

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成25年 6月 4日現在

機関番号：13904

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2012

課題番号：23700311

研究課題名（和文） 脳波・経頭蓋電気刺激を用いた「ひらめき」時における因果ネットワーク解析

研究課題名（英文） Dynamics of information flow between brain regions during the insight process using hidden figures

研究代表者

南 哲人(MINAMI TETSUTO)

豊橋技術科学大学・エレクトロニクス先端融合研究所・テニュアトラック准教授

研究者番号：70415842

研究成果の概要（和文）：

われわれは、最初は解くのが難しくあいまいに見える問題を、「ひらめき」によって解決することがよくある。ひらめきの瞬間の脳活動ダイナミクスはどのようになっているのであろうか。ひらめき過程の神経メカニズムを明らかにするため、隠し絵を見せられた時の被験者の脳波を測定した。その結果、隠し絵のあいまいさを除去する活動は、ベータ帯における左側頭部から右側頭部への方向性結合が関係していることが分かった。

研究成果の概要（英文）：

In everyday life, we apply the process of insight to problems that are difficult to solve at first glance or that we perceive as ambiguous. What are the brain dynamics underlying the moment of insight, especially the functional connectivity? To elucidate the neural mechanism of the insight process, we recorded electroencephalograms while subjects were presented with hidden figures. The analysis of the PDC demonstrates the information flow from the left to the right temporal region in the beta range. Our analysis reveals the temporal flow of neural processing during disambiguation for hidden figures.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	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：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

これまで、申請者は、日本学術振興会科学研究費補助金、若手研究B「脳波周波数解析によるヒトのあいまいな知覚状態の抽出」で、脳内におけるグローバルな同期現象を利用して、同じ視覚刺激（例えば、情報を極端に減らした二値化画像）を見た場合の知覚的な揺らぎを単一試行の脳波から判別できることを示してきた。この研究により、「ひらめき」の瞬間の脳内ネットワークがとらえられる可能性が示されつつある。

思考やひらめきは心理学が始まって以来関心のある領域であるとともに、これらを調査することは人間の本質を知る上で必要不可欠なことであるといえる。ひらめきは、複雑な推論(Sheth et al.,2009)、言語連想(Jung-Beeman et al., 2004)、など様々な問題で発生すると言われている。これまでEEGやfMRIなどのニューロイメージング技術を用いて、ひらめきの研究が行われており、ひらめきは、ある脳領域が単純な単一処理を行って生じるのではなく、さまざまな脳領域

のネットワーク形成が重要だとされている(Razumnikova,2007; Dreher and Grafman,2003; Bloom and Hynd,2005)。そのさまざまな領域としては、意味統合を行う前上側頭回(Jung-Beeman et al., 2004)、内側前頭回(Parsons and Osherson,2001)、海馬付近(Luo et al.,2004)などがある。

しかし、これらの研究では時間的なネットワークの変化・方向性の調査が行われておらず、ひらめき時のネットワークの時間的遷移や方向性を理解することで、より詳しい神経機構の解明に役立つと考えられる。そこで本研究では、ひらめきを調査するために隠し絵を用い、隠し絵の答えの絵を提示することで、ひらめきを誘発させる。ここでのひらめきとは、内発的に答えが浮かぶという状態ではなく、答えとなる画像を提示することにより、事前に提示した隠し絵の内容に気づくという外部誘発の状態を定義する。外部誘発とすることにより、視覚刺激提示後のひらめき状態の時間をそろえることが可能となる。その際の脳波を解析し、部分有向コヒーレンス(partial directed coherence : PDC)解析を行う。この手法は、従来の位相同期解析などでは得られなかった方向性を持った領域間結合を示すことができ、脳内ネットワークの因果解析に有効である。

また、他の因果解析手法として、近年、経頭蓋磁気刺激法(TMS)や経頭蓋直流電気刺激法(tDCS)など操作脳科学的手法がよく用いられるようになってきた。特に、最近、脳を外部から電気刺激する tDCS 手法が、その簡便さから着目され、さまざまな研究が行われている。この方法は、電流の流す向きによって、そのターゲット部位を、活性または抑制する効果があるとされており(Antal ら、2006)、実際に、Fregni ら(2005)による、前頭の刺激により記憶力が向上したとの報告や Floel ら(2008)による、後頭の刺激により言語学習能力が向上したとの報告など、tDCS によるさまざまな能力向上の報告がなされていることから、脳波によって同定したネットワークを tDCS により電気刺激することによる能力向上手法の開発は有効だと考えた。

2. 研究の目的

本研究は、「ひらめき」の瞬間における情報処理ネットワークの因果関係の解明を目的とする。そのために、PDC 解析により、隠し絵知覚における脳波において、どの部位が、どの部位に影響を及ぼしているのかを時空間的に明らかにする。さらに、信号減衰率により、「ひらめき」に関連している脳部位を特定する。

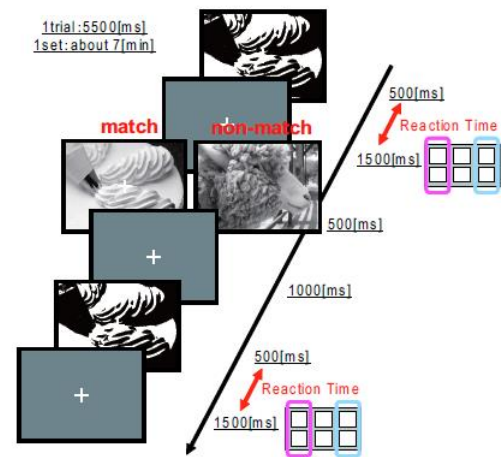


図 1：実験タスク

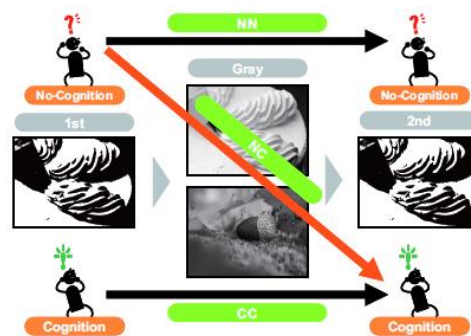


図 2：3つの状態遷移

また、tDCS により外部刺激することにより、知覚パフォーマンスが変化するかを調べ、操作脳科学的に、ネットワークの因果関係を解明する。

3. 研究の方法

(1) 隠し絵を用いた脳波実験

まず、二値化により情報を欠落させた画像から、画像に含まれた事物を発見するというタスク中の脳波計測を行う。ある事物が含まれるグレー画像と、そのカラー画像を知覚が困難になるように二値化した画像の組合せを1セットとし、計300セットの画像組を使用し実験を行う。実験は、二値化画像→グレー画像→二値化画像の順に提示するものとし、その提示された二値化画像が知覚できたかをボタン押しで判断するというタスクを行う。その実験手順を図1に示す。この手順により、2度の二値化画像に対する応答の違いにより、以下の3状態が作り出せる。①NN：1stで認識できず、2ndでも認識できなかった場合、②NC：1stで認識できず、2ndで認識できた場合(ひらめき時)、③CC：1stで認識でき、2ndでも認識できた場合である

(図2参照)。これら3状態の違い、特に②の状態に着目して解析を行う。

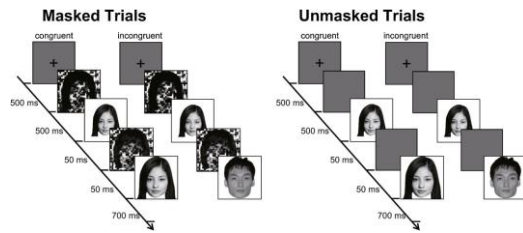


図 3：プライミングタスク

解析においては、事象関連電位およびウェーブレット解析による時間・周波数解析を行うとともに、部分有向コヒーレンス (partial directed coherence: PDC) 解析を行う。この手法は、従来の位相同期解析などでは得られなかった方向性を持った領域間結合を示すことができ、脳内ネットワークの因果解析に有効である。また、dynamic imaging of coherent sources (DICS) 法を用いて、答えとなるグレー画像を見た時の認知状態により異なる部位を特定した。

(2) tDCS を用いたプライミング効果実験

さらに、閼下状態において、前頭前野の意味処理が行われるかどうかを tDCS と脳波を用いて調査した。閼下刺激の視覚処理は閼下 priming 効果から観測可能であることを利用し、tDCS の陰極を用いて前頭前野を抑制した時の閼下 priming 効果の変化を観測した。前頭前野の意味処理が閼下処理に関係していなければ、前頭前野の脳活動が電気刺激によって変化しても、閼下処理を反映する priming 効果は変化しないと仮説を立てた。

一つは Masked (prime が閼下刺激) のタスク、もう一方は Unmasked (prime が閼上刺激) のタスクとなっている (図 3)。Masked と Unmasked のタスク順番は被験者間でバランスよくランダムに設定した。一つのタスク内では prime-target が有名人顔 (congruent, incongruent) 又は無名人顔 (congruent, incongruent) の試行が同じ割合で行われた。セッション 1 開始前に 20 分間 tDCS

(Eldith DC-stimulator PLUS、neuroConn 製) を用いて実際の電気刺激 1mA (real tDCS)

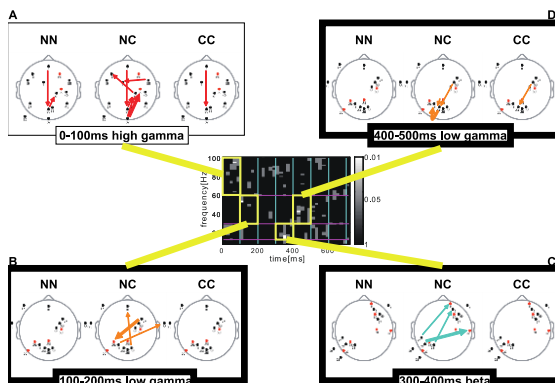


図 4：脳内結合の状態遷移

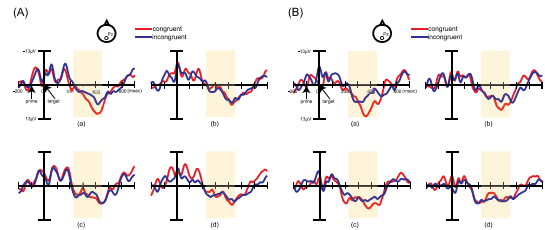


図 5：プライミング効果の消滅

を与えるか実際に効果がない見せかけ刺激 (sham) を与えた。一人の被験者は 2 日をかけて (最低 2 日間離れた日に) sham 刺激の実験と real tDCS の実験を両方行った。

4. 研究成果

(1) 隠し絵を用いた脳波実験

脳活動の因果関係を調査した結果、状態遷移が生じる脳内の時間的なダイナミクスを明らかにした。まず、腹側の視覚処理経路で形成されるボトムアップ処理の促進、次に物体構成時に必要な腹側の視覚処理系と意思や記憶などに関連する前頭領域とのトップダウン処理が行われ、その後、二値化画像の記憶と現在のグレー画像の情報を統合し、その統合処理の影響を受け、活動が右側頭に生じた。そして、最後にその統合処理後の知覚表象を形成するために後頭部で活動が生じた (図 4)。このような一連の状態遷移が明らかになり、その一連処理の中でも左右側頭の因果関係がひらめきや洞察の重要な要素であることが示唆された。答えとなるグレー画像を見た時の脳波が認知状態によりどう違うかを調べた結果、脳波ベータ帯に有意な差があり、その差のもととなる脳領域を、信号源解析を用いて調べると、後頭・頭頂領域であることが分かった。

まず、はじめに腹側視覚経路での処理の促進、前頭からの視覚情報の補助、情報の統合処理と感情処理、そして最後に表象形成が行われると考えられる。その中でも、左右半球の情報の流れは通常の視覚経路では生じない活動であり、左側頭で以前に呈示した白黒画像とグレー画像の統合処理が行われ、その影響を受け右側頭においてひらめきや洞察に関係する感情処理が引き起こされたと考えられる。また過去の研究においても、ひらめきや洞察などの創造的思考には複数のコンポーネントが必要でありさまざまな脳領域のネットワーク形成が重要だといわれており、この左右の因果関係がひらめきや洞察の重要な要素であることを示唆する結果となった。

(2) tDCS を用いたプライミング効果実験

被験者 14 名のうち 3 名は Visibility Test で Masked 試行の prime が知覚できたと判断されたため、解析対象から除去した。

また、1名はアーチファクト除去後の試行数が半分未満になったため、解析対象から外した。残り10名の被験者の頭頂部Pzにおける被験者間総加算平均脳波を図5に示す。閾下の場合、図5(A)の(a)~(d)のうち、(a)の場合のみcongruentとincongruentの条件間でLPCの振幅に違いが認められた(sham条件の下で、masked&familair条件でcongruencyの単純主効果が $F(1,36) = 20.69, p < 0.001$)。(a)、(b)よりtDCSからの刺激がない時、閾下状態では有名人顔の場合のみpriming効果があると見られ、Hensonら(2008)の先行研究を再現できた。次にtDCSによる前頭前野の抑制効果を検討する。有名人顔の場合は(a)、(c)よりtDCSを用いて前頭前野を抑制することによって(c)ではpriming効果が消滅した。これは、primingの原理より閾下の先行刺激の影響がなくなったと考えられ、前頭前野を抑制することによって閾下処理が抑制されたと考えられる。一方、(b)、(d)から無名人顔の場合はtDCSあり・なしの条件間で変化がなかった。これは、閾下状態で無名人顔の意味処理は行われないため、前頭前野を抑制しても閾下処理を反映するpriming効果には変化が生じなかったと考えられる。tDCSと組み合わせた実験では、LPC結果より、tDCSの電気刺激がない場合Hensonら(2008)の先行研究と同様な結果が得られ、閾下状態では有名人顔のみpriming効果が確認できた。

tDCSの電気刺激を用いて前頭前野を抑制した時、閾下primeの場合に有名人顔のpriming効果が消滅した。以上をまとめると、有名人顔において閾下priming効果が前頭前野の抑制によって消滅したことから、閾下処理は前頭前野の抑制によって抑制されたと考えられる。よって、閾下処理においても前頭前野の意味処理が行われると推測された。

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5件)

1. Kongthong, N., Minami, T. and Nakauchi, S. (2013), Semantic processing in subliminal face stimuli: An EEG and tDCS Study, Neuroscience letters, 査読有, Vol. 544 No. 7, pp141-146
2. Hashimoto, Y., Minami, T. and Nakauchi, S., Electrophysiological differences in the processing of affect misattribution, PLoS ONE 7(11): 査読有, e49132 (2012)

3. 南哲人, 井上康之, 長谷川良平 (2012), ニューロコミュニケーターシステムにおける性能向上の試み, 日本感性工学会論文誌, 査読有, Vol. 11 No. 4 pp. 509-518
4. Nakajima, K., Minami, T. and Nakauchi, S. (2012), The face-selective N170 component is modulated by facial color, Neuropsychologia, 査読有, Vol. 50 No. 10, pp. 2499-2505
5. 横田悠右, 南哲人, 中内茂樹 (2011), 聴覚-視覚ブライミング及び不自然な視覚刺激が脳波事象関連電位及びガンマ帯振動に与える影響, 電子情報通信学会論文誌 D, 査読有, Vol. J94-D, No. 9, pp. 1579-1588

[学会発表] (計5件)

1. Minami, T., Changvisommid, L., Nakajima, K., Nakauchi, S., Facial color and inversion effects on N170 ERP component, The 18th International Conference on Biomagnetism (BIOMAG2012, Paris, France) (2012/8/26-30)
2. Nakajima, K., Minami, T., Nakauchi, S., Brain regions sensitive to the facial color processing: an fMRI study, The 18th International Conference on Biomagnetism (BIOMAG2012, Paris, France) (2012/8/26-30)
3. Minami, T., Inoue, Y. and Hasegawa, R. Efficient and fatigueless methods of presenting visual stimuli for neurocommunicator system, International Society for Neuroimaging in Psychiatry (ISNIP2011, Heidelberg, Germany) (ISNIP membership award) (2011/9/7-10)
4. Yokota, Y., Minami, T. and Nakauchi, S. The effects on EEG's beta band activity of perceptual rivalry in bistable figures, International Society for Neuroimaging in Psychiatry (ISNIP2011, Heidelberg, Germany) (2011/9/7-10)
5. Hashimoto, Y., Minami, T. and Nakauchi, S. Electrophysiological differences in the processing of affect misattribution, International Society for Neuroimaging in Psychiatry (ISNIP2011, Heidelberg, Germany) (2011/9/7-10)

[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

6. 研究組織

(1) 研究代表者

南 哲人 (Tetsuto Minami)

豊橋技術科学大学・エレクトロニクス先端

融合研究所・テニユアトラック准教授

研究者番号：70415842