

令和 4 年 6 月 1 日現在

機関番号：82401

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2021

課題番号：17H03549

研究課題名(和文) 霊長類頭頂弁蓋部・後部島皮質における自己意識の表象

研究課題名(英文) Representation of the self-consciousness in the primate parietal operculum and posterior insula

研究代表者

入来 篤史(Iriki, Atsushi)

国立研究開発法人理化学研究所・生命機能科学研究センター・チームリーダー

研究者番号：70184843

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,600,000円

研究成果の概要(和文)：ニホンザルに対して鏡や仮想現実装置を用いて訓練すると、自然状態では発現しないとされる自己鏡映像認知を示す行動を引き起こすことが出来た。このサルは、身体部位によらない全身の体性感覚情報および触・視・聴覚情報の処理をになう、大脳皮質第二体性感覚野とその周辺の頭頂弁蓋部および後部島皮質の神経活動の解析によって、意識の主体としての自己が単なる身体部位の物理的な集合体ではなく、他者や周囲生存環境との関係性において、その総体の一部として構造化される「概念的自己」として表象されることを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまで明確に理解されていなかった、大脳皮質第二体性感覚野の特徴的な新たな機能的意義を明らかにすることによって、感覚情報処理の理解に新機軸を打ち出すことが出来た。ことに、人間知性の特徴であるとされる意識の基盤として、霊長類脳を対象とした反証可能な実証的実験研究によって、この領域が自己意識の座として、自己と環境世界を構造化して橋渡しする場であることが提唱され、意識研究の発展に大きく資することにより、豊かな人間社会を設計するための科学的基盤となることが期待される。

研究成果の概要(英文)：Training of Japanese macaques using mirrors and virtual reality devices was able to induce behaviors that show self-mirror image recognition, which has been considered not to occur in the natural state. In such monkeys, neuronal activities were recorded from the secondary somatosensory area of the cerebral cortex and its surrounding parietal operculum and posterior insular cortex, which process and integrate, in addition to the somatosensory information, other information of visual and auditory modalities related the whole body regardless of the body parts. By analyzing activity patterns of those neurons, the self as the subject of consciousness was represented as not just a physical aggregate of body parts, but is structured to comprise a part of the whole in relation to others and the surrounding living environments, which further advanced considerations to establish the concept of the core-self, by philosophical and psychological speculations.

研究分野：霊長類およびヒトの知性進化の認知神経生物学的メカニズムの解明

キーワード：自己意識 第二体性感覚野 頭頂弁蓋部 自己鏡映像 bimodal コーア

### 1. 研究開始当初の背景

サルに道具使用を訓練することで、志向的に身体像を変調させる能力を獲得したことに対応して、この機能に直接関与する頭頂葉 (IPS)・上側頭回 (STS) に加えて、第二体性感覚野 (SII) を含む頭頂弁蓋部・後部島皮質が膨大することを見出していたが (図1 [①])、その機能的意義は不明であった。また、SII では体性感覚に加えて身体関わる視覚情報との統合が進み [②]、体部位に限局しない広範な身体部位に亘る大規模受容野が系統的に再現されること [③] を見出しており、従来の SII の機能・構造に関する知見では、これらを包括的に説明する理論が無く、身体総体に関わる大脳情報処理に関する何かの概念転換が必要であった。そこで、従来の単に身体内外からの情報を受動的に処理するだけではなく、世界の中で自己の内と外との関係を能動的に構成する、「自己意識」の概念の導入がこれに有益と考え、また、自己意識は自己の身体に依拠しつつ、より大きな脳機能としての「意識」全般の基盤となるものであるとの立場から、反証可能な実証的実験研究の対象として検討を進めることとした。

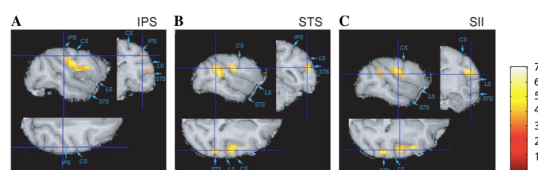


図1:サル道具使用訓練による脳膨大部

### 2. 研究の目的

「意識」の主体としての自己を『身体部位の物理的な集合体』ではなく、広くその生存環境の中に位置付けられる一体的な総体としての『概念的自己』として捉え、1) 生物的身体の総体としての自己、2) 他者との関係における相対的な自己、3) 周囲生存環境との関係性においてその一部として構造化される自己、の諸側面から脳内における自己意識の表象を明らかにすることを目指す。身体部位によらない全身の体性感覚情報および触・視・聴覚情報の処理をにう第二体性感覚野とその周辺領域の頭頂弁蓋部と後部島皮質を対象にし、自己意識の表象に関わるニューロンの性質を明らかにする。本研究では、ニホンザルに対して自己鏡映像認知の訓練を施し、通常視覚的に見ることの出来ない頭部などの身体部位を、鏡映像を介して「自己身体」と認知させることで、自己意識に関わる神経活動を記録し電気生理学的に解明する。これにより、従来その役割の理解が十分でなかった第二体性感覚野とその周辺領域の機能的解明に新たな視点を提供することを目的とする。

### 3. 研究の方法

本研究は以下に詳述するように、(1)まずサルに自己を意識することが必要な行動様式を発現する様に訓練し、(2)次いでその行動下で自己の表象に関わる神経活動を記録・解析した後、(3)当該脳部位との大脳皮質間神経結合を探索し、(4)それらの知見を糾合して自己意識の脳内表象の構造に関する理論を構築して新たな概念を提唱する、という4段階で構成された。

(1) 自己像認知行動の訓練： 自然状態では鏡映像自己認知を示さないサルに鏡に映った自己鏡映像に興味を持つように「仕向ける」ことから始める。この条件馴化を通して、鏡に映った自己像を手掛かりにした自発行動を発現するようになった後、VR (virtual reality; 仮想現実) 技術を用いて (図2)、仮想鏡面としてのモニタ上の自己像・背景に合成された他個体のサル・周囲環境の映像やそれらの相互関係を時空間的にさまざまに操作変調させることによって、それらに対する自己志向的行動がどのように発現されるかを、自動骨格運動検出システムを駆使して検討する。

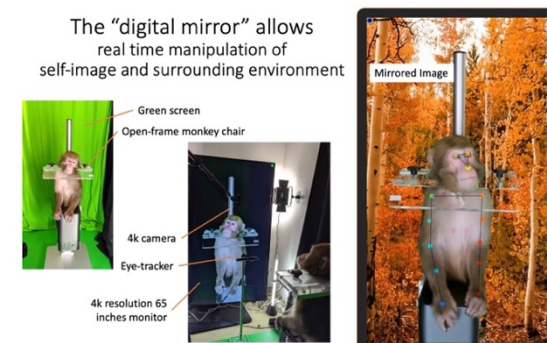


図2:VRによるデジタル鏡映像システム

(2) 鏡映像認知による自己意識を表象する神経活動： 自己鏡映像認知を習得した個体の頭頂弁蓋部・後部島皮質より無麻酔下で単一神経活動を記録し、身体刺激に対して視覚的体性感覚的に応答する bimodal ニューロンの活動を解析する。鏡映を介してのみ視覚的に確認出来る頭部に受容野を持つニューロン、全身に受容野を持つニューロン、受容野にサル自身が触れたときと実験者が触れたときで違う反応を示すニューロンに着目する。さらに、ビデオ画像による鏡映像のモニター上への提示により、視覚と体性感覚刺激のタイミングをコントロールし、また、他者との相互関係を仮想的に創出し、自己意識に関わる bimodal ニューロンの応答特性を検討する。

(3) 皮質間神経連絡の解明： 電気生理学実験の終了後、自己意識に関わるニューロンの分布域に、神経活動で得られた種々のニューロン群の分布域の局在性に応じて複数の蛍光トレーサを注入し、感覚入力の原因および情報投射先を明らかにする神経解剖学実験を行う。

(4) 理論構築： 得られた実験的事実にもとづき、認知心理学や哲学 (現象学) の知見を糾合して、生活環境の中における総合的な「自己意識」を構成する新たな包括概念を創出して提唱する。

#### 4. 研究成果

(1) 自己像認知行動の訓練： 全身が映る鏡の前に置いたチェアにサルを座らせ、自己身体に対する接触を体性感覚と鏡像を介した視覚の両方で検出可能にする条件をつくり、実験者がサルの種々の身体部位に接触刺激を加える訓練を行ったところ、サルは身体に照射された赤色LEDを自己鏡映像を見ながら手で追いかける行為を示す様になると同時に、鏡映像を注視しながら、自己の口唇や胸部のグルーミングを自発的に行うようになったことから、自己鏡映認知が成立したと判断した。この後、ビデオ画像による鏡映像のモニター上への提示により、視覚と体性感覚刺激のタイミングをコントロールしたり、映像内の自己像や仮想的に重畳提示した他者や種々の環境条件との相互関係を創出し、これらの時空間的な操作によっても一定程度の変調までは鏡映像内の自己認知行動が追従することが明らかとなり、神経活動記録の準備が整った。

(2) 鏡映像認知による自己意識を表象する神経活動： 行動訓練が完了したサルのSIIを含む頭頂弁蓋部とその周辺脳領域より無麻酔下で単一神経活動を記録し、身体刺激に対して視覚的体性感覚的に応答するbimodalニューロンの性質を調べた。記録されたbimodalニューロンのうち、最も多く観察されたのは身体周辺の動き刺激に対する視覚応答をしめすものであった。これらの中には、頭部など鏡を介して初めて確認できる身体部位に受容野を持つニューロンがあった。また、自身の背後の動きに特異的に応答するニューロンなども見つかった。これらの視覚応答は自己鏡映像を介したものであるから、自己鏡映認知に関わる神経活動と想定した。また、新たに自己と他者の区別に関係する可能性のあるニューロン活動も記録できた。これらの中には、自己身体周辺に視覚受容野を持つニューロン、自己と他者による自己身体への刺激に対し異なる応答を示すニューロンが存在すること、などが明らかになった(図3, 4, 5 [④])。

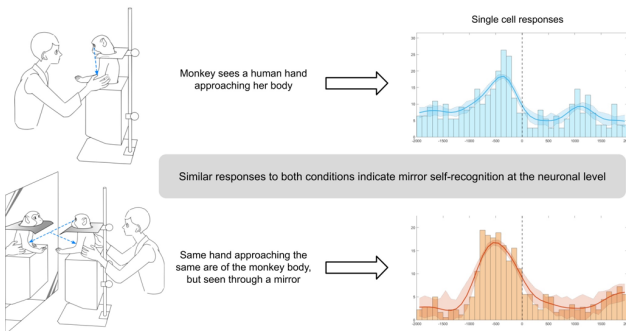


図3: 自己鏡映像をコードするニューロン活動

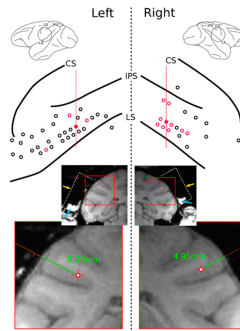


図4: 神経活動記録部位

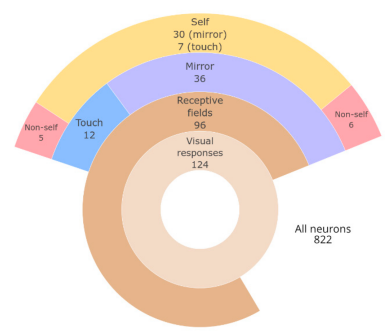


図5: 自他をコードするニューロン数

また、視覚刺激用のバーチャル環境内に組み込まれた画像の提示と身体各部位への触刺激提示装置による刺激のタイミングを、相互に前後させながら逐次連続的に変化させた時の応答の変化を調べたところ、自己意識が環境構造との時空間的關係に依存して減衰・消失したことを表象すると推定されるニューロン活動の変化が観察された(論文準備中)。これらの結果は、体性感覚高次情報処理機構のなかに、従来の「身体地図」を超えて「環境中の自己概念」を多種感覚統合によって表象するメカニズムが、第二体性感覚野に関連して存在することを示唆した。

(3) 皮質間神経連絡の解明： 総ての生理実験終了後のサルの、自己意識に関与する種々活動様式を示すニューロンの記録部位の分布域別に、複数の蛍光標識トレーサを注入して、皮質間神経結合の解析を行った。図6にはその結果の一部として、SII 手指領域と他の皮質部位との、順行性および逆行性トレーサの注入結果をまとめた概念図を示す。また、図7には、他の隣接する2部位にそれぞれ別種の逆行性蛍光標識物質の注入によって標識された投射起始細胞の分布例を示す。現在、複数のサルの標識結果をまとめて論文準備中である。

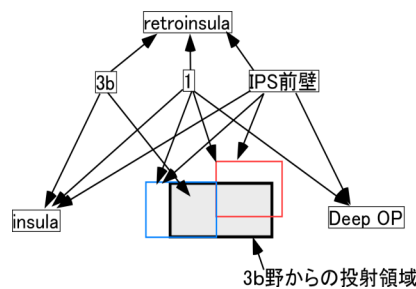


図6: SII 指領域の皮質間結合

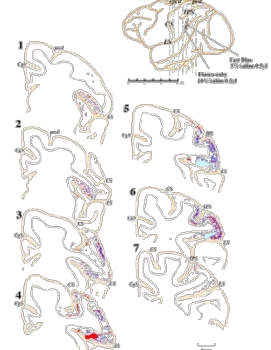


図7: 神経標識例

(4) 自己意識を基盤とした世界観の形成に関する理論研究： 神経活動記録から明らかになったような、自己や他者さらには外部環境との関係性をもとに世界を統合的に認識するためには、何らかの基準点と座標軸が必要であることを手掛かりに、本研究で得られた実験研究の結果と、認知心理学や哲学(主に現象学)の知見を糾合して、新たな自己意識概念を提唱するための理論構築を行った [⑤,⑥]。ここで、本プロジェクト開始時の背景となった道具使用訓練によるSIIの膨大に立ち戻ると、サルが道具を手にとって使うために、本来は身体の体重を支えて身体移動に供されていた四肢のうちの前肢が、これらの本来機能から解放されるために、『座る』ことを始めた。これは、通常注目されている「二足歩行」よりも前に起こる基本的で容易な行動転換によって体軸が回転して直立することを引き起こした。これによって、地面で体を支えている尻や足を視界に入れることが出来ることが大きく貢献し、空間の上下軸の原点としての『立脚点』を、

地平面上に自己が立つ／座る身体が置かれた1点として、客観的に視認することが出来たのであろう(図8)。これによって、世界を統合的に認識するための、基準点と座標軸が形成された。

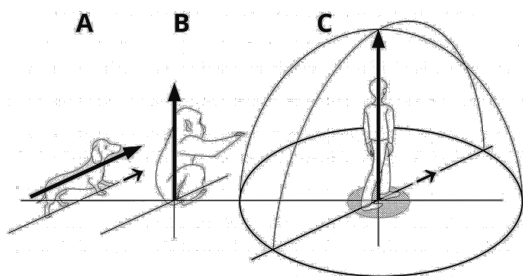


図8:動物の体軸・運動方向・地表面・立脚点

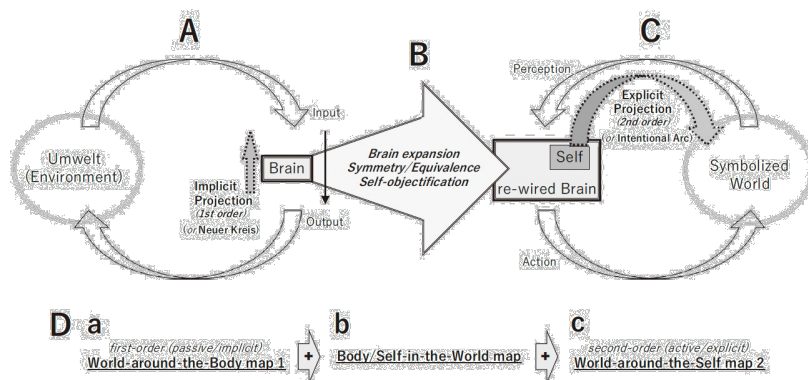


図9: A)世界は「環世界(Umwelt)」たる生物が受動的に適応する周囲の世界として単純に表され、それに対応して脳内に構築された神経表現が受動的な World-around-the-Body map 1(Da)。B)霊長類脳の拡張過程で「自己」として客体化して Body/Self-in-the-World map (Db) を取得する。C)世界と自己の多様な可能状態を明示的かつ能動的に投影する「志向弓」の作用により操作できる時空間複合体である World-around-the-Self map 2 を形成する(Dc)。

俯瞰により一般的な「世界観」が創られて、自己の客観化と他者との相対化が進むためには、環境情報と自己に関する情報が構造化されて統合されなければならない。このとき、体軸回転によってもたらされた、基準点(立脚点)と地面に垂直する体軸方向の上下軸を備えた空間座標系によって、一気に世界は立体的に構造化されその構成要素が相対化されるが、自己と環境およびその関係性に関する空間情報処理をするために、脳に対してそれまでには無かった新たな大きな負荷を強いることになり SII を中心とした頭頂弁蓋部や後部島皮質などの脳領域がこの機能を担うようになったのであろう。ここでは、身体に関する総合的な体性感覚情報と、環境世界の視覚的な空間情報を有機的に統合して、環境構造との関係性の中に自己を位置付ける『World-around-the-Body map 1』が、生体の情報処理構造をもとにして「環世界」に相当するかたちで形成される(図9)。これが、ヒト脳の拡張過程で「自己」が客体化して『Body/Self-in-the-World map』を取得し、さらに現象学でいう志向弓の働きによって環境世界に対して投射的に作用する『World-around-the-Self map 2』が「環世界」の発展的拡張形として形成されることになる [5], [6]。

<引用文献>

- ① Quallo MM, Price CJ, Ueno K, Asamizuya T, Cheng K, Lemon RN, Iriki A. (2009) Gray and white matter changes associated with tool-use learning in macaque monkeys. *Proc Natl Acad Sci USA*, **106**, 18379-18384.
- ② Hihara S, Taoka M, Tanaka M, Iriki A. (2015) Visual responsiveness of the neurons in secondary somatosensory area and its surrounding parietal operculum regions of awake macaque monkeys, *Cereb Cortex*, **25**, 4535-4550.
- ③ Taoka M, Toda T, Hihara S, Tanaka M, Iriki A and Iwamura Y. (2016) Neurons with large and complex somatosensory receptive fields in the secondary somatosensory cortex of macaque monkeys. *J Neurophysiol*, **116**, .2152-2162.
- ④ Bretas RV, Taoka M, Hihara S, Cleeremans A, Iriki A. (2021) Neural evidence of mirror self-recognition in the secondary somatosensory cortex of macaque: observations from a single-cell recording experiment and implications for consciousness. *Brain Sci*, **11**, 157.
- ⑤ Bretas RV, Taoka M, Suzuki H, Iriki A. (2020) Secondary somatosensory cortex of primates: Beyond body maps, towards conscious “self-in-the-world” map. *Exp Brain Res*, **238**, 259-272.
- ⑥ Iriki A, Suzuki H, Tanaka S, Vieira Bretas R, Yamazaki Y. (2021) The sapient paradox and the great journey: Insights from cognitive psychology, neurobiology and phenomenology. *Psychologia*, **63**, 151-173.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 5件）

|  |                        |
|--|------------------------|
| 1. 著者名<br>Bretas RV, Taaka M, Hihara S, Cleeremans A, Iriki A.   | 4. 巻<br>11             |
| 2. 論文標題<br>Neural evidence of mirror self-recognition in the secondary somatosensory cortex of macaque: observations from a single-cell recording experiment and implications for consciousness. | 5. 発行年<br>2021年        |
| 3. 雑誌名<br>Brain Sci  | 6. 最初と最後の頁<br>157      |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>10.3390/brainsci11020157  | 査読の有無<br>有             |
| オープンアクセス<br>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<br>-              |
| 1. 著者名<br>Tramacere A, Iriki A.  | 4. 巻<br>4              |
| 2. 論文標題<br>A novel mind-set in primate experimentation: implications for primate welfare.  | 5. 発行年<br>2021年        |
| 3. 雑誌名<br>Animal Model Exp. Med.   | 6. 最初と最後の頁<br>343-350  |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>10.1002/ame2.12190  | 査読の有無<br>有             |
| オープンアクセス<br>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<br>該当する           |
| 1. 著者名<br>Iriki A, Suzuki H, Tanaka S, Vieira Bretas R, Yamazaki Y.  | 4. 巻<br>63             |
| 2. 論文標題<br>The sapient paradox and the great journey: Insights from cognitive psychology, neurobiology and phenomenology.  | 5. 発行年<br>2021年        |
| 3. 雑誌名<br>Psychologia  | 6. 最初と最後の頁<br>151-173  |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>10.2117/psysoc.2021-B017  | 査読の有無<br>有             |
| オープンアクセス<br>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<br>-              |
| 1. 著者名<br>Rafael V. Bretas, Miki Taaka, Hiroaki Suzuki & Atsushi Iriki   | 4. 巻<br>238            |
| 2. 論文標題<br>Secondary somatosensory cortex of primates: beyond body maps, toward conscious self-in-the-world maps   | 5. 発行年<br>2020年        |
| 3. 雑誌名<br>Experimental Brain Research  | 6. 最初と最後の頁<br>259- 272 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>10.1007/s00221-020-05727-9  | 査読の有無<br>有             |
| オープンアクセス<br>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<br>-              |

|   |                     |
|---|---------------------|
| 1. 著者名<br>Bretas RV, Yamazaki Y, Iriki A.   | 4. 巻<br>e-pub       |
| 2. 論文標題<br>Phase Transitions of Brain Evolution That Produced Human Language and Beyond | 5. 発行年<br>2020年     |
| 3. 雑誌名<br>Neuroscience Research   | 6. 最初と最後の頁<br>e-pub |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1016/j.neures.2019.11.010                                | 査読の有無<br>有          |
| オープンアクセス<br>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<br>-           |

〔学会発表〕 計11件 (うち招待講演 8件 / うち国際学会 10件)

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Iriki A.  |
| 2. 発表標題<br>Self-in-the-world map evolved in the primate brain as bases of civilized Homo sapiens |
| 3. 学会等名<br>Credition; An Interdisciplinary Challenge (招待講演) (国際学会)                               |
| 4. 発表年<br>2021年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Iriki A.  |
| 2. 発表標題<br>The self-in-the-world map emerged in the primate brain as bases of civilized Homo sapiens |
| 3. 学会等名<br>RIKEN BDR Symposium 2022 (招待講演) (国際学会)  |
| 4. 発表年<br>2022年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Iriki A.  |
| 2. 発表標題<br>Self-in-the-world map evolved in the primate brain as a basis of civilized Homo sapiens |
| 3. 学会等名<br>Developing Minds. (招待講演) (国際学会)   |
| 4. 発表年<br>2022年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Iriki A  |
| 2. 発表標題<br>Phase transitions in neurobiological mechanism of human evolution that extend mind/body into the environment |
| 3. 学会等名<br>Euroscience Open Forum (ESOF) 2020 (招待講演) (国際学会)   |
| 4. 発表年<br>2020年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Atsushi Iriki  |
| 2. 発表標題<br>Phase Transitions of Biological Brain Evolution, that Gifted Us with Humanity..., and Beyond |
| 3. 学会等名<br>International Workshop "Brain and behavioural evolution in primates" (招待講演) (国際学会)           |
| 4. 発表年<br>2019年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Atsushi Iriki  |
| 2. 発表標題<br>Neurological mechanisms of intellectual human evolution as an element of holistic ecosystem            |
| 3. 学会等名<br>The 40th Thailand Wildlife Seminar to celebrate 40th Anniversary of Thai Wildlife Semina (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年<br>2019年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Atsushi Iriki   |
| 2. 発表標題<br>Triadic niche construction (cognition, brain, environment) as a driver of hominin evolution |
| 3. 学会等名<br>The European Workshop on Cognitive Neuropsychology (招待講演) (国際学会)                            |
| 4. 発表年<br>2020年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Atsushi Iriki   |
| 2. 発表標題<br>Evolution of Human 's Cognitive System and Civilizations  |
| 3. 学会等名<br>Foro de Arqueologia Cognitiva: Monumentos, Arte, y Cuerpo Humano, afuera de Eurasia. Monumentos y tumbas como lugar de memoria social (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年<br>2020年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Taoka M, Hihara S, Iriki A.   |
| 2. 発表標題<br>Macaque SII and adjacent opercular neurons discriminate bodily awareness of the self from others. |
| 3. 学会等名<br>第41回日本神経科学学会、幕張   |
| 4. 発表年<br>2018年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Taoka M, Hihara S, Bretas R, Iriki A.   |
| 2. 発表標題<br>Neural properties of macaque SII bimodal neurons and their functional role for self-body awareness. |
| 3. 学会等名<br>FAOPS2019、神戸 (国際学会)   |
| 4. 発表年<br>2019年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Iriki A., Taoka M., Hihara S.  |
| 2. 発表標題<br>Neurons in the secondary somatosensory cortex and its surrounding opercular regions discriminating bodily awareness of the self from others. |
| 3. 学会等名<br>Society for Neuroscience (国際学会)  |
| 4. 発表年<br>2017年   |



## 〔図書〕 計2件

|  |                      |
|--|----------------------|
| 1. 著者名<br>Bretas RV, Yamazaki Y, Iriki A   | 4. 発行年<br>2022年      |
| 2. 出版社<br>Okayama Univ. press  | 5. 総ページ数<br>in press |
| 3. 書名<br>volution of the Human Cognitive System and Human Civilizations Viewed as Phase Transitions of the Primate Brain's Neurobiological Mechanisms, |                      |

|  |                      |
|--|----------------------|
| 1. 著者名<br>Yamazaki Y, Iriki A  | 4. 発行年<br>2022年      |
| 2. 出版社<br>Okayama Univ. press  | 5. 総ページ数<br>in press |
| 3. 書名<br>Potential roles of the gut-brain axis in the cognitive evolution of primates. |                      |

## 〔産業財産権〕

## 〔その他〕

|  |
|--|
| 理化学研究所生命機能科学研究センター象徴概念発達研究チームホームページ<br><a href="https://www.bdr.riken.jp/ja/research/labs/iriki-a/index.html">https://www.bdr.riken.jp/ja/research/labs/iriki-a/index.html</a> |
|--|

## 6. 研究組織

|       | 氏名<br>(ローマ字氏名)<br>(研究者番号) | 所属研究機関・部局・職<br>(機関番号) | 備考 |
|-------|---------------------------|-----------------------|----|
| 研究協力者 | 田岡 三希<br><br>(Taoka Miki) |                       |    |

6. 研究組織（つづき）

|       | 氏名<br>(ローマ字氏名)<br>(研究者番号)         | 所属研究機関・部局・職<br>(機関番号) | 備考 |
|-------|-----------------------------------|-----------------------|----|
| 研究協力者 | 日原 さやか<br><br>(Hihara Sayaka)     |                       |    |
| 研究協力者 | ブレタス ラファエル<br><br>(Bretas Rafael) |                       |    |
| 研究協力者 | 山崎 由美子<br><br>(Yamazaki Yumiko)   |                       |    |
| 研究協力者 | 鈴木 宏昭<br><br>(Suzuki Hiroaki)     |                       |    |
| 研究協力者 | 田中 彰吾<br><br>(Tanaka Shogo)       |                       |    |

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                       |  |  |
|---------|-------------------------------|--|--|
| ベルギー    | Universite Libre de Bruxelles |  |  |
| イタリア    | University of Bologna         |  |  |