

## 資料

## Stop-signal 課題における刺激の意味的関連性が反応制御過程に及ぼす 影響の生理心理学的検討 — 一定型発達成人における ADHD 傾向との関連から —

中野 泰伺\*・岡崎 慎治\*\*

成人23名をADHD傾向の高低により群分けし、各群で呈示刺激の違いがStop-signal課題遂行時の行動成績およびERPにどのように影響するかを検討した。課題では、Go刺激とStop刺激の組合せが異なる2条件（クルマ刺激条件と記号刺激条件）を設定した。その結果、行動成績では、クルマ刺激条件およびADHD傾向高群における左右エラー率の上昇がみられた。ERPでは、ADHD傾向高群におけるGo-N2振幅値の低下、SST-N2振幅値の低下、およびSST-P3潜時値の有意な短縮を認めたが、刺激条件による差はみられなかった。行動成績およびGo-N2振幅値の結果から、Go刺激の弁別難易度の違いが反応制御に影響することが示唆された。また、SST-N2振幅値の結果から、刺激条件にかかわらず、ADHD傾向高群では傾向低群に対して反応抑制の困難さが示唆された。一方で、SST-P3潜時値の結果から、Go刺激とStop刺激との間の意味的関連性の操作により、ADHD傾向高群におけるStop刺激に対する反応制御処理が促進される可能性も示唆された。

キー・ワード：ADHD 事象関連電位（ERP） Stop-signal課題 反応制御 プライミング効果

### 1. 問題と目的

衝動性（Impulsivity）は、内的あるいは外的な刺激に対して、自分自身や他人への否定的な影響を考慮することなく、反応してしまう傾向と定義（Moeller, Barratt, Dougherty, Schmitz, & Swann, 2001）され、衝動的な行動は、DSM-5における秩序破壊的・衝動制御・素行症群に位置づけられる反抗挑発症（Oppositional Defiant Disorder）や素行症（Conduct Disorder）、神経発達症群に位置づけられる注意欠如・多動症（Attention Deficit Hyperactivity Disorder；以下、ADHD）などの診断基準において重要な状態像となっている

（American Psychiatric Association, 2013）。

ADHDの生物学的特徴として、脳内ネットワークの情報伝達にかかせない神経伝達物質のドーパミンの異常（Faraone, Biederman, Spencer, Wilens, Seidman, Mick, & Doyle, 2000）や、帯状回前部（Anterior Cingulate Cortex；以下、ACC）や下前頭回（Inferior Frontal Gyrus；以下、IFG）、前補足運動野（pre-supplementary motor area；以下、pre-SMA）、大脳基底核を含む前頭葉-線条体ネットワークの機能不全が指摘されている（Casey, Castellanos, Giedd, Marsh, Hamburger, Schubert, Vauss, Vaituzis, Dickstein, Sarfatti, & Rapoport, 1997；van Rooij, Hoekstra, Mennes, von Rhein, Thissen, Heslenfeld, Zwiers, Faraone, Oosterlaan, Franke, Rommelse, Buitelaar, & Hartman, 2015）。前

\* 筑波大学大学院人間総合科学研究科

\*\* 筑波大学人間系

頭葉-線条体ネットワークが司るとされる実行機能は、将来の目標を達成するために、適切に問題処理をこなしていく処理過程と定義され (Pennington & Ozonoff, 1996)、反応の実行や反応の抑制、それらを制御するためのセルフモニタリングなどから構成される (Goldstein, Naglieri, Princiotta, & Otero, 2014)。実行機能は多岐な心理機能から構成されるが、その中でも反応制御や注意制御を測定する課題として Continuous Performance Test (CPT) や Go/NoGo 課題、Stop-signal 課題などが挙げられる。これらの課題を用いた先行研究において、ADHD 児・者の実行機能不全が事象関連電位 (Event-related Potentials ; 以下, ERP) に反映されること (Heinrich, Grunitz, Stonawski, Frey, Wahl, Albrecht, Goecke, Beckmann, Kornhuber, Fasching, Moll, & Eichler, 2017 ; McLoughlin, Albrecht, Banaschewski, Rothenberger, Brandeis, Asherson, & Kuntsi, 2010) が指摘されている。

Stop-signal 課題は、Logan and Cowan (1984) の競合モデルを基盤に発展してきた反応制御課題であり、繰り返し呈示される Go 刺激に応じてボタン押し反応を実行する中で、時々呈示される Stop 刺激に応じてボタン押し反応を抑制するように求める課題である。Wodushak and Neumann (2003) は、定型発達 (Typical Developing ; 以下, TD) 成人 45 名を対象に Stop-signal 課題を行い、ADHD 評価尺度の一つであるウェンダー・ユタ評価尺度を用いて対象者を群分けし、行動成績を比較した。その結果、ADHD 傾向が低い群に比べて傾向の高い群において Stop 刺激に対する反応時間 (Stop-Signal Reaction Time ; 以下, SSRT) が有意に延長したことから、傾向の高い群は反応制御能力に弱さがみられることを指摘している。また、衝動性に関する自己記入式の質問紙 (Li, Ko, Weng, Liao, & Lu, 2002) を用いて、TD 成人を衝動性高群と低群に群分けし、Stop-signal 課題遂行時の ERP を測定した研究 (Shen, Lee, & Chen, 2014) では、衝動性低群と比較して、高群における、FCz および Cz から導出した P3 振幅値の低下を報告している。同

様に、ADHD 成人 24 名を対象とし、Stop-signal 課題遂行時の ERP を測定した研究 (Bekker, Overtom, Kooij, Buitelaar, Verbaten, & Kenemans, 2005) では、TD 成人と比較して ADHD 成人における FCz および Cz から導出した P3 振幅値の低下を報告している。これらの研究から、ADHD 傾向の高低が Stop-signal 課題遂行時の反応制御過程に影響を及ぼし、行動成績や ERP が変化することが想定される。

呈示刺激の違いについて TD 成人を対象に検討した先行研究 (加賀・岩垂・野口・反頭・相原, 2008) では、Go/NoGo 課題における Go 刺激および NoGo 刺激に色や図形、漢字を用い、刺激条件間で行動成績と課題遂行時の ERP を比較検討している。その結果、行動成績には、呈示刺激の違いによる特別な影響はみられなかったことを報告した。その一方で、ERP では、弁別難易度が一番高いとされる漢字刺激呈示時において、Fz 導出の NoGo 刺激に対する N2 潜時値が延長したことを報告した。また、TD 成人を対象に、ランダムドットのコヒーレンスの違いによって Go 刺激の弁別難易度を操作した Stop-signal 課題を用いた研究 (Ma & Yu, 2016) では、行動成績の検討にとどまるものの、弁別難易度が低い Go 刺激と比較して弁別難易度が高い Go 刺激に対する反応時間 (Reaction Time ; 以下, RT) や SSRT の延長、Go 刺激に対するコミッションエラー率の上昇が報告されている。しかしながら、呈示刺激の違いが及ぼす影響について ERP を用いた検討は報告されていない。あわせて、ADHD 傾向との関連から呈示刺激の違いが行動成績および ERP に及ぼす影響について検討した研究も報告されていない。

以上のことから、本研究では、TD 成人を対象に ADHD 傾向の高い群と低い群を比較することによって、ADHD 成人の行動成績や反応制御の特徴を検討するための基礎的な知見を得ることを目的とする。さらに、Stop-signal 課題における呈示刺激の違いと TD 成人の ADHD 傾向との関連について検討することを目的とする。

Table 1 各群の年齢、CAARS 得点及び各群、各刺激条件の行動成績

	CAARS		クルマ刺激条件										記号刺激条件							
	年齢	DSM-IV ADHD症状	go-RT (msec)	左右エラー 率(%)	見逃し 率(%)	SSRT(msec)			抑制率(%)			go-RT (msec)	左右エラー 率(%)	見逃し 率(%)	SSRT(msec)			抑制率(%)		
						150msec 条件	225msec 条件	300msec 条件	150msec 条件	225msec 条件	300msec 条件				150msec 条件	225msec 条件	300msec 条件			
傾向高群 (N=11)	23.13 ±2.42	69.1 ±9.6	413.2 ±32.5	1.6±1.9	1.0±2.8	328.9 ±111.5	232.9 ±67.9	91.4 ±60.4	79.2 ±15.1	70.8 ±15.1	43.2 ±13.9	403.9± 38.5	0.3±0.4	1.5±2.7	328.3 +107.1	210.9 ±92.9	94.9 ±70.4	82.2 ±17.2	70.8 ±22.9	46.2 ±16.0
傾向低群 (N=12)	22.13 ±1.78	47.0 ±7.2	403.0 ±34.4	0.4±0.7	3.1±4.7	323.3 ±66.2	210.9 ±67.0	110.8 ±71.9	85.8 ±11.0	69.5 ±13.2	50.0 ±24.5	388.4± 43.1	0	2.7±4.6	297.2 ±76.1	204.3 ±85.7	64.8 ±90.0	79.6 ±16.6	68.6 ±17.9	40.3 ±24.5
<i>p</i> 値	.293	<.001	.474	<.05	.221	.883	.443	.494	.243	.818	.210	.374	<.05	.432	.428	.860	.384	.719	.798	.504

※ ( ) は単位を示す

## II. 方法

### 1. 実験協力者

右利きの成人23名(男性18名, 女性5名; 22.6±2.2歳; 年齢幅18.5-28.7歳)を対象とした。いずれの協力者も、今までに検診などで発達の遅れや偏りなどは指摘されておらず、精神科受診歴はなかった。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評価尺度であるコナーズ成人ADHD評価スケール日本語版(Conners' Adult ADHD Rating Scale; 以下, CAARS)(Conners, Erhardt, & Sparrow, 1998; 中村・染木・大西, 2012)のうち、全体的なADHD症状を評価する「DSM-IV総合ADHD症状」に関する質問項目を抜粋した質問紙(全18項目)を実施した。本研究における実験協力者全体の平均T得点は57.6±13.9点(最低37点, 最高89点)であった。実験協力者の平均T得点よりも得点が高かった者をADHD傾向高群(以下, 傾向高群)、平均T得点よりも得点が低かった者をADHD傾向低群(以下, 傾向低群)とした。傾向高群(11名; 男性10名)のT

得点は69.1±9.6点、傾向低群(12名; 男性8名)のT得点は47.0±7.2点であった(Table 1)。なお、中村ら(2012)において、T得点の平均は45-55点であることに加え、臨床的に問題のみられない集団では、臨床的に有意な問題があるとする基準得点を75点とすべきであることが述べられている。以上より、本研究において、傾向高群に分類された実験協力者は、臨床的に有意な問題はないものの、TD成人の平均よりADHD傾向が高いと判断した。2群間のT得点に関して*t*検定を実施したところ、傾向高群のT得点は傾向低群よりも有意に得点が高かった(*p* < .001)。

本研究の実施にあたっては第一著者所属組織の倫理委員会の承認(承認番号筑26-49)を受けた。

### 2. 課題と実施手続き

課題はRamautar, Kok, and Ridderinkhof (2004)を参考に作成したStop-signalパラダイムを用いた(Fig.1)。課題の作成と呈示には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(視角

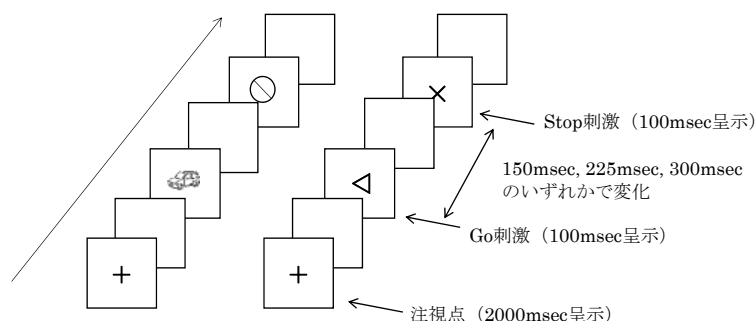


Fig. 1 クルマ刺激条件(左)と記号刺激条件(右)のダイアグラム

1.8°×1.8°) 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求めた。対象者には2つの課題を実施した。最初に、刺激が出現したら、その向きに応じて、できる限り早く正確に左右いずれかの親指でボタン押し反応を求めるchoice reaction time (以下, CRT) 課題を行った。Go刺激には左右いずれかに向いたクルマの絵および三角の記号を用いた刺激条件を設定し、それぞれクルマ刺激条件、記号刺激条件とした。いずれの条件においても、注視点を2000msec呈示し、続いて2000msec後に、画面中央にGo刺激を100msec呈示することを1試行とした。CRT課題は20試行を1ブロックとし、クルマ刺激条件と記号刺激条件をそれぞれ1ブロックずつ計2ブロック(全40試行)行った。次にStop-signal課題を行った。この課題は、CRT課題と同様に、Go刺激に対してボタン押し反応をしつつ、Go刺激呈示後にまれに出現するStop刺激が見えたら、ボタン押し反応を中止するように求める課題である。Stop刺激は、Go刺激呈示後30%の頻度で呈示された。Stop刺激にはOldenburg, Roger, Asseondi, Verbruggen, and Fias (2012) を参考にGo刺激とブライミングの関係にある刺激を用い、クルマ刺激条件では駐車禁止様の図、記号刺激条件ではバツ印をそれぞれ用いた。注視点からGo刺激呈示までの時間はCRT課題と同様とした。Stop刺激の呈示タイミングはGo刺激呈示150msec後(150msec条件)、225msec後(225msec条件)、300msec後(300msec条件)の3種類とした。これらは同頻度で呈示されるように擬似ランダムに変化させ、呈示時間は100msecとした。Stop-signal課題は60試行を1ブロックとし、クルマ刺激条件と記号刺激条件を交互にそれぞれ4ブロックずつ計8ブロック(全480試行)行った。CRT課題とStop-signal課題のいずれにおいても、各試行間間隔は1500~1900msecで擬似ランダムに変化させた。実験は、すべての対象者について同一条件下で実施し、課題実施時間はCRT課題が1ブロック約30秒、Stop-signal課題が1ブ

ロック約1分50秒であった。毎ブロック終了後に休憩時間を設けながら実施した。

### 3. 脳波計測

脳波記録と処理には、BrainAmp (BRAINPRODUCTS社製) を用いて、国際10-20法に基づく部位を含む頭皮上30部位 (Fp1, Fp2, F7, F3, Fz, F4, F8, FT7, FC3, FCz, FC4, FT8, T3, C3, Cz, C4, T4, TP7, CP3, CPz, CP4, TP8, T5, P3, Pz, P4, T6, O1, Oz, O2) から左耳朶を共通基準として記録され、同時に左眼瞼上部と左外眼角部から眼球運動も記録された。脳波および眼球運動は2msec間隔にてAD変換され、0.01~60Hzのバンドパスフィルタ処理を介して記録した。

### 4. 分析

本研究では回答者の行動成績及びERP成分を分析対象とした。行動成績においては、群および刺激条件ごとに、正反応時のRTおよび左右エラー率、見逃し率、抑制率、SSRTを求めた。抑制率およびSSRTはStop刺激の呈示条件ごとに求め、SSRTについてはBand, van der Molen, and Logan (2003) を参考に、以下のように算出した。①Stop刺激に対する反応率(誤反応率)を算出する、②誤反応率とGo刺激に対する正反応数の積を計算し、n値を算出する、③Stop-signal課題におけるGo刺激への反応について、RTを速い順に並べ、速いほうからn番目のRTを同定する、④n番目のRTとStop刺激の呈示条件の差を計算する(e.g. RTが400msec, Stop刺激の呈示条件が150msec条件のとき、SSRTは400-150=250msecとなる)。

脳波においては、左眼瞼部に装着した電極から得られた眼球運動を用いて眼球運動補正を行った後、各群、各刺激条件いずれも抑制の可否ごとに、Go刺激およびStop刺激呈示前100msecから900msec間についてそれぞれ加算平均した。Stop刺激は呈示条件ごとに加算平均を行った。刺激呈示前の区間をベースラインとし、頭皮上±100μV以上の振幅を示した試行はアーチファクト混入試行として除外した。0.15~40Hzのオフラインフィルタ処理およびリファレンスを30部位の平均値に再基準化(アベ



レンジリファレンス) した後、N2およびP3成分の最大振幅値とその潜時値を、それぞれ抑制の可否に分けて各群および各刺激条件について求めた。ERP成分の同定にあたっては、Shen et al. (2014) を参考に、190-270msecに陰性方向へシフトする電位をN2成分、270-500msecに陽性方向へシフトする電位をP3成分とした。これらの成分は先行研究 (Ramauter et al., 2004 ; Shen et al., 2014) において正中線上の部位から抽出されていることから、本研究ではFz、Cz、Pzから検討した。

統計分析にあたって、行動成績については群 (傾向高群, 傾向低群) × 刺激 (クルマ刺激条件, 記号刺激条件) の2要因ANOVAを行った。ERPについては、群 (傾向高群, 傾向低群) × 刺激条件 (クルマ刺激条件, 記号刺激条件) × 部位 (Fz, Cz, Pz) の3要因ANOVAを行った。Post-hoc検定にはBonferroni法を用いた。分析にはSPSS v. 24.0を用いた。

### Ⅲ. 結果

#### 1. 行動成績

Table 1に各群におけるCAARS (DSM-IV ADHD症状) のT得点および各群、各刺激条件における行動成績を示す。行動成績のうち、左右エラー率について、群と刺激条件のいずれにも主効果がみられた。記号刺激条件よりもクルマ刺激条件でエラー率が上昇し ( $F(1,42) = 6.649, p < .05$ )、かつ傾向低群に比べて傾向高群においてエラー率が上昇した ( $F(1,42) = 5.382, p < .05$ )。RTやSSRT、見逃し率、抑制率では有意差がみられなかった。

#### 2. ERP

##### 2.1 Go 試行

Fig. 2に正中3部位から導出された各群および各刺激条件におけるGo刺激呈示時のN2 (以下, Go-N2) の振幅値および潜時値を示す。有効加算回数は平均149回であった。Go-N2振幅値について、群 × 部位の交互作用 ( $F(2,123) = 4.621, p < .05$ ) がみられた。交互作用について単純主効果の検定を行った結果、Fz ( $F(1,123) =$

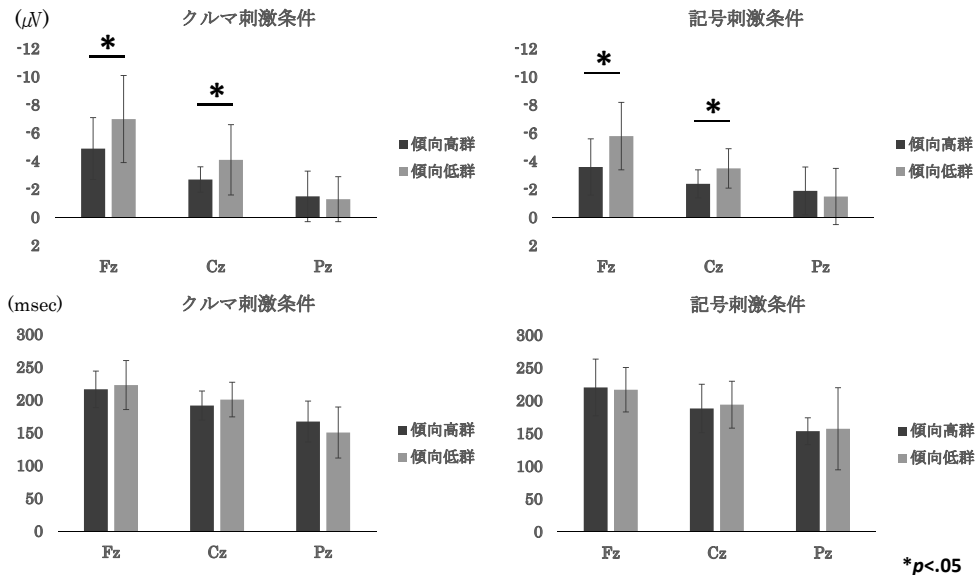


Fig. 2 各群および各刺激条件におけるGo-N2振幅値 (上) と潜時値 (下)

※エラーバーは標準偏差を示す

16.09,  $p < .01$ ) および Cz ( $F(1,123) = 4.75, p < .05$ ) における群の単純主効果がそれぞれ有意であり、傾向高群における Fz、Cz から導出された N2 振幅値が傾向低群と比べて有意に低下した。Go-N2 潜時値、Go 刺激呈示時の P3 (Go-P3) 振幅値、Go-P3 潜時値については有意差がみられなかった。

## 2.2 Stop 試行

Fig. 3 に Stop 刺激呈示条件ごとに正中 3 部位から導出された各群および各刺激条件における抑制成功試行 (Successful Stop Trial; 以下, SST) 時の N2 (以下, SST-N2) の振幅値および潜時値を示す。有効加算回数は 150msec 条件が平均 19 回、225msec 条件が平均 16 回、300msec 条件が平均 11 回であった。なお、抑制失敗試行 (Unsuccessful Stop Trail; 以下, UST) の有効加算回数は各刺激呈示条件ともに平均 10 回に満たなかったため分析対象から除外した。SST-N2 振幅値 (150msec 条件) について、群×部位の交互作用 ( $F(2,115) = 3.49, p < .05$ ) がみられた。交互作用について単純主効果の検定を行った結果、Fz における群の単純主効果 ( $F(1,115) = 7.97, p < .01$ ) が有意であり、傾向高群における Fz から

導出された N2 振幅値は傾向低群と比べて有意に低下した。150msec 条件における SST-N2 潜時値、225msec および 300msec 条件における SST-N2 振幅値、潜時値については有意差がみられなかった。

Fig. 4 に Stop 刺激呈示条件ごとに正中 3 部位から導出された各群および各刺激条件における SST 時の P3 (以下, SST-P3) の振幅値および潜時値を示す。SST-P3 潜時値 (225msec 条件) について、群×部位の交互作用 ( $F(2,124) = 4.324, p < .05$ ) がみられた。交互作用について単純主効果の検定を行った結果、Pz における群の単純主効果 ( $F(1,124) = 14.04, p < .01$ ) が有意であり、傾向高群における Pz から導出された P3 潜時値が傾向低群と比べて有意に短縮した。225msec 条件における SST-P3 振幅値、150msec 条件および 300msec 条件における SST-P3 振幅値、潜時値については有意差がみられなかった。

## IV. 考察

本研究では、TD 成人を ADHD 傾向の高低によって群分けし、呈示刺激 (Go 刺激と Stop 刺激) に意味的関連性をもたせた Stop-signal 課題

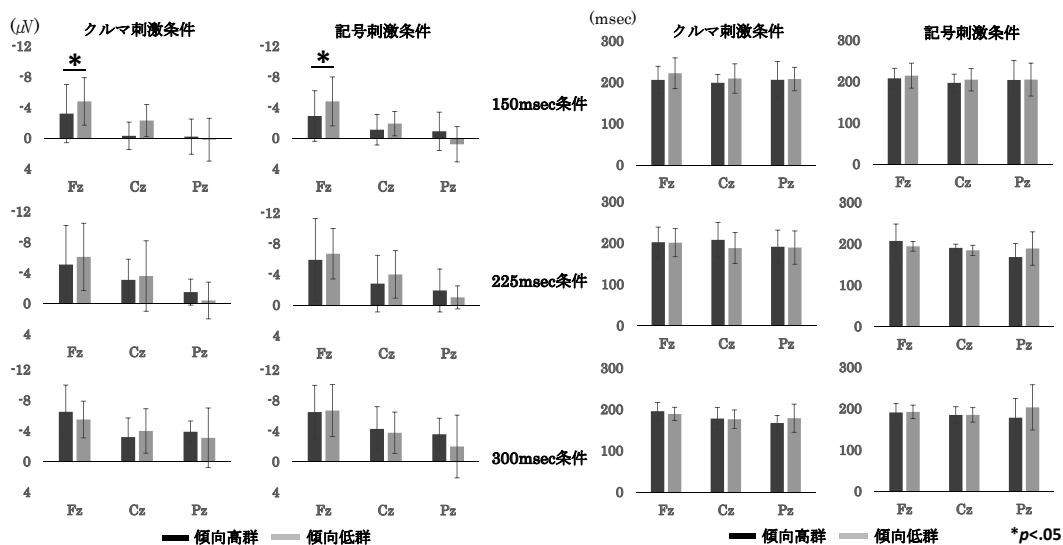


Fig. 3 各 Stop 刺激呈示条件における各群および各刺激条件の SST-N2 振幅値 (左) と潜時値 (右)

※エラーバーは標準偏差を示す

とADHD傾向との関連について、課題遂行時の行動成績およびERPを用いて検討した。

### 1. 行動成績

本研究では、左右エラー率についてのみ、群と刺激の主効果がみられ、刺激条件にかかわらず、傾向低群よりも傾向高群における左右エラー率が上昇した。あわせて、ADHD傾向の高低にかかわらず記号刺激条件よりもクルマ刺激条件における左右エラー率が上昇した。

Shen et al. (2014) は、衝動性に関する自己記入式の質問紙 (Li et al., 2002) を用いてTD成人を衝動性高群と低群に群分けし、得点の高低がStop-signal課題遂行時の反応制御過程に及ぼす影響について検討した。その結果、衝動性低群と比較して、高群におけるGo刺激に対する反応の正確性が有意に低下する傾向がみられたと報告した。このことから、本研究における左右エラー率の群間差は、ADHD傾向に起因するケアレスミスによって生じたものと推測される。20歳前後のADHD者と年齢をマッチさせたTD者群を比較検討した研究 (van Rooij et al., 2015) では、左右エラー率の有意差とともにRTの変動性 (Standard Deviation ; SD) やSSRTでも有意

差がみられることが報告されている。TD成人を対象とした本研究においては、左右エラー率のみ有意差がみられ、他の指標については有意差がみられなかったことから、天井効果が生じたものと考えられる。

さらに、本研究では、ADHD傾向にかかわらず、刺激条件についても左右エラー率の有意差がみられた。TD成人を対象にGo刺激の弁別難易度を操作したStop-signal課題を用いた研究 (Ma & Yu, 2016) では、弁別難易度が低いGo刺激と比較して、弁別難易度が高いGo刺激に対するRTやSSRTの延長、Go刺激に対するコミッションエラー率の上昇が報告されている。これらのことから、本研究で用いたクルマ刺激は記号刺激に比べて弁別難易度が高い刺激であったため、クルマ刺激条件におけるクルマの絵の左右を弁別することは、三角の記号を弁別することよりも困難であった可能性が示唆された。一方で、群と刺激条件の交互作用がみられていないことから、刺激の弁別難易度はADHD傾向の高低には影響を及ぼさない可能性も示唆された。

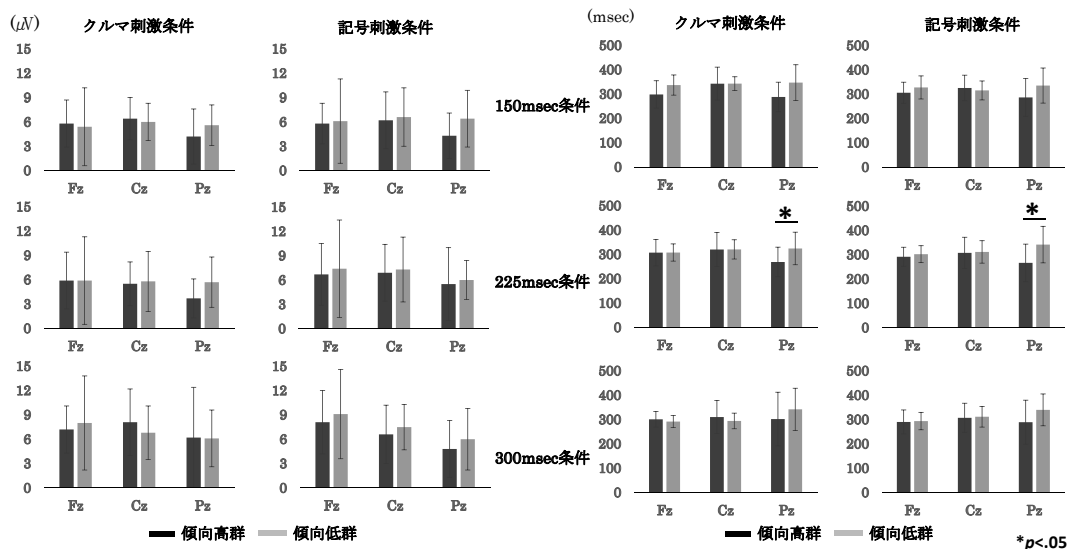


Fig. 4 各Stop刺激呈示条件における各群および各刺激条件のSST-P3振幅値 (左) と潜時値 (右)

※エラーバーは標準偏差を示す

## 2. ERP

ADHD傾向の高低によるTD成人の群分けの結果、傾向低群に対して傾向高群におけるGo-N2振幅値の低下、SST-N2振幅値の低下、およびSST-P3潜時値の有意な短縮がそれぞれ認められた。

Banaschewski and Brandeis (2007) は、視覚刺激呈示後140-200msecに頭頂領域付近に出現する成分をN170と定義し、視覚刺激に対する定位や注意処理資源の配分量 (Prox, Dietrich, Zhang, Emrich, & Ohlmeier, 2007) を反映する成分としている。また、McLoughlin, Asherson, Albrecht, Banaschewski, Rothenberger, Brandeis, and Kuntsi (2011) は、Go刺激呈示後150-300msecにFz付近に出現する成分をGo-N2とし、反応の実行に寄与する成分としている。本研究では、先述したように、刺激条件にかかわらず、傾向低群と比較して傾向高群における左右エラー率が有意に上昇した。Go刺激に対する左右エラー率は衝動性の指標 (大村, 2018) とされている。本研究の行動成績からも示唆されたように、ADHD傾向の高低、とりわけ衝動性に関連してGo刺激に対するケアレスミスの差がGo-N2振幅値の差に反映された可能性が示唆された。

Stop刺激呈示後のERPについても同様に、McLoughlin et al. (2011) は、NoGo刺激呈示後150-300msecにFz付近に出現する成分をNoGo-N2とし、反応の抑制に寄与する成分としている。また、Nieuwenhuis, Yeung, van den Wildenberg, and Ridderinkhof (2003) は、N2を反応のコンフリクトを検知する成分とし、認識しやすい呈示刺激条件ほどN2の振幅値が増大することを指摘している。コンフリクトの検知には、主にACCの活動が関与するとされており (Yeung, Botvinick, & Cohen, 2004)、ADHD児・者においては、ACCやIFG、pre-SMA、大脳基底核を含む前頭葉-線条体ネットワークの機能不全が指摘されている (Casey et al., 1997; van Rooij et al., 2015)。本研究では、刺激条件にかかわらず、Fz導出のSST-N2振幅値が、傾向低

群よりも傾向高群で有意に低下するという結果になった。前頭部におけるSST-N2振幅値の低下は反応の実行や抑制の困難さを反映したもの (e.g. McLoughlin et al., 2010) とされており、本研究における傾向高群では、反応の実行や抑制の困難さが示唆された。この結果は、ADHDの前頭葉-線条体ネットワークの機能不全を指摘する先行研究 (e.g. van Rooij et al., 2015) を支持するものと思われる。

Stop刺激呈示後のP3は、Stop刺激呈示後270-500msecにおいて惹起する成分であり、呈示刺激のモニタリングや注意処理資源の配分を反映する成分 (Banaschewski et al., 2007) とされる。また、衝動性に関する自己記入式の質問紙 (Li et al., 2002) を用いてTD成人を衝動性高群と低群に群分けした研究 (Shen et al., 2014) では、衝動性低群と比較して、高群における、FCzおよびCzから導出したP3振幅値の低下を報告している。同様に、ADHD成人24名を対象とした研究 (Bekker et al., 2005) では、TD成人と比較してADHD成人におけるFCzおよびCzから導出したP3振幅値の低下を報告している。また、恵良 (2005) は、オドボール課題において、弁別の難易度が高い刺激ほどP3潜時値が延長することを指摘している。これらのことから、本研究においてもP3振幅値の低下および弁別難易度が高いと考えられるクルマ刺激条件におけるP3潜時値の延長がそれぞれ傾向低群に対して傾向高群において予想された。

本研究におけるクルマ刺激条件および記号刺激条件は、プライミング効果について論じたOldenburg et al (2012) を参考に、Go刺激とStop刺激との間に意味的関連性をもたせた。その結果、SST-P3振幅値では群間差や刺激条件差がみられなかったものの、SST-P3潜時値については、傾向低群に対して傾向高群における、Pzから導出したSST-P3潜時値が刺激条件にかかわらず短縮する結果となった。本研究の結果から、傾向高群においては、Go刺激とStop刺激との間に意味的関連性をもたせることで、Stop刺激に対する定位や、Stop刺激処理結果のモニ



タリングへの負荷が軽減した結果として、SST-P3潜時値が短縮した可能性がある。また、本研究ではGo刺激とStop刺激との間に意味的関連性をもたせたことから、反応制御過程にブライミング効果が生じ、SST-P3潜時値が短縮した可能性も示唆された。

## V. 今後の課題

本研究ではTD成人をADHD傾向の高低で群分けし、呈示刺激の意味的関連性の異なるStop-signal課題とADHD傾向との関連について検討した。ADHD成人を対象にGo/NoGo課題を実施したProx et al. (2007)の結果は、本研究の結果と異なっている。正中線上から導出したN2振幅値について、TD成人よりもADHD成人において有意に増大することを報告しており、ADHD成人はTD成人よりも反応制御、とりわけ反応抑制においてより多くの注意処理資源を要することを指摘している。また、ADHDにおける前頭葉-線条体ネットワークの機能不全について、ADHD児・者は反応抑制時に前頭領域ではなく、頭頂領域付近を賦活させることによって、反応抑制の困難さを補っている可能性があることが指摘されている (Janssen, Heslenfeld, van Mourik, Geladé, Maras, & Oosterlaan, 2018; van Rooij et al., 2015)。今後は、分析部位を増やすとともに、呈示刺激の意味的関連性がTD成人の反応制御過程に及ぼす影響に関する知見をさらに深める必要があると思われる。また、ADHD成人を対象に同様の検討を行い、Stop-signal課題遂行時における反応制御過程の特徴と呈示刺激との関連について明らかにする必要があるだろう。

## 文献

American Psychiatric Association (2013) Diagnostic and Statistical Manual of mental disorders (5<sup>th</sup> ed., text version), Washington DC.

Banaschewski, T., & Brandeis, D. (2007) Annotation : what electrical brain activity tells us about brain function that other techniques cannot tell us—a child psychiatric perspective. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 48 (5), 415-435.

Band, G. P. H., van der Molen, M. W., & Logan, G. D. (2003) Horse-race model simulations of the stop-signal procedure. *Acta psychologica*, 112 (2), 105-142.

Bekker, E. M., Overtom, C. C., Kooij, J. S., Buitelaar, J. K., Verbaten, M. N., & Kenemans, J. L. (2005) Disentangling deficits in adults with attention-deficit/hyperactivity disorder. *Archives of General Psychiatry*, 62 (10), 1129-1136.

Casey, B. J., Castellanos, F. X., Giedd, J. N., Marsh, W. L., Hamburger, S. D., Schubert, A. B., Vauss, Y. C., Vaituzis, A. C., Dickstein, D. P., Sarfatti, S. E., & Rapoport, J. L. (1997) Implication of right frontostriatal circuitry in response inhibition and attention-deficit/hyperactivity disorder. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, 36(3), 374-383.

Conners, C. K., Erhardt, D., & Sparrow, E. (1998) Conners' adult ADHD Rating Scale : CAARS. Toronto, MHS.

恵羅修吉 (2005) 事象関連電位 P3 を指標とした発達障害児の認知機能の評価. *特殊教育学研究*, 43 (2), 139-147.

Faraone, S. V., Biederman, J., Spencer, T., Wilens, T., Seidman, L. J., Mick, E., & Doyle, A. E. (2000) Attention-deficit/hyperactivity disorder in adults : an overview. *Biological psychiatry*, 48 (1), 9-20.

Goldstein, S., Naglieri, J. A., Princiotta, D., & Otero, T. M. (2014) Introduction : a history of executive functioning as a theoretical and clinical construct. In *Handbook of executive functioning*. Springer, New York, 3-12.

Heinrich, H., Grunitz, J., Stonawski, V., Frey, S., Wahl, S., Albrecht, B., Goecke, T. W., Beckmann, M. W., Kornhuber, J., Fasching, P. A., Moll, G. H., & Eichler, A. (2017) Attention, cognitive control and motivation in ADHD : Linking event-related brain potentials and DNA methylation patterns in boys at early school age. *Scientific reports*, 7 (1), 3823-3834.

Janssen, T. W., Heslenfeld, D. J., van Mourik, R., Geladé, K., Maras, A., & Oosterlaan, J. (2018) Alterations in the ventral attention network during the stop-signal task in children with ADHD : an event-related potential source imaging study. *Journal of attention disorders*, 22 (7), 639-650.

- 加賀佳美・岩垂喜貴・野口佐綾香・反頭智子・相原正男 (2008) Go/NoGo課題における行動抑制に関わる事象関連電位の検討—第1報 異なる視覚刺激によるGo/NoGo電位マップの特徴—。脳と発達, 40 (1), 20-25.
- Li, C. H., Ko, H. C., Weng, L. J., Liao, L. C., & Lu, R. B. (2002) The development of an impulsiveness scale : Psychometric properties and relation to antisocial personality disorder. *Chinese Journal of Psychology*, 44 (1), 109-120.
- Logan, G. D. & Cowan, W. B. (1984) On the ability to inhibit thought and action : a theory of an act of control. *Psychological Review*, 91 (3), 295-327.
- Ma, N. & Yu, A. J. (2016) Inseparability of go and stop in inhibitory control : Go stimulus discriminability affects stopping behavior. *Frontiers in neuroscience*, 10 (54). doi = 10.3389/fnins.2016.00054
- McLoughlin, G., Albrecht, B., Banaschewski, T., Rothenberger, A., Brandeis, D., Asherson, P., & Kuntsi, J. (2010) Electrophysiological evidence for abnormal preparatory states and inhibitory processing in adult ADHD. *Behavioral and Brain Functions*, 6 (1), 66-77.
- McLoughlin, G., Asherson, P., Albrecht, B., Banaschewski, T., Rothenberger, A., Brandeis, D., & Kuntsi, J. (2011) Cognitive-electrophysiological indices of attentional and inhibitory processing in adults with ADHD : familial effects. *Behavioral and Brain Functions*, 7 (1), 26-34.
- Moeller, F. G., Barratt, E. S., Dougherty, D. M., Schmitz, J. M., & Swann, A. C. (2001) Psychiatric aspects of impulsivity. *American journal of psychiatry*, 158 (11), 1783-1793.
- 中村和彦・染木史緒・大西将史監訳 (2012) CAARS 日本語版マニュアル。東京, 金子書房。
- Nieuwenhuis, S., Yeung, N., van den Wildenberg, W., & Ridderinkhof, K. R. (2003) Electrophysiological correlates of anterior cingulate function in a go/no-go task : effects of response conflict and trial type frequency. *Cognitive, affective, & behavioral neuroscience*, 3 (1), 17-26.
- Oldenburg, J. F. E., Roger, C., Asseconi, S., Verbruggen, F., & Fias, W. (2012) Repetition priming in the stop signal task : The electrophysiology of sequential effects of stopping. *Neuropsychologia*, 50 (12), 2860-2868.
- 大村一史 (2018) ADHDの認知機能における性差。山形大学紀要 (教育科学), 17 (1), 27-43.
- Pennington, B. F., & Ozonoff, S. (1996) Executive functions and developmental psychopathology. *Journal of child psychology and psychiatry*, 37 (1), 51-87.
- Prox, V., Dietrich, D. E., Zhang, Y., Emrich, H. M., & Ohlmeier, M. D. (2007) Attentional processing in adults with ADHD as reflected by event-related potentials. *Neuroscience letters*, 419 (3), 236-241.
- Ramautar, J. R., Kok, A., & Ridderinkhof, K. R. (2004) Effects of stop-signal probability in the stop-signal paradigm : the N2/P3 complex further validated. *Brain and cognition*, 56 (2), 234-252.
- Shen, I. H., Lee, D. S., & Chen, C. L. (2014) The role of trait impulsivity in response inhibition : event-related potentials in a stop-signal task. *International journal of psychophysiology*, 91 (2), 80-87.
- van Rooij, D., Hoekstra, P. J., Mennes, M., von Rhein, D., Thissen, A. J., Heslenfeld, D., Zwiers, M. P., Faraone, S. V., Oosterlaan, J., Franke, B., Rommelse, N., Buitelaar, J. K., & Hartman, C. A. (2015) Distinguishing adolescents with ADHD from their unaffected siblings and healthy comparison subjects by neural activation patterns during response inhibition. *American Journal of Psychiatry*, 172 (7), 674-683.
- Woduschek, T. R. & Neumann, C. S. (2003) Inhibitory capacity in adults with symptoms of attention deficit/hyperactivity disorder (ADHD). *Archives of Clinical Neuropsychology*, 18 (3), 317-330.
- Yeung, N., Botvinick, M. M., & Cohen, J. D. (2004) The neural basis of error detection : conflict monitoring and the error-related negativity. *Psychological review*, 111 (4) : 931-959.

—— 2018.8.27 受稿、2019.2.5 受理 ——

## **Psychophysiological Study of the Effects of Relations Between Target and Preceding Cue Stimulus of the Stop-Signal Task on the Process of Response Control: View of The Relationships of ADHD Tendency in Typically Developed Adults**

**Yasushi NAKANO\* and Shinji OKAZAKI\*\***

The present study investigated the effect of stimulus type of the visual stop-signal task on the behavioral performance and event-related potentials (ERPs) in two groups of the typical adult population grouped by their ADHD tendency. For this purpose, twenty-three participants were divided into two groups according to the scores of CAARS (hADHD: high ADHD tendency group, lADHD: low ADHD tendency group). Two conditions, the car condition and the shape condition, were set for the stop-signal task according to its type of stimulus. The behavioral results demonstrated a marked increase in the commission error rate to Go stimulus in the car condition and in the hADHD group. In terms of ERP results, for the hADHD group, there was a significant decrease in the Go-N2 and the SST-N2 amplitude, in addition to the significant shortening of SST-P3. No marked differences were demonstrated according to the stimulus type. The results of behavioral performance and Go-N2 suggested the marked difficulty in making distinction between left and right in the hADHD group as compared to the lADHD regardless of the conditions. Further, the results of the SST-N2 suggested the difficulty in response control in the hADHD group. The results also suggested that the possible effectiveness of the priming effect between Go and Stop stimuli might be effective to ADHD population. The results also suggested the possible improvement in response control process in hADHD group by the semantic relativity between Go and Stop stimuli.

**Key words:** Attention Deficit Hyperactivity Disorder (ADHD), event-related potentials (ERP), stop-signal task, response control, priming effect

---

\* Graduate School of Comprehensive Human Sciences, University of Tsukuba

\*\* Faculty of Human Sciences, University of Tsukuba