



Title	Flow時の脳活動：近赤外線分光法（fNIRS）を用いた検討
Author(s)	吉田，一生
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(保健科学)
Dissertation Number	甲第11872号
Issue Date	2015-03-25
DOI	https://doi.org/10.14943/doctoral.k11872
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/58767
Type	doctoral thesis
File Information	Kazuki_Yoshida.pdf



学 位 論 文

Flow 時の脳活動：
近赤外線分光法（fNIRS）を用いた検討

吉 田 一 生

北海道大学大学院保健科学院
保健科学専攻 保健科学コース

2014 年度

目 次

要約	1
1. 緒言	
1.1. Flow 理論.....	3
1.2. リハビリテーション領域における Flow の臨床的意義と脳活動を明らかにすることの重要性	4
1.3. Flow の測定方法とそれら測定方法の使用可能性.....	4
1.4. 作業課題版 Flow 尺度	6
1.5. Flow 時の脳活動	7
1.6. 前頭前皮質の機能と Flow.....	9
1.7. 近赤外線分光法(functional Near-infrared spectro-scropy: fNIRS)	9
1.8. 本研究の目的	10
2. 方法	
2.1. 対象	11
2.2. 課題	11
2.3. 評価尺度	11
2.4. 実験手順	11
2.5. fNIRS の設置と測定	12
2.6. 統計解析	12
3. 結果	
3.1. 対象者の除外と課題中の Flow 状態の確認	14
3.2. 作業課題版 Flow 尺度	14
3.3. NIRS-SPM	14
3.4. LABNIRS.....	14

4. 考察

4.1. 対象者の除外による参加者バイアスに関して	15
4.2. 課題最中の脳活動に関して	15
4.3. Flow 想起時の脳活動に関して	16
4.4. 運動野の賦活がみられなかったことに関して	17
4.5. 本研究の限界と展望	18
5. 結論	19
6. 謝辞	20
7. 引用文献	21
図表、Appendix	26
業績一覧	33

要約

1. 背景と目的

Flow とは課題に没入した際に生じる包括的感觉であり、高いパフォーマンスを発揮するのに最適な心理状態である。Flow に関する研究は質問紙法や面接法などを用いて検討されており、Flow には 9 つの下位因子が存在する。一連の研究から、Flow は課題の挑戦水準と、対象者の能力水準の均衡という、現在の能力を引き延ばすことができるような挑戦機会が与えられた際に生じ、努力性の伴わない高い注意力、自意識の消失、課題の統制感や楽しさなどを伴う経験であると表現されている。これら理論的背景から Flow は注意機能や情動、報酬情報の処理といった前頭前皮質の機能と深く関連していると推察されるが、Flow 時の脳活動に関しては十分に検討されていない。Flow が脳のどの機能と密接に関わっているかを明らかにすることで、Flow がどの認知機能領域に影響を及ぼすか推察でき、より効果的なリハビリテーションの実施に貢献できると考えられる。先行研究では、特に Flow が誘発できていたのか、確認が不十分であり、そのために Flow 以外の要因の混入の可能性があった。また、Flow の誘発しやすさや、将来的な臨床応用の観点から、Flow 時の脳活動の測定には頭部を著しく固定する必要がなく、自然環境下に近い環境で測定する手法が望ましい。近赤外線分光法(functional Near-infrared spectroscopy: fNIRS)は近赤外線光を用いて脳皮質の酸素化 Hb 濃度の変化量を測定できる手法であり、頭部や身体の動きによるアーチファクトの影響が少ない。本研究では fNIRS を用いて、Flow 時の前頭前皮質の酸素化 Hb 濃度の変化を測定し、Flow と前頭前皮質の機能との関連性を明らかにすることを目的とした。

2. 方法

対象は右利き健常成人 20 名とした。対象者は自身の能力に合わせて難易度が漸増的に上がっていく Flow 課題と能力に関わらず難易度が低く一定に保たれた Boredom 課題の 2 種類のゲーム課題を実施した。また、対象者にはゲーム課題前後に課題中の Flow を測定する作業課題版 Flow 尺度に回答してもらった。ゲーム課題中、Flow 尺度回答中における前頭部の酸素化 Hb 濃度の変化を fNIRS にて測定した。作業課題版 Flow 尺度のデータは Flow 課題後の得点と Boredom 課題後の結果に対して対応のある t 検定にて比較した。fNIRS データの解析は、解析ソフト NIRS-SPM にてチャンネル位置の推定と関心領域 (Region of interest: ROI) の特定を行った。その後、LABNIRS にて、各条件の酸素化 Hb 濃度変化の加算平均値を算出し、ゲーム課題全体における酸素化 Hb 濃度の変化とゲーム課題後半 30 秒間における酸素化 Hb 濃度の変化の比較、ゲーム課題前後の尺度回答時の酸素化 Hb 濃度変化の比較を対応のある t 検定にて検討した。Flow 課題後の尺度得点が Boredom 課題後の尺度得点を 1 度でも下回っていた被験者は、Flow が確認できなかったとみなし、解析対象から除外した。全解析において $p < 0.05$ を有意水準とした。

3. 結果

対象者のうち、プローブのずれやノイズの混入、Flow が確認できなかったものを除外し、15 名を解析対象とした。Flow 課題直後と Boredom 課題直後の Flow 尺度の得点を比較した結果、Flow 課題直後の得点が有意に高かった ($t(14) = 9.78, p < 0.05$)。

fNIRS データに関しては Flow 課題中全体に比して Flow 課題後半で左右の腹外側前頭前野(VLPFC)に有意な酸素化 Hb 濃度の上昇がみられた(右 VLPFC ; $t(14) = -3.22, p < 0.01$)、(左 VLPFC ; $t(14) =$

-2.58, $p < 0.05$)。一方で Boredom 課題時の酸素化 Hb 濃度は全領域で大きく低下した。尺度回答中の酸素化 Hb 濃度に関しては、Flow 条件では左右の背外側前頭前野(DLPFC)(右 DLPFC ; $t(14) = 2.691, p < 0.05$ 、左 DLPFC ; $t(14) = 2.463, p < 0.05$)、左右の前頭極(FPA)(右 FPA ; $t(14) = 3.245, p < 0.01$ 、左 FPA ; $t(14) = 2.496, p < 0.05$)、左 VLPFC ($t(14) = 2.256, p < 0.05$)で有意な酸素化 Hb 濃度の上昇がみられた。Boredom 条件では左右 VLPFC で有意な酸素化 Hb 濃度の上昇がみられた(右 VLPFC ; $t(14) = 2.941, p < 0.05$ 、左 VLPFC ; $t(14) = 2.533, p < 0.05$)。

4. 考察および結論

課題中の Flow には左右 VLPFC の機能が関与している可能性が示唆された。この領域は下前頭回(IFG)、外側眼窩前頭皮質(LOG)の複合領域である。IFG は妨害刺激の抑制や、注意機能のコントロールを担っており、LOG は報酬情報をもとに行動変容のための自己評価を行っていると考えられている。これらの機能は自身の行動を課題に適応させるために重要であると考えられ、Flow の下位因子である「課題の統制感を得ていること」「内発的な報酬を得ていること」「即座のフィードバックを得ていること」などとも一致する。一方 Boredom 条件では、このような前頭前野の特異的な賦活がみられず、全領域が不活性化した。これは課題難易度が著しく低かったためであると考えられる。

Flow 課題直後の尺度回答中には右 VLPFC を除く、全領域で賦活がみられた。左右 DLPFC は感情を伴う記憶の想起時に賦活し、左右の FPA は高次の目標を維持しながら下位目標の課題を遂行する際に賦活すると考えられている。FPA は多重課題の遂行時に重要な役割を果たすとされ、この機能は Flow の下位因子である「明確な目標を持っていること」と関連すると考えられる。VLPFC の賦活に関しては Flow 条件、Boredom 条件、の両方でみられたことから、記憶検索のための認知的制御のために活動したと考えられる。

本研究により、Flow と前頭前野の機能が関連しており、課題遂行中の Flow には特に VLPFC 領域が重要な役割を果たしていることを示した。またこれらの関連性は Flow 理論の理論的背景とも一致しており、Flow 時の脳活動の理解を深めるうえで、貢献できるものと思われる。

1. 緒言

1.1. Flow 理論

Flow 理論とは Csikszentmihaly(1975)によって提唱された理論である。Flow という語は「流れ」と直訳されるが、心理学的には「行うこと自体が楽しい活動に没入している時の意識がよどみなく流れている状態」を表している。Csikszentmihaly(1975)は Flow を「全人的に行為に没入している時に感じる包括的感觉」と定義し、「深く没入しているので他のことが問題とならなくなる状態、その経験自体が非常に楽しいので、純粋に多くの時間や労力を費やすような状態である」と説明している。また、Nakamura & Csikszentmihalyi(2002)は「課題に全人的に没入した時に感じる包括的な感覚であり、喜びや楽しみを生む」、「課題を行う際の最適な心理状態であり、高いパフォーマンスと関連する」と述べている。Flow 理論に関する研究はスポーツ選手や外科医など、特定の技能において高いレベルを有する、エキスパートを対象として進められてきたが、現在では大学生などにも、その対象を広げている(Asakawa et al., 2004, 2010)。

Csikszentmihalyi とその研究チームは経験抽出法(Experience Sampling Method: ESM)という方法を用いた一連の研究を通し、Flow の普遍的な特徴として以下の 9 因子を挙げた。

- ① 挑戦水準と技能水準の知覚が高次のレベルで均衡していること
- ② 明確な目標を持っていること
- ③ 即座のフィードバックを受け取っていること
- ④ 課題へ集中していること
- ⑤ 行為と意識が融合すること
- ⑥ 内省的自意識が喪失していること
- ⑦ 行為、環境を統制できる感覚を有していること
- ⑧ 時間的経験のゆがみを経験すること
- ⑨ 内発的報酬を伴う経験であること

因子①～③は Flow にいたるための条件を、因子④～⑨は課題に没入した際に感じる経験を表したものである。なかでも因子①課題の挑戦水準と技能水準の知覚が高次のレベルで均衡していることは、Flow を経験する上で最も重要な要因である。対象者が知覚する技能水準よりも挑戦水準が高くなったときには「不安」に、対象が知覚する技能水準よりも挑戦水準が低くなったときには「退屈」といった心理状態になるとされている。以上より Flow は挑戦水準と、技能水準の均衡という、現在の能力を引き延ばすことができるような挑戦機会が与えられた際に生じ、努力性の伴わない高い注意・集中を生じさせ、その行為とは関係がない情報に費やす資源が無くなる。そのため時間感覚は歪んで経験される。Flow である時、行為を統制できる水準で最大限に個人の能力を発揮しているため、内発的な報酬を感じると考えられる。(Csikszentmihalyi and Csikszentmihalyi, 1988; Csikszentmihalyi and Nakamura, 2010)。

また Flow はチェス、ロッククライミング、外科手術、スポーツなど様々な活動で検討されており、上記の Flow の特徴は課題の種類によらない一般的な特徴であるという

ことが知られている。

1.2. リハビリテーション領域における Flow の臨床的意義と脳活動を明らかにすることの重要性

リハビリテーション領域において、患者がどの程度課題に没頭して取り組んでいたのかは治療効果に影響すると考えられる。いかに効果的な訓練課題、介入を提供しても、患者が没頭して取り組んでいなくては十分な訓練効果を得ることは難しいかもしれない。訓練効果は課題内容と課題が惹起する主観的経験に影響されると推察されるが、課題時の主観的経験を定量的に評価し、効果を示した研究はない。

心理学的な研究では動機づけ(Motivation)が訓練効果を高める可能性が述べられている(Choi & Medalia, 2010; Nakagami et al., 2010; Tasky et al., 2008)が、動機づけが必ずしも課題遂行時の主観的経験を反映しているとは限らない。つまり動機づけが非常に高くても、実際に課題に従事してみると期待していたものとは異なり、課題にうまく従事できず、訓練効果が小さくなるといった状況が起こりうる。以上より、課題従事中の主観的経験の強度を測定することが必要になる。

Flow は課題従事中の没頭度が高い状況をよく説明している。Flow を測定することによって、患者の課題への没頭度を知ることができ、患者がどの程度課題に対して能力を発揮していたのか、訓練課題がいかに患者に適していたのかを検討することができる。また Flow は、理論的背景から特に注意機能と密接に関連していることが指摘されている(Nakamura & Csikszentmihalyi, 2002)。Flow を経験している患者は高い集中力を伴い、能力が最大限に発揮された状態で訓練課題に従事していると考えられる。Flow を誘発する課題は注意機能などに対する訓練効果を高める可能性がある。

しかしながら、これらは Flow の理論的背景から推察したに過ぎず、実際に Flow が注意機能と密接な関係にあるのか、その他の認知機能とどのように関連しているのかは十分に検討されていない。特に注意機能をはじめとする認知機能との関連性を推察するには脳機能測定が有用である。Flow 時の脳活動を明らかにすることができれば、Flow と認知機能との関連性に関する検討が可能となり、どのような機能に Flow の効果が得られやすいか推察できる。また、Flow 時に注意機能やその他の認知機能領域の賦活が認められれば、Flow に訓練効果を高める可能性があることをより強く主張できるようになるだろう。

1.3. Flow の測定方法とそれら測定方法の使用可能性

生理学的指標を用いて課題への没頭など、心理状況の測定を試みた研究がいくつか存在する。Dockree ら(2007)は、課題を行う際の α 波($\sim 10\text{Hz}$)の緊張が事象関連電位、課題の正答率、反応時間などに関連することを指摘し、 α 波が持続性注意の発揮に関連している可能性を示した。Fairclough ら(2006)は、課題従事している状況では、呼吸率の

上昇、瞬目回数の減少、後頭葉領域の α 波の減衰がみられると報告している。前頭正中部に出現する θ 波(Fm θ 波)は、注意を持続させることが必要な精神作業で得られると考えられている(Gevins et al., 1997)ことから没頭状態との関連が言及されているが、近年ではワーキングメモリとの関連を示唆した研究が増加している(Asada et al., 1999; Onton et al., 2005)。また、Tops ら(2010)は、課題に没頭しやすい傾向の個人特性(パーソナリティ)を測定する質問紙がエラー関連陰性電位と関係することなどを示し、エラー関連陰性電位が課題への没頭状態を予測する可能性があることを主張した。

Peifer ら(2014)は、課題遂行時の Flow 尺度と自律神経系、コルチゾールとの関連を検討した。結果、主に交感神経の働きと強い関連を持つ、心拍変動解析(HRV)の高周波成分(High frequency band: HF)とコルチゾールは Flow 尺度と逆 U 字の関係であり、主に副交感神経の働きと強い関連を持つ HRV の低周波成分(Low frequency band: LF)は Flow 尺度と線形的な関係にあった。Peifer ら(2014)は、これらの結果が、被験者が Flow になるにつれて arousal が高くなり、課題難易度が増加しすぎて、Flow から離れると、arousal が下がることを示していると考察した。

心理学の領域では、Flow 研究は主に質問紙法(Csikszentmihalyi & Larson, 1987)や質的面接方法(Csikszentmihalyi, 1975)を用いて Flow の側面を捉えようとする研究が蓄積されてきた。

尺度として作成されているものとしては Jackson ら(1996)の Flow State Scale がある。スポーツ場面での Flow を測定するために開発された尺度であり、5 件法、9 因子、36 項目からなる。信頼性と収束的妥当性、確証的因子分析による内部構造の確かさなどが確認されている。その後、改訂版として Flow State Scale 2 (Jackson & Eklund, 2002)が作成されており、適切性を欠く 5 項目が修正されている。さらに、9 項目、9 因子からなる短縮版や(Jackson et al., 2008; Martin & Jackson, 2008)、一般的な活動でも使用できる General Flow State Scale (GFSS) (Jackson et al., 2010)、高齢者を対象とした Activity Flow State Scale (AFSS) (Payne et al., 2011)が作成されている。

以上のように様々な方法で Flow の測定が試みられている。しかし、生理学的指標は、Flow に関連すると思われる注意や arousal、それに伴う自律神経系の変化を測定しているのみで、実際の Flow を定量的に測定しているとは言えず、Flow の一側面を測定しているに過ぎない。また生理学的指標の測定には、脳波や心電図といった機材が必要となり、臨床場面での測定は難しい。

また質問紙法や、半構成的面接法は信頼性、妥当性の検討がされておらず、定量的測定には至っていない。様々な Flow State Scale が開発されているが、項目数が多すぎる、測定場面が限定されている、などの理由で、臨床場面で利用できるものではなかった。短縮版に関しては確証的因子分析が行われてはいるものの、1 項目で 1 因子を表現している点に問題があると考えられる。GFSS、AFSS に関しては Flow State Scale をもとに言葉遣いの修正が行われたのみで信頼性、妥当性の確認が不十分である。またこれらの尺度はすべて回想的な手法を用いており、回想バイアスや、回想を引き出すための文章によって、尺度への回答が誘導されている可能性がある点で問題がある。

このように、Flow を測定する方法はいくつか挙げられるものの、生理学的指標、心理測定尺度として信頼性・妥当性が十分に確認されているものは少なく、測定場面、項目数の観点から使用できる範囲が限られていた。

1.4. 作業課題版 Flow 尺度

そこで我々は作業療法場面で使用することができ、十分な信頼性・妥当性を有する Flow 尺度を作成した(Yoshida et al., 2013)(Appendix1)。この尺度は 14 項目、3 因子からなり、7 段階のリッカート式のスケールである。対象者は、特定の課題終了直後に尺度回答を求められる。この尺度は相対的な Flow を測定するのに有用であり、得点が高ければ高いほど Flow に近い、あるいは、より高い Flow を表すという性質の尺度である。以下に、この尺度の開発から、信頼性・妥当性の検討までを概説する。

この尺度の開発、信頼性・妥当性の検討は Gregory(2010)を参考に行った。240 名の大学生、大学院生を対象に、統計学的な手法によって、適切な項目の選択から信頼性・妥当性の検討を詳細に行った。課題はパソコンを用いたゲーム課題とし、難易度の異なる 3 つの課題を用意した。課題難易度が極端に高い課題を Anxiety(不安)課題、課題難易度が極端に低い課題を Boredom(退屈)課題、対象者の能力に合わせ漸増的に難易度が上がっていく課題を Flow 課題とした。

適切な項目の選択は Flow 研究者に表面的妥当性、内容妥当性を確認してもらいながら、①天井効果、床効果の有無、②項目識別力、③探索的因子分析による因子構造の 3 つの観点から総合的に判断した。結果、天井効果、床効果のあった項目、項目識別力が著しく低かった項目、探索的因子分析によって、固有値 1 未満の因子、回転前の因子負荷量が 0.4 未満の項目を削除し、14 項目、3 因子構造とした。

再度、240 名を対象にデータを集め、信頼性と妥当性の確認を行った。信頼性は内的一貫性の指標である Cronbach's α を用いた。結果は 0.918 で高い信頼性を有していた。妥当性は①収束的妥当性、②多重比較による各心理状況の識別力、③共分散構造分析による確証的因子分析の 3 つの観点から検討した。収束的妥当性は、理論的に関連が高い構成概念を測定する指標との相関によって検討される。我々は状態不安を測定する State-Trait Anxiety Inventory : STAI(Spilberger, 1983)と Flow 尺度との相関によって収束的妥当性を検討した。つまり、Flow 尺度の得点が高ければ高いほど、不安状態を表す STAI の得点は低くなり、Positive な感情経験を伴っていることをピアソンの積率相関係数にて検討した。結果、この 2 つの尺度間には有意な相関が確認され、収束的妥当性を有していることを示した。多重比較による各心理状況の識別力は、Flow 尺度が Anxiety 課題、Boredom 課題、Flow 課題の 3 課題をどれほどの差をもって区別できるかによって検討した。多重比較検定である Dunnett C を用い、この尺度が Flow 課題と Anxiety 課題、Flow 課題と Boredom 課題の差を十分に区別できることを示した。共分散構造分析による確証的因子分析では、探索的因子分析で得られた構造が再度得られているのかを確認し、さらにそのモデルと得られたデータとの適合度を算出し、尺度構造

の確かさを示した。適合度の検討には χ^2 値、NFI、NNFI、CFI、GFI、RMSEA を用いた。結果、GFI と RMSEA を除き、すべての値で基準値を上回り、尺度構造の確かさを示した。

また我々は作業分析とコレスポンデンス分析によって、この尺度の適応範囲についても検討した。結果この尺度は Kazs ら(2003)の分類でいう、比較的身体活動の低い課題を対象としていることを示した。

その後、この尺度は翻訳、逆翻訳を繰り返して、英語版の作成を行った(Appendix2)。翻訳、逆翻訳とは日本語の尺度を英語に訳し、その後さらに日本語に戻して、その日本語訳が原文の内容とニュアンスまで一致しているのかを確認する方法である。英語訳を我々、研究グループで行い、文法チェック、逆翻訳を業者に依頼した。

以上より、この尺度は、十分な信頼性、妥当性を有し、Flow の 9 因子構造を探索的因子分析によって 3 因子にまとめ、その結果、因子構造の確かさを保ったまま項目を減らすことができた。また、課題直後に回答を求めるので回想バイアスの影響を小さくできる点、身体活動の低い課題に使用できるという適応範囲を示した点、日本語、英語の両言語にて使用可能である点に利点があると考えられる。ただし、鋭敏性の検討がなされていない、カットオフ点がないといった限界もある。

1.5. Flow 時の脳活動

Flow と脳活動に関する論文は 3 件ある。

1 つは Klasen ら(2012)によるもので、一人称視点でのゲーム課題遂行中に functional magnetic resonance imaging : fMRI を撮像したものである。彼らは複数名の研究者による内容分析の手法でゲーム課題を Flow になりうるであろう部分とそうではない部分とに分け、その差分をもって Flow 時の脳活動を明らかにしようとした。結果、「挑戦水準と能力水準の高次での均衡」の因子には側坐核、一次運動野、補足運動野、前頭葉眼窩部、「課題への集中」の因子には楔前部と運動前野、「明確な目標」の因子には両側頭頂間溝、「行為、環境を統制している感覚」の因子には運動皮質領域の賦活がそれぞれ関連していることを示した。以上より彼らはゲーム課題時の Flow には中脳由来の報酬系や感覚運動(sensorimotor)、認知(cognition)、感情(emotion)の複雑なネットワークが関連していると結論付けた。しかし、この研究にはいくつか問題がある。一つ目は対象者が Flow を経験できていたのかが不明確な点である。fMRI スキャナーの著しく頭部を固定された状態で Flow の経験が可能か疑問であり、実際に尺度回答などによる確認も行っていない。二つ目が賦活領域の中に一次運動野、補足運動野などの領域が含まれていた点である。彼らは内容分析によってゲーム課題を Flow 関連区間とそうでない区間に分け、比較したために運動の要素を十分に差分できていなかった可能性がある。

2 つ目は Manzano ら(2013)の positron-emission tomography : PET を用いた研究である。彼らは対象者が日常生活上で経験する Flow 経験の頻度(Flow 傾向)と被殻、尾状核の一部といった背側線条体におけるドーパミン D2 レセプターの結合能との関係を調

べた。結果、これらの間には正の相関がみられ、Flow 傾向が強ければ、背側線条体におけるドーパミン D2 レセプターの結合能が高いことを示した。特に背側線条体におけるドーパミン伝達は報酬情報、快感情情報、衝動性のコントロールと関連していることから (Voorn et al., 2004)、Flow 傾向にはこれらの要因が関係していることを示唆し、Flow 傾向にも個体差がある可能性を示した。この研究は Flow を経験しやすいパーソナリティがあるとする先行研究を支持する、重要な内容である。しかし、Flow の経験のしやすさと背側線条体におけるドーパミン D2 レセプターの結合能との関連を示したのみで、Flow を経験している最中の脳活動に関して述べたものではない。

3 つ目は Ulrich ら (2013) の研究である。彼らは fMRI を用いて、計算課題中の脳活動を撮像することにより Flow 時の脳活動をとらえようとした。計算課題は難易度別に Boredom condition、Flow condition、Overload condition に分けられ、さらに課題終了後には Flow に関係する 8 つの質問 (Flow index) への回答を求めた。これらの手順によって Flow condition で最も賦活する領域の同定と、Flow index と同様の賦活変動を示す領域の同定を行った。結果、Flow condition で賦活した領域は左下前頭回、被殻、逆に Flow condition で活動の低下がみられた領域は扁桃体、内側前頭葉であった。以上から、被殻の賦活に関しては Manzano らと同様、報酬関連情報の伝達を示していると考えられ、左下前頭回の賦活は計算課題のコントロールと関連していると考えた。実際に下前頭回は計算課題の難易度上昇とともに賦活する領域として知られている (Gruber et al., 2001; Kong et al., 2005)。扁桃体の活動低下に関して、扁桃体は Positive な感情経験によって活動が低下する領域であると考えられており (Straube et al., 2008; Kim et al., 2004)、Flow が Positive な感情経験と関連する可能性が考察されていた。内側前頭葉は Default Mode Network : DMN の一部であると考えられており (Andrews-Hanna, 2012; Buckner et al., 2008)、安静時に活動が高く、注意や集中することが必要な課題を実施すると活動が低下する部位である。彼らは Flow 課題時の内側前頭葉の賦活の低下は課題への高い注意、集中によるものであると考察した。この研究の問題点としては、やはり被験者が Flow を経験できていたのかが不明確な点である。使用された Flow index は信頼性を Cronbach's α を用いて確認しているものの、妥当性が確認されたものではなかった。そのため、1 項目ずつ別個に検討するという方法を取り、Flow condition で最も得点が高くなる項目が最もよく Flow を表しているという解釈のもと研究を進めている。また賦活領域に関しても、課題難易度が大きく異なる、Boredom condition、Flow condition、Overload condition を直接比較しており、Flow 以外の要素が混入している可能性もある。

これら 3 つの研究の共通見解としては Flow には報酬関連領域、感情関連領域、注意、集中と関連する領域などが関わっているという点である。これらは Flow の理論的背景とも一致している。しかし、いずれの研究も Flow が経験できていたのかを確認する方法に疑問が残った。Flow 時の脳活動を研究するためには、Flow を経験できているかを詳細に確認し、運動の要素や、課題難易度の影響にできる限り配慮する必要があると考えられる。

1.6. 前頭前皮質の機能と Flow

前述のとおり、Flow はその理論的背景や脳機能画像研究から注意、情動、報酬などの処理と密接な関係にあると考えられる。これらの処理には前頭前皮質(Prefrontal cortex: PFC)が関与しており、Flow と前頭前皮質には密接な関係があると推察される。

解剖学的に、前頭前皮質は背外側部(Dorsolateral prefrontal cortex: DLPFC)、腹外側部(Ventrolateral prefrontal cortex: VLPFC)、前頭極(Frontopolar cortex: FP)、背内側部(Dorsomedial prefrontal cortex: DMPFC)、腹内側部(Ventromedial prefrontal cortex: VMPFC)、眼窩前頭皮質(Orbitofrontal cortex: OFC)の 6 つに区分される。眼窩前頭皮質と前頭葉内側部(Medial prefrontal cortex: MPFC)は扁桃体や前部帯状回からの投射を受けており、これらの部位と同時に情動の処理やその調整を行っている(Ray and Zald, 2012)。背外側部は扁桃体や前部帯状回との直接的な投射繊維の連絡はそれほどないが、前頭皮質間での連絡を通して間接的に扁桃体や前部帯状回等に影響を与えていると考えられている(Ray and Zald, 2012)。

機能的には背外側部は、注意・集中と関連し、Working memory 課題や Stroop 課題など実行機能を要する比較的高次の課題で特に賦活する(Coull et al., 1996; MacDonalds et al., 2000; Kang et al., 2012)。その他、背外側部を損傷すると、ルールの維持やセットの転換、プランニングや問題解決行動、意欲の欠如などの障害を呈する。また、前頭極は多重課題の遂行や目標の維持に関与すると考えられ(Badre and D'Esposito, 2009; Roca et al., 2011)、近年では自分自身や他者の感情や心理を想像し、理解するといった心の理論との関連も示唆されている(Roca et al., 2011)。眼窩前頭皮質は報酬に対する価値判断や、主観的な快、不快の処理を行っている(Kringelbach and Rolls, 2004)。そのため報酬由来の意思決定や抑制行動のコントロールを行っていると考えられている。また眼窩前頭皮質は内側前頭前皮質や前部帯状回、扁桃体などと強い連絡をもっているため、情動や社会的行動のコントロールも担っている。さらに近年では前頭前皮質内での連絡も想定されており、これらの処理が相互に影響しあって目的試行的な行動を実現していると考えられている(Ray and Zald, 2012)。

1.7. 近赤外線分光法(functional Near-infrared spectroscopy: fNIRS)

先行研究では fMRI を用い Flow 時の脳活動の検討がなされてきた。fMRI は空間分解能が高く、大脳基底核など深部の脳活動の検討ができるという利点がある反面、頭部の拘束性が高く、撮像時に使用できる課題が限られている。そのため、先行研究ではボタン押しによる単純なゲーム課題や計算課題が用いられてきた。頭部が著しく固定された状況下でこれらの課題を実施し、Flow を誘発できたのかという点に疑問が残る。

以上より、Flow 時の脳活動の測定には、頭部の拘束性が少なく、頭部の動きや身体の動きによるアーチファクトの影響が少ない手法が適していると考えられる。そのため、今回我々は近赤外線分光法(functional Near-infrared spectroscopy: fNIRS)という手法を用いた。この手法は、課題最中に脳の賦活動態を確認することもでき、将来的な臨

床応用を考えた場合、この手法を用いることの利点は大きいと考えられる。以下に fNIRS の測定原理と特徴を述べる。

fNIRS は生体透過率の高い近赤外線光(波長が 700~1000nm)を用いて生体内の酸素化 Hb と脱酸素化 Hb の濃度変化を測定する方法である。つまり、Hb は酸素化 Hb と脱酸素化 Hb とで吸光スペクトルが異なるため、近赤外線光が通過する組織中の Hb 酸素化状態が変化すると Hb の吸光スペクトルに従って通過する近赤外線光の強度が変化する。この近赤外線光強度の変化を計測することにより、生体内の酸素化 Hb と脱酸素化 Hb の濃度変化を測定することができる。

fNIRS は近赤外線光を照射する送光プローブと生体内を通った近赤外線光を検出する受光プローブを頭皮上に接着させて計測を行う。そのため、頭部や身体的な拘束が少なく、トレッドミルでの歩行などを行いながらの脳機能計測も可能である。また、時間分解能も比較的高く、Hb 濃度変化を継続的にとらえるのには適している。賦活領域の特定に関しては、皮質領域においては fMRI と高い一致度を示す(Ye et al., 2009)。ただし、一般的にはこの送光プローブと受光プローブは頭皮上に 3 cm 間隔で設置され、近赤外線光の到達深度も 1.5~3.0 cm 程度である。つまり、空間分解能は高くはなく、脳深部の測定はできない。また賦活部位が大きく広がっていた場合には 10mm 以内の空間的ずれが生じる可能性もある。

1.8. 本研究の目的

本研究では Flow 時における前頭前野の脳活動を明らかにするために、Flow 時の前頭前皮質における酸素化 Hb 濃度を fNIRS にて測定する。測定結果から、Flow に前頭前皮質がどう関与しているのか検討し、Flow がどの認知機能と関連しているのか考察する。課題中の Flow に関しては Flow 尺度に回答してもらうことで確認する。また Flow 尺度回答中、つまり被験者が Flow 時を想起している時の脳活動を測定することで、課題特異的な脳活動や、運動による影響を最小限にし、より一般的な Flow の特徴を検討する。

2. 方法

2.1. 対象

本実験は北海道大学医学部保健学科の学生及び、大学院保健科学院に所属する大学院生を対象に行った。対象者は右利き健常成人 20 名、男性 10 名、女性 10 名、21 - 25 歳、平均年齢 22.25 ± 1.21 歳であった。本研究の十分な説明の後、全対象者より書面による同意を得た。なお本研究は北海道大学大学院保健科学研究院倫理審査委員会の承認を得て実施した。

2.2. 課題

PC を使用したテトリスのゲーム課題を実施した(図 1)。このゲームでは 7 種類の形状の異なるブロックを隙間なく横 1 列に並べていくことが求められる。隙間なく 1 列に並べられた列は消去される。ブロックはゲーム画面の上端から落下し、ブロックを消すことができずに画面の上端までブロックが埋まってしまった場合にゲームオーバーとなる。操作はキーボードを用い、方向キーでブロックの移動、スペースキーでブロックの回転を行うことができる。2 種類の課題を用意し、それぞれ Flow、Boredom の心理的状況を惹起するよう、ブロックの落下速度、枠の大きさなどを変更し課題の難易度を調整した。以下に各課題の詳細な設定を示す。

Flow 課題：課題の難易度と、被験者の能力がつりあうように漸増的に課題難易度が高くなっていくように設定された課題である。1 マス落下する待機時間が 800ms から 20 秒ごとに 33ms ずつ短くなってゆく。フィールドの大きさは 24×12 マス。キーボードの下キーで落下速度をはやくすることが可能である。

Boredom 課題：課題の難易度が極端に低い課題である。1 マス落下する待機時間が 1200ms に設定されており、下キーで落下速度をはやくすることができない。

2.3. 評価尺度

Flow の確認には作業課題版 Flow 尺度を用いた。この尺度は 14 項目、3 因子からなる、7 ポイントのリッカート式尺度である。Flow の相対的な変化を測定するのに適しており、得点が高ければ高いほど、Flow である、あるいは Flow に近いことを表す。信頼性、妥当性に関しても確認されている。

2.4. 実験手順

実験手順のプロトコルを図 2 に示す。被験者は fNIRS の撮像前に Flow 課題にて 2 分間、課題の練習を行い、実験課題の操作方法に関して確認を行った。その後、fNIRS を装着し、

以下の手順で実験を実施した。

まず 30 秒間、作業課題版 Flow 尺度の質問文を読み、すべてに 4、「どちらともいえない」に回答をするという課題を実施した。その後 4 分間ゲーム課題を行った後、ゲーム課題実施中の心理状態に関して 1 分間で尺度回答するように求めた。尺度への回答終了後は 30 秒間、画面を眺め、安静にしている時間を設けた。以上、一連の計 6 分間の課題を Flow 課題と Boredom 課題の 2 種類、各 2 回ずつ、計 4 回繰り返し実施した。撮像時間は 24 分間で課題順に関しては、Flow 課題－Boredom 課題－Flow 課題－Boredom 課題の順で実施する群と、Boredom 課題－Flow 課題－Boredom 課題－Flow 課題の順で実施する群とに分け、カウンターバランスを取った。

被験者には、課題時はなるべく画面から目をそらさないようにすること、意味のないキーの連打などはしないように指示した。また顔をしかめる行為や、強いまばたき、強く奥歯を噛むような行為、頭部を大きく動かすような行為は fNIRS 信号に影響する可能性があるため極力行わないよう指示した。

2.5. fNIRS の設置と測定

本実験には、多チャンネル式近赤外線分光法装置 (LABNIRS, Shimadzu Corp. Kyoto, Japan) を使用した。本機器は 780、805、830nm の 3 波長出力することができ、サンプリングレートは 17.5Hz であった。修正 Beer-Lambert 則 (Cope et al., 1988) から酸素化ヘモグロビン (oxy-Hb)、脱酸素化ヘモグロビン (deoxy-Hb)、総ヘモグロビン (total-Hb) 濃度の相対的な変化を算出できる (Maki et al., 1995)。単位は mM・mm であった。我々は神経活動を最もよく表しているとされる酸素化ヘモグロビン濃度の変化 (Hoshi et al., 2001; Strangman et al., 2002) を対象とした。

送光プローブ (T) 18 本、受光プローブ (R) 17 本の計 35 個のプローブ (計 58 チャンネル) を 5×7 の配置で設置し、前頭前野の酸素化ヘモグロビンの濃度変化を測定した。

プローブは国際 10-20 基準点を利用して、R8 プローブを Fpz と一致させ、ch10, 23, 36, 49 が正中線上に並ぶように設置した (図 3)。光学センサー間 (Inter optrode) の距離は約 3 cm であった。プローブ設置の際はノイズの混入を避けるために頭髮をかき分け、プローブが直接頭皮に触れるよう設置した。各プローブの位置情報は 3D デジタルスタイラスペン (FASTRACK; Polhemus, Colchester, VT, USA) によって、取得した。基準点は左右の耳介前点、頭頂 (Cz)、鼻根 (Nz) であった。

2.6. 統計解析

作業課題版 Flow 尺度のデータに関しては Flow 課題後の得点と Boredom 課題後の結果に対して対応のある t 検定にて比較した。Flow 課題後の尺度得点が Boredom 課題後の尺度得点を 1 度でも下回っていた被験者は、Flow が確認できなかったとみなし、解析対象からは除外した。

fNIRS データは大まかな賦活部位の同定を目的に、NIRS-SPM(Ye et al., 2009)を用いて解析した。分析対象区間として①Flow 尺度の質問文を読み、すべてに 4「どちらでもない」と回答していた 20 秒間、②ゲーム課題終了後に実際のゲーム課題中の経験に関して Flow 尺度に回答していた 30 秒間、③ゲーム課題開始後 30 秒後からの 30 秒間、④ゲーム課題終了前の 30 秒間を指定した。区間①と区間②、区間③と区間④の比較を行い、実際のゲーム課題に関する経験を回答している時に賦活していた脳部位と、ゲーム課題後半に、より賦活していた部位を同定した。これらの比較は Flow 課題、Boredom 課題の両方に対して行った。

NIRS-SPM での解析では、集団解析を行うと、賦活部位に関する座標データが算出されず、得られた機能画像から賦活部位を読み取らなくてはならない。この手法では賦活部位同定の正確性が低下してしまう。そこで NIRS-SPM の解析から得られた機能画像から 6 つの関心領域(Region of interest : ROI)を設定し、LABNIRS にて ROI ベースの解析を行った。ROI は左右の背外側前頭前野 (Dorsolateral prefrontal cortex : DLPFC)、左右の腹外側前頭前野 (Ventrolateral prefrontal cortex : VLPFC)、左右の前頭極 (Left Prefrontal pole area : PFA) に設定した。ROI の設定に関しては確率的レジストレーション法(Sigh et al., 2005)を用いた。この手法は 3D デジタルスタイルラスペンによって得られたチャンネルの位置情報から Montreal Neurological Institute(MNI)座標を算出し、この座標が国際的な解剖学的ラベリングのどの部位に相当するのかを特定するという方法である。本実験では脳回レベルの解剖学的ラベリングである LBPA40(Shattuck et al., 2008)を用いた。なお、先行研究(Yanagisawa et al., 2010)を参考に LBPA40 における DLPFC は中前頭回(Middle frontal gyrus : MFG)領域、VLPFC は下前頭回(Inferior frontal gyrus : IFG)領域と外側眼窩前頭皮質(Lateral orbitofrontal gyrus : LOG)領域に相当するとし、それらの部位を含むように隣り合う 3~4 チャンネルをチャンネル加算し、分析した。左 DLPFC(L-DLPFC)に相当する領域として Ch18、Ch24、Ch25、Ch31、左 VLPFC(L-VLPFC)に相当する領域として Ch6、Ch12、Ch13、Ch19、左 FPA(L-FPA)に相当する領域として Ch4、Ch11、Ch17、右 DLPFC(R-DLPFC)に相当する領域として Ch15、Ch21、Ch22、Ch28、右 VLPFC に相当する領域として Ch1、Ch7、Ch8、Ch14、右 FPA(R-FPA)に相当する領域として Ch3、Ch9、Ch16、を設定した(図 3)。また、この方法は隣り合うチャンネル同士は光学的特性が非常に類似している(Katagiri et al., 2010)ことから、妥当な方法であると考えられている。

ゲーム開始直前、直後の尺度への回答時間のうち、回答直後からの 5 秒間を尺度回答のベース区間とし、ゲーム課題開始直前の 5 秒間をゲーム課題最中のベース区間とした。①質問文をよみ 4「どちらともいえない」と回答していた 20 秒間、②ゲーム課題中の経験に関して尺度回答していた 30 秒間、③ゲーム課題を行っていた 240 秒間、④ゲーム課題終了前の 30 秒間における酸化ヘモグロビン濃度変化の積分値を算出し、1 秒当たりの酸素化ヘモグロビンの変化量を算出した。このデータに関して、区間①と区間②、区間③と区間④の比較を行った。これらの比較は Flow、Boredom の両方に対して行い、検定方法是对応のある t 検定をもちいた。すべての検定の有意水準は 5%とした。

3. 結果

3.1. 対象者の除外と課題中の Flow の確認

対象者のうち、2 名を技術的な問題(プローブの大きなずれ 1 名、原因不明のノイズの混入 1 名)のために除外した。また、Flow 課題直後の作業課題版 Flow 尺度の得点が Boredom 課題直後の得点を下回っていた 3 名の被験者を解析から除外した。最終的に統計解析を行ったのは 15 名(男性 6 名、女性 9 名、21–24 歳、平均年齢 22.0 ± 1.03 歳)であった。

3.2. 作業課題版 Flow 尺度

解析対象となった 15 名の被験者の Flow 課題直後の平均得点は 71.3 ± 9.1 点、Boredom 課題直後の平均得点は 41.3 ± 6.3 点で Flow 課題直後の尺度得点が有意に高かった($t(14) = 9.78, p < 0.05$)(図 4)。

3.3. NIRS-SPM

NIRS-SPM の解析では両側の FPA、DLPFC、VLPFC 周辺で有意な賦活が確認された。しかし、運動前野、補足運動野を含む運動野周辺には有意に賦活している部位が確認されなかった。これらの結果をもとに LABNIRS にて 6 つの ROI を設定した。

3.4. LABNIRS

Flow 課題中の課題全体(0-240s)と課題終了前 30 秒(210-240s)の比較において、課題後半に酸素化 Hb 濃度の有意な上昇がみられた領域は、右 VLPFC($t(14) = -3.22, p < 0.01$)、左 VLPFC($t(14) = -2.58, p < 0.05$)であった(図 5A)。一方、Boredom 課題中の課題全体と課題終了前 30 秒の比較では、前頭前皮質のどの領域においても有意な酸素化 Hb の濃度上昇を示した部位はなく、課題開始直前のベースラインとの比較では全領域において大きな酸素化 Hb 濃度の低下がみられた(図 5C)。

Flow 課題前後の Flow 尺度回答時の酸素化 Hb 濃度の比較において、Flow 課題直後の尺度回答時に酸素化 Hb の有意な上昇がみられた領域は右 DLPFC ($t(14) = 2.691, p < 0.05$)、右 FPA ($t(14) = 3.245, p < 0.01$)、左 VLPFC ($t(14) = 2.256, p < 0.05$)、左 DLPFC ($t(14) = 2.463, p < 0.05$)、左 FPA ($t(14) = 2.496, p < 0.05$)であった(図 5B)。また Boredom 課題前後の Flow 尺度回答時の酸素化 Hb 濃度の比較において、Boredom 課題直後の尺度回答時に酸素化 Hb の有意な上昇がみられた領域は右 VLPFC ($t(14) = 2.941, p < 0.05$)、左 VLPFC ($t(14) = 2.533, p < 0.05$)であった(図 5D)。

4. 考察

本研究では fNIRS を用い、自然に近い環境下で、Flow 時の脳活動測定を行った。Flow、Boredom の両条件下で、課題に取り組んでいる最中のみではなく、作業課題版 Flow 尺度に回答中の脳活動を撮像することで課題特異的な脳活動の混入や、運動による脳活動変化を最小限にするよう試みた。また、信頼性、妥当性の確認されている作業課題版 Flow 尺度(Yoshida et al., 2013)を用い、被験者が Flow であったかの確認を行った。Flow 課題直後の Flow 尺度の得点は、Boredom 課題直後の得点よりも有意に高く、今回の解析対象となった被験者は Flow を経験していたと考えられる。

4.1. 対象者の除外による参加者バイアスに関して

Flow はある活動に対する熟練度(proficiency)や動機づけ、興味、重要性などに影響されるため、与えられた課題に対して全員が Flow を経験できるわけではない(Nakamura and Csikszentmihalyi, 2002)。本研究では Flow を経験していたと考えられる被験者のみを解析対象とするために、作業課題版 Flow 尺度の点数をもとに Flow を経験していなかったと考えられる 3 名の被験者を解析対象から除外した。この尺度は信頼性、妥当性が詳細に確認されているため、この 3 名の除外によって大きな参加者バイアスがかかる可能性は小さかったと考えている。

4.2. 課題最中の脳活動に関して

Flow 課題中の脳活動に関して左右の VLPFC で課題全体(0-240s)に対して課題後半(210-240s)に有意な酸素化 Hb 濃度の増加がみられた。本研究では、Yanagisawa ら(2010)の研究を参考に VLPFC に相当する領域として、下前頭回(IFG)と外側眼窩前頭皮質(lateral orbitofrontal gyrus: LOG)を含む領域とした。

下前頭回は新規性が高い課題への適応時に賦活すると報告されている(De Baene et al., 2012; Fincham et al., 2002)。また、妨害刺激の抑制や注意機能、認知機能のコントロールを行っており、課題難易度が比較的高い課題に動員される(Gruber et al., 2001; Kong et al., 2005)。つまり下前頭回は課題難易度の増加に伴い、注意機能、認知機能のコントロールを行い、課題へ適応していく際に賦活していると推察される。この働きは Flow 理論の挑戦水準と能力水準の高次での均衡や、課題の統制感の要因を表していると考えられる。

外側眼窩前頭皮質は眼窩前頭皮質の一部であり、扁桃体や前部帯状回との連絡が他の前頭前皮質領域に比して密である。そのため外側眼窩前頭皮質は扁桃体や前部帯状回とともに情動の調整を行っており、感情処理や他者への同情などに関与していると考えられている(Ray and Zald, 2012; Carrington & Bailey, 2009)。また、眼窩前頭皮質は報酬情報の処理に関与しているが、内側と外側とではその働きが異なる。内側は金銭を得たり、快感情を伴うような魅力的な顔を見たり、味などを感じた際に賦活し、Positive な

報酬情報の処理を行い(O'Doherty et al., 2001, 2002, 2003; Rolls et al., 2003)、外側は金銭を失うなどした際に賦活し(O'Doherty et al., 2001,)、**punishment monitoring**を行っている。この **punishment monitoring** は現在行っている行動を変更するための自己評価処理(**self-evaluation process**)の役割を担っていると考えられており、現在の行動を変更するか否かの評価に関わっている。以上からこの領域の賦活は **Flow** の下位因子である、内発的な報酬経験や即座のフィードバックとの関連が示唆される。つまり、**Flow** 課題実施中の外側眼窩前頭皮質は、課題の従事によって得られる快感情などの報酬情報や、与えられるフィードバックから現在の課題がうまくいっているのかどうかを評価し、現在の行動を変更すべきか否かの判断を行っているのかもしれない。

前頭極、背外側前頭前野では課題後半の有意な酸素化 Hb 濃度の増加がみられなかった。一般的にゲーム課題時の前頭前野の血流反応(**Cerebral Blood Flow: CBF**)は低下することが知られている(Matsuda and Hiraki, 2004,2006)。Shulman ら(1997)は目的志向課題時の脳活動を撮像した 9 件の PET 研究をメタアナリシスし、課題中の血流反応の低下が前頭葉の正中線上に沿って起こる(**Brodman's areas: BA8,9,10,32**)と述べた。また Mazoyer ら(2002)は、fMRI にて、視覚刺激に対する持続性注意や **vigilance**(覚醒度)の負荷量と背内側前頭前野(**BA9,10**)の賦活の間に負の相関があることを示している。つまり、課題最中の脳活動において **BA9,10** の **BOLD** 信号の低下は、視覚刺激に対する注意・集中の増加を意味する。そのため、**Flow** 課題最中の脳活動において、課題に対する注意・集中の増加が前頭極、背外側前頭前野の賦活としてあらわれなかったと考えられる。

一方、**Boredom** 課題中の酸素化 Hb 濃度は ROI の全領域で課題開始時と比較して大きく低下し、**Flow** 課題中の変化とは明らかに異なっていた。この ROI 全領域における酸素化 Hb の低下は課題難易度が著しく低かったために起こった脳活動の不活性化によるものであると考えられる。

4.3. Flow 想起時の脳活動に関して

本研究では、運動や課題特異的な脳活動の影響をできる限り小さくするために、**Flow** 尺度回答中の脳活動に関しても検討した。先行研究では記憶の検索(**retrieval**)、想起(**recall**)中はその記憶を **encode** した際の関与した皮質の再活性化が起こっていることを示唆しており、実際に、視覚、聴覚、内容特異的な記憶を検索、想起する際、視覚、聴覚、内容特異的な領域が賦活すると報告されている(Hofstetter et al., 2012; Nyberg et al., 2000)。課題直後の尺度回答は被験者に課題最中の認知的、心理的な状況の検索、想起を求めており、この際の脳活動は課題最中の認知的、心理的状況をある程度反映していると考えられる。

Flow 課題直後の **Flow** 尺度回答時には、右腹外側前頭前野以外の領域で有意な酸素化 Hb 濃度の上昇がみられ、前頭前野の広範な領域での賦活が確認された。

外側前頭前野は特にエピソード記憶と、その記憶の感情価(**emotional valence**)の交互

作用によって活動的になることが示唆されている(Gray et al., 2002)。また Balconi and Ferrari(2012)は感情情報を伴った記憶を検索、想起する際、特に positive な感情経験に関する想起には左背外側前頭前野が関与している可能性について言及している。さらに positive な感情経験の処理は左半球が(Balconi and Mazza, 2010)、negative な感情処理を右半球が(Ueda et al., 2003; Reuter-Lorenz et al., 1983)処理しているとの報告もある。Flow 課題直後の尺度回答時には左右背外側前頭前野の賦活は、課題最中の感情経験の想起と関連していたのかもしれない。

また、Boredom 課題直後の尺度回答時には賦活がみられず、Flow 課題直後の尺度回答時に賦活がみられた部位として、左右の前頭極が挙げられる。前頭極は、下位目標である課題を実施しながらも、内的な、より高次の目標を選択、維持する機能があると考えられており、多重課題の処理の際に賦活する(Badre and D'Esposito, 2009; Roca et al., 2011)。その他、多重課題の処理に重要な、認知的背景(cognitive context)の切り替え(Koechlin and Summerfield, 2007)や、メタ認知(Burgess and Wu, 2013; Stuss and Alexander, 2007)に関わっているとの報告も散見される。Flow 課題直後の Flow 尺度回答時の左右前頭極の賦活は、Flow 課題中にこれら前頭葉の機能が課題遂行に関わっていたことを示唆するものかもしれない。特に課題最中に目標を維持し、課題に従事することは Flow 理論の下位因子である明確な目標をもっていることとも一致する。

腹外側前頭前野の賦活に関しては、Flow 課題直後の尺度回答時には左腹外側前頭前野、Boredom 課題直後の尺度回答時には両側腹外側前頭前野で有意な酸素化 Hb の増加がみられた。この領域は前述のとおり、下前頭回と外側眼窩前頭皮質を含む領域であり、注意機能などの認知機能のコントロール、報酬情報のモニタリング、感情の処理を行っている部位であるが、記憶の検索、想起する際の認知的制御にも関与すると考えられている(Badre and Wagner, 2007)。Flow、Boredom の両条件においてこれらの領域が賦活したことから、尺度回答時の腹外側前頭前野の賦活は課題最中の脳活動を反映しているというよりも、記憶想起の際の認知的制御によるものではないかと考える。

4.4. 運動野の賦活が見られなかったことに関して

本研究では、Klasen ら(2011)の報告とは対照的に補足運動野、前運動野領域の賦活は確認されなかった。補足運動野や前運動野等の賦活は課題の特異的な性質によって起こるものであると考えられ、Flow の必須条件であるとは言えないかもしれない。実際、Flow はチェスなどの運動の要素がほとんど入らないと考えられる課題でさえ確認されている(Csikszentmihalyi and Csikszentmihalyi, 1988)。ただし、本研究では Fpz を基準に NIRS のプローブ位置を設定したために、Fpz から離れれば離れるほど、頭部の大きさなどの要因によってプローブの位置のずれが大きくなる。NIRS-SPM ではこれらのずれの補正が行われてはいるものの、この要因が運動野周辺の NIRS 信号に影響している可能性は否定できない。

4.5. 本研究の限界と展望

本研究には三つの限界がある。

まず一つ目は NIRS の空間分解能の低さによる限界である。先行研究では、背側線条体(dorsal striatum)や中脳由来の報酬系、前部帯状回(anterior cingulate cortex: ACC)、など脳の深層の関連が示唆されてきたが。しかし fNIRS は脳の表層の皮質領域しか測定できず、脳の深層の関与に関しては述べることができない。また、腹外側前頭前野の賦活に関しては、明確に下前頭回と外側眼窩前頭皮質のどちらの領域が賦活したのか、あるいはどちらも賦活したのかを特定することができなかった。今後の研究では、Flow の誘発を確認したうえでより空間分解能の高い手法を用いて検討すべきであると考ええる。

二つ目は、電極位置の微細なずれに関するものである。電極位置は前述のとおり、基準点である Fpz から遠くなればなるほど、頭部の形状や大きさなどの影響からずれが大きくなる。この個人間のプローブ位置のずれが、NIRS 信号に影響した可能性がある。ただし、本研究で設定した ROI はすべて前頭極周辺であり、このプローブのずれがデータに強く影響した可能性は小さいと考えている。

三つ目は課題の条件設定に関するものである。今回 Flow 課題と Boredom 課題との脳活動に関して検討したが、理想的にはこの 2 課題に加え、課題難易度を高く設定した Overload 課題を設定すべきであった。しかし、fNIRS を用いた測定の場合、皮膚血流の混入や撮像時間が長くなることによる疲労の影響を考慮し、本研究では実施しなかった。また課題難易度の差による影響を考慮し、Flow と Boredom 条件間の直接的な統計的比較を行わず、各課題全体に対する課題後半の脳活動を検討することによって課題難易度の差による影響を小さくできたと考えている。今後は、Overload 課題を設定し、課題難易度が低すぎても、高すぎても賦活せず、課題難易度と被験者の能力が高次で釣り合った際にのみ賦活する部位の探索が求められる。

今後は、Flow を経験することで生じる脳活動の変化が、注意機能などの認知機能領域における訓練効果を高めるのかを介入研究によって示していく必要がある。また、fNIRS を用いて課題最中の脳活動をモニターし、Flow かどうかを判断しながら訓練を行うなどの方法も考えられる。さらに、Flow が訓練効果を高めるとすればどのような介入法、患者に特にそのような効果が期待できるのか詳細に検討していく予定である。Flow の効果を介入研究によって示していくことで作業療法領域におけるエビデンスの確立に貢献できるものと思われる。

5. 結論

本研究では Flow 時の脳活動に関して、ゲーム課題最中の前頭前野の酸素化 Hb 濃度の変化、ゲーム課題終了直後の Flow 尺度回答中の前頭前野の酸素化 Hb 濃度の変化から検討した。また Boredom 条件に関しても同様に測定し、Flow 条件と比較した。その結果、以下の結論を得た。

1. 課題最中の Flow 条件と Boredom 条件の前頭前野の賦活動態は大きく異なっており、Flow 課題中には下前頭回と外側眼窩前頭皮質領域を含んだ、腹外側前頭前野で酸素化 Hb 濃度の有意な増加がみられた。下前頭回は注意機能などの認知機能のコントロールを担っており、外側眼窩前頭皮質は行動の変化に関与する報酬情報の処理に関与している。以上より、課題を行っている際の Flow には腹外側前頭前野が特に関与しており、この領域の賦活は比較的難易度の高い課題を適切にコントロールし、課題から得られるフィードバックから適切な行為を選択する機能を反映しているのかもしれない。
2. 尺度回答中においても Flow 条件と Boredom 条件で前頭前野の賦活動態が異なっていた。背外側前頭前野の賦活は positive な感情経験の想起と関連し、前頭極の賦活は多重課題遂行に重要な、目標の維持といった機能を示している可能性があり、これらの前頭前野の機能が Flow と関連していることを示唆した。

本研究は fNIRS を用い、より自然に近い環境下で Flow 時の脳活動を測定した初の研究である。結果、Flow は注意機能、感情処理、目標の維持や報酬処理など前頭前野の機能と関連することを示唆した。これらの関連性は Flow 理論の理論的背景とも一致している。いくつかの限界が存在するものの、本研究は、Flow の脳活動の理解を深めるうえで貢献したと考えられる。

6. 謝辞

本研究は、筆者が北海道大学大学院保健科学院保健科学専攻博士後期課程在学中に、同大学院保健科学研究院生活機能学分野、境信哉准教授の指導のもと行われたものです。本論文作成にあたり、多大なるご指導、ご支援を賜りました境信哉准教授に心より感謝いたします。

北海道大学大学院保健科学研究院健康科学分野の山内太郎教授には、ご多忙の中、副指導教官として親身なご指導、ご指摘を賜り心より感謝致します。

本研究を進めるにあたり、多大なるご支援、ご協力をいただきました北海道大学リハビリテーション科、生駒一憲教授、北海道大学病院リハビリテーション部、作業療法士の皆さまには深く感謝いたします。

また、fNIRSの実験を行うにあたり、多大な技術的支援、ご助言をいただきました株式会社島津製作所の皆さまには深く感謝いたします。

7. 引用文献

- Andrews-Hanna JR. 2012. The brain's default network and its adaptive role in internal mentation. *Neuroscientist* 18(3), 251-270.
- Asada H, Fukuda Y, Tsunoda S, Yamaguchi M, Tonoike M. 1999. Frontal midline theta rhythms reflect alternative activation of prefrontal cortex and anterior cingulate cortex in humans. *Neurosci Lett*, 274(1), 29-32.
- Asakawa K. 2004. Flow experience and autotelic personality in Japanese college students: how do they experience challenges in everyday life? *J. Happiness Stud.* 5, 123-154.
- Asakawa K. 2010. Flow experience, culture, and well-being: how do autotelic Japanese college students feel, behave, and think in their daily lives? *J. Happiness Stud.* 11, 205-223.
- Badre D, D'Esposito M. 2009. Is the rostro-caudal axis of the frontal lobe hierarchical? *Nat Rev Neurosci.* 10, 659-669.
- Badre D, Wagner AD. 2007. Left ventrolateral prefrontal cortex and the cognitive control of memory. *Neuropsychol*, 45(13). 2883-2901.
- Balconi M, Ferrari C. 2012. Emotional memory retrieval. rTMS stimulation on left DLPFC increase the positive memories. *Brain Imaging and Behav.* 6, 454-461.
- Balconi M, Mazza G. 2010. Lateralization effect in comprehension of emotional facial expression: a comparison between EEG alpha band power and behavioral inhibition (BIS) and activation (BAS) systems. *Laterality: Asymmetries of Body, Brain and Cognition.* 15, 361-384.
- Buckner RL, Andrews-Hanna JR, Schacter DL. 2008. The brain's default network: anatomy, function, and relevance to disease. *Annals N. Y. Acad. Dent.* 1124, 1-38.
- Burgess PW, Wu H. 2013. Rostral prefrontal cortex (Brodmann area 10). In: Stuss DT, Knight RT. (Eds), *Principles of Frontal Lobe Function*. Oxford University Press, New York, pp. 524-544.
- Carrington SJ, Bailey AJ. 2009. Are there theory of mind regions in the brain? A review of the neuroimaging literature. *Hum Brain Mapp.* 30(8), 2313-2335.
- Choi J, Medalia A. 2010. Intrinsic motivation and learning in a schizophrenia spectrum sample. *Schizophr Res*, 118(1-3), 12-19.
- Cope M., Delpy DT., Reynolds EO., Wray S., Wyatt J., van der Zee P., 1988. Methods of quantitating cerebral near infrared spectroscopy data. *Adv. Exp. Med. Biol.* 222, 183-189.
- Coull JT, Frith CD, Frackowiak RSJ, Grasby PM. 1996. A fronto-parietal network for rapid visual information processing: a PET study of sustained attention and working memory. *Neuropsychol.* 34(11), 1085-1095.
- Csikszentmihalyi M. 1975. *Beyond Boredom and Anxiety*. San Francisco: Jossey-Bass.
- Csikszentmihalyi M, Csikszentmihalyi IS. 1988. (Eds.), *Optimal Experience: Psychological Studies of Flow in Consciousness*. Cambridge University Press, New York, pp. 266-287.
- Csikszentmihalyi M, Nakamura J. 2010. *Effortless Attention in Everyday Life: A Systematic*

- Phenomenology. In: Bruya B. (Eds), *Effortless attention: a new perspective in the cognitive science of attention and action*. The MIT Press, Cambridge, MA, pp.179-190.
- De Baene W, Albers AM, Brass M. 2012. The what and how components of cognitive control. *Neuroimage* 63 (1), 203-211.
- de Manzano Ö, Cervenka S, Jucaite A, Hellenäs O, Farde L, Ullén F. 2013. Individual differences in the proneness to have flow experiences are linked to dopamine D2 receptor availability in the dorsal striatum. *Neuroimage*. 67, 1-6.
- Dockree PM, Kelly SP, Foxe JJ, Reilly RB, Robertson IH. 2007. Optimal sustained attention is linked to the spectral content of background EEG activity: greater ongoing tonic alpha (similar to 10 Hz) power supports successful phasic goal activation. *Eur J Neurosci*, 25(3), 900-907.
- Fairclough, S. H., & Venables, L. (2006). Prediction of subjective states from psychophysiology: A multivariate approach. *Biol Psychol*, 71(1), 100-110.
- Fincham JM, Carter CS, van Veen V, Stenger VA, Anderson JR. 2002. Neural mechanisms of planning: a computational analysis using event-related fMRI. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 99 (5), 3346-3351.
- Gevins A, Smith ME, McEvoy L, Yu D. 1997. High-resolution EEG mapping of cortical activation related to working memory: effects of task difficulty, type of processing, and practice. *Cereb Cortex*, 7(4), 374-385.
- Gray JR, Braver TS, Raichle ME. 2002. Integration of emotion and cognition in the lateral prefrontal cortex. *Proc of the Natl Academy of Sci.* 99, 4115-4120.
- Gregory RJ. 2010. *Psychological testing : history, principles, and applications* (6th ed.,pp.109-150). Boston: Allyn & Bacon.
- Gruber O, Indefrey P, Steinmetz H, Kleinschmidt A. 2001. Dissociating neural correlates of cognitive components in mental calculation. *Cereb. Cortex* 11(4), 350-359.
- Hofstetter C, Achaibou A, Vuilleumier P. 2012. Reactivation of visual cortex during memory retrieval: Content specificity and emotional modulation. *Neuroimage*. 60, 1734-1745.
- Hoshi Y, Kobayashi N, Tamura M. 2001. Interpretation of nearinfrared spectroscopy signal : a study with a newly developed perfused rat brain model. *J. appl. physiol.* 90, 1657-1662.
- Jackson SA, Eklund RC. 2002. Assessing flow in physical activity: The Flow State Scale-2 and Dispositional Flow Scale-2. *J. sport exerc. psychol*, 24(2), 133-150.
- Jackson SA, Marsh HW. 1996. Development and validation of a scale to measure optimal experience: The Flow State Scale. *J. sport exerc. psychol*, 18(1), 17-35.
- Jackson SA, Martin AJ, Eklund RC. 2008. Long and Short Measures of Flow: The Construct Validity of the FSS-2, DFS-2, and New Brief Counterparts. *J. sport exerc. psychol*, 30(5), 561-587.
- Jackson SA, Eklund RC, Martin AJ. 2010. *The FLOW Manual The Manual for the Flow Scales Manual, Sampler Set*. Mind Garden.
- Kang EK, Kim DY, Paik NJ. 2012. Transcranial direct current stimulation of the left prefrontal

- cortex improves attention in patients with traumatic brain injury: A pilot study. *J Rehabil Med.* 44, 346-350.
- Katagiri A, Dan I, Tuzuki D, Okamoto M, Yokose N, Igarashi K, Hoshino T, Fujiwara T, Katayama Y, Yamaguchi Y, Sakatani K. 2010. Mapping of optical pathlength of human adult head at multi-wavelength in near infrared spectroscopy. *Adv. Exp. Med. Biol.* 662, 205-212.
- Katz N, Karpin H, Lak A, Furman T, Hartman-Maeir A. 2003. Participation in occupational performance: Reliability and validity of the activity card sort. *OTJR: Occupation Participation and Health*, 23(1), 10-17.
- Kim H, Somerville LH, Johnstone T, Polis S, Alexander AL, Shin LM, Whalen PJ. 2004. Contextual modulation of amygdala responsivity to surprised faces. *J. Cogn. Neurosci.* 16(10), 1730-1745.
- Klasen M, Weber R, Kircher TTJ, Mathiak KA, Mathiak K. 2012. Neural contributions to flow experience during video game playing. *Soc. Cogn. Affect. Neurosci.* 7, 485-495.
- Koechlin E, Summerfield C. 2007. An information theoretical approach to prefrontal executive function. *Trends Cogn. Sci.* 11, 229-235.
- Kong J, Wang C, Kwong K, Vangel M, Chua E, Gollub R. 2005. The neural substrate of arithmetic operations and procedure complexity. *Cogn. Brain Res.* 22(3), 397-405.
- Kringelbach ML, Rolls ET. 2004. The functional neuroanatomy of the human orbitofrontal cortex: evidence from neuroimaging and neuropsychology. *Prog in Neurobiol.* 72, 341-372.
- Lee B, London ED, Poldrack RA, Farahi J, Nacca A, Monterosso JR, Mumford JA, Bokarius AV, Dahlbom M, Mukherjee J, Bilder RM, Brody AL, Mandelkern MA. 2009. Striatal dopamine d2/d3 receptor availability is reduced in methamphetamine dependence and is linked to impulsivity. *J. Neurosci.* 29, 14734-14740.
- MacDonald AW, Cohen JD, Stenger VA, Carter CS. 2000. Dissociating the role of the dorsolateral prefrontal and anterior cingulate cortex in cognitive control. *Science.* 288, 1835-1838.
- Maki A, Yamashita Y, Ito Y, Watanabe E, Mayanagi Y, Koizumi H. 1995. Spatial and temporal analysis of human motor activity using noninvasive NIR topography. *Med Phys.* 22, 1997-2005.
- Martin AJ, Jackson SA. 2008. Brief approaches to assessing task absorption and enhanced subjective experience: Examining 'short' and 'core' flow in diverse performance domains. *Motiv. emot.* 32(3), 141-157.
- Matsuda G, Hiraki K. 2004. Prefrontal cortex deactivation during video game play. In: Shiratori R., Arai K., Kato F., (Eds.), *Gaming. Simulation and Society: Research Scope and Perspective.* Springer-Verlag, Tokyo, pp. 101-109.
- Matsuda G, Hiraki K. 2006. Sustained decrease in oxygenated hemoglobin during video games in the dorsal prefrontal cortex: A NIRS study of children. *Neuroimage.* 29, 706-711.
- Mazoyer P, Wicker B, Fonlupt P. 2002. A neural network elicited by parametric manipulation of the attention load. *Neuroreport.* 13(17), 2331-2334.

- Nakagami E, Hoe M, Brekke JS. 2010. The Prospective Relationships Among Intrinsic Motivation, Neurocognition, and Psychosocial Functioning in Schizophrenia. *Schizophr Bull*, 36(5), 935-948.
- Nakamura J, Csikszentmihalyi M. 2002. The concept of flow. In: Snyder CR, Lopez SJ (Eds.), *Handbook of Positive Psychology*. Oxford University Press, New York, pp. 89-105.
- Nyberg L, Habib R, McIntosh AR, Tulving E. 2000. Reactivation of encoding-related brain activity during memory retrieval. *PNAS*, 97, 11120-11124.
- O'Doherty J, Kringelbach ML, Rolls ET, Hornak J, Andrews C. 2001. Abstract reward and punishment representations in the human orbitofrontal cortex. *Nat. Neurosci.* 4, 95-102.
- O'Doherty J, Winston J, Critchley H, Perrett D, Burt DM, Dolan RJ. 2003a. Beauty in a smile: the role of medial orbitofrontal cortex in facial attractiveness. *Neuropsychologia* 41, 147-155.
- O'Doherty JP, Deichmann R, Critchley HD, Dolan RJ. 2002. Neural responses during anticipation of a primary taste reward. *Neuron* 33, 815-826.
- Onton J, Delorme A, Makeig S. 2005. Frontal midline EEG dynamics during working memory. *Neuroimage*, 27(2), 341-356.
- Payne BR, Jackson JJ, Noh SR, Stine-Morrow EA. 2011. In the zone: flow state and cognition in older adults. *Psychol Aging*, 26(3), 738-743.
- Peifer C, Schulz A, Schächinger H, Baumann N, Antoni CH. 2014. The relation of flow-experience and physiological arousal under stress -Can u shape it? *J Exp Soc Psychol*, 53, 62-69.
- Ray RD, Zald DH. 2012. Anatomical insight into the interaction of emotional and cognition in the prefrontal cortex. *Neurosci and Behav Rev.* 36, 479-501.
- Reuter Lorenz PA, Givis RP, Moscovitch M. 1983. Hemispheric specialization and the perception of emotion: evidence from right handers and from inverted and noninverted left handers. *Neuropsychol.* 21, 687-692.
- Roca M, Torralva T, Gleichgerricht E, Woolgar A, Thompson R, Duncan J, Manes F. 2011. The role of Area 10 (BA10) in human multitasking and social cognition: A lesion study. *Neuropsychol.* 49, 3525-3531.
- Shattuck DW, Mirza M, Adisetiyo V, Hojatkashani C, Salamon G, Narr KI, Poldrack RA, Bilder RM, Toga AW. 2008. Construction of a 3D probabilistic atlas of human cortical structures. *Neuroimage*. 39, 1064-1080.
- Shulman GL, Fiez JA, Corbetta M, Buckner RL, Miezin FM, Raichle ME, Petersen SE. 1997. Common blood flow changes across visual tasks: II. Decrease in cerebral cortex. *J. Cogn Neurosci.* 9(5), 648-663.
- Sigh AK, Okamoto M, Dan H, Jurcak V, Dan I. 2005. Spatial registration of multichannel multi-subject fNIRS data to MNI space without MRI. *Neuroimage* 27, 842-851.
- Spielberger CD. 1983. *Manual for the State-Trait Anxiety Inventory, STAI-form Y*. Palto Alto, CA: Consulting Psychologists Press.
- Strangman G, Culver J, Thompson J, Boas D. 2002. A quantitative comparison of simultaneous

- BOLD fMRI and NIRS recordings during functional brain activation. *Neuroimage*. 17, 719-731.
- Straube T, Pohlack S, Mentzel HJ, Miltner WH. 2008. Differential amygdala activation to negative and positive emotional pictures during an indirect task. *Behav. Brain Res*. 191(2), 285-288.
- Stuss DT, Alexander MP. 2007. Is there a dysexecutive syndrome? *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B Biol. Sci*. 362, 901-915.
- Tasky KK, Rudrud EH, Schulze KA, Rapp JT. 2008. Using choice to increase on task behavior in individuals with traumatic brain injury. *J Appl Behav Anal*, 41(2), 261-265.
- Tops M, Boksem, MAS. 2010. Absorbed in the task: Personality measures predict engagement during task performance as tracked by error negativity and asymmetrical frontal activity. *Cogn Affect Behav Neurosci*, 10(4), 441-453.
- Ueda K, Okamoto Y, Okada G, Yamashita H, Hori T, Yamawaki S. 2003. Brain activity during expectancy of emotional stimuli: an fMRI study. *Neuroreport*. 20(14), 51-55.
- Ulrich M, Keller J, Hoenig K, Waller C, Grön G. 2014. Neural correlates of experimentally induced flow experiences. *Neuroimage*. 86, 194-202.
- Voorn P, Vanderschuren LJ, Groenewegen HJ, Robbins TW, Pennartz CM. 2004. Putting a spin on the dorsal-ventral divide of the striatum. *Trends Neurosci*. 27, 468-474.
- Yanagisawa H, Dan I, Tsuzuki D, Kato M, Okamoto M, Kyutoku Y, Soya H. 2010. Acute moderate exercise elicits increased dorsolateral prefrontal activation and improves cognitive performance with Stroop test. *Neuroimage*. 50, 1702-1710.
- Ye JC, Tak S, Jang KE, Jung J, Jung J. 2009. NIRS-SPM: Statistical parametric mapping for near-infrared spectroscopy. *Neuroimage*. 44, 428-447.
- Yoshida K, Asakawa K, Yamauchi T, Sakuraba S, Sawamura D, Murakami Y, Sakai S. 2013. The flow state scale for occupational tasks: development, reliability, and validity. *Hong Kong J of Occup Ther*. 23 (2), 53-61.

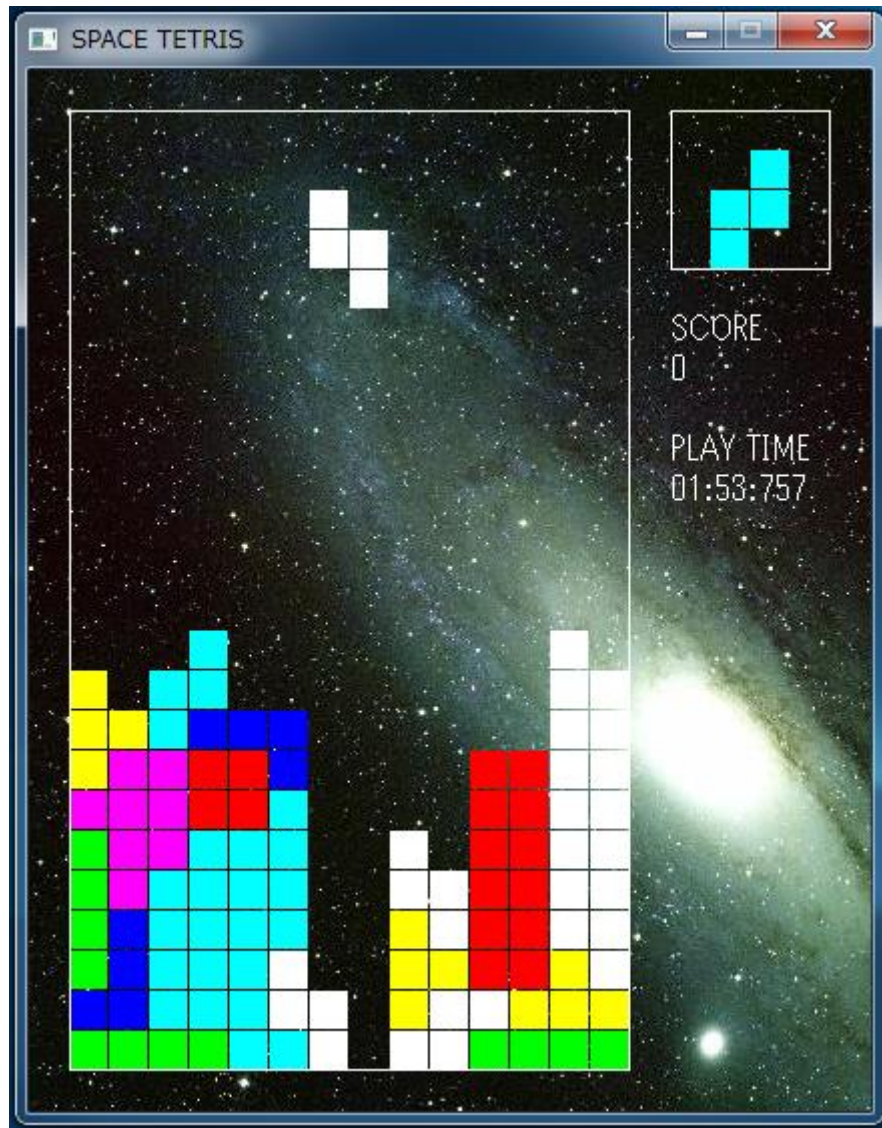


図1 ゲーム課題画面

テトリスのゲーム課題の画面を示す。7種類の形状の異なるブロックを隙間なく横1列に並べていくことが求められる。隙間なく1列に並べられた列は消去される。ブロックはゲーム画面の上端から落下し、ブロックを消すことができずに画面の上端までブロックが埋まってしまった場合にゲームオーバーとなる。操作はキーボードを用い、方向キーでブロックの移動、スペースキーでブロックの回転を行う。

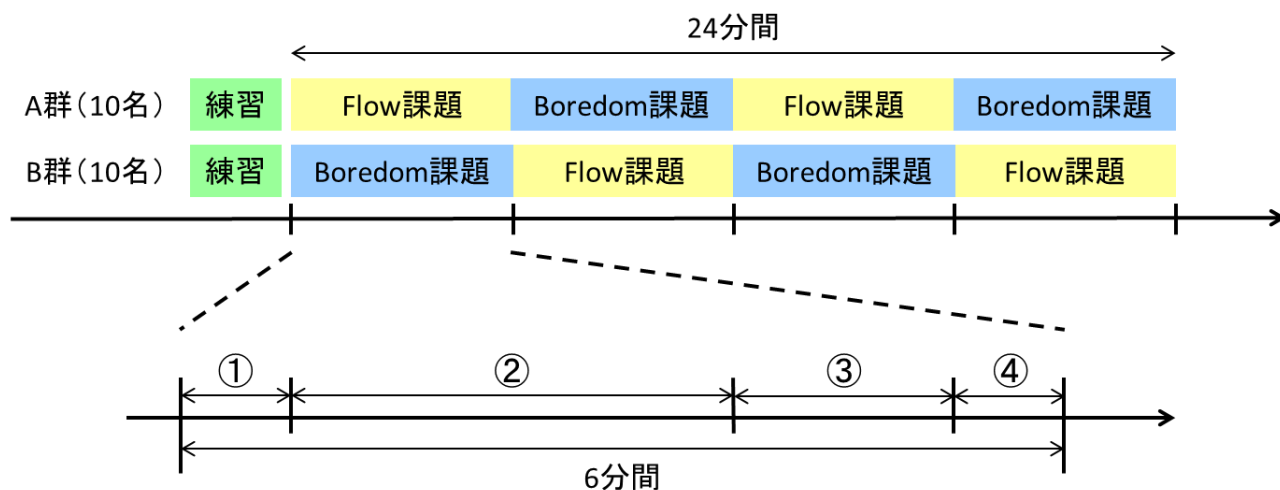


図2 実験のプロトコル

①作業課題版 Flow 尺度を読みすべての質問に対して“4”どちらともいえないに回答する区間(30 秒)、②Flow、もしくは Boredom 課題を実施する区間(240 秒)、③ゲーム課題最中の経験に関して作業課題版 Flow 尺度に回答する区間(60 秒)、④安静区間(30 秒)

以上 6 分間を 1 ブロックとし、4 ブロック繰り返す。その際、Flow－Boredom－Flow－Boredom の順で課題を行う A 群と Boredom－Flow－Boredom－Flow の順で課題を行う B 群とに分け、課題順のカウンターバランスをとった。被験者は撮像前に 120 秒の練習課題を実施し、全撮像区間は 24 分間であった。

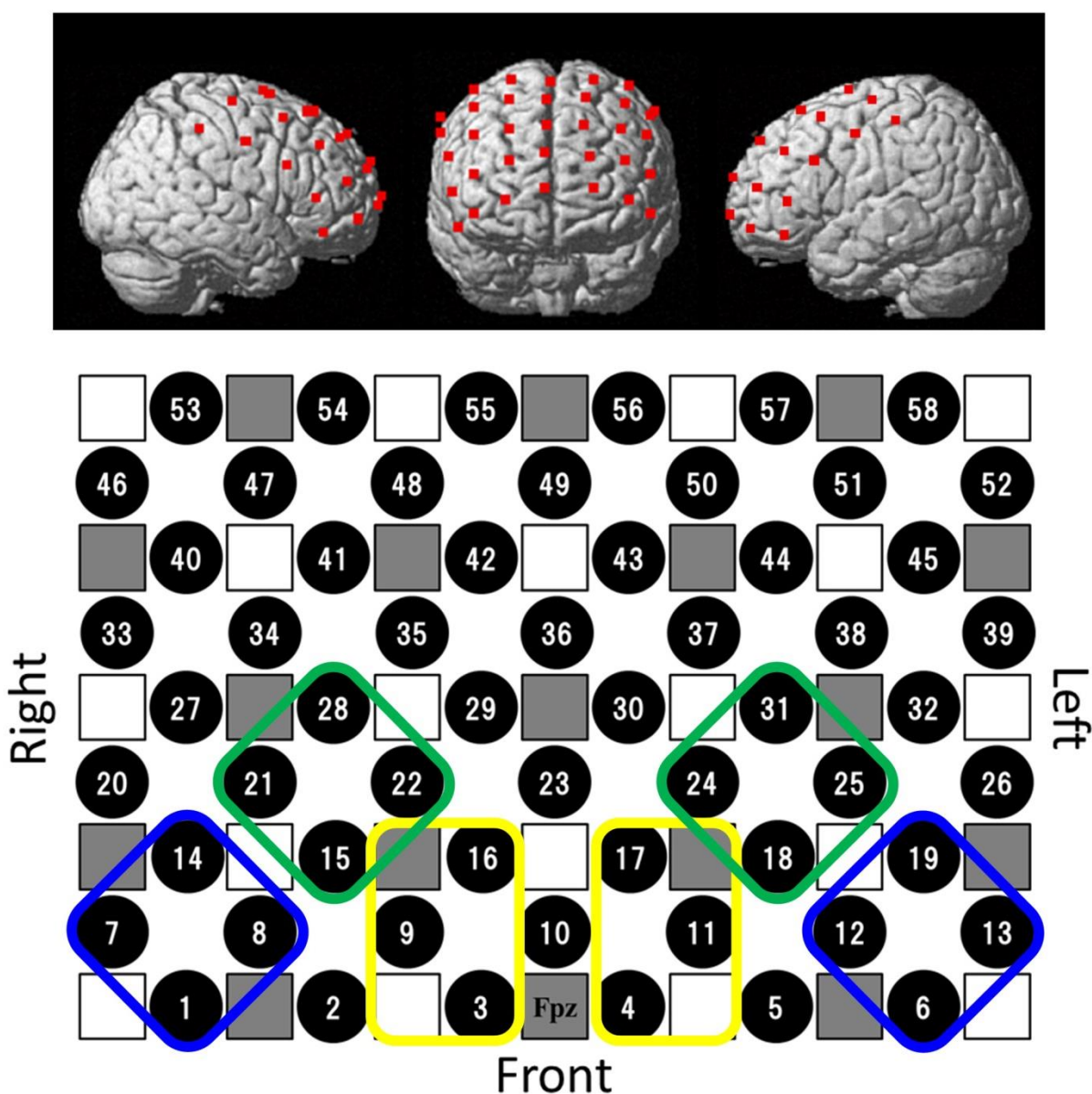


図3 プローブの配置と加算チャンネル

赤いドットはプローブの配置を示している。白い四角は送光プローブ、灰色の四角は受光プローブ、黒い円は各チャンネルを表し、数字はそれぞれのチャンネル番号である。Fpz は国際 10-20 基準点をもとに決定した。黄色い枠で囲まれたチャンネルは前頭極領域、緑の枠で囲まれたチャンネルは背外側前頭前野領域、青い枠で囲まれたチャンネルは腹外側前頭前野領域をそれぞれ表す。

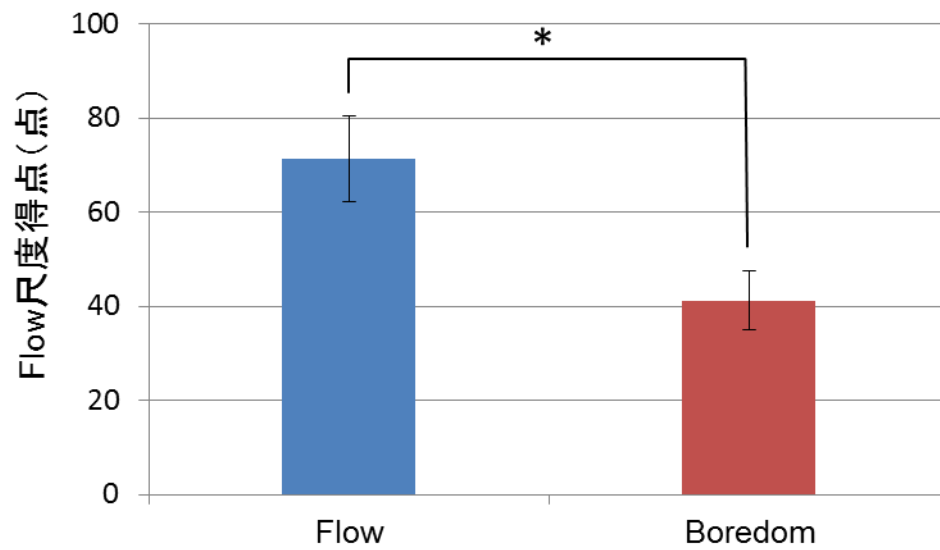
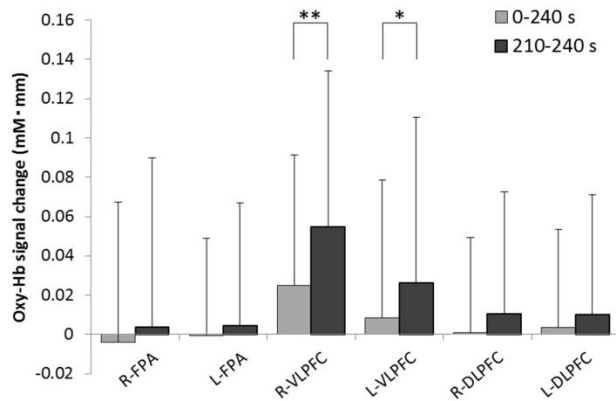


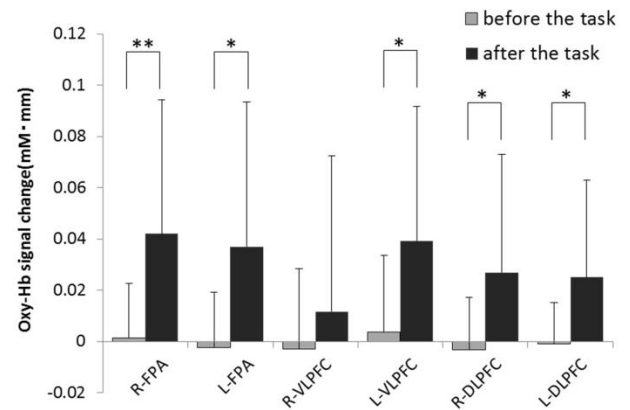
図4 Flow 尺度得点の結果

Flow 課題直後の尺度得点と、Boredom 課題直後の尺度得点に有意差がみられた。 $*p<0.05$ 、エラーバーは標準偏差を表す。

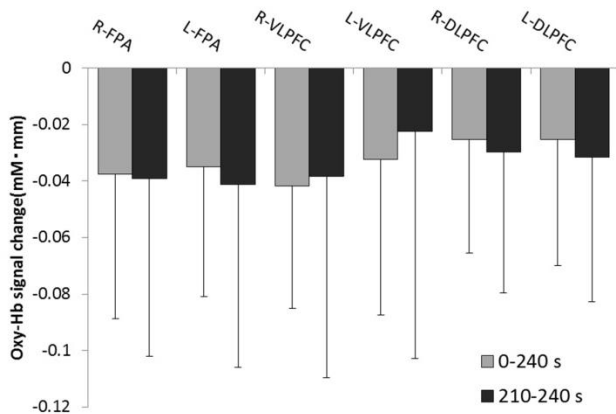
A : FLOW



B : FLOW



C : BOREDOM



D : BOREDOM

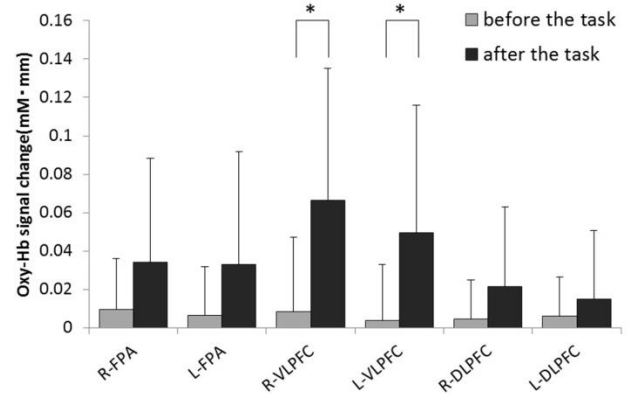


図5 ゲーム課題最中、尺度回答中における酸素化 Hb 濃度の変化

A、C はゲーム課題最中の酸素化 Hb 濃度の変化を表す。薄い灰色が課題全体の平均変化量(0-240s)、濃い灰色が課題後半 30 秒間の平均変化量(210-240s)を表す。B、D 尺度回答中の酸素化 Hb 濃度の変化を表す。薄いグレーは課題実施前の平均変化量、濃い灰色は課題終了直後、課題遂行時の経験に関して尺度回答した時の平均変化量である。 $*p<0.05$ 、 $**p<0.01$ 、エラーバーは標準誤差を表す。

名前

作業課題版Flow尺度

課題を行っていた時の体験を思い出して、以下の質問にお答えください。あまり深く考えず、直感的にあなたが思う数字に○をつけてください。

課題名	全くあてはまらない	どちらともいえない	非常にあてはまる
1 有意義な時間を過ごした	1	2	3 4 5 6 7
2 瞬間瞬間に、何をしたいのか、何をすべきなのかが、はっきりわかっていた	1	2	3 4 5 6 7
3 とても楽しかった	1	2	3 4 5 6 7
4 課題の難しさと自分の能力が釣り合っていた	1	2	3 4 5 6 7
5 次に何が起こっても、それにうまく対応できると感じていた	1	2	3 4 5 6 7
6 時間が早く過ぎるように感じた	1	2	3 4 5 6 7
7 課題に集中するのは容易だった	1	2	3 4 5 6 7
8 課題にどれだけうまく対応できているかを感じていた	1	2	3 4 5 6 7
9 退屈だった	1	2	3 4 5 6 7
10 していること全体を、うまくコントロールできていると感じていた	1	2	3 4 5 6 7
11 時間が経つのを忘れていた	1	2	3 4 5 6 7
12 我を忘れて課題に取り組んでいた	1	2	3 4 5 6 7
13 もう一度やりたいと思った	1	2	3 4 5 6 7
14 していることが、いかにうまくいっているかわかっていた	1	2	3 4 5 6 7

The flow state scale for occupational tasks

Please recall your experience of the task or activity you just completed and answer the following questions. There are no right or wrong answers, so please answer intuitively. For each question, circle the number (1-7) that best matches your experience.

Name _____

task/activity _____

Strongly
disagree

Undecided

Strongly
agree

1	I had a meaningful time.	1	2	3	4	5	6	7
2	I knew clearly what I wanted to do or what I should do at every moment.	1	2	3	4	5	6	7
3	I really enjoyed what I was doing.	1	2	3	4	5	6	7
4	My abilities matched the challenge of what I was doing.	1	2	3	4	5	6	7
5	I felt that I could deal with whatever might happen next.	1	2	3	4	5	6	7
6	It felt like time passed quickly.	1	2	3	4	5	6	7
7	It was easy to concentrate on what I was doing.	1	2	3	4	5	6	7
8	I was aware of how well the task was going.	1	2	3	4	5	6	7
9	The task was really boring.	1	2	3	4	5	6	7
10	I had a sense of great control over everything I was doing.	1	2	3	4	5	6	7
11	I lost track of time while doing the task.	1	2	3	4	5	6	7
12	I lost myself in doing the task.	1	2	3	4	5	6	7
13	I wanted to do it again.	1	2	3	4	5	6	7
14	I knew how well I was dealing with the task.	1	2	3	4	5	6	7

業績一覧

本論文の一部は以下の論文に発表した

1. Yoshida K, Sawamura D, Inagaki Y, Ogawa K, Ikoma K, Sakai S. Brain activity during the flow experience: a functional near-infrared spectroscopy study. *Neurosci Lett*, 2014, 573C, 30-34.
2. Yoshida K, Asakawa K, Yamauchi T, Sakuraba S, Sawamura D, Murakami Y, Sakai S. The Flow State Scale for Occupational Tasks: Development, Reliability, and Validity. *Hong Kong J of Occup Ther*, 2013, 23, 54-61.

本論文の一部は以下の学会に発表した

1. Yoshida K, Sawamura D, Inagaki Y, Ogawa K, Ikoma K, Sakai S.: Brain activity during the flow experience: a functional near-infrared spectroscopy study. *16th International Congress of the World Federation of Occupational Therapist*, Yokohama, 2014,6
2. 吉田一生, 浅川希洋志, 山内太郎, 桜庭 聡, 澤村大輔, 境 信哉 : 作業課題版 Flow 尺度の開発:信頼性と妥当の検討. 第 46 回日本作業療法学会抄録集, 査読あり, 宮崎, 2012, 6

その他業績一覧

[学術論文]

1. Sawamura D, Ikoma K, Yoshida K, Inagaki Y, Ogawa K, Sakai S. Active inhibition of task-irrelevant sounds and its neural basis in patients with attention deficits after traumatic brain injury. *Brain inj*, 2014, 28 (11), 1455-1460.
2. Ueno A, Ito A, Kawasaki I, Kawachi Y, Yoshida K, Murakami Y, Sakai S, Iijima T, Matsue Y, Fujii T. Neural activity associated with enhanced facial attractiveness by cosmetics use. *Neurosci Lett*, 2014, 566, 142-146.

[学会発表]

国際学会

1. Yoshida K, Sawamura D, Ogawa K, Ikoma K, Asakawa K, Yamauchi T, Sakai S.: Flow experience during attentional training improves function: an exploratory case study two patients following traumatic brain injury. *9th Annual Brain Injury Rehabilitation Conference*, San Diego, 2014,5
2. Sawamura D, Ikoma K, Yoshida K, Inagaki Y, Ogawa K, Sakai S.: Active inhibition for task-irrelevant sound in patients with attention deficits after traumatic brain injury: An fNIRS study. *30th International Congress of Clinical Neurophysiology*, Berlin, 2014, 3
3. Ito A, Abe N, Kawachi Y, Kawasaki I, Ueno A, Yoshida K, Sakai S, Matsue Y, Fujii T. : Dissociable roles of the nucleus accumbens and the ventromedial prefrontal cortex in preference formation for consciously and subconsciously perceived targets. *Beauty and Value*, Berlin, DEU, 2013, 10
4. Ueno A, Ito A, Kawasaki I, Kawachi Y, Yoshida K, Murakami Y, Sakai S, Iijima T, Matsue Y, Fujii T.: Neural correlates of made-up face recognition. *International neuropsychological society*, Amsterdam, NLD, 2013, 7
5. Ito A, Fujii T, Abe N, Kawasaki I, Hayashi A, Ueno A, Yoshida K, Sakai S, Mugikura S, Takahashi S, Mori E.: Gender differences in the patterns of vmPFC activity associated with preference judgments for faces. *International neuropsychological society*, Amsterdam,NLD,2013,7

国内学会

1. 伊藤文人、藤井俊勝、阿部修士、川崎伊織、林亜希子、上野彩、吉田一生、境信哉、麦倉俊司、高橋昭喜、森悦朗：性差と加齢がもたらす他者の顔に対する価値表象に関わる神経基盤への影響．第16回日本ヒト脳機能マッピング学会．2014，3
2. 伊藤文人、阿部修士、河地庸介、川崎伊織、上野彩、吉田一生、境信哉、松江克彦、藤井俊勝：顔に対する無意識的な価値表象に関わる神経基盤．第3回社会神経科学研究会2013，11

3. 吉田一生，清水麻衣子，金子翔拓，大川浩子，坪田貞子：クリニカルクラークシップ導入に向けた意向調査．第 47 回日本作業療法学会抄録集，査読あり，大阪，2013，6
4. 星有理香，佐々木千穂，境直子，佐藤洋子，吉田一生，桜庭聡，真木誠，境信哉，加藤光広：脊髄性筋萎縮症 1 型児のコミュニケーション手段について－親へのアンケート調査より－．第 55 回日本小児神経学会抄録集，査読あり，大分，2013，5
5. 星有理香，桜庭 聡，佐々木千穂，吉田一生，境 直子，加藤光広，佐藤洋子，真木 誠，境 信哉：脊髄性筋萎縮症（I 型）児のコミュニケーション発達に関する里程標の作成．第 21 回日本小児神経学会北海道地方会抄録集，査読なし，札幌，2013，3

【競争的資金の研究課題】

1. 訓練課題への没頭が外傷性脳損傷患者の注意機能の改善に与える影響：無作為化比較試験．日本学術振興会 科学研究費助成金 若手研究 B. 研究期間 2014 年-2015 年．代表者：吉田一生