

令和 3 年 5 月 21 日現在

機関番号：13901

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2019～2020

課題番号：19K22870

研究課題名（和文）ヴァーチャル・リアリティー比較社会認知科学の創出：パーソナルスペースの生物学的基盤

研究課題名（英文）An exploratory study on comparative social cognitive science: a biological basis of personal space

研究代表者

川合 伸幸（KAWAI, Nobuyuki）

名古屋大学・情報学研究科・教授

研究者番号：30335062

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 5,000,000円

研究成果の概要（和文）：比較認知科学で動物の社会認知が調べられていたが、動物がヒト（実験者）をどのように認識するかという観点での研究であり、同種間の社会行動を実験者が意図したように操作した実験はできなかった。そこで動物CGを製作し、霊長類の社会行動の基盤である「パーソナルスペース」を調べた。液体報酬摂取中のマーモセットにCGマーモセットが正面から近づいてくる動画を提示したところ、CGのマーモセットが前進してくると通常のマーモセットは平均7秒でノズルから口を離したが、6個体中4個体VPAマーモセットは、CGマーモセットが接近してもノズルから口を離さず、ヒト自閉症者と同様にパーソナルスペースが小さいことが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

動物の社会行動を調べる研究は、動物の認知を知るだけでなく、動物園などの環境エンリッチメントにも有用である。同種他個体に対する認知や行動を調べる必要があるが、動物は、実験者が計画したとおりに行動しないので、同じ条件での実験実施が困難であった。仮想現実（VR）技術を用い、霊長類（パーソナルスペース）と頭足類（体色変化）の社会行動を調べ、実験者が意図した条件で動物の社会行動の研究が可能であることを示した。

研究成果の概要（英文）：This study aimed to establish a new study domain called “virtual reality comparative and social cognitive science”. We created computer graphic (CG) animal models in virtual reality (VR) environments and tested whether live animals interact with those CG animals. Marmoset monkeys stopped their on-going behavior when they watched a CG marmoset approaching but not when they watched that of static image. We gave instructions on various chromatic body patterns of cuttlefish to deep learning system, which enabled us to discriminate six chromatic patterns (uniform, circle, disruptive, dark, line and eyespots) of cuttlefish with successful rate over 77% within 0.02 sec analysis time. We also succeeded to create the CG of cuttlefish that exhibit the six chromatic patterns above and can move as well. This is the most elaborate CG system of cephalopods so far. By using these systems, we can expect to develop unique behavioral test for animal social behavior in the future.

研究分野：実験心理学・認知科学

キーワード：比較認知 ヴァーチャル・リアリティー パーソナルスペース 社会行動 霊長類

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

本研究開始以前から比較認知科学の社会認知研究がおこなわれてきたが、それらのほとんどは、動物がヒト(実験者)をどのように認識するかという観点で研究が行われてきた(e.g., Kawai et al., 2014, *Biology Letters*)。しかし社会認知過程の進化を調べるためには、ヒトに対する認知や行動だけでなく、同種他個体に対する認知や行動を調べる必要がある。ただ、そこには大きな問題があった。ヒトとは異なり動物は、実験者が計画したとおりに行動しないので、同じ条件で実験を実施することが困難であった。たとえば、社会行動の基盤である「パーソナルスペース」を調べようとしても、動物は実験者が意図したように行動しない。距離を縮めると威嚇をしたり喧嘩が生じることもあるため、動物を自由に制御する手法の開発が求められていた。

しかし、仮想現実(virtual reality: VR)技術のインフラが進み、フリーで比較的容易に使えるソフトウェアが利用できるようになった。研究分担者の池田研究室では、イカに対して捕食者であるサカナが近づいてくるVR映像を見せると、イカは水槽から飛び出して逃げ、同種他個体の接近映像に対しても、実際の個体が接近したような行動を示すことが示されていた。

### 2. 研究の目的

このような技術を用いることで、これまで困難であった、他個体認知を研究するために動物を実験者が考えたように動かすことが可能になる。社会性動物にとって生活の基盤は「なわばり」であるが、本研究ではさらにその基底に存在しているはずの動物の「パーソナルスペース」がどのように進化・収斂したかを探るために、きわめて異なる系統に位置するが、同じように高い社会認知を示す霊長類、鳥類、頭足類の行動と生理を比較検討する。具体的には、動物を仮想現実空間において、CGの同種他個体との距離を変化させることで、どのような行動や生理的变化が生じるかを調べることを目的とした。

また、研究代表者はこれまでに、国立精神・神経医療研究センターの一戸氏らが作出したマーモセットが自閉症様行動を示すことを明らかにしてきた(Yasue et al., 2015, 2018)。自閉症者は、他者とのパーソナルスペースが小さいとの報告があるため(Asada et al., 2016)、この自閉症モデル・マーモセットと統制個体のマーモセットでパーソナルスペースを比較することを第二の目的とした。

### 3. 研究の方法

3-1) VR画像の製作: 本研究補助金で雇用された岡本光平研究員が、マーモセットとイカのVR画像を製作した。

3-2) マーモセットの実験:

右図のように小型のケージに入り、モニター中央に面した穴から液体報酬を継続的に摂取する訓練を実施した。

マーモセットが画面に向けて液体を飲んでいるときに、マーモセット正面のトCGが動かない静止画条件と、正面の静止画がまっすぐ近づいてくる動画の2つを見せた。これらを自閉症モデル・マーモセット6頭と、通常のマーモセット4頭に提示し、ノズルから口を離すまでの時間をパーソナルスペースの指標とした。

### 4. 研究成果

#### 4-1) マーモセットの研究成果

静止画像が提示されても通常の(UF)マーモセットはノズルから口を離さなかったが、CGのマーモセットが前進してくると自閉症モデル(VPA)・マーモセットは平均7秒以内にノズルから口を離した。しかし、VPAマーモセットは、静止画ではおよそ5秒で離れたものの、接近する動画では6個体中4個体までがCGマーモセットが接近してもノズルから口を離さなかった。下の図は、それぞれの条件で画像が提示されてからノズルから口を離すまで(最長12秒)の潜時を示したものである。これらのことから、ヒト自閉症と同じようにパーソナルスペースが小さいことが示唆される。



【図1】防音室内イメージ

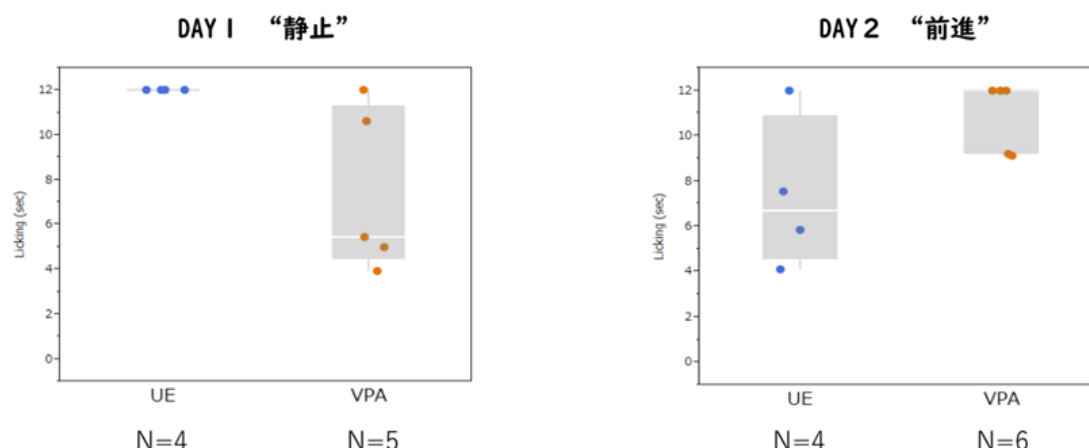


【図2】ビデオカメラ撮影映像(スクリーンショット)



また、この結果から、CG を用いて、動物の社会行動を調べることが可能であること、またそれはヒトの行動と比較することも可能であることを示している。

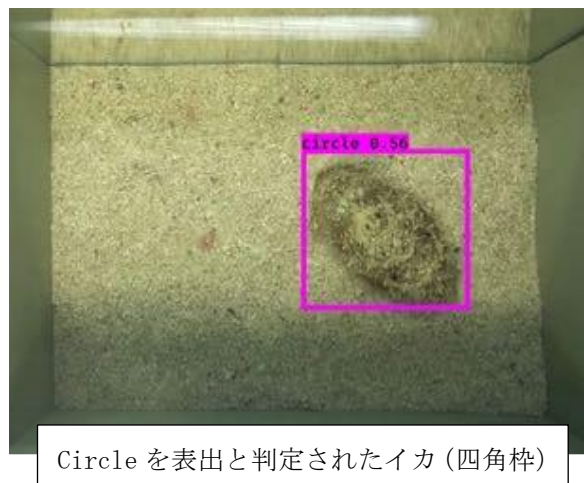
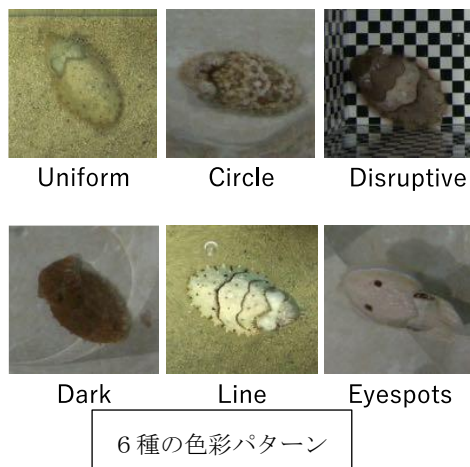
すなわち、研究当初の目的として掲げた「ヴァーチャル・リアリティー比較社会認知科学」ともいべき研究アプローチが可能であることを示唆している。



#### 4-2) 頭足類の研究成果

頭足類（イカ・タコ）は神経支配された体表の色素胞と反射細胞の働きで、多様で多彩な体色を瞬時に表出することができ、その表出速度は動物界最速である。これら体色を基調としたボディパターンはカモフラージュや同種同士のコミュニケーションに用いられているが、その定量的解析の手法は十分に確立されていない。その主要な理由は、ボディパターンが色彩、明暗変化を伴う連続的な過程であるため、肉眼で個々のパターンを明瞭かつ迅速に判別し区別することが難しいからである。また、特定のボディパターンを生体に人為的に表出されることは不可能で、頭足類がボディパターンを介してどのようなコミュニケーションを行なっているのかを読み解くことは、現在に至るまで成功していない。このような背景を踏まえ、頭足類のボディパターンを自動判別する画像システムを作成した。さらに、VR 技術を駆使し、ボディパターンを実装した頭足類のアニメーションシステムを作成した。

ボディパターン判別システムの作成に際しては、深層学習を利用した。研究室で撮影したトラフコウイカの映像（計 105 時間）をソースとして、本種および他のコウイカ類が高い頻度で表出する 6 種の色彩パターン（Uniform, Circle, Disruptive, Dark, Line, Eyespots）を抽出し



自動分類

	Uniform	Circle	Disruptive	Dark	Line	Eyespots	未検出	精度(%)
Uniform	24	4	4	8	4	0	7	48
Circle	0	50	4	0	1	0	0	100
Disruptive	4	10	40	0	6	1	0	80
Dark	0	0	2	43	5	0	4	86
Line	2	2	3	0	42	0	3	84
Eyespots	13	3	3	0	8	33	1	66

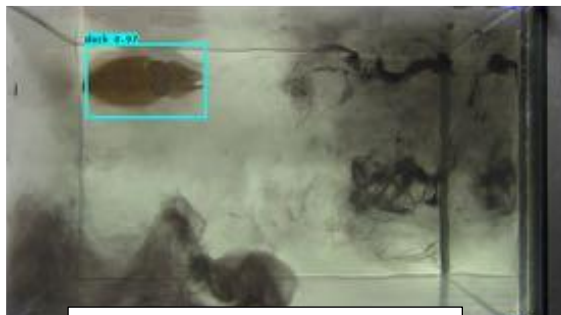
画像判定 (自動分類) とその正解率

た。そして、これらを教師ラベル付けし、深層学習により自動分類モデルを作成した。

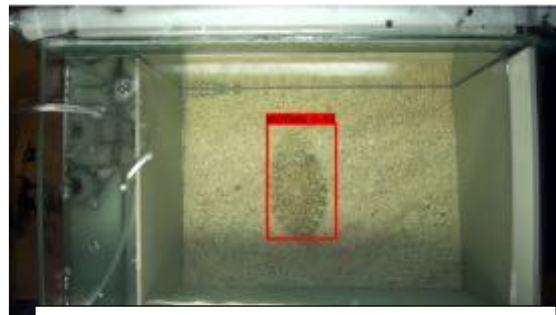
学習させたモデルでテスト画像を分析し、各体色パターンの自動分類の成功率を調べたところ、全体の平均成功率 77% という高い精度を得た。また、画像の分析に要した時間は、出力画像の生成を含めて 0.20 秒であった。つまり、頭足類のボ

ディパターンを迅速かつ高精度に判別することができる画像システムの作成に成功した。

このシステムは、一見すると判別が困難なボディパターンの分析も可能とする。例えば、イカが墨を吐くという行動をとると、水中に広がる墨が視覚的におとりのような効果を生じるが、そのような状況下でもイカをその表出パターンとともに識別することができる。また、底質に体色を酷似させるカモフラージュを行っているイカの検出は極めて難しいが、この画像システムはそのようなイカもそのボディパターンとともに検出することができる。



墨吐きしたイカの判別 (枠内)



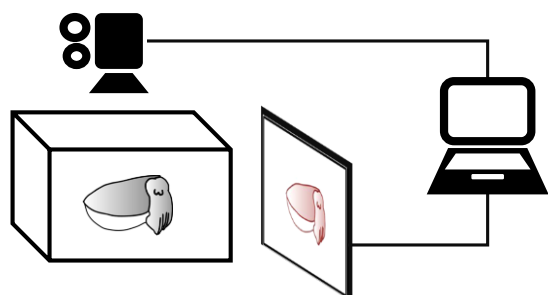
カモフラージュしたイカの判別 (枠内)

頭足類のアニメーションシステムの作成には、上述したトラフコウイカの映像をソースとして、既存のコンピュータソフトを用いた。これにより、6種の体色パターン（前掲）を実装したトラフコウイカのアニメーションを作成した。このアニメーションは、体色に加え動きも実装したもので、リアルタイムで体色と動きを操作可能なものである。現在までのところ、科学研究用の頭足類のアニメーションとしては、本システムが最も精巧で動作性にも優れたものである。



イカ CG の一例（色彩と動きを実装）

これらボディパターン画像システムとアニメーションシステムを組み合わせることで、イカ生体が表出するボディパターンをリアルタイムで分析、判別し、そのデータに基づいてアニメーションシステムの VR イカに特定のボディパターンや動きをリアルタイムで表出させるという、新しい行動実験系（リアルタイム行動分析・表出システム）の創出が期待される。本研究は、そのような試みを実現させる基盤を提供するものである。



リアルタイム行動分析・表出システム

#### 4-3) 主な発表論文

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2 件)

- ① Kawai, N., Nakata, R., & Kubo-Kawai, N. (2020). Older adults exhibit greater brain activity than young adults in a selective inhibition task by bipedal and bimanual responses: An fNIRS study. *NeuroReport*, 査読有, 31, 1048-1053, DOI:10.1097/WNR.0000000000001516
- ② 川合伸幸 (2019). 高齢者は凶暴か? *心と社会* 50, 22-26.



〔学会発表〕(計 14 件)

- ① 岡本光平, 池田譲, 川合伸幸, 伊澤栄一 深層学習によるリアルタイム体色パターン認識と連動した頭足類のアニメーションシステム 日本水産学会 春季大会 2021年
- ② 與那嶺沙季, 川島堇, 池田譲, 伊澤栄一, 川合伸幸 タコ類の身体性に関わる腕の機能局在に関する解剖学的研究 日本水産学会 春季大会 2021年
- ③ Nakamura, M., Nakagami, A., Nakagaki, K., Kawai, N., & Ichinohe, N. Hyperactivity in the valproic acid-induced marmoset model of autism 第43回日本神経科学大会 2020年
- ④ 三浦慎司, 川合伸幸 応援に伴う身体運動は映像作品の登場人物の魅力を高めるか 日本認知科学会第37回大会 2020年
- ⑤ 瀬口瑛子, 伊澤栄一 バソプレッシン 1a 受容体阻害がハシブトガラスのオス間の社会的絆を障害する. 第44回鳥類内分泌研究会 2020年
- ⑥ 高橋奈々, 伊澤栄一 Effect of corticosterone blocking on memory-based aggressive behavior in captive large-billed crow (*Corvus macrorhynchos*). 日本動物心理学会第80回大会 2020年
- ⑦ 中田龍三郎, 久保(川合) 南海子, 川合伸幸 交通渋滞場面での怒りの接近動機づけ(攻撃性)における加齢の影響 -近赤外線分光法(NIRS)・心拍出量・唾液中コルチゾールを用いた検討- HCS(ヒューマンコミュニケーション基礎研究会) 2019年
- ⑧ 川合伸幸, 中田龍三郎, 久保賢太 誰かと対戦しているとの思い込みがビデオゲームを楽しくさせる: 事象関連電位(P300)による検討 人工知能学会全国大会(第33回) 2019年
- ⑨ Nakamura, M., Nakagami, A., Nakagaki, K., Kawai, N., & Ichinohe, N. Elucidation of biological rhythms in a non-human primate model of autism using a collar-worn accelerometer NEURO2019 (The 42nd Annual Meeting of the Japan Neuroscience Society) 2019年
- ⑩ 郭苗根, 中田龍三郎, 川合伸幸 食事の社会的促進に関する研究: 他人が食事している映像は社会的促進が生じるが、他人が話をしている映像では生じない。 日本認知科学会第36回大会 2019年
- ⑪ 三浦慎司, 川合伸幸 日本刀の印象評価は身体感覚に左右されるのか 日本認知科学会第36回大会 2019年
- ⑫ Nakamura, M., Nakagami, A., Nakagaki, K., Ichinohe, N., & Kawai, N. Hyperactivity in the valproic acid-induced marmoset model of autism 日本動物心理学会第79回大会 2019年
- ⑬ Nakamura, M., Nakagami, A., Yasue, M., Nakagaki, K., Kawai, N., & Ichinohe, N. Hyperactivity in the valproic acid-induced marmoset model of autism Society for Social Neuroscience 10th Anniversary Meeting 2019年
- ⑭ 岡本光平, 池田譲 深層学習によるトラフコウイカのリアルタイム体色パターン認識 日本動物行動学会第38回大会 2019年

〔図書〕(計 4 件)

- ① 中田龍三郎・川合伸幸 『プロジェクション・サイエンス 心と身体を世界につなぐ第三世代の認知科学』第6章「社会的な存在 -他者- を投射する」近代科学社 2020年 139-157頁
- ② 池田譲 『タコは海のスーパーインテリジェンス: 海底の賢者が見せる驚異の知性』化学同人 2020年 232頁
- ③ 池田譲 『タコの知性: その感覚と思考』朝日新聞出版 2020年 264頁
- ④ Kawai, N. (2019). The fear of snakes: Evolutionary and psychobiological perspectives on our innate fear. *Springer Nature:Singapore*. 187p.

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.cog.human.nagoya-u.ac.jp/~kawai/>

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 川合伸幸	4. 巻 50
2. 論文標題 高齢者は凶暴か？	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 心と社会	6. 最初と最後の頁 22-26
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 Kawai, N., Nakata, R., & Kubo-Kawai, N.	4. 巻 31
2. 論文標題 Older adults exhibit greater brain activity than young adults in a selective inhibition task by bipedal and bimanual responses: an fNIRS study	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 NeuroReport	6. 最初と最後の頁 1048-1053
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1097/WNR.0000000000001516	査読の有無 有
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 -

〔学会発表〕 計14件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 中田龍三郎, 久保(川合) 南海子, 川合伸幸
2. 発表標題 交通渋滞場面での怒りの接近動機づけ（攻撃性）における加齢の影響 - 近赤外線分光法（NIRS）・心拍出量・唾液中コルチゾールを用いた検討 -
3. 学会等名 HCS(ヒューマンコミュニケーション基礎研究会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川合伸幸, 中田龍三郎, 久保賢太
2. 発表標題 誰かと対戦しているとの思い込みがビデオゲームを楽しくさせる：事象関連電位（P300）による検討
3. 学会等名 人工知能学会全国大会（第33回）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Nakamura, M., Nakagami, A., Nakagaki, K., Kawai, N., & Ichinohe, N.
2. 発表標題 Elucidation of biological rhythms in a non-human primate model of autism using a collar-worn accelerometer
3. 学会等名 NEURO2019 (The 42nd Annual Meeting of the Japan Neuroscience Society)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 郭茁根, 中田龍三郎, 川合伸幸
2. 発表標題 食事の社会的促進に関する研究: 他人が食事している映像は社会的促進が生じるが、他人が話をしている映像では生じない。
3. 学会等名 日本認知科学会第36回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 三浦慎司, 川合伸幸
2. 発表標題 日本刀の印象評価は身体感覚に左右されるのか
3. 学会等名 日本認知科学会第36回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Nakamura, M., Nakagami, A., Nakagaki, K., Ichinohe, N., & Kawai, N.
2. 発表標題 Hyperactivity in the valproic acid-induced marmoset model of autism
3. 学会等名 日本動物心理学会第79回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Nakamura, M., Nakagami, A., Yasue, M., Nakagaki, K., Kawai, N., & Ichinohe, N.
2. 発表標題 Hyperactivity in the valproic acid-induced marmoset model of autism
3. 学会等名 Society for Social Neuroscience 10th Anniversary Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岡本光平, 池田謙
2. 発表標題 深層学習によるトラフコウイカのリアルタイム体色パターン認識
3. 学会等名 日本動物行動学会第38回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 三浦慎司, 川合伸幸
2. 発表標題 応援に伴う身体運動は映像作品の登場人物の魅力を高めるか
3. 学会等名 日本認知科学会第37回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Nakamura, M., Nakagami, A., Nakagaki, K., Kawai, N., & Ichinohe, N.
2. 発表標題 Hyperactivity in the valproic acid-induced marmoset model of autism
3. 学会等名 第43回日本神経科学大会
4. 発表年 2020年



1. 発表者名 高橋奈々, 伊澤栄一
2. 発表標題 Effect of corticosterone blocking on memory-based aggressive behavior in captive large-billed crow ( <i>Corvus macrorhynchos</i> ).
3. 学会等名 日本動物心理学会 第80回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 瀬口瑛子, 伊澤栄一
2. 発表標題 バンプレッシン1a受容体阻害がハシブトガラスのオス間の社会的絆を障害する.
3. 学会等名 第44回鳥類内分泌研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 與那嶺沙季, 川島董, 池田譲, 伊澤栄一, 川合伸幸
2. 発表標題 タコ類の身体性に関わる腕の機能局在に関する解剖学的研究
3. 学会等名 日本水産学会 春季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岡本光平, 池田譲, 川合伸幸, 伊澤栄一
2. 発表標題 深層学習によるリアルタイム体色パターン認識と連動した頭足類のアニメーションシステム
3. 学会等名 日本水産学会 春季大会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計4件

1. 著者名 Kawai Nobuyuki	4. 発行年 2019年
2. 出版社 Springer Nature	5. 総ページ数 187
3. 書名 The fear of snakes: Evolutionary and psychobiological perspectives on our innate fear.	

1. 著者名 中田龍三郎・川合伸幸	4. 発行年 2020年
2. 出版社 近代科学社	5. 総ページ数 256 ( 第6章139-157 )
3. 書名 プロジェクト・サイエンス 心と身体を世界につなぐ第三世代の認知科学 第6章「社会的な存在 - 他者- を投射する」	

1. 著者名 池田讓	4. 発行年 2020年
2. 出版社 化学同人	5. 総ページ数 232
3. 書名 タコは海のスーパーインテリジェンス: 海底の賢者が見せる驚異の知性	

1. 著者名 池田讓	4. 発行年 2020年
2. 出版社 朝日新聞出版	5. 総ページ数 264
3. 書名 タコの知性 : その感覚と思考	

〔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	伊澤 栄一  (IZAWA Ei-ichi)  (10433731)	慶應義塾大学・文学部(三田)・教授    (32612)	
研究分担者	池田 譲  (IKEDA Yuzuru)  (30342744)	琉球大学・理学部・教授    (18001)	

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