

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 22 日現在

機関番号：10101

研究種目：新学術領域研究(研究領域提案型)

研究期間：2009～2013

課題番号：21120002

研究課題名(和文) 動的脳の情報創成とカオスの遍歴の役割

研究課題名(英文) Generation of information in dynamic brain and the role of chaotic itinerancy

研究代表者

津田 一郎 (Tsuda, Ichiro)

北海道大学・電子科学研究所・教授

研究者番号：10207384

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 56,400,000円、(間接経費) 16,920,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は[1] 脳内ヘテロシステム間相互作用系、[2]ヘテロ力学系ネットワーク系、[3] ランダム力学系のサブテーマで行った。[1]ではホジキン・ハックスレー型ニューロンのネットワークモデルを基盤にして、動的連想記憶を実現し、これを視覚性幻覚のモデルに発展させた。[2]ではカオス力学系のヘテロ結合モデルと新しい学習則を提案した。[3]ではラットの行動実験における海馬の活動を定式化できることを発見した。どの系においてもカオスの遍歴が基礎になっていることが明らかになった。さらに、システムが拘束条件から成分(部品)を分化させる新しい自己組織化原理を提案した。

研究成果の概要(英文)：This research consists of the following three sub-themes: [1] Intra-brain hetero-interactions, [2] hetero-coupled dynamical systems, [3] random dynamical systems. In [1], we established a network model of Hodgkin-Huxley type of neurons, based on which a dynamic associative memory was realized. This model was extended to a model for complex visual hallucination. In [2], we proposed a model for hetero-interactions of dynamical systems, and also a new learning algorithm. In [3], we found a new dynamical system embedded in the data of activity of place neurons in rat hippocampus, such that the probabilities of renewal of dynamics change in time. Furthermore, we proposed a new principle of self-organization as the second order, in which components or elements are differentiated under the constraints at a macroscopic level of system.

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：カオスの遍歴 脳のダイナミクス ヘテロ力学系 ランダム力学系 第二種自己組織化 視覚性幻覚 海馬

1. 研究開始当初の背景

池田、金子、津田は大自由度力学系の新状態であるカオスの遍歴を共同で提唱し、各々具体的なモデルを構築した。カオスの遍歴は近年数学的にも研究され、類似の遷移過程はサドル・ノード分岐を介した遷移現象として国内外で活発に研究されてきた。脳内ダイナミクスに関係して、トップダウン“注意”に伴うアセチルコリン・ネットワークの構造と役割についてのデータが発見された。関連して、代表者が提案した擬似アトラクタの脳における役割 (Tsuda, 1984; 1992) も、Freeman, Haken, Varela, Kay らによって活発に研究され始めた (Freeman 1995)。大域擬似アトラクタの動的・過渡的な出現が広域なヘテロ領野間の過渡的同期現象を説明し、さらには知覚・認知の神経基盤を与えるとする仮説が藤井らによって提案された (Fujii et al, 2007)。さらに、代表者は海馬におけるコントロールコーディングの理論的予言を行い、玉川大学グループの実験によってその一部が検証された (Fukushima et al, 2007)。また代表者はサルの連続連想と推論に関する理論モデルを提案し、玉川大学グループの坂上らによって実験的に検証された (Pan et al, 2008)。さらに、最近、計測技術の進歩とともに脳のよりダイナミックな活動状態が観測できるようになり、脳の複雑な遷移過程を伴うダイナミクスとその機能的意味に関する研究が注目を集めるに至った。遷移過程は非正常で反復され“カオスの”である。それらは脳の自発的な活動、いわゆる ongoing activity においても、刺激存在下での動物の情報処理段階でも見いだされていた。Ongoing activity に関しては、視覚野で視覚属性を表現する脳活動が常に自発的に表れる (Kenet ら、2003) という報告や、刺激に独立な思考過程が default network によっておこる (Mason ら、2007) という報告などがある。また、刺激存在下のダイナミクスに関しては、閾値下での神経活動の局所集合電位 (LFP) に自発的で非正常な同期、脱同期の反復が観測され (Gray ら、1992)、さらには嗅球脳波や皮質脳波にカオスの遍歴的な遷移過程が観測されるとともに (Skarda & Freeman, 1987; Freeman 2003, 2006)、嗅皮質、海馬、内嗅野にいたる広い範囲にわたっても遍歴的な電位変化が見られた (Kay ら、1996)。これら遷移過程が知覚、判断、行動という一連の情報処理に関係していることが示唆されていた。また、エピソード的な短期記憶を長期記憶へと移行させるのに必須の場所として知られている海馬 CA3 の培養組織において、複数の神経活動状態間の遷移が観測された (Sasaki ら、2007)。これらの脳内の動的遷移過程はコミュニケーションにおける他者理解に必要なエピソード的な短期記憶や瞬時の判断などの認知過程に必要な機構であると推察される。まとめると、最近の実験事実は、脳システムは複数の“内部状態”をも

つ準安定な系であり、情報処理の準備段階、処理過程ともにそれらの準安定状態間の“カオスの”な遷移過程と - 帯域における領野間の広域的な過渡的同期が認知の過程であるという見方を示唆していた。これらの事から、代表者らは、中隔 - 海馬 - 皮質相互作用系、内側前頭皮質 - マイネルト核 - 大脳新皮質注意回路系などの広域的なヘテロシステムの相互作用系の情報創成におけるカオスの遍歴の役割に関する研究を着想した。これを実行するために次の三つのサブテーマを設けて研究した。それぞれの背景は以下のとおりである。

(1) 脳内ヘテロシステム間相互作用系

海馬 CA3-CA1 相互作用系はこの典型であり、多くの研究があるが、代表者たちは、CA3 でのカオスの遍歴によるエピソードの再生産とその CA1 におけるコントロールコーディングを発見した。また、上に述べたように、嗅皮質、海馬、内嗅野にいたる広い範囲にわたってもカオス的で遍歴的な電位変化が見られた。さらに脳内の広範囲でデフォルトモードネットワークの存在が指摘され、自発活動についても多くの報告があった。さらに、トップダウン注意に関するアセチルコリンの役割に関する報告もあり、視覚経路、前頭前野、側頭葉など広範囲にわたる軸索経路の存在とその欠損による視覚性幻覚が特にレビー小体型認知症患者において見出されていた。

(2) ヘテロ力学系ネットワーク系

従来の力学系の結合系は結合写像格子 (CML)、大域結合写像 (GCM)、振動子の結合系など、いずれも同一の力学系の同一変数間の結合であった。脳のようなヘテロな結合系を研究するためには、異種の力学系の結合が、同種力学系の異種変数間の結合を研究する必要がある。大脳新皮質は同種の機能モジュールから構成されていることは古くから知られているが、均質な機能モジュールの集合は結合が対象ではないことが知られている。例えば、下位モジュールの表層 (1層 - 3層) は上位モジュールの4層に結合し、上位モジュールの深層 (5 - 6層) は下位モジュールの表層と深層に結合する。

(3) ランダム力学系

力学系にノイズ項が付いた系は統計物理では多自由度の系を少数自由度の力学系とその剰余としての雑音項に分離して扱う。通常はこれを確率微分方程式として定式化するが、最近のランダム力学系の研究では、力学系の諸概念がノイズ項があることにより変更されるか否か、あるいは拡張される必要があるかどうかに興味の対象になっている。さらに、ノイズ項を一般に非正常入力と考えると、非自律型力学系になり、脳のような、特にコミュニケーションをしている脳のような

な非定常入力を受けるシステムの基礎研究には欠かせない道具立てを与えることになる。

2. 研究の目的

(1) 脳内ヘテロシステム間相互作用系

海馬 CA3-CA1 ヘテロ相互作用系のカオス的遍歴 カントールコーディングを確立し、カントールコーディング成立の条件を明らかにする。ホジキン・ハックスレー型の生理ニューロンモデルを結合した神経回路モデルによって動的連想記憶を実現し、帯域と大域のような異なる周波数領域の入力の情報処理様式を明らかにし、これを拡張して視覚性幻覚のモデルを構築する。さらに、異なる連想記憶回路の結合系により、コミュニケーション時の短期学習と記憶保持の関係を明らかにする。抽象的なレベルにおいてミラーニューロンシステムのモデルを提案する。

(2) ヘテロ力学系ネットワーク系

大脳新皮質機能モジュール間のヘテロ結合を参照して、異なる変数間の結合を導入した結合力学系のモデルを作り、そのダイナミクスと情報の関係を明らかにする。さらに、脳の機能モジュールがいかに生成されるかに関する数理モデルを提案する。

(3) ランダム力学系

従来の力学系は入力がないことが前提であるので、これを入力付の力学系として拡張し、非自律型力学系としてそのダイナミクスの特徴を調べる。他の班において得られるコミュニケーション課題の実験データを解析し、非自律型力学系の特徴を抜き出す。

3. 研究の方法

(1) 脳内ヘテロシステム間相互作用系

海馬 CA3-CA1 相互作用系を生理学的に認められたホジキン・ハックスレー型ニューロンモデルを基に構築し、まず CA3 で学習した記憶間のカオス的遍歴が生まれることを確認した。次にそのダイナミクスが CA1 に入力されたときカントールコーディングが可能となる条件を求めた。さらにカントールコーディングが復号化されるかどうかを調べた。

また、異なる記憶を学習した二つの動的連想回路を結合させ、自己の記憶を破壊しないで互いの記憶をいかに学習するかを研究した。

コミュニケーションにとって重要な機能の一つにまね機能がある。いわゆるミラーニューロンシステムとして知られている神経回路の大域結合がある。これをまず抽象的なレベルで構築し、力学系としての特徴を抽出した。

(2) ヘテロ力学系ネットワーク系

大脳新皮質の表層、入力層(4層)、深層を3変数で表現し、大脳新皮質におけるモジュール結合を二つの同種力学系の異種変数結

合系で表現した。具体例としてレスラー方程式を使用した。情報流の計算として移動エントロピーを計算した。

(3) ランダム力学系

B 班のローレンス班(公募班)が発見したラット海馬の場所ニューロンの複雑な位相差運動のデータを共同で解析した。

4. 研究成果

(1) 脳内ヘテロシステム間相互作用系

入力パターン間の間隔が約30ミリ秒 - 200ミリ秒であるならばカントールコーディングは可能であるということが分かった。これは帯域から帯域までの入力ならこのコーディングが可能であることを意味している。カントールコーディング可能な状態でのニューロンの活動分布がきれいな二山分布であり、谷がニューロンの発火に対する閾値に一致していることから、復号化は二値情報(閾値より上か下か)によって行える可能性がある。二値で復号化した時にどれだけの情報量がカントール集合が持っていた情報を表現するかを計算した結果、約80%の情報が二値で再現できることが分かった。さらに、CA1 がどのような距離空間でパターン分離を行っているかを調べ、ハウスドルフ距離である可能性があることが指摘できた。さらにこの基礎ニューロンモデルによって動的連想回路が作られることを示し、波と波の入力を同期のタイミングをうまく使うことで時間切り分けで処理できる見通しが立った。このモデルを脳の大域結合に応用した。視覚性入力がある前頭前野と側頭葉の相互作用モデルである。アセチルコリンによる注意モデルにもなるモデルであるが、大域的な結合に欠損があると視野の一部に現実の入力とは異なる視覚像が形成されるモデルを作ることができた。これはレビー小体型認知症患者でしばしば観察される視覚性幻覚の神経機構を解明するためのモデルである。

個々の連想回路は自身にとって新規なパターンが入力されたときのみ学習するという新規性学習を導入すると、自身の記憶を保持したまま相手の記憶を学習することができることが分かった。これはコミュニケーション時に短時間で相手からの情報を保持しつつ自己の記憶を保持し記憶空間を拡大することで更新していく仕組みを明らかにするものである。

ミラーニューロンモデルにおいて、二つのシステムは互いに似たダイナミクスを行いながら複雑な分岐を繰り返し、動く不動点を経て静止した同一不動点に互いに収束する。互いの情報を得ながら互いに真似をするというダイナミクスは実は非常に複雑なダイナミクスの過程を経て達成され得るということが明らかになった。

(2) ヘテロ力学系ネットワーク系

この要素力学系の選択にさほどよらない性質として、互いの位相差がカオス的遍歴的に反転する現象がみられる。このときの情報の流れを見るために、他からの情報の流れを移

動エントロピーで計算した。その結果、位相差の符号に応じて一方から他方への情報の流れが明確にあることが判明した。

新しい自己組織化原理を提案した。従来の自己組織化原理（第一種自己組織化原理と呼ぶ）はミクロな要素が相互作用することでマクロな秩序が生成される仕組みに関する原理であるが、この新学術領域研究を行うことで第二種自己組織化原理のモデルを構築することができた。システムに拘束条件が与えられたとき、それを変分的に使ってシステム内に成分あるいは要素が分化してくる仕組みに関する原理に関するモデルである。脳の機能分化の原理を与えるものと考えられる。ランダムな一様結合をもつ振動子型力学系のネットワークに伝搬情報量最大という変分を置くと、互いにダイナミクスの異なるモジュールが分化してくることが分かった。一つのモジュールは個々の力学系が同位相で振動し、他のモジュールは同位相で振動するものが支配的ではあるが他の位相関係も含まれており、これら分化したモジュール間の力学系の結合はまた同位相同期と逆位相同期に分化した。さらに、初期にランダムに関数形を与え、この関数によって力学系を構成しそれらを結合させたとき、外からのシステムへの情報伝搬を最大化させると、個々の力学系が興奮型力学系に分化した。これらは脳の機能モジュールやニューロンがなぜできてきたかという根本問題に大きな示唆を与える結果である。

(3) ランダム力学系

単一の力学系では説明できず、複数の力学系の切り替え写像においてその切り替え確率を時間的に変化させることで様々な位相歳差運動が生成できることを発見した。この状態を二次元空間に射影すると定義域が部分的に重なった力学系に見えるが、この重なりを取り除くと変化する確率を持つ切り替え写像系として定式化できることが分かった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計14件)

Y. Yamaguti, I. Tsuda, Y. Takahashi, “Information flow in heterogeneously interacting systems”, *Cognitive Neurodynamics*, 8(1), pp17-26, 2014, 査読有, DOI: 10.1007/s11571-013-9259-8
T. Kanamaru, H. Fujii, K. Aihara, “Deformation of Attractor Landscape via Cholinergic Presynaptic Modulations: A Computational Study Using a Phase Neuron Model”, *PLoS One*, Vol.8 Issue 1, e53854, 2013, 査読有, DOI: 10.1371/journal.pone.0053854
H. Tsukada, Y. Yamaguti, I. Tsuda, “Transitory memory retrieval in a biologically plausible neural network

model”, *Cognitive Neurodynamics*, 7(5), pp409-416, 2013, 査読有, DOI: 10.1007/s11571-013-9244-2
Y. Li, I. Tsuda, “Novelty-induced memory transmission between two nonequilibrium neural networks”, *Cognitive Neurodynamics*, 7(3), 225-236, 2013, 査読有, DOI:10.1007/s11571-012-9231-z
Y. Fukushima, Y. Isomura, Y. Yamaguti, S. Kuroda, I. Tsuda, “Inhibitory Network Dependency in Cantor Coding”, *Advances in Cognitive Neurodynamics (III)*, *Proceedings of the Third International Conference on Cognitive Neurodynamics - 2011*, ed. Y. Yamaguchi, Springer, pp635-640, 2013, 査読有, DOI: 10.1007/978-94-007-4792-0_85
I. Tsuda, “Chaotic itinerancy”, *Scholarpedia*, 8(1):4459, 2013, 査読有, DOI: 10.4249/scholarpedia.4459
T. Aoki, T. Aoyagi, “Scale-Free Structures Emerging from Co-evolution of a Network and the Distribution of a Diffusive Resource on it”, *Physical review letters*, Vol. 109(20), 208702, 2012, 査読有, DOI: 10.1103/PhysRevLett.109.208702
H. Kang, I. Tsuda, “Dynamical analysis on duplicating-and-assimilating process: Toward the understanding of mirror-neuron systems”, *J. of Integrative Neuroscience* Vol.11, No.4 pp363-384, 2012, 査読有, DOI: 10.1142/S0219635212500240
津田一郎, “脳を創造する共創の場” 計測と制御, Vol. 51, No. 11, pp1056-1058, 2012, 査読有, <http://www.sice.or.jp/~journal/journal/sice51-11.html>
H. Fujii, T. Kanamaru, K. Aihara, I. Tsuda, “A New Role for Attentional Corticopetal Acetylcholine in Cortical Memory Dynamics”, *AIP Conference Proceedings* Vol. 1389 “International Conference on Numerical Analysis and Applied Mathematics 2011”, eds T. E. Simos et al., American Institute of Physics, pp1340-1343, 2011, 査読有, DOI: 10.1063/1.3637868
S. Kuroda, Y. Fukushima, Y. Yamaguti, M. Tsukada, I. Tsuda, “Emergence of Iterated Function Systems in the Hippocampal CA1”, in *Advances in Cognitive Neurodynamics (II): Proceedings of the Second International Conference on Cognitive Neurodynamics - 2009*, eds. R. Wang and F. Gu, Springer, pp103-106, 2011, 査読有, DOI: 10.1007/978-90-481-9695-1_15

Y. Yamaguti, S. Kuroda, Y. Fukushima, M. Tsukada, and I. Tsuda, “A Mathematical Model for Cantor Coding in the Hippocampus”, *Neural Networks* 24, pp43-53, 2011, 査読有,
DOI: 10.1016/j.neunet.2010.08.006
H. Kang, I. Tsuda, “On embedded bifurcation structure in some discretized vector fields”, *CHAOS* 19, 033132-1 - 033132-12, 2009, 査読有,
DOI: 10.1063/1.321293
S. Kuroda, Y. Fukushima, Y. Yamaguti, M. Tsukada, I. Tsuda, “Iterated function systems in the hippocampal CA1”, *Cognitive Neurodynamics* 3(3), pp205-222, 2009, 査読有,
DOI: 10.1007/s11571-009-9086-0

[学会発表](計26件)

西田洋司、高橋宗良、山口裕、津田一郎、ローレンス・ヨハン、“A predictive model of theta phase shift during fixation in the hippocampus”、一般講演、第30回日本脳電磁図トポグラフィ研究会、福岡山王ホール(福岡県)、2014.1.11-12

I. Tsuda, “Modeling the Genesis of Functional Elements in the Networks of Interacting Units”, Invited talk, The 3rd International Symposium on Innovative Mathematical Modeling, The University of Tokyo (Tokyo), November 12, 2013

山口裕、津田一郎、“Evolution of Heterogeneous Modules via Maximization of Bi-directional Information Transmission”、ポスター、2013年度包括脳ネットワーク夏のワークショップ、名古屋国際会議場(愛知県) 2013.8.29-9.1

I. Tsuda, “Classes of Mathematical Modeling for Brain Dynamics”, Keynote Speech, The Third Joint IEEE International Conference on Development and Learning and on Epigenetic Robotics, Osaka City Central Public Hall (Osaka), August 18-22, 2013

津田一郎、“脳ダイナミクスの数理構造と医療”、招待講演、北大-理研ジョイントシンポジウム「未来医療を拓く生体予測シミュレーション」、北海道大学学術交流会館(北海道) 2013.8.1

I. Tsuda, “A genesis of components in the networks of interacting units”, Invited talk, The 4th International Conference on Cognitive Neurodynamics (ICCN'13), Agora for Biosystems (Sigtuna, Sweden), June 23-27, 2013

I. Tsuda, “Mathematical modeling of the formation of episodic memory and its application to the dynamic functions in

interacting brains”, Plenary talk, 2012 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Application (NOLTA2012), Gran Meliá Victoria (Spain), October 22-26, 2012

I. Tsuda, “Cantor coding of the hippocampus in interacting brains”, Key Note Speech, International Conference on Artificial Neural Networks (ICANN2012), Université de Lausanne (Switzerland), September 11-14, 2012

I. Tsuda, “Cantor sets meet the brain”, Plenary Talk, The 5th Shanghai International Symposium on Nonlinear Sciences And Applications, Shanghai & Yangtze Cruise (China), June 27-July 3, 2012

Y. Li, I. Tsuda, “A Communication Model Based on Novelty-induced Learning”, Poster, The 5th Shanghai International Symposium on Nonlinear Sciences And Applications, Shanghai & Yangtze Cruise (China), June 27-July 3, 2012

I. Tsuda, “Ten Hierarchies of Mathematical Modeling on Neural Dynamics”, Invited talk, West-Lake Workshop on Computing Neuroscience, Zhejiang University (China), June 25, 2012

I. Tsuda, “Cantor sets meet the brain”, Invited seminar talk, “Chaos in the brain”, Laboratoire ETIS – Equipe NeuroCybernetique – UMR CNRS 8051, Université de Cergy-Pontoise, Cergy-Pontoise (France), November 29, 2011

山口裕、津田一郎、高橋陽一郎、“ヘテロ相互作用系における情報伝達構造”、口頭発表、国際高等研究所 研究プロジェクト「諸科学の共通言語としての数学の発掘と数理科学への展開」2011年度第2回研究会、国際高等研究所(京都府木津川市)、2011.10.14-15

Y. Yamaguti, I. Tsuda, and Y. Takahashi, “Information Theoretic Approach to Dynamical Systems of Heterogeneously Interacting Chaotic Oscillators”, Invited Talk, 9th International Conference on Numerical Analysis and Applied Mathematics, G-Hotels, (Halkidiki, Greece), September 19 - 25, 2011

H. Fujii, T. Kanamaru, K. Aihara, I. Tsuda, “A New Role for Attentional Corticopetal Acetylcholine in Cortical Memory Dynamics”, invited talk, 9th International Conference on Numerical Analysis and Applied Mathematics, G-Hotels, (Halkidiki, Greece),

September 19-25, 2011

I. Tsuda, "Towards understanding of neural dynamics in communicating brains", Invited Talk, The 3rd International Conference on Cognitive Neurodynamics (ICCN '11), Hilton Niseko Village (Hokkaido), June 9-13, 2011

津田一郎, "コミュニケーションする脳? - そのヘテロ複雑システム的理解 - ", 招待講演、非線形科学コロキウム、早稲田大学(東京都) 2011.5.24

津田一郎, "Complex memory: a theory for the archicortex", 招待講演、Dynamics of Complex Systems 2011 - 時間発展の非可逆性と予測可能性の限界に関する諸分野からの提言 -, 北海道大学(北海道) 2011.3.7-9

津田一郎, "神経大規模ネットワークに現れるダイナミクスの様相", 招待講演、生命ダイナミクスと大規模ネットワークシンポジウム(大阪大学グローバルCOEプログラム) みのお山荘 風の杜(大阪府) 2011.2.8

津田一郎, "コミュニケーション脳のヘテロ複雑システム的理解に向けての研究", 第23回自律分散システムシンポジウム、北海道大学(北海道) 2011.1.29-30

⑲ 山口裕, 津田一郎, "ヘテロ相互作用系における情報伝達構造", 第23回自律分散システムシンポジウム、北海道大学(北海道) 2011.1.29-30

⑳ I. Tsuda, "Transitory dynamics and its possible roles in the perception and dynamic memory in the brain", Invited talk, Special Seminar, Zhejiang University (China), November 18, 2009

㉑ H. Fujii, K. Aihara, I. Tsuda, "Top-down Mechanism of Perception: A Scenario on the Role for Layer 1 and 2/3 Projections Viewed from Dynamical Systems Theory", Conference on Cognitive Neurodynamics (ICCN '09), Zhejiang University (China), November 17, 2009

㉒ Y. Yamaguti, S. Kuroda, I. Tsuda, "Representation of Time-series by a Self-similar Set in a Model of Hippocampal CA1", Conference on Cognitive Neurodynamics (ICCN '09), Zhejiang University (China), November 17, 2009

㉓ S. Kuroda, Y. Fukushima, Y. Yamaguti, M. Tukada, I. Tsuda, "Emergence of Iterated Function Systems in the Hippocampal CA1", Conference on Cognitive Neurodynamics (ICCN '09), Zhejiang University (China), November 17, 2009

㉔ I. Tsuda, "Chaotic dynamics, episodic

memory, and the dynamic model for the hippocampus", Invited Talk, 12th Japan - Slovenia Seminar on Nonlinear Science, University of Maribor (Slovenia), October 7-9, 2009

〔図書〕(計1件)

浅野孝雄訳、津田一郎校閲、「脳はいかにして心を創るのか - 神経回路網のカオスが生み出す志向性・意味・自由意志」ウォルター・J・フリーマン著、産業図書、2011年、294ページ

〔その他〕

ホームページ：<http://dynamic-brain.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

津田 一郎 (TSUDA, Ichiro)
北海道大学・電子科学研究所・教授
研究者番号：10207384

(2) 研究分担者

藤井 宏 (FUJII, Hiroshi)
京都産業大学・コンピュータ理工学部・名誉教授
研究者番号：90065839

(3) 研究分担者

高橋 陽一郎 (TAKAHASHI, Yoichiro)
東京大学・生産技術研究所・名誉教授
研究者番号：20033889

(4) 連携研究者

青柳 富誌生 (AOYAGI, Toshio)
京都大学・情報学研究科・准教授
研究者番号：90252486
(H22年度のみ研究分担者)

(5) 連携研究者

山口 裕 (YAMAGUTI, Yutaka)
北海道大学・電子科学研究所・助教
研究者番号：70192838