

令和 4 年 6 月 13 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H03338

研究課題名(和文)代謝機能の光操作/光計測による脳情報解析と病態制御

研究課題名(英文) Analysis of brain information and pathological control by optical measurements and manipulations

研究代表者

松井 広 (Matsui, Ko)

東北大学・生命科学研究科・教授

研究者番号：20435530

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,200,000円

研究成果の概要(和文)：生体には、神経・グリア・血管・代謝など、多数のネットワークが張り巡らされている。各ネットワークは、それぞれの法則で稼働しているが、我々がひとつの個体として整合性のある活動をするには、これらのネットワークを束ねるシグナルが不可欠である。脳というひとつの組織の中の複合ネットワークに着目すると、グリア細胞こそが、脳内の全てのネットワークを束ねている存在であると言える。本研究では、新規蛍光センサータンパク質を用いて、細胞内の生体分子のダイナミックな動態を計測する技術を開発した。細胞内外の生体分子の流れ(フロー)をマルチモーダル計測し、脳内情報処理の仕組みを新たな視点で解明する研究を進めた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

アストロサイトの代謝回路の変化は、神経回路の動作を左右し、学習・記憶・行動といった脳の高次機能にまで影響を与えることが示唆されている。細胞内外のイオン濃度変化、伝達物質濃度変化に加えて、代謝産物等も、情報を担う因子として捉えられる。これらの因子が脳内局所環境を変化させている場面では、神経細胞ではなくアストロサイトの活動が大きく関与している。本研究では、脳の複合ネットワークと、それを束ねるシグナルを解明することに取り組んだ。生体を流れる伝達物質や代謝産物等の情報因子のフローを光計測・光操作する方法を組み合わせ、代謝フローの障害・破綻にともなう脳病態・精神疾患の発症メカニズムの一端も示された。

研究成果の概要(英文)：The brain is composed of numerous networks, including neural, glial, vascular, and metabolic networks. Each network operates according to its own rules, but the signals that unite these networks are indispensable for us to act in a consistent manner as an individual. In terms of the complex networks in the brain, glial cells are the ones that unite all the networks in the brain. In this study, we developed a technique to measure the dynamics of intracellular biomolecules using novel fluorescent sensor proteins. By measuring the flow of biomolecules inside and outside the cell in a multimodal manner, we have conducted research to elucidate the mechanism of information processing in the brain from a new perspective.

研究分野：脳細胞生理学

キーワード：グリア細胞 アストロサイト オプトジェネティクス シナプス伝達 グルタミン酸 学習 脳病態
てんかん

1. 研究開始当初の背景

脳内情報処理は、電気信号によってのみ担われていると考えるのは幻想である。単に、生理指標として、脳波等の電気活動を記録するのが容易なだけであり、現代のテクノロジーをもってしても、高時空間分解能で精密に計測できるのが電気信号のみであるから、自然と、脳と心の実態は、脳内を流れる電気信号にあると誤解しているに過ぎない。脳内グリア細胞は、神経細胞のような急峻に変化する活動電位といった電気信号を出さず、電気生理学的に見れば、サイレントな細胞である。ところが、これまでの研究を通じて、グリア細胞内 Ca²⁺濃度や pH 変化に応じて、グリア細胞からグルタミン酸やアデノシンといった伝達物質が放出され、これが神経細胞活動や動物の行動・学習にまで、大きな影響を及ぼしていることが示されてきた (Sasaki, ..., Matsui*, PNAS 2012; Beppu, ..., Matsui*, Neuron 2014)。

細胞内外のイオン濃度変化、伝達物質濃度変化とともに、代謝産物 (ATP、乳酸、ピルビン酸) 等も情報を担う因子として捉えられる。これらの因子が脳内局所環境を変化させている場面では、神経細胞ではなくグリア細胞の活動が大きく関与している。しかし、いかんせん、脳内局所環境の変化は電気信号として計測できる形で顕在化しないので、これまで、この情報の流れを把握することは困難であった。そこで、本研究では、新規蛍光センサータンパク質を用いて、細胞内の生体分子のダイナミックな動態を計測するとともに、バイオセンサーを利用して、細胞外の生体分子を計測することを目指した。細胞内外の生体分子の流れ (フロー) をマルチモーダル計測し、脳内情報処理の仕組みを新たな視点で解明することに取り組んだ。

2. 研究の目的

脳の半分以上を占めるグリア細胞には、これまで、単に、神経細胞構築を構造的に支えたり、栄養補給をしたりするくらいの役割しか想定されていなかった。しかし、本研究者の研究を通して、グリア細胞が、神経情報処理そのものに深く関与していることが明らかになってきた。確かに、グリア細胞には、神経回路網をミリ秒単位で刹那的に通り過ぎる信号を処理する能力はないのかもしれない。しかし、数十ミリ秒～数分のタイムコースで、周囲の神経回路の動作モードを規定しているのは、むしろ、グリア細胞の活動である可能性がある。グリア活動次第で、神経細胞間の信号の伝わりやすさや、シナプス伝達の可塑性の起こりやすさなどが変化することが解明されつつある。私たちの意識は、ゆっくりしたタイムコースで変遷するものであり、グリア活動の方が、神経活動よりも、意識との相関が高いと言える。

本研究では、脳内グリア細胞の活動を光操作・光計測する技術を応用して、神経情報回路と代謝回路の間で相互作用するシグナルの存在を明らかにすることを目指した。このような質の異なる回路間を超えるシグナルが、いかにして生体を統合しているか、その機能的意義を解明することを目的とした。この研究では細胞内外のイオンや代謝産物をバイオセンサー電極や FRET 蛍光センサーを用いて、生体内 (in vivo) もしくは急性脳スライス標本を用いて、リアルタイムで追跡した。本研究では、特に、グリア細胞の一種であるアストロサイトに注目し、アストロサイトが局所脳内環境を制御し、神経細胞の動作モードに影響を与える過程を調べた。アストロサイトの機能は、単に神経細胞に代謝産物を供給することで、神経細胞の生存を支えるだけでない。神経細胞の担う情報処理を、アストロサイト由来の代謝産物やイオンの多寡が制限、あるいは制御する機序を解明することを目的とした。

3. 研究の方法

神経細胞やアストロサイトに光感受性分子 (ChR2 や ArchT) を遺伝子発現するマウス・ラットを用いて、in vivo で各種細胞の活動を光操作する実験を行った。また、急性脳スライス標本を用いて、各細胞からパッチクランプ電気生理学記録を取得。アストロサイト活動を光操作したときの神経細胞のシナプス伝達への影響などを解析した。また、それぞれの細胞内のイオン・代謝産物濃度動態を計測するため、蛍光センサーを遺伝子発現する方法も用いた。これらの動物を用いて、in vivo のファイバーフォトメトリー法、ならびに、蛍光マクロ実体顕微鏡によるイメージング法を実施した。てんかんの発現にともなう、各種細胞の活動変化を計測するにあたっては、1 週間以上にわたる長期的な操作・計測方法を確立する必要があった。

4. 研究成果

本研究では、まずは、pH センサー蛍光タンパク質を発現した遺伝子改変マウスを作製した。研究の結果、周囲の神経細胞の発火にともない、アストロサイトが脱分極し、ナトリウム・炭酸

水素イオン共輸送体 (NBC) が働いて、 HCO_3^- が取り込まれることにより、細胞質がアルカリ化することが示された。細胞外 K^+ 電極、ならびに細胞内 Na^+ イメージングを実施したところ、てんかんの過活動時、アストロサイト内のアルカリ化が発生し、それにともない、アストロサイト同士を結ぶギャップ結合が閉塞し、周囲の K^+ 除去が遅くなることが示された。したがって、アストロサイトのアルカリ化を契機とした一連の機構がてんかんの増悪に寄与することが示唆された (Onodera, ..., Matsui*, J Neurosci 2021)。ギャップ結合は、イオンだけでなく、代謝産物の細胞間の行き来を左右するため、細胞内 pH によって脳内局所環境・代謝機能が制御されている可能性が示唆された。

てんかん発作を繰り返すと、次第に発作が重篤化することが知られている。長期的なファイバースコープ記録により、細胞内イオン濃度・代謝産物濃度動態を記録し、重篤化のメカニズムを明らかにし、過剰なエネルギー消費のともなうてんかん発作時の代謝産物動態を追跡することにも取り組んだ。過剰な過興奮を長期に持続するには、アストロサイトからのエネルギー供給の促進が必要であると考えられる。キンドリング過程を経て、てんかんが重篤化するにもなう、アストロサイトの機能変化を追跡した。このような極端状況におけるエネルギー授受のメカニズムを調べることで、生理的な条件でも働く仕組みの要素を見出すことを目指した。一方、神経細胞に光感受性 channelrhodopsin-2 を遺伝子発現させたラットを使い、神経細胞への繰り返し刺激を与えると、てんかん発作の発展の後、抗てんかん作用が得られることが示された。抗てんかん作用は、アストロサイトの活性化をともなっており、同時に、細胞外の抑制性アデノシン濃度の増大が観察された (Shimoda, ..., Matsui*, Neurobio Dis 2022)。以上の研究を通して、アストロサイトのギャップ結合閉塞の阻害、ならびに、アストロサイトからのアデノシン放出作用の亢進などがてんかんの新たな治療戦略として発展する可能性が得られた。

また、本研究では、細胞質を光操作によりアルカリ化することで、ミトコンドリア内外の pH 勾配を解消させると、細胞外に乳酸が放出されることをバイオセンサー電極を使って示された。この乳酸が乳酸輸送体 (MCT) を介して神経細胞に取り込まれることで、神経細胞間のシナプス伝達特性が影響を受けた。また、神経細胞に発現させた蛍光 ATP センサーの活動を計測したところ、睡眠・覚醒等の脳内ステートシフトにともない、細胞内 ATP 濃度が変動することも示された (Natsubori, Matsui et al., Comm Biology 2020)。一方、アストロサイトのアルカリ化は、アストロサイトからのグルタミン酸放出を抑制する。小脳におけるアストロサイトの pH を光操作したところ、小脳における長期抑制 (LTD) の発現に必須の代謝型グルタミン酸受容体 (mGluR1) の活性化が抑制された。したがって、小脳依存性運動学習は、アストロサイト pH によって左右されることが示唆された (Beppu, ..., Matsui*, J Physiol 2021)。グルタミン酸等の古典的伝達物質と乳酸等の代謝産物とで、それぞれ、脳内情報処理に対して異なる役割を果たす可能性がある。アストロサイトの活動を光操作することで、アストロサイトが脳内代謝そのものに影響を与えるとともに (Takata, Matsui, et al., Glia 2018)、脳内局所血流を左右することも示された (Hatakeyama, Matsui, et al., JCBFM 2021)。これらの結果を踏まえ、学習・記憶の様々なフェーズにおけるグルタミン酸と乳酸の役割、ならびに、アストロサイトによる制御機構を明らかにする取り組みに発展させている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計13件（うち査読付論文 6件 / うち国際共著 4件 / うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Shimoda Yoshiteru, Beppu Kaoru, Ikoma Yoko, Morizawa Yosuke M., Zuguchi Satoshi, Hino Utaro, Yano Ryutaro, Sugiura Yuki, Moritoh Satoru, Fukazawa Yugo, Suematsu Makoto, Mushiake Hajime, Nakasato Nobukazu, Iwasaki Masaki, Tanaka Kenji F., Tominaga Teiji, Matsui Ko	4. 巻 163
2. 論文標題 Optogenetic stimulus-triggered acquisition of seizure resistance	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Neurobiology of Disease	6. 最初と最後の頁 105602 ~ 105602
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nbd.2021.105602	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 Hatakeyama Nao, Uekawa Miyuki, Murata Juri, Tomita Yutaka, Suzuki Norihiro, Nakahara Jin, Takuwa Hiroyuki, Kanno Iwao, Matsui Ko, Tanaka Kenji F., Masamoto Kazuto	4. 巻 41
2. 論文標題 Differential pial and penetrating arterial responses examined by optogenetic activation of astrocytes and neurons	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Cerebral Blood Flow & Metabolism	6. 最初と最後の頁 2676 ~ 2689
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1177/0271678X211010355	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 Tsunematsu Tomomi, Sakata Shuzo, Sanagi Tomomi, Tanaka Kenji F., Matsui Ko	4. 巻 41
2. 論文標題 Region-Specific and State-Dependent Astrocyte Ca ²⁺ Dynamics during the Sleep-Wake Cycle in Mice	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Journal of Neuroscience	6. 最初と最後の頁 5440 ~ 5452
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1523/JNEUROSCI.2912-20.2021	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 Akiyo Natsubori, Tomomi Tsunematsu, Akihiro Karashima, Hiromi Imamura, Naoya Kabe, Andrea Trevisiol, Johannes Hirrlinger, Tohru Kodama, Tomomi Sanagi, Kazuto Masamoto, Norio Takata, Klaus-Armin Nave, Ko Matsui, Kenji F. Tanaka & Makoto Honda	4. 巻 3
2. 論文標題 Intracellular ATP levels in mouse cortical excitatory neurons varies with sleep-wake states	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Communications Biology	6. 最初と最後の頁 491
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s42003-020-01215	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 Mariko Onodera, Jan Meyer, Kota Furukawa, Yuichi Hiraoka, Tomomi Aida, Kohichi Tanaka, Kenji F. Tanaka, Christine R. Rose and Ko Matsui	4. 巻 41
2. 論文標題 Exacerbation of Epilepsy by Astrocyte Alkalization and Gap Junction Uncoupling	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Neuroscience	6. 最初と最後の頁 2106-2118
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1523/JNEUROSCI.2365-20.2020	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 該当する

1. 著者名 Kaoru Beppu Naoko Kubo Ko Matsui	4. 巻 599
2. 論文標題 Glial amplification of synaptic signals	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Physiology	6. 最初と最後の頁 2085-2102
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1113/JP281436.	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 該当する

1. 著者名 松井 広	4. 巻 2021
2. 論文標題 てんかん治療における迷走神経刺激法の機序	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Annual Review 神経 2021	6. 最初と最後の頁 337-373
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 松井 広	4. 巻 73
2. 論文標題 脳内デュアルレイヤー情報処理機構とその破綻による脳病態機序	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 BRAIN and NERVE	6. 最初と最後の頁 769-779
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 松井 広	4. 巻 36
2. 論文標題 グリア・オプトジェネティクスで解き明かす学習記憶の成立条件	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 日本認知症学会誌	6. 最初と最後の頁 213-223
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 松井 広、田中謙二	4. 巻 37
2. 論文標題 序にかえて - にかわ脳-Glue Brain Project-	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 実験医学増刊	6. 最初と最後の頁 3-7
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 森澤陽介、松井 広、小泉修一	4. 巻 37
2. 論文標題 グリア細胞による貪食を介した脳内リモデリング	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 実験医学増刊	6. 最初と最後の頁 65-72
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 別府 薫、松井 広	4. 巻 37
2. 論文標題 アストロサイト活動光操作による脳機能制御	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 実験医学増刊	6. 最初と最後の頁 136-143
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 常松友美、松井 広	4. 巻 37
2. 論文標題 睡眠覚醒のスイッチ	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Clinical Neuroscience	6. 最初と最後の頁 793-797
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 -

〔学会発表〕 計28件 (うち招待講演 9件 / うち国際学会 20件)

1. 発表者名 Sasaki D, Kanaya T, Matsui K
2. 発表標題 Extreme adaptation and glial meta-plasticity control
3. 学会等名 Annual Meeting of The Physiological Society of Japan (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kanaya T, Matsui K
2. 発表標題 Astrocytic regulation of homeostatic learning
3. 学会等名 Annual Meeting of The Physiological Society of Japan (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tan W, Matsui K
2. 発表標題 Astrocytic control of anxiety
3. 学会等名 Annual Meeting of The Physiological Society of Japan (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ikoma Y, Sasaki D, Matsui K
2. 発表標題 Plasticity of brain environment upon development of epilepsy
3. 学会等名 Annual Meeting of The Physiological Society of Japan (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Donen Y, Matsui K
2. 発表標題 Brain state effects on cortical signal transmission
3. 学会等名 Annual Meeting of The Physiological Society of Japan (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Furukawa K, Matsui K
2. 発表標題 Changes in ATP energy dynamics in the brain
3. 学会等名 Annual Meeting of The Physiological Society of Japan (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Onishi I, Araki S, Matsui K
2. 発表標題 Glial origin of epilepsy
3. 学会等名 Annual Meeting of The Physiological Society of Japan (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松井 広
2. 発表標題 心身機能連関のインターフェースを担うグリア細胞
3. 学会等名 立命館大学システム視覚科学研究センターセミナー（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松井 広
2. 発表標題 心身連関の仲介する脳内グリア機能の計測と操作
3. 学会等名 第25回日本心療内科学会学術大会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 生駒 葉子, 荒木 峻, 古川 孝太, 松井 広
2. 発表標題 迷走神経刺激による中枢脳内環境制御
3. 学会等名 第74回日本自律神経学会総会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Sasaki D, Kanaya T, Matsui K
2. 発表標題 Dynamics of meta-plasticity induced by stroke
3. 学会等名 The Annual Meeting of the Japan Neuroscience Society, Kobe, Japan (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Furukawa K, Matsui K
2. 発表標題 Energy management in neurons upon epilepsy
3. 学会等名 The Annual Meeting of the Japan Neuroscience Society, Kobe, Japan (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ikoma Y, Matsui K
2. 発表標題 Optical pursuit of epileptogenesis
3. 学会等名 The Annual Meeting of the Japan Neuroscience Society, Kobe, Japan (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yamao H, Matsui K
2. 発表標題 Glial induced mechanism of meta-plastic modulation
3. 学会等名 The Annual Meeting of the Japan Neuroscience Society, Kobe, Japan (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yamao H, Matsui K
2. 発表標題 Metaplastic switching by astrocytes
3. 学会等名 XV European Meeting on Glial Cells in Health and Disease, Marseille, France (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小野寺麻理子、松井広
2. 発表標題 アストロサイト間ギャップ結合閉塞によるてんかん重篤化機構の解明
3. 学会等名 第43回 日本神経科学大会 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 松井広
2. 発表標題 脳内グリア細胞内 pH が制御する情報処理特性と病態
3. 学会等名 第93回 日本生化学会大会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 松井広、金谷哲平
2. 発表標題 グリア・オプトジェネティクスで解き明かす学習記憶の成立条件
3. 学会等名 第39回 日本認知症学会学術集会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Ikoma Y, Matsui K
2. 発表標題 in vivo glial pH in epilepsy
3. 学会等名 Annual Meeting of The Physiological Society of Japan (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kanaya T, Sasaki D, Ito R, Yamao H, Beppu K, Matsui K
2. 発表標題 Glial contribution to the early phase of the parallel memory formation process
3. 学会等名 Annual Meeting of The Physiological Society of Japan (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Araki S, Ito R, Matsui K
2. 発表標題 Generation of the epileptic focus by glia
3. 学会等名 Annual Meeting of The Physiological Society of Japan (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Furukawa K, Matsui K
2. 発表標題 Energizing epilepsy
3. 学会等名 Annual Meeting of The Physiological Society of Japan (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yamao H, Matsui K
2. 発表標題 Glial switch of fear memory formation
3. 学会等名 Annual Meeting of The Physiological Society of Japan (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 松井 広
2. 発表標題 神経活動の発振を封じ込める内因性機構の賦活化
3. 学会等名 日本脳循環代謝学会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ko Matsui
2. 発表標題 Meta-information control of the brain via glial functions
3. 学会等名 National Taiwan University - Tohoku University Neuroscience Symposium（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松井 広
2. 発表標題 オプトジェネティクスによるてんかん病態解析と制御
3. 学会等名 関東機能的脳外科カンファレンス（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ko Matsui
2. 発表標題 Astrocytic control of neuronal information processing and disease
3. 学会等名 日本神経科学会（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松井 広
2. 発表標題 グリア細胞の担う脳内情報処理と光操作による脳病態制御
3. 学会等名 東京慈恵会医科大学 "医学研究の基礎を語る集い" (招待講演)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 松井広、田中謙二	4. 発行年 2019年
2. 出版社 羊土社	5. 総ページ数 228
3. 書名 脳の半分を占める グリア細胞	

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>東北大学・超回路脳機能分野 http://www.ims.med.tohoku.ac.jp/matsui/</p> <p>Tohoku University NGP Academic English Course http://www.ims.med.tohoku.ac.jp/NGPEnglish/</p>

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

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
---------	---------

ドイツ	Heinrich-Heine-University Dusseldorf	Saarland University		
-----	---	---------------------	--	--