

令和 2 年 6 月 17 日現在

機関番号：17501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2019

課題番号：15K00360

研究課題名(和文)「探索」から「思考」へ - 強化学習によるカオスニューラルネットダイナミクスの発達

研究課題名(英文) From "Exploration" To "Thinking" - Development of Chaos Dynamics through Reinforcement Learning

研究代表者

柴田 克成 (SHIBATA, Katsunari)

大分大学・理工学部・教授

研究者番号：10260522

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：当初目標である、筆者が提案したカオスニューラルネット(NN)を用いた強化学習のアルゴリズムの確立、学習による「探索」から「思考」への成長仮説に基づいた「原始思考」の創発は達成できなかった。その一方で、カオス性の制御のために各ニューロンに「感度」という指標を導入し、それを学習する「感度調整学習」を提案した。これがカオスの生成の指標となること、また、学習時の勾配消失・爆発問題の解決にも繋がることを示した。さらに、強化学習で用いるTD誤差(状態の評価の予測との差)によって「感度」を調整することで、現在の出力値ではなくダイナミクスを学習する全く新しい強化学習「ダイナミック強化学習」の考案に至った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

各ニューロンのローカルな指標「感度」でニューラルネット全体のダイナミクスを制御すること、さらに、従来の静的な発想に基づく「現在の出力値を目的のものに近づける」ための学習という考えから脱し、動的な処理の学習に向けた「評価が良い場合は再現性を上げるためダイナミクスを収束へ、悪い場合は探索を強化するためダイナミクスを発散(カオス)へ」という「ダイナミック強化学習」は、全く新しい学習パラダイムを切り拓くものである。今後、より高次の機能が求められるに従い、求められるものが静的なものからより動的なものへとシフトしていく中で、学習の新たな根本原理としての役割を担うポテンシャルを持っていると期待している。

研究成果の概要(英文)：I could not reach the initial goal that is to establish the algorithm of reinforcement learning using a chaos neural network (NN), which I have proposed, and then the emergence of "primitive thinking" on the basis of the hypothesis that "exploration" grows into "thinking" through reinforcement learning.

On the other hand, I have proposed an index "sensitivity" in each neuron to control the chaoticity of the network globally, and also "sensitivity adjustment learning" to learn it. It can be used as an index for generating chaos, and it can also be used to solve the vanishing/exploding gradient problem in gradient-based learning. Furthermore, completely new reinforcement learning named "Dynamic Reinforcement Learning" in which the present output value is not learned directly but dynamics is learned by adjusting the sensitivity according to TD error (the difference of actual state value from its prediction), has come up.

研究分野：人工知能

キーワード：ダイナミック強化学習 感度 感度調整学習 カオスニューラルネット 思考 探索 ダイナミクス 汎用人工知能

1. 研究開始当初の背景

【筆者らの従来研究の成果】

[ニューラルネット(NN)+強化学習の枠組み] → 必要な機能の内部での創発を目指す研究

(1) [現在のセンサ入力 → 行動の学習] → 画像認識等の静的な機能の創発

(2) [過去からのセンサ入力 → 行動の学習] → 過去の入力から抽出、記憶する機能の創発を示し、本研究開始時には特に時間的な処理(ダイナミクス)の学習による形成の重要性に注目。形成するダイナミクスを図1の3つに分類し、③自律遷移型ダイナミクスは実現が困難であるが、典型的な高次機能である「思考」の実現のためにこれの学習による獲得が必須と考えた。

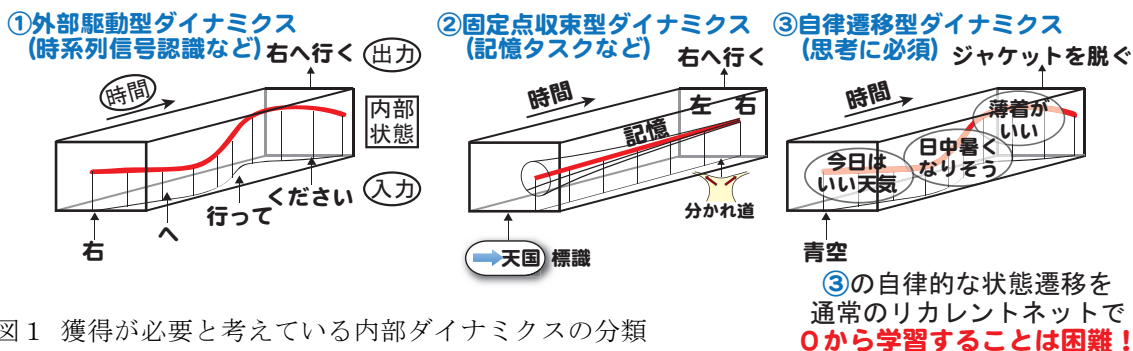


図1 獲得が必要と考えている内部ダイナミクスの分類

カオスダイナミクスに着目 → 最初からランダムに自律遷移しているので③の形成に有利
さらに強化学習の「探索」に使える と考え、

ランダムな状態遷移「探索」----(学習)----> 意味のある状態遷移「思考」という仮説

→ 因果トレースという手法を導入し、カオスNNを用いた新しい強化学習を提案した

【世の中の研究状況】

「深層学習」のブーム：画像認識の多くは階層型ニューラルネットを使用した静的なもの。

リカレントを使った音声認識や自然言語処理の学習も行われたが、上記図1の①に分類される。

深層学習+強化学習も注目されたが、基本的に上記(1)の状態であった。

2. 研究の目的

提案したカオスニューラルネット(NN)を用いた新しい強化学習を様々な問題へ適用

→ 問題点の洗い出し、解決、アルゴリズムの確立

従来の乱数付加型強化学習では、探索成分である乱数と状態評価の期待値との差を表すTD誤差の積を誤差として誤差逆伝播法(BPまたはBPTT)法でNN内部を学習し、内部の機能創発を可能にした。しかし提案手法では、NNの内部カオスダイナミクスが探索を生み出すため、陽に探索成分を抽出できず、誤差逆伝播法が直接適用できない。そのため、フィードバック部の学習ができない、機能創発がうまくいくかわからないという懸案(ポイント)

- ・大事なりカレント部の学習がうまくできないという問題の解決
- ・従来の研究で用いてきた誤差逆伝播法を使用しないことによる、NN内部での機能創発への影響を見極める

さらに、「思考」と呼べるような「原始思考」の学習による創発を目指し、上記仮説の検証を行う。

その他、学習によるカオスNNのダイナミクスの変化、学習に影響を及ぼすカオス性の制御の可能性、また、それらから派生したNNの学習方法の有用性を見極める。

3. 研究の方法

当初は、因果トレースを用いた強化学習において、内部のフィードバック部の学習がうまくできないことの対策と、カオス NN を学習することで何が起こるのかを、あえて教師あり学習や従来の乱数付与型の強化学習をカオス NN に適用するシミュレーションを通して解析してきた。その後、リカレント NN におけるカオス性の制御のために、各ニューロンの指標「感度」を提案、導入した。これが深層学習やタイムラグの大きい問題のリカレントネットにおける勾配消失問題に有効であることがわかり、シミュレーションにより確認するとともに、そこから、ダイナミクスを直接学習する全く新しい強化学習を考えつくに至った。具体的には以下の観点から研究を進めた。

(カオス NN を用いた強化学習の確立へ向けて)

(1) 因果トレースを用いた強化学習を用いて、カオス NN を使った強化学習の可能性、特性、問題点を把握

(2) 因果トレースを用いる方法の問題点の解析と解決

① ネットワーク内部で探索成分が発生することの影響の調査

② 教師信号を求める方法を考え、BP または BPTT 法を適用する方法の検討

(カオス NN の学習とそれによる内部ダイナミクスの変化の知見を得る)

(3) カオス NN への教師あり学習または従来の乱数付与型強化学習の適用とダイナミクスの変化

(カオス性の維持、制御に向けて)

(4) リカレント NN がカオスダイナミクスを生成する方法、学習中にカオス性を制御する方法

→ 感度の導入と感度調整学習

(ネットワーク形態 (リザバ) の有用性の検証)

(5) Reward Modulated Hebb 学習の乱数付加なしでの学習

(6) リザバを使った従来の乱数付与型強化学習

(本研究内で得られた学習法の転用)

(7) 因果トレースのリカレント NN の教師あり学習への利用

(8) (4) で用いた感度の学習を勾配消失問題の解決への転用

(9) (4) で用いた感度を強化学習によって変化させる全く新しい学習方法を考案

4. 研究成果

問題点を洗い出し、誤差逆伝播法の適用を中心に様々な手法でカオス NN のフィードバック部の学習を試みたが、ある程度の学習はできるものの、すっきりと問題点が解決できる手法に至らず、最終的に「原始思考」の創発と実機での確認には至らなかった。しかしながら、カオス性の生成、制御の観点から着想に至った各ニューロン上での局所指標である「感度」が、カオス性の制御のみならず、深層学習等でも問題になっている「勾配消失問題」の解決につながることを示すとともに、さらに、内部ダイナミクスの発散・収束を直接強化学習で変化させていく全く新しい強化学習を考案することができ、ごく簡単なタスクでの学習を確認し、非常に大きな可能性を開くことができた。以下、上記の各項目に沿って、成果を説明していく。重要な知見 (感度および感度を利用した新しい強化学習) については、まだ未発表であるため、図の掲載は省略する。

(1) (カオスニューラルネットを用いた強化学習の可能性)

- ・因果トレースを用いたオリジナルの学習方法で**障害物回避タスクの学習に成功**。センサはターゲットや障害物の距離や角度の入力でも、視覚センサ信号でも学習でき、移動も xy 方向の移動でも車輪型の移動でも可能であった。障害物の右を通るか左を通るかという高次のレベルでの探索を、カオスダイナミクスを利用して完全ではないが示すことができた。しかし、フィードバック部の学習が必要なタスクの学習はできなかった。
- ・ネットワークの重み値を大きくすることでカオスダイナミクスを発生させていたが、学習によってカオス性の低下も見られたこともあり、**各ニューロンに不応性を設けることによって実現されるカオス NN を使っても強化学習ができる**ことを示した。

(カオスニューラルネットを用いた強化学習の特性)

- ・いずれの場合も、相互結合部の重み値が大きすぎても小さすぎてもうまく学習できないことがわかった。大きすぎるとカオス性が強すぎて学習が進まず、小さすぎると探索がうまくできなことが原因と考えられ、カオス性が出現するかしないかの境界である **Edge of Chaos** より**少しカオス性が強いところが学習に適している**ことがわかった。このことは、リザバを用いた FORCE 学習と同様な結果となった。

(カオスニューラルネットを用いた強化学習の問題点の把握)

- ・提案した強化学習ではネットワーク内部のカオスダイナミクスに基づいて探索を行うが、**出力ニューロンが飽和することで探索成分が縮退する問題**が実際に観察され、今後気をつけるべき重要な知見である。しかしながら、フィードバック部の学習ができないこととの関連性は見えなかった。

(2) 因果トレースを用いる方法の問題点の解析と解決

従来の乱数付加型の強化学習では、BPTT 法を利用してフィードバック部の学習もできる。一方、カオス NN を使う強化学習では探索成分を陽に抽出できず、従来と同様な方法では教師信号を生成できない。そこで、何とか BPTT 法を適用できるように教師信号を自動生成する方法を模索した。

- ① 出力とその移動平均の差を探索成分とする方法
- ② 別のリカレント NN で出力の予測をし、カオス NN の出力との差を探索成分とする方法
- ③ 探索成分を抽出せず、出力をそのまま TD 誤差と掛ける方法

いずれも、ある程度の学習はできるものの、**学習性能の大幅な向上は見られなかった**。

(3) カオス NN への教師あり学習または従来の乱数付与型強化学習の適用とダイナミクスの変化

- ・学習すると最大リアプノフ指数は低下する傾向にあることがわかった
学習することで、内部に何らかのアトラクタが形成すると考えられる
- ・相互結合の重み値を大きくすると、BPTT 法で時間を遡る際に誤差の増大による学習性能の低下が見られた。
- ・重み値を大きくすることでカオスダイナミクスを生成するタイプのカオス NN に、**学習によってパターンを埋め込んでもカオス的の遍歴を観察することができなかった**。
- ・フィードバック部固定のリザバや BPTT で学習するリカレントネットに従来の乱数付与して学習することで記憶が必要なタスクの学習ができることを示した。

(4) リカレント NN がカオスダイナミクスを生成・制御する方法

- ・各ニューロンの入力ベクトルの微小変化に対する出力の微小変化の大きさを感度と定義
- ・感度を大きくするように学習 → 微小な乱数重み値の NN がカオスダイナミクスを生成
- ・フラットなりカレントネットで、微小な乱数重み値から感度調整学習を行うと、対数平均感度と最大リアプノフ指数がほぼ一致することを示した。
- ・2層のリカレントネットでは、各層の対数平均感度の和が NN の最大リアプノフ指数とほぼ一致することを示した。

(5) Reward Modulated Hebb 学習の乱数付加なしでの学習

- ・リザバの逐次報酬を用いた Reward Modulated Hebb 学習において、乱数を付加せずとも、内部のカオスダイナミクスで学習できることを示した。また、その際、Edge of Chaos の辺りで学習性能が良くなることがわかった。

(6) リザバを使った従来の乱数付与型強化学習

- ・リザバを用いると、内部のフィードバック部の学習をしなくても、従来型の乱数付加型の強化学習で、短期の記憶を必要とするタスクの学習ができることを確認した。

(7) 因果トレースのリカレント NN の教師あり学習へ利用

- ・強化学習に用いた因果トレース（各ニューロンにおける各入力に対する記憶で、出力の変化に応じてその時の入力の取り込みと保持を決めるもの）を利用して、リカレント NN に広く用いられる BPTT (Back Propagation Through Time) と違い、時間を遡って誤差伝搬せず、時間とともに誤差逆伝播する BPWT (Back Propagation With Time) 法を提案した。しかし、セルフフィードバック結合の重み値を大きくするか、動的ニューロンを導入して時定数のある程度大きくすることで BPTT 法に近い学習性能を得られたものの、BPTT 法と同じと言えるところまで行っていない。

(8) (4) で用いた感度の学習を勾配消失問題の解決へ転用

感度調整学習を誤差逆伝播法 (BP または BPTT 法) と併用することで、100 層での階層型ニューラルネットワークの学習や、1000 ステップのタイムラグがあるリカレントネットでも簡単な教師あり学習ができるようになることを示した。

(9) (4) で用いた感度を強化学習によって変化させる新しい学習方法を考案

強化学習における状態評価値の変化である TD 誤差を用いて、各ニューロンの感度を学習させる方法を考案し、簡単なタスクの学習を確認した。本学習は、内部ダイナミクスを直接変化させるものであり、大きな可能性を秘めていると期待しており、次の科研費に引き継いでいく。

本来の目的である「学習アルゴリズムの確立」と「原始思考の創発」は残念ながら達成できなかった。しかしその中で、動的な処理の獲得を目指す学習において、「現在の出力値を所望のものに近づける」という静的な処理と同様な学習法に限界を感じた。そして、「ダイナミクスそのもの、特に収束(再現性)と発散(カオスによる探索)を学習によって調整していく」という新たな学習パラダイムを提起し、「感度」という個々のニューロンの指標からそれを実現できる可能性を示した。これは、「思考」をはじめとして今後重要性を増すであろう動的処理を伴う高次機能の学習の根本原理になりうる考え方であり、大変意義深いことであると現時点では考えている。ただし、倫理的側面から研究の促進を制御する根本的な手を打つべき段階に入ってきたと強く感じる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計25件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Matsuki Toshitaka, Shibata Katsunari	4. 巻 -
2. 論文標題 Learning Time Constant of Continuous-Time Neurons with Gradient Descent	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 In: P. P. Abdul Majeed A., Mat-Jizat J., Hassan M., Taha Z., Choi H., Kim J. (eds) RITA 2018. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer	6. 最初と最後の頁 149 - 159
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1007/978-981-13-8323-6_13	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 Katsuki Sato, Yuki Goto, Katsunari Shibata	4. 巻 1015
2. 論文標題 Chaos-Based Reinforcement Learning When Introducing Refractoriness in Each Neuron	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 In: Kim JH., Myung H., Lee SM. (eds) Robot Intelligence Technology and Applications. RiTA 2018. Communications in Computer and Information Science	6. 最初と最後の頁 76 - 84
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1007/978-981-13-7780-8_7	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 長谷部圭亮, 柴田克成	4. 巻 -
2. 論文標題 多層ニューラルネットにおける勾配消失問題解決法としての感度調整学習	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 第38回計測自動制御学会九州支部学術講演会予稿集	6. 最初と最後の頁 87 - 90
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 大石将人, 柴田克成	4. 巻 -
2. 論文標題 カオスニューラルネットを用いた記憶タスクの強化学習におけるカオス性の影響	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 第38回計測自動制御学会九州支部学術講演会予稿集	6. 最初と最後の頁 83-86
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 吉岡晴海, 松木俊貴, 柴田克成	4. 巻 -
2. 論文標題 多層リードアウトを持つリザバを用いた強化学習におけるネットワーク構造の検討	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 第38回計測自動制御学会九州支部学術講演会予稿集	6. 最初と最後の頁 79 - 82
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 徳丸侑輝, 柴田克成	4. 巻 -
2. 論文標題 リカレントネットにおける感度調整学習でのカオスダイナミクスの生成と維持	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 第38回計測自動制御学会九州支部学術講演会予稿	6. 最初と最後の頁 75 - 78
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 Matsuki Toshitaka, Shibata Katsunari	4. 巻 751
2. 論文標題 Reinforcement Learning of a Memory Task Using an Echo State Network with Multi-layer Readout	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 In: Kim JH. et al. (eds) Robot Intelligence Technology and Applications 5. RiTA 2017. Advances in Intelligent Systems and Computing	6. 最初と最後の頁 17 - 26
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1007/978-3-319-78452-6_2	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 松木俊貴, 柴田克成	4. 巻 -
2. 論文標題 勾配法による動的なニューロンモデルの時定数の学習	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 第37回計測自動制御学会九州支部学術講演会予稿集	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) 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 佐藤克樹, 柴田克成	4. 巻 -
2. 論文標題 カオスペース強化学習への誤差逆伝播法の適用	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 第37回計測自動制御学会九州支部学術講演会予稿集	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) 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 Katsunari Shibata	4. 巻 -
2. 論文標題 Functions that Emerge through End-to-end Reinforcement Learning - The Direction for Artificial General Intelligence -	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 The 3rd Multidisciplinary Conf. on Reinforcement Learning and Decision Making (RLDM)17, arXiv:1703.02239v2	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) 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 Katsunari Shibata	4. 巻 -
2. 論文標題 Communications that Emerge through Reinforcement Learning Using a (Recurrent) Neural Network	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 The 3rd Multidisciplinary Conf. on Reinforcement Learning and Decision Making (RLDM)17, arXiv:1703.03543v2	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) 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 Katsunari Shibata, Yuki Goto	4. 巻 -
2. 論文標題 New Reinforcement Learning Using a Chaotic Neural Network for Emergence of "Thinking"	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 The 3rd Multidisciplinary Conf. on Reinforcement Learning and Decision Making (RLDM)17, arXiv:1705.05551	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) 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 Yuki Goto, Katsunari Shibata	4. 巻 -
2. 論文標題 Influence of the Chaotic Property on Reinforcement Learning Using a Chaotic Neural Network	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proc. of Int'l Conf. on Neural Information Processing (ICONIP)2017, LNCS 10634	6. 最初と最後の頁 759 - 767
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-319-70087-8_78	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 後藤祐樹, 柴田克成	4. 巻 -
2. 論文標題 カオスニューラルネットを用いた強化学習におけるカオス性の影響	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 第36回計測自動制御学会九州支部学術講演会予稿集	6. 最初と最後の頁 97 - 100
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 松木俊貴, 柴田克成	4. 巻 -
2. 論文標題 カオスニューラルネットの内部ダイナミクスを利用した記憶タスクの報酬に基づく学習	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 第36回計測自動制御学会九州支部学術講演会予稿集	6. 最初と最後の頁 101 - 104
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 佐藤克樹, 後藤祐樹, 柴田克成	4. 巻 -
2. 論文標題 カオスニューラルネットを用いた強化学習における不応性を有するカオスニューロンの導入	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 第36回計測自動制御学会九州支部学術講演会予稿集	6. 最初と最後の頁 109 - 112
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 江越正大, 柴田克成	4. 巻 -
2. 論文標題 ニューラルネットワークを使った強化学習による行動学習を通じた音声認識機能の創発	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 第36回計測自動制御学会九州支部学術講演会予稿集	6. 最初と最後の頁 129 - 132
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 Yuki Goto and Katsunari Shibata	4. 巻 -
2. 論文標題 Emergence of Higher Exploration in Reinforcement Learning Using a Chaotic Neural Network	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Proc. of Int'l Conf. on Neural Information Processing (ICONIP)2016, LNCS 9947	6. 最初と最後の頁 40-48
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-319-46687-3_5	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 Toshitaka Matsuki and Katsunari Shibata	4. 巻 -
2. 論文標題 Reward-Based Learning of a Memory-Required Task Based on the Internal Dynamics of a Chaotic Neural Network	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Proc. of Int'l Conf. on Neural Information Processing (ICONIP)2016, LNCS 9947	6. 最初と最後の頁 376-383
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-319-46687-3_42	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 柴田克成, 後藤祐樹	4. 巻 24巻, 1号
2. 論文標題 深層学習が示唆するend-to-end強化学習に基づく機能創発アプローチの重要性と 思考の創発に向けたカオスニューラルネットを用いた新しい強化学習	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 認知科学	6. 最初と最後の頁 96-117
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 後藤祐樹, 柴田克成	4. 巻 -
2. 論文標題 カオスニューラルネットを用いた強化学習における高次探索の創発	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 第32回計測自動制御学会九州支部学術講演会予稿集	6. 最初と最後の頁 120-123
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 松木俊貴, 柴田克成	4. 巻 -
2. 論文標題 カオスニューラルネットの内部ダイナミクスを利用した記憶タスクの報酬に基づく学習	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 第32回計測自動制御学会九州支部学術講演会予稿集	6. 最初と最後の頁 124-127
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 山本一真, 柴田克成	4. 巻 -
2. 論文標題 BPWT を用いたリカレントネットの教師あり学習における相互結合部の重み値の影響	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 第32回計測自動制御学会九州支部学術講演会予稿集	6. 最初と最後の頁 128-131
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 Katsunari Shibata and Yuta Sakashita	4. 巻 -
2. 論文標題 Reinforcement Learning with Internal-Dynamics-based Exploration Using a Chaotic Neural Network	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 Proc. of Int'l Joint Conf. on Neural Networks (IJCNN)2015	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) 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 山本一真, 柴田克成	4. 巻 -
2. 論文標題 動的ニューロンモデルを用いたニューラルネットワークへの因果トレースの適用	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 第25回インテリジェント・システム・シンポジウム論文集	6. 最初と最後の頁 136-141
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26件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 10件)

1. 発表者名 長谷部圭亮, 柴田克成
2. 発表標題 多層ニューラルネットにおける勾配消失問題解決法としての感度調整学習
3. 学会等名 第38回計測自動制御学会九州支部学術講演会予稿集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大石将人, 柴田克成
2. 発表標題 カオスニューラルネットを用いた記憶タスクの強化学習におけるカオス性の影響
3. 学会等名 第38回計測自動制御学会九州支部学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 吉岡晴海, 松木俊貴, 柴田克成
2. 発表標題 多層リードアウトを持つリザバを用いた強化学習におけるネットワーク構造の検討
3. 学会等名 第38回計測自動制御学会九州支部学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 徳丸侑輝, 柴田克成
2. 発表標題 リカレントネットにおける感度調整学習でのカオスダイナミクスの生成と維持
3. 学会等名 第38回計測自動制御学会九州支部学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 柴田克成
2. 発表標題 End-to-End強化学習による知能創発と「思考」創発へ向けた新しい強化学習
3. 学会等名 第62回システム制御情報学会研究発表講演会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Toshitaka Matsuki & Katsunari Shibata
2. 発表標題 Learning Time Constant of Continuous-Time Neurons with Gradient Descent
3. 学会等名 The 6th Int'l Conf. on Robot Intelligent Technology and Applications (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Katsuki Sato & Katsunari Shibata
2. 発表標題 Chaos-based Reinforcement Learning when Introducing Refractoriness in Each Neuron
3. 学会等名 The 6th Int'l Conf. on Robot Intelligent Technology and Applications (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松木俊貴, 柴田克成
2. 発表標題 勾配法による動的なニューロンモデルの時定数の学習
3. 学会等名 第37回計測自動制御学会九州支部学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 佐藤克樹, 柴田克成
2. 発表標題 カオススペース強化学習への誤差逆伝播法の適用
3. 学会等名 第37回計測自動制御学会九州支部学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Toshitaka Matsuki, Katsunari Shibata
2. 発表標題 Reinforcement Learning of a Memory Task using an Echo State Network with Multi-Layer Readout
3. 学会等名 The Fifth Int'l Conf. on Robot Intelligence Technology and Applications (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yuki Goto, Katsunari Shibata
2. 発表標題 Influence of the Chaotic Property on Reinforcement Learning Using a Chaotic Neural Network
3. 学会等名 Int'l Conf. on Neural Information Processing (ICONIP)2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Katsunari Shibata
2. 発表標題 New Reinforcement Learning Using a Chaotic Neural Network for Emergence of “Thinking”
3. 学会等名 The 3rd Multidisciplinary Conf. on Reinforcement Learning and Decision Making (RLDM)17 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Katsunari Shibata
2. 発表標題 Communications that Emerge through Reinforcement Learning Using a (Recurrent) Neural Network
3. 学会等名 The 3rd Multidisciplinary Conf. on Reinforcement Learning and Decision Making (RLDM)17 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Katsunari Shibata
2. 発表標題 Functions that Emerge through End-to-end Reinforcement Learning - The Direction for Artificial General Intelligence -
3. 学会等名 The 3rd Multidisciplinary Conf. on Reinforcement Learning and Decision Making (RLDM)17 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 後藤祐樹, 柴田克成
2. 発表標題 カオスニューラルネットを用いた強化学習におけるカオス性の影響
3. 学会等名 第36回計測自動制御学会九州支部学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 松木俊貴, 柴田克成
2. 発表標題 カオスニューラルネットの内部ダイナミクスを利用した記憶タスクの報酬に基づく学習
3. 学会等名 第36回計測自動制御学会九州支部学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 佐藤克樹, 後藤祐樹, 柴田克成
2. 発表標題 カオスニューラルネットを用いた強化学習における不応性を有するカオスニューロンの導入
3. 学会等名 第36回計測自動制御学会九州支部学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 江越正大, 柴田克成
2. 発表標題 ニューラルネットワークを使った強化学習による行動学習を通じた音声認識機能の創発
3. 学会等名 第36回計測自動制御学会九州支部学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Katsunari Shibata
2. 発表標題 Emergence of Intelligence through End-to-End Reinforcement Learning and Chaos-based Reinforcement Learning towards the Emergence of "Thinking"
3. 学会等名 OIST(Okinawa Institute of Science and Technology) Seminar (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yuki Goto and Katsunari Shibata
2. 発表標題 Emergence of Higher Exploration in Reinforcement Learning Using a Chaotic Neural Network
3. 学会等名 Int'l Conf. on Neural Information Processing (ICONIP) 2016 (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Toshitaka Matsuki and Katsunari Shibata
2. 発表標題 Reward-Based Learning of a Memory-Required Task Based on the Internal Dynamics of a Chaotic Neural Network
3. 学会等名 Int'l Conf. on Neural Information Processing (ICONIP) 2016 (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 後藤祐樹, 柴田克成
2. 発表標題 カオスニューラルネットを用いた強化学習における高次探索の創発
3. 学会等名 第32回計測自動制御学会九州支部学術講演会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 松木俊貴, 柴田克成
2. 発表標題 カオスニューラルネットの内部ダイナミクスを利用した記憶タスクの報酬に基づく学習
3. 学会等名 第32回計測自動制御学会九州支部学術講演会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 山本一真, 柴田克成
2. 発表標題 BPWT を用いたリカレントネットの教師あり学習における相互結合部の重み値の影響
3. 学会等名 第32回計測自動制御学会九州支部学術講演会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Katsunari Shibata and Yuta Sakashita
2. 発表標題 Reinforcement Learning with Internal-Dynamics-based Exploration Using a Chaotic Neural Network
3. 学会等名 Int'l Joint Conf. on Neural Networks (IJCNN) 2015 (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 山本一真, 柴田克成
2. 発表標題 動的ニューロンモデルを用いたニューラルネットへの因果トレースの適用
3. 学会等名 第25回インテリジェント・システム・シンポジウム (FAN2015)
4. 発表年 2015年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔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
研究協力者	松木 俊貴 (Matsuki Toshitaka)	大分大学・理工学部・技術職員 (17501)	