

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 27 日現在

機関番号：13901

研究種目：新学術領域研究（研究領域提案型）

研究期間：2010～2014

課題番号：22101007

研究課題名（和文）旧人・新人の学習行動に関する脳機能マップの作成

研究課題名（英文）Functional mapping of learning abilities in archaic and modern human brains

## 研究代表者

田邊 宏樹 (Tanabe, Hiroki)

名古屋大学・環境学研究科・准教授

研究者番号：20414021

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 94,800,000 円

研究成果の概要（和文）：神経科学の観点から旧人と新人の交替劇の真相を探るため、計算解剖学的手法により旧人ネアンデルタールや同時代に生きていた新人サピエンスの脳を復元し（化石脳）、現代人との脳形態の定量的比較をおこなった。その結果、旧人よりも新人の方が小脳半球と頭頂葉の一部が大きく、予想された前頭葉には大きな差がないことが見いだされた。また現代人の脳機能イメージング研究から、小脳半球は言語、注意、作動記憶、社会認知、創造性などのさまざまな認知機能に関与しており、さらに小脳の大きさと一部の認知能力には正の相関があることが明らかとなった。これらのことは、小脳半球の機能差が両者の運命を分けた原因の1つであることを示唆する。

研究成果の概要（英文）：To investigate the truth of the replacement of Homo Neanderthalensis (HN) by Homo Sapiens (HS), we adopt neurocognitive and computational neuroanatomical approaches. We developed an integrative analytical framework for elucidating the anatomical and functional differences of the brain between them. The results of morphometry showed that hemispheres of cerebellum were larger in HS than those in HN. Our neuroimaging studies also demonstrated that the cerebellum play an important role for variety of highly cognitive functions such as attention, language, working memory, social cognition, creativity. Moreover, we revealed positive correlation between cerebellar volume and some cognitive abilities in modern humans. The present study indicates that HS utilizes their brain more efficiently with employing the cerebellar functions, which maybe one of the possible causes for the replacement.

研究分野：認知神経科学、脳イメージング、古神経学

キーワード：計算解剖学 脳機能イメージング 古人類学 認知科学 社会認知 創造性

### 1. 研究開始当初の背景

ヒトの進化の道筋に関する研究は、20世紀後半の遺伝学的研究により劇的に発展し、新人アフリカ単一起源説が主流となった。そこから出てきた次なる疑問は、旧人ネアンデルタールと新人サピエンスの交替劇の原因である。近年何が両者の運命を分けたのかについて多くの仮説モデルが提唱され、実証的研究も進んでいる。ただ既存の研究はそのほとんどがヨーロッパ大陸の事例研究であり、西アジアを含む普遍的なモデルはまだない。そこでこの新学術領域研究では、「交替劇の原因は旧人ネアンデルタールと新人ホモサピエンスの学習能力差にあった」を作業仮説とし、それを多角度から実証的に検証することとした。この中で本研究班は、比較解剖学および古神経学的証拠からこの仮説を検証することを目的とした。

研究当初のこの分野（古神経学）の状況を見ると、能力差の解釈は両者の頭蓋の容量の比較にもとづいて行うことが主流で、この比較は当然その内容物である脳の機能推定を目的としたものであったが、頭蓋骨の形状からラフに計算されているものがほとんどであり、頭蓋の厳密なフィッティングによる差異の検出を行っている研究はほぼ皆無であった。一方我々は、磁気共鳴画像法(MRI)等を用いたヒト脳イメージング研究を専門としており、この分野では脳形状を標準化した上で定量的に差異を見いだすことが一般的である。この経験から、我々の持っている技法やモデルが、ネアンデルタール人の脳復元(化石脳)と新人との脳形態の比較検証に使えるのではないかと考えた。さらに、この枠組みを使えば、現代人を対象とした研究によって明らかにされた数々の脳機能マップと旧人と新人の脳形態を示す脳部位領域の対応を直接比較検討できると考えた。

### 2. 研究の目的

そこで本研究は、ヒト脳イメージング手法を用いて、旧人および旧人と同時代に生きた新人の脳を仮想的に復元し、両者の比較、さらには新人の末裔である現代人と脳形態を定量的に比較し、加えて現代人から作られた色々な認知能力に対する脳機能マップとの対応関係を悉に検討することで、神経科学的見地から作業仮説である「両者の運命を分けたのは学習能力差である」を検討することとした。

### 3. 研究の方法

本研究は次の2つの軸を中心に研究を遂行した。

#### (1) 旧人の脳復元と旧人と新人の脳形態の比較研究

計算解剖学の手法、特に現代人を対象とした脳イメージング研究の手法をこの研究に応用し、現代人脳機能イメージング研究の枠組みとも一体化できる統合的解析プラットフォームの開発に取り組んだ(図1)。このなかで、化石脳復元、新人との定量的比較、大きさに差異のある脳領域の特定のみならず、上記で作成した脳機能地図との関連調査、もおこなうこととした。

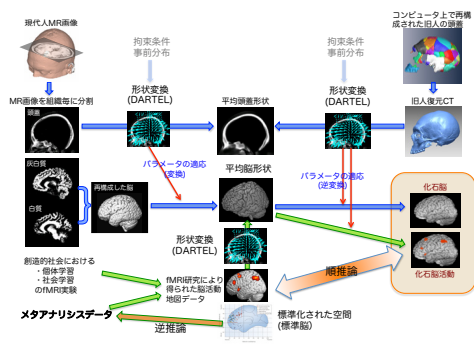


図1. 統合解析プラットフォーム

#### (2) 現代人を対象とした脳機能イメージング研究による脳機能地図の作成

我々は、学習は個人内で完結するものではなく個人を取り巻く社会に大きく影響を受けると考え、社会の中で他人と上手くやってく能力である社会認知能力(社会脳)と、特定の社会状況において新奇かつ有用なあるいは影響力を持つアイデアを発想する能力である創造的能力、が鍵であると考えた。これらに他班の研究結果から想定される交替劇に重要な認知能力を加え、それぞれの認知的要素を抽出できる課題を作成し、機能的磁気共鳴画像法(fMRI)を用いた実験をおこなうこととした。特に社会認知能力については、社会的相互作用の能力に着目しMRIおよび脳波を用いた二人の脳機能同時計測系による実験を実施した。また研究期間の後半では、脳機能イメージング研究では少数の実験で結論を導き出すのが難しいという弱点を補うため、旧人と新人の学習能力に関連しそうな認知機能について、これらを司る脳部位を同定するためのメタ解析(複数の先行研究を集め機能部位を特定していく研究)も使用した。

### 4. 研究成果

#### (1) 計算解剖学の手法による旧人と同時代に生きた化石脳復元

従来の脳機能イメージング研究では脳がないデータを対象にすることがないため、頭蓋内腔からエンドキャストを作るアルゴリズムや閾値の決定は試行錯誤しながらおこなう必要があった。そこで我々は、まず現代人の同一人物の頭部CTとMRI画像を用い、エンドキャスト作成用に既存のプログラムを改良し、同時に閾値の調整等をおこなった。また脳形状の変形がどのくらいの許容度と精度を持つのかについても、サルのMRIデータをヒトの頭蓋骨に変形するなどして確かめた。

アルゴリズムの作成と数々のチェックポイントの検証をおこなった後、別研究班の慶応大学萩原研究室にて作成された旧人三个体(アムッド、ジブラルタル、シャペローサン)、旧人と同時代に生きた新人四个体(クロマニヨン、ムラディッチ、カフゼー、スフル)の復元CT画像を用いて、エンドキャスト(頭蓋内腔)と化石脳の復元を行った(図2はその一例)。

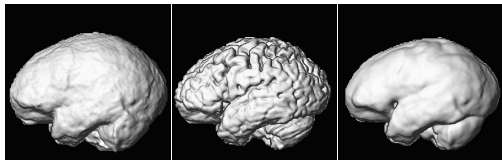


図2. 左からアムッド1号の復元エンドキャスト、個人脳の変形による復元脳、現代人の集団データを用いた復元脳

(2) 旧人・同時代に生きた新人・現代人との定量的脳形態比較

統合解析プラットフォームでは、(1)で作成した旧人・新人の化石脳と現代人の脳形状を直接定量的に比較できる。そこで現代人1189個体(日本人512個体と海外のデータベースより西洋人677個体)を用い、脳形態の差に関する統計検定をおこなったところ、ネアンデルタール人に比べ現代のホモサピエンスの方が小脳半球および頭頂葉が大きく、予想された前頭葉に関しては差がないことが見いだされた。この傾向は旧人と同時代に生きた新人とネアンデルタール人の比較でも見られ、特に小脳の大きさに差があった。逆に旧人は新人に比べ大きな後頭葉を持っていた(図3)。

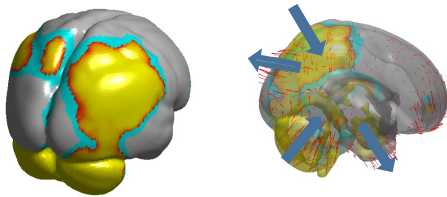


図3. 現代人とネアンデルタール人の脳形態比較結果(黄色が差のあった領域。矢印は現代人を基準とした変化の方向)

(3) 小脳の容量と認知能力の関係

(2)の結果を受けて、現代人のデータベース(米国NIH提供の457名の脳画像データとそれぞれの人がおこなった認知課題成績)を用い、まず小脳半球の体積を脳画像データから算出し、認知課題成績との相関をみたところ、全脳体積に占める小脳半球の体積の割合が大きいほど言語系の課題や作業記憶課題、注意課題の成績がよく、小脳半球の大きさと幾つかの認知能力には正の相関があるという結果が得られた。

(4) 現代人の脳機能地図作成

上記(1)～(3)の研究と平行して、現代人を対象とした認知機能地図作成をおこなった。特に我々は、社会的相互作用に着目し、二台の機能的MRIを用いた共同注意、自己意識、共感等に関する神経基盤研究や、模倣や顔認知、動作模倣学習や未知語の学習、さらに創造性の1つとしての遊びに関わるfMRI実験を実施し、これらの認知能力に関わる脳部位の同定を行った。

先述の通り、脳機能地図の作成には1つ1つの実験結果が重要な意味を持つが、それだけで結論を出すことが難しいことも事実である。幸い脳機能イメージング研究の多くは、結果を標準脳テンプレートにあわせて脳活動領域を報告しているため、過去の膨大な研究結果をさらにまとめて解析する、いわゆるメタ解析を行うことができる。我々は、学習仮説に重要と思われる、注意、言語、作動記憶、社会的認知、創造性といった認知機能を選定し、それぞれについてメタ解析をおこなった(図4A, B)。

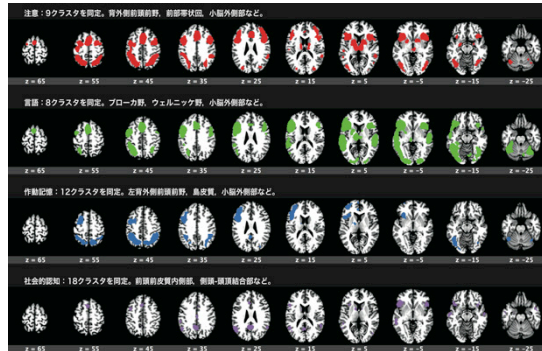


図4A. メタ解析による認知機能地図。上から、注意、言語、作動記憶、社会的認知に関わる脳領域

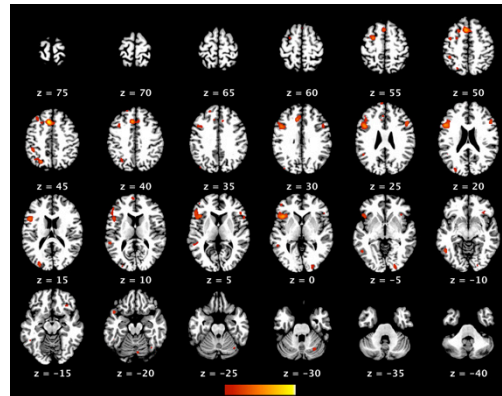


図4B. メタ解析による創造性に関わる脳領域の認知機能地図

我々がおこなった脳機能イメージング研究ならびにメタ解析の結果から、多くの認知機能に小脳半球が関与していることが明らかとなった。さらに、我々が重要であると考えた社会能力や創造性に関しても、多くの研究において頭頂葉や小脳半球の関与が見られた。従来小脳は運動の調整が大きな役割であると考えられてきたが、近年は「学習マシン」としても知られ、学習によって取得される「内部モデル」が小脳半球に蓄えられていると考えられている。

これらの結果を総合的にみると、小脳半球の機能が旧人よりも新人の方が勝っており、これが交替劇に影響を及ぼした可能性を考えることができる。ただ、その差は現代人の個体差内に収まるもでもあり、これが交替劇の主要因であると断定することも難しく、別の要因や複数の要因の複合的結果としての交替劇を想定する必要があることも示唆された。

## 5. 主な発表論文等

(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 21 件)

- ① Ogihara N, Amano H, Kikuchi T, Morita Y, Hasegawa K, Kochiyama T, Tanabe HC (2015) Towards digital reconstruction of fossil crania and brain morphology. *Anthropol Sci*, 123(1), 57-68. (査読有)  
DOI: 10.1537/ase.141109
- ② Matsuyoshi D, Morita T, Kochiyama T, Tanabe HC, Sadato N, Kakigi R (2015) Dissociable cortical pathways for qualitative and quantitative mechanisms in the face inversion effect. *J Neurosci*, 35(10), 4268-4279. (査読有)  
DOI: 10.1523/JNEUROSCI.3960-14.2015
- ③ Koike T, Tanabe HC, Sadato N (2015) Hyperscanning neuroimaging technique to reveal the "two-in-one" system in social interactions. *Neurosci Res*, 90, 25-32. (査読有) DOI: 10.1016/j.neures.2014.11.006
- ④ Kawamichi H, Yoshihara K, Sasaki AT, Sugawara SK, Tanabe HC, Shinohara R, Sugisawa Y, Tokutake K, Mochizuki Y, Anne T, Sadato N (2015) Perceiving active listening activates the reward system and improves the impression of relevant experiences. *Soc Neurosci*, 10, 16-26. (査読有)  
DOI: 10.1080/17470919.2014.954732
- ⑤ Okamoto Y, Kitada R, Tanabe HC, Hayashi MJ, Kochiyama T, Munosue T, Ishitobi M, Saito DN, Yanaka HT, Omori M, Wada Y, Okazawa H, Sasaki AT, Morita T, Itakura S, Kosaka H, Sadato N (2014) Attenuation of the contingency detection effect in the extrastriate body area in autism spectrum disorder. *Neurosci Res*, 87, 66-76. (査読有)  
DOI: 10.1016/j.neures.2014.06.012
- ⑥ Makita K, Yamazaki M, Tanabe HC, Koike T, Kochiyama T, Yokokawa H, Yoshida H, Sadato N (2013) A functional magnetic resonance imaging study of foreign-language vocabulary learning enhanced by phonological rehearsal: the role of the right cerebellum and left fusiform gyrus. *Mind Brain Education*, 7(4), 213-224. (査読有)  
DOI: 10.1111/mbe.12029
- ⑦ Kawamichi H, Sasaki AT, Matsunaga M, Yoshihara K, Takahashi HK, Tanabe HC, Sadato N (2013) Medial prefrontal cortex activation is commonly invoked by reputation of self and romantic partners. *PLoS One*, 8(9), e74958. (査読有)  
DOI: 10.1371/journal.pone.0074958
- ⑧ Morita T, Tanabe HC, Sasaki AT, Shimada K, Kakigi R, Sadato N (2013) The anterior insular and anterior cingulate cortices in emotional processing for self-face recognition. *Soc Cogn Affect Neurosci*, nst011 (e-pub ahead of print). (査読有) DOI: 10.1093/scan/nst011
- ⑨ Kawamichi H, Tanabe HC, Takahashi H, Sadato N (2012) Activation of the reward system during sympathetic concern is mediated by two types of empathy in a familiarity-dependent manner. *Soc Neurosci*, 8, 90-100. (査読有)  
DOI: 10.1080/17470919.2012.744349
- ⑩ Tanabe HC\*, Kosaka H\*, Saito DN, Koike T, Hayashi MJ, Izuma K, Komeda H, Ishitobi M, Omori M, Munosue T, Okazawa H, Wada Y, Sadato N (2012) Hard to "tune in": neural mechanisms of live face-to-face interaction with high-functioning autistic spectrum disorder. *Front Hum Neurosci*, 6, Article 268, 1-15. \* equally contributed. (査読有)  
DOI: 10.3389/fnhum.2012.00268
- ⑪ Sasaki AT, Kochiyama T, Sugiura M, Tanabe HC, Sadato N (2012) Neural networks for action representation: a functional magnetic resonance imaging and dynamic causal modeling study. *Front Hum Neurosci*, 6, Article 236, 1-17. (査読有)  
DOI: 10.3389/fnhum.2012.00236

[学会発表] (計 48 件)

- ① 田邊宏樹 (2014) 旧人ネアンデルタールと新人ホモサピエンスのエンドキャスト形態差から考える脳機能差. 第 68 回日本人類学会大会 11.1-3. 浜松: アクトシティ浜松.
- ② 河内山隆紀 (2014) 計算解剖学による復元頭蓋骨を用いた脳形態復元と形態分析. 第 68 回日本人類学会大会 11.1-3. アクトシティ浜松.
- ③ 三谷慶太、星野孝総、三浦直樹、田邊宏樹 (2014) 学習方法の違いに関する fMRI 解析. 9.1-3. 第 30 回ファジィシステムシンポジウム 2014. 高知: 高知城ホール.
- ④ Tanabe HC, Kochiyama T, Amano H, Hasegawa K, Kondo O, Ogihara N (2014) Comparing shape of cranium between Neanderthal and modern humans using computational anatomy. 6.8-12. Human Brain Mapping 2014 Conference. Hamburg, Germany.
- ⑤ Miura N, Tanabe HC, Sasaki AT, Harada T, Sadato N (2014) An fMRI study to clarify the nature of human's play. 6.8-12. Human Brain Mapping 2014 Conference. Hamburg, Germany.
- ⑥ 河内山隆紀 (2014) 神経考古学における計算解剖学～化石頭蓋からの脳復元. 第 37 回日本神経科学大会 9.11-13. 横浜: パシフィコ横浜.
- ⑦ Koike T, Tanabe HC, Okazaki S, Sadato N (2013) Cerebral and cerebellar involvement in joint attention. 11.9-13. Society for Neuroscience 2013 Annual Meeting. San Diego, USA.
- ⑧ 田邊宏樹 (2013) 二台の MRI を繋げて共同注意の神経メカニズムを探る: We-mode neuroscience の第一歩. 日本心理学会第 77 回大会 9.20. 札幌: 札幌コンベンションセンター.
- ⑨ Sadato N, Tanabe HC (2012) Neural substrates and inter-individual functional connectivity during mutual gaze and joint attention using dual functional MRI. 7.2. ICME International Conference on Complex Medical Engineering. Kobe, Japan.
- ⑩ Tanabe HC, Koike T, Sadato N (2012) Inter- and intra-brain functional connectivity during eye contact and joint attention: a

hyper-scanning functional MRI study.

- 5.25-27. Social Cognition, Engagement and the Second-Person-Perspective International Conference. Koln, Germany.
- ⑪ Sadato N (2012) Inter-individual neural synchronization during eye-contact and joint attention. 5.25-27. Social Cognition, Engagement and the Second-Person-Perspective International Conference. Koln, Germany. (招待講演)
- ⑫ Tanabe HC, Kosaka H, Saito DN, Munesue T, Okazawa H, Wada Y, Sadato N (2011) Joint attention between individuals with normal and autism spectrum disorders using dual fMRI. 6.27. 17th Annual Meeting of the Organization on Human Brain Mapping. Quebec, Canada.
- ⑬ Tanabe HC (2011) Neural substrates and inter-individual functional connectivity during mutual gaze and joint attention using dual functional MRI. 9.16. 第 34 回日本神経科学大会. 横浜: パシフィコ横浜.
- ⑭ 田邊宏樹、定藤規弘 (2011) 社会的文脈における学習—社会的認知能力と創造性—. 11.6. 第 65 回日本人類学会大会. 沖縄・那覇: 沖縄県立博物館・美術館.
- ⑮ Miura N, T Akazawa, M Yamazaki, K Nagai, Y Yoshida, HC Tanabe, N Sadato (2011) Learning effect on cortical activity during implicit imitation of bimanual tool production and word speech. 6.27. 17th Annual Meeting of the Organization for Human Brain Mapping. Quebec, Canada.
- ⑯ 田邊宏樹、定藤規弘、赤澤威 (2010) 旧人・新人の学習行動に関する脳機能マップの作成. 10.2. 第 64 回日本人類学会大会. 北海道・伊達: だて歴史の杜カルチャーセンター.

[図書] (計 7 件)

- ① Hoshino Y, Mitani K, Miura N, Tanabe HC, Nagai K (2014) "Motion analysis for stone-knapping of the skilled levallois technique", in Akazawa T, Ogihara N, Tanabe HC, Terashima (Eds.) "*Dynamics of Learning in Neanderthals and Modern Humans Volume 2: Cognitive and Physical*

*Perspectives*” pp.79-90. Springer Tokyo. (査読有)

- ② Kochiyama T, Tanabe HC, Ogiyama N (2014) “Reconstruction of the brain skull fossils using computational anatomy”, in Akazawa T, Ogiyama N, Tanabe HC, Terashima (Eds.) “*Dynamics of Learning in Neanderthals and Modern Humans Volume 2: Cognitive and Physical Perspectives*” pp.191-200. Springer Tokyo. (査読有)
- ③ Tanabe HC, Kochiyama T, Ogiyama N, Sadato N (2014) “Integrated analytical scheme for comparing the Neanderthal brain to modern human brain using neuroimaging techniques”, in Akazawa T, Ogiyama N, Tanabe HC, Terashima (Eds.) “*Dynamics of Learning in Neanderthals and Modern Humans Volume 2: Cognitive and Physical Perspectives*” pp.203-207. Springer Tokyo. (査読有)
- ④ Miura N, Nagai K, Yamazaki M, Yoshida Y, Tanabe HC, Akazawa T, Sadato N (2014) “Brain activation related to the imitative learning of bodily actions observed during the construction of a Mousterian stone tool: A functional magnetic resonance imaging study”, in Akazawa T, Ogiyama N, Tanabe HC, Terashima (Eds.) “*Dynamics of Learning in Neanderthals and Modern Humans Volume 2: Cognitive and Physical Perspectives*” pp.221-232. Springer Tokyo. (査読有)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0件)

○取得状況 (計 0件)

[その他]

ホームページ等

<http://www.koutaigeki.org>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

田邊 宏樹 (TANABE HIROKI)

名古屋大学・環境学研究科・准教授

研究者番号：20414021

### (2) 研究分担者

定藤 規弘 (SADATO NORIHIRO)

生理学研究所・大脳皮質機能研究系・教授

研究者番号：00273003

三浦 直樹 (MIURA NAOKI)

東北工業大学・工学部・講師

研究者番号：70400463

河内山 隆紀 (KOCHIYAMA TAKANORI)

株式会社国際電気通信基礎技術研究所・

脳情報通信総合研究所・研究員

研究者番号：90380146

星野 孝総 (HOSHINO YUKINOBU)

高知工科大学・工学部・准教授

研究者番号：10351321

### (3) 連携研究者

なし

### (4) 研究協力者

長谷川 国大 (HASEGAWA KUNIHIRO)

名古屋大学・環境学研究科・研究員

小池 耕彦 (KOIKE TAKAHIKO)

生理学研究所・大脳皮質機能研究系・

特任助教

川道 拓東 (KAWAMICHI HIROAKI)

生理学研究所・大脳皮質機能研究系・

特任助教

松永 昌弘

生理学研究所・大脳皮質機能研究系・

特任助教

岡崎 俊太郎 (OKAZAKI SHUNTARO)

生理学研究所・大脳皮質機能研究系・

研究員

佐々木 章宏 (SASAKI AKIHIRO)

生理学研究所・大脳皮質機能研究系・

研究員

吉原 一文 (YOSHIHARA KAZUFUMI)

生理学研究所・大脳皮質機能研究系・

研究員

岡本 悠子 (OKAMOTO YUKO)

生理学研究所・大脳皮質機能研究系・

大学院生

吉田 優美子 (YOSHIDA YUMIKO)

生理学研究所・大脳皮質機能研究系・

大学院生

島田 浩二 (SHIMADA KOJI)

生理学研究所・大脳皮質機能研究系・

大学院生

菅原 翔 (SUGAWARA SHO)

生理学研究所・大脳皮質機能研究系・

大学院生

高橋 陽香 (TAKAHASHI HARUKA)

生理学研究所・大脳皮質機能研究系・

大学院生

中川 恵理 (NAKAGAWA ERI)

生理学研究所・大脳皮質機能研究系・

共同利用研究員