

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 3 日現在

機関番号：13101

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23300150

研究課題名(和文)柔軟な記号認知と操作のトップダウン大脳制御 - サル ECoG から拓く比較認知脳科学

研究課題名(英文) Neural mechanism of flexible cognition and use of symbols: a comparative macaque ECoG and human fMRI study

研究代表者

長谷川 功 (HASEGAWA, ISAO)

新潟大学・医歯学系・教授

研究者番号：60282620

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 15,500,000 円、(間接経費) 4,650,000 円

研究成果の概要(和文)：要素の組合せからなる複合記号が物を表す記号体系を開発し、ニホンザルに物を表す記号の要素を順次選ぶ能力、要素から記号を合成して使う能力があることがわかった。課題遂行中に前頭葉と側頭葉から皮質脳波を多点記録し、記号の分解と合成では前頭前野の異なる部位に特異的な周波数応答が観測された。ヒト被験者に日本語のかな文字列を呈示すると、分節が適切に区切られている条件に比べ分節区切りが無い時に下前頭葉の弁蓋部から島前部にかけての賦活が増強することが機能的磁気共鳴画像法で示された。また、ニホンザルにおいて、記号の等価関係(対称性)が2頭の個体において成立することが示唆されたが、さらなる検討が必要と考えられた。

研究成果の概要(英文)：We developed a visual sign system where object categories were symbolically represented by distinct combinations of visual elements. Macaque monkeys (*Macaca fuscata*) learned to use these composite symbols by combining and decomposing elements. We conducted multichannel electrocorticographic (ECoG) recording from the prefrontal cortex and inferior temporal cortex of the monkeys. Analyses of event-related spectral perturbation of the prefrontal ECoG signals revealed areal segregation for combination and decomposition of symbol elements in specific frequency band powers. Functional magnetic resonance imaging in healthy human subjects revealed insular activation during reading particularly when segmentation of letterstrings was required compared to segmentation was not required. Furthermore, we tested symmetry of symbolic use in three macaque monkeys. Symbolic association was symmetrically learned in two macaques but not in one animal, indicating the need for further testing.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：融合脳計測科学

キーワード：マカクザル

1. 研究開始当初の背景

記号と指示対象との関係は恣意的である。では森羅万象を表すには異なる記号を際限なく覚える必要があるのだろうか? 実はヒトの言語の場合、刺激間の等価関係にもとづく推論 (Sidman, Tailby *J Exp Anal Behav* 1982) により、覚えるべき関係の数は縮約される。さらに、文は意味単位「語」に分節化され、語は単独では無意味な仮名やアルファベット等の「文字」に分節化できる。この二重の分節構造化により有限個の文字から無限の語や文を創り出すことができる (Hockett *Sci Am* 1960) では、ヒト以外の霊長類にも柔軟な記号の学習は可能なのだろうか? 動物が物と記号の関係を連想学習できたとしても、これまででは柔軟性のない条件性反応 (Terrace *Science* 1979) とみなされがちであった。

2. 研究の目的

本研究では、記号の柔軟な認知と操作、ことに意味を表す記号 (語) を単独では無意味な単位 (文字) に分節化したり、記号間の等価関係 (対称性) にもとづいて推論したりする能力、すなわち記号学習能力の比較認知脳科学的検証を目的とした。このため、3つの下位目標に沿って実験検証を試みた。第一に、(1)視覚性対連合記憶課題 (Hasegawa et al *Science* 1998) のパラダイムを利用して、マカクザルを対象として、記号の対称性を認知する能力について行動学的に検証した。第二に、(2)物のカテゴリーを表す視覚的な複合記号を要素から組み立てたり分解したりする視覚認知パラダイムを開発し (Iwata et al *Soc Neurosci Abst* 2012)、マカクザルを対象として行動実験及び電気生理学の実験による検証を図った。後者のため、皮質脳波

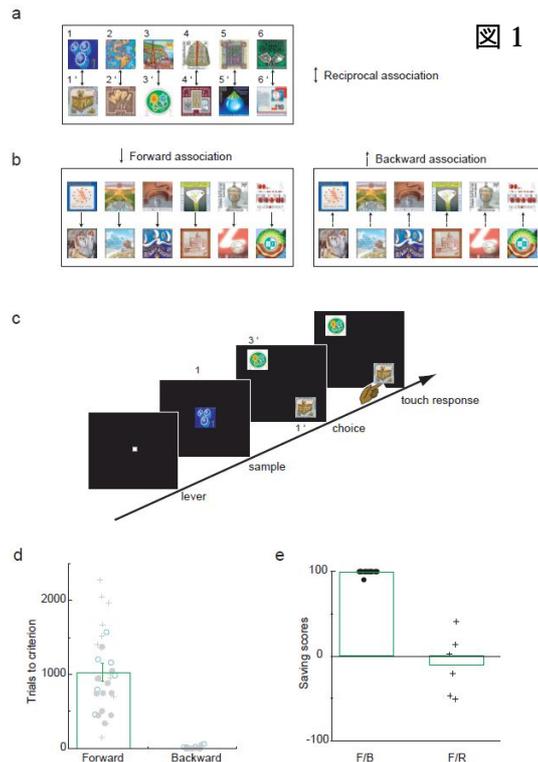
(Electrocorticography: ECoG) 法による前頭葉と下側頭葉からの多点記録をおこなった。この過程で、必要な先駆的 ECoG 電気記録の技術および解析技術を確立した (特願 2009-178454; 特願 2011-030678; 特願 2012-240965; Toda et al *Neuroimage* 2011; Matsuo et al *Neurosurgery* 2013, *Front Syst Neurosci* 2011, *Cereb Cortex* 2014; Majima et al *Neuroimage* 2014)。第三に、(3)ヒトを対象とした機能的磁気共鳴画像 fMRI 法の実験により、「あかいふ くをき させた」等の不適切に区切られた「かな」の文字列と、区切りのない文字列が、適切に区切られた文字列に比べて脳のどこを賦活するかという問題を検証した (Ohtake et al 2013)。

3. 研究の方法

(1)記号の対称性の認知

Sidman は刺激等価関係を反射性、対称性、推移性の3つとして定式化した。そのうち対称性だけはヒト以外の霊長類で成立するという根拠が極めて乏しい。そこで対連合学習における対称性の問題をニホンザル *Macaca fuscata* で再検討した。まず6ペア以上の視覚

刺激の対を用いて、ペアの一方から残りのもう片方を連想し、また逆方向の連想も出来るように、双方向の連想関係をルールとして十分に訓練した (図 1a)。次に新しい6ペアを導入して1→1', 2→2'...6→6'の順方向の関係を教え (図 1b 左) 1'→1, 2'→2...の対称的な逆方向の関係 (図 1b 右) の再学習を、初学習に



比べて早くできるか否かを、対連合記憶課題のパラダイム (図 1c) で2頭のニホンザルにテストした。

(2)記号の分節化のサル動物モデル研究

ヒトは物を見てそれを表す単語を文字の組み合わせで表現することができる。例えば猫を見て、アルファベット a, c, t の組み合わせである単語「cat」を頭の中で組み立てることができる。このように単語を構成する単位をさらに小さな単位に分ける分節化の能力は、ヒト以外ではチンパンジーにもあることが示唆されている (Fujita & Matsuzawa *J Comp Psychol* 1990)。本研究では、ニホンザル (*Macaca fuscata*) 3頭を対象として、ヒトの言語の階層構造を模した、要素の組み合わせからなる複合記号がモノを表すような人工記号体系をサルがどのように学習できるかを行動学的に検証し、さらに課題遂行中の動物の前頭葉と下側頭葉から皮質脳波

(ECoG: Electrocorticography) を計測し、記号要素の組み合わせや分解に特異的に応答する脳部位の検索を電気生理学におこなった。要素分解課題では、ディスプレイに手がかり刺激として6種類のモノのうち1つ、例えばネズミの絵が呈示される。それに対する選択刺激として4つの要素記号が呈示される。サルには、手がかり刺激に対応する複合

記号を構成する2つの要素をタッチパネル上で連続して選択することが要求される。要素組み合わせ課題では、サルがディスプレイ上を注視している際に、バラバラに(時間的に連続に)呈示された二つの要素記号の組み合わせが記号として表す物を、二つの選択肢(例えばネズミと車)から正しく選ぶことが要求される。

課題中に記録された皮質脳波データは、視覚の手がかり刺激の呈示開始を時刻0として、-100 ms から+500 ms までの時間帯を中心に解析した。データ解析は平均加算、時間周波数変換(ERSP: event-related spectral perturbation)、周波数帯別処理(θ 波、 α 波、 β 波、low- γ 波、high- γ 波に分類)の順に進めた。解析にはMATLAB(MathWorks)と外部拡張tool boxのEEGLAB(SCCN)を用い、正答試行のデータを使用した。

(3)文字列の区切りのヒトfMRI脳賦活読字に際して区切り(分節)は重要な要素であると考えられる。たとえば本を読む際にひらがなが単調に続いている文は非常に読みにくい。また、「きのうえきにいった」はその区切りによって「昨日駅に行った」「木の上気に行った」と複数の意味にとれる。こうした、区切りによる文意の変化や読みやすさは英語など他の言語にも共通する。しかし、fMRIによる言語の脳機能研究においては、正文法、正読法、正字法、文脈効果など、様々な要素が検討されているが、文の区切りに関する影響に関しては調べられていない。Jobardら(2003)は読字過程のモデルを提唱したが、このモデルでは、区切り処理に関するモデルについては言及されておらず、またそれを説明することができない。

我々は文の区切り処理過程に選択的な脳領域が存在するかどうかをfMRIにより検証した。26名の日本語を母国語とする、過去に神経および精神疾患の既往歴のない健康者(男性13名、女性13名)を対象としてevent-related designでfMRI実験をおこなった。事前に、インフォームドコンセントを得て、MRI装置にはMAGNETOM Verio 3.0 T(Siemens)を使用し、Gradient Echo EPI(エコープラナー画像)法で機能画像を撮像した(TR = 2.5 s, TE = 30 ms, Flip angle = 85 deg, slice thickness = 4 mm, FOV = 192 mm)。刺激呈示には、Windows PCより動作させたPresentation ver.14.9(Neurobehavioral Systems)を用いた。fMRIデータの解析には、SPM8(Wellcome Department of Cognitive Neurology, University College of London)を用いた。タスク中の眼球運動をEyelink 1000(SR Research)によって計測した(250 [Hz])。被験者は、3つの条件の日本語のひらがな文字列を黙読し、意味がわかった時点で、右手でボタンを押すことが求められる。3つの条件で呈示される視覚刺激は、区切りなしに連続して文字が並ぶ文(unsegmented sentence, US)、意味的に

適切な位置に1文字に相当する空白が挿入されている文(appropriately segmented sentence, ASS)、意味的に不適切な位置に空白が挿入されている文(inappropriately segmented sentence, ISS)である。実験終了直後に、MRI装置外において、理解度テストを実施し、正答率が65%を切った、またはd'が1.0を切った被験者5名に関しては、解析から除外した。

4. 研究成果

(1)記号の対称性の認知

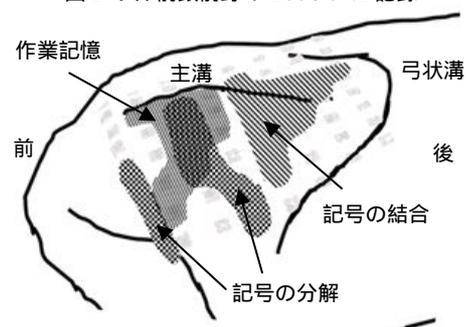
再学習に要した試行数は初学習に比べて有意に少なく(図1d)、ほぼ100%に近い、有意に正の学習の節約が認められた(図1e左)。コントロールとして順方向と無関係の恣意的な連想関係を逆方向でテストした場合には、学習の節約は認められなかった。つまり訓練の手続きによっては旧世界ザルにも記号間の対称性にもとづく推論が成立する可能性があることがわかった。ただし、3頭目のサルでは有意な学習の転移(対称性の成立)が認められなかった。この個体における対称性の不成立は、学習転移テスト前の事前準備練習の段階で、練習用刺激間の双方向性の連想を十分に高い成績まで学習できなかったことに起因する可能性が考えられた。今後、さらに頭数を増やして個体間の差や対称性の成立要件に関する検討を加える必要があることが示唆された。

(2)記号の分節化のサル動物モデル研究

3頭のサルを用いた行動実験により、われわれはニホンザルが記号要素分解課題も、組合せ課題も学習できることを発見した(Iijima et al *Soc Neurosci Abst* 2010; Iwata et al *Soc Neurosci Abst* 2012)。次に、この課題を遂行中に覚醒下のサルから脳活動を記録するための、先駆的ECoG電気記録の技術および解析技術を確立した(特願2009-178454; 特願2011-030678; 特願2012-240965; Toda et al *Neuroimage* 2011; Matsuo et al *Neurosurgery* 2013, *Front Syst Neurosci* 2011, *Cereb Cortex* 2014; Majima et al *Neuroimage* 2014)。

皮質脳波電気生理学的記録実験の結果、前頭葉において、記号の結合には主に θ 波帯域の脳活動、分解には β 帯域を中心とする脳活動が特異的に認められ、また結合、分解、作業記憶(対照課題である遅延見本合わせ課題

図2 サル前頭前野のECoG 64ch記録



で評価)には、図2で見られるような部位特異性があることがわかった。現在、これらの結果をまとめて論文投稿準備中である。

(3)文字列の区切りのヒト fMRI 脳賦活
まず全条件で共通の Activation map を調べた。
⑦刺激呈示時の map では、Insula (島皮質)
や Visual Word Form Area を中心に活動が認め

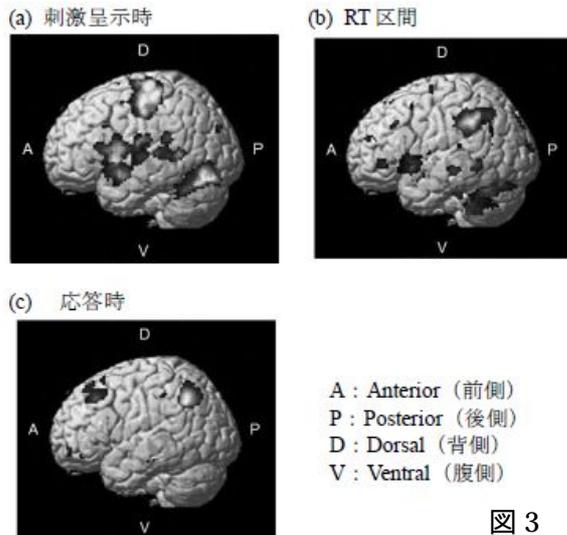


図 3

られた (図 3a)。⑧刺激呈示から被験者が応答する間の Reaction time (RT) の解析においては、AG/SMG (Angular Gyrus/Supramarginal Gyrus) 角回/縁上回、MTG (中側頭回)、Insula (島皮質)、IFG (下前頭回) に活動がみられた (図 3b)。⑨応答時には、Middle Frontal Gyrus : MFG (中前頭回)、AG (角回) が共通して活動していた (図 3c)。

刺激呈示時における条件間比較による Activation map において、US から ASS を差分評価したもの (US > ASS と表記)、つまり区切りをあらたに挿入する操作に関する脳領域を条件間の対照により描出した。その結果、Insula (島皮質)、Inferior Frontal Gyrus : IFG (下前頭回) に賦活がみられた (図 4a)。ISS > ASS (区切りを改めて、別な区切りを入れる操作) では、Insula (島皮質)、IFG (下前頭回)、Middle Temporal Gyrus : MTG (中側頭回) に賦活がみられた (図 4b)。ISS では単に区切りを処理するほかに様々な条件が混入していると考えられるが、US > ASS、ISS > ASS を比較した Activation map において、Insula (島皮質) と IFG (下前頭回) の賦活は共通していた。これらの結果から、分節化処理に選択的に関与する大脳ネット

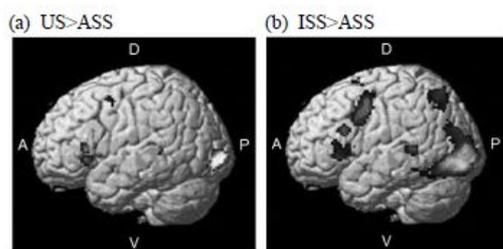


図 4

ワークの存在が示唆された。

以上の fMRI 研究により、Insula (島皮質) および IFG (下前頭回) は文字列、すなわちある種の視覚的記号の区切りまたは分節化の処理により、選択的に賦活されることが示唆された。

5. 主な発表論文等

(雑誌論文) (計 16 件)

1. Matsuo T, Kawasaki K, Kawai K, Majima K, Masuda H, Murakami H, Kunii N, Kamitani Y, Kameyama S, Saito N, Hasegawa I. Alternating zones selective to faces and written words in the human ventral occipitotemporal cortex. *Cereb Cortex*, in press. doi: 10.1093/cercor/bht319. 査読有
2. Majima K, Matsuo T, Kawasaki K, Kawai K, Saito N, Hasegawa I, Kamitani Y. Decoding visual object categories from temporal correlations of ECoG signals. *Neuroimage*, 90C, 74-83. 2014. 査読有
3. Suzuki T, Ando H, Yoshida T, Sawahata H, Kawasaki K, Hasegawa I, Matsushita K, Hirata M, Yoshimine T, Takizawa K. Super Multi-Channel Recording System for BMI. 2013 *IEEE EMBC*. Short Papers No. 2509. 査読有
4. Matsuo T, Kawai K, Uno T, Kunii M, Miyakawa N, Usami K, Kawasaki K, Hasegawa I, Saito N. Simultaneous Recording of single-neuron activities and broad-area intracranial electroencephalography: electrode design and implantation procedure. *Neurosurgery*, 73, 146-154, 2013. 査読有
5. 長谷川功, 宮川尚久. マカクザル大脳皮質高次視覚野における物体カテゴリー情報の分散表現と解釈. *BRAIN and NERVE*, 65, 643-650, 2013. 査読有
6. 加藤君子, 長谷川功. 認知型 BMI. *医学のあゆみ*. 246, 513-518, 2013. 査読有
7. 長谷川功. 皮質脳波による大脳視覚イメージの復号化. *新潟医学会雑誌*. 127, 127-132. 2013. 査読有
8. Tomen N, Takemiya M, Matsuo T, Hasegawa I, Kamitani Y. Feature Space Quantization for Data-Driven Search. *IEEE International Workshop on Pattern Recognition in Neuroimaging*, 41-44, 2012. 査読有
9. 長谷川功. 皮質脳波法による視覚情報の解釈. *Jpn. J Rehabil Med*, 49, 70-725, 2012. 査読有
10. Iijima A, Komagata S, Kiryu T, Bando T, Hasegawa I. Vergence Eye Movements Signifying 3D Depth Perception from 2D Movies. *Displays*, 33, 91-97, 2012. 査読有
11. Sawahata H, Toda H, Suzuki T, Hasegawa I. Time-frequency domain analysis of the multi-channel electrocorticogram in the primary visual cortex of the hooded rat. *Acta*

- Medica et Biologica*, 58(2), 2011. 査読有
12. Masamizu Y, Okada T, Kawasaki K, Ishibashi H, Yuasa S, Takeda S, Hasegawa I, Nakahara K. Local and retrograde gene transfer into primate neuronal pathways via adeno-associated virus serotype 8 and 9. *Neuroscience*, 193, 249-258, 2011. 査読有
 13. Matsuo T*, Kawasaki K*, Osada T, Sawahata H, Suzuki T, Shibata M, Miyakawa N, Nakahara K, Iijima A, Sato N, Kawai K, Saito N, Hasegawa I. Intracal electrocorticography in macaque monkeys with minimally invasive neurosurgical protocols. *Front Syst Neurosci*, 5:34. 2011. 査読有
 14. Toda H, Suzuki T, Sawahata H, Majima K, Kamitani Y, Hasegawa I. Simultaneous recording of ECoG and intracortical neuronal activity using a flexible multichannel electrode-mesh in visual cortex. *Neuroimage*, 54, 203-212, 2011. 査読有
 15. 飯島淳彦, 小杉剛, 木竜徹, 松木広介, 長谷川功, 板東武彦. ストレス状態の推定に有効な瞳孔反応パラメータの探索. *生体医工学*, 49, 946-951, 2011. 査読有
 16. 飯島淳彦, 小杉剛, 木竜徹, 長谷川功, 板東武彦. 3D 映像視聴による自律神経系への影響. *自律神経*, 48, 208-210, 2011. 査読有
- 〔学会発表〕(計 29 件)
1. Nishiyama Y, Hasegawa I. Developing a conceptualization of social relationship via rudimentary objective-subjective distinction on social world. *Proceedings of Artificial Life and Robotics 19th*. 2014.1.22-24. (別府)
 2. 長谷川功. 皮質脳波法による視覚カテゴリーの復号化. 生理学研究所研究会「グローバルネットワークによる脳情報処理」. 2014.1.10. (岡崎) 招待講演
 3. 藤木裕也, 長谷川功. マカクザル下側頭葉皮質視覚情報処理における整流作用: 順列局所伝達エントロピー解析. 第 14 回計測自動制御学会. 2013.12.18-20. (神戸)
 4. 西山雄大, 長谷川功. 社会的関係の概念化発達. 第 14 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会. 2013.12.18-20. (神戸)
 5. 長谷川功. 霊長類モデルで読み解く脳の視覚イメージ. NBR 第 10 回公開シンポジウム. 2013.11.22. (東京) 招待講演
 6. Adachi K, Hasegawa I, Nakahara K. Cortical theta wave associated with visual long-term memory in the monkey medial temporal lobe. *Neuroscience 2013*. 2013.11.13. (San Diego U.S.A.)
 7. Nishiyama Y, Hasegawa I. The development of social cognition as a self-regulation. *International Symposium Adolescent brain & mind and self-regulation*. 2013.10.27. (東京)
 8. 長谷川功. 皮質脳波法による脳情報の計測. 電子情報通信学会・ME とバイオサイバネティクス研究会. 2013.9.24. (新潟) 招待講演
 9. Nishiyama Y, Hasegawa I. Uncovered discrepancies between part and whole in social inferences. *Association for the Scientific Study of Consciousness (ASSC17)*. 2013.7.12-15. (San Diego, U.S.A.)
 10. 西山雄大, 長谷川功. 視点取得と中新世の協働. 第 27 回人工知能学会全国大会 JSAI2013. 2013.6.4-7. (富山)
 11. Tanigawa H, Hasegawa I. Decoding recalled visual memory using electrocorticographic (ECoG) signals in macaque inferior temporal and prefrontal cortices. *Neuro 2013*. 2013.6.21. (京都)
 12. Adachi K, Hasegawa I, Nakahara K. Cross-frequency coupling of cortical oscillations during long-term memory retrieval in the monkey medial temporal lobe. *Neuro 2013*. 2013.6.21. (京都)
 13. 長谷川功. 皮質脳波法による視覚情報の解読. 生理研研究会・自立分散システム研究会. 2013.6.14 (岡崎) 招待講演
 14. 長谷川功. 皮質脳波による視覚イメージの解読. 日本生体磁気学会大会. 2013.6.8. (新潟) 招待講演
 15. Suzuki T, Hasegawa I. Flexible surface electrode array for ECoG based BMI. *BMI Osaka 2012*. 2012.10.19-20 (大阪)
 16. 松尾健, 長谷川功. 文字の脳内表現と復号化. 日本脳神経外科学会第 71 回学術総会. 2012. 2012.10.19-20 (大阪)
 17. Iwata Y, Hasegawa I. Construction of articulated symbols for categorizing objects in macaque monkeys. *Society for Neuroscience 2012*, 2012.10.16 (New Orleans, 米国)
 18. Kawasaki K, Hasegawa I. Hierarchical and parallel propagation of visual response through ventral visual areas. *Society for Neuroscience 2012*, 2012.10.16 (New Orleans, 米国)
 19. Matsuo T, Hasegawa I. Intercalated and asymmetrically linked face-selective and word-selective patches in the ventral occipitotemporal cortex. *Society for Neuroscience 2012*, 2012.10.14 (New Orleans, 米国)
 20. Sawahata H, Hasegawa I. Two-dimensional spatiotemporal fourier analysis of ultra-high-density electrocorticogram in the rat primary visual cortex. 第 35 回日本神経科学大会, 2012.9.18 (名古屋)
 21. Sato S, Hasegawa I. Spatiotemporal analysis of optogenetically evoked cortical activity using micro-ECoG array in the rat visual cortex. 日本神経回路学会 第 22 回全国大会, 2012.9.12 (名古屋)
 22. 中島啓, 長谷川功. サル下側頭葉皮質の動

- きの処理について. 日本視覚学会 2012 年夏季大会, 2012.8.7 (山形)
23. Miyakawa N, Hasegawa I. Category representation in macaque anterior inferotemporal cortex revealed with simultaneous electrocorticogram and multi-channel unit recording. Society for Neuroscience, 2011.11.14 (Washington, D.C. 米国)
 24. Osada T, Hasegawa I, Miyashita Y. Intracortical ECoG approach to cortico-cortical connectivity using electrical stimulation-induced evoked potentials in macaques. Neuroscience Research 71 suppl, e97, 2011, 2011.9.17 (横浜)
 25. Kawasaki K, Hasegawa I. Intracortical electrocorticography in macaque monkeys. Neuroscience Research 71 suppl, e413-414, 2011, 2011.9.17 (横浜)
 26. Iijima A, Hasegawa I. Composition of double-articulated symbols for categorizing objects in macaque monkeys. Neuroscience Research 71 suppl, e390, 2011, 2011.9.17 (横浜)
 27. Miyakawa N, Hasegawa I. Category decoding from macaque anterior inferotemporal cortex with simultaneous electrocorticogram and multi-channel unit recording. Neuroscience Research 71 suppl, e256, 2011, 2011.9.16 (横浜)
 28. Toda H, Hasegawa I. Electrocorticographically distinguished multiple visual / auditory areas in rat temporal cortex with MEMS-based flexible electrode-meshes. Neuroscience Research 71 suppl, e204, 2011, 2011.9.15 (横浜)
 29. Sakatani T, Hasegawa I, Suzuki T, Sato M, Kawato M, Isa T. Estimation of the intracortical LFPs from microECoGs based on spontaneous neuronal activities. Neuroscience Research 71 suppl, e203, 2011, 2011.9.15 (横浜)

[産業財産権]

○出願状況 (計 3 件)

- 1.名称：脳情報処理装置、脳情報処理方法、およびプログラム
発明者：神谷之康, 長谷川功
権利者：新潟大学
種類：特許
番号：特願 2012-270747
出願年月日：2012 年 12 月 11 日
国内外の別：国内
- 2.名称：意思伝達支援装置、意思伝達支援方法、及びプログラム
発明者：宮川尚久, 長谷川功, 澤畑博人, 川寄圭祐, 鈴木隆文, 神谷之康, 間島慶
権利者：新潟大学
種類：特許
番号：特願 2012-240965

- 出願年月日：2012 年 10 月 31 日
国内外の別：国内
- 3.名称：生体信号検出システム、生体信号検出方法及びプログラム
発明者：澤畑博人, 戸田春男, 長谷川功
権利者：新潟大学
種類：特許
番号：特願 2012-192601
出願年月日：2012 年 8 月 31 日
国内外の別：国内

[その他]

6. 研究組織
- (1)研究代表者
長谷川 功 (ISAO HASEGAWA)
新潟大学・医歯学系・教授
研究者番号：60282620
- (2)研究分担者
 - ・中原 潔 (KIYOSHI NAKAHARA)
高知工科大学・総合研究所・教授
研究者番号：50372363
 - ・北川 純一 (JUNICHI KITAGAWA)
新潟大学・医歯学系・准教授
研究者番号：50373006
 - ・川寄 圭祐 (KEISUKE KAWASAKI)
新潟大学・医歯学系・助教
研究者番号：60511178