障害科学研究, 41, 13－22, 2017

原　著

定型発達成人の不注意傾向と問題解決過程に関わる前頭前皮質活動との関連

濱田　香澄[*, **]・青木　真純[**]・岡崎　慎治[**]

不注意はプランニングの困難やワーキングメモリ容量の低さと強く関連する。本研究では成人を対象に、不注意傾向の強さと問題解決課題遂行時の行動成績と前頭前皮質活動との関連を検討した。問題解決課題にはマスターマインドを用い、課題遂行時の脳活動を近赤外線スペクトロスコピーによって計測した。最も難度が高い4ピン条件にて、不注意低群よりも高群において達成時間の延長、正答率の低下がみられた。低群では課題条件の難度の変化に関わらず、すべての領域において脳活動が同水準であったことから、前頭–頭頂ネットワーク全体が問題解決に関わる可能性が示唆された。高群では、4ピン条件においてすべての領域においてoxy-Hb濃度変化量が減少した。これらの結果から、不注意傾向の高さがワーキングメモリにおける情報処理過程及び、特にそれに関わる内側前頭前皮質の活動に影響を与えていることが推測された。

キー・ワード：問題解決　近赤外線スペクトロスコピー（NIRS）　プランニング
ワーキングメモリ　不注意

Ⅰ．問題と目的

プランニングとは、目標となる行動を生み出すために、内的、外的情報を統合し、自身の行動や思考を調節するプロセスのことである（Das, Naglieri, & Kirby, 1994; Papadopoulos, Panayiotou, Spanoudis, & Natsopoulos, 2005）。プランニングはワーキングメモリや反応抑制といった認知的構成要素の核となる要素の統合を要求する（Asato, Sweeney, & Luna, 2006）。加えて、新しく、複雑な問題の解決にはプランニングが重要な要素として関連する（Juric, Richards, Introzzi, Andrés, & Urquijo, 2013）。注意欠如・多動症（attention-deficit/hyperactivity disorder;；以下，ADHD）の成人では、プランニングの困難が指摘されている（Chiang, Huang, Gau, & Shang, 2013など）。さらに、ADHDの臨床症状である不注意、多動性、衝動性はプランニングの困難と強く関連することが指摘されている（Chiang, et al., 2013）。特に不注意はワーキングメモリ不全（Brocki, Eninger, Thorell, & Bohlin, 2010）や、干渉抑制不全（Martel, Nikolas, & Nigg, 2007）と関わることが知られている。

問題解決過程の評価には、マスターマインドゲーム（以下，マスターマインド）が用いられることがある。マスターマインドは変化し得るフィードバックを元に複雑な概念学習を行うことを要求する課題である（Laughlin, Lange, & Adamopoulos, 1982）。マスターマインドは問題解決のための手がかり情報があらかじめ付与されず解決過程で徐々に呈示される点がTower of London（以下，ToL；Shallice, 1982）のような他のプランニング評価課題と異なる（大塚・宮谷, 2008）。回答者は手がかり情報の保持と次の回

* 名寄市立大学
** 筑波大学

答ラインを生成するための推論という２つの処理をワーキングメモリにおいて並列的に行うことが要求される（大塚・宮谷, 2008）。マスターマインドは以上のような特徴から、ワーキングメモリ容量の研究にも用いられている（奥田・大塚・井上, 1995など）。大塚・宮谷（2008）によると、ワーキングメモリ容量の大きい群は小さい群と比較して、問題解決過程において適切に必要な情報の保持が可能であり、さらに、ワーキングメモリの個人差は問題解決において重要な言語的な情報処理に影響を与えることが示唆された。

目標志向的な課題を効果的に達成するための方略的なプランニングと実行機能には左背外側前頭前部（dorsolateral prefrontal cortex; 以下, DLPFC）が関わる（Kühn, Lorenz, Banaschewski, Barker, Büchel, Conrod, Flor, Garavan, Ittermann, Loth, Mann, Nees, Artiges, Paus, Rietschel, Smolka, Ströhle, Walaszek, Schumann, Heinz, Gallinat, & IMAGEN Consortium, 2014）。一方で、右DLPFCは、思考の柔軟性や課題への取り組みが適切であるかどうかの振り返り（フィードバック）、ワーキングメモリに関わることが指摘されている（Chiang et al., 2013; Kohrs, Angenstein, Scheich, & Brechmann, 2012; Nagahama, Okada, Katsumi, Hayashi, Yamauchi, Sawamoto, Toma, Nakamura, Hanakawa, Konishi, Fukuyama, & Shibasaki, 1999）。また、内側前頭前部（medial prefrontal cortex; 以下, mPFC）はワーキングメモリや課題への効果的で有効なパフォーマンスの実行に関与する（Wu, Wang, Mwansisya, Pu, Zhang, Liu, Yang, Chen, Xue, Liu, & Shan, 2014）ことが指摘されている。これらの検討は機能的MRI（以下, fMRI）によって行われている。一方で、近赤外線スペクトロスコピー（near-infrared spectroscopy；以下, NIRS）による検討によってToL遂行時には課題難度の上昇とともにDLPFCの賦活が増加するのに対し、mPFCの活動が減少すること、問題解決課題遂行時に、前頭前部ネットワーク全体の活動が関連することが指摘されている（Ruocco, Rodrigo, Lam, Di Domenico, Graves, & Ayaz, 2014）。

fMRIを用いた研究によってADHD成人におけるDLPFCや帯状回前部を含む前頭前部（prefrontal cortex; 以下, PFC）領域間の機能コネクションの弱さが、不注意や衝動性の要因として示されている（Banich, Burgess, Depue, Ruzic, Bidwell, Hitt-Laustsen, Du, & Willcutt, 2009; Hoekzema, Carmona, Ramos-Quiroga, Richarte Fernández, Bosch, Soliva, Rovira, Bulbena, Tobeña, Casas, & Vilarroya, 2014）。また、fMRIを用いた研究によってADHD成人ではワーキングメモリ課題遂行時よりもむしろ、レスト期にmPFCが賦活することが報告されている（Salavert, Ramos-Quiroga, Moreno-Alcázar, Caseras, Palomar, Radua, Bosch, Salvador, McKenna, Casas, & Pomarol-Clotet, 2015）。さらに、ToLを含む問題解決課題においてプランニング能力を評価する指標の一つに最初の一手までにかかる時間（initial thinking time；以下, ITT）が挙げられる（Kaller, Heinze, Frenkel, Läppchen, Unterrainer, Weiller, Lange, & Rahm, 2013など）。ITTはプランニング期を反映し（Kaller, Rahm, Spreer, Weiller, & Unterrainer, 2011）、左DLPFC経路の分離によってITTの減少、右DLPFC機能の損傷によってITTの増加が引き起こされる（Kaller et al., 2013）。これらのことから、問題解決課題遂行、特にITTにDLPFC、mPFCともに関連し、さらに課題難度や不注意傾向の高さがそれらの活動に影響を与えることが推測される。

ADHD成人を対象としたマスターマインドを用いた検討は行われていないが、ToLを用いた研究において、ADHD成人ではルール違反や時間超過が報告されている（Riccio, Wolfe, Romine, Davis, & Sullivan, 2004）。また、先行研究（大塚・宮谷, 2008）では、TD成人のワーキングメモリ容量とマスターマインドの成績との関連が示されている。マスターマインド遂行時の脳活動を検討した研究はTD成人、ADHD成人ともに行われていない。本研究では、TD成人の不注意傾向と問題解決との関連について、マスターマインド遂行時の前頭前皮質における脳血行動態

反応及び行動成績との関連を明らかにすることを目的とする。さらに、不注意傾向の強い群と不注意傾向の低い群を比較することによって、ADHD成人の課題成績や脳活動を検討するための基礎的データを得ることを目的とする。前述のように、マスターマインドは適切な情報の保持や情報のアップデートを含むワーキングメモリも必要とする課題とされる。このことから、両群ともに前頭前皮質、とりわけDLFPCやmPFCにおいて、これらの認知活動に関連した活動が見られることが予想される。ワーキングメモリや不注意には前頭前皮質の活動が関連していることが先行研究（Chiang et al., 2013など）から示されていることから、本研究では前頭前皮質活動の計測を行う。

Ⅱ．方法

1．実験協力者

右利きのTD成人19名（女性14名，男性5名；21.4±2.7歳；年齢幅19-29歳）を対象とした。すべての実験協力者には研究内容の説明を口頭及び紙面にて行い、同意を得た。実験協力者に対して、成人用のADHD評価尺度であるヴェンダー・ユタ評価尺度（Wender, 1995）から不注意に関する質問項目を抜粋した質問紙（全25項目）を実施した。本研究における実験協力者全体の平均得点は21.9点（最低3点，最高43点）であった。実験協力者の平均得点よりも得点が高かった群を高群、平均よりも低かった群を低群とした。高群（10名；男性3名）は30.8±7.0点、低群（9名；男性2名）は14.4±7.3点であった（Table 1）。なお、Wender（1995）において、ADHD成人の不注意の得点は62.6点、TD成人では16.1点であり、本研究の実験協力者の平均得点は先行研究のTD成人よりも不注意傾向が高いものの、ADHD成人の得点は下回っている。また、本研究における低群は先行研究のTD成人の平均点よりも低い群、高群は不注意傾向の強い群であるといえる。2群間の得点に関してt検定を実施したところ、高群が低群よりも有意に得点が高かった（$p < .01$）。

本研究の実施にあたっては人間総合科学研究科倫理委員会の承認（承認番号筑25-145）を受けた。

2．課題と実施手続き

課題には市販のマスターマインド（カワダ社製）を用いた。マスターマインドとは、出題者のシークレットコード（正答ライン）を出題者からのヒントピンをもとに回答者が推論するゲームであるが、実験統制のためゲームルールを以下に示すように統制した。実験は回答者と出題者の2人1組で実施した。出題者の色の好みなどの主観的要素を除外するために、実験者（第一著者）によってシークレットコードを設定し、出題者はシークレットコードの書かれたフラッシュカードをもとに、フィードバックを行った。シークレットコードは計6色の色（ピンク，緑，黄色，水色，紫，オレンジ）のうちのいずれか最小2色、最大4色で構成された。課題難度の調節のために、シークレットコードに同じ色は1度までしか使えないものとした。出題者は回答者のピン配列がシークレットコードに色のみ一致している場合は白、色と位置の両方が一致している場合は赤のヒントピンを置いた（Fig. 1）。シークレットコードを構成するピンの数によって、2ピン条件、3ピン条件、4ピン条件の計3条件を実施した。各課題条件の制限時間は2ピン条件90秒間、3ピン条件150秒間、4ピン条件300秒間とした。課題条件は2ピン条件、3ピン条件、4ピン条件の順に行い、各課題の間に1分間のレスト期を設けた。レスト期は開眼状態で何も考えないことを要求した。本課題実施前に、口頭での説明を行い、練習を行った。ルールを理解した上で本課題を実施した。実験は同意説明及び練習、本課題を含めて1時間程度であった。

3．NIRS計測

マスターマインド遂行時のoxy-Hb，deoxy-Hb，oxy-Hbとdeoxy-Hbの総和であるtotal-Hbの濃度変化を2波長（770nm, 840nm）16チャンネルNIRS（OEG-16, Spectratech社製）を用いて計測した。受光器と入光器間の距離はおよそ3cm

であった。サンプリング間隔は0.65秒であった。計測部位はFunane, Kiguchi, Atsumori, Sato, Kubota, and Koizumi (2011) を参考に、両側下前頭回や中前頭回を含む前頭前皮質領域を想定し、国際10-20法に従いFp1/2を中心にF7/8からFC3/4を計測した。

4．分析対象

本研究では回答者の行動成績及び脳血行動態反応を分析の対象とした。行動成績として、各課題条件の達成時間、達成ライン数を分析の対象とした。達成時間に関しては、日本版DN-CAS認知評価システム（前川・中山・岡崎, 2007）の採点方法を参考に、制限時間内にコードブレイク（正答）できなかった場合は、各課題条件の制限時間＋1秒として記録した（2ピン条件91秒，3ピン条件151秒，4ピン条件301秒）。

神経活動によってoxy-Hb濃度が増加し、deoxy-Hb濃度が減少する（Villringer & Chance, 1997）。Egetemeir, Stenneken, Koehler, Fallgatter, and Herrmann (2009) やFunane et al. (2011) はoxy-Hb濃度の相対的な変化を協同活動に関わる脳活動として用いていることから、本研究では得られた3つの脳血行動態反応のうちoxy-Hb濃度変化量のみを分析の対象とした。Crescentini, Seyed-Allaei, Vallesi, and Shallice (2012) の研究を参考に、分析区間は課題開始直後のITTとした。ITTは各課題条件開始直前の3秒間のoxy-Hb濃度変化量をベースラインとして補正を行い、各課題条件開始3秒後から13秒後までの10秒間を課題条件遂行時の脳血行動態反応の分析区間とした。得られたoxy-Hb濃度変化量から6つの関心領域（region of interest; 以下，ROI）を設定し、分析を行った。各ROIは3つのチャンネルで構成された。ch1，ch8，ch9，ch16はROIのチャンネル数をそろえるために、分析から除外した。Funane et al. (2011) の研究をもとに、右DLPFC（ch2，ch3，ch4）、右mPFC（ch5，ch6，ch7）左DLPFC（ch13，ch14，ch15）、左mPFC（ch10，ch11，ch12）とした（Fig. 2）。NIRSデータの分析にはfNIRS Data Viewer（B.R. Systems Inc.）を用いた。

行動成績及びoxy-Hb濃度変化量は条件（2ピン条件，3ピン条件，4ピン条件）×群（高群，低群）の2要因ANOVAを実施した。oxy-Hb濃度変化量はZ値に変換し、分析を行った。Post-hoc検定にはBonferroni法を用いた。分析には

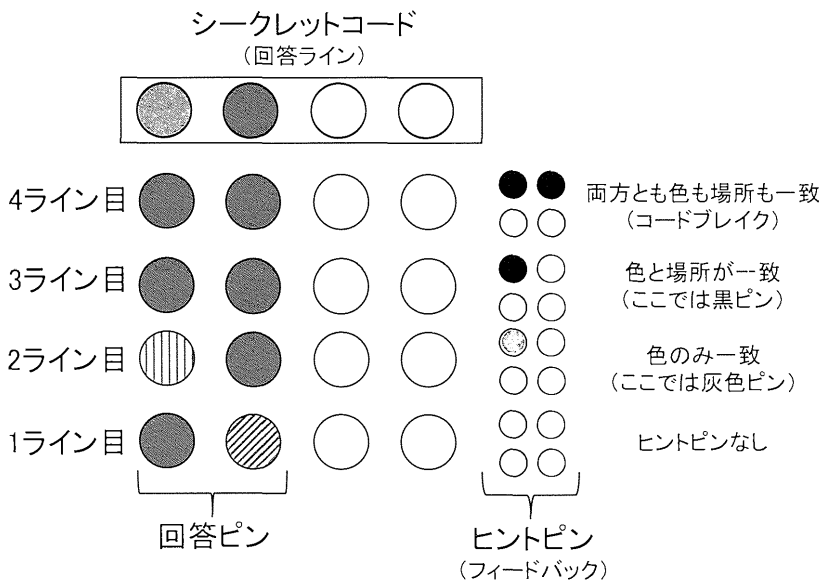

Fig. 1　マスターマインドの一例（2ピン条件）

SPSS v. 23.0を用いた。

Ⅲ．結果

1．行動成績

不注意高群及び低群の行動成績をTable 1に示した。2ピン条件においては、低群では9名中7名が、高群では10名全員がコードブレイクした。3ピン条件においては、低群では9名中6名が、高群では10名中6名がコードブレイクした。4ピン条件においては、低群では9名中8名が、高群では10名中7名がコードブレイクした。達成時間に関しては、条件の主効果（$F(2,16) = 85.068$, $p < .001$）及び群と条件の交互作用（$F(2,16) = 7.044$, $p < .01$）が有意であった。群に関わらず、2ピン条件は他の条件よりも達成時間が有意に短く（2ピン条件<3ピン条件；$p < .001$、3ピン条件<4ピン条件；$p < .001$）、4ピン条件よりも3ピン条件で達成時間が短縮した（$p < .01$）。また、低群と比較して高群のほうが、4ピン条件遂行にかかる時間が有意に延長した（$p < .05$）。

ライン数に関しては、条件の主効果のみ有意であった（$F(2,16) = 17.835$, $p < .001$）。群に関わらず、2ピン条件は他の条件よりも有意にライン数が少なかった（2ピン条件<3ピン条件；$p < .001$、3ピン条件<4ピン条件；$p < .01$）。

2．脳血行動態反応

高群及び低群のそれぞれのoxy-Hb濃度平均変化量をFig. 3に示した。両側DLPFC及び右mPFCにおいては、有意な主効果及び交互作用が認められなかった。左mPFCでは、群と条件の交互作用のみ有意であり（$F(2,10) = 4.786$, $p < .05$）、高群では3ピン条件と比較して2ピン条件のoxy-Hb濃度変化量が有意に増加した（$p < .05$）。Fig. 3から、低群では各ROIともにすべての課題条件で大きな変化がなかった。一方で、高群ではすべてのROIにおいて、4ピン条件遂行時にoxy-Hb濃度変化量が最も減少した。

Ⅳ．考察

1．行動成績

不注意高群は低群と比較して、4ピン条件において達成時間が延長した。有意差は認められなかったものの、3ピン条件、4ピン条件ともに、低群よりも高群でライン数が増加する傾向があった。回答ラインの桁数と各桁の色の個数

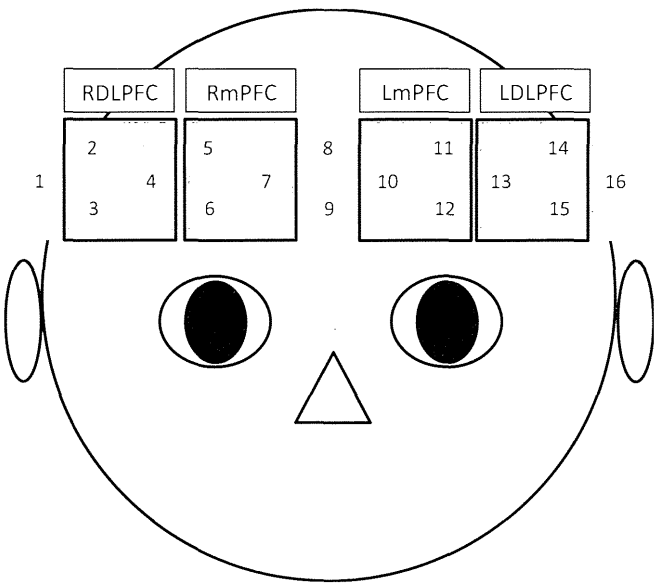

Fig. 2　NIRSチャンネル配列と関心領域（ROI）

Table 1　両群の人数，男女比，年齢，不注意得点及び行動成績

		低群	高群	post hoc p値
	人数	9	10	
	男/女	2/7	3/7	.556
	年齢	21.6(2.6)	21.2(3.1)	.729
	不注意得点	30.8(7.0)	14.4(7.3)	< .01
達成時間（s）	2ピン条件	57.9(24.7)	41.4(8.5)	.063
	3ピン条件	114.3(45.8)	134.2(24.3)	.247
	4ピン条件	161.8(81.8)	244.5(68.3)	< .05
ライン数	2ピン条件	4.1(1.2)	3.4(1.3)	.222
	3ピン条件	5.1(1.6)	5.7(0.8)	.323
	4ピン条件	5.3(2.4)	6.5(1.5)	.223

※1 平均値（標準偏差）を示す.

によって回答ラインの総数が決定するが、回答ラインの桁数が多いほど、難度が上昇することが指摘されている（奥田ら，1995）。大塚・宮谷（2008）は、正答するまでのライン数とコードブレイク数を、回答者がワーキングメモリの処理資源を問題解決における情報の処理と保持に効率よく配分し、適切に問題解決を行っている指標として用いた。このとき、ワーキングメモリの高い回答者はライン数が少なく、処理資源の余裕があり効率的な手がかり情報の保持と推論が可能であることが示されている。これらのことから、マスターマインドにおける難度の上昇は、ワーキングメモリ負荷やセルフモニタリングを行う空間の増加に対応すると推測される。本研究においては、ワーキングメモリ負荷の最も低い2ピン条件では不注意傾向の高い群

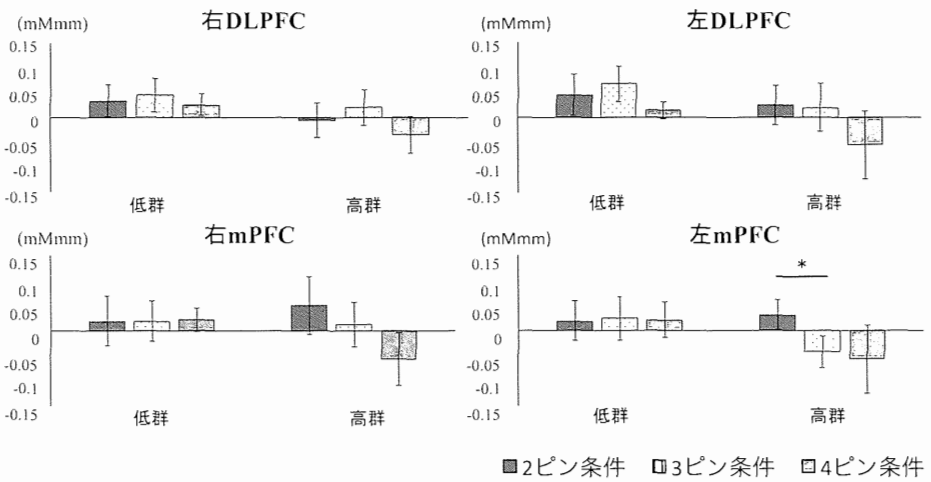

Fig. 3　両群における各課題条件のoxy-Hb濃度変化

p < .05

エラーバーは標準誤差を示す.

においても、低群と同程度のパフォーマンスの遂行が可能であった。一方で、ワーキングメモリ負荷の増加、つまり4ピン条件において、高群では不注意さによるパフォーマンスの低下が見られたと推察される。Beanland and Chan (2016) では、個人のワーキングメモリ容量によってinattentional blindnessを予測することができ、それぞれの認知的要素が相互に関連することが報告されている。また、ADHDの不注意優勢型の成人では、視覚的プランニングの弱さが指摘されている（Chiang et al., 2013)。これらをふまえると、本研究の行動成績の結果は、マスターマインドにおいても、不注意傾向がプランニングの不十分さ、ワーキングメモリ容量に影響を与えることを示唆するものと考えられる。

2．脳血行動態反応

本研究では、不注意低群の前頭前皮質領域における脳活動は、条件を通して大きな変化が見られなかった。ToLにおいては、複雑で両義的なステップを経て目標に到達する際に、両側DLPFC及び右mPFCが賦活する（Ruocco et al., 2014)。fMRIを用いた研究によって、ワーキングメモリ負荷の増加に伴い、楔前部や補足運動野、島／下部前頭葉、DLPFCを含む前頭–頭頂ネットワークの活動増加が報告されている (Ko, Yen, Yen, Chen, Lin, Wang, & Liu, 2013)。このことから、本研究においては行動成績では達成時間やライン数の増加から各条件によってワーキングメモリ負荷が異なることが予測されたものの、低群では課題難度が上昇した場合、前頭–頭頂ネットワークにおいて脳活動の増大が生じたため、計測した前頭前皮質の活動増加がみられなかった可能性があると推測される。

一方、不注意高群においては、4ピン条件にてすべてのROIにおけるoxy-Hb濃度が減少した。特に、左mPFCでは2ピン条件よりも3ピン条件で有意にoxy-Hb濃度変化量が減少した。fMRIによる検討によって、統合失調症のリスクの高い成人ではワーキングメモリ評価課題であるn-back課題遂行時にmPFCが賦活しないことが報告されている（Falkenberg, Chaddock, Murray, McDonald, Modinos, Bramon, Walshe, Broome, McGuire, & Allen, 2015)。また、左mPFCはワーキングメモリに関わる領域であることが指摘されている（Wu et al., 2014)。焦点的注意がワーキングメモリの過程に関与することも指摘されている（Rose, Craik, & Buchsbaum, 2015)。これらをふまえると、本研究において観察された左mPFCでのoxy-Hb濃度変化量の減少は、行動成績同様、不注意高群におけるワーキングメモリ容量の相対的な少なさ、つまり課題遂行に際して複数の刺激に向ける処理リソース配分の不十分さや、視空間ワーキングメモリ容量の少なさを反映していると推測される。

また、本研究においては両群ともに難度の上昇に伴う右DLPFCの賦活増加が見られず、先行研究の結果とは異なる結果であった。先に述べたように、先行研究で用いられたマスターマインドは、ToL課題と難度や課題の構成要素が異なる。これらの差異が脳活動に影響を与えたことが推測される。

V．今後の課題

本研究ではTD成人を対象に不注意傾向の高低で群分けし、プランニングとの関係をマスターマインド遂行時の脳活動と行動成績によって検討した。今後、ADHD成人を対象に同様の検討を行い、ADHD成人のプランニングと前頭前皮質活動との関連を明らかにする必要がある。また、NIRSを用いることで日常生活や対面した他者との協同活動の一連の行動に伴う脳活動を計測することができ、対面する相手と同じ作業を行う協同活動と、指示された活動を行う単独活動とを比較した研究では、協同活動では単独活動と比較して下頭頂小葉においてoxy-Hb濃度増加することが報告されている (Egetemeir et al., 2009)。今後、マスターマインド遂行時の回答者と出題者の脳活動を検討することにより、協同的な問題解決と前頭前皮質活動の関連を明らかにすることも可能と考えられる。

また、本研究では、前頭前皮質活動に注目して計測を行ったため、ワーキングメモリ容量の増加に伴った脳活動の増大を観察することができなかった。今後計測領域を拡大し、関連する脳領域及び活動傾向を明らかにする必要があると考えられる。

謝辞

本研究は、科学研究費補助金（課題番号：24682035）の助成により行われた。

文献

Asato, M. R., Sweeney, J. A., & Luna, B. (2006) Cognitive processes in the development of TOL performance. *Neuropsychologia*, 44 (12), 2259-2269.

Banich, M. T., Burgess, G. C., Depue, B. E., Ruzic, L., Bidwell, L. C., Hitt-Laustsen, S., Du, Y. P., & Willcutt, E. G. (2009) The neural basis of sustained and transient attentional control in young adults with ADHD. *Neuropsychologia*, 47 (14), 3095-3104.

Beanland, V. & Chan, E. H. (2016) The relationship between sustained inattentional blindness and working memory capacity. *Attention, perception & psychophysics*, 78 (3), 808-817.

Brocki, K. C., Eninger, L., Thorell, L. B., & Bohlin, G. (2010) Interrelations between executive function and symptoms of hyperactivity/impulsivity and inattention in preschoolers: A two year longitudinal study. *Journal of AbnormalChild Psychology*, 38, 163-171.

Chiang, H. L., Huang, L. W., Gau, S. S. F., & Shang, C. Y. (2013) Associations of symptoms and subtypes of attention-deficit hyperactivity disorder with visuospatial planning ability in youth. *Research in Developmental Disabilities*, 34 (9), 2986-2995.

Crescentini, C., Seyed-Allaei, S., Vallesi, A., & Shallice, T. (2012) Two networks involved in producing and realizing plans. *Neuropsychologia*, 50 (7), 1521-1535.

Das, J. P., Naglieri, H. A., & Kirby, J. R. (1994) *Assessment of cognitive process*. Allyn & Bacon, Massachusetts.

Egetemeir, J., Stenneken, P., Koehler, S., Fallgatter, A. J., & Herrmann, M. J. (2009) Exploring the neural basis of real-life joint action: measuring brain activation during joint table setting with functional near-infrared spectroscopy. *Frontiers in Human Neuroscience*, 5, 95.

Falkenberg, I., Chaddock, C., Murray, R. M., McDonald, C., Modinos, G., Bramon, E., Walshe, M., Broome, M., McGuire, P., & Allen, P. (2015) Failure to deactivate medial prefrontal cortex in people at high risk for psychosis. *European psychiatry: the journal of the Association of European Psychiatrists*, 30 (5), 633-640.

Funane, T., Kiguchi, M., Atsumori, H., Sato, H., Kubota, K., & Koizumi, H. (2011) Synchronous activity of two people's prefrontal cortices during a cooperative task measured by simultaneous near-infrared spectroscopy. *Journal of biomedical optics*, 16 (7), 077011.

Hoekzema, E., Carmona, S., Ramos-Quiroga, J. A., Richarte Fernández, V., Bosch, R., Soliva, J. C., Rovira, M., Bulbena, A., Tobeña, A., Casas, M., & Vilarroya, O. (2014) An independent components and functional connectivity analysis of resting state fMRI data points to neural network dysregulation in adult ADHD. *Human brain mapping*, 35 (4), 1261-1272.

Juric, L. C., Richards, M. M., Introzzi, I., Andrés, M. L., & Urquijo, S. (2013) Development patterns of executive functions in children. *The Spanish journal of psychology*, 16 (e41), 1-13.

Kaller, C. P., Rahm, B., Spreer, J., Weiller, C., & Unterrainer, J. M. (2011) Dissociable contributions of left and right dorsolateral prefrontal cortex in planning. *Cerebral cortex*, 21 (2), 107-117.

Kaller, C. P., Heinze, K., Frenkel, A., Läppchen, C. H., Unterrainer, J. M., Weiller, C., Lange, R., & Rahm, B. (2013) Differential impact of continuous theta-burst stimulation over left and right DLPFC on planning. *Human brain mapping*, 34 (1), 36-51.

Ko, C. H., Yen, J. Y., Yen, C. F., Chen, C. S., Lin, W. C., Wang, P. W., & Liu, G. C. (2013) Brain activation deficit in increased-load working memory tasks among adults with ADHD using fMRI. *European archives of psychiatry and clinical neuroscience*, 263 (7), 561-573.

Kohrs, C., Angenstein, N. Scheich, H., & Brechmann, A. (2012) Human striatum is differentially activated by delayed, omitted, and immediate registering feedback. *Frontiers in Human Neuroscience*, 6, 243.

Kühn, S., Lorenz, R., Banaschewski, T., Barker, G. J., Büchel, C., Conrod, P. J., Flor, H., Garavan, H.,

Ittermann, B., Loth, E., Mann, K., Nees, F., Artiges, E., Paus, T., Rietschel, M., Smolka, M. N., Ströhle, A., Walaszek, B., Schumann, G., Heinz, A., Gallinat, J. & IMAGEN Consortium. (2014) Positive association of video game playing with left frontal cortical thickness in adolescents. *PLoS ONE*, 9 (3), 5-10.

Laughlin, P. R., Lange, R., & Adamopoulos, J. (1982) Selection strategies for "mastermind" problems. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 8 (5), 475-483.

前川久男・中山健・岡崎慎治 (2007) 日本版DN-CAS認知評価システム. 日本文化科学社.

Martel, M., Nikolas, M., & Nigg, J. T. (2007) Executive function in adolescents with ADHD. *Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry*, 46 (11), 1437-1444.

Nagahama, Y., Okada, T., Katsumi, Y., Hayashi, T., Yamauchi, H., Sawamoto, N., Toma, K., Nakamura, K., Hanakawa, T., Konishi, J., Fukuyama, H., & Shibasaki, H. (1999) Transient neural activity in the medial superior frontal gyrus and precuneus time locked with attention shift between object features. *NeuroImage*, 10 (1), 193-199.

奥田富蔵・大塚一徳・井上靖 (1995) 数当てゲームITSのためのプレー知識の構造について. CAI学会誌, 11, 183-194.

大塚一・宮谷真 (2008) 問題解決における問題空間とワーキングメモリ容量個人差の影響：mastermind課題を用いた検討. 認知心理学研究, 6 (1), 47-55.

Papadopoulos, T. C., Panayiotou, G., Spanoudis, G., & Natsopoulos, D. (2005) Evidence of Poor Planning in Children with Attention Deficits. *Journal of Abnormal Child Psychology*, 33 (5), 611-623.

Riccio, C. A., Wolfe, M. E., Romine, C., Davis, B., & Sullivan, J. R. (2004) The Tower of London and neuropsychological assessment of ADHD in adults. *Archives of clinical neuropsychology: the official journal of the National Academy of Neuropsychologists*, 19 (5), 661-671.

Rose, N. S., Craik, F. I., & Buchsbaum, B. R. (2015) Levels of processing in working memory: differential involvement of frontotemporal networks. *Journal of cognitive neuroscience*, 27 (3), 522-532.

Ruocco, A. C., Rodrigo, A. H., Lam, J., Di Domenico, S. I., Graves, B., & Ayaz, H. (2014) A problem-solving task specialized for functional neuroimaging: validation of the Scarborough adaptation of the Tower of London (S-TOL) using near-infrared spectroscopy. *Frontiers in human neuroscience*, 8 (185), doi: 10.3389/fnhum.2014.00185.

Salavert, J., Ramos-Quiroga, J. A., Moreno-Alcázar, A., Caseras, X., Palomar, G., Radua, J., Bosch, R., Salvador, R., McKenna, P. J., Casas, M., & Pomarol-Clotet, E. (2015) Functional Imaging Changes in the Medial Prefrontal Cortex in Adult ADHD. *Journal of attention disorders*, doi: 10.1177/1087054715611492.

Shallice, T. (1982) Specific impairments of planning. Biological sciences, 298 (1089), 199-209.

Villringer, A. & Chance, B. (1997) Non-invasive optical spectroscopy and imaging of human brain function. *Trends in neurosciences*, 20, 435-442.

Wender, P. H. (1995) *Attention-Dificit Hyperactivity Disorder in Adult*. 福島 章・延与和子訳 (2002) 成人期のADHD, 新曜社.

Wu, G., Wang, Y., Mwansisya, T. E., Pu, W., Zhang, H., Liu, C., Yang, Q., Chen, E. Y., Xue, Z., Liu, Z., & Shan, B. (2014) Effective connectivity of the posterior cingulate and medial prefrontal cortices relates to working memory impairment in schizophrenic and bipolar patients. *Schizophrenia research*, 158 (1-3), 85-90.

—— 2016.8.29 受稿、2016.11.29 受理 ——

J. J. Disa. Sci. 41, 13－22, 2017

The Relationship Between Tendency for Inattention and Prefrontal Cortex Activity During Problem Solving in Typical Developing Adults

Kasumi HAMADA[*,**], Masumi AOKI[**] and Shinji OKAZAKI[**]

Inattention is strongly associated with poor planning and low working memory capacity. The purpose of this study was to investigate the relationship between inattention score, behavioral performance during problem solving tasks, and prefrontal cortex activity in typical developing adults. The mastermind game was used as the problem solving task. For the investigation of brain activities, cerebral blood flow in the prefrontal cortex area was measured using near-infrared spectroscopy during the mastermind game. In terms of behavioral performance, longer completion times and lower accuracy were observed in the high-inattention score group compared with the low-inattention score group on 4 pin conditions where the difficulty level was highest. The hemodynamic changes in oxyhemoglobin (oxy-Hb) in the low-inattention score group were similar regardless of difficulty level in all analyzed areas. This indicated that the entire fronto-parietal network may be related to problem solving processes. In the high-inattention group, the hemodynamic changes in oxy-Hb decreased on 4 pin conditions where high-working memory was utilized. These results suggest that the tendency for high inattention influences the working memory process and medial PFC activities related to working memory.

Key words: problem solving, near-infrared spectroscopy (NIRS), planning, inattention Abstract

[*] Nayoro City University
[**] University of Tsukuba