

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 4 月 30 日現在

機関番号：82626

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2010～2012

課題番号：22650056

研究課題名（和文） 運動-視覚神経ダイナミクスの脳機能連関モデルによる「操作感」の評価

研究課題名（英文） Evaluation of "operability" in the human-computer interface based on the visuomotor neural dynamics

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・健康工学研究部門・研究グループ長

研究者番号：70356525

研究成果の概要（和文）：本研究では、人-機械インターフェースの操作から得られる現実感（「操作感」）の知覚が、自己運動とそれによる環境変化の知覚情報（感覚フィードバック）の脳内処理の中でどのように表現されているのかを解明する、具体的には、fMRI および MEG スキャナ内でのコンピュータインターフェース操作行動にともなう視覚フィードバックをパラメトリックに制御した条件下で行動指標の計測とともに非侵襲脳機能計測を行い、主観的な操作感の変化が運動-感覚連関にどのように反映されるのか、高精度な脳活動ダイナミクス解析技術と脳領域間の相互作用を解析する技術を用いて統合的に理解することを目標とした。視覚フィードバックの忠実性をコントロールした 1 次元の目標追跡実験（被験者のジョイスティック操作に関連して動くカーソルで、画面上を移動するターゲットをできるだけ正確に追跡する実験）を行い、被験者のジョイスティック操作、画面上に表示される目標（ターゲット）とカーソルの位置関係を記録する実験課題を、fMRI スキャナ内と MEG スキャナ内で行い、それぞれ脳活動の空間分布と時間変化を観測した。この結果、被験者の主観的操作感の知覚に比例して、右頭頂側頭部の活動が増大することを確認した。また、MEG 実験の結果、運動と視覚フィードバックとの空間的不一致の影響が、ジョイスティック操作と視覚フィードバックから 200 ms 程度で、頭頂部で現れることを明らかにした。

研究成果の概要（英文）：The aim of this study was to elucidate the neural basis of the perception of "reality" or "sense of agency" in the human-machine interface (HMI) determined by the fidelity of the visual feedback to the operation of the HMI. Specifically, we parametrically controlled the spatial and temporal responsiveness of the cursor motion to the subjects' joystick motion and measured subjective rating of the degree of control over the cursor motion as well as magnetoencephalographic (MEG) and fMRI BOLD signals separately. The results from fMRI experiments showed that the activity in the temporo-parietal junction (TPJ) was significantly correlated with the subjective rating. Also, the MEG results indicated that the neuromagnetic signals from the parietal area was modulated by the spatial inconsistency of the cursor motion approximately 200 ms after the onset of the joystick motion. Activities in the parietal and temporal areas observed in this study, which is correlated with the subjective rating of the degree of control over cursor motion, are in agreement with the results from previous fMRI studies focused on the agency of body parts. The current results suggest that these areas also play crucial role in perceiving agency while operating simple human-computer interface.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
平成 22 年度	1,200,000	0	1,200,000
平成 23 年度	1,000,000	300,000	1,300,000

平成 24 年度	500,000	150,000	650,000
総 計	2,700,000	450,000	3,150,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・認知科学

キーワード：脳認知科学

### 1. 研究開始当初の背景

過去の神経科学的研究から、自発運動にもなって運動指令が四肢に伝達されるとともに、運動前野から発された遠心性コピーが頭頂連合野を介して感覚入力 of 知覚を修飾すること(運動-感覚連関)が明らかにされている。運動-感覚連関は、自己運動の結果生じる環境変化の主観的な知覚に重要な役割を果たしており、環境への積極的な働きかけと環境から感覚入力へのフィードバックとの時間・空間的整合性は、環境情報の認知に大きな影響を与える。これらことは、人-機械インターフェイス(以下、HMI: Human-machine interface)の「操作感」の知覚機構の解明には、運動-感覚連関の神経ダイナミクスを明らかにすることが重要であることを意味している。

### 2. 研究の目的

本研究では、人-機械インターフェイスの操作から得られる現実感(「操作感」)の知覚が、自己運動とそれによる環境変化の知覚情報(感覚フィードバック)の脳内処理の中でどのように表現されているのか解明する。具体的には、仮想(Virtual reality: VR)空間内での操作行動にともなう視覚フィードバックをパラメトリックに制御した条件下で行動指標の計測とともに非侵襲脳機能計測を行い、主観的な操作感の変化が運動-感覚連関にどのように反映されるのか、高精度な脳活動ダイナミクス解析技術と脳領域間の相互作用を解析する技術を用いて統合的に理解することを目標とした。

### 3. 研究の方法

簡易 VR 環境を用いて被験者の操作と視覚フィードバックをパラメトリックにコントロールした条件下での、目標追跡課題にともなう操作感知覚に関わる脳活動(運動-視覚反応)の MEG/fMRI および行動指標による計測と主観評価を行った。具体的には、fMRI スキャナ内でジョイスティックを用いたターゲット追跡を行う課題を開発し(図 1)、ジョイスティック操作と視覚フィードバックの忠実性を制御した条件下で fMRI 計測を行った。また、物体移動操作における操作感を規定する重要な要因の一つとして、操作方向に対する対象の移動方向(方向要因)と脳活動と

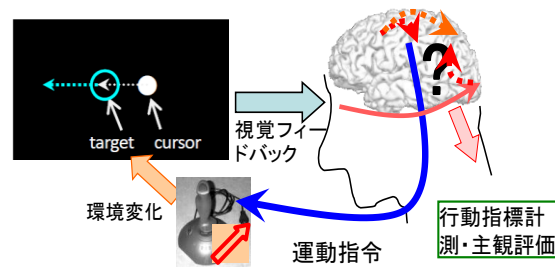


図 1 fMRI スキャナ中での、ジョイスティックを用いたターゲット追跡実験

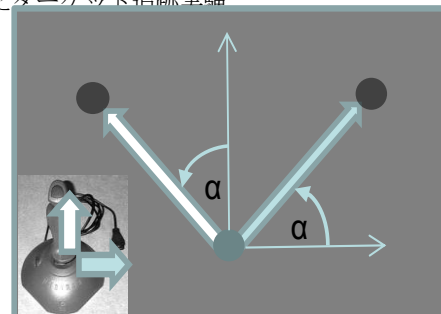


図 2 MEG スキャナ中での、ジョイスティック操作を用いた、運動-視覚フィードバック実験

の関連を調べるため、ジョイスティック操作に対してカーソルの移動方向をパラメトリックに変化させる課題を設計し(図 2)、ジョイスティック操作にともなう視覚フィードバックに対する MEG 信号を計測した。

得られたデータから、操作感知覚に関連する脳活動ダイナミクスを可視化して運動-視覚連関(相互作用)を主観評価結果との関連を定量的に評価した。

### 4. 研究成果

fMRI スキャナ内でのターゲット追跡実験では、「操作感」の主観評価結果から、被験者が主観的に感じる「操作感」は、ジョイスティック操作に対する視覚フィードバック(カーソルの動作)の忠実性とは有意な相関を示さず、実際のカーソルとターゲットとの間のトラッキング誤差と有意な相関を示すことが明らかになった(図 3(a)). また、これに対応して、fMRI で計測される脳活動は、ジョイスティック操作に対する視覚フィードバック(カーソルの動作)の忠実性に有意な相関を示さなかったのに対し、右側頭-頭頂

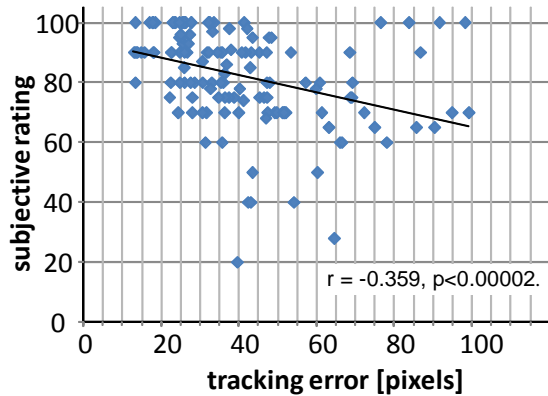


図 3(a) fMRI スキャナ中での、ジョイスティックを用いたターゲット追跡実験における、「操作感」主観評価値とトラッキング誤差の相関

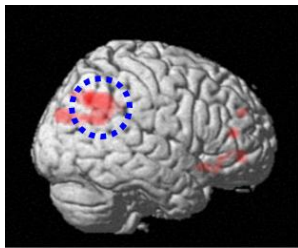


図 3(b) fMRI スキャナ中での、ジョイスティックを用いたターゲット追跡実験で得られた、「操作感」主観評価値と高い相関を持って活動度が増加する脳領域( $p < 0.005, k > 20$ )

接合部(right temporo-parietal junction: TPJ)では、脳活動と被験者が感じる「操作感」の主観評価値との間に有意な相関があることが明らかになった(図 3(b)).

一方 fMEG スキャナ内でのジョイスティック操作-視覚フィードバック実験では、ジョイスティックの操作方向と視覚的にフィードバックされるカーソルの移動方向が一致する(consistent)条件に比べて、一致しない(inconsistent)条件で、頭頂部における MEG 信号が、ジョイスティックの操作(=カーソルの移動開始)から 200 ms 程度で増大することを指した。

これまでの fMRI を用いた研究では、頭頂および側頭部に自らの body parts に対する運動主体感(sense of agency: 自らの意思の作用感)の神経基盤があるとの結果が得られている。本研究で得られた結果は、自らの body part に対する"sense of agency"と同様の神経基盤が、自らが操作するコンピュータインターフェイスに対する「操作感」についても作用している可能性を示唆するものである。

## 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 18 件)

- ① S. Iwaki, Multimodal neuroimaging to visualize human visual processing, *Biomedical Engineering and Cognitive Neuroscience for Healthcare*, 2012, pp. 274-282  
DOI: 10.4018/978-1-4666-2113-8.ch028
- ② 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*, vol. 40, 2012, pp. 151-159,  
DOI: 10.2316/Journal.201.2012.3.201-2342
- ③ T. Hamada, S. Iwaki, The speed of mental addition in an abacus expert, estimated by eye movements and neural activities, *Perceptual and Motor Skills*, 115, 2012, pp. 1-6  
DOI: 10.2466/22.04.11.PMS.115.4.1-6
- ④ S. Iwaki, K. Sutani, Visualization of the sensitivity of the MEG sensor array based on the 3-D modeling of cortical surface and volume conductor, *Journal of Applied Physics*, 107, 2010, 09B317  
DOI: 10.1063/1.3367885

[学会発表] (計 16 件)

- ① 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, National Taiwan Univ (Taipei, ROC)
- ② S. Iwaki, K. Sutani, Neural interaction between frontal and parietal areas in P3 responses during visual target detection, 17th Annual Meeting of the Organization for Human Brain Mapping, 2011 年 6 月 29 日, Quebec Convention Center (Quebec City, Canada)
- ③ S. Iwaki, K. Takano, K. Kansaku, Parieto-temporal activity is correlated with the sense of agency during visual target tracking, 16<sup>th</sup> Annual Meeting of the Organization for Human Brain Mapping, 2010 年 6 月 7 日, Barcelona Convention Center (Barcelona, Spain).

[産業財産権]

○出願状況 (計 3 件)

名称: ちらつき知覚閾値の測定装置、測定方法及び測定プログラム

発明者: 岩木 直, 原田 暢善

権利者: 産業技術総合研究所

種類：特許  
番号：特願 2011-097965  
出願年月日：2011 年 4 月 26 日  
国内外の別：国内

〔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・健康工  
学研究部門・研究グループ長  
研究者番号：70356525

### (2) 研究分担者

神作 憲司 (KANSAKU KENJI)  
国立障害者リハビリテーションセンター  
(研究所)・感覚機能系障害研究部・室長  
研究者番号：60399318

梅村 浩之 (UMEMURA HIROYUKI)  
独立行政法人産業技術総合研究所・健康工  
学研究部門・主任研究員  
研究者番号：10356587