

令和 6 年 6 月 10 日現在

機関番号：33910

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20H04246

研究課題名（和文）記憶回路網における文脈情報の修飾・統合機能に関する実験と理論の融合研究

研究課題名（英文）Theoretical and Empirical Study for Modulation and Integration Function of Context Information in Memory Networks

研究代表者

塚田 啓道（Tsukada, Hiromichi）

中部大学・AI数理データサイエンスセンター・准教授

研究者番号：40794087

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）：文脈情報を学習・記憶する脳の情報処理メカニズムの解明を目的として理論と実験の両側面から研究を行った。理論研究では、Hebb学習則との比較を通じて時空間学習則（STLR）の文脈順序情報の識別能力が高くなる要因を特定した。また、STLRのカルシウム濃度とLTP/LTDに関連する閾値の範囲を拡張することにより、STLRの文脈情報の時間識別能力を飛躍的に向上可能な学習モデルの開発に成功した。実験研究では、これまで海馬CA1領域でのみ存在が確認されていた時空間学習則（STLR）が海馬CA3領域で新たに発見し、トップダウン情報処理時に分泌されるアセチルコリンの投射と関連して作用す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

これまで入出力スパイクの同時性により学習するHebb型の学習則がよく使われてきたが、出力スパイクに依存しない時空間学習則（STLR）を主体とした脳型の記憶モデルの理論構築およびその実証実験は行われてこなかった。本研究によってトップダウン情報を用いたSTLRによる神経回路ネットワークの理論構築と生理学的妥当性の検証を行うことができれば、脳の文脈情報学習および記憶のメカニズムの解明に向けて強力な手がかりを掴むことができる。本研究の成果は、現在の人工知能研究に生物の脳が持つ文脈情報処理原理の観点からの新たな発想や道筋を与えるとともに、認知症を初めとした疾患研究への貢献も期待できる。

研究成果の概要（英文）：We conducted both theoretical and experimental studies to elucidate the brain's mechanisms of learning and memory for contextual information. In the theoretical study, we identified factors that enhance the discriminative ability of the spatiotemporal learning rule (STLR) for distinguishing contextual order information, through a comparative analysis with the Hebbian learning rule. By extending the range of thresholds associated with calcium concentration and long-term potentiation/depression (LTP/LTD) in the STLR, we developed a learning model that is expected to improve the temporal discriminability of the STLR for contextual information. In the experimental study, we discovered that the STLR, which had previously been found to exist only in the hippocampal CA1 region, is also active in the hippocampal CA3 region. This activity is associated with the projection of acetylcholine, which is secreted during top-down information processing.

研究分野：計算論的神経科学

キーワード：時空間学習則 文脈情報処理 実験と理論の融合 フラクタル 文脈学習 トップダウン 海馬 ニューラルネットワーク

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1 . 研究開始当初の背景

人間の脳の情報処理は現在の状況のみに依存するのではなく、過去の経験を生かし未知の新しい情報を獲得する情報統合機能に優れている。すなわち、過去に経験した時間や場所の記憶をまるでタイムトラベルをするかのように検索し、外界からの感覚入力と比較統合する機能をもっている。この機能は、人間の時空間文脈情報の“書き込み”と“読み出し”の記憶回路網の高次元情報圧縮記憶操作に基づいている。この時空間文脈情報の学習においては、文脈情報の違いを識別し、その識別した文脈情報を記憶として安定化させることが重要である。

これまで文脈情報と記憶の研究においては海馬の神経回路における学習との関連性が指摘されている (O'Keefe & Recce, 1993; Pfeiffer & Foster, 2013)。また、海馬神経回路の生理学実験において、主に特徴の異なる 2 種類の学習則が発見されている。Bi & Poo (1998)らによる“入出力のスパイクタイミングに依存”した Hebb 型学習則 (HEBLR) と、“入力同士のタイミングとその時間履歴に依存”した時空間学習則 (STLR) (Tsukada M et al., 1996, 2007) であり、これらの 2 つの学習則は海馬の錐体細胞では同一細胞に共存することが明らかになっている (Tsukada M et al., 2007)。これらの学習則を用いた数値実験において、STDP は類似した入力情報を一つの空間パターンに収斂させるアトラクター構造を作るのに適しているのに対し、STLR は時空間文脈情報 (連続した空間パターンの時系列文脈情報) のパターン分離能力が高いことが明らかになっている (Tsukada M & Pan X, 2005)。

また、脳では“注意・集中”が働くとアセチルコリン (ACh) が放出され、学習においてはシナプスの可塑性が強化するとの報告がある (Sugisaki et al., 2011; 2016)。このことから、“注意・集中”であるトップダウン情報が文脈情報の学習・記憶処理に作用することにより、神経回路のシナプス変化を通じて重要な情報をより効率的に学習・記憶するシステムが存在するのではないかと推測できる。つまり、トップダウン情報が文脈情報の学習・記憶処理にどのような影響を与えるかを明らかにすることが脳の記憶情報処理システムにおいて必要不可欠な課題である。

『人間の脳は時々刻々と変化する外界の大容量同時並列のダイナミックな情報を、限られた記憶ネットワーク空間にどのように効率的に情報圧縮し学習・記憶しているのか?』

この疑問に答える一つの可能な手段として、時空間文脈情報の学習・記憶が可能な数理モデルを構築し、トップダウン情報の文脈修飾メカニズムを究明する方法が挙げられる。これまでの研究では、STDP と STLR の両学習則を同時に稼働させることによって、時空間文脈情報を“教師なし”かつ“ワンショット学習”が可能な 1 層の記憶回路網の構築に成功している (科研費基盤 C ; 平成 29~31 年度; Tsukada H et al., 2018; 2019)。本研究ではこの数理モデルのアプローチを一つの突破口として、トップダウン的な情報処理である“注意”や“意識”がどのようにボトムアップ的に形成された文脈情報を修飾・統合するかを理論と実験の両側面から究明する。

2 . 研究の目的

人間の脳は時々刻々と変化する外界の大容量同時並列のダイナミックな情報を、限られた記憶ネットワーク空間に効率的に情報圧縮し学習・記憶する情報操作機能を持っている。この情報操作機能を解明するためにはトップダウン的な情報である“注意”や“意識”がどのように文脈情報を修飾・統合して学習・記憶するかを理論と実験の両側面から明らかにすることが必須である。

本研究では、トップダウン的な情報処理である“注意”や“意識”がどのようにボトムアップ的に形成された文脈情報を修飾・統合するかを理論と実験によって明らかにする。その知見に基づいて脳の記憶情報処理の優れた特徴を人工神経回路網に組み込み、応用として人工知能への新たな脳的高次元機能搭載を視野に入れた次世代の脳型記憶学習情報処理システムの基盤構築を目指す。

3 . 研究の方法

理論研究においては文脈情報処理の神経情報機構を明らかにするために、Hebb 学習則および時空間学習則を実装した一層の人工神経回路網を構築する。それぞれの学習則の学習率バランスを変化させることにより、文脈依存性記憶の獲得可能なパラメータ領域を抽出し、評価する。学習後の文脈情報の記憶構造を明らかにするためにシナプス荷重の解析を行い、学習の背後にある時空間文脈情報処理のメカニズムを理論的な側面から評価する。

また、実験研究においては、歯状回の十分離れた顆粒細胞の軸索に刺激電極を設置し、CA3 錐体細胞にパッチクランプを行って STLR のシナプス可塑性を計測する。理論研究の仮説に基づいてトップダウン情報であるアセチルコリンと STLR の学習則の機能との関連性を評価し、海馬の文脈情報処理のメカニズムを理論と実験の両側面から評価する。

4 . 研究成果

これまでの研究で時空間学習則 (STLR) は時空間文脈情報 (連続した空間パターンの時系列文脈情報) の順序識別能力が高いことが明らかになっているが、そのメカニズムはいまだ不明である。本研究では、STLR の根本にある情報処理原理を明らかにするために以下の検討を行った。

(1) 学習により獲得したシナプス荷重の分布と文脈情報識別能力

HEBLR と STLR の時空間パターンの識別能力とシナプス荷重の分布の関連性についての評価を行った。その結果、文脈情報の系列入力に対して HEBLR は単峰のシナプス荷重分布を形成する一方で、STLR は多峰の分布になり、シナプス荷重分布の性質が文脈学習の順序識別に重要であることが示唆された。しかしながら、STLR の重み分布の解析により、類似した重み分布であるにもかかわらず、時間順序識別能力が極端に異なるケースもあることが明らかになった。これらの結果は文脈情報をシナプス荷重の空間構造を用いて学習している可能性を示唆しており、記憶学習の情報処理として興味深い結果を得た。

(2) STLR における時間履歴の影響

STLR はシナプス前ニューロンからの入力の空間的な一致性とその時間履歴に応じてシナプスの荷重を変化させる学習則である。STLR の時間履歴と文脈情報の時間順序識別能力との関連性評価を行った結果、STLR の時間履歴が文脈情報の時間順序識別能力に強い影響を及ぼしていることが新たに明らかになった。また、STLR はカルシウム濃度に応じて LTP/LTD が切り替わる性質を持っており、文脈情報の時間順序識別能力はその LTP/LTD の切り替えに関連する閾値と学習速度に依存することが明らかになった。さらに、STLR に時間履歴の影響を入れることで文脈情報分離におけるシナプス結合の初期値依存性も低減されることが明らかになった。

(3) 海馬 CA3 における STLR の生理実験

これまで海馬 CA1 領域でのみ時空間学習則 (STLR) の存在が確認されていたが、本研究によって海馬 CA3 領域で初めて STLR の存在が観測された。歯状回の十分離れた顆粒細胞の軸索に刺激電極を設置し、CA3 錐体細胞にパッチクランプを行ってシナプス可塑性を計測した。刺激 1 (バーストを伴う刺激) を入力し、タイミングを合わせて刺激 2 (弱い刺激) を追加してペア刺激を入力したところ、当初の想定と異なり刺激 2 のシナプスでは可塑性は観測されなかったが、エゼリンを投与してアセチルコリンの作用を働かせ同様の実験を行ったところ、刺激 2 のシナプスで LTP が誘導される傾向がみられた。CA1 における STLR の現象とは条件が異なるが、CA3 においても STLR が存在することが実験により初めて確認された。この結果は、STLR はアテンション等のトップダウンの情報処理時に分泌されるアセチルコリンの投射と連動して文脈の学習が行われる可能性を示唆しており、海馬 CA3 領域における文脈記憶生成との関連性が実験により明らかになった。

(4) 拡張 STLR モデルの構築

これまでの生理学実験におけるアセチルコリン等のトップダウン投射の学習への影響や数値実験の結果を踏まえて新たな学習理論モデルの構築を行った。STLR のカルシウム濃度と LTP/LTD の切り替えに関連する閾値の範囲の拡張を行った。この拡張はこれまでの STLR の文脈情報の順序識別能力を格段に向上できる可能性があり、アセチルコリン等のトップダウン投射の影響を組み込んだ海馬の文脈情報処理メカニズムの新たな発見に繋がることが期待できる。また、これまで STLR は決定論の学習モデルとして構成されており AI への活用が限定的であったが、STLR の確率モデルへの拡張も行った。

本研究では、理論と実験の融合研究を通じて相互に新たな発見があった。実験研究においては、海馬 CA3 脳領域においても STLR の存在が発見され、さらにトップダウン情報処理と連動して学習則が働くことが明らかになった。これまで HEBLR と STLR が共存して海馬で学習の処理を行うことが報告されているが、ボトムアップ情報とトップダウン情報を異なる学習アルゴリズムで学習し、記憶している可能性が新たに見出された。また、理論モデルの研究から、カルシウム濃度と LTP/LTD をコントロールしているパラメータが変化すると、文脈情報の順序情報の識別能力が劇的に変化することが明らかになっている。このように本研究では理論と実験の融合研究を通じて、脳の文脈情報処理メカニズムの新たな道筋を見出すことができた。今後、脳の文脈情報処理メカニズム解明に向けてさらなる研究推進を行うことで、脳の情報処理に基づいた脳型記憶学習情報処理システムへの応用が期待できる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計23件（うち査読付論文 22件／うち国際共著 2件／うちオープンアクセス 11件）

1. 著者名 D. Collerton, J. Barnes, N. J. Diederich, R. Dudley, D. ffytche, K. Friston, C. G. Goetz, J. G. Goldman, R. Jardri, J. Kulisevsky, S. J.G. Lewis, S. Nara, C. O'Callaghan, M. Onofrj, J. Pagonabarraga, T. Parr, J. M. Shine, G. Stebbins, J. P. Taylor, I. Tsuda, R. S. Weil	4. 巻 150
2. 論文標題 Understanding visual hallucinations: A new synthesis	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Neuroscience & Biobehavioral Reviews	6. 最初と最後の頁 105208 ~ 105208
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.neubiorev.2023.105208	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 Nara Shigetoshi, Yamaguti Yutaka, Tsuda Ichiro	4. 巻 -
2. 論文標題 Review: Nicotinic acetylcholine receptors to regulate important brain activity-what occurs at the molecular level?	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Cognitive Neurodynamics	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) 10.1007/s11571-023-09975-7	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 Kawai Yuji, Park Jihoon, Tsuda Ichiro, Asada Minoru	4. 巻 163
2. 論文標題 Learning long-term motor timing/patterns on an orthogonal basis in random neural networks	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Neural Networks	6. 最初と最後の頁 298 ~ 311
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.neunet.2023.04.006	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 Nara Shigetoshi, Fujii Hiroshi, Tsukada Hiromichi, Tsuda Ichiro	4. 巻 12
2. 論文標題 Visual hallucinations in dementia with Lewy bodies originate from necrosis of characteristic neurons and connections in three-module perception model	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Scientific Reports	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) 10.1038/s41598-022-18313-6	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 塚田 啓道、銅谷 賢治	4. 巻 73
2. 論文標題 増大特集 革新脳と関連プロジェクトから見えてきた新しい脳科学 脳機能マッピングのための新規技術開発 神経トレーサー, 構造MRI, 機能MRIデータの統合による全脳モデルシミュレーション	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 生体の科学	6. 最初と最後の頁 436 ~ 437
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11477/mf.2425201571	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 Tsuda Ichiro	4. 巻 -
2. 論文標題 Dynamics in Neural Systems	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Neuroscience in the 21st Century	6. 最初と最後の頁 1 ~ 26
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-1-4614-6434-1_195-1	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 Kawai Yuji, Park Jihoon, Tsuda Ichiro, Asada Minoru	4. 巻 -
2. 論文標題 Self-organization of a Dynamical Orthogonal Basis Acquiring Large Memory Capacity in Modular Reservoir Computing	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Artificial Neural Networks and Machine Learning - ICANN 2022	6. 最初と最後の頁 635 ~ 646
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-031-15919-0_53	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 Tsukada Hiromichi, Tsukada Minoru	4. 巻 -
2. 論文標題 Context-Dependent Learning and Memory Based on Spatio-Temporal Learning Rule	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Advances in Cognitive Neurodynamics (VII)	6. 最初と最後の頁 89 ~ 94
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-981-16-0317-4_10	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 Tsukada Minoru, Tsukada Hiromichi	4. 巻 -
2. 論文標題 Fractal Structure in Hokusai's "Great Wave" and the Memory Neural Network	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Advances in Cognitive Neurodynamics (VII)	6. 最初と最後の頁 107 ~ 112
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-981-16-0317-4_13	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 Tsuda Ichiro, Watanabe Hiroshi, Tsukada Hiromichi, Yamaguti Yutaka	4. 巻 24
2. 論文標題 On the Nature of Functional Differentiation: The Role of Self-Organization with Constraints	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Entropy	6. 最初と最後の頁 240 ~ 240
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/e24020240	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 Fukushima Yasuhiro, Yamaguti Yutaka, Kuroda Shigeru, Aihara Takeshi, Tsuda Ichiro, Tsukada Minoru	4. 巻 15
2. 論文標題 Physiological properties of Cantor coding-like iterated function system in the hippocampal CA1 network	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Cognitive Neurodynamics	6. 最初と最後の頁 733 ~ 740
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11571-020-09648-9	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 Letellier Christophe, Abraham Ralph, Shepelyansky Dima L., Rossler Otto E., Holmes Philip, Lozi Rene, Glass Leon, Pikovsky Arkady, Olsen Lars F., Tsuda Ichiro, Grebogi Celso, Parlitz Ulrich, Gilmore Robert, Pecora Louis M., Carroll Thomas L.	4. 巻 31
2. 論文標題 Some elements for a history of the dynamical systems theory	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science	6. 最初と最後の頁 053110 ~ 053110
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0047851	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 津田一郎	4. 巻 47
2. 論文標題 数理学から見た神経科学、臨床医学	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Medical Science Digest	6. 最初と最後の頁 8-11
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 津田一郎	4. 巻 39
2. 論文標題 動的ヘテラルキー構造の神経情報機構に対する分化数理モデル	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 CLINICAL NEUROSCIENCE	6. 最初と最後の頁 822-826
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 池田昭夫、松橋眞生、松本理器、行木孝夫、津田一郎	4. 巻 39
2. 論文標題 てんかん焦点のニューロンとグリア 作動原理と動的ヘテラルキー	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 CLINICAL NEUROSCIENCE	6. 最初と最後の頁 886-890
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 Nara Shigetoshi	4. 巻 -
2. 論文標題 Time Delayed Effect Can Bring Novel Hierarchical Complex Dynamics to Neural Network?	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Advances in Cognitive Neurodynamics (VII)	6. 最初と最後の頁 95 ~ 97
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-981-16-0317-4_11	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 Tsukada Hiromichi、Tsukada Minoru	4. 巻 15
2. 論文標題 Comparison of Pattern Discrimination Mechanisms of Hebbian and Spatiotemporal Learning Rules in Self-Organization	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Frontiers in Systems Neuroscience	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) 10.3389/fnsys.2021.624353	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 Yamaguti Yutaka、Tsuda Ichiro	4. 巻 31
2. 論文標題 Functional differentiations in evolutionary reservoir computing networks	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science	6. 最初と最後の頁 013137 ~ 013137
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0019116	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 Watanabe Hiroshi、Ito Takao、Tsuda Ichiro	4. 巻 156
2. 論文標題 A mathematical model for neuronal differentiation in terms of an evolved dynamical system	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Neuroscience Research	6. 最初と最後の頁 206 ~ 216
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.neures.2020.02.003	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 Nara Shigetoshi、Soma Ken-ichiro、Yamaguti Yutaka、Tsuda Ichiro	4. 巻 156
2. 論文標題 Constrained chaos in three-module neural network enables to execute multiple tasks simultaneously	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Neuroscience Research	6. 最初と最後の頁 217 ~ 224
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.neures.2019.11.009	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 Fukushima Yasuhiro, Yamaguti Yutaka, Kuroda Shigeru, Aihara Takeshi, Tsuda Ichiro, Tsukada Minoru	4. 巻 -
2. 論文標題 Physiological properties of Cantor coding-like iterated function system in the hippocampal CA1 network	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Cognitive Neurodynamics	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) 10.1007/s11571-020-09648-9	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 Shimamoto Nobuo, Toda Mikito, Nara Shigetoshi, Komatsuzaki Tamiki, Kamagata Kiyoto, Kinebuchi Takashi, Tomizawa Jun-ichi	4. 巻 10
2. 論文標題 Dependence of DNA length on binding affinity between TrpR and trpO of DNA	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 15624
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-020-71598-3	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 津田 一郎	4. 巻 72
2. 論文標題 増大特集 脳の発振現象-基礎から臨床へ 拘束条件付き自己組織化理論に基づく機能分化に関する情報論的基盤の解明	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 BRAIN and NERVE	6. 最初と最後の頁 1255 ~ 1262
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11477/mf.1416201677	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31件 (うち招待講演 8件 / うち国際学会 3件)

1. 発表者名 塚本 陽太, 塚田 啓道, 塚田 稔, 池口 徹
2. 発表標題 Hebb則と時空間学習則のパターン分離能力の比較
3. 学会等名 2024年電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 塚田 稔
2. 発表標題 温故知新：学会設立時のニューロ研究への思い
3. 学会等名 33回日本神経回路学会全国大会（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 塘田 悠希, 山口 裕
2. 発表標題 RNNによる信号再分離タスクにおける相互情報量学習を用いた機能分化構造の誘発
3. 学会等名 日本応用数理学会第20回研究部会連合発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 塘田 悠希, 山口 裕
2. 発表標題 カオス信号を分離するRNN における機能分化構造の解析
3. 学会等名 2023 年度（第76回）電気・情報関係学会九州支部連合大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 中村翔太, 山口裕
2. 発表標題 1/fノイズ生成を学習させた RNNの性能評価
3. 学会等名 第33回 日本神経回路学会 全国大会（JNNS2023）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 下坂碧, 山口裕
2. 発表標題 RNNを用いたシータ位相歳差現象の再現時にみられる興奮性・抑制性ニューロン間の役割分化
3. 学会等名 第33回 日本神経回路学会 全国大会 (JNNS2023)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 渡部大志、津田一郎
2. 発表標題 Functional differentiation of the nervous system by self-organization with constraints.
3. 学会等名 日本進化学会第25回沖縄大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 津田一郎
2. 発表標題 進化が埋め込まれた脳と心のダイナミクス
3. 学会等名 日本進化学会第25回沖縄大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 津田一郎
2. 発表標題 力学系の機械学習と記述安定性
3. 学会等名 シンポジウム「インタラクション創発学術院原理の解明へ」(招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Ichiro Tsuda
2. 発表標題 A mechanism of the emergence of functional differentiation in the brain - a variational principle
3. 学会等名 International Symposium on “What is an emerging interaction? An exploration of the principle of emerging interactions in spatiotemporal diversity” (招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 津田一郎
2. 発表標題 Cerebri Scientiae Principia Mathematica
3. 学会等名 中部大学特別講演会(招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 津田一郎
2. 発表標題 複雑系の科学：物語ることによる彫刻
3. 学会等名 21世紀の複雑系研究集会(招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 塚田啓道
2. 発表標題 脳の数理モデルと疾患治療への応用
3. 学会等名 サイエンス・カフェ 2022(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 塚田啓道
2. 発表標題 微分方程式で脳は理解可能!? ~ 脳の数理モデル ~
3. 学会等名 第36回 JST数学キャラバン (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hiromichi Tsukada, Minoru Tsukada
2. 発表標題 Contextual memory processing and memory structuring based on spatio-temporal learning rules.
3. 学会等名 NEURO 2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Shigetoshi Nara
2. 発表標題 Nicotinic acetylcholine receptors to regulate important brain activities: what occurs in molecular level ?
3. 学会等名 The 8th International Congress on Cognitive Neurodynamics (ICCN21-postponed) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山口 裕, 田中 悠貴
2. 発表標題 敵対的生成ネットワークにより生成される疑似カオス時系列にみられる誤差の分析
3. 学会等名 日本応用数理学会第19回研究部会連合発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 下坂碧, 山口 裕
2. 発表標題 興奮性・抑制性ニューロンの役割分化を理解するためのRNNモデリングアプローチ
3. 学会等名 2022年度(第75回) 電気・情報関係学会九州支部連合大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 津田 一郎
2. 発表標題 カオス力学を基軸にした複雑系脳科学への先駆的な貢献 - 脳科学の数学原理
3. 学会等名 藤原洋数理科学賞大賞授賞式 於: 慶応大学藤原洋記念館(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 杉崎 えり子
2. 発表標題 アセチルコリン投与による学習則のスイッチング
3. 学会等名 東北大学電気通信研究所 共同プロジェクト研究 非線形ワークショップ
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 塚田 稔
2. 発表標題 A Dynamic System Model for Sequence Discrimination by Hebb and Spatiotemporal Learning Rule
3. 学会等名 東北大学電気通信研究所 共同プロジェクト研究 非線形ワークショップ
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 奈良重俊
2. 発表標題 神経回路網カオスの複雑な制御への応用及び3輪自走ロボットへの搭載と迷路求解実験
3. 学会等名 東北大学電気通信研究所 共同プロジェクト研究 非線形ワークショップ
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Y. Kawai, J.Park, I. Tsuda, and M. Asada
2. 発表標題 Self-organization of a dynamical orthogonal basis acquiring large memory capacity in modular reservoir computing
3. 学会等名 ICANN 2022 (E. Pimenidis et al, eds. 31st International Conference on Artificial Neural Networks. Bristol, UK) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 津田一郎
2. 発表標題 拘束条件付き自己組織化理論に基づく機能分化に関する数理的・情報論的基盤
3. 学会等名 第62回日本神経学会学術大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 濱地優輝, 平川翼, 山下隆義, 藤吉弘亘, 山口 裕, 津田一郎
2. 発表標題 Hessian-Free 法を用いた Echo State Network の構造探索
3. 学会等名 情報処理学会第20回情報科学技術フォーラム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 津田一郎
2. 発表標題 創発インタラクション実現に向けて
3. 学会等名 CREST “Symbiotic Interactions” call1 公開シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 海老原端馬、津田一郎、山口裕
2. 発表標題 リザーコンピューティングにおける教師の動的な選択
3. 学会等名 日本応用数理学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 津田一郎
2. 発表標題 創発大学院の歩み
3. 学会等名 創発大学院5周年記念シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山口裕, 津田一郎
2. 発表標題 相互情報量最小化による機能分化の誘導
3. 学会等名 生理研究会 第3回 力学系の始点からの脳・神経回路の理解
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hiromichi Tsukada, Junichi Hata, Hiroaki Hamada, Carlos Enrique Gutierrez, Ken Nakae, Henrik Skibbe, Alexander Woodward, Shin Ishii, Hideyuki Okano, Kenji Doya
2. 発表標題 A computational analysis of structure-function relationship in the whole-brain network based on diffusion and functional MRI data of marmosets
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 渡部大志、伊藤孝男、津田一郎
2. 発表標題 神経細胞分化のための進化的ニューラルネットワークモデル
3. 学会等名 第30回日本神経回路学会全国大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計5件

1. 著者名 津田一郎	4. 発行年 2023年
2. 出版社 文春学藝ライブラリー 思28	5. 総ページ数 240
3. 書名 心はすべて数学である	

1. 著者名 松岡正剛、津田一郎	4. 発行年 2023年
2. 出版社 文春新書1430	5. 総ページ数 416
3. 書名 初めて語られた科学と生命と言語の秘密	

1. 著者名 塚田稔、斎藤アンジュ玉藻	4. 発行年 2021年
2. 出版社 OROCO PLANNING(株)	5. 総ページ数 253
3. 書名 音楽は脳を育む	

1. 著者名 津田一郎	4. 発行年 2021年
2. 出版社 講談社	5. 総ページ数 238
3. 書名 数学とはどんな学問か？数学嫌いのための数学入門	

1. 著者名 塚田稔	4. 発行年 2021年
2. 出版社 OROCO PLANNING(株)	5. 総ページ数 -
3. 書名 創造する脳とAI 塚田の時空間学習則	

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 情報処理装置，情報処理方法，及びプログラム	発明者 塚田稔	権利者 学校法人玉川学園
産業財産権の種類、番号 特許、特願2022-074903 特開2023-163775	出願年 2022年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

-

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
研究分担者	津田 一郎 (Tsuda Ichiro) (10207384)	中部大学・創発学院・教授 (33910)	

6. 研究組織（つづき）

	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
研究分担者	塚田 稔 (Tsukada Minoru) (80074392)	玉川大学・脳科学研究所・客員教授 (32639)	
研究分担者	奈良 重俊 (Nara Shigetoshi) (60231495)	岡山大学・環境生命自然科学研究科・特命教授 (15301)	
研究分担者	山口 裕 (Yamaguti Yutaka) (80507236)	福岡工業大学・情報工学部・助教 (37112)	
研究分担者	杉崎 えり子 (Sugisaki Eriko) (20714059)	玉川大学・脳科学研究所・研究員 (32639)	

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