

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 11 日現在

機関番号：32670  
研究種目：基盤研究(B)（一般）  
研究期間：2020～2023  
課題番号：20H01788  
研究課題名（和文）視野安定性の機能に関する実験心理学的研究

研究課題名（英文）Experimental study of visual stability

## 研究代表者

竹内 龍人（TAKEUCHI, Tatsuto）

日本女子大学・人間社会学部・教授

研究者番号：50396165

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 12,700,000円

研究成果の概要（和文）：環境座標表現を構築する遅いシステムが環境内の空間認識精度向上をもたらし、身体と環境とのスムーズなインタラクションを可能にするという仮説を実験的に検証することを目的とした。心理実験を仮想現実空間内で行い、実験参加者は実験中に自由な身体運動（目や体の動き）を行った。視覚探索課題、大きさ判断課題、大きさの恒常性課題を行ったところ、（1）身体運動により空間認識の精度が向上する、（2）歩行を含む身体運動条件では、静止条件と比較して空間認識の様式が質的に変容する、という2点が明らかになった。これらの知見は、視野安定性の土台となる環境座標表現構築の機序や身体運動との関係性を解明する上で有用な手がかりになる。

## 研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では仮想現実空間において3つの実験（視覚探索、大きさ/長さ判断）を行い、2次元平面上における類似課題とは異なる心理学的特性を見いだすと共に、身体運動の重要性を明らかにした。そのために本研究結果は、いまだ心理学的、神経生理学的な研究の進展が遅れている環境座標表現構築の機序解明に向けた有用な手がかりになるという学術的意義がある。またその社会的意義は、空間デザインに対する指針を明示したことにある。つまり、環境、居住空間、あるいは交通網等における空間デザインでは、利用者自身の身体運動に基づいて、その脳内に適切な環境座標表現が構築できるようにサポートすることが望ましいデザイン指針となる。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study is to experimentally verify the hypothesis that a slow system for constructing spatiotopic coordinate representation enhances spatial recognition accuracy within the environment and enables smooth interaction between the body and the environment. Psychological experiments were conducted in a virtual reality space, where participants performed free body movements (eye and body movements) during the experiments. Upon conducting visual search tasks, size judgment tasks, and size constancy tasks, two main findings were revealed: (1) spatial recognition accuracy improves through body movement, and (2) the mode of spatial recognitions are qualitatively different for the body moving conditions compared to the static conditions. These findings provide useful insights for understanding the mechanism of constructing spatiotopic representation based on body movements, which is the basis of visual stability.

研究分野：実験心理学

キーワード：視野安定性 仮想現実空間 視覚探索 環境座標 網膜座標

## 1. 研究開始当初の背景

目や頭、体の複雑な動きに伴い、眼への入力画像(網膜像)の時空間変化は複雑なものとなる。例えば自然視で3~5回/秒という高頻度で生じるサッカード(高速な眼球運動)は網膜像に時空間的な断続を生じさせる。ところが私たちの知覚は基本的に安定しており、目の前の人や物が飛び跳ねて見えることはなく、また苦労もなく物の位置を覚えて手に取ったり、適切に空間内を移動したりすることができる。こうした認識や行動を可能にする機能を視野安定性(visual stability)と呼ぶ。断続した入力情報から安定した世界が知覚されるという意外な事実は、古今東西の賢人たちの興味を引いてきた。10世紀後半から11世紀にかけて活躍し、「光学の父」と呼ばれるイスラムの学者アルハゼンは、解かれるべき問題として視野安定性に言及している(Zimmermann et al., 2014)。

視覚の初期過程において、情報は網膜座標上に表現される。しかしながら、入力情報の時空間的断続にも関わらず外界が連続して知覚されることは、知覚の基礎は観察者を中心とした網膜座標表現にあるのではなく、外界を中心とした視点不変的な環境座標表現にあることを示唆する。視野安定性の古典的なモデルでは、サッカード情報を伝達する動眼神経系からの信号(遠心性コピー/随伴発射)に基づいて、「速いシステム」が入力信号の変化を予測し、サッカード毎に網膜座標表現をアップデートする(Duhamel et al., 1992)。後頭頂皮質や背部前頭皮質の神経細胞は、サッカード開始以前に受容野が予測的に移動することから、このアップデートを担っている可能性がある。一方で、こうした速いシステムの機能は知覚を素早く安定させることであり、理論的には環境座標表現を構築する必要性はない。

この速いシステムとは別に、観察者の周囲の状況(外界の空間構造や物体の空間位置関係)について、視点不変的な環境座標表現を脳内に構築するシステムの存在が実験的に示されている(Mario & Mazer, 2016; Melcher & Morrone, 2015)。環境座標に基づく情報は数100ミリ秒の時間を経て利用可能になるという心理物理実験結果から、これは「遅いシステム」として、前述の速いシステムと区別されている。前者については実験的証拠が示されているが、後者については未解明の点が多い(Yoshimoto et al., 2014)。

## 2. 研究の目的

この遅いシステムにより構築される環境座標表現の機能とは何か?その理解が本研究の目的となる。視点不変的な環境座標表現が構築されれば、視野の安定に加えて、環境内の物体の位置関係の把握や、それに基づく適切なナビゲーションが可能になると考えられる。遅いシステムによる環境座標表現の構築に基づいて、環境と身体とのスムーズなインタラクションが可能になるのであれば、遅いシステムにより環境内の物体に関する空間認識の精度は向上するという仮説が立てられる。この仮説を実証することは、視野安定性機序の理解において本質的な貢献になると考えられる。実用的な面からすると、環境、居住空間、あるいは交通などにおける空間デザインを考慮する上で、環境座標情報をどのように利用者に提供すればよいのか、という点に関して新しい示唆が得られると期待される。

## 3. 研究の方法

本研究では、遅いシステムが環境内における空間認識精度の向上をもたらし、身体と環境とのスムーズなインタラクションを可能にするという仮説を実験的に検証するという目的のために、心理実験を仮想現実(Virtual Reality, VR)空間内で行った。実験参加者はVR空間内で自由な身体運動(目や体の動き)ができるため、視野安定を実現する機能を検討することが可能となる。つまり、身体運動と環境座標表現構築との間の関係性を直接実験的に調べることができる。

実験参加者はVR空間内において、次の3つの課題を行った。

(1) 視覚探索課題: 視覚刺激としては、小さい円柱からなる要素を用意した。空間内における輪郭線の認識精度を検討するために、少数の要素から輪郭線を構成し、方位や位置がランダムな要素群の中に配置した。輪郭線を構成する要素のつながりは、仮想的な直線からの逸脱角度として定義した。この刺激をVR空間内に加えて2次元平面上においても提示し、輪郭線の探索実験を行った(次頁図)。探索時には、実験参加者は自由な身体運動が可能であった。

(2) 物体の大きさ推定課題: 空間内を移動する物体への認識精度を調べるために、VR空間内を実験参加者が歩行あるいは静止し、実験参加者に向かって運動している物体や静止している物体の大きさを推定させる実験を行った。物体は立方体であり、実験参加者の前方5mから移動してくる(速度可変)。この実験では、物体情報の認識の精度における実験参加者による注意の効果を検討するために、物体の運動中における画面暗転や実験参加者による逆唱課題を挟み込み、注意資源を操作した。

(3) 大きさの恒常性課題：空間内において大きさの恒常性が成り立つか、また成り立つとしたらその精度はどの程度かを推定するために、変形ポンゾ錯視を構成する壁構造をVR空間内に構築し、異なる奥行きに配置された2本の線分刺激の長さを比較した。ポンゾ錯視とは、奥行き感のある画像内(2次元平面上)で物理的に同じ長さの線分が手前側と奥側に配置されているとき、手前側の線分は奥側の線分よりも短く見えるという現象を指す。その際には、自由な身体運動を許す条件や、壁に向かって歩く条件に加えて、中心視野で観察する場合と周辺視野で観察する場合の条件を設けた。

以上のどの実験においても、実験参加者は自由に目や体を動かすことができたという点で、体(頭部)を固定した上で2次元画面に提示された刺激を観察する通常の視覚実験とは異なっていた。実験参加者が歩行を含む運動を行った場合、静止した条件と比較して空間認識にどのような精度の差が現れるかを調べることで、遅いシステムの機能を明らかにすることができると考えられる。



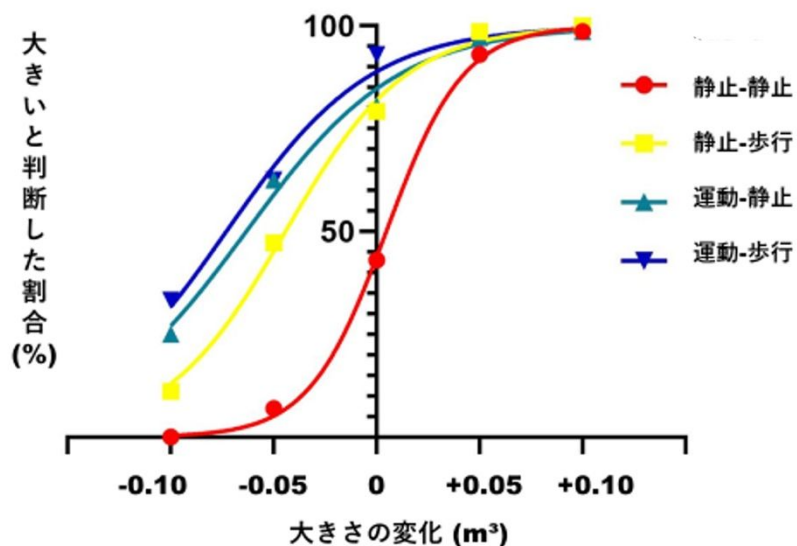
#### 4. 研究成果

先に記した3つの実験結果から総合して結論づけられることは以下の2点となる。

- (A) 身体運動により空間認識の精度が向上する
- (B) 歩行を含む身体運動条件では、静止条件と比較して空間認識の様式が質的に変容する

この2点の土台となったそれぞれの実験結果について記す。まず視覚探索課題(「3. 研究の方法」の(1))では、VR空間内のある物体の検出において、その物体を構成する垂直成分が大きな役割を示すことを見出した(上図右側グラフの90°条件)。従来の2次元空間上における研究から、視覚パターンにおける垂直成分と水平成分の双方に感度がよいことは「斜め効果」として古くから知られている。

しかしながら今回の発見は、網膜座標上にてみられるこの効果とは異なり、あくまで重力方向依存的な垂直成分にのみ感度がよい(検出率の向上および反応時間の減少)という結果となった。つまり、身体動作が伴う場合には、重力方向が定義される環境座標上における垂直成分が物体認識の鍵になることを示しており、実際に脳内で環境座標表現が構築されている証拠となるといえる。こうした

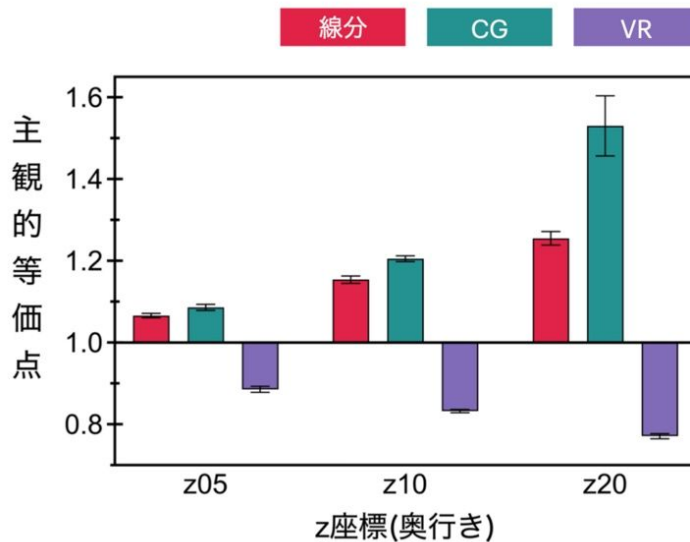


重力方向の垂直成分に対する特異的な高感度は、2次元空間における提示条件でみられなかった。身体運動が伴う状況により実験を行うことで、はじめてこうした重要な点が見出されたといえる。また、視覚探索中の視線パターンを測定したところ、視線一回の注視時間やサッカド振幅

が徐々に変化することがわかった。これらの変化は環境座標表現構築のプロセスと関連していると考えられる。

物体の大きさ推定課題（「3. 研究の方法」の（2））では、物体の大きさを操作することにより心理測定関数を導き出したところ、実験参加者の歩行が伴う場合には、静止した場合よりも物体の大きさ判断の精度が高まった。また、歩行時間が長くなるほどこの精度が高まった。歩行時における大きさ判断の精度向上はきわめてロバストであり、実験に参加した全被験者においてみられた。しかしその一方で、注意資源の枯渇により、物体の大きさに関する主観的等価点が静止した場合よりも顕著にずれることがわかった（前頁図）。これらの結果は、身体動作が伴うことにより脳内で環境座標表現が構築され、その結果として空間認識の精度が高まっていることを示していると同時に、環境座標表現構築にはより多くの注意資源が必要である可能性を示唆している。

大きさの恒常性課題（「3. 研究の方法」の（3））では、VR空間内にポンゾ錯視と類似した刺激状況を3次元的に作成した。まず同様の刺激を用い、2次元平面上で線分の長さの比較を行ったところ、これまで知られているようにポンゾ錯視が生じ、より手前に見える線分の方が短く見えた（左図の「線分（赤色）」、「CG（緑色）」条件）。ポンゾ錯視は大きさの恒常性の誤適用によると説明されているが、この結果はこの説と整合している。



たところ、これまで知られているようにポンゾ錯視が生じ、より手前に見える線分の方が短く見えた（左図の「線分（赤色）」、「CG（緑色）」条件）。ポンゾ錯視は大きさの恒常性の誤適用によると説明されているが、この結果はこの説と整合している。

VR空間内で同様の線分の長さ比較を行ったところ、より手前に配置された線分の方が長く見えるという、真逆の結果となった（左図の「VR（紫色）」条件）。線分の評価としては、見かけの奥行きが大きくなるにつれて長くなっている。この結果は、3

次元空間内では必ずしも環境座標系に基づく大きさの恒常性が機能しておらず、網膜座標系の情報のみに依存して長さ判断がなされた可能性を示している。

以上の実験では、実験参加者は静止していた。そこで、歩行しながら同課題を行ったところ、歩行時の周辺視において、大きさの恒常性に関する精度が特に向上することがわかった。つまり、3次元空間内において、網膜座標系の情報の重みが薄れ、環境座標系の情報利用にシフトしていった。以上の結果は、遅いシステムにおける空間精度向上には身体運動が重要であることに加え、環境座標表現が構築されたとしても、網膜座標情報に依存して空間認識が行われていることを示している。

以上をまとめると、これら3つの実験結果は、1) 身体運動の重要性・意義の一端は環境座標表現構築にあること、2) 身体運動は静止状態とは質的に異なる空間認識をもたらすこと、そして、3) 環境座標表現は必ずしも外界の正確なコピーではなく、網膜座標系からの情報が混在した形で知覚が成立していることを示している。

これらの知見は、視野安定性をもたらす上で欠かせない機能であると考えられているものの、いまだ心理学的・神経生理学的な研究の進展が遅れている環境座標表現構築の機序解明に向けた有用な手がかりになる。また、「2. 研究目的」で述べた実用的側面からは、自身の身体運動に基づいてより精度の高い環境座標表現が構築されるように、認識精度の向上をサポートするような空間デザインが利用者にとって望ましいと結論づけられる。

視野安定性における身体運動と空間認識の関係や環境・網膜座標系といった座標との関連性について、本研究では大きさの恒常性や長さ判断といった一部の現象を扱ったに過ぎない。観察者が静止した状況に置ける空間認知については、数多くの知見が積み上げられている。そういった知見を、視野安定性の土台となる身体運動という視点を取り入れた上で今後再検討していくことには大きな意義があると考えられる。

## 引用文献

- Duhamel, J. R., Colby, C. L., & Goldberg, M. E. (1992). The updating of the representation of visual space in parietal cortex by intended eye movements. *Science*, 255, 90–92.
- Marino, A. C., & Mazer, J. A. (2016). Perisaccadic updating of visual representations and attentional states: Linking behavior and neurophysiology. *Frontiers in Systems Neuroscience*, 10, 1–21.

- Melcher, D., & Morrone, M. C. (2015). Nonretinotopic visual processing in the brain. *Visual Neuroscience*, 32, 1–11.
- Yoshimoto, S., Uchida-Ota, M., & Takeuchi, T. (2014b). The reference frame of visual motion priming depends on underlying motion mechanisms. *Journal of Vision*, 14, 1–19.
- Zimmermann, E., Morrone, M. C., & Burr, D. C. (2014). Buildup of spatial information over time and across eye-movements. *Behavioural Brain Research*, 275, 281–287.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 8件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 8件）

1. 著者名 和崎夏子, 竹内龍人	4. 巻 35
2. 論文標題 仮想現実空間における知覚的群化	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 VISION	6. 最初と最後の頁 146-155
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.24636/vision.35.4_146	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 橋本悠那	4. 巻 30
2. 論文標題 ミニチュアを使用した実世界における大きさの恒常性の検討	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 日本女子大学大学院人間社会研究科紀要	6. 最初と最後の頁 35-41
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 和崎夏子	4. 巻 29
2. 論文標題 バーチャルリアリティ空間における形状の検出特性	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 日本女子大学大学院人間社会研究科紀要	6. 最初と最後の頁 1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 橋本悠那	4. 巻 29
2. 論文標題 実世界におけるボンゾ錯視の実験心理学的測定	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 日本女子大学大学院人間社会研究科紀要	6. 最初と最後の頁 7-14
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -



1. 著者名 Yoshimoto, S., Hayasaka, T.	4. 巻 22
2. 論文標題 Common and independent processing of visual motion perception and oculomotor response	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Vision	6. 最初と最後の頁 1-20
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1167/jov.22.4.6	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 吉本早苗・竹内龍人	4. 巻 73
2. 論文標題 錯視を生み出す視覚のメカニズム 目から脳へ	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 BRAIN and NERVE	6. 最初と最後の頁 1243-1248
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 和崎夏子・竹内龍人・吉本早苗	4. 巻 32
2. 論文標題 地下鉄路線図の探索における視線パターンに対する色情報の影響	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 画像ラボ	6. 最初と最後の頁 16-20
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Sanae Yoshimoto , Fang Jiang , Tatsuto Takeuchi , Arnold J. Wilkins , Michael A. Webster	4. 巻 173
2. 論文標題 Visual discomfort from flicker: Effects of mean light level and contrast	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Vision Research	6. 最初と最後の頁 50-60
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.visres.2020.05.0	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 和崎夏子・竹内龍人・吉本早苗	4. 巻 32
2. 論文標題 地下鉄路線図の探索における視線パターンに対する色情報の影響.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 VISION (日本視覚学会誌)	6. 最初と最後の頁 93-106
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.24636/vision.32.4	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 和崎, 夏子	4. 巻 27
2. 論文標題 3次元輪郭線形状の検出	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本女子大学大学院人間社会研究科紀要	6. 最初と最後の頁 105-110
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計10件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 3件)

1. 発表者名 竹内龍人
2. 発表標題 実験心理学に基づいた効果的な学習法
3. 学会等名 第12回日本理学療法教育学会学術大会 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Wasaki, N., Takeuchi, T
2. 発表標題 Characteristics of three-dimensional object recognition in virtual reality environment
3. 学会等名 38th Annual Meeting of the International Society for Psychophysics (国際学会)
4. 発表年 2022年



1. 発表者名 Wasaki, N., Takeuchi, T
2. 発表標題 Detection of 3-D objects in the virtual reality space
3. 学会等名 Vision Sciences Society 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 和崎夏子, 竹内龍人
2. 発表標題 3次元オブジェクトの認識は何に基づいているか? 仮想現実空間における検討
3. 学会等名 日本視覚学会2022夏季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 橋本悠那, 和崎夏子, 竹内龍人
2. 発表標題 ポンゾ錯視と逆ポンゾ錯視の生成機序
3. 学会等名 日本視覚学会2022夏季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 飯塚日向子・吉本早苗・竹内龍人
2. 発表標題 有彩色フリッカと視覚的不快感
3. 学会等名 日本基礎心理学会第41回大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Wasaki, N., Takeuchi, T.
2. 発表標題 Contour integration in 3-D space
3. 学会等名 European Conference on Visual Perception (ECVP2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 和崎夏子・竹内龍人
2. 発表標題 3次元オブジェクトの検出特性
3. 学会等名 日本視覚学会2022年冬季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 和崎夏子・竹内龍人
2. 発表標題 3次元形状認識における輪郭線統合
3. 学会等名 第26回日本バーチャルリアリティ学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 和崎夏子・竹内龍人
2. 発表標題 三次元空間における輪郭線の検出特性.
3. 学会等名 日本視覚学会冬季大会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 竹内龍人	4. 発行年 2023年
2. 出版社 誠文堂新光社	5. 総ページ数 80
3. 書名 目と脳がカギ - 色のふしぎ	

1. 著者名 竹内龍人・吉本早苗	4. 発行年 2021年
2. 出版社 ニュートンプレス	5. 総ページ数 144
3. 書名 Newton別冊 ゼロからわかる心理学 錯覚の心理編	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	吉本 早苗  (YOSHIMOTO Sanae)  (80773407)	広島大学・人間社会科学研究科(総)・助教   (15401)	

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	和崎 夏子  (WASAKI Natsuko)		
研究協力者	橋本 悠那  (HASHIMOTO Yuna)		

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	齋藤 彩里  (SAITO Akari)		

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関