

令和元年6月17日現在

機関番号：13302

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26240037

研究課題名(和文) 意図共有と意味創造を伴うコミュニケーション創発の進化的構成論による研究

研究課題名(英文) Study on Emergence of Communication with Intention Sharing and Meaning Creation by Evolutionary Constructive Approach

研究代表者

橋本 敬 (Hashimoto, Takashi)

北陸先端科学技術大学院大学・先端科学技術研究科・教授

研究者番号：90313709

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 32,400,000円

研究成果の概要(和文)：記号を用いて意味と意図を共有するという人間のコミュニケーションの成立メカニズムについて、二者が記号コミュニケーションシステムを新たに形成する言語進化実験を、脳波計測と計算モデルを用いた解析により探求した。意味共有では、相手と役割を反転する模倣が有効であり、脳の前頭と後頭の間で情報統合を行う機能的結合が生じること示唆した。そして、非コミュニケーション時でもミラーニューロンが活動しやすい人は、実際のコミュニケーション時に意図共有できる傾向があることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

言語や記号コミュニケーションの神経基盤の研究は意味の理解・伝達が多いが、人間のコミュニケーションの特徴は意図を含む言外の意味を共有できる点にある。本研究は後者に着目して、身体運動を伴わない記号コミュニケーションでも、ミラーニューロンシステムによる身体的なシミュレーションが意図共有に関与することを初めて示すという学術的意義を持つ。これは、自閉症などの意図共有のコミュニケーションの障害やオンラインでの意図共有を高める方法といった、コミュニケーションに関する課題の改善に繋がる社会的意義を持つ。

研究成果の概要(英文)：We investigated the formation mechanism of human communication in which meanings and intentions are shared with symbols, by analyzing a language evolution experiment in which pairs of participants form new symbol communication systems using an electroencephalogram measurement and computational modeling. For sharing meanings, we suggested that an imitation mechanism to reverse roles with communication partners is effective and that the functional connectivity to integrate information between the frontal and occipital regions of the brain arises. It was also shown that those likely to activate the mirror neuron system even in a non-communicative situation tend to share intentions in communication.

研究分野：複雑系科学

キーワード：記号コミュニケーション 実験記号論 意図共有 ミラーニューロンシステム 二者同時脳波計測 調整ゲーム 言語進化 脳波位相同期 調

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 人間の記号コミュニケーションは、意味だけでなく場に応じた意図を共有する(Tomasello 1999). 我々はコミュニケーションを、複数の学習する主体が相互作用を通じて1つのシステムを創発する過程とみて、意図共有と意味創造を伴うコミュニケーションを可能にするシステムはどのように生じるかと問う。これは、進化や創発という視点(進化的視点)で対象を見ることにより、その現象・システムおよびそれを為す人間の本質を理解しようというアプローチである。

(2) 創発に対する操作可能性の高い研究方法として、自律的に変化する機構(学習・進化等)を組み込んだシステムを作り動かすことで、複雑化・構造化し特定の機能や全体的な性質が生じるプロセスを実現し分析する構成論的アプローチが、複雑系科学において発展してきた(金子・池上 1998; 浅田・國吉 2005)。コミュニケーションの構成論的研究は主にシミュレーションやロボットを用いて進められてきたが、近年の進化言語学の発達で、実験室内でコミュニケーションシステムの創発(Galuntucci 2005)や言語の文化進化(Kirby et al. 2008)を実現する認知実験パラダイムが開発され、人間の実際の認知能力を採り入れた構成論的アプローチが可能になった。Galuntucci (2005)はこの実験アプローチで、新しいコミュニケーションシステムが生成し得ることを示したが、主に記号の意味共有を分析しており、意図共有は分析対象になっていない。

(3) 相互作用を通じて意図共有にいたる神経メカニズムの解明には、機能に関連する脳部位の特定に加え、神経活動の同期という動的現象の分析が有効である(Rodriguez et al. 1999)。コミュニケーションは、他者との調整が不可欠であり、他者の行動の理解や予測にミラーニューロンシステム(MNS)や模倣を仮定した内的な他者モデルを考える必要がある。ミラーニューロンは、他者の行動を見る時と自身が行動する時の両方で活動する神経細胞である。人間では複数の脳部位のネットワーク(MNS)が同等の機能を担い(Rizzolatti 2005)、模倣や他者の意図理解、そして、身体性が関わるような記号の習得・理解に関係していると考えられている。しかし、人間がコミュニケーションに用いる記号は直接身体性に関係しない抽象的なものも多数あり、そのような記号の習得・使用・理解にMNSがどのように関わるかは明らかではない。

2. 研究の目的

(1) 意図共有が可能となる記号コミュニケーションシステムの創発過程を捉えるため、コミュニケーションができない状態から意図共有と意味創造にいたる過程を実現する認知実験課題を開発し、この課題を用いてつぎの3点を明らかにすることを目的とする。

課題の行動データの解析より、コミュニケーションシステムが成立するプロセスを解明する。

実験課題中の二者同時脳波計測を行い、コミュニケーションシステム形成に関連する脳活動として、脳波の同期構造とミラーニューロンシステム(MNS)の働きを明らかにする。

計算モデルにより課題を実施する参加者の認知モデリングを行い、コミュニケーションシステムを形成する行動方略と神経メカニズムを解明する。

3. 研究の方法

(1) コミュニケーションシステム創発の言語進化実験を行った。参加者ペアが異なる場所から端末を介した課題を行った(図1, Konno et al. 2013)。2x2の4部屋に任意に配置されたエージェントを操作し、隣接する部屋への1回の移動が留まることで、2名が同じ部屋で会おうとする。移動の前に4種類の図形から1つを選んでメッセージとして送信した。図形の意味や使い方は事前に規定されていない。この課題では、図形がどの部屋を指すかが字義的意味となりやすいが、その意味がペアで共有されても同じ部屋に行けない事態が生じる。この事態は、メッセージが現在地の宣言が行き先の指示かという言外の意味(意図)が共有されることで解決可能である。

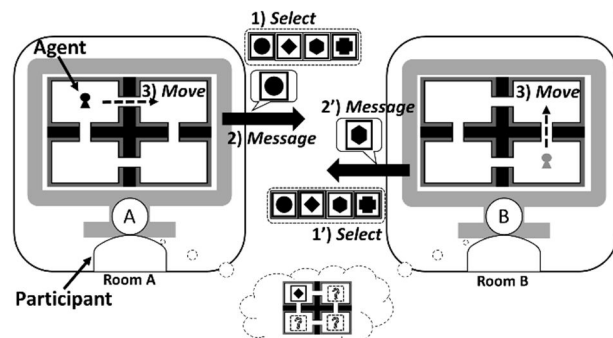


図1 実験の概要

(2) 上記の実験の行動データに対して、実験参加者を「確率的に記号を発信する確率過程」と見なし、記号コミュニケーションの学習過程における状態遷移確率パラメータを推定するベイズ推定モデルを作成する。これにより参加者の認知プロセスを推定し、神経基盤の分析にも活用する。このモデルでは、字義通りの意味だけではなく言外の意味の選択確率も考慮する。

(3) 上記課題中の脳波計測を行い、意味共有および意図共有の神経基盤を分析した。脳波計測電極間の位相同期の指標として Phase Locking Value(PLV)および(debiased) Weighted Phase Lag Index(DWPLI)を用いた。PLVは、複数試行における位相のばらつき程度の指標であり、DWPLIは位相の位置によるバイアスが生じにくいようにした指標である。MNS活動の指標として運動野(C3電極)のミュー波抑制を用いた。MNS分析には、上記課題(コミュニケーションゲーム, CG)に加えて、ランダムに行動する計算機を相手とし、受信した図形と同じ図形を送る、あるいは受信した図形が送信した図形と同じかどうかを判定する一人ゲーム(SG)の課題も行う。

(4) 認知アーキテクチャと強化学習を用いた認知モデリングにより、コミュニケーションシステムの形成に寄与する認知的要因を検討する。ここでは認知アーキテクチャとして ACT-R

(Adaptive Control of Thought-Ratoinal)を用いる(Anderson 2007)．認知アーキテクチャと強化学習の両モデルとも、言語獲得や意味解釈などの研究から仮説を採用して実装し実験参加者の行動データをシミュレートするモデルを検討する．

4. 研究成果

- (1) 実験の 60 試行の行動データから、ベイズ推定モデルを用いて参加者ペアの記号システム(各記号の字義の意味)に関する変遷(学習過程)を可視化できた．さらに、字義の意味の共有、言外の意味の共有の程度を定量化し、参加者を分類することに成功した．そして、字義の意味の成立の次に言外の意味が成立するなどの認知過程が複数存在することがわかった．
- (2) 課題の成功群の PLV は、課題初期において受信後にガンマ波帯(30-50Hz)で同期(150~300ms)・脱同期・同期(450~750ms)と変化した．異なる認知活動の切り替え時にガンマ波の脱同期が見られることから(Rodriguez et al., 1999)、この脱同期は図形の認識と記号としての意味解釈という認知活動の切り替えを反映している可能性がある．課題後期で記号システムの共有ができているときは、500ms 以降の同期が強まり、前頭と後頭の電極間に位相同期、すなわち機能的結合があった．失敗群ではこの特徴は見られなかった．これらから、記号の意味解釈には、500ms 以降のガンマ帯の前頭・後頭間の機能的結合が関与していることが示唆される．
- (2) ベイズ推定モデルの結果を用いて成功群をさらに意図共有群と意味共有群に分類した．この課題はメッセージ送信順で言外の意味が変わることで意図共有するので、各群をさらに先手送信群と後手送信群に分けた．意図共有群と失敗群において、意図未共有の課題初期(60 試行中の 12 試行)と共有済の終期 12 試行のメッセージ受信時における脳波電極間の位相同期を DWPLI により調べた(図 2)．意図共有成功群は、ガンマ帯の同期が後手の課題初期、先手の終期でそれぞれ失敗群よりも強く、アルファ波・ベータ派帯(10-20Hz)の同期が、後手の初期・終期で失敗群よりも強かった．これは、相手が伝えてきた状態と自分の状態を合わせて到達状態を指示しようとする後手において、作業記憶(アルファ波・ベータ波帯が関与)と情報統合(ガンマ波帯が関与)がより必要であることを反映した脳活動だと解釈できる．だが、二者の脳波の同期構造がどのような相関を持つかについては、まだ明確な結果を得られていない．

Success vs Failure

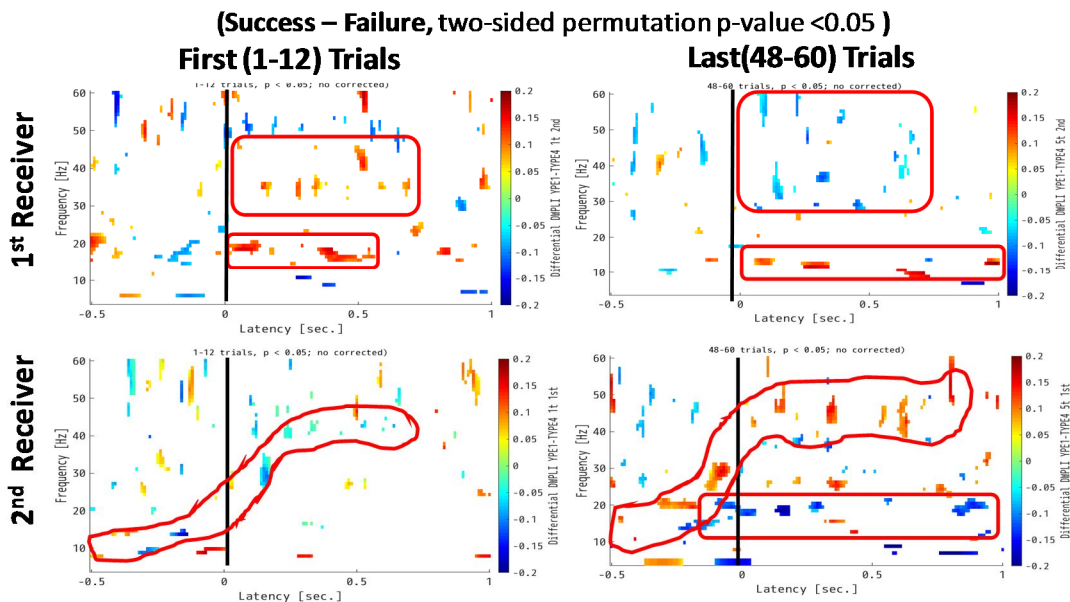


図 2 受信時の脳波位相同期 (DWPLI) スペクトルの変化．意図共有群と失敗群の全参加者・全チャンネル間の脳波位相同期の平均の差が有意な部分のみ表示．上段：後手送信群，下段：先手送信群，左列：初期，右列：終期．横軸：受信からの潜時，縦軸：周波数帯．

- (4) MNS の分析には 1 被験者解析の方法を導入し、有意なミュウ波抑制が両方のゲームで (B 群), CG のみで (C 群), SG のみで (S 群) 起きる群に分けた．そして、課題の成功率 (Met-rate), ベイズ推定モデルで定量化した言外の意味の理解度 (Connotation score), 字義の意味の理解度 (Denotation score) の群間の差を分析した (図 3)．そ

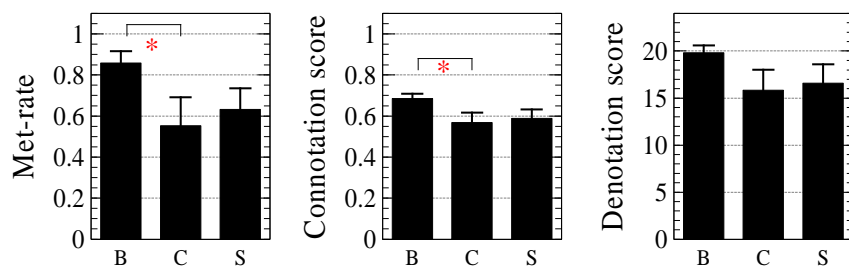


図 3 左から、課題成功率、言外の意味の理解率、字義の意味の理解率．横軸：有意なミュウ波抑制が両方 (B), CG のみ (C), SG のみ (S)

の結果、CG だけではなく SG においてもミュー波抑制が起きている群で、CG のみで抑制される群よりも有意に課題に成功し、さらに、言外の意味の理解、すなわち意図共有がより成功していた。一方、字義通りの意味の理解度（意味共有）には差はなかった。ミュー波抑制が視覚や集中時など他の認知活動由来の脳波（アルファ波）の抑制である可能性を考察により排除した。ここで見られた結果は、MNS が記号の形成（すなわち意味共有）に関与するという従来の想定とは異なる新奇な知見である。MNS の活動は embodied simulation を支持すると解釈でき、非コミュニケーション状況でも相手がいるかのように embodied simulation を行う傾向が、記号形成よりも意図理解に関与することを示唆している。

(5) ACT-R という認知アーキテクチャを用いてコミュニケーションシステム成立のモデルを構築しメカニズムを考察した結果、役割反転模倣を実現するルールを明示的にコーディングしたものが人間の行動データと適合することが分かった。ここで役割反転模倣とは、自己に働きかける他者の振る舞いを自身と他者の役割を入れ替えて模倣する行為である(Tomasello, 1999)。一方、柔軟な非明示的プロセス（サブシンボリックな処理）を取り入れたモデルは、実験で得られた平均的データではなく、非定型の言語発達と共通する特徴を示した。すなわち、記号コミュニケーションシステム成立における役割反転模倣の有効性を示した。だが、現実的な場面で役割反転模倣を可能にする条件や役割反転模倣と意図共有の関係について明確になったわけではない。

(6) 他者からのメッセージが字義の意味と言外の意味の二重の意味を持つ場合、相手の記号の使い方と自身が仮設した言外の意味から字義の意味を推定することを両者が互いに行うという、二重の意味と自他の間の解釈学的循環が生じる可能性がある。この認知メカニズムをモデルベース強化学習によりモデル化し、実験参加者の行動データとの適合を分析した。これにより、相手の字義の意味と行動の対応関係を模倣する仕組み（役割反転模倣）を参加者が持つことを示唆する結果を得た。また、他者が自分と同じ字義の意味の解釈を持つことを（無根拠に）前提にした学習メカニズムを持つことが、解釈学的循環における失敗の回復と素早い記号システムの形成につながることをシミュレーションで確認した。

< 引用文献 >

Tomasello M, *The Cultural Origins of Human Cognition*, Harvard Univ. Press, 1999.

金子邦彦, 池上高志, 複雑系の進化的シナリオ 生命の発展様式, 朝倉書店, 1998.

浅田稔, 國吉康夫, ロボットインテリジェンス, 岩波書店, 2005.

Galantucci B, An experimental study of the emergence of human communication systems. *Cognitive Science*, 29 (2005) 737-767.

Kirby S, Cornish H and Smith K, Cumulative cultural evolution in the laboratory: An experimental approach to the origins of structure in human language. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 105.31 (2008) 10681-10686.

Rodriguez E, George N, Lachaux JP, Martinerie J, Renault B, Varela FJ, Perception's shadow: Long-distance synchronization of human brain activity. *Nature*. 397 (1999) 430-433.

Rizzolatti G, The mirror neuron system and its function in humans. *Anatomy and Embryology*, 210.5-6 (2005) 419-421.

Konno T, Morita J, Hashimoto T, Symbol communication systems integrate implicit information in coordination tasks, *Advances in Cognitive Neurodynamics*. III (2013) 453-459.

Anderson JR, *How Can the Human Mind Occur in the Physical Universe?* Oxford Univ. Press, 2007.

5 . 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 50 件)

Fujiwara M, Hashimoto T, Li G, Okuda J, Konno T, Samejima K, Morita J, Changes in Phase Synchronization of EEG During Development of Symbolic Communication Systems, *Advances in Cognitive Neurodynamics*, VI, 2018, 327-333. DOI:10.1007/978-981-10-8854-4_41, 査読有

Fujiwara M, Hashimoto T, Li G, Okuda J, Konno T, Samejima K, Morita J, Phase synchrony in symbolic communication: Effect of order of messaging bearing intention, *The Proceeding of the 28th Annual Conference of the Japanese Neural Network Society*, 2018, 40-41. 査読有

藤原正幸, 橋本敬, 李冠宏, 奥田次郎, 金野武司, 鮫島和行, 森田純哉, 記号コミュニケーション課題におけるコミュニティ抽出法を用いた脳波位相同期ネットワーク構造の解析, 知識共創, 2018, 3-1- 3-8. 査読有

森田純哉, 金野武司, 奥田次郎, 鮫島和行, 李冠宏, 藤原正幸, 橋本敬, 協調的コミュニケーションを成立させる認知的要因 - 認知アーキテクチャによるシミュレーション -, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol.20, No.4, 2018, 435-446. doi.org/10.11184/his.20.4_435, 査読有

金野武司, 齊藤優弥, 構造依存性を持った記号システムの形成過程を観察するための実験課題の設計について, 日本認知科学会第 35 回大会発表論文集, 2018, 772-775. 査読有

森田純哉, 金野武司, 奥田次郎, 鮫島和行, 李冠宏, 藤原正幸, 橋本敬, コミュニケーションシステムの形成における意図せぬ模倣の役割, 日本認知科学会第 34 回大会予稿集, 2017, 770-772. 査読有

J Morita, T Konno, J Okuda, K Samejima, G Li, M Fujiwara and T Hashimoto, Implicit memory

processing in the formation of a shared communication system, *Proceedings of the 15th International Conference on Cognitive Modeling*, 2017. https://iccm-conference.neocities.org/2017/ICCMprogram_files/paper_34.pdf 査読有

藤原正幸, 橋本敬, 李冠宏, 奥田次郎, 金野武司, 鮫島和行, 森田純哉, 記号コミュニケーション課題における成功群と失敗群の同期の特徴と結合性, 第 27 回日本神経回路学会全国大会講演論文集, 2017, 53-54. 査読有

河上章太郎, 金野武司, 記号コミュニケーションにおいて言外の意味を推定する計算モデルの人への効果, 日本認知科学会第 34 回大会予稿集, 2017, 756-760. 査読有

G Li, T Konno, J Okuda and T Hashimoto, An EEG study of human mirror neuron system activities during abstract symbolic communication, *Advances in Cognitive Neurodynamics*, V, 2016, 565-571. doi.org/10.1007/978-981-10-0207-6_77. 査読有

鮫島和行, 金野武司, 李冠宏, 奥田次郎, 森田純哉, 橋本敬, コーディネーションゲームにおける記号生成確率モデルと「意味」の推定, 情報処理学会研究報告数理モデル化と問題解決, 2016-MPS-111(5), 2016, 1-6. 査読無

藤原正幸, 橋本敬, 李冠宏, 奥田次郎, 金野武司, 鮫島和行, 森田純哉, 記号コミュニケーション課題における脳波位相同期構造の変化, 計測自動制御学会 システム・情報部門 学術講演会 2016 (SSI2016) 講演論文集, 2016, 397-402. 査読有

J Okuda, Two strategies for interactive planning, *Advances in Cognitive Neurodynamics*, V, 2016, 207-210. doi.org/10.1007/978-981-10-0207-6_29, 査読有

金野武司, 橋本敬, 奥田次郎, 鮫島和行, 李冠宏, 記号的コミュニケーションシステムの形成過程において解釈学的循環を構成するモデルベース強化学習の役割, 日本認知科学会第 33 回大会予稿集, 2016, 7-9. 査読有

李冠宏, 金野武司, 奥田次郎, 橋本敬, ミラーニューロンシステムの活動と記号コミュニケーションシステムの形成との関係についての脳波研究, 日本認知科学会第 32 回大会予稿集, 2015, 604-609. 査読有

金野武司, 橋本敬, 李冠宏, 奥田次郎, 記号コミュニケーションにおける言外の意味の推論に基づく先行的行動価値修正メカニズムの役割, 日本認知科学会第 32 回大会予稿集, 2015, 477-486. 査読有

J Okuda, M Suzuki, T Konno, J Morita, T Hashimoto, Planning based on one's own past and other's past during a communication task, *Advances in Cognitive Neurodynamics*, IV, 2015, 537-541. 査読有

T Hashimoto, T Konno and J Morita, Dividing roles and ordering information flow in the formation of communication systems: The influence of role reversal imitation, *Advances in Cognitive Neurodynamics*, IV, 2015, 447-450. 査読有

I Tsuda, Y Yamaguchi, T Hashimoto, J Okuda, M Kawasaki and Y Nagasaka, Study of the neural dynamics for understanding communication in terms of complex hetero systems, *Neuroscience Research*, 90, 2015, 51-55. DOI: 10.1016/j.neures.2014.10.007, 査読有

橋本敬, 言語とコミュニケーションの創発に対する複雑系アプローチとはなにか, 計測と制御, 53(9), 2014, 789-793. 査読有

⑳ 金野武司, 森田純哉, 橋本敬, 言語的コミュニケーションシステムの創発に関する実験的アプローチ, 計測と制御, 53(9), 2014, 801-807. 査読有

〔学会発表〕(計 67 件)

T Hashimoto, Emergent constructive approach to Evolving linguistics: On intention sharing and hierarchy formation, EVOSLACE: Workshop on the Emergence and Evolution of Social Learning, Communication, Language and Culture in Natural and Artificial Agents (Workshop in ALIFE2018), 2018.

FUJIWARA M, HASHIMOTO T, Li G, OKUDA J, KONNO T, SAMEJIMA K, MORITA J, Phase synchrony in symbolic communication: Effect of order of messaging bearing intention, The 28th Annual Conference of the Japanese Neural Network Society, 2018.

FUJIWARA M, HASHIMOTO T, Li G, OKUDA J, KONNO T, SAMEJIMA K, MORITA J, Approach to symbol grounding problem and intention sharing: Analysis of EEG's phase synchrony network in symbolic communication task, International Symposium for "Potentials and Perspectives of Communication among Humans and Agents Including Robots and Animals", 2018.

橋本敬, 語りと予測が生む複雑さ, 2018 年度科学技術社会論学会年次研究大会, 2018.

藤原正幸, 橋本敬, 李冠宏, 奥田次郎, 金野武司, 鮫島和行, 森田純哉, Phase Locking Value を用いた記号の意味理解時の脳波解析, 第 13 回日本応用数理学会研究部会連合発表会, 2017.

J Morita, T Konno, J Okuda, K Samejima, G Li, M Fujiwara and T Hashimoto, Implicit memory processing in the formation of a shared communication system, 15th International Conference on Cognitive Modeling, 2017.

G Li, T Konno, J Okuda, T Hashimoto, K Samejima, M Fujiwara, J Morita, EEG study on the involvement of alpha suppression in the formation of symbolic communication systems, Twenty-fifth EEGLAB Workshop Tokyo, 2017.

Fujiwara M, Hashimoto T, Li G, Okuda J, Konno T, Samejima K and Morita J, Changes in Phase Synchronization of EEG during Development of Symbolic Communication Systems, The 6th International

Conference on Cognitive Neurodynamics 2017, 2017.

J Okuda, Interacting with information in the brain, 2017 International Conference on Biometrics and Kansei Engineering, 2017.

奥田次郎, 脳の活動をいかに社会に活かすか, けいはんなオープンイノベーションセンター大学リレーセミナー, 2017.

森田純哉, 金野武司, 奥田次郎, 鮫島和行, 李冠宏, 藤原正幸, 橋本敬, コミュニケーションの成立を成り立たせる記憶特性のシミュレーション, 日本人間行動進化学会第9回大会, 2016.

T Hashimoto, Language and communication in knowledge co-creation from the viewpoint of language evolution, JAIST International Symposium on Knowledge Science, 2016

G Li, T Konno, J Okuda, T Hashimoto, Mirror for communication: The mirror neuron system activity in the formation of symbolic communication systems, Consciousness and Intention in Economics and Philosophy, 2015.

T Hashimoto, Emergent process of communication systems analyzed by language evolution experiment and simulations, IC2 Seminar, Department of Infomatics and Network, Telecom ParisTech, 2014.

橋本敬, 人間らしい記号コミュニケーションのミニマルシステムを作る, 「総合コミュニケーション学」第1回研究会, 2014.

〔図書〕(計1件)

橋本敬, 岩波書店, 言語と身体性(第9章「記号コミュニケーションはどのように成立するか」), 2014, 235-260.

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名: 金野 武司

ローマ字氏名: (KONNO Takeshi)

所属研究機関名: 金沢工業大学

部局名: 工学部

職名: 講師

研究者番号(8桁): 50537058

研究分担者氏名: 奥田 次郎

ローマ字氏名: (OKUDA Jiro)

所属研究機関名: 京都産業大学

部局名: コンピュータ理工学部

職名: 教授

研究者番号(8桁): 80384725

研究分担者氏名: 森田 純哉

ローマ字氏名: (MORITA Junya)

所属研究機関名: 静岡大学

部局名: 情報学部

職名: 准教授

研究者番号(8桁): 40397443

研究分担者氏名: 鮫島 和行

ローマ字氏名: (SAMEJIMA Kazuyuki)

所属研究機関名: 玉川大学

部局名: 脳科学研究所

職名: 教授

研究者番号(8桁): 30395131

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。