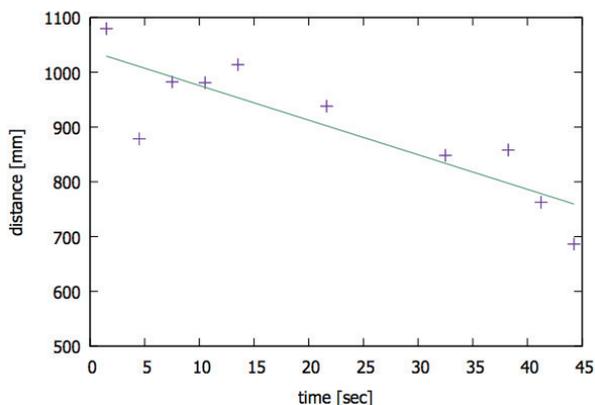


図9 人とロボットの時間あたりの距離:B 条件

7. 考察

7.1 実験参加者全体の平均距離

スタートラインからゴールラインに到達するまでの時間に対する実験参加者全体の人とロボットの平均距離は、条件 A では 1050mm, 条件 B では 860mm という結果が出た。これらの結果に対して t 検定を行ったところ、有意水準 5% で統計的有意差を確認できた。A 条件よりも B 条件での動作モードでは、人とロボットの距離が短くなることが示された。この結果により、A 条件と B 条件の間で人のロボットに対しての距離調整に変化が生じたことを示唆している。

7.2 各実験参加者の人とロボットの平均距離の分析

また有意差が示された 9 名中 8 名は B 条件での試行の方が人とロボットの距離が短くなることが示された。実験参加者全体の平均距離での t 検定の結果と合わせ、B 条件(外乱を加えたとき)の試行の方が、人とロボットの距離が短

くなるような距離の調整が行われているといえる。

7.3 距離データの時間変化

A 条件のとき、スタートからゴールに到達するまで徐々にロボットとの距離が長くなっていることがわかる。一方、B 条件ではスタートからゴールに到達するまで徐々にロボットとの距離が短くなっていることがわかる。A 条件に比べ B 条件では Pelat のおぼつかない動きに実験参加者が何らかの〈ちから〉を受け、距離が短くなるような距離調整を行ったのではないかと考えられる。

8. まとめ

おぼつかなく振る舞う幼児や動物に、思わず揺り動かされるという事象がある。ここから、ロボットのおぼつかない振る舞いが他者からのアシストを引き出す「場」を作り出す要因として挙げられると考えた。また、先行研究におけるおぼつかない振る舞いが生き物らしさを備える要因となる可能性を考慮し、「場」の構成原理の一つとして生き物らしさがかかると考えた。ここでは、生き物らしさを実現する上で関係としての同型性を追求するべく、プラットフォームとしてのロボット "Pelat" を構築し、デモンストレーションおよび実験を行った。

「実体としての同型性」を削ぎ落としたロボット "Pelat" は、コンテスト (IVRC2013[10]) や外部施設でのデモンストレーションで、生き物らしさや何らかの意図を感じる旨の意見をいただいていた。これを踏まえて、実際のロボットとのインタラクションの中から、力動的な「場」の構成原理を探る実験として、距離の調整がどのように変化するかを観察した。結果として、安定した動きに比べ、おぼつかない振る舞いがロボットへの接近をもたらしていた。おぼつかない、フラフラ・ヨタヨタと言った振る舞いが何らかの〈ちから〉をもっていることを示唆している。

私たちは、この結果の要因として、脳内のミラーニューロンが密接に関わっているのではないかと予測している。人間のミラーニューロンシステムは、他者の行為を模倣し、他者の行為の意図を理解するために活動することが知られている [11]。実験参加者たちが Pelat に対して無意識的に距離を詰めたのは、ミラーニューロンシステムによってもたらされた模倣から、Pelat の意図を汲んだものと考えている。

今後の展望として、脳科学の視点から Pelat と人とが触れ合った様子を実験・考察し、ロボットに対しておぼつかない振る舞いを適応することで、実際に触れた人々のミラーニューロンを活発化させることを示し、すなわち "Pelat Computing" によるコンテンツの可能性を探りたい。

謝辞 本研究の一部は、科研費基盤研究 (B) 26280102 によって行われている。ここに記して感謝の意を表する。

参考文献

- [1] Miyashita, T. and Ishiguro, H. : Human-like natural behavior generation based on involuntary motions for humanoid robots, *Robotics and Autonomous Systems*, Vol.48, pp. 203-212(2004).
- [2] 堀田大地, 伊藤夏樹, 竹田泰隆, P.Ravindra De Silva, 岡田美智男: Pelat:おぼつかなさを有するロボットと人との関わりについて, HAI シンポジウム 2014 プロシーディングス, G-7, pp.41-47 (2014).
- [3] 植田一博, 福田玄明: 対象の運動に対する関わりがアニメーション知覚に与える影響, 第 21 回人工知能学会全国大会 (JSAI2007) 論文集, 2D5-11 (2007).
- [4] Fritz Heider and Marianne Simmel : An experimental study of apparent behavior, *The American Journal of Psychology*, Vol. 57, No. 2, pp. 243-259, (1944).
- [5] 坂本大介, 神田崇行, 小野哲雄, 石黒浩, 萩田紀博: 遠隔存在感メディアとしてのアンドロイド・ロボットの可能性, *インタラクション 2007*, 情報処理学会シンポジウムシリーズ, Vol.2007, No.4, pp.97-104(2007).
- [6] 金子健二, 金広文男, 森澤光晴, 三浦郁奈子, 中岡慎一郎, 原田研介, 梶田秀司: サイバネティックヒューマン HRP-4C の開発: プロジェクト概要からシステム設計まで, *日本ロボット学会誌*, Vol.28, No.7, pp.853-864(2010).
- [7] 吉池佑太, 岡田美智男: ソーシャルな存在とは何か-Sociable PC に対する同型性の帰属傾向について-, *電子情報通信学会論文誌 A* Vol. J92-A No.11 pp.743-751(2009).
- [8] ジャコモ・リゾラッティ&コラド・シニガリア 著, 柴田裕之 訳, 茂木健一郎 監修: *ミラーニューロン*, 紀伊國屋書店, pp.96-102 (2009)
- [9] 子安増生, 大平英樹 編: *ミラーニューロンと〈心の理論〉*, 新曜社, pp.103-126(2011)
- [10] 伊藤夏樹, 堀田大地: *Toppars ~必死な気持ち~*, 第 18 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, IVRC-5, pp.695-696(2013).
- [11] リゾラッティ et al., 前掲, pp.120-132