

令和 2 年 6 月 2 日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的研究(萌芽)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K20090

研究課題名(和文)脳内ステルス刺激による脳活動制御

研究課題名(英文)Control of neural activity by stealth stimulation

研究代表者

高橋 宏知(Takahashi, Hirokazu)

東京大学・大学院情報理工学系研究科・准教授

研究者番号：90361518

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)：ラット頭部に固定具および聴覚野硬膜上に16チャンネルマイクロ皮質脳波電極アレイを埋め込み、ラットを固定した上でレバーを操作させて、知覚を報告するように訓練した。これらを用いてラットの可聴閾値音圧を調べ、閾値付近でのラット聴皮質の神経活動がどのように異なるか調べた。この実験系を利用して、ラットの視床の電気刺激による知覚補綴効果を検討した。その結果、視床への電気刺激が、聴覚野でP3波と類似した神経活動を介して、聴知覚を生成あるいは促進していることと、視床の感覚ゲーティング機能により、視床刺激が知覚に及ぼす影響は、刺激パラメータに強く依存することが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

脳内で表現されている情報が、すべて主観的な「意識」にのぼるわけではない。そうならば、どのような活動パターンが、意識にのぼりやすいのだろうか、あるいは逆に、意識にのぼりにくいのだろうか？意識に関わる脳活動パターンの知見は年々蓄積されている。これらの知見を治療や産業に生かすためには、脳活動と意識的な知覚との相関関係にとどまらずに、両者の因果性に踏み込まなければならない。そのためには、脳に直接的に刺激を与えることで生じる知覚を調べればよい。脳への直接刺激の断続的な効果や長期間に渡る慢性的な効果を調べるためには、げっ歯類による動物実験が最も有効であると考えた。

研究成果の概要(英文)：We designed an experimental system to measure micro-electrocorticograms with 4×4 epi-dura electrodes implanted in the temporal cortex in a head-fix preparation of awake rats. We conditioned rats to report their auditory perception by pulling a lever, then recorded their behavior and cortical activities when we provided sound stimuli, thalamic microstimulation, or co-stimulation. Consequently, one of the tested rats exhibited lever-pulling behavior and cortical positive potential in response to the thalamic microstimulation, while costimulation using strong or weak microstimulation increased or decreased its lever-pulling activity, respectively. These results indicate that the parameter of thalamocortical microstimulation should be carefully considered when used in the modulation of auditory perception.

研究分野：神経工学

キーワード：聴覚野 電気刺激 微小電極アレイ

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

研究代表者は、聴覚のメカニズムを長らく研究してきた。特に微小電極アレイを独自に設計し、詳細な脳活動パターンの計測手法を確立してきた (Takahashi et al., IEEE TBME, 2003; Noda and Takahashi, Eur J Neurosci, 2015; 他多数)。たとえば、聴覚野の時空間的な活動パターンは、脳幹の電気刺激時と音刺激提示時とで、非常に類似しており、脳の電気刺激による聴覚再建の可能性を示した (Takahashi et al., IEEE TBME, 2005)。また、ラットの聴覚野や視床の情報表現と学習による可塑性を徹底的に調べてきた (Takahashi et al., Neurosci, 2011; 他多数)。これらの微小電極アレイによる生理実験では、外部環境の情報を表現する脳活動パターンを調べてきた。しかし、そのように脳内で表現されている情報が、すべて主観的な「意識」にのぼるわけではない。そうならば、どのような活動パターンが、意識にのぼりやすいのだろうか、あるいは逆に、意識にのぼりにくいのだろうか？ 脳活動パターンの医療・産業利用を検討するとき、脳活動のほとんどを占める“意識にのぼりにくいパターン”こそ、工学的には利用価値が高い。

意識に関わる脳活動パターンの知見は年々蓄積されている。これらの知見を治療や産業に生かすためには、脳活動と意識的な知覚との相関関係にとどまらずに、両者の因果性に踏み込まなければならない。そのためには、脳に直接的に刺激を与えることで生じる知覚を調べればよい。脳を直接電気刺激して知覚を生成させる臨床研究は、てんかん患者を対象として、1950年代から1980年代にかけて盛んに実施された。現在でも、難治性てんかん患者の検査では脳に電極を埋め込むことがあるので、どのような刺激パターンが意識にのぼりやすいかを調べられないことはない。しかし、倫理的かつ時間的な制約により、検査中の探索的な研究は難しい。脳への直接刺激の断続的な効果や長期間に渡る慢性的な効果を調べるためには、げっ歯類による動物実験が最も有効であると考えた。

### 2. 研究の目的

ラットを動物モデルに用いて、(1) 脳に直接電気刺激を与えたときに、意識にはのぼらない刺激 (脳内ステルス刺激) のパラメータを明らかにし、(2) 脳内刺激により脳活動を調整したり、知覚を操作したりする技術の基盤を築く。

### 3. 研究の方法

#### 3.1 実験系の構築

ラットやマウスなどの小動物を対象とした覚醒下の慢性電気生理計測では、配線の取り回しが問題になることが多かった。また、無線計測でも、バッテリー重量が問題だった。さらに、聴覚研究では、自由行動下のラットは、耳介とスピーカとの距離が変化するため、一定音圧下での厳密な実験は難しかった。

本研究では、既存のオペラント学習装置 (Task forcer, 小原医科産業(株)) と組み合わせ、頭部を固定して神経活動を計測できる実験系を設計した。この手法によれば、配線の問題やラットとスピーカとの位置関係の問題も解決できる。さらに、オペラント学習装置には、ラットに操作可能なレバーが取り付けられており、レバー操作を介して、レバー先端から報酬として水がラットに与えられる。この装置でラットを十分に訓練すれば、実験者はラットの知覚をレバー操作で報告させることもできる。ヒトでの臨床的な聴力検査のように、ラットの可聴閾音圧をレバー操作から把握できれば、基礎研究と臨床研究とを橋渡しするトランスレーショナルな研究方法としても有望である。

また、本研究ではラット右側頭葉の硬膜上に、16チャンネル微小電極アレイ ((株)ユニークメディカル) を埋め込み、聴覚野のマイクロ皮質脳波 ( $\mu$  ECoG) を慢性計測した。なお、この電極はラット聴覚野を覆う最適サイズに設計した。

#### 3.2 電気刺激のパラメータ検討

上記実験系を用いて、中枢刺激による知覚補綴効果の基礎的検討を行った。具体的には、音刺激に反応してレバーを引くように訓練したラットを用いて、視床に対する電気刺激が聴知覚を生成あるいは向上させるかを調べるため、第一に、行動実験で、電気刺激のみを与えて聴知覚の有無をラットに報告させた。また、音と電気同時刺激に対して、電気刺激が音に対するラットのレバー報告に与える影響を調べた。第二に、視床への電気刺激が中枢でどのような影響を与えるか調べるため、聴覚野の神経活動を計測し、電気刺激による神経活動の変化を調べた。

### 4. 研究成果

#### 4.1 ラット聴覚皮質における聴覚タスク中のマイクロ皮質脳波計測

ラット頭部に固定具および聴覚野硬膜上に16チャンネル $\mu$  ECoG電極アレイを埋め込み、覚醒・麻酔下で脳活動の慢性計測できる実験系を構築した。さらに、ラットを固定した上でレバーを操作させて、知覚を報告するように訓練した。これらを用いてラットの可聴閾値音圧を調べ、閾値付近でのラット聴覚皮質の神経活動がどのように異なるか調べた。その結果、(i) 設計した電極は、覚醒下でも、麻酔下でも、ラットのA1とAAFを含む聴覚野全域からAEPを計測できた。AEPの振幅の空間的な分布やAEP波形には、顕著な麻酔の影響が認められた。(ii) ラットの可聴音圧閾値を推定できる実験系を構築した。本稿で報告したラットでは、20 dB SPLの雑音下において、16 kHzの純音の可聴音圧閾値は35 dB SPLだった。(iii) 閾値付近の音提示に対して、

知覚を報告した試行と知覚を報告しなかった試行を比較したところ、中潜時反応には有意な差異を認めなかったが、その後に見られる P3 波および Late slow wave は知覚を報告した試行でのみ確認できた。(iv) 報酬に無関係な音提示に対して、P3 波が確認できなかった。これは、ラットが音に対して注意を向けず、知覚しなくなったためと考えられる。

これらの実験結果から、本研究では、ラットを対象として、意識と相関する神経活動を探索できる実験系を構築できた。ヒトやサルでは、意識にのぼる刺激や刺激が意識にのぼったときの相関神経活動(Neural Correlates of Consciousness; NCCs)は古くから調べられてきた。これらの先行研究で示されてきた特徴が、ラットでも認められることを本研究は示した。第一に、35 dB SPL での聴力検査における AEP の中潜時反応はラットがレバーを引いた試行とレバーを引かなかった試行では、有意差を認めなかった。これは、刺激直後の中潜時反応は、意識的な聴こえを反映していない可能性を支持する。第二に、長潜時反応では、ラットがレバーを引いた試行に現れる P3 波や P3 波後の late slow wave が、それぞれレバーを引かなかった試行に対して有意差を認めた。これらの成分は、意識的な聴こえを反映している可能性がある。Dehaene らの Global workspace theory によると、感覚野で処理された刺激が頭頂葉/前頭前野のネットワークを賦活するとき、刺激情報が脳全体に広域化され意識に結び付けられる。その際、脳波では P3 波や P300 といった波形が観測される。また、広域化により感覚野に刺激情報がフィードバックされ、感覚野はさらに賦活することも知られている。これらの知見は、今回観測されたラットの P3 波の特徴と合致しており、ヒトと同様の意識に相関する神経活動がラットの脳内でも生じていることを支持する。ただし、P3 波のピーク時がラットのレバーを引いたタイミングとほぼ一致することを鑑みると、P3 波後の late slow wave は意識に相関する神経活動以外にも、レバー引き動作や水飲み等の体動成分を多く含むと考えられる。

一方、報酬と関連していない音刺激では、可聴閾値音圧を超えていても P3 波は確認できなかった。オンセット反応は確認できることから、音情報は聴覚野には到達しているが、ラットの注意が音に向いていないため意識にのぼっていない可能性がある。このような現象として、心理学では、inattention blindness が知られている。この現象では、注意が向いていないと、視野内であっても対象が見えなくなる。これと同様に、本実験では、報酬と関連していない音にはラットの注意が向かず、刺激が意識にのぼっていない状態、すなわち、「inattention deafness」が起きていると考えられる。その他の可能性として、P3 波は、聴覚野における報酬情報の処理や、聴覚系と運動系の協調に関わると考えられる。今後、さまざまな条件で P3 波の有無を調べることで、P3 波と意識にのぼる刺激の関係性を詳細に明らかにしていく必要がある。

#### 4.2 レポート可能な聴知覚に対する視床電気刺激の影響

ラットの視床(内側膝状体腹側核, MGv)の電気刺激による知覚補綴効果を検討した。MGv の電気刺激が聴知覚を生成するか、および、聴知覚を向上させるか、について行動実験と電気生理計測を行った。具体的には、音刺激による聴知覚をレバー引き行動で報告するよう、ラットにオペラント条件付けを施したのち、音刺激、視床への電気刺激および、それらの同時刺激に対するラットのレバー引き行動を比較した。また、麻酔下で各刺激に対する聴皮質の誘発反応を計測した。その結果、(i) 視床への電気刺激に対して、ラットは有意なレバー引き行動を示し、聴覚野では持続的な電位上昇が認められた。(ii) 音刺激と同時に強い電気刺激を印加すると、レバー引き行動は増え、同時刺激提示から 150 ms 後に、聴覚野では陽性の電位変化が認められた。(iii) 音刺激と同時に弱い電気刺激を印加すると、レバー引き行動は減り、聴覚野で有意な電位の変化は認められなかった。これらの結果は、視床への電気刺激が、聴覚野で P3 波と類似した神経活動を介して、聴知覚を生成あるいは促進していることと、視床の感覚ゲーティング機能により、視床刺激が知覚に及ぼす影響は、刺激パラメータに強く依存することを示唆する。

音に対してレバーを引くことを学習したラット 2 匹の視床(MGv)を電気刺激した。その結果、ラット 1 では、電気刺激後、無刺激条件に比べてレバー引き行動による聴知覚の報告率が有意に増えたが、ラット 2 では聴知覚の報告率は変化しなかった。また、ラット 1 では電気刺激が聴覚野で陽性の電位変化を誘発したが、ラット 2 では有意な電位変化はみられなかった。これらの結果は、ラット 1 のみ、MGv への電気刺激が聴覚野の賦活を通して聴知覚を誘発したことを示唆する。ラット 1 の聴覚野における電気刺激の誘発電位から、MGv への電気刺激が聴覚野で P3 波に相当する神経活動を介して聴知覚を誘発した可能性が高いと考えた。聴覚刺激が蝸牛で発生させた神経活動は、下丘と視床を経由して、およそ 20 ms 後に聴覚野で P1 と呼ばれる聴性誘発電位を発生させる。本研究でも、音刺激条件、同時刺激条件で P1 に相当する神経活動が認められたが、電気刺激だけを印加した際には、P1 は認められなかった。これらの結果から、P1 が発生するかどうかは聴知覚の有無とは直接関係しない可能性が高いと考える。

ヒトでは、刺激を意識的に知覚したときに、脳波で P3 波(P300 波)と呼ばれる陽性の電位変化が発生する。ラットでも、聴知覚を報告させると、音刺激から 160-260 ms 後に聴覚野で P3 波が発生することが報告されている。本研究でも、行動実験の電気刺激条件と同じ電流強度(40  $\mu$ A)で MGv を電気刺激すると、聴覚野の電位は持続的に上昇し、P3 波の時間帯において、陽性の電位を示した。これらの結果から、視床への電気刺激は、聴覚野の P3 波と類似した神経活動を介して、聴知覚を誘発している可能性が高い。

ラット2では、十分強い電気刺激を印加したにもかかわらず、聴覚の報告率は変化しなかった。本研究の電気刺激条件で用いた電気刺激パラメータは、印加できる総電荷量が本実験中で最も多かった。また、ネコでも、MGv に対する電気刺激が聴覚野に及ぼす効果は、電流強度が  $36 \mu\text{A}$  になった時点で飽和することが報告されている。こうしたことから、本研究の電気刺激条件の強度は十分であり、ラット2で聴覚の報告率が変化しなかったのは、埋植した電極が、聴覚につながる経路を賦活できなかつたためと考える。今後、電極埋植位置に対する組織学的な検討を通して、聴覚の誘発に関わる視床の領野の特定が期待される。

同時刺激条件では、電気刺激のパラメータに依存して、ラット1の聴覚の報告率が増減したことから、MGv への電気刺激は、聴覚の促進と抑制の両方の機能を果たすと推測した。神経細胞に対する電気刺激は、印加する総電荷量が多いほど効果が高いと考えられている。本研究でも、印加した総電荷量が  $1.0 \text{ C}$  よりも多い3つのパラメータの組み合わせのうち2つで聴覚の報告率が増加した。また、基本のパラメータの組み合わせを用いた同時刺激と、音刺激に対する誘発電位を比較したところ、P1 には違いが認められなかったが、同時刺激による誘発電位は、刺激開始から  $160 \text{ ms}$  後の電位が、音刺激による誘発電位に比べて有意に陽性であった。これらの結果から、視床への電気刺激は、聴覚野の P3 波と類似した神経活動を介して、同時に提示された音に対する聴覚の報告率を向上させた可能性が高いと考える。

一方で、MGv への弱い電気刺激が、聴覚の報告率を低下させたことから、視床に対する閾値下の刺激は、視床の感覚ゲーティング機能を介して聴覚を抑制し得ると考えた。本研究では、総電荷量が  $0.25 \text{ C}$  よりも少ない3つのパラメータの組み合わせのうち1つで聴覚の報告率が減少した。この電気刺激は、単独で印加した際に、聴覚野で誘発電位を発生させなかったことから、MGv が神経活動を発生させるための閾値に到達していなかったと考えられる。視床は、注意や刺激の顕著性に依存して、下丘から受けた神経活動の一部のみを聴覚野に伝達する機能、すなわち感覚ゲーティングを担うと考えられている。感覚ゲーティングの主要な役割の一つに外界の微弱なノイズに起因する、持続的な閾値下の神経活動の抑制があることを鑑みると、本研究で視床に印加した持続的な電気刺激に対し、視床が積極的な抑制を試みた結果、音刺激由来の神経活動の伝達が阻害された可能性が高い。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 5件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 石津光太郎, 白松 (磯口) 知世, 小河原康一, 高橋宏知	4. 巻 139
2. 論文標題 ラットの聴覚タスク中のマイクロ皮質脳波計測	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 電気学会論文誌C電子情報システム部門誌	6. 最初と最後の頁 625-631
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejeiss.139.625	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 -
1. 著者名 高橋宏知	4. 巻 61
2. 論文標題 聴知覚と聴覚野の神経活動の位相同期	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Audiology Japan	6. 最初と最後の頁 246-253
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 高橋宏知	4. 巻 印刷中
2. 論文標題 エンジニアのための脳科学のすすめ	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 電子情報通信学会誌	6. 最初と最後の頁 印刷中
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 Hirokazu Takahashi	4. 巻 印刷中
2. 論文標題 Darwinian computation with functional map in auditory cortex	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Acoustical Science and Technology	6. 最初と最後の頁 印刷中
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 和家尚希, 神崎晶, 高橋宏知	4. 巻 61
2. 論文標題 耳鳴症状を呈するラットの聴覚野における神経活動の位相同期	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Audiology Japan	6. 最初と最後の頁 160-169
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 高橋宏知	4. 巻 61
2. 論文標題 聴知覚と聴覚野の神経活動の位相同期	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Audiology Japan	6. 最初と最後の頁 印刷中
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38件 (うち招待講演 27件 / うち国際学会 2件)

1. 発表者名 高橋宏知
2. 発表標題 神経活動パターンの多様性と秩序: “生命知能”の源泉を探る
3. 学会等名 第57回日本生体医工学会大会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高橋宏知
2. 発表標題 知性や感性を生み出す脳の仕組み: 生命知能 vs. 人工知能
3. 学会等名 第3回 応用倫理・応用哲学研究会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高橋宏知
2. 発表標題 脳をリバースエンジニアリングする
3. 学会等名 日本機械学会2018年度年次大会 市民フォーラム：脳科学とデザイン(基礎から応用まで) (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高橋宏知
2. 発表標題 脳をリバースエンジニアリングする：知能と芸術の源泉を探る
3. 学会等名 計測自動制御学会ライフエンジニアリング部門シンポジウム2018 (SICE LE2018) (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高橋宏知
2. 発表標題 工学的視点の脳科学
3. 学会等名 電子情報通信学会 2018年ソサイエティ大会 企画セッション「人工知能と材料・デバイス」(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hirokazu Takahashi
2. 発表標題 Darwinian computation with functional map in auditory cortex
3. 学会等名 ohoku Universal Acoustical Communication Month 2018 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高橋宏知
2. 発表標題 ラットの聴覚野における機能マップと定常的な神経反応の同期
3. 学会等名 第5回 脳神経外科BMI研究会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高橋宏知
2. 発表標題 脳組織に内在する知能の源泉
3. 学会等名 第66回応用物理学会春季学術講演会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hirokazu Takahashi
2. 発表標題 Intelligence emerging from spontaneously active neuronal culture (脳の自発活動から創発する知能)
3. 学会等名 The 41st Annual Meeting of the Japan Neuroscience Society, 2018（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hirokazu Takahashi
2. 発表標題 Origin of intelligence in the brain
3. 学会等名 UTokyo-SNU Workshop on Robotics, 2019（招待講演）
4. 発表年 2019年



1. 発表者名 高橋宏知
2. 発表標題 脳をリバースエンジニアリングする - 生命知能 vs. 人工知能 -
3. 学会等名 先端研カフェセミナー（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高橋宏知
2. 発表標題 脳のリバースエンジニアリング 知能・芸術・宗教を生み出す脳の仕組み
3. 学会等名 「科学と宗教 日本哲学の観点から」研究会（立正大学 村田純一研究室）（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高橋宏知
2. 発表標題 脳をリバースエンジニアリングする 意識・宗教編
3. 学会等名 電子情報技術産業協会感性・身体性感知技術分科会 第3回 感性・身体性感知技術分科会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高橋宏知
2. 発表標題 脳科学からアプローチ！～脳は美をどう捉えるのか～
3. 学会等名 レインアナリスト協会「ブレインラボ」心と脳の勉強会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高橋宏知
2. 発表標題 メカ屋のための脳科学入門 - 脳をリバースエンジニアリングする
3. 学会等名 2018年度 東京エレクトロン株式会社 畑村塾 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hirokazu Takahashi
2. 発表標題 Intelligence emerging from spontaneously active neuronal culture
3. 学会等名 IRCN PI Chalk Talk One (PIC1) (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高橋宏知
2. 発表標題 脳のリバースエンジニアリング - 生命知能 vs. 人工知能 -
3. 学会等名 ニコニコAIスクール 上級編 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高橋宏知
2. 発表標題 脳のリバースエンジニアリング (1) 知能と芸術/ (2) 意識と宗教
3. 学会等名 明治大学理工学研究科総合講義 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高橋宏知
2. 発表標題 脳のリバースエンジニアリングと創発コンピューティング
3. 学会等名 第6回TIAナノエレクトロニクス・ナノテクノロジーサマースクール(筑波大学)(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 和家尚希, 石津光太郎, 高橋宏知
2. 発表標題 オペラント条件付けを利用したラットの張力推定手法の開発
3. 学会等名 日本音響学会聴覚研究会資料
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Narumitsu Ikeda, Yoshinao Sato, and Hirokazu Takahashi
2. 発表標題 Short utterance speaker recognition by reservoir with self-organized mapping
3. 学会等名 Proceedings of IEEE SLT 2018 Workshop on Spoken Language Technology
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 石津光太郎, 大泉匡史, 土谷尚嗣, 白松(磯口)知世, 高橋宏知
2. 発表標題 ラット視床-聴皮質間における情報流 移動エントロピーによる定量評価
3. 学会等名 日本音響学会聴覚研究会資料
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 可部泰生, 池田成満, 和家尚希, 白松(磯口)知世, 高橋宏知
2. 発表標題 Echo state networkを用いた他覚的聴覚閾値推定
3. 学会等名 平成30年電気学会電子・情報・システム部門大会講演論文集
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 石津光太郎, 大泉匡史, 白松(磯口)知世(東京大学), 土谷尚嗣, 高橋宏知
2. 発表標題 VNSの聴知覚への影響推定 -視床・皮質間の信号やり取りの動的変化から-
3. 学会等名 平成30年電気学会電子・情報・システム部門大会講演論文集
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 池田成満, 窪田智之, 高橋宏知
2. 発表標題 分散培養神経回路の自己組織化と刺激識別能力
3. 学会等名 電気学会研究会資料 医用・生体工学研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 木村武龍, 大泉匡史, 北園淳, 高橋宏知
2. 発表標題 統合情報量による神経回路のネットワーク解析
3. 学会等名 電気学会研究会資料 医用・生体工学研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 森叶人, 石津光太郎, 高橋宏知
2. 発表標題 視聴覚統合に関わる感覚野の誘発電位
3. 学会等名 電気学会研究会資料 医用・生体工学研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takeru Kimura, and Hirokazu Takahashi
2. 発表標題 Characterization of neural network by integrated information theory
3. 学会等名 UTokyo-SNU Workshop on Robotics, 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高橋宏知
2. 発表標題 人工知能 vs 生命知能 - 脳をリバースエンジニアリングする -
3. 学会等名 第7回 超異分野学会 本大会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高橋宏知
2. 発表標題 聴知覚を生み出す聴覚野の時空間的な活動パターン
3. 学会等名 第62回日本聴覚医学会 聴覚生理研究会 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 高橋宏知
2. 発表標題 神経活動パターンの多様性と秩序：“生命知能”の源泉を探る
3. 学会等名 平成29年度第3回ブレインウェア研究会（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 高橋宏知
2. 発表標題 脳のリバースエンジニアリングと創発コンピューティング
3. 学会等名 電子デバイス界面テクノロジー研究会 材料・プロセス・デバイス特性の物理（第23回研究会）（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高橋宏知
2. 発表標題 聴知覚を生み出す聴覚野の位相同期
3. 学会等名 第123回日本解剖学会全国学術集会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高橋宏知
2. 発表標題 Neural correlates of perceptual organization in the auditory cortex
3. 学会等名 the 4th annual meeting of the Society for Bioacoustic（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 高橋宏知
2. 発表標題 Cortical systems as spontaneously active reservoir
3. 学会等名 The 3rd Workshop on Bio-inspired Energy-Efficient Information Systems (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高橋宏知
2. 発表標題 神経細胞のネットワーク構築とそこから創発する知能のメカニズム
3. 学会等名 第18回ナノテク高機能テキスタイル基盤技術研究会 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 石津光太郎, 白松(磯口)知世, 小河原康一, 神崎亮平, 高橋宏知
2. 発表標題 ラット聴覚皮質におけるマイクロ皮質脳波の慢性計測
3. 学会等名 電気学会研究会 医用・生体工学研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 阿部泰己, 石津光太郎, 和家尚希, 高橋宏知
2. 発表標題 脳の電気刺激による意識にのぼる知覚の創成
3. 学会等名 電気学会研究会 医用・生体工学研究会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

研究代表者のホームページ <a href="http://www.brain.rcast.u-tokyo.ac.jp/~takahashi/">http://www.brain.rcast.u-tokyo.ac.jp/~takahashi/</a> 研究代表者の個人ホームページ <a href="http://www.brain.rcast.u-tokyo.ac.jp/~takahashi/">http://www.brain.rcast.u-tokyo.ac.jp/~takahashi/</a>
--

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
研究協力者	白松 知世  (Shiramatsu Tomoyo)	東京大学・大学院情報理工学系研究科・助教  (12601)	
研究協力者	石津 光太郎  (Ishizu Kotaro)	東京大学・大学院情報理工学系研究科・大学院生(当時)  (12601)	