

原 著

動物絵を用いたストループ課題遂行時の前頭前部における 脳血流の変化からみた干渉抑制機能 —一定型発達成人による検討ならびに小児の予備的検討—

濱田 香澄*・岡崎 慎治**

定型発達成人を対象に、動物を刺激として用いたストループ課題 (Real Animal Size Test; RAST) を実施した。6歳から8歳の小児5名についても予備的に検討した。成人においては、促進条件の反応時間 (RT) よりも干渉条件のRTが延長し、ストループ干渉が観察された。各条件の左右oxy-Hb濃度の平均変化量に有意差はなかったものの、干渉条件遂行時の血流量が最も増加した。これは、課題に関係する動物の実際の大きさの選択と課題に無関係な知覚的な大きさの抑制という反応にかかわる前頭前部が賦活した結果を反映したものと考えられた。ストループ干渉が小さい群よりも干渉が大きい群で全体的に脳血流量の増加量が大きく、干渉が大きい対象者は小さい対象者に比べ課題遂行に多くのリソースを使用することが推察された。小児においては、前頭前部の発達途上であるために、ストループ干渉抑制が十分になされた場合においても、干渉抑制に関わる前頭前部が賦活したと考えられた。

キー・ワード：干渉抑制 ストループ干渉 近赤外線スペクトロスコピー 前頭前野

I. 問題と目的

抑制機能は主要な反応を実行するための反応の競合、反応をゆっくりさせる妨害因子の抑制、現在使用しているワーキングメモリに干渉する内部刺激の抑制を含む、刺激の抑制であると定義づけられる (Nigg, 2000)。抑制機能は実行機能や行動、社会的適応の基盤であり、反応抑制ができないことにより、注意保持能力の不十分さや顕著な注意力の散漫さ、行動のコントロール不全を引き起こす (Tamm, Menon, & Reiss, 2002) とされる。また、抑制機能は、帯状回前部 (Anterior Cingulate Cortex: 以下, ACC) の一部や皮質下視床コネクションに支えられており、干渉コントロールと抑制機能はACCの活動を

反映すると考えられており、5歳から6歳ごろより言語の内在化によって、言語を用いて試し、行動を抑制できる能力として発達する (相原・青柳・山城・保坂・中澤, 2007)。

情動や運動の抑制は認知抑制にかかわる過程に含まれており、認知抑制は、競合する反応の抑制や反応への予期、注意または関連への焦点化であるとされる (Deak & Narashimham, 2003)。認知抑制は主に教育的なパフォーマンス (成績) に寄与しており (Bryce, Szücs, Soltész, & Whitebread, 2011)、学齢期前の幼児や児童の学業成績や数学的なスキルや読み能力に関連するとされる。文字の読みという自動化された反応を抑制し、色命名を行う抑制機能評価課題であるストループ課題 (Stroop, 1935) は、色単語のインクの色命名 (ひとつの課題因子) または、声に出して単語を読む (もう一方の課題因子) と

* 筑波大学人間総合科学研究科 障害科学専攻

** 筑波大学障害科学域

いうそれぞれの目標設定で構成される (Roelofs & Hagoort, 2002)。古典的なストロープ課題では色パッチの色命名にかかる反応時間 (reaction time: 以下, RT) と文字の意味とは不一致の色で印刷された色単語の読みにかかる RT の差をストロープ干渉と定義づけている。このストロープ干渉は呈示された単語の意味ではなく、単語の意味とは不一致なインクの色へ反応するという競合する反応の抑制を必要とするために生じる。ストロープ干渉は、小学校低学年で最も大きく観察され、青年期にかけて減少するが、その後は年齢の増加とともに干渉が大きくなるとされている。干渉が初期に増加し、その後減少していくストロープ干渉における現象が、読みスキルの定着を反映していると考えられる (MacLeod, 1991)。ストロープ干渉を検討する課題として多く用いられている色一文字ストロープ課題 (color-word Stroop; 以下, CWST) は文字の読みが自動化されている成人とされていない子どもの抑制機能を直接的に比較することが出来ないこと (Bryce et al., 2011) や、文字の読みに困難をかかえる児童生徒への実施も困難さがあると考えられる。

Catale and Meulemans (2009) は、5歳から9歳までの注意欠如多動性障害 (attention deficit/hyperactivity disorder; 以下, ADHD) 児と定型発達児を対象に、大小それぞれの動物カテゴリーに含まれる4種類の動物を用い、ストロープ課題に基づいたカテゴリー特異的な過程と単純な運動反応のみによって構成される Real Animal Size Test (以下, RAST) を実施した。RASTは、画面上の動物刺激の大きさと実際の動物の大きさが類似しているコンフリクトのない一致条件と実際の動物の大きさと画面上の知覚的な大きさが異なるコンフリクトのある不一致条件で構成されており、これらの条件は、画面上の刺激の視覚的な特性へ注目するという強い傾向を抑制し、刺激の意味的特性へと焦点化することを要求する課題である。Catale and Meulemans (2009) は、全体的に促進条件に比べ、干渉条件でRTが延長するとともに、年少児群と比較

して年長児群ではRTが短縮したと報告した。これは成長に伴う反応速度の全体的な短縮と意味知識へのアクセス速度の短縮を示唆していると考えられる。

近年、脳画像研究の手法として近赤外線スペクトロスコピー (Near-Infrared Spectroscopy: 以下, NIRS) が用いられている。NIRSとは生体組織を比較的によく透過するが血中のヘモグロビンには吸収されるという近赤外光 (650~1000nm) を用い、光吸収スペクトルの異なる酸化ヘモグロビン (以下, oxy-Hb) と脱酸化ヘモグロビン (以下, deoxy-Hb) の吸光度を測定することによって、脳表面のヘモグロビン濃度の変化を算出することができる (住谷, 2009) 生理心理学的手法である。NIRSによる計測は、fMRIやMEGと比較して空間分機能が低いという短所もあるが、非侵襲的であり、日常場面により近い状況下で計測をすることができるため、幼児や障害のある子どもにとって負担の小さい状態で計測することができる。脳の神経細胞が活動し、数秒遅れて生じる脳循環反応は、複数のメカニズムを介して神経細胞による酸素消費よりも過剰に生じるため、細静脈においてはdeoxy-Hb濃度が増加し、毛細血管においてはoxy-Hb濃度が増加する (福田・青山・武井・成田, 2007)。神経細胞活動に伴う脳循環反応によって、oxy-Hb濃度増加が生じ、その際にdeoxy-Hb濃度の変化は増加・不変・減少とさまざまな場合がありうる (福田・青山・武井・成田, 2007) ことから、oxy-Hb濃度の増加が認知課題遂行時の脳表面、つまり大脳皮質の活動を反映していると考えられる。NIRSを用いてCWST遂行時の前頭前部の脳活動を計測した Moser, Cutini, Weber, and Schroeter (2009) は、定型発達児は成人と同様に左oxy-Hb濃度が右oxy-Hb濃度と比較して増加したことを報告した。fMRIを用いた研究によると、CWST遂行時には左背外側前頭前部 (dorsolateral prefrontal cortex: 以下, DLPFC) やエラーの検出、修正にかかわる帯状回前部 (anterior cingulate cortex: 以下, ACC) が賦活することが報告されている

(Mager, Bullinger, Brand, Schmidlin, Schärli, Müller-Spahn, Störmer, & Falkenstein, 2007)。また、事象関連電位を用いた研究を行ったLiotti, Woldorff, Perez, and Mayberg (2000)によるとCWSTにおけるストループ干渉は、まずACCが刺激呈示後350-500ms後に活動し、次に文字の意味処理に必要である左側頭一頭頂皮質が活動することを示唆した。

片桐・石川・吉田(2006)は軽度の知的障害をもつ児童1名を対象に音読・計算・書字課題の反復による介入を行う際の前頭前部の脳活動をNIRSにより計測し、対象児の好む課題で血流量が増加することから、課題遂行時の脳活動を配慮して、より個人に合わせた介入を実施することには効果があると述べている。また、斉藤(2008)は定型発達児1名を対象に顔刺激と手指刺激の模倣および観察時の脳活動を計測し、観察課題と比較して模倣課題において左脳のoxy-Hb濃度が大きく増加したことを報告した。黒田・岡本(2008)は、定型発達成人を対象に数学課題遂行時と回答説明時の脳活動をNIRSを用いて計測し、対象者ごとに時系列平均変化量を算出し、対象者間の時系列変化波形に類似した傾向があることを報告した。このようにNIRSはさまざまな認知課題遂行時の対象者個人の脳活動の変化を検討する手法としても用いられている。

これらのことから、本研究では、NIRSを用いて定型発達成人にRAST遂行時の脳活動を計測することによって、定型発達成人の抑制機能について行動成績および脳血行動態からの検討を行うことを目的とする。加えて、定型発達成人における、ストループ干渉量の大きさの違いによる課題遂行時の左右oxy-Hb濃度の変化量の傾向について検討を行い、これらの結果をふまえて、6歳から8歳までの定型発達児5名の脳血行動態を定型発達成人の脳血行動態と比較し、定型発達児の干渉抑制機能の発達やADHD児の干渉抑制について検討するための予備的な検討を行う。

II. 方法

1. 対象者

事前に書面および口頭による説明を受け、同意を得た右利きの定型発達成人20名(女性15名, 男性5名; 平均年齢 25.0 ± 3.3 歳)および、6歳から8歳までの定型発達児5名(女児2名, 男児3名; 平均年齢 7.1 ± 1.1 歳)を対象とした。本研究は、筑波大学人間系研究倫理委員会の承認を受けたものである。

2. 課題と実施手続き

課題にはCatale and Meulemans (2009)を参考に作成したRASTを使用した。課題の作成および呈示にはSTIM2システム(NEUROSCAN社製)を用い、刺激は21インチモニター上に白色背景、黒色刺激で呈示した。対象者はシールドルーム内に設置された椅子に座り、眼前から100cmのモニターを注視するように教示された。RASTの刺激には大きい動物である象と馬、小さい動物である鳥と蝶の4種類の動物(シルエット画)を用い、刺激は反応があるまで成人では最大700ms、小児では最大1000ms呈示され、ITIは1000msとした。RASTはすべての動物が同じ大きさ($3.4^\circ \times 2.6^\circ$)で呈示される中立条件、実際の動物と画面上の刺激の大きさが相対的に類似している促進条件(象, 馬: $5.7^\circ \times 4.6^\circ$; 鳥, 蝶: $1.7^\circ \times 1.1^\circ$)、実際の動物の大きさと画面上の刺激の大きさが反対の大きさで呈示される干渉条件(象, 馬: $1.7^\circ \times 1.1^\circ$; 鳥, 蝶: $5.7^\circ \times 4.6^\circ$)、すべての動物がランダムで大きくまたは、小さく呈示される混合条件の計4条件で構成された(Fig. 1)。各条件の前後に大小2種類の大きさの長方形が呈示される長方形弁別条件を実施した。RASTの各条件および長方形弁別条件は成人、小児ともに40試行であった。本課題実施前に、長方形弁別条件と中立条件で構成された練習試行を実施した。小児においては、練習試行実施前に、紙面上に印刷された4種類の動物のシルエット画を見せ、それぞれの動物の名前と実際の大きさの回答を求めた。RASTでは、画面上の動物の大きさではなく、実際の動物の大きさを回答し、長方形弁別条件では、呈示される長方形の

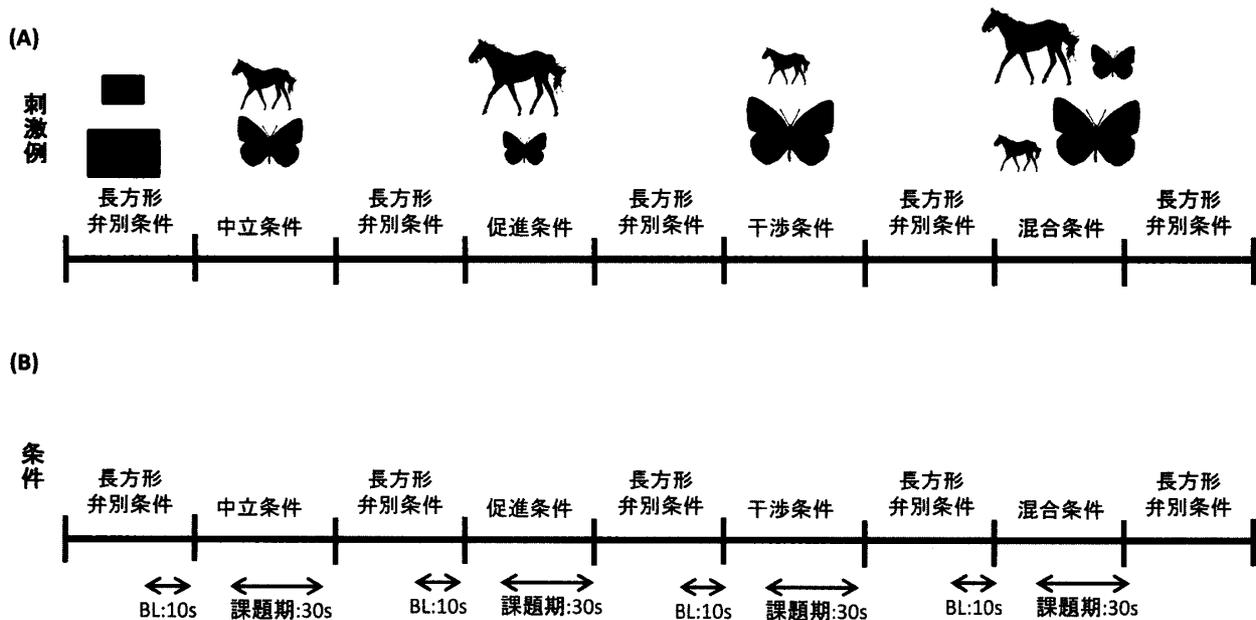


Fig. 1 (A) 各条件の刺激の例、(B) 課題パラダイムと各条件のベースライン (BL) および課題期

大小弁別を行うことを要求した。対象者はできるだけ早く正確に回答するように教示された。反応はレスポンスパッド (NEUROSCAN社製) を用い、左右の親指で対応するキーを押すように教示を行い、回答ボタンの位置は対象者ごとのカウンターバランスとした。

3. 脳血流の測定

oxy-Hb濃度およびdeoxy-Hb濃度、total-Hb濃度は3波長 (775, 810, 850nm) 2chNIRS (NIRO200, 浜松ホトニクス社製) を用いて計測した。受光器と入光器の2つのプローブ間の距離は4cmとし、対象者の前頭部の両側に国際10-20法に従い、左右前頭極に相当する部位を想定し、入光器はFp1とFp2に、受光器は入光器から4cm外側のF3、F4のライン上に設置した。サンプリング間隔は20msとした。測定は、課題開始前から終了までを連続して行い、分析区間を区別するために、各条件にて呈示される教示文および注視点呈示時に実験者が手動にてトリガーを入れた。

4. 分析方法

(1) 行動成績：各条件における正反応時のRTおよび正答率を分析の対象とした。また、Coderre, Conklin, and van Heuven (2011) の研究

を参考に、干渉条件と促進条件のRTの差分をストループ干渉として算出した。

(2) 脳血流データ：oxy-Hbは刺激に対する脳賦活を敏感に反映するが (Hoshi, Kobayashi, & Tamura, 2001)、total-Hbとdeoxy-Hbは必ずしもそのような変化を示さず、血流変化が小さい時は、oxy-Hbとdeoxy-Hbは鏡像的に変化しtotal-Hbの変化は認められず、deoxy-Hbは静脈血の酸素化状態のみならず血液量によっても変化するため、脳血流増加が大きい場合は細静脈も拡張してdeoxy-Hbが増加し、静脈血の酸素化によるdeoxy-Hbの減少を相殺あるいはそれを上回って増加を示すことがあると報告される (後藤・星・前田・高橋・室橋, 2009)。そのため本研究ではRAST遂行時の前頭前部における認知課題に伴う脳活動を反映すると考えられるoxy-Hbのみを分析の対象とした。各条件開始直前の長方形弁別条件をレスト期とし、レスト期最後の10秒間をベースラインとした。本研究では、課題期とレスト期の血流量の増加を比較したFallgatter and Strik (1988) の研究を参考に、課題期を各条件開始後に呈示される注視点から2秒後から32秒後までの30秒間の左右oxy-Hb濃度の平均変化量からレスト期10秒間

動物絵を用いたストループ課題遂行時の前頭前部における脳血流の変化からみた干渉抑制機能

の左右oxy-Hb濃度の平均変化量の差分を各条件における、左右oxy-Hb濃度の平均変化量として算出した (Fig. 1)。レスト期をベースラインすることによって、物体の大きさを弁別するという認知活動中のoxy-Hb濃度の変化をRASTの4条件遂行時の認知活動に伴う血流増加から差し引いて検討することができると考えられる。NIRSの分析の手法として、block designとevent-related designがあり、前者では課題の平均値とコントロールの平均値をそれぞれ求め、両者の差を信号とする手法であり、一定時間課題を実施続けることが可能である課題に適しているとされる (灰田, 2009)。一方で、event-related designでは、いつ必要な事象が現れるか対象者にわからない状況 (特定の図形が見えたり、音が聞こえた際に反応する) での計測において実施され、特定の事象より前の数秒から数十秒の平均値をコントロールとし、事象のあとに現れる信号から差し引く (灰田, 2009)。本研究においては、RASTの各条件および長方形弁別条件がそれぞれ30秒ずつ継続して実施されることや、中立条件、促進条件、干渉条件の3条件においては、それぞれのブロックで中立試行 (すべての動物が同じ大きさで呈示される)、促進試行 (それぞれの動物が実際の大きさと相対的に同じ大きさで呈示される)、干渉試行 (それぞれの動物が実際の大きさと相反する大きさに呈示される) のみで構成されているため、各条件特有の脳活動を検討することができると考えられたことから、block-designでの分析を行った。また、黒田 (2011) やNegoro et al. (2010) の研究では課題遂行時の左右oxy-Hb濃度変化の時間軸での推移を検討していることから、本研究においては、課題期の前半15秒間と後半15秒間の左右oxy-Hb濃度の平均変化量を比較することにより、課題開始時と課題持続時における脳活動の変化について検討した。

(3) ストループ干渉量による群分け: Coste, Sadaghiani, Friston, and Kleinschmidt (2011) の研究を参考に、ストループ干渉量が全体の平均値よりも大きい群をストループ干渉大群 (以下、

干渉大群)、干渉量の小さい群をストループ干渉小群 (以下、干渉小群) とし、群わけを行った。Coste et al. (2011) は、fMRIを用いて、赤と青の色単語を用いたCWST遂行時の脳活動を検討し、ストループ干渉の見られた群と見られなかった群間のRTには有意な差があったが、正答率に差は見らず、ストループ干渉の見られた群ではRTが早いときに、後頭側頭皮質が大きく賦活したと報告した。また、古典的なCWSTにおいては、7歳から8歳児におけるストループ干渉が成人と比較して大きく、ストループ課題は小児の干渉抑制のコントロール能力を評価する課題として用いられている。このことから、成人において干渉抑制のコントロールが十分に成されていないと考えられるストループ干渉大群と、十分に成されていると考えられるストループ干渉小群に群分けを行うことにより、干渉抑制のコントロール能力が十分に成熟していない就学前から成熟に達する学齢期の小児におけるRAST遂行時の脳活動および行動成績を定型発達成人の脳活動および行動成績と比較し、検討することができると考えられる。成績および脳血流データに関して、ANOVAを実施した。

(4) 小児の行動成績および脳血流データ: 行動成績においては、成人同様に正答率および正反応時のRT、ストループ干渉量を算出した。脳血流データに関しては、小児5名分の各条件における左右oxy-Hb濃度の平均変化量および前後半の平均変化量、ストループ干渉の見られた児と見られなかった児の左右oxy-Hb濃度の平均変化量、小児5名の個別の左右oxy-Hb濃度の平均変化量算出し、成人の結果をもとに検討した。

Ⅲ. 結果

1. 定型発達成人

(1) 行動成績: 正答率および正反応時のRTをTable1に示した。正答率についてANOVAを行った結果、条件の単純主効果が有意であった ($F(4,95)=6.010, p<.001$)。Tukey法による多重比較の結果、他の3条件と比較して混合条件の正

Table 1 定型発達成人全体およびストループ干渉大群, ストループ干渉小群における正答率および正反応時の反応時間

	正答率 (%)			反応時間 (msec)		
	定型発達成人	ストループ干渉大群	ストループ干渉小群	定型発達成人	ストループ干渉大群	ストループ干渉小群
中立条件	75.1 ± 15.0	80.5 ± 10.6	69.8 ± 17.3	387.1 ± 50.6	387.5 ± 47.5	386.8 ± 56.1
促進条件	78.9 ± 18.2	82.25 ± 14.5	75.5 ± 21.5	310.5 ± 45.1	300.9 ± 43.4	320.1 ± 47.0
干渉条件	72.8 ± 20.9	72.5 ± 19.6	73.0 ± 23.1	364.6 ± 57.6	396.7 ± 47.2	332.6 ± 49.8
混合条件	54.4 ± 17.3	52.5 ± 15.3	56.3 ± 19.8	396.1 ± 47.5	391.7 ± 45.8	400.5 ± 51.2

答率が5%水準で有意に減少した。正反応時のRTについてANOVAを行った結果、条件の単純主効果が有意であった ($F(4,95)=22.702, p<.001$)。Tukey法による多重比較の結果、促進条件のRTは中立条件や混合条件のRTよりも有意に早く ($p<.001$)、中立条件のRTよりも促進条件のRTが早いという促進効果が見られた。干渉条件のRTが促進条件のRTよりも有意に遅延する ($p<.001$)、ストループ干渉が認められた。

(2) 脳血行動態：各条件の平均変化量、前後半の平均変化量をFig. 2に、時系列変化波形をFig. 3に示した。各条件30秒間の左右oxy-Hb濃度の平均変化量について、部位(右, 左)と条件(中立条件, 促進条件, 干渉条件, 混合条件)のANOVAを行ったところ、主効果および交互作用は見られなかった。前後半の左右oxy-Hb濃度の変化量においては条件ごとに部位(右, 左)と期間(前半, 後半)のANOVAを行ったところ、期間の主効果が有意であり ($F(1,38)=6.421, p<.001$)、干渉条件の左oxy-Hb濃度の変化量が前半と比較して、後半において有意に大きくなった ($p<.001$)。

2. ストループ干渉量による群分け

(1) 行動成績：ストループ干渉量による群分けの行動成績の結果をTable1に示した。正答率および正反応時RTに関して群(干渉大群, 干渉小群)×条件(中立条件, 促進条件, 干渉条件, 混合条件)のANOVAの結果、主効果および交互作用は有意ではなかった。ストループ干渉量は干渉大群が 95.8 ± 6.3 msec、干渉小群が 12.5 ± 11.4 msecであり、 t 検定を行ったところ干渉小群よりも干渉大群の干渉量が有意に大きかった ($t(18)=6.383, p<.001$)。

(2) 脳血行動態：両群における各条件の平均変化量、前後半の平均変化量をFig. 4に示した。各条件30秒間の左右oxy-Hb濃度の平均変化量について、左右oxy-Hb濃度の平均変化量および前後半の平均変化量について群(ストループ干渉大群, ストループ干渉小群)と条件(中立条件, 促進条件, 干渉条件, 混合条件)のANOVAを行ったところ、主効果および交互作用は見られなかったが、干渉小群の変化量が全体的に小さく、干渉大群が干渉小群よりも中立条件, 促進条件, 干渉条件において左右oxy-Hb濃度の平均変化量が増加する傾向が見られた。左右差に関しては、干渉大群においては中立条件以外の3条件では右oxy-Hb濃度よりも左oxy-Hb濃度の変化量が大きい傾向が見られた。混合条件においては、両群の差が小さかった。

3. 定型発達児

(1) 行動成績：定型発達児の行動成績をTable 2に示した。ストループ干渉量は 1.5 ± 71.6 msecであり、5名中3名でストループ干渉が観察された。正答率および正反応時のRTについてフリードマン検定を行った結果、行動成績においては条件間に有意差が見られなかった。

(2) 脳血行動態：定型発達児5名の条件ごとの左右oxy-Hb濃度の全体の平均変化量および前後半の平均変化量をFig. 5に示した。左右oxy-Hb濃度の全体の平均変化量および前後半の平均変化量についてフリードマン検定を行った結果、条件間の有意差は見られなかった。

(3) 定型発達児におけるストループ干渉による左右oxy-Hb濃度の変化の傾向：ストループ干渉の見られた児3名と見られなかった児2名のRAST遂行時の左右oxy-Hb濃度の平均変化

動物絵を用いたストループ課題遂行時の前頭前部における脳血流の変化からみた干渉抑制機能

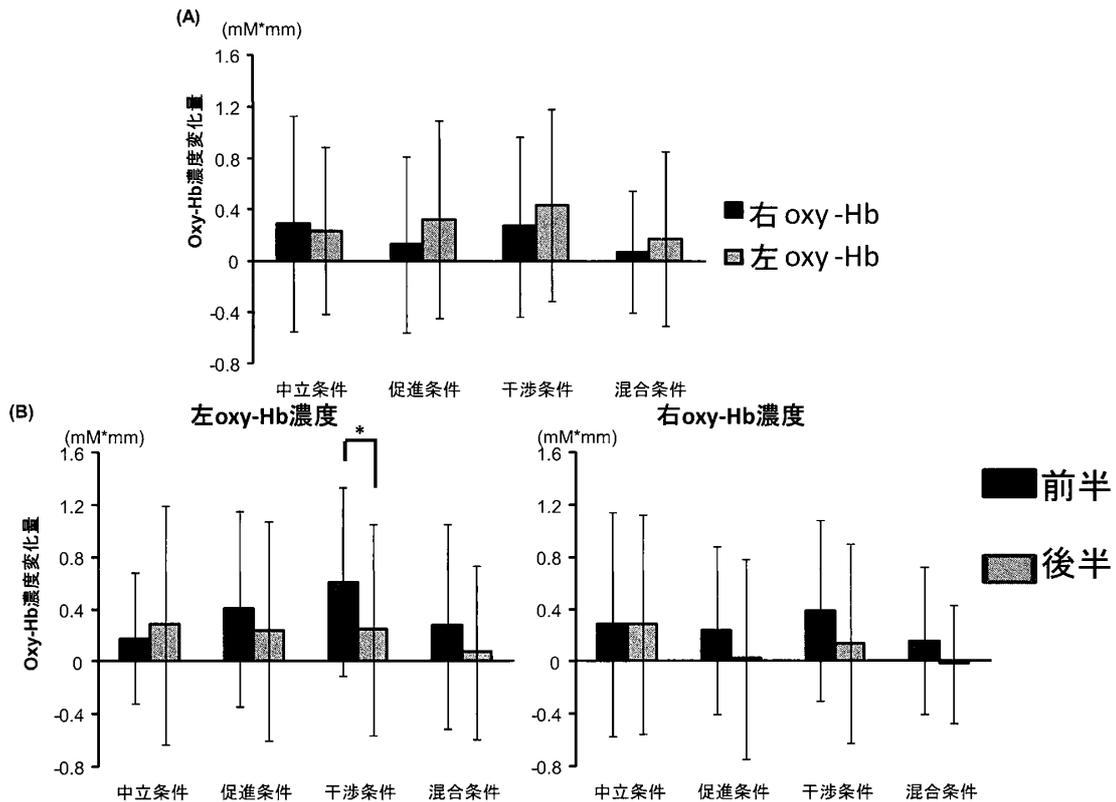


Fig. 2 定型発達成人における各条件の平均変化量
 (A) 各条件における課題期の平均変化量
 (B) 各条件における前後半の平均変化量 * $p < .01$

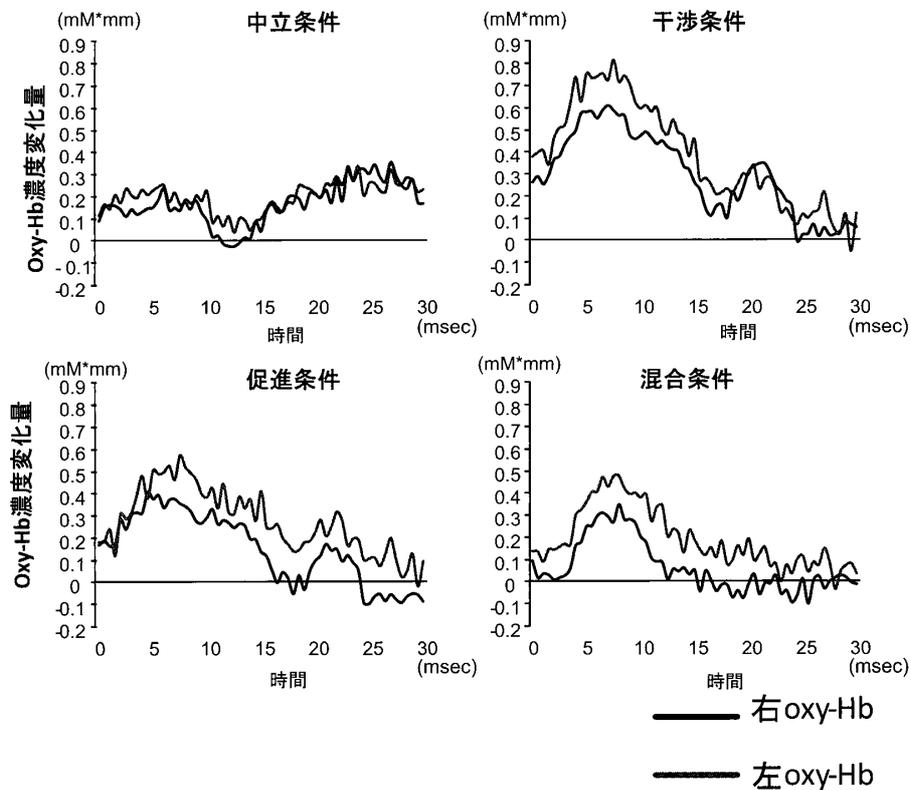


Fig. 3 定型発達成人における各条件の時系列平均変化量

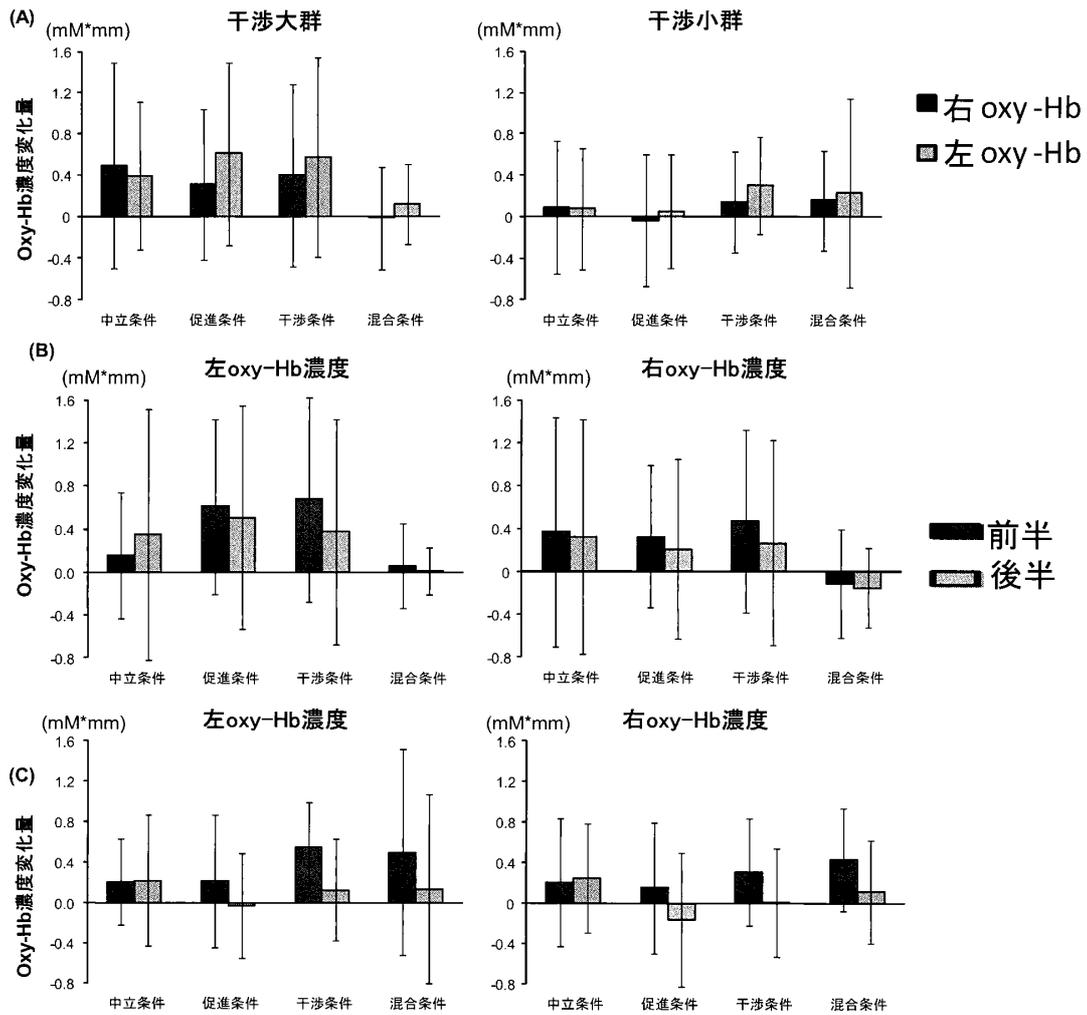


Fig. 4 スト룹干渉大群および小群における各条件の平均変化量
 (A) 両群の各条件における課題期の平均変化量
 (B) 干渉大群の各条件における前後半の平均変化量
 (C) 干渉小群の各条件における前後半の平均変化量

Table 2 定型発達児における正答率および正反応時の反応時間

	正答率 (%)	反応時間 (msec)
中立条件	58.5 ± 20.0	628.0 ± 94.0
促進条件	71.0 ± 17.0	586.3 ± 66.6
干渉条件	59.0 ± 24.1	587.8 ± 74.6
混合条件	48.5 ± 14.6	613.4 ± 81.8

量を Fig. 6 に示した。スト룹干渉の見られなかった児はスト룹干渉の見られた児よりも各条件における左右 oxy-Hb 濃度の増加が大きく、特に混合条件遂行時の左右 oxy-Hb 濃度の増加が大きかった。スト룹干渉の見られた児の平均スト룹干渉量は 51.0 ± 20.1 msec、

スト룹干渉の見られなかった児の平均スト룹干渉量は -72.7 ± 36.5 msec であった。それぞれの児の行動成績を Table 2 に示した。スト룹干渉の見られた児の干渉条件の正答率はスト룹干渉の見られなかった児の正答率よりも高く、干渉条件遂行時の正反応時の RT は、

動物絵を用いたストループ課題遂行時の前頭前部における脳血流の変化からみた干渉抑制機能

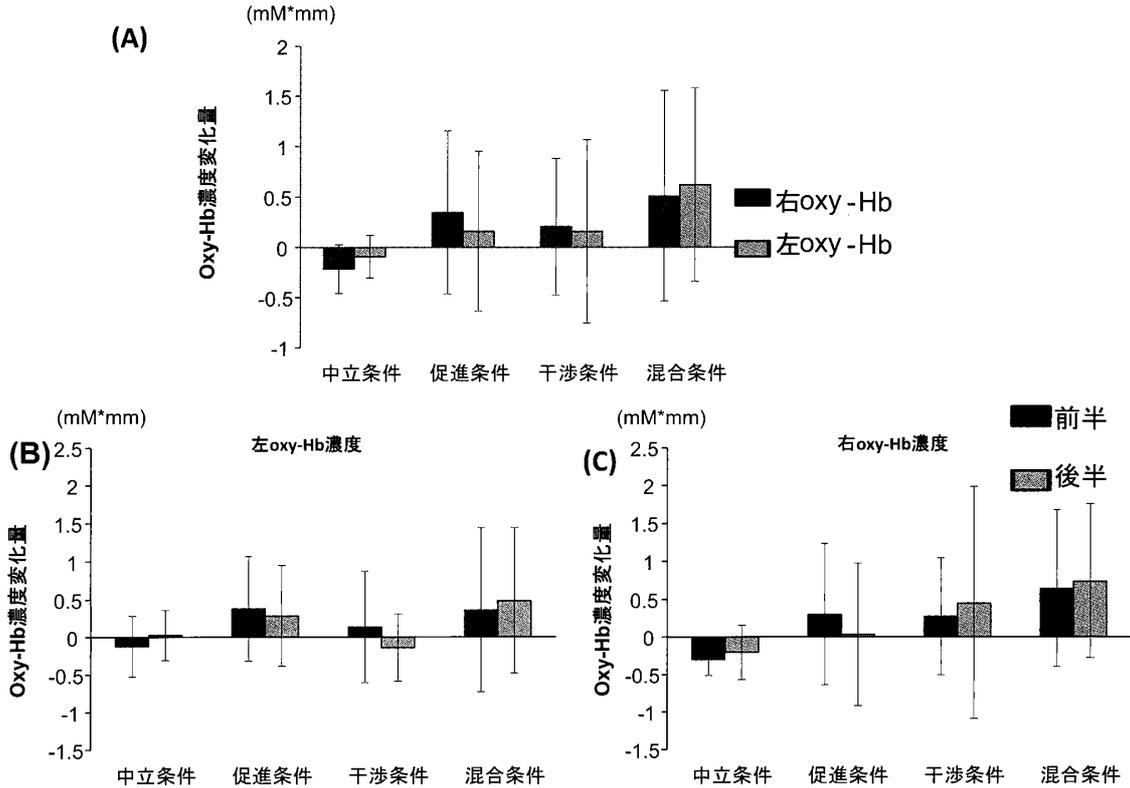


Fig. 5 定型発達児における各条件の平均変化量
 (A) 各条件の課題期の平均変化量
 (B) 前後半の左oxy-Hb濃度の平均変化量
 (C) 前後半の右oxy-Hb濃度の平均変化量

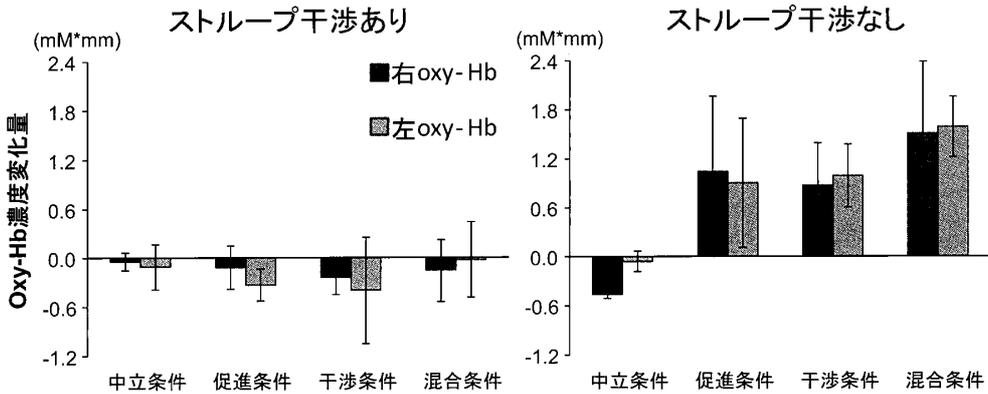


Fig. 6 定型発達児におけるストループ干渉の見られた児と見られなかった児における各条件遂行時の左右oxy-Hb濃度の平均変化量

ストループ干渉の見られた児の方がストループ干渉の見られなかった児よりも延長した。

(5) 定型発達児5名の行動成績と左右oxy-Hb濃度変化に関する個別の検討：定型発達児の個別のプロフィールおよび行動成績をTable 3に、

RASTの各条件遂行時の左右oxy-Hb濃度の平均変化量をFig. 7に示した。A児とC児は血流量の増加は成人と比較して大きく、B児、D児、E児の左右oxy-Hb濃度の変化量は小さいまたは減少した。正答率と左右oxy-Hb濃度を比較す

Table 3 定型発達児5名のプロフィールおよび行動成績

年齢	性別	正答率 (%)				正反応時の反応時間 (msec)				ストループ干渉 (msec)
		中立条件	促進条件	干渉条件	混合条件	中立条件	促進条件	干渉条件	混合条件	
A児	7歳8か月 女児	80.0	87.5	77.5	52.5	633.6 ± 144.1	633.8 ± 150.7	586.9 ± 157.8	656.5 ± 111.1	-46.9
B児	6歳0か月 男児	50.0	55.0	40.0	25.0	761.5 ± 133.7	618.0 ± 134.0	687.1 ± 155.8	669.1 ± 117.6	69.1
C児	6歳3か月 男児	40.0	67.5	27.5	57.5	565.9 ± 237.4	628.5 ± 134.2	530.0 ± 231.1	478.1 ± 169.7	-98.5
D児	8歳2か月 男児	42.5	55.0	67.5	45.0	516.6 ± 153.0	473.9 ± 78.9	503.2 ± 98.4	593.9 ± 144.6	29.3
E児	8歳3か月 男児	80.0	90.0	82.5	62.5	662.5 ± 132.8	577.2 ± 121.8	631.7 ± 107.9	669.1 ± 185.7	54.5

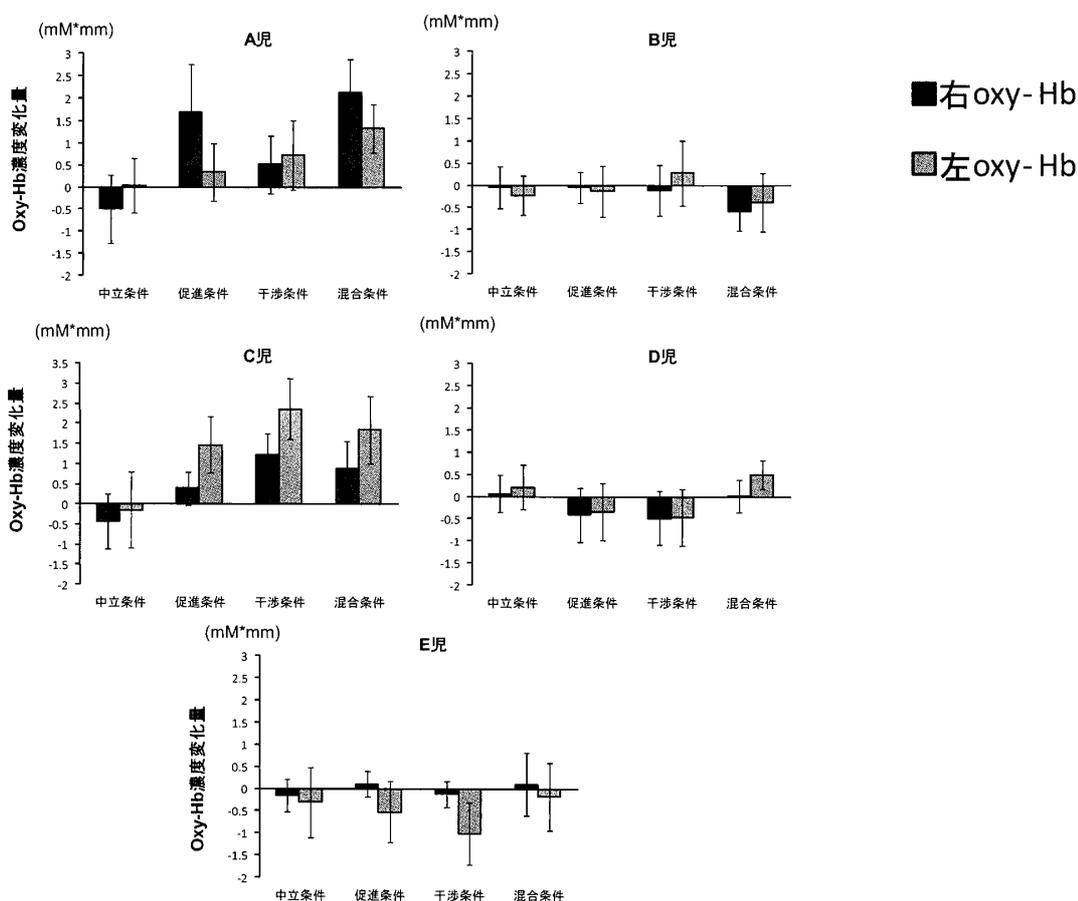


Fig. 7 定型発達児5名それぞれの各条件における左右oxy-Hb濃度の平均変化量

ると、正答率が比較的高いA児では全体的に血流量の増加が大きいが、同じく正答率が高いE児の血流量は減少した。小児においては、個人差や条件間の血流量の変化の差が大きかった。

IV. 考察

本研究では定型発達成人を対象にRASTを実施し、その結果をもとに6歳から8歳までの小児5名のRAST遂行時の脳活動を予備的に検討した。

1. 定型発達成人

(1) 行動成績

本研究で使用したRASTにおいて観察されたストループ干渉は、課題に無関係な情報（知覚的な動物の大きさ）を無視し、課題に関係のある情報（動物の意味的な大きさ）に反応するために必要な時間である。従って本研究で用いたRASTはCWST同様のストループ課題であると考えられる。身近な動物や物体の実際の大きさと画面上の大きさとの間のストループ干渉について検討したKonkle and Oliva (2012) は、物体

動物絵を用いたストループ課題遂行時の前頭前部における脳血流の変化からみた干渉抑制機能

認知だけではなく、物体の実際の大きさへのアクセスも自動化されていると述べており、RASTで見られたストループ干渉は、知覚的な刺激の大きさだけではなく動物の実際の大きさという意味的な大きさからも干渉が生じていると考えられる。また、中立条件のRTよりも促進条件のRTが有意に早くなっており、知覚的な動物の大きさが動物の実際の大きさという意味的な情報を促進した結果生じたと考えられる。混合条件は動物の知覚的な大きさと意味的な大きさの一致した試行と不一致な試行間の注意や反応の切り替えを要求する条件であるため、他の条件よりも難度が高くなり、他の3条件よりも有意に正答率が低くなったと考えられる。

(2) 脳血流量

CWST遂行時の前頭前部の活動をNIRSを用いて計測し、CWST遂行時の前頭前野外側部において中立条件と比較して、干渉条件遂行中にoxy-Hb濃度の増加がみられるという報告がある(Schroeter, Zysset, Kupka, Kruggel, & Cramon, 2002)。また、CWST遂行時の前頭前部の脳活動をNIRSを用いて計測し、RTの早さによって群わけを行ったLeón-Carrion, Damas-López, Martín-Rodríguez, Domínguez-Roldán, Murillo-Cabezas, Martín, and Domínguez-Morales (2008)は、RTの早い群、平均群、遅い群の3群間の正答率に有意差がないことから、RTの遅い群は課題に無関係な刺激を抑制し、要求された反応をするためにRTの早い群よりも多くの時間が必要であったとし、RTの早い群におけるDLPFCでのoxy-Hb濃度の増加が、課題目標の維持と表出や注意コントロールにかかわる活動を反映していると示唆した。Ehli, Herrmann, Wager, and Fallgatter (2005)は、成人を対象にCWSTを実施し、左下部前頭皮質においてストループ干渉に関連したoxy-Hb濃度の増加が見られたことを示した。また、促進条件のように干渉抑制を必要としない簡単な条件遂行時には、上部前頭領域が課題遂行を担うが、難度の高い干渉条件遂行時にはより下部に位置する領

域が活動したことを報告した。混合条件における課題に無関係な情報に伴うコンフリクトの増加によって、課題に適したパフォーマンスを実行するために、後部DLPFCや後部下前頭前皮質が賦活すると報告されており(Milham, Banich, & Barad, 2003)、本研究においては一致試行と不一致試行の混合した条件である混合条件が干渉条件よりもコンフリクトの大きな条件であったために、本研究で用いた2chNIRSでは検出することのできない脳のより深部に位置するDLPFCや下部前頭前皮質が賦活したために、混合条件における左右oxy-Hb濃度が減少したと考えられる。また、CWSTにおける不一致条件遂行時にACCが大きく賦活することが示されており(MacDonald, Cohen, Stenger, & Carter, 2010)、本研究においてもエラーの検出や修正に関与するACCが賦活したために前頭前部での賦活が小さくなった可能性があると考えられる。MacDonald et al. (2000)は左DLPFCの活動が方略的コントロール過程と一致していると述べており、本研究における内省報告から全条件において方略を使用して反応したことが確認されたため、左DLPFCの活動を反映した結果、左oxy-Hb濃度の変化量が右oxy-Hb濃度の変化量よりも大きく増加したと考えられる。課題に関係する情報と無関係の情報を選択する能力は注意機能の基本的な側面であり、前頭前部は課題に関係のある刺激の選択に有効なトップダウンバイアスを提供する過程を担うと示されている(Milham et al., 2003)。認知処理における課題に無関係な情報が優勢であり、もう一方の課題に関係のある情報と競合するときに、前頭前部の賦活が増加すると考えられており、他の条件と比較して干渉条件遂行時に左右oxy-Hb濃度の変化量が大きく、動物の意味的な大きさという情報と画面上の刺激の知覚的な大きさという情報が不一致である干渉条件において、知覚的な大きさではなく、意味的な大きさを選択するために、前頭前野が賦活したと示唆される。

干渉条件遂行時の左oxy-Hb濃度の前半の血流量が後半の血流量よりも有意に増加したこと

から、干渉条件における左oxy-Hb濃度の増加は、反応抑制や選択的注意にかかわるとされる左前頭前部が賦活した結果を反映していると考えられ、前後半での血流量変化は干渉条件開始時における干渉抑制や選択的注意、方略の選択の負荷が高まった結果と推測される。Leon-Carrion et al. (2009) が時系列変化量波形を示しているが、条件開始3秒後ごろに波形がピークになっており、その後徐々に右型下がりになる傾向を示しており、本研究の波形においても全条件において同様の傾向が見られたことから、干渉条件においては、干渉を抑制するために課題開始時により多くの脳活動を要求したために、後半の血流量よりも前半の血流量が有意に大きくなったと推測される。また、左半球が右半球よりもより干渉抑制に関連すると示唆されており (Ciftçi, Sankur, Kahya, & Akin, 2008)、本研究においても、有意差はないものの干渉条件遂行時の左oxy-Hb濃度が右oxy-Hb濃度よりも増加しており、この結果は先行研究と一致していると考えられる。

2. ストループ干渉量による群分け

(1) 行動成績：干渉大群と干渉小群間の正答率および正答時のRTの有意差がなかったが、促進条件のRTよりも干渉条件のRTが遅延するというストループ干渉量の大きさは干渉大群の方が干渉小群よりも有意に大きかった。このことから、干渉大群は干渉小群と同じ正答率を示すが、干渉大群よりも干渉小群の方が干渉抑制能力が高い可能性があると考えられる。

(2) 脳血流量：各条件の平均変化量、前後半の変化量ともに有意差が見られなかったが、干渉小群よりも干渉大群のほうが全体的に左右oxy-Hb濃度の変化量が大きかった。ストループ干渉の小さい対象者は不一致試行遂行時に左DLPFCが大きく賦活することが示されており (Floden, Vallesi, & Stuss, 2010)、本研究における干渉小群は干渉条件遂行時に左DLPFCが賦活したために前頭前野での血流変化が見られなかったと考えられる。Leon-Carrion et al. (2009) は、平均よりもRTが早い群の血流量が最も大

きく、他の群よりも効果的に干渉抑制を行った結果を反映すると述べた。本研究においては、行動成績に有意差がなく、干渉大群は干渉小群と同程度の正答率を維持するために、より干渉抑制処理への負荷が大きくなり、干渉小群よりも干渉大群において左右oxy-Hb濃度の変化量が大きく増加したと考えられる。

3. 定型発達成人と小児5名の比較

(1) 小児5名の全体の行動成績および脳血流量変化の検討：小児においては、混合条件遂行時の左右oxy-Hb濃度の平均変化量の増加が他の条件と比較して最も大きかった。成人においては、混合条件遂行時には前頭前部ではなく、DLPFCやACCが賦活するため、前頭前部での血流増加が見られなかったと推測されたことから、小児においては、混合条件遂行時にも前頭前部が賦活している可能性があると考えられる。前後半の血流量においては、成人では促進条件、干渉条件、混合条件の3条件において、左oxy-Hb濃度の増加量が後半よりも前半で大きかったが、小児においては前後半の血流量の増減に大きな変化が見られなかった。これは、成人においては、課題要求に対する学習が進み、前半と同程度の脳活動を維持しなくとも、課題成績を維持することができたのに対し、本研究で対象とした小児では、発達途上の段階であったためと考えられる。

(2) 小児5名のストループ干渉の有無による行動成績および脳血流量変化の検討：小児5名中3名でストループ干渉が観察され、ストループ干渉の観察された児では全条件において左右oxy-Hb濃度が減少し、ストループ干渉の見られなかった児では全条件において左右oxy-Hb濃度が増加した。成人においては干渉小群の左右oxy-Hb濃度が干渉大群と比較して、増加量が少なかったのに対し、小児では成人とは異なる傾向を示した。成人においては、干渉抑制には左DLPFCやACCが関連するが、小児は成人と比較して、干渉抑制時に前頭前部が賦活することが示されており (Jongen & Jonkman, 2008)、成人においては、ストループ干渉抑制が十分に

動物絵を用いたストループ課題遂行時の前頭前部における脳血流の変化からみた干渉抑制機能

なされていないストループ干渉大群において、ストループ干渉抑制時に前頭前部が賦活したと考えられるが、小児においては、前頭前部の発達途上であるために、ストループ干渉抑制が十分になされた場合においても、干渉抑制に関わる前頭前部が賦活したと考えられる。

(3) 小児5名における個別での行動成績および脳血流量変化の検討：Catale and Meulemans (2009)の研究では、5歳群から9歳群までのすべての群においてストループ干渉が観察されているが、本研究で対象にした小児5名中3名のみストループ干渉が観察された。ストループ干渉はボタン押し反応よりも口頭反応で大きいことが示されており (MacLeod, 1991)、本研究ではボタン押しでの反応を要求したために、ストループ干渉が小さくなった可能性があると考えられる。また、本研究で用いたRASTは、成人においても正答率が70%程度であり、個人差はあるものの、小児にとって遂行が難しい課題となった可能性があると推測される。就学前や学齢期の小児を対象にしたストループ様課題の多くは口頭での反応を課しており (Heij & Boelens, 2011; Hanauer & Brooks, 2005)、本研究におけるボタン押し反応の要求により、ボタンの位置や反応に対するワーキングメモリの負荷が高くなったことや、切り替えや予測の不可能さという要素や干渉条件における異なる注意セットや注意や覚醒の高水準での維持、異なる方略過程が要求された (Liotti, 2000) ため、これらの要素によって正答率が低くなったと考えられる。しかし、RASTを5歳から9歳までの小児に実施したCatale and Meulemans (2009) 研究では、正答率が90%以上であることから、文字の読み能力が課題遂行に必要不可欠であるCWSTよりも、年齢の低い子どもにとって身近な動物を用いたRASTは、実施可能な課題であると考えられる。加えて、CWSTでは小児ではストループ干渉が観察されるが、成人では観察されないことから、直接的に成人と小児の干渉抑制機能を比較することが出来ないと考えられるが、本研究においては両群ともにストループ干

渉が観察されており、RASTは小児と成人の抑制機能を直接的に比較する課題として用いることができると考えられる。

小児の変化量や行動成績の個人差が大きかった。A児は正答率も高く、定型発達成人と比較して、促進条件、干渉条件、混合条件の変化量が大きいことから、成人と同程度の正答率を維持するために課題への注意集中の維持や干渉抑制を行ったことで、血流量も増加したと考えられる。B児は全体的に正答率が低く、課題遂行時には緊張度も高く、血流量も低かった。有田 (2007) は、混乱、抑うつ、緊張・不安、怒り・敵意の増加、活力の減少している状態では前頭前野の脳血流が減少すると報告しており、正答率が低く、課題実施中においても、緊張度の高い様子が見られたB児にとって、課題遂行の難しさや緊張度の高さのために、他児と比較して血流量が減少したと推測される。C児の正答率も全体的に低いものの、促進条件、干渉条件、混合条件遂行時の左oxy-Hb濃度の平均変化量が右oxy-Hb濃度と比較して大きく、B児とは対照的に血流量の増加が大きかった。このことから、脳血流量に行動成績以外の要素が含まれている可能性があると考えられる。難度が極めて高い場合や、思考状態が長時間続く場合には、oxy-Hb濃度の増加に加えてdeoxy-Hb濃度も増加することが報告されており (黒田, 2011)、C児にとってRAST遂行時の難度の高さを反映した結果、血流量が増加したと推測される。6歳から12歳までのADHD児および定型発達児を対象にCWST遂行時の前頭前部の活動をNIRSを用いて検討したNegoro, Sawada, Iida, Ota, and Tanaka (2009) は、定型発達児においても成人同様に下部前頭前野の活動が見られることは、成人同様にストループ干渉が生じている結果であると述べた。しかし、本研究においてはストループ干渉の観察された児3名において、干渉条件および混合条件遂行時の左右oxy-Hb濃度の変化量が減少した。成人は課題を達成するためにより言語的な方略を使用したことにより、左下前頭回/島が大きく賦活し、自身の行動成

績を振り返る能力や方略や課題成績を改善するための情報の使用が年齢に伴って発達し、前頭前部における活動がより課題に特化した前頭領域に焦点化する (Tamm et al., 2002) と報告されているが、本研究においては、ストループ干渉抑制にかかわる脳部位が成人と小児では異なる可能性や前頭前野の発達的变化が RAST 遂行時の脳活動に反映される可能性があることが推測される。6 歳から 12 歳までの定型発達児と定型発達成人を対象に、干渉のない中立試行、刺激レベルでの干渉のみの不一致試行、刺激レベルおよび反応レベルでの干渉のある反応不一致試行で構成された color-object Stroop 課題遂行時の脳活動を事象関連電位によって検討した Jonge and Jonkman (2008) によると、6 歳から 7 歳までの初期児童期において刺激干渉コントロール (知覚レベルでの干渉のコントロール) 処理が成熟するが、10 歳から 12 歳までの後期児童期まで継続して現れる反応干渉コントロール (反応選択レベルでの干渉のコントロール) の発達が、小児が成人よりも反応干渉のエラーに影響をより受けやすいと示唆した。また、6 歳から 7 歳児群のみ、前頭中心や頭頂中心、頭頂後頭葉に広く分布したコンフリクトの検出と無関係なコンフリクトを伴う刺激の抑制過程の指標である N4 に続く P1 振幅の減少と不一致試行への反応における 400 から 560 msec 区間に出現する P3 の振幅の減少が見られたと報告しており (Jonge & Jonkman, 2008)、RAST 遂行時においても 6 歳から 7 歳児の干渉抑制時の脳活動は成人や 10 歳から 12 歳児と比較して、前頭前部やそれ以外の部位が賦活している可能性が示唆される。本研究においても不一致刺激に対する干渉をコントロールすることのできたストループ干渉の見られなかった児においては、前頭前部の左右 oxy-Hb 濃度がストループ干渉小群と比較して増加しており、小児においてはストループ干渉抑制時に前頭前野が賦活していると考えられる。

Schroeter et al. (2004) は、CWST 遂行中の小児の oxy-Hb 濃度の変化量は成人と比較して大

きく、これは、左側頭前頭前部の賦活の大きさを示すと報告し、左前頭前部での賦活は、課題に言語的側面を含む CWST の特性に一致したと示唆した。RAST は動物の絵を刺激として用いているものの、内省報告によると小児および成人の大部分が「頭の中で動物の大小を言いながら回答した」と報告しており、RAST にも言語的な側面が含まれていると考えられる。一方で、数学の問題遂行時の前頭前部の脳活動を NIRS によって測定し、それらのデータを個人ごとに検討した黒田 (2011) は脳活動データが学習者の内面に生じる難度、解決方略獲得状況、緊張状態などを反映する可能性があることや同様の実験課題を行っても、成人と子どもとは、子どもの脳活動データの個人差が大きい傾向があると報告した。本研究においても小児 5 名の脳活動データは個人差が大きく、黒田 (2011) の研究のようにそれぞれのデータを個人ごとに脳活動データと内省報告や課題成績と併せることによって与えられた課題に対する個人の難度や解決方略について、考えていくことができると考えられる。本研究の小児における個人検討において、脳血流量、行動成績ともに個人差の大きさが明らかになったことから、行動成績にばらつきの大きい ADHD 児に対して、指導的かかわりの中での干渉抑制機能を生理心理学的に個別に評価することで、行動面では評価しにくい ADHD 児の干渉抑制機能の特性を検討するとともに、ADHD 児一人ひとりの干渉抑制能力に合わせた指導支援を行うことができると考えられる。また、ADHD 児へ方略的な教示を行うことによって、学習面での問題が改善される報告もあり (Iseman & Naglieri, 2011)、ADHD 児の認知特性やそれに伴う脳活動を個別に検討することによって、ADHD 児に有効な指導支援についての一助を得ることができると考えられる。

(2) 今後の課題：CWST 遂行時の脳活動を NIRS によって計測した先行研究は多チャンネル NIRS を用いているが、本研究では 2 チャンネル NIRS を用いているため、前頭前部の脳表面における脳活動のみを検出した。今後の課題

動物絵を用いたストロープ課題遂行時の前頭前部における脳血流の変化からみた干渉抑制機能

として、多チャンネルNIRSを用いてRAST遂行時の定型発達成人および小児の脳活動を計測することにより、より多くの脳部位の活動を比較、検討する必要があると考えられる。小児においては6歳児において各条件における正答率が低くなったため、6歳児でも課題遂行が可能になるようにITIの延長や練習試行を複数回実施することが必要であると考えられる。定型発達児5名の脳活動を定型発達成人の結果や行動成績と合わせて考察したが、Catale and Meulemans (2009)の研究同様に5歳から12歳までの小児を対象にRAST遂行時の前頭前部の脳活動をNIRSによって計測することにより、発達に伴うRASTの行動成績および脳活動の変化を検討することが今後の課題であると考えられる。また、Takehara, Hasegawa, Toriumi, Kimura, Okamoto, and Yamazaki (2007)は数字ストロープ課題を遂行時の脳波の θ 波解析を行い、回答に早さを要求された群と比較して正確さを要求された群では θ 成分が有意に大きく、正確さを優先する指示においては十分に時間を使うため、数字の処理が意識化され、思考過程への負荷になった可能性を示唆した。したがって、外的な教示による課題方略の選択や変更が脳活動に及ぼす影響について検討することによって、干渉抑制能力に困難を示す子どもにとって有効な支援方法について考察することが可能であると考えられる。

文献

- 相原正男・青柳閣郎・山城大・保坂裕美・中澤眞平 (2007) 情動認知の発達とその異常. 臨床脳波, 49 (1), 6-11.
- 有田秀穂 (2007) 涙とストレスの緩和. 尾中達史・井樋慶一・神庭重信・二木鋭雄 (編), ストレスの科学. ライフサイエンス出版, 85-89.
- Bryce, D., Szucs, D., Soltesz, F., & Whitebread, D. (2011) The development of inhibitory control: An averaged and single-trial Lateralized Readiness Potential study. *NeuroImage*, 57, 671-685.
- Catale, C. & Meulemans, T. (2009) The Real animal size test (RAST) A new measure of inhibitory control for young children. *European Journal of Psychological Assessment*, 25 (2), 83-91.
- Ciftçi, K., Sankur, B., Kahya, & Akin, A. (2008) Multilevel statistical inference from functional near-infrared spectroscopy data during Stroop interference. *IEEE transactions on bio-medical engineering*, 55 (9), 2212-2220.
- Coderre, E., Conklin, K., & vanHeuven, W. J. B. (2011) Electrophysiological measures of conflict detection and resolution in the Stroop task. *Brain Research*. 1413, 51-59.
- Coste, C. P., Sadaghiani, S., Friston, K. J., & Kleinschmidt (2011) Ongoing brain activity fluctuations directly account for intertrial and indirectly for intersubject variability in Stroop task performance. *Cerebral Cortex*, 21, 2612-2619.
- Deák, G. O. & Narashimham, G. (2003) Is perseveration caused by inhibition failure? Evidence from preschool children's inferences about word meaning. *Journal of Experimental Child psychology*, 86, 194-222.
- Ehllis, A. C., Herrmann, M. J, Wagener, A., & Fallgatter, A. J. (2005) Multi-channel near-infrared spectroscopy detects specific inferior-frontal activation during incongruent Stroop trials. *Biological Psychology*, 69, 315-331.
- Fallgatter & Strik (1988) Frontal brain activation during the Wisconsin Card Sorting Test assessed with two-channel near-infrared spectroscopy. *European archives of psychiatry and clinical neuroscience*, 248, 245-249.
- Floden, D., Vallesi, A., & Stuss, D. T. (2010) Task context and frontal lobe activation in the Stroop task. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 23 (4), 867-879.
- 後藤広太郎・星詳子・前田力敏・高橋誠・室橋春光 (2008) 空間的に視覚と固有受容感覚を矛盾させた状態での到達運動における前頭前野の活動について—近赤外線スペクトロスコピーによる検討—. 脈管学, 48, 397-403.
- 灰田宗孝 (2009) NIRS発展の歴史と原理. 福田正人 (編), 精神疾患とNIRS. 中山書店. 6-12.
- Hoshi, Y., Kobayashi, N., & Tamura, M. (2001) Interpretation of near-infrared spectroscopy signal: a study with a newly developed perfused rat brain mode. *Journal of Applied physiology*, 90, 1652-1666.
- Iseman, J. S. & Naglieri, J. A. (2011) A cognitive strategy instruction to Improve math calculation for

- children with ADHD and LD: A randomized controlled study. *Journal of Learning Disabilities*, 44 (2), 184-195.
- Jongen, E. M. M. & Jonkman, L. M. (2008) The developmental pattern of stimulus and response interference in a color-object Stroop task: an ERP study. *BMC neuroscience*, 9 (82), doi:10.1186/1471-2202-9-82.
- Hanauer, J. B. & Brooks, P. J. (2005) Contributions of response set and semantic relatedness to cross-modal Stroop like picture-word interference in children and adults. *Journal of Experimental Child Psychology*, 90, 21-47.
- Heij, W. L. & Boelens, H. (2011) Color-object interference: Further tests of an executive control account. *Journal of Experimental Child Psychology*, 108, 156-169.
- 福田正人・青山義之・武井雄一・成田耕介 (2009) NIRSの神経生理学的基礎. 福田正人 (編), 精神疾患とNIRS. 中山書店. 52-65.
- 片桐惇志・石川真理子・吉田甫 (2006) 音読・計算・書字の遂行が軽度精神遅滞児に及ぼす効果 - 脳活動を考慮した介入 -. 立命館人間科学研究, 12, 1-10.
- Konkle & Oliva (2012) A familiar-size Stroop effect: Real-world size is an automatic property of object representation. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, 38 (3), 561-569.
- 黒田恭史・岡本尚子 (2008) 解答場面と説明場面の差異がもたらす脳内ヘモグロビン濃度変化の特徴. 教育学部論集, 19, 55-68.
- 黒田恭史 (2011) 教育神経科学研究の今後の発展. 佛教大学教育学部論集, 22, 171-183.
- León-Carrion, J., Damas-López, J., Martín-Rodríguez, J. F., Domínguez-Roldán, J. M., & Murillo-Cabezas, F. (2008) The hemodynamics of cognitive control: The level of concentration of oxygenated hemoglobin in the superior prefrontal cortex varies as a function of performance in a modified Stroop task. *Behavioral Brain Research*, 193, 248-256.
- Liotti, M. Woldorff, M. G., Perez, R., & Mayberg, H. S. (2000) An ERP study of the temporal course of the Stroop color-word interference effect. *Neuropsychologia*, 38, 701-711.
- Martin, J. M. B. & Domínguez-Morales, M. R. (2008) The hemodynamics of cognitive control: The level of concentration of oxygenated hemoglobin in the superior prefrontal cortex varies as a function of performance in a modified Stroop task. *Behavioural Brain Research*, 193, 248-256.
- MacDonald, A. W., Cohen, J. D., Stenger, V. A., & Carter, C. S. (2000) Dissociating the role of the dorsolateral prefrontal and anterior cingulate cortex in cognitive control. *Science*, 288, 1835.
- MacLeod, C. M. (1991) Half a century of research on the Stroop effect: An integrative review. *Psychological Bulletin*, 109 (2), 163-203.
- Mager, R., Bullinger, A. H., Br&, S., Schmidlin, M., Schärli, H., Müller-Spahn, F., Störmer, R., & Falkenstein, M. (2007) Age-related change in cognitive conflict processing An event-related potential study. *Neurobiology of Aging*, 28, 1925-1935.
- Milham, M. P., Banich, M. T., & Barad, V. (2003) Competition for priority in processing increases prefrontal cortex's involvement in top-down control: an event-related fMRI study of the stroop task. *Cognitive Brain Research*, 17, 212-222.
- Moser, S. J., Cutini, S., Weber, P., & Schroeter, M. L. (2009) Right prefrontal brain activation due to Stroop interference is altered in attention-deficit hyperactivity disorder - A functional near-infrared spectroscopy study. *Psychiatry Research: Neuroimaging*, 173 (3), 190-195.
- Nigg, J. T. (2000) On inhibition/disinhibition in developmental psychopathology: Views from cognitive and personality psychology and a working inhibition taxonomy. *Psychological Bulletin*, 126 (2), 220-246.
- Negoro, H., Sawada, M., Iida, J., Ota T., Tanaka, S., & Kishimoto, T. (2009) Prefrontal dysfunction in attention-deficit/hyperactivity disorder as measured by near-infrared spectroscopy. *Child Psychiatry & Hum&evelopment*. 41 (2).
- Roelofs A. & Hagoort, P. (2002) Control of language use: cognitive modeling of the hemodynamics of Stroop task performance. *Cognitive Brain Research*, 15(1), 85-97.
- 齊藤由里 (2008) 発達障害児へのソーシャルスキル訓練とその効果に関する脳機能計測の検討 (中間報告). 発達研究, 22, 271-280.
- Schroeter, M.L., Zysset, S., Kupka, T., Kruggel, F., &

動物絵を用いたストロープ課題遂行時の前頭前部における脳血流の変化からみた干渉抑制機能

- von Cramon, D.Y. (2002) Near-infrared spectroscopy can detect brain activity during a color-word matching Stroop task in an event-related design. *Human Brain Mapping*, 17, 61-71.
- Stroop, J.R. (1935) Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology*, 18, 643-662.
- 住谷さつき (2009) NIRS 研究と臨床への応用. *脳と精神の医学*, 20 (3), 163-169.
- Takehara, K., Hasegawa, H., Toriumi, Y., Kimura, T., Okamoto, K., & Yamazaki, K. (2007) A study on eeg during figure stroop task performance. *Journal of Advanced Science*, 19 (3&4), 47-50.
- Tamm, L., Menon, V., & Reiss, A. L. (2002) Maturation of brain function associated with response inhibition. *Journal of the American Academy of Child Psychiatry*, 41 (10), 1231-1238.

**Inhibitory Control for Interference during Stroop Task with Animal Picture
from Cerebral Blood Flow in Prefrontal Area
— Investigation in Typical Developmental Adults and Preliminary Study in Children —**

Kasumi HAMADA and Shinji OKAZAKI

We investigated the inhibition control in prefrontal area activation associated with Real Animal Size Test (RAST) by using near-infrared of spectroscopy (NIRS), in subjects from five children to typical developmental adults. Adults showed Stroop effect as reflected by slower RTs in incongruent condition than congruent. The concentration of oxy-Hb increased under incongruent condition than that under other conditions. The oxy-Hb concentration of high-interference group was higher than that of low-interference group, the results indicated that high-interference group administered more inhibited task-irrelevant information and selected task-relevant information than low-interference group, thus subjects in high-interference group might have higher load on incongruent condition to maintain good performance as much as low-interference group. In children with Stroop effect, the concentration of oxy-Hb decreased during interference condition. The result suggested when children suppress sufficiently distracting stimulus, prefrontal area related inhibition control was more activated, because of their prefrontal area may not mature to a level comparable to adults.

Key words: Inhibitory control, Stroop effect, near-infrared of spectroscopy (NIRS), prefrontal area

* Institution of Human Science, Graduate Course of Disability Science, University of Tsukuba

** Graduate Course of Disability Science, University of Tsukuba