

平成22年5月31日現在

研究種目：若手研究（スタートアップ）

研究期間：2008～2009

課題番号：20800075

研究課題名（和文） 社会性報酬の動機付けによるワーキングメモリ性能向上

研究課題名（英文） Social reward motivation increases working memory capacity

研究代表者

川崎 真弘（KAWASAKI MASAHIRO）

独立行政法人理化学研究所 脳科学総合研究センター 脳リズム連携ユニット 研究員

研究者番号：40513370

研究成果の概要（和文）：認知機能の中枢であるワーキングメモリは、その保持容量に限界がある。本研究では報酬付きの遅延見本合わせ課題遂行時の脳波計測を用いて、限界容量が金銭報酬などの社会性報酬によって増加することを示した。また脳波結果では、報酬がない条件に比べ報酬が多い条件で正解した時に、前頭 β 波が増加した。これは保持容量に関与する頭頂 α 波と相関した。以上より、 β 波と α 波が動機づけとワーキングメモリの相互作用を表現していることが示唆された。

研究成果の概要（英文）：

To investigate the dynamic relationships between the visual working memory (VWM) and reward systems, we focused on the electroencephalograph (EEG) rhythms during a monetary incentive delayed-response task. 14 subjects were required to maintain several colored disks (3 or 6) during the retention interval. In case of the correct answer, they got the monetary reward which value (0, 10 or 50 Japanese yen) was presented at the beginning of each trial. Behavioral results showed that the VWM capacity for the high-reward condition was significantly increased as compared with the low- or no-reward conditions. EEG results showed that the frontal theta (6Hz) and the parietal alpha (12Hz) amplitudes are involved in the maintenance of the VWM since the activities increased during the retention interval and were correlated with the VWM capacity. The frontal beta delay-period amplitudes (24Hz) were significantly correlated with the increases of the VWM capacity from the high-reward to no-reward conditions. Interestingly, the frontal beta activity for reward motivation and the parietal alpha activity for VWM storage were significantly correlated under only the high-reward conditions. These findings suggest that the frontal-parietal system dynamically linked in beta and alpha frequency domains may implicate the increasing VWM capacity under high reward condition.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,370,000	411,000	1,781,000
2009年度	1,200,000	360,000	1,560,000
総計	2,570,000	771,000	3,341,000

研究分野：社会科学

科研費の分科・細目：認知科学

キーワード：脳認知科学・記憶・動機付け・生理・認知心理学

1. 研究開始当初の背景

ヒトの認知機能の中核であるワーキングメモリは、問題解決や意思決定のために、外界や長期記憶からの必要な情報を抽出、保持し、操作する役割を担う。職場における労働者のパフォーマンス向上や高齢者のリハビリテーションにつながる優れた学習促進型インターフェース開発のためには、このワーキングメモリの性能向上を目指し、関連する脳メカニズムを解明することが必要である。そのアプローチの一つとして考えられる、他者とのコミュニケーションなど社会的報酬による動機付けがワーキングメモリに及ぼす効果とその脳情報処理メカニズムに迫る知見はいまだに乏しい。

ワーキングメモリには限界保持容量が存在することが知られており (Cowan, 2001)、ワーキングメモリ性能向上の一つは、保持容量を増加させ、それに関わる脳ネットワークを活性化させることである。近年の脳イメージング研究によって、頭頂連合野が、視覚性ワーキングメモリの保持容量と関連した活動を示す保持システムであること (Todd & Marois, 2004)、前頭連合野がワーキングメモリの操作システムを担うことが示唆されている (Curtis & D'Esposito, 2003; Kawasaki & Watanabe, 2007)。一方で、飲食物や金銭を報酬として用いた動機付けには、中脳ドーパミン系およびその投射をうける線条体、大脳基底核、眼窩前頭皮質を含む報酬関連ネットワークの関与が示唆されている (Shultz, 1998; Knutson et al., 2001)。さらに近年の研究では、他者から褒められるなどの社会的報酬も金銭報酬と同様の脳活動が関与することが示されている (Izuma, et al., 2008)。

2. 研究の目的

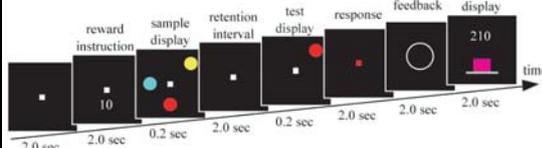
職場における労働者のパフォーマンス向上や高齢者のリハビリテーションにつながる優れた学習促進型インターフェース開発のためには、ワーキングメモリの性能向上を目指し、関連する脳メカニズムを解明することが必要である。本研究では、そのアプローチの一つとして考えられる、他者とのコミュニケーションつまり社会性報酬による動機付けがワーキングメモリに及ぼす効果とその脳情報処理メカニズム解明を試みる。特に、ワーキングメモリ課題遂行時の脳機能計測を行い、脳活動の振動同期現象に注目するこ

とで、視覚性ワーキングメモリの保持容量・操作性能の向上に寄与する、報酬関連システムとワーキングメモリシステムの相互作用のモデル化を目指す。

3. 研究の方法

(1) 被験者

14名の健常な被験者(右利き、 25.6 ± 4.2 歳、女性4名)が理化学研究所安全管理委員会承認の同意書記入の上、脳波計測実験に参加



した。

図1：遅延見本合わせ課題

(2) 視覚性短期記憶課題

本研究は、遅延見本合わせ課題を使用した。この課題は、コンピュータディスプレイ上に呈示された3つまたは6つの円の色と位置を一時的に記憶することを要求する。2秒間の遅延期間後に呈示される1つの円の色に変化があったか否かをボタン押しで回答する(図1)。インタートライアルインターバル(ITI)は2秒間である。

各トライアルの最初に、そのトライアルに成功した時に得られる報酬値が呈示される(0, 10, 50円)。そのトライアルを正解した場合、トライアル後に正解を示す円が呈示され、これまで得られた報酬の総額を示すバーが呈示される。反対に、不正解であった場合はXが呈示され、報酬額に変化はない。

各被験者は、これらの課題を4セッション行った。1セッションは48トライアルで構成される(3報酬額(0, 10, or 50円) X 2記憶数(3 or 6個) X 8トライアル)。すべての被験者は脳波計測実験前に練習として1セッション行った。

(3) 脳波計測

脳波は頭皮に置かれた60チャンネルの電極で計測し、基準電位は両耳より計測した(サンプリングレート:500Hz)。同時に眼球運動を計測し、独立成分分析を用いて瞬きや眼球運動と相関のある因子を削除し、瞬きやサッケードなどのアーチファクトを除去した。これらの脳波データに対して、カレントソース解析を用いて、体積伝導の効果を減ら

し、空間解像度を上げた。

上記の前処理を施したデータ $s(t)$ に対して、Morlet 関数 $w(t, f)$ を用いたウェーブレット解析を行い、各時刻 (t)、各周波数 (f) に対する振幅と位相の時系列分析を行った。振幅 $E(t, f)$ は、ITI をベースラインとして各周波数で比較を行った。

4. 研究成果

(1) パフォーマンス結果

各被験者で全セッションの平均正答率を算出した。この正答率より、Cowan の公式を用いて、ワーキングメモリ容量 (K) を算出した。ワーキングメモリ容量の結果を図 2 に示した。分散分析の結果、報酬に主効果が見られた。オブジェクト数 3、6 ともに、報酬なしと報酬 50 円の間には有意な差があった。また両オブジェクト数ともに報酬なしと報酬 10 円、報酬 10 円と報酬 50 円の間には有意な差がなかった。以上の結果より、報酬が 50 円であるトライアルでは、報酬なしに比べて、ワーキングメモリ容量が有意に増加することを示した。

一方、オブジェクト数には主効果が見られず、オブジェクト数 3 と 6 の間に有意な差は見られなかった。この結果は、オブジェクト数 3 と 6 の間では記憶できる容量に違いがないことを示唆している。

(2) 脳波解析結果

各条件で計測された脳波データについてウェーブレット解析を行って、各時刻、各周波数の振幅を算出した。ワーキングメモリ保持容量に有意な差が観測された報酬の効果に注目した結果を示す。

動機づけが行われる「報酬教示期間」、ワーキングメモリの保持に関する「遅延期間」、正解か否かがフィードバックされる「答え合わせ機関」、報酬が与えられる「報酬期間」の 4 期間それぞれと ITI のパワー差で評価し

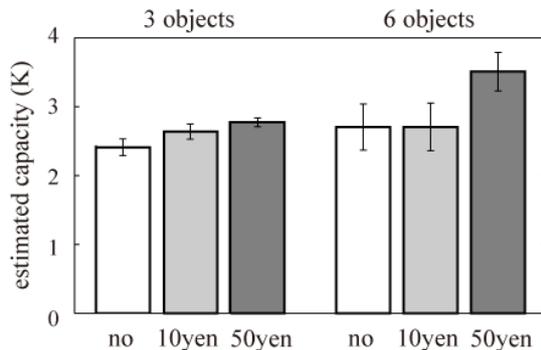


図 2 : パフォーマンス結果

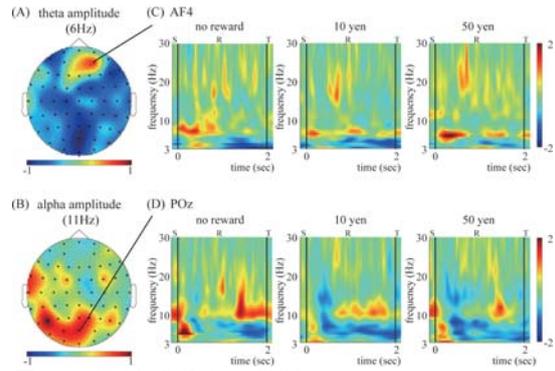


図 3 : 遅延期間中の活動

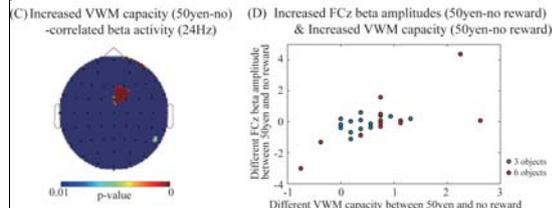


図 4 : ワーキングメモリ増加量と前頭 β 波の相関

遅延期間では前頭 θ 波 (6Hz)、頭頂 α 波 (12Hz) が増加した。前頭 θ 波がワーキングメモリ保持容量と正の相関を示したのに対して、頭頂 α 波は負の相関を示した (図 3)。以上の結果は従来研究同様、前頭 θ 波と頭頂 α 波がワーキングメモリの方時に関与することを示唆する。

一方で、報酬のあるなしで増加したワーキングメモリ保持容量分と相関する脳活動を調べた結果、前頭の β 波 (24Hz) が正の相関を示すことが分かった。この前頭 β 波は、動機づけが行われる「報酬教示期間」にも増加することや、報酬量にも相関した。以上の結果より、この β 波は報酬に関連した活動であると特定された。

また、報酬に関連する前頭 β 波は、遅延期間中に報酬が最大の時に限り、頭頂 α 波と相関することが分かった。これらすべての結果を統合して、報酬関連の前頭 β 波をワーキングメモリ保持関連の頭頂 α 波のダイナミクスが、動機づけによるパフォーマンス向上を表現する可能性を示唆している。

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 1 件)

① Masahiro Kawasaki, Keiichi Kitajo, & Yoko Yamaguchi, “Dynamic links between theta executive functions and alpha storage buffers in auditory and visual working memory.” *European Journal of*

Neuroscience, Vol. 31, pp. 1683-1689.
(2010). (査読あり)

[学会発表] (計3件)

① Masahiro Kawasaki & Yoko Yamaguchi,
“Human frontal beta activity for
monetary-reward motivation facilitates
the visual working memory system.” 40th
Annual Meeting of Society for Neuroscience
(SFN), 2010年11月, San Diego.

② Masahiro Kawasaki, “Human frontal beta
activity for monetary reward motivation
increases visual working memory
capacity.” 17th Annual Meeting of
Cognitive Neuroscience Society (CNS),
2010年4月, Montreal.

③ 川崎真弘「社会性報酬の動機づけによるワ
ーキングメモリ性能向上」電子情報通信学会
ヒューマンコミュニケーショングループ
(HCG)シンポジウム、2009年12月、札幌

6. 研究組織

(1) 研究代表者

川崎 真弘 (KAWASAKI MASAHIRO)

独立行政法人理化学研究所 脳リズム連携
ユニット 研究員

研究者番号：40513370