

系列呈示された空間位置の情報の保持と 処理に関わる脳活動の検討

肥後 克己ⁱ, 岡本 尚子ⁱⁱ, 苧阪 満里子ⁱ

私たちの日常生活において、時間的に変化する空間位置を記憶する機能は重要である。本実験は、時間の経過とともに変化する空間位置情報の記憶と処理に関する認知機能と脳活動について、ワーキングメモリの観点から検討したものである。実験には、呈示されたブロックの位置や順序を記憶する Corsi Blocks 課題を用い、課題遂行中の前頭の活動を、NIRS (Near infrared spectroscopy) を用いて計測した。課題では、一つずつ呈示されたブロック位置をその呈示順序で回答する Forward 条件、呈示順序とは逆順序で回答する Backward 条件、同時に複数呈示されたブロック位置を任意の順序で回答する同時呈示条件の3条件を設定した。結果として、課題の正当率は同時呈示条件が最も高く、Backward 条件が最も低かったが、脳活動の指標となる OxyHb 濃度は条件間の差はなく、課題成績との相関も見られなかった。これは、どの実験条件の認知負荷が大きいかは個人によって異なることを示していると考えられる。また、課題成績と実験参加者ごとの3条件間の OxyHb 濃度の標準偏差の間に正の相関関係が見られ、課題成績が高い参加者ほど、3条件の OxyHb 濃度のばらつきが大きかった。これは、課題成績の高い参加者ほど、課題の性質に合わせて対応の仕方を変えていることを示していると考えられる。これらの結果は、時間的に変化する空間位置情報の記憶と処理の機能は個人差が大きく、これらの課題を円滑にこなすためには自身の認知特性をモニタリングし、制御することが重要であることを示唆している。

キーワード：ワーキングメモリ、空間性記憶、系列記憶、NIRS

1. はじめに

物の位置を記憶することは日常生活を送る上で重要な機能である。それだけでなく、位置を時間と結びつけて記憶することも重要である。例えば、駐車場の10番のスペースに自分の車を停めたことを憶えていても、それが昨日のことなのか今日のことなの

かが分からなければ自分の車を見つけることはできない。他にも、地図を見て目的地に移動する際には、目印の場所を記憶にとどめてそれを心の中で辿りつつ、自分の現在地を確認する必要がある。このとき、時間の経過に伴い自身の現在地が変化の中で、目印を順番に頭に思い描くことになる。また、目的地から帰る際は、往路を逆にたどる必要がある。その場合は、往路の道順を逆から想起することになる。このように、空間位置の情報と時間情報を結び付けて記憶・処理することは人間の重要な機能の一つである。

i 立命館大学立命館グローバル・イノベーション研究機構専門研究員

ii 立命館大学産業社会学部准教授

iii 情報通信研究機構脳情報通信融合研究センター主任研究員

1-1. ワーキングメモリ

空間位置の記憶は、ワーキングメモリの観点から多くの研究がなされている。ワーキングメモリは人間の hoch 認知機能の基盤となるシステムであり、短期的な情報の保持と処理を担うものである (Baddeley, 1986)。例えば先に挙げた地図の例では、頭の中で地図を思い浮かべつつ (情報の保持)、自分の現在地と目印を照らし合わせたり、先の道順を考えたりする (情報の処理) 場合などに空間性ワーキングメモリの働きが重要となる。

ワーキングメモリは教育や発達の観点からの研究も行われている。例えば、Jarrod & Baddeley (1997) はダウン症児のワーキングメモリについて調べ、短期的な言語の記憶に障害があることを報告している。一方でウィリアムズ症候群では、空間性の記憶に障害があるとされている (Wang & Bellugi, 1994)。これらの研究をもとに、ワーキングメモリという概念を通して学習に障害のある子どもの認知的特徴を理解し、支援につなげようという試みが実践されている (湯澤・河村・湯澤, 2013)。ワーキングメモリの基本的な性質について理解することは、学習に障害のある子どもの支援につながる重要な課題であると言える。

1-2. ワーキングメモリに関する実験課題

言語のワーキングメモリについての研究では、リーディングスパンテスト (Daneman & Carpenter, 1980; 苧阪・苧阪, 1994) や数字スパンテストと呼ばれる実験課題が用いられることが多い。リーディングスパンテストは、文章を音読しながら文中の単語を記憶する実験課題である。この課題は単語の保持と音読に伴う文意の理解 (情報処理) を同時に課すという点が特徴であり、単なる記憶機能ではなくワーキングメモリ機能を測定することができる。単語スパンテスト (呈示された単語をいくつ憶えられるかを指標とするテスト) と異なり、リーディングスパンテストの課題成績は文章読解課題の成績と相関があることが知られている (Daneman & Carpenter,

1980; 苧阪, 2002)。このことは、単純な記憶課題では文章理解のような高次の認知機能を調べられないということを示している。

言語のワーキングメモリについては、数字スパンテストと呼ばれる実験課題も多く用いられる。この課題は、視覚的もしくは音声で呈示された数字とその順番をいくつ憶えられるかを指標とする課題である。呈示された数字を記憶するだけであれば情報の処理を必要としないので、ワーキングメモリの機能を計測することはできないが、この実験課題では呈示された通りの順番で回答する条件 (Forward recall) だけでなく、呈示されたときは逆の順番で回答する条件 (Backward recall) を設けることでワーキングメモリの機能を計測している。Backward recall では数字を憶えるだけでなく、その順序を並べ替えるという情報処理が必要となり、情報の保持と処理というワーキングメモリ機能を計測することができる (Donolato, Giofrè, & Mammarella, 2017)。

空間性のワーキングメモリ機能の計測には Corsi Blocks 課題 (Spatial Tapping 課題) と呼ばれる実験課題が用いられる。Corsi Blocks 課題は図1のような器具を用い、実験者がブロックを一つずつ順番に指示し、実験参加者がそれを順番通り、もしくは逆順に再生するという課題である (Corsi, 1972)。この課題でも数字スパン課題と同様に、Backward recall を用いることで情報の保持と処理の両方の側面を計測している。

数字スパン課題や Corsi Blocks 課題はその簡便さから、実験分野だけでなく臨床の現場でも広く用いられている (青木, 2009; 渡邊, 2009)。

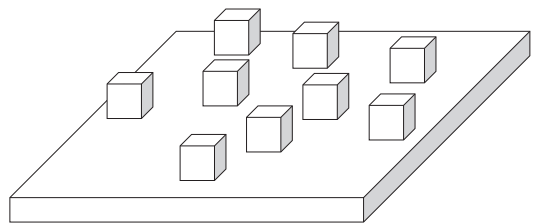


図1 Corsi (1972) で用いられた実験器具

1-3. ワーキングメモリに関わる脳部位

言語のワーキングメモリに関わる脳部位についての研究は、例えばリーディングスパンテスト遂行中の脳活動を計測した Bunge, Klinberg, Jacobson, & Gabrieli (2000) がある。Bunge ら (2000) は、文章の黙読課題、単語の記憶課題、リーディングスパンテストの3種の課題遂行時の脳活動を fMRI (functional Magnetic Resonance Imaging) を用いて調べている。結果としてリーディングスパンテスト遂行時には他の2種の課題遂行時と比較して左右の前頭前野、左中側頭回、両側の前部帯状回、両側の頭頂葉、後頭葉、小脳に有意な活動の上昇が認められた。この中でも左右前頭前野の活動が顕著に大きかったことが報告されている。Osaka, Osaka, Kondo, Morishita, Fukuyama, Aso, & Shibasaki (2001) では、リーディングスパンテストに類似した課題の高得点群と低得点群の脳活動の差について検討している。高得点群の脳活動の特徴として、上部側頭回、前頭前野、前部帯状回を中心とした部位が活動している点は低得点群と同様ながら、その範囲が低得点群と比較して広いこと、また、前部帯状回の活動が強いことが挙げられている。

ワーキングメモリにおいて重要な脳部位として、リーディングスパンテスト遂行時にも活動が認められた、前頭前野、特に背外側部 (dorsolateral prefrontal cortex, DLPFC) が知られている。DLPFC は情報処理を担う部位として知られており、自己モニタリング (Petrides, Alivisatos, Meyer, & Evans, 1993)、注意の配分 (D'Esposito, Detre, Alsop, Shin, Atlas, & Grossman, 1995)、記憶の更新 (Smith & Jonides, 1997) などとの関わりが報告されている。

空間性ワーキングメモリに関わる脳部位についての研究には、van Asselen, Kessels, Neggens, Kappelle, Frijns, & Postma (2006)、Toepper, Markowitsch, Gebhardt, Beblo, Thomas, & Gallhofer et al. (2010a) などがある。van Asselen et al. (2006) では、脳損傷患者の協力を得て実験を行っている。実験は、画面に表示された複数の箱を

ひとつずつ開けていき、ターゲットを探すというものであった。この課題では、一度ターゲットが現れた箱から二度ターゲットが現れることはないので、実験参加者は自身がこれまでどの箱を開けたかを憶えておくと同時に、今までのどの箱にターゲットが入っていたかも憶えておく必要がある。この実験では、右の後頭頂皮質と右の DLPFC、海馬に損傷のある実験参加者において課題成績が低下することが報告されている。Toepper et al. (2010a) では、Corsi Blocks 課題を fMRI で実施できるように改良した課題を用いて実験を行っている。結果として、課題遂行時に両側の DLPFC と腹外側前頭前野、後頭頂葉、前運動野の活動が認められた。また Toepper, Markowitsch, Gebhardt, Beblo, Thomas, & Gallhofer et al. (2010b) では同様の課題で両側の海馬の活動も報告されている。ただし、これらの研究は呈示された空間位置をそのままの順序で想起する課題のみを実施しており、Backward recall に相当する課題は実施していない。Backward recall 時の脳活動を計測した研究が少ない理由の一つは、fMRI 装置の身体拘束性の高さがあると考えられる。fMRI 装置での計測中には体を動かすことがほとんどできず、系列的に呈示される空間位置を記憶・再生する課題中の計測には制限が多いためである。空間性ワーキングメモリの情報処理をより包括的に理解するには、身体的拘束性の低い脳活動計測装置を用いることで、Forward recall だけでなく、Backward recall 時の脳活動の特徴を検討する必要がある。なお、多くの研究によって、情報処理には前頭部の活動が重要であることが示されていることから、空間情報と時間情報の処理にも DLPFC が重要な役割を果たしていることが予想される。

1-4. 目的

本実験は、時間情報と結びついた空間位置の記憶の保持と処理に関連した脳活動を検討することを目的とする。脳活動計測には、身体的拘束性の低い脳計測装置である近赤外分光法 (Near infrared

spectroscopy : NIRS) を用いた。NIRS は、送光プローブから近赤外光を生体に照射し、その光がどの程度減衰したのかを受光プローブにより検出することで、脳表面の血中酸素濃度 (OxyHb 濃度) を指標とした脳活動を計測できる手法である。計測部位は情報処理に重要とされる前頭部とした。

2. 実験

2-1. 実験参加者

実験参加者は22名であったが、NIRS による計測の際に計測不良チャンネルが多かった4名を分析から除外した。最終的に分析には18名 (男性9名、女性9名、平均年齢22.50歳、19歳-26歳、女性1名が左利き) のデータを用いた。本研究は大阪大学大学院人間科学研究科行動学系研究倫理審査委員会の承認を得て実施した。

2-2. 装置

実験刺激の呈示には24.1インチディスプレイと Microsoft Power point 2013を用いた。

2-3. 実験条件

実験には、コンピューター上で呈示されたブロックの位置や順序を記憶する Corsi Blocks 課題を用いた。実験には Forward 条件、Backward 条件、同時呈示条件の3条件が設定され、全参加者に3条件が実施された。Forward 条件は、一つずつ呈示されるブロック位置を記憶し、その呈示順序で回答する条件である。Backward 条件は、一つずつ呈示されるブロック位置を記憶し、呈示順序とは逆順序で回答する条件である。同時呈示条件は、同時に複数呈示されたブロック位置を記憶し、任意の順序で回答する条件である。各条件8試行、計24試行を実施した。実施順序は統一せず、実験参加者間でカウンターバランスを行った。

2-4. 刺激

実験刺激には青い背景に白いブロックが不規則な位置に12個並んだものを用いた (図2)。白いブロックはディスプレイ上に3cm×3cmの大ききで表示された。Forward 条件と Backward 条件ではこのブロックが一度に一つだけ黒い色に変わり、実験参加者はその位置と順序を憶えることを求められた。色が変わるブロックは12個中6個であった。同時呈示条件では6個のブロックの色が同時に変化し、その位置を記憶することが求められた。

1試行はまず15秒間の安静状態から始まった。その後、3秒間全てのブロックが白い状態で表示された後、色の変化が始まった。Forward 条件と Backward 条件では色の変化は1秒に1回のペースで、1試行中で同じブロックの色が2回以上変わることは無かった。同時呈示条件では、6つのブロックの色が変化した状態が6秒間続いた。いずれの条件も、ブロックの色の変化が終わるとすぐに回答することが求められた。回答は、画面上のブロックを指でタッチすることで行われた。回答時間は10秒間であった。Forward 条件では刺激が呈示された順番そのまま、Backward 条件では逆から想起することが求められた。同時呈示条件では任意の順序で回答することが求められた。実験開始前に3試行練習を行い、教示の理解を確認した後、各条件8試行、計24試行を続けて実施した。



図2 実験刺激

2-5. 脳機能計測

脳機能計測のための NIRS には、島津製作所の光

脳機能イメージング装置 LIGHTNIRS を用いた。送光プローブおよび受光プローブは各 8 個ずつ配置し、22チャンネル（箇所）を計測した。プローブおよびチャンネルの配列は図3の通りである。サンプリング間隔は75ミリ秒であった。本実験では、国際10-20法における Fpz に19ch が位置するようプローブホルダーを配置した。分析には、多くの参加者で安定してデータ取得が行えた10ch（右前頭）と13ch（左前頭）のデータのみを用いた。

分析の前処理として、計測データにリサンプリング、フィルタリング、加算平均、標準化を行った。データ量を減らし分析をやすくするため、リサンプリングによって、計測時に75ミリ秒であったサンプリング間隔を250ミリ秒に変換した。フィルタリングには1 Hz のハイカットフィルタを用い、高周波ノイズを取り除いた。呼吸や体動など課題と関連しないノイズを除去するための加算平均は、各試行最初の15秒間の安静状態終了時点をもとに、8試行の加算平均値を算出した。標準化は、実験参加者ごとの3条件全ての平均値と標準偏差を用い、計測値を実験参加者ごとに標準化した。以降、標準化した値を Z 値と表す。NIRS による計測結果は相対値であり、そのままでは個人差が大きく、集合データとして統計解析するには適さないことが標準化する理由である。

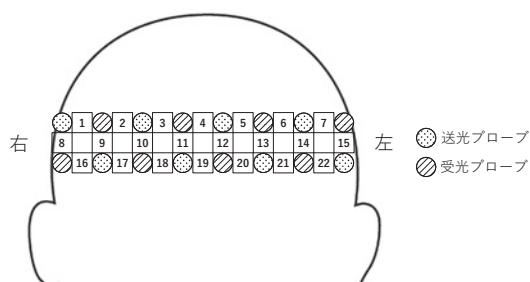


図3 プローブと測定チャンネルの配置
(図中の数字はチャンネル番号)

2-6. 分析

本実験の NIRS データの処理には MATLAB 2017b

(MathWorks, Natick, MA, USA) を用い、行動データを含む統計解析には R version 3.5.3 (R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria) を用いた。多重比較には修正 Bonferroni 法 (Shaffer 法) を用いた。また、球面性の仮定が成り立たなかった場合は Greenhouse-Geisser の補正を行った。

3. 結果

3-1. 正答試行数

呈示された刺激を全て正しく想起できた場合を正答として、各条件について参加者の平均正答試行数を算出した。分散分析を用いて3条件の8試行中の正答試行数を比較した結果、主効果が有意であった ($F(17, 1.91) = 25.64, p < .001, \eta_p^2 = .60$)。各条件の差について多重比較を行ったところ、全ての条件間に有意差が認められた (Backward 条件 - 同時呈示条件 $p < .001, r = .86$, Forward 条件 - 同時呈示条件 $p < .01, r = .67$, Forward 条件 - 同時呈示条件 $p < .01, r = .66$; 図4)。

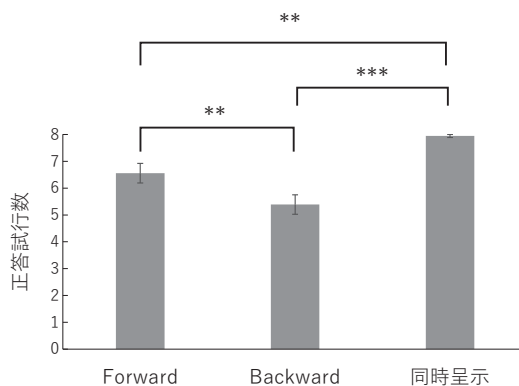


図4 正答試行数
(エラーバーは標準誤差 (以降の図も同様))

3-2. 平均 OxyHb 濃度の左右差 (左前頭と右前頭の差) と 3 条件の差

全体的な特徴として、脳活動の左右差と条件の差を検討するため、まず、各実験参加者について、刺激呈示時の後半 3 秒間の 1 秒当たりの平均 OxyHb

濃度と、回答時の10秒間の1秒当たりの平均 OxyHb 濃度を算出した。刺激呈示時の後半3秒間のデータのみ用いたのは、神経活動が起こってから OxyHb 濃度が変化し始めるまでにタイムラグがあるからである。その後、刺激呈示時と回答時それぞれにおける、左前頭と右前頭の各条件についての参加者の平均値を求め、2要因分散分析(左右差×実験条件)を用いて比較した。

まず、刺激呈示時について結果を述べる。分散分析の結果、左右差の要因、実験条件の要因ともに有意な差は認められず(左右差 $F(1, 17) = 0.01$, $p = .97$, $\eta_p^2 = .00$, 実験条件 $F(1.77, 30.15) = 0.04$, $p = .94$, $\eta_p^2 = .00$), 交互作用も認められなかった($F(1.77, 30.12) = 0.14$, $p = .85$, $\eta_p^2 = .01$; 図5)。

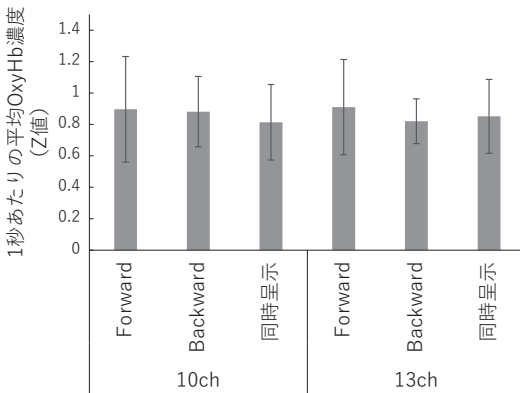


図5 刺激呈示時の平均 OxyHb 濃度

(10ch が右前頭, 13ch が左前頭)

次に、回答時の結果について述べる。分散分析の結果、回答時でも、左右差の要因、実験条件の要因ともに有意な差は認められず(左右差 $F(1, 17) = 0.26$, $p = .62$, $\eta_p^2 = .01$, 実験条件 $F(1.87, 31.72) = 0.21$, $p = .59$, $\eta_p^2 = .01$), 交互作用も認められなかった($F(1.98, 33.58) = 0.14$, $p = .59$, $\eta_p^2 = .03$; 図6)。

左右の平均 OxyHb 濃度の間に有意な差が認められなかったため、以降の分析では10ch(右前頭)の計測データのみを扱う。

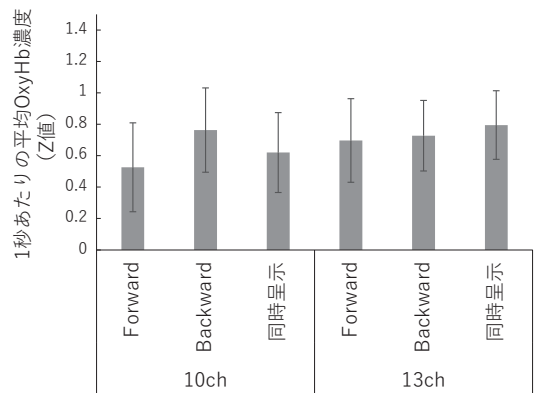


図6 回答時の平均 OxyHb 濃度

(10ch が右前頭, 13ch が左前頭)

3-3. 正答試行数と平均 OxyHb 濃度の相関

実験参加者間の“正答試行数”と“脳活動”の関連を検討すべく、各参加者の“正答試行数”と“刺激呈示時および回答時の平均 OxyHb 濃度”を散布図にプロットし、相関を調べた(図7, 図8)。

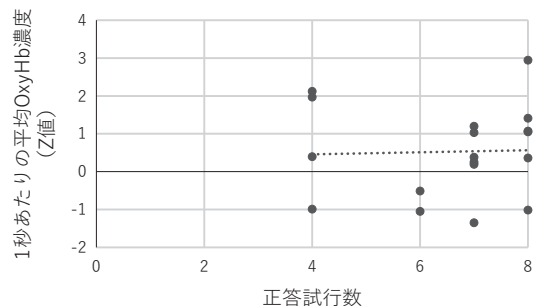
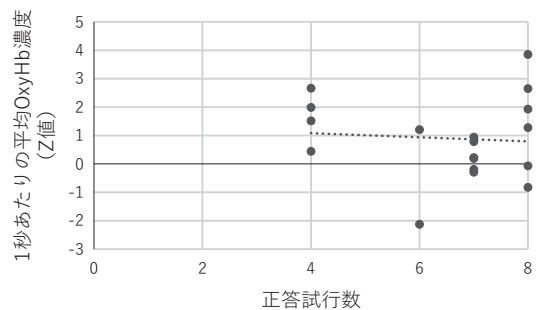


図7 Forward条件の正答試行数と平均 OxyHb 濃度の関連

(上: 刺激呈示時, 下: 回答時 図中の点線は線形近似直線)

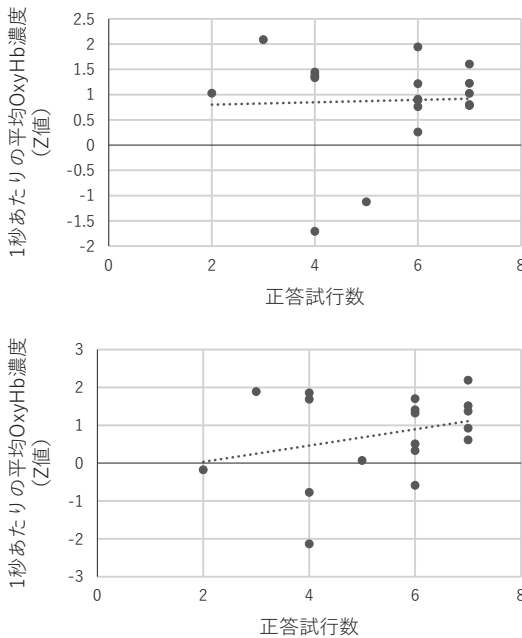


図8 Backward 条件の正答試行数と平均 OxyHb 濃度の関連

(上：刺激呈示時，下：回答時)

Forward 条件では，刺激呈示時，回答時ともに正答試行数と平均 OxyHb 濃度の間に相関は見られなかった（刺激呈示時 $r = -.08$, $p = .76$, 回答時 $r = .04$, $p = .89$; 図7）。

Backward 条件も同様に，刺激呈示時，回答時ともに正答試行数と平均 OxyHb 濃度の間に相関は見られなかった（刺激呈示時 $r = -.04$, $p = .88$, 回答時 $r = .29$, $p = .24$; 図8）。

同時呈示条件はほぼ全ての実験参加者が全試行正答したため分析から除外した。

3-4. 各実験参加者の条件別平均 OxyHb 濃度

各実験参加者について，3条件の脳活動の違いを検討するため，全実験参加者の条件別の平均 OxyHb 濃度を調べた（図9）。

図9では，18名の実験参加者を，課題成績（全24試行中の正答試行数）の高い者から順に並べた。図からは，刺激呈示時，回答時ともに，課題成績と平

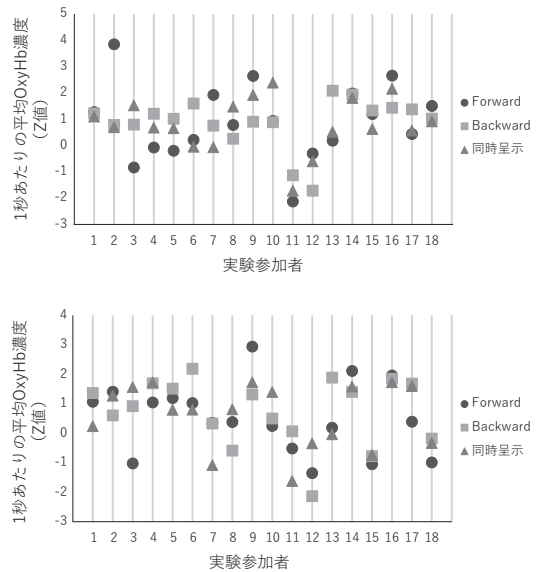


図9 各実験参加者の各条件の平均 OxyHb 濃度

(上：刺激呈示時，下：回答時。左側の実験参加者ほど課題成績が高い。)

均 OxyHb 濃度の間の相関関係や，平均 OxyHb 濃度に特定のパターン（高得点者は Backward 条件において平均 OxyHb 濃度が低い，等）が無いことがわかる。

3-5. 正答試行数と平均 OxyHb 濃度の条件間ばらつきの相関

実験参加者間の“正答試行数”と“脳活動の条件間のばらつき”の関連を検討すべく，各参加者の“正答試行数”と“3条件間の平均 OxyHb 濃度の標準偏差”を散布図にプロットし，相関分析を行った（図10）。

結果として，刺激呈示時では，それぞれの実験参加者の正答試行数と3条件の平均 OxyHb 濃度の標準偏差の間には，正の相関が有意な傾向で認められた ($r = .46$, $p = .05$)。回答時の正答試行数と平均 OxyHb 濃度の標準偏差の間には相関は見られなかった ($r = .29$, $p = .24$)。

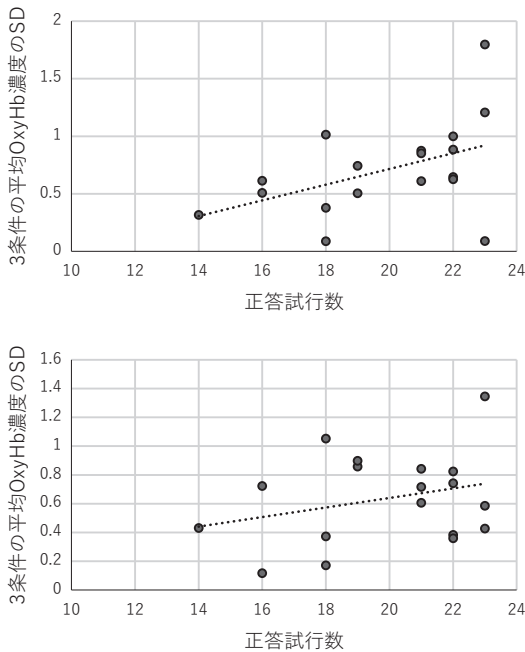


図10 正答試行数と3条件の平均OxyHb濃度の標準偏差

(上：刺激呈示時，下：回答時)

4. 考察

本研究の目的は、時間的に変化する空間位置情報を記憶・処理する際の認知処理の特性とそれに関連する脳機能について検討することであった。結果として、課題の正答率（正答試行数）は同時呈示条件が最も高く、Backward条件が最も低くなることが示された。一方、NIRSによるOxyHb濃度の計測では、刺激呈示時・回答時ともに3条件間に差は見られず、脳の左右差も有意ではなかった。また、正答試行数とOxyHb濃度の間に相関はなく、高得点の実験参加者だけに見られるOxyHb濃度のパターンなどもなかった。しかし、正答試行数と刺激呈示時の3条件間の平均OxyHb濃度の標準偏差の間には正の相関が有意傾向であり、正答試行数の多い実験参加者ほど3条件の平均OxyHb濃度のばらつきが大きい傾向が示された。

正答率は同時呈示条件が一番高く、Backward条件が最も低かったことは、順序を覚える必要のない同時提示条件、呈示されたまま再生すればよいForward条件、呈示された順序の反転という情報処理を必要とするBackward条件という、3条件の特性を反映していると言える。ただし、後述するが、このことは同時呈示条件の認知的負荷が最も小さく、Backward条件が最も大きいということの意味しない。

NIRSによる脳活動の計測結果についてだが、3条件間に平均OxyHb濃度の差が見られず、課題成績と平均OxyHb濃度の間に相関も見られなかった。Manan, Franz, Yusoff, Mukari (2014)は、数字スパンテストにおいて、Forward条件よりBackward条件で前頭前野のより広い範囲が活動したことを報告している。本実験でも、Forward条件と比してBackward条件の平均OxyHb濃度が高くなること、同時呈示条件が最も低くなることが予想されたが、3条件の間に有意な差は見られなかった。図9を見ると、全ての実験参加者において、3条件の中で同時呈示条件の平均OxyHb濃度が最も低くなっているわけではない。課題の性質から考えると同時呈示条件が最も難易度が低く、Backward条件が最も高いと考えられ、実際に本実験での正答試行数はそのような結果になっている。ただし、Corsi Blocks課題のForward条件とBackward条件の成績のどちらが高くなるかは、研究によって異なり、一致した見解は得られていない(Berch, Krikorian, & Huha, 1998; Kessels, van den Berg, Ruis, & Brands, 2008; Wilde & Strauss, 2002)。一方で数字スパン課題ではBackward条件よりもForward条件の課題成績の方が高くなることが知られている(Berch et al., 1998)。このことは、ものの位置やその時間的な変化を記憶・処理することの個人差は大きく、人によってForward条件の認知負荷が大きい場合やBackward条件の認知負荷が小さい場合などがあるということを示唆していると考えられる。本実験において、3条件間で平均OxyHb濃度に差が見られ

なかったことや、図9の示す個人ごとの平均 OxyHb 濃度の傾向の違いなどからも、個人差の大きさが読み取れる。

正答試行数と刺激呈示時の3条件間の平均 OxyHb 濃度の標準偏差の相関は5%水準では有意にはならなかったが、 p 値と相関係数を併せて考慮すると、中程度の正の相関関係があると考えられる。これは、課題成績の高い参加者ほど3条件間で平均 OxyHb 濃度のばらつきが大きいということである。このことは、高得点群は自身の情報処理特性にあわせて3条件それぞれへの対応の仕方を変えていることを示唆していると考えられる。言語性ワーキングメモリ課題において高い成績を示す実験参加者は方略の使用が多く、またその種類も多いことから、自己の認知機能を高度にモニタリングし制御していることが示されている(荳阪・西崎, 2000; 荳阪, 2002)。本実験においても高成績群は全部の条件の脳活動が高い、もしくは低いわけではなく、課題の内容にあわせて柔軟に対応を変化させていることが推察できる。時間的に変化する空間位置情報を記憶・処理するような場合にも、言語性ワーキングメモリ課題を遂行する際と同様に、自己の認知機能のモニタリングと制御が重要であると考えられる。

では、3条件の中で最も難易度が低いと考えられる同時呈示条件においても、他の2条件よりも平均 OxyHb 濃度が高くなっている参加者がいたことはどのように説明できるであろうか。空間位置の記憶には、それ自体に情報処理の機能が必要とされ、記憶すべき対象に注意を向けることが重要であるとされている(Awh, Jonides, & Reuter-Lorenz, 1998; Awh, Jonides, Smith, Buxton, Frank, & Love et al., 1999)。同時呈示条件では6つのターゲットが同時に呈示されるため、実験参加者は自身でどの対象に、どのような順番で注意を向けるかを決める必要があった。一方で Forward 条件や Backward 条件ではターゲットは一つずつ呈示され、参加者は現在呈示されているターゲットにだけ注意を向ければよい。この違いが脳活動の違いに反映されたと考えられる。

ワーキングメモリの個人差については、性別、年齢、遺伝要因などとの関連が調べられている。Harness, Jacot, Scherf, White, & Warnick (2008) ではワーキングメモリの性差について、言語性課題では男性の方が、視覚性課題では女性の方が、課題成績が高くなることが報告されている。Gathercole, Pickering, Ambridge, & Wearing (2004) は、4歳から15歳の子どものワーキングメモリ機能について調べている。その結果、言語性情報の保持、空間性情報の保持、情報処理の3つの要素すべてが、年齢が上がるとともに向上していくことが示された。成人以降のワーキングメモリ機能の変化についても調べられており、20歳以降は加齢とともに課題成績が低下していくことが示されている(Park, Lautenschlager, Hedden, Davidson, Smith, & Smith, 2002)。Ando, Ono, & Wright (2001) はワーキングメモリに関わる遺伝要因について調べ、言語・空間・保持・処理それぞれに関わる遺伝因子および全体に関わる因子を見出している。このように、ワーキングメモリの個人差には複数の要因が影響していると考えられる。

本研究は、時間的に変化する空間位置情報を記憶・処理する際の認知処理の特性とそれに関連する脳機能について調べることを目的としていた。結果として、課題の正答率は同時呈示条件が最も高く、Backward 条件が最も低くなるが、全参加者に共通して特定の条件における脳活動が高いということはなく、課題成績の高い参加者ほど3条件間の差が大きいことが示唆された。今回用いた Corsi Blocks 課題に類似した課題が Wechsler 記憶検査など臨床場面でも使われている(青木, 2009; 渡邊, 2009)。人間の認知の性質を明らかにするだけでなく、この実験課題がどのような認知機能を測定しているのかを考える上でも、本研究は重要な知見を提供していると考えられる。

参考文献

- van Asselen, M., Kessels, R. P. C., Neggers, S. F. W., Kappelle, L. J., Frijns, C. J. M., Postma, A.

- (2006). Brain areas involved in spatial working memory. *Neuropsychologia*, *44*, 1185-1194.
- Ando, J., Ono, Y., & Wright, M. J. (2001). Genetic structure of spatial and verbal working memory. *Behavior Genetics*, *31*, 615-624.
- Awh, E., Jonides, J., & Reuter-Lorenz, P. A. (1998). Rehearsal in Spatial Working Memory. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *24*, 780-790.
- Awh, E., Jonides, J., Smith, E. E., Buxton, R. B., Frank, L. R., Love, T., Wong, E. C., & Gmeindl, L. (1999). Rehearsal in Spatial Working Memory: Evidence from Neuroimaging. *Psychological Science*, *10*, 433-437.
- Baddeley, A. (1986). *Working memory*. New York: Oxford University Press.
- Berch, B. B., Krikorian, R., & Huha, E. M. (1998). The Corsi Block-Tapping Task: Methodological and Theoretical Considerations. *Brain and Cognition*, *38*, 317-338.
- Bunge, S. A., Klingberg, T., Jacobsen, R. B., & Gabrieli, J. D. (2000). A resource model of the neural basis of executive working memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *97*, 3573-3578.
- Corsi, M. (1972). Human memory and the medial temporal region of the brain. *Unpublished doctoral dissertation*. McGill University, Montreal, Canada.
- Gathercole, S. E., Pickering, S. J., Ambridge, B., & Wearing, H. (2004). The structure of working memory from 4 to 15 years of age. *Developmental Psychology*, *40*, 177-190.
- Daneman, C., & Carpenter, P. A. (1980). Individual differences in working memory and reading. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, *19*, 450-466.
- D'esposito, M., Detre, J. A., Alsop, D. C., Shin, R. K., Atlas, S., & Grossman, M. (1995). The neural basis of the central executive system of working memory. *Nature*, *378*, 279.
- Donolato, E., Giofrè, D., & Mammarella, I. C. (2017). Differences in Verbal and visuospatial Forward and Backward Order Recall: A Review of the literature. *Frontiers in Psychology*, *8*, 663.
- Harness, A., Jacot, L., Scherf, S., White, A., & Warnick, J. E. (2008). Sex differences in working memory. *Psychological Reports*, *103*, 214-218.
- Jarrold, C., & Baddeley, A. D. (1997). Short-term memory for verbal and visuospatial information in Down's syndrome. *Cognitive Neuropsychiatry*, *2*, 101-122.
- Kessels, R. P., E. van den Berg, C. Ruis, & Brands, A. M. (2008). The backward span of the Corsi Block Tapping Task and its association with the WAIS III Digit Span. *Assessment*, *15*, 426-434.
- Manan, H. A., Franz, E. A., Yusoff, A. N., & Mukari, S. Z. S. (2014). Age-related brain activation during forward and backward verbal memory tasks, *Neurology, Psychiatry and Brain Research*, *20*, 76-86.
- Osaka, M., Osaka, N., Kondo, H., Morishita, M., Fukuyama, H., Aso, T., & Shibasaki, H. (2001). Individual differences in verbal working memory: fMRI study. *Clinical Neurophysiology*, *112*, 1123.
- Park, D. C., Lautenschlager, G., Hedden, T., Davidson, N. S., Smith, A. D., & Smith, P. K. (2002). Models of visuospatial and verbal memory across the adult life span. *Psychology and Aging*, *17*, 299-320.
- Petrides, M., Alivisatos, B., Meyer, E., & Evans, A. C. (1993). Functional activation of the human frontal cortex during the performance of verbal working memory tasks. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *90*, 878-882.
- Smith, E. E., & Jonides, J. (1997). Working memory: A view from neuroimaging. *Cognitive Psychology*, *33*, 5-42.
- Toepper, M., Gebhardt, H., Beblo, T., Thomas, C., Driessen, M., Bischoff, M., Blecker, C. R., Vaitl, D., & Sammer, G. (2010a). Functional correlates of distractor suppression during spatial working memory encoding. *Neuroscience*, *165*, 1244-1253.
- Toepper, M., Markowitsch, H. J., Gebhardt, H.,

- Beblo, T., Thomas, C., Gallhofer, B., Driessen, M., & Sammer, G. (2010b). Hippocampal involvement in working memory encoding of changing locations: an fMRI study. *Brain Research, 1354*, 91-99.
- Wang, P. P., & Bellugi, U. (1994). Evidence from two genetic syndromes for a dissociation between verbal and visual-spatial short-term memory. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology, 16*, 317-322.
- Wilde, N. & Strauss, E. (2002). Functional Equivalence of WAIS-III WMS-III Digit and Spatial Span under Forward and Backward Recall Conditions. *The Clinical Neuropsychologist, 16*, 322-330.
- 青木 重陽 (2009). 高次脳機能障害の検査と解釈 ウェクスラー記憶検査 (WMS-R) *Journal of Clinical Rehabilitation, 18*, 433-436.
- 苧阪 満里子 (2002). 脳のメモ帳 ワーキングメモリ 新曜社
- 苧阪 満里子・苧阪 直行 (1994). 読みとワーキングメモリ容量：リーディングスパンテストによる検討 *心理学研究, 65*, 339-345.
- 苧阪 満里子・西崎 友規子 (2000). ワーキングメモリの中央実行系での処理の特性—RST 遂行における統合と理解 苧阪 直行 (編著) *脳とワーキングメモリ* (pp. 203-221) 京都大学学術出版会
- 渡邊 修 (2009). 高次脳機能障害の検査と解釈 ウェクスラー成人知能検査 (WAIS-III) *Journal of Clinical Rehabilitation, 18*, 44-48.
- 湯澤 美紀・河村 暁・湯澤 政通 (2013). ワーキングメモリと特別な支援 一人ひとりの学習ニーズに応える 北大路書房

Brain Activity Related to Storing and Processing of Serial Spatial Information

HIGO Katsukiⁱ, OKAMOTO Naokoⁱⁱ, Osaka Marikoⁱⁱⁱ

Abstract : In our daily lives, the function of memorizing spatial positions that change over time is important. In this experiment, we examined the cognitive process and brain activity related to the storage and processing of serial spatial information from the viewpoint of working memory. In the experiment, the Corsi Blocks task was used, and the activity of prefrontal cortex was measured using NIRS. In the Corsi Blocks task, three conditions were set: a forward condition, a backward condition, and a simultaneous presentation condition. As a result, the accuracy of the task was the highest in the simultaneous presentation condition and the lowest in the backward condition. OxyHb concentration did not differ between the conditions and did not correlate with the task performance. This suggests that the experimental conditions under which the cognitive load is large vary from individual to individual. However, a positive correlation was observed between the task performance and the standard deviation of the OxyHb concentration among the three conditions for each participant. Participants with higher task performance had higher standard deviation of OxyHb concentration under the three conditions. This suggests that the participants with good performance change their approach according to the conditions. These results suggest that individual differences in the storage and processing of temporally changing spatial information are large, and that monitoring and controlling one's own cognitive characteristics is important to accomplish these tasks smoothly.

Keywords : working memory, spatial memory, serial memory, NIRS

i Senior Researcher, Ritsumeikan Global Innovation Research Organization, Ritsumeikan University

ii Associate Professor, Faculty of Social Sciences, Ritsumeikan University

iii Principal Investigator, Center for Information and Neural Networks, National Institute of Information and Communications Technology