

論説

デザイン研究における生理学的アプローチの動向と課題

八重樫 文*
永 盛 祐 介**
後 藤 智***
安 藤 拓 生****
張 雪 瑩*****
三 好 春 陽*****

要 旨

本稿では、デザイン研究における生理学的アプローチ（認知神経科学研究）の動向と課題について検討することを目的に、6篇の論文の内容精査を行った。そこから、(1)分析対象としているデザイン行為（実験タスク）、(2)採用している方法論、という2つ観点を設定し、さらなる考察を行っている。

(1)の観点から6篇の論文を見ると、①デザインと問題解決とのタスクを分け比較した研究、②デザイン（とされる）行為における創造性および創造的プロセスに注目した研究、の2つに大別できる。①では、先行研究により明確に差別化されたデザインと問題解決との定義のもとに実験タスクが設定されているが、デザイン行為の捉え方にはまた別のディスコースが複数存在することに注意が必要となる。本稿では、八重樫・安藤（2019）が整理したデザイン理論に関わる5つのディスコースを示し、これらに基づく実験タスクが検討された研究はまだほとんどなく、今後の研究課題となることを指摘した。前述②は、創造性の客観的評価指標が先行研究の積み上げにより明確になり、デザイン行為における創造性の側面が認知神経科学観点から多角的に明らかになってきた成果と捉えられる。反面、デザイン行為の能力的・認知的な構成要素として、創造性以外の要素が評価指標を伴って整理されていないことが伺える。前述の5つのディスコースにおいても、これらが人のどのような振る舞いとして現れるのかはまだ十分に明らかにされていない。

一方で、(2)の観点から6篇の論文を見ると、評価技術の発展を理解することができる。よって、本稿の検討より、現在、デザイン研究における生理学的アプローチを進める際には、デザイン行為を計測・評価する技術的な課題よりも、計測・評価対象としてのデザイン行為をどのように定義し統制するかということが大きな課題となっていることが明らかにされた。

キーワード：デザイン研究 デザイン学 デザイン行為 生理学的アプローチ 認知神経科学

* 立命館大学経営学部 教授
** 東京都市大学デザイン・データ科学部 准教授
*** 立命館大学経営学部 准教授
**** 東洋学園大学現代経営学部 准教授
***** 立命館大学大学院経営学研究科 博士課程後期課程
***** 立命館大学大学院経営学研究科 博士課程前期課程

- I. はじめに
- II. デザイン研究における生理学的アプローチの動向
 1. Alexiou, Zamenopoulos, Johnson, and Gilbert (2009). "Exploring the neurological basis of design cognition using brain imaging: some preliminary results."
 2. Kowatari, Lee, Yamamura, Nagamori, Levy, Yamane, and Yamamoto (2009). "Neural networks involved in artistic creativity."
 3. Kleinmintz, Ivancovsky, and Shamay-Tsoory (2019). "The two-fold model of creativity the neural underpinnings of the generation and evaluation of creative ideas."
 4. Mayseless, Hawthorne, and Reiss (2019). "Real-life creative problem solving in teams: fNIRS based hyperscanning study."
 5. Nguyen, Nguyen, and Zeng (2019). "Segmentation of design protocol using EEG."
 6. Kato, Nakatani, and Ashizawa (2021). "Brain activation during sketch task for design idea generation measured by NIRS."
- III. おわりに：まとめと課題

I. はじめに

デザイン研究における今日の課題として、八重樫・磯邊・三好（2023）は「デザインと科学は大きく異なることを前提としながら、デザイン学およびデザイン研究を成立させるためには、文脈依存性と探索的な性質を強く持つデザイン実践の特徴に根ざした、デザイン研究独自の存在論・認識論・方法論の確立が必要である」ことを提起している。この3つの論の確立は一朝一夕でできるものではなく、デザインと既存の科学研究におけるアプローチの違いを丹念に検証・検討していかなければならない。

そこで本稿では、デザイン研究における生理学的アプローチに注目し、その動向と課題について検討する。まず、デザインに関わる生理学的アプローチに代表される認知神経科学研究を行うための出発点として、Hay, Duffy, Gilbert, and Grealy（2022）に基づき以下の6点を整理した。

- (1) デザイン活動中の認知に関する確実な知識が必要であるが、デザイン研究者が認知を説明するために使用するコンセプトと用語にはかなりのばらつきがあること
- (2) デザイン研究者が使用する概念や用語は、認知心理学や神経科学の存在論と一致しないことが多いこと
- (3) デザインにおける認知プロセスの存在論を構築する必要があること
- (4) 異なるデザイン活動、異なるデザイナー（専門家と初心者を含む）、異なるデザインドメイン（製品デザイン、エンジニアリングデザイン、建築デザインなど）における脳の活性化に関する初期見解を提供するために、さらなる探索的研究が必要であること
- (5) デザインに関する認知神経科学研究のための新しいアプローチを開発し、試験的に行うための探索的作業を実施していくこと
- (6) デザイン研究者と認知神経科学者とのコラボレーション、広いコミュニティでの学習の促進、知見をオープンに共有する環境づくりが必要であること

これらを踏まえて実践的な研究を進めるべく、筆者らはデザイン研究における生理学的アプローチについて検討するための研究プロジェクトを組織した¹⁾。上述の(1)(2)については、この研究プロジェクト内での組織的な学習活動によって獲得することを目標とする。(3)(4)(5)については、実際にデザインの生理学的評価プロジェクトを実践することで、各知見を構成・構築していくことを計画する。(6)については、本研究プロジェクトの発展的目標として捉えている。

本稿では、このような研究プロジェクト実践の礎をつくるべく、プロジェクト内での内容精査に基づいた6篇の論文を取り上げ、①分析対象としているデザイン行為（実験タスク）、②採用している方法論、の観点から整理することで、デザイン研究における生理学的アプローチの動向と課題について検討を行う。

II. デザイン研究における生理学的アプローチの動向

1. Alexiou, Zamenopoulos, Johnson, and Gilbert (2009). “Exploring the neurological basis of design cognition using brain imaging: some preliminary results.”

この論文では、デザイン研究における脳機能イメージングの潜在的な役割を探るために、デザイン思考と認知神経科学による学際的研究が行われている。

これまで、デザインの生物学的・神経学的基盤に触れた研究はほとんどなく（Goel and Grafman, 2000; Vartanian and Goel, 2007）、芸術における創造性や美学に焦点を当てた神経学的研究は行われてきた（Martindale *et al.*, 2007）一方で、デザインを明確な認知現象として特徴づける研究は未だ少ないことが指摘されている。このような状況に至った理由として、これまでこのテーマにアプローチするためのツールが不足していたことを挙げられる。そこでこの論文では、デザイン思考と認知神経科学の関係を整理し、機能的磁気共鳴画像法（fMRI）を用いた実験手順によって、デザイン研究における脳イメージングの潜在的な役割を明らかにしている。

認知神経科学の研究は、主に次の2つのタイプに分けられる。①脳障害や発達障害を持つ人々を対象とし、認知プロセスや特定の脳領域の機能を明らかにする研究、②一般集団を対象とし、特定の認知課題を遂行する際の脳活動を観察し、その活動の相関関係を明らかにする研究、である。これらの研究では、主に脳画像法が用いられており、そのうちこの論文で採用されたfMRIは、神経の活性化に伴う血中酸素濃度の変化を捉えることができるため、認知科学や特に関連性の高い脳領域の特定に焦点を当てた関連研究にとって新しく有望な研究手段である。

fMRI研究は、特に脳内プロセスの空間的構成を調べるのに適している。脳内プロセスの空間的構成は認知機能の基礎となっている。これによって、計画、問題解決、創造的思考などの際に脳のどの領域が機能しているかを明らかにすることができ、デザイン認知の特徴を解明す

ることで、デザイン理論に新たな貢献ができる。

この論文では以上のような背景から、デザイン時に異なる脳領域が果たす役割や関係性を理解するために、18名の実験参加者に対して、デザイン課題と問題解決課題を実施し、fMRIを用いて脳血流活動を観察した。この実験では、被験者にfMRIスキャナーを装着した状態で、デザインと問題解決という2つの異なる課題が課せられた。

2つの課題は、「家具の配置」という同様のテーマでその指示が異なるものだった。デザインと問題解決の2つの課題の検証は「家具の配置」という同じ状況で行った。同じ「家具の配置」という目標に対して、指示は異なる。デザイン課題では「気持ちよい部屋にせよ」という指示が与えられ、決められた最終状態や課題の終了を決定する基準がなく、問題と解の空間を自身で定義する必要がある。

一方で、問題解決課題は「デスクを窓の下に配置せよ」という指示が与えられ、合理的な手順と課題の終了を決定する基準が与えられている。問題解決課題においても、創造的思考や仮説形成あるいは帰納的推論が必要になることがあるが、問題自体はそこで明確に定義されており、手順は既知であり解は一意のものとなる（すなわち、等価な解の一意的な集合が存在する）。

分析の結果、デザイン課題を理解し解決する活動には、問題解決課題に関与する神経ネットワークよりも広範なネットワークが関与していることが示唆された。そしてこのネットワークには、背外側前頭前皮質（DLPFC）、前帯状皮質（ACC）の背側領域、内側側頭葉と内側前頭回の領域が組み込まれていることが明らかになった。

最後に、この研究の次のステップとして、特定の脳領域の活性化だけでなく、領域間の相互作用や機能的つながり、特にDLPFCとACC間の相互作用を考慮する研究が必要であることが示されている。さらに、将来的には脳波検査（EEG）データとfMRIデータの統合によって、複雑なネットワーク構造を持つデザインの認知と創造性の解明に貢献すると考えられている。

2. Kowatari, Lee, Yamamura, Nagamori, Levy, Yamane, and Yamamoto (2009). "Neural networks involved in artistic creativity."

この論文では、創造性を「確立された思考習慣を打ち破ることによって、独創的で斬新なアイデアを生み出す個人の能力」と定義している。しかし、このような創造的思考の基礎となる脳のメカニズムについての研究はまだ少ない。

これまでの研究における大脳半球優位性に基づく評価では、結果が矛盾することがあることが指摘される。その矛盾の理由として、各研究で使用された創造的なタスクの違いが挙げられている。言語要素を含む創造的なタスクでは、言語要素を含まない芸術的創造性に関わるタスクよりも、複雑なネットワークと情報処理が活性化されることが考えられるからである。

以上を踏まえこの論文では、芸術的創造性を言語的創造性とは別に測定し、創造的思考の基盤となる脳メカニズムを解明する。この目的のために、被験者に対して「新しい道具（ペン）

をデザインする」という芸術的課題タスクを与え、fMRIで測定した脳活動と組み合わせた分析をしている。

得られたデータは、デザインに関する正式なトレーニングを受けた被験者（デザイン専攻の学生：男性8名、女性12名）と、デザイン初心者の被験者（男性8名、女性12名）の2つのグループ間で比較された。比較基準に関しては、生成、操作、認識（generation, manipulation, and recognition）という創造性の3つの指標と、被験者のタスクに使用された写真と新しいデザインがどの程度独創的であるかに応じて、作品を1から10の「オリジナリティスコア（Originality Score, 略称 OS）」のスケールによって被験者個人の創造性を定量的に評価した。

さらに、より客観的な比較を行うため、単一の新しいデザインに対する4人の審査員の平均スコアが「新しいペンのデザインの独創性スコア」（OSpen）として設定され、新たに、①被験者が達成した最高のOSpenスコア、②被験者が作成したデザインの数、③個々の被験者の独創性スコア（作成されたデザインそれぞれのOSpenスコアの合計点）という独創性に関する3つの指標が定義された。これらの総合結果から、デザイン専攻の学生が初学者よりも独創性指標のスコアが高いことが検証された。

この実験を通して、論文では創造性の3つの指標と脳の活性化パターンとの相関関係が明らかにされた。結果、デザイン専攻学生グループにおける創造性は、左前頭前野に対する右前頭前野の優位性の度合いと定量的に相関していた。これは、左右のPFC（Prefrontal Cortexの略で、前頭前野を示す）間の直接的または間接的な相互作用が、デザイン専攻の学生グループによる独創性の高いデザインの創出に貢献している可能性があることを示唆している。一方、初心者グループでは、創造性との負の相関のみが両側の下頭頂皮質で観察された。これは、初心者グループでは、右PFCの活動が亢進し、左PFCと右頭頂皮質の活動が抑制されている可能性があることを示唆している。

さらに、構造方程式モデリングを用いて、デザインに関するトレーニング経験が創造性を高めるメカニズムを検討した。その結果、トレーニングが左頭頂皮質に直接的な影響を与えることが予測された。さらに、間接的な効果として右前頭前野の活動が亢進し、左前頭前野と右頭頂皮質の活動が抑制された。以上の結果から、トレーニングが再組織化された皮質間の相互作用を介して創造性を高めるといふ仮説が裏付けられている。

3. Kleinmintz, Ivancovsky, and Shamy-Tsoory (2019). “The two-fold model of creativity the neural underpinnings of the generation and evaluation of creative ideas.”

この論文では、専門知識やエンカレッジーション（その社会の文化を学び、実践すること）が、創造性にどのような影響をどのように与えているのかを明らかにしている。そのためこの研究では、近年のニューロイメージングの知見を統合し、創造性の二重モデルを拡張したモデルを構築している。

創造性は、アイデアの創出（generation phase）とアイデアの評価（evaluation phase）の2つ

のプロセスから構成されていると考えられるようになっている (Runo and Acar, 2012)。神経画像研究では、アイデアの創出フェーズは、「デフォルトモード・ネットワーク (DMN: Default Mode Network)」によって媒介されることが明らかにされている (Beaty, Benedek, Silvia and Schacter, 2016)。このネットワークには、内側前頭前皮質 (mPFC: medial Prefrontal Cortex)、後帯状皮質 (PCC: Posterior Cingulate Cortex)、右の側頭頭頂接合部 (TPJ: Temporo-Parietal Junction) などの正中線前方から後方にかけての領域が含まれている。DMN は、発散思考タスク、マインドワンダリング、未来思考、記憶検索、意味統合などに関与しており、アイデアの創出の基盤を成していると考えられている (Volle, 2018; Zabelina, and Andrews-Hanna, 2016)。

このように、アイデア創出において活性化されている脳の領域には、前頭葉から頭頂葉にかけての領域が含まれていることから、創造性に実行制御のプロセスが関与していることが示唆される。この実行制御に関わる前頭前野の領域を合わせて「実行制御ネットワーク (ECN: Executive Control Network)」と呼び、様々な神経活動と関係している (表 1)。

先行研究では、ECN のうち特に抑制に関わる部位が損傷していると、創造的生産が増加することが明らかにされている (Maysless, Aharon-Peretz, and Shamay-Tsoory, 2014)。その一方で、抑制は、創造的でないアイデアの排除に影響していることも明らかになっており、ECN 関連領域への神経刺激は、活動や成果の創造性を増減させる (Chryssikou, 2018; Ghanavati, Nejati, and Salehinejad, 2018)。このように、アイデア創出のプロセスにおいて、ECN の働きは非常に重要である。

一方で、創造性における評価の重要性が近年注目され始めている。Benedek, Nordtvedt, Jauk, Koschmieder, Pretsch, Krammer, and Neubauer (2016) では、一般的なアイデア、不適切なアイデア、創造的なアイデアを区別する能力が、創造的な成果と正の相関を有することが明らかにされている。また、厳しい評価が創造性を阻害する可能性があることも明らかにされている (Kleinmintz, Goldstein, Maysless, Abecasis, and Shamay-Tsoory, 2014; Maysless *et al.*, 2014)。これは、アイデアの評価フェーズにおいて、新規性はあるものの不適切な (適切性が低い) アイデアであるとして抑制されるアイデアが増えると考えられるためである。

さらに近年の研究において、専門知識やエンカルチュアレーションのような環境的要素が、創造性の個人差に影響を与えていることが明らかにされている (Agnoli, Zanon, MASTRIA, Avenanti, and Corazza, 2018; Rosen, Erickson, Kim, Mirman, Hamilton, and Kounios, 2016; Ivancovsky, Kurman, Morio, and Shamay-Tsoory, 2019a)。これまでこの論文で行われてきた検討を踏まえると、これらの環境的要素が創造性の評価のフェーズに影響を与えることで、創造性に個人差が生じていると説明することができる。

Kleinmintz *et al.* (2014) は、音楽の即興に関する能力と発散思考タスクにおける独創性のスコアとが相関しているという事実が、創造性における甘い評価と関連していることを示している。同様に、エンカルチュアレーションについても評価のフェーズに影響を与え、結果として創造性・創造的なアウトプットに影響を与える可能性があることが示されている。

Ivancovsky, Shamay-Tsoory, Lee, Morio, and Kurman (2019b) では、韓国人と日本人は、イスラエル人よりも評価が厳しく、創造性が低いことが示されている。評価時に韓国人はイスラエル人と比較すると、下前頭回（IFG：Inferior frontal gyrus）の活動が活性化していたことが観察された。IFG は ECN の一部であり、アイデアを生み出す際の抑制的な制御に関与している。Ivancovsky, Kleinmintz, Lee, Kurman, and Shamay-Tsoory (2018) では、アイデアの生成と選択を行っている間、韓国人のグループでは左 IFG（ECN）の結合性がその他の ECN 領域と関連していたのに対して、イスラエル人のグループでは DMN と関連していた。この他にも先行研究において、創造的プロセスの成功は、DMN と ECN の結合の強さと関連していることが明らかにされている（Beaty, Benedek, Silvia, and Schacter, 2016）。

Benedek *et al.* (2016) では、アイデアを採用するための評価には、新規性と適切性という2つの指標で判断が行われていることが示されている。さらに、同研究では新規性と適切性の判断の厳しさや比重は、文化的影響によって変化することが示唆されている。また、Huang, Tang, Sun, and Luo (2018) では、新規性と適切性、それぞれの判断を行う際に活性化している神経基盤が明らかにされている。まず、新規性の評価は、左右の背外側前頭前野（DLPFC：Dorsolateral Prefrontal Cortex）と TPJ の活性化と関連している。これは、新規性の評価が認知的制御過程と関連していることを示唆しており、モニタリングと呼ばれている（Meltzer, 2018）。

次に適切性は、眼窩前頭前皮質（OFC：Orbitofrontal Cortex）、TPJ、PCC、扁桃体、腹側線条体、海馬と関連している。これは、感情的および動機的なプロセスに関連していることを示唆しており、価値の評価と呼ばれている（Sowden, Pringle, and Gabora, 2015）。このモニタリングと価値の評価は、それぞれ、創造的特性の認知的評価に基づく意図的選択とアイデアの直感的かつ動機的な価値に基づく直感的選択とすることができる。先行研究では、直感的選択と意図的選択のバランスは創造的なアイデアを選択・採用できるかどうかに関与していることが明らかにされている（Eling, Langerak, and Griffin, 2015）。

以上の検討に基づき、この論文では創造性の二重性モデルが図1のように示されている。このモデルでは創造性における評価は、モニタリング、価値の評価、選択・採用の3つからなる複雑なプロセスとして描かれている。環境的要素は、アイデアの評価における価値の評価とモニタリングとのバランスを変化させることを介して創造性に影響を与えている。そしてモニタリングと価値の評価のバランスの変化は、DMC と ECN の結合の強さが環境的要素に影響を受けることに由来すると考察されている。

表1 ECNに含まれる領域と神経活動
(Kleinmintz, Ivancovsky, and Shamay-Tsoory (2019) より筆者作成)

領域	神経活動
下前頭回（IFG：Inferior Frontal Gyrus）	抑制
背外側前頭前野（DLPFC：Dorsolateral Prefrontal Cortex）	ワーキングメモリ
内側前頭前皮質（mPFC：medial Prefrontal Corte）	エラー検出
側頭頭頂接合部（TPJ：Temporo-Parietal Junction）	アップデート

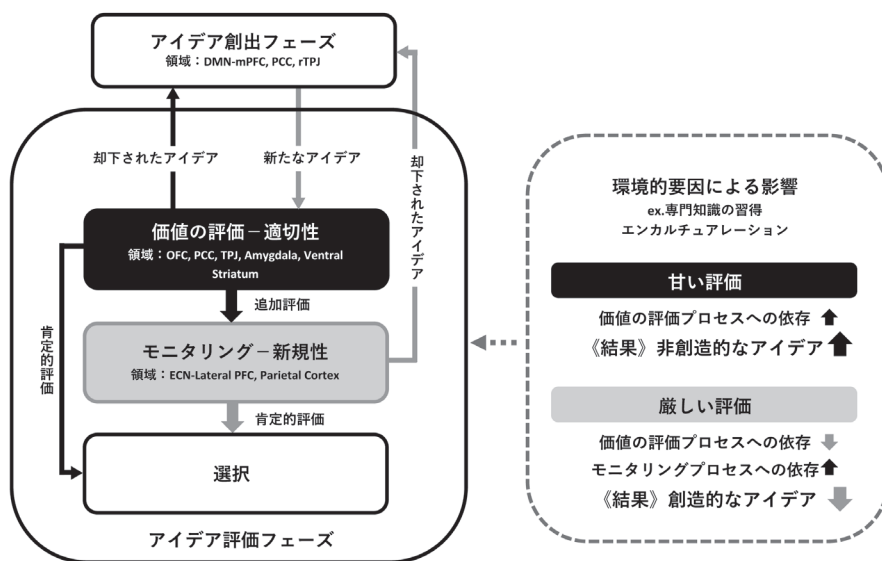


図1 創造性の二重性モデル

(Kleinmintz, Ivancovsky, and Shamy-Tsoory (2019) より筆者作成)

4. Maysless, Hawthorne, and Reiss (2019). "Real-life creative problem solving in teams: fNIRS based hyperscanning study."

この論文では、チームによる協働と創造的成果との関連が明らかにされている。そのため、自然な問題解決状況におけるイノベーションのプロセスについて、機能的近赤外分光法 (fNIRS: functional Near-Infrared Spectroscopy) を用いて、脳間同期 (IBS: Inter-Brain Synchrony) の分析を行っている。

創造性は、チームが革新的なアイデアを生み出す能力として注目されるようになっている (Baruah and Paulus, 2009)。しかし、創造的なチームワークがタスクの結果に実際にどのように貢献し、影響を与えるのかを明示的に示す脳科学的な研究は不足している。

技術的な問題として、これまでは複数人の相互作用を神経画像として捉えることが難しく、創造的なチームの相互作用性の研究は困難であった。しかし、複数の被験者の脳活性化を同時に捉える方法として「ハイパースキャン」という技術が開発され、近年は複数人間の相互作用をより現実に近い状態で分析することが可能になっている。このような技術の発展の一方で、実験で使用されるデザインタスクは、依然として現実に近いとはいえないものが採用され続けている。

ハイパースキャンを用いた先行研究において、IBSに関与している2つの主要なニューラルネットワークが明らかにされている。

①ミラーニューロンシステム (MNS: the mirror neuron system):

下前頭回 (IFG)、下頭頂小葉 (IPL)、上側頭回 (STG) —他人の行動や動きを観察することや模倣することに関与

②メンタライジングシステム（MS：the mentalizing system）：

側頭頭頂接合部（TPJ：Temporo-parietal junction）、前頭前皮質（PFC：prefrontal cortex）—ジェスチャー、行動、表情に基づいて他者の意図や感情を理解しようとすることに関与

しかし、これまでIBSと「協力」の行動指標との関連を直接評価する研究や、IBSの時間的な動きを分析する研究は行われてきていない。以上から、この研究では、チームワークがイノベーションプロセスの創造的な成果にどのように影響しているのかを、IBSと協力の行動指標とを用いて、脳科学ベースで明らかにするものとして設計されている。そのとき、被験者が経験するタスクやチームワークはより自然で現実に近いものになるように設計された。

実験は、Lu, Xue, Nozawa, and Hao (2019) や Xue, Lu, and Hao. (2018) と同様に、2人組のチームでタスクに取り組むものである。タスクは、創造的なタスク（オープンエンドな製品デザイン）と非創造的なタスク（規定された3Dモデル構築）の2つがあり、被験者たちはその両方に取り組んでいる。IBSは、同チームの2者間のタスク中のNIRS信号を、ウェブレット（振幅二乗）トランスフォームコヒーレンスを解析することで計算されている。これは、各関心領域（ROI）について、同グループのもう一人の同ROIを除いた全てのROIに対して、セッション全体（10分）と2分単位のそれぞれで計算されている。「協力」の行動指標は、被験者のセッション後の評価やテストと、後からセッションの様子をビデオでみた外部評価者による「協力の程度」「一方的な優位性」の評価が用いられている。

以上の実験と分析から、以下の3つのことが明らかにされている。第一には、MNS間のIBSについてである。下前頭回（IFG：Inferior Frontal Gyrus）と上側頭回（STG：Superior Temporal Gyrus）というMNS間のIBSがタスク中に増加していた。このIFGとSTG間のIBSは、創造的なタスクと非創造的なタスクとの間に大きな差はなかった。そこでこの論文では、MNS領域内の増加がチームのコミュニケーションと協力と関連するものであり、必要とされる創造性の程度とは関係がない可能性があるとして指摘している。また、このIBSの増加は、最終成果の独創性と負の相関があることが明らかにされている。お互いに相手を観察し模倣することによってチームでの作業に適応しようとする、潜在的な創造性が低下する可能性が示唆されている。

第二には、認知的制御領域とMNS領域・MS領域のIBSについてである。この研究においてROIの1つとなっている前頭前皮質前部（aPFC：Anterior Prefrontal Cortex）は、背外側前頭前野（DLPFC：Dorsolateral Prefrontal Cortex）の一部である。DLPFCが司る機能の一つとして、社会的状況における感情の制御があることが明らかになっている。この研究ではaPFCがMNS領域の上側頭回後部（pSTG：Posterior Superior Temporal gyrus）とMS領域の側頭頭頂接合部（TPJ）の双方と同期していることが観察されている。そこでこの論文では、チームメンバーが①制御と②模倣/感情伝播という2つのプロセスを同期する能力に、チームメンバー間の協力が依存している可能性を指摘している。特に、TPJとaPFC間のIBSは、非創造的なタスクに従事している時と比較して、創造的なタスクに従事している時に大きいことが観察され

ている。そのため、創造的な協力は、TPJ (MS 領域：感情の伝播) と制御のプロセスを同期させるチームメンバーの能力に依存している可能性が指摘されている。

第三に、IBS の時間的なダイナミクスについての発見がある。これは、創造的な協力に関する IBS の時間的な変化として分析されている。そこで、前述において創造的な協力に関係している可能性が指摘された TPJ と aPFC 間の IBS に注目すると、課題が進行するにつれて IBS が減少する傾向が観察されている。一方で、外部評価者によって評価された協力は時間とともに増加している。これは、タスクが進むにつれて、チームメンバーは認知的制御の調整に依存せずとも、よりよい協力ができるようになっていることの示唆である。もっとも、この実験では、被験者たちは同じチームのメンバーと互いに完全に初対面であったことを留意しておかなければならない。このことはチームの親密性が協力と密接に関わっている可能性を示すものであると指摘されている。

以上のようにこの論文では、創造的な成果に繋がるチームの協力の成功は、認知的制御と社会感情プロセス（相手が感じていることを経験したり、感情や意図を推測したりすることを含む）との相互作用と密接に関係していることが示唆されている。論文ではこの示唆を図2のようなモデルとして整理している。研究の限界として、脳の左半分のみ注目となっていることに言及しており、より広範囲に及ぶ研究と、異なる ROI に焦点を当てた研究の必要性を指摘している。また、この研究では2人のチームにおける分析を行っているが、より複雑な社会的要素を把握するために3人以上の個人で構成されるチームにおいても検討されるべきであるとしている。

5. Nguyen, Nguyen, and Zeng (2019). “Segmentation of design protocol using EEG.”

この論文では、デザインを対象としたプロトコル分析において、脳波 (EEG : Electro Encephalo Graphy) を用いたセグメンテーションの有用性が明らかにされている。

プロトコル分析は、デザインのプロセスの認知的側面を明らかにできる分析手法として、Ericsson and Simon (1984) において用いられて以来、デザイン研究において広く採用されてきた。しかし、発話を伴うプロトコル分析にはいくつかの弱点があることも明らかになっている。

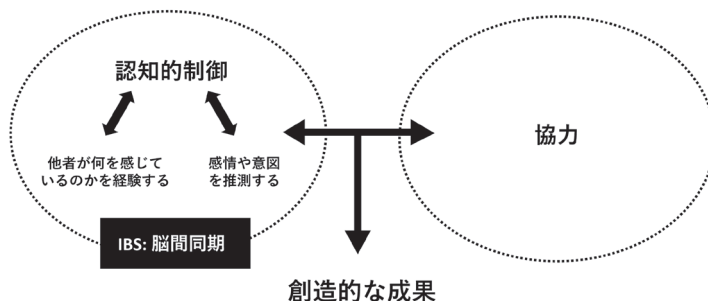


図2 創造的なチーム協力の動的相互モデル

(Mayselless, Hawthorne, and Reiss *et al.* (2019) より筆者作成)

第一に、言語化プロセスに達していない思考については明らかにできないことが挙げられる。第二に、Wilson（1984）では、同時的な発話が思考過程の順序を変えてしまうことが指摘されている。第三に、Fallshore and Schooler（1995）；Schooler, Ohlsson, and Brooks（1993）；Wilson, Lisle, Schooler, Hodges, Klaaren and Lafleur（1993）で主張されているように、言語化が被験者のパフォーマンスに影響を及ぼしてしまう点が挙げられる。また、Schooler, Ohlsson, and Brooks（1993）では、創造的思考や洞察は非言語的な性格を持っているとも述べられている。

このように、同時に発話してもらったかたちで収集したデータを用いた分析は質的な手法としては正しいものの、言語化を伴うことによって非言語的・非報告的プロセスを覆い隠してしまうのみでなく、被験者の認知プロセスを阻害したり、パフォーマンスを低下させるという弱みを抱えている。

そこで、この論文では、デザインの研究において非言語的プロセスを明らかにするための手法として EEG を用いたセグメンテーションの有用性を、複数のセグメンテーション・アルゴリズムによる分析の比較を元に明らかにしている。

EEG を利用してデザインのプロトコルを分析するためには、脳波データをセグメント化しなければならない。脳波データのセグメント化には、パワースペクトル解析のような周波数に基づくものや、マイクロステート分析のようにクラスタリングなどの手法を用いて抽出した時空間的な特徴に基づくものなどがある。

この論文では、P2ML アルゴリズムと正則化 P2ML を用いて過渡的マイクロステートに注目することで、マイクロステートに基づくセグメンテーションが提案されている。他方で、一般的な EEG 分析で用いられるパワースペクトル解析として、周波数帯域の組み合わせによって、疲労、集中、注意などの特性を明らかにすることで脳波データのセグメント化を行っている。

もっとも単純にこれらの分析方法を用いただけでは、単に脳機能イメージングがされるのみであり、デザイン・プロトコルを分析するにはセグメンテーションが細かくなりすぎてしまう。そこでこの論文では P2ML とパワースペクトルアルゴリズム、それぞれのアルゴリズムの上に解析レイヤーを構築することで、デザイン研究において意味のある方法でデザイン・プロトコルのデータを効果的にセグメント化している。

この研究では、上述の EEG を用いたデザイン・プロトコルのセグメンテーションと、専門家による手作業のセグメンテーションのそれぞれを用いて、実際の実験データの分析を行っている。実験は、被験者が複数のデザイン課題に取り組むものである。被験者には、与えられた問題を解決するためのさまざまな選択肢を提示する多肢選択問題に答えるタスク（例：公共ゴミ箱のフタの機能や位置に関する選択問題）と、スケッチを描いてデザイン課題の解決策を提示するタスク（例：歯磨き粉を一体化した歯ブラシをデザインせよ）の2種類を交互に行ってもらい、各課題の後、被験者には自分が感じた問題の難しさを評価するように求

められた。

その様子を撮影したビデオと、同時に収集されて脳波データをセグメンテーションの対象としている。領域専門家による手作業でのセグメンテーションは3人の専門家によって行われている。

EEGを用いた分析としては、この論文の筆者らによって提案されたP2MLを用いたマイクロステート分析によるセグメンテーション(1種)と脳波分析で一般的に用いられているパワースペクトル解析(8種)の9種のアルゴリズム×2種の時間幅の計18種のセグメンテーションが行われている。その上で、それぞれのセグメンテーションを比較分析することで、どのようなEGG手法が有用なのか、それはどのような有用性なのかを明らかにしている。

まず3人の専門家による分析間では偏差が小さく、手作業でのセグメンテーション間には自己矛盾が発生していないことが明らかになっている。次に、EEGを用いたセグメンテーションと専門家による手作業のセグメンテーションを比較した結果、主要なセグメントは両者で一致していたものの、EEGを用いたセグメンテーションの方がはるかに細かくセグメント化されていた。

その上でP2MLを用いたマイクロステート分析によるセグメンテーションとパワースペクトル解析によるセグメンテーションを比較すると、マイクロステートに基づくセグメンテーションの方が専門家による手作業のセグメンテーションとの偏差が小さいことが示されている。そのため、マイクロステートに基づくセグメンテーションは、手作業のセグメンテーションをベンチマークしながら、様々なデザインの動きの時間的次元を論理的な単位として適切に見えできると述べられている。

一方で、一般的なパワースペクトル解析に基づくセグメンテーションは、専門家による手作業のセグメンテーションとは偏差が大きくなっている。これは、前述のようにこの研究で用いられているパワースペクトル解析の公式が、被験者のリラクセス、集中、注意、疲労を測定するものであったためであると考えられている。これらの特性は、デザイン課題に取り組む被験者の外見の様子と必ずしも一致するものではない。そのため、パワースペクトル解析のようなEEGを用いたセグメンテーションを行う際には、手作業のセグメンテーションをベンチマークする必要がない可能性が指摘されている。

以上の結果から、この論文では、完全に自動化されているEEGに基づくデザイン・プロトコルのセグメンテーションが、専門家による手作業のセグメンテーションを補完するという点で有用であり、現実可能なアプローチであることが主張されている。

6. Kato, Nakatani, and Ashizawa (2021). "Brain activation during sketch task for design idea generation measured by NIRS."

この論文では、近赤外分光法(NIRS: Near-Infrared Spectroscopy)を用いて、デザイン活動における前頭前皮質(PFC: Prefrontal Cortex)の役割が明らかにされている。先行研究では、

デザイン活動と PFC の活性化の関連が示唆されている (Kowatari *et al.*, 2009)。しかし、デザインにおけるどのような活動が脳の活動に影響を与えているのかについては明らかにされていない。

これまでにこの論文の筆者らは、パターン生成タスクについて手書きのスケッチとコンピュータ操作によるスケッチでは、後者のほうが右前頭前皮質 (right PFC : right Prefrontal Cortex) をより活性化していることを明らかにしている (Kato, Otagiri, Nagamori, and Izu, 2018)。この賦活量の違いは、手書きかコンピュータ操作かという動作の違いではなく、アイデアを展開していく方法の違いによって生じていると考えられている。

そこで Kato, Koike, and Ashizawa (2019) では、Goel (1995) によるスケッチを用いたアイデア展開の分類に基づいてタスクを設定し、脳の活動を測定・比較している。その結果、より制約が少なく、新しいアイデアを発想し生み出すようなタスクにおいて PFC が活性化されていることが明らかにされている。しかし、この研究における脳の賦活量の違いは、デザインのアイデア創出そのものではなく、アイデアを発想する際の長期記憶の利用によって生まれていると批判される可能性がある。そのため、この論文では記憶の利用を制限した実験が設計されている。

Shealy and Gero (2019) は、NIRS を用いて、ブレインストーミング、形態学的な分析 (Morphological analyze)、発明的問題解決理論 (TRIZ) の3つのデザイン活動を行う参加者の脳の活動を分析している。その結果、ブレインストーミングではコンセプト創出が右 DLPFC を活性化しており、形態学的な分析と TRIZ では制約条件とパラメータの処理が左 DLPFC を活性化していることが明らかにされている。さらに同研究では、アイデアの収束としての意思決定においては、内側前頭前皮質 (MFC : medial Frontal Cortex) が活性化することも示されている。

また、美的評価における脳の活動についての先行研究では、美的評価が眼窩前頭前皮質 (OFC : Orbitofrontal Cortex) を活性化することが示唆されている。OFC は扁桃体と繋がっており、意思決定における感情と報酬に関連していると考えられている (Fuster, 2015)。デザインにおいても美的評価を下すことは避けられないため、OFC への注目は、デザイナーの感情を考察するために有用であるがこの論文では考えられている。

以上の先行研究に基づき、この論文では以下の3つの仮説が設定されている。

仮説1：アイデア発想のためのスケッチは、想起のためのスケッチと比較して、左右 DLPFC (アイデア発想と問題定義) と MFC (アイデアの収束) を活性化する

仮説2：アイデア発想のスケッチは、想起のためのスケッチと比較して、デザインアイデアを決定する瞬間に MFC (アイデアの収束) と OFC (アイデアの評価) を活性化する

仮説3：OFC の賦活量は、導出されたアイデアの自己評価と相関する

実験では、デザインの対象を日常的に使用している文具 (消しゴム、シャープペンシル、カッター、ハサミ、ステイプラー) とし、①デザイン対象の典型的な形状を想起するためのス

ケッチ, ②デザイン対象の新しいアイデアを生み出すためのスケッチ, の2種のタスクを被験者に課している。①想起のためのスケッチを1回, ②アイデア発想のためのスケッチを2回の計3回のスケッチを被験者は行っており, それぞれのタスクの前にはコントロールタスクが設けられている。また, タスク終了後に自身のデザインについて自己評価を課している。

実験の結果, 実験の参加者のほとんどにおいて, 想起タスクと比べて, アイデア発想タスク中に左右 DLPFC と MFC が活性化していることが観察されている。そのため仮説1については支持されている。

一方で, 仮説2については支持されていない。アイデア発想タスクにおけるデザインアイデア決定の瞬間に MFC と OFC が活性化した被験者は存在していたものの, 参加者12名のうち4名と少なく, 仮説の妥当性を確認するには至っていない。しかし, デザインアイデアの決定に際して MFC と OFC の活性化が認められた被験者では, 想起タスク中と比べて, それぞれ73%と65%も賦活量が高いことが観察されている。そのため, この研究では定性的には仮説2の妥当性が示されていると述べられている。定量的にその妥当性を示せなかった理由として, 脳血流の増加が起こる反応時間には被験者間でばらつきがあること, デザインアイデアの決定方法が多様に異なっていることが挙げられている。

仮説3についても, 支持されない結果となっている。この結果についても, 仮説2と同様の理由が挙げられているとともに, 事後の自己評価ではタスク中の感覚とは違いが生じてしまうこと, デザインの評価基準が参加者ごとに異なることが本結果の原因として考えられている。

以上のように, この論文ではデザイン活動を PFC 領域の活性化として定量的に評価できる可能性が示唆されている。一方で, NIRS を利用した PFC 測定研究の限界も示されている。デザインプロセスにおける PFC 領域の役割や機能が不明確であることや, デザイン活動が複雑かつ主観的なものであるために, NIRS による測定で統計的妥当性を確保することは困難であると述べられている。

Ⅲ. おわりに：まとめと課題

本稿では, デザイン研究における生理学的アプローチの動向と課題について検討することを目的として, ここまでに6篇の論文を取り上げ, 内容の精査を行った。これらの精査から, (1) 分析対象としているデザイン行為 (実験タスク), (2) 採用している方法論, を抽出し整理したものを表2にまとめる。

まず, 「分析対象としているデザイン行為 (実験タスク)」という観点から, 取り上げた6篇の論文を見渡すと, ①デザインと問題解決とのタスクを分け比較した研究 (Alexiou *et al.*, 2009; Maysless, Hawthorne, and Reiss, 2019; Nguyen, Nguyen, and Zeng, 2019), ②デザイン (と

表2 本稿で取り上げた論文における「分析対象としているデザイン行為（実験タスク）」と「採用している方法論」の整理（本稿での検討より筆者作成）

論文	分析対象としている デザイン行為（実験タスク）	採用している方法論
Alexiou <i>et al.</i> (2009)	被験者には「家具の配置」というテーマで、デザインと問題解決という2つの課題が課せられた。 デザイン課題は「気持ちよい部屋にせよ」という指示が与えられ、決められた最終状態や課題の終了を決定する基準がなく、問題と解の空間を自身で定義する必要がある。問題解決課題は「デスクを窓の下に配置せよ」という指示が与えられ、合理的な手順と課題の終了を決定する基準が与えられている。	デザイン課題と問題解決課題を実施し、機能的磁気共鳴画像法（fMRI）を用いて脳血流活動を観察した。
Kowatari <i>et al.</i> (2009)	被験者には「新しい道具（ペン）をデザインする」という芸術的課題タスクを与えた。	創造性の3つの指標と機能的磁気共鳴画像法（fMRI）で測定した脳活動の組み合わせによりタスクを評価した。
Kleinmintz, Ivancovsky, and Shamay-Tsoory (2019)	創造性におけるアイデアの創出（generation phase）とアイデアの評価（evaluation phase）の2つのプロセス	先行研究の検討からモデル（創造性の二重性モデル）の構築を行った。
Mayselless, Hawthorne, and Reiss (2019)	被験者は、2人組のチームで、創造的なタスク（オープンエンドな製品デザイン）と非創造的なタスク（規定された3Dモデル構築）の両方に取り組む。	機能的近赤外分光法（fNIRS）を用いて、脳間同期（IBS）の分析を行った。複数の被験者の脳活性化を同時に捉える方法として「ハイパースキャン」を採用している。
Nguyen, Nguyen, and Zeng (2019)	被験者には、与えられた問題を解決するためのさまざまな選択肢を提示する多肢選択問題に答えるタスク（例：公共ゴミ箱のフタの機能や位置に関する選択問題）と、スケッチを描いてデザイン課題の解決策を提示するタスク（例：歯磨き粉を一体化した歯ブラシをデザインせよ）の2種類を課した。	脳波（EEG）を用いたセグメンテーションの解析を行った。複数のセグメンテーション・アルゴリズムによる分析の比較を実施している。
Kato, Nakatani, and Ashizawa (2021)	デザインの対象を日常的に使用している文具（消しゴム、シャープペンシル、カッター、ハサミ、ステイプラー）とし、 ①デザイン対象の典型的な形状を想起するためのスケッチ、 ②デザイン対象の新しいアイデアを生み出すためのスケッチ、 の2種のタスクを被験者に課している。	近赤外分光法（NIRS）を用いて、デザイン活動における前頭前皮質（PFC）の役割を明らかにしている。

される）行為における創造性および創造的プロセスに注目した研究（Kowatari *et al.*, 2009; Kleinmintz, Ivancovsky, and Shamay-Tsoory, 2019; Kato, Nakatani, and Ashizawa, 2021）、の2つに大別できる。

デザインと問題解決とのタスクを比較した研究では、Alexiou *et al.* (2009) で述べられているように、デザイン行為を「決められた最終状態や課題の終了を決定する基準がなく、問題と解の空間を自身で定義する行為」、他方、問題解決行為を「合理的な手順と課題の終了を決定する基準が与えられ、問題自体はそこで明確に定義されており、手順は既知であり解は一意のものとなる（すなわち、等価な解の一意的な集合が存在する）」と捉えている。

このデザイン行為の捉え方は、Buchanan (1992) ; Rittle and Webber (1973) の主張である

「問題と解決策のどちらもが明確でない状況での問題解決行動であり、単に科学的な方法論では定義できない複雑性を持つウィキッド・プロブレム (Wicked Problem) を解決するための姿勢」, および Schön (1983) の主張である「問題状況特有の特徴を発見し、かつ内省を行いながら思考や行動パターンを変化させていく省察的实践 (Reflection-in-action)」に基づいた解釈となっている。

このような解釈に基づくことで、実験タスクとして設定するデザイン行為の定義に一定の根拠を持つことを可能にしているが、デザイン行為の捉え方についてはまた別のディスコースが存在していることに注意が必要となる。八重樫・安藤 (2019) は、これまでのデザイン研究におけるデザイン理論に関わる5つのディスコースを整理している (表3)。ここに前述の Buchanan (1992), Rittle and Webber (1973), Schön (1983) の主張も含まれるが、5つのディスコースを俯瞰的に見て比較検討することによるパースペクティブ (認識論的観点) の差異、さらに Simon (1969) の「問題解決行動としてのデザイン」をより詳細に検討しなければ、デザインと問題解決行為を簡単には切り分けできないことが理解できる。この5つのディスコースに基づく課題タスク設定が検討された研究はまだほとんどなく、今後の研究課題のひとつとして捉えられる。

研究のフィジビリティとしても、評価を可能にする技術的・分析的制約とのトレードオフにより、多義的・多様なデザイン活動を統制するためにデザイン行為の能力的・認知的分類が求められており、この5つのディスコースを参照することが参考となるだろう。この意味で、「デザイン (とされる) 行為における創造性および創造的プロセスに注目した研究」が、デザイン研究における生理学的アプローチ (ここでは認知神経科学観点) で主流となっている現状が理解できる。つまり、創造性の客観的評価指標 (人のどんな能力・振る舞いが創造的と判断されるのか) が先行研究の積み上げにより明確になってきていることで、デザイン行為における創造性の側面が生理学的観点 (認知神経科学観点) から深く・多角的に明らかになってきた成果と捉えられる。一方で、ここでも同様に、多様なデザイン行為のうち創造性の側面しか評価されておらず、他の側面からの評価が行われていないという課題として捉えることもできる。

この課題は、デザイン行為の能力的・認知的な構成要素として、創造性以外が評価指標を伴って整理されていないこと、またそもそも構成要素自体が十分に整理・検討されていないことに起因するものと考えられる。表3の5つのディスコースにおいても、これらが人のどのような振る舞いとして現れるのかはまだ十分に明らかにされていない。これが、「技術の発展の一方で、実験で使用されるデザインタスクは、依然として現実に近いとは言いがたいものが採用され続けている」 (Maysless, Hawthorne, and Reiss, 2019) と指摘されているように、デザイン研究における生理学的アプローチを進める際に大きな壁となっている現状がある。

技術の発展は、「技術的な問題として、これまでは複数人の相互作用を神経画像として捉えることが難しく、創造的なチームの相互作用性の研究は困難であった。しかし、複数の被験者の脳活性化を同時に捉える方法として『ハイパースキャン』という技術が開発され、近年は複

数人間の相互作用をより現実に近い状態で分析することが可能になっている」（Mayseless, Hawthorne, and Reiss, 2019）と指摘されるように、取り上げた6篇の論文が「採用している方法論」からも技術の発展をよく理解することができる。つまり、デザイン研究における生理学的アプローチを進める際の課題として、デザイン行為を計測・評価する技術（スキャニングツールおよび分析方法論を共に意味する）よりも、計測・評価対象としてのデザイン行為をどのように定義し統制するか、ということが大きく横たわっていることがわかる。

これらの課題に取り組むために、本稿「はじめに」において Hay *et al.* (2022) に基づき整理した6点のうち、以下の(3)～(6)をアクションプランとして書き換え、筆者らの研究プロジェクトにて今後継続的に実践的な研究を進めていく。

- (3) デザインにおける認知プロセスの存在論を構築する
- (4) 異なるデザイン活動、異なるデザイナー（専門家と初心者を含む）、異なるデザインドメイン（製品デザイン、エンジニアリングデザイン、建築デザインなど）における脳の活性化に関する初期見解を提供するために、さらなる探索的研究を行う
- (5) デザインに関する認知神経科学研究のための新しいアプローチを開発し、試験的に行うための探索的作業を実施していく
- (6) デザイン研究者と認知神経科学者とのコラボレーション、広いコミュニティでの学習の促進、知見をオープンに共有する環境づくりを行う

表3 デザイン理論に関わる5つのディスコース
（八重樫・安藤（2019）より筆者作成）

問題解決行動としてのデザイン	<p>デザインを「あるべき姿を実現する人間の本質的行為としての問題解決行動」とみなす。</p> <p>この見地は、Simon (1969) の「現在の状態をより好ましいものに変えるべく行為の道筋を考案するものは、だれでもデザイン活動をしている」という指摘に基づき、人間の問題解決行動としてのデザインにおける意思決定の手続きや方法論を、合理的でシステムティックな観点から体系化することを目的としたものである。</p> <p>また、これはデザイン行為に科学的な知識を活用するだけでなく、デザインそれ自体を科学的な活動として位置付けようとする志向性を持っている。</p>	Simon (1969)
省察的实践としてのデザイン	<p>デザインを「複雑に変化する状況に対応し、そこで生じている問題を捉え、自身の行為を修正して対応していくという『行為の中の省察』をもとにした問題解決の社会的実践」とみなす。</p> <p>ここで特に重視されているのは、「問題の設定 (problem framing)」に関する考え方である。</p> <p>高度に専門化された現代のプロフェッショナルは、技術的合理性に基づいた標準化された知識を現実の問題に当てはめることで、問題解決を行う。しかし、この姿勢は「何が問題であるのか」を定義することなく、むしろ知識を無理やり問題状況に当てはめてこれを解決しようとしてしまう。</p> <p>ここでデザイン (の専門性) は、問題の解決に従事するだけでなく、プロフェッショナルとしてその問題状況特有の特徴を発見し、かつ内省を行いながら思考や行動パターンを変化させていく省察的实践 (Reflection-in-action) である。</p>	Schön (1983)

分野を横断する共通言語（リベラルアーツ）としてのデザイン	<p>デザインを「広く普遍的な能力や様々なプロフェッショナルに共通的に見出される知的行為」とし、「問題と解決策のどちらもが明確でない状況での問題解決行動であり、単に科学的な方法論では定義できない複雑性を持つウィキッド・プロブレム (Wicked Problem) を解決するための姿勢」とみなす。</p> <p>デザイン実践で扱われる問題のほとんどは、明確な解を提示することのできないこの「ウィキッド・プロブレム」と呼ばれる問題であり、実際の社会状況においても私たちはほとんどの場合、この構造化されていない問題を扱っている。</p> <p>実際にこのようなデザインの考え方は、以下の複数分野において見出されており、様々なプロフェッショナルに共通する思考やマインドセットとして捉えられる。</p> <ol style="list-style-type: none"> ①記号のおよび視覚的なコミュニケーション ②有形物のあり方 ③活動および組織化されたサービス ④生活・仕事・遊び・学習のための複雑なシステムと環境 	Buchanan (1992); Rittle and Webber (1973)
思考方法としてのデザイン	<p>デザインを「デザインという行為は本来探索的で無秩序であり、問題の本質と解決策の妥当性は、実際に解決策が提案されるまでは評価することができない」としたうえで、「それ自体独自の知識・文化を持った方法論である」とみなす。</p> <p>デザイン独自の方法論（デザインの専門性）とは、以下の4つから導かれるものとされる。</p> <ol style="list-style-type: none"> ①デザイナーがどのように考え、仕事をするか ②適切なデザインプロセスの構造を構築するか ③どのように新しいデザイン手法を開発し、応用するか ④デザイン問題に対する応用や知識を拡張するか <p>ここからデザインの専門性として、以下の思考方法が見出された。</p> <ol style="list-style-type: none"> ①新しく予期されていないソリューションを創造すること ②実践の問題に対して想像力と建設的な見通しをもって提案できること ③問題解決にスケッチやモデルといった造形媒体を用いること ④限定された情報と不確実性のなかで意思決定を行えること ⑤構造化されていない問題やウィキッド・プロブレムを解決すること ⑥ソリューションに焦点を当てた戦略を適応すること 	Cross (1984, 1990, 1999, 2000, 2011)
意味の創造としてのデザイン	<p>デザインを「モノに意味を与えること (making sense of things) である」とみなす。</p> <p>人々は、実際にはモノの物理的な質ではなく、モノの意味に基づいて理解や行動をする。Simon (1969) がそのデザイン理論で人工物を中心的要素として捉えていたのに対して、Krippendorff (1989) はモノの持つ意味を核と捉え、人工物はそれを伝えるための媒介物であると考ええる。</p> <p>Krippendorff (2006) は、プロフェッショナルのデザインには、技術的合理性をもとにした技術中心のデザインと、ユーザーのコミュニティに対する理解をもとにした人間中心のデザインの二つの方向性があることを指摘している。</p> <p>技術的合理性をもとにしたデザインは、デザイナーやクライアントが持つ文脈に従い、改善の文脈でなされる。これは Simon (1969) で議論されてきた技術的合理性に基づくデザインの考え方に根付いている。</p> <p>これに対して人間中心のデザインは、ユーザーのコミュニティやその他のステークホルダーとの間で形成される「意味」を対象にする。ここに、Krippendorff (2006) は、ここに「二次的理解 (second-order understanding)」という概念を導入している。</p> <p>二次的理解は、ユーザーやステークホルダーがあることを理解すること（一次的理解）とは本質的に異なる。デザイナーが行う二次的理解は、「人々が理解していることを理解する」ということを意味している。自分以外の人々がどのように理解しているのかを理解することは、理解の理解であり、再帰的に他者の理解を自分の理解の中に埋め込んでいくことである。人間中心のデザインは、他者のためのデザインであるため、この二次的理解に位置付けられるべきものである。</p> <p>このように人間中心のデザイン理論では、デザイナーとステークホルダーの異なる現象の理解を前提にし、この二次的理解に関する洞察を得るという能力こそがその専門性の基盤となる。</p>	Krippendorff (1989, 2006)

謝辞

本稿は、JSPS 科研費 JP 22K18542 の助成を受けたものです。

【注】

- 1) 2022-2024 年度科研費挑戦的研究（萌芽）「生理学的指標に基づく企業のデザイン職／非デザイン職におけるデザイン態度の評価」（研究代表者：八重樫文）に基づく。

【参考文献】

- Agnoli, S., Zanon, M., Mastria, S., Avenanti, A., and Corazza, G.E. (2018). "Enhancing creative cognition with a rapid right-parietal neurofeedback procedure." *Neuropsychologia*, 118, pp.99-106.
- Alexiou, K., Zamenopoulos, T., Johnson, J.H., and Gilbert, S.J. (2009). "Exploring the neurological basis of design cognition using brain imaging: some preliminary results." *Design Studies*, 30(6), pp.623-647.
- Baruah, J. and Paulus, P.B. (2009). "Enhancing group creativity: The search for synergy." In Mannix, E.A., Goncalo, J.A., and Neale, M.A. (Eds.), *Creativity in Groups (Research on Managing Groups and Teams, Vol. 12)*, Emerald Group Publishing Limited, pp.29-56.
- Beatty, R.E., Benedek, M., Silvia, P.J., and Schacter, D.L. (2016). "Creative cognition and brain network dynamics." *Trends in cognitive sciences*, 20(2), pp.87-95.
- Benedek, M., Nordtvedt, N., Jauk, E., Koschmieder, C., Pretsch, J., Krammer, G., and Neubauer, A.C. (2016). "Assessment of creativity evaluation skills: A psychometric investigation in prospective teachers." *Thinking Skills and Creativity*, 21, pp.75-84.
- Buchanan, R. (1992). "Wicked problems in design thinking." *Design Issues*, 8(2), pp.5-21.
- Chrysikou, E.G. (2018). "The Costs and Benefits of Cognitive Control for Creativity." In Jung, R.E. and Vartanian, O. (Eds.), *The Cambridge handbook of the neuroscience of creativity*, pp.299-317.
- Cross, N. (2011). *Design Thinking*, Berg.
- Cross, N. (2000). "Design as discipline." In Durling, D. and Friedman, K. (Eds.), *Doctoral Education in Design: Foundations for the Future*, Staffordshire University Press, pp.93-100.
- Cross, N. (1999). "Design Research: A Disciplined Conversation." *Design Issues*, 15 (2), pp.5-10.
- Cross, N. (1990). "The Nature and Nurture of the Design Ability." *Design Studies*, 11(3), pp.127-140.
- Cross, N. (1984). *Developments in Design Methodology*, Wiley.
- Eling, K., Langerak, F., and Griffin, A. (2015). "The performance effects of combining rationality and intuition in making early new product idea evaluation decisions." *Creativity and Innovation Management*, 24(3), pp.464-477.
- Fallshore, M. and Schooler, J.W. (1995). "Verbal vulnerability of perceptual expertise." *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 21(6), pp.1608-1623.
- Fuster, J.M. (2015). *The Prefrontal Cortex (5th Edition)*. Elsevier, Academic Press.
- Ghanavati, E., Nejati, V., and Salehinejad, M.A. (2018). "Transcranial direct current stimulation over the posterior parietal cortex (PPC) enhances figural fluency: implications for creative cognition." *Journal of Cognitive Enhancement*, 2, pp.88-96.
- Goel, V. (2014). "Creative brains: designing in the real world." *Frontiers in Human Neuroscience*, 8, Article 241.
- Goel, V. (1995). *Sketches of Thought*. MIT Press.
- Goel, V. and Grafman, J. (2000). "Role of the right prefrontal cortex in ill-structured planning." *Cognitive Neuropsychology*, 17(5), pp.415-436.
- Hay, L., Duffy, A., Gilbert, S., and Greal, M. (2022). "Functional magnetic resonance imaging (fMRI) in design studies: Methodological considerations, challenges, and recommendations." *Design Studies*, 78, 101078.
- Huang, F., Tang, S., Sun, P., and Luo, J. (2018). "Neural correlates of novelty and appropriateness processing in

- externally induced constraint relaxation.” *NeuroImage*, 172, pp.381-389.
- Ivancovsky, T., Kurman, J., Morio, H., and Shamay-Tsoory, S. (2019a). “Transcranial direct current stimulation (tDCS) targeting the left inferior frontal gyrus: Effects on creativity across cultures.” *Social Neuroscience*, 14(3), pp.277-285.
- Ivancovsky, T., Shamay-Tsoory, S., Lee, J., Morio, H., and Kurman, J. (2019b). “A dual process model of generation and evaluation: A theoretical framework to examine cross-cultural differences in the creative process.” *Personality and Individual Differences*, 139, pp.60-68.
- Ivancovsky, T., Kleinmintz, O., Lee, J., Kurman, J., and Shamay-Tsoory, S.G. (2018). “The neural underpinnings of cross-cultural differences in creativity.” *Human Brain Mapping*, 39(11), pp.4493-4508.
- Kato, T., Koike, J., and Ashizawa, Y. (2019). “Brain Activities of Idea Generation Types Using Sketch.” *Proceedings of the International Association of Societies of Design Research Conference 2019*.
- Kato, T., Nakatani, H., and Ashizawa, Y. (2021). “Brain activation during sketch task for design idea generation measured by NIRS.” *Journal of the Science of Design*, 5(1), pp.1-8.
- Kato, T., Otagiri, S., Nagamori Y., and Izu. Y. (2018). “Comparison of brain activities between hand and computer drawings in finke's pattern generation task.” *Journal of the Science of Design*, 2(2), pp.43-52.
- Kleinmintz, O.M., Ivancovsky, T., and Shamay-Tsoory, S.G. (2019). “The two-fold model of creativity: The neural underpinnings of the generation and evaluation of creative ideas.” *Current Opinion in Behavioral Sciences*, 27, pp.131-138.
- Kleinmintz, O.M., Goldstein, P., Mayselless, N., Abecasis, D., and Shamay-Tsoory, S.G. (2014). “Expertise in musical improvisation and creativity: The mediation of idea evaluation.” *PloS one*, 9(7), e101568.
- Koestler, A. (1975). *The Act of Creation*. Pan Books Limited.
- Kowatari, Y., Lee, S.H., Yamamura, H., Nagamori, Y., Levy, P., Yamane, S., and Yamamoto, M. (2009). “Neural networks involved in artistic creativity.” *Human Brain Mapping*, 30(5), pp.1678-1690.
- Krippendorff, K. (1989). “On the Essential Contexts of Artifacts or on the Proposition that ‘Design Is Making Sense (of Things)’.” *Design Issues*, 5(2), pp.9-38.
- Krippendorff, K. (2006). *The semantic turn; A new foundation for design*, Taylor and Francis CRC Press. (小林昭世ほか (訳) (2009). 『意味論的展開—デザインの新しい基礎理論』 エスアイビー・アクセス)
- Lu, K., Xue, H., Nozawa, T., and Hao, N. (2019). “Cooperation makes a group be more creative.” *Cerebral Cortex*, 29(8), pp. 3457-3470.
- Martindale, C, Locher, P., and Petrov, V.M. (Eds.) (2007). *Evolutionary and neurocognitive approaches to aesthetics, creativity, and the arts*. Baywood Publishing Company.
- Mayselless, N., Aharon-Peretz, J., and Shamay-Tsoory, S. (2014). “Unleashing creativity: The role of left temporoparietal regions in evaluating and inhibiting the generation of creative ideas.” *Neuropsychologia*, 64, pp.157-168.
- Mayselless, N., Hawthorne, G., and Reiss, A.L. (2019). “Real-life creative problem solving in teams: fNIRS based hyperscanning study.” *NeuroImage*, 203, 116161.
- Meltzer, L. (Ed.). (2018). *Executive function in education: From theory to practice*. Guilford Publications.
- Newell, A. (1990). *Unified Theories of Cognition*. Harvard University Press.
- Newell, A. and Simon, H.A. (1972). *Human Problem Solving*. Prentice-Hall.
- Nguyen, P., Nguyen, T., and Zeng, Y. (2019). “Segmentation of design protocol using EEG.” *AI EDAM*, 33(1), pp.11-23.
- Rittle, H. and Webber, M. (1973). “Dilemmas in a general theory of planning.” *Policy Science*, (4), pp.155-169.
- Rosen, D.S., Erickson, B., Kim, Y.E., Mirman, D., Hamilton, R.H., and Kounios, J. (2016). “Anodal tDCS to right dorsolateral prefrontal cortex facilitates performance for novice jazz improvisers but hinders experts.” *Frontiers in Human Neuroscience*, 10, Article 579.
- Schön, D.A. (1983). *The Reflective practitioner: How Professionals think in action*. Basic Books. (柳沢晶一・三輪健二 (訳) (2007). 『省察の実践家とは何か—プロフェッショナルの行為と思考—』 鳳書房)
- Schooler, JW, Ohlsson, S, and Brooks, K (1993). “Thoughts beyond words: when language overshadows insight.” *Journal of Experimental psychology: General*, 122, pp.166-183.
- Shealy, T. and Gero, J. (2019). “The Neurocognition of Three Engineering Concept Generation Techniques.”

- Proceedings of the International Conference on Engineering Design 19*, pp.1833-1842.
- Simon, A.H. (1969). *The Sciences of the Artificial*. MIT Press. (稲葉元吉・吉原英樹訳 (1969). 『システムの科学 第3版』 パーソナルメディア)
- Smolensky, P. (1988). "On the proper treatment of connectionism." *Behavioral and Brain Sciences*, 11(1), pp.1-23.
- Sowden, P.T., Pringle, A., and Gabora, L. (2015). "The shifting sands of creative thinking: Connections to dual-process theory." *Thinking & Reasoning*, 21(1), pp.40-60.
- Vartanian, O. and Goel, V. (2007). "Neural correlates of creative cognition." In Martindale, C, Locher, P., and Petrov, V.M. (Eds.), *Evolutionary and neurocognitive approaches to aesthetics, creativity, and the arts*. Baywood Publishing Company, pp.195-207.
- Volle, E. (2018). "Associative and controlled cognition in divergent thinking: Theoretical, experimental, neuroimaging evidence, and new directions." In Jung, R.E. and Vartanian, O. (Eds.), *The Cambridge handbook of the neuroscience of creativity*, pp. 333-362.
- Wilson, T.D., Lisle, D.J., Schooler, J.W., Hodges, S.D., Klaaren, K.J., and LaFleur, S.J. (1993). "Introspecting about reasons can reduce post-choice satisfaction." *Personality and Social Psychology Bulletin*, 19(3), pp.331-339.
- Xue, H., Lu, K., and Hao, N. (2018). "Cooperation makes two less-creative individuals turn into a highly-creative pair." *Neuroimage*, 172, pp.527-537.
- Zabelina, D.L. and Andrews-Hanna, J.R. (2016). "Dynamic network interactions supporting internally-oriented cognition." *Current opinion in neurobiology*, 40, pp.86-93.
- 八重樫文・磯邊美香・三好春陽 (2023). 「デザイン研究における今日的課題の検討」『デザイン科学研究』 vol.2, pp.51-75.
- 八重樫文・安藤拓生 (2019). 『デザインマネジメント論』 新曜社

Research Agenda on Physiological Approach in Design Research

Kazaru Yaegashi*
Yusuke Nagamori**
Satoru Goto***
Takuo Ando****
Xueying Zhang*****
Haruhi Miyoshi*****

Abstract:

This paper clarifies the research agenda of physiological approaches in design research, particularly cognitive neuroscience, by examining six existing papers. The analysis focuses on two key aspects: (1) the design practice (experimental task) being analyzed, and (2) the analytical methodologies employed.

From the perspective of (1), the six papers can be categorized into two groups: (A) those comparing design and problem-solving tasks separately and (B) those emphasizing creativity and creative processes within design practice. While (A) defines experimental tasks based on established criteria for design and problem-solving, it's important to note that alternative viewpoints on design practice exist. The paper presents five discourses related to design theory and highlights the limited examination of experimental tasks based on these discourses, suggesting a need for future research.

On the other hand, in (B), objective evaluation measures for creativity have been refined, enhancing our understanding of creative aspects in design practice from a cognitive neuroscience perspective. However, other than creativity, the cognitive and competence-related components lack systematic evaluation criteria, even within the five design theory discourses. Behaviour related to these components in individuals remains incompletely understood.

From the perspective of (2), the papers reveal advancements in evaluation techniques. Therefore, this paper underscores the primary challenge in advancing physiological approaches in design research: defining and controlling the design practice as the subject of measurement and evaluation rather than the technical aspects of measurement.

Keywords:

Design Research, Design Studies, Design Practice, Physiological Approach, Cognitive Neuroscience

* Professor, College of Business Administration, Ritsumeikan University

** Associate Professor, Faculty of Design and Data Science, Tokyo City University

*** Associate Professor, College of Business Administration, Ritsumeikan University

**** Associate Professor, Faculty of Business Administration, Toyo Gakuen University

***** Ph.D. Student, Graduate School of Business Administration, Ritsumeikan University

***** Master's Student, Graduate School of Business Administration, Ritsumeikan University