

令和 5 年 5 月 9 日現在

機関番号：12601
研究種目：基盤研究(B)（一般）
研究期間：2020～2022
課題番号：20H04252
研究課題名（和文）脳組織によるフィジカル・リザーバー計算

研究課題名（英文）Physical reservoir computing with the brain

研究代表者

高橋 宏知（Hirokazu, Takahashi）

東京大学・大学院情報理工学系研究科・教授

研究者番号：90361518

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,700,000円

研究成果の概要（和文）：リザーバー計算は、大規模なリカレント・ニューラルネットワークの学習手法として注目されている。特に最近では、任意の大自由度力学系を計算資源として活用する物理リザーバー計算が重要な研究課題となっている。本研究は、脳組織で物理リザーバー計算を実現し、計算資源としての脳の特徴を考察した。具体的には、神経細胞の分散培養系とラットの聴覚野を実験対象とし、これらの脳組織を計算資源として定量化する手法を確立し、脳の計算能力が、自己組織的な神経回路の形成により、情報処理能力を向上させることを示した。これにより脳の自己組織化や可塑性が、リザーバー計算の機能的意義を有する可能性を検証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

脳の情報処理をリザーバー計算の枠組みで考察する研究が盛んであるが、脳そのものを物理リザーバー計算に用いた研究はほとんどない。本研究の学術的独自性は、脳にリザーバー計算が実装されているという仮説を検証する構成論的な試みにある。本研究の学術的創造性は、リザーバー計算という概念により、人工ニューラルネットワークを用いたモデル研究と、実際の脳の生理学的研究とを結びつける学際性にある。このような学際性は、古くはパーセプトロンと小脳の学習機構（1980年代）、コネクショニズムと海馬・新皮質からなる学習機構（1990年代）、そして最近では深層学習と脳の階層的表現などのように、革新的な研究の原動力となってきた。

研究成果の概要（英文）：Reservoir computing has attracted attention as a training algorithm for large-scale recurrent neural networks. In particular, physical reservoir computing, which utilizes arbitrary large-degree-of-freedom dynamical systems as computational resources, has recently become an important research topic. In this study, we demonstrated physical reservoir computing with the brain and quantified the amount of computational resources in the brain. In dissociate culture of neurons and the auditory cortex of rats for physical reservoir, we estimated the information processing capacity. We also investigated whether self-organized neural circuits could improve the information processing capacity. This study verified the possibility that self-organization and plasticity in the brain plays critical roles in reservoir computing.

研究分野：神経工学

キーワード：脳 情報処理 神経活動

1. 研究開始当初の背景

リザーブ計算は、大規模なリカレント・ニューラルネットワークの学習手法として注目されている。特に最近では、計算能力の高いネットワークを人為的に作り込むためのメタ学習と、任意の大自由度力学系を計算資源として活用するフィジカル・リザーブ計算が重要な研究課題となっている。本研究は、脳組織でフィジカル・リザーブ計算を実現し、計算資源としての脳の特徴を考察した。具体的には、神経細胞の分散培養系 (in vitro) とラットの聴覚野 (in vivo) を実験対象とし、これらの脳組織を計算資源として定量化する手法を確立した。次に、脳の計算能力が、自己組織的な神経回路の形成やその後の経験依存的な可塑性により、どのように変化するかを調べた。これにより脳の自己組織化や可塑性が、リザーブ計算のメタ学習のような機能的意義を有する可能性を検証した。最終的には、実践的な時系列情報処理タスクとして、音声の単語識別と話者・感情識別を脳組織

2. 研究の目的

本研究の目的は、実際の脳組織 (in vivo, in vitro) をフィジカル・リザーブとして考え、脳組織を計算資源として定量化する手法を確立すること、脳組織の計算能力が、自己組織的な神経回路の形成や経験依存的な可塑性により、どのように変化するかを明らかにすることである。これにより脳の自己組織化や可塑性が、リザーブ計算のメタ学習のような機能的意義を有する可能性を検証する。

3. 研究の方法

本研究では、神経細胞の分散培養系 (in vitro 系) とラットの聴覚野 (in vivo 系) を用いて、フィジカル・リザーブ計算を試みた。In vitro 系では、高密度 CMOS 電極アレイ上に神経細胞を播種した。同アレイ上には、直径 8 μm の微小電極が 18 μm 間隔で配置されており、1000 個以上の神経細胞の活動を同時計測した。また、神経回路の入力として、最大 32 個の電極を組み合わせることで時空間的に電気刺激を印加した。In vivo 系では、10 \times 10 の微小電極アレイをラットの聴覚野に刺入し、音刺激に対する脳活動を多点同時計測した。聴覚野は、学習・経験による可塑性を調べる実験系としても注目されている。

4. 研究成果

(1) 脳の情報処理容量の定量化

脳組織を物理リザーブと見なし、その情報処理の特性を情報処理容量の定量化を試みた。情報処理容量では、特定の入力に対するリザーブの内部状態から、力学系の情報処理能力を調べる。具体的には、入力時系列を直行多項式分解する基底を状態量から推定し、その精度を定量化する。そのため、入力に対して決定論的な任意のベンチマークタスクの性能を評価できるはずである。したがって、脳をリザーブとみなし、その情報処理容量を算出できれば、任意のベンチマークタスクの性能を評価できるはずである。情報処理容量の算出では、入力時系列を直行多項式分解する基底を状態量から推定し、その精度を定量化した。本研究では、直交多項式として任意多項式カオスを採用し、グラム・シュミットの直交化を用いて、任意の確率分布に従う時系列からノンパラメトリックに直交多項式空間を構成した。

その結果、脳組織の 1 次・2 次の情報処理容量を定量化でき、脳組織が線形・非線形の情報処理能力を有していることを示した (図 1(a), (b))。また、この情報処理容量は、シフトレジスタタスク、論理演算タスクといった既存のベンチマークタスクの成績と有意な相関を示した。これらの結果から、脳組織を計算資源として使えること、また、提案手法が脳組織の計算能力を網羅的に評価できる可能性を示した。

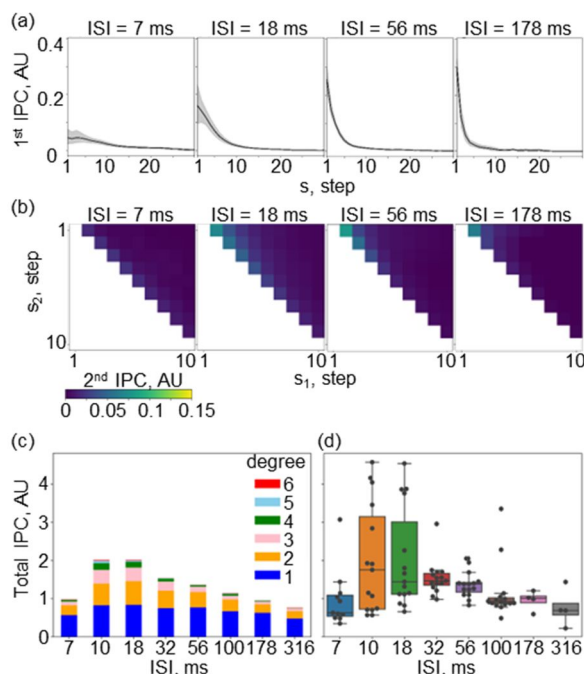


図 1 ラット聴覚野の情報処理容量

(2) 脳のダイナミクスと情報処理容量

神経細胞の分散培養系では、電気刺激パルスに対する神経応答に基づいて計算能力を検証した。分散培養系は成長に伴い、ネットワーク構造と時空パターンも複雑化する。このような神経回路の複雑化に伴い、分散培養系の情報処理容量が向上することを示した。ラットの大脳皮質では、光刺激と音刺激による多次元二値入力に対して、視覚野と聴覚野の脳活動を同時に計測し、異種感覚入力が各知覚領域の脳活動に及ぼす影響を調べた。オドボール課題では、視覚野と聴覚野は、光刺激の逸脱刺激と聴覚刺激の逸脱刺激に対して、それぞれ、標準刺激よりも大きな反応を示した。視覚刺激と聴覚刺激が一致している場合と、一致していない場合とを比較したところ、視覚刺激と聴覚刺激に対する脳活動には、有意な相互作用が認められた。したがって脳の情報処理容量の定量化には、異種感覚や他領域との相互作用に留意する必要があることがわかった。

入力刺激列のダイナミクスと脳のダイナミクスとの関係を調べた。さまざまな平均刺激間隔で情報処理容量を求めたところ、情報処理容量は刺激間隔に依存し、神経細胞の分散培養系では 30 ms 付近で、ラットの聴覚野では 10-20 ms 付近で最大となった（図 1(c), (d)）。この結果から、脳組織固有のダイナミクスが、情報処理容量に多大な影響を与えることがわかった。

ラットの聴覚野では、脳組織固有のダイナミクスと音楽との関係を調べた。行動実験では、ラットの頭部に無線加速度計を取り付け、音楽提示中のラットの頭部運動を精密に計測したところ、ラットが音楽に合わせてビート同期することを発見した（図 2(a)）。ビート同期の脳内メカニズムを探るために、ラットの聴覚野において、音楽に対する脳活動を調べた。その結果、ラットの聴覚野は、モーツァルトの原曲（132 BPM）に対して、最も明確なビート同期を示した。次に単純なリズム的な音刺激に対する聴覚野の活動も調べたところ、やはり 120 BPM 付近で最も明確なビート同期を示した。120 BPM への同期を生むメカニズムとして、脳の順応特性を考え、その数理モデルを作り、実験データの説明を試みた。その結果、音刺激後の約 250 ms（ミリ秒）は、次の音に対する脳の反応を強く抑制する順応特性が顕著に見られ、この特性が 120 BPM 付近のビート同期を生むことを明らかにした。さらに、この順応特性により、ランダムな音系列に対する聴覚野の反応の予測を試みたところ、音と音の間隔の平均が 200 ms の音系列に対して、最も高い予測精度を示した（図 2(b)）。非常に興味深いことに、クラシック音楽の音楽の音間隔の平均も 200 ms だった（図 2(c)）。このように、脳活動の順応ダイナミクスは、音楽への同期を生むだけでなく、音楽の鑑賞や創作（作曲）に関連している可能性を示した。

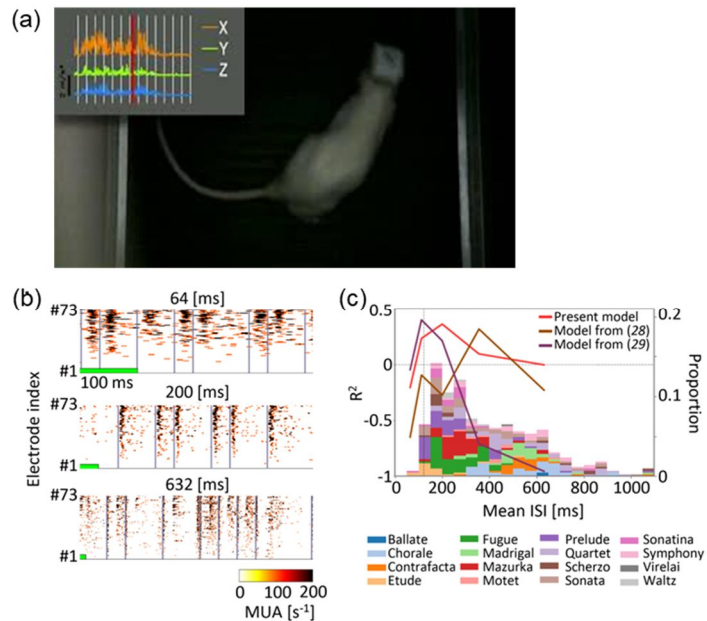


図 2 ラットの音楽へのビート同期

(3) 脳の情報処理容量を支えるメカニズム

神経細胞の分散培養系の生理実験とスパイクング・ニューラルネットワークのコンピュータシミュレーションでは、自己組織化臨界現象が、計算能力を向上させる可能性を検証した。その結果、適切な刺激間隔で刺激を入力すると、臨界状態では、未臨界状態・超臨界状態よりも、神経回路の情報処理容量が高かった。また、適切なノイズ強度と可塑性パラメータの下では、神経回路は自己組織的に臨界状態に到達することも示した。これらの結果から、脳組織は臨界状態にあるときに高い情報処理容量を持つことや、適切な条件において発達に伴って自己組織的に情報処理容量を高めていくことが示唆された。このような自己組織化臨界現象が、物理リザーブとしての脳組織の情報処理能力を支えていると考える。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計21件（うち査読付論文 21件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 8件）

1. 著者名 Shiramatsu Tomoyo Isoguchi, Mori Kanato, Ishizu Kotaro, Takahashi Hirokazu	4. 巻 33
2. 論文標題 Oddball-irrelevant visual stimuli cross-modally attenuate auditory mismatch negativity in rats	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 NeuroReport	6. 最初と最後の頁 363 ~ 368
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1097/WNR.0000000000001793	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 Ishida Naoki, Kubota Tomoyuki, Ito Yoshiki, Shiramatsu Tomoyo, Isoguchi, Suwa Eisuke, Takahashi Hirokazu	4. 巻 142
2. 論文標題 Information Processing Capacity in the Rat Auditory Cortex	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEJ Transactions on Electronics, Information and Systems	6. 最初と最後の頁 569 ~ 577
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejeiss.142.569	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 Suwa Eisuke, Kubota Tomoyuki, Ishida Naoki, Takahashi Hirokazu	4. 巻 142
2. 論文標題 Information Processing Capacity of Dissociated Culture of Cortical Neurons	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEJ Transactions on Electronics, Information and Systems	6. 最初と最後の頁 578 ~ 585
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejeiss.142.578	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 Ito Yoshiki, Shiramatsu Tomoyo Isoguchi, Ishida Naoki, Oshima Karin, Magami Kaho, Takahashi Hirokazu	4. 巻 8
2. 論文標題 Spontaneous beat synchronization in rats: Neural dynamics and motor entrainment	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Science Advances	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1126/sciadv.abo7019	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 Kubota Tomoyuki、Takahashi Hirokazu、Nakajima Kohei	4. 巻 3
2. 論文標題 Unifying framework for information processing in stochastically driven dynamical systems	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review Research	6. 最初と最後の頁 043135 ~ 043135
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevResearch.3.043135	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 Yada Yuichiro、Yasuda Shusaku、Takahashi Hirokazu	4. 巻 119
2. 論文標題 Physical reservoir computing with FORCE learning in a living neuronal culture	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 173701 ~ 173701
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0064771	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 Ishizu Kotaro、Shiramatsu Tomoyo I.、Hitsuyu Rie、Oizumi Masafumi、Tsuchiya Naotsugu、Takahashi Hirokazu	4. 巻 11
2. 論文標題 Information flow in the rat thalamo-cortical system: spontaneous vs. stimulus-evoked activities	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 19252 ~ 19252
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-021-98660-y	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 Mori Kanato、Shiramatsu Tomoyo Isoguchi、Ishizu Kotaro、Takahashi Hirokazu	4. 巻 104
2. 論文標題 Simultaneous mapping of neural activities in auditory and visual cortex of rat	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Electronics and Communications in Japan	6. 最初と最後の頁 e12322 ~ e12322
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/ecj.12322	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 Wake Naoki, Ishizu Kotaro, Abe Taiki, Takahashi Hirokazu	4. 巻 11
2. 論文標題 Prepulse inhibition predicts subjective hearing in rats	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 18902 ~ 18902
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-021-98167-6	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 Shiramatsu Tomoyo Isoguchi, Mori Kanato, Ishizu Kotaro, Takahashi Hirokazu	4. 巻 15
2. 論文標題 Auditory, Visual, and Cross-Modal Mismatch Negativities in the Rat Auditory and Visual Cortices	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Frontiers in Human Neuroscience	6. 最初と最後の頁 721476 ~ 721476
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fnhum.2021.721476	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 Kubota Tomoyuki, Sakurayama Kazuhiro, Shiramatsu Tomoyo Isoguchi, Takahashi Hirokazu	4. 巻 141
2. 論文標題 Deviance Detection Property in Dissociated Cultures of Neurons	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEJ Transactions on Electronics, Information and Systems	6. 最初と最後の頁 661 ~ 667
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejeiss.141.661	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 Ikeda Narumitsu, Takahashi Hirokazu	4. 巻 141
2. 論文標題 Learning in Dissociated Neuronal Cultures by Low-frequency Stimulation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEJ Transactions on Electronics, Information and Systems	6. 最初と最後の頁 654 ~ 660
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejeiss.141.654	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 Isoguchi Shiramatsu Tomoyo, Abe Taiki, Ishizu Kotaro, Takahashi Hirokazu	4. 巻 141
2. 論文標題 Experimental System to Evaluate Auditory Perception Induced by Microstimulation of Auditory Thalamus of Rats	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEJ Transactions on Electronics, Information and Systems	6. 最初と最後の頁 627 ~ 633
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejeiss.141.627	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 Mori Kanato, Isoguchi Shiramatsu Tomoyo, Ishizu Kotaro, Takahashi Hirokazu	4. 巻 141
2. 論文標題 Simultaneous Mapping of Neural Activities in Auditory and Visual Cortex of Rat	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEJ Transactions on Electronics, Information and Systems	6. 最初と最後の頁 614 ~ 619
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejeiss.141.614	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 Shiramatsu Tomoyo Isoguchi, Takahashi Hirokazu	4. 巻 399
2. 論文標題 Mismatch-negativity (MMN) in animal models: Homology of human MMN?	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Hearing Research	6. 最初と最後の頁 107936 ~ 107936
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.heares.2020.107936	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 Kubota Tomoyuki, Sakurayama Kazuhiro, Shiramatsu Tomoyo Isoguchi, Takahashi Hirokazu	4. 巻 141
2. 論文標題 Deviance Detection Property in Dissociated Cultures of Neurons	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEJ Transactions on Electronics, Information and Systems	6. 最初と最後の頁 661 ~ 667
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejeiss.141.661	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 Ikeda Narumitsu, Takahashi Hirokazu	4. 巻 141
2. 論文標題 Learning in Dissociated Neuronal Cultures by Low-frequency Stimulation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEJ Transactions on Electronics, Information and Systems	6. 最初と最後の頁 654 ~ 660
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejjeiss.141.654	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 Isoguchi Shiramatsu Tomoyo, Abe Taiki, Ishizu Kotaro, Takahashi Hirokazu	4. 巻 141
2. 論文標題 Experimental System to Evaluate Auditory Perception Induced by Microstimulation of Auditory Thalamus of Rats	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEJ Transactions on Electronics, Information and Systems	6. 最初と最後の頁 627 ~ 633
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejjeiss.141.627	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 Mori Kanato, Isoguchi Shiramatsu Tomoyo, Ishizu Kotaro, Takahashi Hirokazu	4. 巻 141
2. 論文標題 Simultaneous Mapping of Neural Activities in Auditory and Visual Cortex of Rat	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEJ Transactions on Electronics, Information and Systems	6. 最初と最後の頁 614 ~ 619
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejjeiss.141.614	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 Takahashi Hirokazu, Emami Ali, Shinozaki Takashi, Kunii Naoto, Matsuo Takeshi, Kawai Kensuke	4. 巻 125
2. 論文標題 Convolutional neural network with autoencoder-assisted multiclass labelling for seizure detection based on scalp electroencephalography	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Computers in Biology and Medicine	6. 最初と最後の頁 104016 ~ 104016
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.combiomed.2020.104016	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 Kubota Tomoyuki, Nakajima Kohei, Takahashi Hirokazu	4. 巻 140
2. 論文標題 Estimation of Transient Dynamics of Primary Visual Cortex	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEJ Transactions on Electronics, Information and Systems	6. 最初と最後の頁 723 ~ 729
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejieiss.140.723	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67件 (うち招待講演 18件 / うち国際学会 9件)

1. 発表者名 大島果林, 白松 (磯口) 知世, 高橋宏知
2. 発表標題 ラットの社会的嗜好性に対する音楽の影響の検討
3. 学会等名 日本音響学会聴覚研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岡田大吾, 高橋斗威, 可部泰生, 森本隆司, 高橋宏知
2. 発表標題 聴性定常反応の長期的な自己相関の個人差
3. 学会等名 日本音響学会聴覚研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 石田直輝, 窪田智之, 伊藤圭基, 白松 (磯口) 知世, 高橋宏知
2. 発表標題 ラット聴覚野における情報処理容量の局在構造
3. 学会等名 日本音響学会聴覚研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大島果林, 白松(磯口)知世, 高橋宏知
2. 発表標題 ラットの社会的結束形成に対する音楽の影響の評価系構築
3. 学会等名 第45回日本神経科学大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岡田大吾, 可部泰生, 高橋斗威, 高橋宏知
2. 発表標題 聴性定常反応の時間変化と脳波の関係
3. 学会等名 第45回日本神経科学大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 石田直輝, 窪田智之, 伊藤圭基, 白松(磯口)知世, 諏訪瑛介, 高橋宏知
2. 発表標題 ラット聴覚野の情報処理容量
3. 学会等名 第45回日本神経科学大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 白松(磯口)知世, 石田直輝, 大島果林, 高橋宏知
2. 発表標題 長期間の音楽曝露によるラット聴覚野の時間情報表現の変化
3. 学会等名 第45回日本神経科学大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Amit Yaron, Zhuo Zhang, Eisuke Suwa, Zenas C. Chao, Hirokazu Takahashi
2. 発表標題 Assessing the effects of Stimulation on self-organized criticality in developing dissociated neuronal cultures using high density electrodes
3. 学会等名 第45回日本神経科学大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Zhuo Zhang, Amit Yaron, Suwa Eisuke, Tomoyo Isoguchi Shiramatsu, Hirokazu Takahashi
2. 発表標題 Memory Traces in Dissociated Cultures of Neurons
3. 学会等名 第45回日本神経科学大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山木峻太郎, 白松(磯口)知世, 石田直輝, 高橋宏知
2. 発表標題 情動に対する音楽の影響を動物モデルで調べるための実験系
3. 学会等名 第45回日本神経科学大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 熊谷真一, 松村茜, 白松(磯口)知世, 川合謙介, 高橋宏知
2. 発表標題 迷走神経刺激による聴覚野の神経活動の変化
3. 学会等名 第45回日本神経科学大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 石田直輝, 窪田智之, 伊藤圭基, 白松(磯口)知世, 高橋宏知
2. 発表標題 ラット聴覚野の神経細胞が有する情報処理容量の不均一性
3. 学会等名 2022年電気学会電子・情報・システム部門大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 諏訪瑛介, 高野雄基, 池田成満, 石田直輝, 高橋宏知
2. 発表標題 自発活動するスパイクニューラルネットワークにおける情報処理容量
3. 学会等名 2022年電気学会電子・情報・システム部門大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hexin Xu, Amit Yaron, Tomoyo Isoguchi Shiramatsu, Hirokazu Takahashi
2. 発表標題 Direction of Multisensory Illusion is Influenced by Stimulus Detectability
3. 学会等名 2022年電気学会電子・情報・システム部門大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 金井智美, 岡田大吾, 高橋斗威, 可部泰生, 岡本秀彦, 森(17)Tomoyo I. Shiramatsu, Kanato Mori, Hirokazu Takahashi本隆司, 高橋宏知
2. 発表標題 LSTMを用いたギャップ検出閾値の検出精度の向上
3. 学会等名 2022年電気学会電子・情報・システム部門大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高橋宏知
2. 発表標題 生体の神経ネットワークを用いるリザーバー計算
3. 学会等名 第83回応用物理学会秋季学術講演会シンポジウム「AIエレクトロニクス：インマテリアルAIコンピューティング（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tomoyo I. Shiramatsu, Kanato Mori, Hirokazu Takahashi
2. 発表標題 Cortical mapping of auditory, visual, and cross-modal mismatch negativity in rat
3. 学会等名 9th Mismatch Negativity Conference（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hirokazu Takahashi, Yoshiaki Ito, Tomoyo I, Shiramatsu, Naoki Ishida, Karin Oshima, Kaho Magami
2. 発表標題 Beat synchronization in rats
3. 学会等名 9th Mismatch Negativity Conference（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tomoyo I. Shiramatsu, Hirokazu Takahashi
2. 発表標題 A new functional role of MMN-like response beyond simple deviance detection: using animal models to elucidate the underlying neural mechanisms of schizophrenia
3. 学会等名 9th Mismatch Negativity Conference（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Amit Yaron, Zhuo Zhang, Tomoyo I. Shiramatsu, Zenas C. Chao, Hirokazu Takahashi
2. 発表標題 Sensitivity to Complex Statistical Regularities in Neuronal Culture
3. 学会等名 9th Mismatch Negativity Conference (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Zhuo Zhang, Amit Yaron, Tomoyo I. Shiramatsu, Hirokazu Takahashi
2. 発表標題 Deviance Detection Properties in Dissociated Cultures of Neurons
3. 学会等名 9th Mismatch Negativity Conference (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高橋宏知
2. 発表標題 生命知能と人工知能 AI時代の脳の使い方・育て方
3. 学会等名 日本MOT学会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高橋宏知
2. 発表標題 脳組織による物理リザーバー計算
3. 学会等名 2022年度第2回応用物理学会トータルバイオメティクス研究グループ基礎講座 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hirokazu Takahashi
2. 発表標題 Neural mechanism of beat synchronization in rats
3. 学会等名 9th Annual meeting of the Society for Bioacoustics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Amit Yaron
2. 発表標題 Recording mismatch responses beyond oddball paradigm
3. 学会等名 9th Annual meeting of the Society for Bioacoustics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Zhuo Zhang, Amit Yaron, Dai Akita, Tomoyo Isoguchi Shiramatsu, Hirokazu Takahashi
2. 発表標題 Deviance Detection in the Dissociated Cultures of Neurons
3. 学会等名 MaxWell Biosystems workshop (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Eisuke Suwa, Narumitsu Ikeda, Naoki Ishida, Dai Akita, Hirokazu Takahashi
2. 発表標題 Critical-state physical reservoir computing with dissociate culture of computing
3. 学会等名 MaxWell Biosystems workshop (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 石田直輝, 白松(磯口)知世, 高橋宏知
2. 発表標題 ラット聴覚野の情報処理容量に対する音楽曝露の効果
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 2023年

1. 発表者名 諏訪瑛介, 秋田大, 池田成満, 高野雄基, 高橋宏知
2. 発表標題 神経細胞の分散培養系による臨界的物理リザーバー計算
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 2023年

1. 発表者名 金井智美, 可部泰生, 森本隆司, 高橋宏知
2. 発表標題 日常使用に適した他覚的聴力検査手法の提案
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 2023年

1. 発表者名 高木永遠, 大島果林, 白松(磯口)知世, 高橋宏知
2. 発表標題 音環境に依存したげっ歯類の超音波コミュニケーション
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 2023年

1. 発表者名 高野雄基, 秋田大, 諏訪瑛介, 高橋宏知
2. 発表標題 自由エネルギー原理に基づく培養神経細胞による無意識的推論
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 2023年

1. 発表者名 許鶴馨, Yaron Amit, 白松(磯口)知世, 高橋宏知
2. 発表標題 Common Mechanism Underlying Multimodal Integration
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 2023年

1. 発表者名 Shinichi Kumagai, Tomoyo Siramatsu, Akane Matsumura, Kensuke Kawai, and Hirokazu Takahashi
2. 発表標題 Cortical Oscillations Modulated by Vagus Nerve Stimulation in Auditory Pathways
3. 学会等名 46th Annual ARO MidWinter Meeting
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 大島果林, 白松(磯口)知世, 高橋宏知
2. 発表標題 げっ歯類の社会的行動に対する音楽の影響
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 2022年

1. 発表者名 岡田大吾, 可部泰生, 高橋斗威, 高橋宏知
2. 発表標題 脳波を利用した短時間聴力検査の開発
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 2022年

1. 発表者名 澤田晴登, 和家尚希, 笹淵一宏, 池内克史, 高橋宏知
2. 発表標題 神経細胞の分散培養系の深層強化学習
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 2022年

1. 発表者名 山木峻太郎, 白松(磯口)知世, 石田直輝, 高橋宏知
2. 発表標題 情動に対する音楽の影響を動物モデルで調べるための実験系
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 2022年

1. 発表者名 高橋斗威, 可部泰生, 森本隆司, 高橋宏知
2. 発表標題 機械学習を用いた聴性定常反応の検出
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 2022年

1. 発表者名 Hirokazu Takahashi
2. 発表標題 The brain as a physical reservoir
3. 学会等名 IRCN science salon (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 川合謙介, 高橋宏知, 國井尚人, 松尾健
2. 発表標題 深層学習を用いた脳波のてんかん発作自動検出
3. 学会等名 第51回日本臨床神経生理学会学術大会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高橋宏知
2. 発表標題 脳を物理リザーブとして考える
3. 学会等名 生理研研究会「力学系の視点からの脳・神経回路の理解 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高橋宏知
2. 発表標題 迷走神経刺激が感覚野の神経活動へ及ぼす影響
3. 学会等名 第45回日本神経心理学会学術集会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高橋宏知
2. 発表標題 物理リザーバーとして脳を考える
3. 学会等名 非線形動力学に基づく次世代AIと基盤技術に関するシンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高橋斗威, 可部泰生, 高橋宏知
2. 発表標題 聴性定常反応を用いた他覚的聴力検査への機械学習の適用
3. 学会等名 2021年電気学会電子・情報・システム部門大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 池田成満, 高橋宏知
2. 発表標題 自発活動する人工神経回路における発達
3. 学会等名 2021年電気学会電子・情報・システム部門大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 白松（磯口）知世, 眞神花帆, 高橋宏知
2. 発表標題 臨界期における音環境と生育後の嗜好性との関係
3. 学会等名 2021年電気学会電子・情報・システム部門大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 松村茜, 熊谷真一, 白松知世, 川合謙介, 高橋宏知
2. 発表標題 感覚野における迷走神経刺激療法の動作原理の検証
3. 学会等名 2021年電気学会電子・情報・システム部門大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 石田直輝, 窪田智之, 伊藤圭基, 白松(磯口)知世, 高橋宏知
2. 発表標題 ラット聴覚野における情報処理容量の局在構造
3. 学会等名 2021年電気学会電子・情報・システム部門大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 諏訪瑛介, 池田成満, 高橋宏知
2. 発表標題 神経細胞の分散培養系の温度依存性
3. 学会等名 2021年電気学会電子・情報・システム部門大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高橋宏知
2. 発表標題 物理リザーバーとしての脳組織の情報処理能力
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会シンポジウム「AIアクセラレータ：人工知能デバイスの新展開」(招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高橋宏知
2. 発表標題 畳み込みニューラルネットワークとオートエンコーダを利用したてんかん脳波のAI 診断
3. 学会等名 第 17 回日本てんかん学会近畿地方会ランチョンセミナー（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 眞神花帆, 矢田浩章, 可部泰生, 神崎晶, 林賢, 高橋宏知
2. 発表標題 耳鳴アバタを利用したカウンセリングにユーザの性格が及ぼす影響
3. 学会等名 日本音響学会聴覚研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高橋宏知, 伊藤圭基, 白松（磯口）知世, 石田直輝, 眞神花帆
2. 発表標題 音楽のビートに同期したラットの頭部運動
3. 学会等名 日本音響学会聴覚研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 白松（磯口）知世, 眞神花帆, 高橋宏知
2. 発表標題 臨界期前後の和音曝露が嗜好性に及ぼす影響の評価
3. 学会等名 日本音響学会聴覚研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 石田直輝, 窪田智之, 伊藤圭基, 白松(磯口)知世, 高橋宏知
2. 発表標題 ラット聴覚野における情報処理容量の計測
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 2021年

1. 発表者名 諏訪瑛介, 窪田智之, 高橋宏知
2. 発表標題 神経細胞の分散培養系の情報処理容量
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 2021年

1. 発表者名 伊藤圭基, 白松(磯口)知世, 石田直輝, 眞神花帆, 高橋宏知
2. 発表標題 齧歯類におけるビート知覚の神経基盤
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 2021年

1. 発表者名 木村武龍, 窪田智之, 高橋宏知
2. 発表標題 リザーバー計算の状態空間別情報処理能力
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 2021年

1. 発表者名 森叶人, 白松(磯口)知世, 高橋宏知
2. 発表標題 多感覚情報処理が脳の逸脱検出に及ぼす影響
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 2021年

1. 発表者名 矢田浩章, 可部泰生, 林賢, 神崎晶, 高橋宏知
2. 発表標題 耳鳴馴化支援アプリケーションの開発
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 2021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 人工知能 vs. 生命知能
3. 学会等名 みやぎ工業会 第59回新春産学官交流大会(招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高橋 宏知
2. 発表標題 脳と計算機 - 生命知能と人工知能 -
3. 学会等名 SEMICON Japan, SEMIテクノロジーシンポジウム(STS)特別編: 次世代デバイス(招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 森 叶人, 白松 (磯口) 知世, 高橋 宏知
2. 発表標題 麻酔下ラットにおける視聴覚ミスマッチネガティビティ
3. 学会等名 第4回MMN研究会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 可部泰生, 神崎晶, 高橋宏知
2. 発表標題 単一試行の聴性定常状態反応に基づく他覚的聴覚検査の提案
3. 学会等名 第65回日本聴覚医学会総会・学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 白松-磯口知世, 井林賢志, 日露理英, 川合謙介, 高橋宏知
2. 発表標題 VNSによる聴皮質と視床の受容野の変化
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 石津光太郎, 高橋宏知
2. 発表標題 移動エントロピー解析による, ラット視床-皮質間の覚醒下・麻酔下における神経伝達変動
3. 学会等名 第43回日本神経科学大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 高橋 宏知	4. 発行年 2022年
2. 出版社 講談社	5. 総ページ数 322
3. 書名 生命知能と人工知能 AI時代の脳の使い方・育て方	

1. 著者名 佐久間 一郎、秋吉 一成、津本 浩平	4. 発行年 2022年
2. 出版社 エヌ・ティー・エス	5. 総ページ数 544
3. 書名 医用工学ハンドブック	

〔産業財産権〕

〔その他〕

研究代表者のウェブページ http://www.ne.t.u-tokyo.ac.jp/ 研究代表者のYoutubeによる情報発信 https://www.youtube.com/channel/UCuuuZ4ewKDXA-FvTi04HqNA
--

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