

観葉植物への身体所有感の生起に関する研究

A Study on the Generation of Sense of Body Ownership for Houseplants

2024年3月

札幌市立大学大学院
デザイン研究科 博士後期課程

三上拓哉

目次

第1章 序論.....	1
1.1 本研究の背景.....	2
1.2 本研究の目的.....	5
1.3 研究方法.....	6
1.4 本研究の構成.....	6
第2章 自己の身体認知メカニズム.....	8
2.1 はじめに.....	9
2.2 narrative self と minimal self.....	9
2.3 身体所有感.....	11
2.3.1 身体所有感が生起する条件について.....	12
2.4 運動主体感.....	15
2.4.1 運動主体感が生起する条件について.....	16
2.5 身体所有感を錯覚させる方法について.....	18
2.5.1 身体所有感・運動主体感の相互関係について.....	18
2.5.2 提案されている身体感覚のモデルについて.....	19
2.6 自身の身体以外の物体へ身体所有感を錯覚する可能性について.....	23
2.6.1 体外離脱体験.....	23
2.6.2 身体交換体験.....	24
2.6.3 ヒト型以外のオブジェクトへの身体交換体験の拡張.....	25
2.7 他の身体や物体に身体所有感の錯覚が生起したことによる心理的な影響.....	26
2.8 まとめ.....	27
第3章 観葉植物に対し身体所有感を錯覚する方法の実現可能性.....	28
3.1 はじめに.....	29
3.2 本研究で使用する観葉植物について.....	29
3.3 (1)非人型として用いる観葉植物に対し、身体所有感を錯覚することは可能であるか.....	31
3.4(2)観葉植物に対し、身体所有感を錯覚するために、受動的な生起方法と能動的な生起方法は実装可能であるか.....	31
3.5 (3)受動的または能動的な生起手法のどちらの有効性が高いか.....	33
3.6 まとめ.....	34
第4章 受動的な身体所有感の生起方法について.....	35
4.1 はじめに.....	36
4.2 受動的な生起方法の実装について.....	36
4.2.1 システムの概要.....	36

4.2.2 システムの構成.....	37
4.2.3 HMD を用いた視覚刺激の提示について.....	39
4.2.4 温度変化の検出・提示方法について.....	40
4.3 受動的な生起方法により身体所有感の錯覚が生じたかを検証する実験について.....	42
4.3.1 実験概要.....	42
4.3.2 共感について.....	42
4.3.3 実験条件.....	43
4.3.4 実験手続き.....	43
4.3.5 評価方法.....	45
4.4 実験結果.....	46
4.5 受動的な生起方法による身体所有感の錯覚についての考察.....	50
4.5.1 仮説①人間に提示する刺激を増加させていくと、身体所有感が向上する.....	50
4.5.2 仮説②フィードバックする刺激が多いほど共感が向上する.....	52
4.6 まとめ.....	53
第5章 能動的な身体所有感の生起方法について.....	55
5.1 はじめに.....	56
5.2 能動的な生起方法の実装について.....	56
5.2.1 システムの概要.....	56
5.2.2 人間の動作を観葉植物へと反映させる方法について.....	58
5.3 能動的な生起方法により身体所有感の錯覚が生じたかを検証する実験について.....	60
5.3.1 実験概要.....	60
5.3.2 好ましさについて.....	60
5.3.3 実験条件.....	61
5.3.4 実験手続き.....	62
5.3.5 評価方法.....	63
5.4 実験結果.....	65
5.4.1 身体所有感並びに運動主体感に関するアンケート結果.....	65
5.4.2 心理的重なり尺度(IOS)に関するアンケート結果.....	67
5.4.3 好ましさに関するアンケート結果.....	69
5.5 能動的な生起方法による身体所有感の錯覚についての考察.....	73
5.5.1 仮説①人間の動きに同期して植物が動作すると、観葉植物に対して身体所有感の錯覚が生起する.....	73
5.5.1 仮説②身体所有感が生起すると、観葉植物に対する好ましさを向上させる.....	74
5.6 まとめ.....	75
第6章 2つの生起方法における身体所有感の比較について.....	77
6.1 はじめに.....	78

6.2 受動的な生起方法と能動的な生起方法の比較検証.....	78
6.2.1 実験概要.....	78
6.2.2 実験条件.....	79
6.2.3 実験手続き.....	79
6.2.4 評価方法.....	80
6.3 実験結果.....	80
6.3.1 身体所有感並びに運動主体感に関するアンケート結果.....	80
6.3.2 心理的重なり尺度(IOS)に関するアンケート結果.....	81
6.3.3 好ましさに関するアンケート結果.....	82
6.4 2つの生起方法における身体所有感の比較についての考察.....	84
6.4.1 仮説①能動的な生起方法の方が身体所有感の錯覚が強く生起する.....	84
6.4.2 仮説②能動的な生起方法の方が、観葉植物に対する好ましさに影響を及ぼす..	85
6.5 まとめ.....	86
第7章 結論.....	87
7.1 本研究の結論.....	88
7.2 本研究の限界.....	90
7.3 本研究の応用例.....	91
7.3.1 消費活動での応用例.....	91
7.3.2 環境教育・自然保護教育としての応用例.....	91
7.3.3 エンタテインメント・アート分野での応用例.....	91
7.4 今後の展望.....	92
参考文献.....	94
謝辞.....	102

第 1 章 序論

1.1 本研究の背景

日常生活において、人間は足を使って歩いたり、物を掴むために腕や手を使ったり、あるいは他者とコミュニケーションを取る方法の一つとして身体を使用している。心身に疾患および身体機能に欠損が無い健常者は、これらの動作をする時に特段意識すること無く、無意識的に身体を使用することができる。一方、脳卒中等により、脳内の身体機能に関連する部位が損傷を受けると、身体全体もしくはその一部が自身の意図した通りに動かせなくなるといった運動障害が生じる。この状態になると、自身の意図した通りに動かせなくなった身体もしくはその部位は、自身のものではないように感じることもあり、身体失認と呼ばれている[1]。脳機能の損傷に因るもののほか、四肢を切断した者の場合は幻肢という無いはずの身体部位が有るように感じる現象も存在する[2]。

これらの症状や現象から、近年の研究では身体を問題無く自在に動かすためには、その身体や部位が自身の身体であるという感覚(身体所有感)や、その身体や部位を制御しているのは自分である感覚(運動主体感)が過不足無く機能している必要があると考えられている[3,4,5]。特に身体所有感は身体認識の根幹に関わる感覚であり、この感覚が生起しない場合には正常に自身の身体を認識できないと考えられる。このような身体認識にかかわる感覚が、どのような経路で生起するのかを説明するモデルは提唱されており、これは身体感覚の生起モデルと呼ばれている(図 1)。このモデルから、身体所有感や運動主体感といった自己の身体認識に関わる感覚は、自己の身体を動作させた時、または動作させようとする意図に伴い、フォワードモデルや感覚フィードバックにより生じ得ると考えられている。

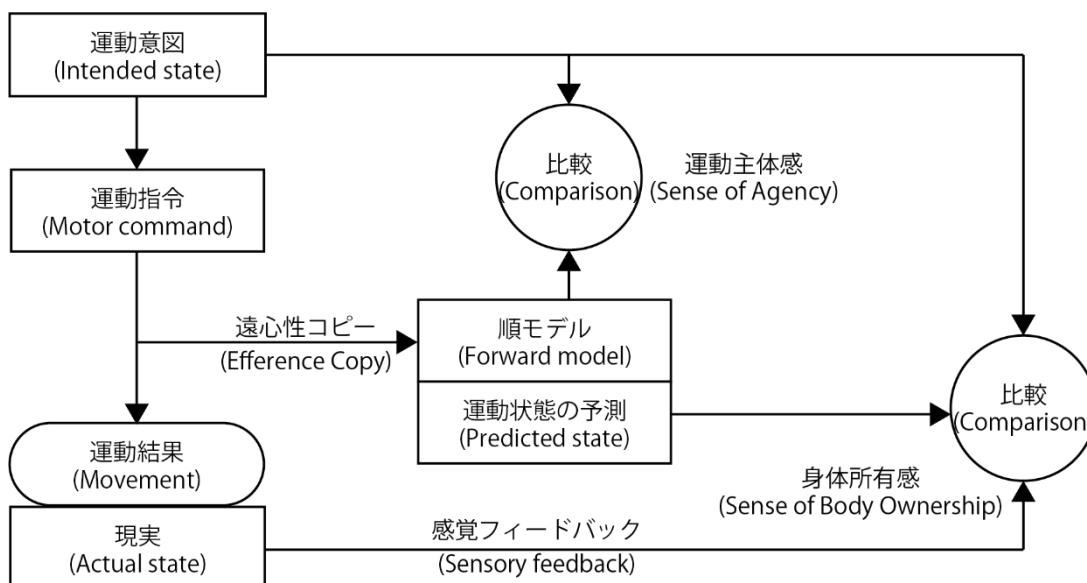


図 1 身体感覚の生起モデル(Gallagher[4])

フォワードモデルとは順モデルとも呼ばれ、身体や物体を動かした時にどのような運動が必要となるのかを脳内で模倣・予測することに用いられていると考えられている。特に、フォワードモデルは運動主体感に影響する基本的なモデルと考えられている[6,7]。例えば人間が意図を持って身体を動作させると脳から運動指令が発せられ、身体の動きをシミュレーションするため遠心性コピーが順モデルへと送られる。その時に体性感覚等からフィードバックされた知覚刺激や、脳内でシミュレートされた運動と、自身の身体運動とを比較した結果に齟齬が少ない場合は、運動主体感や身体所有感が生じ、その誤差が大きくなる程それらの感覚が低下する。

前述した身体失認や幻肢を生じている者の場合は、フォワードモデルや感覚フィードバックが正常に機能していないため、運動主体感や身体所有感が生起しない状態であると考えられる。そのため自己の身体であっても自身のものではないと感じてしまうことや、無いはずの身体部位があるかのように感じてしまうのではないかと考えられる。これらの症状が生じている者に対しては、対処療法的にミラーセラピー[8]が行われたりしているが、身体を正しく認知できるようにするためには、欠損した部位や身体を代替する技術もしくは補助するインターフェースの開発が必要となる。

自己の身体を運動させる際に、どのような認識や制御が機能するかについての概要を述べてきた。一方、必ずしも自身の身体ではない物体であっても、身体所有感や運動主体感が生起されたことにより、その物体を自身の身体のように感じる現象がある。この現象を引き起こす著名な事例として、ラバーハンド錯覚が存在する[9]。これは自身の右手もしくは左手を被験者から見えないうように隠し、偽物の手であるラバーハンドを隠した手の側に被験者から見えるように置く。この時に隠した手と、ラバーハンドの両方に、同じタイミングで触覚刺激を与えるとあたかも偽物の手であるラバーハンドが自身の手になったように感じる現象である[10,11]。

上記のモデルに基づくと、現実世界において視覚や触覚刺激が与えられたことをトリガーにし、自身の感覚器によって知覚した刺激の種類やタイミングが一致すると自身の身体以外の物体であっても、自身の身体のように感じさせ得ると考えられる(感覚フィードバックの一致)。このラバーハンド錯覚から明らかになったこととして、偽物の手であるラバーハンドが自身の身体になったかのように感じさせるには、与える刺激やタイミングが被験者の体性感覚から得る情報と一致していることが重要である。また、この錯覚は被験者の身体運動を必要せず、被験者は受動的な状態で刺激を与えられるのみで生起する。このような方法は受動的な生起方法であると言える。

一方、図1のモデルが示すように、身体所有感を生起させる経路は一つのみではなく、運動主体感を生起させることによっても起こりえることが示されている。ラバーハンド錯覚と同様に、偽物の手を自身の手の動きと同期して動作させることで、あたかも偽物の手を自身の手になったように感じる事が報告されている[12,13]。ラバーハンド以外にも、ロボットやバーチャルリアリティで使用するアバター等を用い、自身の身体動作と同期してアバターやロボットが動作することで身体所有感が生起されたと報告している研究も存在する[14,15]。これらの研究報告から、運動主体感が生起されたことによって身体所有感も生起することが示唆されている。前述したラバーハンド錯覚と大きく異なる点は、人間の身体動作と同期して物体が動く必要がある点であり、人間の能動的な身体動作を必要とすることから能動的な生起方法であると言える。

前述した研究報告から、人間は自身の身体ではない物体やアバターにも身体所有感や運動主体感を感じ、自身の身体のように感じられることが示唆されている。これに加え、使用者の心理にも影響を与えることが示唆されている。その事例の一つに、仮想空間で使用するアバターの外見が、使用者の行動や認知に影響を与えるプロテウス効果と呼ばれる心理効果が存在する[16]。例えば被験者にアインシュタインを模したアバターを使用させ、認知機能をテストするタスクを行わせると、そのタスクの成績が向上するといったことが検証されている。このような認知機能の向上のほかにも、身体所有感が生起したことで、その物体に対し親近感が向上することや、高齢者への偏見が低減したというような効果が報告されている[15,17]。

これまでに述べた研究報告から、自身の身体以外の物体やアバターであっても、身体所有感や運動主体感が生起することで、あたかも自身の身体のように感じられることが報告されている(身体所有感の錯覚)。またその物体やアバターに対する印象評価や、使用者自身の認知機能にも影響を及ぼすことが示唆されている。一方、先行研究の多くは人間を模した物体やアバターを用いた検証が主であり、いわゆる非人型の物体の場合に同様の効果が得られるのかについて研究途上である。このことから、身体とは大きく異なる形状や動作機構によって構成された物体であっても、自身の身体として認識することが可能であるのか。またそのような物体を対象とした場合、使用者の心理にはどのような影響を及ぼすのかといった検証は不十分であると考えられる。

近年の認知科学では、「ホモ・クオリタス」(過剰に意味を作り出す人間の造語)のようにある既知ではない現象を体験した時に、その現象の意味を過剰に作り出しているのではないかという点に着目されている[18]。著者はこれまでのバーチャルリアリティの知見や技術を活用し、身体所有感の錯覚を生起させることで、この既知ではない疑似体験を作り出すことが出来るのではないかと考える。近年では自己の身体といった制限を超え、自身ではない他

者、あるいは植物や石といったオブジェクトを身体と同じように感じさせたり、その意味を考えさせたりするような芸術作品も発表されている[19,20]. このような点から、人間とは類似しないもの物体を対象とし、そのような物体に身体所有感を錯覚させる方法や、その方法よってもたらされる効果を明らかにすることは人間自身の理解も深めることに繋がると考える.

従来研究では、バーチャルリアリティを用いることで、身体に類似する物体もしくはアバターに対して身体所有感の錯覚が生起可能かどうか、また錯覚による影響を検証することに注力されてきた. 一方、身体との類似性にかかわらず、あたかも自身の身体であると認識させられるような方法があれば、その対象へ親近感を向上させたり、関心や興味を促すことに利用したりすることができる. また人間の身体機能の拡張や行動特性を変容させるような応用を期待できる.

1.2 本研究の目的

前述した研究背景から、本研究は人間の身体に類似しない非人型形状の物体として、観葉植物に対して身体所有感が生起可能であることを明らかにすることを目的とする. 従来研究では、主に人間の身体に類似するラバーハンド、アバターもしくはロボット等に対して身体所有感が生起するかの検証が主であった. 本研究では非人型形状の物体として、観葉植物を用いた検証を行う.

観葉植物を選定した理由は、生物である点は人間と共通しているが人間の身体とは大きく異なる形状をしており、枝や葉を支える構造や成長過程も類似していないことから、人間の身体とは大きく異なる対象であると考えた. また、日常生活において、我々人間は植物を意識することは少ないが、植物は様々な形で人々の身体や精神の健康の向上に寄与している[21,22,23]. 一方、植物栽培に関するアンケートでは、植物を室内に設置していない人々はその理由の一部に「植物を枯らしてしまう・手入れの方法が分からない」を挙げている[24]. 手入れの方法が分からないといった理由には、植物に関する知識や栽培経験が無いことその他、植物自体に関心を持つきっかけがなく、日常生活で意識することが少ないことも考えられる. このことから、観葉植物に対し身体所有感が生起し、かつ心理的な面にまで影響を及ぼすことが可能であれば、非人型形状の物体においても身体所有感を生起できる可能性を示すとともに、そのような対象への関心や興味を向上できる可能性がある.

1.3 研究方法

本研究は、観葉植物に対して身体所有感が生起可能であるか明らかにするために身体所有感や運動主体感に関する知見を用いる。また、身体所有感の錯覚を生起させる2つの方法として、受動的な生起方法と能動的な生起方法を検討する。前者は観葉植物が受けている刺激を使用者にフィードバックする方法であり、使用者は刺激を提示されるのみである。後者は観葉植物にアクチュエータを取り付け、使用者の身体動作に同期して動く方法である。これらの2つの方法により、あたかも観葉植物が自身の身体になったかのような感覚(身体所有感の錯覚)を生起させられるか検討する。またこれらの手法を用いた被験者実験から、観葉植物に対し身体所有感の錯覚が生起したことによる心理的な影響を確認するとともに、実装した方法の有効性を評価し、本研究の限界について議論する。

1.4 本研究の構成

本論文は全7章より構成される。以下に各章の概要を示す。

- ・第1章 序論

本研究の背景と目的および概要を示した。また各章で取り扱う議論の概要を示した。

- ・第2章 自己の身体認知メカニズム

本章では、観葉植物に対して身体所有感が生起可能であることを明らかにするために、現在の研究から考えられている自己の身体認知メカニズムについての研究や知見を整理する。先行研究の報告から、他の身体や物体に身体所有感を錯覚させる方法には、受動的な生起方法と能動的な生起方法の2つに大別されると考える。これら2つの方法を基にした時、観葉植物に対して身体所有感を生起するためにはどのような提示方法となるのかについて検証する必要がある。

- ・第3章 観葉植物に対し身体所有感を錯覚する方法の実現可能性

本章では、本研究で使用する観葉植物についての定義や第2章で示した先行研究の報告から、本研究における学術的な問いを整理することを目的とする。具体的には、(1). 非人型として用いる観葉植物に対し、身体所有感を錯覚することは可能であるか、(2).(1)を錯覚するために、受動的および能動的な生起方法は実装可能であるか、(3).(2)の方法のどちらの有効性が高いかについて先行研究の報告から検討する。

- ・第4章 受動的な身体所有感の生起方法について

本章では、第2章、第3章で検討した受動的な生起方法を基に、観葉植物に対して身体所

有感が生起可能であるか検証するために、観葉植物が水やりによって受けていると考えられる刺激を使用者にフィードバックする方法を実装する。フィードバックする刺激としては、視覚、聴覚、触覚(冷覚)を用い、それぞれの刺激を提示できるシステムを実装する。この方法を用い、観葉植物に対して身体所有感を錯覚したか、また本方法の有効性について共感という視点から評価する。

・第5章 能動的な身体所有感の生起方法について

本章では、第2章、第3章で検討した能動的な生起方法を基に、観葉植物に対して身体所有感が生起可能であるか検証するために、人間の身体動作に同期して観葉植物が動作する方法を実装する。実装ではヘッドマウントディスプレイ(HMD)を利用し、鏡に映る観葉植物を自分であると認識させやすい形にした上で、人間の上半身運動を Kinect カメラにより取得し、その動作に応じて観葉植物の動きを制御している。この方法を用い、人間の身体動作と観葉植物の動作を同期させることによって身体所有感を錯覚したか、また本方法の有効性について好ましきという視点から評価する。

・第6章 2つの生起方法における身体所有感の比較について

本章では、観葉植物に対して身体所有感が生起可能であるかを検証するため先行研究の報告や第4章、第5章で実装した生起方法を比較し、生起方法によって生起される身体所有感の錯覚や有効性に違いがあるのかを考察する。

・第7章 結論

本章では、本研究で得られた知見を整理し、人間が観葉植物に対し、身体所有感を錯覚するために実装した受動的・能動的な身体所有感の生起方法の効果をまとめ、本研究の限界や今後の展望を述べる。

第2章 自己の身体認知メカニズム

2.1 はじめに

日常生活において人間は自身の身体を意識することなく使用でき、モノを掴んだり、触れたり、ボディランゲージを使って他者とコミュニケーションを取ることに使用している。このように身体は多様なインタラクションを可能とするものであるが、詳細なメカニズムについては未だ研究途上にある。

本章では現在考えられている身体認知のメカニズムについて概観し、観葉植物に対して身体所有感が生起可能であるかを明らかにするために重要となる身体所有感や運動主体感に関する知見を整理する。これらの知見から自身の身体以外の物体やアバターに身体所有感を生起させる能動的な生起方法と、受動的な生起方法に着目し、観葉植物における生起モデルを検討し、そのモデルから能動的な生起方法と、受動的な生起方法に実装する仕様を決定する。

2.2 narrative self と minimal self

哲学者・認知科学者である Gallagher は、身体の前に自己を構成するものは何かについて検討し、自己を構成する2つの概念として narrative self(物語的自己)と minimal self(最小限の自己)があると提唱している[4]。narrative self とは、自分自身の記憶や他者から語られることによって生じる自己とされており、個々人の人生から得られる経験や未来から自己が構成される。一方、minimal self は個人の経験や時間における影響を削除し、最小限の要素から構成される自己のことを指す。この最小限の要素には、Gallagher は身体所有感(この身体は自身のものである)と運動主体感(この運動を制御しているのは自身である)が必要であると考えている。この2つの感覚についての説明は次節に示す。

narrative self と minimal self のどちらも自己を構成する考え方を示したものであるが、narrative self は個人の記憶や他者から語られることによって自己が構成されるという考え方のため、個人差があることが推測される。Gallagher は narrative self について、Dannett の文献[25]を基に、自身が中心になり、そこから自身もしくは他者から語られる物語的なエピソードによって自己が構成されると述べている(図 2)。

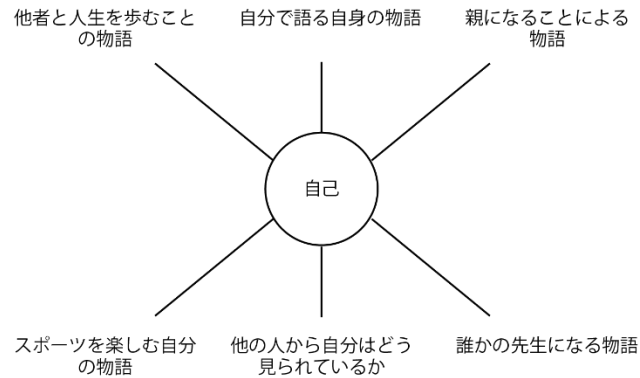


図 2 narrative self model(Gallagher[4],Dannett[25])

図 2 のモデルが示すように、**narrative self** は自己のアイデンティティと深く関係しており、**narrative self** が正常に形成できない場合はトラウマや PTSD といった精神的な不調となって人間に影響を及ぼすことが推測できる。このような自身の経験もしくは他者から語られるイメージによって健康に影響を及ぼした人を治療するために、バーチャルリアリティを使用し、自分自身の物語を追体験することでトラウマやストレスに対処させる方法を学ばせる研究が存在する[26,27,28]。このような研究から、**narrative self** は個々人の記憶や経験、他者からの視点といった要素から自己は構成されるとする考え方のため、経験したことがない、もしくは経験できない自身以外の身体や物体になったかのように感じさせようとする本研究とはアプローチが異なる。

一方、**minimal self** は **narrative self** の要素を排し、最小限に残る自己に着目したものであり、人間の五感や体性感覚から得られる刺激に依存すると考えられる。これまでの研究からは、**minimal self** を形成するためには体性感覚で知覚する刺激が一致していることや、自身の身体動作とその結果が一致するといったことが重要であることが示唆されている[7,9,11,12,13,29,30]。このように実験心理学といった研究領域を中心に **minimal self** がどのように生起するのか、言い換えると身体所有感や運動主体感がどのように生起するのかについて研究が進められている。本研究においても **minimal self** の考え方にに基づき、人間の体性感覚に刺激を与えることで身体所有感と運動主体感を生起させる手法について検討する。

2.3 身体所有感

身体所有感(Sense of Body Ownership)とは、「この身体は自分のものである」ことを感じる感覚を指す。同様の語句として、自己保持感、自己所有感等を用いる場合があるが、本論文では身体所有感と統一して用いる。身体所有感を実験的に検証できるようにした事例として、Botvinick らによるラバーハンド錯覚の研究がある[9]。

ラバーハンド錯覚(Rubber Hand illusion:RHI)とは、被験者自身の本物の手とゴムで作られた偽物の手(ラバーハンド)を机の上に並べて置き、被験者から本物の手が見えないように障害物を置く。そして被験者にはラバーハンドを見るように指示した上で、本物の手とラバーハンドに刺激を同時に提示する。このとき刺激がどの位置から感じられるか被験者に問うと、ラバーハンドの位置から刺激が提示されているように感じる錯覚である(図 3)。

ラバーハンド錯覚によって、偽物の手であるラバーハンドを自身の手であると錯覚することに加え、錯覚が生じたことによって自身の手的位置にもずれが生じることが分かっており、自己受容感覚ドリフトと呼ばれている。これはラバーハンド錯覚を生じさせる前に自身の手がどこにあるか目を閉じた状態で答えさせる。その後、刺激を与えて錯覚を生じさせた後、同様に自分の手の位置を答えさせるとラバーハンドの位置に近づく[29,30]。また錯覚が生じている状態でラバーハンドに注射針やナイフを近づけるといった一般的に痛みを想起させるような操作を行うと、ラバーハンドを移動させて逃れたいと思った被験者は、皮膚コンダクタンス反応(skin conductance response:SCR)が見られたり、運動野が活動していたことが確認されている[31,32,33](図 4)。

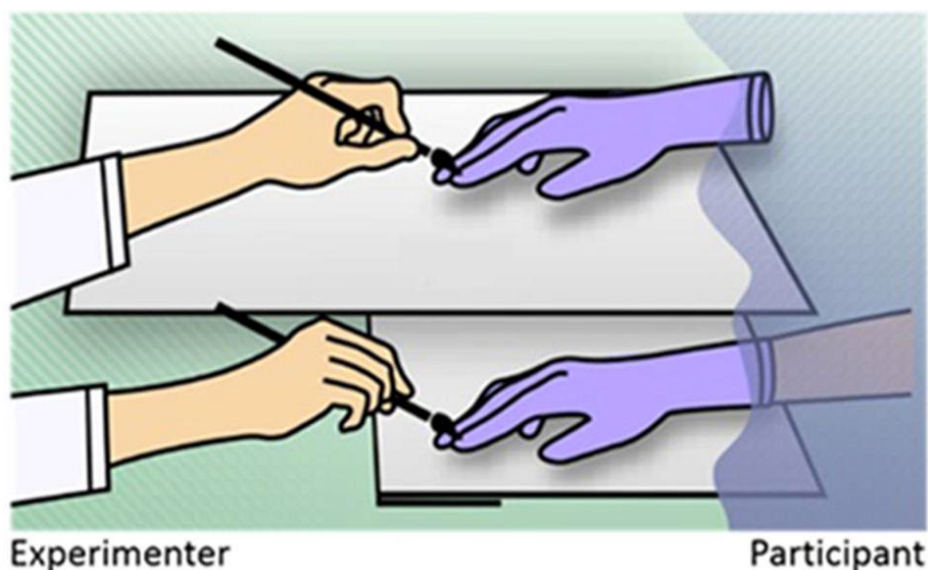


図 3 ラバーハンド錯覚の生起実験(Niclas ら[34]が作成した図(Fig.1)から引用)

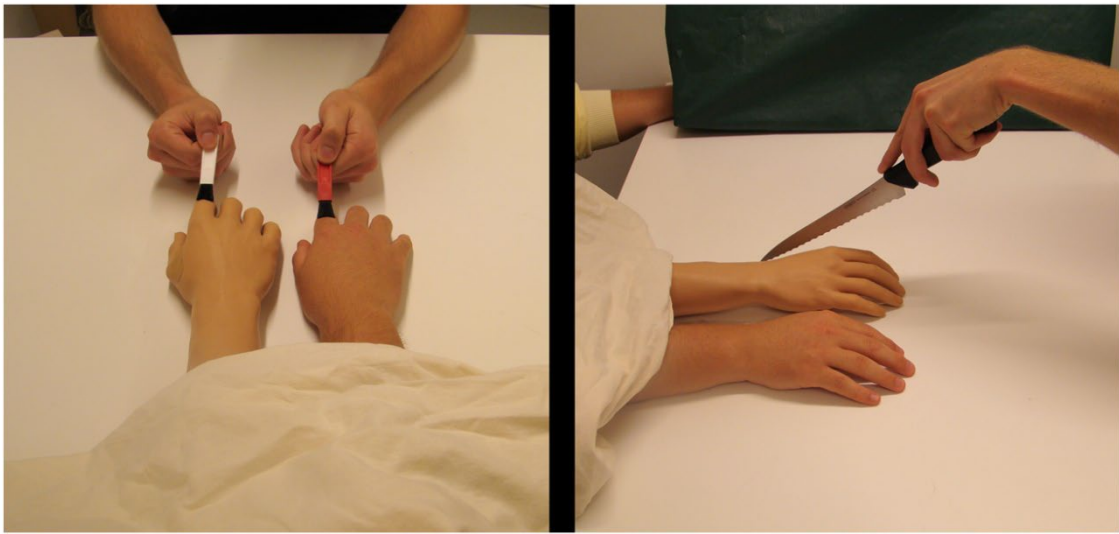


図 4 身体所有感の錯覚を生起させたラバーハンドにナイフで触れ、痛みを想起させる操作(Guterstam ら[33]が作成した図(Fig.1)から引用)

以上のラバーハンド錯覚の検証から得られた知見として、ラバーハンド錯覚が生じると、ラバーハンド自体を自身の手であると錯覚する(身体所有感の錯覚)ことの他に、自身の手の位置にも誤差が生じること、錯覚が生じている状態でラバーハンドに痛みを想起させるような操作を行うと被験者は忌避行動を取ることが確認された。では身体所有感の錯覚はどのような条件であれば生起するのだろうかという疑問が生じる。

2.3.1 身体所有感が生起する条件について

身体所有感の錯覚はどのような条件であれば生起するのだろうかという疑問に対して、Armel らは視覚刺激と触覚刺激が時空間的に一致しているのであれば、あらゆる物体であっても自分の身体もしくは部位であるかのように感じられると主張している[29]。Armel らはこの点を検証するために、従来用いていたラバーハンドに加え、テーブルを用いた場合に錯覚が生じるのかを確認した。その結果、視覚刺激と触覚刺激が時空間的に一致している時には、テーブルを対象とした場合においても身体所有感が生起したことを報告している。Armel らと類似する報告として、Hohwy らは HMD を利用して、被験者の視界を HMD に表示される映像でマスクした状態で Armel らと類似の実験を行い、ラバーハンド錯覚が生起するのかを検証している[35](図 5)。その結果、HMD に表示されるラバーハンドや段ボール箱であっても、自分の手であるかのような錯覚を生じたことを報告している(図 6)。

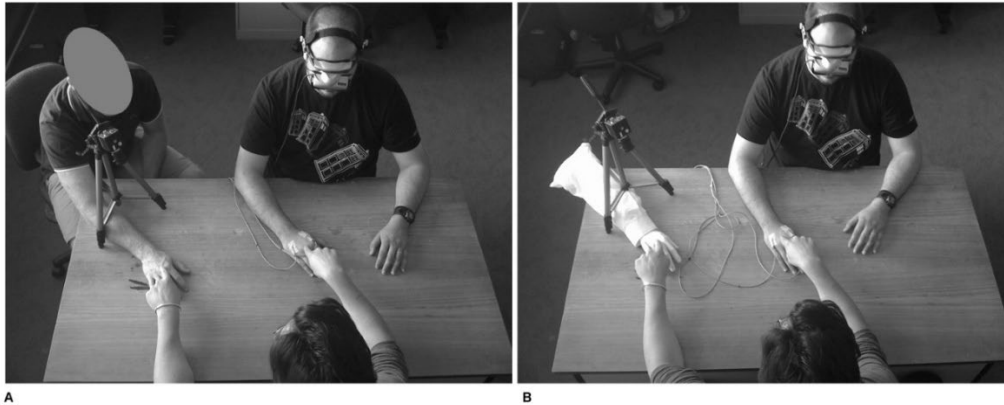


図5 Hohwy ら[35]が行った HMD を用いたラバーハンド錯覚の実験 (Hohwy ら[35]が作成した図(Fig.1)から引用. 画面右側の HMD を装着しているのが被験者である. 左側には三脚上にカメラが設置されており, HMD に映像が送られている. A): 自身の手と, 自身の手ではない他者の手(ラバーハンドに相当)の両方に刺激が与えられている実験条件 B):ラバーハンドと被験者の手の両方に刺激が与えられている実験条件(ラバーハンドのほかに図 6 に示す物体に置き替えて実験は行われた)

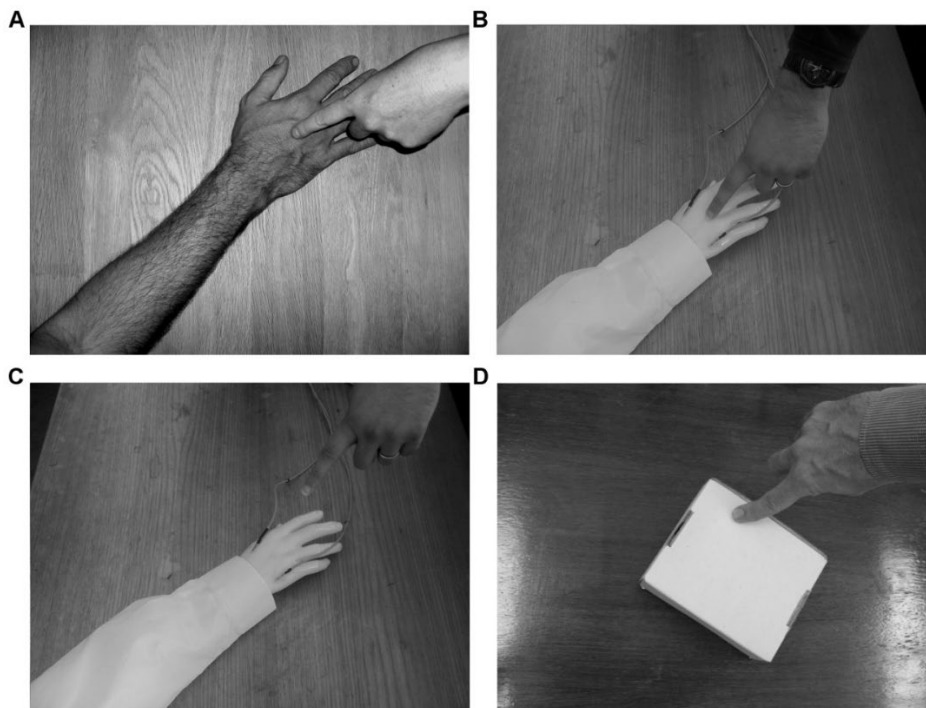


図6 Hohwy[35]が用いたラバーハンド以外に身体所有感の錯覚を生起させる物体 (Hohwy ら[35]が作成した図(Fig.3)から引用. A):自身ではない手に実験者の指が触れている状態 B):ラバーハンドに実験者の指が触れている状態 C):ラバーハンドには触れてはいないが, 視界で実験者の指が動いている状態 D):段ボールに指が触れている状態)

上記の研究報告から、ラバーハンド錯覚を基に、身体所有感の錯覚を生じさせるためには、視覚刺激と触覚刺激が時空間的に一致していることが重要である点が明らかになっている。また時空間的に一致していれば、テーブルや段ボールといった身体とは異なる形状をした物体であっても身体所有感は生起することが報告されている。一方、Tsakiris らのように、手以外の物体に対しては身体所有感の錯覚が低下したり、生起しないとする研究報告もある点に注意する必要がある[36,37,38]。これらの研究報告から、本研究では、非人型形状の物体である観葉植物を対象とした際に、Armel らが主張する視覚刺激と触覚刺激が一致することで、様々な物体に身体所有感の錯覚が生じるのかを検証する必要がある。

2.4 運動主体感

運動主体感(Sense of Agency)は、「この運動を制御しているのは自分である」と感じる感覚を指す。同様の語句として、自己主体感、行為主体感等を用いる場合があるが、本論文では運動主体感と統一して用いる。運動主体感は人間の能動的な動作によって感覚が生起する。一方、身体所有感はラバーハンド錯覚の実験から明らかのように、人間の動作は必要なく、外部から刺激が加えられることによって生起する。そのため運動主体感は能動的な知覚体験から得られる感覚であり、身体所有感は受動的な知覚体験により得られる感覚であると言える。

運動主体感を検証する初期の実験には、Nielsen が行った実験がある[39]。この実験では被験者に手の動作を見ながら、ペンで線を描く課題を与えた。実験条件は2つあり、自身の手を見ながら線を描く条件と、被験者の視界の前に鏡を挿入し、実験者の手を見ながら線を描く条件である。被験者には実験の目的や描画する筐体の知識もない状態で行われた。実験者の手を見ながら線を描く条件では、実験者が本来描くはずの軌跡から逸脱した動作をしたところ、被験者はその鏡に映る実験者の軌跡を修正するような動作を行った。Nielsen は実験の結果から、見えていない自身の手よりも視覚に映る他者の手を自身のものであると感じていたと報告している。Nielsen が研究をしていた当時には運動主体感や身体所有感という言葉は存在していなかったが、他者の手の運動を自身のものであると錯覚することで、他者の手をあたかも自身の手であると感じることを示唆する内容である。

Nielsen が行った古典的な実験では被験者や実験者の手を用い、アナログの紙に線を描くものだったが、近年の実験心理学ではビデオカメラから取得した映像をあえて遅延させ、運動主体感が生起するののかについて検証が行われている。Osumi らは運動主体感と遅延の関係を検証するために、被験者の手の映像をビデオカメラで取得し、その映像を100msごとに遅延させ、遅延時間が100msから1000msの10条件を設定し、被験者は映像を遅延したことに気づくタイミングは何時かを検証した。その結果、遅延時間が大きくなるにつれて運動主体感が損なわれていくことを明らかにした。一方、遅延時間ごとに失われる運動主体感はある一定ではなく、遅延が必ずしも運動主体感を損なうとは限らない可能性があることを指摘している[40](図7)。

また、Asai らはモニターに線を表示させ、被験者にその線の上をペンタブレットでできるだけ正確になぞらせる実験を行っている[41]。被験者はモニターに表示されるカーソルを参照することで自身がカーソルをどのように移動させているかを確認することができる。Asai らはこの装置を用いてカーソルの動きが自身の運動と同期している条件と、事前にカーソルの動きが記録され、その動きが再生される条件について実験した。その結果、自分が

行っている運動と、カーソルの動きに時空間的な誤差が小さい場合、事前に記録されたカーソルの動きであっても、そのカーソルを自身が操作していると思い込み、そのカーソルを操作しようとしたと報告している。これらの報告から、自身の運動や操作によって、動かそうとしている対象の動作と一致し、操作できているかのように感じさせることができれば、運動主体感を生起できることが明らかとなっている。このような報告がある中で、身体所有感の場合と同様に、運動主体感はどのような条件で生起するのかという疑問が存在する。

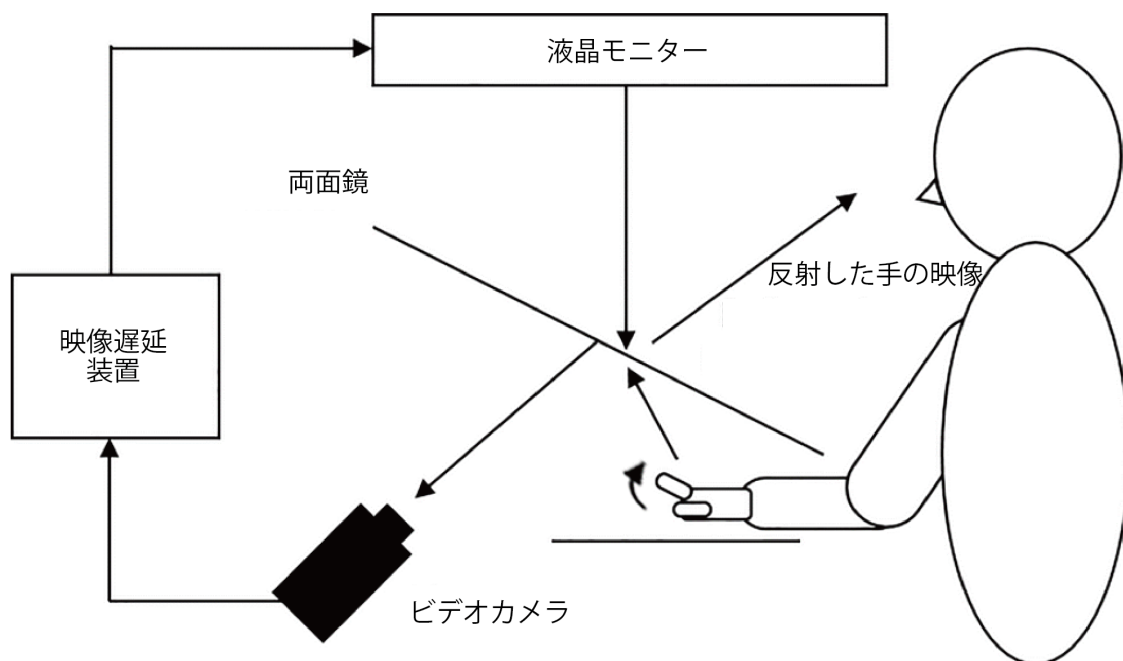


図7 Osumi ら[40]が行った運動主体感の検証実験

(Osumi ら[40]が作成した図(Fig.2)から引用。被験者は人差し指を動かす、その動きはビデオカメラによって取得され、映像遅延装置を経てモニターに表示される。このモニターから見える映像から被験者は遅延しているかどうかを判断する)

2.4.1 運動主体感が生起する条件について

運動主体感は「この運動を制御しているのは自分である」という感覚であることから、運動主体感を説明するモデルとしてコンパレータモデルが用いられることが多い(図8)。コンパレータモデルとは、元々どのように身体を動作させているのか(運動制御)を説明するために用いられることが多かったが、現在では運動主体感を説明するモデルとして利用されることが多い。

コンパレータモデルが説明する内容として、人間は運動意図を持って動作すると、脳から運動信号(運動計画、運動指示)が送られ、実際の身体を動作させる(身体運動)。これと同時に

に運動指示から遠心性コピーが脳内にある予測モデルに送られ、その予測と実際の身体動作が一致していると感じられた時に運動主体感が生起するとしている。

一方、どの程度の誤差が生じると一致していないと感じられるのか、これを検証するために、Satoらはボタンを押すと音が出るという課題を被験者に課し、押した後に音が鳴るまでの経過時間を0ms(ボタンを押した瞬間に音が鳴る)、200ms,400ms,600msと変化させると、音が鳴るまでの時間が長くなる程運動主体感が低下すると報告している[42]。これは被験者の手の動きを遅延させた映像を見せることで、運動主体感が低下すると報告した Osumiらの結果[40]と一致する。またボタンを押した時に、たまたま音が鳴った際にも自身が鳴らしたと判断し、運動主体感が高まることも報告している。このような報告から運動主体感を生起させるためには人間の行う動作と、その結果がリアルタイムで限りなく一致している必要があり、そのずれが大きくなる程運動主体感が低下することに加え、自身の動作ではないのかかわらず、自身がやったことだと認識させてしまう危険性が示唆されている。

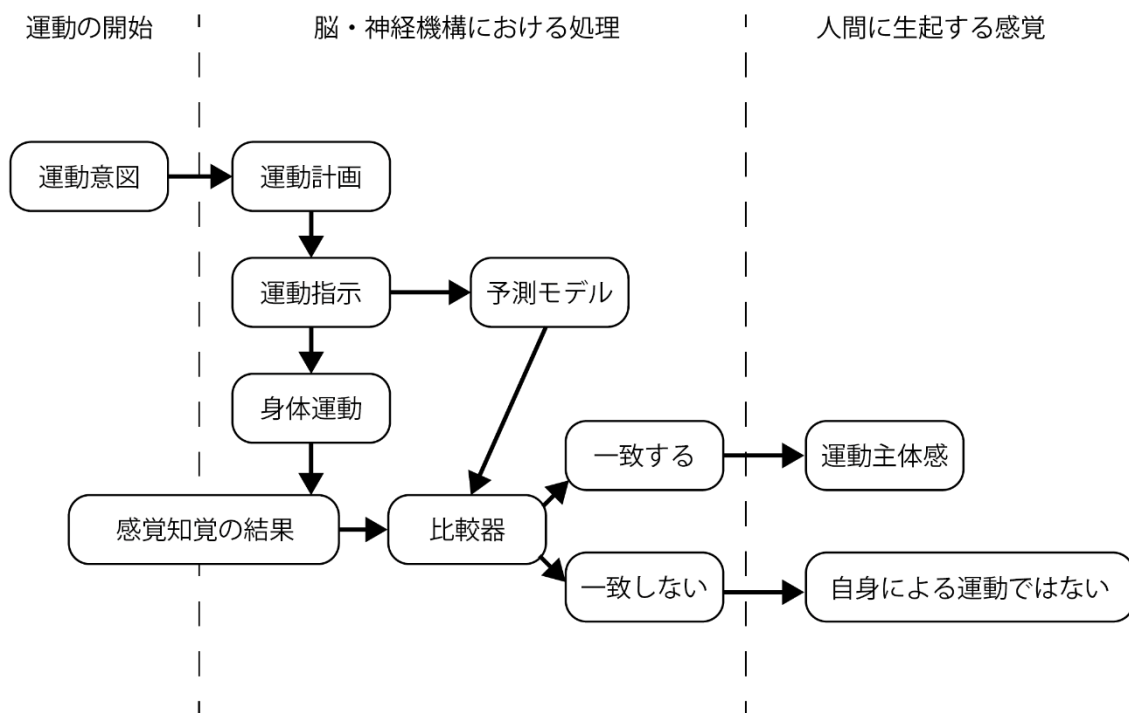


図 8 コンパレータモデル(Niclas[34]が作成した図(Fig.3)を引用)

2.5 身体所有感を錯覚させる方法について

本節では，身体所有感と運動主体感が相互に作用する関係であると考えられる事例を切り口に，身体所有感や運動主体感の生起モデルを参照しながら，身体所有感の錯覚を生起させる方法について検討する．

2.5.1 身体所有感・運動主体感の相互関係について

2.3 および 2.4 で身体所有感や運動主体感の概要や，これらの感覚を生起させる代表的な研究事例を示したが，これらの感覚は日常生活において個別ではなく，同時に生起していると考えられる．例えば腕で何かを掴もうとしたとき，その腕を動作させる際には運動主体感を感じ，その腕自体は自身のものであるという身体所有感を感じている．すなわち身体所有感や運動主体感は相互に作用する関係にあるのではないかと考えられ，現在でも検証が行われている[12,13,43,44]．

ラバーハンドを動作させる操作をすることで，ラバーハンドに身体所有感や運動主体感が生起するかについて Kalckert らが検証している[12]．Kalckert らが行った実験では，被験者の右腕の上にラバーハンドを置き，被験者の人差し指の先端とラバーハンドの人差し指を細長い木の棒を使って接続し，人間の動作と同期してラバーハンドが動作するような装置を用いた(図 9)．

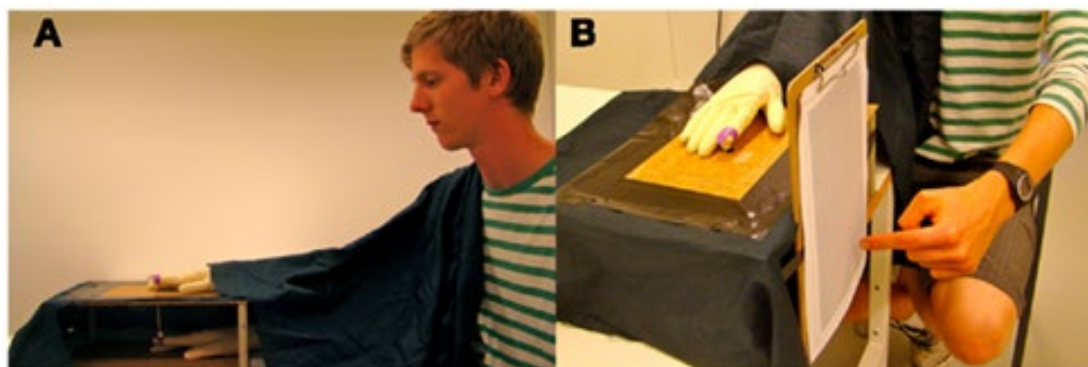


図 9 ラバーハンドに運動主体感が生起するか検証する実験

(Kalckert ら[12]が作成した図(Fig.1)を引用．A)被験者の右手の上にラバーハンドが置かれ，被験者の人差し指とラバーハンドの人差し指が木の棒で接続されている． B)被験者には目を閉じた状態で，右手の人差し指がどの位置になるかを答えさせる(自己受容感覚ドリフトの検証))

実験条件は、被験者の人差し指の運動とラバーハンドの動きが対応して動作する、もしくは対応しない(実験者が木の棒を掴んでラバーハンドの指を動作させる)場合と、ラバーハンドの位置が被験者の手と同じ向き、もしくは人差し指の接続部位を軸に 180 度に回転した条件の 2x2 の条件である。実験の結果、被験者の人差し指に同期してラバーハンドも動作すると、視覚刺激と触覚刺激を受動的に被験者に与えるラバーハンド錯覚と同等であると錯覚していたことが報告されている。この報告から、人間の身体動作に同期してラバーハンドを動作させると、ラバーハンドに対し、運動主体感を感じるとともに、身体所有感も生起していることが確認された。この結果は、Kalckert らと同様にラバーハンドを動かすことで、身体所有感が生起できることを確認した Dummer らの報告と一致する[45]。一方、180 度回転させたラバーハンドでは運動主体感が生じたが、身体所有感は生起しなかったことから、運動主体感と身体所有感は独立した感覚ではないかと報告している。

また、Kalckert らは[12]の研究をさらに発展させ、運動主体感のみならず、ラバーハンド錯覚も同時に提示できるような実験環境を構築し、身体所有感ならびに運動主体感の相互効果について検証した[13]。その結果、被験者が指を動かすことで能動的に生起された身体所有感と、実験者によって指を動かされたことで受動的に生起された身体所有感と、ラバーハンド錯覚によって受動的に生起された身体所有感の 3 つには大きな違いが無かったことを確認している。すなわち被験者の能動的な動きと、ラバーハンドの動きを同期させた場合に生起される身体所有感と、ラバーハンド錯覚によって生起される身体所有感と同程度の錯覚を生み出し、どの方法によっても身体所有感を錯覚させられることを示唆するものである。

これらの研究報告をまとめると、身体所有感を錯覚させる方法として、能動的に動作する身体に対応して物体を動かす能動的な生起方法と、ラバーハンド錯覚のように、被験者の能動的な身体動作を用いずに、視覚刺激と触覚刺激を同時に提示する受動的な生起方法の 2 つがあると考えられる。一方、能動的な生起方法の方が身体所有感を強く生起するという研究や[12,45,46]、2 つの方法によって生起される身体所有感に違いはない研究[13,43,47]、受動的な生起方法のほうが身体所有感を強く生起する研究[48]も存在するため、より身体所有感の錯覚を生起させる方法はどちらの方法であるか検証を進める必要がある。

2.5.2 提案されている身体感覚のモデルについて

身体所有感を錯覚させるためには、能動的な生起方法、受動的な生起方法の 2 つが存在することが示唆されている中、実際に提唱されている身体感覚のモデルから、この 2 つの方法による身体所有感の錯覚が可能なかを検討する。

Synofzik らは、身体所有感や運動主体感が生起することを説明するために、図 10 のようなモデルを提唱している[49]。Synofzik が提唱するモデルでは、3 つの表象に分け(感覚運動表象, 命題的表象, メタ表象), それぞれの表象がトップダウン・ボトムアップ的に影響を与えることを示している。最下層の感覚知覚表象は 2.1 で述べた **minimal self** の考え方であり、人間の体性感覚や視覚情報等から身体所有感や運動主体感が生起することを示している。2 番目の層は命題的表象と呼ばれており、ラバーハンド錯覚のように、自分の身体ではない物体を自身の身体のように感じる身体所有感の錯覚は、刺激が提示される文脈や信念(思い込み)といった認知的解釈が影響していることを示している。3 番目の層はメタ表象といい、自身の状態について社会規範から想像したり、自身の過去の経験や知識から、身体所有感または運動主体感が生起する要因を推論するような要素が影響することを示している。特に 3 番目の表象から、身体認知には **narrative self** も関係していることを示すモデルとなっている。

このモデルの中で、身体所有感の各層(図 10 右)について Synofzik らは次のように述べている。感覚知覚表象では、現実世界から得る視覚刺激や体性感覚から得られる情報によって自身の身体であるかどうか感覚的に判断される。自身の身体であるかどうかの判断には、身体イメージや視覚と体性感覚から得られる刺激が一致していることが重要である。次に命題的表象では、これは自身の身体であると感じることが文脈や思考といったことから判断されるとしており、刺激が提示される過程において、その刺激は自身の身体に提示されていると思込ませたり、刺激が提示される文脈が自身の身体と関係していると分かれば、刺激が提示されている身体部位は自身のものであると認識できることを示している。例えば感覚知覚表象の段階で刺激が与えられ、自身の身体ではないと判断されても、命題的表象の段階でこの身体は自身のものであると錯覚させるような状況設定ができれば、自身の身体であるかのように感じさせられる。最後にメタ表象では、身体所有感の概念は、ある特定の身体部位ではない物体にまで拡大可能であることを示している。ある物体が存在したときに、その物体が私のものであるか、もしくはそうでないのかといった判断には社会規範や、心の理論(他者の心的状態を類推し、理解する能力)が必要となることを示している。Synofzik らが説明するメタ表象はかなり広範な対象にまで範囲が及ぶとしており、身体所有感には自身が他者からどのように見られているのか(社会規範)や自身の属するコミュニティ(家族、友人など)も影響しているとしている。

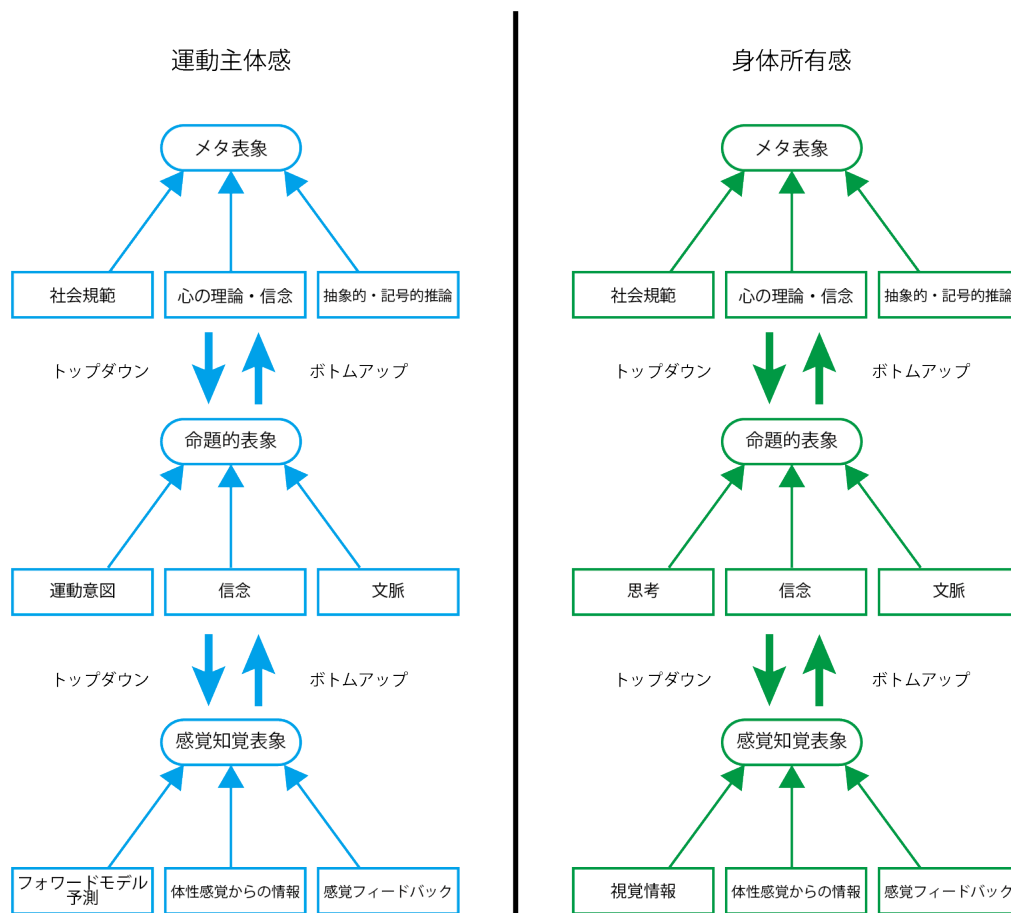


図 10 身体所有感・運動主体感の抽象モデル(Synofzik ら[49]から引用)

森は自身が行っている身体所有感の研究が Synofzik らによるモデルを用いて説明できるか検討している[50]. 森が自身の研究事例として挙げた中の一つに、赤い傷があるラバーハンドに身体所有感を感じた際に、痛みを感じる閾値が低下することを確認している[51]. これには赤い傷があると痛みを感じるという自身の身体経験(命題的表象やメタ表象)が痛みに対する感度を高めたのではないかと考えている. また、追加の検証として、鏡を操作し、自身の手の大きさが2倍になって見えるようにした状態でラバーハンド錯覚を生起させた. その状態で痛みを感じるような被験者に操作を行うと、痛みが増大する者と、増大しない者が存在し、痛みが増大する者は自身の身体に対してネガティブな印象を持っていることを実証した[52]. このことから、自身の身体を否定的に捉えている場合は痛みを増大させやすいということが考えられる. 前者の検証では感覚知覚表象で知覚した身体所有感は、自身の経験を基にした命題的表象の影響を受けたと述べており、後者の検証では、自身が社会的にどう見られているのかというメタ表象の影響を受けたと述べている.

このように Synofzik らが提唱するモデルは身体所有感や運動主体感が生起する要因について、人間の体性感覚から得られた刺激が人間の認知にまで影響を及ぼすことを説明でき

る点で有用なモデルであると考えられる。一方, Synofzik らが示したモデルは表象に着目した抽象的なモデルであるため, 身体所有感や運動主体感の生起する具体的なプロセスについて検討する必要がある。

そこで, 図 1, 8, 10 を参考に, 身体動作の開始時や刺激の提示される時点を身体所有感が生起するきっかけとなると考え, 身体所有感が生起する起点(トリガー)に着目した生起モデルを図 11 に示す。これは前述したコンパレータモデルを参考にしたものであるが, 図 8 のコンパレータモデルでは人間の運動をトリガーにして運動主体感が生起することを示したものであり, 身体所有感については考慮されていない。また図 1 のモデルでは, 身体所有感や運動主体感は相互に関係するような表現がなされているが, 近年の研究ではこれらは独立に生起する可能性も考えられている。またラバーハンド錯覚のように人間の身体動作を必要とせず, 外部から与えられる刺激をトリガーにして身体所有感を錯覚する。これらの点から, 人間の身体動作をきっかけとして身体所有感が生起する場合(能動的な生起方法)と, 受動的に与えられる外部刺激によって身体所有感が生起する場合(受動的な生起方法)の 2 つの経路を考慮する必要があると考えた。

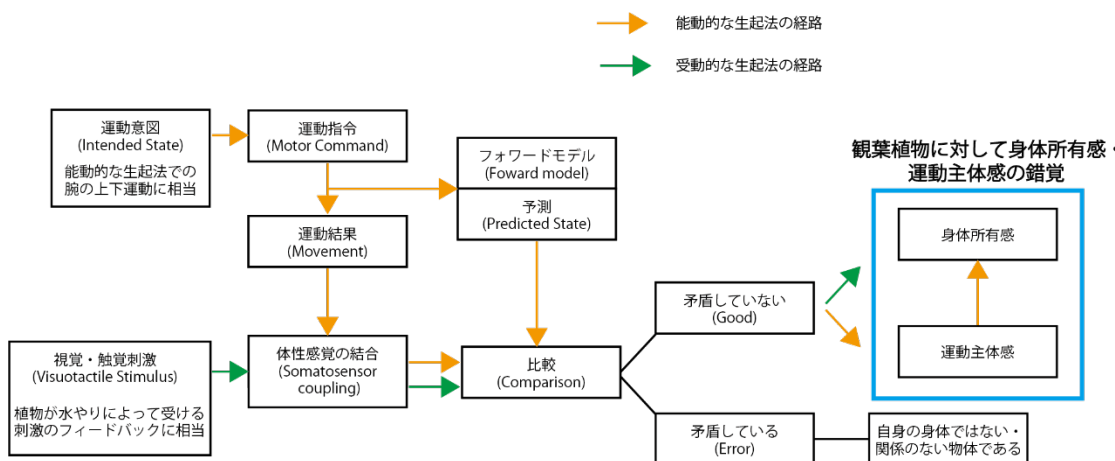


図 11 観葉植物に対する身体所有感の錯覚モデル

この 2 つの経路の説明として, 能動的な生起経路の場合は人間の運動意図をきっかけとし, それらが脳内で発せられる運動指令によって実際の四肢が動作したり, それが現実起こした結果は感覚器官から知覚される。それが順モデルに基づく予測と比較し, 矛盾が無い場合は運動主体感と身体所有感の錯覚が生じる。もう一方の受動的な生起経路の場合は, 外部から与えられる刺激が感覚器官により知覚され, 身体所有感が知覚される経路である。このような運動意図もしくは視覚触覚刺激をトリガーとすることは Mangalam らが求心性もしくは遠心性という観点から作成したモデル[53]や, 運動主体感と身体所有感が相互に関係していると考えた場合にも矛盾しない経路となっている[12,13,43,44]。これらの内容を踏ま

え、本研究では図 11 右側に水色で囲っている枠線部分に限定し、非人型形状の物体である観葉植物を対象に、身体所有感の錯覚を生じさせることができるのか検討する。

2.6 自身の身体以外の物体へ身体所有感を錯覚する可能性について

本節では、身体所有感の錯覚が自身の身体以外にも生起しているという報告を踏まえ、ラバーハンドといった身体の一部だけでなく、偽物の身体に身体所有感の錯覚が生起された研究から、観葉植物に対し、身体所有感を錯覚する際に、どのような刺激や方法を用いるべきであるかを検討することを目的とする。また、自身の身体以外にも身体所有感の錯覚が生起したことで、人間の心理にどのような影響を与えるのかを確認し、非人型形状の物体に対し、身体所有感の錯覚が生起したことによる心理的影響を確認する。

2.6.1 体外離脱体験

あたかも自身の意識が体の外に出たような体験を体外離脱体験(Out of body experience)という[54,55]。体外離脱が生起する要因としては、脳の損傷や、体性感覚の遮断、睡眠時に見る夢などが考えられているが、未だに要因が明らかになっておらず、各研究者で多種多様な視点から検証されている段階である。これを検証するアプローチの一つに、ラバーハンド錯覚の原理を用いること体外離脱体験が可能かどうかの検証が進められている。

Ehrsson らが行った体外離脱実験[54]では、被験者に HMD を装着させている。また被験者の後方に設置されたビデオカメラは、被験者の後ろ姿の映像を取得しており、その後ろ姿を HMD 上にリアルタイムで表示している。実験者はこのビデオカメラで取得する映像に実験者が持つペンが表示されるようにし、そのペンでビデオカメラを突くような動作を行う。この動作を行う際には、実験者は同時に被験者の胸周辺を同じペンで実際に突く。すると被験者はあたかも体外離脱をしたような感覚に陥り、自分の姿の後ろに、自分が浮かんでいるように感じていたことが報告されている(図 12)。この体験はラバーハンド錯覚が生起する原理に基づいて考案されたものであり、従来行われた偽物の手といった身体の一部ではなく、身体自体を操作できることを示した点が特徴である。この実験から自身の身体であるという意識がカメラの位置に移動もしくは接近したと考えられ、自身の身体に関する意識を空間的に移動可能であることが示された。

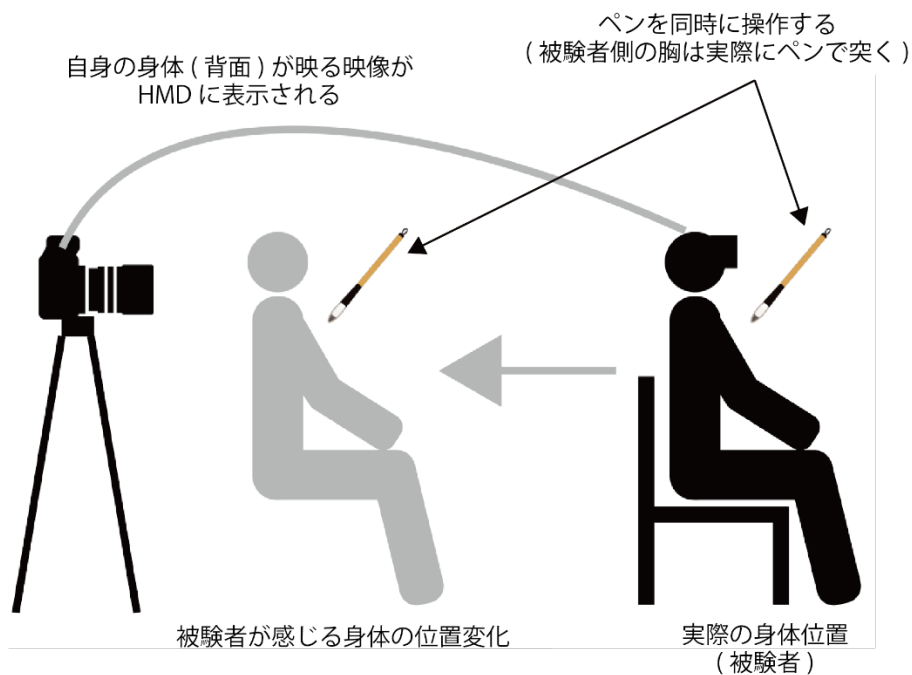


図 12 体外離脱体験

2.6.2 身体交換体験

Petkova らは前述した体外離脱を生起する実験を基に、他の身体へと意識が移動するかを実験した[55]。実験の内容は、マネキンの頭部にカメラを装着し、カメラの向きをマネキンの腹部が映るように調整する。そして被験者には HMD を装着し、そのマネキンの腹部映像を確認できる状態にする。その後、Ehrsson らが行った体外離脱実験[54]のように、被験者の腹部とマネキンの腹部をペンで同時に叩く。すると被験者は自身の身体がマネキンの身体になったかのような体験をしたことが報告されている(図 13)。Ehrsson らの実験では、被験者は身体が空間内を移動したように感じていたことを推測できるが、この実験ではマネキンといった現実にあるものに意識が移動している。すなわち触覚刺激の提示のほか、身体所有感を生起させたい対象の視界を提示することによって、その対象へと意識が移動し、被験者は身体が入れ替わったと感じると考えられる。

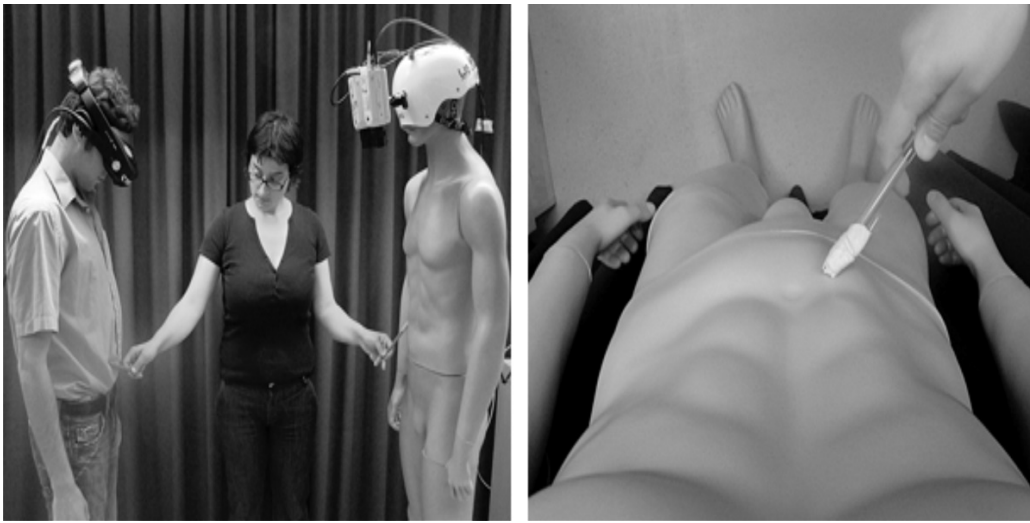


図 13 身体交換体験(Petkova ら[55]が作成した図(Fig.1)から引用.)

これらの研究報告から、ラバーハンド錯覚のような触覚刺激の提示のほか、身体所有感を生起させたい対象へと視界(カメラ)を移動させることで、自身の身体の位置を空間的に変化したかのように感じさせることや、自身の身体ではないマネキンといった物体に身体があるかのような感覚(身体所有感の錯覚)を生起できたことが確認されている。これらの研究はあくまで人間に類似するような物体を用いた検証であるが、身体認識に関する意識を柔軟に変更可能であることを示唆する点で重要な研究であると考えられる。自身の身体ではない物体に対して身体所有感の錯覚が生起できる可能性はあるのかについて、次節で検討する。

2.6.3 ヒト型以外のオブジェクトへの身体交換体験の拡張

前述した研究事例から、ラバーハンド錯覚を基に偽物の手や身体離脱、他の身体への交換体験が検証されていることを示した。これらはあくまで人間の身体やそれに類似するような物体へ身体所有感の錯覚が生起できるか検証されてきたが、近年は人間に類似しないような物体でも身体所有感が生起するのかについて検証されている。

Ventre-Dominey らが行った実験では、ロボットになったかのような体験が可能か検証している[15]。この実験では、このロボットの前には鏡を設置しており、ロボットから見える視界を Web カメラによって映像として取得する。映像は鏡に映るロボットが表示されている内容であり、HMD を装着した被験者に映像を提示する内容となっている。また被験者が右を向くとロボットも右を向き、被験者が左を向くとロボットも左を向くようになっており、人間の動作に対応してロボットが動作する条件と、人間の動作に非対応でロボットが動作する条件で比較実験した結果、被験者はロボットになったような体験をしたと報告している。

別の事例として、小柳らはバーチャルリアリティを用いた仮想空間上で、使用するトリアバターに身体所有感が生起するかを検証している[56]。この研究で行われた実験では、人間が腕を上下に動作させる動作をトリが羽ばたく動作に対応させることでトリアバターに身体所有感が生起したことを報告している。この2つの事例では 2.6.1,2.6.2 の事例とは刺激の提示方法が異なっている。先に示した事例では、被験者は身体を動かすことはなく実験者が被験者の身体と、身体所有感を錯覚させたい物体に対し、ペンで叩くといった刺激を与えることでその物体になったかのように感じさせたりする一方、この節で示した事例では、被験者自身が能動的に動作することで身体が別の物体になったかのような感覚を生起させている。このことから身体がほかの物体になったかのような感覚（身体所有感の錯覚）を生起させるためには2つの方法が存在し、それぞれ受動的な生起方法、能動的な生起方法によって生起できることが考えられる。

2.7 他の身体や物体に身体所有感の錯覚が生起したことによる心理的な影響

これまでは身体所有感または運動主体感によって他の身体や物体の疑似体験に関する先行研究について述べてきたが、身体所有感の錯覚が生起したことによって他の身体や物体に対しての印象評価に影響を及ぼすことも考えられる。

Maister らはラバーハンド錯覚を用い、肌の白い被験者に黒いラバーハンドへ身体所有感を生起させた結果、身体所有感が高くなるほど黒い肌を持つ人種に対する人種的な偏見が低減されたと報告している[57]。また *Ventre-Dominey* はロボットに対して身体所有感を生起させた結果、ロボットへの親近感が向上することを報告している[15]。*Spangenberg* らは木が成長する過程を HMD で視聴させた結果、没入感の高い映像を視聴させることで植物や自然との関係性を認識するようになるといった報告をしている[58]。これらの研究から推測できることは、他の身体や物体に対し、身体所有感が生起するような操作をすることで、その物体に対しての評価に影響を及ぼすことが考えられる。今回挙げた先行事例では評価もネガティブなものではなく、ポジティブな方向へと変化を与えている。

近年はバーチャルリアリティが普及しつつあることから、仮想空間でアバターを用いてゲームをしたり、他者とコミュニケーションを行ったりする上でアバターがユーザに与える心理的な影響についても研究されている。その中でもプロテウス効果と呼ばれる現象がある[16]。これは仮想空間で使用するアバターが、ヒトの心理的な状態、態度や行動に影響を与える効果のことである。例えばスーツを着たサラリーマン風なアバターと褐色肌でラフ

な格好をしているアバターを用い、仮想空間上でドラムを叩くタスクを課すと、サラリーマン風なアバターに比べてドラムをよりリズムカルに叩くようになることが報告されている[59]. またヒト型のアバターではなく、ドラゴン型アバターを用いた高所体験を行わせると、ヒト型アバターに比べて高所恐怖感が抑制されるという報告もある[60]. このように人間は他の身体や物体に対して身体所有感を感じるのみではなく、身体所有感を感じる物体の状態に応じて影響を受け、行動や感情が変化することが示唆されている.

2.8 まとめ

本章では現在考えられている身体認知のメカニズムについて概観し、観葉植物に対して身体所有感が生起可能であるか明らかにするために重要となる身体所有感や運動主体感に関する知見を整理することを目的としていた.

2.2 では、初めに身体の認知に大きく関係していると考えられる *minimal self* と *narrative self* の違いについて述べ、本研究では *minimal self* の考え方にに基づき、人間の体性感覚に刺激を与える方法について検討していく.

2.3, 2.4 では、身体所有感や運動主体感について説明したのち、これらの感覚を生起させる著名な検証事例を述べた. 先行研究から、身体所有感を錯覚させる際の条件を整理し、その条件が満たされるならば身体以外の物体であっても、身体所有感が生起する可能性があることが示唆された.

2.5 では、身体所有感と運動主体感が相互に作用する関係であること、もしくは独立して生起する可能性があるということを先行研究の結果から示し、現在提案されている生起モデルから、観葉植物に対して身体所有感が生起可能であるか検証する方法を実装する上で必要となる2つの生起方法について示した.

2.6 では、人型や非人型の物体に身体所有感の錯覚が可能なのかを検討している事例を述べ、人間はラバーハンドに限らず、マネキンやロボット、もしくはアバターといった多様な物体に身体所有感を感じられる可能性があることを示した.

2.7 では、身体所有感が生起することで、生起した物体に対する親近感や偏見といった印象評価が変化することに加え、プロテウス効果のように物体から想起されるイメージによって人間の行動が変化する可能性があることを示した.

第 3 章 観葉植物に対し身体所有 感を錯覚する方法の実現可能性

3.1 はじめに

第2章で示した先行研究では、人間に類似するような形状や、動作をするための構造を持った物体を中心に身体所有感の検証が行われてきた。これを踏まえ、非人型の物体である観葉植物に対して身体所有感が生起可能であるかを検討する。

本章では、本研究で用いる観葉植物についての定義および品種について述べた後、本研究における学術的問いを整理することを目的とする。本研究で検証する学術的問いは、以下の3つの問いである。

・本研究で検証する学術的な問い

- (1). 非人型として用いる観葉植物に対し、身体所有感を錯覚することは可能であるか
- (2). (1)を錯覚するために、受動的および能動的な生起方法は実装可能であるか
- (3). (2)の方法のどちらの有効性が高いか

3.2 本研究で使用する観葉植物について

本研究では、観葉植物に対して身体所有感が生起可能であることを明らかにすることを目的としている。観葉植物を選定した理由として、生物である点は人間と共通しているが、人間の身体とは大きく異なる形状をしており、枝や葉を支える構造や成長過程も類似していないことから、人間の身体とは大きく異なる対象であると考えた。また、観葉植物は人間の生活に深く関係する存在であり、与える影響や効用が大きい対象であると考えた。日常生活において、我々は植物を意識することは少ないが、植物は様々な形で人々の身体や精神の健康に寄与している[21,22,23]。一方、植物栽培に関するアンケートでは、観葉植物を室内に設置していない人々はその理由の一部に「植物を枯らしてしまう・手入れの方法が分からない」を挙げている[24]。手入れの方法が分からないといった理由には、植物に関する知識や栽培経験が無いことその他、植物自体に関心を持つきっかけがなく、日常生活で意識することが少ないことも考えられる。このことから、観葉植物に対して身体所有感が生起し、かつ心理的な面にまで影響を及ぼすことが可能であれば、非人型形状の物体においても身体所有感を生起できる可能性を示すとともに、そのような対象への関心や興味を向上できる可能性がある。

本研究で用いる観葉植物は、農業技術辞典における定義[60]を参考に、葉の色彩、斑入り模様、葉の姿や樹全体の姿を観賞の対象とする室内園芸植物と定義する。単に植物とした場合には、地球上には様々な植物が存在し、陸上のみではなく、海藻といった海中に存在する

植物も対象となる。このような植物は一般的に海中に存在するため身近な存在とは言えないと考える。また室内と限定した理由として、陸上で生息する植物も多々存在するが、本研究が対象とする植物は人工的に整備された街路樹や自然公園もしくは自然環境の中に存在する。一方、これらの植物と日常的に関わったり、栽培しているような人々は極少数であることは明らかである。そのため多くの人々にとって栽培や入手も容易である室内用に用いられる観葉植物を対象とすることで、非人型の物体に身体所有感が生起可能であるか明らかにするとともに、本研究によって得られた知見を適用することが容易であると考えた。

上記で定義したように、本研究では観葉植物を室内で栽培可能な園芸植物とし、検証で用いる観葉植物としてベンジャミン(学名：Ficus Benjaminna)を用いる(図 14)。観葉植物として代表的なものには、ベンジャミンのほかにも、パキラやガジュマル、オーガスタといった品種が存在する。これらは耐候性があり、栽培がしやすい品種である。また量販店で一般的に販売されているため入手もしやすい。ベンジャミンを用いた理由として、葉が小さく全体に分布していることや、枝も細く、かつ多数の枝によって全体が構成されているため高さや幅の調節が容易であること、また主軸が大きく成長して伸びたり、太くなったりすることがなく、研究期間を通して生育状態をコントロールしやすいためである。本研究で用いたベンジャミンは 6 号鉢といわれるサイズのもの入手した。植木鉢の号数は 1 号が 3cm であり、6 号鉢は直径が 18cm の植木鉢に植えられているものとなる。高さは植木鉢の下端からベンジャミンの上端まで約 70cm となり、幅は約 38cm のものである。

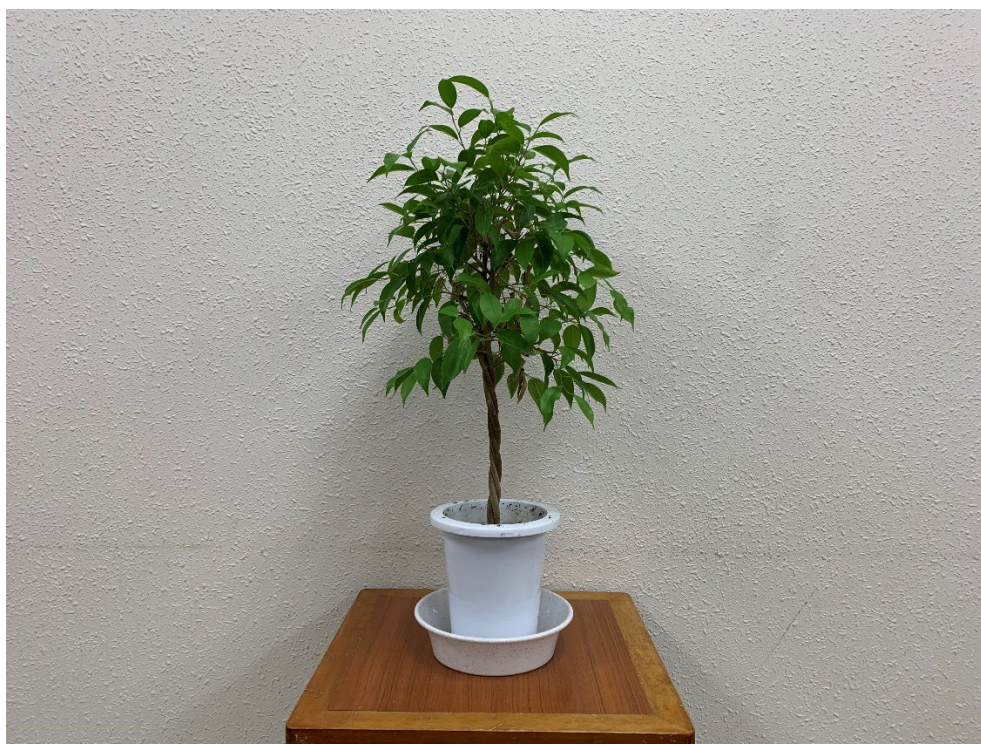


図 14 本研究で使用する観葉植物(ベンジャミン)の外観

3.3 (1)非人型として用いる観葉植物に対し、身体所有感を錯覚することは可能であるか

非人型形状の観葉植物に、身体所有感を錯覚することは可能であるかの根拠として、2.6.3で示した研究[15,56]の他に、バーチャルリアリティで使用するアバターの見た目を、ロボットや岩、サンゴ礁などにした場合、そのアバターに対し、身体所有感が生起したと思われる結果が報告されている[61,62,63]。Krekhovらはコウモリ型やクモ型、トラ型といった多様なアバターを使用させて身体所有感が生起するかを確認したところ、これらのアバターであっても身体所有感が生起している可能性があったと述べている[64]。Krekhovらが身体所有感の生起を確認するために用いた設問は1つのみであり、Kalckertらが作成した身体所有感や運動主体感を評価する複数の設問を用いて詳細に分析したときに同様の結果が生じるかについて検証する必要があると考えるが、身体と異なるアバターに対して身体所有感の錯覚が生起され得ることを示した点で興味深い研究であると考えられる。

これらの研究報告を踏まえると、Tsakirisらは手以外の物体に対しては身体所有感の錯覚が低下する、または生起しないと主張しているが[36,37,38]、Armelらが主張するように[29,35]、提示される刺激が時空間的に一致していれば、多様な物体に対して身体所有感を錯覚させることが可能であると考えた。このことから本研究は非人型形状の物体として観葉植物を用い、身体所有感や運動主体感を評価するために用いられている設問を基に、身体所有感を錯覚するのかを検証する。

3.4 (2)観葉植物に対し、身体所有感を錯覚するために、受動的な生起方法と能動的な生起方法は実装可能であるか

3.3で示したように、バーチャルリアリティで使用するアバターを用い、多様な物体に身体所有感の生起が可能であるか検証が進められている一方、観葉植物に対し、身体所有感の錯覚を生起させるにはどのような刺激の提示方法が良いのかといった問題が生じる。この問題に対して、本研究では人間と植物で共通する感覚があるのかという点から検討を行う。

植物学者のMancusoは、植物には知性があり、20の感覚を持つと主張している[65]。この主張が正しいかは未だ検証段階であるが、植物には人間の五感のような機能や特性が備わっていると見做せることがいくつかの研究から明らかになっている。植物に視覚のような感覚が存在すると考えられる現象として、光の方向を検知し、その方向に向かって成長

する屈光性がある[66]. このことから、光を感じる受容体が植物には存在し、検知した刺激に応じて自身の成長をコントロールしていると考えられる. 聴覚も同様に、音によって空気が振動することを刺激として感じ取っていることが確認されている[67]. この研究結果から昆虫の羽音を聞くことで分泌される蜜の糖度をコントロールし、その蜜に寄って来る昆虫とコミュニケーションしていることが示唆されている. 触覚や温冷感覚を感じ取っていることも確認されている[68,69]. 味覚、嗅覚も同様のことが考えられる[70,71].

上述した内容は、植物の機能から人間との感覚の類似性を検討したものであるが、エンタテインメント表現では植物を擬人化し、アニメーションで表現する作品も存在する. 例えばディズニーが制作した短編アニメーションの「シリーシンフォニー：花と木」では、植物に目や鼻、口等があり、枝を手のようにふるまうような演出が行われていたりする[72]. 近年では町おこし等で自然をアピールしたい自治体では、植物を擬人化し、人間のような目や口、手を持ったデザインがされたキャラクターを用いて広報活動に使用している事例もある[73]. これらの擬人化表現はアニメーション表現や広報活動として制作されたものであり、人間と植物との類似性を検証したものではないが、一般的に人間にとって植物は、目や口があったり、枝を手のように操作する想像できるような物体であることが推測できる. また別の観点として、子どもはどのようにして植物が水を吸収することを学ぶのかを研究した宮城らによると、5歳児の時点で水の必要性を理解しており、児童の口頭言及された内容を確認すると、植物の機能を説明する際には根やツルから水を飲むというように、擬人化して説明していたことを報告している[74].

このように植物の振る舞いや機能は人間の行為や機能に置き換えて表現したり、擬人化したりすることが可能であることが考えられる. また第2章で説明した Synofzik らの抽象モデル[49]からも、ラバーハンド錯覚または身体動作に同期して観葉植物を動かしたりすることで知覚した刺激が、命題的表象の影響を受け、その刺激を感じた文脈や背景から観葉植物になったような状況にあることを認識できれば、観葉植物を対象とした場合でも身体所有感を錯覚することは可能であると考えられる. これらの報告を踏まえ、受動的な生起方法の場合では水やりに着目し、観葉植物が受けている刺激をフィードバックする体験を検討する. また、能動的な生起方法の場合には人間の身体動作に同期して植物の枝や葉を動かす体験を検討する.

前者の場合は、上記の児童が植物の機能を説明する際に、植物は水を飲むといったように擬人化した説明がなされていたことから、一方的に被験者の口に水を流し込むということも考えられる. 一方、この方法は被験者の口に管を差し込むといったことから高い侵襲を伴うことや、どの程度の水量を許容できるかといったことは被験者毎に異なることが想定される. また被験者自身が水を飲める状態にすると、それは能動的な動作が含まれることとな

り、刺激を与えるといった受動的な生起方法からは異なる方法となってしまう。また、一般的に観葉植物に水やりを行う際には、葉や枝もしくは土に水分が行き渡るように水やりを行うため、植木鉢から見える土より上部で行われることが想定される。その際、植物に設置したカメラは人間の目に対応し、土より上部に設置されることから、水やりが行われる場合には顔や頭から水をかけられるような体験になると考えた。このような体験では顔全体もしくは身体全体を冷却するような手段が考えられるが、今回の実験では水やりが行われるタイミングと、その刺激がフィードバックされることで身体所有感の錯覚が生起するかという点から、簡便かつ安定して刺激の提示ができるように HMD を装着する際に、冷却装置を額に固定し、額を冷却するという方法を採用する。加えて提示する刺激を統一するという観点から、温度提示は制御できることが望ましいと考えた。

後者の場合は、運動主体感に関する先行研究で示した実験のうち、マウスカーソルやペンの軌跡に運動主体感を生じさせる実験では、人間の身体動作と同期させて物体を運動させると、その物体が自身の身体に類似していないにも関わらず、運動主体感が生起したことについて確認されている。このことから、人間の身体とは類似しない枝や葉を動かすことでも運動主体感が生起できると考えた。また、運動主体感が生起することに伴い、2.5.1 で示した研究報告から身体所有感も生起すると考え、観葉植物の枝や葉を動かすために物理的な機構を利用する方法を採用する。実装においても、前者の場合はペルチェ素子を用いた温冷刺激を提示することや、後者の場合は植物にアクチュエータを取り付け、Kinect のように人間の骨格情報を取得できるデバイスを組み合わせることで実現可能であると考えた。

3.5 (3) 受動的または能動的な生起手法のどちらの有効性が高いか

2.7 において、身体所有感の錯覚が生起することによって人間の心理に影響を与えることが報告されていることを示したが、これらはラバーハンド錯覚のみ、もしくは身体運動による錯覚のみといったように、単一の方法によって人間の心理に与えた影響を検証することが多い。また、2つの方法によって生起される身体所有感に違いはない研究報告[13,43,47]があるが、身体所有感の錯覚に違いがない場合においても、2つの手法が人間の心理に与える影響に違いはないのかという点については検証途上にある。このことを踏まえ、観葉植物を対象とした場合において、2つの生起法のどちらが身体所有感や人間に与える心理に効果的であるのかを本研究で実装した手法を基に、検証を行う。

3.6 まとめ

本章では、本研究で用いる観葉植物についての定義や使用する品種について示すことに加え、第2章で示した先行研究の報告を踏まえ、本研究における学術的問いを整理することを目的としていた。

3.2では、本研究で使用する観葉植物について定義を行い、検証で使用する植物の品種や選定理由、使用する植物の状態について示した。

3.3では、非人型形状の物体として、観葉植物に対し、身体所有感を錯覚することは可能であるかについて検討した。先行研究で検証されたアバターを用いた結果を踏まえると、観葉植物を対象とした場合においても身体所有感を錯覚することが可能であると考えた。一方、先行研究では身体所有感の錯覚に関する設問が簡易なものであったりする等、検証に不十分な点があったため、本研究では観葉植物に対して身体所有感が生起可能であるかについて検証を行う。

3.4では、観葉植物を対象とし、身体所有感の錯覚を生起させるために、受動的な生起方法と能動的な生起方法は実装可能であるかについて検討した。実装可能であるかを検討するために、植物と人間との間で共通すると考えられる感覚や、植物は擬人化されて表現されてエンタテインメントや広報媒体に使用されている事例や、植物の持つ機能は人間が持つ機能のように表現された研究事例から、観葉植物を対象とし、身体所有感の錯覚を生起させることは可能であると考えた。また錯覚を生起させるための受動的または能動的な方法も、既に存在するアクチュエータやデバイスを使用することで実装可能であることを述べた。

3.5では、受動的または能動的な生起手法のどちらの有効性が高いかについて検討した。先行研究では受動的または能動的な生起方法のうち、どちらかを使用した検証が多いことを述べた。またこの2つを比較し、有効性を評価する研究は少なく、どちらの方法が身体所有感の生起に有効であるかについて結論は出ていない。このことを踏まえ、本研究で観葉植物を対象とし、身体所有感の錯覚が生起されたかを検証するとともに、この2つの方法を比較し、どちらの方法で有効性が高いのか検証する必要があると考える。

第4章

受動的な身体所有感の生起方法について

4.1 はじめに

本章では、第2章、第3章で検討した観葉植物に対し、身体所有感を錯覚する方法のうち、受動的な生起方法について検討する。これまでの研究報告から、ラバーハンド錯覚のように視覚と触覚刺激によって自身の身体とは異なる物体に対しても身体所有感が生起することは確認されている。一方、非人型形状の物体に対し、人間は身体所有感を錯覚するかについて未検証である。このことから、本研究では観葉植物として一般的に栽培されている植物を対象に、受動的な生起方法として視覚・触覚刺激をフィードバックするシステムを構築し、身体所有感の錯覚が生じたのかを検証する。またその方法による心理的影響を評価するために被験者実験を行い、本手法の有効性を考察する。

4.2 受動的な生起方法の実装について

4.2.1 システムの概要

本章では受動的な方法を用いて身体所有感を生起させるため、観葉植物が受けている刺激を被験者に視覚、触覚、聴覚刺激としてフィードバックするシステムを実装する。本システムと類似するコンセプトを持つ作品として、八谷が制作した視聴覚交換マシンが存在する[19]。この作品は体験者2名にHMDを装着し、それぞれのHMDに搭載されているカメラやマイクから取得した情報を、2人の体験者の間で入れ替えて体験できる。この作品は人間を対象としたものであるが、観察対象の感覚を体験するという点は本研究のコンセプトと類似している。本システムは植物側から見えている、感じていると思われる視覚・聴覚・触覚情報をセンサーで取得し、被験者に提示する方法を実装する(図15)。

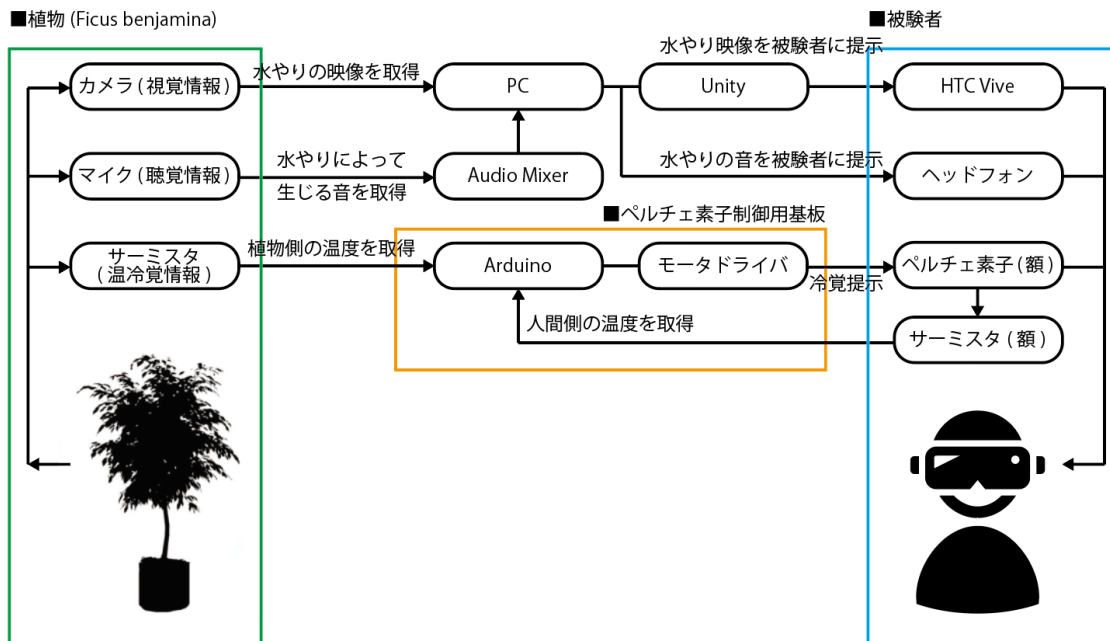


図 15 受動的な生起方法で実装するシステム

4.2.2 システムの構成

本システムは観葉植物側の視覚・聴覚・触覚情報を得るために、観葉植物の主軸に 360 度カメラ (Insta 360 Air) を設置し、聴覚情報を取得するため植木鉢の近傍にマイク (Audio-Technica AT2020)、植木鉢の外周部にサーミスタを設置している (図 16)。被験者には HMD を装着させ、360 度カメラから得た情報を HMD 内のディスプレイに視覚情報として Unity 内のカメラ機能を用いて描画する (Unity 2020.3.5f1)。聴覚情報はマイクで取得した音をヘッドセット (Audio-Technica ATH-AR3BT) で聴くことができる。触覚情報は被験者の額に密着するように取り付けられたペルチェ素子を用いて提示する (図 17)。ペルチェ素子を額に装着した理由は、額は比較的温冷覚の感度が高く [75]、装着もしやすいためである。また植木鉢に設置したサーミスタで取得した情報を基に、リアルタイムで温度情報を取得している。この温度情報を基に一定の温度変化があった場合にはペルチェ素子を駆動し、触覚刺激として提示する方法を実装している。



図16 観葉植物側に設置するセンサー類

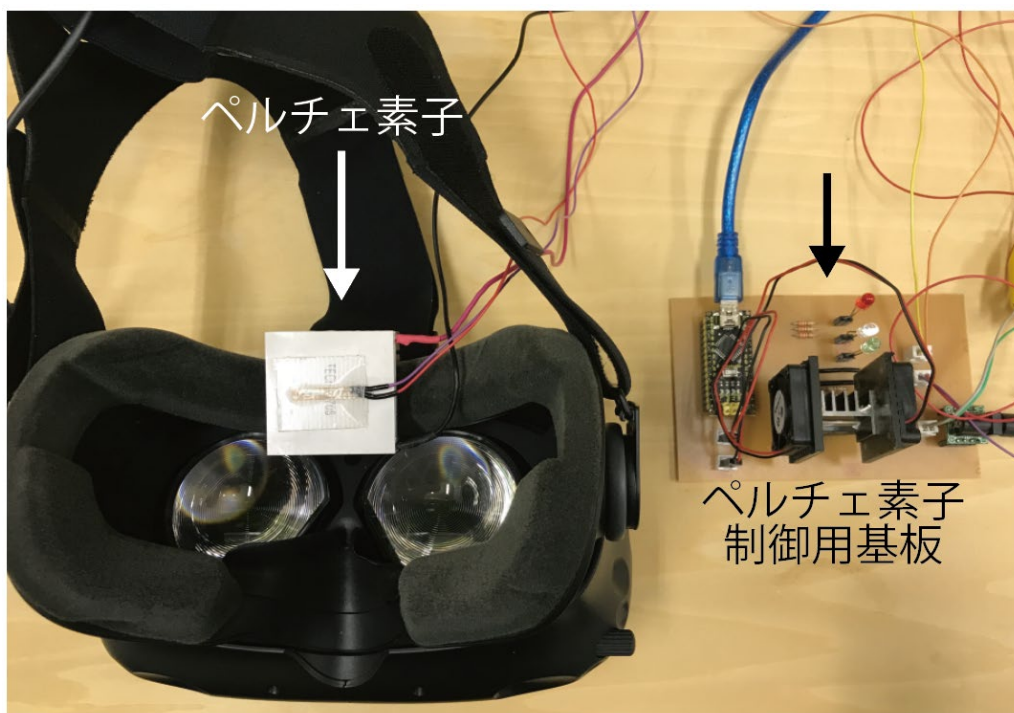


図17 被験者の額に設置するペルチェ素子とペルチェ素子用コントローラー

4.2.3 HMD を用いた視覚刺激の提示について

本研究では、観葉植物の主軸に取り付けたカメラ(Insta360 Air)から2560×1280ドットの全天球映像を、Unity内で球状の3Dオブジェクト(sphere)にテクスチャマッピングを行い、その内部にカメラオブジェクトを配置することで外界の映像を表示している(図18)。現実空間でのカメラ位置は、3.4で述べた植物の光屈性[66]や、植物を擬人化した際に表現される目の位置等[72,73]を参考に、主軸が表出している地面から観葉植物の最上部との中間となる位置に取り付け、葉がカメラの視界を遮らないように調節している。

またHMDと被験者の視界を同期させるために、SteamVR Unity Plugin[76]を導入した。これにより被験者の首を動かすといった動作に同期してUnity内のカメラオブジェクトが回転し、任意の方向を向くことができる。SteamVR Unity Pluginでは自動的にHMDの種類に応じて最も適した視野角(field of view)が設定され、視野角は約105度程度(HTC Viveのスペック上の視野角は110度)に設定されている。



図18 Insta360 Airより取得した映像をUnity内の球状オブジェクトにテクスチャマッピングし、HMDへ表示する(上図:Unity内の球状オブジェクトにInsta360 Airから取得した映像をテクスチャマッピングした状態、下図:その状態をHMD上で視認した時の画面)

4.2.4 温度変化の検出・提示方法について

本方法は観葉植物の状態を認識させるため、水やりという行為に着目した。多くの観葉植物の場合、水やりを定期的に行う必要があり、観葉植物の温度が急激に変化する瞬間である。水やりは植物の世話の中でも最も基本的な行為であり、水やりによって温度が低下したことがフィードバックされると観葉植物になったように感じやすくなるのではないかと考えた。そのため水やりによって生じる温度変化を被験者にペルチェ素子を用いて触覚(冷覚)刺激として提示する。

実装するシステムは、植木鉢とペルチェ素子に取り付けているサーミスタ(103JT-025)から温度情報を取得し、ペルチェ素子(TEC1-12708)をモータドライバ(TA7291P)で制御する回路を実装している(図 19, 図 20)。電源には、スイッチング AC アダプター(9V 1.3A, AD-B90P130)を用いた。冷覚刺激として提示する温度は、観葉植物側の温度として植木鉢に取り付けられたサーミスタと、被験者側の温度としてペルチェ素子に取り付けられ、人間の額に密着するサーミスタからの温度情報を基に決定する。

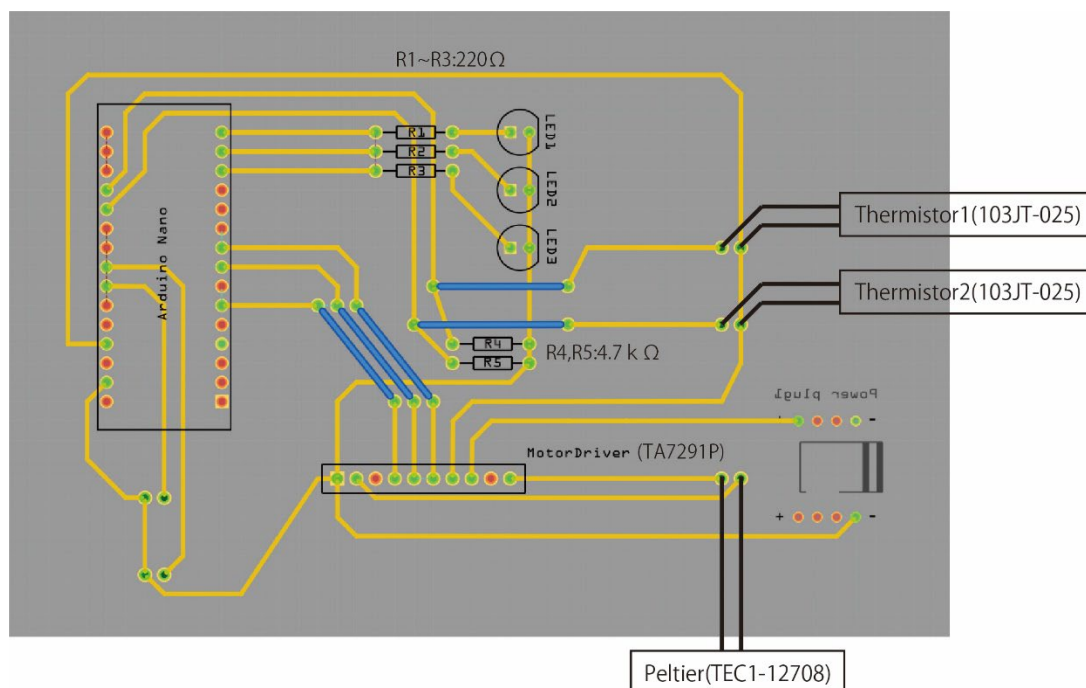


図 19 ペルチェ素子コントローラー用に制作したプリント基板データ

観葉植物側と被験者側のサーミスタから送られてくる温度情報は 10 フレーム分の平均値としており、実行速度は約 13FPS である。制御のトリガーとなるのは観葉植物側の温度である。直前の 10 フレームで計測された温度から 5%以上低下した時、被験者側の目標温度を計算し、設定した目標温度までペルチェ素子を駆動する。被験者側のサーミスタから取得する温度が目標温度まで低下後、再度観葉植物側の温度を計測し、温度低下が 5%以下に

なるまで同様の処理を続ける。

被験者側の目標温度とは、人間の額に取り付けられたサーミスタをペルチェ素子により何度まで冷却するかを示す温度である。目標温度は観葉植物側の温度が 5%低下したとき、被験者側の目標温度を 5%低下させた温度とし、この目標温度になるまでペルチェ素子は駆動する。水やりが行われ、観葉植物側の温度が変化したとき、ペルチェ素子が駆動させ、観察者側の温度を変化させた結果を図 20 に示す。

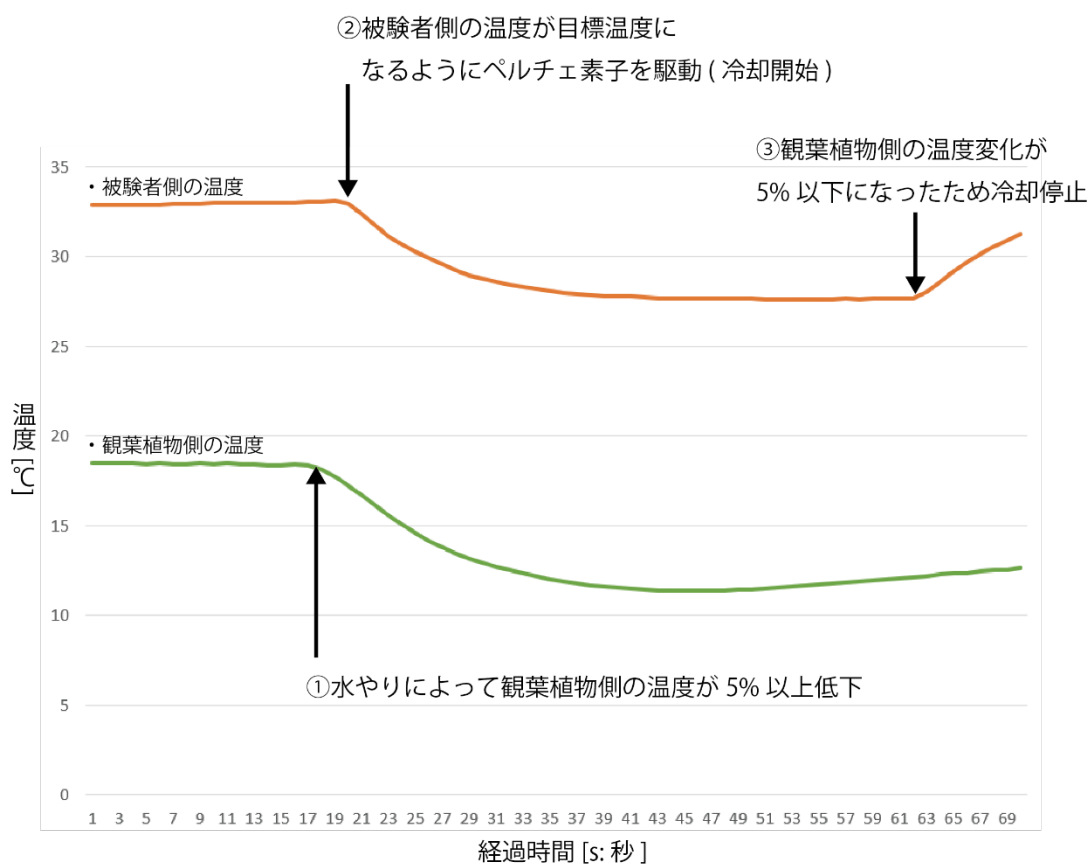


図 20 観葉植物側の温度変化と、被験者の額とペルチェ素子が接触する箇所の表面温度(被験者側の温度として表記)

4.3 受動的な生起方法により身体所有感の錯覚が生起したかを検証する実験について

4.3.1 実験概要

実装したシステムを用い、植物に対して身体所有感の錯覚が生起したかを検証する。また本手法の有効性を検証するために、植物への共感が向上したかを評価する。本研究で検証する仮説は、仮説①人間に提示する刺激を増加させていくと、身体所有感が向上する、仮説②フィードバックする刺激が多いほど共感が向上する。この 2 つを設定した。

仮説①は、Armell らが主張する与えられる刺激と、体性感覚が時空間的に一致していれば、身体所有感の錯覚が生起すると主張している[29,35]。一方、錯覚を生起させたい対象が、身体に類似しない場合には身体所有感は生起しないとする報告もある[36,37,38]。これを踏まえ、本研究では観葉植物に対して同様に身体所有感の錯覚が生起するのかを確認する。仮説②は身体所有感の錯覚によって、錯覚が生起する対象への印象評価や人間の行動に影響を及ぼすことが確認されている[15,16,57,59]。このことから、身体所有感の錯覚により変化する心理状態を評価するために、観葉植物に対する共感に変化があったのかについて検証する。

4.3.2 共感について

本章では、身体所有感の錯覚が生起したことによる心理的影響を評価するために、植物に対する共感に影響を及ぼしたかを検証する。澤田は共感を「他者の感情の理解を含めて、他者の感情を共有すること」と定義している[77]。近年の研究では共感には大きく分けて情動的共感と、認知的共感があり、前者は他者の情動状態に同期するのに対し、後者は他者の情動・感情状態を理解することとされている[78]。近年ではこの 2 つの共感を統合し、多次元的な構造であるとする見方が定着しつつあり、この多次元的であるとする共感を評価するための尺度が開発されている[79,80]。

また身体所有感を錯覚すると、共感に影響を及ぼす研究報告が存在する。Suzuki らはロボットへ共感できるかを確かめるために、ロボットの手にナイフが刺さりそうになっている写真と、人間の手にナイフが刺さりそうになっている写真を被験者に提示し、脳波を計測した[81]。その結果、ロボットの手にナイフが刺さりそうになっている写真を見た時の脳波成分(事象関連電位)は、人間の手にナイフが刺さりそうになっている写真を見た時と基本的に同様であり、ロボットが観察対象であっても共感的な反応を示したことが確認されている。2.7 節で示した Maister らの報告からはラバーハンド錯覚を用い、肌の白い被験者に黒

いラバーハンドへ身体所有感を生起させた結果、身体所有感が高くなるほど黒い肌を持つ人種に対する人種的な偏見が低減されたと報告している[57]. *Ventre-Dominey* はロボットに対して身体所有感を生起させた結果、ロボットへの好ましさが向上することを報告している[15]. このことから人間は自身の身体以外の物体に身体所有感を錯覚することで、その物体に対して共感できる状態になっていることが考えられる. このことから、本研究は身体所有感の錯覚により変化する心理状態を評価するために、観葉植物に対する共感に変化があったのかについて検証する.

4.3.3 実験条件

実験では、仮説①, ②を検証するため、実装したシステムを装着し、視覚情報のみをフィードバックする(Vision feedback : VF), VF に聴覚情報を付加してフィードバックする(Vision and Auditory Feedback : VAF), VAF に触覚情報を付加してフィードバックする(Vision, Auditory and Tactile Feedback : VATF)の 3 条件を被験者内計画によって実施した. 被験者は 12 名(男性 4 名, 女性 8 名, 平均年齢 34.8 歳)を対象に実施した. 実験期間は 2021 年 8 月の月初から月末の間で、札幌市立大学芸術の森キャンパス内で実施した.

VF, VAF, VATF 条件は観葉植物側から見る内容となっており、被験者自身が見える状態で実施した. これは被験者と観葉植物の位置関係を固定するためである. 被験者を見えなくするために身体を認識して画像処理でマスクをかけることや、事前に録画した映像を使用する、被験者を別の場所に移動させる等が考えられる. これらの方法により被験者を移動させたり、見えなくしたりすることは被験者が開始時に認識している植物との距離感を変化させる恐れがあり、後述する心理的重なり尺度や多次元共感性尺度に影響を及ぼすと考えた. そのため被験者と観葉植物の物理的な距離は変更せず、実験を行った.

4.3.4 実験手続き

実験では 3 つの条件(VF, VAF, VATF)についてカウンターバランスを行った上で実験を実施した. はじめに実験実施者が被験者を部屋に案内し、用意された椅子に座る様に指示する. その後、植物になったかのような擬似体験をしてもらうため、実験実施者が水やりを行う様子を見てもらう実験であることを説明する.

HMD や実装したシステムを装着する実験を実施する場合は、装着することに同意が得られた者のみに装着し、視界が正常に見えていること、装着に痛み等の違和感がないこと、観葉植物が設置された植木鉢と被験者の身体との距離が 50cm となっているか確認する(図 21,22). 実験に参加した被験者のうち、同意が得られなかった被験者は 0 名だった.

被験者が可能な行為として、座ったままの状態を維持し、首を動かし、周りを見たりすることは可能であると伝えた。一方、制限されている行為として、立ち上がったり、歩いたりすることは出来ないと指示した。被験者は可能であると伝えた行為から逸脱した行為を行った者は居なかった。被験者に用意ができたなら「始めてください」と発言するように伝え、発言が確認されたのち、実験実施者が植物へ水やりを行う。水やりは容量 500ml のペットボトルに、容量分の水道水を入れたものを使用した。また、確実にペルチェ素子を駆動させるため、あらかじめ冷蔵庫で冷やした状態のものを使用した。水やりでは、このペットボトルから 500ml の水を数秒かけてすべての水を与える(植木鉢から水が零れ落ちないように)。約 2 分間自由に体験してもらう。実験実施者から終了の合図が出された後は装着物を全て外し、アンケートの記入をしてもらう。

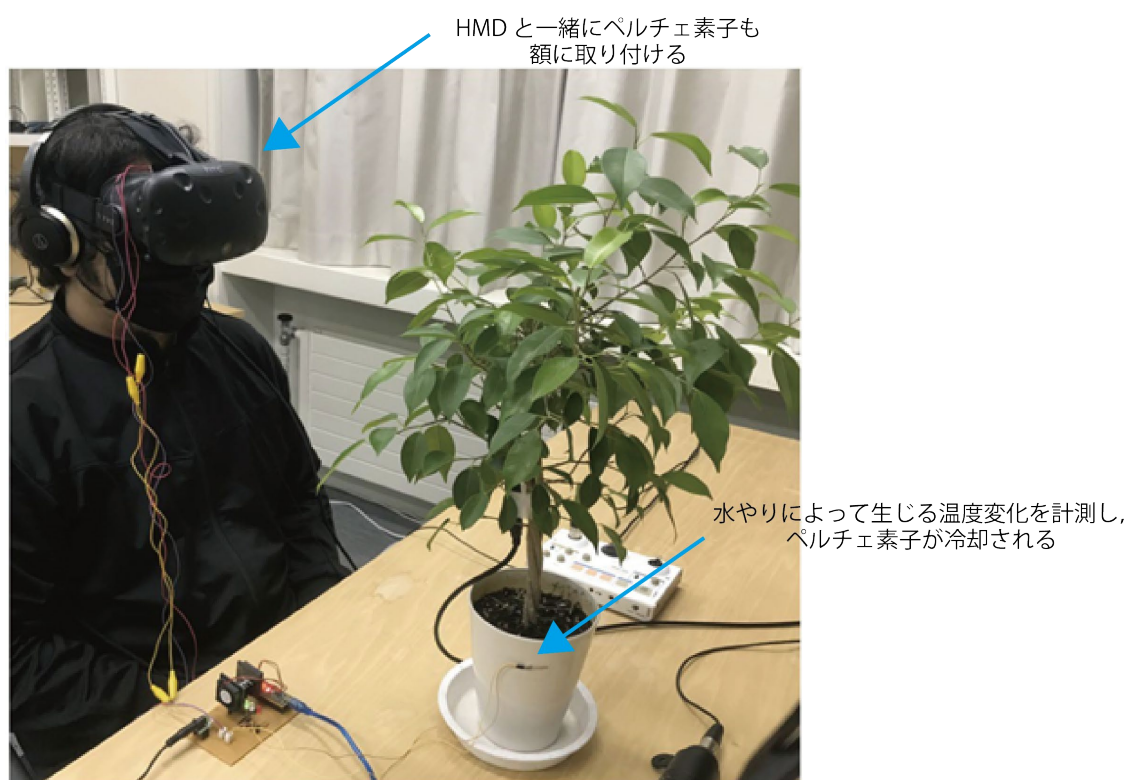


図 21 4.3 で行う実験のセットアップ(被験者は HMD を装着する際に、図 17 のように額にペルチェ素子が密着するように取り付ける。これにより水やりによって植物の温度が低下すると、ペルチェ素子が駆動し、冷却される。被験者はこの冷却刺激を額で知覚する)



図 22 4.3 の実験中の様子(植物側に設置したカメラから取得した映像が、HMD に描画される)

4.3.5 評価方法

4.3.5.1 心理的重なり尺度(IOS)を用いた身体所有感の錯覚の評価について

Aron らによって開発された心理的重なり尺度(IOS)は、身体所有感を評価する尺度の一つとして用いられている[82]. Mazurega らや Ma らは、他者の身体に身体所有感を錯覚させることが心理的距離を変化させるか評価するためにこの尺度を用いている[83,84]. また、Ventre-Dominey らはロボットに対して身体所有感が生じたことの評価の一つにこの尺度を用い、視覚刺激とロボットの動作が同期することでロボットと被験者の心理的距離が改善されたことを報告している[15].

これらの研究を踏まえ、本手法では IOS を用い、観葉植物に対して身体所有感が錯覚したのかを評価する。また被験者から得られたコメントから植物になったような感覚が生じたかを確認する。本検証で用いた IOS は図 23 に示す(1) ~ (7)の選択肢から構成されており、何も書かれていない白い丸は植物を表している。自身と植物との距離を表しているものとして最もふさわしいものを 1 つを回答させた。IOS は試行毎に回答させた。

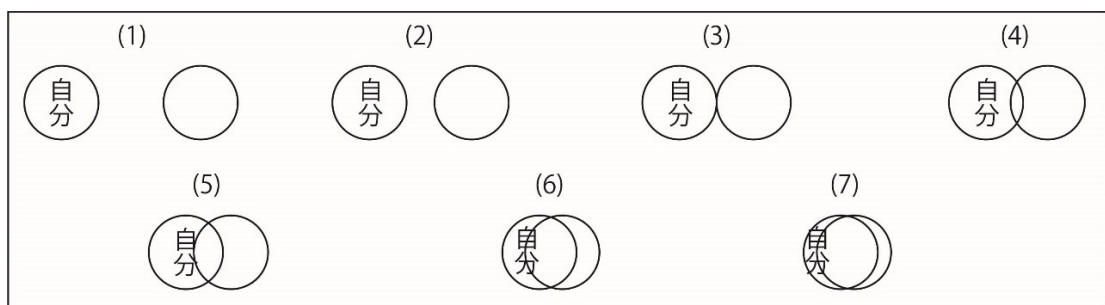


図 23 本実験で用いた心理的重なり尺度(IOS) の選択肢

4.3.5.2 共感尺度(MES)を用いた本手法の有効性の検証について

近年の研究では情動的共感と認知的共感は互いに影響していると考えられており[85,86], MES [79]は両方の側面を評価するために作成されている. 本実験の評価として用いる際には, 被験者が感じている植物への同情や配慮について評価する他者指向的反応に関する設問と, 植物の視点を取得しているか評価する視点取得に関する設問を参考に, 元の設問文から主語を人間から植物へと変更したものを使用している. 本研究では MES として表記する(表 1).

MES の設問は 4 つ設定し, 他者指向的反応に関する設問は設問 1, 2, 視点取得に関する設問は設問 3, 4 である. 被験者は 1 試行毎に設問 1 から設問 4 のすべてに回答する. 設問は 7 件法により回答させ, 全く当てはまらない場合は 1, とてもよく当てはまる場合は 7 のように回答させた. IOS と同様に, MES は試行毎に回答させた.

表 1 MES を参考に本実験で作成した設問

設問 1:枯れそうな植物を見ると, 手助けしたいと思う.
設問 2:植物が成長しているのを見ると, 自分には関係なくても応援したくなる.
設問 3:常に植物の立場に立って, 植物を理解したいと思う.
設問 4:植物の世話をするときは, 植物が何を求めているかを考えながら世話をしたい.

4.4 実験結果

実験の結果(VF,VAF,VATF)について, IOS と MES の結果を図 24,25 に示す. MES に関して, 他者指向的反応は 2 設問の回答結果の平均を取り, 得点としている. 視点取得に関する結果も同様の処理を行っている. 実験で得られたコメントを表 2 に示す. なお, 実験終了後, 被験者に本方法の冷覚提示に気づいたかどうかを聞いたところ, すべての被験者が冷覚提示に気づいており, 水やりによってペルチェ素子が冷たくなったことを認識していた.

IOS の得点と標準誤差は, VF 条件, VAF 条件, VATF 条件のそれぞれについて, 2.08 ± 0.43 , 2.25 ± 0.25 , 3.00 ± 0.41 となっている. MES の視点取得の得点と標準誤差について, VF 条件, VAF 条件, VATF 条件の結果はそれぞれ, 4.12 ± 0.37 , 4.54 ± 0.40 , 4.50 ± 0.39 となっている. 同様に他者指向的反応について, VF 条件, VAF 条件, VATF 条件の結果は 5.29 ± 0.36 , 5.33 ± 0.31 , 5.46 ± 0.29 となっている.

この結果に対して, 一元配置分散分析と Holm 法による多重比較を行った. 分析結果は IOS に関しては, VF と VATF 間で有意差が認められ(*: $p < .05$), VAF と VATF 間(\dagger : $p < .10$)

では有意傾向となっている. MES の他者指向性, 視点取得について 3 つの条件間で有意差は認められなかった.

IOS(心理的重なり尺度)

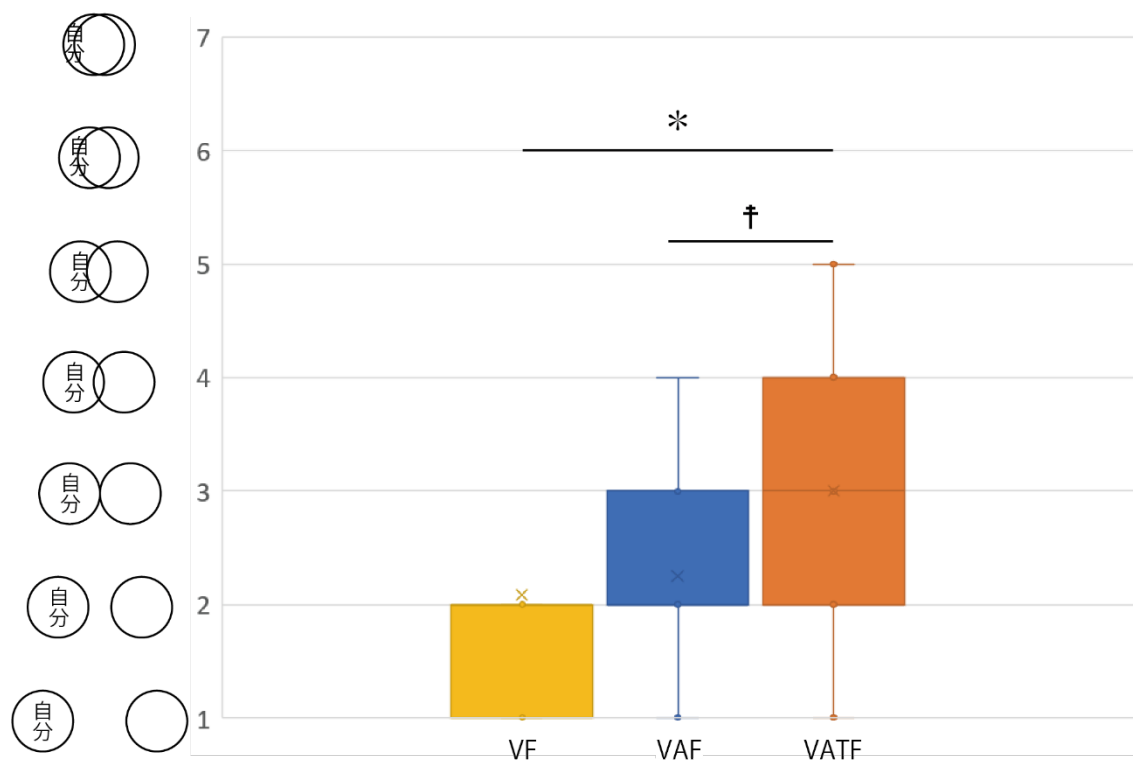


図 24 4.3 で行った実験の回答結果(IOS)

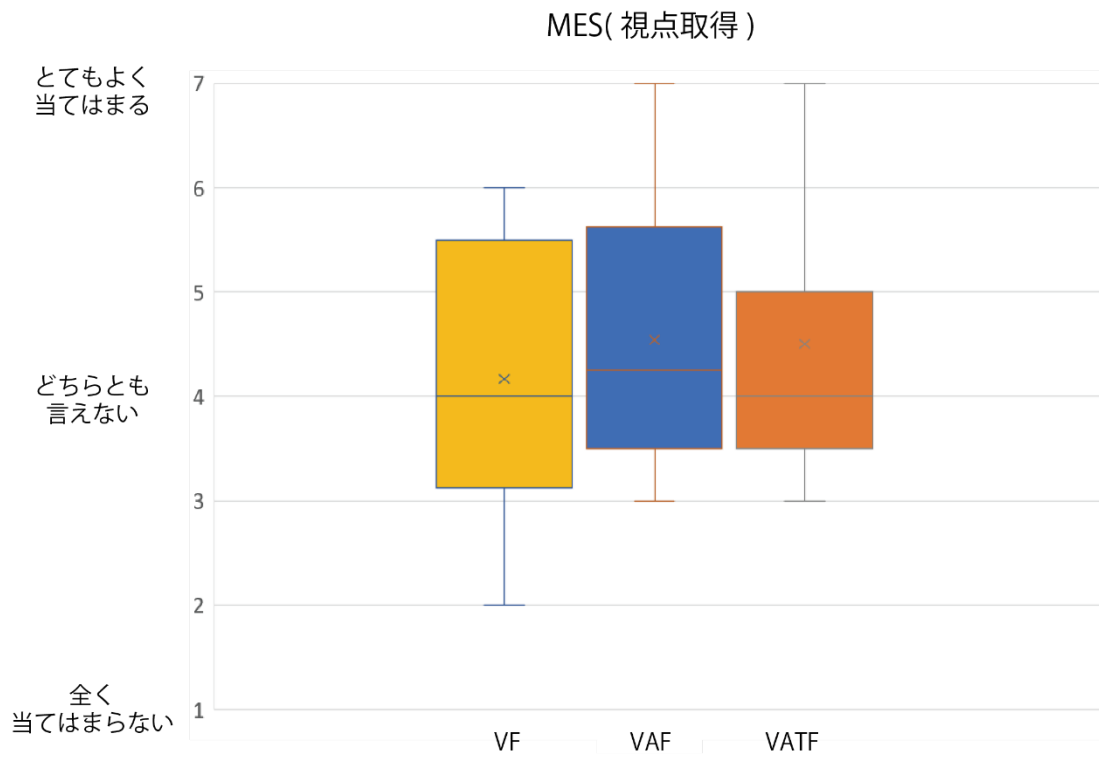
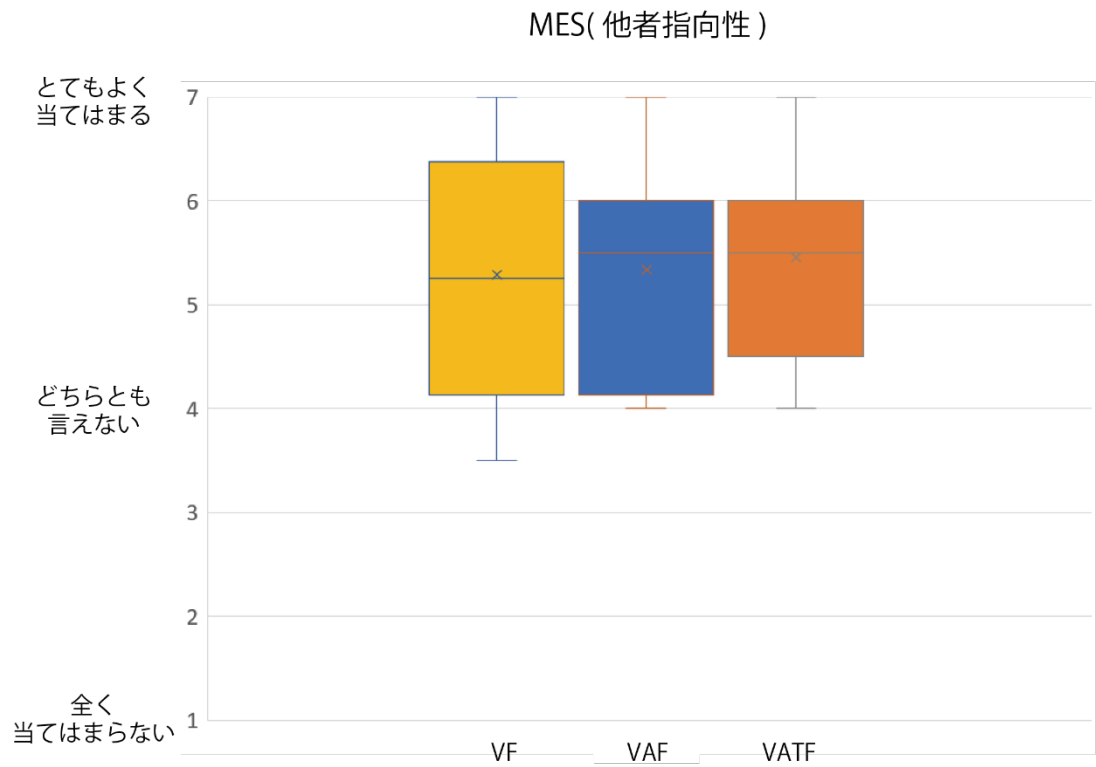


図 25 4.3 で行った実験の回答結果(MES : 上図(他者指向性), 下図(視点取得))

表2 実験で得られた全てのコメント

- C1: 音や温度が加わることで、より植物になれている感じがしました。1回目は小人になった気持ちでした。水やりが上手だと、雨音ぽくもなるのかな？と思いました。
- C2: お水の音を聞いた時に、「お水をもらっている」という気持ちになりました。冷たさを感じた時およびそのあとは、なんだかうれしい気持ち・・・心なしか葉っぱが元気になった気がしました。実験後は育てている植物とか、近所の枯れそうな木のことを考えました。
- C3: 少し暑いので最後もっと水がほしいと思った。回を重ねるごとに映る自分が見えなくなっていく。
- C4: 小さめの木でも、森にあるような木とほぼ同じだなあーと感じた
- C5: 植物目線に立てたことが面白かったです、植物側の気持ちを考えたことは今までなかったので良い気づきを本日は得ました。
- C6: 映像が反転していなかったので鏡を見ているような気持ちでした
- C7: ヘッドホンなしの回で水の落ちる音がよく聞こえた
- C8: 実験は、1回目(VAF)より2回目(VF)、2回目より3回目(VATF)と、植物の目線になっている自分がいました。いつもなんとなくしていた水やりですが、今後は、いつ、どの位ほしいのか、植物の目線になって、愛情そそいであげたいなあ～と思います。ありがとうございました。
- C9: 実験 1(VATF)が最もさわやかで気持ちいい体験でした。北海道神宮の林道を思い出しました。
- C10: こんなに植物と近い体験は今までなかったので、今後よりいっそう植物に愛着がわくと思います。

4.5 受動的な生起方法による身体所有感の錯覚についての考察

4.5.1 仮説①人間に提示する刺激を増加させていくと、身体所有感が向上する

本章では仮説として、人間に提示する刺激を増加させていくと、身体所有感が向上するかどうかを検証する。これは Armel らの与えられる刺激が時空間的に一致していれば、多様な物体においても身体所有感が生起するとした主張を検証するためでもある[29,35]。本手法では、従来研究の人型に類似する物体から、観葉植物に対し、身体所有感の錯覚を生起可能であるか検証するために、実験者が植物に水やりを行い、それによって冷却される植木鉢の温度を被験者の額に提示することを行った。

4.4 の実験結果から、実験条件ごとの IOS を比較すると、得点が高い順に VATF（視覚・聴覚・触覚フィードバック）、VAF（視覚・聴覚フィードバック）、VF（視覚フィードバック）の順である。これは植物と被験者との心理的距離は、提示する刺激が増加すると、その距離を縮める効果があることを確認できる。一方、最も IOS の得点が高い VATF の平均値は 3 程度となっている。これは図 23 に示した IOS の図では、(3)の選択肢となっている。この選択肢は自分と白い丸(植物)が接しているような状態であり、被験者全員の回答結果から踏まえると、自身と植物が区別されているような認識であったと考えられる。

身体所有感の錯覚を評価に IOS を用いた先行研究の結果では、Ventre-Dominey ら[15]がロボットを対象にし、被験者の動きと同期させてロボットを動作させた際には IOS の結果は 4~5 程度となっており、これらは図 21 に示す(4),(5)の選択肢となり、植物と自身がオーバーラップしているような選択肢である。Ventre-Dominey らはこのような結果によってロボットが自身の身体のように感じられたと述べている。また、Ventre-Dominey らはこの実験を発展させ、本実験のようにロボットに触覚刺激を提示する際に、人間にも同時に刺激を提示した結果、身体がロボットになったような感覚が生起されたことを確認しており、この時の IOS は約 3.5 程度となることを確認している。これに加え、Ma ら[84]によって他者の身体に身体所有感を錯覚させる検証では、自身の顔の動きと他者の顔の動きを同期させることで IOS に変化があったことを確認している。これらの研究報告を踏まえ、観葉植物に対して身体所有感が生起可能であるか明らかにすることが目的である点から、IOS の数値が 4 以上であること、またフィードバックする刺激を増やすことで IOS が向上している場合に身体所有感が生起したと判断する。

これらの報告を踏まえると、被験者全体の IOS は、フィードバックする刺激を増やす IOS の平均値は向上しているが、IOS が最大となる実験条件(VATF)においても平均値が 3 程度であった本手法では、観葉植物に対して身体所有感が生起していなかったとも考えられる。こ

の点について、被験者から得られたコメントと個別の IOS の回答結果から身体所有感が生起されていなかったのかについて検証する。12名の被験者のうち、IOSの結果から最も身体所有感を生起すると思われる VATF 条件において、4以上に回答していたものは5名である。この5名は自由記述によるコメントにも回答しており、表1の C1, C2, C4, C8, C10 である。

表3のコメント C1では、「音や温度が加わることで、より植物になれている感じがしました。」ということから、提示する刺激を増やしていったことが、植物になったかのような感じを想起させていたことが考えられる。「1回目は小人になった気持ちでした。」と回答した点については、この被験者は1回目に VF(視覚フィードバック)から実験を開始した者であり、観葉植物側に設置されたカメラから得られた映像からこのような感想を持ったと考えられる。コメント C2では、「お水の音を聞いた時に、「お水をもらっている」という気持ちになりました。」とあった、本研究で用いているのは室内で長く鑑賞することを目的とした観葉植物であり、このような植物は自然に存在する植物とは異なり、その世話は基本的に人間が行うことが想定される対象である。そのため水をもらっているという気持ちになったコメントでは、被験者が観葉植物に水をあげているような状況をイメージした上で、その観葉植物自身になったように感じ、実験者(栽培者)から水を貰えたことを想起したと考えられる。

コメント C4は、本実験で使用した観葉植物を、日常生活で見るような木と同様に見ていたことが考えられる。本研究では一つの植木鉢に栽培されている観葉植物を用いた実験であるのに対し、この被験者は観葉植物を木と見ていたことに加え、森といった本実験とは関係していない対象まで想起していた。これは2.1で示した *narrative self* の要素である自身の記憶や経験が思い出されたことが考えられる。コメント C9の「北海道神宮の林道を思い出しました。」も同様のことが考えられる。このことから観葉植物に対し、身体所有感を錯覚させようとした本方法は、被験者の *narrative self* に影響を及ぼしていることが考えられる。

コメント C8では、「1回目より2回目、2回目より3回目と、植物の目線になっている自分がいました。」という回答であった、この被験者は、1回目に VAF, 2回目に VF, 3回目に VATF という順番で実験を行った者である。本検証では被験者内実験となり、実験を繰り返したことで順応効果が生じ、観葉植物に対して身体所有感の錯覚をすることを促した可能性が考えられる。コメント C10では、「こんなに植物と近い体験は今までなかった」とあり、観葉植物側から見た視界を提示したり、水やりによる冷覚を感じたことを「植物と近い」というような表現として回答していたことが考えられる。

これらの結果を踏まえ、身体所有感が生起したかどうかの基準であるフィードバックする

刺激を増やすことで IOS が向上していること、IOS の数値が 4 以上であることに合致するこの 5 名においては、観葉植物に対して身体所有感を錯覚していたと考えられる。

4.5.2 仮説②フィードバックする刺激が多いほど共感が向上する

視覚情報のみをフィードバックする VF 条件、視覚+聴覚情報をフィードバックする VAF 条件、視覚+聴覚+触覚情報をフィードバックする VATF 条件を比較すると、MES の他者指向的反応、視点取得に関しては条件間で有意差は認められず、視点取得の平均値は VAF 条件が一番高く、その次に高いのが VATF 条件であった。他者指向的反応に関しては VATF 条件が一番高く、その次に高いのが VAF 条件であった。統計的には条件間での差は確認できなかったが、少なくとも視覚刺激のみをフィードバックするよりも、聴覚または聴覚と触覚刺激の両方をフィードバックすると共感に関する回答は高くなる傾向になるのではないかと考える。

統計的には条件間で有意な差は見られなかった一方、被験者からのコメントからは共感が生起されているようなコメントがいくつか確認された。表 1 のコメント C2 では、「冷たさを感じた。冷たさを感じた時およびそのあとは、なんだかうれしい気持ち・・・」やその後の「実験後は育てている植物とか、近所の枯れそうな木のことを考えました。」のほか、コメント C3 「もっと水がほしいと思った」、コメント C8 「いつもなんとなくしていた水やりですが、今後は、いつ、どの位ほしいのか、植物の目線になって、愛情そそいであげたいなあ～と思います。」、コメント C10 「今後よりいっそう植物に愛着がわくと思います。」のように、本手法を体験することで観葉植物の目線になったこと(視点取得)や、観葉植物に意識が向いたこと、もしくは自分自身が観葉植物になったかのように感じたことで、水を貰うということがポジティブな感情を引き出したことが示唆される。また、C1, C2, C4, C8, C10 は 4.7.2 節の IOS の結果が 4 以上となっており、身体所有感が生起されたことによって観葉植物に対し、共感が生起したことが考えられる。

他者指向的反応、視点取得に影響があったかどうかについて明らかにできなかった原因に、MES は個々人の態度に関係する尺度であり、短期間の体験での変化を測定することが難しいことが考えられる。MES を利用し、具体的な変化が確認されたと報告している研究では[87,88]、数十分あるいは数日という期間で介入していることが多い。本研究とは介入方法が異なるため前述した研究との直接的な比較はできないが、ある程度の長い実験期間を設定し、複数回の体験を経ることで MES の回答に差が生じる可能性があると考えられる。その際は観察対象との接触回数が増加することから、単純接触効果[89]といった繰り返し観察対象と接した結果、好感度が高まる可能性について考慮した実験計画が必要であると考えられる。

4.6 まとめ

本章では、第2章で検討した観葉植物に対し、身体所有感を錯覚する方法のうち、受動的な生起方法について検討した。受動的な生起方法により身体所有感を錯覚させるために、HMDやペルチェ素子等を用い、被験者に視覚・聴覚・触覚刺激をフィードバックするシステムを構築し、観葉植物に対し、身体所有感が生起するか実験を行った。

実験では、視覚・聴覚・触覚刺激をそれぞれ重畳するような実験条件を設定し、仮説①人間に提示する刺激を増加させていくと、身体所有感が向上する、仮説②フィードバックする刺激が多いほど共感が向上するについて検証することとした。仮説①については、ラバーハンド錯覚等の先行研究から、提示される刺激が時空間的に一致していれば多様な物体に身体所有感が生起され得るとすることを検証するためである。また仮説②については、人間は身体所有感が生起した物体から心理的な影響を受けることを踏まえ、本研究では共感が生起されるかどうかを確認することで本方法の有効性を評価することとした。

実験結果は、視覚・聴覚・触覚刺激をそれぞれ重畳していくと、心理的重なり尺度の数値が増加していくことを確認した。これは身体所有感を生起させる受動的な生起方法において、フィードバックする刺激を増やしていくと身体所有感が生起されやすい状態になるということが確認できた。一方、本検証では、心理的重なり尺度の全体結果からは自身と観葉植物が接しているような状態になることを確認し、先行研究を基準とした場合、自分と、自分以外の物体が重なり合うような状態にはならず、身体所有感の錯覚が生起されたのかについては確認できなかった。

このことからさらに詳細な分析として、心理的重なり尺度の個別の回答結果ならびにコメントを検証すると、被験者12名中5名の被験者で心理的重なり尺度の結果が4以上になっていることを確認し、身体所有感の錯覚が一部の被験者では生起していたことが考えられる。上記の内容を踏まえると、一部の被験者については仮説①は正しいということが確認された。

また、本方法の有効性を評価するために確認した共感の各項目では、実験条件間で有意な差は見られなかった一方、視覚・聴覚・触覚刺激をそれぞれ重畳していくと、MESの数値が増加していく傾向にあることを確認した。被験者から得られたコメントは植物の目線になったこと(視点取得)、また植物を気にかけていたい気持ちになったことを示唆するようなコメントから、仮説②が正しいことを確認した。このことから本方法によって観葉植物に対して共感が生起し、ポジティブな感情を持たせるような効果があったと考える。

一方, 本章で検証した受動的な生起方法では, 全員に身体所有感の錯覚を生起できるものではなかったことから, 別の方法として能動的な生起方法を次章以降で検討し, 身体所有感を錯覚させることができるのかについて検証を行う.

第5章

能動的な身体所有感の生起方法について

5.1 はじめに

本章では、第 2 章で検討した観葉植物に対し、身体所有感を錯覚する方法のうち、能動的な生起方法について検討する。本研究では第 4 章と同様に、観葉植物として一般的に栽培されている植物を対象に、能動的な生起方法として被験者の身体動作に同期して観葉植物を動作させるシステムを実装し、身体所有感が生じたのかを検証する。またその方法による心理的影響を評価するために被験者実験を行い、本手法の有効性を考察する。

5.2 能動的な生起方法の実装について

5.2.1 システムの概要

本システムでは、人間の腕の動作を取得するために Kinect v2 を用いている。またサーボモータにより観葉植物の動作を制御するため Arduino を用い、Kinect v2 から取得した腕の動作に応じてサーボモータをシリアル通信により制御する(図 26)。サーボモータを作動させる角度は 90 度とし、作動させるタイミングについては 5.2.2 で述べる。

観葉植物を動作させる方法は佐脇らの方法 [90] を参考に、観葉植物の動作をより認識させやすくするために植木鉢に左右の腕の動作に対応して動作する 2 つのサーボモータを取り付け、それぞれのモータには 2 本の糸を接続している。本研究ではサーボモータは一般的に使用されているものを用い、制御できる角度は 270 度のものを使用した。このサーボモータを、秋月電子通称から販売されているサーボ&PWM 駆動キット(AE-PCA9685)を用いて制御している。また、サーボ 1 個につき 2 本の糸が接続されており、計 4 本の糸(サンライン クインスター ナイロン 1 号 標準直径 0.165mm)が接続されている。糸は 1 本ごとに別々の枝に括り付けている(図 27)。360 度カメラ (Insta 360) を植物の幹にあたる部分に設置し。カメラから取得した映像を Unity2020.3.5f1 で取得し、HTC Vive を用いてユーザに提示している(図 28)。

被験者側から見た観葉植物の視界は図 28 のようになっており、鏡に映る観葉植物を見ることで自身の身体が観葉植物になったかのように感じさせることを意図している。被験者に観葉植物側からの視界を提示している理由には、第 2 章で述べた身体所有感や運動主体感が相互に関係することを検証した研究から、被験者に与える刺激とその結果が一致していることや[12,13,43,44]、人間の行う動作と、その結果がリアルタイムで限りなく一致している必要があることを踏まえ[39,40,41]、観葉植物側の視界を提示し、自身の身体動作と同期しているか確認できるようにしている。視界の提示方法については、4.2.3 で示した方法と同様のものを使用している。

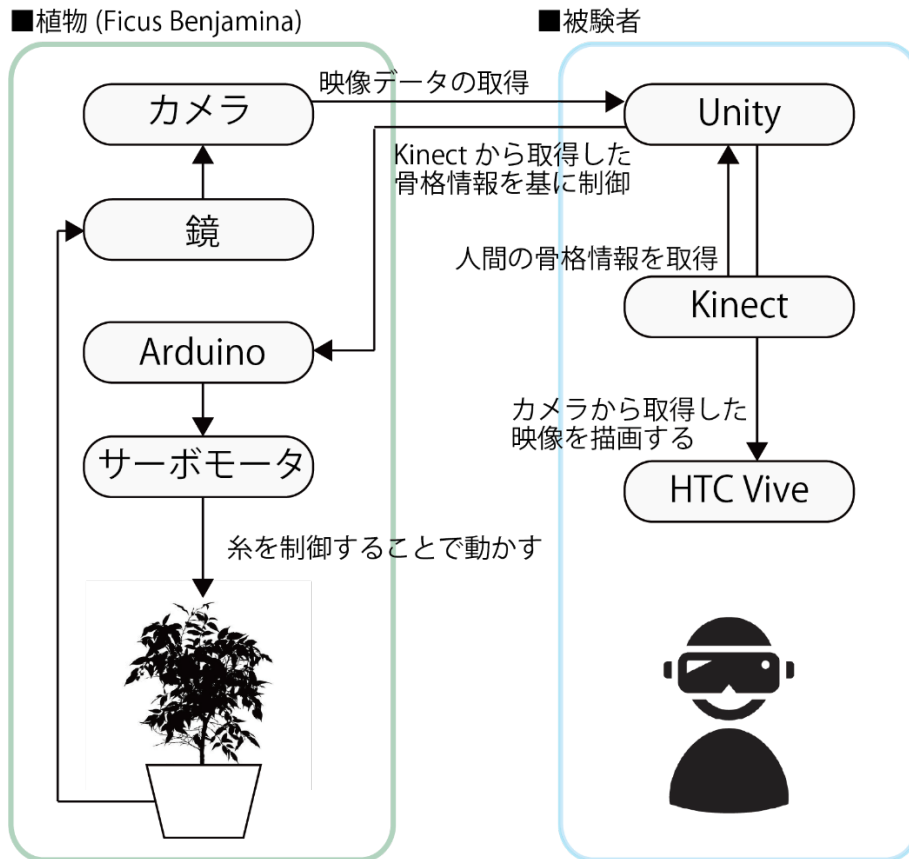


図 26 能動的な生起方法で実装するシステム

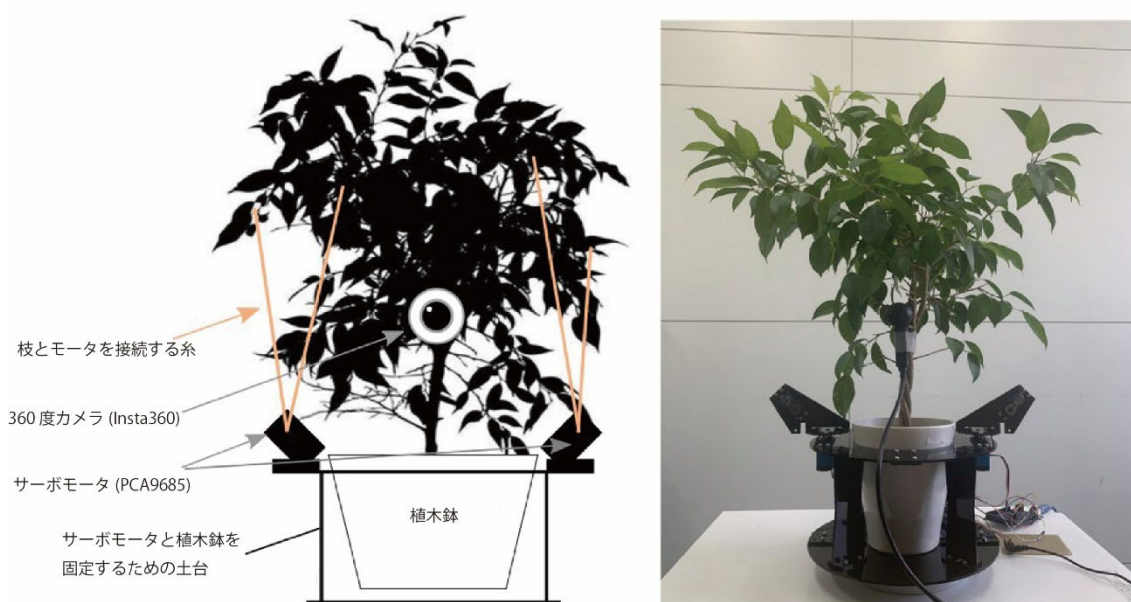


図 27 身体動作に同期して観葉植物を動作させる植木鉢型デバイス
(左図：デバイス全体の概要図，右図：左図に示す機器や糸を取り付けた状態(糸は細いため写真では見えないが枝とサーボモータを接続した状態である))



図 28 被験者が HMD を通して見える視界の様子

5.2.2 人間の動作を観葉植物へと反映させる方法について

人間の動作を観葉植物へと反映させるため、Kinect で取得した骨格情報から頭部と腰までのベクトルを求め、これを基準となるベクトルとする。次に右肩から右手までのベクトルを求め、これを右腕のベクトルとする。左腕も同様である。これらの各ベクトルを奥行方向に作成した平面に各ベクトルを射影し、2 次元的に角度を求めた。実装に際しては Unity ライブラリに含まれる ProjectOnPlane メソッドを利用した (図 29)。

求めた各腕と基準となるベクトルとの角度から、右腕の角度が第 2 象限内であれば右腕が挙げられたと判断した。また第 3 象限の範囲であれば右腕が下げられたとし、植物の左側に設置されたサーボモータを動作させる (図 30)。左側のサーボモータを動作させたのは、ユーザは鏡に映る植物を視認するためユーザから見た右と左が反転しているためである。左腕も同様の処理を行っている。

被験者に行わせたタスクの詳細は後述するが、被験者には腕を上下に連続で動作させることを求めた。今回実装した方法では、左腕もしくは右腕の角度が第 1 象限または第 2 象限内にあると判定されない限り動作しない状態となっている。また、サーボモータが駆動する角度は 90 度であり、サーボモータが駆動することで動く枝の葉の動きも小さいためモータの駆動や動作方法が無段階的に動作していなくとも、自身の身体運動に同期して植物が動作したと認識させることが可能であると考え、この方法を採用した。

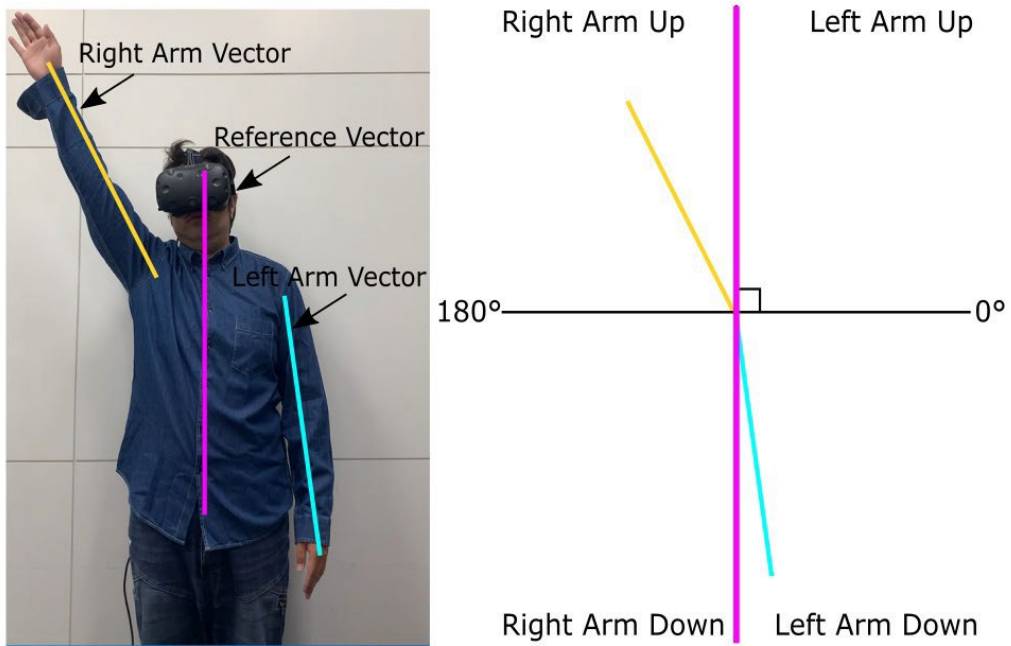


図 29 各腕のベクトルと基準のベクトルとのなす角の算出

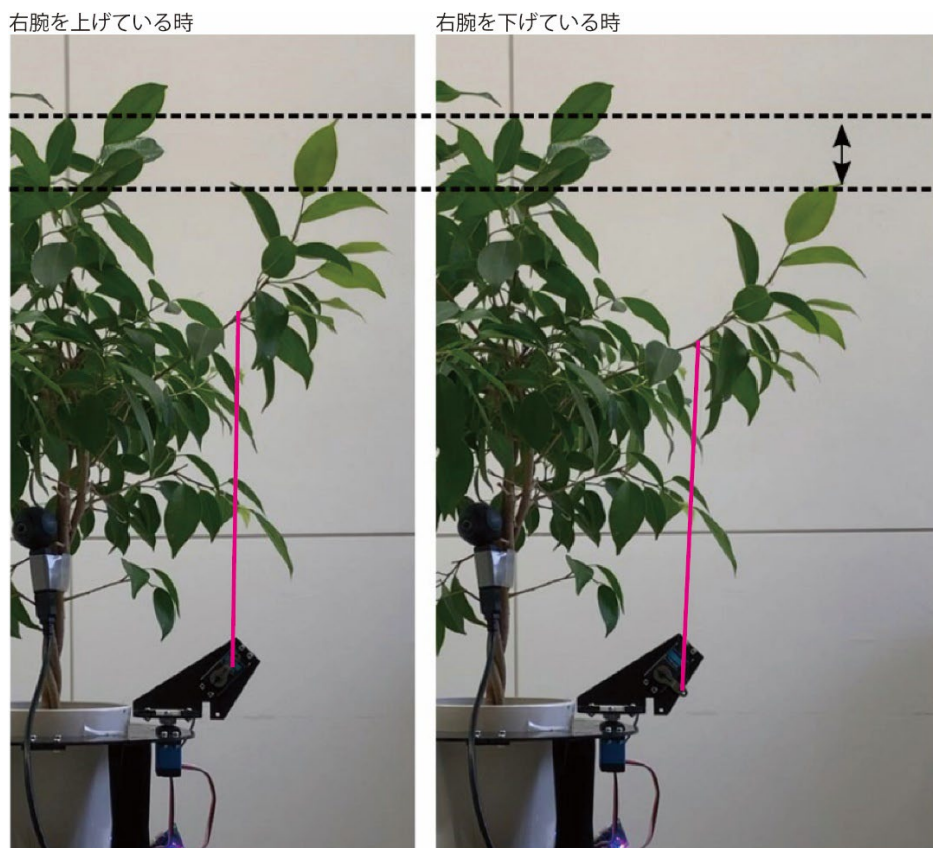


図 30 被験者の右腕が動作したときの観葉植物の動作
(ピンクの線:サーボモータに繋がれた糸を表している)

5.3 能動的な生起方法により身体所有感の錯覚が生起したかを検証する実験について

5.3.1 実験概要

実装したシステムを用い、観葉植物に対して身体所有感の錯覚が生起するか、また本方法の有効性を評価するために、好ましさに影響を及ぼすのかについて検証する。本研究で検証する仮説は次の 2 つである。仮説①人間の動きに同期して観葉植物が動作すると、観葉植物に対して身体所有感の錯覚が生起する。仮説②身体所有感が生起すると、観葉植物に対する好ましさを向上させる。

仮説①は、第 4 章と同様に、Armel らが主張する与えられる刺激と、体性感覚が時空間的に一致していれば、身体所有感の錯覚が生起すると主張している[29,35]。これを踏まえ、人間の身体動作に同期して観葉植物を動作させる本方法によって、観葉植物に対し、身体所有感の錯覚が生起可能であることを確認する。また仮説②についても第 4 章と同様に、身体所有感の錯覚によって、錯覚が生起する対象への印象評価や行動に影響を及ぼすことが確認されている[16,57,59]。一方、第 4 章では共感反応の変化を計測するためにはある程度の介入期間が必要であることが示唆されたことを踏まえ、本方法のようなごく短い提示時間においても効果があることを確認するために、好ましさと心理的重なり尺度といった評価項目から、人間の心理に影響を及ぼしたかどうかを確認する。

5.3.2 好ましさについて

本章では、身体所有感の錯覚が生起したことによる心理的影響を評価するために、植物に対する好ましさに影響を及ぼしたかを検証する。好ましさについては様々な対象への印象を問うことに使われており、本研究では、好ましさのある対象を感覚的に好きであることと定義する。

好ましさと身体所有感が関係していることは複数の研究から確認されている。Ventre-Dominey はロボットに対して身体所有感を生起させた結果、ロボットへの好ましさが向上することを報告している[15,91]。また老人を模したアバターを使用させると老人に対する偏見が低減することや[17]、自身とは肌の色の違うラバーハンドに身体所有感が生起すると、その肌の色をした人種に対する偏見が低減されるといったことが報告されている[57]。このような報告から、人間は自身の身体以外の物体に身体所有感を錯覚することで、その物体に対して好ましさが向上することが考えられる。このことから、本研究は身体所有感の錯覚により変化する心理状態を評価するために、観葉植物に対する好ましさに変化があったのか

について検証する。

5.3.3 実験条件

実験条件は、被験者が動いても観葉植物は動かない条件（No Movement: NM）、被験者の動作に同期して観葉植物も動作する条件（Synchronous Movement: SM）、被験者の動作に関係なく観葉植物はランダムに動作する条件（Random Movement: RM）の 3 つを設定し、被験者内計画によって実施した。RM 条件では、1 秒から 3 秒の感覚で右側もしくは左側のサーボモータをランダムで動作させている。

被験者に行わせたタスクとして、腕を上下に動かすことを行わせた。最初に利き腕から 5 回連続で上下させる。次に反対の腕、両腕で同様の動作をさせ、1 セットとした(図 31)。1 条件につき 1 セット行うため、被験者は合計 3 セット行う。本実験は同意が得られた者のみを被験者とし、実験参加に同意が得られなかった者はいなかった。被験者は男性 4 名(20 歳代 4 名)、女性 8 名(20 歳代 4 名、30 歳代 2 名、50 歳代 2 名)の合計 12 名で、身体動作に問題が無い健常者である。現在植物を栽培しているかについての事前質問では、4 名が栽培していると回答していた。実施期間は 2022 年 6 月～8 月の間で札幌市立大学芸術の森キャンパスで実施した。

被験者に現在植物を栽培しているかどうかの質問を行った理由として、単純接触効果[89]が示すように、植物と日常的に繰り返し接触していることで、身体所有感の錯覚や親近感の生起に影響を及ぼす可能性があったためである。

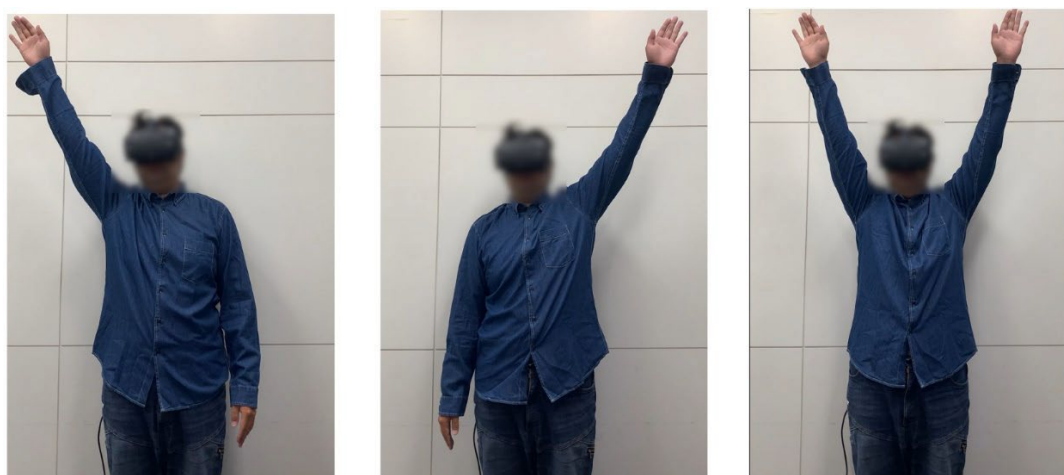


図 31 被験者に教示した腕の動作方法

5.3.4 実験手続き

実験を行う前に、被験者の身体動作を必要とするため、図 31 に示すような身体動作に問題が無いこと、視界が正常であること、HMD 装着に問題が無いことを確認し、実験に同意が得られた者のみを実験対象者とした。実験に参加した被験者のうち、同意が得られなかった被験者は 0 名だった。今回用いた方法では、カメラの設置位置の関係上、観葉植物の枝や葉が映り込む状態となっている。そのため枝や葉の動きは HMD 内のディスプレイに表示されている鏡から見ることもできる他、周辺視によってディスプレイの端に映りこんでいる枝や葉の動きから観葉植物が動いていることを確認することができる。一方、被験者と観葉植物の間にはパーティションで隔たれているため、被験者自身の視覚から観葉植物を視認することはできない(図 32)。

実験は、NM, SM, RM の 3 つの条件についてカウンターバランスを行った上で実施した。はじめに実験実施者が被験者を案内し、指定位置に立つように指示する(図 32)。その後、植物になったかのような疑似体験をしてもらうため、被験者に身体を動かしてもらう実験であることを説明する。この時、被験者には現在植物を栽培しているかどうかの事前質問を行う。

被験者が可能な行為として、机の前に立った状態から、首を動かし、周りを見たりすることは可能であると伝えた。一方、制限されている行為として、実験者が指示した立ち位置から歩いたり、座ったり、しゃがんだりしたりすることはできないことを指示した。被験者はこのような指示を守り、制限されている行為を行った者はいなかった。被験者には装置を装着し、指定された位置に立ったのち、実験を開始してよいかを確認した。確認が取れた後、被験者から事前に利き腕を確認し、利き腕を 5 回上下に動作させるように指示した。次に反対の腕を上下に動かすことを指示した。最後に両腕で同様の動作をするように指示をした。各腕で上下動作を行う際には被験者が回数をカウントし被験者に声で伝えた。これは被験者が行う腕の動作が 5 回より多いもしくは少なくならないようにするためである。その後、HMD を外すように指示し、アンケートに答えさせた。その間に実験者は次の条件の準備を行い、被験者がアンケートに回答したことを確認し、次の実験条件の試行を行った。これを 3 つの条件で繰り返した。すべての実験が終了後、自由記述ができることを伝え、被験者には実験で感じたことや思ったことがあれば書くようにと指示した。

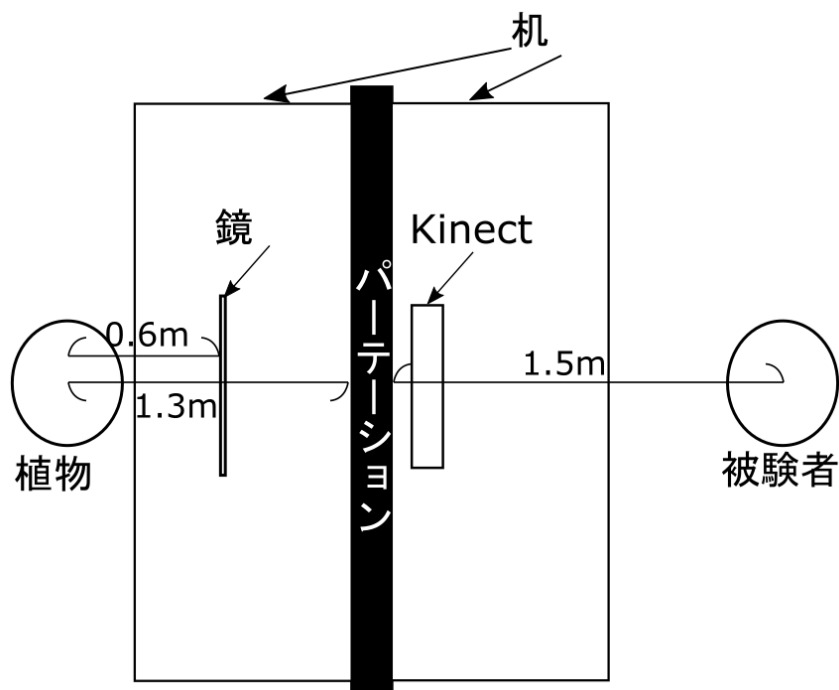


図 32 5.3 で構築した実験環境の上面図

5.3.5 評価方法

5.3.5.1 身体所有感・運動主体感を評価する尺度

本方法によって、観葉植物に対して身体所有感の錯覚が生じたかを評価するために、Kalckert らが作成したアンケートを参考に [12]，設問内容を一部変更したものを用いる。このアンケートでは、身体所有感と運動主体感の設問がそれぞれ 4 つ設定されている。この設問について、主語が植物となるように変更した。また第 4 章で用いた IOS も本検証で使用した。

Kalckert らが作成した身体所有感の設問のうち、不適切である可能性 [92] が指摘されている設問を除いた。そのため身体所有感に関する設問が 3 つ、運動主体感に関する設問が 4 つとなり、被験者には合計 7 つの設問に回答させた(表 3)。設問のうち、設問 1 から設問 3 が身体所有感を評価する設問であり、設問 4 から設問 7 が運動主体感を評価する設問となっている。回答方法は 7 件法とし、全く当てはまらない場合は-3、とてもよく当てはまる場合は 3 の範囲で 1 つ選択させた。

表 3 身体所有感並びに運動主体感に関する設問

設問 1: 私の身体を見ているように感じた
設問 2: 見えている葉や枝が, 私の身体の一部になったかのように感じた
設問 3: 見えている枝や葉を私の身体であるかのように感じた
設問 4: 私の意志に従っているかのように, 見えている植物が思い通り動いていた
設問 5: 私が, 見えている植物の動きを操作しているように感じた
設問 6: 私が, 見えている植物の動きを引き起こしているように感じた
設問 7: 私が腕を動かしたとき, 見えている植物も動くと思っていた

5.3.5.2 好ましさを評価する尺度

本方法の有効性を検証するために, Bartneck らが作成したゴッドスピード尺度から, 好ましさに関する設問を使用する[93]. ゴッドスピード尺度は元々ロボットとのインタラクションした結果を評価するために作成されたものであり, インタラクションするロボットに, 人間との類似性, アニマシー知覚, 好ましさ, 知性, 安全性といった各性質を評価することができる尺度となっている. この尺度はロボットの振る舞いが印象評価に与える影響の検証に利用されることが多い[94,95]. 本検証では身体所有感を錯覚し, 自身の身体のように観葉植物が動作した場合, 観葉植物に対する印象に影響を与えるか検証する上で有効であると考えた. ゴッドスピード尺度のうち, 好ましさに関する設問は 5 つあり, 5 件法により回答させた(図 33).

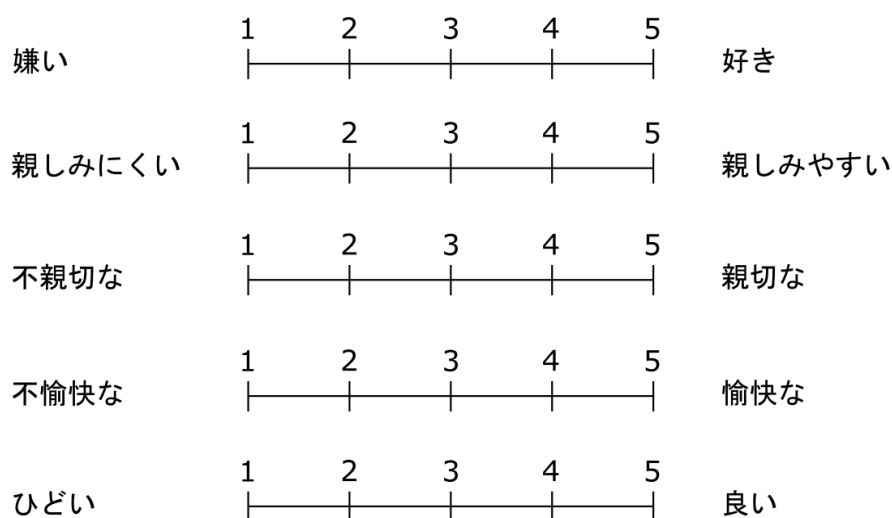


図 33 好ましさに関する設問

5.4 実験結果

5.4.1 身体所有感並びに運動主体感に関するアンケート結果

実験により得られた身体所有感と運動主体感の結果を図 34,35,36 並びに表 4 に示す。身体所有感は該当する設問の平均を取り、得点としている。運動主体感も同様の処理を行っている。なお設問の内容は、原文 [12] を著者が日本語に訳し、文意が変化しないように植物が評価対象となるように文章を変更している。そのため被験者には理解しづらい表現が含まれている可能性はあるが、実験を通して本設問に関して疑問や質問は確認されなかった。また SM 条件といった人間の身体動作に同期して植物を動かす際に、腕を上下動作させているのに植物が動かないといったエラーは生じなかったため、本検証で用いた身体動作に同期して観葉植物を動かす方法は実装した通りに動作していたと考える。

分析のため被験者全員のデータを全体、事前質問の現在植物を栽培しているかについて、はいと答えた者のみのデータは植物を栽培している群、いいえと答えた者のみのデータは植物を栽培していない群として表記している。分析は Mauchly の球面性検定で等分散性を確認した上で対応あり 2 元配置分散分析を行った。

身体所有感の場合では、栽培習慣(植物を栽培している群/していない群)と実験条件(NM/SM/RM)で交互作用は有意ではなかった($F(2,20)=0.23, n.s.$)。実験条件は主効果が認められた($F(2,20)=24.5, p<.01$)。実験条件について対応あり 1 元配置分散分析と Holm 法による多重比較を行った結果、植物を栽培している群では NM 条件と SM 条件間において有意差が見られた(*: $p<.05$)。植物栽培していない群では全ての条件間で有意差が見られた(*: $p<.05, **:p<.01$)。

運動主体感も同様に、栽培習慣と実験条件で交互作用は有意ではなかった($F(2,20)=0.40, n.s.$)。実験条件は主効果が認められた($F(2,20)=53.5, p<.01$)。実験条件について 1 元配置分散分析と Holm 法による多重比較を行った結果、運動主体感は植物を栽培している群のすべての条件間で有意差が見られた(*: $p<.05, **:p<.01$)。植物栽培していない群も同様である。身体所有感並びに運動主体感の平均値は、植物を栽培している群または植物栽培していない群のどちらも SM 条件が最も高く、NM 条件が最も低い結果となっている。

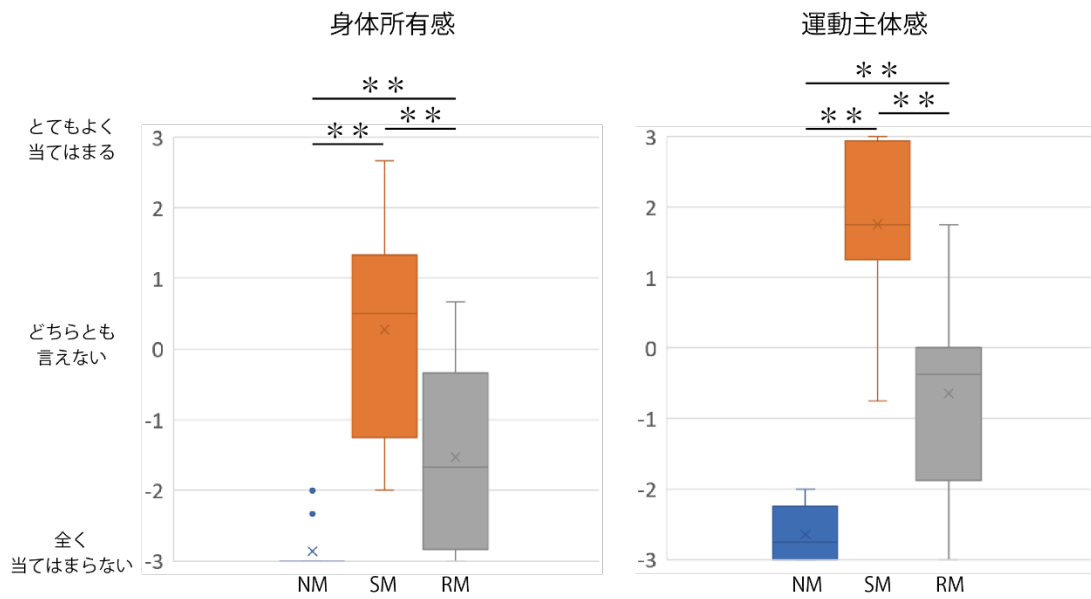


図 34 身体所有感・運動主体感の回答結果(被験者全体)

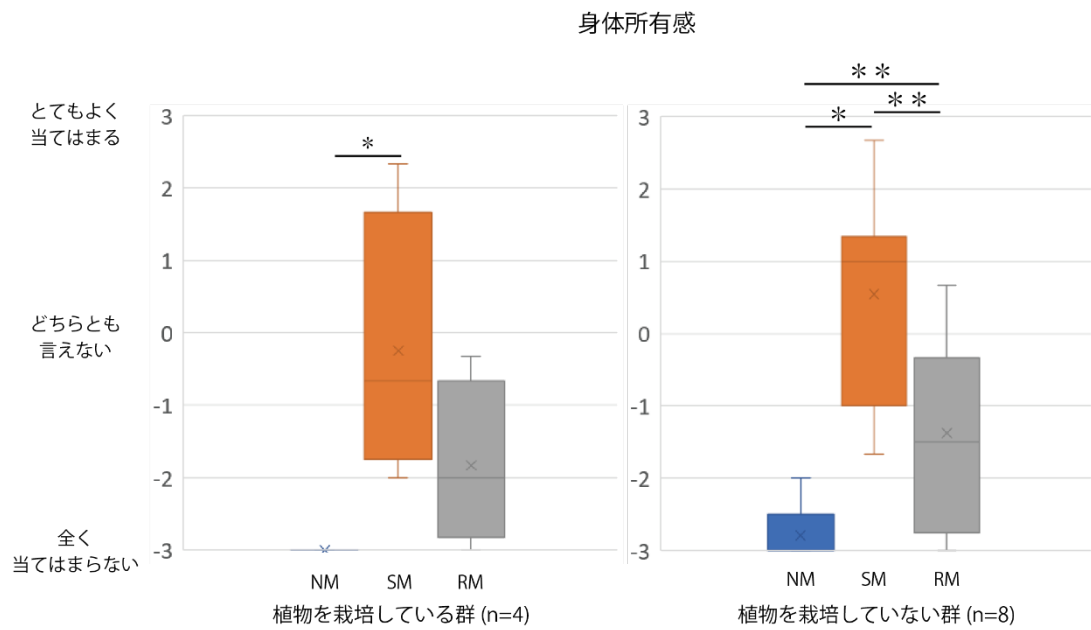


図 35 栽培している群またはしていない群の身体所有感に関する設問の回答結果

運動主体感

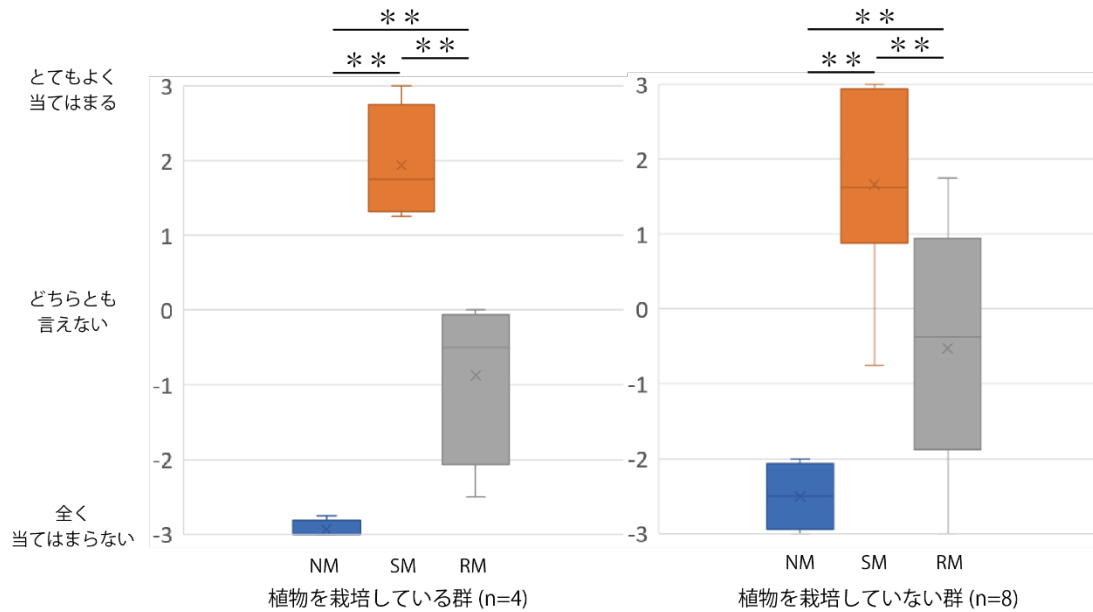


図 36 栽培している群またはしていない群の運動主体感に関するアンケートの回答結果

5.4.2 心理的重なり尺度(IOS)に関するアンケート結果

実験により得られた IOS の結果を図 37,38 に示す. IOS の結果も同様に, 栽培習慣と実験条件で交互作用は有意ではなかった($F(2,20) = 0.17, n.s.$). 実験条件は主効果が認められた($F(2,20) = 15.7, p < .01$). 実験条件について対応あり 1 元配置分散分析と Holm 法による多重比較を行った結果, 植物を栽培している群では NM 条件と SM 条件間で有意差が見られた. 植物を栽培していない群では NM 条件と SM 条件間, SM 条件と RM 条件間で有意差が見られた(*: $p < .05, **:p < .01$). また NM 条件と RM 条件間で有意傾向が見られた($\dagger:p < .10$).

IOS(心理的重なり尺度)

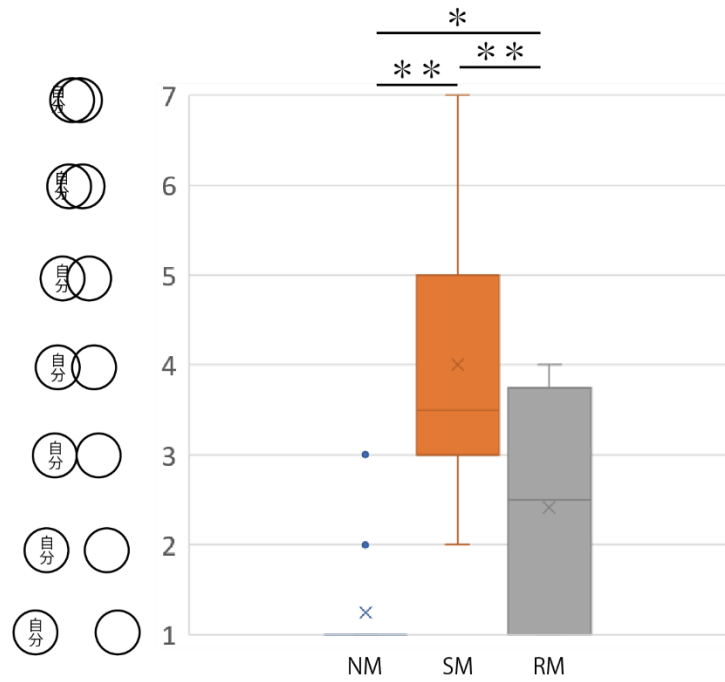


図 37 心理的重なり尺度(IOS)(被験者全体)

IOS(心理的重なり尺度)

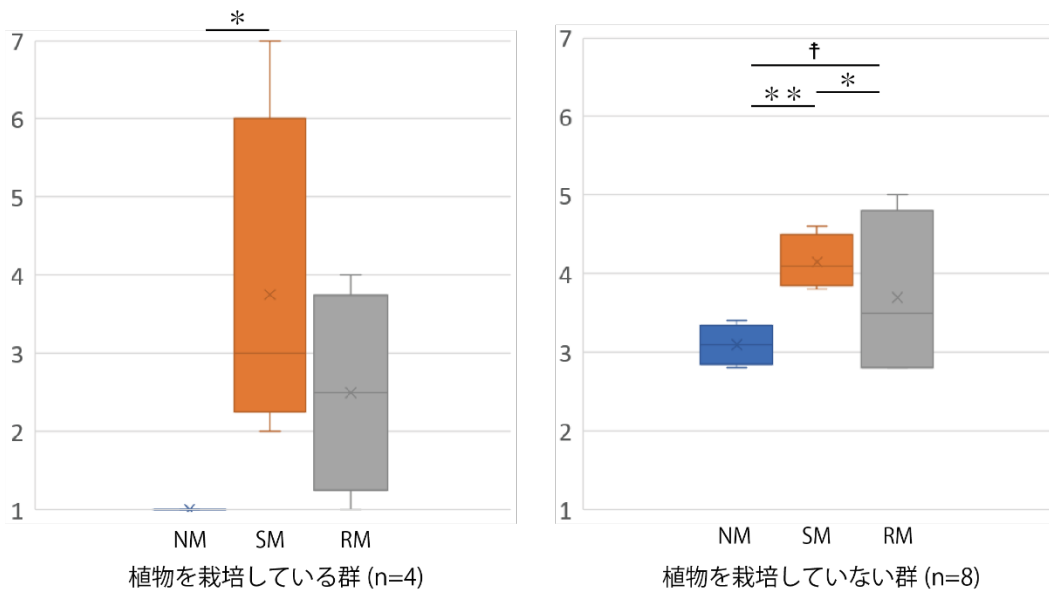


図 38 栽培している群またはしていない群の心理的重なり尺度に関するアンケートの回答結果

5.4.3 好ましさに関するアンケート結果

実験により得られた好ましさの結果を図 39, 40 に示す. 好ましさの結果では Mauchly の球面性検定が有意であるため, Greenhouse-Geisser 補正を用いた. その結果, 栽培習慣と実験条件で交互作用は有意ではなかった($F(1.31, 13.2)=0.07, n.s$). 実験条件は主効果が認められた($F(2,20)=6.40, p<.01$). 実験条件について対応あり 1 元配置分散分析と Holm 法による多重比較を行った結果, 植物栽培していない群の NM 条件と SM 条件間に有意差が見られた($*:p<.05$). IOS 並びに好ましさの平均値は, 植物栽培している群またはしていない群のどちらも SM 条件が最も高く, NM 条件が最も低い結果となっている.

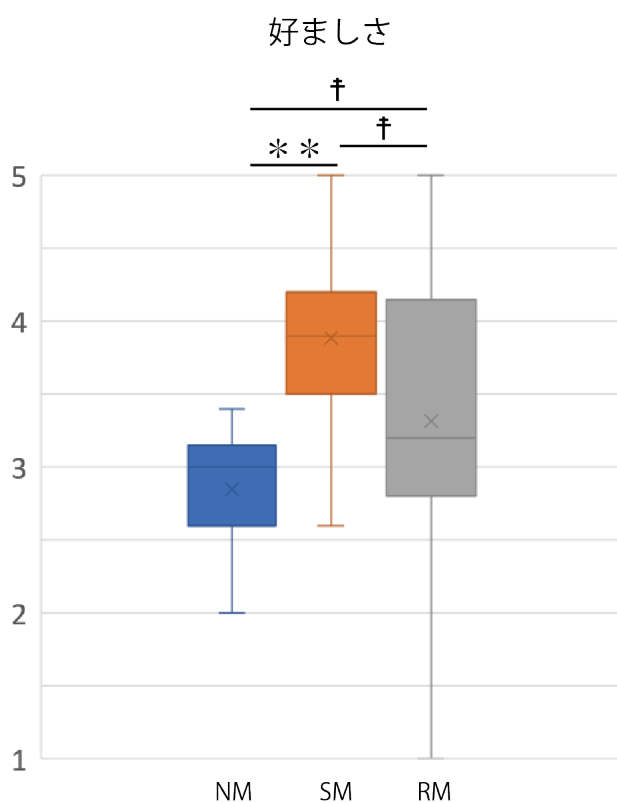


図 39 好ましさの回答結果(被験者全体)

好ましさ

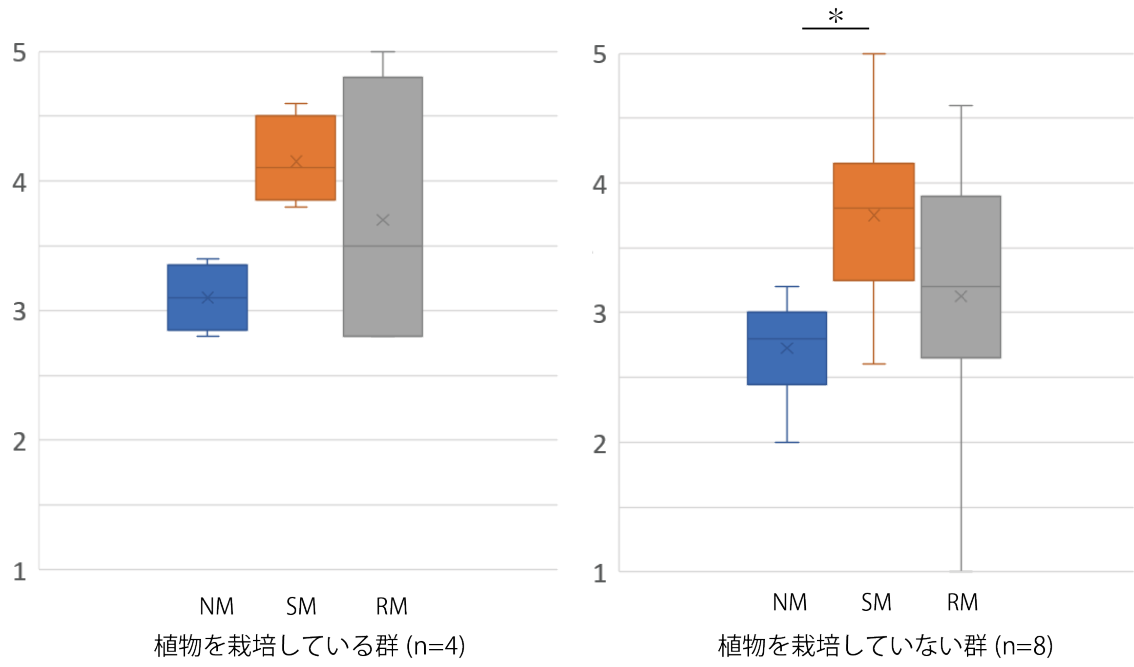


図 40 栽培している群またはしていない群の好ましさに関するアンケートの回答結果

表 4 各アンケートの回答結果

		全体(n=12)		植物を栽培している群 (n=4)		植物を栽培していない 群(n=8)	
身体所有感	NM	-2.86	(0.10)	-3	(0)	-2.79	(0.13)
	SM	0.27	(0.45)	-0.25	(0.92)	0.54	(0.52)
	RM	-1.52	(0.35)	-1.83	(0.57)	-1.38	(0.46)
運動主体感	NM	-2.65	(0.12)	-2.94	(0.06)	-2.5	(0.15)
	SM	1.75	(0.32)	1.94	(0.39)	1.66	(0.46)
	RM	-0.65	(0.41)	-0.88	(0.56)	-0.53	(0.57)
IOS	NM	1.25	(0.18)	1	(0)	1.38	(0.26)
	SM	4	(0.49)	3.75	(1.11)	4.13	(0.55)
	RM	2.42	(0.36)	2.5	(0.65)	2.38	(0.46)
好ましさ	NM	2.85	(0.11)	3.1	(0.13)	2.73	(0.14)
	SM	3.88	(0.18)	4.15	(0.17)	3.75	(0.25)
	RM	3.32	(0.31)	3.7	(0.54)	3.13	(0.38)

表 5 実験で得られた全てのコメント

- C1: 鏡を認識するまでに時間がかかった
- C2: ・植物が取り付けられているカメラが自分の目, 頭になり換わったような感覚が得られた. (視野の端で見える葉が動くといった視覚情報によって)・ランダムで動いている段階でも, ある程度自分が操作していると錯覚を起こした. 自身の動きと植物の動きとの間に若干のラグがあったので, その点で多少「自分が動かしている」という感覚が薄らいだかもしれない・鏡ごしではなく, (視界の端で)直接植物が動いているのを視認することで「動かしている」という感覚を得た
- C3: ・本当に自分の身体が植物になった感じがするから面白い. ・動作がもっと自由, リズムよく動けるほうがよい, ・駆動音が聞こえるからちょっと不自然な感じがする
- C4: 一緒に動くと植物に対して近くなった気がする. 一体化しているような感覚がある
- C5: 最初の実験の植物が自由に動くのがコミュニケーションを取れているように感じてかわいいと思いました. 2 回目の実験は植物が動かなかったのでちょっとさみしく感じました.
- C6: 自分が腕を上げるタイミングより, 1 テンポ遅れて植物が動くので, 自分が植物になったというより植物を操作している感じがした
- C7: 自分と植物が完全にリンクして動くより, 自分が動いたことで植物がリアクションを取ったように感じるほうがより好感が持てた.
- C8: 植物の動きが自分の動きと完全にリンクしているわけではない(少し遅れている)ように感じてしまったので, 自分の身体の一部のように思えたかという点, そうではなかったかもしれないです. でも植物が「私の動きをまねしている」ように感じる事ができたので, 植物に対して親しみやかかわいらしさを感じました. もし他にもいろいろな動きをすることができたら, 植物と自分の一体感が高まったかも? と思います.
- C9: 植物=私という感じ方をしたことがないため, 同一視ができなかった. 植物の動きのイメージは, 風によるものの印象が強いと感じた.
- C10: 一緒に動くと親しみを感じ, バラバラに動くと不快でした. おもしろかったです.
- C11: 3 番目の植物をいとおしく感じました. かわいいと思いきわず実験中に笑顔になりました. 2 番目には冷たい感じ, 反応してくれなくてがっかり気分でした
- C12: 動きますと言われて始めると, なんとなくわくわくした期待の気持ちがわきました. 3 回目は動かないことが分かっている, 自分だけ手を挙げていることにややむなしさを感じました

5.5 能動的な生起方法による身体所有感の錯覚についての考察

5.5.1 仮説①人間の動きに同期して植物が動作すると、観葉植物に対して身体所有感の錯覚が生起する

5.4.1 の身体所有感・運動主体感の結果から、回答の数値が高い順では SM(人間の身体動作に同期して観葉植物が動作する), RM(人間の身体動作に関係なく、ランダムに観葉植物は動作する), NM(人間が身体動作を行っても、観葉植物は動作しない)条件であった。このことから身体と同期して観葉植物が動作したことで、身体所有感を向上させる効果があることを確認した。

本研究で使用した身体所有感・運動主体感を評価するアンケートは、7件法のリッカート尺度であり、選択肢の中央(評価得点は0)はどちらともいえないという選択肢である。また、4.5.1で述べたように、IOSの数値が4以上であることに加え、身体所有感の得点が、0より大きい場合には身体所有感の錯覚が生起していたと判断する。

これを踏まえ、観葉植物に対し、身体所有感の錯覚が生起したかについては、表4の全体から見ると身体所有感が最も生起していたSM条件の平均値は0.27となっていることから、被験者全体で判断すると、身体所有感の錯覚が生起していたと言える。またIOSの結果からも平均値は4となっており、これは図22のIOSの選択肢(4)であり、本方法によって身体所有感を錯覚し、自分と観葉植物が重なり合っているように感じていたことを意味するものである。

また、植物の栽培の有無による交互作用は有意な差は見られなかったが、植物を栽培していない群では、身体所有感の平均値は0以上となっていることから、本方法を体験することで植物に対して身体所有感を錯覚していると考えられる。一方、栽培している群ではSM条件の身体所有感の平均値が0以下となっており、前述した0より大きい場合に身体所有感が生起するという観点で言えば、身体所有感は生起していないと判断できる。この原因として植物を栽培していない被験者から得られたコメント(表5のC5, C6, C8, C12)から考察する。

コメントC5の被験者は、最初にRM条件を行い、次にNM条件を行った者であった。RM条件においてランダムに動作する観葉植物とコミュニケーションを取れているように感じたという点は、運動主体感の検証を行った研究報告において、たまたま自身の動作と、実験側であらかじめ刺激を提示するタイミングが合致したことで、自身が引き起こした結果であると錯覚する報告と類似する。すなわちRM条件では観葉植物の動作はプログラムでランダムに決定され、動作する。それを自身の腕を上下させたことによって引き起こされ

たと錯覚したことが考えられる。逆に自身の動作に対応して動作しない条件では、さみしく感じると報告していたことから、運動主体感が喪失したことで感情にまで影響を及ぼしていたと考えられる。コメント C7, C12 も類似する印象を持ったことが考えられる。

コメント C6, C8 では、「自分が腕を上げるタイミングより、1 テンポ遅れて植物が動くので～(中略)～植物を操作している感じがした」、「植物の動きが～(中略)～(少し遅れている)ように感じてしまったので～(後略)」という報告がされた。このように感じた原因には、本方法の右腕を上下に動作させる場合、Kinect から取得した右腕の角度が第 2 象限内であれば右腕が挙げられたと判断した。また第 3 象限の範囲であれば右腕が下げられたとし、サーボモータを 90 度変化させるシステムにあると考える。例えば被験者が右腕を下した状態から上げる状態へと動作を開始しても、その腕の角度が第 3 象限内にあれば腕は下げられていると判断し、サーボモータは駆動しない。サーボモータが動作するタイミングは被験者の腕が第 3 象限内に入ったタイミングであり、それまでの間、観葉植物は動作しないことから、自身の操作より 1 テンポ遅れて観葉植物が動作したように感じられたのではないかと考える。コメント C2, C3 も同様に、観葉植物と自身の運動とのタイムラグを感じ、それが身体所有感や運動主体感の生起に影響を与えていたことが考えられる。

身体所有感の生起を妨げた要因にはコメント C3 にある「駆動音が聞こえるからちょっと不自然な感じがする」のように、本検証では被験者と観葉植物は同じ室内で行い、被験者の前にパーテーションを設けた上で実験を行った。そのため観葉植物をサーボモータにより動作させるとモータの駆動音が生じたことを確認できる状態であった。このような音は植物から発せられることはないため、不自然に感じてしまったことが考えられる。

以上の内容を踏まえると、被験者全体の結果や群別に分けて検討した結果、植物を栽培していない群では、身体所有感の錯覚は生起したことが考えられる一方、植物を栽培している被験者の群では身体所有感の生起はしていないと考えられ、身体所有感を錯覚する場合としない場合の 2 つが存在していることを確認した。このことから仮説①人間の動きに同期して植物が動作すると、観葉植物に対して身体所有感の錯覚が生起することを確認したが、身体所有感の錯覚が生起しない場合もあるという結果である。

5.5.1 仮説②身体所有感が生起すると、観葉植物に対する好ましさを向上させる

5.4.3 の実験結果から、好ましさと実験条件で交互作用は見られなかった。このことから好ましさについても栽培習慣の有無に関わらず、身体動作に同期して観葉植物が動作することが有効であったと考えられる。植物を栽培していない者では NM 条件と SM 条件で有意差が見られ、栽培している者では有意差が見られなかった。この原因に単純接触効果

[89]が関係しているとした場合、日常的に植物と接している者は既に観葉植物の好ましさが高く、今回用いた実験手法では明確な効果が確認できなかったと考える。

平均値から見ると、栽培習慣の有無に関わらず、どちらの群においても SM 条件が最も高い。これは SM 条件が身体所有感の平均値が最も高いことと一致している。また身体所有感が低下する NM 条件では好ましさも同様に低下していることから、先行研究 [15,57] と同様に身体所有感が生起対象への評価に影響を及ぼしていること可能性が考えられる。NM 条件と RM 条件及び SM 条件と RM 条件が有意傾向となった要因として、自由記述に観葉植物が動くのがかわいいと感じた、観葉植物が勝手に動くのが面白いといったコメントが確認された。先行研究 [90] では植物が感情を表出しているような動作をさせることが出来る可能性が示唆されており、ランダムで動作させる RM 条件では、観葉植物が感情や意志を持っているかのように感じられた可能性がある。

これらの点を踏まえ、今回の実験では身体所有感が高くなる又は低くなる場合に好ましさも同様の変化をしていることから仮説②を支持する結果となり、身体所有感は観葉植物に対する印象評価に影響することが考えられる。

5.6 まとめ

本章では、第 2 章で検討した身体所有感を錯覚させる方法のうち、能動的な生起方法について検討した。能動的な生起方法により観葉植物に対し、身体所有感を錯覚するかを検証するために、植物の枝に糸を括り付け、人間の身体動作に同期してサーボモータを駆動させることで観葉植物を動作させる機構を実装した。また Kinect カメラを用いて人間の骨格情報を取得し、腕の角度に応じてサーボモータを駆動させるシステムを実装した。このようなシステムを用いて観葉植物に対し、身体所有感が生起するか実験を行った。

実験は、人間の身体動作に同期して観葉植物も動作する条件、人間の身体動作に関わらず、ランダムに観葉植物が動作する条件、人間が身体動作をしても観葉植物は全く動作しない条件について行った。本検証で設定した仮説は、仮説①人間の動きに同期して観葉植物が動作すると、観葉植物に対して身体所有感の錯覚が生起する、仮説②身体所有感が生起すると、観葉植物に対する好ましさを向上させるとした。これにより本方法によって身体所有感の錯覚が生起されるのか、また身体所有感が生起されたことが好ましさに与える影響を確認することで、本方法の有効性を評価することとした。

実験結果は、人間の身体動作に同期して観葉植物が動作する条件において、身体所有感や

心理的重なり尺度の評価点が最も高く、身体所有感の評価点が 0 以上の回答を得たことから、本方法を用いることで観葉植物に対して身体所有感の錯覚を生起することができていると考えられる。このことから仮説①人間の動きに同期して観葉植物が動作すると、観葉植物に対して身体所有感の錯覚が生起することを確認した。

一方、全員が身体所有感を錯覚していたとは言えず、植物を栽培しているかどうかで群別比較をした結果、植物を栽培していない群では身体所有感の評価点が 0 以下であった。またコメントから観葉植物の動く動作に違和感を感じていることや、自身の身体動作とは完全に一致しておらず、タイムラグを感じたといったコメントから、本方法の機構的問題から身体所有感や運動主体感の生起を妨げることになったことが考えられ、改善の余地があると考えられる。

また、本方法の有効性を評価するために仮説②身体所有感が生起すると、観葉植物に対する好ましさを向上させることについては、身体動作に同期して観葉植物を動作させることで、観葉植物との好ましさを向上させたことを確認した。このことから本方法は観葉植物に対する好ましさを向上させる方法として有用であると考えられる。

第6章

2 つの生起方法における身体所有 感の比較について

6.1 はじめに

本章では、第 2 章で、能動的な生起方法の方が身体所有感を強く生起するという研究や [12,45,46], 2 つの方法によって生起される身体所有感に違いはない研究 [13,43,47], 受動的な生起方法のほうが身体所有感を強く生起する研究 [48] があることを示した。これらの報告を踏まえ、本研究において、第 4 章、第 5 章で検討した能動的な生起方法と受動的な生起方法の 2 つの手法のうち、観葉植物に対して身体所有感が生起する方法として有効性が高いのはどちらなのかについて比較検証する。

6.2 受動的な生起方法と能動的な生起方法の比較検証

本研究で実装した受動的な生起方法と、能動的な生起方法の比較検証を行う際には、それぞれの方法でもっとも身体所有感の錯覚を生起された条件を使用する。受動的な生起方法の場合には、被験者に観葉植物が受けている視覚・聴覚・触覚刺激をフィードバックする VATF 条件であり、能動的な生起方法の場合には、被験者の身体動作と同期して観葉植物も動作する SM 条件である。この 2 条件と、実験前後での効果を確認するために、被験者には事前調査として実験で用いる観葉植物の好ましさや心理的重なり尺度に回答させた。そのため検証では事前調査の結果と、VATF 条件もしくは SM 条件の結果を比較し、どちらの方法がより観葉植物の好ましさの向上に効果があったのかという観点から検証する。

6.2.1 実験概要

本実験では各方法の実装で使用した装置やシステムを用い、観葉植物を対象とし、身体所有感の錯覚を生起させるのはどちらの方法なのかを明らかにする。また手法の有効性を検証するために、植物への好ましさに影響を及ぼしたのかを検証する。本章で検証する仮説は次の 2 つである。仮説①能動的な生起方法の方が身体所有感の錯覚が強く生起する。仮説②能動的な生起方法の方が、観葉植物に対する好ましさに影響を及ぼす。

仮説①、②をこのように設定した理由は、第 3 章の受動的な生起方法と第 4 章の能動的な生起方法に関する検証結果を個別に見た時に、心理的重なり尺度の結果から観葉植物との心理的な距離が接近していたのは能動的な生起方法であったためである。このことを踏まえ、能動的な生起方法の方が身体所有感を強く生起するという研究報告 [12,45,46] が正しいのかについて検証する。

6.2.2 実験条件

本検証で用いた実験条件は、受動的な生起方法から VATF 条件、能動的な生起方法からは SM 条件の 2 条件を用いた。実験は被験者内計画によって実施した。被験者に行わせたタスクは、VATF 条件の場合は被験者には特に課さず、SM 条件の場合には 4.3.2 と同様に、腕を上下に動かすことを行ってもらった。被験者は 11 名(男性 2 名, 女性 9 名, 平均年齢 20.9 歳)を対象に実施した。実施期間は 2023 年 6 月～7 月で、富山大学高岡キャンパスにて実施した。

6.2.3 実験手続き

実験では 2 つの条件(VATF, SM)についてカウンターバランスを行った上で実験を実施した。はじめに実験実施者が被験者を部屋に案内し、椅子に座るように指示した。その後、被験者の前に観葉植物を置き、この観葉植物を見ながら心理的重なり尺度、好ましさの設問に答えさせた。その後は条件ごとによって以下のような指示を与えた上で実験を実施した。各実験条件では HMD や実装したシステムを装着することに同意が得られた者のみに装着し、視界が正常に見えること、装着に痛み等の違和感がないことを確認した上で実施した。

第 4 章で行った実験と同様に、VATF 条件を実施する被験者が可能な行為として、座った状態を維持し、首を動かし、周りを見たりすることは可能であると伝えた。一方、制限されている行為として、立ち上がったたり、歩いたりすることは出来ないとして指示した。被験者は可能であると伝えた行為から逸脱した行為を行った者は居なかった。被験者に用意ができたから「始めてください」と発言するように伝え、発言が確認されたのち、実験実施者が観葉植物へ水やりを行い、約 2 分間自由に体験してもらった。実験実施者から終了の合図が出された後は装着物を全て外し、アンケートの記入をしてもらう。

SM 条件を実施する被験者には第 5 章で行った実験と同様に、腕を上下に動かすよう指示した。最初に利き腕から 5 回連続で上下させる。次に反対の腕、両腕で同様の動作をさせ、1 セットとした(図 23)。被験者が可能な行為として、図 30 に示すように机の前に立った状態から、首を動かし、周りを見たりすることは可能であると伝えた。一方、制限されている行為として、実験者が指示した立ち位置から歩いたり、座ったり、しゃがんだりしたりすることはできないことを指示した。被験者はこのような指示を守り、制限されている行為を行った者はいなかった。

本実験は同意が得られた者のみを被験者とし、実験参加に同意が得られなかった者はいなかった。腕を上下動作させるセットが終わると被験者には HMD を取り外すように指示し、アンケートの記入させた。すべての実験が終了後、自由記述ができることを伝え、被験者に

実験で感じたことや思ったことがあれば書くようにと指示した。

6.2.4 評価方法

本検証では、身体所有感、心理的重なり尺度、好ましさとといった尺度を使用する。なお尺度の詳細については 4.3.5, 5.3.5 で述べている。

6.3 実験結果

6.3.1 身体所有感並びに運動主体感に関するアンケート結果

実験により得られた身体所有感と運動主体感の結果を図 37 に示す。また本実験により得られたコメントを表 6 に示す。身体所有感は該当する設問の平均を取り、得点としている。運動主体感も同様の処理を行っている。

身体所有感の得点と標準誤差は、受動的な生起方法(VATF 条件)で 1.121 ± 1.33 、能動的な生起方法(SM 条件)で 0.8 ± 0.29 となった。この結果に対して、対応のあり T 検定を行ったところ、VATF 条件と SM 条件間で有意な差は見られなかった(n.s)。運動主体感の得点と標準誤差は、VATF 条件で 1.841 ± 0.27 、SM 条件で -0.75 ± 0.45 となっている。この結果に対して、対応のあり T 検定を行ったところ、VATF 条件と SM 条件間で有意な差が見られた(** $p < 0.01$)。

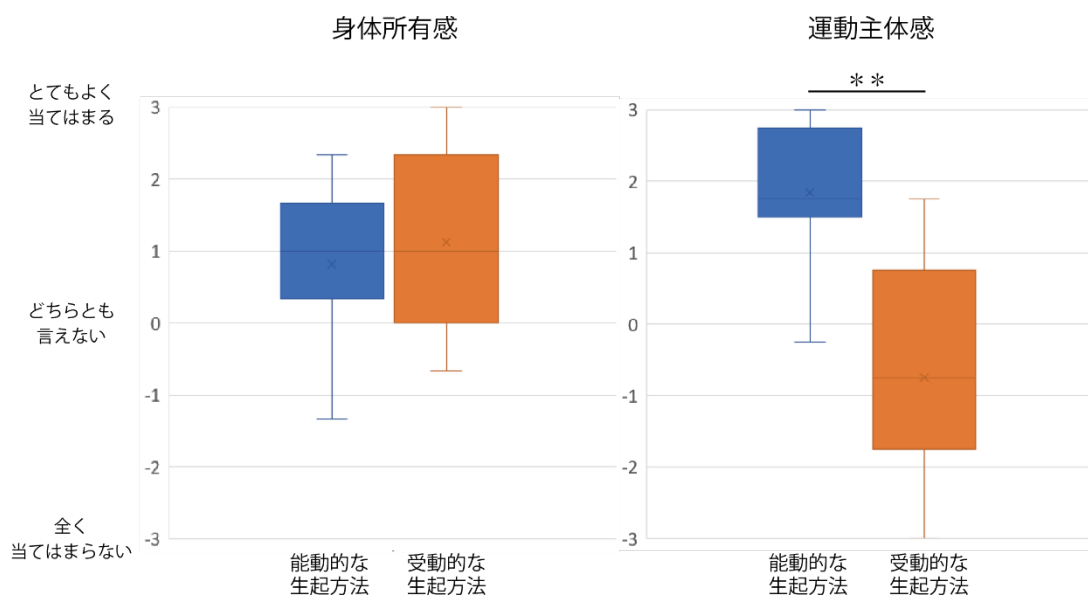


図 41 身体所有感・運動主体感の回答結果

6.3.2 心理的重なり尺度(IOS)に関するアンケート結果

IOS の結果(図 42)と標準誤差は、実験前に植物を評価させた場合(実験開始時)には 2.00 ± 0.33 、受動的な生起方法(VATF 条件)で 5.18 ± 0.42 、能動的な生起方法(SM 条件)で 4.27 ± 0.56 であった。この結果に対して、一元配置分散分析と Holm 法による多重比較を行った。分析結果は実験開始時と VATF 間、実験開始時と SM 間で有意な差が見られた(**: $p < 0.01$)。一方、VATF と SM 間では有意な差は見られなかった($p > 0.05$)。

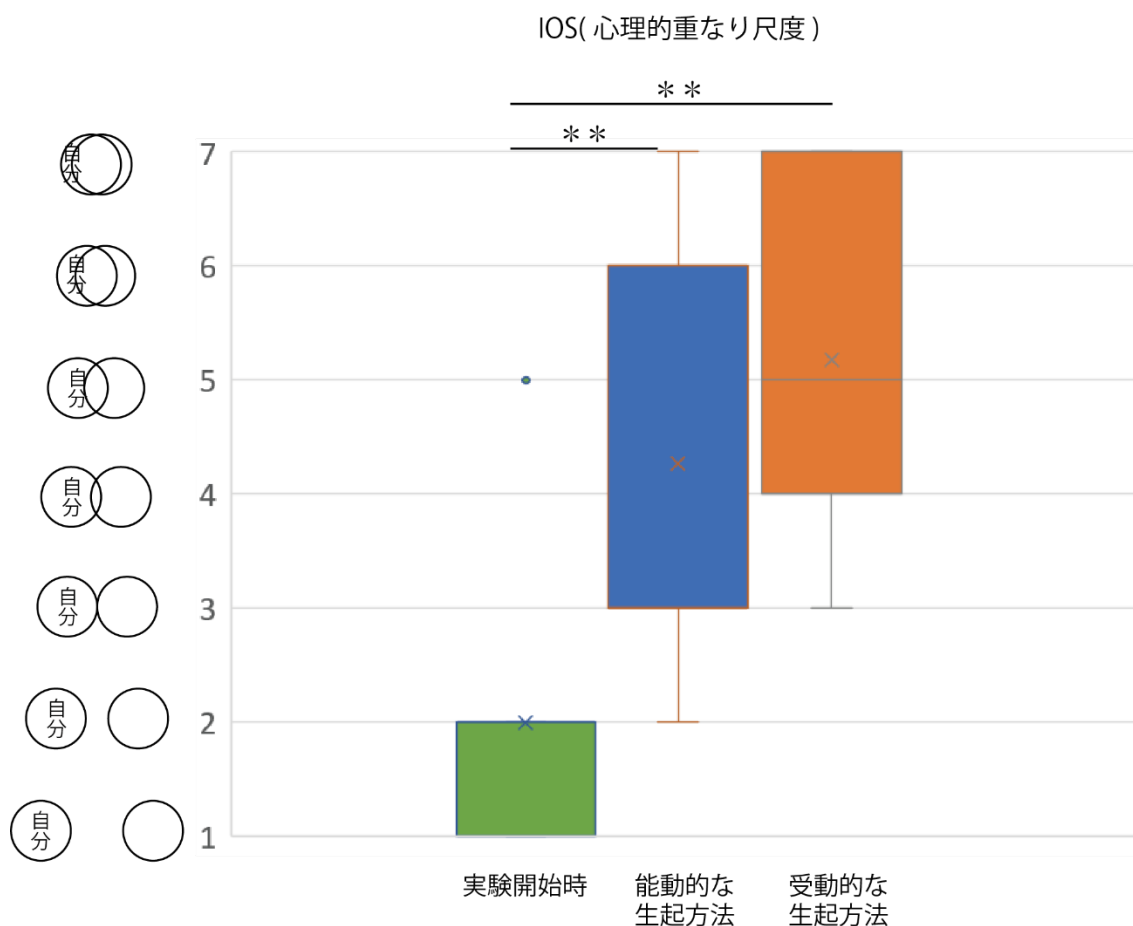


図 42 IOS の回答結果

6.3.3 好ましさに関するアンケート結果

好ましさの結果(図 43)と標準誤差は、実験前に植物を評価させた場合(実験開始時)には 3.55 ± 0.12 、受動的な生起方法(VATF 条件)で 4.00 ± 0.14 、能動的な生起方法(SM 条件)で 4.07 ± 0.12 であった。この結果に対して、一元配置分散分析と Holm 法による多重比較を行った。分析結果は実験開始時と VATF 間、実験開始時と SM 間で有意な差が見られた(**: $p < 0.01$)。一方、VATF と SM 間では有意な差は見られなかった($p > 0.05$)。

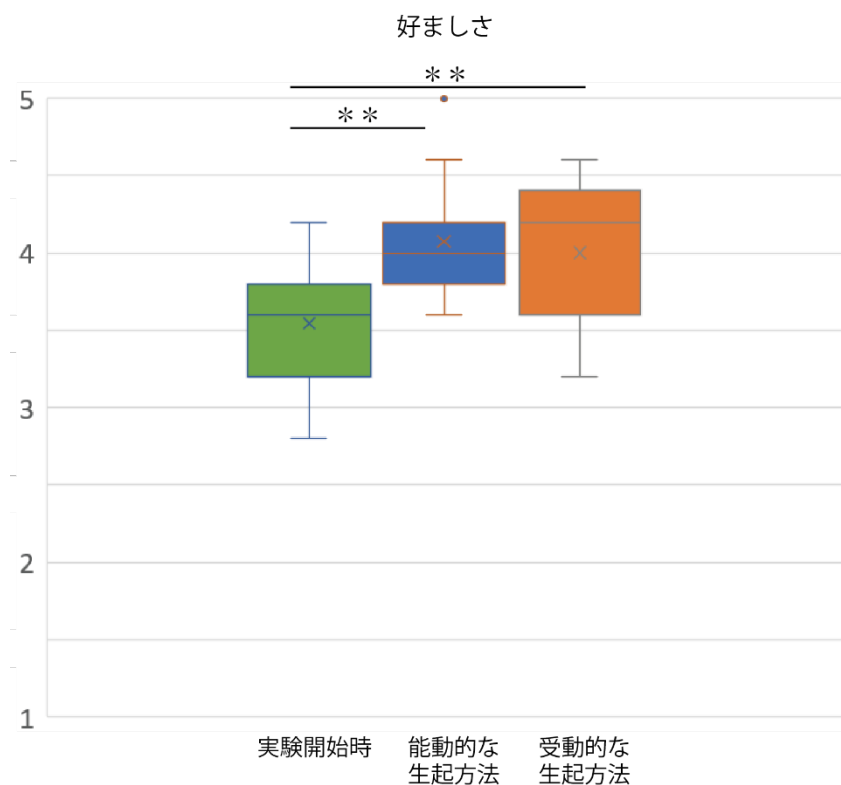


図 43 好ましさの回答結果

表 6 実験から得られた全てのコメント

- C1: 自分の真似をしている姿の植物に愛着がわきました。温度など、植物の感じているであろう感覚を共有すると、植物との距離が近づいたように感じました。
- C2: 自分と植物が重なっているというより、操作しているという印象が強かったです。
- C3: はじめ見た時は、「物」という静止した無機的なイメージだった植物が実験後にはちょっと可愛く見えたので植物への感じ方が変わりました。水ってこんな感じなんだあ植物も頑張っていきてるんだねえみたいな。一応、自分とは別のものに対する見方ではありつつ、自己投影のような感情移入した気持ちもあって不思議でした。
- C4: 水を流す実験の時に、植物が水を与えられているのを見て、感じて自分が植物に近づいているように思えた。自分が真正面にいるのに、植物でもある不思議な感覚だった。2回目の実験(VATF)のほうがより自分が植物に近づいたように思う
- C5: 一つ目(VATF)の実験で、植物に水をやったとき、自分のおでこのひんやり感が本当に水をかけられた時のような感覚でおもしろかった。植物の印象の親切/愉快の項目が答えにくかった。
- C6: 植物の視点を初めて意識させられた。
- C7: 最初の実験(VATF)では、自分と植物の精神的距離が縮まったというよりも植物が大きくなり、自分が小さくなったかのような錯覚を抱いた。
- C8: 2回目(VATF)のほうが、より植物に近づいたような一体感を感じました
- C9: 今回の実験のうち、植物と連動して動く実験で、特に植物との一体感を感じられた植物にとりつけたカメラから自分を見る実験では、自分の身体が抜け殻になったような感触があり、意識だけが植物に入ったようだった
- C10: 水を植物に与えられたとき、染み込んでいくような感覚が少しあった。視界のしたにもう少し土や枝が見えると没入感が高まるように感じた。

6.4 2つの生起方法における身体所有感の比較についての考察

6.4.1 仮説①能動的な生起方法の方が身体所有感の錯覚が強く生起する

本章では第4章、第5章で検討した能動的な生起方法と受動的な生起方法の2つの手法のうち、身体所有感の錯覚や有効性が高いのはどちらなのかについて比較検証することが目的であった。6.3.1の結果から、受動的な生起方法であるVATF条件と、SM条件を比較した結果、有意な差は見られなかった。このことから、仮説①が正しいことは確認できなかった。またこの結果は、受動的な生起方法または能動的な生起方法によって、生起する身体所有感には差がないという先行研究の報告を支持するものであった[13,43,47]。

これらの点から、本研究で実装した受動的な生起方法または能動的な生起方法によって生起する身体所有感には、統計的な違いは確認できなかった。一方、身体所有感が生起していたかどうかという点については身体所有感の得点がどちらの方法も0以上となっており、植物を対象とした場合においても身体所有感が生起されたことを示す結果となっている。またIOSの結果からも平均値は4程度となっており、本方法によって身体所有感を錯覚した結果、自分と観葉植物が重なり合っているように感じていたことを意味するものである。

表4のコメントを見ると、能動的な生起方法の体験について言及していたと思われるコメントは、C1、C2、C9である。C1のコメントでは、「自分の真似をしている姿の植物に愛着がわきました」とあり、能動的な生起方法により、観葉植物に対する印象を向上させたことが考えられる。C9も同様に、「植物と連動して動く実験で、特に植物との一体感を感じられた」とあり、本研究による能動的な生起方法により、観葉植物に対し、身体所有感の錯覚が生起していたと考えられる。一方、コメントC2「自分と植物が重なっているというより、操作しているという印象が強かった」にあるように、被験者ごとにも違いがあることから、全員に錯覚が生起していたとは言えないと考える。

同様に、受動的な生起方法の体験について言及していたと思われるコメントは、コメントC1、C3、C4、C5、C7、C8、C10である。コメントC1「温度など、植物の感じているであろう感覚を共有すると、植物との距離が近づいたように感じました。」とあるように、3つの刺激を重畳して被験者に提示することが、観葉植物との心理的な距離を変えていたことを示唆することや、コメントC3「水ってこんな感じなんだぁ植物も頑張っていってるんだねえみたいだ。」コメントC4「植物が水を与えられているのを見て、感じて自分が植物に近づいているように思えた。」、コメントC10「水を植物に与えられたとき、染み込んでいくような感覚が少しあった」のように、水やりによって植物が受けている刺激を、ペルチエ素子が提示する刺激を通じて体験できていると考えられるコメントがあった。これらのコメン

トから、2つの生起方法のどちらにおいても、観葉植物に対し、身体所有感が錯覚していたと考えられる。

また、コメント C9「植物にとりつけたカメラから自分を見る実験では、自分の身体が抜け殻になったような感触あり、～」というような言及があることから、第2章で述べた体外離脱体験のような現象を、観葉植物を用いた場合においても生起できる可能性が考えられる。一方で、コメント C7「植物が大きくなり、自分が小さくなったかのような錯覚を抱いた」のようなコメントもあることから、カメラから見える自分や観葉植物の大きさと、身体所有感の錯覚や好ましさの評価に影響を与えるのかは今後、検証する必要があると考える。

本検証では、運動主体感では受動的な生起方法または能動的な生起方法の間に有意な差が見られたことを確認した。このことから、2つの方法は異なる方法であることを被験者は認識していたことが言える。本研究では先行研究の結果を踏まえ、観葉植物に対し、身体所有感を錯覚するには2つの経路があるということを示し、受動的な生起方法と、能動的な生起方法の2つを検討していた。この2つの大きな違いは身体所有感の錯覚に、人間の身体動作を必要としているかどうかであり、能動的な生起方法では運動主体感が生起しており、受動的な生起方法では運動主体感が生起しなかったことを確認した。

6.4.2 仮説②能動的な生起方法の方が、観葉植物に対する好ましさに影響を及ぼす

6.4.1と同様に、本検証では能動的な生起方法の方が観葉植物に対する好ましさに影響を及ぼすと考えていたが、受動的な生起方法である VATF 条件と、SM 条件を比較した結果、有意な差は見られなかった。このことから、仮説②が正しいことは確認できなかった。先行研究では身体所有感の錯覚の違いに明らかな差はないことを報告していたが、本研究でさらに踏み込んだ点として、受動的な生起方法と能動的な生起方法によって好ましさに与える影響は、明らかに違うとは言えないことであり、2つの方法によって印象評価に与える影響は、同程度のものだったと考える。

6.5 まとめ

本章では、観葉植物に対して身体所有感が生起可能であるか明らかにするために、第4章で検討した受動的な生起方法、第5章で検討した能動的な生起方法の比較を行うことを目的としていた。

実験では、それぞれの検証で最も身体所有感の錯覚が生起していた条件を用いた。その条件とは、受動的な生起方法の場合には VATF 条件(視覚・聴覚・触覚刺激をフィードバックする)であり、能動的な生起方法の場合は SM 条件(人間の身体動作に同期して、観葉植物も動作する)である。本検証で設定した仮説は、仮説①能動的な生起方法の方が身体所有感の錯覚が強く生起する、仮説②能動的な生起方法の方が、観葉植物に対する好ましさに影響を及ぼすとした。この根拠としては方法毎に行った検証結果では、能動的な生起方法の方が身体所有感を錯覚していたと考えられる結果を得ていたことためである。

実験結果は、受動的な生起方法と能動的な生起方法によって生起した身体所有感の錯覚には違いがあるとは言えなかった。このことから仮説①は正しいことを確認できなかった。このように観葉植物に対する身体所有感の錯覚は、受動的もしくは能動的な生起方法によって違いはないとする先行研究[13,43,47]の結果を支持するものであり、本研究で検討した2つの方法は同程度の身体所有感の錯覚を生起させる方法であると言える。

また、本方法の有効性を評価するために行った好ましさに関する検証結果は、身体所有感の結果と同様に、生起方法の違いで植物に対する好ましさには違いがあるとは言えなかった。このことから仮説②が正しいことを確認できなかった。以上から、好ましさという観点においては、どちらの本方法を用いても同様の効果を得られるような手法であると言える。

第 7 章 結論

7.1 本研究の結論

本章では、観葉植物に対して身体所有感が生起可能であるか明らかにすることを本研究の目的としていたことに対し、実験結果を踏まえた結論を述べることを目的とする。検証では先行研究で行われていた身体所有感の錯覚に関する知見を基に、観葉植物に対して身体所有感の錯覚を生起させるために受動的な生起方法、能動的な生起方法の2つの方法を実装した。また実装した方法によって身体所有感の錯覚が生起されたのかを検証し、有効性の評価として人間に与える心理的な影響(共感と好ましさ)を検証した。これらの成果を踏まえ、結論として第3章で示した本研究における学術的問いに回答し、本研究の目的が達成されたかについて論じる。

- ・(1). 非人型として用いる観葉植物に対し、身体所有感を錯覚することは可能であるか

非人型形状の観葉植物に身体所有感を錯覚させられるかの根拠として、2.6.3 や 3.3 で示した先行研究[15,29,35,56,61,62,63,64]から、可能であると考え、身体所有感や運動主体感を生起させる実験や検証結果を基に、受動的および能動的な生起方法を実装した。第4章で実装した受動的な生起方法を用い、身体所有感の錯覚を検証した結果、一部の被験者において身体所有感を錯覚していたことを確認した。次に、第5章で実装した能動的な生起方法を用い、身体所有感の錯覚を検証した結果、被験者全体で身体所有感を錯覚していたことを確認した。

身体所有感の錯覚が生起していない可能性が考えられたことについて、第6章において身体所有感の錯覚について検証したところ、どちらの方法においても身体所有感の錯覚が生起したことを確認した。これらの結果を踏まえると、本研究で実装した方法は、観葉植物に対し、身体所有感を錯覚させることが可能な方法であると考えられる。ただし、植物を栽培していない者では、身体所有感の錯覚が生起しない場合もあることが示唆された。

- ・(2). (1)を錯覚するために、受動的および能動的な生起方法は実装可能であるか

実装可能な根拠として、3.4において人間と観葉植物との間で共通する感覚はあるのかについて先行研究や事例を手掛かりに検討した。その結果、植物には人間と類似するような機能があると考えられること[65-71]、や人間は植物を擬人化したりして表現できること[72,73,74]が明らかである。また2.5.2で示したSynofzikらの抽象モデルや、刺激が提示される文脈や背景が身体所有感の錯覚させることを示唆する報告を踏まえ[49,50,51,52]、観葉植物であっても人間に与える刺激と、植物に与える刺激が時空間的に一致していることを知覚させる方法を実装できれば、身体所有感の錯覚が生起できると考えた。

具体的な方法の検討として、受動的な生起方法の場合では観葉植物への水やりに着目し

た体験を検討し、能動的な生起方法の場合は人間の身体動作に同期して観葉植物の枝や葉を動かす体験を検討した。前者の場合はペルチェ素子を用いた冷覚刺激の提示や、後者の場合は植物にアクチュエータを取り付け、Kinectのように人間の骨格情報を取得できるデバイスを組み合わせることで実現可能であると考え、実際に2つの生起方法を実装した。その結果については(1)の問いで答えたように、観葉植物に対し、身体所有感を錯覚する方法であったことから、(2)の問いは実装可能であったと考える。

・(3). (2)の方法のどちらの有効性が高いか

先行研究の結果から、能動的な生起方法の方が身体所有感を強く生起するという研究や[12,45,46]、2つの方法によって生起される身体所有感に違いはない研究[13,43,47]、受動的な生起方法のほうが身体所有感を強く生起する研究[48]のように、現在においてもどちらの生起方法が身体所有感をより強く生起させるのか議論されていることを踏まえ、本研究で実装した受動的および能動的な生起方法のどちらの有効性が高いのかを第6章で検証した。その結果、本研究で実装した方法によって生起された身体所有感や好ましきには、方法間において有意な差は無いことから、どちらの方法も身体所有感を生起できていた。この結果から、観葉植物に対して身体所有感や好ましきを生起する観点では、この2つの方法はどちらが優れているかもしくは劣っているかではなく、有効性は同程度の方法であると考えられる。

上述した学術的問いの3つの回答を踏まえ、本研究が目的とする観葉植物に対して身体所有感が生起可能であるかについては、今回実装した方法を用いた場合に可能であると考えられる。一方、検証から得られた結果から明らかとなった本研究の限界を次節で述べる。

7.2 本研究の限界

本研究は観葉植物に対して身体所有感が生起可能であるか検証するため、能動的および受動的な生起方法について検証を行う内容だったが、以下の点で限界がある。

1) 限られた被験者における検証であったこと

本研究の結果、各章において受動的・能動的な生起方法を検証し、統計分析手法を用いながら観葉植物に対し身体所有感が生起することを確認した。一方、第4章の共感に関する検証や第6章の生起方法の比較においては方法毎に明確な差があったかどうかについては確認できなかった。その原因として第4章の検証で12名、第5章の検証で12名、第6章の検証で11名といったように、限られた被験者であることが考えられる。今回明らかにできなかった共感や長期的な使用における影響はサンプル数が多いほど観測値は正しい値に近づくことが推測でき、より多くの被験者を対象とした検証が必要である。

2) 被験者全員が観葉植物に対して身体所有感を錯覚したとは言えない

評価点が0以上になった場合に身体所有感が生起したとする先行研究の結果を踏まえると、第6章の検証結果では、受動的な生起方法および能動的な生起方法において、どちらの方法も身体所有感の評価点が0以上となっている点から、身体所有感の錯覚は生起していたと考えられる。一方、第4章のように、一部の被験者のみが身体所有感を錯覚していたという結果もあった。この原因には刺激の提示方法や、観葉植物に設置したカメラやサーボモータの影響等も考えられるため、人間に与える違和感を極力低減させた方法へと改善する必要がある。

3) 栽培経験の差が観葉植物の印象評価に影響を与えたかどうかについて

本研究で被験者には現在、植物を栽培しているかどうかということのみを聞き、それを基に第4章、第5章では個別の被験者に回答結果を確認した。その結果について検証すると、植物を栽培している者もしくはしていない者の間で、身体所有感の錯覚に違いがあることが示唆された。このことから単純接触効果が示すように、植物と接する時間や回数が多い場合は、もともと植物との親近感が高い状態であったりすることが考えられるため、より詳細な植物栽培履歴を確認し、栽培経験のレベルによって被験者群を分けることで身体所有感の錯覚の効果量を比較することができると考える。

7.3 本研究の応用例

本研究で実装した方法や得られた結果を基に、本研究を実社会で利用した場合の応用例についていくつか以下に示す。

7.3.1 消費活動での応用例

被験者から得たコメントの中には、一緒に動くとき親しみを感じていることや、植物になったような感じがして面白いといった報告があった。また質問紙による調査では、観葉植物と一緒に動くということによって好ましさが向上しており、観葉植物と一緒に動くことはポジティブに受け止められやすいと考えられる。このことから例えばフラワーショップに訪れた顧客の動作をディスプレイされている植物に反映させることで顧客の関心を引き、植物の購入といった消費行動を促すことも考えられる。また購入した植物にも本方法を適応することで日常的に関心を持たせたり、積極的な世話を促したり、あるいは植物が与える癒しといった効果を向上できる可能性が考えられる。

7.3.2 環境教育・自然保護教育としての応用例

現在ではSDGs(持続可能な開発目標)の15番目の目標「陸の豊かさを守ろう」とあり、森林環境教育や自然保護教育が教育機関で実施されるようになってきている[96,97]。教育現場では教科書や教育映像を見たり、アクティブラーニングとして実際に自然公園を訪れたり、第1次産業に従事する人々と交流したりすることで自然環境に対する意識付けを行ってきた。一方、近年は高性能なHMDが登場し、没入感の高い映像を視聴させることで自然環境への意識付けを狙った研究も登場している[58]。このような中、本手法を仮想空間と組み合わせることで、日常的に訪れることが困難な自然環境を疑似的に再現し、その中に存在する植物の疑似体験を行うことでより自然環境への意識付けを高められる可能性が考えられる。

7.3.3 エンタテインメント・アート分野での応用例

エンタテインメントもしくはアート分野では自己の身体が別のモノになったかのような疑似体験を目的とした作品が発表されている。菅野らが制作したAvatarsという作品はインターネットを介して電話、カラーコーン、車といった様々なオブジェクトに憑依できるものとなっている[20]。一方、本研究では自身の身体を介して観葉植物を操作する方法や、観葉植物が受ける刺激をフィードバックする方法を実現していることから、本研究の方法や知見を用いることで従来作品より質の高い疑似体験をテーマとした作品制作に利用できることが考えられる。

7.4 今後の展望

本研究では観葉植物に対して身体所有感が生起可能であるか明らかにすることが目的であった。本研究で実装した方法は観葉植物に対して身体所有感を錯覚したり、好ましさを向上させたりする効果があることを確認した。また各検証で得られた被験者コメントからも、観葉植物に対して身体所有感を錯覚することによって、自身の感情に変化があったことを報告していた者や、日ごろ気にしていなかった植物に意識が向いたことが報告されていた。このことから本方法は身体所有感を錯覚する対象に、ポジティブな印象を与える効果を持っていることが考えられる。そのため、次のような点が考えられる。

1) 対象や状況に応じた手法の選択が可能であること

本手法は身体所有感を錯覚した物体に対しての印象を変化させる効果があったと言える。また、観葉植物を利用した理由として、非人型の物体にも身体所有感の錯覚が生起するのかわを確認するためであった。実装した本手法は、提示する方法やシステムは単純なものであり、観葉植物以外にも、様々な物体に適用できる可能性がある。例えば犬や猫といったペットに適した動物に身体所有感を錯覚させたい場合には、このような動物が感じている視覚や温度といった情報を、受動的な生起方法によって提示することができると思う。またぬいぐるみといった生物ではないような物体においても、能動的な生起方法を用いぬいぐるみの視界や四肢を動かすことによって、身体所有感を錯覚することができると思う。また、このような物体に対して、好ましさや共感を向上させ、より親しみをもったインタラクションを促すために利用できると考えられる。本検証では2つの手法によって錯覚する身体所有感の効果に大きな違いが見られなかったことから、その時々に応じてどちらの手法を使うか選択できると考え、身体所有感を錯覚させたい状況に応じて使用できることが考えられる。

2) 使用者の関心や興味を引き出すといった利用

植物を事例として考えると、植物は人間にとってポジティブな効果を与えることはよく知られているが、植物栽培の実態について調査した研究では[24]、植物を栽培していない人々はその理由に手入れの方法が分からない・植物を枯らしてしまう」を挙げている。手入れの方法が分からないといった理由には、植物に関する知識や栽培経験が無いことの他、植物に関心を持つきっかけがなく、栽培方法を調べようとするモチベーションが低いことが考えられる。こういった者に対し、本手法を適用することで植物に対する意識を向上させ、実際に栽培したりすることを促したり、より植物に対して愛着を持たせるといった効果を得ることができると思う。ただし、本手法によって植物へのインタラクションを促す効果があったとして、そのインタラクションが植物にとって望ましい方法(適した栽培方法)へと導くことができるのかについて注意して検討する必要がある。

3) 現実世界で自身を代替する身体としての利用

遠隔地で他者とインタラクションするために置かれたロボットを通して、自分がその他者とインタラクションをしているかのような体験はテレプレゼンス[98]と呼ばれている。このテレプレゼンスで自身を代替するモノとしてよく用いられるのは人間のように動作させられるロボットが多い。もちろん他者と積極的かつ物理的に触れ合うようなインタラクションを必須とするのであれば、四肢があるようなロボットを用いることは合理的である。一方、そこまで精緻な操作の反映が必要ではない場合は、本手法を組み合わせることで、遠隔地にある物体を自身の身体であるかのように感じ、そのある物体を通して遠隔地の他者や環境とのコミュニケーションやインタラクションに使用することができる。本手法で制作したような装置は少なくともロボットを実際に設置し、運用するコストに比べると低いコストで遠隔地に身体を転送するような体験を提示できると考える。

また近年では東京大学の稲見研究グループが自在化身体[99]という新しい概念のもと、従来とは異なる身体の拡張方法や表現方法について研究している。稲見グループが行っている研究では、2本のロボットアームを人間の背中に装着し、そのロボットアームの動きを身体の別の部位(下半身や足の指)に対応させ、あたかも腕が4本になったかのような体験を実現している[100,101]。またアバターに関する研究では、仮想空間で人間は使用するアバターは通常1体であるが、ユーザの身体動作と複数のアバターの動作が同期している状況において、それらのアバター群に対し一定の身体所有感が生じることを確認している[102]。このような研究が展開されていることを踏まえ、人間が観葉植物に身体所有感を錯覚し、違和感を感じない身体拡張方法の一つとして、上述した先行研究の知見を基に、枝や葉を人間に装着して他者とのコミュニケーションに用いたり、その枝や葉を用いて傘のように日常生活で使用したり等、人間の日常生活を支援・拡張できる可能性がある。

参考文献

- [1] Feinberg, T. E., Venneri, A., Simone, A. M., Fan, Y., & Northoff, G. (2009). The neuroanatomy of asomatognosia and somatoparaphrenia. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*. <https://doi.org/10.1136/jnnp.2009.188946>.
- [2] Flor, H. (2002). Phantom-limb pain: characteristics, causes, and treatment. *The Lancet Neurology*, 1(3), 182-189. [https://doi.org/10.1016/s1474-4422\(02\)00074-1](https://doi.org/10.1016/s1474-4422(02)00074-1).
- [3] Haggard, P., & Tsakiris, M. (2009). The experience of agency: Feelings, judgments, and responsibility. *Current Directions in Psychological Science*, 18(4), 242-246. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8721.2009.01644.x>
- [4] Gallagher, S. (2000). Philosophical conceptions of the self: implications for cognitive science. *Trends in cognitive sciences*, 4(1), 14-21. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(99\)01417-5](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(99)01417-5)
- [5] 葭田貴子, 神谷聖耶, & 田島大輔. (2016). 「自分の身体の使い心地」の心理学的・脳科学的計測. 計測と制御, 55(3), 252-258. <https://doi.org/10.11499/sicejl.55.252>
- [6] Kawato, M. (1999). Internal models for motor control and trajectory planning. *Current opinion in neurobiology*, 9(6), 718-727. [https://doi.org/10.1016/S0959-4388\(99\)00028-8](https://doi.org/10.1016/S0959-4388(99)00028-8)
- [7] Miall, R. C., & Wolpert, D. M. (1996). Forward models for physiological motor control. *Neural networks*, 9(8), 1265-1279. [https://doi.org/10.1016/S0893-6080\(96\)00035-4](https://doi.org/10.1016/S0893-6080(96)00035-4)
- [8] Ramachandran, V. S., Rogers-Ramachandran, D., & Cobb, S. (1995). Touching the phantom limb. *Nature*, 377(6549), 489-490. <https://doi.org/10.1038/377489a0>
- [9] Botvinick, M., & Cohen, J. (1998). Rubber hands 'feel' touch that eyes see. *Nature*, 391(6669), 756-756. <https://doi.org/10.1038/35784>
- [10] Honma, M., Koyama, S., & Osada, Y. (2009). Double tactile sensations evoked by a single visual stimulus on a rubber hand. *Neuroscience Research*, 65(3), 307-311. <https://doi.org/10.1016/j.neures.2009.08.005>
- [11] Ehrsson, H. H., Spence, C., & Passingham, R. E. (2004). That's my hand! Activity in premotor cortex reflects feeling of ownership of a limb. *Science*, 305(5685), 875-877. <https://doi.org/10.1126/science.1097011>
- [12] Kalckert, A., & Ehrsson, H. H. (2012). Moving a rubber hand that feels like your own: a dissociation of ownership and agency. *Frontiers in human neuroscience*, 6, 40. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2012.00040>
- [13] Kalckert, A., & Ehrsson, H. H. (2014). The moving rubber hand illusion revisited: Comparing movements and visuotactile stimulation to induce illusory ownership. *Consciousness and cognition*, 26, 117-132. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2014.02.003>
- [14] Yuan, Y., & Steed, A. (2010, March). Is the rubber hand illusion induced by immersive virtual reality?. In 2010 IEEE virtual reality conference (vr) (pp. 95-102). IEEE.

<https://doi.org/10.1109/VR.2010.5444807>

- [15] Ventre-Dominey, J., Gibert, G., Bosse-Platiere, M., Farne, A., Dominey, P. F., & Pavani, F. (2019). Embodiment into a robot increases its acceptability. *Scientific reports*, 9(1), 10083. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-46528-7>
- [16] Yee, N., & Bailenson, J. (2007). The Proteus effect: The effect of transformed self-representation on behavior. *Human communication research*, 33(3), 271-290. <https://doi.org/10.1111/j.1468-2958.2007.00299.x>
- [17] Banakou, D., Kishore, S., & Slater, M. (2018). Virtually being Einstein results in an improvement in cognitive task performance and a decrease in age bias. *Frontiers in psychology*, 9, 917. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.00917>
- [18] 高橋康介, & 日高昇平. (2018). 特集 「ホモ・クオリタス: 過剰に意味を創り出す認知の理解に向けて」 の編集にあたって. *認知科学*, 25(1), 3-6. <https://doi.org/10.11225/jcss.25.3>
- [19] Hachiya, K. (1993). Inter dis-communication machine. *Prix Ars Electronica*, 96, 138-139. https://webarchive.ars.electronica.art/en/festival2004/programm/project_2004.asp%3FiProjectID=12674.html(2024年1月アクセス)
- [20] 菅野創, & やんツー. (2017). 作品名: 「Avatars」. バニシング・メッシュ展, 山口情報芸術センター, 2017年2月18日~5月14日. <https://www.ycam.jp/events/2017/vanishing-mesh/>(2024年1月アクセス)
- [21] Wolverton, B. C., Johnson, A., and Bounds, K.: Interior landscape plants for indoor air pollution abatement, Final Report NASA (NASA-TM-101760), National Aeronautics and Space Administration, 1989
- [22] Dijkstra, K., Pieterse, M. E., & Pruyn, A. (2008). Stress-reducing effects of indoor plants in the built healthcare environment: The mediating role of perceived attractiveness. *Preventive medicine*, 47(3), 279-283. <https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2008.01.013>
- [23] Lee, M. S., Lee, J., Park, B. J., & Miyazaki, Y. (2015). Interaction with indoor plants may reduce psychological and physiological stress by suppressing autonomic nervous system activity in young adults: a randomized crossover study. *Journal of physiological anthropology*, 34(1), 1-6. <https://doi.org/10.1186/s40101-015-0060-8>
- [24] 下村孝, 黒宮ゆかり, & 上町あずさ. (2007). 家庭における室内緑化植物の利用実態と利用者の意識. *人間・植物関係学会雑誌*, 6(2), 31-39.
- [25] Dennett, D. (1991) *Consciousness Explained*, Little Brown & Co.
- [26] Schechtman, M. (2012). The Story of my (Second) Life: Virtual Worlds and Narrative Identity. *Philos. Technol.* 25, 329–343. <https://doi.org/10.1007/s13347-012-0062-y>
- [27] Mantovani, G., and Riva, G. (1999). “Real” presence: how different ontologies generate different criteria for presence, telepresence, and virtual presence. *Presence Teleoper. Virtual Environ.* 8, 540–550. <https://doi.org/10.1162/105474699566459>

- [28] Bouchard, S., Baus, O., Bernier, F., and McCreary, D. R. (2010). Selection of key stressors to develop virtual environments for practicing stress management skills with military personnel prior to deployment. *Cyberpsychol. Behav. Soc. Netw.* 13, 83–94. <https://doi.org/10.1089/cyber.2009.0336>
- [29] Armel, K. C., & Ramachandran, V. S. (2003). Projecting sensations to external objects: evidence from skin conductance response. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 270(1523), 1499-1506. <https://doi.org/10.1098/rspb.2003.2364>
- [30] Tsakiris, M., & Haggard, P. (2005). The rubber hand illusion revisited: visuotactile integration and self-attribution. *Journal of experimental psychology: Human perception and performance*, 31(1), 80. <https://psycnet.apa.org/doi/10.1037/0096-1523.31.1.80>
- [31] Hägni, K., Eng, K., Hepp-Reymond, M. C., Holper, L., Keisker, B., Siekierka, E., & Kiper, D. C. (2008). Observing virtual arms that you imagine are yours increases the galvanic skin response to an unexpected threat. *PloS one*, 3(8), e3082. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0003082>
- [32] Ehrsson, H. H., Wiech, K., Weiskopf, N., Dolan, R. J., & Passingham, R. E. (2007). Threatening a rubber hand that you feel is yours elicits a cortical anxiety response. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(23), 9828-9833. <https://doi.org/10.1073/pnas.0610011104>
- [33] Guterstam, A., Petkova, V. I., and Ehrsson, H. H. (2011). The illusion of owning a third arm. *PLoS One* 6:e17208. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0017208>
- [34] Braun, N., Debener, S., Spychala, N., Bongartz, E., Sörös, P., Müller, H. H. O., & Philipsen, A. (2018). The Senses of Agency and Ownership: A Review. *Frontiers in psychology*, 9, 535. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.00535>
- [35] Hohwy, J., and Paton, B. (2010). Explaining away the body: experiences of supernaturally caused touch and touch on non-hand objects within the rubber hand illusion. *PLoS One* 5:e9416. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0009416>
- [36] Haans, A., IJsselsteijn, W. A., and de Kort, Y. A. W. (2008). The effect of similarities in skin texture and hand shape on perceived ownership of a fake limb. *Body Image* 5, 389–394. <https://doi.org/10.1016/j.bodyim.2008.04.003>
- [37] Tsakiris, M., Carpenter, L., James, D., and Fotopoulou, A. (2010). Hands only illusion: multisensory integration elicits sense of ownership for body parts but not for non-corporeal objects. *Exp. Brain Res.* 204, 343–352. <https://doi.org/10.1007/s00221-009-2039-3>
- [38] Tsakiris, M. (2010). My body in the brain: a neurocognitive model of body-ownership. *Neuropsychologia* 48, 703–712. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2009.09.034>
- [39] Nielsen, T. I. (1963). Volition: A new experimental approach. *Scandinavian journal of psychology*, 4(1), 225-230. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9450.1963.tb01326.x>
- [40] Osumi, M., Nobusako, S., Zama, T., Yokotani, N., Shimada, S., Maeda, T., & Morioka, S. (2019). The relationship and difference between delay detection ability and judgment of sense of agency.

- PloS one, 14(7), e0219222. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0219222>
- [41] Asai T. (2015). Feedback control of one's own action: Self-other sensory attribution in motor control. *Consciousness and cognition*, 38, 118–129. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2015.11.002>
- [42] Sato, A., & Yasuda, A. (2005). Illusion of sense of self-agency: discrepancy between the predicted and actual sensory consequences of actions modulates the sense of self-agency, but not the sense of self-ownership. *Cognition*, 94(3), 241–255. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2004.04.003>
- [43] Tsakiris, M., Prabhu, G., and Haggard, P. (2006). Having a body versus moving your body: how agency structures body-ownership. *Conscious. Cogn.* 15, 423–432. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2005.09.004>
- [44] Sanchez-Vives, M. V., Spanlang, B., Frisoli, A., Bergamasco, M., and Slater, M. (2010). Virtual hand illusion induced by visuomotor correlations. *PLoS One* 5:e10381. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0010381>
- [45] Dummer, T., Picot-Annand, A., Neal, T., and Moore, C. (2009). Movement and the rubber hand illusion. *Perception* 38, 271–280. <https://doi.org/10.1068/p5921>
- [46] Kokkinara, E., & Slater, M. (2014). Measuring the effects through time of the influence of visuomotor and visuotactile synchronous stimulation on a virtual body ownership illusion. *Perception*, 43(1), 43–58. <https://doi.org/10.1068/p7545>
- [47] Riemer, M., Kleinböhl, D., Hölzl, R., & Trojan, J. (2013). Action and perception in the rubber hand illusion. *Experimental brain research*, 229(3), 383–393. <https://doi.org/10.1007/s00221-012-3374-3>
- [48] Walsh, L. D., Moseley, G. L., Taylor, J. L., and Gandevia, S. C. (2011). Proprioceptive signals contribute to the sense of body ownership. *J. Physiol.* 589, 3009–3021. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2011.204941>
- [49] Synofzik, M., Vosgerau, G., & Newen, A. (2008). I move, therefore I am: A new theoretical framework to investigate agency and ownership. *Consciousness and Cognition*, 17, 411–424. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2008.03.008>
- [50] 森岡周. (2019). 身体性変容のメカニズムとニューロリハビリテーション. *PAIN RESEARCH*, 34(1), 10–18. <https://doi.org/10.11154/pain.34.10>
- [51] Osumi, M., Imai, R., Ueta, K., Nobusako, S., & Morioka, S. (2014). Negative body image associated with changes in the visual body appearance increases pain perception. *PloS one*, 9(9), e107376. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0107376>
- [52] Osumi, M., Imai, R., Ueta, K., Nakano, H., Nobusako, S., & Morioka, S. (2014). Factors associated with the modulation of pain by visual distortion of body size. *Frontiers in human neuroscience*, 8, 137. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00137>

- [53] Mangalam, M., Cutts, S. A., & Frigaszy, D. M. (2019). Sense of ownership and not the sense of agency is spatially bounded within the space reachable with the unaugmented hand. *Experimental Brain Research*, 237, 2911-2924. <https://doi.org/10.1007/s00221-019-05645-5>
- [54] Ehrsson H. H. (2007). The experimental induction of out-of-body experiences. *Science (New York, N.Y.)*, 317(5841), 1048. <https://doi.org/10.1126/science.1142175>
- [55] Petkova, V. I., & Ehrsson, H. H. (2008). If I were you: perceptual illusion of body swapping. *PloS one*, 3(12), e3832. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0003832>
- [56] 小柳陽光, & 大村廉. (2017). 飛行体験における没入感向上のための鳥アバタへの身体所有感の生起可能性の検討. *日本バーチャルリアリティ学会論文誌*, 22(4), 513-522. https://doi.org/10.18974/tvrsj.22.4_513
- [57] Maister, L., Sebanz, N., Knoblich, G., & Tsakiris, M. (2013). Experiencing ownership over a dark-skinned body reduces implicit racial bias. *Cognition*, 128(2), 170-178. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2013.04.002>
- [58] Spangenberg, P., Geiger, S. M., & Freytag, S. C. (2022). Becoming nature: Effects of embodying a tree in immersive virtual reality on nature relatedness. *Scientific reports*, 12(1), 1311. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-05184-0>
- [59] Kilteni, K., Bergstrom, I., & Slater, M. (2013). Drumming in immersive virtual reality: the body shapes the way we play. *IEEE transactions on visualization and computer graphics*, 19(4), 597-605. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2013.29>
- [60] 農業技術辞典, “観葉植物”, <https://lib.ruralnet.or.jp/nrpd/#koumoku=11137>, 農研機構(2024年2月アクセス)
- [61] 小柳陽光, 鳴海拓志, 安藤英由樹, & 大村廉. (2020). ドラゴンアバタを用いたプロテウス効果の生起による高所に対する恐怖の抑制. *日本バーチャルリアリティ学会論文誌*, 25(1), 2-11. https://doi.org/10.18974/tvrsj.25.1_2
- [62] Ahn, S. J., Bostick, J., Ogle, E., Nowak, K. L., McGillicuddy, K. T., & Bailenson, J. N. (2016). Experiencing nature: Embodying animals in immersive virtual environments increases inclusion of nature in self and involvement with nature. *Journal of Computer-Mediated Communication*, 21(6), 399-419. <https://doi.org/10.1111/jcc4.12173>
- [63] Lugin, J. L., Latt, J., & Latoschik, M. E. (2015). Anthropomorphism and Illusion of Virtual Body Ownership. *ICAT-EGVE*, 15, 1-8. <http://dx.doi.org/10.2312/egve.20151303>
- [64] Krekhov, A., Cmentowski, S., & Krüger, J. (2018, October). Vr animals: Surreal body ownership in virtual reality games. In *Proceedings of the 2018 Annual Symposium on Computer-Human Interaction in Play Companion Extended Abstracts* (pp. 503-511). <https://doi.org/10.1145/3270316.3271531>
- [65] ステファノ マンクーゾ, アレッサンドラ ヴィオラ, 久保, 植物は知性をもっている: 20 の感覚で思考する生命システム, NHK 出版, 2015.

- [66] Goyal, A., Szarzynska, B., & Fankhauser, C. (2013). Phototropism: at the crossroads of light-signaling pathways. *Trends in plant science*, 18(7), 393-401. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2013.03.002>
- [67] Veits, M., Khait, I., Obolski, U., Zinger, E., Boonman, A., Goldshtein, A., ... & Hadany, L. (2019). Flowers respond to pollinator sound within minutes by increasing nectar sugar concentration. *Ecology letters*, 22(9), 1483-1492. <https://doi.org/10.1111/ele.13331>
- [68] Burri, J. T., Saikia, E., Läubli, N. F., Vogler, H., Wittel, F. K., Rüggeberg, M., ... & Grossniklaus, U. (2020). A single touch can provide sufficient mechanical stimulation to trigger Venus flytrap closure. *PLoS biology*, 18(7), e3000740. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3000740>
- [69] Fujii, Y., Tanaka, H., Konno, N., Ogasawara, Y., Hamashima, N., Tamura, S., ... & Kodama, Y. (2017). Phototropin perceives temperature based on the lifetime of its photoactivated state. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(34), 9206-9211. <https://doi.org/10.1073/pnas.1704462114>
- [70] Nagashima, A., Higaki, T., Koeduka, T., Ishigami, K., Hosokawa, S., Watanabe, H., ... & Touhara, K. (2019). Transcriptional regulators involved in responses to volatile organic compounds in plants. *Journal of Biological Chemistry*, 294(7), 2256-2266. <https://doi.org/10.1074/jbc.RA118.005843>
- [71] Fukano, Y. (2017). Vine tendrils use contact chemoreception to avoid conspecific leaves. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 284(1850), 20162650. <https://doi.org/10.1098/rspb.2016.2650>
- [72] バート・ジレット監督, シリーシンフォニー: 花と木, 1932年公開, ウォルト・ディズニー
- [73] 大阪府四条畷市, イメージキャラクター「くっすん」, <https://www.city.shijonawate.lg.jp/site/marketing/marketing-blog-017.html>(2024年1月アクセス)
- [74] 宮城利佳子. (2020). 子どもは植物の水吸収をどのように理解するか—幼小移行期の理解の変化に着目して—. *理科教育学研究*, 60(3), 643-653. <https://doi.org/10.11639/sjst.19070>
- [75] Stevens, J. C., & Choo, K. K. (1998). Temperature sensitivity of the body surface over the life span. *Somatosensory & motor research*, 15(1), 13-28. <https://doi.org/10.1080/08990229870925>
- [76] Valve Software, "SteamVR Unity Plugin", https://valvesoftware.github.io/steamvr_unity_plugin/#documentation(2024年2月アクセス)
- [77] 澤田瑞也. (1992). 共感の心理学——そのメカニズムと発達世界, 思想社.
- [78] 長谷川寿一. (2015). 共感性研究の意義と課題. *心理学評論*, 58(3), 411-420. https://doi.org/10.24602/sjpr.58.3_411
- [79] 鈴木有美, & 木野和代. (2008). 多次元共感性尺度 (MES) の作成 自己指向・他者指向

- の弁別に焦点を当てて。教育心理学研究, 56(4), 487-497.
https://doi.org/10.5926/jjep1953.56.4_487
- [80] Davis, M. H. (1983). Measuring individual differences in empathy: Evidence for a multidimensional approach. *Journal of Personality and Social Psychology*, 44(1), 113–126.
<https://doi.org/10.1037/0022-3514.44.1.113>
- [81] Suzuki, Y., Galli, L., Ikeda, A., Itakura, S., & Kitazaki, M. (2015). Measuring empathy for human and robot hand pain using electroencephalography. *Scientific reports*, 5(1), 15924.
<https://doi.org/10.1038/srep15924>
- [82] Aron, A., Aron, E. N., & Smollan, D. (1992). Inclusion of other in the self scale and the structure of interpersonal closeness. *Journal of personality and social psychology*, 63(4), 596.
<https://doi.org/10.1037/0022-3514.63.4.596>
- [83] Mazurega, M., Pavani, F., Paladino, M. P., & Schubert, T. W. (2011). Self-other bodily merging in the context of synchronous but arbitrary-related multisensory inputs. *Experimental brain research*, 213, 213-221. <https://doi.org/10.1177/09567976103792>
- [84] Ma, K., Lippelt, D. P., & Hommel, B. (2017). Creating virtual-hand and virtual-face illusions to investigate self-representation. *JoVE (Journal of Visualized Experiments)*, (121), e54784.
<https://dx.doi.org/10.3791/54784>
- [85] Smith, A. (2006). Cognitive empathy and emotional empathy in human behavior and evolution. *The Psychological Record*, 56(1), 3-21. <https://doi.org/10.1007/BF03395534>
- [86] Cialdini, R. B., Brown, S. L., Lewis, B. P., Luce, C., & Neuberg, S. L. (1997). Reinterpreting the empathy–altruism relationship: When one into one equals oneness. *Journal of personality and social psychology*, 73(3), 481. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.73.3.481>
- [87] 藤木卓, 小清水貴子, & 倉田伸. (2021). 共感性が VR 平和コンテンツ視聴に与える影響の国際比較。日本教育工学会論文誌, 44(Suppl.), 157-160.
<https://doi.org/10.15077/jjet.S44096>
- [88] 安達知郎, & 安達奈緒子. (2019). 大学新生に対するアサーション・トレーニングの効果—適応感とアイデンティティ, 自己受容に注目して—. *教育心理学研究*, 67(4), 317-329. <https://doi.org/10.5926/jjep.67.317>
- [89] Zajonc, R. B. (1968). Attitudinal effects of mere exposure. *Journal of personality and social psychology*, 9(2p2), 1. <https://doi.org/10.1037/h0025848>
- [90] 佐脇風里, 安謙太郎, & 稲見昌彦. (2012). 喜怒哀楽表現のための植物に特化したアクチュエーション手法. *情報処理学会インタラクシオン*, 2012.
- [91] Farizon, D., Dominey, P. F., & Ventre-Dominey, J. (2021). Insights on embodiment induced by visuo-tactile stimulation during robotic telepresence. *Scientific reports*, 11(1), 22718.
<https://doi.org/10.1038/s41598-021-02091-8>
- [92] 中山友瑛, & 片山正純. (2020). VR 空間における仮想手の光点提示に対する身体所有感.

- 認知科学, 27(4), 567-579. <https://doi.org/10.11225/cs.2020.044>
- [93] Bartneck, C., Kulić, D., Croft, E., & Zoghbi, S. (2009). Measurement instruments for the anthropomorphism, animacy, likeability, perceived intelligence, and perceived safety of robots. *International journal of social robotics*, 1, 71-81. <https://doi.org/10.1007/s12369-008-0001-3>
- [94] Yun, N., & Yamada, S. (2021). Empirical Investigation of Factors that Influence Human Presence and Agency in Telepresence Robot. arXiv preprint arXiv:2105.11767. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2105.11767>
- [95] Mavrogiannis, C., Hutchinson, A. M., Macdonald, J., Alves-Oliveira, P., & Knepper, R. A. (2019, March). Effects of distinct robot navigation strategies on human behavior in a crowded environment. In 2019 14th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI) (pp. 421-430). IEEE. <https://doi.org/10.1109/HRI.2019.8673115>
- [96] 国際連合広報センター, 持続可能な開発目標 (SDGs) とは [https://www.unic.or.jp/activities/economic_social_development/sustainable_development/2030_agenda/\(2023/05_アクセス\)](https://www.unic.or.jp/activities/economic_social_development/sustainable_development/2030_agenda/(2023/05_アクセス))
- [97] 大石康彦, & 井上真理子. (2020). 森林教育の領域に関する実証的考察. *日本森林学会誌*, 102(3), 166-172. <https://doi.org/10.4005/jjfs.102.166>
- [98] 舘 暲. (2015). テレイグジスタンス. *日本ロボット学会誌*, 33(4), 215-221. <https://doi.org/10.7210/jrsj.33.215>
- [99] 国立研究開発法人 科学技術振興機構, 稲見 ERATO 「自在化身体プロジェクト」, <https://www.jst.go.jp/erato/inami/> (2024年2月アクセス)
- [100] Sasaki, T., Saraiji, M. Y., Fernando, C. L., Minamizawa, K., & Inami, M. (2017). MetaLimbs: multiple arms interaction metamorphism. In *ACM SIGGRAPH 2017 Emerging Technologies* (pp. 1-2). <https://doi.org/10.1145/3084822.3084837>
- [101] Saraiji, M. Y., Sasaki, T., Kunze, K., Minamizawa, K., & Inami, M. (2018, October). Metaarms: Body remapping using feet-controlled artificial arms. In *Proceedings of the 31st Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology* (pp. 65-74). <https://doi.org/10.1145/3242587.3242665>
- [102] Miura, R., Kasahara, S., Kitazaki, M., Verhulst, A., Inami, M., & Sugimoto, M. (2021, February). Multisoma: Distributed embodiment with synchronized behavior and perception. In *Proceedings of the Augmented Humans International Conference 2021* (pp. 1-9). <https://doi.org/10.1145/3458709.3458878>

謝辞

本研究を遂行するにあたり、博士課程の長きに渡ってご指導くださった藤木淳教授に深く感謝いたします。研究を進める上で必須となる様々なアイデアや方法、知識を教えてください、今後の研究活動で基礎となる考え方や取り組み方を学ぶことができました。生活面でも気にかけてくださり、今日に至るまでサポートいただいたことにより研究を進めることができました。誠にありがとうございます。

松永康佑講師は3年次編入学し、現在に至るまで、様々な面で気にかけてくださりありがとうございました。また学部4年次の卒業研究ではご指導くださり、ありがとうございました。大学院に進学以降も親身に相談に乗っていただき、楽しく学生生活を送ることができました。

柿山浩一郎教授、三谷篤史教授、齋藤雅也教授には本論文の審査をしていただき誠にありがとうございます。また学部から大学院に至るまで講義をはじめ、様々な面でご指導していただき感謝いたします。

丸山洋平准教授には、研究で行う統計の考え方や具体的な統計処理について基礎からご指導いただき誠にありがとうございます。統計は全くの素人で何をすれば良いのか分からない状態から様々な事例や方法を教えていただいたことでなんとか論文を執筆することができました。

本学職員のみなさんには学生生活を過ごす上で様々なサポートをしていただきありがとうございました。またコロナ禍で学生や学外の人を被験者として募集できない中、職員の皆さんが積極的に実験参加していただいたことで本研究を遂行することができました。誠にありがとうございます。また大学警備をしている桜庭さんにはよくお声がけいただき、夜遅くまで残って作業していても楽しく過ごすことができました。

最後に、大学院の修了に至るまで支えてくれた家族や友人には感謝しかありません。誠にありがとうございます。