

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 6 月 8 日現在

機関番号：82626

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2014

課題番号：23300102

研究課題名(和文) 動的脳活動の非侵襲計測データ統合解析に基づく高次視覚認知のデコーディング技術

研究課題名(英文) Evaluation of the neural dynamics of three-dimensional object perception and manipulation

研究代表者

岩木 直 (IWAKI, SUNAO)

独立行政法人産業技術総合研究所・ヒューマンライフテクノロジー研究部門・研究グループ長

研究者番号：70356525

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、ヒトの主観的な三次元物体知覚の神経メカニズムを脳内のさまざまな部位の間の協調的な活動として評価するとともに、三次元物体の仮想的操作パフォーマンスの個人差を、脳活動指標を用いて予測可能なモデルを作成することを目標とした研究を行った。この結果、ヒトの高次な視覚認知を支えている後頭部・頭頂部・側頭部にまたがる神経ネットワークのダイナミクスを、非侵襲的に得られる脳活動データから解析可能であること、主観的な三次元知覚が脳活動計測データから客観的に評価可能であること、また、その個人ごとの特性や能力が帯域脳活動指標と相関性を持つことを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：The objective of this study was to analyze human brain activities underlying the three-dimensional object perception from visual motion especially in terms of the neural information flow between various brain regions, and also, to develop the method to evaluate individual performance in mental three-dimensional object manipulation. The results show that the three-dimensional object perception from motion relies on the cooperative engagement of higher order visual processing that takes place both in the dorsal and the ventral visual pathways located in the occipital, parietal and inferior temporal lobule. The results also indicate that the individual performance in three-dimensional object manipulation correlates with the gamma-band brain activities measured in the occipital and the parietal areas.

研究分野：脳認知科学

キーワード：三次元視覚処理 脳領域間連関 非侵襲脳機能解析 マルチモーダル・ニューロイメージング

## 1. 研究開始当初の背景

ヒトの高次視覚情報処理は、視覚野から頭頂部に至る背側経路および側頭葉下部に至る腹側経路の二つの経路でそれぞれ行われることが知られている。例えば 3D-SFM では、上記の二つの視覚情報処理経路上の脳領域の協調的な関与が必要であることが指摘されてきた。実際に、fMRI を用いた研究により、両視覚経路上の複数の領域が、3D-SFM に関連して活動することが示されてきたが(G.A. Orban *et al.*,1999 他)、これらの領域がどのように相互作用をして二次元の視覚入力から三次元の知覚が生じるのか、さらには三次元知覚の主観的明瞭さの違いが、これらの領域間の連関とどのような関係にあるのかについては、全く明らかにされていない。

これに対して申請者らは、これまでに脳波(EEG)・脳磁界計測(MEG)および fMRI データを統合解析することにより、脳神経ダイナミクスを高精度に解析するアルゴリズム(非侵襲脳機能統合解析技術)の開発(S. iwaki *et al.*, 2002 他)を行い、3D-SFM の神経基盤である背側・腹側両視覚経路上の神経活動の時空間パターンを高解像度で解析できることを実証してきた(S. Iwaki *et al.*, 2007)。

## 2. 研究の目的

本研究では、これまでに申請者らが開発してきた非侵襲脳機能統合解析技術を基盤として、さまざまな脳領域における神経活動の時間的変化から、脳領域間の神経ネットワークにおける情報の「流れ」を定量的に解析する方法を開発する。この技術を用いて、三次元物体認知の脳内メカニズムを、脳内のさまざまな部位の間の協調的な活動として評価可能であることを示す。

また、脳活動の時空間特徴を解析する技術を加えて、三次元オブジェクト知覚やその心的(mental)な操作の脳活動ダイナミクスを計測し、得られたデータと各被験者の三次元オブジェクト操作課題のパフォーマンスとの間の相関関係をモデル化することを目的とする。

## 3. 研究の方法

まず、頭表面上に配置した脳磁界(MEG)

センサの計測データから、脳内の神経活動分布を再構成する空間フィルタの空間的な確からしさを、同じ認知課題に対する fMRI 実験で得られる高精度な脳活動の空間分布を用いて向上させる MEG-fMRI 統合解析技術を利用して、動きからの三次元物体知覚の神経基盤である脳活動ダイナミクスを可視化し、複数の関心領域(ROI)における深海活動系列を抽出する。この、様々な脳部位における神経活動時系列間の因果関係を、グレンジャー因果(Granger Causality)解析を用いて定量的に評価する。これらより、ROI 間の協調的な神経活動が動きからの 3 次元物体知覚にどのように寄与しているのか、明らかにする。

次に、三次元オブジェクトの知覚・認知とその空間的処理課題の処理パフォーマンスと、脳活動計測データとの間の相関関係をモデル化するため、mental rotation 課題遂行中の被験者の脳波(EEG)と脳磁界(MEG)計測を行う。同時に計測した行動学的パフォーマンスと、様々な部位における脳活動との間の相関解析を行うことにより、三次元オブジェクトの心的処理における個人ごとの課題処理能力を脳活動計測データから予測可能かどうか検証する。

## 4. 研究成果

MEG-fMRI 統合解析技術により、動きからの三次元物体知覚の神経基盤である、背側視覚情報処理経路(dorsal visual system)と腹側視覚情報処理経路(ventral visual system)の活動を高い時間・空間解像度で可視化することに成功した(図1)。

上記解析結果から、背側/腹側両視覚情報処理経路上の主な活動部位から神経活動時系列を抽出し、それらの間の Granger 因果検定を行った結果、動きから三次元物体が知覚できる条件(3D-SFM)では、「視野内の動きを処理する MT 野 大域的な動き情報を統合する PO 野 空間的位置関係の処理を行う IP 野 物体の形状認知を行う pIT 野」という一連のフィードフォワード視覚処理ネットワークとともに、pIT 野から PO 野へ至るフィードバック信号処理の存在を示唆する結果を得た(図2)。これらの成果は、動きからの三次元物体知覚の際に、「腹側視覚系での暫定的な物体認知からさらに背側

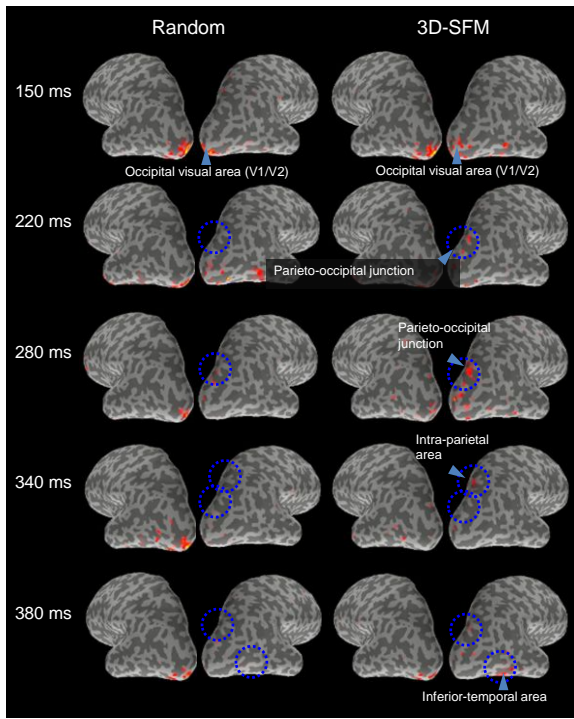


図1 MEG-fMRI 統合解析技術を用いた、動きからの三次元物体知覚の脳神経ダイナミクスの高精度な可視化結果

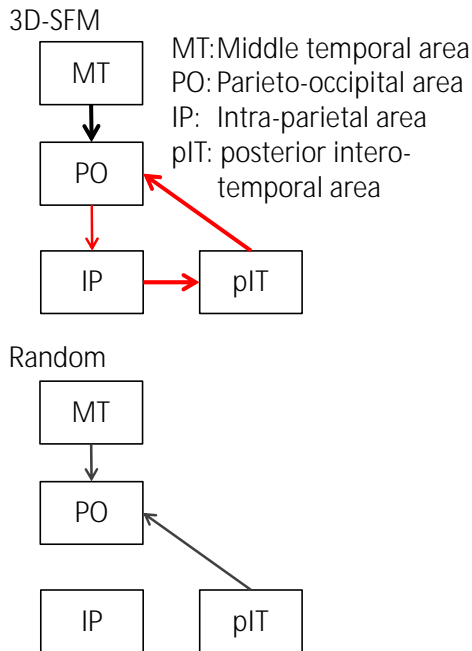


図2 動きからの三次元物体知覚の神経メカニズムとしての、背側・腹側視覚処理系の協調的な活動

視覚系に神経信号がフィードバックされ、動き情報の空間処理を修飾することによって、三次元物体の形状の処理をロバストにしている」という仮説を支持するものである (S. Iwaki *et al.*, 2013) .

さらに、三次元オブジェクトの心的処理における個人ごとの課題処理の行動パフォーマンスと脳活動計測データとの相関解析の結果、三次元物体を空間的に操作する認知課題の正答率と、後頭部および頭頂部における帯域自発脳活動パワーとの間に、有意な正の相関関係があることを明らかにした (図3) . この結果は、後頭部と頭頂部の帯域自発脳活動のパワーで、個人ごとの三次元図形空間的処理パフォーマンスを予測するモデルを作成可能であることを示している .

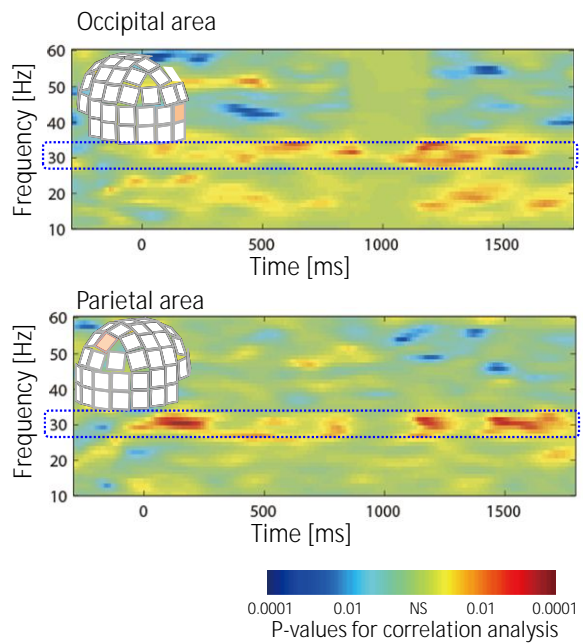


図3 三次元物体の心的空間処理課題における、個人ごとの行動パフォーマンスと MEG 時間-周波数解析結果との間の相関解析結果 . 後頭部および頭頂部で、三次元空間処理課題パフォーマンスと帯域(30 Hz)脳活動パワーとの間に、有意な正の相関関係が観測された .

本研究で得られた上記の結果では、ヒトの高次な視覚認知を支えている後頭部・頭頂部・側頭部にまたがる神経ネットワークのダイナミクスを、非侵襲的に得られる脳活動データから解析可能であること、主観的な三次元知覚が脳活動計測データから客観的に評価可能であること、また、その個人ごとの特性や能力が脳活動指標と相関性を持つことを明らかにした . 今後、本研究で得られた脳活動指標を用いて、実環境における個人ごとの課題遂行能力の定量的評価や、その身体状況による変化などへの応用を見据えた研究を展開予定である .

<引用文献>

- ・ G.A. Orban *et al.*, Human cortical regions involved in extracting depth from motion, *Neuron*, 24: 929-940, 1999.
- ・ S. Iwaki *et al.*, Visualization of the brain activity during mental rotation processing using MUSIC-weighted lead-field synthetic filtering, *IEICE Trans. Info. & Syst.*, 85-D: 175-183, 2002.
- ・ S. Iwaki *et al.*, Neuromagnetic brain responses during 3D object perception from 2D optic flow, *Excerpta Medica*, 1300: 543-546, 2007.
- ・ S. Iwaki *et al.*, Dynamic cortical activity during the perception of three-dimensional object shape from two-dimensional random-dot motion, *J. Integr. Neurosci.*, 12: 355-367, 2013.

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 32 件)

- D. Ueno, K. Masumoto, K. Sutani, S. Iwaki, Latency of modality-specific reactivation of auditory and visual information during episodic memory retrieval, *Neuroreport*, 査読有, vol. 26, 2015, 303-308  
DOI: 10.1097/WNR.0000000000000325
- K. Nishimura, T. Aoki, M. Inagawa, Y. Tobimatsu, S. Iwaki, Brain activities of visual thinkers and verbal thinkers: a MEG study, *Neuroscience Letters*, 査読有, vol. 596, 2015, 155-160  
DOI: 10.1016/j.neulet.2015.03.043
- S. Iwaki, Visualization of human cognitive processing by MEG, *Proceedings of the XXXIst URSI General Assembly and Scientific Symposium*, 査読有, vol. 31, 2014, 1-4  
DOI: 10.1109/URSIGASS.2014.6930115
- T. Kagawa, N. Narita, S. Iwaki, S. Kawasaki, K. Kamiya, S. Minakuchi, Does shape discrimination by the mouth activate the parietal and occipital lobes? - near-infrared spectroscopy study, *PLoS One*, 査読有, vol. 9, 2014, e108685  
DOI: 10.1371/journal.pone.0108685
- S. Iwaki, G. Bonmassar, J. W. Belliveau, Dynamic cortical activity during the perception of three-dimensional object shape from two-dimensional random-dot motion, *J. Integr. Neurosci.*, 査読有, vol. 12, 2013, 355-367  
DOI: 10.1142/S0219635213500210
- S. Iwaki, N. Harada, Mental fatigue measurement based on the changes in flicker perception threshold using consumer mobile

devices, *Adv. Biomed. Eng.*, 査読有, vol. 2, 2013, 137-142

DOI: 10.14326/abe.2.137

S. Iwaki, M. Tonoike, Stimulus-feature specific modulation of the visual processing by audio-visual intermodal orientation of attention, *Neurosci. Biomed. Eng.*, 査読有, vol. 1, 2013, 116-124

DOI:

10.2174/2213385202666140207002650

H. Ora, K. Takano, T. Kawase, S. Iwaki, L. Parkkonen, K. Kansaku, Implementation of a beamforming technique in real-time magnetoencephalography, *J. Integr. Neurosci.*, 査読有, vol. 12, 2013, 331-341

DOI: 10.1142/S0219635213500192

S. Iwaki, Induced gamma-band brain responses to direct eye contact in the frontal and parietal cortices, *Proc. 35th Annual Conf. IEEE Eng. Med. Biol. Soc.*, 査読有, vol. 35, 2013, 6183-6186

DOI: 1109/EMBC.2013.6610965

S. Iwaki, Multimodal neuroimaging to visualize human visual processing, *Biomedical Engineering and Cognitive Neuroscience for Healthcare*, 査読有, 2012, 274-282

DOI: 10.4018/978-1-4666-2113-8.ch028

T. Mori, Y. Maekawa, Y. Akiyama, F. Mishima, K. Sutani, S. Iwaki, S. Nishijima, Fundamental study for controlling environment using biological signal, *Control and Intelligent Systems*, 査読有, 2012, vol. 40, 151-159

DOI: 10.2316/Journal.201.2012.3.201-2342

T. Hamada, S. Iwaki, The speed of mental addition in an abacus expert, estimated by eye movements and neural activities, *Percept. Motor Skills*, 査読有, 2012, vol. 115, 1-6

DOI: 10.2466/22.04.11.PMS.115.4.1-6

S. Iwaki, Dynamic brain responses to eye gaze perception between directly facing subjects, *Proc. CME 2012*, 査読有, 2012, 705-708

DOI: 10.1109/ICCM.2012.6275652

S. Iwaki, G. Bonmassar, J.W. Belliveau, MEG-fMRI integration to visualize brain dynamics while perceiving 3-D object shape from motion, *Proc. 26th Symposium Biol. Physiol. Eng.*, 査読有, 2011, 638-640

DOI: 10.1109/IEMBS.2011.6091218

[学会発表](計 49 件)

S. Iwaki, Interaction between the dorsal and ventral visual systems during 3D-SFM: an MEG-fMRI study, 20th Annual Meeting of the Organization for Human Brain Mapping, 2014年6月12日, ハンブルグ(ドイツ)  
岩木 直, 後頭・頭頂部の事象関連脳活動の変化と心的イメージ操作パフォーマンス

スとの相関, 日本人間工学会第 55 回大会,  
2014 年 6 月 6 日, 神戸国際会議場(兵庫県・神戸市)

S. Iwaki, Induced gamma-band brain responses to direct eye contact in the frontal and parietal cortices, 35th Annual Conf. IEEE Eng. Med. Biol. Soc., 2013 年 7 月 4 日, 大阪国際会議場(大阪府・大阪市)

S. Iwaki, Direct eye contact increases gamma-band oscillations in parietal and frontal cortices, 36<sup>th</sup> Annual Meeting of the Japan Neuroscience Society, 2013 年 6 月 22 日, 京都国際会館(京都府・京都市)

S. Iwaki, Event-related changes in the gamma-band activity reflect individual performance in mental rotation, 19th Annual Meeting of the Organization for Human Brain Mapping, 2013 年 6 月 17 日, シアトル(米国)

S. Iwaki, Visualization of human visual processing by MEG and fMRI, National Taiwan University MEG Educational Training & International Symposium, 2013 年 1 月 24 日, 台北(台湾)

S. Iwaki, Performance-dependent changes in gamma-band brain activity during mental image processing, 42th Annual Meeting of the Society for Neuroscience, 2012 年 10 月 12 日, ニューオーリンズ(米国)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

- 出願状況(計 0 件)
- 取得状況(計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

<http://staff.aist.go.jp/s.iwaki/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

岩木 直 (IWAKI, Sunao)

独立行政法人産業技術総合研究所・ヒューマンライフテクノロジー研究部門・研究グループ長

研究者番号: 70356525

### (2) 研究分担者

中井 敏晴 (NAKAI, Toshiharu)

独立行政法人国立長寿医療研究センター・長寿医療工学研究部・室長

研究者番号: 30344170

### (3) 連携研究者

熊田 孝恒 (KUMADA, Takatsune)

京都大学・情報学研究科・教授

研究者番号: 70221942