

非侵襲脳機能計測方法からみた創造性について —脳機能イメージング的な視点からの一考察—

今 井 真 理

はじめに

創造性という言葉聞いて多くの人は偉大な業績を残す人、もしくは生まれつき才能のある人やニュートンやアインシュタインなど大発明をする天才と言われている人たちにのみ該当する言葉であると思うかも知れない。あるいは、芸術などクリエイティブなことに携わる人々の特権であろうと考えるだろうが、実は私たちが日常において生活する中で一般的に必要なとされているものなのである。創造性 (creativity) は広辞苑などの辞書によれば「過去に存在しない新しいものを生み出すこと」と記述されている。

個々の人々が常に意識しているかどうかは別として、実は創造性は私たちの日常生活すべてにおいて重要とされるものである。しかしながら、創造性に関する研究は長い間不可能で難解なものとなられ、なおかつ、その言葉は一部の人にも有効な特性と思われていた。

したがって、創造性は長い間、非科学的であると同時に複雑なものであると捉えられていたため、客観的な方法では計測困難なものとの認識が高かった。また、創造性に関する研究は本国よりも欧米において積極的に行われているが、学術雑誌も少なく、その上、creativityに関する掲載論文の稀少さも加わり、創造性の研究についての確固たる研究成果が未だに見えてこない現状がそこには存在する。

近年では創造性の定義は多岐にわたっており、集約されずにいる現状は否めないが、国内外における脳機能イメージングの発達により、計測が可能となり、研究活動が活発に行われるようになってきた。

本拙稿では創造性と脳の研究について非侵襲脳機能計測方法による実験報告など最近の研究の概観に触れることにする。また、脳と芸術についての視点との関係も含め、近赤外分光法を使用した描画時における脳波計測についても簡単に触れることにする。

1. 創造性に関する研究について

本邦での創造性に関する研究はさかに行われているとはいいがたく、欧米諸国の影響を受けながら、発展しており、創造性研究の初期のものとして波多野 (1938) の創作心理学などから始まり、その後、欧米のキリスト教思想に対抗する形で禅や仏教などの視点も見られ、日本で創造性に関する研究というものが始まったと考えられている¹⁾。

第二次世界大戦後は欧米の影響から教育や産業心理学、社会心理学などの分野でも創造性の研究がおこなわれるようになっていった。1960年ごろより創造性開発が進み、創造性工学とい

う研究分野が確立されるとともに、今日では広く周知されているKJ法やNM法といったオリジナリティ溢れる創造性開発技法が見られるようになった。

創造性に関する最初の報告としてアメリカでは心理学者のGuilford²⁾によって1950年以降にGuilford's SOI divergent production test (1967) や拡散的思考を見るスケールとしてのTorrance's Test of Creative Thinking (TTCT) などを提案するとともに創造性に関するテストが開発された。

またGuilfordは創造性や創造的な才能は精神的な柔軟性や思考の新しさの程度や流暢性と

Table 1 A. Fink et al / Methods 42 (2007) の創造的思考の研究に使用された神経科学的手法の概要を引用、筆者により一部改変

	文献	手法	タスク	説明	評価方法
1	・ A. Fink. et al. (2006) ・ B.Staudt, A.C.Neubauer, High Abil. Stud.17 (2006)	EEG	創造的な考えを 生み出すタスク	洞察的タスク、 ユートピア的状況、 代替使用法、 語尾を用いた作業	アイディアの 豊かさ、 オリジナリティ
2	・ N.Jausovec,K. (2000) ・ N.Jausovec,K. et al (2000)	EEG	クローズド対 オープンなタスク	オープン：ある 種の制限(時間 的制限など)を考 慮して一日の活 動を計画する	効率性(時間、 各解決法の正 確性など)
3	・ C.Martindale. et al (1984) ・ C.Martindale. et al (1978)	EEG	創造的な物語 を作るタスク	ファンタジー スピーチ:「男 が女と出会い、 デートに誘う。 どのような人 がどのように 出会ったかな ど、創造して ストーリーを 作ること」	創造性の質を 外部から評価 する
4	・ P.A.Howard-Jones. et al (2005)	f MRI	創造的な物語 を作る	与えられた3 語を用いて創 造的な話を作 る	外部の評価: 創造性の質
5	・ V.Goel. et al (2005)	f MRI	マッチング	マッチングを 組み替え、マッ チする語を切 り離し、別の パターンを作る	レスポンス時 間と正確性

いった思考のなめらかさなどから評価するものと提示し、Guilfordの提案によって、開発されたスケールは、現在では批判的な意見もあるものの、それをさかいに、さまざまな評価スケールが開発されたことは周知の事実である。

創造的思考に関する研究に主な神経科学的手法を用いた主要な研究についてまとめたものがTable 1であるが、先行研究のほとんどがEEGにより脳活動を測定したものであることは否めないが、fMRIなどを使用した先行研究も存在する。

文献で報告されている創造的思考における作業の多くは紙と鉛筆を使用したタスクとなっており、与えられた刺激に対して被験者は書く、もしくは考えて描くことを要求される。しかし、神経生理学的実験においては書く、あるいは描くことにおける時間領域が不自然な結果を招く可能性があるため、解析できる信頼性が高い時間領域の数が減少する。このような制限は研究を施行する上で大きな障害となるため、その多くが口頭でのタスクであり、刺激に対しても被験者に対して口頭で与えられている。

したがって、口頭でのタスクや刺激の与えられ方も個人によりさまざまであるため、今後改善すべき重要な点と考えられている³⁾。

創造性に関するイメージングを用いた研究は他の脳科学の研究分野とは異なった多くの問題点をかかえながら現在も進められており、創造的思考のタスクをどのような方法でスムーズに時間領域を妨げない形でいかに自然に施行することができるかが大きなポイントとなってくると考える。

2. 創造性と視知覚の関係

Dietrich⁴⁾は、創造性をパフォーマンスもしくは能力に対する質と考えるとともに創造性には作業記憶などのワーキングメモリー (Working Memory)、集中力の持続性や柔軟な考え方など、脳の前頭葉などが支配する認知能力が重要であり、既に自身が持っている考え方を超える新しい考え方を生み出す能力が必要であるとの考え方を示した。

ワーキングメモリーという言葉が用いられるようになったのは1960年ごろとされているが、文献は明らかにされておらず、それ以前は短期記憶 (operant memory) と表現されていた。一般的には前頭皮質、前帯状皮質、頭頂皮質、並びに大脳基底核の一部がワーキングメモリーに関与すると考えられている。(図1)

Miller⁵⁾によれば記憶する要素は「チャンク」という情報のかたまりで捉えられ、最初その数は7個とされていたが、のちの研究により「チャンク」の種類別に文字は約6個、数字は約7個、単語は約5個と報告された。また、Hulme⁶⁾らは単語の内容は実際に声として表出した際に経過する時間と記憶の容量にも関係するとし、言葉の内容や意味を既に認識しているかどうかにも深く関係するとした。しかしながら、定量化は困難であるとの認識もあり、結論を導くことは困難であると指摘している。

近年、Cowan⁷⁾は、ワーキングメモリーを長期記憶の一部とする考え方を提唱している。長期記憶は3つの状態をとることが可能とされており、ワーキングメモリーはその中の2つの状態から構成されているという考え方である。

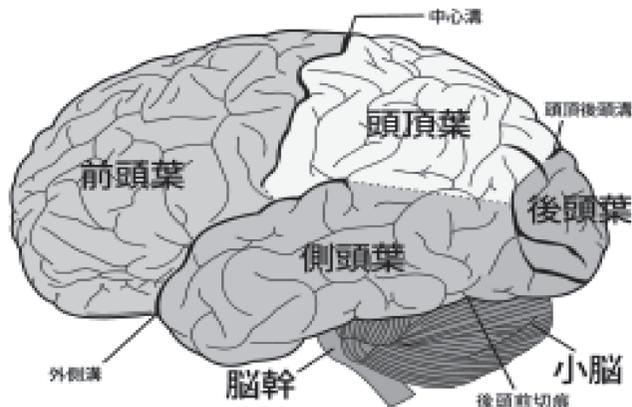


図 1：脳のイメージ

<http://ja.wikipedia.org/wiki/%E8%84%B3> より転載

第 1 の状態は時間的な限界は存在するが長期記憶には容量的限界は存在せず、同時に多数の情報活性化することがあり、そのエピソードについて反復しない限りは時間とともに活性化の程度が低くなっていくとし、第 2 の状態は注意の焦点の容量には限界があり、一度に同時に注意を向けることが可能な状態は、活性化した長期記憶のうち最大でも 4 つのチャンクであるとしている。すなわち Cowan の説によれば、人は一度に 4 つの数字に注目することができるということになる。

しかし、物を見るという視覚の観点为例として考えると物を見る際に眼球にうつされたものが脳内にある 100 億存在するニューロン、その中でも大脳新皮質で処理され、その視覚情報が最初に到達されるのが後頭葉の一次視覚野 (V1) (図 2) と言われており、一次視覚野は、パターン認識に長けた領域とされ、物を見る際は一次視覚野を経由して背側経路と腹側経路へと運ばれる⁸⁾。

ここでは物を見る際の様子を一般的にも周知されているあいまいな図形で見ていくことにす

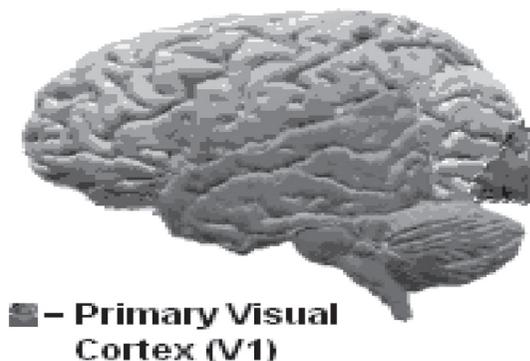


図 2：一次視覚野 Primary Visual Cortex (V1)

<http://ja.wikipedia.org/wiki/%E8%A6%96%E8> より転載

る。あいまいな図形は下記に例示したものの以外にもさまざまなものが存在するが、本稿では、多くの人が一度は目にしたことがあるヒルの「娘と老婆」(図3) およびジャストローの「うさぎとあひるの図形」(図4) を例に挙げながら見ることにする。



図3 : Wright, E., 1992. "The Original of E. G. Boring's Young Girl/Mother-in-law Drawing and its Relation to the Pattern of a Joke," Perception, 21, 273-275.

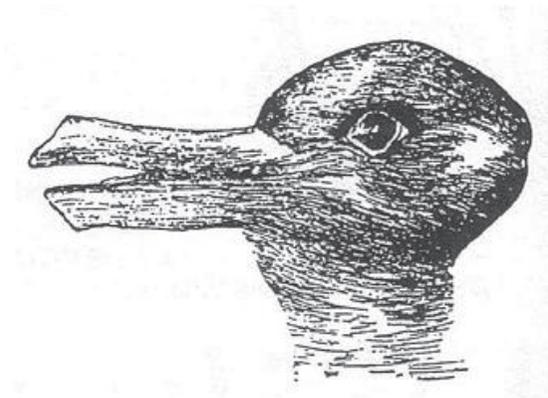


図4 : Joseph Jastrow duck rabbit
(Copyright 2004, J. Jastrow, Fact and Fable Psychology)

最初に図3の娘と老婆を例に見ていくとすると、図3の娘と老婆を何も考えない状態で先入観を持たずに見た場合、私達ヒトが最初に見ることができるのは、娘か老婆どちらか片方のみである。そして実は2通りの見方があることを伝えて、再度見てもらう、もしくはそのまま、しばらく凝視していると不思議なことにもう一方の絵が現れる。仮に最初に娘を見た場合、その後、即座に老婆を見ることは出来ない。その後、しばらく凝視していると老婆を見ることができ、その後は娘と老婆を交互に見ることができ、そして自分の意識のもとに娘と老婆を自由に行き来することができるようになる。しかし、これらを注視するとわかるが、一度にひとつの形を見ることはできるが、どれだけ凝視しても同時に2つの形(娘と老婆、あるいはアヒル

とうさぎ)を認識することはできない。視知覚の変化により片一方しか見ることができないのである。

ある画像を認識し、画像を再構成する際、ピクセルを観察し、パターンがどの属性に値するかを脳内にあるいくつかのサンプルの中からパターン認知することによって知覚する⁹⁾。したがって、視知覚に関する脳内の処理は2つの事象を全く異なるものと認識し、処理しているようである。脳は並列分散処理が可能であるにもかかわらず、図3、図4のような図形になると、同時に2つの画像を認識することになぜ制約をもってしまうのだろうか。一次視覚野では受容できる情報量が微小なため、同時に二つの刺激を受け入れることが困難との報告があり^{10, 11)}、Lennie (2003)¹²⁾は脳内におけるニューロンがおおよそ1%であるため、それらが発火される際に脳内に制約がかかってしまうと報告している。昨今までの研究において脳内において何らかの制約がかかってしまうことという点における報告は他の研究において一致して報告されているものの、この説に対して批判的な意見もあり、更なる詳細な検証が必要であろう。Olesen¹³⁾らはワーキングメモリの重要性に関して、実証研究を通してワーキングメモリーをトレーニングすることで認知機能が改善されるという画期的な報告で世間の注目を集めたが、最近、Olsenらの研究に対して新たなる知見としてJaeggi¹⁴⁾らにより、流動性知性の改善効果とワーキングメモリーのトレーニングの日数との関係を独自の視点から報告しているものの批判的な意見もあるようである。

図4は視覚刺激を与えた際の「一つの情報では脳は認識できるとされるA」と「複数の情報を一度に認識することが出来ず混乱が生じるB」について図で示した解りやすいものである。

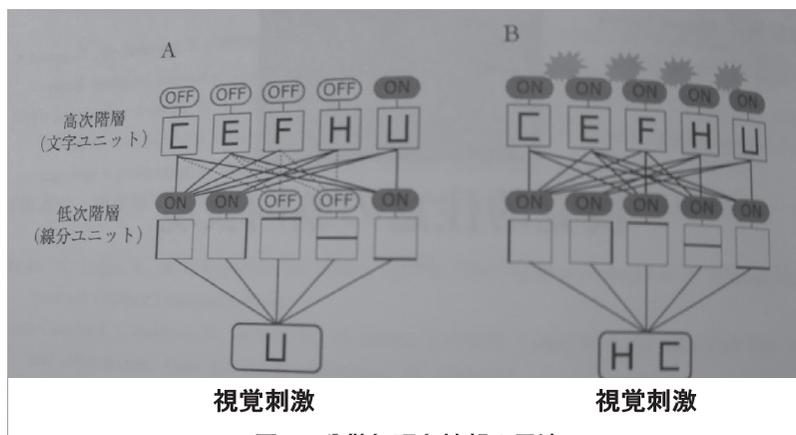


図5：分散処理と情報の干渉

芋坂直行著『ワーキングメモリーの脳内表現』（京都大学学術出版会）p44（2008）より引用

3. 創造性の思考時の脳活動とEEGについて

Renzulliら¹⁵⁾は創造性の研究を方法論の観点から実験的方法 (Experimental)、事例研究法 (Biographical)、計量歴史学的方法 (Historiometric)、計量生物学的方法 (Biometric)、計量心理学的方法 (Psychometric) と5つに分類しており、近年さかんに行われるようになってきた非

侵襲脳機能計測方法による実験は計量心理学的方法に分類される。

被験者が創造的アイデアについて考える際の脳活動を測定した際の先行研究については第一章のTable 1に記したが、それらの創造的思考に関する研究の概要でもわかるように、神経科学的手法についてまとめた先行研究のほとんどがEEG (Electroencephalogram) により脳活動を測定したものである。EEGはfMRIなどの他の非侵襲脳機能計測方法と比べた場合、脳活動が比較的高い時間解析でき、また、刺激に対して詳細な解析をすることが可能であると言われている。

被験者を通して実験を施行する際、実験時はEEGに限ったことではなく、脳活動を測定する際の実験の基本はまずは、十字マークを静観することからはじめ、それを15秒間行い、刺激を与えるといったところから始まる。(図6)

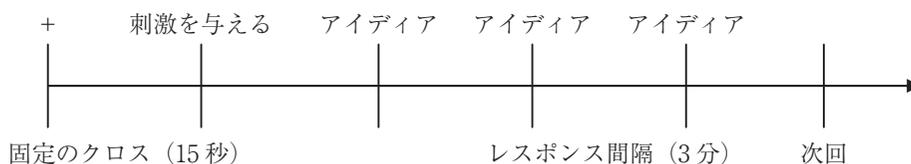


図6：創造的思考を求める課題及び実験手順の時間の流れ

文献17 より引用一部改変

タスクを始めるまえに被験者はレスポンスに慣れるように簡単なタスクで事前に練習してから始めることがある。Table1で示したFinkら(2006)¹⁶⁾による実験では被験者が日常生活内において一般的に使用されるありふれた日常品の新しい使用方法について考えるか、もしくは、独自の方法でドイツ語の接尾辞を完成させるよう自分自身のアイデアでいかに考えられるかを指示される。アルファ活動はドイツ語の接頭辞を用いて語を完成させるような課題よりも「自由連想」の課題、非現実的な状況に対しての問いに対して答えさせたり、日用品の新しい使用方法について考えさせたりする課題の方が高くなったと報告している。

また、創造的な思考のトレーニングを行った結果でもそれらは増加していることも判明している¹⁷⁾。

Martindale¹⁸⁾ら(1978)の研究では人が何か創造上のストーリーを考えているときにはインスピレーションが必要な脳の状態が作り出されると仮定し、創造性の欠如した被験者と創造性がとても豊かな被験者を比較した場合、後者の場合皮質覚醒は低いものの、緻密さを求められる作業に関してはそうではなかったと報告されている。

また、Martindale(1999)¹⁹⁾はEEGを用いた研究の中で連想ヒエラルキーは人の皮質覚醒が低い状態にあるときに起こりやすいとし、皮質覚醒の指数としてEEGを用いた研究の中で非常に豊かな被験者は創造性を測定するのに有効であるという。新しいオリジナルなアイデアは皮質覚醒が低く、アルファ活動が高いときに浮かびやすいと示唆している。創造性とアルファ数波数域におけるEEG活動と感受性についての関係は他のさまざまな研究でも報告されている²⁰⁻²²⁾。

創造的思考と関連する脳との相関関係の可能性に関して、長い間マーティンデールの低覚醒理論が支持され、人は覚醒がもっとも低いときに何かオリジナルなアイデアを思いつくと示唆されてきた。しかし、近年の新しい神経科学の研究から、ただ単に皮質の不活性、もしくは皮質のアイドリング状態であるときにのみアルファ活動の増加が見られるわけではないとの報告もされている²³⁻²⁴⁾。

4. 近赤外分光法を使用した脳機能測定について

先の章の先行研究では非侵襲脳機能計測方法によるさまざまな研究の概要に触れてきた。近赤外分光法 (Near-infrared spectroscopy, 以下NIRSと略す。) を使用した脳計測時における描画活動についても簡単に述べることにする。

本稿では芸術表現に的を絞ったが、視覚刺激や聴覚刺激などヒトに関わる刺激提示時の脳活動研究は他の分野においてもさかんに施行されている。本章では、筆者が行ったNIRSを使用した際の描画時の脳活動を一考察として述べることにする。

NIRSは近赤外光 (波長700～900nm) の半導体レーザーを照射することにより脳の腑活状態について計測することが可能な装置である。NIRSを頭皮上から照射すると頭蓋骨を経て大脳皮質に到達すると言われている。(図7)

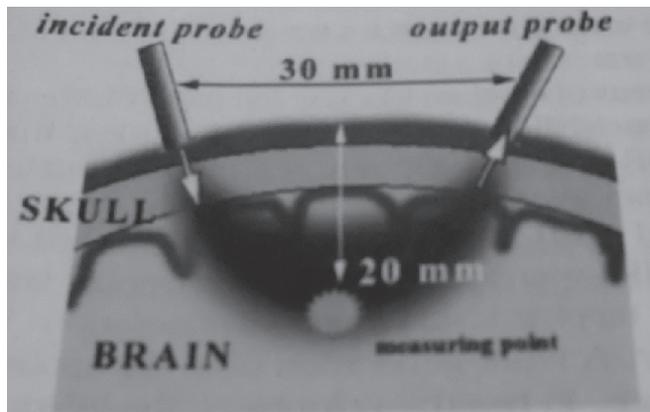


図7：NIRS装置測定時の頭蓋内伝播の様子

光トポグラフィの臨床応用 渡辺英寿他 MEDIX vol.30 より引用

大脳皮質のoxy-Hb, deoxy-Hb、そして総ヘモグロビン濃度 (total-Hb) の変化を計算し、その様子を画像として見ることができる装置である。本稿では紙面の都合からNIRSの装置自体に関する説明は割愛するが、使用したNIRSは日立メディコ製ETG-4000を用い、国際10-20法システム (図8・図9) に従いプローブを頭に固定し、計測部位は前頭葉とした。本稿では2人の考察について述べるが、被験者にはヘルシンキ宣言に従い、同意のもと実験を施行した。

図10は描画時におけるoxy-Hb, deoxy-Hb, total-Hbを表した図である。

被験者は27才の女性ですべての課題は椅子に座った姿勢で行われ、実験では絵を描くタスク

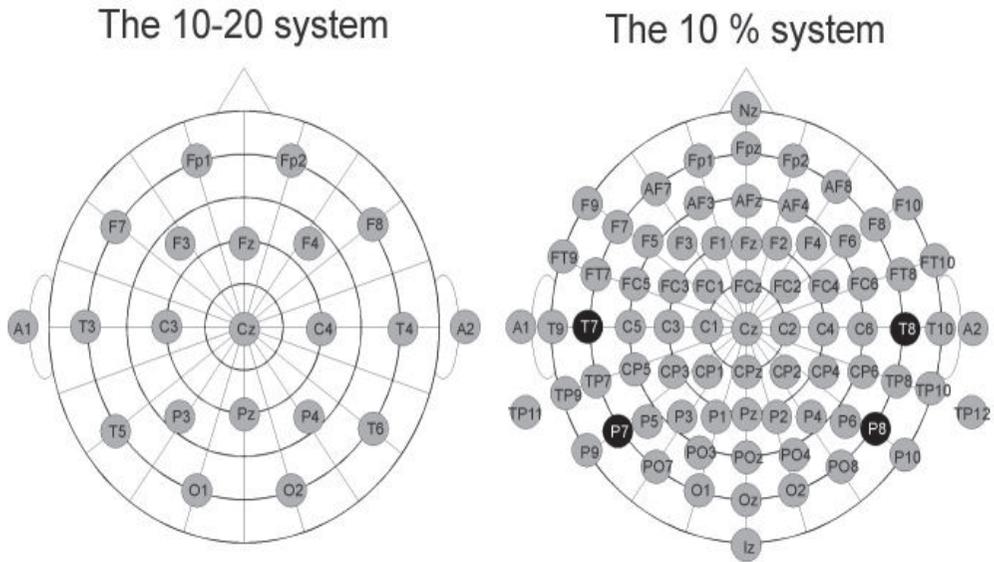


図 8 : 国際 10-20 システム基準点

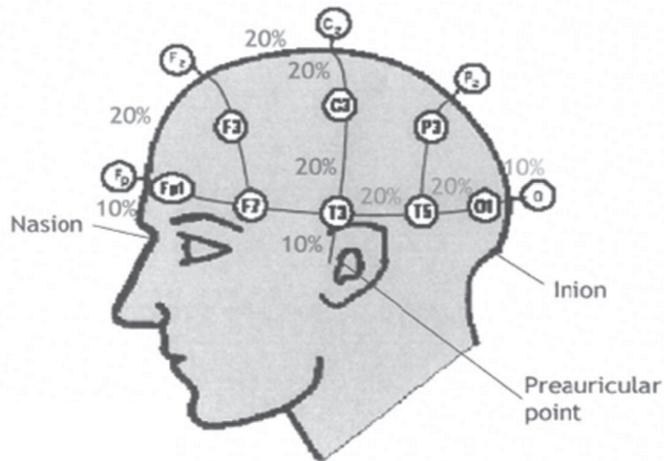


図 9 : Copyright Jasper, H.H (1958) *Electroenceph. Clin. Neurophysiol.* 10: 367-380

と物を作るタスクを課した。

上記は日常生活の中で絵を描いたり物を作ったりすることがほとんどない被験者である。計測が始まる前は戸惑いが見られたが、始まってからはリラックスし集中して楽しんでいた。すべてが終わった後に感想を聞くと、「日常生活とは違った体験が出来て面白かった」、「もう少し続けたいなあ~と思うと次の課題に入ってしまうので、時間感覚が途中からわからなくなった」等の発言が見られた。学生時代より絵を描いたり物を作ったりすることはそれほど得意ではなかったようだが、しかし、A.Bともにdeoxy-Hbよりもoxy-Hbがともに増加していることが読み取れるため、被験者のコメントと一致しており、刺激による活動中は前頭前野の脳活動が

描画時の方がより高かったと考えられる。

次に下記図11も普段は芸術表現とは関わりのない生活をしている男性被験者の芸術表現時の脳波である。Aの図は物を制作中であるが、deoxy-Hbが増加している。すべてが終わった後に感想を聞くと、「日常生活とは違った体験だったのでとまどった」、「絵を描く方は途中で間隔がつかめたが、物を作る方は時間の感覚がなく、どこで終わるのがわからなかったので、そちらが気になり集中できなかった」、などとの発言が見られた。被験者には計測が始まる前に諸注意に関して口頭で説明するが、やはり、計測中に気になることが発生すると作業に集中できず、それが即脳波に反映されてしまう。このような些細なことも非侵襲脳機能計測の際は心しておかねばならないと実感する。

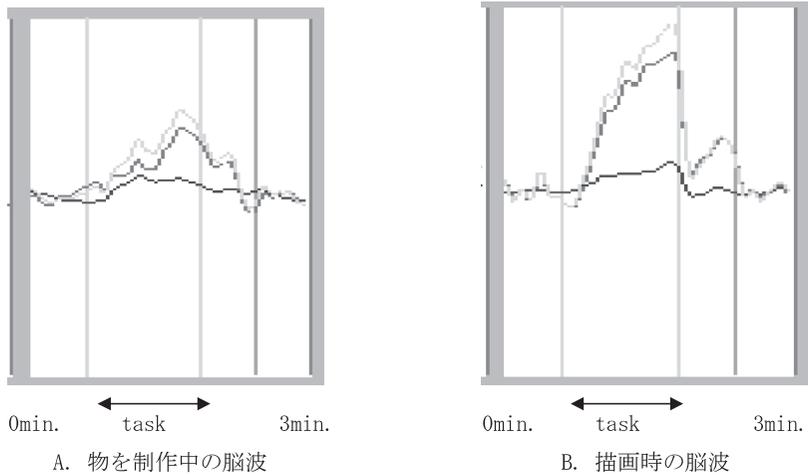


図 10：芸術表現中の被験者の脳波（27 歳・女性・右利き）

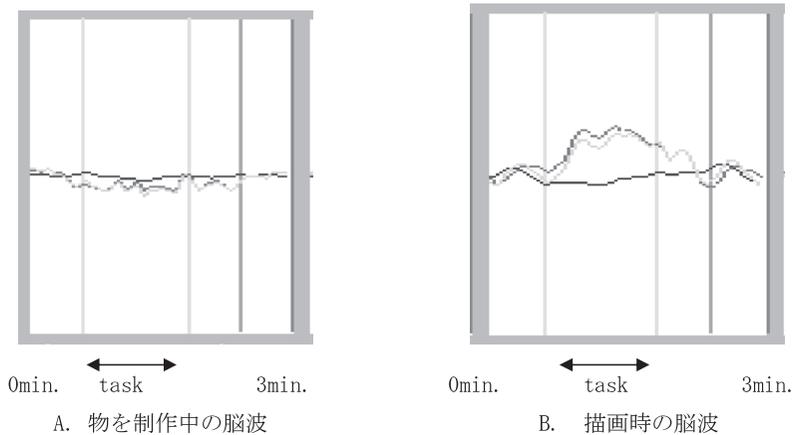


図 11：芸術表現中の被験者の脳波（37 歳・男性・右利き）

5. 考察

NIRSを使用した脳機能測定は計測時の簡易さや動体での計測などが可能であり、また、他の測定装置と比較して安価なため、比較的容易な感覚で計測を始めることができる。

しかし、短所としてfMRIなどと比較して脳の深部の計測や体動や光ファイバーの接着時の不備等によりアーチファクトがデータに混入してそれらを上手に除外することが出来ずに苦労することがある。(図12)

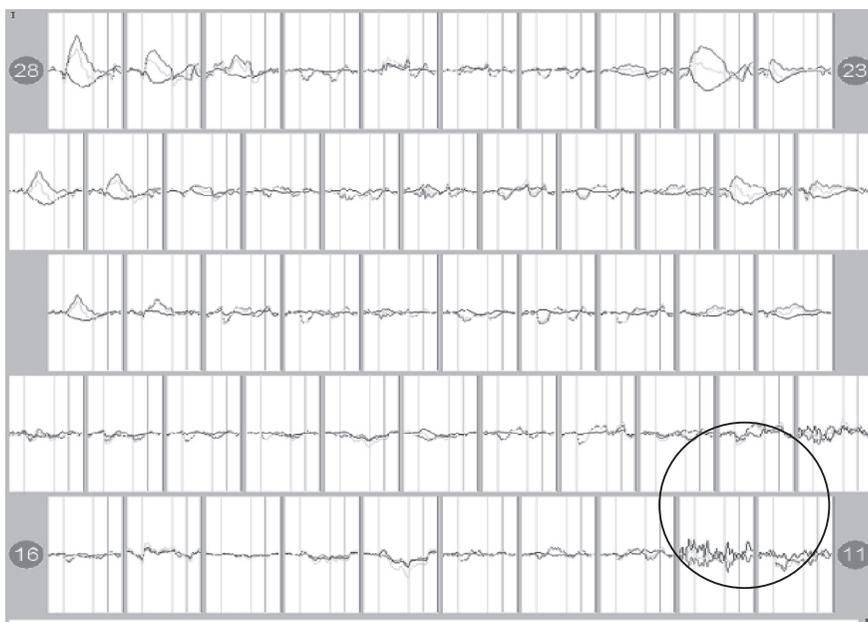


図 12 : NIRS 計測中のアーチファクト

また、NIRSで計測されたヘモグロビンの変化と脳の活動を見た場合、計測したものの解釈や分析において特定の脳領域を明らかにすることが出来ずに、その関連性や解析が不十分となってしまうことが少なくない。

灰田²⁵⁾はNIRSを使用したヒトの脳から検出される信号は、主には毛細血管等の細い血管からの信号であり、太い血管からの信号はそこには含まれない。また、total-Hb, oxy-Hbは運動負荷時に増加し、deoxy-Hbは減少する。したがって、NIRSによる脳機能測定は脳の毛細血管レベルのヘモグロビンを検出していると考えられる。

本章で示した実験はNIRSを使用した芸術表現時の脳機能測定における一考察である。NIRSによる脳機能計測がさかに行われるようになったのは、30年ほどと言われており、1977年に人間の脳を計測しヘモグロビンの濃度測定を行ったと報告されている²⁶⁾。

NIRSはfMRIと異なり、脳の前頭部や側頭部なども含め、プローブを装着した際の表面的な腑活のみしか見ることが出来ないため、視覚芸術における美的な神経基盤に関する認知神経科学的な研究として、その全容に迫ることが出来ない。従って、fMRIを併用するなど、更なる

継続的な研究が必要である。しかしながら、本稿において描画時の脳活動は血流の増加による前頭前皮質の腑活が見られた。仮に絵を描くことによりそれが脳の前頭前野の腑活に繋がるとするならば、絵を描くことは芸術の専門家の特権としての限られたものなどでは全くなく、万人の日常生活を豊かにすることができる行為の一つであると再認識できよう。芸術的な表現は得て不得手などがあり、万人に受け入れがたいものとして認識されがちであるが、非言語的なコミュニケーションの一つとしての芸術表現が、脳の活性化に繋がることで、更なる研究が邁進されたならば、人々の生きる意欲にも繋がり、多くの人々にとって有意義な表現行為の一つとして今一度考え直すべきであると考ええる。

おわりに

昨今では脳イメージングに関する研究がさかんにおこなわれるようになってきた。そして、創造性に関する脳領域に関しての関心も深まり、特に海外では多くの研究者が科学的解明を行うべく、実験がさかんに行われ、多くの研究結果が報告されている。しかし、脳領域を特定するためにはいくつかの重要な問題も残されており、まだ領域を特定するには科学的データの解釈も含め、更なる詳細を検討する必要があるだろう。

筆者の研究でも常に感じていることであるが、芸術などの分野では実際に創造性思考を引き出す、もしくは創造的なものを制作している状態を神経科学的な実験を行う環境において、どのように作り出すことができるかも大きな困難となって立ちはだかる。fMRIの場合は体を横たわらせガントリと呼ばれる筒の中にて実験が行われる。また、比較的自然な形で実験が可能であると言われているNIRSの場合であっても、電極がたくさんついた重いキャップをかぶらざるを得ない。したがって、個人差はあるものの、人によってはその状態は何らかのストレスがかかるわけであり、いわゆる一般的なノーマルな状態で実験に挑んでもらうことは到底難しいと考える。この先、芸術などに関する脳イメージングの研究が活発に行われるようになり、多くの有益な研究結果が報告されようとも、実験環境が改善されない限りは真の意味での研究結果とは言えなからう。したがって、脳イメージングの研究においては、このような大きく重要な課題が立ちはだかっていることを脳科学に携わる研究者は決して忘れてはならないと強く感じる。

REFERENCES

- 1) 亀山貞登 (1983) 『創造性研究の文献案内』、創造性研究創刊号、日本創造性学会
- 2) J.P.Guilford. (1950). *Am. Psychol.* 444-454.
- 3) A. Fink. et al. (2007). Creativity meets neuroscience: Experimental Tasks for the neuroscientific study of creative thinking. *Methods* ,42 ,68-76.
- 4) A. Dietrich. (2004). *Psychol.Rev.*69 1011-1026.
- 5) Miller, G. A. (1956). The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, 63, 81-97.
- 6) Hulme, C., Roodenrys, S., Brown, G., & Mercer, R. (1995). The role of long-term memory mechanisms in

- memory span. *British Journal of Psychology*, 86, 527-536.
- 7) Cowan, N. (2005). *Working memory capacity*. New York, NY: Psychology Press.
 - 8) Bailey. & Von Bonin, G. (1951). *The isocortex of man*. Urbana: University of Illinois Press.
 - 9) Kohonen, T. (1988). *Self-organization and associative memory*, 2nd edn. Springer, Berlin, 24
 - 10) Luck, S.J., Chelazzi, L., Hillyard, S.A., & Desimone, R. (1997). Neural mechanisms of spatial selective attention in areas. V1, V2, and V4 of macaque visual cortex. *Journal of Neurophysiology*, 77, 24-42.
 - 11) Moran, J., Desimone, R (1985). Selective attention gates visual processing in the extrastriate cortex. *Science*, 299, 782-784.
 - 12) Lennie, P. (2003) The cost of cortical computation. *Current Biology*, 13, 493-497.
 - 13) Pernille J Olesen, Helena Westerberg & Torkel Klingberg (2004). Increase prefrontal and parietal activity after training of working memory. *Nature Neuroscience* 7, 75 – 79.
 - 14) Susanne M. Jaeggi, Martin Buschkuhl, John Jonides, and Walter J. Perrig, (2008), Improving fluid intelligence with training on working memory *PNAS*, vol. 105, no. 19, 6829–6833.
 - 15) Sternberg, R.J. (1999). *Handbook of Creativity*, Cambridge University Press,
 - 16) A. Fink. et al. (2006). Creativity meets neuroscience: Experimental tasks for the neuroscientific study of creative thinking. *Methods* 42, 68-76.
 - 17) A. Fink. et al. (2007). *Methods* .72
 - 18) Martindale C, Hines D (1975). Creativity and cortical activation during creative, intellectual, and EEG feedback tasks. *Biol Psychol* 3, 71-80.
 - 19) Martindale C (1999). Biological based of creativity. In Sternberg R, *Handbook of Creativity*. Cambridge University Press. 137-152.
 - 20) Jung-Beeman M (2005). Bilateral brain processes for comprehending natural language. *Trends Cogn Sci* 9, 512-518.
 - 21) Jung-Beeman M, Bowden EM, Haberman J, Frymiare JL, Arambell Liu S, Greenblatt R, Reber PJ, Kounios J (2004). Neural activity when people solve verbal problem with insight. *PLOS Biol* 2, 500-510.
 - 22) Razumnikova OM (2000). Functional organization of different brain areas during convergent and divergent thinking: an EEG investigation. *Cogn Brain Res* 10, 11-18
 - 23) Klimesch W, Sauseng P, Hanslmayr S (2007). EEG alpha oscillations: The inhibition-timing hypothesis. *Brain Res Rev* 53, 63-88.
 - 24) A. Fink. et al. (2009). The Creative Brain: Investigation of Brain Activity during Creative Problem Solving By Means of EEG and fMRI. *Human Brain Mapping* 30, 734-748.
 - 25) Munetaka Haida (2002) Implication of a Signal from Brain Optical topography. *Medix* 36, 17-21.
 - 26) Jobis FF : Noninvasive infrared monitoring of cerebral and myocardial oxygen sufficiency and circulatory parameters. *Science* 198:1264-1267, 1977

