

機関番号：3 2 6 3 6

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2008～2010

課題番号：2 0 5 0 0 5 0 7

研究課題名 (和文) 運動課題遂行中脳波の分析による知覚-動作制御過程への認知的情報処理の関与について

研究課題名 (英文) The involvement of cognitive processing in a perceptual-motor process for achieving a task goal examined by EEG analysis

研究代表者

勝又 宏 (KATSUMATA HIROMU)

大東文化大学・スポーツ・健康科学部・准教授

研究者番号：4 0 3 9 8 3 5 0

研究成果の概要 (和文):

本研究は、行動目標を達成するための動作産出・調整における、知覚 - 動作遂行過程について、標的物の大きさに応じた握み動作課題および標的物の大きさ認識課題遂行中の脳波を、異なる皮質部位の連携・情報の流れという点から分析・検討した。大脳皮質の各部位は、視覚情報の処理およびそれと動作との関連付け、対象物の認識、高度情報処理・動作の準備・産出などにそれぞれ関与しているが、これらが連携して課題が遂行される様子が明らかとなった。

研究成果の概要 (英文):

Any goal directed movement is organized with respect to visual information about a given task environment as well as a task movement. The present study investigated the cortical activities in the visuomotor process of: (1) grasping a target object with the index finger-thumb pinch grip and (2) matching the pinch grip aperture with respect to the visually perceived size of the target object. The analysis of directed coherence of EEG between electrodes revealed how different cortical regions, each of which plays a particular functional role, were involved and how those cortical sites communicated each other in executing the visuomotor task.

交付決定額

(金額単位: 円)

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	2,000,000	600,000	2,600,000
2009 年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2010 年度	400,000	120,000	520,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：健康・スポーツ科学・身体教育学

キーワード：運動制御

1. 研究開始当初の背景

様々な身体活動において、その運動課題を達成するための動作は、それを展開する環境、課題内容、生体の動作に関与する生理的・力学的条件に影響を受ける (Newell, 1989)。この動作産出過程において、知覚情報は動作の組織化や調節に欠かせないので (Turvey &

Kugler, 1984; Kugler & Turvey, 1987; Warren & Kelso, 1985; Warren, Bloch, & Bertenthal, 1990)。運動課題遂行における知覚 - 動作制御連関についての解明は、身体運動制御のしくみを理解するための重要課題である。本研究はこの課題について、知覚 - 動作遂行の過程における、ventral stream

と dorsal stream の 2 つの視覚情報処理経路に関する知見 (Goodale & Milner, 1992; Goodale, Pelisson, & Prablanc, 1986) や、錯視を誘発する視覚情報に対する動作の影響に関する知見 (例: Franz et al., 2001) をもとに認知や意識・無意識などの心理学的側面が、如何に影響しているのか? という観点から取り組んだ。本研究では、この点に関して知覚情報に基づいて動作を組織化する運動課題として、標的物に手を伸ばして捕捉する (Reaching-Grasping) あるいは提示された標的物の大きさを判断して捕捉動作と同様の手指関節運動により大きさを示す (Matching) という課題に取り組んだ。これらの課題では、同じ視覚情報 (標的物) に対して同様の手指関節運動が産出されるものの、その知覚情報処理 - 動作産出過程に関しては、Matching では Reaching-Grasping に比して標的の大きさを判断するという認知的情報処理が要求される。これらの課題遂行中の脳波 (EEG) の周波数特性についての分析によって、課題となる手指関節運動の開始時点に対する、動作組織化の様子を大脳皮質各部位での活動の有無とそのタイミングについて、課題間の特徴や相違点を見出すことができることが期待される。そこで、本研究ではこの実験パラダイムにより課題条件を操作することで、「知覚 - 動作産出 - 調整の過程に、認知的情報処理活動がどのように関わっているのか」について、脳波分析大脳皮質レベルの活動について検討することを試みた。

2. 研究の目的

(1) Reaching-Grasping および Matching 課題遂行中の大脳皮質の異なる部位の活動 (EEG) について、ERSP analysis (脳波周波数パワーの増減の点から皮質各部位の活動の様子を検討する) Coherence analysis (異なる部位で測定された EEG の周波数特性の相関を経時的にとらえる分析) を施し、それらの部位間の情報処理活動の関連を検討する (Gevins, et al., 1989; Pfurtscheller & Lopes da Silva, 1999)。それによって、Reaching-Grasping や Matching での知覚 - 動作産出過程における情報処理の経時的様子を検討する。

(2) Ebbinghaus illusion 効果 (錯視により実際よりも標的が小さく・大きく見える) を誘発する標的を用いた Reaching-Grasping または Matching 課題 (Franz et al., 2001) によって、対象物に対する認知のはたらきが知覚 - 動作産出過程に及ぼす影響を、EEG 分析によって検討する。

(3) 以上の実験で得られた知見をもとに、同様の実験パラダイムによる Reaching-Grasping および Matching の課題条件を操作することで、課題遂行における認知

的情報処理の関与の仕方について EEG 分析の点から検討する。

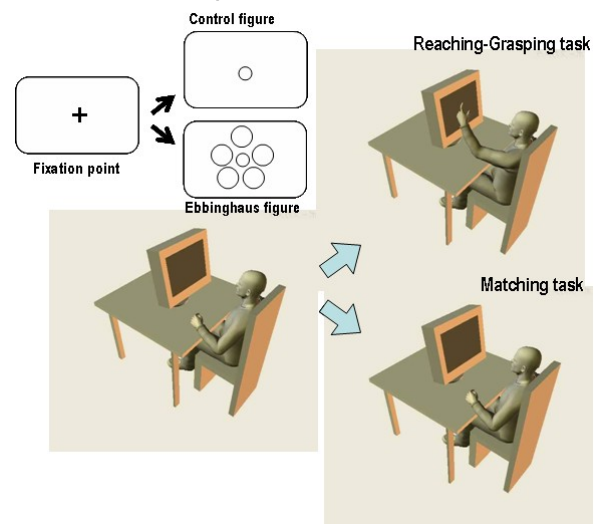
以上の点より、「課題遂行のための視覚情報処理 - 動作産出過程において大脳各部位が機能的にどのように関わっているか」、さらに「経時的な課題遂行過程で、大脳の各部位が互いにどのように情報シグナルを交換し合いながら、視覚情報を利用して動作が制御されるのか」ということを明らかにしようと試みる。

3. 研究の方法

(1) 運動課題

1. Reaching-Grasping 課題: コンピュータ画面上に標的物を表示し、一定時間 (2 秒) 後に示される動作開始の合図音によって、被験者は標的物に対して手を伸ばして捕捉するような手指関節動作を行う。

2. Matching 課題: 上の課題と同様に示された標的に対して、合図音の後に、被験者は画面上の標的物の捕捉サイズを評価して、それを Grasping 時と同様の手指関節動作 (標的には手を伸ばさない) によって示す。



(課題動作と視覚標的のイメージ図)

(2) 実験装置

64 チャンネル脳波計測システムを用いて、知覚 - 運動課題遂行中の脳波を測定する (1000 Hz) とともに、課題パフォーマンスの指標となる手指関節運動を、関節角度計により測定する (400 Hz)。課題となる標的のコンピュータ画面上提示・動作開始の合図・関節角度データと脳波の同期などについての実験手順の管理・制御は、実験データ測定ソフトウェア (LabView) を用いて行う。

(3) 分析方法および着目点

課題遂行中の EEG について、ERSP および Coherence 分析を施す。それによって、視覚情報をたよりに課題動作を産出する場合 (Reaching-Grasping) と、視覚によって標

のサイズを評価するという認知的情報処理を要する場合 (Matching) のように、同様の関節運動 (Grasping) を産出しながらも、質的に異なると考えられる知覚-動作産出過程における脳内各部位の経時的活動変化を捉えるとともに、各部位間の活動の相関関係について Coherence の点から検討する。

(4) 研究計画とその達成度

研究目的(1) ~ (3)に対応して、3つの実験を予定した。

実験1: 視覚標的に対するふたつの課題動作中の脳波を比較することによって、視覚情報処理およびその動作への利用の点から、質的に異なると考えられるこれらの課題遂行における皮質部位間の情報処理活動の関連を検討した。

実験2: 標的の大きさについての錯視を誘発する視覚標的 (Ebbinghaus illusion 効果: 錯視により実際よりも標的が小さく・大きく見える; 例, Franz et al., 2001) を用いることで、課題動作への認知的活動の関与についてその際の脳波の特徴の点から検討した。

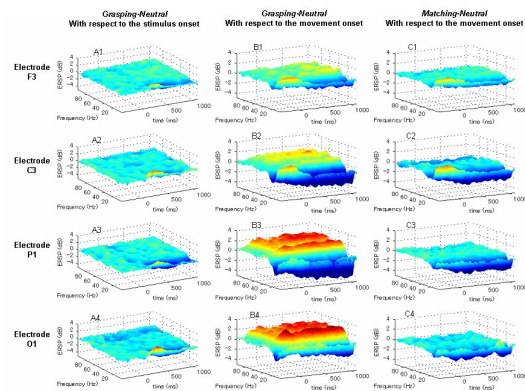
実験3: 実験1および実験2による知見をもとに課題条件の操作を操作することで、それに応じた皮質レベルの活動の変化について脳波分析を行うことを、計画当初は予定していた。しかし、先行研究による知見に基づいて「Reaching-Graspingでは錯視の影響を受けない」という結果を予測していたものの、錯視の影響を受けるという実験2の結果を得た。錯視による動作課題や認知課題への影響については、関連する研究において、ここ数年間の論議の対象となっているところであり、予測に反したものの興味深い結果ととらえることができる。したがって、この点に関しての十分な検討が必要であると判断し、予定していた目的(3)に進むのではなく、最近の研究動向に関しての検討をふまえながら本結果に関しての踏み込んだ分析とそれによる解釈を深めることに専念した。実験1・2に関しては、当該研究期間のうち平成20~21年度に実施し、最終年度である平成22年度は、これらの実験による成果を総括し学会発表・論文作成を行うことを予定した。

4. 研究成果

(1) 視覚標的に対する Reaching-Grasping および Matching 課題の脳波分析

視覚標的 (直径 3cm の円) に対する Reaching-Grasping および Matching 動作中の大脳皮質レベルの活動について脳波の周波数領域についての分析 (ERSP: Event-related Spectral Perturbation Analysis) をおこなった。動作開始時点を基準とし場合の帯域脳波のパワー値の減少がみられ、これは Reaching-Grasping および Matching に共通する特徴であった。これに対して、帯域脳波

のパワー値の増加が Grasping 動作遂行時においてみられた。



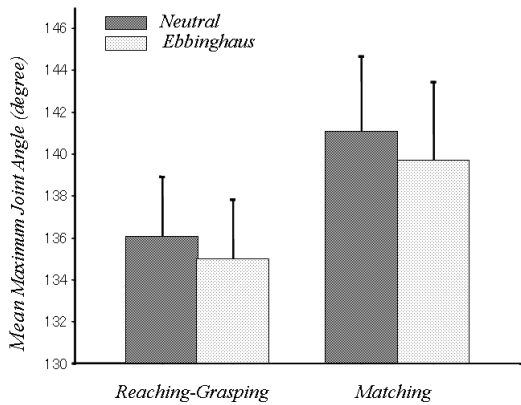
(ERSP 分析結果 : 左列は標的提示時点に対する ERSP. 中列は Reaching-Grasping, 右列は Matching 遂行時の ERSP. 赤はパワーの増加, 青はパワー減少を示す)

ERSP を扱った分析では、パワー値の減少はその部位の活動が高まっている事を示すものとして注目されてきている。これに加えて最近の研究では、比較的高周波数帯域でみられるパワー値の増加は課題遂行機能のための情報処理を示唆するということが発表されてきている (例 : Neuper & Pfurtscheller, 2001; Neuper et al., 2006), 本研究による知見は、この点を支持する結果として興味深い。

(2) 視覚標的に対する課題パフォーマンス分析

Reaching-Grasping において視覚標的を掴もうとする場合や、Matching 課題における標的の大きさ認識を表す場合の指標として、課題動作遂行中の拇指 - 示指間隔の最大値が用いられており (Jeannerod, 1981, 1984)。本研究では、課題動作に関連する被験者の手指各関節を固定することにより、課題は示指の中手指節関節運動によって遂行されるよう拘束した。したがってこの関節の動作中最大角度をもって、被験者の標的の大きさに関する認識を評価・検討した。課題動作は、直径 3cm の円 (基本図形) あるいはその基本図形を 5 つの円 (直径 5 cm) で囲んだ Ebbinghaus 図形に対して行った。Ebbinghaus 図形では、周辺の円が中心にある円の大きさ知覚についての錯視 (この場合は、中心円が実際よりも小さく見える) を誘発する。Matching の場合、標的の大きさを認識してそれに応じた拇指 - 示指間隔を生成するという点から、錯視の影響が課題動作に反映されるのに対して、Reaching-Grasping ではそのような認知的な情報処理を介さずに動作遂行が可能であるとの主張がなされてきている (例 : Goodale &

Milner, 1992; Haffenden & Godale, 1998).

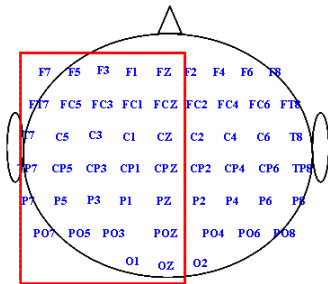


(課題動作時の最大関節角度の比較)

本研究の実験では、課題遂行が錯視の影響を受けているのであれば拇指 - 示指間隔の最大値は、Ebbinghaus 図形に対する場合のほうが基本図形に対する場合よりも小さくなることが予測される。本実験では、Matching だけでなく Reaching-Grasping においても錯視の影響を受けたという結果が得られた。これは Reaching-Grasping においても Matching 遂行時のような認知的な情報処理が介在していることを示唆する。この点については、関連する研究分野において論議となっているところであり、非常に興味深く、今後の課題としてさらに検討をすすめていく。

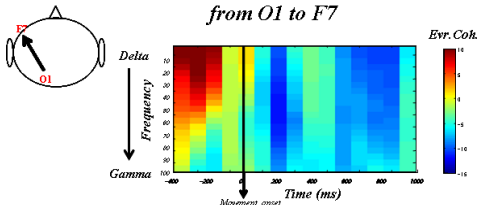
(3) 標的の大きさについての錯視を誘発する視覚標的 (Ebbinghaus illusion 効果) に対する課題動作の脳波コヒーレンス

Electrode locations



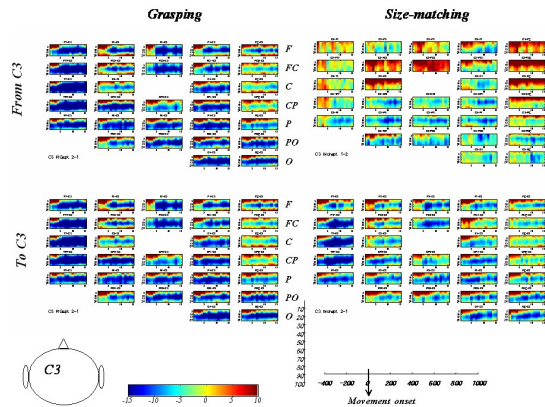
(分析対象となった脳波電極部位)

Example: Time-frequency plot of Event-related Coherence from O1 to F7



(コヒーレンスの時間 - 周波数帯域プロットの例：赤はコヒーレンスの増加、青は減少を示す)

動作開始前の 500ms 間において、前頭から中心前回にかけてと頭頂野を中心とした部位間でのコヒーレンスが顕著であった。特に、中心前回・前頭野は多様な部位からの情報を受けていることを示唆するコヒーレンスが得られた。また、Reaching-Grasping 課題においても側頭野に関するコヒーレンスがみられた。動作遂行中においては、主に頭頂野、中心前回、あるいは中前頭回との間でのコヒーレンスが顕著であった。



(例：特定の電極部位と分析対象となった各部位とのコヒーレンスの時間 - 周波数帯域プロット。同様の分析を対象となった電極部位について行った。)

Reaching-Grasping と Matching 課題間の比較では、各皮質部位間のコヒーレンスを全体的に捉えた場合、そのパターンは類似していたが、Matching のほうがより大きなコヒーレンス値を示していることが示された。動作開始前の課題間の違いは、一次視覚野と頭頂野との間の違いのみがみとめられた。動作遂行中のコヒーレンスについては、一次視覚野と頭頂野を中心とした部位間、中心前回およびその周辺と頭頂・前頭野間、側頭野と頭頂・中心前回・前頭野の間での Reaching-Grasping に対して Matching でのより大きな値がみられた。

以上の結果より、視覚情報について課題目的に応じた処理を行い、それに応じた動作を組織化する過程において大脳皮質における機能解剖学的に異なる役割をもつ各部位が連携して課題が遂行される様子について、Coherence 分析による皮質部位間の連絡性の点から明らかにすることができた。課題遂行のための情報処理過程の点からは、Reaching-Grasping と Matching は質的に異なるものと考えられるが、本実験では Reaching-Grasping においても錯視の影響が

みられているので、認知的情報処理機能の関与については今後の興味深い課題である。

(4) 錯視の影響の有無に応じた脳波の特徴
上記(2)では、被験者10名のうち Reaching-Grasping において5名、Matching において6名の課題パフォーマンスが錯視の影響を受けた。各動作課題において、錯視の影響の有無によってふたつの群に分けて脳波の Coherence 分析を行った。錯視の影響を受けた群のコヒーレンスは、後頭野 - 頭頂野で顕著であり、錯視の影響を受けなかった群では前頭野内での部位間および前頭野 - 後頭・頭頂野間でのコヒーレンスが顕著であった。これは、課題遂行のために知覚情報を処理しそれを用いて動作を組織化する際の皮質レベルの過程について、錯視を用いて認知的処理の関与を検討したところ、同じ動作課題についても異なる情報処理 - 動作産出過程があり得るということを示唆するものであり、その点についてのさらなる検討が重要である。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計2件)

Katsumata, H. & Imanaka, K. (2010)
Task-dependent involvement of cognitive processing in visuomotor tasks examined by cortical connectivity
Psychophysiology, 47 (Supplement 1) S88
(査読無)

Katsumata H., Suzuki, K. Tanaka T., & Imanaka, K. (2009)
The involvement of cognitive processing in a perceptual-motor process examined with EEG time-frequency analysis
Clinical Neurophysiology 120:484-496
(査読有)

[学会発表](計6件)

Katsumata H.
Is the involvement of cognitive processing in a visuomotor task dependent on time window for the task execution?
Society for Neuroscience 2010
2010年11月15日
San Diego, California, USA

Katsumata H. & Imanaka, K.
Task-dependent involvement of cognitive processing in visuomotor tasks examined by cortical connectivity
Society for Psychophysiological Research 50th Annual Meeting

2010年10月2日
Portland, Oregon, USA

勝又 宏

心理学の立場から：知覚 - 動作産出・調整へのアプローチ

Japan Society for Motor Control and Neuro-rehabilitation

2010年8月27日

山口大学

Katsumata, H. & Imanaka, K.
Visuomotor coordination and cognitive processing in a reaching-grasping task examined by coherence analysis
Neuroscience 2009

2009年10月19日

Chicago, Illinois, USA

Katsumata, H. & Imanaka, K.
Cortical activities for executing a visuomotor task examined by coherence analysis
Progress in Motor Control

2009年7月23日

Marseille, Italy

Katsumata, H., Suzuki, K., Tanaka, T., & Imanaka, K.

ERD/ERS analysis to examine the qualitative features of a visuomotor process in a prehensile movement
Society for Neuroscience 2008,

2008年11月17日

Washington DC, USA

6. 研究組織

(1) 研究代表者

勝又 宏 (KATSUMATA HIROMU)

大東文化大学・スポーツ・健康科学部

・准教授

研究者番号：40398350