

# ビジュアルアナロジーを用いたデザイン時における脳活動解析

Effects of Visual Analogy in Design Task on Brain Functional Connectivity Related to Creative Thinking

前田健太郎<sup>1)</sup> 加藤健郎<sup>2)</sup> 上田一貴<sup>3)</sup>

Maeta Kentaro<sup>1)</sup> Kato Takeo<sup>2)</sup> Ueda Kazutaka<sup>3)</sup>

1) 慶應義塾大学大学院 理工学研究科 2) 慶應義塾大学 理工学部 3) 東京大学大学院 工学系研究科

Abstract: Visual analogies are considered effective in design. In this study, we conducted a design task under three conditions: (i) no analogy, (ii) within-domain analogy, and (iii) between-domain analogy. We then analyzed functional connectivity (FC) of electroencephalography (EEG) data and compared the results with creativity scores. The analysis focused on the default Key Word: EEG, Brain Network, Visual Analogy

mode network (DMN), the executive control network (ECN) and the salience network (SN), which are thought to be related to creativity. The results suggested that a weak correlation was observed between changes in FC between the posterior cingulate cortex (PCC) and the left inferior parietal lobule (l-IPL) and creativity scores.

## 1. 緒言

アナロジーとは、「類推」や「類比」などとも呼ばれ、既知の事物(アナロジーではベースと呼ばれる)の構成要素の関係やシステムを解明したい事物(アナロジーではターゲットと呼ばれる)に移転させるプロセスである。特に、視覚的ベース(写真、スケッチおよび図など)を用いたアナロジー(ビジュアルアナロジー)は、デザインにおけるアイデア発想のために有効とされている。ビジュアルアナロジーに用いられるベースの分類尺度として、概念距離がある。概念距離とは、ターゲットとベース間の関連性の度合いを表す言葉であり、近距離と遠距離に大別される。近距離のベースは図1(a)のように、ターゲットとのドメイン類似性および構造的類似性が高いものである。一方、遠距離のベースは図1(b)のように、ターゲットとのドメイン類似性が低く、構造的類似性が高い傾向にあるものである。先行研究<sup>1)</sup>においては、近距離/遠距離のベースにおけるアイデア発想への影響解析は専門家による主観的な創造性評価に基づいて行われており、脳活動計測などの客観的な評価が期待されている。

本研究では、近距離/遠距離のベースを用いたアナロジー(近距離アナロジー/遠距離アナロジー)により得られたデザイン案の専門家による創造性評価と、デザイン時の脳活動の関係を明らかにすることを目的とした。そのために、近距離/遠距離アナロジーを用いたデザイン時の被験者の脳波を計測し、脳の活性化領域を特定するための脳波パワーと、脳領域間の機能的結合(Functional Connectivity: FC)を特定するための遅れ位相同期(Lagged Phase Synchronization: LPS)<sup>2)</sup>をそれぞれ算出する。

## 2. 脳波の計測および解析方法

### 2.1 脳波の計測方法

脳波信号はBrain Amp DCとBrain Vision Recorder(Brain Products社製)を用いてサンプリングレート500 Hzで記録した。脳波キャップ(Brain Products社製、図2(a))のアクティブ電極は、図2(b)のように、全体の31の位置に配置された。脳波データは本実験では、MATLAB 2022bとEEGLAB Version 2014.1.2bを用いてオフラインで、脳波のエポッキングなどの前処理を行った。

### 2.2 脳波データの解析

本実験では、Exact Low Resolution Brain Electromagnetic Tomography (eLORETA) Version 20221229を用いた。まず、得られた脳波から条件間で脳波パワーの差が大きい脳領域を特定した。次に、創造性に関する脳ネットワーク(Default Mode Network:

DN, Executive Control Network: ECN および Salience Network: SN)の中核である11の関心領域<sup>3)</sup>(Region of Interest: ROI)間のLPSから脳領域間の機能的結合を特定した。LPSは比較する2つの脳波を離散フーリエ変換することで得られるCoherenceの虚部を正規化した結合強度指標である。本研究では $\delta$ (0.5-3.5 Hz)、 $\theta$ (4-7.5 Hz)、 $\alpha$ (8-12.5 Hz)、 $\beta$ (13-30 Hz)および $\gamma$ (30.5-40 Hz)の5つの周波数帯域について、すべてのペアのROI間のLPSを算出した。

## 3. 異なる概念距離のベースを用いたデザイン時の脳波計測実験

### 3.1 実験方法

脳波計を装着した健康な学生24名(右利き)に3つの条件(i)ベースを与えない、(ii)近距離のベースを与える、(iii)遠距離のベースを与える)でデザインアイデア発想課題を実施させた。なお、条件(i)はアナロジーを使用しない条件としたため、最初に条件(i)を実施させた。また、条件(ii)および(iii)では、ビジュアルアナロジーを開始直前に被験者へ説明し、その上で必ず用いるよう指示した。脳波計測は、被験者がデザインアイデアを発想した瞬間を基準とし、その15秒前までを対象とした。

得られたデザイン案は、専門家(経験年数5年以上のデザイナー)5名に、創造性に関する6項目<sup>4)</sup>の評価をさせた。それぞれの項目は、項目1:新奇性(novelty)、項目2:使いやすさ(usability)、項目3:実現可能性(feasibility)、項目4:美しさ(aesthetic)、項目5:全体的な価値(value)、項目6:全体的な創造性(creativity)である。なお、評価は5段階のリッカート尺度を用いて行い、評価値は、「1:全くない、2:ない、3:どちらでもない、4:ある、5:とてもある」の5つとした。

### 3.2 実験結果および考察

脳波計測実験で得られた条件ごとの脳波パワーの大小関係、FCの大小関係、得られたデザイン案の創造性評価および創造性評価とFC変化の相関分析の結果を、図3(a)、図3(b)、図4(a)および図4(b)にそれぞれ示す。

図3(a)より、遠距離アナロジーを用いる条件の方が、ベースを与えない条件よりも、 $\delta$ 帯域における前帯状皮質(Anterior Cingulate Cortex: ACC)および後帯状皮質(Posterior Cingulate Cortex: PCC)を有意に活性化させた。ACCは、自身でも予期し得ないような新奇性の高い内容を着想した際に活性化し、PCCは過去の出来事を思い出したり、未来を想像したりする際に活性化する<sup>5)</sup>。遠距離アナロジーではターゲットとの関連性が希薄であり、アイデアを生成する際にはさまざまな過去の経験を想起した

