

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 5月28日現在

機関番号：57501

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22500216

研究課題名（和文）学習順番に含まれる統計情報を自動抽出し自己組織的に物体認識する連想記憶モデル

研究課題名（英文）Associative memory model that extracts automatically statistical information included in learning-order and recognizes objects in self-organizing

研究代表者

木本 智幸（KIMOTO TOMOYUKI）

大分工業高等専門学校・電気電子工学科・准教授

研究者番号：30259973

研究成果の概要（和文）：

常に連続観測される観測像は、同一物体の各方位からの観測像である可能性が高く、逆に、連続観測されてもそれが一過性である場合は、互いに無関係な物体の観測像である可能性が高い。本研究では、Hopfield モデルを改良した Amit モデルに様々な観測物体を学習させると、観測順番の統計性によって、自己組織的に物体を区別するアトラクタ構造が獲得されることを、統計力学解析と計算機シミュレーションを用いて示した。

研究成果の概要（英文）：

If the observing order of observing patterns is always fixed, it might be the pattern in which same object is observed from various direction. If the randomness of the observing order is strong, the possibility that the patterns are independent mutually is high. This study examined the dependence of the attractor structure on the statistical properties of the learning order in the Amit model modified Hopfield model. We found that if the statistical properties of the learning order change, stable state can change to the appropriate attractor reflecting the relationship between memory patterns.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2011年度	900,000	270,000	1,170,000
2012年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	2,900,000	870,000	3,770,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・感性情報学/ソフトコンピューティング

キーワード：Amit モデル、Hopfield モデル、自己組織、学習順番、分類、統計力学、混合状態、相関アトラクタ

## 1. 研究開始当初の背景

脳の IT 野は視覚の最終野とも言われ、様々な図形や顔に反応するニューロンが数多く存在する。東京大学の宮下教授はサルに 100 枚の無相関なフラクタル図形を同じ順番で

繰り返し学習させて、各フラクタル図形に対する IT 野のニューロン集団の発火状態を調べた。その結果、学習時間の近いフラクタル図形ほど発火状態の相関が高くなることを発見している。この結果は、各図形を独立に

記憶するのではなく、学習時刻の近さの情報をニューロン集団の発火状態の相関として保存していることを示している。この知見を説明できるモデルとして、Amitらのモデルが有名である。AmitモデルはHopfieldモデルの学習則を改良したもので、数多くの研究者から支持されており、申請者も数多くの性質を解析してきた。

宮下教授の知見は、情報处理的の立場からも自然なものと考えられる。連続的に観測される像は、同じ物体である可能性が高く、各像を独立に記憶するよりも、互いに関係を持たせて記憶した方が意味があると考えられるためである。例えば、同一人物の顔画像は、連続的に観測される可能性が高く、この連続性を用いて、同一人物の顔画像に対する反応を相関がとて高い発火状態に変換し、一方で、異なる人物の正面顔同士は、同一人物の正面顔と横顔の相関よりも高いが、異なる人物の顔は学習する順番が連続しないことから、異なる人物の顔画像に対する反応を相関がとて低い発火状態に変換できれば、発火パターンを観測することで、個人識別ができる可能性がある。以上から、Amitモデルは単に生理学的知見を説明するモデルではなく、情報処理装置としても利用できるのではないかと考えられる。

しかし、これまで、Amitモデルに学習させる記憶パターンの学習順番は、各記憶パターンを順番に1回ずつサイクリックに繰り返した場合についてのみしか調べられていなかった。そこで学習順番に様々な統計性を入れて、獲得されるアトラクタ構造がどのように変化するか調べる必要があった。

## 2. 研究の目的

常に連続観測される観測像は、同一物体の各方位からの観測像である可能性が高く、逆に、連続観測されたとしてもそれが一過性である場合は、互いに無関係な物体の観測像である可能性が高い。そこで、観測順番に関する統計性を使って、観測物を自己組織的に認識するモデルが構築できるのではないかと考えた。SOM(Self Organizing Maps)のように観測像の空間相関を用いるのではなく、観測像の時間相関を利用するのである。本研究では、Amit型連想記憶モデルに様々な順番で提示される記憶パターンが、提示される順番の統計性によって、個々の記憶パターンが独立なアトラクタになったり、関連する記憶パターンが混合されたアトラクタになったりすることを調べる。

また、Amit型連想記憶モデルは、Isingスピンの構成されているため、個々の素子の情報表現能力が2値と乏しい。そこで、XYスピン系連想記憶モデルや位相振動子系連想記

憶モデルに発展させる必要がある。しかし、位相振動子系連想記憶モデルの統計力学による解析理論がないため、その確立も目指す。

## 3. 研究の方法

学習順番の統計性を用いた物体認識装置の構築可能性を検証するために、Amitモデルに複雑な学習順番と空間相関を持たせた観測像を学習させて性質を解析する。Amitモデルは、Hopfieldモデルの改良版であり、アトラクタ型のニューラルネットワークであるため、統計力学を用いて解析する。統計力学を用いてモデルの性質を様々なパラメータにおいて系統立てて包括的に解析し、さらに計算機シミュレーションによって理論結果の妥当性の検証も行う。包括的解析では、大規模な数値計算と計算機シミュレーションが必要であるため、GPUによって高速な計算を行うためのプログラムを開発する。

## 4. 研究成果

無相関である記憶パターンを21個用意し、Amitモデルに繰り返し順番に学習させると、学習順番の近い記憶パターンは相互に混合されて、相互に相関の高いアトラクタとなって獲得される。この際、学習の順番にランダム性を少しずつ加えていき、獲得アトラクタ相互の相関性がくずれ、相関のないアトラクタに変換される様子を調べた。解析の結果、学習順番に入れるランダム性の強さに応じて以下の3つのアトラクタが存在することが分かった。学習順番に完全な連続性がある場合は、従来から知られているように獲得されるアトラクタ間の相関の強さが学習順番の近さに応じて変換された。一方、学習順番がほぼランダムであると、相互に無相関のアトラクタに変換されて記憶されることが分かった。また、学習順番の連続性とランダム性が同程度含まれると、獲得されるアトラクタは相互に相関はあってもその相関値に違いはなく、学習順番の情報は保存されることが分かった。学習順番に連続性が強いと、それらの記憶パターンが順番の情報も含んだ状態で保存され、連続性が中程度になると順番情報は失われて関連があるということだけの情報が残り、連続性が非常に弱くなる記憶パターンは相互に関係がないことを表現するようになり、リーズナブルな情報表現がなされていると考えられる。この3状態の変化は、学習順番の連続度合いによって、一次相転移が生じるように変化した。以上から、学習順番情報が、自己組織的な情報処理モデルの構築に有効な情報となりうることが分かった。

学習順番の統計性を自動抽出して学習順番が近い記憶パターン同士を混合したアトラクタを自己組織的に格納する連想記憶モ

デルを構築することができ、その性質の解析ができたが、 $\pm 1$ の2値表現を持つisingスピンの構成された連想記憶モデルであるため、モデルの持つ情報表現の広がりや乏しかった。そこで、 $-\pi \sim +\pi$ までの連続値を状態変数に持つ、XYスピンの構成された連想記憶モデルに発展させ、さらに実際のニューロンに近づけるために位相振動子系で構成された連想記憶モデルに発展させることも行った。

XYスピン系の連想記憶モデルの解析を行うには、学習順番の統計性を入れる前に、まず基本モデルでのアトラクタ構造を解析する必要がある。基本モデルの解析の結果、XYスピン系連想記憶モデルでは、isingスピンの連想記憶モデルと性質が大きく異なり、記憶パターンが連続アトラクタとなった相互につながるということが分かった。連続アトラクタは、認識モデルを作るために重要なアトラクタ構造であると考えられるため、他の研究者にも研究指針を与える可能性がある。このように、新たな研究の方向性が発見された。

位相振動子系連想記憶モデルの解析は、その解析理論がなく、この開発を行う必要があった。そこで、XYスピン系連想記憶の解析結果を利用して、位相振動子系で構成された連想記憶モデルの解析法の開発を試みた。その結果、位相振動子系のモデルを解析するための解析手法の基礎理論を開発することができた。これにより、位相振動子系の研究者に新たな研究手法を与えられると考えられる。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計4件)

①Tatsuya Uezu, Tomoyuki Kimoto, Masato Okada, Solvable model of a phase oscillator network on a circle with infinite-range Mexican-hat-type interaction, Journal of the Physical Society of Japan, Letter, 査読有, vol. 81, No. 7, pp. 073001-1 ~ 073001-4 (2012. 7)

②Tatsuya Uezu, Tomoyuki Kimoto, Masato Okada, Analysis of XY model with Mexican-hat interaction on a circle -- Derivation of saddle point equations and study of bifurcation structure -- Journal of the Physical Society of Japan, 査読有, Vol. 81 No. 6, pp. 064001-1 ~ pp. 064001-10 (2012. 6)

③Tomoyuki Kimoto, Tatsuya Uezu, Masato Okada, Analysis of XY Model with

Mexican-Hat Interaction on a Circle, Journal of the Physical Society of Japan, 査読有, Vol. 80 No. 7, pp. 074005-1 ~ pp. 074005-7 (2011. 7)

④Tomoyuki Kimoto, Tatsuya Uezu, Masato Okada, Stability Analysis of Attractor Neural Network Model of Inferior Temporal Cortex -- Relationship between Attractor Stability and Learning Order --, Journal of the Physical Society of Japan, 査読有, Vol. 79 No. 6, pp. 064001-1 ~ pp. 064001-7 (2010. 6)

〔学会発表〕(計19件)

①木本智幸、上江洩達也、岡田真人、XYスピン系連想記憶モデルに多相パターンを学習させた場合の解の性質、日本物理学会講演概要集、第68巻第1号第2分冊、29pXR-6, p. 409 (2013. 3. 29)、広島大学

②上江洩達也、木本智幸、岡田真人、リング上の位相振動子ネットワークの自己無撞着方程式と同期非同期相転移の研究 III、日本物理学会講演概要集、第68巻第1号第2分冊、27aXZD-10, p. 349 (2013. 3. 27)、広島大学

③佐保雄太、木本智幸、相関構造を持つ記憶パターンを学習した連想記憶モデル、第11回電子情報系フォーラム論文集、p. 55-58, (2012. 11. 10)、熊本高専

④高橋昌土、木本智幸、GPGPUを用いたネオコグニトロンの実装と高速化、第11回電子情報系フォーラム論文集、p. 51-54, (2012. 11. 10)、熊本高専

⑤佐保雄太、木本智幸、相関構造を持つ記憶パターンを学習した連想記憶モデル ~ 記憶パターンを平面上に配置した場合 ~、電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 112, No. 227, NC2012-44, pp. 43-48 (2012. 10. 4)、九州工業大学

⑥上江洩達也、木本智幸、岡田真人、リング上の位相振動子ネットワークの自己無撞着方程式と同期非同期相転移の研究 II, ~ 一般的な相互作用の場合 ~、日本物理学会講演概要集、第67巻第2号第2分冊、18aAA-5, p. 221 (2012. 9. 18)、京都産業大学

⑦木本智幸、上江洩達也、岡田真人、XYスピン系における自己相関型連想記憶モデルの解析 ~ 相関がある有限個の記憶パターンを学習した場合 ~ 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 112,

No. 168, NC2012-19, pp. 31-36 (2012. 7. 30)、立命館大学

⑧上江洩達也、木本智幸、岡田真人、リング上の位相振動子ネットワークの自己無撞着方程式と同期非同期相転移の研究、日本物理学会講演概要集、第67巻第1号第2分冊、27aAG-13, p. 365 (2012. 3. 27)、関西学院大学

⑨木本智幸、上江洩達也、岡田真人、XY スピンにおける自己相関型連想記憶モデルの解析、～相関がある有限個の記憶パターンを学習した場合～、日本物理学会講演概要集、第67巻第1号第2分冊、25aAG-10, p. 312 (2012. 3. 25)、関西学院大学

⑩政谷賢祐、木本智幸、CUDA を用いた運動方向検知神経回路モデルの高速化、第21回九州沖縄地区高専フォーラム講演要旨集、p. 54, (2011. 12. 3)、大分高専

⑪品矢裕介、木本智幸、相関構造を持った記憶パターンを学習した連想記憶モデルの解析、第21回九州沖縄地区高専フォーラム講演要旨集、p. 48, (2011. 12. 3)、大分高専

⑫政谷賢祐、木本智幸、CUDA を用いた運動方向検知神経回路モデルの高速化、第10回電子情報系高専フォーラム講演論文集、pp. 39-42, (2011. 11. 12)、熊本高専

⑬品矢裕介、木本智幸、相関構造を持った記憶パターンを学習した連想記憶モデルの解析、第10回電子情報系高専フォーラム講演論文集、pp. 35-38, (2011. 11. 12)、熊本高専

⑭上江洩達也、木本智幸、岡田真人、位相振動子ネットワークと XY モデルの相転移の研究、日本物理学会講演概要集、第66巻第2号第2分冊、21pGU-1, p. 211, (2011. 9. 21)、富山大学

⑮木本智幸、上江洩達也、岡田真人、メキシカンハット型相互結合を持つ XY モデルの解析、日本物理学会講演概要集、第66巻第1号第2分冊、25pTD-3, p. 289 (2011. 3. 25)、新潟大学

⑯伊藤孝史、木本智幸、入力信号の出現確率に偏りがある場合の自己組織化マップ、第9回電子情報系高専フォーラム講演論文集、pp. 43-46, (2010. 11. 11)、熊本高専

⑰ Tatsuya Uezu, Tomoyuki Kimoto, and Masato Okada, Phase transition in phase oscillator network and classical XY model

on a circle with Mexican-hat type interaction, Japan-Slovenia Seminar on Nonlinear Science (Kansai 2010), November 8-9, (2010. 11. 8), 大阪府立大学

⑱木本智幸、上江洩達也、岡田真人、メキシカンハット型相互結合を持つ XY モデルの解析、電子情報通信学会技術研究報告、Vol. 110, No. 246, NC2010-43, pp. 5-10 (2010. 10. 16)、九州工業大学

⑲Tatsuya Uezu, Tomoyuki Kimoto, Masato Okada, Synchronization-desynchronization phase transition in phase oscillators on a circle with Mexican-hat type interaction, Statphys24 : the XXIV International Conference on Statistical Physics of the International Union for Pure and Applied Physics, Cairns, Australia, 19-23 July, (2010. 7. 23), Convention Centre, Cairns, Queensland, Australia

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

[その他]

無し

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

木本 智幸 (KIMOTO TOMOYUKI)  
大分工業高等専門学校・電気電子工学科・  
准教授  
研究者番号：3 0 2 5 9 9 7 3

### (2) 研究分担者

上江洩 達也 (UEZU TATSUYA)  
奈良女子大学・大学院人間文化研究科・教  
授  
研究者番号：1 0 1 6 0 1 6 0

### (3) 連携研究者

なし