

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：21120001

研究課題名(和文)ヘテロ複雑システムによるコミュニケーション理解のための神経機構の解明

研究課題名(英文)The study on the neural dynamics for understanding communication in terms of complex hetero systems

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) 70,400,000円、(間接経費) 21,120,000円

研究成果の概要(和文)：総括班は、計画研究間ならびに計画研究と公募研究の間の共同研究を企画実行し、新領域を推進した。国際研究集会であるDynamic Brain Forum、ICCN2011を組織し、ICCN2013を共同で組織すると共に、領域ホームページをDynamic Brain Platformにリンクし、ニュースレターを発行するなど研究成果を国の内外に発信した。高校生理科教室、サイエンスカフェを開催し、成果を社会に還元した。さらに、若手人材育成でも実績を上げた。領域の研究成果のまとめをNeural Networks誌とNeuroscience Research誌のそれぞれ特集号に発表した。

研究成果の概要(英文)：We organized a whole project, promoting collaborations among projects, thereby yielding outstanding research results. We organized Dynamic Brain Forum and international conference ICCN2011, and co-organized ICCN2013. We made a project home page and linked to Dynamic Brain Platform in Riken, whereby the contents of the research were able to be jointly owned among researchers with different expertise. We also organized 'science cafe' and 'science school for high school students'. We also promoted to move young researchers in mathematical science lab to experimental lab, which provided a good opportunity to establish them in joint research with experimentalists. We published review articles on the research results in the special issue of Neural Networks and also in Neuroscience Research.

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：コミュニケーション神経情報学 ヘテロ複雑系 カオスの遍歴 同期

1. 研究開始当初の背景

コミュニケーションとは人や動物が他者と記号化された情報をやり取りし意味や感情を共有する過程であると捉えられている。この過程において協働や協調が生まれてくると言われており、主に人間工学や社会科学の立場で活発に研究されてきたが、その本質的な解明には至っていない。コミュニケーションの本質は自己と他者の間の動的な相互作用であり、その過程では自己と他者のメンタルな過程の変動により感覚モダリティーや意味や感情などの情報のモダリティーが動的に遍歴する。従って、コミュニケーションを理解するための神経情報学とは脳内の異なる機能モジュール間の神経連絡における電氣的、磁氣的、化学的な相互作用に着目し、機能モジュール間の新しい状態を研究する領域である。領域研究開始前約10年間で、脳の引き込み協調の事例が多く発見され、コミュニケーションによる協調の創発との関係に関心が高まっていた。さらに、脳のこのようなダイナミックな活動を過去50年余りに亘って開発されてきた非線形動力学、複雑系の数理理論によって解明する研究動向が世界的に注目され始めていた。特に、非線形・非平衡系における自己組織化がさまざまな分野で共通の興味となり、シナプティック、カタストロフ理論、散逸構造理論などを経て、カオス理論、フラクタル幾何学などが基礎科学分野で活発に研究され、確立されてきた。この流れの中で、複雑系科学、非線形科学への関心が高まった。このような研究活動において、カオス結合系や振動子結合系を用いて多くの同期現象が解明され、結合が弱い弱結合系に関しては蔵本らによって精密な理論体系が構築された。そこにおいては、主に一様な要素の集合体や結合系が対象であり、さらに理論を進展させヘテロなシステムが相互作用したときにおこる非正常過程から新たな定常状態へと到る過程の解明への機運が高まっていた。また、工学分野においても、制御理論や神経回路理論が発展し、多くのシステムの制御機構が適応制御や学習制御の観点から解明され、その後、特にわが国においては創発や移動知といった新しい研究分野が創出された。そこにおいては、個体もしくは個体群が環境と相互作用することによっていかにして知能を獲得するに到るかの研究が活発になされており、新しい複雑系科学と結びつくことでブレークスルーが期待された。このような研究動向が本領域申請の背景であった。

2. 研究の目的

高次霊長類に特徴的な認知機能であるコミュニケーションの脳内神経機構を複雑数理システム論によって解明し、「コミュニケーション神経情報学」という新領域を確立することが本研究の全体を通した目的である。そのために、A. 数理システム論、B. ヘテロ脳

内システム間相互作用、C. 個体間相互作用の3研究項目をたて、それぞれに複数の研究項目を配置し、共同研究を行いやすくする。特に、理論と実験の共同研究を推進していく。コミュニケーションに伴う脳のダイナミクスを引き込み協調とカオス的遍歴により解釈していく枠組みを整備し、具体的なコミュニケーションの実験タスクを決定し、脳内ダイナミクスの測定を行う。

本研究領域において解決すべき問題は、人間や動物のコミュニケーションにおける自律的な役割分担の出現、協調的行動の出現のメカニズムである。本研究領域で特に着目するのは、異なるシステム間に接触が起き、両者間に動的な相互作用が起きることでシステム間の関係性が変わり、新しい関係が生成される点である。この移行期におきる非正常でダイナミックな状態変化のメカニズムを研究する。また、従来社会経済システムなどの領域ではイノベーションの研究がなされてきたが、その議論は概念的なレベルにとどまっている。それに対して本研究領域では、対象をコミュニケーション及び脳内過程とし、数理的手法によるモデル研究と人やサルなどの脳活動の観測をとおしてコミュニケーションのメカニズムを解明する。すなわち、コミュニケーションの条件、状況、構造などを数理的に解析し、その脳内メカニズムを明らかにする。これは、例えばコミュニケーション障害の解明など現代社会が抱える深刻な問題の解決につながることを期待される。そこで、本研究では個体間相互作用における脳活動を脳波、脳磁図、fMRI、慢性電極などの方法で計測し、個体の脳活動が相互作用によって変化し新しい活動状態が生まれ、そしてそれがシステムレベルでの新しい様相の生成へと到る過程を調べる。

次に各研究項目において解決すべき課題を述べる。

A. 数理システム論

脳の柔軟で創造的な活動の原理を神経回路として捉える試みは半世紀に亘って神経回路理論として進められて来た。しかしながら、この伝統的なアプローチは等価な要素が一様な結合を持つことを大前提としたものであり、現在までにコミュニケーションの脳内機構の解明には到っていない。一方で最近の実験的研究では、脳の異なる部位の神経は時間スケールやその動的挙動において非線形で多様な性質を持つことが明らかになってきた。これらヘテロなシステムが様々な相互作用をすることで自らの振る舞いを規定するルールがシステムの中に生成され、異なる情報に関係を発見することが脳の働きである。研究項目Aでは、こうした複雑な動的システムの情報創成原理を明らかにし、項目B、Cで得られる実験データの解析に関する方法と手段を提供する。

B. ヘテロ脳内システム間相互作用

最近の実験によると、システムとしての脳は複数の“内部状態”をもつ準安定な系であり、準安定状態としての脳波の引き込みと脱引き込みの連鎖によるカオス的遍歴が、コミュニケーション成立のための鍵になる脳活動ではないかと推測されている。コミュニケーションにおける脳の情報処理機構は感覚情報の入力に駆動されたボトムアップ型相互作用と、内在的な活動に依存するトップダウン型相互作用から成り立っている。例えば、感覚皮質はそれぞれ特定の物理刺激にボトムアップ的に応答する脳の領域とされてきたが、最近、脳活動イメージングによって例えば人間の聴覚野は音がなくても活動することが示され、他者の想起や状況の想像などのようなコミュニケーションにおけるトップダウン的な信号の必要性が示唆されてきた。これらの解明にはヘテロシステム間の相互作用による新しい様相の出現の問題が解決されなくてはならない。さらに、コミュニケーションには他者行為の理解のための感覚・運動統合が重要であると考えられ、それを実現するミラーニューロンシステムも、脳内の遠距離皮質間の相互作用における振動子ダイナミクスの引き込み協調によって実現されていることが示唆されてきた。しかしながら、従来のコミュニケーションのメカニズムの研究においては個体内システム相互作用のダイナミクスは考慮されておらず、この問題に関しても未だ詳細なメカニズムは明らかになっていなかった。研究項目Bでは、コミュニケーションにおける脳内のヘテロシステム間相互作用による情報創成機構を主に人に対する実験研究で明らかにする。また、ラットのような小動物を使ってコミュニケーションで重要になるトップダウン・ボトムアップ神経機構の基本を解明する。項目Aと連動し、実験タスクの考案、ならびに新しい動力学的なデータ解析を行う。項目Cの個体間相互作用における基本神経機構を解明し、項目Cで得られたデータの解釈を提供する。

C. 個体間相互作用

対人コミュニケーション場面での自律的な役割分担の発見と協調行動の生成は、社会的な文脈の中でのヘテロな個体間に新しい関係性が生まれることで異なる機能を創発させる脳の高次機能の一つであると考えられる。このとき新しい役割分担などの新状態が創発されると考えられる。この現象は、脳という行動主体が他者との相互作用によって自己の内部システムを変化させる動的学習の顕れであると考えられる。この動的学習の脳内表現をサル、ラット、人の実験を通じて実証して行く。また、人と人の相互作用を成り立たせる言語活動においても類似の構造が見出される。認知言語学や進化言語学の最近の研究では、新しい表現や意味の生成には

類似性に基づいたアナロジー生成能力が利用されていることがわかってきた。このようなコミュニケーションに関わるシステム間相互作用について、個体と環境の相互作用を含め、個体間相互作用のダイナミクスをロボット研究とも連動し、対応する脳内活動を解明することで明らかにしていく。研究項目Cでは、項目Bと連動しコミュニケーションにおける認知の脳内情報表現を明らかにする。また、項目Aと連動し、実験タスクの考案、ならびに新しい動力学的なデータ解析を行う。

3. 研究の方法

総括班は各研究項目間の共同研究を推進するとともに各研究項目に研究項目担当者であって、各研究項目のグループ内の共同研究を推進する。総括班は総括班会議、全体会議を主催する。各研究項目、共同研究の進捗状況に応じて総括班代表者、分担者に内部審査委員、外部有識者を加えた幹事会を開催する。これらにおいて、平成22年度以降毎年実施するDynamic Brain Forumの準備、また平成23年に開催のICCN2013の準備も合わせて行う。総括班会議において、各研究項目間の共同研究の準備を行う。博士研究員、ポスドクの募集を統一的に行い、各班における雇用開始を補助する。平成22年度、24年度の公募班募集により計画研究を補完し、領域研究を強化する。また、領域のホームページを立ち上げ、研究活動などを逐次公開し広報に努める。さらに、理化学研究所に事務局を置くDynamic Brain Platform内に領域のプラットフォームを構築し、班員間のディスカッションや共同研究のためのデータ取得を行う非公開ページと領域ホームページとリンクする公開ページの両方を構築する。これらを円滑に推進するために、領域の総括として津田一郎、総括補佐として西浦廉政、領域事務局として水原啓明、企画調整として大森隆司、乾敏郎を配置する。また、研究項目A, B, Cの項目担当者としてそれぞれ金子邦彦、山口陽子、大森隆司を配し、領域間の共同研究、特に理論と実験の共同研究体制を確立する。

4. 研究成果

A 数理システム論では、サブ研究項目A-1 脳ヘテロシステムの複雑系理論、A-2 複雑系数理を立て研究を行った。B ヘテロ脳内システム間相互作用では、サブ研究項目B-1 脳内ヘテロシステム論、B-2 個体間コミュニケーションの脳内情報表現を立て研究を行った。C 個体間相互作用では、サブ研究項目C-1 動的インタラクションによるコミュニケーション機能の発生、C-2 コミュニケーションを支える基盤メカニズムを立て研究を行った。

各計画研究と公募研究が有機的に相互作用し、機能したことで、領域全体としては多くの研究成果が上がった。全体で290の原著論文、基調講演、特別講演、招待講演を

含む国際会議、国際シンポジウム講演は760にのぼった。また39の著書の出版があった。

研究において特に目立ったものの概略を述べる。研究項目Aでは、学習、動的記憶、神経回路の再構築に関する新しい理論が数学モデルとともに構築された。コミュニケーションの間に相手からの情報を受け取りそれを保持し自分の記憶構造を壊さないで新しい記憶を作っていく仕組みが明らかになった。また、記憶をアトラクターとする従来の説とは異なり、入出力の関係がアトラクター化され、記憶はそこへ至る分岐構造に反映されるという新しい説が提案された。さらに、神経回路の一部が欠損した時にネットワークを再構築する数学モデルが提案され、余次元3の分岐構造との関係が明確になる可能性が出てきた。また、新しい自己組織化理論が提案された。従来の自己組織化理論(第一種自己組織化理論)はミクロな要素の相互作用によってマクロな秩序が生成される仕組みに関するものであるが、本領域において、第二種自己組織化理論として、マクロに制約条件が与えられたときに要素が機能分化、構造分化を起こす仕組みが提案され、数学モデルによって具体例が与えられた。研究項目Bでは、人と人の交互タッピングなどで、運動性波である μ 波と β 波に同期が取れた行動か否かで特徴的な違いがあることが発見された。さらには、鏡に映った指の運動をまねる実験において、自己と他者の認識の違いが脳波に現れることが発見され、身体性と自己・他者認識の脳内機構解明に大きく前進した。さらに、B班とA班の共同研究においてもいくつかの成果が得られた。実験データ解析を理論グループが行うことによって、新しい切り替え写像力学系の存在が明らかになり、発展型力学系や非自励型力学系の理論構築に大きく寄与することとなった。研究項目Cでは無意味記号の交換によるコミュニケーションゲーム課題において、共通知識の獲得には共通基盤の確立、シンボルシステムの共有、役割分担の三つの段階が必要であることが明らかになり、これらに特徴的な脳活動が脳波レベルで発見された。また、C班とB班の共同研究において、健常者と自閉症児でタッピング課題遂行時の脳波に顕著な違いが現れることが分かった。この研究成果は自閉症患者の特徴づけにとどまらず将来脳波を外部から操作するなどしての治療に道を開くものとして注目される。

理論系の研究者を国の内外の実験系の研究室に滞在させることで、データ解析の共同研究、新しい数学モデルの構築に進展が見られた。総括班主導で効果的なグループの組み合わせを考え共同研究を推進したことで、新しい研究の方向性が生まれた。また、アウトリーチ活動は領域研究を広く国民に発信するにとどまらず、若い学生が脳科学そのものへの興味をかきたてたことはもちろんの

こと数理科学と実験科学の共同研究に興味を持つきっかけを与える効果があったと思われる。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計14件)

- K.-I. Ueda, M. Yadome, Y. Nishiura, "Multistate network for loop searching system with self-recovery property", *Physical Review E*, 89(2), 022810, published on-line, 2014, 査読有
DOI: 10.1103/PhysRevE.89.022810
- 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
- H. Takahashi, C. Saito, H. Okada, T. Omori, "An investigation of social factors related to online mentalizing in a human-robot competitive game", *Japanese Psychological Research*, 55(2), pp144-153, 2013, 査読有, DOI: 10.1111/jpr.12007
- 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
- I. Tsuda, "Chaotic itinerancy", *Scholarpedia*, 8(1):4459, 2013, 査読有, DOI: 10.4249/scholarpedia.4459
- 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
- H. Mizuhara, "Cortical dynamics of human scalp EEG origins in a visually guided motor execution", *NeuroImage*, Vol. 62(3), 1884-95, 2012, 査読有, DOI: 10.1016/j.neuroimage.2012.05.072
- I. Tsuda, "Chaotic Dynamics, Episodic Memory, and Self-identity", *Advances in Cognitive Neurodynamics(II): Proceedings of the Second International Conference on Cognitive Neurodynamics - 2009*, eds. R. Wang and F. Gu, Springer pp11-18, 2011, 査読有, DOI: 10.1007/978-90-481-9695-1_2

S. Kuroda, Y. Fukushima, Y. Yamaguti, M. Tsukada, I. Tsuda, "Emergence of Iterated Function Systems in the Hippocampal CA1", *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

S. Tadokoro, Y. Yamaguti, H. Fujii, I. Tsuda, "Transitory Behaviors in Diffusively Coupled Nonlinear Oscillators", *Cognitive Neurodynamics* 5(1), pp1-12, 2011, 査読有, DOI: 10.1007/s11571-010-9130-0

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19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 (東京都) November 12, 2013

水原啓暁、"コミュニケーションする脳!? ~リズムは脳をつなぐ~"、山口大学姫山祭、招待講演、2013.11.3、山口大学(山口県)

Y. Nishiura, "A computational approach to spontaneous pulse generators in dissipative systems", 2013 Northeastern Asia Symposium on High Performance Computing Methods and Modeling, Wangjiang Hotel (中国), September 23, 2013

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

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

大森隆司、奥谷一陽、"他者の認識の推定に基づく知的インタラクションの試み"、人工知能学会大会、2013.6.4、富山国際会議場(富山)

Y. Nishiura, "A converter from time-periodicity to spatial-periodicity", *Mathematics and Biology: a Roundtrip in the Light of Suns and Stars*, Lorentz Center (Leiden, the Netherlands), April 16, 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

I. Tsuda, "Communicating brains: the origin of mind", Invited Talk, *Dynamics of Complex Systems 2012*, Hokkaido University (Hokkaido), March 6-8, 2012

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

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 (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, "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", 招待講演、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

I. Tsuda, "A Mathematical Model for the Formation of Dynamic Memory in the Brain", Invited Talk, Far From Equilibrium Dynamics 2011, RIMS & Shiran Kaikan, Kyoto University (Kyoto), January 5, 2011

津田一郎, "コミュニケーション脳理解に対する数学的試み", 招待講演、応用数学連携フォーラム第13回ワークショップ、東北大学(宮城県) 2010.8.2

[図書](計3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

津田一郎・木本圭子(対談)、「特集：偶有性.....アルスの起原」、談、no.87、Web版、2010年、

<http://www.dan21.com/backnumber/no87/index.html>

津田一郎・中村桂子(対談)、「カオスで探る生きものらしさ」、生命誌ジャーナル、65号、Web版、2010年、

http://www.brh.co.jp/seimeishi/journal/065/talk_index.html

[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

西浦 廉政 (NISHIURA, Yasumasa)

東北大学・原子分子材料科学高等研究機構・教授

研究者番号：00131277

(3)研究分担者

大森 隆司 (OMORI, Takashi)

玉川大学・工学部・教授

研究者番号：50143384

(4)研究分担者

水原 啓暁 (MIZUHARA, Hiroaki)

京都大学・情報学研究科・講師

研究者番号：30392137

(5)連携研究者

相原 威 (AIHARA, Takeshi)

玉川大学・工学部・教授

研究者番号：70192838

(6)連携研究者

乾 敏郎 (INUI, Toshio)

京都大学・情報学研究科・教授

研究者番号：30107015

(7)連携研究者

金子 邦彦 (KANEKO, Kunihiko)

東京大学・総合文化研究科・教授

研究者番号：30177513

(8)連携研究者

山口 陽子 (YAMAGUCHI, Yoko)

理化学研究所・創発的ダイナミクス研究チーム・チームリーダー

研究者番号：00158122

(9)連携研究者

奥田 次郎 (OKUDA, Jiro)

京都産業大学・コンピュータ理工学部・准教授

研究者番号：80384725

(10)連携研究者

中村 克樹 (NAKAMURA, Katsuki)

京都大学・霊長類研究所・教授

研究者番号：70243110

(11)連携研究者

橋本 敬 (HASHIMOTO, Takashi)

北陸先端科学技術大学院大学・知識科学研究科・教授

研究者番号：90313709

(12)連携研究者

阪口 豊 (SAKAGUCHI, Yutaka)

電気通信大学・情報システム学研究科・教授

研究者番号：40205737