

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 4 月 20 日現在

機関番号：33910

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2017～2020

課題番号：17H01794

研究課題名（和文）複合型視覚性幻覚の神経情報機構に関する数理モデル

研究課題名（英文）A Mathematical Model for the Neuro-information Mechanisms of Complex Visual Hallucinations

研究代表者

津田 一郎 (Tsuda, Ichiro)

中部大学・創発大学院・教授

研究者番号：10207384

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,400,000円

研究成果の概要（和文）：レビー小体型認知症患者が経験する複合型視覚性幻覚に関する神経機構を明らかにすることを目的として、ニューラルネットワークモデルを二種類構築して研究した。モデル1では、視覚野（視覚像）、前頭前野（インデックス情報）、側頭葉（連想記憶）の三個のモジュールの結合系において、視覚野から前頭葉への長距離結合に欠損が生じた場合、自己再組織化の過程でシナプス結合が過剰に増強されることで、間違った視覚像が出力されることが分かった。また、モデル2によって、これら三個のモジュール間結合に一部欠損を与えることで連想回路が正常な視覚像と異常な視覚像をカオス遍歴的に出力することが明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

現在我が国の認知症患者は600万人に達している。本研究が計画された4年前は450万人であったことを考えると、認知症の神経機構解明は喫緊の課題である。本研究はレビー小体型認知症患者が見る視覚性幻覚の神経機構を数理モデルによって明らかにしようとするものであるところに学術的価値がある。神経回路の数理モデルによって領野間の長距離結合の一部欠損後の再組織化の過程が本質的であることが分かったことは大きな学術的価値がある。また、この知見をさらに深め医学との共同研究に発展させることで認知症の現象論から本質論へと展開できれば、治療への貢献も期待でき、社会的意義は計り知れない。

研究成果の概要（英文）：To clarify the neural mechanisms for complex visual hallucinations that the patients with Lewy bodies experience, we studied two types of neural networks. Model 1 consisting of three modules of visual cortex, prefrontal cortex and temporal cortex exhibited hallucinatory images, due to the excess increase of synaptic strength after the reduction of synaptic connections between visual cortex and prefrontal cortex. Accordingly, model 2 showed chaotically itinerant transitions between veridical and hallucinatory perceptions after the reduction of synaptic connections between either two of three modules.

研究分野：応用数学

キーワード：自己再組織化 拘束条件付き自己組織化 カオスの遍歴 複合型視覚性幻覚 レビー小体型認知症 モジュール型ニューラルネットワーク

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

現代社会は少子高齢化を迎え、老人性、若年性を問わず認知症患者が激増している。研究開始当初 2017 年の段階において、わが国では約 460 万人強の患者が存在し、30 年後には倍増すると予想されている (Hayashi, 2013)。そして現在 (2020 年度厚生労働省資料) では 600 万人を超えたところである。厚生労働省の 2015 年の発表によると、団塊世代が後期高齢者になる 2025 年には認知症患者は 700 万人を超えると推定されている。これは 65 歳以上の 5 人に 1 人の割合であり、この数値は 15 年前の予測値約 300 万人をはるかに超えている。さらに、この数値は 2012 年の患者数の約 1.5 倍であることから認知症患者が急速に増加していることをうかがわせる。また、さまざまな統計から認知症患者の内訳はアルツハイマー型認知症が 50-60%、脳血管性認知症が 30-40%、パーキンソン型認知症 + レビー小体型認知症 (DLB) が 20% である (アルツハイマー型認知症と脳血管性認知症の合併症が前二者に含まれている)。

わが国においては諸外国と比較して認知症患者の増加傾向が著しく、特に DLB 患者にその傾向が見られる。この対策は喫緊の課題であるが、従来の医学的な研究だけではその神経機構を解明することは必ずしも容易ではない。実際、最も信頼される医学的見地として数年前までは、アルツハイマー型認知症の“原因物質”がアミロイド、パーキンソン病に対してはドーパミン、レビー小体型認知症に関してはレビー小体であると言われ、治療法としてこれら“原因物質”に対する薬剤の投与が行われたり、開発されたりしてきた。しかし、これら薬剤投与は一時的な症状の緩和をもたらすものの根本的な治療になりえていないことが判明している。したがって、これらの認知症の原因を根本的なところから研究することが必要であり、新しい画期的な研究方法が期待されている。最近の医療的知見によれば、レビー小体型認知症 (DLB) の初期症状はパーキンソン病 (PD) と極めて類似していること、またパーキンソン病認知症患者の中に複合型視覚性幻覚 (CVH、後述) を見る患者が高確率で出現することから、いわゆる“原因物質”が異なるにもかかわらず、これら二者は同一カテゴリーに属するという共通認識が得られ、パーキンソン症候群認知症 (DPS) と呼ばれるようになった。

視覚性の幻視には様々なものが存在する (Collerton et al, 2016)。錯視、誤視覚、夢、幻覚などが異なる現象として知られており、中でも幻覚に関しては単純視覚性幻覚 (SVH) と複合型視覚性幻覚 (CVH) に分類される。前者は点状のもの不定形な集合や線や雲のような単なる塊の幻覚である。後者は環境に存在しないヒト、顔、動物、機械や建築物などの人工物のような具体的に意味のある物体像であり (Berrios and Markova, 2014)、本研究で取り上げたのは CVH である。DPS 患者の CVH は、開眼でのみ視野の中の一部かつ網膜中心窩に幻覚像が見え、分のオーダーの持続時間を持ち、閉眼と共に消失するという特徴を有する。

CVH の原因に関する研究も行われていた。DPS 患者においては皮質アセチルコリンが欠乏しているという事実 (Fisher, 1991) に基づいて、本研究代表者は基盤研究 B「レビー小体型認知症の幻視に関する情報機構の解明とその数理モデル化」(H26-28 年度)において、アセチルコリンリセプターの機能不全による注意機構の減弱が幻覚類似の視覚パターンを出現させ得るという計算結果を側頭皮質神経回路モデルにおいて示すことができた。他方、近年パーキンソン症候群を引き起こす原因は特定の物質の増加/減少によるのではなく、関連する複数の脳領域間の大域的ネットワークの障害であるとする説が提案され注目を集めていた (例えば、Collerton, Perry and McKeith, 2005; Chiken et al, 2015; Nambu et al, 2015)。これは、Hodology 説あるいはネットワーク病説と呼ばれている。また、情報論的には「視覚情報処理は使用エネルギーを最小にしながら情報処理量を最大化するように進む」という変分仮説 (Friston, 2015) や「システム全体にかかる拘束条件のもとでの自己組織化はシステムの構成要素に機能分化を引き起こす」という拘束条件付き自己組織化理論 (Tsuda, 2015) が提案された。本研究はこれらの立場に立つて行うことになった。

2. 研究の目的

高齢化社会がもたらすさまざまな問題のうち解決を迫られている喫緊の課題のひとつに認知症の神経機構の解明と治療があげられる。本研究においては、認知症を伴うパーキンソン病患者やレビー小体型認知症患者が経験する複合型視覚性幻覚に焦点を絞り、異なる神経ネットワークの複合システムを構築することでその神経情報構造の解明を目指す。特に、複合型視覚性幻覚の主要原因を脳の領域的ネットワークにおける情報論的障害に求め、互いに異なる機能を持つ神経ネットワークの大域結合系のダイナミクスが示す情報構造に着目し、複合型視覚性幻覚に共通する神経機構を数理的・情報論的に解明することを目指す。なお、パーキンソン病の病態に多様性が認められてきたことを受けて、パーキンソン病に類似の症例をパーキンソン症候群ということになった。これを受けて、現在ではレビー小体型認知症も初期症状が典型的なパーキンソン病の症状と類似することからパーキンソン症候群に分類されている。

本研究では、視覚野から前頭前野への低周波情報を素早く運ぶ視覚経路と前頭前野、帯状回などの相互作用で構成されるデフォルトモードネットワーク (DMN) のような相互通信ネットワークの機能障害が視野の一部に CVH を誘発することを神経ネットワークモデルを構築することで示すことが目的である。

具体的には視覚野、前頭葉、側頭葉、海馬傍回、さらにはデフォルトモードネットワークを構成する前頭前皮質内側部、後部帯状回、外側下頭頂皮質を含んだ神経ネットワークを構成し、視野の一部に文脈の異なる視覚像が張り付く機構を解明する。最近、自己言及情報を担う DMN

が CVH 発症と関係するという説が外側注意ネットワーク (Dorsal Attention Network: DAN) の欠陥との関係で提案されており (Shine et al, 2014; Onofrj et al, 2013; Muller et al, 2014) 関連して DPS 患者においては DMN 内の結合強度を含む活動度が健常者に比べて増加し、その原因として DMN の抑制ニューロン活動の低下が報告されている。本研究は主に三個の機能モジュールネットワークモデルによって、これらの因果関係を明らかにする。

3. 研究の方法

パーキンソン症候群認知症(DPS)が経験する複合型視覚性幻覚(CVH)の神経情報機構を解明するために、まず関連領域の個別ネットワークモデルを構築し、次いでそれらを最新の皮質中・長距離神経ネットワークのデータと DPS 患者に対する研究結果をもとに結合したシステムを構築する。本研究では、二種類の方法を採用し研究した。第一の方法は、このネットワークシステムに、拘束条件付き自己組織化理論を適用することで、ネットワーク結合の部分的不正がもたらす機能障害を計算論的に求める方法である。第二の方法は、視覚野 (VC)、前頭前野 (PFC)、側頭葉 (IT) の機能モジュールネットワークを構成し、これらの相互作用によるニューラルネットにおいて、モジュール間の結合に一定の欠損を生じさせ、その効果を見る方法である。二つの方法は補完的な意味を持つ。また、正常知覚と CVH 時のネットワーク動態の相違をアトラクタダイナミクスと遍歴ダイナミクスの協調と競合過程に関するバランスの崩壊を通じて解明していく。さらに、デフォルトモードネットワーク (DMN)、背側注意機構 (DAN) のダイナミクスを仮定し、前頭前野、側頭葉、視覚野の各ニューラルネットワークの結合系モデルを考案し、シミュレーションを行う。

4. 研究成果

レビー小体型認知症患者が経験する複合型視覚性幻覚は視覚中心視において捉えられ、開眼時においてのみ数秒から数分の持続時間で経験する。幻覚は現実世界の物体の一部が刺激となりその物体からの連想による像が幻覚像となることが多いようである。どの物体が刺激になるかは個人によって異なり個人の過去の経験が文脈情報として連想回路に入力される結果として幻覚が想起されるという仮説を設けた。この状況を的確に数理モデル化するために、インデックスのような抽象化された文脈情報並びにシステム全体の情報の流れを規定する条件を拘束条件とする自己組織化が連想記憶をつかさどる神経回路内に発生すると考えた。拘束条件付き自己組織化理論は別個に開発しており、これを使用した。従来の自己組織化理論は非平衡定常状態を記述する理論であったが、ここでの興味のように環境と相互作用しながら変化する脳機能の問題は非平衡非定常状態の問題である。そこでは、境界条件が固定されない。かわりに環境から与えられた拘束条件を満足するような変分的な条件において問題設定をすべきであると考えた。本研究においては二種類のモデルを提案した。いずれのモデルも PFC、IT、VC の三層からなるニューラルネットモデルである。

I. モデル 1 では VC から PFC への長距離ファイバーの一部欠損による自己再組織化を行った。まず、PFC のインデックス情報と VC の物体の視覚像をペアとして IT の連想記憶回路で通常のヘブ則による学習をおこなった。次に、VC から PFC への結合の一部を欠損させ、さらに自己組織させた。この過程を自己再組織化と呼んだ。この時、伝搬情報量を最大化させるように学習を行った。具体的には入力との相互情報量を最大化させることでこれを実行した。自己再組織化の結果、VC から PFC への結合が過剰に強化される傾向があることが分かった。その結果、PFC のインデックス情報が学習していなかった視覚像と結合し、異なる視覚像が出力された。我々はこれを視覚性幻覚であると解釈した。また、この自己再組織化の過程で、ヘブ則と逆の学習則がニューラルネットの要素としてのニューロンの機能分化と整合的であるような情報構造が認められたことは興味深いと考えている。

II. モデル 2 は代表者と分担者の共同研究である。代表者が提案した「視覚認識の解釈的機構」に基づいて新規に「視覚認識に関する三モジュール神経回路網モデル」を構築することができた。その結果得られた理論モデルにおいて、各モジュールにつきそれぞれ VC900 個、IT1200 個、PFC900 個のニューロン数を選択し合計で 3000 個の神経細胞から成る系を採用して計算機実験を行った。計算機実験については以下の二つの場合に分けて行った。

(1) 健常者が日常的に経験する正しい認識 (veridical perception) を与える場合
全神経細胞がフルに結合した全結合の設定条件を与えて三モジュール型ニューラルネットの自己組織を計算した。定まった入力に対して、安定な認識、インデックス情報と視覚像の正確な連想が起こった。

(2) レビー小体型認知症患者が経験する複合型視覚性幻覚 (recurrent complex visual hallucination) が起きる場合
神経細胞および神経細胞間のシナプス結合の壊死に相当する欠損が生じることが幻覚の原因であるという仮説を立てた。これに従って、三モジュールの各要素神経細胞を定まった数欠落させ、かつ神経細胞間のシナプス結合を定まった数だけ回復不能な形で欠損させるといった病的設定条件でシミュレーションを行った。その結果、定まった入力に対して、神経活動が不安定化し、高

次元状態空間において活動状態が極めて複雑な分岐過程を経て弱いカオスや強いカオス状態に変わってゆく動態の変化が見られた。その過程で複数の認識状態が部分的に組み合わせられた複合型視覚性幻覚とみなされる現象が定まった確率をもって発現することが見いだされた。

当初目的にしていたが、機関全体で直接実行できなかった点が一点あった。DMN が CVH 発症と関係するという説が DAN の欠陥との関係で提案され、関連して DPS 患者においては DMN 内の結合強度を含む活動度が健常者に比べて増加し、その原因として DMN の抑制ニューロン活動の低下が報告されていたので、本研究において三個の機能モジュールネットワークモデルによって、これらの因果関係を明らかにする予定であったが、このシミュレーションまでには至らなかった。代わりに、DAN に何らかの欠損があった場合、DMN が逆に活性されることは既に事実として認められているので、このことを仮定し、DMN からカオス的遍歴状態が出力された結果インデックス情報が多数活性化された状況を仮定してシミュレーションを行なった。このような条件で上記モデル 1 の結果を得た。しかしながら、モデル 2 の結果を見ると三モジュール間の結合に不可逆的な欠損がある場合はカオス的遍歴がネットワーク内に現れ、これによって連想状態が動的に変化し、時に正常な視覚像を獲得し、時に幻覚的な視覚像が現れる状態を再現することができたので、DMN からカオス的遍歴情報は CVH にとっては必ずしも必要のない条件である可能性があるのではないかと考えている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計15件（うち査読付論文 13件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 津田一郎	4. 巻 No. 150
2. 論文標題 神経細胞の分化を支配する情報論的構造に関する数学モデル	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ACADEMIA, ANTENNA	6. 最初と最後の頁 7-7
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 Yamaguti Yutaka, Tsuda Ichiro	4. 巻 31, Issue 1
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 013137-1 ~ 14
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 行木孝夫、津田一郎、池田昭夫	4. 巻 Vol.14, No. 2
2. 論文標題 研究集会「てんかんの数学的研究」開催報告	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Epilepsy	6. 最初と最後の頁 43(111)-49(117)
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 Vol.72 No.11
2. 論文標題 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情報論的基盤の解明	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 BRAIN and NERVE 2020年11月号特集「脳の発振現象—基礎から臨床へ」	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) 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 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
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 Seo Jong-Hyeon, Tsuda Ichiro, Lee Young Ju, Ikeda Akio, Matsuhashi Masao, Matsumoto Riki, Kikuchi Takayuki, Kang Hunseok	4. 巻 8
2. 論文標題 Pattern Recognition in Epileptic EEG Signals via Dynamic Mode Decomposition	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Mathematics	6. 最初と最後の頁 481-1 ~ 481-17
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/math8040481	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 Watanabe Hiroshi, Ito Takao, Tsuda Ichiro	4. 巻
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
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 Naniki Takao, Tsuda Ichiro, Tadokoro Satoru, Kajikawa Shunsuke, Kunieda Takeharu, Matsumoto Riki, Matsuhashi Masao, Ikeda Akio	4. 巻 156
2. 論文標題 Mathematical structures for epilepsy: High-frequency oscillation and interictal epileptic slow (red slow)	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Neuroscience Research	6. 最初と最後の頁 178 ~ 187
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.neures.2019.11.008	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, FUJII Hiroshi, TSUKADA Hiromichi, TSUDA Ichiro	4. 巻
2. 論文標題 A Three-Modules Scenario in An Interpretation of Visual Hallucination in Dementia With Lewy Bodies and Preliminary Results of Computer Experiments	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of International Joint Conference on Neural Networks	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) 10.1109/IJCNN.2019.8851916	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 74
2. 論文標題 複雑系 物理学の新しい地平	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本物理学会誌	6. 最初と最後の頁 384 ~ 385
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11316/butsuri.74.6_384	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 Seiji Kuwada, Tomoya Aota, Kengo Uehara, Shigetoshi Nara	4. 巻 vol. 112, No. 5
2. 論文標題 Application of chaos in a recurrent neural network to control in ill-posed problems: a novel autonomous robot arm	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 BIOLOGICAL CYBERNETICS	6. 最初と最後の頁 495-508
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 Ichiro Tsuda	4. 巻 25
2. 論文標題 Finding mathematics in dynamics of the brain: Walter Freeman as an outstanding applied mathematician	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Consciousness Studies	6. 最初と最後の頁 121-130
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 Namiki T, Tsuda I	4. 巻
2. 論文標題 Mathematical Structures in the Brain Dynamics of Epilepsy	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Advances in Neuroinformatics 2017	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) 10.14931/aini2017.osiv.4	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 Ichiro Tsuda	4. 巻
2. 論文標題 Computational theory for constrained self-organization in neural systems and its applications	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Advances in Neuroinformatics 2017	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) 10.14931/aini2017.kl.3	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47件 (うち招待講演 39件 / うち国際学会 15件)

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

1. 発表者名 津田一郎
2. 発表標題 機能分化の発展力学系
3. 学会等名 JAIST セミナー (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 津田一郎
2. 発表標題 脳の機能分化の神経機構解明のための変分原理による発展力学系
3. 学会等名 「力学系の視点からの脳・神経回路の理解」、生理学研究所研究会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 桜田一洋、津田一郎、石原正康、森村繭子
2. 発表標題 心とは何かから考える知性としての「健康」
3. 学会等名 理研横浜シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 I. Tsuda
2. 発表標題 An exploration of the principle of functional differentiation in the brain: mathematical models.
3. 学会等名 International Symposium on Oscillology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 I. Tsuda
2. 発表標題 A dynamical principle of functional differentiation in the brain: A mathematical point of view
3. 学会等名 OIST seminar in Tani Lab (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 I. Tsuda
2. 発表標題 Mathematical modelling for functional differentiation
3. 学会等名 Dynamic Brain Forum II, The 7th International Congress on Cognitive Neurodynamics (ICCN2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019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の典型例としての脳の機能分化とその数理モデル
3. 学会等名 岐阜数理科学研究会 (招待講演)
4. 発表年 2019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と機能分化
3. 学会等名 幼・小児の成長期における脳機能の発達に関する多領域共同研究 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Nara, H. Tsukada, H. Fujii, and I. Tsuda
2. 発表標題 A three-module scenario in an interpretation of visual hallucination in dementia with Lewy bodies and preliminary results of computer experiments
3. 学会等名 International Joint Conference on Neural Networks 2019(IJCNN2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 I. Tsuda
2. 発表標題 A dynamical principle of functional differentiation: a mathematical point of view
3. 学会等名 International Joint Conference on Neural Networks 2019(IJCNN2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 津田一郎
2. 発表標題 変分原理による脳の機能分化の条件
3. 学会等名 RIMS共同研究 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 津田一郎、河村秀憲、大倉和博、山川宏
2. 発表標題 自律・創発・汎用アーキテクチャ
3. 学会等名 第33回人工知能学会全国大会 (OS-4パネル討論セッション) (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 津田一郎
2. 発表標題 脳と心の創発について
3. 学会等名 早稲田大学理工学部表現工学科セミナー（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 津田一郎
2. 発表標題 機械から生命へ至る拘束条件付き自己組織化
3. 学会等名 RIMS共同研究（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ichiro Tsuda
2. 発表標題 Functional differentiation via a variational principle.
3. 学会等名 HangZhou Forum on Cognitive Neuroscience and Intelligent Application（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 津田一郎
2. 発表標題 複雑系科学からの創発AI - 人工の心と現実の脳は対話可能か？
3. 学会等名 大阪大学浅田稔教授退職記念国際シンポジウム（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 津田一郎
2. 発表標題 Artificial mind, real brain: are they commensurable? Emerging Perspective Program
3. 学会等名 互いに矛盾する分散制御と中枢制御の数理神経科学的融合 3 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 津田一郎
2. 発表標題 脳情報生成におけるカオスの役割
3. 学会等名 基盤研究B&基盤研究C合同ワークショップ
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 津田一郎
2. 発表標題 変分原理による脳の機能分化
3. 学会等名 基盤研究B&基盤研究C合同ワークショップ
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 津田一郎
2. 発表標題 心はすべて数学である
3. 学会等名 数学の創成：生命と社会の理（ことわり）のために（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ichiro Tsuda
2. 発表標題 Emerging interactions yielding functional differentiation
3. 学会等名 The 1st International Symposium on Symbiotic Intelligent Systems (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 奈良重俊, 藤井宏, 塚田啓道, 津田一郎
2. 発表標題 レビー小体型認知症における幻視の3モジュールモデル
3. 学会等名 複合型視覚性幻覚の神経機構に関する数理モデルに関する研究会
4. 発表年 2019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：その枠組みと脳の機能分化への応用
3. 学会等名 物理学会九州支部例会 (招待講演)
4. 発表年 2018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の展開：脳神経ダイナミクスと創発AI
3. 学会等名 関西医科大学大学院講座 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 津田一郎
2. 発表標題 脳と心の創発インタラクションと発達：人工の心と自然の脳は対話可能か
3. 学会等名 日本発達神経科学学会第7回学術集会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 梶川駿介、松橋眞生、小林勝哉、人見健文、大封昌子、山尾幸広、菊池隆幸、吉田和道、國枝武治、行木孝夫、津田一郎、松本理器、高橋良輔、池田昭夫
2. 発表標題 発作時直流緩電位 (Ictal DC shifts) の類型化の試み：時定数10秒と2秒の比較とクラスター解析の試み
3. 学会等名 日本臨床神経生理学会学術集会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ichiro Tsuda
2. 発表標題 Science of complex systems: mathematical point of view
3. 学会等名 International Conference at Chubu University -Seeking for a New Conception of Science: The Future of Scientific Culture in East Asia-（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 津田一郎
2. 発表標題 AIに必要な要素：脳と身体
3. 学会等名 東北大学電気通信研究所（招待講演）
4. 発表年 2018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の意義：機能分化に対する変分原理と数理モデル
3. 学会等名 全脳アーキテクチャー勉強会（招待講演）
4. 発表年 2018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の可能性：脳科学に基づく創発型人工知能を目指して
3. 学会等名 第32回人工知能学会オーガナイズドセッション「自律・創発・汎用AIアーキテクチャー」（招待講演）
4. 発表年 2018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：ダイナミクスが生みだす知の可能性
3. 学会等名 シンギュラリティーサロン（大阪）（招待講演）
4. 発表年 2018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：ダイナミクスが生みだす知の可能性
3. 学会等名 シンギュラリティーサロン（東京）（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 津田一郎
2. 発表標題 拘束条件の意味と具体化
3. 学会等名 RIMS共同研究「Mathematical Analysis of Self-organization with Constraints」
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ichiro Tsuda
2. 発表標題 Toward the interpretation of DLB hallucinations in terms of variational principle
3. 学会等名 Neural Mechanisms of the DLB Hallucinations and Mathematical Modelling (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018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とその脳科学への応用
3. 学会等名 TFC Workshop, Emerging Perspective Program「互いに矛盾する分散制御と中枢制御の数理神経科学的融合」(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Namiki T, Tsuda I
2. 発表標題 Mathematical Structures in the Brain Dynamics of Epilepsy.
3. 学会等名 Advances in Neuroinformatics 2017 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Ichiro Tsuda
2. 発表標題 Computational theory for constrained self-organization in neural systems and its applications
3. 学会等名 Advances in Neuroinformatics 2017 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 行木孝夫、田所智、津田一郎
2. 発表標題 Mathematical classification of brain dynamics in epilepsy
3. 学会等名 第51回日本てんかん学会学術集会(京都)(招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2017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とその応用
3. 学会等名 第17回Kフォーラム「今のこれからのロボット・人工知能・脳科学」(招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Ichiro Tsuda
2. 発表標題 Self-organization with constraints: The significance of invariant manifolds
3. 学会等名 ICCN 2017 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 津田一郎
2. 発表標題 脳と心の普遍言語：数学の拡がり求めて
3. 学会等名 第4回「思いのたけ研究会」（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Ichiro Tsuda
2. 発表標題 Constrained self-organization in neural systems
3. 学会等名 Computational Principles of the Nervous System: elucidated from the observations of neural population activity (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 津田一郎
2. 発表標題 非整数次元 測ることを根本から考えてみよう
3. 学会等名 数学キャラバン in 春日井 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 津田一郎
2. 発表標題 脳と心のダイナミクス：数学、物理学、情報科学、生物学、認知科学が交差する複雑系科学の視点
3. 学会等名 第1回応用数学物理コロキウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Ichiro Tsuda
2. 発表標題 Self-organization with constraints and and its application to insight into unstable brain activity
3. 学会等名 RIMS共同研究「真に複雑な系における自己組織化の原理の探求」(招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Ichiro Tsuda
2. 発表標題 Self-organization with constraints: Hermeneutics with variational model for visual hallucinations in DLB
3. 学会等名 Forum on Cognitive Neuroscience Frontier (招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計7件

1. 著者名 津田一郎(担当: pp.40-48「日本神経回路学会学術賞の受賞にあたって」)	4. 発行年 2021年
2. 出版社 日本神経回路学会	5. 総ページ数 93
3. 書名 日本神経回路学会誌	

1. 著者名 津田一郎(担当: pp.153-157「数学的観点から見た複雑系科学」)	4. 発行年 2020年
2. 出版社 風媒社	5. 総ページ数 217
3. 書名 ARENA2020特別号「新しい科学の考え方を求めて」	

1. 著者名 津田一郎 (担当: pp.238-241 「複雑系 (カオス、相転移、分岐etc)」)	4. 発行年 2019年
2. 出版社 近代科学社	5. 総ページ数 400
3. 書名 AI事典第3版	

1. 著者名 津田一郎 (担当: pp.163-165 「数学から心を問う私的研究遍」)	4. 発行年 2019年
2. 出版社 中部大学	5. 総ページ数 282
3. 書名 結晶 第9集2019 「地球文明社会への大転換の時代を先導する学園 (大学) づくり」	

1. 著者名 津田一郎 (担当: pp.120-121 「心を数学で解き明かせるか」)	4. 発行年 2019年
2. 出版社 株式会社リクルート	5. 総ページ数 234
3. 書名 スタディサプリ進路学問探求BOOK	

1. 著者名 Ichiro Tsuda (担当: pp.371-374 「Self-organization with constraints - The significance of invariant manifolds」)	4. 発行年 2018年
2. 出版社 Springer Singapore	5. 総ページ数 407
3. 書名 Advances in Cognitive Neurodynamics (VI)	

1. 著者名 T. Yano, Y. Goto, T. Nagaya, I. Tsuda, and S. Nara (担当: pp.109-117 「A pseudo-neuron device and firing dynamics of their networks similar to neural synchronizing phenomena between far local fields in the brain」)	4. 発行年 2018年
2. 出版社 Springer Singapore	5. 総ページ数 407
3. 書名 Advances in Cognitive Neurodynamics (VI)	

〔産業財産権〕

〔その他〕

http://www.isc.chubu.ac.jp/tsuda/index.html 複雑系脳科学 - カオス脳理論 - http://www.isc.chubu.ac.jp/tsuda/

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	奈良 重俊 (Nara Shigetoshi) (60231495)	岡山大学・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)	

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