

# 自己を成立させる随伴性と他者を意識させる因果性

## "Self" Set up by Contingency and "Others" Made Aware of by Causality

瀧見彰太<sup>1</sup> 棟方渚<sup>1</sup> 小野哲雄<sup>1</sup>

Takimi Shota<sup>1</sup>, Munekata Nagisa<sup>1</sup>, and Ono Tetsuo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>北海道大学

<sup>1</sup>Hokkaido University

**Abstract:** For example, Canes of the blind and the rubber hand illusion, it is widely known that we can recognize objects as parts of "Self". However, Changes in recognition of "Self" are not deeply discussed, especially in the state where you can see your body. In this study, it was researched how Contingency and Causality affect recognition boundary between "Self" and "Others" by delaying projections using shadow media and haptic feedbacks.

## 1 はじめに

人は盲人の杖、義手、そしてラバーハンドイリュージョン (以下, RHI) [1]におけるラバーハンドのように、自分の身体以外の対象物を自分の身体の一部であると錯覚することが報告されている。これらの現象では、身体と神経のつながりが無い対象物への刺激であっても、脳がその刺激を自分の身体への刺激であると知覚していることが知られている[2]。また、特に盲人の杖や義手は、それを外界の対象物と相互作用 (インタラクション) するための基盤として扱うことができる。

一方で、パソコンの操作に用いるマウス (と画面に映るポインタ) や車の運転に用いるハンドルなど、人が外界とインタラクションするための基盤として利用している物体は数多く存在する。しかし、人がそれら全ての物体に対して自分の身体の一部であると認識しているとは考えにくい。

本研究では、身体の動作に対応した映像を投影する影メディアに遅延を与えることで、投影された影メディアに対する認識の変化を実験により調査した。本研究により、対象物への認識は自己か他者かの二択だけでは説明できないことを示す。

本論文における以下の構成は次の通りである。2章では自身の身体以外の対象物を自分の身体であると錯覚する現象 (以下、身体拡張と呼ぶ) についての先行研究に触れ、3章では従来の研究における問題点を挙げ本研究における目的を示す。4章では本研究で行った実験の内容を説明し、5章では実験結果を示し、6章で結果の考察を示す。7章では展望を示す。

## 2 先行研究

### 2.1 自己所有感・自己主体感

人が自分の身体を認識する主観的感覚として、自己所有感 (sense of ownership) と自己主体感 (sense of agency) の2つが存在する[3]。自己所有感とは、観察された物体を自分の身体に備わっているもの (所有物) であると認識する感覚であり、自己主体感とは、観察された物体の運動が自身によって引き起こされていると認識する感覚である。これらの感覚は、対象物を身体の一部であると認識しているかどうかを判断するための基準として用いることができる。

### 2.2 RHI 研究によって得られた知見

RHI (ラバーハンドイリュージョン) とは、ラバーハンドと自分の手を並べて置き、衝立によって自分の手は隠されてラバーハンドだけが見える状態になっているとき、その2つの手を同期して刺激させられ続けることで、ラバーハンドへの刺激が自分の手への刺激のように感じる現象である[1]。

RHI が起こる条件については多くの研究がなされている。まず、視触覚の刺激が同期していなければ RHI は起こらないとされ、視覚情報と触覚情報のずれが 0.3s 以上になると RHI が起こりづらくなる[4]。また、RHI は手の形をした物体である必要がなく、机を刺激した場合でも RHI が起こることが報告されている[5]。一方で、ラバーハンドの置く向きを実際の手より 90° 傾けた、左右逆にした、木製スティックにした場合には RHI は起こらないことが報告された[6]。これは、自己の身体図式[7]との違いが机より

も明確に提示されることが原因と考えられる。これらの先行研究から、RHIのような自分の身体位置がずれて認識される現象が起こるためには、①視触覚刺激が同期している、②自己の身体図式と矛盾しない、以上の二点が必要であることが示された。

RHIを自己所有感、自己主体感の基準でみたとき、身体とは異なる対象物への刺激を自分への刺激であると思いつくこと、偽物の手を自分で動かすことができないことから、RHIは自己所有感が別の対象物に拡張されるかを検証した現象であり、自己主体感については議論できない現象であるといえる。

### 2.3 能動的に動かせる物体への身体拡張

自己主体感について議論するためには身体拡張を起こそうとしている対象物を自分で動かせる必要がある。Short氏とWard氏[8]は、HMDにより出力した仮想現実環境を用意し、仮想空間上の手を自分で操作できるようにしたとき、被験者がその手を自分の手であるかのように認識したことを報告した。また、この認識は手を前方の遠い位置、もしくは向かい合うように配置した場合や、手ではなく足、円錐の形をした物体の場合でも同様の結果が見られた。またこの実験において被験者は自己所有感と自己主体感を感じていたことが分かった。

上記は、能動的に動かせる対象物に対しては、2.2節であげた条件は必ずしも必要ではなく、運動結果の予測と視覚フィードバックが一致していれば(=自己主体感があれば)身体拡張が起こることを主張する。これは、2.2節とは違い、運動(触覚刺激)と視覚刺激が時間的なずれなく起こる必要はないことを示す。

## 3 目的

### 3.1 問題提起

これまでの研究では、自己所有感が拡張された物体と自己主体感が拡張された物体を、区別なく身体拡張が起きている物体と表現していた。しかし、2.2節と2.3節より、自己所有感を拡張させる条件と自己主体感を拡張させる条件は異なることがわかり、時間的なずれの有無、そして拡張先の対象物の形状いずれの点においても自己主体感の拡張の方が容易に起こることがわかる。

本研究では、上記の事実から、自己所有感が自己主体感を内包した感覚なのではないかと主張する。この主張をベン図に表したものを図1に示した。これは、自己所有感はないが自己主体感はある対象物は存在するというものであり、定義に則っていえ

ば、その対象物は「自分の身体に備わっているものではないが自分の行動によって動く物体」であるといえる。それは、私たちが日常的に用いている道具のほとんどに当てはまり、これが正しいとすれば、全てのインタラクション基盤を身体の一部と認識しているわけではない、という1章で述べた主張を裏付ける一つの根拠になりうる。

以上のことを踏まえると、自己所有感と自己主体感両方の基準で外界の対象物を区分した場合、「自己」、「自己ではないが自分で操作できるもの(道具)」、「他者」の3つに分けることができるはずである。

本研究では、この3区分の存在を、対象物への認識が変化する境界を見つけることで示すことを目的とする。

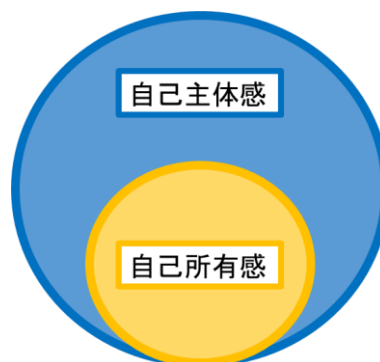


図1. 本研究で提唱する自己所有感と自己主体感のベン図関係

### 3.2 仮説

2.2節より、感覚情報の提示に一定以上の時間的なずれがあると、対象物に対する自己所有感が損なわれることが明らかとなっている。一方で2.3節より、時間的なずれに関わらず、運動結果の予測と視覚フィードバックが一致していれば自己主体感の対象物に拡張される。このことから、以下の仮説を立てた。また、この仮説による認識の分類を表1にまとめた。

#### 仮説①：随伴性

触覚情報と視覚情報の提示が短時間で両方行われる、つまり二つの情報提示に随伴性がある場合、対象物に自己所有感が拡張され、身体拡張が起こる。また、身体の一部であると認識している物体は直感的な操作が可能である。

#### 仮説②：因果性

随伴性が成立しないような時間的なずれがある場合でも、自分の動きに対応して対象物が動作するという因果性が崩れなければ自己主体感は拡張され、その対象物を、道具として扱い続けることが可能であ

る。

仮説③：他者

一定以上の遅延になると人は対象物との因果性を理解することができず、対象物への自己主体感が損なわれ、道具として扱えなくなる。

表 1. 随伴性・因果性による認識の分類

	随伴性	因果性	なし
時間的ずれ	なし	少しあり	あり
自己所有感	○	×	×
自己主体感	○	○	×
認識	自己	道具	他者

また、自己所有感と自己主体感が図 1 で示すようなベン図の関係になっているか検証するために次の仮説も用意した。

仮説④：ベン図関係の証明

図 1 より、自己主体感はないが、自己所有感はある対象物は存在しえない。よって、自己主体感を失った対象物が自己所有感をもつことはない。

## 4 実験

本研究では 3 つの実験を行った。被験者は 22～25 歳の大学（院）生で、4.2 節の実験の被験者数は 10 人（男性 9 人、女性 1 人）である。この被験者には、4.2 節の実験が終了した後に引き続き 4.3 節の実験を行ってもらった。4.4 節の被験者数は 10 人（男性 8 人、女性 2 人）である。

また、本実験の様子を撮影し、実験中の発言内容を実験終了後に確認できるようにした。

### 4.1 実験環境

今回は身体の拡張先として簡易的な影メディアを用いた。影メディアとは、人為的に作り出した影を利用したメディアのことである。これを用いた理由は、影メディアが人との形態学的類似性を保持した状態で色や深度のモダリティを欠落させた対象物であることから、自己所有感の拡張が起こる条件に合致した対象物であると判断したためである。影メディアシステム実装には kinect v2.0[9]を使用し、出力画面をプロジェクターで半透明スクリーンに背面投影した。実験環境の模式図は図 2 と図 3、実験の様子を図 4 に示した。kinect v2.0 から情報を取得してから、映像を出力するまでには平均して 0.05s の遅延があった。

各実験で被験者に行ってもらったゲームは、影メ

ディアを利用して映像中の動く点を掴むというもので、各実験で共通である。動点の出現位置はランダムで、出現位置を中心として、周期的に上下(もしくは左右)に往復するように動かした。掴む判定は kinect v2.0 の機能で実現した。また、身体拡張のためには複数の感覚器官からの入力が必要であることから、影メディアの手と点が重なった際に振動モータを振動させるという触覚フィードバック装置を被験者の両手に装着した。

また、ゲーム自体に慣れてもらう時間をすべての実験開始前に設けた。

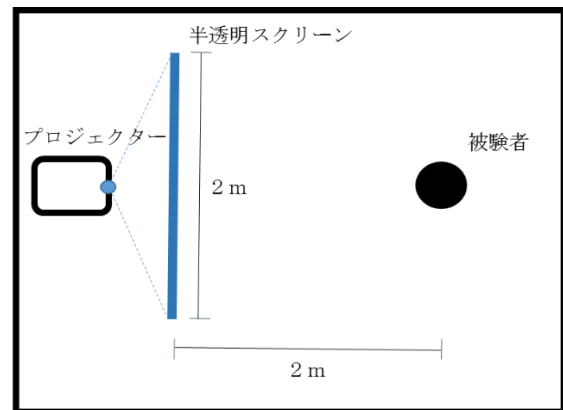


図 2. 実験環境（天井から見た図）

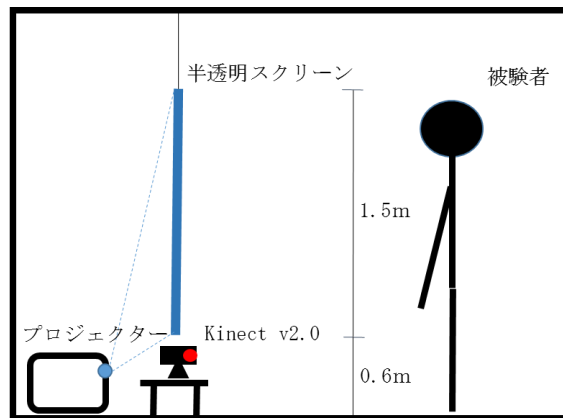


図 3. 実験環境（横から見た図）



図 4. 実験の様子

## 4.2 因果性を保持できる境界を知る実験

被験者には、映像中の動く点を5分以内に10個掴むゲームを行ってもらった。ゲームの難易度は11段階あり、難易度が1段階上がるにつれて、被験者の動きと比べて影メディアの動きが+0.1s遅延する(最大+1.0s)。被験者は一番難易度の低い状態(+0.0s)から始め、ゲームをクリアできた被験者には難易度を1段階上げて同じゲームを行ってもらった。ゲームをクリアできなくなった(5分経過 or ギブアップ)時点で実験を終了した。仮説③が正しいとすれば、遅延が大きくなるにつれて因果性が損なわれ、ゲームをクリアできなくなる人が現れることが予想される。

練習終了後および実験終了後にインタビューを実施した。内容は以下の通りである。

(練習終了後)

①「映像中の影メディアが自分と同じ動きをしているという感覚はありますか? 1~4の中から一つ選んでください。」

1.ない 2.あまりない 3.少しある 4.ある

(実験終了後)

②「実験の後半になるにつれて、ボールを掴むためにどのようなことを考えて掴むようになりましたか? 自由に答えてください。」

今回の実験は遅延がない状態を基準に計測したい。しかし、システム上平均 0.05s の遅延が必ず発生する。そのため、ゲームの難易度が最低の状態では被験者が遅延を特に意識していないかどうかを確認するためにアンケート①を利用した。

また、仮説②が正しいとすれば、遅延が大きくなるにつれて、直感的に操作できなくなり、影メディアの遅延を計算して動点を掴むようになることが予想される。

アンケート終了後、被験者には後述の 4.3 節の実験を行ってもらった。

## 4.3 随伴性を保持できる境界を知る実験

被験者には 4.2 節と同じ実験を、認知的負荷をかけた状態で行ってもらった。今回は認知的負荷をかけるために、1000 から 1 を減算し続けその計算結果を逐一声に出して発話するタスクを被験者に行かせた。4.2 節と同様に、ゲームをクリアできなくなった(5分経過 or ギブアップ)時点で実験を終了した。

仮説①が正しいとすれば、遅延が大きくなるとある瞬間に随伴性が損なわれ動点を掴む行為もしくは連

続減算の精度に影響が出ることが予想される。また、仮説②が正しいとすれば、随伴性が損なわれる瞬間の遅延と因果性が損なわれる瞬間の遅延は、有意に異なることも予想される。

実験終了後にインタビューを実施した。内容は以下の通りである。

③「ボールを掴むときに、4.2 の実験の時に答えてもらったことと同じことを考えてボールを掴むことはできましたか? 自由に答えてください。」

## 4.4 仮説④について検討した実験

この実験は、被験者の隣に実験者が立った状態でゲームを1回だけ行ってもらった。この実験では、10個の動点を掴む際、最後の10個目(10個目は静止した点)を掴むときだけ被験者の右手の動きが隣に立っている実験者の動きに合わせて動作するようにした。

上記のシステムを影メディアで構築することが技術的に困難であったため、この実験では、身体の拡張先としてバイオロジカルモーションを利用した。バイオロジカルモーションとは、対象人物の関節の位置のみを描画した動点の集合であり、このバイオロジカルモーションを人であると認識できることがわかっている[10]。また、この実験では被験者とバイオロジカルモーションの動きに時間的ずれを生じさせなかった。よって、バイオロジカルモーションに自己所有感、自己主体感ともに拡張されるとみなすことができる。

ゲーム練習後とゲーム本番終了後にアンケートに回答してもらった。心理的指標を扱うにあたり、多面的感情状態尺度(敵意、親和、怠慢、驚愕の4つの感情因子、1因子につき5項目の質問)を使用した[11]。アンケート内容は以下に示した。下記では、各項目がどの感情因子に対応しているか記載しているが、実際のアンケート用紙には記載しなかった。

(練習終了後)

問「下記に、人の感情や気持ちを表すことばが並んでいます。一つ一つのことばについて今、現在それらの感情を映像中の“動点の集合”に対してどの程度感じているかチェックしてください。」

選択肢

1. 全く感じていない
2. あまり感じていない
3. 少し感じている
4. はっきり感じている

項目	
(怠) 退屈な	1-2-3-4
(親) いとおしい	1-2-3-4
(敵) 攻撃的な	1-2-3-4
(怠) だるい	1-2-3-4
(驚) 驚いた	1-2-3-4
(敵) 敵意のある	1-2-3-4
(驚) びっくりとした	1-2-3-4
(親) 恋しい	1-2-3-4
(怠) 疲れた	1-2-3-4
(驚) 動揺した	1-2-3-4
(敵) むっとした	1-2-3-4
(親) すてきな	1-2-3-4
(怠) つまらない	1-2-3-4
(敵) うらんだ	1-2-3-4
(親) 好きな	1-2-3-4
(驚) はっとした	1-2-3-4
(敵) 憎らしい	1-2-3-4
(驚) びっくりした	1-2-3-4
(親) 愛らしい	1-2-3-4
(怠) 無気力な	1-2-3-4

(実験終了後)

「下記に、人の感情や気持ちを表すことばが並んでいます。一つ一つのことばについて、10個目の点をつかむ際にそれらの感情を映像中の“動点の集合”に対してどの程度感じていたかチェックしてください。」※選択肢、項目ともに同上

「10個目の点をつかむ際、何かが変化しました。どのような変化が起きたか、自由にお答えください。」

もし仮説④が正しいとすれば、操作権が奪われたときに親和は減少するが、自己から他者になるだけであるため、敵意は有意に上昇しないと予想できる。

## 5 結果と解析

4.2節と4.3節の実験における各被験者のゲームクリア状況とアンケート結果を表2、5にまとめた。

4.2節と4.3節の実験について、クリアできた最大難易度での遅延[s]の差(4.3節の実験については、計算ミスを起こした難易度以降はクリアしたとみなさない)に統計的有意差があるかどうか Paired-t 検定を行った結果、統計的有意差があると示された(p<0.01, 片側検定)。

4.4節の実験について、ゲーム開始前とゲーム開始後それぞれのアンケート結果を感情因子別に集計し

表 2. アンケート①の結果とゲームの達成度

被験者	アンケート ①	クリア可能な 最大遅延[s]	
		負荷無	負荷有
A1	4	0.6	0.0
B1	4	0.7	0.1
C1	3	0.6	0.0
D1	4	1.0	0.1
E1	4	1.0	0.4
F1	4	1.0	0.0
G1	4	0.7	0.3
H1	4	0.8	0.2
I1	4	1.0	0.0
J1	4	0.1	0.0

表 3 敵意と親和に関わる質問項目の合計度数

被験者	敵意		親和	
	実験前	実験後	実験前	実験後
A2	5	9	16	11
B2	5	11	6	5
C2	5	14	12	10
D2	7	15	9	7
E2	8	12	10	5
F2	5	9	7	6
G2	5	9	10	10
H2	5	5	5	5
I2	5	7	10	9
J2	5	5	9	7

表 4. 倦怠と驚愕に関わる質問項目の合計度数

被験者	倦怠		驚愕	
	実験前	実験後	実験前	実験後
A2	6	10	9	15
B2	13	11	9	13
C2	10	8	11	13
D2	8	10	10	18
E2	6	6	7	10
F2	13	9	5	13
G2	10	8	7	14
H2	13	7	5	5
I2	8	5	6	19
J2	8	5	7	15

表 5. アンケート②③の結果

被験者	アンケート②	アンケート③ (②と比べて)
A1	・動点が停止する端から手までの到達時間を計算	・できないときがあった ・直感的に掴む
B1	・動点の動きと比べてどれくらい遅れているか考えた	・減算ばかりしていた
C1	・自分の手とみなしていない ・自分との誤差を計算	・同様に行った
D1	・数秒後に動く影をイメージ ・影がボールを掴むように	・影が掴むように ・誤差計算できなかった
E1	・自分と影の時間のずれを計算	・ずれの計算やりづらかった ・減算停止した時に点に集中
F1	・どこで握ればとれるのかタイミングを計っていた	・感覚でやった ・誤差計算あまりできなかった
G1	・どの位置で手を掴めばよいかタイミングを計った	・タイミング合わせづらい ・意識が分散して逆に良かった
H1	・端の止まる位置からどれくらい離れた位置でとればよいか考えていた	・+0.5s までは感覚、それ以降は動きの計算、最後は攻略法発見
I1	・端の止まる所を基準にタイミングをはかった	・感覚で掴むようになっていた
J1	・直感的、できなければずらす	・同じようにやった

た合計度数と表 3, 4 にまとめた。ゲーム開始前とゲーム開始後の合計度数について感情因子ごとにウィルコクソンの符号付順位検定を行った。結果、ゲーム開始前と比べて、ゲーム開始後の方が敵意と驚愕の感情が増加し (ともに  $p < 0.01$ , 片側検定), 親和の感情が減少 ( $p < 0.01$ , 片側検定), 怠慢の感情は変化しているとは言えないことが示された ( $p > 0.01$ , 片側検定)。

## 6 考察

実験 4.2 のアンケート結果より、最初の段階ではシステム上の遅延 (0.05s) に対して違和感がある人はいなかった。実験結果より、対象物との遅延が大きくなるにつれて、対象物を利用したインタラクションが困難になっていくことが分かった。これは、自己と対象物との因果性を理解できなくなっていると考えられる。因果性を保持できる限界は個人差が大きいが存在自体は示唆することができた。よって、仮説③は証明された。

また、認知的負荷をかけた状態では、遅延が大きくなるにつれて動点を掴む行為もしくは連続減算のどちらかのタスクに弊害が生じ始めた。これは、遅延が大きくなるにつれて、対象物との随伴性が損なわれ、直感的な操作ができなくなり、対象物の挙動を意識・計算・予測をしなければならなくなることが原因であると考えられる。アンケート結果からも、認知的負荷をかける前は点の動きや遅延の長さを計算して動点を掴んでいたのに対し、認知的負荷をかけた後はそのような計算ができなくなっていたことがわかる。以上より、仮説①は証明された。

統計的検定の結果、因果性を保持できる限界と随伴性を保持できる限界には有意な差があることが分かった。よって、自己所有感 (と自己主体感) がある対象物と自己主体感がある対象物はそれぞれ別に存在するというものであり、仮説②は証明された。

4.4 節の実験では、10 個目のボールを掴もうとした際、被験者の動きを模倣していたバイオロジカルモーションの右腕の自己主体感が失われたことを被験者全員が認識していたことがアンケートからわかった。統計的検定の結果から、自己主体感が損なわれた場合、人は操作していた対象物に親和を感じなくなった。しかし、それと同時に敵意も感じるようになった。よって、仮説④を証明することができなかった。

## 7 展望

本研究により、自己所有感と自己主体感両方の基準でみたとき、「自己」と「他者」という認識だけでは説明できない対象物が存在することを示唆することができた。これは、身体拡張についての議論に自己所有感および自己主体感を使用する際、それぞれの感覚が拡張された対象物を「自己の一部であると認識されている物体である」と安易に結論づけることの危険性を示している。

自己所有感と自己主体感はともに身体拡張という現象を見るために必要な指標であるが、この 2 つの

関係については不明である。本研究では、自己所有感が自己主体感を内包しているという仮説のもと実験を行ったが、その仮説を立証するまでには至らなかった。

仮説④が証明できなかったことから、自己主体感を失っても自己所有感が失われないことがあるという可能性が示唆された。4.4節の実験では、操作権は失ったもののバイオリジカルモーションの見た目自体は変化していないこと、また触覚フィードバックは変わらず被験者に与えられていることから、この実験では自己所有感が失われていなかったと考えることも可能である。もし、この実験が自己所有感は失っておらず、自己主体感のみが失われている実験であるとするならば、図1で主張したベン図関係が間違いということになり、その場合、図5のようなベン図関係になることが考えられる。

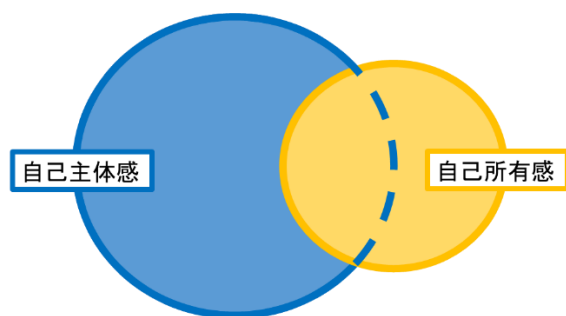


図 5. 新たに示唆されたベン図関係

本研究によって、自己所有感と自己主体感がそれぞれ対象物の認識にどのような影響を与えるのか、そしてこの二つの感覚はどのような関係にあるのかについての議論の必要性を提示することができた。少なくとも1章で述べた、全てのインタラクション基盤を身体の一部と認識しているわけではないという本研究の主張に妥当性があることを示すことができた。

...

## 参考文献

- [1] M Botvinick, J Cohen: "Rubber hands' feel'touch that eyes see," Nature, Vol. 391, pp. 756, (1998)
- [2] A Maravita, C Spence, S Kennett: "Tool-use changes multimodal spatial interactions between vision and touch in normal humans, Publication Source," Vol. 83, No. 2, pp. B25-B34, (2002)
- [3] S Gallagher: "Philosophical conceptions of the self: Implications for cognitive science," Vol. 4, No.1, pp. 14-21, (2000)
- [4] S Shimada, K Fukuda, K Hiraki: "Rubber hand illusion under delayed visual feedback," PloS one, (2009)
- [5] KC Armel, VS Ramachandran: "Projecting sensations to external objects: evidence from skin conductance response," proceedings of the royal society B, Vol. 270, No.1523, (2003)
- [6] M Tsakiris, P Haggard: "The rubber hand illusion revisited: visuotactile integration and self-attribution," Journal of Experimental Psychology, Vol. 31, No.1, pp. 80-91, (2005)
- [7] H Head, G Holmes: "Sensory disturbances from cerebral lesions," Brain, Vol. 34, No.2-3, pp. 102-254, (1911)
- [8] F Short, R Ward: "Virtual limbs and body space: Critical features for the distinction between body space and near-body space," Journal of Experimental Psychology, Vol 35, No. 4, pp. 1092-1103, (2009)
- [9] Kinect:  
<https://web.archive.org/web/20160410111826/http://www.xbox.com/ja-JP/kinect?xr=shellnav>  
[accessed 9 November 2016]
- [10] Johansson G: "Visual perception of biological motion and a model for its analysis," Percept Psychophys, Vol. 14, pp. 201-211, (1973)
- [11] 寺崎 正治, 岸本 陽一, 古賀 愛人: 多面的感情状態尺度の作成, 心理学研究, Vol. 62, No. 6, pp. 350-356, (1992)

