

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 6 月 11 日現在

機関番号：14401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2009-2012

課題番号：21656100

研究課題名（和文） 脳の自己組織化：記憶・連想・抽象化のループ回路的実現

研究課題名（英文） Self-Organizing: Loop Circuits for Memorizing, Association and Abstraction

研究代表者

田村 進一 (Tamura Shinichi)

大阪大学・その他部局等・名誉教授

研究者番号：30029540

研究成果の概要（和文）：

我々は time-shift 図法を開発し、頭表脳波・皮質脳波、MEG からの脳波伝播解析を世界に先駆けて行った。そこでは、様々な情報が同時並行的に脳内各部に順次伝達される状態が可視化された。そこで我々は、脳構成論の立場から、記憶の基本はループ回路であると仮説を立て、脳内記憶ループ回路モデルに関するシミュレーションを行い、ループ回路へのバックプロパゲーション学習の適用などを行った結果、time-shift 図を説明できるような通信機能の自己組織化が物理的に実現可能であることが分かった。

研究成果の概要（英文）：

We have developed a time-shift diagram method for visualizing propagation of brain wave. Based on the analysis result of time-shift diagram, we have assumed the memory is composed of loop neural circuit in the cerebral cortex and try to prove this assumption by simulation. As simulation results, we could show that it was possible to copy content of a memory loop to another loop by back propagation algorithm.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	1,500,000	0	1,500,000
2010 年度	800,000	0	800,000
2011 年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	3,100,000	240,000	3,340,000

研究分野：システム工学

科研費の分科・細目： バイオシステム工学

キーワード： 脳情報処理, 記憶, 連想, 学習, ループ回路, シミュレーション

1. 研究開始当初の背景

本研究を進めるのに先立ち、我々は頭表脳波・皮質脳波、MEG からの脳波伝播解析を行う目的で、time-shift 図法を世界に先駆けて開発した。そこでは、様々な情報が脳内各部に伝達される状態が可視化された。

これより、我々は脳構成論の立場から、記憶の基本はループ回路であり、このような経路の探索・形成が Hebb 則に従う神経回路で可能であり、記憶、連想、抽象化、記憶の再構成など脳情報処理の基本機能が、

単純な経路形成のみで統一的に説明され、生理的・神経回路的に実現可能であるとの仮説を立てた。

2. 研究の目的

本研究の目的は、「1. 研究開始当初の背景」で記述した、脳内記憶の仮説に関する実証をシミュレーションにより行うことである。本研究ではその中でも特に、ループ回路による記憶の伝送等が Hebb 則のみで実現可能か、また回路的な自己組織化が可能かどうかという視点で、以下図1～5に示すような事象の検討を試みることにした。

図1, 2には、一番単純な神経回路ループで記憶された内容が、放送的に伝送されて遠隔で同様のループと共振（伝達）し、その間の経路が Hebb 則に従い強化される様子を示す。送信側の記憶構造を反映する時空間信号が放送されると、同じ構造を持つ記憶は反応できる。内部にいくつもの経路が存在するもっと複雑な発信神経回路ループの場合には、その構造に応じた時空間信号が送信される。

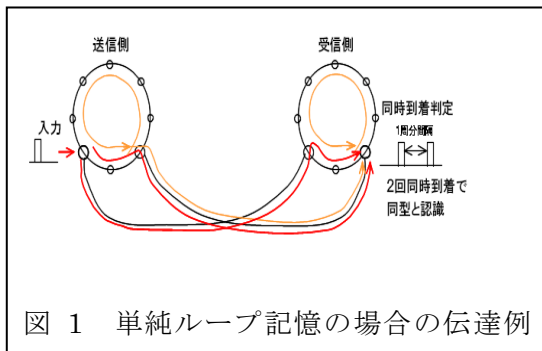


図1 単純ループ記憶の場合の伝達例

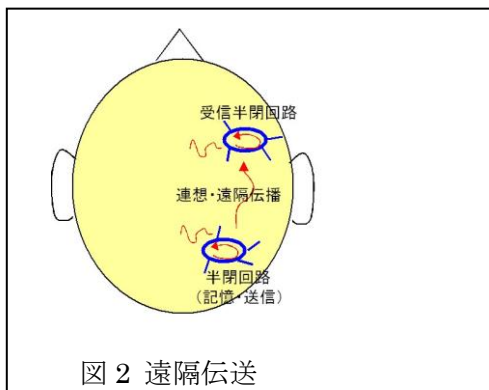


図2 遠隔伝送

図3は脳内記憶過程を示す。全く未知の事項の記憶は不可能である。多少とも既知の事項があればそれらを結びつける経路を探索することで、**記憶ループ**（神経回路ループ）が出来る。なお、断片既記憶も実際のところ記憶ループである。最初は、入力にたまたま反応したループが断片既記憶となる。

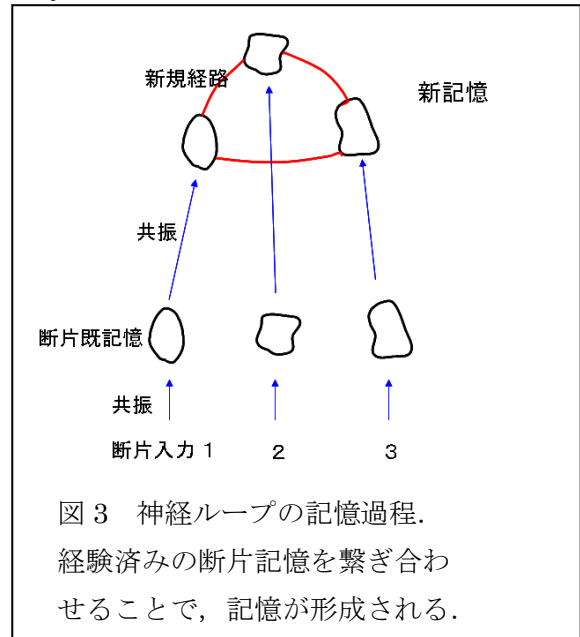


図3 神経ループの記憶過程。
経験済みの断片記憶を繋ぎ合わせることで、記憶が形成される。

記憶の一部に別の記憶が共振すると、関連する記憶が想起されることで**連想**が行われる（図4）。**抽象化**も同様に、図5に示すような連想個別記憶を連結する形で、記憶が形成される。

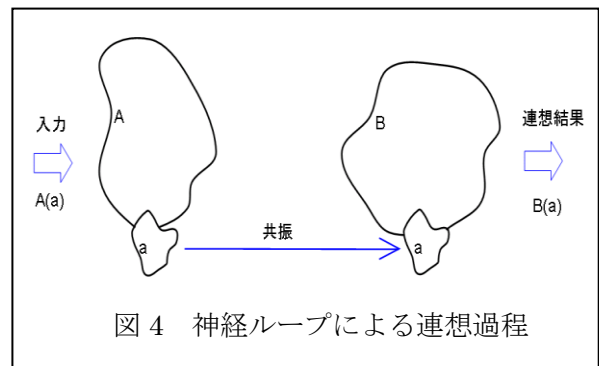
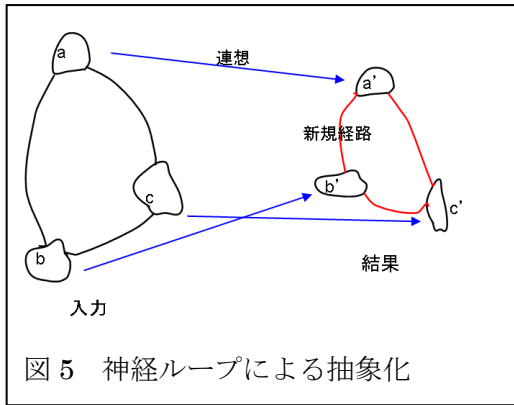


図4 神経ループによる連想過程



3. 研究の方法

上述の、研究背景、目的、方法に基づき、本研究においては、回路自体（ハードウェア形態）の学習、すなわち回路形状が転写可能であるかどうかの検証を行った。本研究の一環として、我々はすでに、4素子であるが、誤差逆伝搬アルゴリズムを用いたシミュレーションにより、ループ固有の疑似ランダム出力系列の遠隔部位への記憶転写が可能であることを示した。そこで、素子数を拡大するとともに、連想、抽象化の可能性を探った。

4. 研究成果

先ず、代表的な学習アルゴリズムである誤差逆伝播アルゴリズムを用いた記憶の伝送のシミュレーションを行った。その結果、送信側ループ回路から出力されたパルス系列を用いた学習によって、同様の出力をもつ受信側ループ回路を形成することが可能であることが示された。これにより、任意の記憶内容が適切な領域に伝送、転写される過程を生理的・神経回路的に実現可能な形で示すことができた。また、情報伝送、転写に成功した場合でも、単に出力系列が同じな場合と、回路形態までもが同じになる場合の2種あることがわかった。これは記憶の転写が表層的なものである場合と、

より正確な理解を伴った記憶である場合の違いではないかと考えられる。

ところで、脳内記憶ループ回路について、当初は1ニューロンが1論理素子に相当すると考えていた。しかし本研究期間終了直前の2011年度下半期になって、単一ニューロンが論理素子として機能するとは考えられず、小規模なニューラルワークを1論理素子とした新しい回路モデルを考案した。この回路モデルに関し、理論的、実験的検証のため、2012年度も本研究を続投すべく、研究費用の繰り越し申請を行った。これにより、シミュレーションを引き続き行った結果、上述の小規模なニューラルワークを1論理素子とした新しい回路モデルの構築が可能であることが解かってきた。さらに情報の伝播形式が、M系列を始めとする様々な擬似ランダム系列による可能性が確認された。

その一方で、2010年度以降、本挑戦的萌芽研究の成果を基にし、並行的に開始していた基盤研究(A)「脳記憶ループと遠隔転写の生理学的実証」において、マルチチャンネル電極を用いた神経細胞外スパイク波行列からM系列を含む擬似ランダム系列を発見し、これと本研究におけるシミュレーション結果を照合し、その結果の妥当性が裏付けられたことも特記すべきことである。

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)

- 1) S.Tamura, Y.Mizuno(Matsumoto), et al. Random Bin for Analyzing Neuron Spike Trains, Computational Intelligence and Neuroscience DOI 153496, pp1-11, (2012)
 - 2) Y.Nishitani, Y.Mizuno(Matsumoto), S.Tamura et al. Detection of M-sequence in Neuronal Networks, Computational Intelligence and Neuroscience DOI 862579, pp1-9, (2012)
 - 3) S. Tamura, S. Inabayashi, W. Hayakawa, T. Yokouchi, H. Mitsumoto, H. Taketani, " Why people play: Artificial lives acquiring play-instinct to stabilize productivity," Computational Intelligence and Neuroscience, vol. 2012, Article ID 197262, 8 pages, 2012.
doi:10.1155/2012/197262.
 - 4) Yen-Wei Chen, I. Nishikawa, S.Tamura, Bao-Liang Lu, and Huiyan Jiang, Editorial : Computational Intelligence in Biomedical Science and Engineering," Computational Intelligence and Neuroscience, Volume 2012 (2012), Article ID 160356, 2 pages, doi:10.1155/2012/160356
- [学会発表] (計16件)
- 1) S. Tamura, Y. Nishitani, C. Hosokawa, Y. Mizuno-Matsumoto, T. Kamimura, Y-W. Chen, T. Miyoshi, and H. Sawai, "Pseudo random sequences from neural circuits," IFMIA 2012, Daejeon, Nov.16-17, 2012 .
 - 2) S. Tamura, Y. Nishitani, C. Hosokawa, Y. Mizuno-Matsumoto, T. Kamimura, Y-W. Chen, T. Miyoshi, and H. Sawai, "M-sequence family from cultured neural circuits," The 3rd Int'l Workshop on Computational Intelligence for Bio-Medical Science and Engineering (CIMSE-2012), Taipei, Oct.23-25, 2012 .
 - 3) 上村 拓矢, 八木 康史, 陳 延偉, 田村 進二, " ループ型脳内通信回路モデルにおけるM系列の出現," 電子情報通信学会ニューロコンピューティング研究会, 2012. 7. 30-31.
 - 4) 西谷陽志, 細川千絵, 水野 (松本) 由子, 三好智満, 澤井元, 田村進一, " 培養神経細胞からのM系列検出," 電子情報通信学会ニューロコンピューティング研究会, 草津, 2012. 7. 30-31.
 - 5) T.kamimura, Y.Mizuno(Matsumoto), S.Tamura et al. Learning of Loop Neural Circuit for Memory, CIMSE2011, ICCIT2011, 2011,11,29, Jeju Korea
 - 6) S.Tamura, Y.Mizuno(Matsumoto) et al. M-sequence from neural circuits, 電子情報通信学会医用画像研究会, Medical Imaging Forum 2012, 2012, 1,19
沖繩
 - 7) 西谷陽志, 田村進一 他, 脳の情報記憶と情報伝送を探る ~よりグローバルな記憶モデル構築を目指して~, グローバル経営学会第2回シンポジウム, 2011, 9, 1 大阪工業大学
 - 8) 西谷陽志, 細川千絵, 田村進一, ループ回路仮説に基づく脳神経回路の読み出しパターン解析, 電子情報通信学会ニューロコンピューティング研究会・MEとバイオサイバネティクス研究会, 東京, 2011・3・7-9.
 - 9) 上村拓矢, 陳 延偉, 八木康史, 田村進一, "疑似ランダム系列に基づく脳情報通信", 電子情報通信学会医用画像研究会, 那覇, 2011・1・19-20.
 - 10) K.Nakamura, T. Kamimura, K. Yoneda, T. Miyoshi, H. Sawai, Y.Mizuno-Matsumoto, Yen-Wei Chen, S.Tamura, Neural Loop Circuit Memory and Planning Experiment for Writing-in at Cerebral Cortex by Coded Pulse Sequence, World Automation Congress (WAC 2010), IFMIP-SS07-2, Kobe, Sept. 19-22, 2010

- 11) 米田和代, 上村拓矢, 中村和起, 陳延偉, 水野(松本)由子, 三好智満, 澤井元, 田村進一, Towards unified principle of communication, memory, association, and abstraction in brain by pseudo random sequence, 生体医工学シンポジウム 2010 (JBMES2010), 1-8-1, 札幌, 2010.9.10-11.
- 12) 上村拓矢, 水野(松本)由子, 田村進一他, 疑似ランダム系列による脳内通信と記憶転写シミュレーション, 生体医工学シンポジウム 2010 (JBMES2010), 1-8-2, 札幌, 2010.9.10-11.
- 13) T.Kamimura, Y. Mizuno(Matsumoto), S.Tamura et al. Information Communication in Brain based on Memory Loop Neural Circuit, ICIS2010 & SEDM2010 (appears in IEEE Xplore), Chengdu, June 23-25, 2010.
- 14) S.Tamura, Y.Mizuno-Matsumoto, Y., Chen, Y.-W., and K.Nakamura, Association and abstraction on neural circuit loop and coding. 5th Int'l Conf. Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing (IIHMSP2009) A10-07(No.546), Kyoto, Sep. 12-14 (2009).
- 15) T. Sasama, H. Mitsumoto, K.Yoneda, and S. Tamura, "Mental Rotation by neural Network", IIHMSP2009, Kyoto, Sept 12-14, 2009.
- 15) 上村拓矢, 中村和起, 米田和代, 陳延偉, 水野(松本)由子, 三好智満, 澤井元, 田村進一, "脳time-shift図と通信戦略ー記憶ループと遠隔転写ー", 電子情報通信学会医用画像研究会, 2010. 1. 28-19.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田村 進一 (Tamura Shinichi)
大阪大学 名誉教授
研究者番号 : 30029540

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者

水野・松本 由子 (Mizuno-Masumoto Yuko)
兵庫県立大学大学院応用情報科学研究科
教授
研究者番号 : 80331693